



Åtgärder för luftkvalitet

Underlag till MKB för järnvägsplan

Titel: Åtgärder för luftkvalitet

Konsulter: Ramböll, Tyréns och White arkitekter

Bilder & illustrationer: Ramböll, Tyréns, White och FUT om inget annat anges

Dokument id: 4320-V41-23-20022

Diarienummer: FUT 1511-0219

Utgivning: November 2015

Distributör: Stockholms läns landsting, förvaltning för utbyggd tunnelbana

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

Sammanfattning

Luften i tunnelbana och tillhörande stationer under mark innehåller bland annat små partiklar som kan ha negativ hälsopåverkan vid långvarig exponering. Partikelhalten är ett mått på luftkvaliteten. I dagsläget finns inga riktvärden för partikelhalt i tunnelbana. I denna PM redovisas tekniskt möjliga och ekonomiskt rimliga åtgärder för att klara Landstingets inriktningsmål för partikelhalt PM₁₀ i nya tunnelbanelinjer som ska byggas i Stockholm. De nya linjerna är tunnelbana Nacka/Söderort, tunnelbana Akalla-Barkarby och tunnelbana Odenplan-Arenastadslinjen. I *PM Hälsopåverkan av tunnelluft* redovisas bakgrunden till inriktningsmålet för partikelhalt. Inriktningsmålet för partikelhalt PM₁₀ är 240 µg/m³ som timmedelvärde.

Ett flertal åtgärder har studerats. De åtgärder som ger bäst resultat är plattformsavskiljande väggar och ventilation. Med plattformsavskiljande väggar avses täta öppningsbara glaspartier mellan plattform och spår. Plattformsavskiljande väggar är inte aktuellt att installera i de nya tunnelbanestationerna på grund av hög kostnad. Ett flertal systemlösningar för ventilation har analyserats. Den systemlösning som är vald omfattar ventilation av stationer och frånluft i spårtunnel i kombination med stora tryckutjämningschakt. Systemlösningen uppfyller inriktningsmålet till en rimlig kostnad. Tryckutjämningschakten kan stängas automatiskt vid behov, exempelvis när frysrisk föreligger och ventilationen kan även kapacitetsregleras för att minska energianvändningen.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	3
Inledning	5
Befintliga järnvägsanläggningar	5
Förutsättningar.....	6
Partikelhalt - Lagkrav	6
Partikelhalt – Jämförelse med krav i andra projekt och krav för tunnelbanan	7
Citybanan, Västlänken och nuvarande tunnelbana i Stockholm.....	8
Citybanan i Stockholm.....	8
Västlänken i Göteborg	9
Tunnelbanan i Stockholm.....	10
Åtgärder	11
Generella åtgärder	11
Plattformsavskiljande väggar (PFA)	14
Barriärer för säkerhet	15
Ventilation	15
Systemlösning för tunnelbanan	15
Analys av systemförslag	16
Slutsatser och föreslagen systemlösning	22
Referenser.....	23

Inledning

Luften i tunnelbana och tillhörande stationer under mark innehåller bland annat små partiklar. I dagsläget finns inga riktvärden för partikelhalt i tunnelbanans utrymmen. I denna PM redovisas tekniskt möjliga och ekonomiskt rimliga åtgärder för att klara Landstingets inriktningsmål för partikelhalt PM10 i nya tunnelbanelinjer som ska byggas i Stockholm. De nya linjerna är tunnelbana Nacka/Söderort, tunnelbana Akalla-Barkarby och tunnelbana Odenplan-Arenastadslinjen. I *PM Hälsopåverkan av tunnelluft* redovisas bakgrunden till inriktningsmålet för partikelhalt.

Luftkvalitet (exempelvis temperatur, lufthastighet, partikelhalt med flera) i järnvägsanläggningar under mark har i huvudsak handlat om temperatur. Tunnelbanor i södra Europa, USA och Sydamerika har i vissa fall problem med höga temperaturer och kräver därför åtgärder i form av ventilation.

På senare år har små partiklars negativa hälsopåverkan uppmärksammats allt mer. Partiklar med en storlek underskridande 10 µm tränger in i lungans allra minsta delar, alveolerna, vilket gör att små partiklar är farliga för hälsan. Dessa hälsorisker har utgjort grunden för att det utarbetats miljö kvalitetsnormer för partiklar i utomhusluften. Lagkrav för partikelhalt i järnvägsanläggningar saknas däremot. Partiklar genereras i huvudsak genom slitage mellan hjul och räl. Partikelgenereringen är därför proportionell mot tågtrafikmängden.

I Sverige har under de senaste tio åren en stor järnvägsanläggning under mark byggts i Malmö, Citytunneln. I Stockholm pågår byggandet av Citybanan och i Göteborg pågår planeringen och projekteringen av Västlänken. För de två sistnämnda anläggningarna har problemen med partikelhalt uppmärksammats. Trafikverket har för Citybanan och Västlänken fastställt dimensionerande krav för partikelhalt med hänsyn till rimlig kostnad och hälsoeffekter. Rimliga åtgärder för dessa anläggningar med beaktande av hälsopåverkan, teknisk genomförbarhet och kostnad som har vidtagits för att klara kraven på partikelhalt är i huvudsak ventilation.

Befintliga järnvägsanläggningar

I Sverige är Stockholms tunnelbana, Arlandabanan och Citytunneln i Malmö de största järnvägsanläggningarna med stationer under mark. Citytunneln trafikeras av flera tågtyper som lokaltåg och fjärrtåg. Arlandabanan trafikeras på två stationer med Arlandabanans egna tåg, motsvarande moderna pendeltåg. Station Arlanda C trafikeras med fjärrtåg, regionaltåg och pendeltåg. Omfattande mätningar av partikelhalt har utförts i Stockholms tunnelbana. Mätningar har även utförts i andra anläggningar som Citytunneln i Malmö och Arlandabanan. Exempel på uppmätta partikelhalter i undermarksstationer framgår av tabell 1.

Tabell 1. Uppmätta partikelhalter PM10 i undermarksanläggningar på plattformar.

Anläggning	Partikelhalt ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ dygnsmedelvärde)	Antal tåg	Kommentar
Stockholms tunnelbana	cirka 300	cirka 20 – 25 tåg per timma och riktning i högtrafik.	Tryckutjämningschaktens öppningsgrad noterades inte vid mätningarna.
Arlandabanan Södra (Arlanda Express)	cirka 90	cirka 3 – 5 tåg per timma och riktning	
Arlandabanan C (fjärrtåg)	cirka 240	Ingen notering.	Arlandabanan saknar tryckutjämningschakt.
Citytunneln i Malmö	cirka 80 /7/	Vid mätningarna redovisades cirka 10 tåg per timma och riktning	Vid mätningarna startades brandgasventilation under 15 min, ingen större skillnad i partikelhalt noterades.
Stockholm, Södra Station	cirka 150	cirka 24 tåg per timma och riktning i högtrafik	Delvis öppen station med oklar ventilation.

Ovanstående anläggningar saknar mekanisk ventilation vid normal drift. Mätvärdena är dygnsmedelvärden medan det värde som Landstinget föreslår som inriktningsmål är timmedelvärde. Tabell 2 redovisar partikelhalter i några tunnelbanestationer.

Tabell 2. Uppmätta partikelhalter PM10 vardagar i vissa tunnelbanestationer/1/.

Station	Partikelhalt ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ dygnsmedelvärde)	Antal tåg	Kommentar
Mariatorget	198	358 norrgående 359 södergående	Mätningar utfördes mars och april 2015.
Medborgarplatsen	157	370 i bägge riktningar	Mätningar utförs mars och april 2015.

Partikelhalterna i tunnelbanan varierar exempelvis beroende på linjens längd under jord, trafikering och tryckutjämningschaktens storlek.

Förutsättningar

Partikelhalt - Lagkrav

Krav för partikelhalt PM10 finns för utomhusluft och anges i miljö kvalitetsnormerna. Kravet är $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som årsmedelvärde. Värdet får överskridas högst 35 dygn per år.

För personer som arbetar i tunnelbanan tillämpas de hygieniska gränsvärdena för arbetsmiljön (AFS 2011:18). Dessa anger bland annat ett gränsvärde för respirabelt järnoxiddamm på $3\,500 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De hygieniska gränsvärdena avser exponering under en 8-timmarsdag under ett helt yrkesliv. Värdet avser friska och arbetsföra. En beskrivning av mätvärden för partikelhalt framgår av faktarutan nedan.

Partikelhalt - Mätvärden

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

Partikelhalt – Jämförelse med krav i andra projekt och krav för tunnelbanan

För personer som vistas tillfälligt i järnvägstunnlar, exempelvis resenärer, saknas krav på partikelhalt enligt dagens regelverk exempelvis BBR. För projekten Citybanan och Västlänken har inriktningsmål för partikelhalt med beaktande av kostnad, tillgänglig teknik och hälsopåverkan för resenärer formulerats – Inriktningsmålen anges nedan:

Inriktningsmål för partikelhalt för Citybanan

Partikelhalten PM10 i stationernas publika delar under mark får normalt inte överskrida 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ som dygnsmedelvärde. Förutsättning är enligt MKB. Vid den fortsatta projekteringen har kompletterande åtgärder som exempelvis täta plattformsavskiljande väggar beslutats. I samband med genomförande av dessa åtgärder har även inriktningsmålet för partikelhalt på plattformar sänkts till 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Krav på partikelhalt för Västlänken

Partikelhalten PM10 i stationernas publika delar under mark får normalt inte överskrida 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ som dygnsmedelvärde men får under en sammanlagd tidsperiod av 35 dygn per år vara högre.

Partikelhalten PM10 i stationernas publika delar under mark får normalt inte överskrida 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ som timmedelvärde men får under en sammanlagd tidsperiod av 200 timmar per år vara högre.

Kraven gäller som ett medelvärde för samtliga plattformar på respektive station. Mätningar ska ske kontinuerligt på minst fyra mätpunkter på respektive plattform.

Partikelhalt för tunnelbanan, inriktningsmål

Partikelhalten PM10 på plattform får normalt inte överskrida 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ som timmedelvärde. Inriktningsmålet har formulerats med hänsyn tagen till hälsopåverkan på resenärer. Värdet bedöms vara dimensionerande för luftkvalitet och därmed för exempelvis partikelhalt PM2,5, radon och koldioxid. En utförlig redovisning av inriktningsmålet med motiv framgår av *PM Hälsopåverkan av tunnelluft*. Inriktningsmålet gäller enbart de nya stationerna.

Citybanan, Västlänken och nuvarande tunnelbana i Stockholm

I detta avsnitt redovisas ventilationslösningar för två stora järnvägsanläggningar som är under planering och produktion. Vanliga begrepp i samband med ventilation redovisas i faktarutan nedan.

Ventilation - Begrepp

Allmänventilation - Ventilation vid normal drift, till- och frånluft som tillförs och evakueras med fläktar.

Tryckutjämningschakt – Schakt mellan spårtunnel och mark, med höjden cirka 1 meter. Schakten är placerade på var sin sida om stationerna med syftet att minska tryckändringarna i stationerna vid tågtrafikering. Schakten ventilerar även spårtunneln.

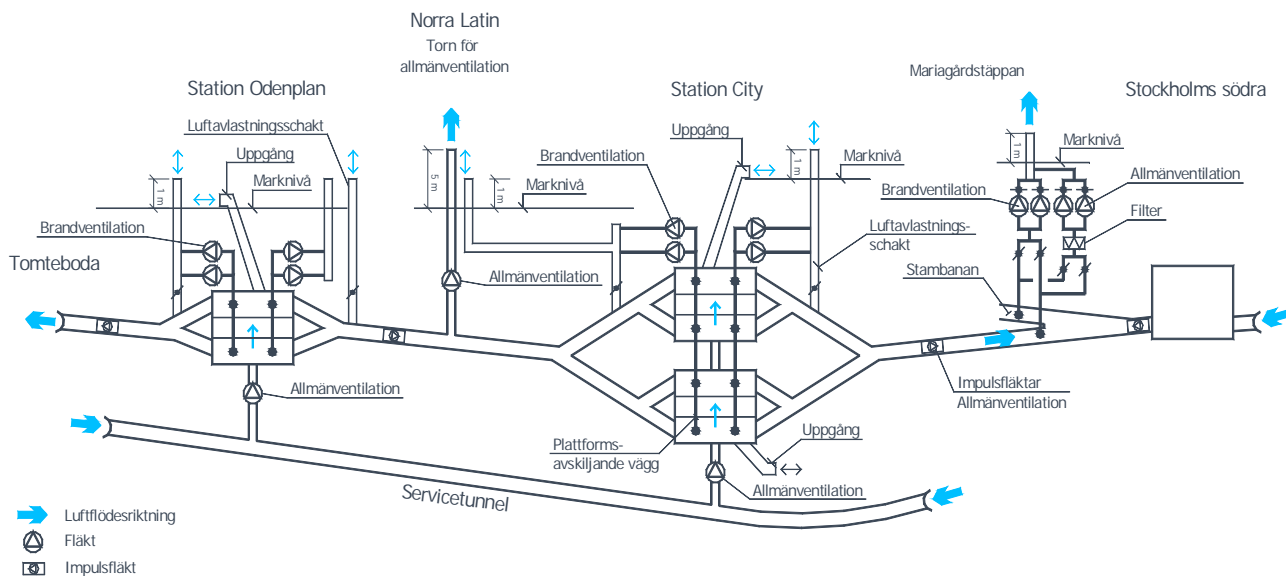
Ventilationstorn – Byggnad över mark för att släppa ut, alternativt ta in luft för ventilationsanläggning.

Kolvverkan – Den luftväxling som skapas genom tågens rörelser i tunnarna.

Termik – Luftrörelser som sker genom temperaturskillnader mellan tunnel och utomhus, "skorstensverkan".

Citybanan i Stockholm

Citybanan i Stockholm är en pendeltågstunnel (dubbelspårstunnel) med två stationer under mark och längden cirka 6 km. Citybanan är byggd som dubbelspårstunnel med parallell servicetunnel. Anläggningen är under färdigställande och kommer att tas i drift 2017. Figur 1 redovisar systemlösningen för Citybanan.



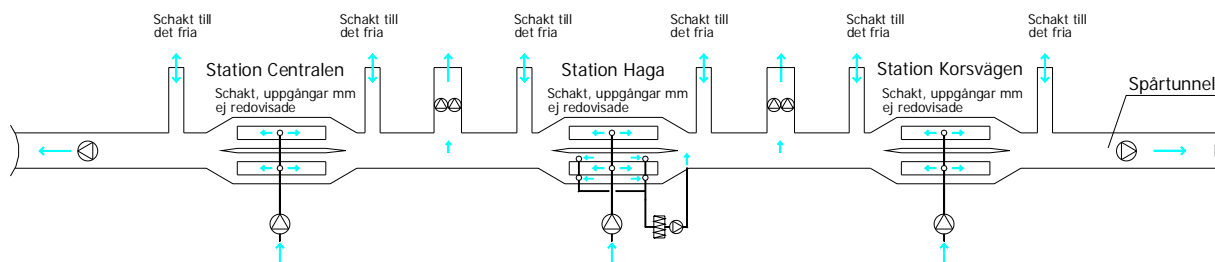
Figur 1. Systemlösning för Citybanan – Allmänventilation. Bygghandling.

Kompletterande information om Citybanan:

- Tilluft per plattform: 15 -20 m³/s.
- Möjlighet till frånluft i spårtunnel mellan station Odenplan och station City 30 m³/s.
- Tryckutjämningschaktens tvärsnittsarea är 15 – 25 m².

Västlänken i Göteborg

Västlänken är under projektering och blir en järnvägstunnel för regionaltåg. Västlänken är projekterad med dubbelspårstunnel med parallell servicetunnel på delar av sträckan. Västlänkens färdigställande planeras till 2025. Figur 2 redovisar systemlösningen för Västlänken (systemhandling).



Figur 2. Systemlösning för Västlänken - Allmänventilation. Systemhandling.

Kompletterande information om Västlänken:

- Tilluft per plattform: 20 m³/s.
- Frånluft i spårtunnel mellan stationerna 60 m³/s.
- På stationerna förbereds för att installera frånluft med don i plattformskant.
- Det finns plats för att i efterhand installera cirkulationsaggregat för partikelavskiljning i stationerna.
- Tryckutjämningschaktens tvärsnittsarea i Västlänken är 20 – 30 m².

Kommentar

Under bygghandlingskedet pågår optimering av anläggningen vilket kan innebära förändringar.

Tunnelbanan i Stockholm

Nuvarande tunnelbana saknar mekanisk ventilation, ventilationen sker i huvudsak genom tågens kolvverkan (tågens rörelser skapar luftrörelser) och termik (luftrörelser skapade genom temperaturskillnader, "skorstensverkan"). Luftutbytet sker genom tunnelmynningar, tryckutjämningschakt och uppgångar. Stockholms befintliga tunnelbana är försedd med tryckutjämningschakt för stationerna. Schaktens storlek varierar mellan 4 och 20 m² och har ökat för varje ny sträcka som har byggts. Störst schakt finns på blå linjen där de är 12-20 m². Schaktens storlek och placering varierar, flertalet stationer är försedda med två schakt där vardera schakt har arean 9 m². Schakten stängs delvis vintertid för att undvika isbildning och nedfrysning. För tunnelbaneutbyggnaden kommer mekanisk ventilation i motsvarande omfattning som för Västlänken och Citybanan att installeras, se avsnitt *Åtgärder*. Stationerna kommer även att förses med större tryckutjämningschakt jämfört med befintlig tunnelbana för att minska tryckändringarna. Schakten bidrar även till ökad ventilation. Jämförelse mellan tunnelbanelinjerna framgår av tabell 3.

Tabell 3. Tunnelbanan, jämförelse mellan olika tunnelbanelinjer.

Tunnelbanelinje	Tryckutjämningschakt (m ³)	Tilluft på plattform	Frånluft i station	Frånluft i spårtunnel
Grön	4	Nej	Nej	Nej
Röd	8	Nej	Nej	Nej
Blå	12 - 20	Nej	Nej	Nej
Ny linje Arenastaden	20 – 25	Ja	Möjlig lösning	Möjlig lösning
Ny linje Barkarby	20 – 25	Ja	Möjlig lösning	Möjlig lösning
Ny linje Nacka	20 – 25	Ja	Möjlig lösning	Möjlig lösning mellan vissa stationer

Åtgärder

Generella åtgärder

För att skapa en acceptabel luftkvalitet finns flera metoder att tillgå. Tabell 4 redovisar åtgärder vid källan för att minska partikelalstringen och tabell 5 redovisar åtgärder för att reducera partikelhalten.

Tabell 4. Åtgärder för att minska partikelalstringen.

Åtgärd	Effekt	Kommentar	Kostnad per station
Vagnpark, regenerativ broms Stel eller mjuk boggie	Kunskapen om effekterna av dessa åtgärder är otillräcklig. Någon haltberäkning är därför inte gjord. Utförda mätningar av partikelhalt visar att halterna har sjunkit de senaste åren. Moderna tåg med regenerativ broms (bromsning sker i mindre omfattning mekaniskt med lägre slitage och därmed partikelalstring som följd) antas vara en av orsakerna. De nya tunnelbanetågen är byggda med mjuk boggie vilket anses minska partikelavgivningen.	Äldre tunnelbanetåg byts succesivt ut till nyare tåg av typen C20 med elektrisk broms.	Ingen bedömning gjord.
Rälssmörjning	Kunskapen om effekterna av dessa åtgärder är otillräcklig. Någon partikelhaltberäkning är därför inte gjord.	Tillämpas för att minska slitage på räl och vagnpark. Åtgärden medför renhållningsproblem.	Ingen bedömning gjord.
Ballastfritt spår	Marginell effekt.	Citybanan utförs med ballastspår. Västlänken utförs med ballastfritt spår. Inriktningen för nya tunnelbanan är ballastspår.	Ingen bedömning gjord.
Körsätt, mjukt körmönster	Kunskapen om effekterna av åtgärden är otillräcklig. Någon partikelhaltberäkning är därför inte gjord.	Bedömningen är att åtgärden minskar energi-användning och partikelalstring. Utbildning av förare krävs.	Ingen bedömning gjord.
Rening vid källan, exempelvis uppfångningsanordning vid hjul i form av exempelvis magneter.	Kunskapen om metoden otillräcklig.	Beprövad teknik saknas.	Ingen bedömning gjord.

Tabell 5. Åtgärder för att reducera partikelhalten.

Åtgärd	Effekt	Kommentar	Kostnad per station (Miljoner kr)
Tryckutjämningschakt	Sänkning av partikelhalten	Befintlig tunnelbana är försedd med tryckutjämningschakt av varierande storlek. Den nya tunnelbanan kommer att förses med något större schakt med automatisk stängningsfunktion. Större schakt innebär lägre tryckändringar och viss förbättring av ventilationen i tunnarna. En schaktlösning med automatisk stängning ger möjlighet till kortare stängningstid för schakten och därmed bättre funktion.	1 - 5
Allmänventilation (mekanisk ventilation vid normal drift). I huvudsak följande: <ul style="list-style-type: none"> • Tilluft på plattform • Frånluft i spårtunnel • Frånluft på station 	Stor sänkning (cirka 30 – 40%) av partikelhalter. Tilluft på plattform och frånluft i spårtunnel ger den största effekten, frånluft på plattform ger en begränsad effekt.	Den huvudsakliga metoden för att skapa en acceptabel luftkvalitet är allmänventilation. Citybanan och Västlänken utförs med allmänventilation.	50 - 100
Plattformsavskiljande väggar (PFA)	Avsevärd sänkning (cirka 50%) av partikelhalten.	Bedömningen avser täta väggar från golv till tak. Citybanan utförs med PFA. Västlänken kommer att förberedas för PFA i ett indraget läge 2 m från plattformskant. Åtgärden är inte aktuell för tunnelbanan på grund av hög kostnad och tekniska problem föranledda av bland annat trafikering med flera tågtyper.	100 – 200 (Om lösningen är tekniskt genomförbar)
Städning, rengöring (spolning, dammsugning)	Kortvarig och måttlig minskning av partikelhalter.	Städning och rengöring bidrar generellt till en trevligare miljö. Spolning ökar renheten i anläggningen men ger en kortvarig och begränsad	Drift- och underhållskostnad.

		sänkning av partikelhalten. Anläggningen kommer att dimensioneras för spolning med spoltåg.	
Slussar, revolverdörrar	Sänkning av partikelhalten på mellanplan och i biljetthallar.	Lösningen är inte genomförbar då den omöjliggör säker utrymning och minskar kapaciteten avseende personflöden.	--
Cirkulationsaggregat med filter	Sänkning (cirka 10 – 20%) av partikelhalt i stationsrummet.	Underhållet ökar. Nedkylningen vintertid och energianvändningen minskar genom att lägre uteluftsflöde krävs. Filter hanterar till skillnad från allmänventilation inte koldioxidhalt och lukter.	10 – 50

Flertalet av metoderna är svårbedömda eller ger en låg effekt. Vagnparken (moderna tåg) med regenerativ broms bedöms ge lägre partikelalstring, ett utbyte av vagnparken pågår (tågtypen CX ersätts med C20 och C30 tåg). Städning och rengöring i någon form kommer att ingå i planerat underhåll. Plattformsavskiljande väggar som tätar mot luftutbyte mellan spårrområde och plattform medför en hög kostnad och är tekniskt komplicerat. Åtgärden är därför inte aktuellt, se avsnitt *Plattformsavskiljande väggar (PFA)*. De åtgärder som bedöms vara tekniskt genomförbara och ekonomiskt rimliga för tillämpning är allmänventilation av stationer och spårtunnlar. Beslutade åtgärder är allmänventilation (tilluft på plattform och frånluft i varierande omfattning).

Plattformsavskiljande väggar (PFA)

Plattformsavskiljande väggar (PFA) innebär att täta väggar på plattform från golv till tak avskiljer spårområdet mot plattformen och därmed begränsar luftutbytet mellan den smutsigare spårluften och den renare luften i plattformsrummet där resenärerna vistas. Plattformsavskiljande väggar måste för sin funktion ha dörröppningar på samma plats som tågens dörrar och öppna samtidigt som tågets dörrar öppnas. Dörrplaceringarna i väggen ställer krav på precision vid tågets stopp på plattformen. Stockholms tunnelbana trafikeras av tre olika tågtyper som alla har olika placering av dörrar. Även om en av tågtyperna succesivt kommer att avvecklas återstår ändå två olika tågtyper som måste kunna hanteras. Det innebär att dörrarna i den plattformsavskiljande väggen måste kunna öppnas på olika platser beroende på tågtyp. Alternativt måste hela väggen öppnas. Det finns idag ingen beprövad teknisk lösning på problemet. De svårigheter som plattformsavskiljande väggar och flera tågtyper innebär kan även medföra att tiden för av- och påstigning ökar med lägre kapacitet som följd.

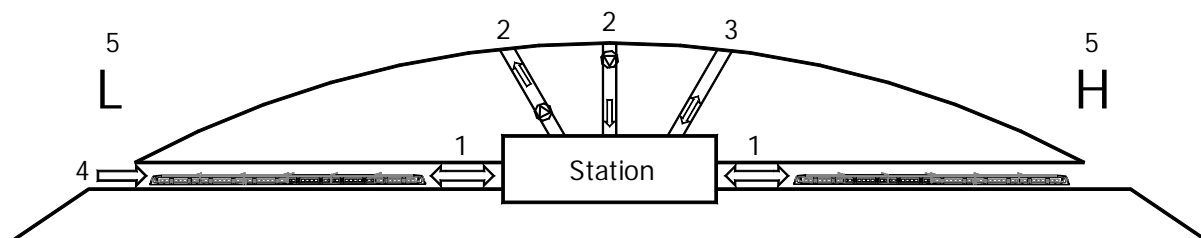
PFA är inte en aktuell lösning på grund av mycket hög kostnad, tekniska svårigheter, förlängd produktionstid och att Landstinget har valt en enhetlig lösning i form av barriär för samtliga stationer, befintliga och nya.

Barriärer för säkerhet

Tester pågår i dagsläget med en förenklad barriär istället för plattformsavskiljande väggar. Barriären är inte tät och ger därmed en marginell förbättring av luftkvaliteten. Syftet är i huvudsak säkerhet och en anpassning för att eventuellt kunna köra förarlösa tåg. Denna lösning kommer troligen på sikt att installeras för befintliga och nya stationer. En lösning med plattformsavskiljande väggar från golv till tak är med ledning av ovanstående argument därför inte aktuellt för Stockholms befintliga och utbyggda tunnelbana.

Ventilation

Ventilationen och därmed luftkvaliteten i tunneln och på stationerna påverkas av en rad faktorer där tågens kolverkan (de luftflöden som skapas av tågens rörelser i tunnelsystemet) och partikelalstringen har avgörande betydelse. De faktorer som påverkar ventilation av tunnel och stationer redovisas i figur 3.



Figur 3. Luftväxling kan åstadkommas av följande: 1. Tågens kolverkan; 2. Mekanisk ventilation; 3. Självdrag som uppstår på grund av höjd- och temperaturskillnader i tunnelsystemet; 4. Vind; 5. Varierande barometriskt tryck (låg- och högtryck).

Det primära syftet med ventilationen är att upprätthålla god luftkvalitet på stationer och till viss del i tunneln, men viss möjlighet till temperaturkontroll ges också. Den främsta föroreningskällan är partikelalstring mellan hjul och räl. Först i andra hand kommer "klassiska" föroreningskällor som människor och byggnadsmaterial.

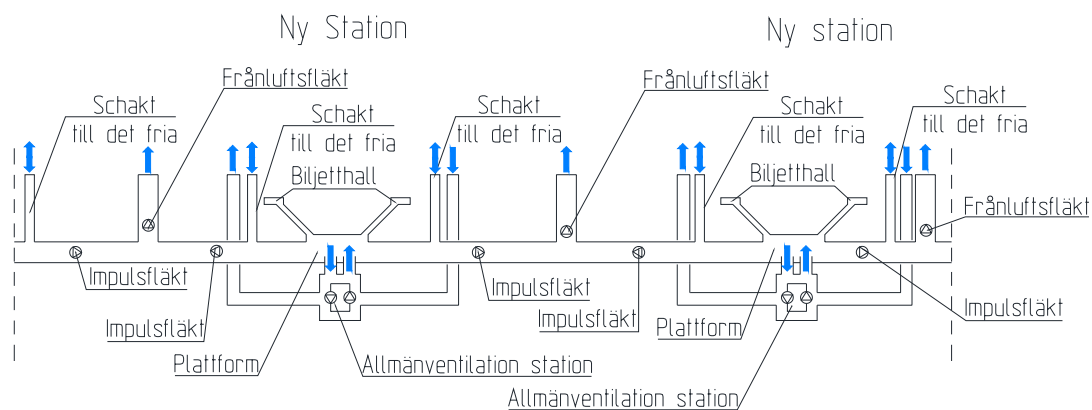
Några huvudprinciper är tilluft på plattform, välventilerad tunnel samt schakt för luftutbyte och tryckutjämning. Systemlösningen för tunnelbanan redovisas i avsnitt *Systemlösning för tunnelbanan*.

Systemlösning för tunnelbanan

Den realistiska möjligheten att begränsa partikelhalterna på en plattform som är öppen mot spårområdet (utan täta helhöga väggar mot spår) är att ventilera och på så sätt späda ut partikelhalterna med uteluft. Ventilation av stationer kan ske genom följande åtgärder:

- Tilluft på plattform
- Frånluft på plattform
- Frånluft i spårtunnel med utsläpp i ventilationstorn
- Tryckutjämningschakt 20 - 25 m² på vardera sida om stationen

I figur 4 redovisas den systemlösning som utgör planeringsförutsättning för tunnelbaneutbyggnaden.



Figur 4. Exempel på systemlösning för allmänventilation av publika delar i stationer och tunnlar för tunnelbanan med till- och frånluft på stationer, frånluft i tunnlar.

Systemlösningens utformning och luftflöden (tilluft 15 m³/s, frånluft 50 m³/s) för de nya tunnelbanestationerna är likartad som Västlänken trots en betydligt mindre trafikering och därmed även lägre partikelalstring än Västlänken. Citybanan har också en liknande ventilationslösning, se även avsnitt *Citybanan i Stockholm* och *Västlänken i Göteborg*.

Analys av systemförslag

Vid beräkningar av partikelhalt har beräkningsmodellen IDA Rail Tunnel använts. Den tillämpade modellen räknar i en dimension (1D-modell) i tunnelns längdriktning, vilket är en förutsättning för att klara hela systemet med ett tillräckligt antal rörliga tåg inom rimliga beräkningstider. IDA Tunnel, har validerats i ett flertal studier. Modellen inkluderar samtliga fysikaliska effekter som bedöms ha en betydande inverkan på luftkvaliteten och hanterar hela tunnelsystemet (tunnlar och stationer) och temperaturutvecklingen i tunneln under lång tid till fortvarighet. Exempel på utdata som beräkningarna ger är:

- Tryck
- Luftflöden
- Temperaturer
- Luftfuktighet.
- Koldioxidhalt
- Partikelhalt
- Luftens medelålder under mark
- Lufthastigheter (medelhastighet i tunneltvärsnittet)
- Partikelflöden ut genom schakt (indata för spridningsberäkningar)

Osäkerheterna består i huvudsak av följande:

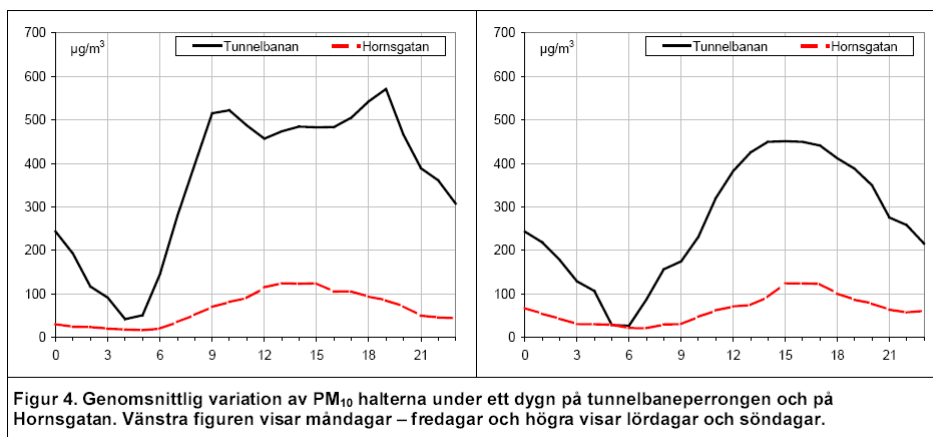
- Indata, i första hand partikelemission från tåg
- Relevansen av valda trafik-, drift- och klimatscenarier
- Modellosäkerheter

Indata

En väsentlig indata är partikelemissioner. Följande värden har tillämpats i tunnelbanan, Västlänken och Citybanan (från Citybanan /6/):

- PM10 från mekanisk bromsverkan: 0,02 g/kWh¹
- PM10 från rullmotstånd: 0,76 g/kWh
- PM10 från rälets arbete på tåget (motsvarande skjuvkrafter mellan hjul och räl): 0,0 g/kWh

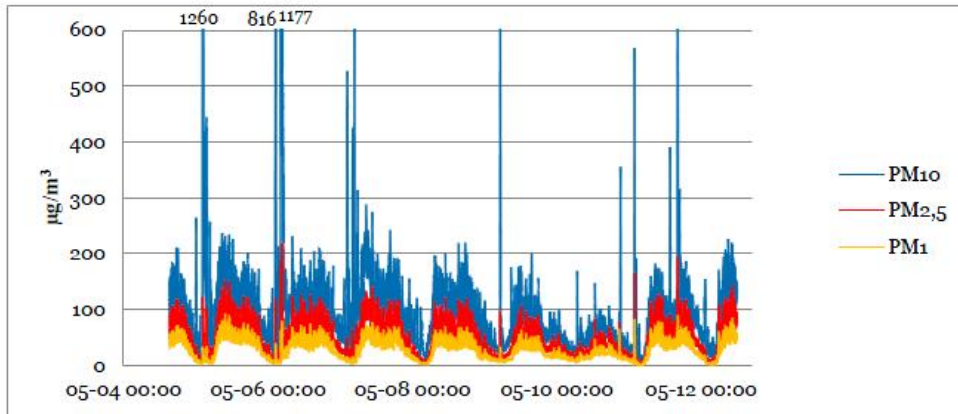
Dessa värden motsvarar tillsammans cirka 1,6 g/km körsträcka, vilket är jämförbart med pendeltåg enligt studier gjorda av Chalmers och IVL (Fridell m fl 2009) /5/. Beräkningar av partikelemissioner enligt/6/ har utförts med partikelmätningar för station Mariatorget från 2001 som grund, se figur 5. Värdet togs ursprungligen fram inom projekt Citybanan. De mätningar som gjorts på senare år visar att partikelhalterna har sjunkit, de lägre halterna förmodas till största delen bero på att äldre tåg succesivt ersatts av moderna tåg och andelen mekanisk broms har därmed minskat. I de aktuella mätningarna från 2015 (figur 6) har partikelhalten sjunkit från storleksordningen 400 – 500 till 200, en halvering, se figurer 5 och 6. Observera att vid mättillfällena så saknades information om avgörande faktorer som exempelvis trafikering, temperatur och tryckutjämningschakt. Den valda partikelemissionen bedöms trots viss brist på information som konservativ, partikelhalterna har sjunkit markant mellan mätningarna.



Figur 4. Genomsnittlig variation av PM₁₀ halterna under ett dygn på tunnelbaneperrongen och på Hornsgatan. Vänstra figuren visar måndagar – fredagar och högra visar lördagar och söndagar.

Figur 5. Partikelmätningar 2001. Utdrag ur/6/ (SLB-analys, Partikelhalter i Stockholms tunnelbana, Miljöförvaltningen i Stockholm, april 2001).

¹ I 1D-modellen relateras mängden frigjorda partiklar till den energi som konverteras av tåget, till exempel vid bromsning eller för att övervinna rullmotstånd eller på grund av skjuvkrafter mellan hjul och räl (den senare inte tillämpad).



Figur 3. PM₁-, PM_{2,5}- och PM₁₀-halter vid Mariatorget under en vecka. Observera att partikelhalterna som visas endast är relativa, d.v.s. motsvarar de värden som fås om partiklarnas densitet sätts till 1 g/cm³ och är alltså lägre än de verkliga.

Figur 6. Partikelmätningar 2015. Utdrag ur/1/.

Beräkningar har utförts med följande indata:

Tågtrafikering: tåg var fjärde minut i vardera riktning i högtrafik.

Årstid: Sommar med öppna tryckutjämningschakt.

Partikelhalt i utomhusluften: 40 µg/m³.

Beräkningar

Beräkningarna har gjorts för en tunnelsträckning med två befintliga och två nya stationer. Resultaten beror exempelvis av banans geografi, höjdprofil, schaktutformning och trafikering. Utvärdering av de nya stationerna har utförts med hänsyn till partikelhalt och redovisas i figur 7. Följande systemlösningar har studerats:

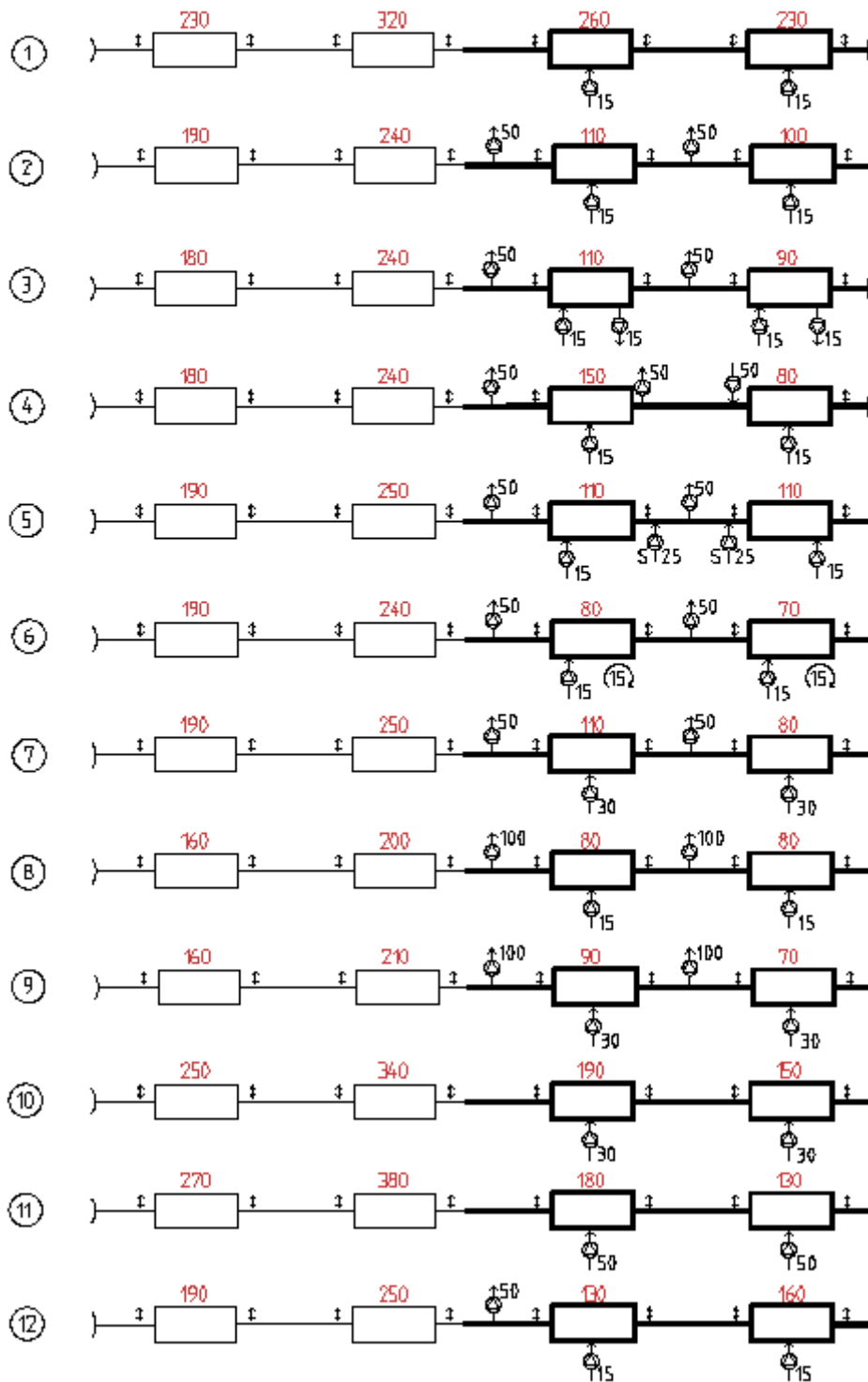
1. Tilluft på plattform.
2. Tilluft på plattform, frånluft i spårtunnel.
3. Till- och frånluft på plattform, frånluft i spårtunnel.
4. Tilluft på plattform, till- och frånluft i spårtunnel.
5. Tilluft på plattform, till- och frånluft i spårtunnel mellan de två nya stationerna. Tilluft till spårtunneln via servicetunneln.
6. Tilluft på plattform, frånluft i spårtunnel. Cirkulations-aggregat med filter på plattform.
7. Tilluft på plattform, frånluft i spårtunnel. Höga luftflöden plattform.
8. Tilluft på plattform, frånluft i spårtunnel. Höga luftflöden spårtunnel.
9. Tilluft på plattform, frånluft i spårtunnel. Höga luftflöden plattform och spårtunnel.
10. Tilluft på plattform, högt luftflöde, ingen frånluft.
11. Tilluft på plattform, extra högt luftflöde, ingen frånluft.
12. Tilluft på plattform, frånluft i spårtunnel. Endast frånluft mellan två av stationerna.

Timmedelvärden redovisade i figur 7 avser högtrafik morgon och eftermiddag, övrig tid är partikelhalten cirka 30% lägre.

Förklaringar

- 218 Partikelhalt, maxmalt timmedelvärde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Ⓢ Systemlösning
- ± Tryckutjämningschakt
- ⊕¹⁵ Mekanisk ventilation ($15 \text{ m}^3/\text{s}$)
- (15) Filter ($15 \text{ m}^3/\text{s}$)
- ⊕²⁵ Mekanisk ventilation via servicekanal ($25 \text{ m}^3/\text{s}$)

- Ny Station
- Befintlig Station
-) Tunnelmynning
- Nytt Spår
- Befintligt Spår
- ↔ Vändspår



Figur 7. Utvärderade systemlösningar med resultat.

En viktig ventilationsprincip är luften tillförs där resenärerna vistas och att evakuera luften där den är som smutsigast, det vill säga i spårtunneln.

En lösning utan ventilation som tillämpas i dagens tunnelbana ger beräkningsresultat med partikelhalter i samma storleksordning som mäts i befintlig tunnelbana, det vill säga partikelhalter över inriktningsmålet $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som timmedelvärde.

Systemlösning 1 med enbart tilluft på plattform klaras inte inriktningsmålet $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Systemlösning 2, tilluft på plattform och frånluft i spårtunnel (tilluft $15 \text{ m}^3/\text{s}$, frånluft $50 \text{ m}^3/\text{s}$), beräknas partikelhalten ligga i storleksordningen $100 - 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som timmedelvärde, det vill säga under inriktningsmålet $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Systemlösning 3 är lika systemlösning 2 förutom att frånluft i stationerna har lagts till, frånluften ger en liten förändring på partikelhalterna.

Systemlösning 4 och 5 redovisar alternativa lösningar för att ventilera spårtunneln med liknande resultat som systemlösning 2. Dessa systemförslag innebär dock nackdelar i form av luftutbyte mellan spårtunnel (brandteknisk avskiljning mellan servicetunnel och spårtunnel) och servicetunnel eller intrång i tryckutjämningschakten.

Systemlösning 6 är lika som systemlösning 2 men kompletterad med cirkulationsaggregat för filtering av luft, lösningen ger ännu lägre partikelhalt men kräver underhåll och utökad platsbehov.

Systemlösning 7 – 9 är lika som systemlösning 2 men med högre luftflöden, givetvis lägre partikelhalter men högre produktions och driftkostnader.

Systemlösning 10 och 11 är lika som systemlösning 1 men med högre luftflöden. Resultaten redovisar vikten av en ventilerad spårtunnel, det är svårt att klara inriktningsmålet för partikelhalt med enbart ventilation av stationsrummet. Ökat tilluftsflöde ger en ökad energianvändning.

Systemlösning 12 är en förenkling av systemlösning 2. Frånluftsschaktet mellan de nya stationerna har tagits bort. Systemlösningen klarar fortfarande inriktningsmålet för partikelhalt och kan ge möjlighet till en förenklad lösning.

Vintertid riskerar tunnlar och stationsrum att kylas ned av den kalla luft som strömmar in genom tryckutjämningschakten med risk för isbildning (trafikstörning) och lägre temperatur på plattform som resultat. Schakten är placerade på var sin sida och i omedelbar närhet av stationerna. För att undvika nedkylning så kan schakten stängas genom spjäll placerade åtkomligt i botten på schakten. Med helt eller delvis stängda schakt ökar tryckändringarna i anläggningen och därmed lufthastigheten i uppgångarna med nedkylning av biljetthallar som följd. Stängda schakt medför även viss försämring av ventilationen i tunnel och stationsrum och därmed högre partikelhalt. Bedömningen är att schakten behöver stängas delvis under begränsad tid under kalla perioder. Helt stängda tryckutjämningschakt bör undvikas på grund av de olägenheter det medför i form av tryckändringar och nedkylning av biljetthallar. Under perioder med delvis stängda schakt riskerar partikelhalten att överskrida det föreslagna inriktningsmålet för partikelhalt. Den tid schakten behöver vara stängda bestäms av exempelvis risken för frysning och energianvändning. Optimering av systemlösningen sker vid detaljprojektering och drift. Exempelvis ska regleringen av spjällen i tryckutjämningschakten och ventilationsanläggningen utredas vidare. Ventilationen kan regleras på ett flertal parametrar som temperatur, tågtrafikering och partikelhalt. Bedömningen är att inriktningsmålet för partikelhalt med hänsyn till hälsopåverkan klaras som timmedelvärde på årsbasis. Partikelhalten på de befintliga stationerna förändras marginellt med den planerade utbyggnaden. Inriktningsmålet för partikelhalt gäller inte för de befintliga stationerna.

Slutsatser och föreslagen systemlösning

Eftersom tågen genererar partiklar i luften kan stationernas luft innebära en risk för negativa hälsoeffekter om inte åtgärder vidtas. För att klara inriktningsmålet kommer tunnelbanans nya stationer att förses med ventilationssystem.

Den systemlösning som enligt beräkningarna uppfyller inriktningsmålet för partikelhalt till en bedömd rimlig kostnad är systemlösning 2, tilluft på plattform och frånluft i spårtunnel mellan stationerna. Systemlösningen med frånluftsschakt mellan stationerna är i vissa fall inte tillämplig (exempelvis kan tunnel passera under vatten). Vid sådana fall kan spårtunneln ventileras genom att till- och avluft placeras i närheten av stationerna enligt systemlösning 4, alternativt kan servicetunneln nyttjas för tilluft.

Det rekommenderade utförandet omfattar även tryckutjämningschakt som kan stängas automatiskt med spjäll vid behov, exempelvis när frysrisk föreligger. Kapacitetsreglering för att minska energianvändningen möjliggörs också. Ventilationsanläggningen kommer i ett senare skede att optimeras med hänsyn till exempelvis partikelhalt, energianvändning och temperatur. Beräkningsresultaten indikerar att partikelhalten under stora delar av året är i storleksordningen 100 – 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Samtliga värden är timmedelvärden.

Referenser

- /1/ Stationsmätningar 2015, Mariatorget och Medborgarplatsen. IVL, 2015.
- /2/ Partikelmätningar i tunnelbanan, oktober - november 2011. IVL, 2012-06-28.
- /3/ Citybanan i Stockholm, MKB 2007. Banverket.
- /4/ Västlänken underlagsrapport luftkvalitet TRV 2013/92338, 2014-09-01. Trafikverket
- /5/ Fridell m fl. 2009. Emissions of particulate matter from railways Chalmers, IVL. Report B1892
- /6/ Rapport T0-0703-0402. Beräkning av källtermer för stoftemission i 1D-modeller. Banverket 2005-09-28.
- /7/ Luftkvalitetsmätningar på station Triangeln. Malmö stad, 2011-11-14.
- /8/ AB Storstockholms lokaltrafik. Luftrörelser i Stockholms tunnelbana. Slutrapport. Ramböll 2007.
- /9/ Västlänken. Rapport JPSH2-01-026-00_005. Allmänventilation av stationernas publika delar och tunnlar. Trafikverket 2014.
- /10/ Rapport 3310-M31-22-00001. Hälsopåverkan av tunnelluft. Stockholms läns landsting. Förvaltningen för utbyggd tunnelbana. 2015.

