



UMEÅ UNIVERSITET

REVIDERAT UNDERLAG OM HÄLSOKONSEKVENSER AV LUFTFÖRORENINGSG- UTSLÄPP FRÅN VÄGTRAFIK



**Bertil Forsberg, Hedi Kriit, Wasif Raza, Anna Oudin,
Johan Sommar, Christer Johansson,
Jenny Lindvall, Robert Bergström**

Nr 1/2025

ISSN-nr 2003-3281 Folkhälsa och klinisk medicin i Umeå rapporterar

Innehåll

Sammanfattning	5
Inledning	9
Referenser	10
Inkludering av fler effekter hos barn.....	12
Bakgrund.....	12
Litteraturoversikter och projekt	13
Förslag om hälsoutfall möjliga att lägga till	16
Allergisk rinit.....	16
Autismspektrumstörning	17
Sjukfrånvaro i skolan	18
Skolprestationer.....	19
Akut infektion i nedre luftvägarna.....	19
Kostnadsmodell för tillkommande hälsoutfall	20
Referenser	22
Reviderad beräkning gällande slitagepartiklar	27
Bakgrund.....	27
Andel PM _{2.5} av slitage PM ₁₀	28
Exponerings-responssamband för PM ₁₀ och mortalitet.....	29
Tidigare antaganden.....	29
Ny kunskap.....	30
Exponerings-responssamband för vägdamm	35
Korttidsexponering.....	35
Långtidsexponering	36
Förslag om ny beräkning gällande mortalitet	37
Referenser	38
Effekter orsakade av NO₂	43
Bakgrund.....	43
Kompletteringen av REVSEK	44
Korttidseffekt på mortaliteten	44
Långtidseffekt på mortalitet.....	45
Ny kunskap om exponerings-responssamband	47

Mortalitet	47
Morbiditet	51
Förslag gällande NO ₂	52
Referenser	53
Analys gällande sekundärt bildade partiklar.....	60
Bakgrund.....	60
Existerande underlag om genererad exponering	60
Nya simuleringar av genererad exponering	62
Exponerings-responssamband för nitrat och SIA.....	65
Sekundära partiklar i epidemiologiska studier.....	65
Expertorganens bedömningar.....	67
Förslag kring de sekundärt bildade partiklarna	68
Referenser	69
I perspektiv - en jämförelse med beräkningarna i Storbritannien.....	73
Modell för olika sektorer	73
Spann i kostnaderna.....	73
PM ₁₀ och PM _{2.5}	74
Mortalitetseffekter av NO _x och PM _{2.5}	74
Inkluderade morbiditetseffekter	74
Referenser	76
Konsekvenser för beräknade skadekostnader	77
Konsekvenser vid översynen 2021 av beräkningarna från REVSEK	77
Konsekvenser av nu lämnade revideringsförslag.....	77
Inkludering av fler hälsoeffekter bland barn	77
Reviderade och unika beräkningar för NO _x	78
Mortalitet	78
Morbiditet	79
Ändrad beräkning av slitagepartiklars effekter	79
Mortalitet	79
Morbiditet	80
Sammanfattning av beräknade skadekostnader för hälsoeffekter.....	80
Referenser	81

Sammanfattning

Trafikverket har beviljat Institutionen för folkhälsa och klinisk medicin, Umeå universitet ett FOI-bidrag för projektet Reviderat underlag om hälsokonsekvenser av luftföroreningar, vilket ska komplettera underlagen om luftföroreningars hälsoeffekter till grund för rekommendationer i rapporten Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn (ASEK-rapporten).

Projektets fyra delmoment syftar till

- att analysera hur morbiditetseffekter av kvävedioxid i sig kan uppskattas med direkta beräkningar
- att studera hur de i ASEK beräknade ohälsokostnaderna för slitageemissioner som PM₁₀ påverkas av senare års resultat om sambanden mellan PM₁₀, slitagepartiklar och mortalitet
- att bedöma vilka effekter av vägtrafikens föroreningar, specifikt kväveoxider och partiklar, på barns hälsa som det finns olika grad av evidens för och hur konsekvenserna kan uppskattas och värderas
- att föreslå en metod att uppskatta kostnader för emissioner genererande exponering för sekundärt bildade partiklar

Projektet har haft medverkande från Umeå universitet (Bertil Forsberg, projektledare, Hedi Kriit, Wasif Raza, Anna Oudin och Johan Sommar), Stockholms luft- och bulleranalys (Christer Johansson och Jenny Lindvall) samt SMHI (Robert Bergström).

Effekter på barn

I den skadestadsberäkning för luftföroreningar som ligger till grund för nuvarande värden i ASEK ingår bara två hälsoeffekter som avser barn, för tidig födsel respektive uppkomst av astma med samband till exponering för partiklar. En litteraturgenomgång visar nu att bedömningen av evidensläget varierar mellan olika forskare och expertorgan. Ett WHO-projekt har dock rekommenderat exponeringsresponsantaganden för PM_{2.5} och autismspektumstörning, NO₂ och uppkomst av astma samt NO₂ och akut nedre luftvägsinfektion, där de två första föreslås inkluderas. Dessutom bedöms litteraturen ge stöd för att både PM_{2.5} och NO₂ inte bara ökar risken att få astma, utan även den ofta samexisterande sjukdomen allergisk rinit. Därtill bedöms det nu finnas stöd för att inkludera ett samband mellan PM_{2.5} och skolfrånvaro på liknande sätt som redan ingår ett samband med sjukdagar för de i yrkesverksamma åldersgrupper. För de tre hälsoutfall som inte tidigare ingått föreslås vilka antaganden om grundförekomst och kostnader som kan tillämpas.

Slitagepartiklar

Kunskapsöversikter och konsekvensberäkningar har fram till de senaste åren ofta antagit att halten av PM_{2.5} påverkar mortaliteten betydligt mer än halten av PM₁₀ och därmed dess grövre fraktion 2.5-10 µm med hög andel mekaniskt bildade partiklar. Nya studier och sammanvägningar om långtidsexponering och mortalitet har för PM₁₀ visat betydligt högre riskökningar än tidigare bedömningar. Höga relativa risker ses särskilt i studier med relativt låga totalhalter och där skillnader i individernas exponering främst beror på lokala utsläpp och resulterande variation i halter inom staden. Andra, ofta äldre studier, kan främst ha möjlighet att visa på skillnader i risk som beror på skillnaderna i den regionala bakgrundshalten.

Korrelationerna mellan föroreningar från samma källor är ofta höga, vilket försvårar tolkningen av relativa risker från analyser som bara studerat en förorening. En ny översikt om hur simultan justering inom studier genomsnittligt påverkar de beräknade relativa riskerna för PM_{2.5} och NO₂ har givit en bättre grund för justeringar i efterhand. När nuvarande beräkningar bakom ASEKs kalkylvärden gjordes 2018-2019, bedömdes att slitageemissionernas betydelse för mortaliteten skulle underskattas med dittills tillämpade relativa risker för PM₁₀, jämfört med det valda antagandet att andelen i finfraktionen (PM_{2.5}) är förenad med samma relativa risk per µg/m³ som det lokala bidraget av PM_{2.5} totalt. Eftersom detta antagande gav större långtidspåverkan på mortaliteten, adderades ingen sådan effekt från resterande grovfraktion. Med den nya kunskap om exponerings-responssambanden för PM₁₀ och mortalitet som nu finns, gäller inte längre att slitageemissionernas effekter på mortaliteten skattas lägre om man använder sambanden för PM₁₀, varför beräkningen för slitagepartiklar föreslås ändrad.

Kvävedioxid

Olika experters bedömningar har länge varierat om de rapporterade hälsoriskerna associerade med långtidsexponering för NO₂ är orsakssamband, eller främst beror på korrelationen mellan NO₂ och andra föroreningar från samma källor. Sambandet mellan NO₂ och mortalitet har varit den viktigaste frågan. En förstudie till det metodskapande projektet REVSEK hade rekommenderat att hälsopåverkan från vägtrafikens luftföroreningar enbart skulle beräknas utifrån de lokala utsläppens effekter på halten av PM_{2.5}. Efter förslag vid förra kompletteringen av metoden 2021 har det i ASEK lagts till en skadekostnad för NO_x baserad enbart på sambandet mellan NO₂ och mortalitet. Under 2024 har det publicerats tre viktiga kunskapsöversikter, en meta-analys kring NO₂ och mortalitet och en vägledning om morbiditet i konsekvensberäkningar, båda på initiativ av WHO, samt en EU-finansierad metodstudie om justering av relativa risken för att kunna separera effekterna mellan NO₂ och partiklar. Detta har förbättrat förutsättningarna att beräkna effekter av NO₂ på mortalitet och morbiditet, och därför lämnas nu förslag

på hur skadekostnaderna för NO_x kan beräknas med en högre relativ risk för mortalitet samt inkludering av morbiditetseffekter.

Sekundära partiklar

Beräkningarna till grund för ASEKs skadekostnader för vägtrafikens luftföroreningar har inte inkluderat sekundärt bildade partiklar till följd av NO_x-emissioner. En svensk modelleringsstudie baserad på emissionsförhållanden 2003 visade att sekundärt bildade partiklar till följd av avgasemissioner i Stockholmsområdet resulterade i en betydande befolkningsexponering om man inkluderade hela den europeiska befolkningen. SIA (secondary inorganic aerosol), inkluderande nitrat, anses ofta resultera i lägre relativ riskökning per µg/m³ än lokalt genererade partiklar från trafiken. SMHI har nu nya modellsimuleringar som visar hur stor påverkan NO_x-utsläpp från svensk vägtrafik genom sekundärbildning av partikelkomponenter (framför allt ammoniumnitrat) får på halterna av PM_{2.5} i Sverige. Resultaten visar att bidraget från vägtrafikens NO_x till PM_{2.5} är försumbart i Sverige jämfört med andra källor.

Förändring av skadekostnader

De nu föreslagna förändringarna jämfört med antaganden om luftförorenings-effekterna vid beräkningarna till grund för ASEK 8.0 sammanfattas i tabell S:1.

Med dessa föreslagna revideringar av beräkningarna till grund för skadekostnader i ASEK ökar kostnaden för PM_{2.5} (avgaspartiklar) med ca 10 % till 7928 kr/kg, där inkludering av ett samband med autismspektumstörning står för den största kostnadsökningen.

De föreslagna revideringarna medför större förändringar för slitageemissionerna, där kostnaden ökar nästan 1,9 gånger till att bli 2746 kr/kg främst till följd av en beräknad större effekt på mortaliteten.

Den största förändringen som nu föreslås gäller NO_x, där den förra revideringen införde en kostnad enbart för effekten på mortalitet vilken blev 130 kr/kg. De nu föreslagna revideringarna ger nära 10 gånger så hög total kostnad, 1267 kr/kg där effekterna på mortaliteten står för 673 kr/kg.

Många epidemiologiska analyser av samband är gjorda med en underliggande korrelation mellan NO₂ och partiklar vilken kan leda till dubbelräkning av effekter. Med denna revidering av underlaget till ASEK finns också en möjlighet att ange kostnader för partiklar respektive NO_x som är justerade för påverkan från den andra föroreningen.

Tabell S:1. Sammanfattning av i rapporten föreslagna förändringar jämfört med antaganden om olika luftföroreningars hälsoeffekter vid beräkningarna till grund för ASEK 8.0.

	ASEK 8.0	Förslag i denna rapport
Mortalitet		
Avgaser PM2.5 RR som ökning per 10 µg/m ³	26%	26%
Slitage PM10 RR som ökning per 10 µg/m ³	PM10×0,2=PM2.5 26%	13/9%
SIA PM2.5 RR som ökning per 10 µg/m ³	beaktas ej	beaktas ej
NO ₂ (från NO _x) RR som ökning per 10 µg/m ³	1%	3,9/5% med/utan just för PM2.5 (Chen 2024)
Morbiditet		
NO ₂ ingående utfall	saknas	astma, barnastma, allergisk rinit (med RR enligt text)
PM2.5 ingående utfall	hjärtinfarkt, stroke, lungcancer, demens, diabetes, KOL, barnastma, för tidig födelse, sjukdagar arbetande	lägg till ASD, allergisk rinit och sjukdagar skolbarn (med RR enligt text)

Inledning

Trafikverket har beviljat Umeå universitet ett FOI-bidrag för projektet Reviderat underlag om hälsokonsekvenser av luftföroreningar, vilket ska komplettera underlagen om luftföroreningars hälsoeffekter till grund för rekommendationer i rapporten Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn (ASEK-rapporten).

Projektets fyra delmoment syftar till:

- att analysera hur morbiditetseffekter av kvävedioxid i sig kan uppskattas med direkta beräkningar
- att studera hur de i ASEK beräknade ohälsokostnaderna för slitageemissioner som PM₁₀ påverkas av senare års resultat om sambanden mellan PM₁₀, slitagepartiklar och mortalitet
- att bedöma vilka effekter av vägtrafikens föroreningar, specifikt kväveoxider och partiklar, på barns hälsa som det finns olika grad av evidens för och hur konsekvenserna kan uppskattas och värderas
- att föreslå en metod att uppskatta kostnader för emissioner genererande exponering för sekundärt bildade partiklar

Projektet har haft medverkande från Umeå universitet (Bertil Forsberg, Hedi Kriit, Wasif Raza, Anna Oudin och Johan Sommar), Stockholms luft- och bulleranalys (Christer Johansson och Jenny Lindvall) samt SMHI (Robert Bergström).

I rapporten "Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn" presenteras de kalkylvärden och beskrivs den analysmetod som bör användas i transportsektorns samhällsekonomiska nyttokostnadsanalyser. Vägtrafikens utsläpp i form av främst partiklar och kväveoxider orsakar hälsokonsekvenser som främst uppstår lokalt inom tätorter där den totala befolkningsexponeringen blir störst. Värderingarna av luftföroreningarna hälsoeffekter följer givna rekommendationer (se ASEK 8.0 kapitel 13.2). En utgångspunkt är att värderingarna ska utgå ifrån samma värdering av ett kvalitetsjusterat levnadsår (QALY) som gäller för trafikolyckor.

Skadekostnaden kopplad till specifika föroreningar utsläpp till grund för ASEK är beräknad genom följandet av en effektkedja som går från utsläpp via exponering och samband med hälsoeffekter till en ekonomisk värdering av hälsoeffekterna. Vid värderingen av luftföroreningarnas ohälsokostnader appliceras ett samhällsperspektiv vilket betyder att alla relevanta kostnader som uppstår av ett förorsakat hälsoutfall önskas inkluderas. Dessa ohälsokostnader kan indelas i tre olika typer: behandlingskostnader, minskad produktion samt försämrade

livskvalitet. Den metod som används vid beräkningarna har beskrivits i REVSEK-rapporten (Söderqvist et al, 2019), och vid användning i vetenskapliga artiklar som en studie angående effekter av elektrifiering av fordonsflottan (Kriit et al, 2021). Underlaget kring dessa kostnader kan för olika hälsoeffekter vara mer eller mindre väl beskrivna.

Sambanden mellan emissioner och exponering i beräkningarna till grund för ASEK baserades initialt på nationella uppgifter om emissioner och befolkningsexponering (Söderqvist et al, 2019). Eftersom en beräknad genomsnittlig nationell exponering per kg utsläpp är utgångspunkten vid skadekostnadsberäkningarna, kan uppgifter om befolkningstäthet användas för att schablonmässigt eller mer i detalj tillämpa differentierade skadekostnader (Forsberg et al, 2021), vilket också framgår av kalkylbilagan i ASEK 8.0 som redovisar omräkningstal i relation till det nationella genomsnittsvärdet.

Vilka samband mellan exponerings- och riskförändring (exponerings-respons-samband) som ska tillämpas vid beräkningarna är en komplicerad bedömningsfråga där olika experter och expertorgan kan ha olika uppfattning. Epidemiologiska studier om effekter av luftföroreningar är förenade med flera osäkerhetsmoment, där kvantifiering av exponeringen är ett. Ser man till hur bedömningar av evidensläget och exempelvis WHO:s rekommendationer förändrats över tid, gäller generellt att allt fler samband anses vetenskapligt etablerade och att allt högre relativ riskökning per högre halt fastslås föreligga exempelvis för partiklar och mortalitet. I efterhand kan man därför ofta konstatera att tidigare beräkningar innebar en underskattning av föroreningarnas negativa hälsokonsekvenser. En till synes ”försiktig hållning” där man väntar längre än andra med att se rapporterade samband som tillräckligt väl underbyggda, tycks när det gäller luftföroreningar och hälsa ha inneburit att man längre än andra medverkat till beslut vilande på underskattningar av föroreningarnas konsekvenser för människors hälsa.

Referenser

Forsberg B, Lövenheim B, Sommar J N, Kriit H, Strömgren M, Johansson C. Bättre metoder att beskriva hälsovinster av minskad luftföroreningsexponering från vägtrafik. Trafikverket 2021, Rapport 2021:253.

Kriit H; Forsberg B; Åström S; Sommar J; Svensson M; Johansson C. A Health Economic Assessment of Air Pollution Effects under Climate Neutral Vehicle Fleet Scenarios in Stockholm, Sweden. *J. Transp. Health* 2021, 22, 101084.

Söderqvist T, Kriit H K, Tidblad J, Andersson J, Jansson S-A, Svensson M, Wallström J, Andersson C, Orru H, Sommar N J, Forsberg B. Underlag för reviderade ASEK-värden för luftföroreningar: Slutrapport från projektet REVSEK, Trafikverket, 2019.

Trafikverket Rapport: Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn ASEK 8.0, Trafikverket, 2024.

Inkludering av fler effekter hos barn

Bakgrund

Syftet för denna del av projektet är att belysa om det finns tillräckligt stöd i litteraturen för att kunna inkludera fler effekter av trafikens luftföroreningar på barns hälsa i de konsekvensberäkningar som används till grund för ASEK.

Bedömningen av evidensläget, vilka orsakssamband som är tillräckligt säkert fastställda, är inte alls enkel. Ibland används system och principer som innebär så höga krav att det med epidemiologiska underlag blir nära nog omöjligt att uppnå den högsta nivån av evidens. I andra änden finns analyser som lutar sig mot någon enda eller lokal studie för sin konsekvensberäkning. Dessa frågor har behandlats bl a i samband med framtagandet av WHO Air Quality Guidelines 2021 och i ett relevant projekt om trafikföroreningar genomfört för Health Effects Institute (Boogaard et al, 2022; Boogaard et al, 2023).

En sannolikt mycket viktig analys med rekommendationer gällande sambanden mellan de viktigaste luftföroreningarna och morbiditet publicerades i slutet av juni 2024 som en del av WHO-projektet "Estimation of Morbidity from Air Pollution and its Economic Costs" (EMAPEC) (Forastiere et al, 2024). I det arbetet har man granskat publicerade litteraturgenomgångar, inklusive meta-analyser om föroreningarnas effekter på barn.

Efter den senaste revideringen av beräkningarna till grund för ASEK (Forsberg et al, 2021) ingår som hälsoeffekter av partiklar förutom mortalitet nio morbiditetseffekter enligt tabell 1:1. Bara två av dessa kan anses avse påverkan på barn, uppkomst av astma hos barn respektive för tidig födsel, vilket kan förefalla märkligt när barn ofta lyfts fram som en särskilt känslig grupp för luftföroreningarnas effekter.

Tabell 1:1. Hälsoutfall som ingår i kostnadsberäkningarna bakom gällande ASEK-värden.

Hälsoutfall som inkluderas	ER-funktion	Anmärkning
Mortalitet (30+ år)	Turner MC, 2016	
Dagligt antal dödsfall (tot, alla åldrar)	Meister K, 2012	Ej för PM2.5
<u>Morbiditet</u>		
Hjärtinfarkt	Cesaroni G, 2014	
Stroke	Staffoglia M, 2014	
Lungcancer	Hvidtfelt, 2021	Tillkom 2021
Demens	Yu X et al, 2020	Tillkom 2021
Diabetes	He D, 2017	
KOL	Weichentahl S, 2017	
Barnastma/Astma	Khreis H, 2017	
För tidig födsel	Klepac P, 2018	
Sjukdagar (15-64 år)	Ostro B, 1987	

Litteraturöversikter och projekt

Det finns många översiktsartiklar om luftföroreningseffekter på barn, men deras metoder och slutsatser är i varierande grad etablerade. Så har exempelvis nyligen en systematisk litteraturöversikt om luftföroreningar från trafik och hälsoeffekter hos barn upp till och med 5 års ålder presenterats av forskare från Kalifornien (Spencer-Hwang et al, 2023). Man sökte via databaser fram artiklar om trafikrelaterade luftföroreningar (CO, NO₂, SO₂, O₃, PM₁₀, PM_{2.5}) och hälsoeffekter med fokus på halter under US EPA:s gränsvärden från 2016. Totalt 52 studier uppfyllde inklusionskriterierna och kategoriserades i sju olika hälsoutfall: luftvägssjukdomar (28 studier), utvecklingsstörning (8 studier), allergier (7 studier), öroninfektioner (9 studier), cancer (4 studier), fetma (3 studier) och övrigt. Det fanns många statistiskt säkerställda samband mellan enskilda föroreningar och specifika hälsoutfall, men författarna gjorde ingen ansats att väga samman resultaten per luftförorening och utfall, utan konstaterar att det starkaste stödet finns för ökad risk för luftvägssjukdomar, särskilt astma.

Till grund för denna analys har använts dels en rapport om möjliga hälsovinster av sänkta halter som vi gjort på uppdrag av Naturvårdsverket (Oudin et al, 2022), uppföljd med en litteratursökning i databasen PubMed. Målet har varit att för bedömningen använda de mest uppdaterade litteraturgenomgångar och meta-analyser som har publicerats, där analyserna kring trafikföroreningar inom projektet för Health Effects Institute (Boogaard et al, 2022), samt om morbiditetseffekter inom WHO-projektet "Estimation of Morbidity from Air Pollution and its Economic Costs" (Forastiere et al, 2024) ses som centrala.

I nuvarande beräkningar som underlag för värderingarna inom ASEK ingår endast två effekter på barn av luftföroreningsexponering, *för tidig födsel och uppkomst av astma*. Ser man till slutsatserna i vår rapport om hur evidensläget bedömts av andra, t ex i HEI-projektet, så finns inte stark evidens för ytterligare hälsoeffekter på barn. Tvärtom ser HEI- "high confidence" i evidensen enbart för total mortalitet, cirkulatorisk mortalitet och mortalitet i ischemisk hjärtsjukdom. För påverkan på barn ses "moderat to high confidence" bara för astmauppkomst och nedre luftvägsinfektioner (Boogaard et al, 2022). För låg födelsevikt anges i samma studie "moderate confidence" och beträffande för tidig födsel är bedömningen "low confidence". HEI-projektets inkludering av studier påverkas av fokus på trafiken som föroreningskälla.

Inom WHO-projektet EMAPEC har man gjort bedömningen att det för effekter på barn finns tillräcklig evidens för astmauppkomst (PM_{2.5} respektive NO₂), nedre luftvägsinfektioner (NO₂) och autismspektrumstörning, ASD, (PM_{2.5}) enligt tabell 2 som är baserad på Forastiere et al (2024). Astmauppkomst hos barn till följd av exponering för PM_{2.5} ingår redan i beräkningarna för ASEK 8.o.

I rapporten för Naturvårdsverket (Oudin et al, 2022) rekommenderas jämfört med rapporterna från HEI- respektive EMAPEC-projekten att beakta fler effekter på barn. Där accepterades välgjorda bedömningar exempelvis gjorda av specialister inom olika områden, varvid sambandet mellan långtidsexponering för PM_{2.5} och astmauppkomst, nedre luftvägsinfektioner, för tidig födsel, låg födelsevikt respektive autism i åtminstone någon sådan artikel hade bedömts vara kausalt. Vår litteraturgenomgång under våren 2024 visar dessutom att olika översiktsartiklar, varav många från 2023 och 2024, funnit stöd för att flera andra effekter på barn, bland annat allergisk rinit, påverkas av barnens luftföroreningsexponering.

På samma sätt som att exponeringen för olika föroreningar från samma källa korrelerar, så korrelerar ofta exponeringsnivåerna under graviditeten och under barndomen. Det är därför svårt att avgöra vilket tidsfönster som haft störst betydelse för risken hos fallen som debuterar mellan de första levnadsåren och vuxen ålder. Då uppgifter om relativ risk och grundförekomst avser prevalens används principen att beräkna fall och kostnader per år utifrån den andel av befolkningsexponeringen i beräkningsmodellen för ASEK som motsvarar en årskull av barn.

Tabell 1:2. Hälsoutfall (morbidity) som från WHO/EMAPEC rekommenderas att inkluderas.

Utfall (incidens)	ICD-10 kod	Ålder (år)	EVI	RR (95% KI) per 10 µg/m ³	Exponering som range (µg/m ³)	Referens
Långtidsexponering för PM _{2.5}						
Astma hos barn	J45	0–18	A	1.34 (1.10, 1.63)	5–38	Khreis et al
KOL	J41–J44	30+	A	1.18 (1.13, 1.23)	5–26	Park et al
IHD ^a	I21–I22	30+	A	1.13 (1.05, 1.22) ^b	5–65	Zhu et al
Stroke	I60–I64	30+	A	1.16 (1.12, 1.20) ^b	5–36	Yuan et al
Hypertension	I10–I11	30+	A	1.17 (1.05, 1.30) ^b	5–77	Qin et al
Diabetes (typ 2)	E11–E14	30+	B+	1.10 (1.03, 1.18) ^b	5–79	Yang et al
Demens	F00–F03, G30	60+	B+	1.46 (1.20, 1.78) ^b	5–25 ^c	Cheng et al
ASD	F84.0, F84.1, F84.5, F84.8, F84.9	2–12	B+	1.66 (1.23, 2.25) ^b	5–30 ^c	Lin et al
Lungcancer	C34	30+	A	1.16 (1.10, 1.23)	5–44	Yu et al
Långtidsexponering för NO ₂						
Astma hos barn	J45	0–18	A	1.10 (1.05, 1.18)	10–39	Khreis et al
Astma hos vuxna	J45	19+	A	1.10 (1.01, 1.21)	10–40	HEI
Akut nedre luftvägs-infektion hos barn	J12–J18, J20–J22	0–12	A	1.09 (1.03, 1.16)	10–56	HEI

Förslag om hälsoutfall möjliga att lägga till

Vid den inledande litteraturgenomgången (och delrapporteringen) konstaterades att det fanns ett antal tidigare ej inkluderade samband som var värda att utreda vidare inom projektet. Nedan diskuteras förutsättningarna för att inkludera sambanden i värderingen av emissionernas och exponeringens konsekvenser. Möjligheterna beror på hur effekterna kan kvantifieras, vilket kräver data om grundförekomst, och hur de går att samhällsekonomiskt värderas. Beträffande inkluderingen av NO₂ och astmauppkomst i WHO:s vägledande EMAPEC så finns redan underlag om förekomst och kostnader i ASEK-modellens beräkningar för PM_{2.5}.

Allergisk rinit

Exponerings-responssamband

Luftföroreningarnas betydelse för allergiutveckling har blivit allt mer etablerad (Zhang & Aktis, 2024). En systematisk litteraturöversikt om prenatal exponering för luftföroreningars effekt på astma och allergisk snuva inkluderade 38 studier publicerade fram till maj 2023 (Ai et al, 2024). Sambandet mellan PM_{2.5} och AR/hösnuva belystes i 8 studier, och lika många för NO₂. Uppföljningen gjordes oftast upp till 6 års ålder. Sammanvägt ökade risken (som oddskvot, OR) 1,36 (95% KI 1,17 - 1,58) per 10 µg/m³ PM_{2.5}. För NO₂ ökade risken (OR) 1,26 (95% KI 1,08 - 1,48) per 10 µg/m³.

En annan litteraturöversikt inkluderade 35 studier om luftföroreningsexponering och prevalensen av allergisk rinit oavsett ålder vid exponeringsmätning eller uppföljning (Li et al, 2022). Huvuddelen av de inkluderade studierna avsåg dock hur prevalensen hos barn och tonåringar påverkades, och för dessa beräknades sammanvägt från 11 studier riskökningen (OR) 1,11 (95% KI 1,06 – 1,16) per 10 µg/m³ PM_{2.5}, medan 24 studier resulterade i 1,14 (95% KI 1,07 – 1,22) per 10 µg/m³ NO₂ (Li et al, 2022). Med tanke på att prevalensen har en betydande ökning upp till ung vuxen ålder (se nedan) förefaller det lämpligt att för konsekvensberäkningen använda de relativa riskerna från Li et al (2022) som inte domineras av samband gällande fram till skolstart.

Förbättringar av luftkvaliteten har också visats följas av en minskad förekomst av allergisk sjukdom (Chen et al, 2024). Allergisk rinit fanns inte med bland de utfall inkluderade på evidenslistorna från EMAPEC- och HEI-projekten, men det gjorde astma där det finns en stor överlappning som styrker fynden att risken för allergisk rinit ökar med högre luftföroreningsexponering.

Förekomst

Från den svenska födelsekohorten i Stockholmsområdet med namnet BAMSE har rapporterats att symtomgivande rinit med pollenallergi vid 8 års ålder fanns hos 10,5 procent, vid 16 års ålder hos 22,5 procent och vid 24 års ålder hos 25,3 procent, med lägre incidens vid högre ålder (Lindqvist et al, 2023).

Studier av remission (tillfrisknande) vid allergisk rinit i vuxen ålder har visat att detta är vanligt. Bland personer 20-44 år med allergisk rinit i den nordeuropeiska studien RHINE hade sjukdomen hos 26 procent 20 år senare gått i remission (Heldin et al, 2022). Motsvarande siffror var 27 procent som gått i remission vid 45-51 år, 32 procent för personer 52-57 år och 36 procent för personer 58+ år. Eftersom incidensen faller med åldern samtidigt som remissionen ökar så kommer prevalensen att vara lägre med stigande ålder.

Vi antar här att i åldern 7-17 år har 15% rinit med en genomsnittlig duration på 6,25 år eftersom man kan räkna med en prevalens av allergisk rinit på 10 procent bland 7-åringar och bland 10 år äldre minst dubbelt så hög andel. Vi antar för enkelhetens skull att runt 18 års ålder har 20% allergisk rinit och antar att remissionen kompenserar incidensen högre upp i åldrarna så att efter 50 år har hälften gått i remission med ett linjärt samband. I åldern 18-68 år antas den genomsnittliga sjukdomsdurationen vara 37,5 år, och utan övre åldersgräns i genomsnitt 45 år bland vuxna.

Autismspektrumstörning

Exponerings-responssamband

En systematisk litteraturgenomgång om ASD med artiklar publicerade fram till april 2022 kom slutligen att inkludera totalt 30 artiklar om 27 studier gällande exponering under graviditet och/eller spädbarnstid (Liu et al, 2023). Man fann att risken (OR) ökade med 1,34 (95% KI 1,12 – 1,60) per 10 µg/m³ PM_{2.5}.

I en snarlik systematisk litteraturgenomgång söktes artiklar fram till mars 2024 om exponering och ASD hos barn upp till 5 år, där utvalda 28 studier slutligen blev 14 studier från 2013 – 2023 (Amnuaylojaroen et al, 2024). Man fann att risken (OR) ökade med 1,22 (95% KI 1,11 – 1,34) per 10 µg/m³ PM_{2.5}. I meta-analyserna ingår svenska studier av ASD och NO₂ respektive PM_{2.5} vilka fann statistiskt signifikanta samband (Oudin et al, 2019; Flanagan et al, 2023). En liknande litteraturgenomgång har fokuserat på andra föroreningsmått än PM, bl a NO₂, NO_x och metaller, och vid meta-analys funnit statistiskt signifikanta samband (Duque-Cartagena et al, 2024).

Inom WHO-projektet EMAPEC (Forastiere et al, 2024) har man gjort bedömningen att exponerings-responssambandet för ASD bör hämtas från en systematisk

litteraturoversikt med en meta-analys publicerad 2022 (Lin et al, 2022). I översikten inkluderades 31 studier, men enbart 20 inkluderade tillräckligt med information för att kunna tas med i meta-analysen.

Inom WHO-projektet EMAPEC har meta-analyserna från utvalda översiktsartiklar ibland räknats om, och för denna meta-analys om exponering under första levnadsåret och risken för ASD uteslöts en studie eftersom två artiklar baserades på samma kohort, samt valdes för en annan studie ett estimat utan justering för andra tidsfönster enligt supplementet till Forastiere et al (2024). Det rekommenderade antagandet är att för exponering under första levnadsåret kan man för fall upp till 12 års ålder räkna med en relativ risk på 1.66 (95% KI 1.23-2.25) per 10 µg/m³ PM_{2.5} vid halter på 5-30 µg/m³ PM_{2.5}.

Förekomst

Diagnostik och förekomst av ASD varierar mellan studier, men prevalensen bedöms i allmänhet till minst 1,5 procent (Lyall et al, 2017). En studie från USA rapporterade nyligen att prevalensen ökat under senare år och närmat sig 3 procent i åldern 3-17 år (Zhang et al, 2024). Prevalensen bedöms i Sverige ligga omkring 1-2 procent, och i kohorten av barn födda i Skåne 2000-2009 följda till 2017 var den kumulativa prevalensen 0,9 procent, men de yngsta barnen hade då bara följts till 8 års ålder (Flanagan et al, 2023).

Intellectuell funktionsnedsättning hos barn med ASD har rapporterats förekomma hos från cirka 30 procent (Christensen et al, 2016) till 38 procent av fallen (Maenner et al, 2023), men bland vita barn var andelen i den senare studien 32 procent vid 8 års ålder (Maenner et al, 2023).

Det förefaller rimligt att för Sverige anta en prevalens i grundskoleåldern på 1,5 procent, varav 30 procent med intellectuell funktionsnedsättning.

Sjukfrånvaro i skolan

Exponerings-responssamband

En systematisk litteraturoversikt om luftföroreningars effekt på sjukdagar/sjukfrånvaro kom 18 tidsseriestudier från 1997 – 2022 att inkluderas i de slutliga meta-analyserna, varav 11 studier med data om skolbarns frånvaro (Orellano et al, 2023). Skolfrånvaron ökade vid sammanvägning av 8 samband med 1,0173 (95% KI 1,0056 – 1,0290) per 10 µg/m³ PM_{2.5}. För NO₂ var sambandet på gränsen till att vara statistiskt säkerställt. En studie av 36 skolor i Utah, USA, vilken utifrån mätdata och avståndsvägning använde modellberäknade korttidshalter (och därför inte inkluderats i ovan nämnda meta-analys) 2015-2018, beräknade att riskkvoten under höstterminerna var cirka 1,02 per µg/m³ högre halt av PM_{2.5}.

dagen innan (Menduza et al. 2020). I denna studie beräknades även hur mycket frånvaron kostar i termer av oanvända skolresurser och att föräldrar får vara hemma från sitt arbete för att ta hand om sjuka barn.

Det finns även beräkningar baserade på medelvärden av inomhushalter enligt mätkampanjer. Den årliga frånvarofrekvensen ökade med halten av PM_{2.5} i en studie av 31 skolor i amerikanska Midwestern, 1 µg/m³ högre halt av PM_{2.5} minskade närvaron med cirka 0,2% (Deng et al, 2023).

Resultatet från meta-analysen av studier om skolbarns frånvaro i relation till årsmedelvärden av PM_{2.5} bedöms som mest relevant underlag för hälsokonsekvensberäkningar, varför skolfrånvaron kan beräknas öka med 1,0173 (95% KI 1,0056 – 1,0290) per 10 µg/m³ PM_{2.5} (Orellano et al, 2023).

Förekomst

Skolverket har inte kunnat redovisa någon relevant statistik över sjukfrånvaro bland elever i olika årskurser. Försäkringskassan har däremot rapporterat antal ersatta dagar för tillfällig vård av barn (VAB) i olika åldrar (Socialförsäkringsrapport 2021:2). Det genomsnittliga uttaget för barn i åldern 6-11 år beräknas till 4,9 dagar per år.

Skolprestationer

Partikelexponeringens negativa effekter på kognitiva funktioner har redovisats i ett stort antal studier av äldre, men även i studier av barn. En översikt av exponering av skolbarn fann att studierna av kognitiva effekter var för heterogena för en meta-analys (An et al, 2021). En stor studie som omfattar alla skoldistrikt i hela USA fann att för varje µg/m³ högre halt av PM_{2.5} i respektive county (mv ca 100 000 inv) så minskade inlärningen med 0,6% av en standardavvikelse (Pham & Roach, 2023).

Detta utfall har inte inkluderats i de fortsatta analyserna eftersom det dels inte är en ren hälsopåverkan, men också för att resultaten från olika studier ett försök till metaanalys var för heterogena (An et al, 2021).

Akut infektion i nedre luftvägarna

Inom WHO-projektet EMAPEC har man bedömt att det finns tillräcklig evidens för ett samband mellan NO₂ och akut nedre luftvägsinfektion hos barn, varvid man rekommenderat exponerings-responssambandet för trafikrelaterad NO₂ från ett HEI-projekt (Boogaard et al, 2022; HEI, 2022). Detta utfall har inte inkluderats i de fortsatta analyserna eftersom det handlar om episoder av akut karaktär (oftast bland småbarn) som i studierna undersökts med väldigt olika metoder, från retrospektivt besvarade föräldraformulär till diagnosdata från inläggningar på sjukhus. Med så olika mått och svårighetsgrad blir det omöjligt att meningsfullt

uppskatta förekomsten bland barn, därmed också stora svårigheter att beräkna förorsakade fall och kostnader. Bland barn i skolåldern kan man dessutom anta att akuta infektioner i nedre luftvägarna leder till skolfrånvaro.

Kostnadsmodell för tillkommande hälsoutfall

Allmänt

Vid värderingen av luftföroreningarnas hälsokostnader till grund för ASEK appliceras ett samhällsperspektiv vilket betyder att alla relevanta kostnader som uppstår ett förorsakat hälsoutfall inkluderas, vilka kan sägas gälla tre olika typer av följder: behandlingskostnader, minskad produktion och försämrad livskvalitet. Den metod som används vid beräkningarna har beskrivits i REVSEK-rapporten (Söderqvist et al, 2019), och i vetenskapliga artiklar som en studie angående effekter av elektrifiering av fordonsflottan (Kriit et al, 2021).

Direkta behandlingskostnader till följd av hälsokonsekvenserna kan vara kostnader för sjukvård, läkemedel, rehabilitering etc. Produktionsbortfallet orsakat av hälsokonsekvenserna (ibland även definierat som indirekta kostnader) räknas som den ekonomiska värderingen av de produktionsförluster som uppstår på grund av förtida död eller sjuklighet. Beräkning enligt humankapitalmetoden utgår från marknadspriset på lön för att värdera bortfall. Det ekonomiska värdet av minskad mortalitet och morbiditet per se, vilket ofta uttrycks som betalningsviljan för att minska risken för mortalitet och morbiditet, beräknas med hjälp av ett standardiserat hälsovärderingsmått som t.ex. kvalitetsjusterade levnadsår (quality adjusted life years – QALY) eller funktionsnedsatta levnadsår (disability adjusted life years – DALY med konceptuella (Drummond et al., 2015). Även om principen vid beräkningarna för ASEK har varit att inkludera alla tre typerna av kostnader, så finns inte vetenskapliga underlag för alla hälsoutfall (Söderqvist et al, 2019).

Allergisk rinit

Kostnaderna för allergisk rinit uppskattas utifrån en studie av Cardell et al. (2016). Studien baseras på att man genomförde en enkätstudie bland vuxna personer 18-65 år i Sverige. De totala snittkostnaderna, som inkluderar både direkta och indirekta kostnader, beräknades motsvara 961,1 €₂₀₁₄ per år per individ med allergisk rinit. De totala kostnaderna beräknades vara 3,8 gånger högre för personer med måttlig eller svår allergisk rinit jämfört med individer med lindrig allergisk rinit, vilket förekom hos 62 procent av fallen. Hela 70 procent av de totala kostnaderna beräknades bero på produktionsbortfall. För heltidsstuderande beräknades de direkta kostnaderna för sjukvård och läkemedel i genomsnitt vara 284,4 €₂₀₁₄ per år.

För att beräkna behandlings- och produktionskostnader inkluderar vi före 18 års ålder enbart direkta kostnaderna för sjukvård och läkemedel på 284,4 €₂₀₁₄ per år, därefter 961,1 €₂₀₁₄ per år. Vi antar att prevalensen från 7 till 17 år går från 10 till 20 procent, dvs i genomsnitt är den 15 procent bland barnen i denna ålder. Kostnaden per fall summerat över 10 år blir 2844 €₂₀₁₄, vilket omräknat till 2017 års penningvärde blir € 2895 motsvarande SEK 27 900 (1Euro=9.6361 SEK).

Då vi antar att vid 18 års ålder har 20% allergisk rinit och efter 50 år har hälften gått i remission med ett linjärt samband, blir i åldern 18-68 år den genomsnittliga sjukdomsdurationen 37,5 år. Det innebär en kostnad per fall på 961,1 €₂₀₁₄ per år, vilket omräknat till 2017 års penningvärde (år i beräkningsverktyget för ASEK) blir € 36 700 eller SEK 353 500. Vi inkluderar inte några kostnader för behandling och produktionsbortfall efter 68 års ålder, eftersom prevalens och konsekvenser är mindre väl beskrivet för äldre (Bozek, 2017; Baptist et al, 2016) och produktionsbortfall är den helt dominerande posten i studien av Cardell et al (2016).

För QALY-beräkningen föreslås använda de livkvalitetsvikter som rapporterats av Hillerich et al (2024) baserat på en tysk studie av patienter där användning av med standardformulär (EQ-5D-5L index) gav vikten 0.887 (SD 0.173). Durationen upp till och med 17 års ålder antas i genomsnitt vara 6 år och från 18 års ålder i genomsnitt 45 år.

Autismspektrumstörning

ASD är associerad med signifikanta långtidskostnader för hälso- och sjukvården och socialtjänsten, samt finansiella kostnader för individer med ASD plus deras familjer och i samhället stort. Därför är förslaget att använda livstidskostnaderna för ASD som av Buescher et al. (2014) uppskattades att i UK uppgå till £₂₀₁₂ 920 000 för fall utan intellektuell nedsättning, och £₂₀₁₂ 1.5 miljoner med intellektuell nedsättning. En studie av Zhao et al (2024) beräknade också livstidskostnader för ASD med och utan intellektuell nedsättning till motsvarade \$₂₀₂₀ 2.65 miljoner och \$₂₀₂₀ 4.61 miljoner i Kina. Båda studiernas kostnadsestimat innehåller direkta, indirekta och sociala kostnader. Resultaten i Buescher et al. (2014) bedöms vara mer överförbara till Sverige eftersom Sveriges hälso- och sjukvård, välfärdstjänster och utbildningssystem är mer lika Englands än Kinas. Om man antar att andelen med intellektuell nedsättning utgör 30 procent så blir den genomsnittliga livstidskostnaden genomsnittliga livstidskostnaden £1 094 000, omräknat till SEK₂₀₁₇ 12 000 000 .

Andra kostnadsstudier som beräknar kostnader relaterade till ASD inkluderar bara direkta kostnader för barn (Jarbrink 2007; de Oliveira et al, 2024) och tar inte hänsyn till exempelvis kostnaderna förknippade med anpassad utbildning, föräldrarnas produktionsbortfall eller produktionsbortfall i vuxen ålder för personer med ASD.

För att beräkna *quality-adjusted life years* är förslaget att hämta livkvalitetsvikter från studie gjord av Klang et al (2022), som genomförde en enkätstudie bland ASD diagnostiserade vuxna i Sverige. Totalt deltog 110 individer med ASD i studien och den uppskattade EQ-5D index bland ASD diagnostiserade vuxna i Sverige rapporterades att vara 0.60. Eftersom prevalensen ökar fram till tonårsåldern har den genomsnittliga durationen antagits vara 66 år.

Sjukfrånvaro i skolan

Kostnaderna för att luftföroreningar ökar antalet VAB-dagar kan beräknas per dag lika med produktionsbortfallet bland vuxna vilket värderas till 2028 SEK per dag i ASEK (2017) baserat på uppgifter om genomsnittslön från Statistiska centralbyrån (SCB). Denna metod har vetenskapligt publicerats i en studie om luftföroreningshalternas effekter på sjukskrivning i Sverige (Kriit et al, 2024).

Referenser

- Ai S, Liu L, Xue Y et al. Prenatal Exposure to Air Pollutants Associated with Allergic Diseases in Children: Which Pollutant, When Exposure, and What Disease? A Systematic Review and Meta-analysis. *Clinic Rev Allerg Immunol* 2024;66, 149–163.
- An F, Liu J, Lu W, & Jareemit D. A review of the effect of traffic-related air pollution around schools on student health and its mitigation. *Journal of Transport & Health* 2021;23, 101249.
- Amnuaylojaroen T, Parasin N, Saokaew S. Exploring the association between early-life air pollution exposure and autism spectrum disorders in children: A systematic review and meta-analysis. *Reprod Toxicol.* 2024 Apr;125:108582.
- Baptist AP, Nyenhuis S. Rhinitis in the Elderly. *Immunol Allergy Clin North Am.* 2016 May;36(2):343-57.
- Barregård, L., Staaf, H, Söderqvist, T. Utveckling av ASEKs kalkylvärden för luftföroreningar: En förstudie. PM, Trafikverket, 2015.
- Boogaard H, Patton A P, Atkinson R W, Brook J R, Chang H H, Crouse D L, ... & Forastiere F. Long-term exposure to traffic-related air pollution and selected health outcomes: A systematic review and meta-analysis. *Environment international* 2022, 164, 107262.
- Boogaard H, Atkinson RW, Brook JR, Chang HH, Hoek G, Hoffmann B et al. Evidence synthesis of observational studies in environmental health: lessons learned from a systematic review on traffic-related air pollution. *Environ Health Perspect* 2023;131(11):115002.

Bozek A. Pharmacological Management of Allergic Rhinitis in the Elderly. *Drugs Aging* 2017;34, 21–28.

Buescher AVS, Cidav Z, Knapp M, Mandell DS. Costs of Autism Spectrum Disorders in the United Kingdom and the United States. *JAMA pediatrics* 2014; 168(8): 721-8.

Cardell L-O, Olsson P, Andersson M, et al. TOTALL: high cost of allergic rhinitis-a national Swedish population-based questionnaire study. *NPJ primary care respiratory medicine* 2016; 26(1): 15082-.

Chen, T., Shi, S., Li, X., Zhou, L., Yu, Y., Cai, Y. et al. Improved ambient air quality is associated with decreased prevalence of childhood asthma and infancy shortly after weaning is a sensitive exposure window. *Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology* 2024;79, 1166–1179.

Christensen DL, Baio J, Van Naarden Braun K, Bilder D, Charles J, Constantino JN, Daniels J, Durkin MS, Fitzgerald RT, Kurzius-Spencer M, Lee LC, Pettygrove S, Robinson C, Schulz E, Wells C, Wingate MS, Zahorodny W, Yeargin-Allsopp M; Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Prevalence and Characteristics of Autism Spectrum Disorder Among Children Aged 8 Years--Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network, 11 Sites, United States, 2012. *MMWR Surveill Summ.* 2016 Apr 1;65(3):1-23. doi: 10.15585/mmwr.ss6503a1. Erratum in: *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2016 Apr 22;65(15):404. doi: 10.15585/mmwr.mm6515a7. Erratum in: *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2018 Nov 16;67(45):1279.

Deng, S., Lau, J., Wang, Z., & Wargocki, P. (2023). Associations between illness-related absences and ventilation and indoor PM_{2.5} in elementary schools of the Midwestern United States. *Environment International*, 176, 107944.

Drummond MF. Methods for the economic evaluation of health care programmes. Fourth edition / Michael F. Drummond, Mark J. Sculpher, Karl Claxton, Greg Stoddart, George W. Torrance.. ed. Sculpher MJ, Claxton K, Stoddart GL, Torrance GW, editors. Oxford: Oxford : Oxford University Press, 2015.

Duque-Cartagena T, Dalla MDB, Mundstock E, Neto FK, Espinoza SAR, de Moura SK, Zanirati G, Padoin AV, Jimenez JGP, Stein AT, Cañon-Montañez W, Mattiello R. Environmental pollutants as risk factors for autism spectrum disorders: a systematic review and meta-analysis of cohort studies. *BMC Public Health.* 2024 Sep 3;24(1):2388.

Filippini T, Heck JE, Malagoli C, Del Giovane C, Vinceti M. A review and meta-analysis of outdoor air pollution and risk of childhood leukemia. *J Environ Sci Health C Environ Carcinog Ecotoxicol Rev.* 2015;33(1):36–66.

Forastiere F, Spadaro J, Ancona C, Jovanovic Andersen Z, Cozzi I, Gumy S, Loncar D, Mudu P, Medina S, Perez Velasco R, Walton H, Zhang J, Krzyzanowski M. Choices of morbidity outcomes and concentration–response functions for health risk assessment of long-term exposure to air pollution. *Environmental Epidemiology* 2024;8(4):p e314.

Forsberg B, Lövenheim B, Sommar J N, Kriit H, Strömgren M, Johansson C. Bättre metoder att beskriva hälsovinster av minskad luftföroreningsexponering från vägtrafik. Trafikverket 2021, Rapport 2021:253.

Heldin J, Malinovschi A, Johannessen A, Alving K, Holm M, Franklin KA, Forsberg B, Schlünssen V, Jögi R, Gislason T, Benediktsdottir B, Svanes C, Janson C. Clinical Remission of Asthma and Allergic Rhinitis - in a Longitudinal Population Study. *J Asthma Allergy*. 2022 Nov 4;15:1569-1578. doi: 10.2147/JAA.S378584. PMID: 36387839; PMCID: PMC9643071.

HEI (Health Effects Institute), 2022. Systematic Review and Meta-Analysis of Selected Health Effects of Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution. Special Report 23. Boston, MA, US: Health Effects Institute. Update April 5, 2023.

Hillerich V, Valbert F, Neusser S, Pfaar O, Klimek L, Sperl A, et al. Quality of life and healthcare costs of patients with allergic respiratory diseases: a cross-sectional study. *The European journal of health economics*. 2024;25(4):579–600.

Jarbrink K. The economic consequences of autistic spectrum disorder among children in a Swedish municipality. *Autism: the international journal of research and practice* 2007; 11(5): 453-63.

Klang A, Westerberg B, Humble MB, Bejerot S. The impact of schizotypy on quality of life among adults with autism spectrum disorder. *BMC Psychiatry* 2022; 22(1): 205-.

Kriit HK, Forsberg B, Nilsson Sommar J. Increase in sick leave episodes from short-term fine particulate matter exposure: A case-crossover study in Stockholm, Sweden. *Environ Res*. 2024 Mar 1;244:117950.

Kriit, H.; Forsberg, B.; Åström, S.; Sommar, J.; Svensson, M.; Johansson, C. A Health Economic Assessment of Air Pollution Effects under Climate Neutral Vehicle Fleet Scenarios in Stockholm, Sweden. *J. Transp. Health* 2021, 22, 101084.

Li S, Wu W, Wang G, Zhang X, Guo G, Wang B et al. Association between exposure to air pollution and risk of allergic rhinitis: a systematic review and meta- analysis. *Environ Res*. 2022;205:112472.

Lin LZ, Zhan XL, Jin CY, Liang JH, Jing J, Dong GH. The epidemiological evidence linking exposure to ambient particulate matter with neurodevelopmental disorders: A systematic review and meta-analysis. *Environ Res*. 2022 Jun;209:112876.

Lindqvist M, Leth-Møller KB, Linneberg A, Kull I, Bergström A, Georgellis A, Borres MP, Ekeboom A, van Hage M, Melén E, Westman M. Natural course of pollen-induced allergic rhinitis from childhood to adulthood: A 20-year follow up. *Allergy*. 2024 Apr;79(4):884-893.

Liu H, Ding L, Qu G, Guo X, Liang M, Ma S, Sun Y. Particulate matter exposure during pregnancy and infancy and risks of autism spectrum disorder in children: A systematic review and meta-analysis. *Sci Total Environ*. 2023 Jan 10;855:158830.

Lu, W., Hackman, D. A., & Schwartz, J. (2021). Ambient air pollution associated with lower academic achievement among US children: a nationwide panel study of school districts. *Environmental epidemiology*, 5(6), e174.

Lyall K, Croen L, Daniels J, Fallin MD, Ladd-Acosta C, Lee BK, Park BY, Snyder NW, Schendel D, Volk H, Windham GC, Newschaffer C. The Changing Epidemiology of Autism Spectrum Disorders. *Annu Rev Public Health*. 2017 Mar 20;38:81-102.

Maenner MJ, Warren Z, Williams AR, Amoakohene E, Bakian AV, Bilder DA, Durkin MS, Fitzgerald RT, Furnier SM, Hughes MM, Ladd-Acosta CM, McArthur D, Pas ET, Salinas A, Vehorn A, Williams S, Esler A, Grzybowski A, Hall-Lande J, Nguyen RHN, Pierce K, Zahorodny W, Hudson A, Hallas L, Mancilla KC, Patrick M, Shenouda J, Sidwell K, DiRienzo M, Gutierrez J, Spivey MH, Lopez M, Pettygrove S, Schwenk YD, Washington A, Shaw KA. Prevalence and Characteristics of Autism Spectrum Disorder Among Children Aged 8 Years - Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network, 11 Sites, United States, 2020. *MMWR Surveill Summ*. 2023 Mar 24;72(2):1-14.

Mendoza, D. L., Pirozzi, C. S., Crosman, E. T., Liou, T. G., Zhang, Y., Cleaves, J. J., ... & Robert, P. I. (2020). Impact of low-level fine particulate matter and ozone exposure on absences in K-12 students and economic consequences. *Environmental Research Letters*, 15(11), 114052.

de Oliveira C, Tanner B. Estimating Cumulative Health Care Costs of Childhood and Adolescence Autism Spectrum Disorder in Ontario, Canada: A Population-Based Incident Cohort Study. *PharmacoEconomics - open* 2023; 7(6): 987-95.

Orellano P, Reynoso J, Quaranta N. Effects of air pollution on restricted activity days: systematic review and meta-analysis. *Environ Health*. 2023 Mar 30;22(1):31.

Oudin A, Forsberg B, Malmqvist E. Hälsovinster med att uppnå miljömålet frisk luft. *Folkhälsa och klinisk medicin i Umeå rapporterar 2/2022*, Umeå universitet, 2022.

Oudin A, Frondelius K, Haglund N, Källén K, Forsberg B, Gustafsson P, Malmqvist E. Prenatal exposure to air pollution as a potential risk factor for autism and ADHD. *Environ Int.* 2019 Dec;133(Pt A):105149.

Pham L, Roach T. Particulate pollution and learning. *Economics of Education Review*, 2023, 92: 102344.

SCB: Genomsnittlig månadslön, kronor efter sektor, Yrke (SSYK 2012), kön, utbildningsnivå och år
http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_AM_AM0110_A_M0110A/LonYrkeUtbildning4A/

Socialförsäkringsrapport 2021:2. Tillfällig föräldrapenning vid vård av barn. Försäkringskassan, 2021.

Spencer-Hwang, R., Hwang, J., Sinclair, R. et al. Adverse health outcomes in early childhood (birth to 5 years) and ambient air pollutant exposures: a systematic review. *Air Qual Atmos Health* 16, 913–944 (2023).

Sunyer J, Esnaola M, Alvarez-Pedrerol M, et al. Association between traffic-related air pollution in schools and cognitive development in primary school children: a prospective cohort study. *PLoS Med.* 2015;12(3):e1001792.

Söderqvist, T., Barregård, L., Johansson, N., Molnár, P., Nordäng, S., Staaf, H., Svensson, M., Tidblad, J., Wallström, J. Effektkedjor och skadekostnader som underlag för revidering av ASEK-värden för luftföroreningar. Ärendenummer TRV 2016/2932, Rapport, Trafikverket, 2017.

Söderqvist T, Kriit H K, Tidblad J, Andersson J, Jansson S-A, Svensson M, Wallström J, Andersson C, Orru H, Sommar N J, Forsberg B. Underlag för reviderade ASEK-värden för luftföroreningar: Slutrapport från projektet REVSEK. Trafikverket, 2019.

Zhang B, Wu H, Zhang C, Wan L, Yang G. Prevalence Trends and Treatment Patterns of Autism Spectrum Disorder Among Children and Adolescents in the United States from 2017 to 2020. *Neurol Ther.* 2024 Oct 5.

Zhang L, Akdis CA. Environmental exposures drive the development of allergic diseases. *Allergy: European journal of allergy and clinical immunology.* 2024;79(5):1081–4.

Zhao Y, Lu F, Wang X, et al. The economic burden of autism spectrum disorder with and without intellectual disability in China: A nationwide cost-of-illness study. *Asian J Psychiatr* 2024; 92: 103877-.

Reviderad beräkning gällande slitagepartiklar

Bakgrund

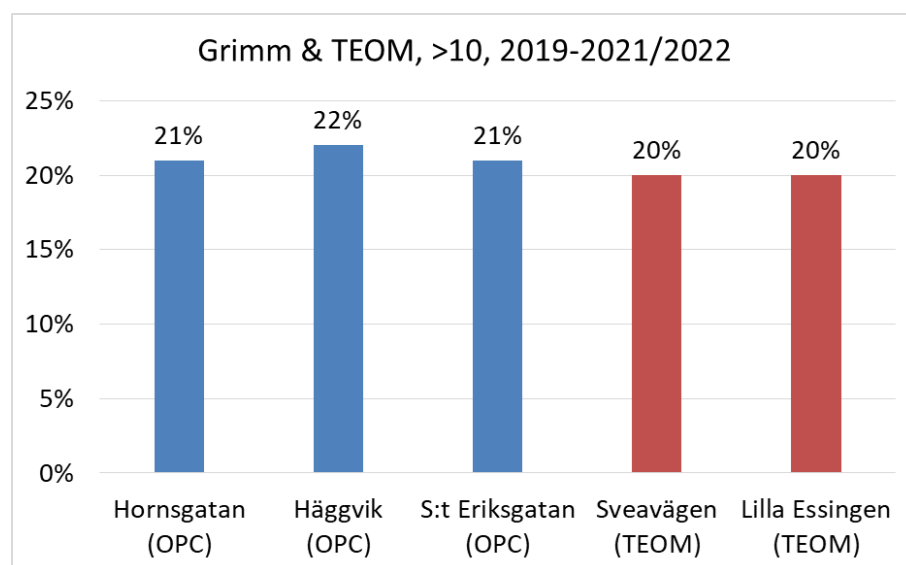
I nuvarande underlag för ASEK konstaterades att exponeringen för vägdammm på grund av emissioner av slitagepartiklar teoretiskt beräknades ge större konsekvenser för mortalitet och förlorade år om man räknade enbart utifrån den fina fraktionen (PM_{2.5}) jämfört med att använda PM₁₀ (Söderqvist et al, 2019). Den antagna högre relativa risken per µg/m³ av lokalt PM_{2.5} mer än vägde upp för att finfraktion bara utgör en mindre andel av PM₁₀ (Söderqvist et al, 2019). Avsikten var att undvika en underskattning gällande mortalitets-effekter av slitagepartiklarna, och någon relativ risk för lokalt eller trafikrelaterat PM₁₀ hade inte hittats. Sedan dess har två möjliga förändringar i underlagen tillkommit, vilka gör att beräkningen av hälsokonsekvenserna till följd av emissionerna av slitagepartiklar som PM₁₀ skulle kunna behöva justeras. Det handlar dels om osäkerhet kring vad som skall antas om andel av emissionen PM₁₀ slitage som utgörs av PM_{2.5}, dels om nya underlag gällande exponerings-responssambanden gällande långtidsexponering för PM₁₀ respektive PM_{2.5} och mortalitet.

Vägtrafikens slitagepartiklar består av mekaniskt bildade partiklar från däck, bromsar, vägbana samt resuspenderade partiklar vilka utgör en blandning av damm som har ackumulerats på väggytan (Picitello et al, 2021; Harrison et al, 2021). Huvuddelen av den epidemiologiska och experimentella forskningen om trafikens luftföroreningar fokuserar på partiklar och gaser från motoravgaserna. De icke avgas-relaterade föroreningarna har inte alls studerats lika ingående (Kahn et al, 2018; Fussell et al, 2022). Medan gaser som exempelvis kvävedioxid har samma egenskaper överallt, så varierar sammansättningen av slitagepartiklarna liksom resuspenderat vägdammm, mellan platser och över tid beroende på bland annat fordonen (däcktyper och hastigheter) och vägytorna.

Det har länge antagits att utöver den totala koncentrationen borde partiklarnas kemiska sammansättning ha stor betydelse för partikelhaltens hälsoeffekter. De epidemiologiska studierna med analyser av samband observerade med exempelvis metaller som krom, vanadin, nickel, koppar, zink, och järn, liksom med elementärt och organiskt kol, eller komponenter som ”damm”, har dock fokuserat på PM_{2.5} (en begränsning när det gäller värdering av vägdammm som PM₁₀), och inte varit särskilt samstämmiga i sina resultat för olika hälsoeffekter av kort- och långtidsexponering (Fussell et al, 2022).

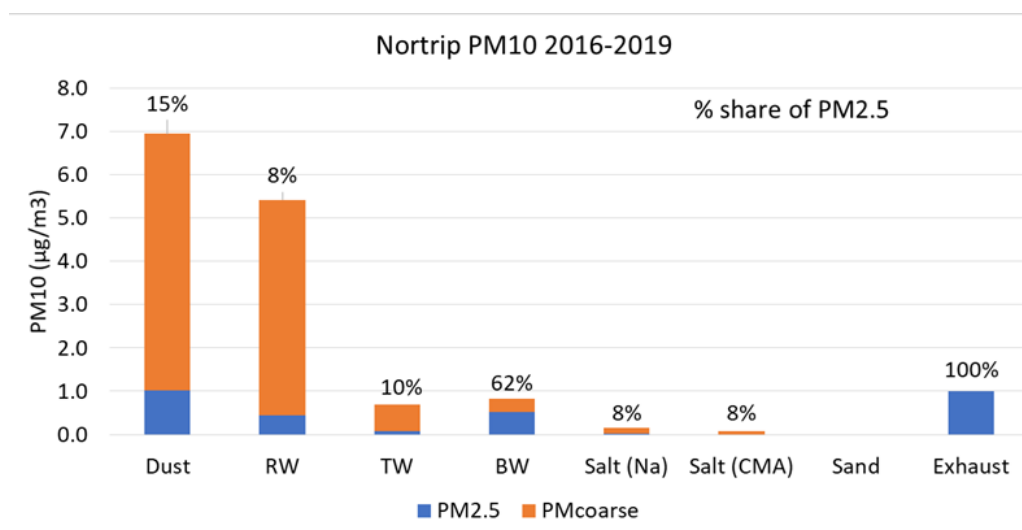
Andel PM2.5 av slitage PM10

I projektet Nordic Road Dust Project Phase II (Gustafsson et al., 2024) analyserades andelen PM2.5 i PM10. Det mest tillförlitliga underlaget kommer från samtidigt uppmätta halter av PM2.5 och PM10 vid 5 mätstationer invid hårt trafikerade vägar i Stockholmsregionen. Utifrån mätningarna kan effekten av den lokala vägtrafikens bidrag till halterna av PM10 och PM2.5 beräknas, dvs exklusive andra källors bidrag. Den genomsnittliga andelen PM2.5 av PM10 är cirka 20 % baserat på 3 års mätningar (se figur 2:1). Det innebär att den genomsnittliga andelen PM2.5 i det helt dominerande bidraget från slitagepartiklar också är nära 20 %.



Figur 2:1. Andel PM2.5 av PM10 baserat på 5 mätstationer och två olika metoder, en optisk OPC (Optical Particle Counter) och en massbaserad: TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance). Hämtad från Gustafsson et al. (2024).

Den uppmätta andelen PM2.5 av PM10 innefattar bidrag från både slitagepartiklar och avgaser. Eftersom PM2.5 andelen varierar beroende på om det är avgaser eller slitagegenererade partiklar som utgör störst bidrag till emissionerna kommer också andelen PM2.5 i PM10 att variera. Figur 2:2 visar andelen PM2.5 i PM10 för olika källor i NORTRIP-modellen. Andelen varierar från 100 % i avgaser och 62 % i bromsslitage ner till 8 % i direktemitterat vägslitage och salt. När vägbanorna är torra efter långa perioder med våta vägbanor och mycket vägbaneslitage på grund av dubgade vinterdäck dominerar uppvirvlat vägdamm med en PM2.5 andel på ca 15 %. Under perioder med blöta vägbanor utgör avgaserna en stor del av bidraget till PM10, vilket betyder att andelen PM2.5 närmar sig 100 %. Detta innebär också att andelen PM2.5 kan variera utifrån olika vägtyper, användningen av salt, sand och dammbindningsmedel och i olika delar av Sverige beroende på andel fordon med dubbdäck samt även klimatförhållandena.



Figur 2:2. Genomsnittliga bidrag till PM10 halterna på Hornsgatan i Stockholm 2016-2019 samt andelen PM2.5 i PM10 från olika källor enligt Nortripmodellen. Dust = uppvirvlat damm från vägbanan, RW = direktemitterat vägbaneslitage, TW = däckslitage, BW = bromsslitage, Salt (Na) = vägsalt, Salt (CMA) = dammbindningsmedel, Sand = sandningssand, Exhaust = avgaser. PMcoarse = halten PM10 minus PM2.5. Hämtad från Gustafsson et al. (2024).

Exponerings-responssamband för PM10 och mortalitet

Tidigare antaganden

Kunskaperna om luftföroreningarnas hälsoeffekter är genom nya forskningsresultat under ständigt tillväxt. Så sent som i Partikelhaltsutredningens betänkande *Skatt på dubbdäcks-användning i tätort* (SOU 2015:27) beräknades effekterna på mortaliteten till följd av halten av slitagepartiklar mätt som PM10 med en antagen relativ risk på 1,7% per 10 µg/m³. Denna relativa risk hämtades från en studie av dygnsmedelhalter och dagligt antal dödsfall från Stockholm (Meister et al, 2012). Utredningens antagande kan i efterhand med ny kunskap ses som felaktigt och underskattande, men det kan inte anses ha varit olämpligt med den kunskap som fanns vid tiden för utredningen.

Enligt analysen till grund för nuvarande beräkningar för ASEK antogs mortalitetseffekterna av emissionerna av slitagepartiklar/vägdamm underskattas om beräkningen baseras på exponering och etablerad exponerings-responsfunktion för PM10 jämfört med att bara beakta den finare PM2.5-fraktionens 26 % per 10 µg/m³ när man fokuserade på det urbana bidraget (Söderqvist et al, 2019). Slutsatsen baserades på att nationella emissionsdata angav att andelen PM2.5 var

20% i slitageemissionerna som PM₁₀. Vid denna tidpunkt visade meta-analyser för PM₁₀ och mortalitet på en relativ risk på 3-4 % per 10 µg/m³ (Hoek et al, 2013).

Ny kunskap

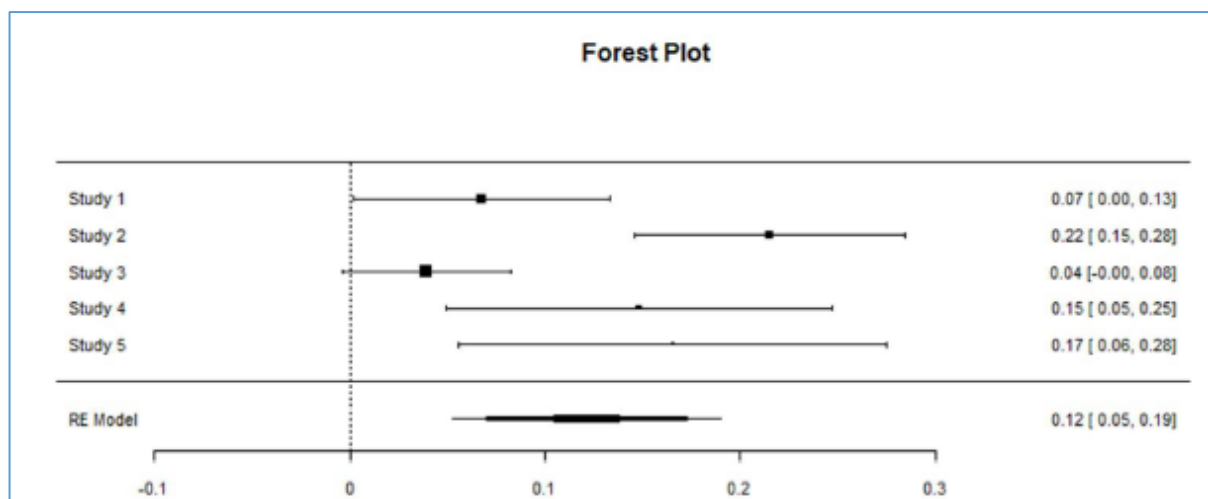
Låga halter ger högre riskökning

Den review som ligger till grund för den senaste bedömning av PM₁₀ och mortalitet i WHO AQG från 2012 presenterar en meta-skattning baserad på 17 studier (publicerade före november 2018), vilken resulterade i en sammanvägd relativ risk på 1,04 (95% KI 1,03 -1,06) per 10 µg/m³ (Chen & Hoek, 2020). Anmärkningsvärt är att författarna bakom denna översikt inte lyft fram att en meta-koefficient för studierna med de lägsta halterna av PM₁₀ skulle visa på en betydligt högre relativ risk än totalt för alla studier medräknade. Att den relativa risken vid låga halter stiger brantare med halten för den finare fraktionen PM_{2.5} påtalas däremot i artikeln. Fem av de 17 inkluderade studierna om PM₁₀ och mortalitet hade en genomsnittshalt på 25 µg/m³ eller lägre och relativa riskerna dessa studier gav framgår i tabell 2:1. En av dessa fem studier hade en relativ risk på just 1,04 per 10 µg/m³, övriga fyra låg högre med en relativ risk per 10 µg/m³ PM₁₀ på 1,07, 1,16, 1,18 och 1,24.

Tabell 2:1. Studier med en genomsnittshalt av PM₁₀ på 25 µg/m³ eller lägre ingående i metaanalysen presenterad av Chen & Hoek 2020.

Studie i Chen & Hoek, 2020	Medel/Medianhalt PM ₁₀ (10 µg/m ³)	5:e percentilen PM ₁₀ (µg/m ³)	Relativ risk per 10 µg/m ³ [Hazard ratio] (95% KI)
Carey et al, 2013	19,7	15,9	1,07 (1,00 – 1,14)
Hansell et al, 2016	20,7	16,5	1,24 (1,15 – 1,32)
Beelen et al, 2014	20,9	13,7	1,04 (1,00 - 1,09)
Puett et al, 2008	21,6	15,1	1,16 (1,05 – 1,28)
Bentayeb et al, 2015	25,0	15,0	1,18 (1,06-1,32)

Dessa fem studier ger vid meta-analys (random effects) en HR på 1,13 (95% KI 1,05-1,21) per 10 µg/m³, i figur2:3 nedan ges lutningskoefficienterna.



Figur 2:3. Forest plot från sammanvägning av betakoefficienter från de fem studierna i tabell 1.

Efter datainsamlingen för den review och meta-analys som togs fram för WHO:s nya Air Quality Guidelines har fler relevanta studier om PM₁₀ och mortalitet tillkommit. En studie från Danmark av en forskningskohort med deltagare från Köpenhamns- och Århusområdena modellerade exponeringen med hög upplösning (inklusive gaturumsbidrag) och rapporterade en relativ risk på 1,12 (95% KI 1,03-1,22) per 10 µg/m³ PM₁₀ (Hvidtfeldt et al, 2019).

En mycket stor nationell registerstudie från Nederländerna avser dödsfall under en 8-årsperiod bland cirka 7,5 miljoner personer över 30 år (Fischer et al, 2020). Exponeringen från olika källor har modellerats i rutor om 1 * 1 km, samt kompletterats med en vägtrafikmodell med hög upplösning. Den beräknade relativa risken för PM₁₀ (totalhalt) blev 1,12 (95% KI 1,09-1,14) per 10 µg/m³ PM₁₀. I denna studie beräknades även olika komponenter som primärt (direktemitterat, huvudsakligen lokalt bidrag) respektive sekundärt PM₁₀. Halten av primärt PM₁₀ (PPM₁₀) var i genomsnitt 4,7 µg/m³, och den relativa risken 1,21 per 10 µg/m³ PPM₁₀ (95% KI 1,17-1,24) efter justering för sekundärt PM₁₀ som SIA (Secondary Inorganic Aerosol). Vid simultan justering även för NO₂ utgör den relativa risken för PPM₁₀ 1,20 per 10 µg/m³ PPM₁₀ och för PPM₁₀ från vägtrafik beräknas drygt 1,17 per 10 µg/m³ (Fischer et al, 2020). Beräkningen för primära partiklar i den fina fraktionen PPM_{2.5} tyder på liten skillnad och ger bara något högre riskökning per 10 µg/m³ än med grovfraktionen i PPM₁₀ inkluderad (RR=1,19).

Ny systematisk översikt 2024

Eftersom ny kunskap växer fram snabbt har WHO efter publiceringen av nya WHO Air Quality Guidelines i samarbete med fristående forskare fortsatt arbetet med att göra systematiska litteratursammanställningar och metaanalyser.

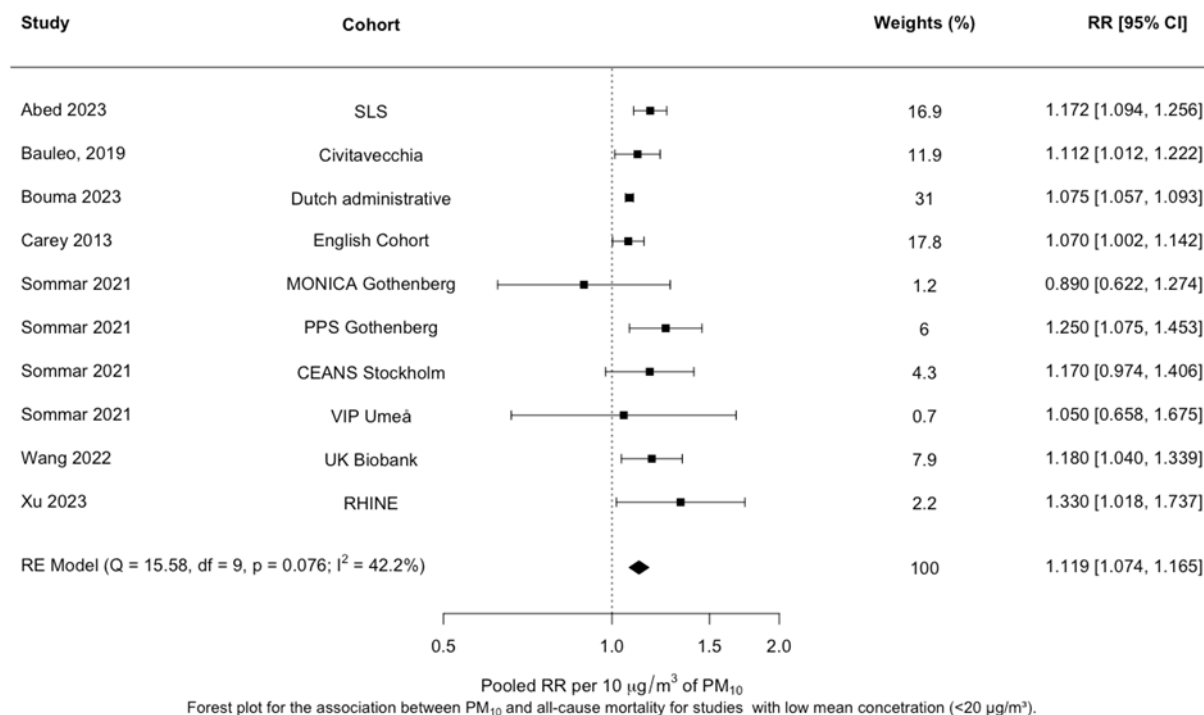
Rekommendationerna gällande exponerings-responsantaganden gällande

morbiditetseffekter av de viktigaste luftföroreningarna publicerades i slutet av juni 2024 (Forastiere et al, 2024) som en del av WHO-projektet "Estimation of Morbidity from Air Pollution and its Economic Costs" (EMAPEC).

Beträffande långtidsexponeringens effekter på mortalitet har man parallellt drivit arbetet med HRAPIE-2. "Health Risks of Air Pollution in Europe" med syftet att utifrån en systematisk litteraturoversikt och metaanalys ge rekommendationer angående vilka exponerings-responssambanden man kan anta med den senaste forskningen beaktad. Resultatet publicerades den 27 september 2024 (Orellano et al, 2024), alltså bara tre år efter WHO:s guidelines och fyra år efter WHO:s underlag i litteraturoversikten av Chen & Hoek (2020).

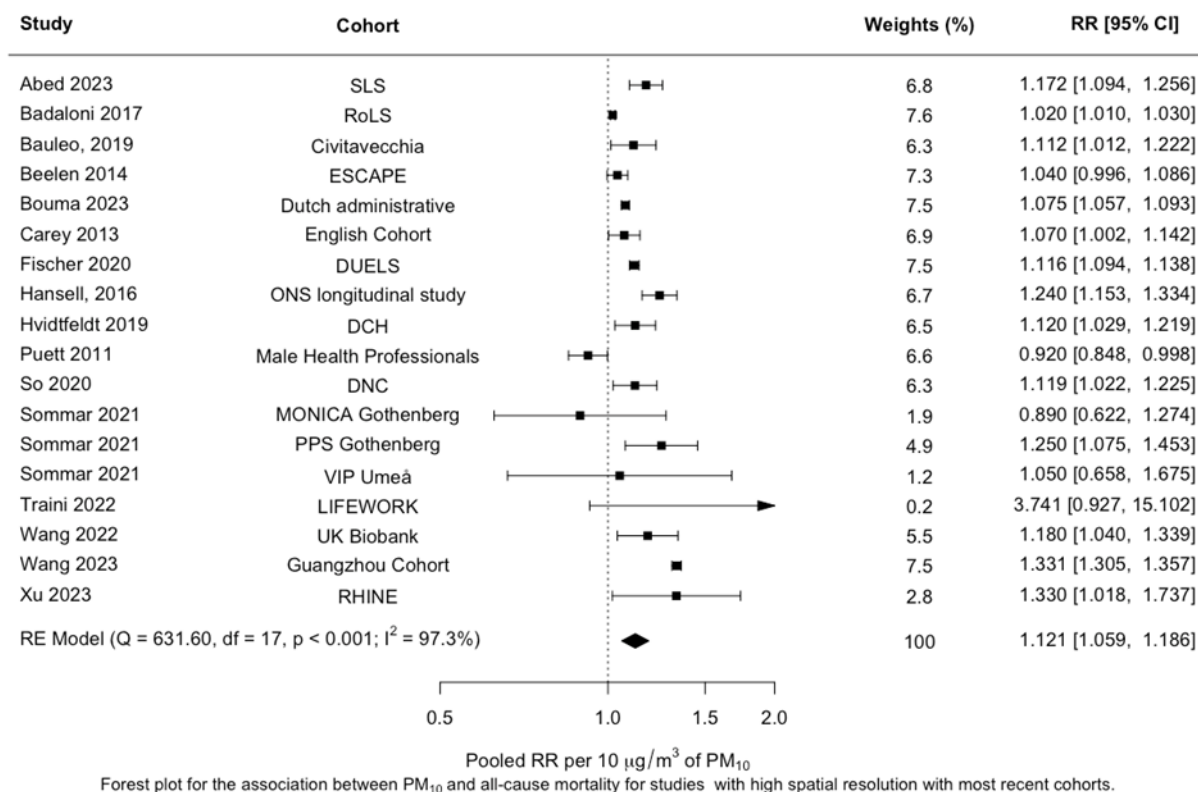
Den nya analysen inkluderar hela 28 studier vilka resulterade i en sammanvägd relativ risk för PM₁₀ och mortalitet på 1,08 per 10 µg/m³ (95% KI 1,05-1,11), alltså dubbelt så hög (Orellano et al, 2024). Av särskilt intresse ur svensk synpunkt är de nordiska studier som ingår i analysen. De svenska kohorterna från Stockholm som ingår i inkluderade europeiska ESCAPE gör att publikationen från det svenska forskningsprogrammet SCAC bara nämns men inte inkluderats (Sommar et al, 2021). Däremot ingår två olika forskningskohorter från Danmark som båda rapporterar en högre relativ risk än den sammanvägda, 1,12 per 10 µg/m³ (95% KI 1,029-1,219) (Hvidtfeldt et al, 2019) respektive 1,119 per 10 µg/m³ (95% KI 1,022-1,225) (So et al, 2020).

Vi har gjort en sammanvägning med studierna som inkluderades i metaanalysen hos Orellano et al (2024) och ytterligare två studier som publicerades efter deras sista sökning, vilka hade en medelhalt under 20 µg/m³, samt de svenska kohorterna från SCAC (Sommar et al 2021) som inte ingick i publikationen från ESCAPE men hade en medelhalt under 20 µg/m³. Den sammanvägda relativa risken baserad på 10 kohorter blev 1,12 per 10 µg/m³ (95 % KI 1,074 – 1,165) enligt figur 2:4.



Figur 2:4. Forest plot med effektestimat för studierna med medelhalt < 20 µg/m³.

Vi har även gjort en sammanvägning med studierna som hade en finare geografisk upplösning än 1*1 km från metaanalysen i Orellano et al (2024) (Figur 2:5), samt från SCAC (Sommar et al 2021) lagt till de svenska kohorterna som inte ingick i publikationen från ESCAPE. Den sammanvägda relativa risken för PM₁₀ och total mortalitet blev 1,12 per 10 µg/m³.



Figur 2:5. Forest plot med effektestimat för studierna med upplösning < 1×1 km.

Tilläggs kan att även för PM_{2.5} gav den uppdaterade metaanalysen presenterad i Orellano et al (2024) nu en högre relativ risk än den använda i WHO Air Quality Guidelines, 1,095 i stället för 1,08 per 10 µg/m³. Ökningen av den relativa risken vid inkludering av nyare studier var alltså mycket större för PM₁₀. Den senaste och mer omfattande analysen av långtidsexponering och mortalitet pekar nu på nästan lika hög relativ risk per 10 µg/m³ för PM₁₀ som för PM_{2.5}, fast medianexponeringen och spridningen för PM₁₀ i studierna i genomsnitt är drygt 50 % högre. Detta tyder på att när samtliga inkluderade studier används, tycks grovfraktionen av PM₁₀ (PM₁₀ – PM_{2.5}) ha nästan lika hög relativ risk per 10 µg/m³ som finfraktionen. Dessa sammanvägda relativa risker bygger dock på resultaten från alla inkluderade studier, oavsett världsdel, exponeringsnivå, källor eller spatial upplösning, där relevansen i europeiskt och svenskt perspektiv kan variera avsevärt. Om man begränsar exempelvis till studier av det urbana bidraget och effekten av ”inomstadsvariationen” i epidemiologiska studier kanske skillnaderna i relativ risk mellan fraktionerna vore större.

Aktuella svenska studier

Två relevanta svenska studier av PM₁₀ och mortalitet samt ytterligare en studie där svenska kohorter ingår har publicerats efter översikten skrevs inför de nya WHO Air Quality Guidelines.

Inom naturvårdsverkets forskningsprogram Swedish Clean Air and Climate Research Program (SCAC) studerades fyra forskningskohorter från Umeå, Göteborg och Stockholm med lite olika ålderssammansättning och uppföljningsperioder (Sommar et al, 2021). I studien användes en samordnad modellering av exponeringen för luftföroreningar av regionalt och lokalt ursprung med hög upplösning (ner till 50*50 m), beräkning av samband inom respektive stad, följt av en sammanvägning. Den ihopviktade relativa risken blev 1,17 per 10 µg/m³ PM₁₀ (95% KI 1,06-1,31) med en genomsnittshalt på cirka 11 µg/m³ under föregående 5 år.

En liknande studie har gjorts med en forskningskohort i Malmö, där exponeringen modellerats högupplöst baserat på emissionsdata ungefär som i SCAC (Olstrup et al, 2023). Den beräknade relativa risken för PM₁₀ blev 1,06 (95% KI 1,02-1,11) för en ökning motsvarande IQR under föregående 5 år (medelhalt cirka 16 µg/m³), vilket ger en relativ risk på 1,32 per 10 µg/m³ PM₁₀. Vid en simultan justering med NO_x blev dock koefficienten negativ för PM₁₀.

Tre forskningskohorter i Sverige som skapades 1990 i Göteborg, Uppsala och Umeå ingår tillsammans med Aarhus, Reykjavik, Bergen och Tartu i RHINE (Respiratory Health in Northern Europe). En analys av mortaliteten under 2010-2021 fann en relativ risk på 1,33 per 10 µg/m³ PM₁₀ (95% KI 1,02-1,74) för halten vid inklusionen 1990, men betydligt lägre 1,10 per 10 µg/m³ för halten 2010 (Xu et al, 2023).

Exponerings-responssamband för vägdamm

Korttidsexponering

Vägtrafikens slitagepartiklar består av mekaniskt bildade partiklar från däck, bromsar, vägbana samt resuspenderade partiklar vilka utgör en blandning av damm som har ackumulerats på väggytan (Picitello et al, 2021; Harrison et al, 2021). Huvuddelen av den epidemiologiska och experimentella forskningen om trafikens luftföroreningar fokuserar på partiklar och gaser från motoravgaserna. Det icke avgas-relaterade föroreningarna har inte alls studerats lika ingående (Kahn et al, 2018; Fussell et al, 2022). Medan gaser som exempelvis kvävedioxid har samma egenskaper överallt, så varierar sammansättningen av slitagepartiklarna liksom resuspenderat vägdamm, mellan platser och över tid beroende på bland annat fordonen och vägytorna.

Det har länge antagits att partiklarnas kemiska sammansättning utöver den totala koncentrationen borde ha stor betydelse för deras hälsoeffekter. De epidemiologiska studierna med analyser av samband observerade med exempelvis metaller som krom, vanadin, nickel, koppar, zink, och järn, liksom med elementärt och organiskt kol, eller komponenter som ”damm”, har dock fokuserat på PM_{2.5} (en begränsning är det gäller värdering av vägdamm som PM₁₀), samt varit ganska motsägelsefulla i sina resultat för olika partikeltypers hälsoeffekter vid kort- respektive långtidsexponering (Fussell et al, 2022).

En systematisk review som analyserade sambanden i 32 studier av korttidsexponering för olika partikelkomponenter för storleksfraktionen PM_{2.5} och konstaterades ett statistiskt signifikant samband mellan exponering för zink och kardiovaskulär mortalitet (Yang et al, 2019). Någon enskild partikelkomponent som sammanvägt hade signifikant samband med total eller respiratorisk mortalitet fanns inte enligt denna metaanalys. Samma systematiska översikt identifierade 11 kohortstudier av långtidseffekter vilka uppfyllde inklusionskraven, där de sammanvägda sambanden blev statistiskt signifikanta för zink och naturlig mortalitet, samt för järn och zink signifikanta för kardiovaskulär mortalitet.

Bland de studier som använt receptormodellering och undersökt källbidrag fann en studie från Barcelona dagligt antal dödsfall hade samband med halterna av vägdamm (Ostro et al, 2011). I en annan studie från New York State (USA) konstaterades att vägdamm hade ett statistiskt signifikant samband med ökning av dagligt antal sjukhusinläggningar för ischemisk hjärtsjukdom (Rich et al, 2019).

För korttidshalterna finns inte samma problem med hög korrelation mellan halten av vägdamm och fordonsavgaser eftersom årstid och väderförhållanden påverkar halterna på olika sätt. Sambandet mellan vägdamm och dagligt antal dödsfall visades för Stockholm redan 2012 (Meister et al, 2012), och senare studier har bekräftat starka effekter av grovfraktionen i Stockholm under vägdammperioden (Olstrup et al, 2019). För PM₁₀ som utgörs av vägdamm är grovfraktionen (2,5-10 µm) dominerande, och tidigare har diskuterats att det troligen främst är finfraktionen som leder till ökad dödlighet (Brunekreef & Forsberg, 2005). Nya, omfattande studier av korttidseffekterna på dagligt antal dödsfall visar dock att räknat per µg/m³ högre halt är ökningen ungefär lika stor för grovfraktionen av PM₁₀ (Liu et al, 2022) som för PM_{2.5} (Liu et al, 2019). Detta kan ses som ett stöd för slitagepartiklarnas toxicitet, men när man beräknar långtidsexponeringens effekt på mortaliteten brukar någon korttidseffekt inte adderas utan antas huvudsakligen inberäknad i relativa risken från studier av långtidseffekten av samma luftförorening.

Långtidsexponering

Från SCAC slutrapportering finns även ännu opublicerade resultat gällande sambandet mellan den modellerade halten av vägdamm och mortalitet i fyra

forskningskohorter från Umeå, Göteborg och Stockholm, vilka liknar resultaten för PM₁₀ i samma projekt, 1,17 per 10 µg/m³ PM₁₀ (95% KI 1,06-1,31) (Sommar et al, 2021a) eftersom kontrasterna inom städerna drivs av lokalt vägdamm. I ett manus avsett att publiceras (Stockfeldt, muntlig kom) beräknas en ökning på 22% per 10 µg/m³ för vägdamm modellerat med en upplösning ner till 50*50 m, men den höga korrelationen med PMavgaser komplicerar värderingen av resultatet. I en mindre studie av enbart kohorten från Umeåområdet med en annan modellering av exponering med 1 km-rutor fanns inga signifikanta samband mellan halten av totaldamm ("dust") och mortalitet (Sommar et al, 2021b).

Förslag om ny beräkning gällande mortalitet

Generellt fokuseras mer på PM_{2.5} än PM₁₀ i såväl globala som nationella och källspecifika hälsokonsekvensbedömningar, men särskilt för slitagepartiklar kan det bli en underskattning av effekterna att bara beakta finfraktionen inom PM₁₀ eftersom grovfraktionen står för en många gånger större andel av den totala exponeringen.

Eftersom WHO bl a i sina Air Quality Guidelines (WHO, 2021) liksom andra expertorgan som amerikanska Naturvårdsverket (USEPA, 2022) fortfarande menar att man inte kan ange källspecifika relativa risker för PM_{2.5} eller PM₁₀ finns idag inte något allmänt vetenskapligt förankrat underlag för att beräkna hälsokonsekvenserna av trafikens slitagepartiklar som PM₁₀ annorlunda än för PM₁₀ totalt. Visserligen utgör den fina fraktionen en mindre andel i PM₁₀ slitage än i den typiska totalhalten av PM₁₀, vilket om det egentligen är finfraktionen som genererar sambanden med PM₁₀ skulle leda till en överskattning av slitageemissionernas konsekvenser. Mot denna farhåga kan invändas att en stor del av exponeringsskillnaderna för PM₁₀ i de mest relevanta kohortstudierna beror på "inomstads-variation" i halten, där halten av slitagepartiklar är en dominerande faktor. I den svenska SCAC-studien är den genomsnittliga PM₁₀-exponeringen och kvartilavståndet (IQR) för slitagepartiklar cirka 6 gånger högre än för de starkt korrelerade avgaspartiklarna. Ökningen av mortaliteten är 17 % per 10 µg/m³ PM₁₀ (Sommar et al, 2021) och för slitagepartiklar som PM₁₀ beräknas ökningen 22 % per 10 µg/m³ utan justering för avgaspartiklarna. Om slitagepartiklarna i de svenska städerna har haft en mindre än typisk effekt på mortaliteten skulle det med deras relation i masskoncentration innebära att avgaspartiklarna måste vara förenade med en ökning i storleksordning 100 % eller mer per 10 µg/m³. Mot en generellt väsentligt lägre effekt på mortaliteten av grovfraktionen inom PM₁₀ talar främst resultaten i den senaste litteraturöversikten för WHO, där PM₁₀ har nästan lika hög relativ risk per µg/m³ som PM_{2.5} trots att medelhalten är mer än 50 % högre för PM₁₀ (Orellano et al, 2024). Därtill fann man i Nederländerna en liten skillnad i relativ risk per µg/m³ mellan primära partiklar i finfraktionen (PPM_{2.5}) och med primära partiklar i grovfraktionen inkluderade (PPM₁₀) (Fischer et al, 2020).

Den genomförda analysen av exponerings-responssamband för långtidsexponering för PM₁₀ talar beträffande mortalitet (total i åldern 30+) för att man för slitagepartiklar som PM₁₀ utifrån de för svenska förhållanden mest relevanta studierna bör anta en relativ risk på minst 1,12 per 10 µg/m³. Denna relativa risk är dock inte justerad för NO₂, vilket skulle kunna göras som för PM_{2.5} enligt det EU-finansierade projektet Urban Burden of Disease Estimation for Policy Making (Chen et al, 2024), som fann att simultan justering i studier av långtidsexponeringens effekt på mortaliteten medför i genomsnitt 22,6 % för NO₂ och 32,3 % för PM_{2.5}. Efter en justering av relativa risken för PM₁₀ och mortalitet enligt denna ”schablon” beräknad för PM_{2.5}, skulle den justerade relativa risken för PM₁₀ bli 1,08 per 10 µg/m³. Detta skulle resultera i att det finns två mortalitetskostnader per ton utsläpp för PM₁₀, där tillämpningen avgör vilket som passar. En åtgärd som exempelvis dubbdäcksförbud, vilken minskar slitagepartiklarna, skulle använda beräkningar för PM₁₀ som är justerade för NO₂.

Med förslaget till förändring av beräkningen hur PM₁₀ slitage påverkar mortaliteten följer inte att man för PM_{2.5} från avgaser behöver ändra antagandet om en relativ risk på 1,26 per 10 µg/m³. Denna relativa risk för lokalt (”near source”) PM_{2.5} baseras på en modell med simultan justering för NO₂, ozon och regional bakgrundshalt av PM_{2.5} (Turner et al, 2016). Det är även så att när man i den stora europeiska studien ELAPSE bara inkluderade exponeringar <12 µg/m³ PM_{2.5} blev relativa risken för total mortalitet 1,30 per 5 µg/m³ (Strak et al, 2021), vilket skulle motsvara 1,69 per 10 µg/m³. Även med en justering för NO₂ enligt schablonen ovan kommer man att hamna på en högre relativ risk än den som har tillämpats för PM_{2.5}.

Referenser

- Beelen R, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M, Andersen Z.J, Weinmayr G, Hoffmann B, Wolf K, Samoli E, Fischer P., Nieuwenhuijsen M., et al. Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: An analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *Lancet*. 2014;383:785–795.
- Bentayeb M, Wagner V, Stempfelet M, Zins M, Goldberg M, Pascal M, Larrieu S, Beaudeau P, Cassadou S, Eilstein D, Filleul L, Le Tertre A, Medina S, Pascal L, Prouvost H, Quénel P, Zeghnoun A, Lefranc A. Association between long-term exposure to air pollution and mortality in France: A 25-year follow-up study. *Environ Int*. 2015 Dec;85:5-14.
- Brunekreef B, Forsberg B. Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health. *Eur Respir J*. 2005 Aug;26(2):309-18.
- Carey IM, Atkinson RW, Kent AJ, van Staa T, Cook DG, Anderson HR. Mortality associations with long-term exposure to outdoor air pollution in a national English cohort. *Am J Respir Crit Care Med*. 2013 Jun 1;187(11):1226-33.

- Chen J, Hoek G. Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environ Int.* 2020 Oct;143:105974.
- Chen X, Gehring U, Dyer GMC, Khomenko S, de Hoogh K, Tonne C, Tatah L, Vermeulen R, Khreis H, Nieuwenhuijsen M, Hoek G. Single- and two-pollutant concentration-response functions for PM_{2.5} and NO₂ for quantifying mortality burden in health impact assessments. *Environ Res.* 2024 Dec 15;263(Pt 3):120215.
- Fischer PH, Marra M, Ameling CB, et al. . Particulate air pollution from different sources and mortality in 7.5 million adults - The Dutch Environmental Longitudinal Study (DUELS). *Sci Total Environ.* 2020;705:135778.
- Fussell JC, Franklin M, Green DC, Gustafsson M, Harrison RM, Hicks W, Kelly FJ, Kishta F, Miller MR, Mudway IS, Oroumijeh F, Selley L, Wang M, Zhu Y. A Review of Road Traffic-Derived Non-Exhaust Particles: Emissions, Physicochemical Characteristics, Health Risks, and Mitigation Measures. *Environ Sci Technol.* 2022 Jun 7;56(11):6813-6835.
- Gustafsson M (ed), 2024. Nordic Road Dust Project, Phase II (NORDUST II). NordFoU. 2024-1. EAN number: 978-87-7595-122-2.
https://api.vejdirektoratet.dk/sites/default/files/2024-08/NorDust2_final_report_o.pdf .
- Hansell A, Ghosh RE, Blangiardo M, Perkins C, Vienneau D, Goffe K, Briggs D, Gulliver J. Historic air pollution exposure and long-term mortality risks in England and Wales: prospective longitudinal cohort study. *Thorax.* 2016 Apr;71(4):330-8.
- Harrison R M, Allan J, Carruthers D, Heal M R, Lewis A C, Marner B, Murrells T, Williams A. Non-exhaust vehicle emissions of particulate matter and VOC from road traffic: A review. *Atmos. Environ.* 2021; 262, 118592.
 10.1016/j.atmosenv.2021.118592.
- Hoek G, Krishnan RM, Beelen R, Peters A, Ostro B, Brunekreef B, Kaufman JD. Long-term air pollution exposure and cardio- respiratory mortality: a review. *Environ Health.* 2013 May 28;12(1):43.
- Hvidtfeldt U A, Sørensen M, Geels C, Ketzel M, Khan J, Tjønneland A, ... & Raaschou-Nielsen O. Long-term residential exposure to PM_{2.5}, PM₁₀, black carbon, NO₂, and ozone and mortality in a Danish cohort. *Environ Int.* 2019; 123, 265-272.
- Khan RK, Strand MA. Road dust and its effect on human health: a literature review. *Epidemiol Health.* 2018 Apr 10;40:e2018013.
- Liu C, Cai J, Chen R, Sera F, Guo Y, Tong S, Li S, Lavigne E, Correa PM, Ortega NV, Orru H, Maasikmets M, Jaakkola JJK, Rytty N, Breitner S, Schneider A, Katsouyanni

K, Samoli E, Hashizume M, Honda Y, Ng CFS, Diaz MH, la Cruz Valencia C, Rao S, Palomares AD, Pereira da Silva S, Madureira J, Holobâc IH, Fratianni S, Scovronick N, Garland RM, Tobias A, Íñiguez C, Forsberg B, Åström C, Vicedo-Cabrera AM, Ragettli MS, Guo YL, Pan SC, Milojevic A, Bell ML, Zanobetti A, Schwartz J, Gasparrini A, Kan H. Coarse Particulate Air Pollution and Daily Mortality: A Global Study in 205 Cities. *Am J Respir Crit Care Med*. 2022 Oct 15;206(8):999-1007.

Liu C, Chen R, Sera F, Vicedo-Cabrera AM, Guo Y, Tong S, Coelho MSZS, Saldiva PHN, Lavigne E, Matus P, Valdes Ortega N, Osorio Garcia S, Pascal M, Stafoggia M, Scortichini M, Hashizume M, Honda Y, Hurtado-Díaz M, Cruz J, Nunes B, Teixeira JP, Kim H, Tobias A, Íñiguez C, Forsberg B, Åström C, Ragettli MS, Guo YL, Chen BY, Bell ML, Wright CY, Scovronick N, Garland RM, Milojevic A, Kyselý J, Urban A, Orru H, Indermitte E, Jaakkola JJK, Rytí NRI, Katsouyanni K, Analitis A, Zanobetti A, Schwartz J, Chen J, Wu T, Cohen A, Gasparrini A, Kan H. Ambient Particulate Air Pollution and Daily Mortality in 652 Cities. *N Engl J Med*. 2019 Aug 22;381(8):705-715.

Meister K, Johansson C, Forsberg B. Estimated short-term effects of coarse particles on daily mortality in Stockholm, Sweden. *Environ Health Perspect*. 2012 Mar;120(3):431-6. doi: 10.1289/ehp.1103995.

Olstrup H, Flanagan E, Persson JO, Rittner R, Krage Carlsen H, Stockfelt L, Xu Y, Rylander L, Gustafsson S, Spanne M, Åström DO, Engström G, Oudin A. The Long-Term Mortality Effects Associated with Exposure to Particles and NO_x in the Malmö Diet and Cancer Cohort. *Toxics*. 2023 Nov 7;11(11):913. doi: 10.3390/toxics11110913. PMID: 37999565; PMCID: PMC10674607.

Olstrup H, Johansson C, Forsberg B, Åström C. Association between Mortality and Short-Term Exposure to Particles, Ozone and Nitrogen Dioxide in Stockholm, Sweden. *Int J Environ Res Public Health*. 2019 Mar 21;16(6):1028.

Orellano P, Kasdagli MI, Pérez Velasco R, Samoli E. Long-Term Exposure to Particulate Matter and Mortality: An Update of the WHO Global Air Quality Guidelines Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Public Health*. 2024 Sep 27;69:1607683.

Ostro B, Tobias A, Querol X, Alastuey A, Amato F, Pey J, Perez N, Sunyer J. The effects of particulate matter sources on daily mortality: a case-crossover study of Barcelona, Spain. *Environ. Health Perspect* 2011, 119 (12), 1781–7. 10.1289/ehp.1103618.

Piscitello A, Bianco C, Casasso A, Sethi R. Non-exhaust traffic emissions: Sources, characterization, and mitigation measures. *Science of The Total Environment* 2021, 766, 144440. 10.1016/j.scitotenv.2020.144440.

Puett RC, Schwartz J, Hart JE, Yanosky JD, Speizer FE, Suh H, Paciorek CJ, Neas LM, Laden F. Chronic particulate exposure, mortality, and coronary heart disease in the nurses' health study. *Am J Epidemiol*. 2008 Nov 15;168(10):1161-8.

Rich D Q, Zhang W, Lin S, Squizzato S, Thurston S W, van Wijngaarden E, Croft D, Masiol M, Hopke P K. Triggering of cardiovascular hospital admissions by source specific fine particle concentrations in urban centers of New York State. *Environ. Int.* 2019, 126, 387–394. 10.1016/j.envint.2019.02.018.

Sommar JN, Andersson EM, Andersson N, et al. . Long-term exposure to particulate air pollution and black carbon in relation to natural and cause-specific mortality: a multicohort study in Sweden. *BMJ Open*. 2021(a);11:e046040.

So R, Jørgensen JT, Lim YH, Mehta AJ, Amini H, Mortensen LH, Westendorp R, Ketzel M, Hertel O, Brandt J, Christensen JH, Geels C, Frohn LM, Sissgaard T, Bräuner EV, Jensen SS, Backalarz C, Simonsen MK, Loft S, Cole-Hunter T, Andersen ZJ. Long-term exposure to low levels of air pollution and mortality adjusting for road traffic noise: A Danish Nurse Cohort study. *Environ Int.* 2020 Oct;143:105983.

Sommar JN, Hvidtfeldt UA, Geels C, Frohn LM, Brandt J, Christensen JH, Raaschou-Nielsen O, Forsberg B. Long-Term Residential Exposure to Particulate Matter and Its Components, Nitrogen Dioxide and Ozone-A Northern Sweden Cohort Study on Mortality. *Int J Environ Res Public Health*. 2021(b) Aug 11;18(16):8476.

Skatt på dubbdäcksanvändning i tätort? Partikelhaltsutredningens betänkande SOU 2015:27. (SOU 2015:27).

Trafikverket Rapport: Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn ASEK 8.0, Trafikverket, 2024.

USEPA, 2022. Supplement to the 2019 Integrated Science Assessment For Particles. United States Environmental Protection Agency.

WHO, 2013. Health Risks of Air Pollution in Europe – HRAPIE. Recommendations for Concentration-response Functions for Cost-benefit Analysis of Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide. World Health Organisation.

WHO, 2021. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM 2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organisation.

Xu S, Marcon A, Bertelsen RJ, Benediktsdottir B, Brandt J, Engemann K, Frohn LM, Geels C, Gislason T, Heinrich J, Holm M, Janson C, Markevych I, Modig L, Orru H, Schlünssen V, Sigsgaard T, Johannessen A. Long-term exposure to low-

level air pollution and greenness and mortality in Northern Europe. The Life-GAP project. *Environ Int.* 2023 Nov;181:108257.

Yang Y, Ruan Z, Wang X, Yang Y, Mason TG, Lin H, Tian L. Short-term and long-term exposures to fine particulate matter constituents and health: A systematic review and meta-analysis. *Environ Pollut.* 2019 Apr;247:874-882.

Effekter orsakade av NO₂

Bakgrund

När beräkningarna för ASEK baserades på modellen från REVSEK (Söderqvist et al, 2019) så kom inte längre några skadekostnader för människors hälsa relaterade till kvävedioxid från vägtrafik att ingå. Slutsatsen att enbart lokalt genererat PM_{2.5} borde användas för hälsokonsekvens- och hälsokostnadsberäkningar hade presenterats redan i en förstudie till REVSEK (Söderqvist et al, 2017) så frågan prövades egentligen inte inom projektet.

Effekten på mortalitet och förlorade levnadsår är central för de flesta hälsokonsekvens-beräkningarna gällande klassiska luftföroreningar som partiklar och avgaser. Beräkningar av mortalitetens påverkan av kvävedioxid har varit en utmaning på grund av osäkerhet och kontroverser kring det vetenskapliga underlaget (WHO, 2006; WHO, 2013a; WHO, 2013b; Heroux et al, 2015). Särskilt beträffande effekterna av långtidsexponering är en kärnfråga om sambandet med mortalitet beror på att NO₂ fungerar som en indikator för trafikavgaser och förbrännings-genererade partiklar (med etablerad kausalitet). Ibland har dessutom påpekats att studier som justerar för totala halten av PM_{2.5} ändå inte utesluter en sammanblandning av sambandet med NO₂ och en specifik partikelfraktion som avgaspartiklar. Experimentella studier styrker olika typer av respiratoriska effekter av ren kvävedioxidexponering, medan det finns mindre belägg för hjärt-kärleffekter, och följaktligen funnits större tveksamhet kring påverkan på dödsfall i hjärt-kärlsjukdom (WHO, 2013; EPA 2016).

Den brittiska expertgruppen Committee on the Medical Effects of Air Pollutants (COMEAP) hade i ett par rapporter värderat underlaget gällande effekter av NO₂ något annorlunda än WHO gjorde inom kunskapsrevisionen REVIHAAP 2013. Man hävdade 2015 att det fanns ganska många studier som visat på samband mellan NO₂ och mortalitet vilka bestått vid justering för halten av partiklar (COMEAP, 2015). Visserligen menade man att detta inte utesluter att NO₂ i viss utsträckning är en indikator på andra föroreningar som inte mäts, men ansåg att resultaten sammantaget motiverar att NO₂ borde bedömas som åtminstone delvis orsakande sambanden med mortalitet (COMEAP, 2015). Detta förde COMEAP till slutsatsen att man kan kvantifiera mortalitetseffekterna från både partiklar (PM_{2.5}) och NO₂ endast om man har reducerat den antagna exponerings-responsfunktionen för NO₂ med en viss faktor (COMEAP, 2015). WHO, amerikanska naturvårdsverket EPA (2016) eller andra organ anslöt sig inte till sig COMEAPs modell, kanske för att den inte ansågs tillräckligt väl underbyggd av studier.

Kompletteringen av REVSEK

I ett projekt som följde upp och kompletterade beräkningarna i REVSEK (Söderqvist et al, 2019) genomfördes bland annat en översyn av frågan om man skulle kunna beräkna effekter av NO₂ till följd av trafikens NO_x-emissioner (Forsberg et al, 2021). I projektrapporten gavs ett förslag att uppskatta mortalitetseffekten (och kostnaden) per ton för NO_x till cirka 3 % av kostnaden per ton PM_{2.5}, och att överväga samma relation mellan mortalitets- och morbiditetskostnader som för PM_{2.5}. Övervägandena bakom förslaget 2021 inkluderar även litteratur som var publicerad när arbetet med REVSEK bedrevs 2018-2019.

Korttidseffekt på mortaliteten

Granskningen av 2021 tillgänglig litteratur visade då främst på studier av NO₂ och mortalitet utan analyser med hänsyn till samtidig halt av partiklar. En omfattande systematisk litteraturgenomgång med meta-analys kring korttidshaltens (medelvärde för upp till 7 dygn) samband med dagligt antal dödsfall som underlag för revideringen av WHO Air Quality Guidelines hade inkluderat 54 studier av NO₂ i analysen av effekten på dagligt antal dödsfall total oavsett dödsorsak, och ökningen beräknades till 0,72 % per 10 µg/m³ (Orellano et al, 2020). Något fokus på resultat justerade för partiklar fanns inte, istället refererade man till en tidigare systematisk litteraturöversikt med metaanalys (inkluderade 101 analyser) som funnit att korttidshalten av kvävedioxid (några dygn) ökade dagligt antal dödsfall med 0,71 % per 10 µg/m³, vilket vid justering för partiklar bara minskade något till 0,60% (Mills et al, 2016).

I rapporten från kompletteringen av REVSEK (Forsberg et al, 2021) konstaterades att man något anmärkningsvärt kan se hur resultaten vid analyser av svenska data förefaller avvika från de typiska. Sambandet med korttidshalterna av NO₂ i Stockholm i den stora europeiska studien APHEA2 pekade i skyddande riktning (minskar risken) till skillnad mot huvudresultatet (Samoli et al, 2006), och även en långt senare genomförd studie om effekter i Stockholm fann ingen höjning av dagligt antal dödsfall varken med enbart NO₂ inkluderat eller vid analyser med flera föroreningar samtidigt i modellen (Olstrup et al, 2019). Tvärtom pekade sambanden på en negativ koefficient, d v s skyddande effekt, vilket det dock inte finns några kända kausala mekanismer för. Likaså sågs med observerade halter ett negativt samband mellan NO₂ och naturlig död bland äldre i Stockholms län (Stafoggia & Bellander, 2020).

Studierna av korttidseffekter på dagligt antal dödsfall antas främst spegla effekter på personer som på grund av sjukdom och ålder är särskilt känsliga. Därför har långtidseffekterna i studier som bygger på geografiska skillnader i exponering betydligt större betydelse ur hälsosynpunkt. Det är mer intressant om långtidsexponering för NO₂ har en unik effekt på risken att drabbas av kroniska

sjukdomar och förlorade levnadsår. Observerade korttidseffekter kan dock användas som indikation på mekanismer och kausalitet, eller användas om man för olika föroreningar vill undvika att använda samma hälsoutfall i en konsekvensberäkning.

Långtidseffekt på mortalitet

Beträffande studier av långtidsexponering för NO₂ fann en tidig meta-analys (sammanvägning) omfattande 10 studier med variation i exponeringen inom staden att totalmortaliteten ökade med 5,5 % (95 % KI: 3,1-8,0) per 10 µg/m³ (Hoek et al, 2013).

Fem år efter metaanalysen av Hoek et al (2013) publicerades en översiktsartikel omfattande 20 studier, inkluderande ESCAPE-publikationen med 22 individuella kohorter (Beelen et al, 2014) som en ingående studie, och en beräknad sammanviktad effekt på dödligheten på 2 % (95 % KI: 1-3) per 10 µg/m³ (Atkinson et al, 2018). Av de författarnas analyser framgår även att begränsat till 6 studier med exponeringsdata vid bostaden var sammanviktade ökningen 3 % per 10 µg/m³, men sammantaget för 7 studier med individuell kontroll för rökvanor och BMI sågs dock ingen effekt alls av kvävedioxidhalten.

Tre år efter expertgruppen COMEAPs förslag 2015 om att använda en reducerad relativ risk för NO₂ (se ovan), kom ytterligare ett underlag från dem refererande till en meta-analys (Atkinson et al, 2018). Nu kunde expertgruppen inte längre enas om att det fanns tillräckligt stöd för att beräkna en effekt på dödligheten av NO₂ i sig (COMEAP, 2018). Expertgruppens majoritet kom fram till en liknande bedömning som 2015, medan Atkinson och två andra experter reserverade sig mot slutsatserna i ett eget yttrande.

Inför revideringen av WHO Air Quality Guidelines gjordes en systematisk litteraturgenomgång med meta-analyser för sambandet mellan långtidsexponeringen för kvävedioxid och mortalitet (Huangfu & Atkinson, 2020). I analysen medtogs 36 studier gällande NO₂ och total mortalitet med en sammanviktad effekt på 2 % (95 % KI: 1-4) per 10 µg/m³, vilken antas i de nya guidelines som hösten 2021 antogs av WHO (WHO, 2021). För de 15 studier som hade kontrollerat för rökning, BMI och socioekonomi på individnivå var ökningen 3 % (95% KI: 0-5) per 10 µg/m³. Författarna skriver att studier som undersökt sambandets form bara med något undantag funnit att sambandet ej tycks avvika från att vara linjärt ner till årsmedelvärden på 10-20 µg/m³, och att studiernas lutningskoefficient minskar med högre medelxponering.

Från Danmark fanns en studie inom en forskningskohort med data om levnadsvanor från ett frågeformulär, The Diet Cancer and Health Cohort, (Hvidtfeldt et al, 2019) och en nationell registerbaserad studie med enbart registerdata (Raaschou-Nielsen et al, 2020). Man ville undersöka betydelsen av att

registerkohorten saknade individdata om levnadsvanor. I registerstudien ökade mortaliteten med 5 % (95 % KI 4-6%) per 10 µg/m³ NO₂. För deltagarna i forskningskohorten såg man att justering med tillägg av deras individdata från frågeformuläret minskade effekten på mortaliteten för dem från 4 % till 3 % (95 % KI 0-6%) per 10 µg/m³ (Raaschou-Nielsen et al, 2020).

Det fanns få svenska studier om sambandet. En svensk studie med få deltagare och enbart män från Göteborg använde modellerad halt av NO_x och fann i den yngre gruppen (48-53 år vid starten för uppföljningen 1973) en mortalitet som var 6 % högre per 10 µg/m³ NO_x, men med även äldre deltagare inkluderade blev det bara en ökning på 2% (95% KI 1-4%) per 10 µg/m³ (Stockfelt et al, 2015).

I rapporten från kompletteringen av REVSEK diskuterades svårigheterna att beräkna hälsokonsekvenserna för mer än en av flera korrelerade föroreningar från samma källa (Forsberg et al, 2021). Där framhölls att avsikten med analyser där flera föroreningar samtidigt inkluderas, "multiple pollutant models", är att separera effekterna av olika föroreningar, men att ansatsen inte är oproblematisk. Dels kan de använda föroreningsvariablerna olika bra representera den faktiska exponeringen, där effekter av korrelerade variabler med mindre mätfel kommer att gynnas av detta. En annan begränsning är att modellerna med flera föroreningar simultant studerade sällan tar hänsyn till interaktionseffekter. Beträffande justering för andra föroreningar för att se den unika effekten av NO₂ i epidemiologiska studier, är behovet i hög grad att ta hänsyn till andra föroreningar från biltrafiken. Det innebär att justering för totalhalten av PM_{2.5} kan vara mindre relevant om den halten domineras av andra källor, t ex sekundärt bildade partiklar i studier över stora geografiska områden.

I senaste WHO Air Quality Guidelines (WHO, 2021) fokuserades på den systematiska litteraturgenomgång som inför revideringen hade utförts av Huangfu & Atkinson (2020), med en hänvisning till bedömningen av resultaten när NO₂ och PM_{2.5} samtidigt beaktas som gjordes flera år tidigare (Faustini et al, 2014). Det publicerats dock samma år som WHO AQG två nya översikter som tagit upp frågan. Den ena översikten lutar åt att data stödjer en oberoende effekt av NO₂ på mortaliteten (Huang et al, 2021), medan den andra visar att ju större krav på studierna som ställs, desto mindre stöd finns för en oberoende effekt av NO₂ (Stieb et al, 2021). Dessa två nya litteraturöversikter visar att urvalet och bedömningen av studierna i en översikt kan ha avgörande betydelse för slutsatserna. Detta öppnar lite för att man även kan behöva göra en sammanvägning enligt egna kriterier som stämmer med hur resultatet ska användas, exempelvis för exponeringsdata man söker ett lämpligt exponerings-responssamband.

Grunden för förslaget från kompletteringen av REVSEK var dels att när man i den europeiska studien ESCAPE skattade effekten på mortaliteten med två föroreningar simultant för 14 städer så minskade inte effekten av NO₂ vid justering för PM_{2.5}, utan förblev 1 % (95% KI: -0,3 – 5%) per 10 µg/m³ (Forsberg et al, 2021). Därtill

konstaterades att i den mycket stora amerikanska kohortstudien ACS-CPS II (Turner et al, 2016) som använde en modell med fyra föroreningsvariabler simultant inkluderade: NO₂, ozon samt lokalt ("near source") PM_{2.5} och regionalt PM_{2.5}, erhöles i den fullt justerade modellen med tre föroreningar en liknande ökning av mortaliteten med 1 % per 6,5 ppb (95 % KI: 0-2%) (Turner et al, 2016). Den studien gav för lokalt PM_{2.5} den relativa risk som i REVSEK valdes för ASEK, 26 % per 10 µg/m³, varför en indirekt uppskattning av mortalitetskostnaden för NO₂ föreslogs: Vid antagen ökad mortalitet på ca 1 % per 10 µg/m³ NO₂ och 26 % per 10 µg/m³ PM_{2.5}, samt antagandet att 80% av NO_x-utsläppen påverkar NO₂-halten i området, så blir mortalitetseffekten räknat per kg cirka 3 % av den effekt som orsakas av PM_{2.5}, utifrån det nationella typvärdet för PM_{2.5} ungefär 130 kr/kg för emissioner av NO_x. I rapporten från förra översynen konstaterades att det inte var möjligt att finna samband för kvävedioxid och morbiditet justerade för PM_{2.5}, men att man skulle kunna överväga att göra ett relativt påslag för morbiditetskostnader utifrån fördelningen för PM_{2.5}. I skadekostnaden för hälsoeffekter av NO_x-utsläpp i ASEK 8.0 ingår dock bara mortalitets-kostnaderna för NO₂ (Trafikverket, 2024).

Ny kunskap om exponerings-responssamband

Mortalitet

För denna uppdatering av kunskapsläget och förhållningssätt för beräkningar gällande i första hand de mer viktiga långtidseffekterna av NO₂ på mortaliteten har dels sökts fram tillkomna vetenskapliga artiklar (från hösten 2021 och framåt), dels andra sorters redovisningar från aktuella projekt.

Nya svenska resultat från två forskningskohorter har publicerats. En studie inom VIP-kohorten i Västerbotten rapporterade 7% ökning av mortaliteten per 10 µg/m³ NO₂, men sambandet var inte statistisk signifikant och ej justerat för partikelhalterna (Sommar et al, 2021b).

En studie av mortaliteten i en forskningskohort i Malmö, där exponeringen modellerats med hög spatial upplösning baserat på emissionsdata ungefär som i SCAC fann att NO_x var den förorening som behöll ett statistiskt signifikant positivt samband i analyser med två föroreningar simultant beaktade (Olstrup et al, 2023).

Ett projekt för Health Effects Institute (HEI) i USA har fokuserat på evidensläget för hälsoeffekter av luftföroreningar från vägtrafik men inte försökt separera de olika föroreningarnas egen betydelse, utan på grund av korrelationen och resultat som oftast inte är justerade för andra föroreningar, betraktat varje förorening som en indikator (Boogaard et al, 2022; Boogaard et al, 2023a; Boogaard et al, 2023b). Beträffande NO₂ och mortalitet kom man i sin metaanalys av 11 inkluderade studier fram till i en relativ risk på 1,04 per 10 µg/m³ NO₂, samma resultat erhöles med ett

mer strikt urval av 9 studier med hög säkerhet att trafik var en dominerande källa (Boogaard et al, 2023b). Eftersom ansatsen i HEI-projektet var att bedöma evidens för effekter av biltrafikens luftföroreningar gick man inte närmare in på att diskutera vilka av de enskilda föroreningarna, exempelvis NO₂, som låg bakom sambanden utan betraktade dessa som indikatorer på trafikrelaterade föroreningar (Boogaard et al, 2023a-b).

I ett par andra artiklar har författarna tagit sig an den centrala frågan huruvida man ska räkna med att långtidsexponeringen för NO₂ har egna effekter på mortaliteten. Två ledande forskare gick i december 2021 ut med en artikel vars optimistiska titel lyder "The NO₂ and Mortality Dilemma Solved? Almost There!" (Forastiere & Peters, 2021). De blev inte oemotsagda i sitt argumenterande för att NO₂ har en egen effekt på dödligheten (Crosignani, 2022), men argumenterade vidare med hänvisning till studier som försökt separera sambanden genom att simultant inkludera NO₂ och partiklar vid analyserna (Forastiere & Peters, 2022). Forastiere & Peters lyfte initialt fram en mycket stor amerikansk studie som visade på ett samband mellan kvävedioxid och mortalitet, där effekten av kvävedioxid-koncentrationen till och med var något starkare i modeller som samtidigt tog hänsyn till halten av PM 2.5 och ozon (Qian et al, 2021). De hänvisade dessutom till en studie från Nya Zeeland där mycket låga halter av kvävedioxid, 7,5 µg/m³ som medelvärde av årsmedelvärdet, också visat på samband med dödligheten även efter simultan justering för PM 2.5 (Hales et al, 2021).

I en artikel med svar på kritiken riktad mot deras slutsatser i den första artikeln, underströk författarna att även fler studier kan tas som stöd för deras slutsatser, exempelvis den stora europeiska studien Effects of low level air pollution in Europe (ELAPSE) där justering för PM 2.5, sot och ozon helt obetydligt ändrade effektestimaten för sambanden sambandet mellan NO₂ och mortalitet (Forastiere & Peters, 2022).

En annan artikel av ledande forskare inom området beskriver hur exponerings-respons-sambanden för kvävedioxid respektive PM_{2.5} och mortalitet tycks vara supralinjära och ha en mer brant lutning vid lägre halter, vilket det menar talar för att anta en högre relativ risk än vad som gjorts i WHO AQG (Hoffman et al, 2022). Man förespråkar att per 10 µg/m³ anta relativa risken 1,118 för PM_{2.5} och 1,045 för NO₂ från den senaste stora europeiska studien ELAPSE. Dessutom framhåller de att samband från modeller där man inte simultant tagit hänsyn till båda föroreningarna inte kan användas i konsekvensanalyser för att addera antalet fall som tillskrivs NO₂ respektive PM_{2.5}. Som illustration tar man en skattning utifrån en studie av luftföroreningar och mortalitet från Canada, som presenterat riskkoefficienter både från modeller med en förorening i taget och med NO₂, PM_{2.5} och ozon simultant inkluderade. I den studien blir den kumulativa riskökningen av en ökning av halterna motsvarande IQR ca 1,123 med relativa risker från modellerna med en förorening i taget, och 1,075 med koefficienterna från studiens

modell med simultant beaktande av föroreningarna. Om man bara beaktat PM_{2.5} blev ökningen 1,035 och med enbart NO₂ fick man 1,052. Författarna understryker att man måste komma vidare med denna frågeställning runt korrelerade föroreningar, då man varken vill underskatta eller överskatta effekterna av luftföroreningar (Hoffman et al, 2022).

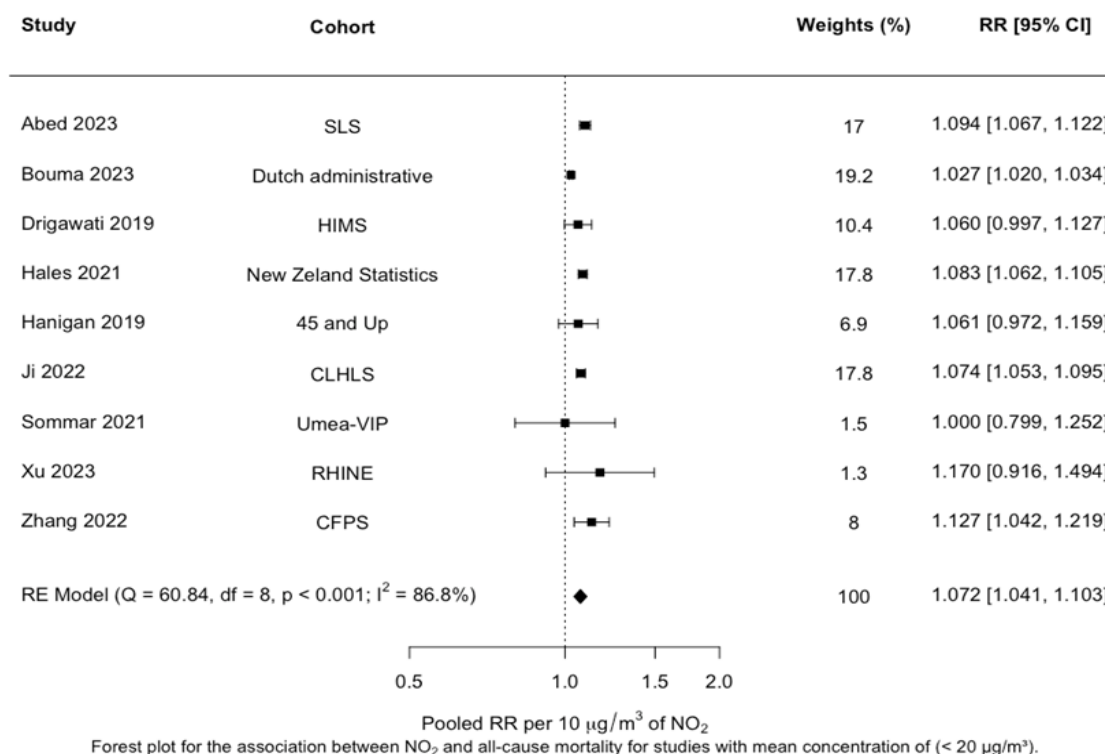
I den europeiska studien ELAPSE med resultat för 8 forskningskohorter blev det sammanvägda effektestimatet 30% högre än det totala när man bara inkluderade de 75% av deltagarna som hade en exponering under 30 µg/m³ (Hoffmann et al, 2022). Med simultan justering för PM_{2.5} gav NO₂ sammanvägt för alla kohorter en relativ risk på 1,04 per 10 µg/m³, vilken alltså troligen vore högre för deltagare med låg exponering (Strak et al, 2021).

Förutom rekryterade forskningsrapporter ingick i europeiska ELAPSE-projektet även studier av dödligheten i så kallade administrativa, dvs registerbaserade kohorter, där individinformation om levnadsvanor så som rökning, motion och kostvanor saknas (Stafoggia et al, 2022). Även för de administrativa kohorterna genomfördes i en känslighetsanalys med modeller där föroreningarna inkluderades två och två. För de flesta av de ingående kohorterna sågs en betydande minskning av relativa risken relaterad till PM_{2.5} vid justering för samtidiga NO₂-halter. I kohorterna från Belgien, Danmark och Norge kvarstod dock en svag effekt av PM_{2.5}. Generellt var resultaten för kvävedioxid robusta vid justering för andra föroreningar. Med PM_{2.5} i samma modell ändrades relativa risken för NO₂ sammanvägt för alla kohorter från 1,044 till 1,042 per 10 µg/m³, och med BC till 1,041 per 10 µg/m³. PM_{2.5} och BC hade i denna studie ingen statistiskt säkerställd effekt efter justering för NO₂. Exponeringsmodellen baserades delvis på sekundär användning av regression där tidigare mätresultat i städerna används, och då finns ofta flest platser med uppmätt halt av NO₂, vilket kan ge mer korrekta resultat.

I en översiktsartikel har syftet varit att inkludera studier med sambanden till NO₂ och PM_{2.5} studerade med föroreningarna både separat och tillsammans inkluderade i den statistiska modellen (Mainka & Zak, 2022). För långtidsexponering och mortalitet hade man identifierat fem studier: Jerrett et al (2013) från USA, Cesaroni et al (2013) från Italien, Beelen et al (2014) från Europa (ESCAPE), Christidis et al (2019) från Kanada och Wang et al (2019) från Kina. I två av dessa studier ökade relativa risken för NO₂ vid justering för PM_{2.5}, i två fall var den oförändrad och i en studie minskade den. Denna frågeställning belyses dock bättre av två mer omfattande studier nedan: Kasdagli et al (2024) och Chen et al (2024).

Den systematiska litteraturgenomgång med meta-analyser av långtidsexponeringen för kvävedioxid och mortalitet som gjordes inför revideringen av WHO Air Quality Guidelines omfattade 36 studier (Huangfu & Atkinson, 2020). I en ny analys inom WHO-projektet Health Risks of Air Pollution in Europe (HRAPIE-2) har en uppdaterad översikt med metaanalys publicerats under oktober 2024 (Kasdagli et

al, 2024). I denna nya sammanställning identifierades totalt 54 studier med resultat för sambandet mellan NO₂ och total mortalitet ("all-cause mortality"). Medan den tidigare översikten och WHO Air Quality Guidelines återger en sammanviktad relativ risk på 1,02 (95 % KI: 1,01-1,04) per 10 µg/m³, finner man i den uppdaterade översikten en sammanviktad relativ risk på 1,05 (95 % KI: 1,03-1,07) per 10 µg/m³ (Kasdagli et al, 2024). När man enbart inkluderar 27 studier av kohorter där man justerat med individinformation kring möjliga störande riskfaktorer blir den sammanviktade relativa risken 1,06 per 10 µg/m³, medan för studier med administrativa kohorter betydligt lägre 1,02 per 10 µg/m³ (Kasdagli et al, 2024). Författarna rapporterar i den nya översikten inget signifikant samband mellan exponeringsnivån och storleken på den relativa risken avseende total mortalitet, men när vi väger samman relativa risken för de 7 av studierna i Kasdagli et al (2024), samt två ytterligare studier som publicerades efter deras sista sökning, vilka alla har en medelxponering under 20 µg/m³ blir ändå relativa risken högre än totalt enligt figur 3:1, RR är 1,072 per 10 µg/m³ (95 % KI 1,041 – 1,103).



Figur 3:1 Sammanvägd relativ risk för NO₂ och mortalitet (total/naturlig) för studier i Kasdagli et al (2024) och två senare publicerade med en medelxponering under 20 µg/m³.

I den nya översikten gällande NO₂ och mortalitet identifierades 18 studier som även hade resultat för NO₂ justerade för PM_{2.5}, en med justering för PM₁₀, och två en med justering för grovfraktionen (PM₁₀-PM_{2.5}). I de flesta fall förändrades inte resultatet för NO₂ signifikant, men i fem analyser blev relativa risken signifikant ändrad och då alltid lägre. Några exakta uppgifter finns inte i artikeln eller supplement.

Inom det EU-finansierade projektet Urban Burden of Disease Estimation for Policy Making (UBDPolicy) är en aspekt problemet med att göra hälsokonsekvensberäkningar för en blandning av flera luftföroreningar. Utgångspunkten är att man kan få dubbelräkning och överskattningar genom beräkningar som bara lägger ihop skattningar för flera korrelerade föroreningar utifrån resultat från modeller där bara en förorening i taget har beaktats (Chen et al, 2024). Man har valt att just fokusera på effekterna av långtidsexponering för PM_{2.5} och NO₂ på total mortalitet. Via en systematisk litteraturgenomgång har man identifierat 17 publicerade studier som beräknat relativa risker både med en förorening åt gången ("single-pollutant models") och med båda föroreningarna simultant beaktade ("two-pollutant models"). Korrelationen mellan NO₂ och PM_{2.5} var måttlig med ett genomsnitt på 0,58. Med dessa 17 studier blev den sammanvägda relativa risken 1,032 (1,014–1,049 per 10 µg/m³ NO₂ utan hänsyn till PM_{2.5}, och med justering för PM_{2.5} blev relativa risken 1,024 (1,000–1,049). Man har också beräknat den absoluta och relativa skillnaden mellan koefficienterna från modeller med enbart en respektive båda luftföroreningarna och vägt samman skillnaderna som minskningen från en single-pollutant modell. Inkludering av PM_{2.5} medförde för NO₂ i genomsnitt 22,6 % minskning av den beräknade riskkoefficienten, medan inkludering av NO₂ minskade den beräknade koefficienten för PM_{2.5} med 32,3 %. För NO₂ var den relativa minskningen inte signifikant korrelerad med föroreningarnas korrelation, den ojusterade relativa risken för PM_{2.5} eller med den relativa minskningen av den beräknade relativa risken för PM_{2.5}. För PM_{2.5} var däremot minskningen vid justering för NO₂ starkt korrelerad ($r=0,79$) med den ojusterade relativa risken för NO₂. Även om analysen från projektet UBDPolicy har begränsningar, man hade exempelvis inte underlag att studera interaktionseffekter, så ger den värdefull vägledning.

Morbiditet

Beträffande kvävedioxid i omgivningsluft och effekter på morbiditeten är evidensbedömningarna mer försiktiga än för effekterna av PM_{2.5}.

I arbetet med att ta fram nya WHO Air Quality Guidelines beslöt man utifrån evidensläget att för morbiditetseffekter av NO₂ enbart studera korttidseffekter på akutbesök och inläggningar för astma (WHO, 2021)

WHO-projektet "Estimation of Morbidity from Air Pollution and its Economic Costs" (EMAPEC) med syftet att rekommendera exponerings-responsantaganden

för hälsokonsekvensanalyser har gjort bedömningen att det beträffande långtidsexponering för NO₂ finns tillräcklig evidens för astmauppkomst hos vuxna och hos barn samt för nedre luftvägsinfektioner hos barn (Forastiere et al, 2024). Som exponerings-responssamband för astma hos vuxna rekommenderar man att anta en relativ risk på 1,10 (1,01-1,21) per 10 µg/m³ NO₂ utifrån en metaanalys inom ett projekt om trafikföroreningar finansierat av Health Effects Institute (Boogaard et al, 2022), där författarna understryker att man använt resultat för NO₂ som inte är justerade för andra föroreningar som PM_{2.5}. En typisk incidens av astma hos vuxna i Sverige är 2-3 nya fall per 1000 personer och år (Räisänen P et al, 2021). Sambandet som från WHO/EMAPEC rekommenderas för prevalensen av astma hos barn är en relativ risk på 1,10 (95% KI 1,05 – 1,18), vilket är hämtat från samma review som det samband vilket redan tillämpas för PM_{2.5}.

I en svensk studie för Naturvårdsverket om möjliga hälsovinster av bättre luft har vi efter en litteraturgenomgång valt exponerings-responssamband gällande långtidsexponering för NO₂ och sjukdomarna hjärtinfarkt, stroke, kroniskt obstruktiv lungsjukdom (KOL), lungcancer samt för tidig födsel (Oudin et al, 2024, Oudin et al, 2022). För dessa sjukdomar har WHO-projektet EMAPEC bara bedömt att det finns tillräcklig evidens beträffande PM_{2.5} (Forastiere et al, 2024), men refererar den svenska analysen utan någon kritik av dess utformning.

Förslag gällande NO₂

Beräkningarna som ligger till grund för ASEK skulle kunna utvecklas med avseende på konsekvenserna av NO_x-emissionernas betydelse ur hälsosynpunkt via NO₂, och möjligen även via sekundärt bildat PM_{2.5} (nitrat behandlas i kapitel 4).

De sammanvägda resultaten om långtidsexponering för NO₂ och mortalitet från WHO-projektet Health Risks of Air Pollution in Europe (HRAPIE-2) publicerade i oktober 2024 får ses som en tungt vägande rekommendation gällande vilka exponerings-responssamband som bör tillämpas vid hälsokonsekvensberäkningar (Kasdagli et al, 2024). Ett problem är att artikeln inte ger några sammanvägda koefficienter för resultat justerade för PM_{2.5}. Det EU-finansierade projektet Urban Burden of Disease Estimation for Policy Making erbjuder en lösning (Chen et al, 2024). När man räknar på konsekvenser av exponeringsförändringar som samtidigt rör både PM_{2.5} och NO_x (avgaser) och önskar använda samt addera beräkningar för båda, bör effekten på mortalitet reduceras med 22,6 % för NO₂ och 32,3 % för PM_{2.5}. Detta skulle resultera i att det finns två kostnader per ton utsläpp för PM_{2.5} respektive NO_x, där tillämpningen avgör vilket som passar. Det förefaller lämpligt att nu utgå ifrån den från alla studier sammanvägda relativa risken från HRAPIE-2 (Kasdagli et al, 2024) på 1,05 (95 % KI: 1,03-1,07) per 10 µg/m³, med 1,038 som den reducerade relativa risken. Visserligen finns resultat som tyder på en brantare riskökning med halten vid lägre halter, men detta är inte jämförelsevis lika tydligt

för NO₂ som för PM_{2.5} inom kohorterna i den europeiska studien ELAPSE (Strak et al, 2021). NO₂ kan heller inte ha olika

Beträffande NO₂ och morbiditetseffekter så finns tre exponerings-responssamband rekommenderade från WHO-projektet EMAPEC: astmauppkomst hos vuxna, astmauppkomst hos barn samt för nedre luftvägsinfektioner hos barn, varav det sistnämnda enligt bedömningen i kapitel 3 inte lämpar sig för konsekvensberäkningen. Astmauppkomst hos barn är inkluderad även som en effekt av PM_{2.5}. Mest rimligt förefaller då att även för morbiditet beräkna en alternativ lägre kostnad per ton erhållen med de relativa reduceringar av relativa risken per µg/m³ som erhöles i justerade modeller för mortalitet med både PM_{2.5} och NO₂ simultant inkluderade. Skälet är att ännu saknas för morbiditet motsvarande underlag om reduktion av relativ risk vid justering för den andra föroreningen.

I kapitel 3 om ytterligare hälsoeffekter bland barn föreslås att inkludera uppkomst av allergisk rinit som effekt både av PM_{2.5} och NO₂, där den sammanvägda relativa risken från Li et al (2022) är 1,14 (95 % KI: 1,07-1,22) per 10 µg/m³.

Ett ytterligare möjligt alternativ för morbiditetseffekterna vore att ställa lägre krav på förankringen av tillräcklig evidens för effekten av NO₂ och lägga till exponerings-responssambanden sex hälsoutfall (hjärtinfarkt, stroke, KOL, diabetes, lungcancer och för tidig födsel) enligt beräkningen för Naturvårdsverket (Oudin et al, 2024, Oudin et al, 2022). Flera av dessa hälsoutfall inräknas i alternativet ”high damage costs” som möjliga men mer osäkra effekter i den modell som används av brittiska myndigheter (Defra, 2023).

Konsekvensen av att räkna med effekter av NO₂ på hälsoutfall som även ingår som effekt av partiklar baserat på relativa risker som inte är justerade för NO₂ blir att ett alternativ med en reduktion av relativa risken behöver redovisas på motsvarande sätt som för NO₂.

Referenser

Atkinson RW, Butland BK, Anderson HR, Maynard RL. Long-term Concentrations of Nitrogen Dioxide and Mortality: A Meta-analysis of Cohort Studies. *Epidemiology* 2018;29(4):460-472.

Beelen R, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M, Andersen Z J, Weinmayr G, Hoffmann B, Wolf K, Samoli E, Fischer P, Nieuwenhuijsen M, Vineis P, Xun W W, Katsouyanni K, Dimakopoulou K, Oudin A, Forsberg B, Modig L, Havulinna A S, Lanki T, Turunen A, Oftedal B, Nystad W, Nafstad P, De Faire U, Pedersen N L, Östenson C G, Fratiglioni L, Penell J, Korek M, Pershagen G, Eriksen K T, Overvad K, Ellermann T, Eeftens M, Peeters P H, Meliefste K, Wang M, Bueno-de-Mesquita B, Sugiri D, Krämer U, Heinrich J, de Hoogh K, Key T, Peters A, Hampel R, Concini

H, Nagel G, Ineichen A, Schaffner E, Probst-Hensch N, Künzli N, Schindler C, Schikowski T, Adam M, Phuleria H, Vilier A, Clavel-Chapelon F, Declercq C, Grioni S, Krogh V, Tsai M Y, Ricceri F, Sacerdote C, Galassi C, Migliore E, Ranzi A, Cesaroni G, Badaloni C, Forastiere F, Tamayo I, Amiano P, Dorronsoro M, Katsoulis M, Trichopoulou A, Brunekreef B, Hoek G. Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *Lancet* 2014;383(9919):785-95.

Boogaard H, Patton A P, Atkinson R W, Brook J R, Chang H H, Crouse D L, ... & Forastiere F. Long-term exposure to traffic-related air pollution and selected health outcomes: A systematic review and meta-analysis. *Environment international* 2022;164, 107262.

Boogaard H, Atkinson RW, Brook JR, Chang HH, Hoek G, Hoffmann B, et al. Evidence synthesis of observational studies in environmental health: lessons learned from a systematic review on traffic-related air pollution. *Environ Health Perspect* 2023(b);131(11):115002, <https://doi.org/10.1289/EHP11532>

Boogaard H, Samoli E, Patton AP, Atkinson RW, Brook JR, Chang HH, Hoffmann B, Kutlar Joss M, Sagiv SK, Smargiassi A, Szpiro AA, Vienneau D, Weuve J, Lurmann FW, Forastiere F, Hoek G. Long-term exposure to traffic-related air pollution and non-accidental mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environ Int.* 2023(a);176:107916. doi: 10.1016/j.envint.2023.107916. Epub 2023 Apr 7. PMID: 37210806.

Cesaroni G, Badaloni C, Gariazzo C, Stafoggia M, Sozzi R, Davoli M, Forastiere F. Long-Term Exposure to Urban Air Pollution and Mortality in a Cohort of More than a Million Adults in Rome. *Environ. Health Perspect.* 2013;121:324–331. doi: 10.1289/ehp.1205862.

Chen X, Gehring U, Dyer GMC, Khomenko S, de Hoogh K, Tonne C, Tatah L, Vermeulen R, Khreis H, Nieuwenhuijsen M, Hoek G. Single- and two-pollutant concentration-response functions for PM_{2.5} and NO₂ for quantifying mortality burden in health impact assessments. *Environ Res.* 2024 Dec 15;263(Pt 3):120215. doi: 10.1016/j.envres.2024.120215. Epub 2024 Oct 22. PMID: 39448006.

Christidis T, Erickson AC, Pappin AJ, Crouse DL, Pinault LL, Weichenthal SA, Brook JR, van Donkelaar A, Hystad P, Martin RV, et al. Low Concentrations of Fine Particle Air Pollution and Mortality in the Canadian Community Health Survey Cohort. *Environ. Health.* 2019;18:84. doi: 10.1186/s12940-019-0518-y.

COMEAP, 2015. Interim statement on quantifying the association of long-term average concentrations of nitrogen dioxide (NO₂) and mortality. Committee on the Medical Effects of Air Pollutants, (https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/485373/COMEAP_NO2_Mortality_Interim_Statement.pdf)

- COMEAP, 2018. Associations of long-term average concentrations of nitrogen dioxide with mortality. Committee on the Medical Effects of Air Pollutants. PHE publishing gateway number: 2018238.
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/734799/COMEAP_NO2_Report.pdf
- Crosignani P. Comment on "Invited Perspective: The NO₂ and Mortality Dilemma Solved? Almost There!". *Environ Health Perspect.* 2022 Mar;130(3):38001
- Defra. Air quality appraisal: damage cost guidance. Department for Environment, Food and Rural Affairs, 2023.
- EPA, 2016. U.S. EPA Integrated Science Assessment (ISA) for Oxides of Nitrogen – Health Criteria. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Faustini A, Rapp R, Forastiere F. Nitrogen dioxide and mortality: review and meta-analysis of long-term studies. *Eur Respir J* 2014;44: 744–753.
- Forastiere F, Peters A. Invited Perspective: The NO₂ and Mortality Dilemma Solved? Almost There! *Environ Health Perspect.* 2021 Dec;129(12):121304.
- Forastiere F, Peters A. Response to "Comment on 'Invited Perspective: The NO₂ and Mortality Dilemma Solved? Almost There!'". *Environ Health Perspect.* 2022 Mar;130(3):38002.
- Forastiere F, Spadaro JV, Ancona C, Jovanovic Andersen Z, Cozzi I, Gumy S, Loncar D, Mudu P, Medina S, Perez Velasco R, Walton H, Zhang J, Krzyzanowski M. Choices of morbidity outcomes and concentration-response functions for health risk assessment of long-term exposure to air pollution. *Environ Epidemiol.* 2024 Jun 25;8(4):e314.
- Hales S, Atkinson J, Metcalfe J, Kuschel G, Woodward A. Long term exposure to air pollution, mortality and morbidity in New Zealand: Cohort study. *Sci Total Environ.* 2021 Dec 20;801:149660.
- HEI (Health Effects Institute), 2022. Systematic Review and Meta-Analysis of Selected Health Effects of Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution. Special Report 23. Boston, MA, US: Health Effects Institute. Update April 5, 2023.
- Héroux M E, Anderson H R, Atkinson R, Brunekreef B, Cohen A, Forastiere F, Hurley F, Katsouyanni K, Krewski D, Krzyzanowski M, Künzli N, Mills I, Querol X, Ostro B, Walton H. Quantifying the health impacts of ambient air pollutants: recommendations of a WHO/Europe project. *Int J Public Health* 2015;60(5):619-27.

- Hoek G, Krishnan RM, Beelen R, Peters A, Ostro B, Brunekreef B et al. Long-term air pollution exposure and cardio- respiratory mortality: a review. *Environ Health* 2013;12(1):43.
- Hoffmann B, Brunekreef B, Andersen ZJ, Forastiere F, Boogaard H. Benefits of future clean air policies in Europe: Proposed analyses of the mortality impacts of PM_{2.5} and NO₂. *Environ Epidemiol*. 2022 Aug 31;6(5):e221.
- Huang S, Li H, Wang M, Qian Y, Steenland K, Caudle WM, Liu Y, Sarnat J, Papatheodorou S, Shi L. Long-term exposure to nitrogen dioxide and mortality: A systematic review and meta-analysis. *Sci Total Environ*. 2021;776:145968.
- Huangfu P, Atkinson R. Long-term exposure to NO₂ and O₃ and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environ Int* 2020;144:105998.
- Hvidtfeldt U A, Sørensen M, Geels C, Ketzel M, Khan J, Tjønneland A, Overvad K, Brandt J, Raaschou-Nielsen O. Long-term residential exposure to PM_{2.5}, PM₁₀, black carbon, NO₂, and ozone and mortality in a Danish cohort. *Environ Int* 2019;123:265-272.
- Jansson SA, Backman H, Andersson M, Telg G, Lindberg A, Stridsman C, Lundbäck B, Rönmark E. Severe asthma is related to high societal costs and decreased health related quality of life. *Respir Med*. 2020 Feb;162:105860.
- Jerrett M, Burnett RT, Beckerman BS, Turner MC, Krewski D, Thurston G, Martin RV, van Donkelaar A, Hughes E, Shi Y et al. Spatial Analysis of Air Pollution and Mortality in California. *Am. J. Respir. Crit. Care Med*. 2013;188:593–599.
- Kasdagli MI, Orellano P, Pérez Velasco R, Samoli E. Long-Term Exposure to Nitrogen Dioxide and Ozone and Mortality: Update of the WHO Air Quality Guidelines Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Public Health*. 2024 Oct 18;69:1607676.
- Li S, Wu W, Wang G, Zhang X, Guo G, Wang B et al. Association between exposure to air pollution and risk of allergic rhinitis: a systematic review and meta- analysis. *Environ Res*. 2022;205:112472.
- Mainka A, Žak M. Synergistic or Antagonistic Health Effects of Long- and Short-Term Exposure to Ambient NO₂ and PM_{2.5}: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022; 19(21):14079.
- Mills I C, Atkinson R W, Anderson H R, Maynard R L, Strachan D P. Distinguishing the associations between daily mortality and hospital admissions and nitrogen dioxide from those of particulate matter: A systematic review and meta-analysis. *BMJ Open* 2016;6:e010751.

Nilsson Sommar J, Andersson EM, Andersson N, Sallsten G, Stockfelt L, Ljungman PL, Segerström D, Eneroth K, Gidhagen L, Molnar P, Wennberg P, Rosengren A, Rizzuto D, Leander K, Lager A, Magnusson PK, Johansson C, Barregard L, Bellander T, Pershagen G, Forsberg B. Long-term exposure to particulate air pollution and black carbon in relation to natural and cause-specific mortality: a multicohort study in Sweden. *BMJ Open*. 2021 Sep 8;11(9):e046040.

Olstrup H, Johansson C, Forsberg B, Åström C. Association between Mortality and Short-Term Exposure to Particles, Ozone and Nitrogen Dioxide in Stockholm, Sweden. *Int J Environ Res Public Health* 2019;16(6):1028.

Olstrup H, Flanagan E, Persson JO, Rittner R, Krage Carlsen H, Stockfelt L, Xu Y, Rylander L, Gustafsson S, Spanne M, Åström DO, Engström G, Oudin A. The Long-Term Mortality Effects Associated with Exposure to Particles and NO_x in the Malmö Diet and Cancer Cohort. *Toxics*. 2023 Nov 7;11(11):913.

Orellano P, Reynoso J, Quaranta N, Bardach A, Ciapponi A. Short-term exposure to particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}), nitrogen dioxide (NO₂), and ozone (O₃) and all-cause and cause-specific mortality: Systematic review and meta-analysis. *Environ Int* 2020;142:105876.

Oudin A, Flanagan E, Forsberg B. Projected health benefits of air pollution reductions in a Swedish population. *Scand J Public Health*. 2024 Nov 26:14034948241264099.

Oudin A, Forsberg B, Malmqvist E. Hälsovinster med att uppnå miljömålet frisk luft. *Folkhälsa och klinisk medicin i Umeå rapporter* 2/2022, Umeå universitet, 2022.

Qian Y, Li H, Rosenberg A, Li Q, Sarnat J, Papatheodorou S, Schwartz J, Liang D, Liu Y, Liu P, Shi L. Long-Term Exposure to Low-Level NO₂ and Mortality among the Elderly Population in the Southeastern United States. *Environ Health Perspect*. 2021 Dec;129(12):127009.

Raaschou-Nielsen O, Thorsteinson E, Antonsen S, Holst G J, Sigsgaard T, Geels C, Frohn L M, Christensen J H, Brandt J, Pedersen C B, Hvidtfeldt U A. Long-term exposure to air pollution and mortality in the Danish population a nationwide study. *EClinicalMedicine*. 2020;28:100605.

Räisänen P, Backman H, Hedman L, Andersson M, Stridsman C, Kankaanranta H, Ilmarinen P, Andersen H, Piirilä P, Lindberg A, Lundbäck B, Rönmark E. High but stable incidence of adult-onset asthma in northern Sweden over the last decades. *ERJ Open Res*. 2021 Jul 5;7(3):00262-2021.

Samoli E, Aga E, Touloumi G, Nisiotis K, Forsberg B, Lefranc A, Pekkanen J, Wojtyniak B, Schindler C, Niciu E, Brunstein R, Dodic Fikfak M, Schwartz J,

Katsouyanni K. Short-term effects of nitrogen dioxide on mortality: an analysis within the APHEA project. *Eur Respir J* 2006;27(6):1129-38.

Schwartz J, Fong K, Zanobetti A. A national multicity analysis of the causal effect of local pollution, NO₂, and PM_{2.5} on mortality. *Environ Health Perspect* 2018;126:087004.

Sommar JN, Hvidtfeldt UA, Geels C, Frohn LM, Brandt J, Christensen JH, Raaschou-Nielsen O, Forsberg B. Long-Term Residential Exposure to Particulate Matter and Its Components, Nitrogen Dioxide and Ozone-A Northern Sweden Cohort Study on Mortality. *Int J Environ Res Public Health*. 2021(b) Aug 11;18(16):8476.

Sommar JN, Hvidtfeldt UA, Geels C, et al. Long-term residential exposure to particulate matter and its components, nitrogen dioxide and ozone-a Northern Sweden cohort study on mortality. *Int J Environ Res Public Health*. 2021a;18:8476.

Stafoggia M, Bellander T. Short-term effects of air pollutants on daily mortality in the Stockholm county - A spatiotemporal analysis. *Environ Res* 2020;188:109854.

Stafoggia M, Oftedal B, Chen J, Rodopoulou S, Renzi M, Atkinson RW, Bauwelinck M, Klompmaker JO, Mehta A, Vienneau D, Andersen ZJ, Bellander T, Brandt J, Cesaroni G, de Hoogh K, Fecht D, Gulliver J, Hertel O, Hoffmann B, Hvidtfeldt UA, Jöckel KH, Jørgensen JT, Katsouyanni K, Ketzel M, Kristoffersen DT, Lager A, Leander K, Liu S, Ljungman PLS, Nagel G, Pershagen G, Peters A, Raaschou-Nielsen O, Rizzuto D, Schramm S, Schwarze PE, Severi G, Sigsgaard T, Strak M, van der Schouw YT, Verschuren M, Weinmayr G, Wolf K, Zitt E, Samoli E, Forastiere F, Brunekreef B, Hoek G, Janssen NAH. Long-term exposure to low ambient air pollution concentrations and mortality among 28 million people: results from seven large European cohorts within the ELAPSE project. *Lancet Planet Health*. 2022 Jan;6(1):e9-e18.

Stieb D M, Berjawi R, Emode M, Zheng C, Salama D, Hocking R, Lyrette N, Matz C, Lavigne E, Shin H H. Systematic review and meta-analysis of cohort studies of long term outdoor nitrogen dioxide exposure and mortality. *PLoS One*. 2021;16(2):e0246451.

Stockfelt L, Andersson EM, Molnár P, Rosengren A, Wilhelmsen L, Sallsten G, Barregard L. Long term effects of residential NO(x) exposure on total and cause-specific mortality and incidence of myocardial infarction in a Swedish cohort. *Environ Res* 2015;142:197-206.

Strak M, Weinmayr G, Rodopoulou S, Chen J, de Hoogh K, Andersen ZJ, Atkinson R, Bauwelinck M, Bekkevold T, Bellander T, Boutron-Ruault MC, Brandt J, Cesaroni G, Concini H, Fecht D, Forastiere F, Gulliver J, Hertel O, Hoffmann B, Hvidtfeldt UA, Janssen NAH, Jöckel KH, Jørgensen JT, Ketzel M, Klompmaker JO,

Lager A, Leander K, Liu S, Ljungman P, Magnusson PKE, Mehta AJ, Nagel G, Oftedal B, Pershagen G, Peters A, Raaschou-Nielsen O, Renzi M, Rizzuto D, van der Schouw YT, Schramm S, Severi G, Sigsgaard T, Sørensen M, Stafoggia M, Tjønneland A, Verschuren WMM, Vienneau D, Wolf K, Katsouyanni K, Brunekreef B, Hoek G, Samoli E. Long term exposure to low level air pollution and mortality in eight European cohorts within the ELAPSE project: pooled analysis. *BMJ*. 2021 Sep 1;374:n1904.

Söderqvist T, Barregård L, Johansson N, Molnár P, Nordäng S, Staaf H, Svensson M, Tidblad J, Wallström J. Effektkedjor och skadekostnader som underlag för revidering av ASEK-värden för luftföroreningar. Trafikverket, 2017.

Söderqvist T, Kriit H K, Tidblad J, Andersson J, Jansson S-A, Svensson M, Wallström J, Andersson C, Orru H, Sommar N J, Forsberg B. Underlag för reviderade ASEK-värden för luftföroreningar: Slutrapport från projektet REVSEK, Trafikverket, 2019.

Trafikverket Rapport: Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn ASEK 8.0, Trafikverket, 2024.

Turner M C, Jerrett M, Pope C A 3rd, Krewski D, Gapstur S M, Diver W R, Beckerman B S, Marshall J D, Su J, Crouse D L, Burnett R T. Long-Term Ozone Exposure and Mortality in a Large Prospective Study. *Am J Respir Crit Care Med* 2016;193(10):1134-42.

Wang J, Cao H, Sun D, Qi Z, Guo C, Peng W, Sun Y, Xie Y, Liu X, Li B et al. Associations between Ambient Air Pollution and Mortality from All Causes, Pneumonia, and Congenital Heart Diseases among Children Aged under 5 Years in Beijing, China: A Population-Based Time Series Study. *Environ. Res.* 2019;176:108531.

WHO. Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP project: final technical report. WHO, 2013.

WHO. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM 2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. WHO, 2021.

Analys gällande sekundärt bildade partiklar

Bakgrund

Tidigare analyser till grund för beräkningarna av luftförorenings effekter inom ASEK ansåg det rimligt att begränsa sig till de lokala effekterna av partiklar som halten av $PM_{2.5}$. Inom ett tidigare projekt till grund för ASEK-beräkningar användes fiktiva exempel och därvid framkom dels att de primära emissionernas effekter i närområdet är avgörande för utfallet av hälsoeffekter, dvs. att det är rimligt att bortse från sekundärt bildade partiklar (Söderqvist et al. 2017). Man redovisade även att haltbidragen inte blir avsevärt olika mellan olika geografiska och topografiska förutsättningar, varför geografisk placering i landet har mindre betydelse. Störst betydelse för exponering och skadeverkningar har de primära emissionerna i relation till områdets befolkning och bebyggelse. Partiklar som genereras av biltrafiken i en tätort kommer dock till viss del att transporteras ut och bidra till halterna även i andra områden. De gasformiga ämnen, främst kväveoxider (NO_x) som släpps ut kan också oxideras för att bilda sekundära partiklar (SIA, sekundära oorganiska aerosoler, tex nitrat), där den totala befolknings-exponeringen kan bli större utanför utsläppsområdet än innanför, eftersom det tar tid för sekundära partiklar att bildas.

Syftet med denna del av projektet var enligt ansökan enbart att föreslå en metod för att uppskatta kostnader för emissioner som genererar exponering för sekundärt bildade partiklar. Tanken var att hitta ett sätt att kunna anpassa och återanvända existerande äldre data. Pågående forskning vid SMHI gav dock tillgång till nya resultat erhållna med förbättrade metoder.

Existerande underlag om genererad exponering

Inom projektet TESS (Traffic Emissions, Socioeconomic valuation and Socioeconomic measures) utfördes modellberäkningar för att uppskatta effekterna av utsläpp från olika slags källor i StorStockholm på befolkningens exponering för partiklar även utanför staden, dels inom ett område bestående av omgivande län, dels för hela den europeiska befolkningen (Bergström, 2008; Johansson & Eneroth, 2008; Nerhagen et al, 2008). De fem olika typer av utsläpp som undersöktes var vägtrafik avgaser, (uppdelat på lätta fordon och tunga fordon), sjötrafik, kraftverk samt uppvärmning i bostäder. Förutom förbränningsutsläpp ingick även trafikens slitagepartiklar. Den beräknade påverkan av Stockholms utsläpp på partikel-koncentrationerna viktades med befolkningsfördelningen och de resulterande, årliga, genomsnittliga totala befolkningsexponeringarna för de olika källorna redovisades som $\text{person } \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ v s summan av produkten $\text{person} \cdot \text{år}$ årsmedelhalten där personen bor.

Modellberäkningar för att bestämma effekten av utsläppen i StorStockholm gjordes inom TESS på två olika skalnivåer/regioner med MATCH (Multi-scale Atmospheric Transport and Chemistry)-modellen som utvecklats vid SMHI. Ett stort modellområde som täcker största delen av Europa, med en horisontell upplösning på ca 44 km, användes för att studera effekter på kontinental skala. För den mer detaljerade analysen av effekterna närmare Stockholm användes ett mindre modellområde som täcker StorStockholm och länen Stockholm, Uppsala, Västmanland och Södermanland samt de större städerna i de omgivande länen (Linköping, Norrköping, Örebro, Gävle, Falun, Borlänge) plus Åland. Simuleringarna i det mindre området (benämnt Mälardalen) utfördes med en mycket högre upplösning (ca 5 km) än beräkningarna på europeisk skala. Koncentrationerna från simuleringarna på europeisk skala användes som randvillkor i den högre upplösningen. SLB, Stockholms miljöförvaltning bidrog ned beräkningar av exponeringen för primärt emitterade partiklar från StorStockholms vägtrafik, både avseende avgaser och slitage, där 20% av slitagepartiklarna antas tillhöra finfraktionen $PM_{2.5}$.

Jämförelser gjordes mellan beräkningar där sekundär partikelbildning inkluderades eller exkluderades. Resultaten visade att uteslutande av sekundär partikelbildning ledde till en betydande underskattning av den totala exponeringen, särskilt för långväga transporterade partiklar.

I beräkningarna inom TESS uppskattades att utsläppen från StorStockholms vägtrafik resulterade i en befolkningsdos på 191 500 person $\mu\text{g}/\text{m}^3$, med ytterligare 7 500 i resterande del av Mälardalen. För sekundärt bildade partiklar var motsvarande siffror 117 000 respektive 15 000 person $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Betydelsen av sekundärt bildade partiklar skulle därmed inte vara försumbar, och inom TESS ansågs mortalitetskostnader kunna beräknas enbart för avgaspartiklar och sekundärt bildade partiklar. Det finns alltså kostnadsberäkningar för mortalitetseffekter från TESS. Om man ser till exponeringsberäkningarna där TESS inkluderade slitagepartiklarna, vilka uppskattades ge 2 190 000 respektive 196 000 person $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ter sig exponeringen för sekundärt bildade partiklar utanför utsläppsområdet mindre viktig att beakta.

Redan när beräkningarna från TESS presenterades 2008 med emissionsdata från 2003 fanns stora osäkerheter i modelleringen av SIA, exempelvis stor osäkerhet kring utsläppen av ammoniak. Sedan dess har både emissionerna och beräkningsmodeller förändrats. Bildningen av partikulärt ammoniumnitrat (NH_4NO_3) är starkt beroende av de relativa koncentrationerna av NH_3 , HNO_3 och sulfat/svavelsyra – och dessa beror på utsläppen av svavel- och kväveföreningar både i närområdet och intransporterat från olika delar av Europa. Andelen av utsläppt NO_x som omvandlas till partiklar kan ha förändrats jämfört med för drygt 20 år sedan om de relativa ammoniakhalterna (jämfört med sulfat och NO_x) har

förändrats. Att idag göra exponerings- och hälsokostnadsberäkningar baserade på TESS skulle innebära ännu större osäkerhet.

Nya simuleringar av genererad exponering

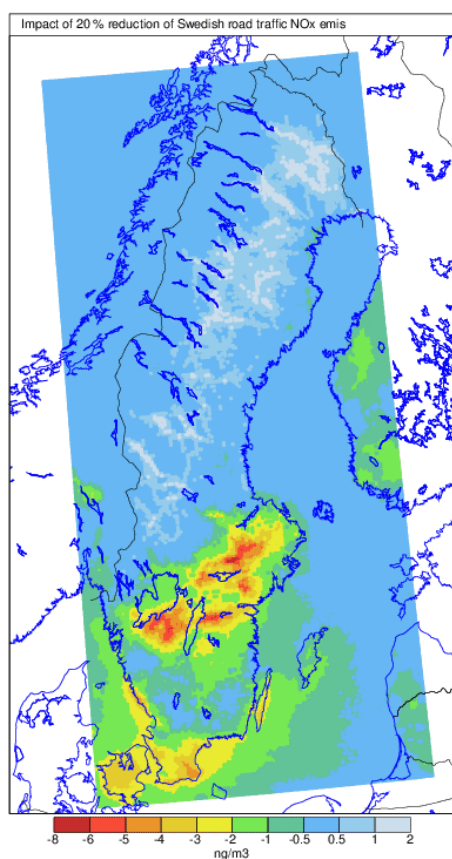
Som en del av det nordiska forskningsprojektet Nordic Nature and Nitrogen har en ny metodik för att beskriva upptag och åter-emissioner av ammoniak från mark och vegetation implementerats i MATCH-modellen. Den nya modellversionen beskriver ammoniakhalterna mer realistiskt än den version som användes i TESS-studien. En mängd andra uppdateringar har också gjorts av modellen under de mer än 15 år som gått sedan TESS. Beräkningskapaciteteten har förbättrats avsevärt vilket ger bättre möjligheter att modellera bildning av $PM_{2.5}$ över hela landet med högre upplösning än tidigare. Nya modellsimuleringar har gjorts för att undersöka hur stor påverkan NO_x -utsläpp från svensk vägtrafik har på halter av $PM_{2.5}$ i Sverige genom sekundärbildning av partikelkomponenter (framför allt ammoniumnitrat).

De nya beräkningarna har gjorts med 5 km upplösning över hela landet för ett år (2019, med emissionsdata för Sveriges antropogena utsläpp från SMED – Svenska MiljöEmissionsData).

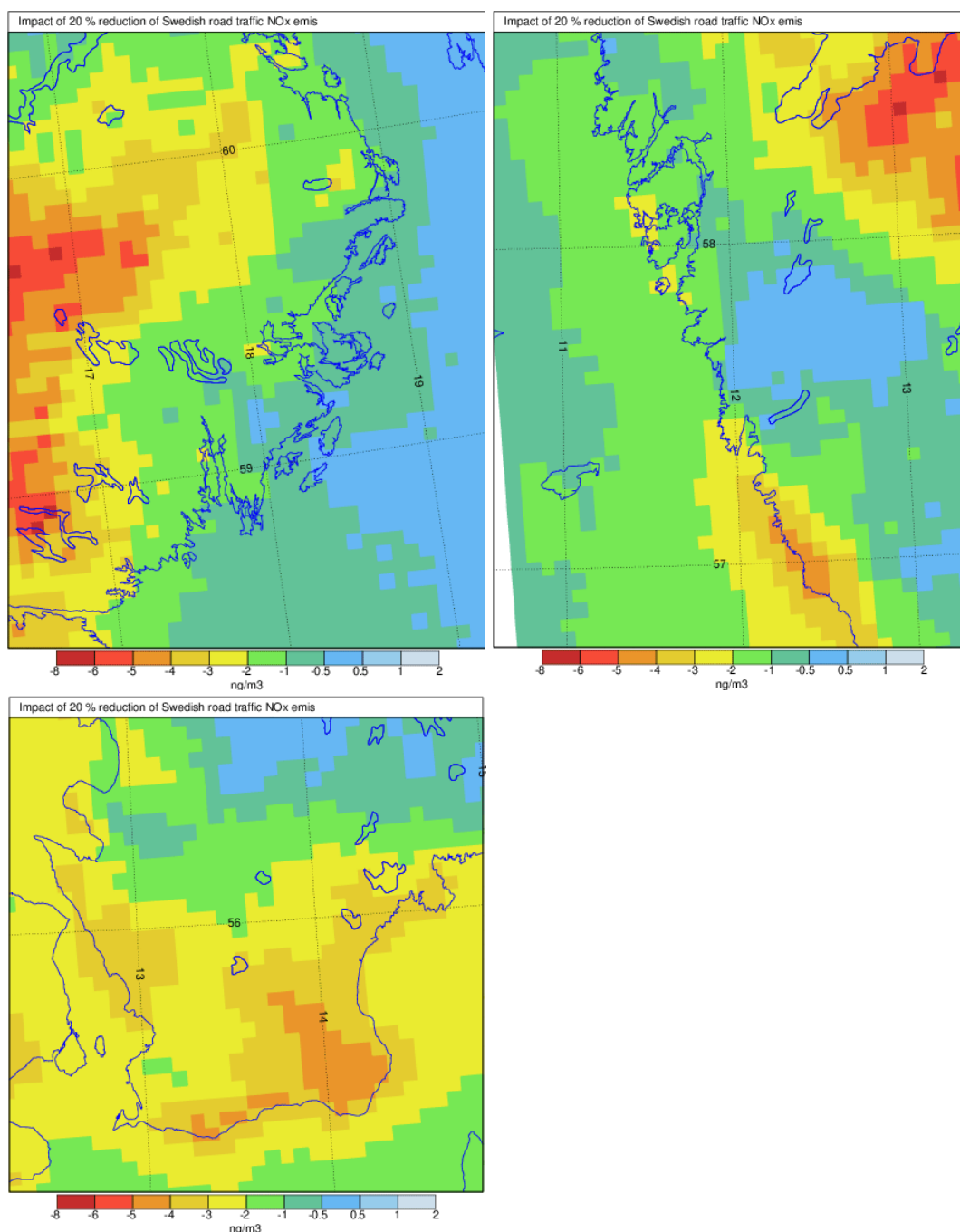
Tre olika simuleringar har gjorts:

- a) en bas-simulering med samtliga utsläpp inkluderade, och två scenarieberäkningar:
- b) med NO_x -utsläppen från svensk vägtrafik reducerade med 20% (total utsläppsminskning 9 502 ton NO_x ; uttryckt i NO_2 -enheter),
- c) med NH_3 -utsläppen från svenska jordbrukskällor reducerade med 20% (total utsläppsminskning 9 255 ton NH_3).

Av intresse för denna studie, som rör sekundärt bildade partiklar från vägtrafiken, är hur stor påverkan vägtrafikens NO_x -utsläpp har på $PM_{2.5}$. Nedan visas den beräknade påverkan på årsmedelhalten av $PM_{2.5}$ av 20% utsläppsminskning i Sverige (Figur 4:1 och 4:2) – det vill säga skillnaden i $PM_{2.5}$ -halt för scenario b) och bas-simuleringen a).



Figur 4:1. Påverkan på årsmedelhalten av PM_{2.5} av 20 % reduktion av vägtrafikens NO_x-emissioner i Sverige (total utsläppsminskning 9 502 ton NO_x[som NO₂]). Modellberäknat med MATCH-modellen med svenska antropogena emissioner för 2019. Enhet nanogram per kubikmeter (ng / m³).



Figur 4:2. Som Figur 1 inzoomat över Stockholm, Göteborg och Skåne. Påverkan på årsmedelhalten av PM_{2.5} av 20% reduktion av vägtrafikens NOx-emissioner i Sverige. Enhet ng / m³.

Som framgår av figurerna så påverkas årsmedelhalten av PM_{2.5} ytterst lite av NOx-utsläpp i Sverige. Störst påverkan syns i jordbruksområden (Västra Götaland, Östergötland, Närke, Södermanland, Västmanland, Uppland) men även i de mest påverkade delarna är minskningen av PM_{2.5} mindre än 0,008 µg/m³. Noterbart är att påverkan är väsentligt lägre i storstadsområdena Stockholm, Göteborg och Malmö (Figur 4:2) – i Göteborgsområdet nära noll.

Att påverkan från vägtrafiken blir störst i jordbruksområden beror på att det är i dessa områden som det finns mest tillgänglig ammoniak som kan reagera med den salpetersyra som bildas efter oxidation av trafikens NO_x-utsläpp och därigenom bilda partikulärt ammoniumnitrat.

Slutsatsen av dessa simuleringar är att bidraget från vägtrafikens NO_x till PM_{2.5} är försumbart i Sverige jämfört med andra källor. Påverkan på ozonhalter är mer betydande (speciellt i tätorter, där en minskning av NO_x-utsläppen beräknas leda till ökande ozonhalter nära marken).

Det svenska jordbrukets NH₃-emissioner påverkar PM_{2.5}-halterna i Sverige i mycket högre grad än trafikens NO_x-utsläpp enligt simuleringarna. En mer omfattande jämförelse mellan betydelsen av NO_x-utsläpp från trafiken och jordbrukets NH₃-utsläpp för olika luftföroreningar och deposition kommer att publiceras senare.

Fotnot: NO_x-utsläppen påverkar också bildningen av sekundära organiska aerosolpartiklar (SOA) i modellen; denna påverkan beror på hur NO_x påverkar halten av ozon och andra oxidanter i luften. Den simulerade påverkan på SOA är betydligt mindre än den på SIA men förklarar varför en minskning av NO_x-utsläppen kan leda till små öknings av PM_{2.5} på vissa platser (särskilt i områden med relativt låga ammoniakhalter och där minskade NO_x-utsläpp kan ge förhöjda ozonhalter och därigenom snabbare bildning av SOA).

Exponerings-responssamband för nitrat och SIA

Om man har underlag att beräkna den exponering för sekundärt bildat PM_{2.5}, eller specifikt nitrat, som ett visst utsläpp av NO_x genererar, så blir nästa fråga om man utifrån aktuellt kunskapsläge vid konsekvensberäkningar ska använda generella exponerings-responssamband för PM_{2.5}, eller om det finns underlag att tillämpa samband som är specifika.

Även om evidensen idag är stark för sambandet mellan fina partiklar och mortalitet, så tycks underlaget beträffande enskilda komponenter motsägelsefullt och osäkert (Wang et al, 2014; Beelen et al, 2015; Chen et al, 2021), vilket även framgår av översiktsartiklar (Achilleos et al, 2017; Yang et al, 2019). Nedan sammanfattas den mest relevanta vetenskapliga litteraturen och bedömningar rapporterade av expertorgan.

Sekundära partiklar i epidemiologiska studier

En viktig förklaring till kunskapslägets begränsningar är tillgången till högt upplösta haltdata för enskilda ämnen. Ett mindre antal studier har använt mätdata över specifika komponenter vid ett antal stationer, men antalet mätplatser har varit få varför studierna har liten förmåga att beskriva den geografiska variationen i

halten av olika komponenter som även kan ha lokal variation, vilket är avgörande vid studier av långtidsexponering och hälsoeffekter (Ostro et al, 2010). De nordamerikanska studierna har ofta använt gridrutor på 1*1 km (upp till 10*10 km) för att tilldela postnummerområden en genomsnittshalt, ibland zoner på upp till 30 km bredd. En ytterligare försvårande omständighet är den höga korrelationen mellan olika partikelkomponenter som konstaterats i studier med avsikt att beskriva eventuella skillnader i de olika komponenternas samband med risken. De specifika komponenter som brukar studeras är främst viktiga beståndsdelar inkluderande sekundära inorganiska partiklar (inkluderande nitrat, sulfat och ammonium) organiskt kol, elementärt kol (eller BC- black carbon) samt spårelement som kalium, kisel och vanadin.

På senare tid har exponeringsdata ofta framtagits med hjälp av beräkningsmodeller med utsläppsdata (kemiska transportmodeller) (Ostro et al, 2015; Hvidtfeldt et al, 2019; Sommar et al, 2021) och/eller statistiska modeller av typ ”land use regression” (Wang et al, 2014; Beelen et al, 2015; Chen et al 2022). Osäkerheten i den beräknade halten och felklassificeringen i individers exponering blir större för de enskilda komponenterna än för halten av $PM_{2.5}$. Skattningarna av effekten har därför ofta blivit mer oprecis med följden att ibland ingen av komponenterna visar ett signifikant samband till hälsoutfallet trots att den totala halten av $PM_{2.5}$ visar på ett signifikant samband, vilket var fallet för de europeiska kohorterna inom projekten ESCAPE och TRANSPHORM (Wang et al, 2014).

I en tidig studie av en yrkeskohort (lärare) i Kalifornien sågs såväl totalt mortalitet som dödligheten i hjärt- och lungsjukdom öka med långtidsexponeringen för bland annat nitrat och sulfat (Ostro et al, 2010). Det finns dock snarlika studier som inte funnit några samband mellan dessa komponenter och mortalitet (Ostro et al, 2015).

Alternativa sätt att analysera sambanden prövades med registerdata från Kanada, där först konstaterades att totala halten av $PM_{2.5}$ visade starkare samband med mortaliteten än någon enskild komponent, men att en modell med totalhalten och komponenternas relativa andel gav den bästa förklaringsgraden av variationen i risk (Crouse et al, 2016). Något motsägelsefullt ökade högre andel nitrat risken för hjärtlungdöd men ökade inte total mortalitet. En liknande stor studie med registerdata från sydöstra USA vars exponeringsmodell kombinerar mätdata med väder och satellitdata fann att $PM_{2.5}$ -komponenterna sulfat, nitrat och organiskt kol minskade relativa risken, indikerande att sekundärt bildade partiklar var mindre toxiska än resten av partikelmassan (Wang et al, 2017). En senare studie av samma population som går tre år längre och kombinerar satellitdata med en kemisk transportmodell, fann att även med justering för $PM_{2.5}$ totalt och övriga komponenter så ökade risken statistiskt signifikant med halten av nitrat men inte med sulfat (Wang et al, 2022). I ytterligare en studie används samma uppläggning med registerdata, nu från hela USA (73 miljoner personer i åldern 65+), och med två typer av exponeringsdata (Hao et al, 2023). Dels användes samma

exponeringsmodellering som hos Wang et al (2022), men nu testades även en maskininlärningsmodell (AI) med hög spatial upplösning fast deltagarnas bostadslokalisering fortfarande är postnummerområde. Modellerna gav väldigt lika resultat för nitrat, som räknat per en haltökning motsvarande kvartilavståndet (IQR) hade (med RR 1,023) lägre effekt på risken än sulfat och ammonium, men högre än elementärt kol, organiskt material och mineraldamm. Resultaten efter simultan justering rapporteras ha blivit snarlika men preciseras inte i artikeln.

I ett par nordiska studier med forskningskohorter har långtidsexponering för nitrat, sulfat och ammonium studerats sammanslagna till secondary inorganic aerosol (SIA) varvid man funnit samband med kardiovaskulär mortalitet men inte total mortalitet (Hvidtfeldt et al, 2019; Sommar et al, 2021).

I den systematiska litteraturöversikten om partikelkomponenter och mortalitet av Achilleos et al (2017) betonas variationen i resultat mellan studier, och att resultaten för specifika komponenter påverkas av om man i analysen samtidigt justerar för den totala halten av PM_{2.5}. En slutsats är att de starkaste och mest konsistenta sambanden har konstaterats för elementärt kol (EC) och kalium, där den senare brukar ses som en indikator på förbränning av biomassa.

Litteraturöversikten av Yang et al (2019) ingår sammanvägningar av resultaten från totalt 35 studier av kort- respektive långtidssamband för komponenter som nitrat, sulfat och ammonium. I metaanalyser av långtidsexponering skattas ökningen av mortaliteten för en ökning av halten motsvarande kvartilavståndet (IQR). Den sammanvägda ökningen blev för nitrat 2,6% (95% KI 0,88-4,34) för 2,3 µg/m³ (Yang et al, 2019), vilket innebär en ökning med 1,1% per µg/m³.

Den senaste litteraturöversikten med meta-analys inkluderar 15 kohortstudier, varav 7 publicerats efter 2019 (Karimi & Samadi, 2023). Den sammanvägda ökningen av mortaliteten för en ökning av halten motsvarande kvartilavståndet blev för nitrat 3% (95% KI 1-5) baserat på 10 studier med data. Inget signifikant samband rapporteras för SIA totalt som bara hade använts av två studier.

Expertorganens bedömningar

Viktiga expertorgan som WHO, Amerikanska Naturvårdsverket USEPA, brittiska Committee on the medical effects of air pollution (COMEAP) och franska myndigheten för livsmedel och miljö ANSES har ännu i sina senaste bedömningar inte ansett sig ha tillräckligt med underlag för att rekommendera specifika relativa risker för olika partikelkomponenter. Varken WHOs senaste Air Quality Guidelines (WHO, 2021) eller EPAs supplement från maj 2022 som kompletterar deras senaste bedömning (Integrated Science Assessment) om partiklar (USEPA 2022) rekommenderar några exponerings-responsantaganden för specifika komponenter. I WHO AQG konstateras :”As yet, insufficient data are available to provide recommendations for AQG levels and interim targets for specific types of PM”.

USEPA konstaterar sammanfattningsvis att samband har rapporterats för många partikelkomponenter och hälsoutfall utan att någon enskild komponent har konstaterats ha starkare samband med hälsoeffekterna än andra komponenter (USEPA, 2022).

Den brittiska hälsomyndigheten Health Security Agency använder som sin vägledning en bedömning angående partiklarnas effekter från 2022 utifrån underlag från expertgruppen COMEAP, vilken i sin tur hänvisar till både USEPA och franska ANSES. Man drar slutsatsen att även om det finns mycket som tyder på att olika komponenter sannolikt ger olika toxikologiska effekter så visar underlaget inte övertygande att vissa komponenter är mer toxiska än andra (UK Health Security Agency, 2022).

Den franska myndigheten ANSES beskriver olika indikationer på att partiklarnas hälsoeffekter kan skilja sig beroende på sammansättning och källa, men landar i slutsatsen att det ännu inte finns tillräckligt med underlag om samband för specifika typer av partiklar och behövs mer forskning (ANSES, 2019).

Sammanfattningsvis kan konstateras att det från WHO och andra viktiga expertorgan inte finns förslag om exponerings-responsantaganden för specifika komponenter i PM_{2.5} eftersom underlaget inte bedömts tillräckligt.

Förslag kring de sekundärt bildade partiklarna

Eftersom det saknas rekommendationer från WHO eller andra expertorgan om specifika exponerings-responsantaganden för olika komponenter i PM_{2.5}, väljer man i de flesta fall att hantera alla delar av PM_{2.5} lika. Det finns dock analyser som funnit att den regionala bakgrundshalten av PM_{2.5}, där sekundärt bildade partiklar är betydelsefulla, för långtidssamband med mortalitet ger lägre relativ risk per µg/m³ än det lokala bidraget (Turner et al, 2014; Lefler et al, 2019; Segersson et al, 2021). Rimligen borde man för hälsokonsekvens-beräkningar gällande nitrat och mortalitet välja ett antagande baserat på resultaten i studier av den regionala bakgrundshaltens betydelse, givet att man för lokalt bidrag använder en högre relativ risk. Två litteraturöversikter har visserligen presenterat liknande sammanvägda riskkoefficienter för nitrat, motsvarande 1,1% per µg/m³ i Yang et al (2019), dvs ungefär dubbelt så hög som med regional bakgrundshalt av PM_{2.5}, men denna tycks bara ha använts i en publicerad konsekvensberäkning (Hang et al, 2022).

Utifrån SMHIs nya simuleringar av NO_x-emissionernas ringa betydelse för halten av PM_{2.5} förefaller det inte motiverat att gå vidare med hälsokonsekvens- och kostnadsberäkningar. Även där exponeringen blir som högst blir detta bidrag litet i förhållande till det lokala bidraget från trafiken.

Referenser

Achilleos S, Kioumourtoglou MA, Wu CD, Schwartz JD, Koutrakis P, Papatheodorou SI. Acute effects of fine particulate matter constituents on mortality: A systematic review and meta-regression analysis. *Environ Int.* 2017 Dec;109:89-100.

ANSES French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety. Particulate matter in ambient air Health effects according to components, source and particle size, 2019.

<https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2014SA0156RaEN.pdf>

Beelen R, Hoek G, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M, Andersen ZJ, Weinmayr G, Hoffmann B, Wolf K, Samoli E, Fischer PH, Nieuwenhuijsen MJ, Xun WW, Katsouyanni K, Dimakopoulou K, Marcon A, Vartiainen E, Lanki T, Yli-Tuomi T, Oftedal B, Schwarze PE, Nafstad P, De Faire U, Pedersen NL, Östenson CG, Fratiglioni L, Penell J, Korek M, Pershagen G, Eriksen KT, Overvad K, Sørensen M, Eeftens M, Peeters PH, Meliefste K, Wang M, Bueno-de-Mesquita HB, Sugiri D, Krämer U, Heinrich J, de Hoogh K, Key T, Peters A, Hampel R, Concin H, Nagel G, Jaensch A, Ineichen A, Tsai MY, Schaffner E, Probst-Hensch NM, Schindler C, Ragettli MS, Vilier A, Clavel-Chapelon F, Declercq C, Ricceri F, Sacerdote C, Galassi C, Migliore E, Ranzi A, Cesaroni G, Badaloni C, Forastiere F, Katsoulis M, Trichopoulou A, Keuken M, Jedynska A, Kooter IM, Kukkonen J, Sokhi RS, Vineis P, Brunekreef B. Natural-cause mortality and long-term exposure to particle components: an analysis of 19 European cohorts within the multi-center ESCAPE project. *Environ Health Perspect.* 2015 Jun;123(6):525-33.

Bergström R. TESS – Traffic Emissions, Socioeconomic valuation and Socioeconomic measures. Part 2: Exposure of the European population to atmospheric particles (PM) caused by emissions in Stockholm. SMHI report nr 132. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, 2008.

Chen J, Hoek G, de Hoogh K, Rodopoulou S, Andersen ZJ, Bellander T, Brandt J, Fecht D, Forastiere F, Gulliver J, Hertel O, Hoffmann B, Hvidtfeldt UA, Verschuren WMM, Jöckel KH, Jørgensen JT, Katsouyanni K, Ketzl M, Méndez DY, Leander K, Liu S, Ljungman P, Faure E, Magnusson PKE, Nagel G, Pershagen G, Peters A, Raaschou-Nielsen O, Rizzuto D, Samoli E, van der Schouw YT, Schramm S, Severi G, Stafoggia M, Strak M, Sørensen M, Tjønneland A, Weinmayr G, Wolf K, Zitt E, Brunekreef B, Thurston GD. Long-Term Exposure to Source-Specific Fine Particles and Mortality—A Pooled Analysis of 14 European Cohorts within the ELAPSE Project. *Environ Sci Technol.* 2022 Jul 5;56(13):9277-9290.

Crouse DL, Philip S, Van Donkelaar A, Martin R V, Jessiman B, Peters P A, ... & Burnett R T. A new method to jointly estimate the mortality risk of long-term exposure to fine particulate matter and its components. *Scientific reports* 2016;6(1), 18916.

Hang Y, Meng X, Li T, Wang T, Cao J, Fu Q, Dey S, Li S, Huang K, Liang F, Kan H, Shi X, Liu Y. Assessment of long-term particulate nitrate air pollution and its health risk in China. *iScience*. 2022 Aug 9;25(9):104899.

Hao H, Wang Y, Zhu Q, Zhang H, Rosenberg A, Schwartz J, Amini H, van Donkelaar A, Martin R, Liu P, Weber R, Russel A, Yitshak-Sade M, Chang H, Shi L. National Cohort Study of Long-Term Exposure to PM_{2.5} Components and Mortality in Medicare American Older Adults. *Environ Sci Technol*. 2023 May 2;57(17):6835-6843.

Hvidtfeldt UA, Geels C, Sørensen M, Ketzel M, Khan J, Tjønneland A, Christensen JH, Brandt J, Raaschou-Nielsen O. Long-term residential exposure to PM_{2.5} constituents and mortality in a Danish cohort. *Environ Int*. 2019 Dec;133(Pt B):105268.

Johansson C and Eneroth K. TESS - Traffic Emissions, Socioeconomic valuation and Socioeconomic measures Part 1: Emissions and exposure of particles and NO_x in Greater Stockholm. SLB analys rapport nr 2:2007, Miljöförvaltningen, Stockholm.

Karimi B and Samadi S. Mortality associated with fine particulate and its components: a systematic review and meta-analysis. *Atmos Pollut Res*. 2023;14 101648.

Lefler JS, Higbee JD, Burnett RT, Ezzati M, Coleman NC, Mann DD, Marshall JD, Bechle M, Wang Y, Robinson AL, Arden Pope C 3rd. Air pollution and mortality in a large, representative U.S. cohort: multiple-pollutant analyses, and spatial and temporal decompositions. *Environ Health*. 2019 Nov 21;18(1):101.

Nerhagen, L, Bergström R, Forsberg B, Johansson C, Eneroth K. Measuring the external health cost of particulate matter from road traffic and other sources in Stockholm, Sweden. VTI, 2008.

Ostro B, Lipsett M, Reynolds P, Goldberg D, Hertz A, Garcia C, Henderson KD, Bernstein L. Long-term exposure to constituents of fine particulate air pollution and mortality: results from the California Teachers Study. *Environ Health Perspect*. 2010 Mar;118(3):363-9.

Ostro B, Hu J, Goldberg D, Reynolds P, Hertz A, Bernstein L, Kleeman MJ. Associations of mortality with long-term exposures to fine and ultrafine particles, species and sources: results from the California Teachers Study Cohort. *Environ Health Perspect*. 2015 Jun;123(6):549-56.

Rodopoulou S, Stafoggia M, Chen J, de Hoogh K, Bauwelinck M, Mehta AJ, Klompmaker JO, Oftedal B, Vienneau D, Janssen NAH, Strak M, Andersen ZJ, Renzi M, Cesaroni G, Nordheim CF, Bekkevold T, Atkinson R, Forastiere F,

Katsouyanni K, Brunekreef B, Samoli E, Hoek G. Long-term exposure to fine particle elemental components and mortality in Europe: Results from six European administrative cohorts within the ELAPSE project. *Sci Total Environ.* 2022 Feb 25;809:152205.

Segersson D, Johansson C, Forsberg B. Near-Source Risk Functions for Particulate Matter Are Critical When Assessing the Health Benefits of Local Abatement Strategies. *Int J Environ Res Public Health.* 2021 Jun 25;18(13):6847.

Sommar JN, Hvidtfeldt UA, Geels C, Frohn LM, Brandt J, Christensen JH, Raaschou-Nielsen O, Forsberg B. Long-Term Residential Exposure to Particulate Matter and Its Components, Nitrogen Dioxide and Ozone-A Northern Sweden Cohort Study on Mortality. *Int J Environ Res Public Health.* 2021 Aug 11;18(16):8476.

Söderqvist T, Barregård L, Johansson N, Molnár P, Nordäng S, Staaf H, Svensson M, Tidblad J, Wallström J. Effektkedjor och skadekostnader som underlag för revidering av ASEK-värden för luftföroreningar. Trafikverket, 2017.

UK Health Security Agency. Statement on the differential toxicity of particulate matter according to source or constituents: 2022.
<https://www.gov.uk/government/publications/particulate-air-pollution-health-effects-of-exposure/statement-on-the-differential-toxicity-of-particulate-matter-according-to-source-or-constituents-2022>

USEPA Supplement to the 2019 Integrated Science Assessment For Particles. United States Environmental Protection Agency, 2022.

Wang M, Beelen R, Stafoggia M, Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Hoffmann B, Fischer P, Houthuijs D, Nieuwenhuijsen M, Weinmayr G, Vineis P, Xun WW, Dimakopoulou K, Samoli E, Laatikainen T, Lanki T, Turunen AW, Oftedal B, Schwarze P, Aamodt G, Penell J, De Faire U, Korek M, Leander K, Pershagen G, Pedersen NL, Östenson CG, Fratiglioni L, Eriksen KT, Sørensen M, Tjønneland A, Bueno-de-Mesquita B, Eeftens M, Bots ML, Meliefste K, Krämer U, Heinrich J, Sugiri D, Key T, de Hoogh K, Wolf K, Peters A, Cyrys J, Jaensch A, Concin H, Nagel G, Tsai MY, Phuleria H, Ineichen A, Künzli N, Probst-Hensch N, Schaffner E, Vilier A, Clavel-Chapelon F, Declerq C, Ricceri F, Sacerdote C, Marcon A, Galassi C, Migliore E, Ranzi A, Cesaroni G, Badaloni C, Forastiere F, Katsoulis M, Trichopoulou A, Keuken M, Jedynska A, Kooter IM, Kukkonen J, Sokhi RS, Brunekreef B, Katsouyanni K, Hoek G. Long-term exposure to elemental constituents of particulate matter and cardiovascular mortality in 19 European cohorts: results from the ESCAPE and TRANSPHORM projects. *Environ Int.* 2014 May;66:97-106.

Wang Y, Shi L, Lee M, Liu P, Di Q, Zanobetti A, Schwartz J D. Long-term Exposure to PM_{2.5} and Mortality Among Older Adults in the Southeastern US. *Epidemiology* 2017;28(2):p 207-214.

Wang Y, Xiao S, Zhang Y, Chang H, Martin RV, Van Donkelaar A, Gaskins A, Liu Y, Liu P, Shi L. Long-term exposure to PM_{2.5} major components and mortality in the southeastern United States. *Environ Int.* 2022 Jan;158:106969.

WHO, 2021. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide.

Yang Y, Ruan Z, Wang X, Yang Y, Mason TG, Lin H, Tian L. Short-term and long-term exposures to fine particulate matter constituents and health: A systematic review and meta-analysis. *Environ Pollut.* 2019 Apr;247:874-882.

I perspektiv - en jämförelse med beräkningarna i Storbritannien

Modell för olika sektorer

När nuvarande underlag om skadekostnader för luftföroreningars hälsoeffekter utarbetades inom projektet REVSEK användes inte något annat lands modell som förebild. Det är därför intressant att jämföra hur ett land med större resurser men likartade förhållanden har byggt sina beräkningar. UK Department of Environment, Food and Rural Affairs (Defra) ansvarar i Storbritannien för att ge rekommendationer angående vilka skadekostnader ("damage costs") som man ska räkna med för utsläpp av luftföroreningar av olika typ från olika sektorer (Defra, 2023). Konsultfirman som utför beräkningarna för Defra har till stöd haft expertbedömningar från Committee on the Medical Effects of Air Pollution (COMEAP) och den engelska folkhälsomyndigheten (Public Health England, PHE) om vilka effekter föroreningarna bedöms orsaka. COMEAP har uppenbarligen en mer "restriktiv" bedömning än PHE kring när tillräcklig evidens finns. Skadekostnaderna för PM_{2.5} och NO_x domineras totalt av kostnader för hälsoeffekter, kostnaderna för nedsmutsning av byggnader respektive på ekosystem uppgår till drygt en procent av den nationella genomsnittskostnaden. Kostnaderna anges för utsläpp från olika sektorer inklusive "road transport" utifrån hur befolkningens exponering påverkas.

Spann i kostnaderna

För kostnaden per ton finns dels ett "central estimate", men till följd av olika myndigheters syn på evidensläget och osäkerheten i exponerings-responssambanden också ett "low" and "high" belopp per ton. I beräkningarna bakom "high" tas fler hälsoeffekter av föroreningarna med enligt en analys från Public Health England, och i vissa fall väljer man relativa risken från det 95%-iga konfidensintervallets övre gräns. I alternativet "low" väljer man alltid relativa risken från konfidensintervallets nedre gräns. För PM_{2.5} skiljer sig skadekostnaden per ton drygt 6,5 gånger mellan high och low, för NO_x är skillnaden 23 gånger.

För vägtrafiken finns även kostnaderna för emissionerna redovisade för olika typer av områden, från centrala London till landsbygd med 15 gångers skillnad per ton PM_{2.5}. I ASEK 8.0 skiljer sig exponeringen per ton enligt underlagen (Forsberg et al 2021) 9,6 gånger mellan liten tätort och storstadskärna, men hela 88 gånger mellan landsbygd och storstadskärna. Den stora skillnaden mellan länderna förklaras sannolikt dels av att beräkningarna för Defra har upplösningen 1×1 km medan exponeringen i de svenska typområdena baserades på en upplösning ner till 50×50 m, dels av skillnader i befolkningstäthet.

PM10 och PM2.5

Eftersom de rekommenderade antagandena (från nationella expertorgan) om exponerings-responsfunktioner för långtidsexponering för partiklar och mortalitet och morbiditet baseras på PM2.5, anges att en omräkning av utsläppen sker från PM10 till PM2.5 med en kvot som för vägtrafik är satt till ~0,6 (medan jordbruk har kvoten ~0,2). Principen att använda PM2.5 innebär att det bara finns en skadestånd för partikelemissioner oavsett om det är avgaspartiklar eller slitagepartiklar. Den tekniska modelleringsbilagan visar att 74 % av vägtrafikens emissioner av PM2.5 antas vara slitagepartiklar (Pugsley KL et al, 2022). Dessutom beräknas bl a från NOx bildning av SIA som får samma relativa risk som PM2.5.

Mortalitetseffekter av NOx och PM2.5

För emissioner av NOx räknas långtidseffekter på mortaliteten dels via NO₂, dels via sekundärt PM2.5. För att undvika dubbelräkning på grund av att exponerings-responssambanden inte är inbördes justerade i de studier som ligger bakom det sammanvägda exponerings-responssambandet för mortalitet görs för NO₂ en nedjustering av relativa risken med 40% vid beräkningarna för low, central respektive high, resulterande i 0,8, 2,3 respektive 3,7 % ökad mortalitet per 10 µg/m³ utifrån konfidensintervallet. För långtidseffekten av PM2.5 på mortaliteten görs ingen motsvarande nedjustering av den sammanvägda relativa ökningen med 8 % per 10 µg/m³ i centrala estimatet, men konfidensintervallets övre och nedre gräns, 6 respektive 9 % per 10 µg/m³ tillämpas för beräkningen low respektive high.

Inkluderade morbiditetseffekter

Utöver effekter på dödlighet så inkluderar i Storbritanniens beräkningsalternativ "high" för PM och NO₂ sammanlagt tio utfall gällande sjuklighet som inte ingått i uppsättningen från REVSEK (Defra, 2023; Söderqvist et al, 2019), varav fyra är korttidseffekter på sjukhusinläggningar, en typ av effekt som inte alls ingår i den svenska modellen (Tabell 5:1). Fyra utfall avser långtidsexponering för NO₂ och incidens (uppkomst) av astma, barnastma, diabetes respektive lungcancer, där NO₂ inte alls ingått i den svenska beräkningen. Slutligen ingår i den engelska beräkningen PM2.5 och incidensen av lungcancer, respektive incidensen av kronisk bronkit, där REVSEK i det senare fallet i stället använt diagnosen kroniskt obstruktiv lungsjukdom (KOL). I modellen från REVSEK ingår även för tidig födsel. Båda modellerna inkluderar effekter på sjukdagar/produktivitet, men den svenska bara för arbetande vuxna och PM2.5, medan man i Storbritannien inkluderar fler grupper. I översynen av modellen från REVSEK tillkom PM2.5 och incidensen av demens respektive lungcancer (Forsberg et al, 2021).

Tabell 5:1. Inkluderade samband i ASEK 8.0, rapportförslagen respektive Defra.

	ASEK 8.0	Förslag i denna rapport	Defra Air quality appraisal, 2023
Mortalitet			
Avgaser PM2.5 ökn per 10 µg/m ³	26%	26%	6/8/9% som low, central resp high estimate (Table 3.6)*
Slitage PM10 ökn per 10 µg/m ³	PM10×0,2=PM2.5 26%	13/9%	PM10×0,622=PM2.5 (Table 2.4)* 6/8/9% (motsvarar för PM10 3,7/5%/6%)
SIA PM2.5 ökn per 10 µg/m ³	beaktas ej	beaktas ej	6/8/9%
NO ₂ (från NO _x) ökn per 10 µg/m ³	1%	3,9 /5% med/utan just för PM2.5 (Chen 2024)	0,8/ 2,3 /3,7% (Table 3.6)*
Morbiditet			
NO ₂ ingående utfall	saknas	astma, barnastma, allergisk rinit	lungcancer, diabetes, astma vuxna, barnastma, sjukhusinl hjärtkärl, sjukhusinl andningsorgan, sjukdagar arbetande, frivilliga, skolbarn (Table 3.6,3.7,3.10)*
PM2.5 ingående utfall	hjärtinfarkt, stroke, lungcancer, demens, diabetes, KOL, barnastma, för tidig födsel, sjukdagar arbetande	lägg till ASD, allergisk rinit och sjukdagar skolbarn	hjärtinfarkt, stroke, lungcancer, diabetes, kronisk bronkit, barnastma, sjukhusinl hjärtkärl, sjukhusinl andningsorgan, sjukdagar arbetande, frivilliga, skolbarn (Table 3.6,3.7,3.10)*

*/Se Defra, 2023, olika antaganden för central, low respektive high cost estimate.

Sammantaget inkluderar modellen som Defra använder fler hälsoutfall än den svenska beräkningen, särskilt i beräkningsalternativet high cost estimate, men

speciellt för den viktiga posten mortalitet så använder man låga antaganden för relativ risk.

Antagen hälsoförlust

Antagandet om genomsnittlig sjukdomsduration, som tillsammans med QALY-vikten för sjukdomen används för att beräkna förlusten och därmed kostnaden för livskvalitetsförlusten, skiljer sig ibland mellan den engelska modellen och underlaget för ASEK. För hjärtinfarkt och diabetes används helt samma antagande (1 respektive 9 år), medan den svenska beräkningen antar betydligt längre duration för astma och den engelska betydligt lägre för stroke, vilket delvis kan bero på typisk ålder vid sjukdomsdebut och den förväntade livslängden. Vi har dock valt att nu reducera den antagna sjukdomsdurationen vid astma i beräkningsverktyget för ASEK. Beträffande QALY-vikterna så är skillnaderna mindre än 10 %, men i de flesta fall antar de svenska beräkningarna en något lägre förlust.

Av mycket stor betydelse för skadekostnaderna har vilket värde som tillämpas för ett statistiskt liv och per QALY. Det värde som använts i ASEK ligger 2-3 gånger högre än värdet som använts av Defra, exempelvis £70 000 per QALY år 2022 (Defra, 2023).

Referenser

Defra. Air quality appraisal: damage cost guidance. Department for Environment, Food and Rural Affairs, 2023.

Forsberg B, Lövenheim B, Sommar J N, Kriit H, Strömgren M, Johansson C. Bättre metoder att beskriva hälsovinster av minskad luftföroreningsexponering från vägtrafik. Trafikverket 2021, Rapport 2021:253.

Pugsley KL et al, 2022. Technical report on UK supplementary modelling assessment under the Air Quality Standards Regulations 2010 for 2020, Ricardo Energy & Environment, 2022.

Söderqvist T, Kriit H K, Tidblad J, Andersson J, Jansson S-A, Svensson M, Wallström J, Andersson C, Orru H, Sommar N J, Forsberg B. Underlag för reviderade ASEK-värden för luftföroreningar: Slutrapport från projektet REVSEK. Trafikverket, 2019.

Konsekvenser för beräknade skadekostnader

Konsekvenser vid översynen 2021 av beräkningarna från REVSEK

Vid översynen 2021 av beräkningarna från REVSEK adderades effekter av PM_{2.5} på incidensen av demens respektive lungcancer samt justerades antagandet om durationen vid diabetes, med en total konsekvens att den beräknade skadekostnaden per ton utsläpp av PM_{2.5} ökade med cirka 4,5 % (Forsberg et al, 2021). Kostnaden per kg PM_{2.5} hamnade på 7224 kr och per kg slitagepartiklar som PM₁₀ på 1471 kr. Vid översynen lämnades också förslag på beräkningar av skadekostnader för emissioner av NO_x, med en kostnad för enbart mortalitet på ca 130 kr per kg. Skadekostnader för hälsoeffekter värderade med den generella nationella befolkningsexponeringen per ton anges från REVSEK (Söderqvist et al, 2019) och översynen (Forsberg et al, 2021) i 2017 års penningvärde. I ASEK 8.0 anges med 2019 års penningvärde cirka 3 procent högre kostnader. För avgaspartiklar (som PM_{2.5}) anges i ASEK 8.0 kostnaden till 7433 kr/kg, för slitage som PM₁₀ till 1513 kr/kg och för NO_x till 137 kr/kg (Trafikverket, 2024).

I REVSEK infördes ett nationellt typvärde för vilken total befolkningsexponering (µg/m³ personer) ett ton avgas- och slitagepartiklar antas generera, och antagandet ligger till grund för det nationella typvärdet på skadekostnaden som inkluderades i ASEK (Söderqvist et al, 2019). Vid översynen presenterades från modellberäkningar den beräknade befolkningsexponeringen per ton för 6 olika "typområden" (från landsbygd till storstadskärna), med stora skillnader mellan områdena och ganska små mellan NO_x och olika partikeltyper (Forsberg et al, 2021). Dessa förhållanden finns använda i ASEK8.0 (Trafikverket, 2024), och har likheter med de områdesspecifika kalkylvärden som används av Defra i Storbritannien (Defra, 2024).

Konsekvenser av nu lämnade revideringsförslag

Inkludering av fler hälsoeffekter bland barn

Effekter av PM_{2.5}

Ett av syftena med detta projekt var att undersöka om fler effekter på barn borde inkluderas i skadekostnadsberäkningarna. Beräkningarna till grund för nuvarande skadekostnad för partiklar i ASEK omfattar två utfall bland barn, för tidig födsel och astmauppkomst. WHO-projektet EMAPEC bedömde att det finns evidens nog för

att inkludera kostnader för astmauppkomst (Forastiere et al, 2024), men inkluderar inte prematur födsel trots att de flesta reviewartiklar finner ett samband (Song et al, 2023). I beräkningarna bakom ASEK 8.0 bidrar för tidig födsel till ca 0,5 % av morbiditetskostnaden för PM_{2.5}, varför det nu inte funnits skäl att fokusera på den evidensfrågan. EMAPEC bedömde att det finns evidens nog för att inkludera kostnader för autismspektrumstörning, vilket med den relativa risk som rekommenderas ökar morbiditetskostnaden med ca 23 % här i förslaget jämfört med i ASEK 8.0 (allt annat oförändrat). EMAPEC har även inkluderat akut infektion i nedre luftvägarna hos barn som ett utfall med tillräcklig evidens för sambandet till PM_{2.5}, men har här inte tagits med eftersom definition/förekomst och kostnadsuppgifter bedöms för osäkra. Utifrån syftet att bättre fånga effekter på barn föreslås att uppkomst av rinit samt sjukdagar (VAB-dagar) för barn 6-11 år inkluderas som utfall. Inkluderingen av rinit ökar morbiditetskostnaden med drygt 2,5 % (allt annat oförändrat), medan sjukdagarna ger en helt försumbar ökning.

Effekter av NO₂ (från NO_x-emissioner)

WHO-projektet EMAPEC bedömde att det finns evidens nog för att inkludera kostnader för astmauppkomst hos barn till även följd av exponering för NO₂ (Forastiere et al, 2024). Därtill föreslås att inkludera även sambandet mellan NO₂ och allergisk rinit bland barn. ASEK 8.0 finns för hälsopåverkan av NO₂ bara mortalitetskostnader (137 kr/kg med 2019 års penningvärde), där tillägg av astma respektive allergisk rinit hos barn motsvarar en kostnad på ca 146 kr/kg NO_x (2017 års penningvärde).

Reviderade och unika beräkningar för NO_x

Mortalitet

Förslaget som lämnas från denna översyn går ut på att tillämpa två alternativa exponerings-responsantaganden för NO₂ och mortalitet. Dels ett alternativ där den relativa risken bygger på beräkningar av sambandet utan hänsyn till samtidiga halter av någon annan förorening med samma källor som också kan ha bidragit till risken "single pollutant models". NO₂ kan här ses som en indikator, och resultaten kan inte läggas ihop med motsvarande beräkningar för partiklar eftersom dessa ofta haft samma källor i epidemiologiska studier. Det andra alternativet innebär att beräkningarna görs med en relativ risk som är "justerad" för partiklarnas bidrag till risken. Justeringen kan göras redan i analysen inom en enskild studie med en "multi pollutant model", men så görs långt ifrån alltid. Nu har det EU-finansierade projektet Urban Burden of Disease Estimation for Policy Making (UBDPolicy) baserat på en analys av många mortalitetsstudier föreslagit hur man i efterhand kan justera de redovisade relativa riskerna för NO₂ respektive PM_{2.5} så att effekterna separeras och resultaten kan adderas. Den mest aktuella och omfattande översikten

om NO₂ och mortalitet från WHO-projektet Health Risks of Air Pollution in Europe (HRAPIE-2) (Kasdagli et al, 2024) ger de sammanvägda relativa risken 1,05 (95 % KI: 1,03-1,07) per 10 µg/m³ NO₂, med 1,039 som den reducerade relativa risken justerad för PM_{2.5} enligt UBDPolicy. Dessa värden kan vara underskattningar eftersom studierna i Kasdagli et al (2024) med medel exponeringar under 20 µg/m³ ger högre relativa risker. I beräkningarna till grund för nuvarande kostnad för NO_x i ASEK antogs relativa risken 1,01 per 10 µg/m³ som specifik för NO₂, så mortalitetskostnaden skulle fyrfaldigas med den justerade relativa risken. Utan reduktion av relativa risken blir mortalitetskostnaden för NO_x 673 kr/kg.

Morbiditet

WHO-projektet EMAPEC bedömde att det finns evidens nog för att inkludera kostnader för astmauppkomst inte bara hos barn utan även hos vuxna till följd av exponering för NO₂ (Forastiere et al, 2024). Därtill föreslås att inkludera även sambandet mellan NO₂ och allergisk rinit. Utveckling av astma hos vuxna står för den största morbiditetskostnaden på 395 kr/kg NO_x.

Från UBDPolicy finns inte någon analys av hur mycket relativa risken för NO₂ respektive PM_{2.5} reduceras vid inbördes justering i studier av olika morbiditetsutfall, t ex astma. När ett morbiditetsutfall ingår i kostnadsberäkningar både gällande NO₂ och PM_{2.5} föreslås de redovisade relativa riskerna för NO₂ respektive PM_{2.5} justeras med samma faktorer som för mortalitet så att effekterna separeras och resultaten kan adderas.

Ändrad beräkning av slitagepartiklars effekter

Mortalitet

Beräkningarna till grund för nuvarande skadekostnad i ASEK bygger på att långtidsexponering för finfraktionen (PM_{2.5}) är förenad med en relativ risk på 1,26 per 10 µg/m³, och att finfraktionen utgör 20 % av slitageemissionerna som PM₁₀. Grovfraktionen antas därtill bara påverka dagligt antal dödsfall med en relativ risk på 1,017 per 10 µg/m³ samt bara medföra 1/10 så lång livslängdsförlust hos fallen.

Med förslaget att använda PM₁₀ som mått för slitagepartiklarna och tillämpa en relativ risk för PM₁₀ på 1,12 per 10 µg/m³ skulle mortalitetskostnaden för slitageemissioner öka ca 2,3 gånger, från ca 874 kr/kg till ca 2018 kr/kg (2017 års penningvärde). Detta innebär att per kg uppgår mortalitetskostnaden för slitage som PM₁₀ till ca 46% av kostnaden per kg för avgaspartiklar som PM_{2.5}.

I beräkningarna för Storbritanniens Defra uppgår kostnaden per kg slitagepartiklar som PM₁₀ från vägtrafiken till 60% av kostnaderna per kg för PM_{2.5} eftersom man

använder en omräkningsfaktor på ca 0,6 från PM₁₀ till PM_{2.5} för vägtrafikens emissioner inklusive för slitagepartiklar (Defra, 2023).

Morbiditet

Till grund för ASEK har ända sedan nuvarande modell skapades inom REVSEK (Söderqvist et al, 2019) morbiditetseffekterna av partikelexponering för alla utfall utom två baserats på samband för halten av PM_{2.5} utifrån de underlag som funnits. I två fall har dock den använda metaanalysen givit även sambandet med PM₁₀, för övriga har utfall slitagepartiklarnas morbiditetseffekter beräknats utifrån andelen i finfraktionen, vilken antagits vara 20%. När WHO-projektet EMAPEC nu givit rekommendationer för beräkningar av hälsokonsekvenser och kostnader rekommenderas endast exponerings-responssamband för PM_{2.5} och NO₂ (Forastiere et al, 2024). Som ovan nämnts gör Defra i sin modell en omräkning för vägtrafiken från PM₁₀ till PM_{2.5} med antagandet att 60% utgörs av finfraktionen. Förslaget här är att behålla samma princip som hittills har använts och fortsatt anta att 20% av slitage som PM₁₀ utgörs av PM_{2.5}. Det är dock möjligt att effekterna på morbiditeten kommer att få skrivas upp när det kommer bra översikter om PM₁₀ och morbiditet och relativ risk för PM₁₀ kan användas för morbiditet.

Sammanfattning av beräknade skadekostnader för hälsoeffekter

Skadekostnaderna per kg har i ASEK 8.0 räknats om till 2019 års penningvärde, medan kostnaderna i det använda beräkningsverktyget även nu avser 2017 och därför får räknas om till aktuellt år om de inkluderas vid en revidering av ASEK.

Med de föreslagna revideringarna sammantaget ökar kostnaden för PM_{2.5} (avgaspartiklar) med ca 10 % till 7928 kr/kg där inkludering av ett samband med autismspektrumstörning står för den största kostnadsökningen. Mortalitetskostnaden uppgår till 4372 kr/kg.

De föreslagna revideringarna medför större förändringar för slitageemissionerna där kostnaden ökar nästan 1,9 gånger från 1471 kr/kg till 2746 kr/kg främst till följd av en beräknad större effekt på mortaliteten.

Den största förändringen som nu föreslås gäller NO_x, där den förra revideringen införde en kostnad enbart för effekten på mortalitet vilken blev 130 kr/kg. De nu föreslagna revideringarna ger nära 10 gånger så hög total kostnad, 1267 kr/kg där effekterna på mortaliteten står för 673 kr/kg.

När kostnadsberäkningar nu gjorts för partiklar och NO_x måste understrykas att det EU-finansierade projektet Urban Burden of Disease Estimation for Policy Making (Chen et al, 2024) föreslår att när man räknar på konsekvenser av exponeringsförändringar som samtidigt rör både PM_{2.5} och NO_x (avgaser) och

önskar addera beräkningar för båda, bör effekten på mortalitet reduceras med 22,6 % för NO₂ och 32,3 % för PM_{2.5}. Det är troligt att liknande förhållanden gäller för morbiditetseffekter och kan tillämpas om samma hälsoutfall påverkas av båda föroreningarna. För NO_x som delar fem hälsoutfall i modellen med PM minskar då den beräknade totala kostnaden från 1267 kr/kg till 1070 kr/kg.

Referenser

Chen X, Gehring U, Dyer GMC, Khomenko S, de Hoogh K, Tonne C, Tatah L, Vermeulen R, Khreis H, Nieuwenhuijsen M, Hoek G. Single- and two-pollutant concentration-response functions for PM_{2.5} and NO₂ for quantifying mortality burden in health impact assessments. *Environ Res.* 2024 Dec 15;263(Pt 3):120215.

Defra. Air quality appraisal: damage cost guidance. Department for Environment, Food and Rural Affairs, 2023.

Forastiere F, Spadaro J, Ancona C, Jovanovic Andersen Z, Cozzi I, Gumy S, Loncar D, Mudu P, Medina S, Perez Velasco R, Walton H, Zhang J, Krzyzanowski M. Choices of morbidity outcomes and concentration–response functions for health risk assessment of long-term exposure to air pollution. *Environmental Epidemiology* 2024;8(4):p e314.

Forsberg B, Lövenheim B, Sommar J N, Kriit H, Strömgren M, Johansson C. Bättre metoder att beskriva hälsovinster av minskad luftföroreningsexponering från vägtrafik. Trafikverket 2021, Rapport 2021:253.

Kasdagli MI, Orellano P, Pérez Velasco R, Samoli E. Long-Term Exposure to Nitrogen Dioxide and Ozone and Mortality: Update of the WHO Air Quality Guidelines Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Public Health.* 2024 Oct 18;69:1607676.

Song S, Gao Z, Zhang X, Zhao X, Chang H, Zhang J, Yu Z, Huang C, Zhang H. Ambient fine particulate matter and pregnancy outcomes: An umbrella review. *Environ Res.* 2023 Oct 15;235:116652.

Söderqvist T, Kriit H K, Tidblad J, Andersson J, Jansson S-A, Svensson M, Wallström J, Andersson C, Orru H, Sommar N J, Forsberg B. Underlag för reviderade ASEK-värden för luftföroreningar: Slutrapport från projektet REVSEK. Trafikverket, 2019.

Trafikverket Rapport: Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn ASEK 8.0, Trafikverket, 2024.



UMEÅ UNIVERSITET

Institutionen för folkhälsa och klinisk medicin | 901 87 Umeå | 090 786 50 00 | umu.se