

# Utsläpp och nedfall av metaller under Vattenfestivalens fyrverkerier

1997-05-16



---

Rapporten är sammanställd av Lars Burman och Christer Johansson, Stockholms luft- och bulleranalys på uppdrag av avdelningen för miljöskydd på miljöförvaltningen i Stockholm.

# Innehållsförteckning

## Sammanfattning

1. Bakgrund.....	4
2. Sammansättning och innehåll i fyrverkerierna.....	4
3. Utsläpp av metaller under Vattenfestivalen.....	5
4. Nedfall av metaller under Vattenfestivalen.....	7
Metodik.....	7
Resultat.....	7
Jämförelse av totala nedfallet med nederbörden.....	8
5. Metallhalter i sediment påverkade av fyrverkerier.....	10
6. Slutsatser.....	10
7. Litteratur.....	11

## Sammanfattning

Fyrverkerierna under Vattenfestivalen ger upphov till kortvarigt förhöjda halter av stoft i luften. Stoftpartiklarna innehåller bl a tungmetaller. Mätningar har tidigare visat på kraftigt förhöjda halter av en mängd olika metaller i samband med fyrverkerierna under Vattenfestivalen. Utifrån de förhöjningar som har registrerats samt uppgifter på vanliga fyrverkerirecept har följande utsläpp av metaller beräknats för Vattenfestivalen:

<b>Metall</b>	<b>Utsläpp</b>
Koppar (Cu)	ca 90 kg
Bly (Pb)	ca 70 kg
Antimon (Sb)	ca 20 kg
Strontium (Sr)	ca 50 kg
Barium (Ba)	ca 180 kg
Aluminium (Al)	ca 280 kg
Krom (Cr)	ca 2 kg
Zink (Zn)	ca 120 kg
Nickel (Ni)	ca 5 kg
Vanadin (V)	ca 10 kg
Kadmium (Cd)	ca 4 kg
Kobolt (Co)	ca 2 kg
Mangan (Mn)	ca 70 kg
Kvicksilver (partikulärt Hg)	ca 0,04 kg
Arsenik (As)	ca 2 kg

De pyrotekniska effekterna för de olika metallerna varierar från ljus- till knaster- och glittereffekter av olika slag. Många metaller förekommer som legeringsämnen med andra ämnen eller som föroreningar. Under Vattenfestivalen 1997 kommer utsläppen att minska till i grova drag ungefär en tredjedel av vad de varit tidigare (tabellen ovan) p g a de begränsningar som har införts.

Beräkningarna av nedfallet (depositionen) av metallerna från fyrverkerierna visar att det största nedfallet sker på ett avstånd av 1 till 4 km från platsen där fyrverkerierna genomförs. Med avskjutningen lokaliserad till Riddarfjärden kan det största nedfallet förväntas ske över Östermalm. Av fyrverkeriernas totala metallutsläpp beräknas omkring 0,2 % falla ned inom Storstockholmsregionen (35 x 35 km stort område), resten faller ned utanför området.

Nedfallet till marken och vattnet i Storstockholmsregionen (35 x 35 km stort område) p g a fyrverkerierna under Vattenfestivalen beräknas vara mindre än 1 % av det normala nedfallet av metaller med nederbörden under ett år.

Undersökningen pekar på att Vattenfestivalens fyrverkerier utgör en betydande (punkt)källa till utsläpp av metaller i staden. Fyrverkeriernas tillskott till det normala nedfallet är dock *försumbart*, sett på årsbasis. Fyrverkeriernas bidrag till metallförekomsten i Saltsjöns sediment, direkt genom nedfall på vattenytan eller indirekt genom transport med dagvattnet, är också försumbart i förhållande till andra källor (utöver inflödet via nederbörden finns även andra källor som orsakar flöden av metaller till dagvatten och sediment). Studier i Florida tyder på att sedimenthalterna av antimon, barium och strontium kan vara förhöjda i Saltsjön och Riddarfjärden p g a fyrverkerierna eftersom de ämnena inte har många andra utsläppskällor än just fyrverkerier.

## 1. Bakgrund

Denna utredning är gjord på uppdrag av avdelningen för miljöskydd på miljöförvaltningen i Stockholm. De tidigare utredningar som gjordes 1994 och 1996 angående Vattenfestivalens fyrverkerier behandlade utsläppen i grova drag respektive uppmätta förhöjningar av luftföroreningar i stockholmsluften.

I samband med publiceringen av lägesrapporten ”Metaller i stad och land” (ref 1), där höga metallhalter (kadmium, kvicksilver och bly) i Saltsjön redovisades, har återigen fyrverkeriernas bidrag av metaller aktualiserats. Denna utredning är därför inriktad på att uppskatta nedfallet av metaller till land och vatten och sätta detta i relation till det normala nedfallet av metaller i staden. En detaljerad specifikation avseende innehållet i fyrverkeripjäserna ges och då främst miljöfarliga (tung-)metaller. Genom kontakter med importörer av fyrverkerier i Sverige har en god bild av pjäsernas innehåll av metaller erhållits. Många oklarheter föreligger dock fortfarande avseende ett flertal ämnen.

## 2. Sammansättning och innehåll i fyrverkerierna

Fyrverkeripjäserna varierar i storlek från de minsta (2”) på 100 g till de största (8”) bombarna som väger ca 3 kg (se tabell 1). Antalet bomber och därmed den totala vikten varierar från lag till lag under Vattenfestivalen. I år (1997) kommer mängden pyroteknik att begränsas till 650 kg (brutto) per lag.

**Tabell 1.** Uppskattad sammansättning av ett fyrverkeri under Vattenfestivalen 1997.

<b>Bombkaliber</b>	<b>Antal bomber</b>	<b>Bruttovikt (g)</b>
2”	700	100
3”	450	210
4”	300	400
5”	150	760
6”	100	1300
8”	40	3000
<b>Totalt:</b>	<b>1740 st</b>	<b>650 kg</b>

Bruttovikten kan delas in i följande delar:

	<u>Viktsprocent</u>
* Papper och annat inert material	30 %
* Salpeter (kaliumnitrat)	23 %
* Träkol	4 %
* Svavel	3 %
* Kulörta effekter, guld-, silver-, blink- och knastereffekter	40 %

Salpeter (kaliumnitrat), träkol och svavel är innehållet i svartkrut vilket således utgör ca 30 % av bruttovikten. Det är främst de kulörta effekterna (inkl. guld, silver, blink och knaster) som innehåller metaller.

### 3. Utsläpp av metaller under Vattenfestivalen

Under tidigare år har ingen begränsning av mängden pyroteknik funnits och bruttovikterna har enligt importörer av fyrverkerier, ibland legat kring 2000 kg per lag. Begränsningen som nu har införts betyder att de totala utsläppen under Vattenfestivalen 1997 kommer att minska till i grova drag ungefär en tredjedel av vad de varit tidigare år. Beräkningarna och uppskattningarna av utsläpp och deposition som följer baseras dock på de tidigare årens Vattenfestivaler och den mängd pyroteknik som då användes.

Enligt uppgifter från tillståndsinnehavare på Vattenfestivalen så har mängden pyroteknik under senare år (totalt under en festivalvecka) uppgått till *ca 9000 kg*. Det betyder att varje lag (5 st totalt) i genomsnitt använt *ca 1800 kg* pyroteknik. Det stämmer väl överens med uppgifterna att bruttovikterna för vissa lag har uppgått till *ca 2000 kg*.

Utifrån uppgifter på innehållet av specifika föreningar i några vanliga fyrverkerirecept, deras andel av vikten och uppgifter om bruttovikter, så har följande utsläpp beräknats per Vattenfestival för några intressanta metaller.

**Tabell 2.** Beräknade utsläpp utifrån vanligt förekommande fyrverkerirecept under Vattenfestivalen för några metaller (ren form).

Metall	Utsläpp under Vattenfestivalen	Förekommande form i fyrverkerier	Pyroteknisk effekt
Koppar (Cu)	ca 90 kg	CuO	blått och lila ljus, knaster
Bly (Pb)	ca 70 kg	Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	knaster
Antimon (Sb)	ca 20 kg	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	glitter
Strontium (Sr)	ca 50 kg	Sr(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	rött och lila ljus
Barium (Ba)	ca 180 kg	BaSO <sub>4</sub> , Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	grönt och vitt ljus
Aluminium (Al)	ca 280 kg	Al, AlMg*	silver, grönt, gult, vitt ljus, gnistgivare

\* legering av aluminium och magnesium (50/50)

Koppar och bly är tungmetaller som förekommer i form av oxider. Antimon är en halvmetall men räknas ändå ofta till tungmetallerna. Aluminium är en lättmetall men kan ändå utgöra en viss miljöfara. Effekterna av strontium och barium är dåligt kartlagda. Bariumsalterna klassificeras dock inom arbetarskyddet som toxiska. Eftersom pyrotekniska reaktioner sker vid mycket hög temperatur så blir dock slaggprodukterna mycket stabila och olösliga. Man vet att t ex antimon och barium ackumuleras som olösliga föreningar i sediment. Detta minskar deras toxicitet eftersom den är beroende av lösligheten.

Under 1995 års Vattenfestival uppmättes förhöjda halter i luften av rad olika metaller, bl a koppar och bly (bilaga 1 och ref 2). Miljöförvaltningen har i ett PM (ref 3), ansett att förhöjningarna berodde på fyrverkeriernas utsläpp under Vattenfestivalen. Fyrverkeriröken

passerade mätstationen vid några tillfällen och förhöjda stofthalter kunde konstateras sent på kvällen. Stoftpartiklarna fångades upp på ett filter och analyserades avseende metallinnehållet. Utifrån metallhalterna och de förhöjningar som uppmättes har sedan utsläppen av metallerna beräknats nedan.

**Tabell 3.** Beräknade utsläpp av metaller utifrån mätningar av lufthalter på Södermalm (ref 2)

<b>Metall</b>	<b>Utsläpp under Vattenfestivalen</b>	<b>Användning i fyrverkerier</b>
Krom (Cr)	ca 2 kg	legeringsämne, förbränningskatalysator, korrosionsskydd
Zink (Zn)	ca 120 kg	(ingen uppgift)
Nickel (Ni)	ca 5 kg	legeringsämne
Vanadin (V)	ca 10 kg	legeringsämne
Kadmium (Cd)	ca 4 kg	förorening
Kobolt (Co)	ca 2 kg	legeringsämne
Mangan (Mn)	ca 70 kg	legeringsämne, förbränningskatalysator
Kvicksilver (partikulärt Hg) *	ca 0,04 kg	(blått, grönt och rött ljus)
Arsenik (As)	ca 2 kg	(guldregnseffekter)

\* Kvicksilver förväntas förekomma främst i gasfas (data saknas)

Vissa metaller som t ex aluminium och järn förekommer inte som rena grundämnen utan som legeringar för att vara praktiskt användbara. Därför finns en rad olika legeringsämnen i fyrverkerier. Krom kan förekomma i små mängder som *korrosionsskydd* för vissa metallpulver.

Kadmium förekommer i liten mängd som förorening i kaliumnitrat och i vissa färgsatser. Det är allmänt känt att konstgödsel, dvs nitrater av kalium, kalcium och natrium innehåller en viss mängd kadmium. I ett examensarbete från Stockholms Universitet (ref 4) analyserades kadmiuminnehållet i färgsatserna på en vanlig nyårsraket. Den visade sig innehålla små mängder av kadmium (1-2 ppm).

Enligt importörer i Sverige har kvicksilver och arsenik i form av kvicksilverklorid ( $Hg_2Cl_2$ ), respektive arseniksulfid ( $As_4S_4$ ) tidigare använts i fyrverkerier för att ge färg- och guldregnseffekter. Dessa ämnen är dock inte på några sätt unika för att ge dessa effekter utan sägs har ersatts med andra ämnen Enligt importörerna är det möjligt, men föga troligt att världens största producent av fyrverkerier, Kina, fortfarande använder detta. Det är möjligt att ämnena finns kvar i lagren och därför används fortfarande. Miljöförvaltningens mätningar av lufthalterna visade dock på en förhöjning av kvicksilverhalten (ca 4-5 gånger högre än normalt) och arsenikhalten (ca 2 gånger högre), se bilaga 1.

#### 4. Nedfall av metaller under Vattenfestivalen

För att belysa fyrverkeriernas bidrag till det normala metallnedfallet i Storstockholmsregionen genomfördes ett antal spridningsberäkningar. Spridningen och därmed nedfallet av metaller är beroende av vädret, utsläppets höjd och den omgivande topografien.

##### Metodik

För beräkningarna skapades en klimatologi med 180 typiska vädersituationer för augusti månad. För alla dessa vädersituationer, som alltså representerar typiska väderfall som man kan förvänta sig under den period då fyrverkeriet genomförs, beräknades sedan spridningen av metaller i regionen. För beräkningen antogs vidare att fyrverkeriet sker mellan kl 20 och kl 24 på kvällen och att de största mängderna släpps ut på mellan 100 och 150 meters höjd över marken. Vidare antogs att metallerna i huvudsak återfinns på de fina partiklarna, som ur spridningssynpunkt kan betraktas som en gasformig förening. För depositionen av partiklarna antogs en depositions hastighet på 1 cm/s, vilket är ett högt värde som i viss mån kan tänkas ta hänsyn till att en del partiklar är större och påverkas av sedimentationsprocesser. Ingen nederbörd antogs förekomma. Utsläppsdata för respektive metall framgår av tabell 2 och tabell 3.

##### Resultat

I tabellen nedan redovisas nedfallet av metaller som beräknas ske i Storstockholmsregionen (35x35 km stort område). Av tabellen framgår att en mindre del av fyrverkeriernas utsläpp faller ned inom området. Av metallutsläppen beräknas ca 0,2 % falla ned inom Storstockholmsregionen, resten faller ned utanför området.

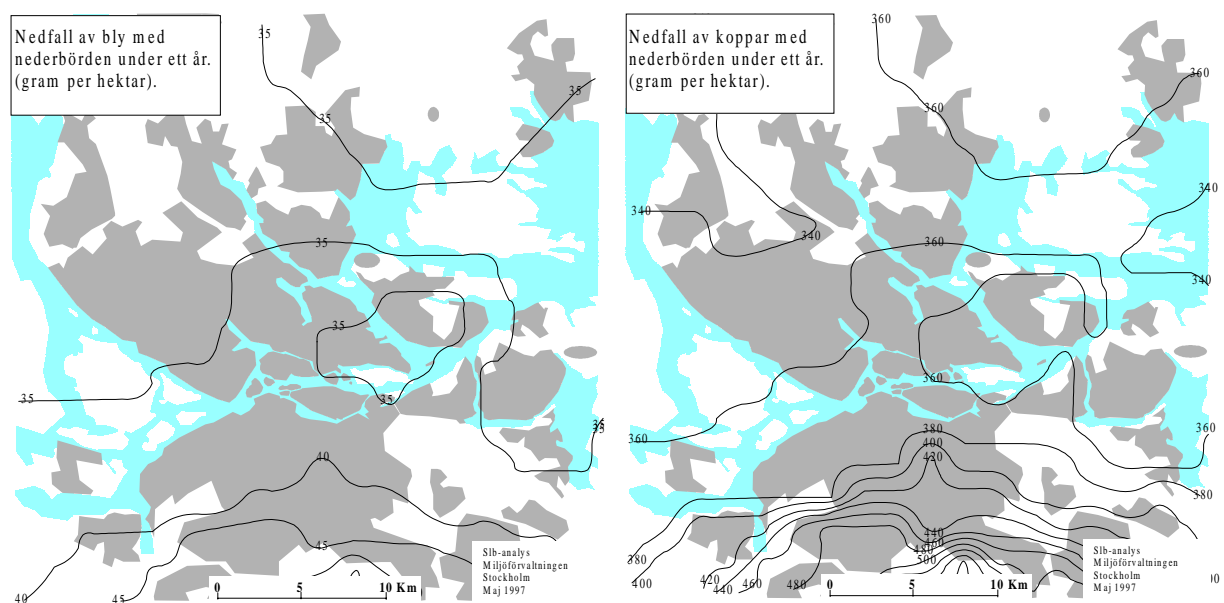
**Tabell 4.** Nedfallet av metaller i Storstockholmsregionen p g a Vattenfestivalens fyrverkerier i jämförelse med fyrverkeriernas utsläpp.

<b>Metall</b>	<b>Nedfall p g a Vatten- festivalens fyrverkerier i Storstockholmsregionen (kg)</b>	<b>Utsläpp p g a Vattenfestivalens fyrverkerier (kg)</b>
Bly	0,12	70
Koppar	0,15	90
Vanadin	0,021	10
Krom	0,003	2
Mangan	0,12	70
Kobolt	0,003	2
Nickel	0,009	5
Zink	0,21	120
Arsenik	0,003	2
Kadmium	0,007	4

Beräkningarna av nedfallet från fyrverkerierna visar att det högsta nedfallet sker på ett avstånd av 1 till 4 km från platsen där fyrverkerierna genomförs. Avståndet till maximalt nedfall varierar beroende på vindriktning p g a topografi och typväder för olika riktningar. I detta fall antas att fyrverkerierna skjuts upp på Riddarfjärden mellan Söder och Norr Mälarstrand. För de senaste 10 årens typväder väntas då det högsta nedfallet ske över Östermalm, d v s i samband med sydvästliga vindar.

### Jämförelse av totala nedfallet med nederbörden

Utifrån 25 nederbördsstationer i länet med dygnsvis nederbörd under 10 år har den geografiska nederbördsfördelningen beräknats för det hydrologiska året 1994/95. Dessa nederbördsvärden har utnyttjats för att dels beräkna det totala nedfallet av metaller i Storstockholmsregionen under ett år (månad), dels för att beräkna det totala nedfallets geografiska fördelning i området.



**Figur 1.** Årligt nedfall (våtdeposition) av bly och koppar med nederbörden och dess geografiska variation i Storstockholmsregionen

För bly ligger våtdepositionen på omkring 35 till 50 g/ha/år och för koppar på 340 till 560 g/ha/år. Totalt i området (figur 1) faller 180 kg bly och 1800 kg koppar ned med nederbörden under ett år. För övriga metaller är den geografiska fördelningen densamma men nivåerna varierar. Det totala nedfallet i Storstockholmsregionen av respektive metall under ett år framgår av tabell 5.

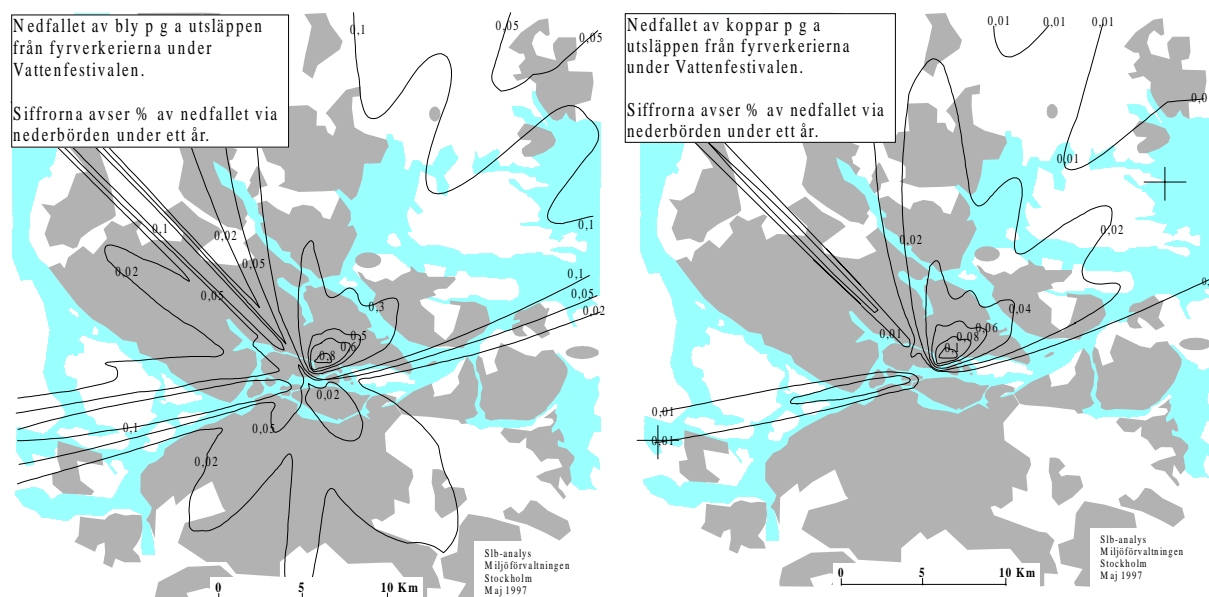


**Tabell 5.** Nedfallet p g a fyrverkerierna under Vattenfestivalen i jämförelse med det årliga nedfallet med nederbörden under ett år.

Metall	Nedfall p g a Vattenfestivalens fyrverkerier i (kg)	Totalt nedfall med nederbörden under ett år (kg)	Fyrverkeriernas andel av totala nedfallet under ett år (%)
Bly	0,12	180	0,067
Koppar	0,15	1800	0,0082
Vanadin	0,021	46	0,044
Krom	0,003	31	0,0083
Mangan	0,12	710	0,017
Kobolt	0,003	20	0,017
Nickel	0,009	62	0,015
Zink	0,21	2200	0,0093
Arsenik	0,003	11	0,032
Kadmium	0,007	5	0,15

Nedfallet p g a fyrverkerierna utgör *mindre än 0,2 % av nedfallet via nederbörden under ett år*. Den högsta siffran 0,15 % noteras för kadmium. Om man istället jämför med nedfallet med nederbörden under augusti månad, då fyrverkerierna skjuts upp, blir siffrorna knappt 10 gånger högre.

I figur 2 visas den geografiska variationen av nedfallet av bly respektive koppar från fyrverkerierna sett som procent av nedfallet via nederbörd under ett år. För båda ämnena är depositionen p g a fyrverkerierna *som mest omkring 1 % av den årliga nedfallet via nederbörden*. Om man istället jämför med augusti månad blir fyrverkeriernas nedfall som mest 10 % av nedfallet via nederbörden.



**Figur 2.** Geografisk variation av nedfallet av bly och koppar p g a Vattenfestivalens fyrverkerier relaterat till det totala nedfallet via nederbörden under ett år.

Beräkningarna av nedfallet är givetvis behäftade med osäkerheter. De största osäkerheterna torde bero av utsläppens storlek och antaganden angående depositionen av ämnena. Givetvis kan också variationerna i deposition mellan olika år vara stora.

## **5. Metallhalter i sediment påverkade av fyrverkerier**

I Florida (Disneyworld) har man haft över 2000 fyrverkerier under ca 10 års tid (ref 5). I den sjö där uppskjutningarna ägde rum tog man prover på sedimenten under tre olika tillfällen under perioden (1982-1992). Koncentrationerna av järn, koppar, zink, mangan, bly, krom och nickel visade på små tidsmässiga variationer. Däremot fann man successivt förhöjda halter av antimon, barium och strontium. Dessa låg i proportion till de uppskjutningar man haft under perioden. De förhöjda halterna av metallerna i undersökningen ansågs inte ligga på en skadlig nivå med tanke på den akvatiska biotan och miljöpåverkan ansågs därför vara försumbar.

## **6. Slutsatser**

De metallutsläpp till luft som normalt förekommer i staden är små och beror på vår hantering med produkter innehållande metaller. Det finns sålunda inga stora punktkällor utan metaller flödar diffust ut i miljön. Beräkningarna visar dock att Vattenfestivalens fyrverkerier utgör en betydande (punkt)källa till utsläpp av metaller i staden. Många av metallerna som släpps ut förknippas allmänt med hälso- och miljöproblem. Kvicksilver, kadmium och bly intar en särställning bland metallerna eftersom de kan lagras i levande organismer.

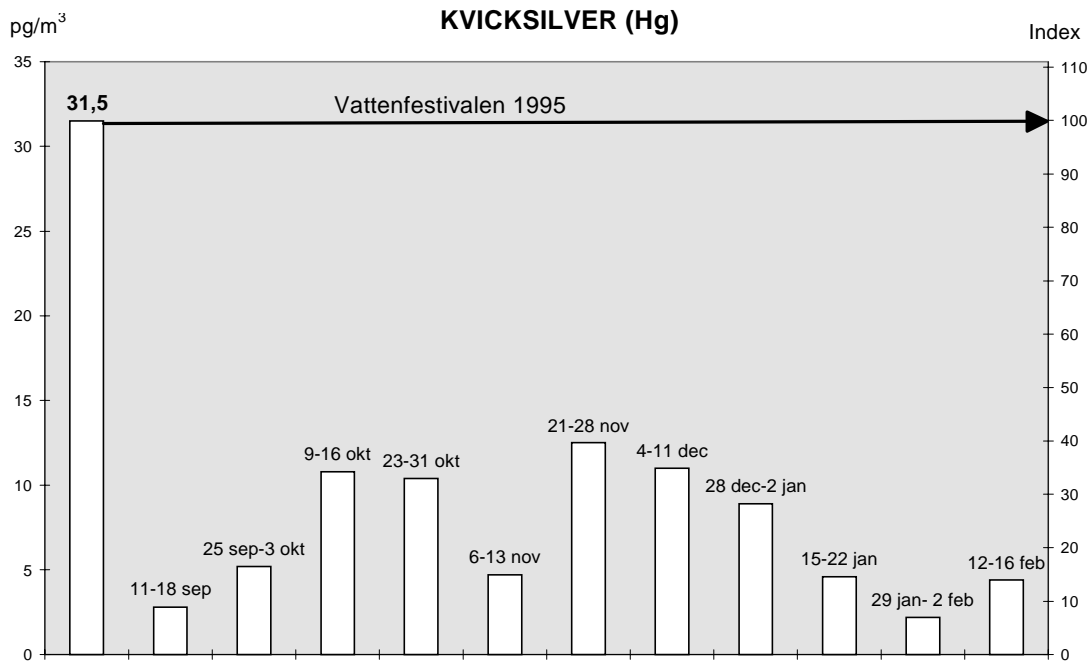
Relativt stora mängder metaller transporteras normalt in långväga ifrån och faller ned med nederbörden över staden. Beräkningarna visar att fyrverkeriernas tillskott till detta nedfall är försumbart, sett på årsbasis. Utspädningseffekter och att det faktum att utsläppen sker på en hög höjd gör att endast en mindre del av metallerna från fyrverkerierna faller ned inom Storstockholmsregionen. Fyrverkeriernas bidrag till metallförekomsten i Saltsjön/Riddarfjärdens sediment, direkt genom nedfall på vattenytan eller indirekt genom transport med dagvattnet, är också försumbart i förhållande till andra källor (utöver inflödet via nederbörden finns även andra källor som orsakar flöden av metaller till dagvatten och sediment). Med tanke på undersökningen i Florida kan man eventuellt förvänta sig att man kan se förhöjda halter av antimon, barium och strontium i sedimenten eftersom de ämnena inte har många andra utsläppskällor än just fyrverkerier. Deras miljöeffekter måste utredas vidare men mycket pekar på att dessa ämnen ackumuleras som olösliga föreningar i sedimenten.

## 7. Litteratur

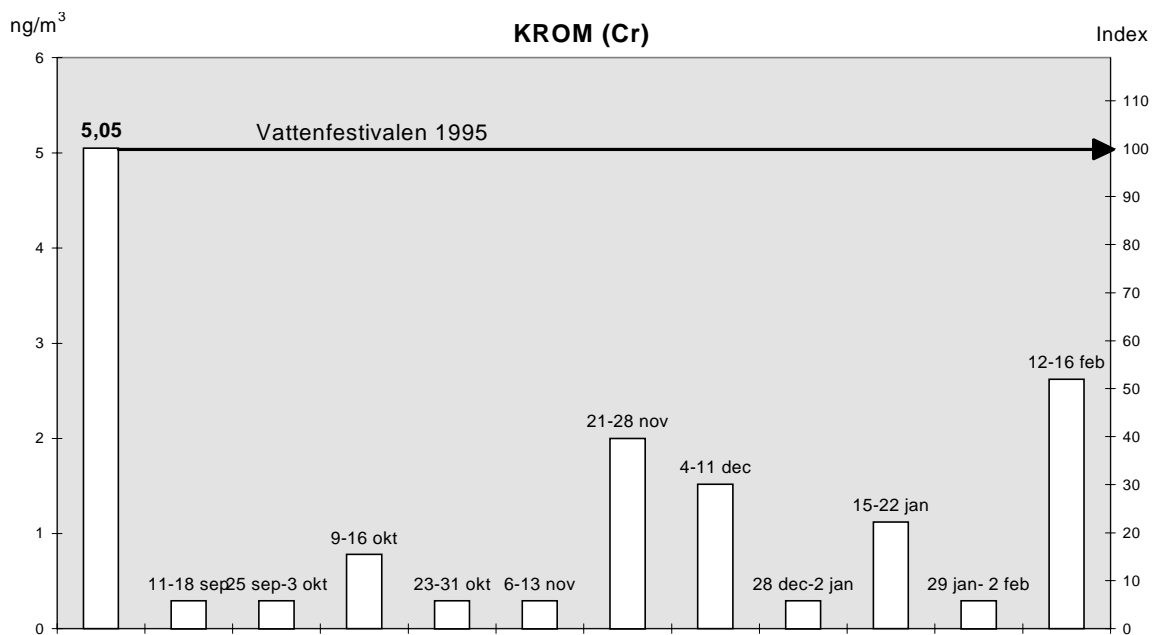
1. Naturvårdsverket: Metaller i stad och land - kretslopp och kritisk belastning. Lägesrapport 1996.
2. Miljöförvaltningen Stockholm: Förhöjda halter av luftföroreningar på Södermalm p g a fyrverkerier under Vattenfestivalen 1995 (1996).
3. Miljöförvaltningen: PM - fyrverkerier under Vattenfestival (1996).
4. Ivar de la Cruz. Depositionsmätningar av bly och barium i Grantorp i samband med 1996/97 års nyårsfyrverkeri (examensarbete från Stockholms Universitet 1997).
5. De Busk et al: Environmental effects of fireworks on bodies of water (artikel från internationell fyrverkerikonferens i Montreal 1992).

# Bilaga 1

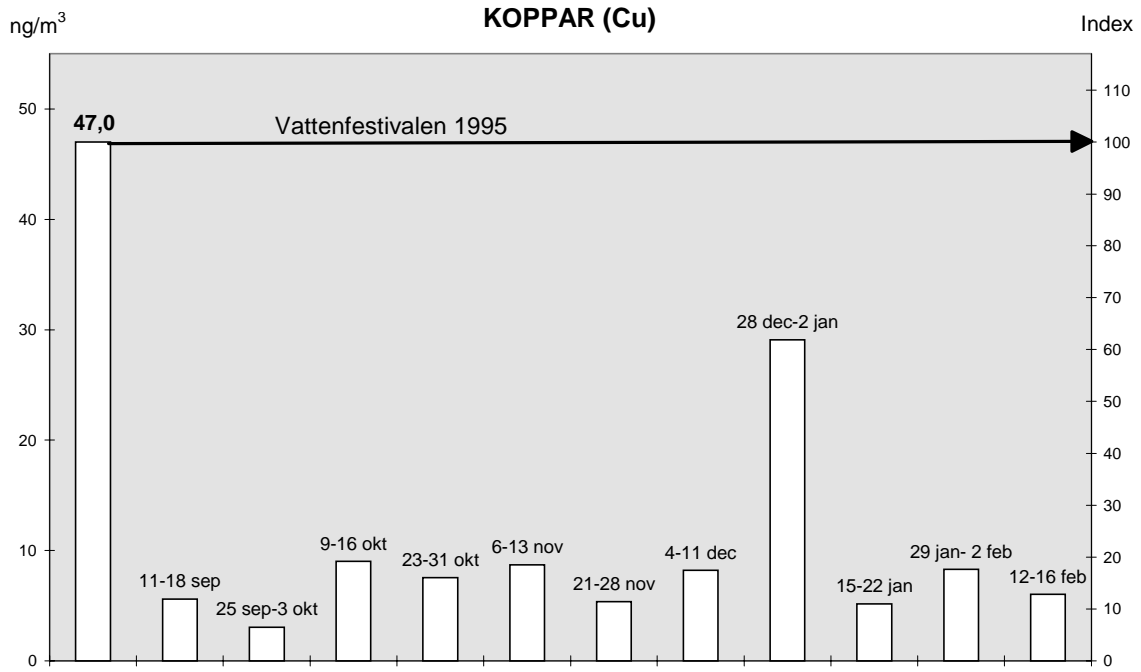
## Uppmätta metallhalter i luft på Rosenlundsgatan under Vattenfestivalen 1995



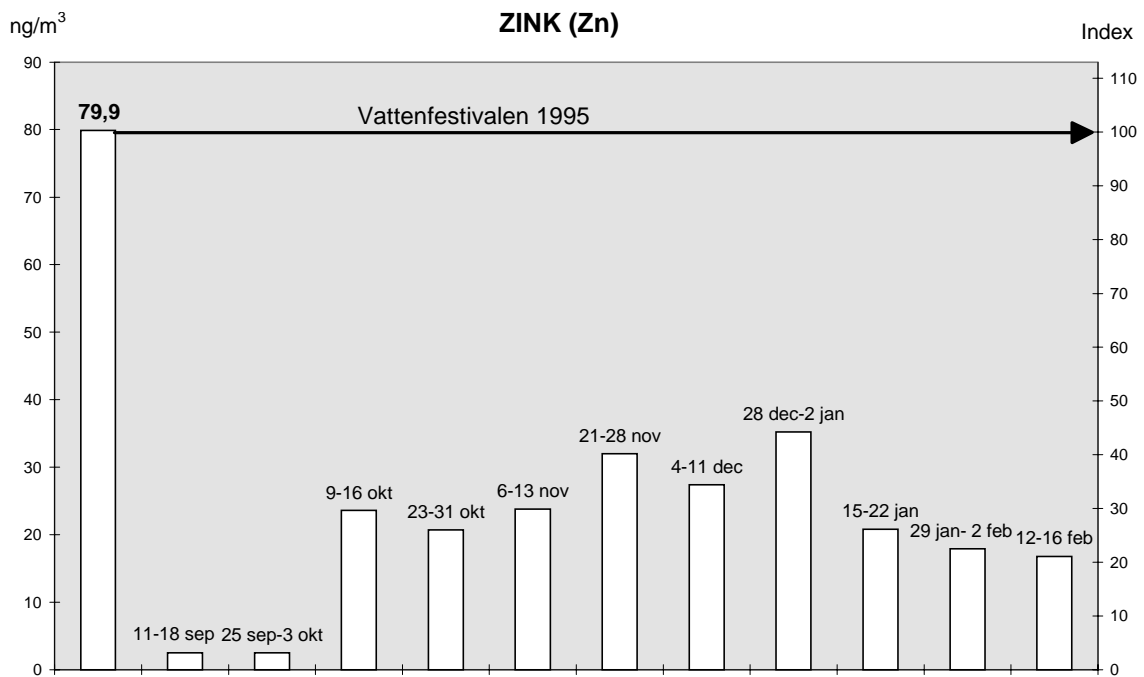
Halterna av partikulärt kvicksilver var under aktuell period i genomsnitt ca 4-5 gånger högre ( $\text{pg}=10^{-12}\text{g}$ ).



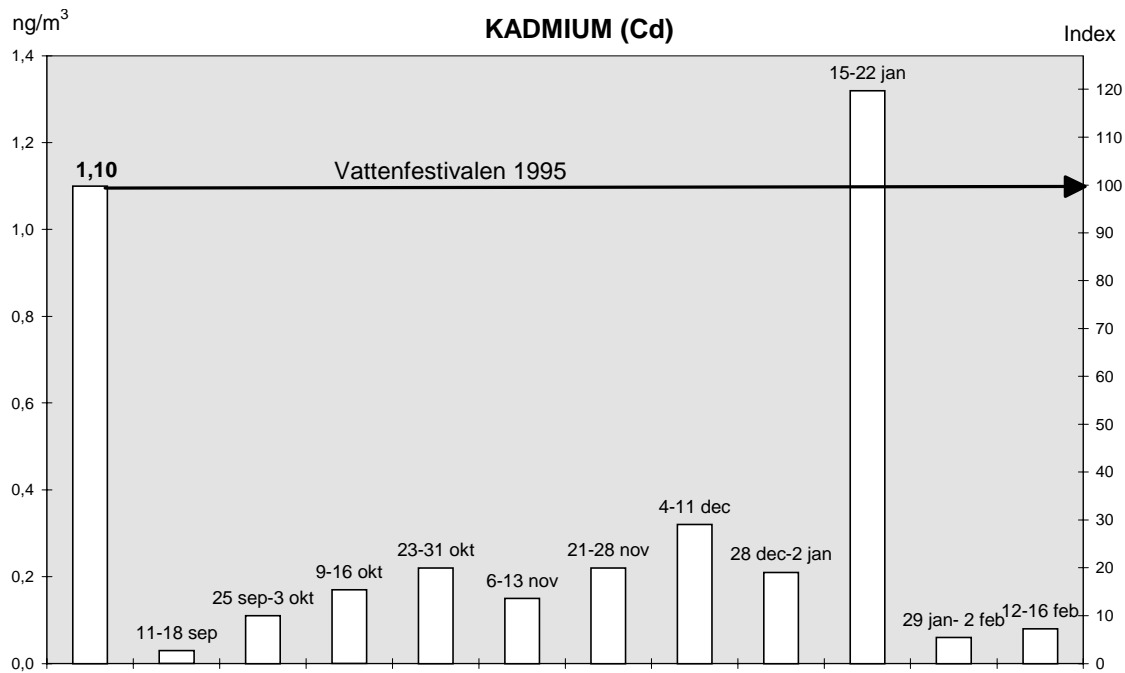
Halterna av krom var under aktuell period i genomsnitt ca 6 gånger högre ( $\text{ng}=10^{-9}\text{g}$ ).



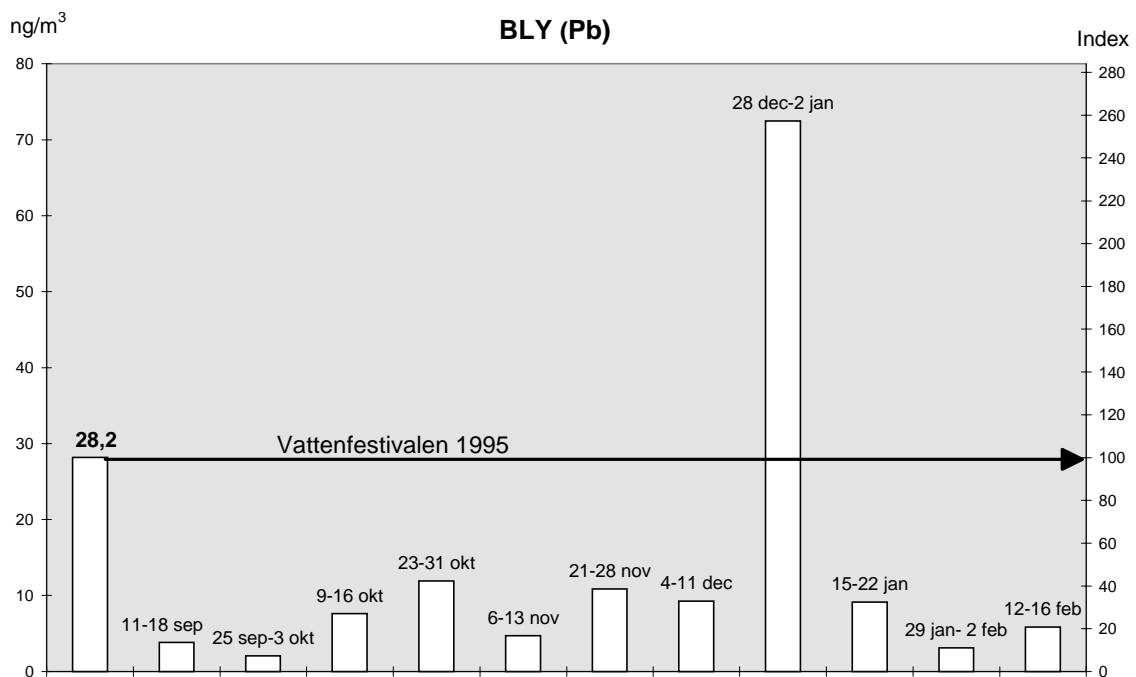
Halterna av koppar var under aktuell period i genomsnitt ca 5-6 gånger högre.



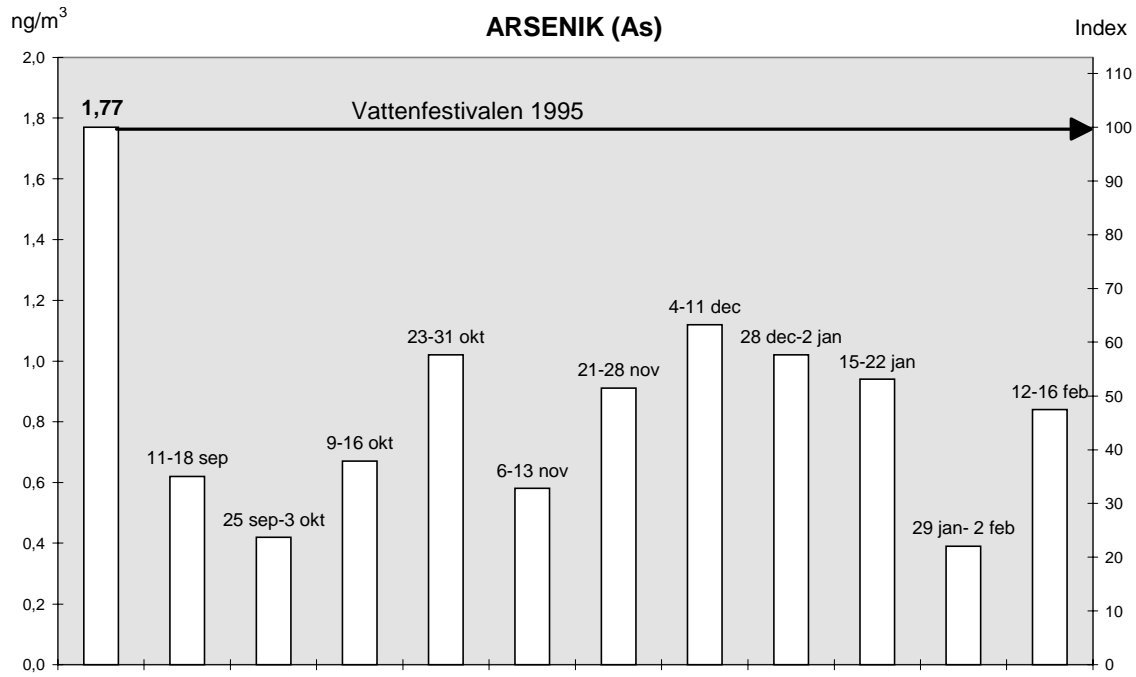
Halterna av zink var under aktuell period i genomsnitt ca 4 gånger högre.



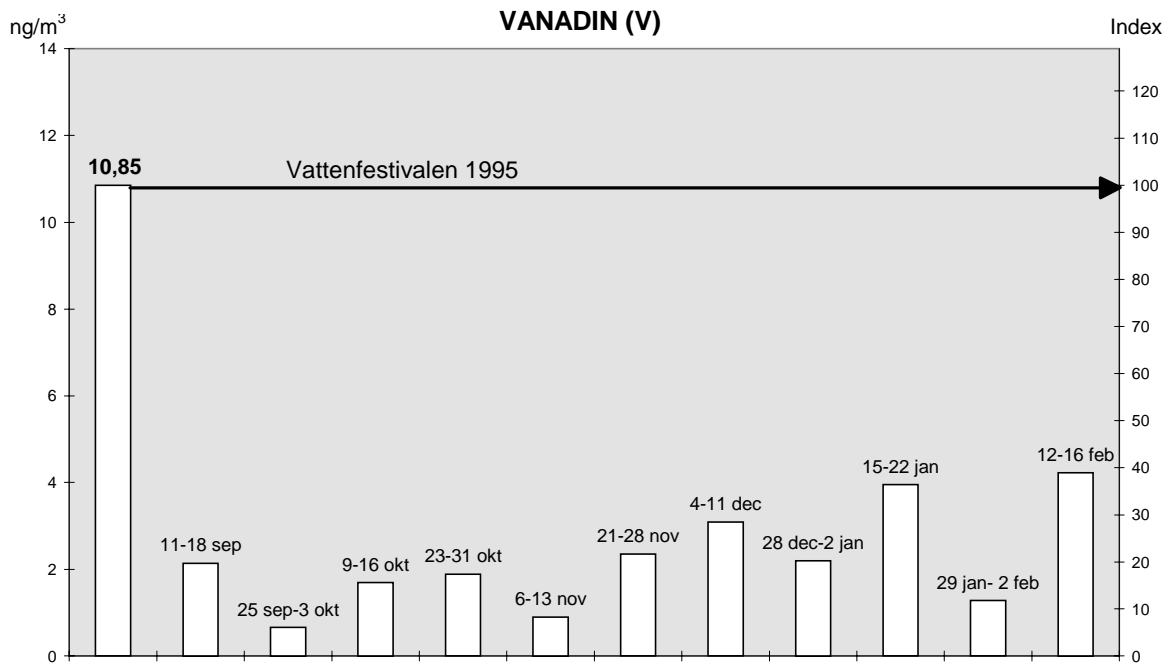
Halterna av kadmium var under aktuell period i genomsnitt ca 4 gånger högre. De höga halterna 15-22 januari är svåra att förklara mer än att ett lokalt utsläpp någonstans drog över mätstationen.



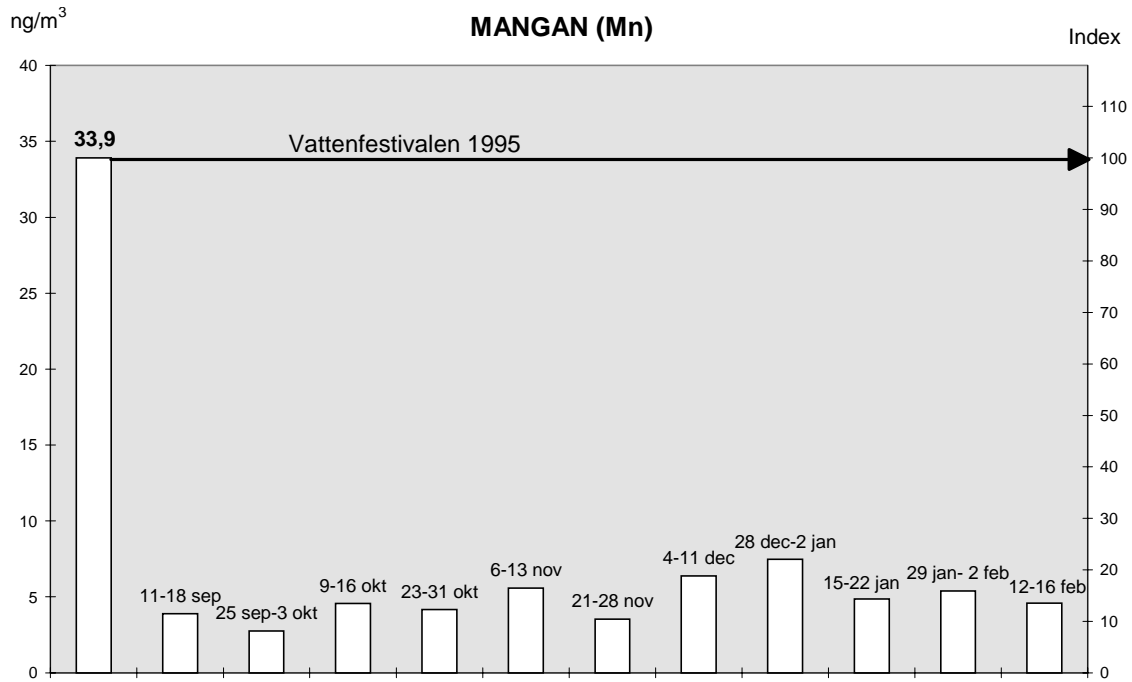
Halterna av bly var under aktuell period i genomsnitt dubbelt så höga. Notera också de höga blyhalterna under nyårshelgen 1995-96.



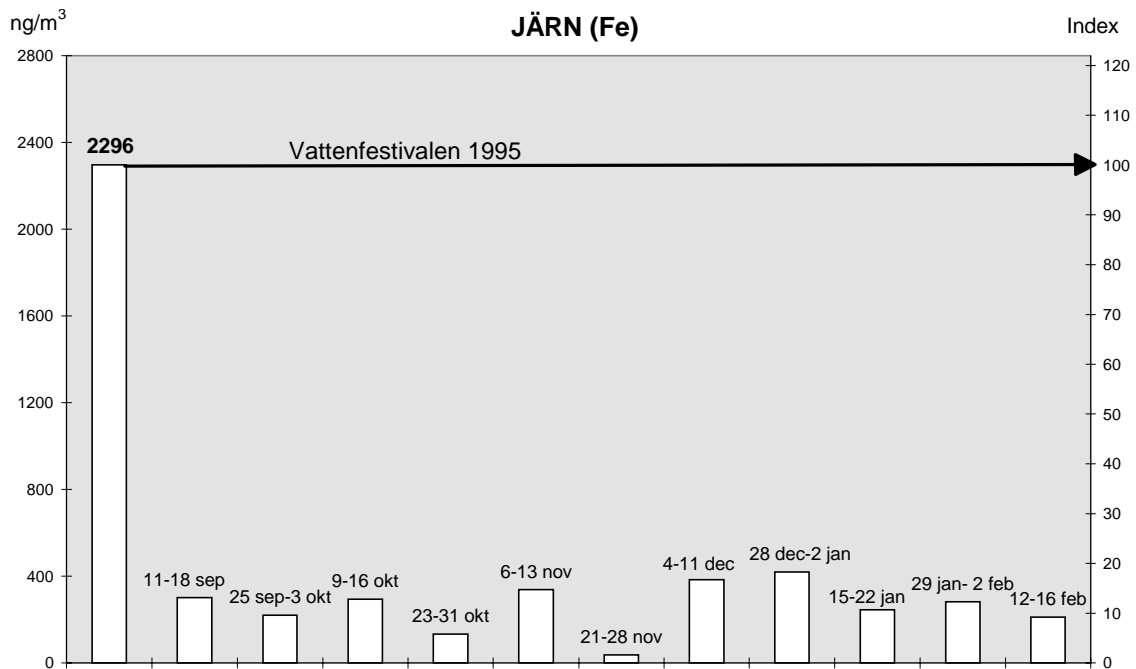
Halterna av arsenik var under aktuell period i genomsnitt dubbelt så höga.



Halterna av vanadin var under aktuell period i genomsnitt ca 5 gånger högre.

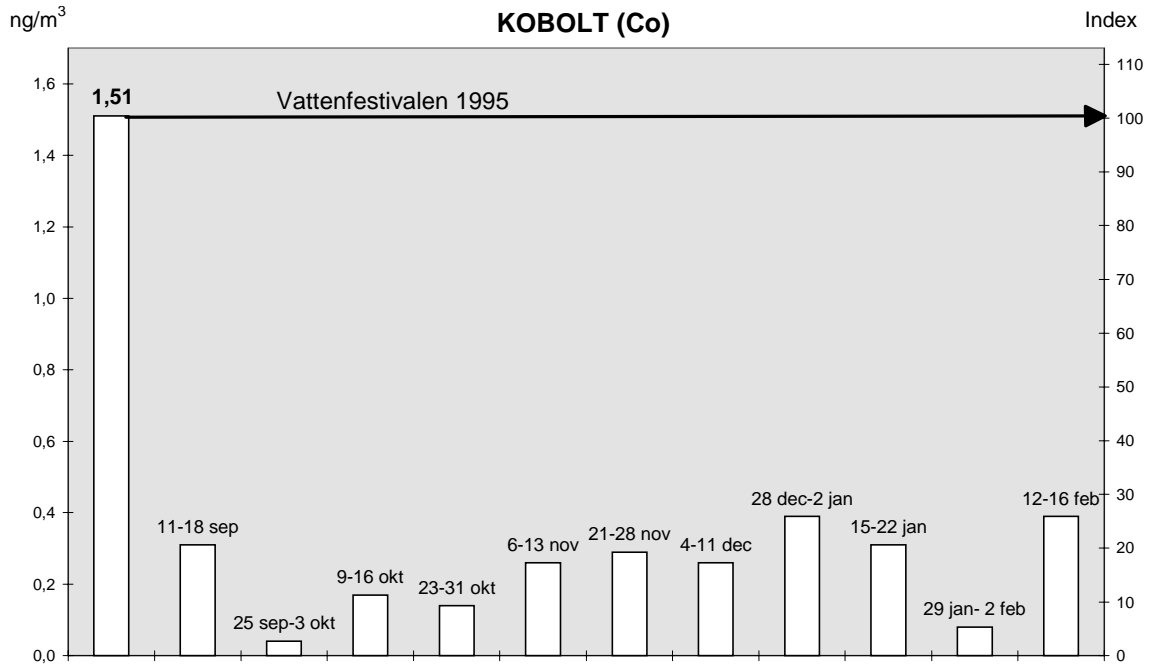


Halterna av mangan var under aktuell period i genomsnitt ca 7 gånger högre.

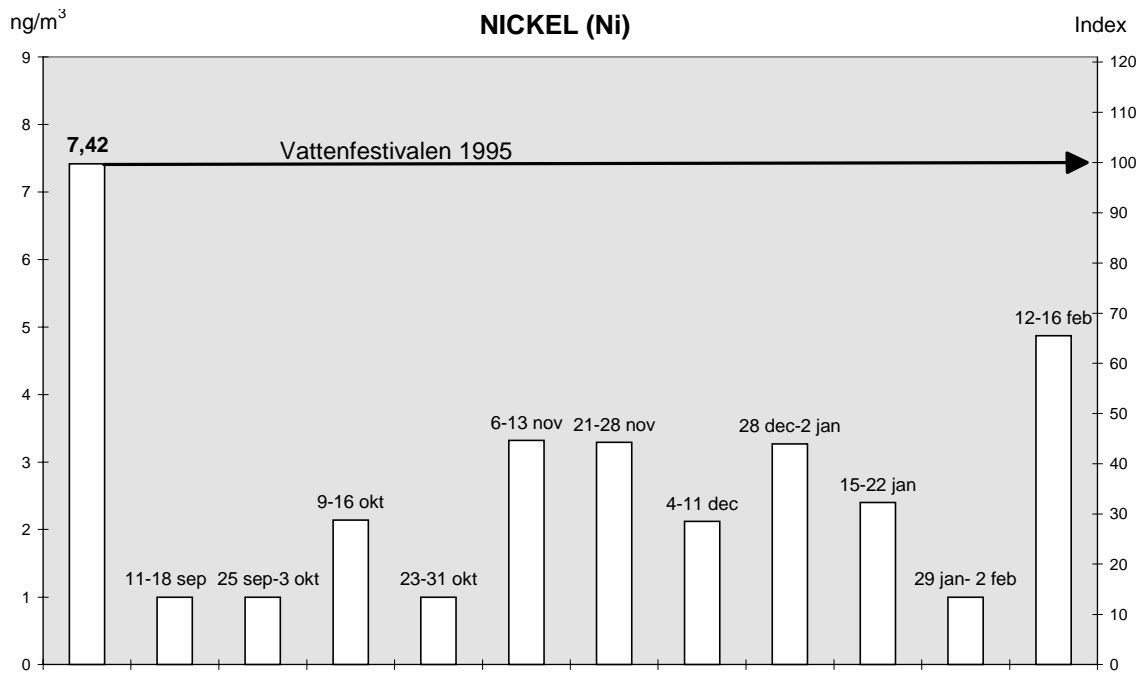


Halterna av järn var under aktuell period i genomsnitt ca 9 gånger högre.





Halterna av kobolt var under aktuell period i genomsnitt ca 6-7 gånger högre.



Halterna av nickel var under aktuell period i genomsnitt ca 5 gånger högre.