



Hälsopåverkan av tunnelluft

Underlag till MKB för järnvägsplan

Titel: Hälsopåverkan av tunnelluft

Projektledare: Malin Harders, FUT

Bilder & illustrationer: FUT om inget annat anges

Dokumentid: 3310-M31-22-00001

Diarienummer: FUT 1511-0219

Utgivningsdatum: 2016-08-19

Distributör: Stockholms läns landsting, förvaltning för utbyggd tunnelbana

Box 225 50, 104 22 Stockholm. Tel: 08 737 25 00. E-post: nyatunnelbanan@sll.se

Sammanfattning

Luften i tunnelbanetunnlar och på underjordiska tunnelbanestationer innehåller bland annat partiklar. I dagsläget finns inga riktvärden för luften i tunnelbanans utrymmen. I denna PM redovisas ett förslag på inriktningsmål för stationsluften i nybyggda stationer i de tre nya tunnelbanelinjerna som ska byggas i Stockholm: tunnelbanan till Nacka och söderort, tunnelbanan Akalla-Barkarby och tunnelbanan Odenplan-Arenastaden.

Partiklarna i tunnelbanan är helt olika partiklar i gatumiljö, både vad gäller kemisk sammansättning och storlek. Partiklarna i tunnelbanan består till största delen av metaller och metall-oxider, framför allt järn som utgör cirka 70 procent av partikelmassan. Partiklarna skiljer sig även åt vad gäller hälsopåverkan. Studier av hälsopåverkan på människor i tunnelbanemiljöer är få och det tillåter inga helt säkra slutsatser. En sammanfattande, men osäker, bedömning av de studier som finns indikerar att partiklar i järnvägs- och tunnelbanetunnlar innebär mindre hälsorisk än partiklar i den allmänna urbana miljön.

I de befintliga underjordiska tunnelbanestationerna varierar de uppmätta halterna av PM₁₀ vanligen mellan 100-400 µg/m³. Högre halter förekommer i stora stationer som T-centralen under högtrafik. De högsta halterna förekommer dagtid på vardagar.

Utgångspunkten i metodiken för att ta fram ett förslag på inriktningsmål för luftkvalitet har varit att vistelsetiden i tunnelbanan inte ska medverka till att årsexponeringen enligt miljökvalitetsnormerna överskrids. Det finns inga nationella riktvärden för tunnelluft men miljökvalitetsnormerna föreslås användas som utgångspunkt trots att de egentligen inte omfattar tunnelluft.

För samtliga ämnen förutom för PM₁₀ ligger de uppmätta halterna i befintlig tunnelbana långt under de nivåer som beräknas kunna bidra till en årsexponering över MKN. För samtliga ämnen förutom för PM₁₀ finns därmed ingen risk för att de nya tunnelbanorna medför att resenärer utsätts för halter som medför att given årsdos enligt MKN överskrids. Luftkvaliteten i de nya stationerna föreslås därför regleras med en haltnivå av PM₁₀. För att en typisk resenär inte ska erhålla en dos som medför ett överskridande av årsdosen enligt MKN för PM₁₀ bör PM₁₀-halten i tunnelbanans plattformsrum inte överskrida 240 µg/m³. Eftersom resenärer uppehåller sig under begränsad tid i tunnelbanan föreslås inriktningsnivån för plattformsrummen utgöras av ett timmedelvärde.

Inriktningsmålet baseras på ett antal antaganden, bland annat om en typisk resenärs vistelsetid i tunnelbanemiljön (1 timmes restid per dag under vardagar (arbetspendling) samt ytterligare 2 timmar per vecka för fritidsresor). En annan osäkerhet är skillnad i exponering vid vistelse på plattform och i tunnelbanevagnar. Inriktningsmålet baseras på att halten är lika hög i tunnelbanevagnarna som på plattformarna. En studie som gjorts indikerar dock att halten inne i vagnarna är lägre än på plattformarna. Om detta beaktas skulle inriktningsmålet för plattformar bli väsentligt högre. Det finns dock stationer i befintligt system med högre halter som inte omfattas av inriktningsmålet men som bidrar till den sammantagna exponeringen. Samtidigt sker många resor på fritiden då partikelhalterna är lägre.

Sammantaget bedöms inriktningsmålet vara konservativt beräknat. Därmed bedöms det finnas ett utrymme för att inriktningsmålet ska kunna överskridas under ett antal timmar per år. Halten 240 µg/m³ som timmedelvärde föreslås kunna överskridas 175 timmar per år.

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
2 Luftföroreningar i tunnelbanan.....	1
2.1 Partiklar i befintliga tunnelbanan	2
Partikelhalter på plattformarna	2
Partikelhalter i tunnelbanevagnar.....	4
3 Bedömningsgrunder	5
3.1 Miljökvalitetsnormer och årsmedelvärden	5
3.2 Övriga bedömningsgrunder	5
3.3 Övriga referenser	6
4 Hälsopåverkan på resenärer i tunnelbanan	6
5 Metodik och osäkerheter	7
5.1 Metodik för beräkning av inriktningsmål avseende luftkvalitet på nya stationer	7
5.2 Osäkerheter.....	8
6 Förslag på inriktningsmål för tunnelluft	9
Referenser.....	11

Bilaga 1: Beräkningar

1 Inledning

Förvaltningen för utbyggd tunnelbana (FUT) planerar en utbyggnad av tre tunnelbanelinjer i Stockholm: tunnelbanan till Nacka och söderort, tunnelbanan Akalla-Barkarby och tunnelbanan Odenplan-Arenastaden. Denna PM avseende luftkvalitet på tunnelbanestationer är ett delprojektgemensamt underlag för de tre MKB:erna tillhörande järnvägsplanerna för de nya tunnelbanorna och PM:et behandlar tunnelluft med avseende på hälsomässiga aspekter.

I dokument 4329-V41-23-20022 *Åtgärder för Luftkvalitet* redovisas tekniska åtgärder för förbättring av luftkvaliteten. Åtgärder som inte bedömts som tekniskt möjliga eller ekonomiskt rimliga har avfärdats.

Denna PM behandlar luftkvalitet i nybyggda stationer i de nya tunnelbanorna, det vill säga i tunnelarna men framför allt i de underjordiska plattformarna. Påverkan på luftkvalitet utomhus behandlas inte.

2 Luftföroreningar i tunnelbanan

Luften i tunnelbanetunnlar och på underjordiska tunnelbanestationer påverkas av tunneldrift och av inkommande lufts kvalitet. Slitage mellan hjul och räl får till följd att slitagepartiklar sprids till tunnelluften. Det medför att resenärer i tunnelbanan exponeras för förhöjda halter av inandningsbara partiklar, PM₁₀ och PM_{2,5}, se faktaruta.

Faktaruta: Partiklar

Luftburna partiklar utgörs av små fragment av material i luften. Det vanligaste sättet att redovisa dessa partiklar utgår från deras storlek och för detta används beteckningen PM (Particulate Matter). Inandningsbara partiklar har i typiska fall en storlek på ca 10 µm (0,01 mm) eller mindre och luftens innehåll av partiklar med sådana dimensioner betecknas som PM₁₀. PM_{2,5} har en diameter på mindre än 2,5 mikrometer och är därmed ännu mindre partiklar. PM_{2,5} redovisas ofta separata men är även en delmängd av PM₁₀. PM redovisas som partiklarnas totala massa per kubikmeter luft, µg/m³ (mikrogram/kubikmeter)

Det finns mycket forskning kring hälsoeffekter av partiklar i urban miljö, framför allt om partiklar från vägtrafik. Dessa är av olika ursprung och ser mycket olika ut. Exakt vilka typer av partiklar som orsakar hälsoeffekter är inte fullt klarlagt men partiklars kemiska sammansättning och storlek har betydelse för påverkan på hälsa. Partiklar kan ge både korttidseffekter och långtidseffekter. Korttidseffekter handlar om effekten av att vid ett tillfälle exponeras för förhöjda partikelhalter vilket exempelvis kan ge en inflammatorisk effekt som kan öka risken för hjärt-kärlsjukdomar, astmabrott och andra lungsjukdomar. Långtidseffekter handlar om effekten av att dagligen utsättas för partiklar och att det kan bidra till uppkomst av sjukdomar som exempelvis cancer.

Vilken hälsopåverkan som partiklar ger upphov till beror, förutom av partiklars kemiska sammansättning och storlek, även på partikelhalter och exponeringstid. Det har inte kunnat iakttagas någon "tröskelnivå" under vilken inga hälsoeffekter förekommer.

Nattetid används dieseldrivna tåg för servicearbeten. De medför utsläpp av bland annat avgaspartiklar och kväveoxider. Dessa föroreningar ventileras snabbt ut ur tunneln och påverkar

därmed inte tunnelbaneresenärers exponering som främst sker dagtid. Därför fokuseras beskrivningen på partiklar.

Partikelhalterna inne i tunnlarna är högre än halterna vid plattformarna på stationerna. Vid färd i själva tunneln är resenärerna dock inte direkt exponerade för tunnelluft i och med att de befinner sig inne i vagnar som har en avskiljande effekt. Vid stationerna öppnas dörrarna och ett visst luftutbyte sker. Hur halterna varierar beskrivs nedan under 2.1.

2.1 Partiklar i befintliga tunnelbanan

Partiklarna i tunnelbanan skiljer sig kraftigt från partiklar i gatumiljö både vad gäller kemisk sammansättning och storlek. Partiklar som bildas vid nötning och slipning av metall är vanligen större än 1 µm (mikrometer) och de har en kantig struktur. En studie av luftkvaliteten på plattformen i tunnelbanestationen Mariatorget fann att storleksfördelningen baserat på massan av PM10 bestod till 50-60 procent av partiklar i storleken 1-2,5 µm, 15 procent av finare partiklar och 25-35 procent av grövre partiklar.

Partikelhalter på plattformarna

I tunnelbanestationer varierar de uppmätta halterna av PM10 vanligen mellan 100-400 µg/m³ men det finns både lägre och högre uppmätta nivåer (30-1500 µg/m³)¹. Halten PM2,5 varierar mellan 20-500 µg/m³ (medelvärden). Inom ramen för planeringen av de nya tunnelbanorna har ett flertal mätningar av partikelhalterna på plattformar i Stockholms tunnelbana genomförts. Resultaten av mätningarna redovisas som veckomedelvärden eller timmedelvärden, se faktaruta.

Mätningar och beräkningar av partikelhalt kan göras för olika tidsperioder. Dygnsmedelvärde avser medelvärdet för halter under ett dygn, oftast angett som medelvärdet för alla årets dygn. Veckomedelvärde är medelvärdet av dygnsmedelvärdena under en vecka. Timmedelvärde avser medelhalten under en timme.

I fyra tunnelbanestationer i Stockholm² mättes partikelhalterna som veckomedelvärden dagtid. Veckomedelvärdena av PM10 varierade mellan 91-203 µg/m³ och veckomedelvärden av PM2,5 37-77 µg/m³, se tabell 1. Mätningarna gjordes på plattformarna.

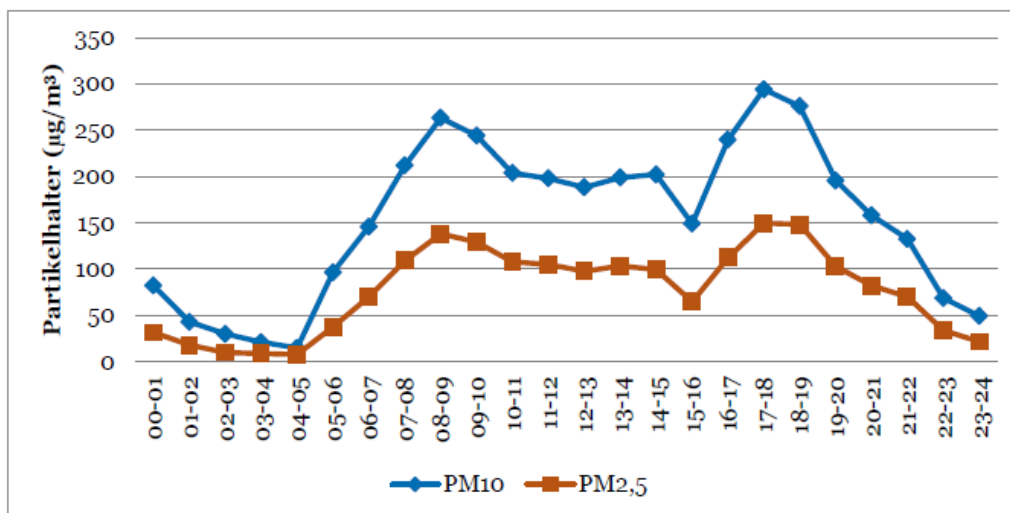
Tabell 1. Uppmätta veckomedelvärden dagtid (06:00-24:00) på plattformarna i fyra tunnelbanestationer.

	Rissne	Rådhuset	Mariatorget	Medborgarplatsen
PM10 µg/m ³	91	158	203	166
PM2,5 µg/m ³	37	63	77	54

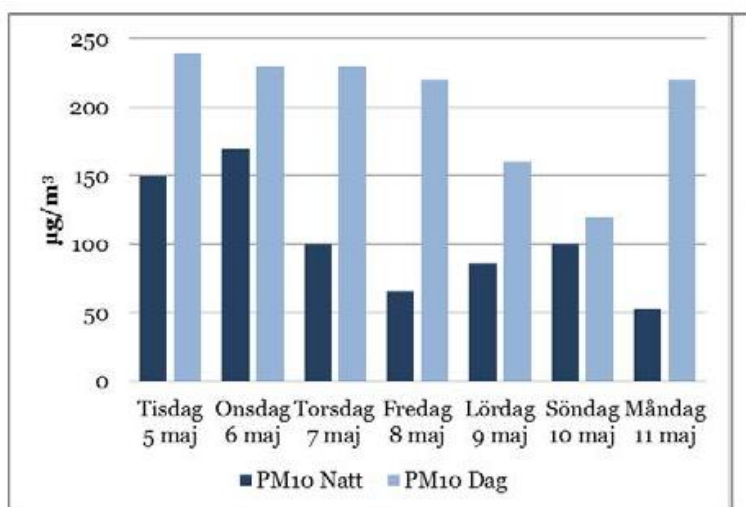
¹ Järvholm, B. m fl. (2013).

² IVL, 2015.

De högsta halterna förekommer dagtid på vardagar, se figur 1. Lägre nivåer uppmäts på helger och nattetid då tågtrafiken är glesare, se figur 2. Det finns ett starkt samband med antalet tågrörelser, det vill säga fler tågrörelser medför ökade partikelhalter³.



Figur 1. PM10- och PM2,5-halter för en dag i Rådhusets tunnelbanestation. Källa: Stationsmätningar 2015. Rissne och Rådhuset.



Figur 2. PM10-halter dag och natt vid Mariatorget under 7 dagar i maj 2015. Källa: Stationsmätningar 2015. Mariatorget och Medborgarplatsen.

I fem tunnelbanestationer i Stockholm⁴ mättes timmedelvärdena av PM10. Timmedelvärdena av PM10 varierade mellan 4-500 µg/m³. De högsta timmedelvärdena uppmättes under förmiddagens eller eftermiddagens högtrafik och varierade mellan 100-500 µg/m³, se tabell 2.

³ Järvholm, B. m fl. (2013).

⁴ IVL, 2016.

Tabell 2. Uppmätta timmedelvärden dagtid (06:00-24:00) på plattformarna i fem tunnelbanestationer

	Kungsträdgården	T-centralen	Odenplan	Akalla	Husby
PM10 µg/m ³	220-270	400-525	400-500	100-130	170-240

Partiklarna i tunnelbanan består till största delen av metall och metalloxider. Metallinnehållet domineras av järn som utgör cirka 70 procent av partikelmassan, följt av mangan, krom och koppar. Andra metaller eller halvmetaller som hittas i tunnelbanepartiklar är bland annat arsenik, aluminium, zink, bly, nickel, kadmium och magnesium. I nyligen genomförda mätningar i fyra tunnelbanestationer i Stockholm⁵ var veckomedelvärden av nickel 26-79 ng/m³ (nanogram per kubikmeter) av arsenik 4,7-5,9 ng/m³, av bly 3,5-16 ng/m³ och av kadmium 0,08-0,7 ng/m³, se tabell 3.

Alla dagens tunnelbanetåg har både elektrisk och mekanisk broms. Huvudsakligen används den elektriska bromsen. Elektriska bromsar ger avsevärt färre partiklar än mekaniska bromsar. Tunnelbanan har även mjuka boggie⁶ vilket ger mindre slitage.

Tabell 3. Veckomedelvärden av nickel, arsenik, bly och kadmium i PM10-partiklar.

	Rissne	Rådhuset	Mariatorget	Medborgarplatsen
Nickel ng/m ³	26	49	56	79
Arsenik ng/m ³	4,7	5,3	5,9	4,7
Bly ng/m ³	3,5	12	16	14
Kadmium ng/m ³	0,08	0,08	0,7	0,3

Partikelhalter i tunnelbanevagnar

En studie med mätningar av partikelhalter inne i tunnelbanornas vagnar har gjorts i Stockholms tunnelbana⁷. Mätningarna visade att medelhalten under mättagarna varierade mellan 39-100 µg/m³. En jämförelse mellan halten på plattformar och halten inne i tunnelbanevagnar visade stora variationer. I en tunnelbana vid Fridhemsplan som just färdats i tunneln söderifrån visade mätningarna på samma halt i tunnelbanevagnen som på plattformen. Vid Skanstull, i norrgående tunnelbana, som kom från ett spår i ytläge, var partikelhalten i tunnelbanevagnen endast 40 procent jämfört med halten på plattformen. De flesta mätningar visade på halter i vagnarna på mellan 50-60 procent jämfört med plattformarna. Medelhalten under rusningstid verkar ligga runt 150 µg/m³. Medelhalten inne i vagnarna vid resa ovan jord ligger vanligtvis runt 50 µg/m³.

⁵ IVL, 2015.

⁶ Ett chassi som är vridbart mot ett fordons kaross.

⁷ WSP, 2006.

3 Bedömningsgrunder

Det finns inga internationella, nationella eller regionala gräns- eller riktvärden för inomhusluft i järnvägs- och tunnelbanemiljöer. I den litteraturgenomgång som gjorts har det inte framkommit om det finns länder som har tagit fram egna riktvärden för järnvägs- eller tunnelbaneluft.

3.1 Miljökvalitetsnormer och årsmedelvärden

Miljökvalitetsnormer, MKN, för luftkvalitet finns bland annat för partiklar (PM₁₀ och PM_{2,5}), arsenik, bly, kadmium och nickel, se tabell 4. MKN gäller endast för utomhusluft och således inte för luften på tunnelbanans underjordiska plattformar eller biljetthallar.

Normen för PM₁₀, PM_{2,5} och bly är så kallad gränsvärdesnormer, som måste klaras, medan det för övriga metaller är målsättningsnormer som ska eftersträvas.

PM₁₀-halterna i utomhusluften varierar stort i Stockholms län. PM₁₀-halterna har minskat successivt under de senaste åren. Minskningen beror dels på minskad intransport av fina partiklar från andra länder dels på lägre dubbdäcksandel.

I de centrala delarna ligger årsmedelvärdena mellan 20-30 µg/m³. Ju längre från central delar och från större trafikleder desto lägre halter. Som exempel kan nämnas Häggvik med ett årsmedelvärde av PM₁₀ på 17 µg/m³ och Botkyrka med 12 µg/m³.⁸

Tabell 4: Miljökvalitetsnormer och årsmedelvärden i Stockholms län.

Luftförorening	MKN, årsmedelvärde	Årsmedelvärde i Stockholm ⁹
PM ₁₀	40 µg/m ³	12 - 30 µg/m ³
PM _{2,5}	25 µg/m ³	7-11 µg/m ³
Arsenik	6 ng/m ³	1 ng/m ³
Nickel	20 ng/m ³	3 ng/m ³
Bly	500 ng/m ³	3,4 ng/m ³
Kadmium	5 ng/m ³	0,12 ng/m ³

3.2 Övriga bedömningsgrunder

Trafikförvaltningen vid Stockholms läns landsting har tagit fram riktlinjer för miljö¹⁰. För luftkvalitet på stationer anger dessa riktlinjer att luftkvaliteten ska beaktas vid anläggandet av

⁸ SLB-analys, december 2011.

⁹ Stockholms stad, Miljöbarometern, information om PM₁₀-halter.

Stockholm och Uppsala läns Luftvårdförbund. LVF 2008:25.

Stockholm och Uppsala läns Luftvårdförbund. LVF 2010:23b, uppdaterad maj 2011.

¹⁰ Riktlinjer miljö. Trafikförvaltningens riktlinjer för energi och miljö, SL-S-477148, 2015-04-28.

utrymmen under mark. Som underlag för eventuella åtgärder ska en partikelutredning genomföras. Ventilationssystemet ska utformas så att god avskiljning av partiklar och andra föroreningar i tilluft uppnås. Lämpliga inriktningsmål ska tas fram.

De hygieniska gränsvärdena för arbetsmiljön (AFS 2011:18) tillämpas för personer som arbetar i tunnelbanan. Dessa anger bland annat ett gränsvärde för respirabelt järnoxiddamm på 3 500 µg/m³. De hygieniska gränsvärdena avser exponering under en 8-timmarsdag under ett helt yrkesliv.

3.3 Övriga referenser

Citybanans inriktningsmål: Partikelhalten PM₁₀ i stationernas publika delar under mark får inte överskrida 120 µg/m³ som dygnsmedelvärde.

Västlänkens krav: Partikelhalten, PM₁₀, i stationernas publika delar under mark får normalt inte överskrida 120 µg/m³ som dygnsmedelvärde men får under en sammanlagd tidsperiod av 35 dygn per år vara högre. PM₁₀ i stationernas publika delar under mark får normalt inte överskrida 200 µg/m³ som timmedelvärde men får under en sammanlagd tidsperiod av 200 timmar per år vara högre.

4 Hälsopåverkan på resenärer i tunnelbanan

Eftersom partiklarna i tunnelbanan är helt olika partiklarna i vägmiljön skiljer de sig åt vad gäller hälsopåverkan. Partiklar i tunnelbanan är generellt större än de från vägtrafik. Större partiklar deponeras främst i de övre luftvägarna medan mindre partiklar i större utsträckning deponeras i lungorna.

Kunskapsläget om hälsoeffekter av exponering av partiklar i tunnelbanan är förhållandevis begränsad. Ett fåtal studier av exponering för tunnelbaneluft har gjorts. I en av dessa studier konstaterades att när människor utsattes för partiklar i tunnelbanan i två timmar orsakade exponeringen en reaktion av ringa grad¹¹. Studier på personer med lindrig astma indikerar ökad irritation i näsan vid vistelse i tunnelbanan. Sammantaget visar ett antal studier att tunnelbanepartiklar har lägre inflammatorisk effekt än partiklar från gatumiljö.

Metallers hälsopåverkan beror på vilken kemisk form de har. Arsenik, krom och nickel har vissa former som är cancerogena. I dagsläget är det inte känt vilken form metallerna i tunnelbanan har. I en studie från Karolinska Institutet utsattes lungceller i laboratorium för tunnelbanepartiklar och för partiklar från en högtrafikerad gata. Forskarna konstaterade att tunnelbanepartiklarna var betydligt mer skadliga för lungcellernas DNA än gatupartiklarna. En annan studie avseende lungcancer bedömde att risken var betydligt högre vid vistelse i trafik än vid vistelse i tunnelbana¹². Det berodde på att trafikmiljön innehåller betydligt högre halter av polyaromatiska kolväten (PAH). Slutsatser om verkliga hälsorisker är osäkra och mer forskning behövs.

¹¹ De flesta parametrar som studerades, t. ex. lungfunktion, påverkades inte. En markör på inflammation i blodet ökade och vissa immunologiskt aktiva celler ökade. Källa: Järvholm, B., m fl. (2013).

¹² Järvholm, B. m fl. (2013).

Det fåtal studier som finns av yrkesgrupper som arbetar i tunnelbanor (studier av förekomst av lungcancer och hjärtinfarkt) har inte kunnat påvisa några ökad risk för långtidseffekter.

Slutsatser om hälsorisker är att underlaget från studier av hälsopåverkan på människor i tunnelbanemiljöer är litet och det tillåter inga helt säkra slutsatser. I en rapport från år 2013 som gått igenom befintligt forskarresultat är den sammanfattande bedömningen att de studier som finns på människa, djur och celler tyder på att partiklar från järnvägstunnlar innebär en mindre hälsorisk än partiklar i den allmänna urbana miljön. Å andra sidan poängterades att underlaget inte är så stort att man med säkerhet kan säga att hälsoriskerna är lägre ¹³.

5 Metodik och osäkerheter

5.1 Metodik för beräkning av inriktningsmål avseende luftkvalitet på nya stationer

En tunnelbaneresenär exponeras för partiklar i de underjordiska stationerna under begränsad tid, men halten av partiklar är högre och av annan sammansättning än vad som normalt gäller för urban utomhusluft.

Forskning har visat att tunnelbanepartiklar inte har samma korttidseffekt i form av inflammation som vägpartiklar. Baserat på den osäkerhet som finns om partiklarnas metallinnehåll och eftersom det finns vissa laboratoriestudier som indikerar påverkan på DNA baseras hälsobedömningen på partiklarnas eventuella långtidseffekter.

En metodik för att ta fram ett rikt- eller gränsvärde i spårtunnlars underjordiska utrymmen presenteras i rapporten *Hälsoeffekter av luftföroreningar i stationsmiljöer till järnvägstunnlar*¹⁴. Tillvägagångssättet för att definiera ett förslag till inriktningsmål för luftkvaliteten i nya tunnelbanan baseras till övervägande del på den metodiken.

Miljökvalitetsnormernas (MKN) årsmedelvärden anger en föroreningsnivå som inte får överskridas utomhus på årsbasis. Denna nivå beskrivs som lägsta godtagbara miljö kvalitet¹⁵. MKN föreslås användas som grund för att definiera ett inriktningsmål för tunnelbanans underjordiska publika utrymmen, trots att MKN inte gäller i dessa utrymmen.

Årsmedelvärdet i MKN för PM₁₀, PM_{2,5}, arsenik, nickel, bly och kadmium utgör bedömningsgrunder. Utgångspunkten i bedömningen förslås utgå från att vistelsetiden i tunnelbanan inte ska medverka till att årsexponeringen enligt miljö kvalitetsnormerna överskrids. Genom att räkna fram den exponering resenärer får övrig tid (det vill säga ej restid i tunnelbanan) kan en halt av partiklar i tunnelbanan som inte bidrar till ett överskridande av den givna årsdosen enligt MKN beräknas.

För att kunna beräkna vilken halt i tunnelbanans stationer som bedöms medföra att årsexponeringen enligt miljö kvalitetsnormerna inte överskrids behövs ett antagande om resenärers exponering under övrig tid på dygnet. I beräkningen har antagits att övrig tid utgör exponeringen en årsmedelhalt på 25 µg/m³ vilket är ett medelvärde av PM₁₀-halten i Stockholms stad. PM₁₀-

¹³ Järvholm, B. m fl. (2013).

¹⁴ Järvholm, B. m fl. (2013).

¹⁵ Luftguiden Handbok om luftkvalitet utomhus. Naturvårdverket Handbok 2014:1.

halterna varierar dock i länet, från cirka 12-30 µg/m³. Att använda 25 µg/m³ är således en relativt hög exponering för övrig tid.

Restiderna för pendlare varierar mycket. Som exempel kan nämnas att restiden mellan Gullmarsplan-Fridhemsplan är 16 min, Liljeholmen-Ropsten 18 min och Kista-T-centralen 17 min. Medelreslängden i tunnelbanan är 6 km¹⁶. En typisk resenär under vardagar bedöms utifrån detta ha en res- och väntetid på som mest 30 minuter enkel väg, det vill säga 1 timme per dag.

Ett mindre antal resenärer har längre restid, upp emot 45 minuter enkel väg, vilket innebär 1,5 timmar per dag. Dessa resenärer reser troligtvis en del av sträckan med tunnelbana ovan mark. Längs dessa sträckor exponeras de för väsentligt lägre halter, troligtvis runt 50 µg/m³. Baserat på hur fördelning av ovanjordsstationer och tunnelförlagda stationer i Stockholms tunnelbana ser ut görs en översiktlig bedömning att en längre resa på 45 minuter innehåller en restid av 15 minuter ovan mark, med stopp på ovanjordstationer där dörrar öppnas i tågen. Med detta antagande kommer dessa resenärer ha maximalt 1 timmes restid i tunnelbanans tunnlar.

För resor på fritiden finns ingen statistik och för dessa resor görs antagandet om en genomsnittlig restid på 2 timmar i veckan i tunnelbanans tunnlar. Detta baseras på antagandet om två kortare resor (15 minuter enkel väg) och en lite längre resa (30 minuter enkel väg) per vecka.

Totalt antas en typisk resenär vistas 325 timmar per år i tunnelbanemiljön, på plattform samt restid i tunnelbanevagn. Det baseras på följande antagande: 1 timme/dag * 220 arbetsdagar = 220 timmar/år + resor på fritiden 2 timmar/vecka = cirka 105 timmar.

En tunnelbaneresenär vistas i tunnelbanemiljön både medan personen väntar på tunnelbanan och under själva resan. En studie som gjorts indikerar att halten inne i tunnelbanevagnarna är lägre än på plattform. I beräkningen räknas en maximal timmedelhalt fram för den totala vistelsen i tunnelbanan. Eftersom halten i tunnelbanevagnarna enligt mätningar verkar ligga på en lägre nivå som motsvarar cirka 60 procent av halten på plattformen så innebär det att beräkningen är konservativ, det finns egentligen ett större exponeringsutrymme kvar innan MKN uppnås.

De studier som ligger till grund för definition av MKN för PM₁₀ och PM_{2,5} gäller utomhusmiljö men är gjorda på populationer som vistas en betydande del av tiden inomhus där partikelhalterna är lägre. Den årliga exponeringen hos dessa populationer är därmed summan av högre exponering utomhus och lägre exponering inomhus. Både vistelsetid inomhus och byggnadernas skyddseffekt varierar mellan studierna. Ett vanligt antagande i studier är att vi vistas 90 procent av tiden inomhus i byggnader som har 50 procent lägre halt av partiklar¹⁷. Av dygnets 24 timmar antas därmed en stockholmare vistas utomhus cirka 2,5 timmar. Detta antagande ligger till grund för beräkningarna av godtagbara halter av PM₁₀ och PM_{2,5} i tunnelbanan. För metaller antas ingen skillnad av halter inomhus och utomhus på grund av brist på kunskap.

I bilaga 1 redovisas beräkningarna som ligger till grund för förslaget till inriktningsmål.

5.2 Osäkerheter

Föreslaget inriktningsmål som en nivå på godtagbar luftkvalitet innehåller stora osäkerheter. Det finns dels osäkerheter gällande vilken påverkan tunnelbanepartiklar har på hälsa, dels osäkerheter gällande den sammantagna exponering för partiklar som en stockholmare får. Beräkningarna

¹⁶ Trafikanalys. Rapport 2014:22.

¹⁷ Granskningssynpunkt Tom Bellander, Institutet för miljömedicin.

baseras på ett antal antaganden, bland annat ett antagande om stockholmarnas vistelsetid inomhus respektive utomhus samt ett antagande om en genomsnittlig exponering för PM10 under ett år. Exponeringen varierar beroende på var man bor, arbetar och vistas. Vid färd i bil eller vistelse nära vägar kan exponeringen för PM10 ligga runt 50 µg/m³. Vid vistelse i naturmark långt från vägar kan halterna ligga under 15 µg/m³. Genom att anta en årsmedelhalt på 25 µg/m³ för övrig tid bedöms det finnas ett utrymme för människor vistas kortare tider i miljöer med halter över årsmedelvärdet.

PM10-halterna i urban bakgrundsluft minskar successivt. Tunnelbanan kommer att tas i drift runt år 2025. Sannolikt kommer partikelhalterna i Stockholmsområdet vara ännu lägre än vad de är idag och vad beräkningen för exponering övrig tid utgår från.

En ytterligare osäkerhet är antagandet om genomsnittlig restid. Tunnelbaneresenärernas vistas i tunnelbanan sker både på plattformar och i tunnelbanevagnar. Beräkningen baseras på att halten är lika hög i tunnelbanevagnarna som på plattformarna. En studie som gjorts indikerar dock att halten inne i vagnarna är lägre än på plattformarna. De flesta resor på fritiden görs sannolikt under lågtrafik då partikelhalterna är lägre. Samtidig är oftast väntetiden längre under lågtrafik.

En del av restiden kommer ske i befintligt tunnelbanesystem där partikelhalterna varierar stort. På många stationer, exempelvis T-centralen och Odenplan ligger halterna under rusningstid i intervallet 400-500 µg/m³. I andra stationer är halterna väsentligt lägre, exempelvis i Kungsträdgården uppmättes oftast halter runt 150-180 µg/m³ under eftermiddagens rusningstid. De högsta timmedelvärdena i Akalla uppmättes till 170-240 µg/m³ och Husby till 110-130 µg/m³. En tredjedel av resorna bedöms ske som fritidsresor, och många av dessa genomförs sannolikt under lågtrafik då exponeringen är väsentligt lägre. Det är därför mycket osäkert att bedöma en typresenärs exponering i övriga delar av systemet.

För de olika utbyggnadsdelarna av tunnelbanan kommer beräkningar av partikelhalterna på stationerna att göras och även dessa beräkningar är behäftade med osäkerheter. Beräkningarna för Citybanan och Västlänken har inte kunnat verifieras eftersom dessa anläggningar inte tagits i drift.

6 Förslag på inriktningsmål för tunnelluft

För samtliga ämnen förutom för PM10 ligger de halter som uppmätts i befintlig tunnelbana långt under de nivåer för godtagbart bidrag till miljö kvalitetsnormernas årsexponering, se bilaga 1. För samtliga ämnen där MKN finns definierat, förutom för PM10, finns därmed ingen risk för att vistelse i tunnelbanan bidrar till att given årsdos enligt MKN överskrids. Luften i tunnelbanan föreslås därför styras så att inriktningsmålet för PM10 uppnås. Om inriktningsmålet för PM10 innehålls så kommer även andra luftföroreningar att hållas på en låg nivå.

För att en typisk resenär (1 timmes restid under vardagar i tunnelbanans tunnlar samt vissa resor under fritiden) inte ska erhålla en dos som medför överskridande av årsdosen enligt miljö kvalitetsnormen för PM10 bör PM10-halten i plattformsrummen till de nya tunnelbanorna inte överskrida 240 µg/m³ under en resenärs tid i tunnelbanan.

Eftersom resenärer vistas begränsad tid i tunnelbanan är det relevant att styra luftkvaliteten med ett timmedelvärde. Ett dygnsmedelvärde säger inte något om den exponering som en resenär får eftersom det skulle kunna innebära mycket hög exponering under vissa tider. Med ett timmedelvärde kontrolleras halten under samtliga timmar, även under högtrafik då flest personer reser och

då högst halter förekommer. Detta bedöms medföra mindre negativa hälsokonsekvenser än om halterna regleras med ett dygnsmedelvärde.

Det finns en lång rad osäkerheter när det gäller omfattningen av exponering för partiklar i tunnelbanan. En av de största osäkerheterna bedöms vara skillnaden i partikelhalter på plattformar och i tunnelbanevagnar. Resenärerna befinner sig vanligtvis längre tid i vagnarna än på plattformarna vilket innebär att exponeringen större delen av tiden i tunnelbanan är lägre än $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Om inriktningsmålet skulle ta hänsyn till den lägre halten i vagnarna skulle inriktningsmålet för plattformarna kunna ligga på $400 - 500 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se bilaga 1.

Samtidigt finns stationer i befintligt tunnelbanesystem med högre partikelhalter än $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ under rusningstid medan de flesta resor som görs på fritiden sannolikt genomförs under lågtrafik då partikelhalterna är lägre.

Inriktningsmål bedöms sammantaget vara konservativt beräknat. Detta baseras framför allt på att inriktningsmålet inte beakta den lägre exponeringen i vagnarna. Baserat på detta bedöms det finnas ett utrymme för att inriktningsmålet ska kunna överskridas under ett antal timmar per år, det vill säga att tillämpa en percentil för det riktvärde som tas fram. De miljö kvalitetsnormer för luft som finns medger att normen får överskridas 175 timmar per år. Detta föreslås tillämpas för PM₁₀-halten i tunnelbanan. Halten $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som timmedelvärde föreslås kunna överskridas 175¹⁸ timmar per år.

Inriktningsmålet har resenärens hälsa i fokus eftersom varje enskild timme sätter ramen för luftkvaliteten med utgångspunkt i miljö kvalitetsnormerna som gäller för utomhusluft.

¹⁸ Detta är samma antal tillåtna överskridande som MKN för timme för NO₂ och SO₂, de enda MKN för timme som finns.

Referenser

Gustavsson, M., m fl. (2006). *Inandningsbara partiklar i järnvägsmiljöer*. VTI rapport 538.

Järholm, B. m fl. (2013). *Hälsoeffekter av luftföroreningar i stationsmiljöer till järnvägstunnlar*. Institutionen för folkhälsa och klinisk medicin, Umeå Universitet.

IVL 2015, Svenska Miljöinstitutet, Pär Fjällström, *Stationsmätningar 2015, Mariatorget och Medborgarplatsen*. Rapport NR U 5443, augusti 2015.

IV 2015, Svenska Miljöinstitutet, Pär Fjällström, *Stationsmätningar 2015, Rissne och Rådhuset*. Rapport NR U 5303, maj 2015.

IVL 2016, Svenska Miljöinstitutet, Pär Fjällström, *Mätning av partikelhalter i tunnelbanan. Underlag till MKB för nya sträckningar, Del 1*. Rapport NR U 5649, april 2016.

IVL 2016, Svenska Miljöinstitutet, Pär Fjällström, *Mätning av partikelhalter i tunnelbanan. Underlag till MKB för nya sträckningar, Del 2*. Rapport NR U 5650, april 2016.

Karolinska Institutet. *Hälsoeffekter, luftvägar, partiklar i Stockholms tunnelbana*. Slutrapport, 25 juni 2010.

SLB-analys, december 2011. *Beskrivning av problembilden för halterna av kvävedioxid och PM10 i Stockholms län*. Boel Lövenheim och Michael Norman, LVF 2011:17.

Stockholm och Uppsala läns Luftvårdförbund. *Kartläggning av arsenik-, kadmium- och nickelhalter i Stockholms- och Uppsala län samt Gävle kommun och Sandviken tätort*. LVF 2008:25.

Stockholm och Uppsala läns Luftvårdförbund. *Kartläggning av PM2,5-halter i Stockholms- och Uppsala län samt Gävle kommun och Sandviken tätort*. LVF 2010:23b, uppdaterad maj 2011.

Stockholms stad, Miljöbarometern, information om blyhalter
<http://miljobarometern.stockholm.se/sub.asp?mo=6&dm=3>

Stockholms stad, Miljöbarometern, information om PM10-halter
<http://miljobarometern.stockholm.se/key.asp?mo=2&dm=2&nt=2&d1=2010-01-01&d2=2015-12-31>

Trafikanalys. *Lokal och regional kollektivtrafik 2013*. Rapport 2014:22.

WSP, 2006. *PM10 i tunnelbanevagnar i Stockholm*. John Stenbeck och Ann Helén Österås, 2006-05-22.

Åtgärder för Luftkvalitet. Förvaltningen för utbyggd tunnelbanan, rapport 4329-V41-23-20022.

Ögren, M. m fl. *Miljömedicinsk bedömning av hälsoeffekter av Västlänken i Göteborg*. Sahlgrenska Universitetssjukhuset, 11 april 2014.

Bilaga 1 Beräkningar

I denna bilaga redovisas beräkningar av godtagbara luftföroreningshalter i plattformsrummen i nya tunnelbanan utifrån den metodik som beskrivs i avsnitt 4.

Beräkningarna baseras på följande:

- Antal timmar på ett år: $24 \text{ h} \cdot 365 \text{ dagar} = 8\,760 \text{ timmar per år}$
- Vistelsetid i tunnelbanan för en typisk resenär:
 $1 \text{ h/dag} \cdot 220 \text{ arbetsdagar} = 220 \text{ timmar/år} + \text{resor på fritiden } 2 \text{ h/vecka} = 105 \text{ timmar} = \text{totalt } 325 \text{ timmar per år}$
- $8760 - 325 = 8\,435 \text{ timmar övrig tid, det vill säga ej restid i tunnelbanan.}$

Beräkning av PM10

Med följande antaganden:

- 90 procent vistelse inomhus och 10 procent utomhus
- Restid 325 timmar om året
- Samma luftkvalitet på plattform och i tåg

Maximal godtagbar exponering enligt MKN under ett år:

$$7884 \text{ h} \cdot (40 \mu\text{g}/\text{m}^3)/2 + 876 \text{ h} \cdot 40 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 192\,720 \mu\text{g}$$

Exponering övrig tid (ej restid i tunnelbanan):

$$7592 \text{ h} \cdot (25 \mu\text{g}/\text{m}^3)/2 + 843 \text{ h} \cdot 25 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 115\,975 \mu\text{g}$$

Exponering i tunnelbanan:

$$192\,720 - 115\,975 = 76\,745 \mu\text{g}$$

Förslag på godtagbar halt i tunnelbanan:

$$76\,745 \mu\text{g}/325 \text{ h} = \mathbf{240 \mu\text{g}/\text{m}^3}$$

* Hälften av halten utomhus

Exempel på uppmätta halter i tunnelbanan (veckomedelvärden):

PM10: 91-203 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

90 % av 8760 h = 7884 h

10 % av 8760 h = 876 h

90 % av 8435 h = 7592 h

10 % av 8435 h = 843 h

Beräkning av PM2,5 - Samma antaganden och indata som PM10

Maximal godtagbar exponering enligt MKN under ett år:

$$7884 \text{ h} \cdot (25 \mu\text{g}/\text{m}^3)/2 + 876 \text{ h} \cdot 25 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 120\,450 \mu\text{g}$$

Exponering övrig tid (ej restid i tunnelbanan)

$$7592 \text{ h} \cdot (9 \mu\text{g}/\text{m}^3)/2 + 843 \text{ h} \cdot 9 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 41\,750 \mu\text{g}$$

Exponering i tunnelbanan:

$$120\,450 - 41\,750 = 78\,700 \mu\text{g}$$

Förslag på godtagbar halt i tunnelbanan:

$$78\,700 \mu\text{g}/325 \text{ h} = \mathbf{240 \mu\text{g}/\text{m}^3}$$

Exempel på uppmätta halter i tunnelbanan (veckomedelvärden):

PM2,5: 37-77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Beräkning av metaller

Arsenik

Maximal godtagbar exponering enligt MKN under ett år:

$$8760 \text{ h} * 6 \text{ ng/m}^3 = 52\,560 \text{ ng}$$

Exponering övrig tid (ej restid i tunnelbanan):

$$8435 \text{ h} * 1 \text{ ng/m}^3 = 8435 \text{ ng}$$

Exponering i tunnelbanan:

$$52\,560 - 8435 = 44\,125 \text{ ng}$$

Förslag på godtagbar halt i tunnelbanan:

$$44\,125 \text{ ng} / 325 \text{ timmar} = \mathbf{140 \text{ ng/m}^3}$$

Nickel

Maximal godtagbar exponering enligt MKN under ett år:

$$8760 \text{ h} * 20 \text{ ng/m}^3 = 175\,200 \text{ ng}$$

Exponering övrig tid (ej restid i tunnelbanan):

$$8435 \text{ h} * 3 \text{ ng/m}^3 = 25\,305 \text{ ng}$$

Exponering i tunnelbanan:

$$175\,200 - 25\,305 = 149\,895 \text{ ng}$$

Förslag på godtagbar halt i tunnelbanan:

$$149\,895 \text{ ng} / 325 \text{ timmar} = \mathbf{460 \text{ ng/m}^3}$$

Bly

Maximal godtagbar exponering enligt MKN under ett år:

$$8760 \text{ h} * 500 \text{ ng/m}^3 = 4\,380\,000 \text{ ng}$$

Exponering övrig tid (ej restid i tunnelbanan):

$$8435 \text{ h} * 3,4 \text{ ng/m}^3 = 28\,679 \text{ ng}$$

Exponering i tunnelbanan:

$$4\,380\,000 - 28\,679 = 4\,351\,321 \text{ ng}$$

Förslag på godtagbar halt i tunnelbanan:

$$4\,351\,321 \text{ ng} / 325 \text{ timmar} = \mathbf{13\,389 \text{ ng/m}^3}$$

Kadmium

Maximal godtagbar exponering enligt MKN under ett år:

$$8760 \text{ h} * 5 \text{ ng/m}^3 = 43\,800 \text{ ng}$$

Exponering övrig tid (ej restid i tunnelbanan):

$$8435 \text{ h} * 0,12 \text{ ng/m}^3 = 1012 \text{ ng}$$

Exponering i tunnelbanan:

$$43\,800 - 1012 = 42\,788 \text{ ng}$$

Förslag på godtagbar halt i tunnelbanan:

$$42\,788 \text{ ng} / 325 \text{ timmar} = \mathbf{131 \text{ ng/m}^3}$$

Exempel på uppmätta halter i tunnelbanan (veckomedelvärden):

Arsenik: 4,7-5,9 ng/m³

Nickel: 26-79 ng/m³

Bly: 3,5-16 ng/m³

Kadmium: 0,08-0,7 ng/m³

Beräkning av PM10 med antagande om olika halt på plattformar och i tunnelbanevagnar

Med följande antaganden:

- 20 min vistelse på plattformarna och 40 min i tunnelbanorna
- PM10-halten i vagnarna är 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Acceptabel dos under 1 h: $240 \mu \cdot 60 \text{ min} = 14\,400 \mu$

Godtagbar halt på plattformar med antagande om olika halt på plattformar i vagnar:

Dos under 40 min i vagnar, $40 \text{ min} \cdot 150 \mu = 6\,000 \mu$

Utrymme kvar för exponering på plattformar:

$14\,400 \mu - 6\,000 \mu = 8\,400 \mu / 20 \text{ min} = \mathbf{420 \mu\text{g}/\text{m}^3}$

Med ett antagande om 15 minuters väntetid skulle inriktningsmålet bli 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

