

Källor till partiklar i Stockholms tunnelbana



av
Christer Johansson

SLB analys
Miljöförvaltningen
Box 38 024
100 64 Stockholm

Stockholm, maj 2005

Innehåll

Sammanfattning.....	1
Bakgrund och syfte	2
Kemisk sammansättning.....	3
Kemiska sammansättningen av partiklarna i tunnelbaneluften	3
Kemiska sammansättningen av olika material i tunnelbanan	4
Resultat.....	8
Referenser	11
Bilaga 1	1
Analyser av spårballast.....	1
Analyser av räler.....	3
Analyser av hjul	4
Analyser av bromsblock.....	6
Analyser av strömskena och strömskor	7
Bilaga 2.....	1
Uppskattning av slitage av bromsblock.....	1
Slitage av räler.....	1

Förord

SLB analys har på uppdrag av SL Infrateknik AB beräknat bidragen till partikelhalterna från olika källor i tunnelbanan. Arbetet är genomfört av Christer Johansson. Kontaktpersoner på SL infrateknik har varit Bo Lönnemyr, Tomas Wisell och Bengt Christensson.

Stockholm i maj 2005

Christer Johansson
SLB analys
Miljöförvaltningen
Box 308 024
100 64 Stockholm

Sammanfattning

Syftet med denna studie har varit att utnyttja information från kemiska analyser för att uppskatta bidragen till partikelhalterna från olika källor. Med kännedom om partiklarnas kemiska sammansättning och sammansättningen i olika material som kan tänkas ge upphov till dessa partiklar har en regressionsmodell använts för att skatta bidragen till halterna av PM10 vid Mariatorgets tunnelbanestation.

Under dagtid då flest människor vistas i tunnelbanan består partiklarna på Mariatorgets perrong (mätt som PM10) till omkring 60 % av järnoxider och metalliskt järn. Det mesta föreligger som magnetit. I övrigt identifierades en rad andra metaller som kan antas föreligga som oxider (kalcium, barium, koppar och aluminium). Omkring 10 % - 20 % av partiklarna utgörs av organiskt material som delvis kan komma från människors kläder mm.

Den kemiska sammansättningen av olika material som förekommer i tunnelbanan kan vara väldigt olika. Exempelvis skiljer sig de två typerna av bromsblock åt. Speciellt gäller detta ämnena kalcium, järn, barium och koppar. I bromsblock på de äldre tågen utgör kalcium den största andelen, till och med större andel än järn. I bromsarna på de nya tågen dominerar järn. Hjulen, strömavtagarna och strömskenan består till största delen av järn, mangan och koppar. Förvånande nog innehåller spårbädden till största delen natrium. Detta var oväntat eftersom geologiskt material normalt domineras av t ex kisel, aluminium, järn och kalcium. Det är okänt varifrån allt detta natrium kommer, men det kan inte förklaras av bergarter i makadammen.

Beräkningar visade att endast tre av materialen gav signifikanta bidrag till partikelhalterna; bromsblocken i CX- och C20-tågen samt hjulen. Spårbädden gav mycket litet bidrag som inte var statistiskt signifikant. Rälsen och strömavtagarna gav inte signifikanta källbidrag.

Största bidraget till partikelhalterna kommer enligt dessa beräkningar från hjulen, ca 70 %. Bromsblocken svarar för knappt 30% (C20- respektive CX-tågen bidrar med 16 % respektive 10 %). Beräkningarna är osäkra, bland annat på grund av ganska stora osäkerheter i analyserna. Men den stora mängden järn visar helt klart att slitaget av hjul och bromsar måste vara en viktig källa. Vidare styrks slutsatsen att spårbädden inte bidrar till PM10-halterna av tidigare mätningar som visat att befuktning av bädden (spolning) inte medförde någon stor minskning av halterna. En grov uppskattning av hur höga PM10 halter som skulle kunna uppkomma på grund av hjulslitage baserat på kännedom om slitaget per tågkilometer och antaganden om luftventilationen stämmer väl överens med slutsatsen att hjulslitage är en viktig källa. Partiklarna innehåller en del organiskt material. Källan till detta är inte känd men skulle kunna vara plast, färger, cellulosa och gummi. Tidigare mätningar har visat att trafikavgaser inte förekommer i tunnelbaneperrongen vid Mariatorget.

Det tycks inte finnas någon liknande studie i litteraturen. Men det kan nämnas att andra studier i London och New York också visat på mycket höga halter av järn, mangan och krom. I dessa rapporter antas också att bland annat slitage av hjul och bromsar måste vara viktiga källor till de höga halterna.

Bakgrund och syfte

Höga halter av PM10 och PM2.5 har uppmätts på Mariatorgets tunnelbanestation (Johansson m fl., 2001; Johansson & Johansson, 2003). Även på andra platser i tunnelbanan har höga partikelhalter uppmätts (se t ex Wisell, 2002; Axelsson, 1997).

En viktig fråga är varifrån partiklarna kommer. De tidigare studierna har visat att de höga partikelhalterna hänger ihop med tågfrekvensen i tunnelbanan. En detaljerad studie av partikelstorleksfördelningen genomfördes nyligen av Norman & Johansson (2004). Studien visade att partiklar med en diameter mellan 1 µm (mikrometer) och 2.5 µm stod för 50-60 % av den totala uppmätta PM10 massan. När tågtrafiken avstannat försvinner det mesta av partiklarna som är större än 1 µm och den totala PM10 massan domineras istället av partiklar mindre än 1 µm. Tågen orsakar alltså främst partiklar större än 1 µm. Till skillnad från partikelmassan dominerades antalet partiklar av de som är mindre än 120 nm (nanometer). Dessa partiklar bidrar knappt alls till PM10 halterna och kommer endast till liten del från tunnelbanetågen. Mycket god samvariation erhöles mellan PM10-halterna och antalet partiklar i intervallet mellan 0,42 µm och 10 µm.

Kemiska analyser av partiklarna har genomförts av Christensson m fl. (2002) och mer i detalj av Christensson & Ancker (2004). Under 2003 och 2004 lät SL Infrateknik genomföra kemiska analyser av olika material som kan tänkas orsaka de höga halterna. I dessa rapporter diskuteras tänkbara källor till partikelhalterna utifrån de kemiska analyserna av partiklarna.

Överslagsberäkningar tyder på att slitaget av hjul, räls och strömskor skulle kunna förklara en stor del av de observerade halterna.

Syftet med denna studie är att utnyttja kunskapen om den kemiska sammansättningen i material och i partiklar för att uppskatta bidragen till partikelhalterna från olika källor.

Beräkningsmetodik

I detta projekt har olika källors bidrag till PM10 halterna skattats med hjälp av en metod som kallas kemisk massbalans, CMB (Chemical Mass Balance; Watson et al., 1997). Metoden bygger på en linjär regressionsanalys som tar hänsyn till osäkerheterna i både de uppmätta värdena och de slutligt beräknade källbidragen. Metoden baseras på antagandet att de uppmätta halterna kan förklaras på ett godtagbart sätt genom en linjärkombination av bidragen från de relevanta källtyperna. Inga betydelsefulla kemiska eller andra viktiga transformeringar av de partikelbundna ämnena som studeras äger rum i luften under transporten från utsläppet till provtagningen. Metoden förutsätter att alla relevanta, kvantitativt betydelsefulla källor identifierats och att den kemiska sammansättningen (källprofilerna) för dessa finns, att källprofilerna är linjärt oberoende samt att mätosäkerheterna är slumpmässiga, normalfördelade och ej korrelerade.

Halterna som mäts upp antas vara en summa av källbidragen:

$$x_{ij} \cong \sum_{k=1}^p a_{ik} f_{kj} \quad (1)$$

där x_{ij} är de uppmätta halterna i utomhusluft för föroreningskomponent i ($i=1, m$) under provtagningstillfället j ($j=1, n$). Ett antal p relevanta källtyper ($k=1, p$) anses vara

signifikanta. Vektorn $(a_{1k}, a_{2k}, \dots, a_{mk})$, innehållande massfraktionerna a_{ik} för föroreningskomponent i i källa k , benämns källprofilen för källa k . Vidare är f_{kj} den massa som källa k bidrar med till halterna under provtagningstillfället j (källbidraget).

CMB tar hänsyn till att det finns fel både i mätdata (x -matrisen) och i källornas massa (f). Detta görs genom att man viktar regressionsberäkningen med felen, Vikten beräknas som:

$$w = \frac{1}{s_i^2 + \sum_k s_{i,k}^2 f_k^2}$$

Där s_i är osäkerhet i uppmätta halter och $s_{i,k}$ är osäkerhet för ämne i , i källa k . Detta innebär att viktningen är beroende av resultatet från regressionen, vilket innebär att ekvationen måste lösas iterativt.

Beräkningarna genomfördes med programmet CMB version 8 som framtagits av amerikanska EPA, www.epa.gov/scram001).

Kemisk sammansättning

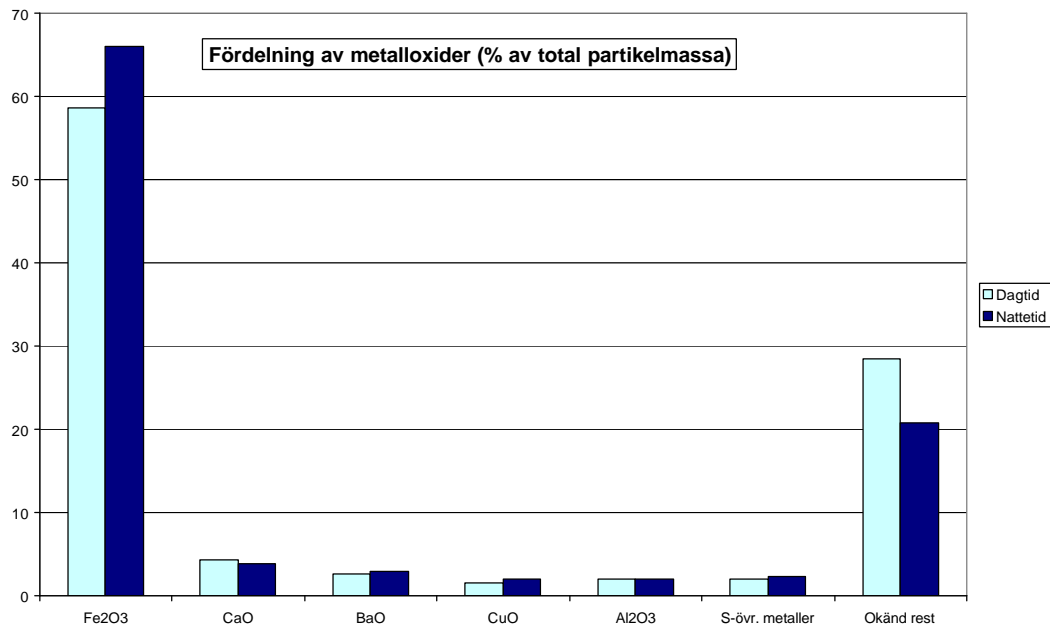
Underlag till denna utredning är

1. Kemiska analyser av partiklarnas sammansättning
2. Kemiska analyser av olika material som förekommer i tunnelbanan

Kemiska sammansättningen av partiklarna i tunnelbaneluften

De kemiska analyserna av partiklar har innefattat både metaller, organiskt material och PAH. För detaljerad beskrivning av resultaten från analyserna av partiklarna som förekommer i tunnelbaneluften hänvisas till Christensson et al. (2002) och Christensson & Ancker (2004). Nedan presenteras kort den genomsnittliga totala kemiska sammansättningen av partiklarna.

Röntgen analyser och spektroskopiska analyser har visat att 6 % av järnet utgörs av metalliskt järn, 57 % förekommer som magnetit (svart magnetisk järnoxid skrivs ofta Fe_3O_4 , men är en blandoxid med FeO och Fe_2O_3 ; 72 % järn) och 38 % som hematit (röd järnoxid med beteckningen Fe_2O_3 ; 70 % järn). Av Figur 1 framgår att järnföreningarna utgör omkring 60 % av totala PM10 massan dagtid och 65 % nattetid. Analyserna har visat på förekomsten av en rad andra metaller som också kan antas förekomma som oxider. Totalt utgör de resterande metalloxiderna omkring 10 % av totala PM10-halten. Den okända delen på omkring 20 % dagtid och 30 % nattetid kan enligt de senaste analyserna förklaras med organiskt material (ca 15 %) och vatten. Metalljoner utgör endast 1 % till 2 %.



Figur 1. Fördelning av uppmätt partikelmassa på olika metalloxider i genomsnitt under dag och natt. Baserat på mätdata från Christensson et al. (2002) korrigerade enligt den noggrannare bestämningen av järnets oxidationstal enligt Christensson & Ancker (2004).

Kemiska sammansättningen av olika material i tunnelbanan

Tabeller med resultaten från de kemiska analyserna av olika material återfinns i Bilaga 1. De delar som analyserats är bromsblock (både CX= gamla tåg, och C20= nya tåg), räls, spårbädd (spårballast), strömskena, strömavtagare och hjul.

I Tabell 1 anges möjliga partikelkällor i tunnelbanan och deras huvudsakliga kemiska sammansättning. Upp till 33 olika metaller har analyserats i olika material. I Figur 2 visas relativa sammansättningen i ett antal källor av de 14 metaller som medtagits i beräkningarna som presenteras nedan. I vissa fall har antaganden gjorts om minsta detekterbara halt. Övriga möjliga källor har inte analyserats.

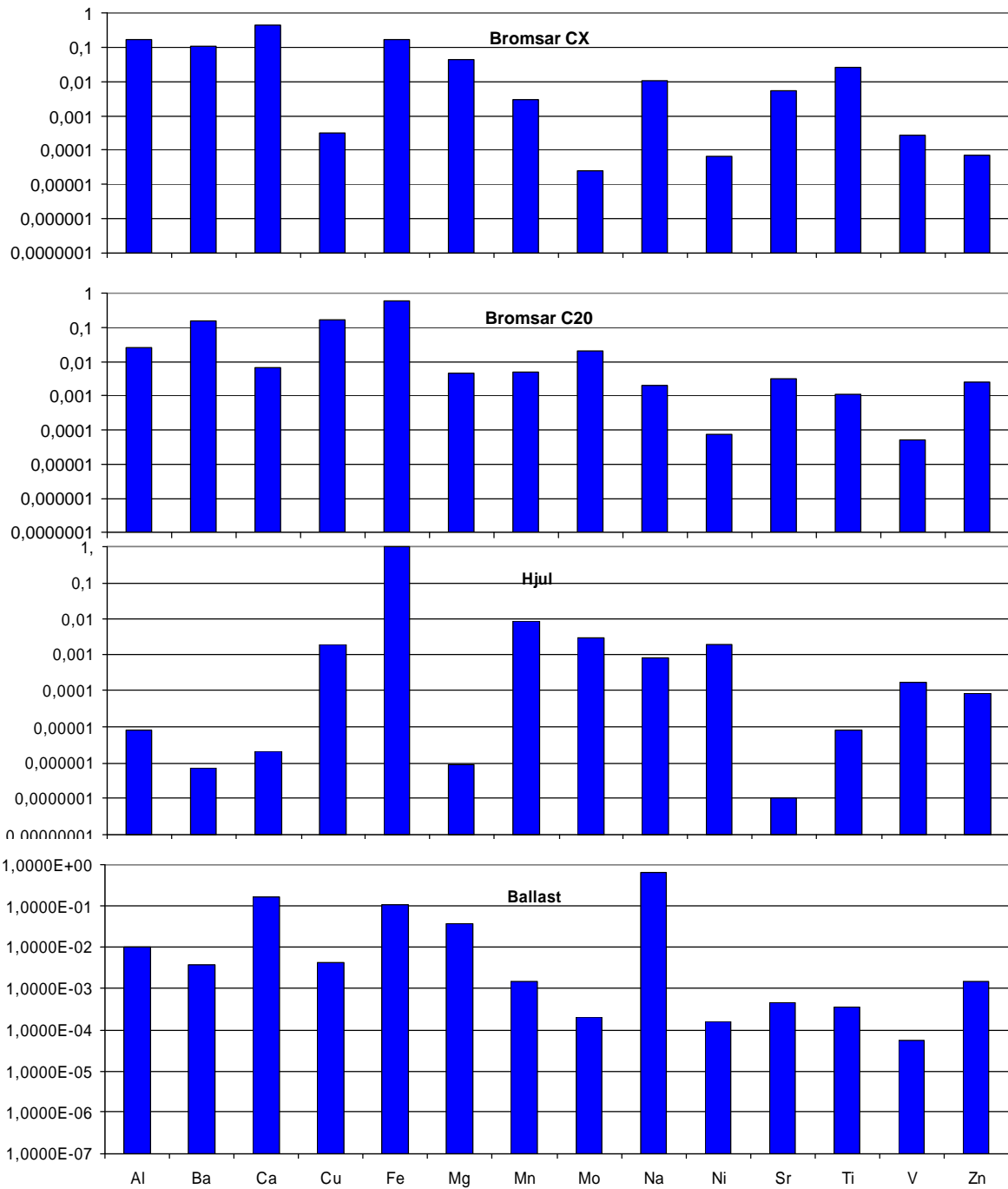
Av Figur 2 och Figur 3 framgår att den kemiska sammansättningen av olika material kan vara väldigt olika. Exempelvis skiljer sig de två typerna av bromsblock åt med avseende på till exempel kalcium, järn, barium och koppar. I CX bromsar utgör kalcium den största andelen, till och med större andel än järn. Som väntat består hjulen, strömskorna och strömskenan till största delen av järn. I övrigt noteras relativt höga halter av mangan och koppar.

Förvånande nog innehåller spårbädden (ballasten) till största delen natrium. Detta var oväntat eftersom det förekommer typiskt mest t ex kisel, aluminium, järn och kalcium i olika bergarter. Enligt Christensson m fl. (2002) består makdamen av kvartsdiorit och granit. I diorit kan en varierande andel natrium förekomma i form av albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) (Berry & Mason, 1959), men detta kan inte förklara den enormt höga natriumandelen. Det är okänt varifrån allt detta natrium kommer.

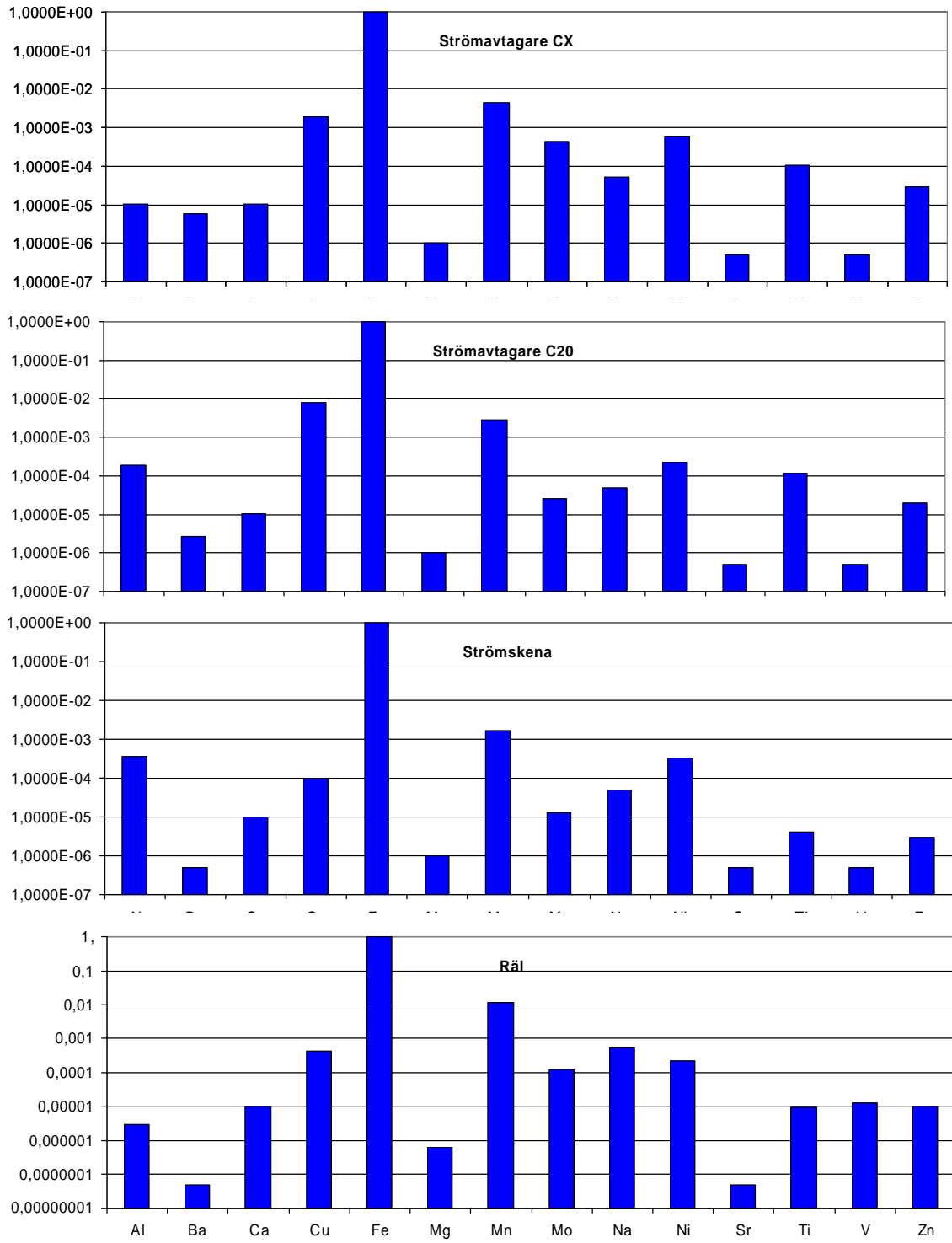
Tabell 1. Partikelkällor i tunnelbanan och deras huvudsakliga kemiska sammansättning.

Källa	Dominerande ämnen	Antal metaller som kvantifierats	Trolig typisk partikelstorlek
Hjul	Järn, mangan, krom, koppar	8	>1 µm
Räls	Järn, mangan	3	>1 µm
Bromsar	Järn, aluminium, barium, kalcium, koppar	33	>1 µm
Strömskenor	Järn, mangan	28	
Strömsskor	Järn, mangan, koppar	28	>1 µm, samt eventuellt mindre partiklar bestående av kondenserat järn som förgasats vid gnistbildning
Uppvirvling av partiklar från makadambädden	Natrium ¹⁾ , järn, kalcium, aluminium	27	>1 µm
Partiklar från människor och deras kläder	Organiskt material	-	>1 µm
Biologiska partiklar (pollen, bakterier, svampsporer)	Organiskt material	-	>1 µm
Dieselpartiklar från tåg i tunnelbanan nattetid	Sot och organiska ämnen	-	<0,5 µm
Slitage i elmotorer (kontaktton etc.)	Koppar? Järn?	-	> 1 µm?
Olja från räls (rälsen smörjs regelbundet)	Organiska ämnen?	-	?
Partiklar från utomhusluften via ventilation mm.	Mineraler, organiskt, sulfat, nitrat, sot	-	Antal: 20 nm Massa: >1 µm

¹⁾ Natrium dominerar i analyserna av ballasten vid Mariatorget (se bilaga 1).



Figur 2. Relativa sammansättningen i bromsar, hjul och spårbädd (ballast) i tunnelbanan. I vissa fall har en minsta detekterbar metallhalt antagits.



Figur 3. Relativa sammansättningen i strömavtagare, strömskena och räl i tunnelbanan. I vissa fall har en minsta detekterbar metallhalt antagits.

Resultat

Av de källor som analyserats med avseende på metaller kunde följande användas till grund för källberäkningarna:

- Bromsblock CX
- Bromsblock C20
- Strömskena
- Strömavtagare
- Räls
- Hjul
- Ballast

Beräkningarna avser endast bidrag till metallhalterna och baserades på 14 metaller: Al, Ba, Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Sr, Ti, V och Zn. Som påpekats ovan kan andra källor bidra till en del organiskt material, ca 10 % - 15 %. Detta har inte medtagits i beräkningarna eftersom källanalyser saknas. Troligen härrör det organiska materialet främst från kläder, hud mm som människor i tunnelbanan ger upphov till.

Endast tre av källorna gav signifikanta bidrag enligt beräkningarna med CMB; Bromsblocken i CX och C20 tågen samt hjulen. Spårbädden (ballasten), strömskenan, strömavtagarna och rälsen gav inte statistiskt signifikanta bidrag. Beräknade genomsnittliga källbidrag under dagtid framgår av Tabell 2. Av tabellen framgår att största bidraget till partikelhalterna kommer från hjulen, drygt $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vilket motsvarar nästan 72 %. Bromsblocken på C20 respektive CX tågen bidrar med ca 10 % respektive 16 %. Det beräknade bidraget från rälsen är endast 1,6 % och ballasten bidrar med mindre än 0,1 %. Det låga bidraget från spårbädden (dvs uppvirvling av partiklar) stämmer med tidigare mätningar där befuktning (tvättning) av bädden inte ledde till speciellt stora minskningar av PM10 halterna ((Johansson m fl., 2001).

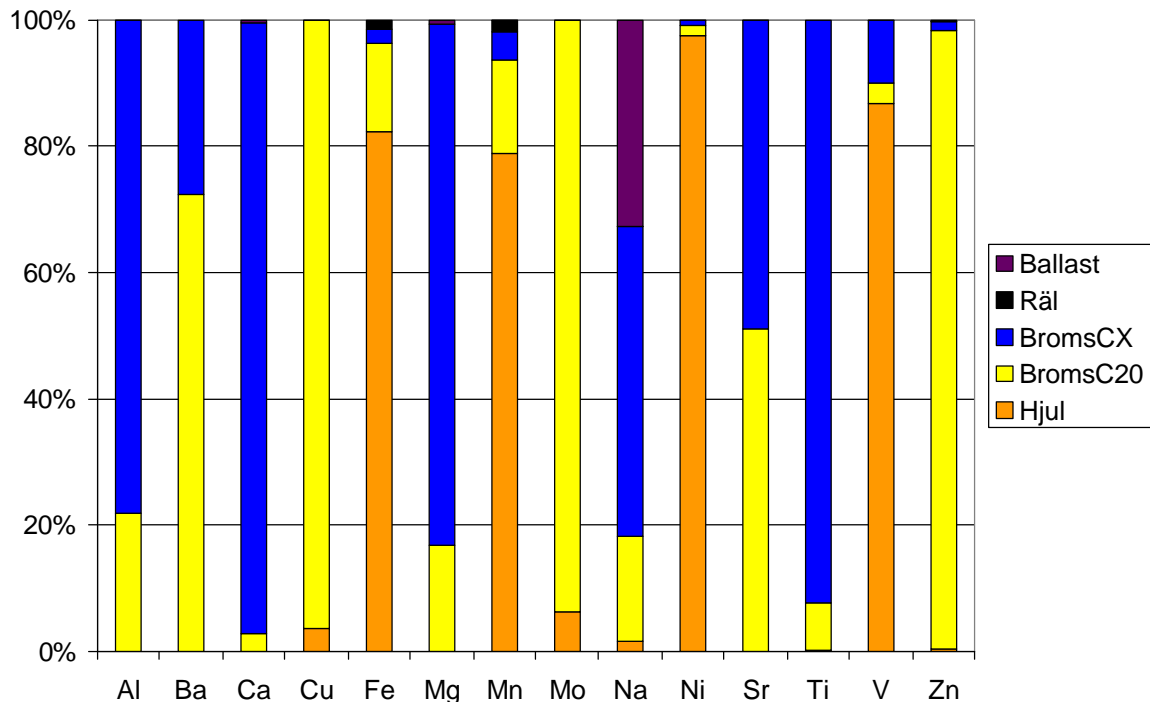
Beräkningar är dock ganska osäkra. Regressionsanalysen gav delvis negativa källbidrag då alla källor inkluderades. Detta kan dock bero på att flera av ämnena som analyserats var under detektionsgränserna för analyserna. Osäkerheten i analyserna av enskilda ämnen är omkring 50% enligt Analytica AB. En osäkerhet är också hur representativa analyserna är för förekomsten av bromsblock, hjul med flera material.

Tabell 2. Genomsnittligt beräknade bidrag till 14 metaller från 5 källor. Medelvärdet avser dagtid.

Källa	Beräknade källbidrag ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Standard fel	T-stat ¹	Andel
Hjul	219	66	23	72 %
Bromsblock C20	48	12	27	16 %
Bromsblock CX	31	5,1	26	10 %
Räls	4,9	98	0,4	1,6 %
Ballast	0,04	0,26	4,8	0,01 %
Summa	302			

¹ Medelbidrag dividerat med standardfelet.

Figur 4 visar de relativa bidragen från de fem källorna till metallhalterna. Hjulen dominerar helt vad gäller bidraget till halterna av järn, nickel, vanadin och molybden. Koppars och zink kommer nästan helt från C20 bromsblocken, medan kalcium, titan och aluminium kommer från CX blocken. Ballastens bidrag beror till nästan 70 % på natrium. Rälens bidrag är till 99 % järn.



Figur 4. Beräknade medelbidrag under dagtid från olika källor till halterna av 14 olika metaller.

Det kan vara intressant att jämföra dessa beräkningar med en mycket grov överslagsberäkning av vilka halter som skulle kunna uppkomma vid Mariatorgets perrong på grund av slitage. Med kännedom om slitaget per tågakilometer kan halten av partiklar vid Mariatorgets perrong på grund av detta slitage uppskattas. Enligt Bilaga 2 uppskattas CX ge ett bromsblocksslitage på 1,17 g/tågakm och C20 0,87 g/tågakm¹. Rälerna slits med omkring 1,3 g/tågakm. Om det går lika många CX och C20 tåg så blir det totala slitaget av räler och bromsblock omkring 2 g/tågakm.

Totala antalet norrgående tåg per timme mellan Liljeholmen och Mariatorget är ca 20 under vardagar. Sträckan är ca 4 km vilket ger ett totalt slitage på $4 \cdot 20 \cdot 2 = 160$ g/timme. Arean i tunnelarna är omkring 22 m² och luftflödet ca 6 m/s, vilket ger ett volymsflöde på 132 m³/s. Om allt slitage skulle ge upphov till luftburna partiklar skulle bidraget till partikelhalten från detta slitage bli omkring 340 µg/m³ vid Mariatorget. Detta haltbidrag är mycket nära den PM10 halt som i genomsnitt mätts upp under vardagar och eftersom slitaget av hjul inte ingår i dessa siffror är det mycket möjligt att partiklarna som bildas vid slitage av bromsblock, räl och hjul står för en stor del av PM10 halterna.

¹ Dock visar statistik från bromsblocksåtgången 2001 för röda linjen att det gått åt 3360 CX block mot 143 C20 block. För 2002 kommer det säkert att bli jämnare, men slitaget från CX-bromsblock kommer troligen att dominera stort även i år.

Partiklarna innehåller också en del organiskt material som enligt Christensson m fl. (2004) kan komma från plast, färg, gummi, cellulosa, uteluft och biologiska partiklar. Parallella mätningar av kolmonoxid har visat att luften vid Mariatorget innehåller väldigt lite avgaser (Johansson m fl., 2001). Detta styrks också av mätningarna av antalet partiklar (Norman & Johansson, 2001).

Det verkar inte finnas någon motsvarande studie där man försökt kvantifiera källornas bidrag till partikelhalterna. Analyser av partiklar insamlade i tunnelbanorna i London och New York har visat att järn-, kisel-, krom- och manganhalterna är mycket betydelsefulla (Chillrud et al 2004; Hurley et al., 2004; Sitzmann m fl., 1999). Hurley m fl. (2004) anger ett stort antal tänkbara källor till partiklarna i London:

- Hjul och räls
- Förbränning av kolinnehållande strömavtagare vid gnistbildning
- Kolväten från smörjolja
- Partiklar från människor och deras kläder
- Uppvirvling av tidigare deponerade partiklar
- Partiklar från reparations och servicearbeten i tunnarna
- Partiklar från utomhusluften

Hurley m fl. spekulerar i att det troligen är slitage vid kontakten mellan hjul och räls samt mellan bromsar och hjul som är den huvudsakliga källan till partiklarna, mätt som PM10. Någon kvantitativ beräkning av dessa källors bidrag har dock inte gjorts.

Referenser

- Axelsson G (1997) Mätning av damm i tunnelbanan. Arbetsmiljögruppen i Stockholm, Rapport 97-2.
- Berry, L.G. & Mason, B., 1959. Mineralogy. Concepts, descriptions, determinations. W. H. Freeman and Company, San Francisco, USA.
- Chillrud, S.N., Epstein, D., Ross, J.N., Sax, S.N., Pederson, D., Spengler, J.D., and Kinney, P.L., Elevated exposures to manganese, chromium, and iron from steel dust and New York City's Subway System. *Environ. Sci. Technol.*, 38, 732-737.
- Christensson, B. & Ancker, K., 2004. Luftburna partiklars sammansättning. IVL Svenska Miljöinstitutet AB, U1056. Rapport på uppdrag av SL Infrateknik AB.
- Christensson B, Sternbeck J. & Ancker K., 2002. Luftburna partiklar - partikelhalter, elementsammansättning och emissionskällor. IVL-rapport A22147. Stockholm 2002. Rapport på uppdrag av SL Infrateknik AB.
- Hurley, F., J. Cherrie, K. Donaldson, A. Seaton, & L. Tran, 2004. Assessment of health effects of long-term occupational exposure to tunnel dust in the london underground, Research report TM/02/04, Institute of Occupational Health, university of Edinburgh, Scotland.
- Johansson, C., Johansson, P.Å. & Sjövall, B., Partikelhalter i Stockholms tunnelbana. SLB rapport 2:2001. Miljöförvaltningen, Box 38 024, 100 64 Stockholm.
- Johansson, C. and Johansson, P.Å., 2003. Particulate matter in the underground of Stockholm. *Atmospheric Environment*, 37, 3-9.
- Norman, M., & Johansson, C., 2004. Karakterisering av partikelförekomsten vid Mariatorgets tunnelbanestation. SLB-analys, Miljöförvaltningen, Box 38 024, 100 64 Stockholm.
- Sitzmann, B., Kendall, M., Watt, J., and Williams, I., 1999. Characterisation of airborne particles in London by computer-controlled scanning electron microscopy. *The Science of the Total Environment*, 241, 63-73.
- Watson, J. G., et al., 1997. Chemical mass balance receptor model version 8. Users manual. Desert research institute, PO Box 60220, Reno, NV 89506, 1808.1.D1
- Wisell, T., 2002. Halter av partiklar i Stockholms tunnelbaneluft. SL Infrateknik AB.

Bilaga 1

Analyser av spårballast

Provtagning har utförts på både södergående spår och på norrgående spår.

Mariatorgets station, förklaring till provmärkning.

Provmärkning	Nivå (m u my)	Mängd (g) Fraktion < 10 µm	Beskrivning av provpunkt
S1	0,0-0,05	0,06	Spårmitt, södergående spår, början av plattform
S2	0,0-0,05	0,89	Sidan av spår, södergående spår, början av plattform
S3	0,0-0,05	0,11	Spårmitt, södergående spår, mitten av plattform
N1	0,0-0,05	0,14	Spårmitt, norrgående spår, början av plattform
N2	0,0-0,05	0,81	Sidan av spår, norrgående spår, början av plattform
N3	0,0-0,05	0,07	Spårmitt, norrgående spår, mitten av plattform

From: Analytica AB, 977 75 Luleå. Tfn: 0920/28 99 00. Fax: 0920/28 99 40. Email: lule@analytica.se

To: WSP Environmental*

Ref: Maria Lindberg

[maria.lindberg@wspgroup.se]

Program: M1B

Ordernumber: L0404439 (10046252)

Report created: 2004-05-13 by Eva

ELEMENT	SAMPLE	S1 (0,0-0,05) <1 µm	S1 (0,0-0,05) >1- <10 µm	S2 (0,0-0,05) <1 µm	S2 (0,0-0,05) >1- <10 µm	S3 (0,0-0,05) <1 µm	S3 (0,0-0,05) >1- <10 µm	N1 (0,0-0,05) <1 µm	N1 (0,0-0,05) >1- <10 µm	N2 (0,0-0,05) <1 µm	N2 (0,0-0,05) >1- <10 µm	N3 (0,0-0,05) <1 µm	N3 (0,0-0,05) >1- <10 µm
Ag	mg/kg TS	<4	2,75	<0,4	<0,05	<1	2,71	<4	2,66	1,55	1,34	<5	1,97
Al	mg/kg TS	11700	3780	383	94,8	2800	2300	16000	5490	749	770	13500	2020
As	mg/kg TS	15,7	12,1	<0,5	0,0676	2,61	5,33	9,69	13,5	2,56	2,52	<6	6,99
B	mg/kg TS	92,8	163	20,5	15,1	61,5	115	309	180	77,8	67,6	254	171
Ba	mg/kg TS	1750	1470	29,0	46,4	316	681	409	2330	68,2	107	828	620
Be	mg/kg TS	<5	<0,5	<0,5	<0,06	<2	<0,3	<5	0,305	<0,2	<0,1	<6	<0,4
Ca	mg/kg TS	221000	22500	75500	73000	152000	40600	54000	44400	58600	47200	59500	40500
Cd	mg/kg TS	2,72	2,74	0,160	0,183	1,77	2,80	3,80	3,97	0,391	0,474	5,87	4,76
Co	mg/kg TS	<40	48,4	<10	8,36	<30	9,01	<20	16,4	8,07	7,24	<15	<7
Cr	mg/kg TS	132	86,2	6,69	1,81	19,8	29,7	27,3	64,7	4,66	5,82	50,0	30,3
Cu	mg/kg TS	951	2150	54,0	83,9	497	1500	1050	1440	216	209	1810	1680
Fe	mg/kg TS	139000	89200	618	902	17500	27200	11200	56100	1980	3570	65400	25800
Hg	mg/kg TS	<2	0,703	<0,2	0,101	<0,7	0,448	2,40	0,744	0,247	0,199	<2	0,551
K	mg/kg TS	12500	33300	38800	36400	17100	23700	18600	12100	80700	73600	37800	37400
Li	mg/kg TS	<20	15,0	3,59	2,75	38,5	86,2	47,8	26,5	46,3	40,8	92,1	86,9
Mg	mg/kg TS	111000	8280	11300	7500	68700	12500	13300	9490	6760	5920	17400	12900
Mn	mg/kg TS	2090	1060	38,0	27,9	731	598	548	652	35,5	44,1	1160	516
Mo	mg/kg TS	135	137	11,7	6,80	16,9	40,0	70,9	102	15,6	15,7	53,6	40,0
Na	mg/kg TS	43400	171000	147000	121000	95000	185000	296000	190000	188000	169000	166000	168000
Ni	mg/kg TS	<100	78,5	15,7	10,4	<30	52,8	<40	50,9	28,2	23,9	<80	52,7
P	mg/kg TS	14100	35800	36,4	131	38200	77800	133000	88200	1460	999	47600	29500
Pb	mg/kg TS	89,9	72,8	1,65	2,42	39,0	72,3	48,7	142	13,3	16,7	98,4	54,2
Sb	mg/kg TS	60,6	76,5	4,71	4,21	13,3	29,1	77,1	61,7	9,23	10,2	59,3	42,1
Sn	mg/kg TS	130	126	<5	2,70	21,5	40,9	<50	115	7,12	10,3	<60	35,0
Sr	mg/kg TS	97,0	64,5	242	228	138	133	88,2	117	59,9	49,4	166	117
V	mg/kg TS	<100	20,7	<10	<1	<30	8,98	<100	26,9	<4	2,53	<100	13,7
Zn	mg/kg TS	353	352	21,9	9,30	269	411	640	596	63,8	70,2	978	512
Vikt	g	0,005	0,05 0,055	0,048	0,839 0,887	0,015	0,095 0,11	0,005	0,136 0,141	0,135	0,678 0,813	0,004	0,0677 0,0717

Analyser av räler

Analyser av räler

Rälsen vid Mariatorget var fram till våren 2001 av typ 900 B och sedan 900 A

Räl 900 A (aktuell)
SJ50/BV50

Prov %

	Fe*	C	Si	Mn	P	S	Fe/Mn
1	97,93	0,75	0,29	1	0,014	0,016	97,93
2	97,943	0,78	0,29	0,95	0,018	0,019	103,0979
3	97,945	0,76	0,28	0,98	0,012	0,023	99,94388
4	97,936	0,75	0,3	0,98	0,015	0,019	99,93469
5	97,939	0,76	0,3	0,97	0,014	0,017	100,968
6	97,935	0,76	0,29	0,98	0,014	0,021	99,93367
7	97,948	0,77	0,28	0,97	0,015	0,017	100,9773
8	97,955	0,77	0,3	0,94	0,016	0,019	104,2074
9	97,958	0,77	0,29	0,96	0,007	0,015	102,0396
10	97,945	0,76	0,31	0,96	0,009	0,016	102,026
11	97,931	0,77	0,3	0,97	0,011	0,018	100,9598
12	97,973	0,75	0,29	0,96	0,009	0,018	102,0552
13	97,938	0,77	0,32	0,95	0,006	0,016	103,0926
14	97,959	0,75	0,3	0,96	0,016	0,015	102,0406
15	97,971	0,78	0,3	0,92	0,011	0,018	106,4902
16	97,931	0,75	0,31	0,98	0,013	0,016	99,92959
17	97,975	0,77	0,29	0,94	0,008	0,017	104,2287
18	97,92	0,76	0,31	0,98	0,014	0,016	99,91837
Medel	97,95	0,76	0,30	0,96	0,01	0,02	Medel 101,6541

* Järn räknas ut som 100 % minus de andra elementen vilket är rimligt i detta fall

Analyser av hjul

Analys på smältor för hjultillverkning

* uträknat genom att ta 100 % minus resten vilket i detta fall är rimligt

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Fe*	Fe/Mn
Helhjul	0,53	0,28	0,79	0,017	0,008	0,23	0,12	0,046	0,064	0,17	97,745	123,727 8
Ringhjul	0,72	0,31	0,71	0,022	0,006	0,16	0,11	0,032	0,008	0,19	97,732	137,650 7
Medel	0,63	0,30	0,75	0,02	0,01	0,20	0,12	0,04	0,04	0,18	97,74	130,69

På fordonsavdelningen säger man att båda hjulsorterna är vanliga och kan inte säga vilket som dominerar

Ny analys av räler och hjul (endast de ämnen som använts i beräkningarna i rapporten redovisas nedan)

Enhet: mg/kg

Analyslab: Analytica AB, Luleå

Metod: ICP-AES och HR-ICP-MS

Ämne	Räls	Hjul C20/CX
Al	3	8
Ba	0,05	0,7
Ca	10	2
Co	40	150
Cr	1000	8000
Cu	430	1900
Fe	990000	990000
Mg	0,6	0,9
Mn	12100	8800
Mo	120	2900
Na	540	850
Ni	220	2000
Pb	0,5	0,5
Sb	14	31
Sr	0,05	0,1
Ti	9	8
V	13	170
Zn	10	80

Analys av bromsblock

From: Analytica AB, 971 87 Luleå. Tfn: 0920/28 99 00. Fax: 0920/28 99 00. Email:

lulea@analytica.se

To: SL Infrateknik AB

Ref: Tomas Wisell

[tomas.wisell@sl.se]

Program: MG1-N

Ordernumber: L0206140

Report created: 2002-09-03 by EVA

ELEMENT	SAMPLE	CX	C20	CX (%)	C20 (%)
LOI	%	36,9	-8,7		
Al	mg/kg	73600	11200	7,36	1,12
As	mg/kg	2,79	0,282	0,000279	2,82E-05
Ba	mg/kg	47400	67800	4,74	6,78
Be	mg/kg	<0,6	<0,6		
Ca	mg/kg	190000	3050	19	0,305
Cd	mg/kg	0,184	28,2	1,84E-05	0,00282
Co	mg/kg	5,09	6,97	0,000509	0,000697
Cr	mg/kg	117	80,1	0,0117	0,00801
Cu	mg/kg	132	74600	0,0132	7,46
Fe	mg/kg	72300	260000	7,23	26
Hg	mg/kg	0,0625	<0,04	6,25E-06	
K	mg/kg	2730	1510	0,273	0,151
La	mg/kg	16,5	16,7	0,00165	0,00167
Mg	mg/kg	18500	2060	1,85	0,206
Mn	mg/kg	1230	2160	0,123	0,216
Mo	mg/kg	10,3	8870	0,00103	0,887
Na	mg/kg	4570	859	0,457	0,0859
Nb	mg/kg	65,9	<6	0,00659	
Ni	mg/kg	27	31,8	0,0027	0,00318
P	mg/kg	269	225	0,0269	0,0225
Pb	mg/kg	10,9	138	0,00109	0,0138
S	mg/kg	6150	10500	0,615	1,05
Sb	mg/kg	18,4	0,253	0,00184	2,53E-05
Sc	mg/kg	4,64	<1	0,000464	
Si	mg/kg	76800	37400	7,68	3,74
Sn	mg/kg	<20	17000		1,7
Sr	mg/kg	2380	1360	0,238	0,136
Ti	mg/kg	10800	490	1,08	0,049
V	mg/kg	117	21,4	0,0117	0,00214
W	mg/kg	<60	<60		
Y	mg/kg	18	194	0,0018	0,0194
Zn	mg/kg	29,1	1120	0,00291	0,112
Zr	mg/kg	2450	55200	0,245	5,52
Summa				50,97539	55,59217

"CX": -57089: Provyberedning har skett genom utborrning

Analys av strömskena och strömskor

Ordernumber: L0402594

Report created: 2004-05-04 by Eva

ELEMENT	SAMPLE	Strömskena	Strömavtagare C20	Strömavtagare CX
Ag	mg/kg	<5	<5	<5
Al	mg/kg	351	186	<20
As	mg/kg	<50	57,6	152
Au	mg/kg	<1	<1	<1
Ba	mg/kg	<0,9	2,66	5,79
Be	mg/kg	<0,5	<0,5	<0,5
Bi	mg/kg	<1	<1	<1
Ca	mg/kg	<20	<20	<20
Cd	mg/kg	<3	<3	<3
Cr	mg/kg	203	252	1140
Cu	mg/kg	98,5	7570	1860
Fe	mg/kg	998000	977000	970000
Hg	mg/kg	<5	<5	<5
K	mg/kg	<50	373	447
Mn	mg/kg	1690	2840	4500
Mo	mg/kg	13,3	25,0	423
Na	mg/kg	<100	<100	<100
Ni	mg/kg	331	221	569
Pb	mg/kg	<20	<20	<20
Pd	mg/kg	<1	<1	<1
Pt	mg/kg	<1	<1	<1
Sb	mg/kg	<2	<2	19,6
Sn	mg/kg	<10	23,4	213
Si	mg/kg	352	10200	10900
Sr	mg/kg	<0,9	<1	<1
Ti	mg/kg	<9	120	102
V	mg/kg	<1	<1	<1
Zn	mg/kg	<5	19,7	28,1

Strömskena: Rapport L0402594 ersätter tidigare utfärdad rapport med, samma nummer. Provvuttag har skett efter borring.

Bilaga 2

Uppskattning av slitage av bromsblock

CX 3,0 kg

C20 4,5 kg

CX L=338mm, Tjl.=45mm, B=80mm = 1216800 mm³

C20 L=320mm, Tjl.=65mm, B=70mm = 1456000 mm³

CX 3.0 * 1000 * 1000/1216800 = 2.47 g/cm³

C20 4.5 * 1000 * 1000/1456000 = 3.09 g/cm³

Bromsblocken slipas ner ca 25 mm innan de byts.

CX 25 * 80 * 338 = 676 000 mm³ = 676 cm³

C20 25 * 70 * 320 = 560 000 mm³ = 560 cm³

CX 2.47 * 676 = 1670 g

C20 3.09 * 560 = 1730 g

CX Bromsblock/tågkilometer 0.00067523

C20 Bromsblock/tågkilometer 0.00053567

CX 1730 * 0.00067523 = **1.17 g/tågkm**

C20 1670 * 0.00053567 = **0.89 g/tågkm**

Slitage av räler

Uppskattningar; Rälen byts efter ca 30 år och har då slitits ner ca 0.2 cm i sida och 0.2 cm i höjd. På 30 år så har det gått 2 225 000 tåg. Rälens densitet = järns densitet = 7.86 g/cm³.

Rälen har en sida på ca 3 cm och en ovsida på ca 6 cm.

- Nedsliten volym under 30 år per km: 100 000 cm * (3 cm * 0.2 cm + 6 cm * 0.2 cm) * 2 st räler = 3.6 * 10⁵ cm³/km.

- Omräkning till massa per km: 7.86 g/cm³ * 3.6 * 10⁵ cm³/km = 2.83 * 10⁶ g/km

- Omräkning till tågkilometer: 2.83 * 10⁶ g/km / 2.225 * 10⁶ tåg = **1.27 g/tågkm**