

Institutionen för tematisk utbildning och forskning - ITUF
Campus Norrköping

Förorenad mark

Förekomst och spridning av koppar och zink i
Gräsdalenanläggningens närområde, Gusum, Östergötland

Helga Ahl och Leif Nilsson

C-opsats från Miljövetarprogrammet, 2004



LINKÖPINGS UNIVERSITET

**Institution, Avdelning**

Department, Division
Institutionen för tematisk utbildning och forskning,
Miljövetarprogrammet
Department of thematic studies,
Environmental Science Programme

Datum

Date 040830

Språk

Language

- Svenska/Swedish
 Engelska/English

 _____**Rapporttyp**

Report category

- Licentiatavhandling
 Examensarbete
 AB-uppsats
 C-uppsats
 D-uppsats
 Övrig rapport

 _____**ISBN**

ISBN LIU-ITUF/MV-C--04/19--SE

ISSN**Serietitel och serienummer**

Title of series, numbering

Handledare Jenny Larsson

Tutor

URL för elektronisk version<http://www.ep.liu.se/exjobb/ituf/>**Titel**

Förorenad mark

Förekomst och spridning av koppar och zink i Gräsdalenanläggningens närområde, Gusum, Östergötland.

Title

Polluted soil

Occurrence and spread of copper and zinc in the surroundings of the Gräsdalen establishment, Gusum, Östergötland.

Författare Helga Ahl och Leif Nilsson

Author

Sammanfattning**Abstract**

Förorenade områden kan utgöra en stor risk för den omgivande miljön. Föroreningar som tungmetaller kan påverka det mikrobiologiska livet samt genom urlakning föras ut i grundvatten och vidare förorena omgivande miljö och dricksvatten. Tungmetaller tas även upp i organismer och sprids vidare i näringskedjor och kan också nå människan genom föda som växer eller odlas på förorenad mark. Föroreningar i mark härstammar oftast från gammal industriell produktion, så även i och omkring samhället Gusum i Östergötland. Här har verksamhet med smältverk bedrivits sedan 60-talet och ända fram till början av 80-talet var rökgaserna från verket orenade från metaller och har kraftigt förorenat och skadat närområdet kring bruket.

Syftet med detta arbete är att undersöka hur allvarligt förorenat området kring bruket är av metallerna koppar och zink, samt om metallerna riskerar att spridas ned i markprofilen och om denna risk förefaller öka ju högre halter marken har utsatts för. Information om området har samlats in och provtagningar i marken har genomförts på två olika avstånd från bruket. Provtagningarna omfattade totalt 8 st provgropar, 4 st på vardera provtagningsplats. Proverna har tagits från 4 olika djup i varje enskild grop.

Resultaten av studien visar att tillståndet i marken är allvarligt till mycket allvarligt enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för förorenad mark. Vidare visar mätningarna att det mesta av metallföroreningarna är bundet i markens organiska lager. Metallkoncentrationen i markens övre skikt verkar ha liten betydelse i detta fall för spridningen nedåt i markprofilen och spridningen sker mycket långsamt.

Nyckelord**metaller, koppar, zink, spridning, mark**

Keywords

Sammanfattning

Förorenade områden kan utgöra en stor risk för den omgivande miljön. Föroreningar som tungmetaller kan påverka det mikrobiologiska livet samt genom urlakning föras ut i grundvatten och vidare förorena omgivande miljö och dricksvatten. Tungmetaller tas även upp i organismer och sprids vidare i näringskedjor och kan också nå människan genom föda som växer eller odlas på förorenad mark. Föroreningar i mark härstammar oftast från gammal industriell produktion, så även i och omkring samhället Gusum i Östergötland. Här har verksamhet med smältverk bedrivits sedan 60-talet och ända fram till början av 80-talet var rökgaserna från verket förorenade från metaller och har kraftigt förorenat och skadat närområdet kring bruket.

Syftet med detta arbete är att undersöka hur allvarligt förorenat området kring bruket är av metallerna koppar och zink, samt om metallerna riskerar att spridas ned i markprofilen och om denna risk förefaller öka ju högre halter marken har utsatts för. Information om området har samlats in och provtagningar i marken har genomförts på två olika avstånd från bruket. Provtagningarna omfattade totalt 8 st provgropar, 4 st på vardera provtagningsplats. Proverna har tagits från 4 olika djup i varje enskild grop.

Resultaten av studien visar att tillståndet i marken är allvarligt till mycket allvarligt enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för förorenad mark. Vidare visar mätningarna att det mesta av metallföroreningarna är bundet i markens organiska lager. Metallkoncentrationen i markens övre skikt verkar ha liten betydelse i detta fall för spridningen nedåt i markprofilen och spridningen sker mycket långsamt.

Förord

Detta arbete har sin upprinnelse i en praktikperiod på Länsstyrelsen Östergötlands län våren 2004. På förslag och i samarbete med Länsstyrelsen utformades riktlinjer och syfte med denna c-uppsats. Länsstyrelsen Östergötlands län stod även för kostnader av metallanalyser.

Det har varit en mycket givande och lärorik period att få insyn i problematiken kring tungmetaller och förorenad mark. Studien har lärt oss mycket både pratiskt och teoretiskt, vi har även fått erfarenheten att bedriva ett större arbete under en längre tid vilket är något som kommer vara till nytta i framtiden.

Det finns flera personer som på ett eller annat sätt stöttat och hjälpt oss genomföra detta arbete. Dock skulle vi speciellt vilja tacka Markus Gustavsson på Miljövårdsenheten vid Länsstyrelsen Östergötlands län som bistått oss med material och idéer till studien och även varit med oss vid fältarbetet. Vidare vill vi tacka vår handledare Jenny Larsson vid Linköpings universitet som alltid fanns till hands med stöd och kommentarer.

Linköping, juli 2004

Helga Ahl
Leif Nilsson

SAMMANFATTNING	2
1 INLEDNING.....	5
1.1 SYFTE.....	6
1.2 AVGRÄNSNINGAR	6
1.3 BAKGRUND	6
1.3.1 Gusums bruk.....	6
1.3.2 Områdesbeskrivning.....	7
1.3.3 Föroreningar i området / tidigare undersökningar	8
1.3.4 Nuvarande verksamhet Outokumpu Nordic Brass AB.....	9
1.3.5 Jordmån.....	10
1.3.5.1 Podsol.....	10
1.3.5.2 Brunjord.....	11
1.3.6 Koppar.....	12
1.3.6.1 Koppar - förekomst.....	12
1.3.6.2 Koppar – egenskaper.....	13
1.3.6.3 Koppar – användning.....	13
1.3.7 Zink.....	13
1.3.7.1 Zink – förekomst.....	13
1.3.7.2 Zink – egenskaper.....	13
1.3.7.3 Zink – användning.....	13
1.3.8 Metaller i mark.....	14
1.3.9 Bakgrundshalter i mark.....	14
2 METOD.....	15
2.1 ORIENTERANDE FAS	15
2.2. PROVTAGNING	15
2.2.1 Plats för provtagning.....	15
2.2.2 Jordprovshämtning.....	16
2.3 KEMISK ANALYS	16
2.3.1 Atomspektrometri.....	16
2.3.2 pH.....	16
2.4 STATISTISK ANALYS.....	16
2.4.1 Beskrivande statistik och Mann-Whitney test.....	17
2.5 BAKGRUNDSHALT OCH RIKTVÄRDEN	17
3 RESULTAT	18
3.1 BESKRIVANDE STATISTIK OCH MANN-WHITNEY TEST	18
3.1.1 pH.....	18
3.1.2 Koppar.....	19
Djup.....	19
Plats.....	19
3.1.3 Zink.....	20
Djup.....	21
Plats.....	21
3.2 JÄMFÖRELSE MED JÄMFÖRVÄRDEN OCH RIKTVÄRDEN	22
4 DISKUSSION	22
5 SLUTSATS	25
REFERENSER.....	26

1 Inledning

Idag finns i den svenska miljöpolitiken ett antal miljömål som ska uppnås och i ett av detta, ”en giftfri miljö” ingår förorenade områden. Miljömålet anger att miljön ska vara fri från ämnen och metaller som är antropogent tillförda och som kan hota människors hälsa eller den biologiska mångfalden. I detta ingår att förorenade områden skall vara identifierade och inom minst 100 av de mest prioriterade områdena skall sanering och efterarbete ha påbörjats senast år 2005. Minst hälften av de områden där arbete påbörjats skall också vara åtgärdade. Enligt Naturvårdsverkets bedömning finns det i Sverige ca 40 000 förorenade mark- och vattenområden, varav 5000 ännu ej är identifierade. Dessa områden består främst av gamla industriområden där miljön påverkats av verksamheten. Förorenade marker har en hög prioritet idag i förhållande till för bara 20 år sedan och ett landsomfattande arbete för att inventera och riskklassa dessa områden pågår. Saneringsarbete pågår eller har slutförts på ett 20-tal platser.¹ Naturvårdsverket har under 1990-talet arbetat fram en metodik för att göra det möjligt att jämföra och lättare utföra riskbedömningar av förorenade områden. Metoden för att klarlägga Sveriges förorenade områden kallas MIFO, metodik för inventering av förorenade områden, och finns beskriven i två delrapporter med vägledning för alla steg i inventeringen.²

Allmänt så utgör förorenade områden på längre sikt en risk genom att föroreningarna sprids genom urlakning och kan påverka både den omgivande miljön och i slutänden människan.³ Även om föroreningarna anses hårt bundna i marken kan de i senare skeden börja läcka ut till grundvatten och ytvatten genom att faktorer som påverkar föroreningarnas rörlighet i marken kan förändras. Förorenande ämnen, som exempelvis metaller, kan även ackumuleras i växter och svampar och på detta sätt sprida sig vidare i näringskedjor. Andra omständigheter som drastiskt kan förändra förutsättningarna är ändrad markanvändning, t ex nybyggnation, vägbyggen eller dikesgravningar. Naturliga processer kan också påverka riskerna genom t ex att grundvattenytan höjs till följd av landhöjningen.⁴

Under 1980-talet fokuserades miljöintresset i Sverige främst på luftmiljöfrågorna och åtgärdsplaner mot flera olika luftburna föroreningar arbetades fram. Metoder för att minska bl a svavelutsläppen och klorerade kolväten utvecklades, men även flera reningsmetoder för metallindustrins utsläpp. Tungmetaller som spridits via stoft från industrier har visat sig anrikas i både mark och vatten och spridit sig både lokalt och regionalt.⁵

Samhället Gusum i östra Östergötland har vuxit fram kring ett mässingsbruk som grundades 1661 och var verksamt i stort sett fram till år 1968 då den största delen av verksamheten flyttade till ett nytt smältbruk (”nya bruket”) 1,6 km nordväst om samhället. Det nya brukets läge och låga skorstenar bidrog till att det närliggande området snabbt påverkades av utsläppen, nästan lika mycket som det gamla brukets omgivning, innan rökgasrening infördes 1982. Utsläppen från det gamla och det nya bruket har innehållit framför allt stora mängder koppar och zink i form av oxider och området har tilldelats riskklass 1 efter MIFO fas 1 vilket betyder att området utgör en mycket stor risk för människa och miljö idag och i framtiden.⁶

¹ Institutet för miljömedicins hemsida. 2004-05-23

² Naturvårdsverket, 1999, s 6

³ Institutet för miljömedicins hemsida. 2004-05-23

⁴ Länsstyrelsen Västerbottens län, 2002, s 9

⁵ Persson, P-O. & Nilson, L. 1998, s 117-118

⁶ Tyler, G. et al. 1984, s 10

Vid tidigare studier har halter i måren (markens övre organiska lager) nära bruket uppmätts till 20 000 mg/kg Ts (torrsubstans) Zn och 16 000 mg/kg Ts Cu.⁷

1.1 Syfte

Syftet med denna studie är att se hur metaller sprider sig nedåt i marken i förorenade områden. Sprider de sig längre ner ju högre halter marken utsätts för? För att kunna jämföra detta kommer vi att mäta föroreningsnivån på två platser med olika avstånd från utsläppskällan. Vi vill också se hur pass förorenad marken nära Gräsdalenanläggningen i Gusum är. Detta kommer vi studera genom att jämföra uppmätta koppar- och zinkhalter med Naturvårdsverkets riktvärden för förorenad mark.

1.2 Avgränsningar

För att se hur metaller sprider sig nedåt i marken har vi valt att avgränsa oss att mäta metallerna koppar och zink. Detta eftersom det är dessa metaller som framför allt funnits i Gräsdalenanläggningens utsläpp. För att mäta halten av dessa metaller i marken har vi valt tre djup att ta jordprov ifrån: humuslagret, i mineraljorden 0-0,05 m under humuslagret och 0,45-0,55 m under humuslagret. Jordprover har avgränsats till att hämtas ur sammanlagt 8 provgropar eftersom det var detta antal som budgeten tillät.

1.3 Bakgrund

1.3.1 Gusums bruk

Samhället Gusum är beläget 20 km från Östersjökusten i Östergötland. Mässingsverk har funnits här sedan mitten av 1600-talet och har starkt förorenat omgivande marker.⁸ Gusums bruk har en över 350 år lång historia som inleddes redan 1653. Den grundläggande produktionen vid bruket bestod av mässingstråd och knappnålsfabrikation, på 1880-talet började man även tillverka mässingsprodukter bland annat ljusstakar och ljuskronor. Till en början bedrevs denna tillverkning i en sparsam skala men kom successivt att utvecklas. Produktionen kom att innefatta många olika mässingsartiklar och bli en av bolagets huvudtillverkningar. Tillverkningen blev framgångsrik och resultaten pryder bland annat S:t Olai kyrka i Norrköping, Linköpings domkyrka och Vasakyrkan i Stockholm. Gusum kom att röna erkännande för sina produkter både inom och utom landets gränser. Här producerades även stora kvantiteter metallduk och viror till de nya pappersbruken som anlades i Sverige i hög takt på 1880-talet. Under första världskriget ökade efterfrågan och man utökade produktionen med eget tråddrageri och valsverk. Produktionen av metallduk som hade börjat i liten skala vid bruket kom under perioden 1893-1950 att öka från en tillverkning på 468 kvm till ca 20 000 kvm årligen. Kvar på Gusums bruksområde finns idag endast viratillverkningen som pågått sedan 1896.⁹

På 1960-talet flyttades smältverk, rörverk och skrotupplag till Gräsdalenanläggningen som är beläget 1,6 km nordväst om Gusums bruksområde och driften startade 1966. Under följande år fram till tidigt 1990-tal flyttade man också övrig metallproduktion till Gräsdalen. Industriområdet omfattar en yta av ca 8 ha och ligger i en sluttning som faller mot Gusumsån

⁷ Bengtsson, G. & Rundgren, S. 1984, s 29-33

⁸ Tyler, G. 1984

⁹ Forsberg, K. 1953, s 161-175

som har sin sträckning ca 300 m väster om fastigheten.¹⁰ Smältverket är den enda betydelsefulla källan till utsläpp av metaller till miljön i området.¹¹ Från slutet av 1960-talet fram till 1981 då rökgasrening infördes torde metallutsläppen ha uppgått till ca 100 ton zink, 10 ton koppar och 2 ton bly per år. Idag renas processvatten och rökgaser och utsläppen är i jämförelse mycket små.¹²

1.3.2 Områdesbeskrivning

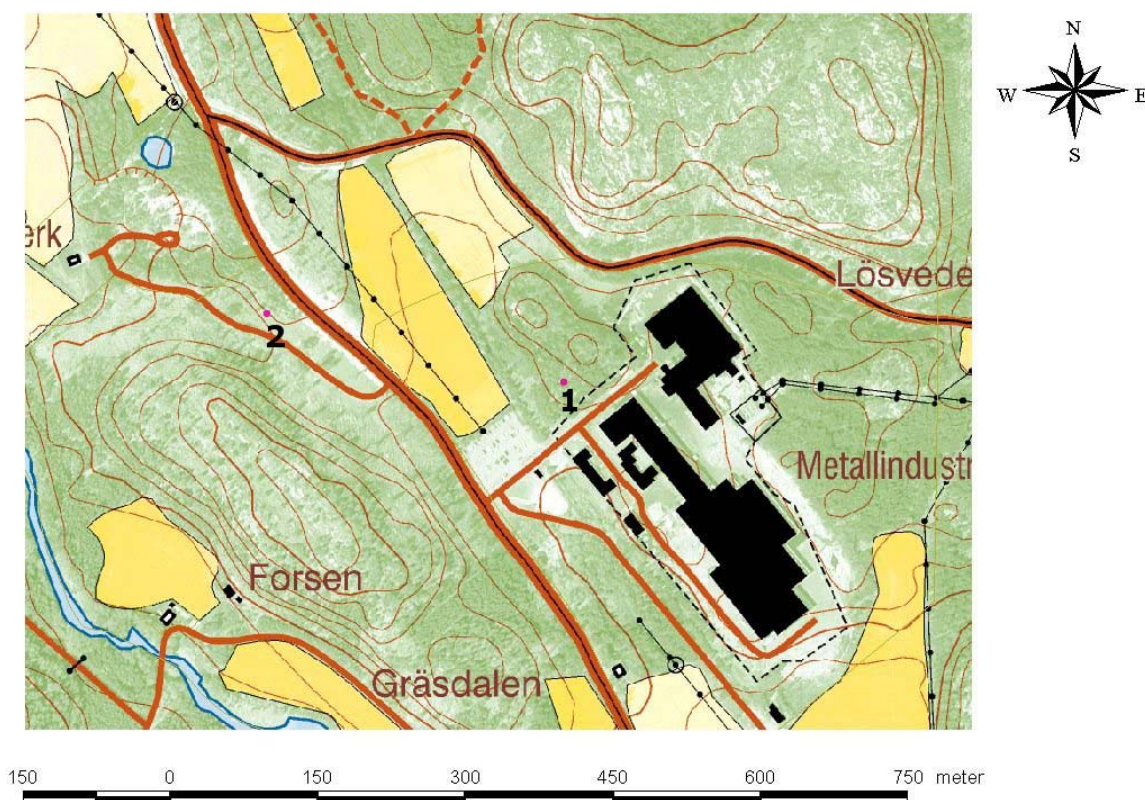
Samhället Gusum är beläget i ett småkuperat område omgivet av en del mindre berg. Morän täcker i huvudsak de omgivande sluttningarna och i dalgångarna domineras marklagren av finkornigare material (silt, lera) enligt jordartskarta över området (SGU ser Ae nr. 67). Det finkornigare materialet har tvättats ut i samband med landhöjningen då isälvsavlagringarna omlagrades. Sandig moig morän och öppna bergshällar förekommer öster om fastigheten. I söder och väster överlagras isälvsavlagringarna av lera. Till stor del är dalgångarna uppodlade och terrängen bevuxen av skog, i huvudsak barrskog med vissa inslag av lövskog. Andra mindre områden täcks av ungskog efter avverkning på 80-talet. En kommunal vattentäkt och infiltrationsanläggning är belägen ca 500 m nordväst om Gräsdalenanläggningen. Ytvatten från Gusumsån infiltreras i en isälvsavlagring, brunnarna där vattnet pumpas upp ligger ca 100 m sydväst om infiltrationsbassängen. Genom området löper Gusumsån som rinner från Yxningen i väster till Byngaren via Byngsån till Strolången i öster. Vattnet når sedan Söderköpingsån via Hällaån. Gräsdalenanläggningen är belägen på en isälvsavlagring vars grundvattentillgång bedöms som måttlig (1-5 l/s) enligt hydrogeologiska kartan över området (SGU ser Ah nr. 14). Grundvattnets strömningsriktning bedöms vara i sydvästlig riktning från anläggningen mot Gusumån.¹³ (Se Figur 1)

¹⁰ Golder Grundteknik AB. 2000, s 7

¹¹ Bengtsson, G. & Rundgren, S. 1984, s 29-33

¹² Lindeström, L. & Monfelt, C. 1990, s 2

¹³ Golder Grundteknik AB. 2000, s 7



Figur 1: Karta över Gräsdalenanläggningen (här benämnd metallindustri) med omgivning, Gusum, Östergötland. Markerade punkter visar provtagningsplatserna. Punkt 1 visar provtagningsplats 1, punkt 2 visar provtagningsplats 2. (källa: Länsstyrelsen Östergötlands län, © Bakgrundskartor Lantmäteriet, dnr 106-2004/188)

1.3.3 Föroreningar i området / tidigare undersökningar

Det har tidigare genomförts ett ganska stort antal undersökningar i omgivningarna kring både nya och gamla bruket i Gusum. I området kring nya bruket (Gräsdalenanläggningen) har tidigare undersökningar visat på höga halter av tungmetaller i markens övre skikt. Utsläppen till omgivningen har från slutet av 60-talet fram till början av 80-talet då rökgasrening infördes, i en undersökning, beräknats innehålla 106 ton zink, 50 ton koppar och 2 ton bly årligen. Det finns inga exakta data utan denna beräkning baseras på en mätning 1976.¹⁴ Andra uppgifter i en miljökonsekvensbeskrivning utförd 1990 anger det uppskattade utsläppet till ca 100 ton zink, 10 ton koppar och 2 ton bly per år från slutet av 60-talet fram till 1981.¹⁵ Enligt en studie av Tyler finns det 600-700 ton utsläppta metaller i enbart markens ytskikt (0-5 cm) inom en radie av 5 km från både nya och gamla bruket.¹⁶ Sedan rökgasrening infördes har utsläppen minskat dramatiskt (se Nuvarande verksamhet Outokumpu Nordic Brass AB). Redan i undersökningar i början av 1970-talet konstaterades förhöjda halter i måren (det övre organiska lagret, även kallat humuslagret) som var över/betydligt över bakgrundshalter vid Gräsdalensanläggningen och detta efter att den varit i drift i endast 5 år.¹⁷ Halterna av koppar och zink i mårlagret nära anläggningen uppmättes i en studie till 50 ggr högre jämfört med normala bakgrundshalter. Det visade sig också att zink har spridits över ett större område än

¹⁴ Bengtsson, G. & Rundgren, S. 1988,

¹⁵ Lindeström, L. & Monfelt, C. 1990, s 2

¹⁶ Tyler, G. et al. 1984, s 18-24

¹⁷ Tyler, G. et al. 1984, s 14

koppar. Metallhalterna minskar med avståndet från källan och klingar av mycket snabbt. Det har också visat sig att halterna metall minskar med djupet. Zink hade enligt resultaten transporterats djupare ned i marken (ca 10 cm) medan koppar och bly främst fanns i översta centimetrarna. Normalt är tjockleken på förnalagret i Sverige 2-3 cm, men runt Gräsdalenanläggningen uppmättes i samma studie tjockleken till 15-20 cm p g a minskad nedbrytning inom en radie av 500 m från bruket till följd av de förhöjda metallhalterna.¹⁸

pH-mätningar i området på 80-talet visade på ett högre pH (ca pH 6) i nära anslutning till anläggningen där föroreningshalten är hög. pH-värdet föll sedan snabbt med avståndet från anläggningen och stabiliserades kring ett värde på ca 4,3 efter ett avstånd på en dryg kilometer.¹⁹

Vid en miljöteknisk markundersökning av anläggningens industriområde år 2000 påträffades inga förhöjda halter av metaller, petroleumväten eller flyktiga organiska ämnen i grundvattnet. I jorden uppmättes dock metallhalter över Naturvårdsverkets generella riktvärden för koppar, kadmium, bly och zink. Dock bedömdes spridningsrisken som liten gällande dagens verksamhet då metallerna sannolikt är relativt hårt bundna till de ytliga marklagren inom fastigheten.²⁰

1.3.4 Nuvarande verksamhet Outokumpu Nordic Brass AB

Idag bedrivs verksamheten vid Gräsdalenanläggningen av Outokumpu Nordic Brass AB. Verksamheten är enligt miljöbalken klassad som en B-verksamhet vilket innebär att för driften krävs tillstånd från Länsstyrelsen. Inom industriområdet bedrivs produktion av mässingsprodukter, produktionen baseras på återvinning av koppar och mässing. Råvarorna utgörs av koppar- och mässingsskrot, zink och legeringsämnen. Råvarorna smälts samman och pressas slutligen till ämnen för tillverkning av mässingsstänger. Ämnena både värmebehandlas och kallarbetas beroende på vad som är slutprodukten.

Det luftburna utsläppet till omgivningen härrör framförallt från smältningsprocessen av koppar och mässing i smältverkets ugnar. Processgaserna renas först i cykloner och därefter i textila spärfilter. Cykloner är det billigaste och enklaste sättet att rena rökgaser genom att utnyttja tröghetskrafterna som man förstärker genom gasens rotation. Gasen roteras i denna konformade cyklon vilket leder till att partiklar kolliderar med väggarna och faller ner mot cyklonspetsen och kan tas ut där. Textilfilter används för att ytterligare rena rökgaserna. Gasen strömmar genom filtret där partiklar avskiljs och fastnar i skikt på textilfiltret. När lagret på filtret samlas till en viss tyngd skakas filtret och stoftpartiklarna samlas upp.²¹ Utsläppen idag är i det närmaste obefintliga i jämförelse med de som orsakat föroreningen av omgivande mark. Kopparutsläppen har uppmätts till 1,74 kg/år och zinkutsläppen till 19,71 kg/år.²²

¹⁸ Ibid

¹⁹ Lindeström, L. & Monfelt, C. 1990, s 4

²⁰ Golder Grundteknik AB. 2000, s 13

²¹ Persson, P-O. & Nilson, L. 1998, s 128-132

²² Boliden Nordic Brass AB, 2003

1.3.5 Jordmån

Marken, dvs jordskorpans övre skikt, utgörs av fyra olika huvudkomponenter. Luft och vatten utgör tillsammans den så kallade porvolymen vilket i marken utgör ca 40 – 60 procent av den totala volymen, resterande markvolym utgörs av de andra två komponenterna: organiskt och oorganiskt material (mineralpartiklar). Det organiska materialet består av ofullständigt nedbrutet biologiskt material som hela tiden tillförs marken och som utgör ca 25 % av markens volym i de övre lagren men sjunker till nära noll djupare ned. Det oorganiska materialet har skapats genom olika geologiska processer och inlandsisens verkningar.²³

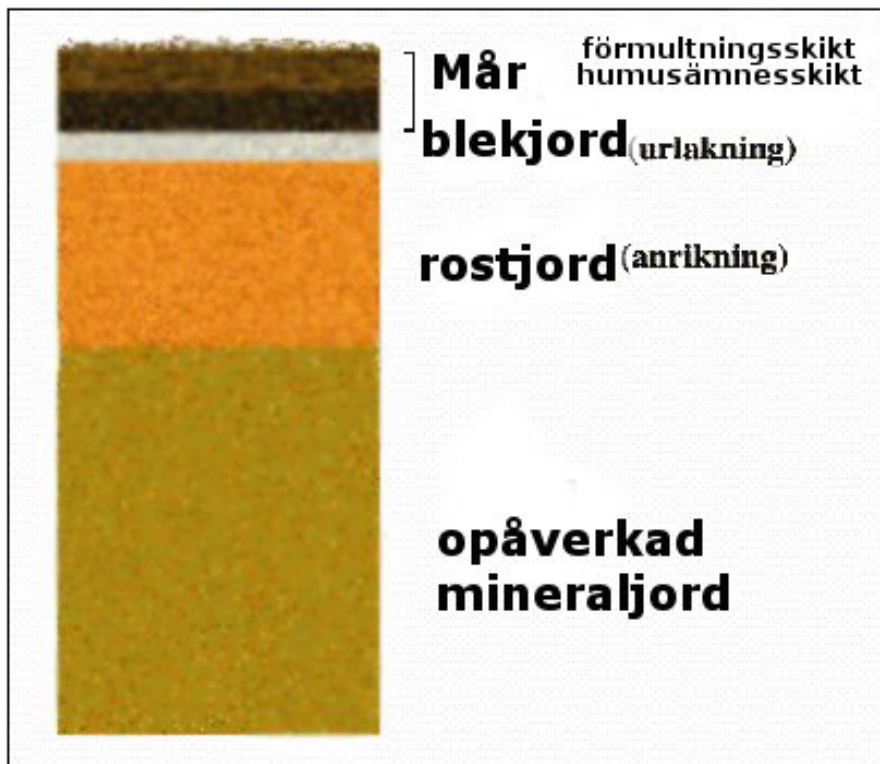
Med benämningen jordmån menas den övre delen av marken som påverkas av organismer, vatten, vind och klimat och den del av marken som utnyttjas av växtrötterna och som är grunden för hela växtproduktionen. Marken har påverkats olika både i Sverige och övriga delar av världen på grund av förutsättningar, klimat och organismer skiljer sig på olika platser och därför har ett stort antal olika jordmåner bildats. De olika typerna är inte klart avgränsade som olika arter utan övergår gradvis i varandra. Dock har man försökt systematisera jordmåner efter likheter och släktskap. De olika jordmåner har betydelse för förutsättning för spridning av metaller i mark och andra föroreningar och man vet också vad man kan förvänta sig vid de olika typerna. Inom varje jordmån bildas olika horisonter med olika egenskaper. De olika horisonterna är: organiskt lager (O), urlakningshorisont (A och E), anrikningshorisont (B) samt ursprungsmaterial (C).²⁴ Nedan beskrivs de jordmåner som är aktuella för denna studie.

1.3.5.1 Podsol

Förnan utgörs till största delen av fallföna (barr-blad) och har generellt sett lågt pH och nedbrytningen sker främst av svampar. Humusskiktet kallas mår och är indelat i två skikt. Det övre skiktet består av ännu urskiljbara växtrester och svamphyfer. Det undre humusämnesskiktet är kletigt och mörkbrunt och tjockleken varierar beroende på nedbrytningshastigheten. Eftersom podsoljorden saknar till exempel dagmask, till skillnad från brunjorden, finns en avgränsning under måren till mineraljorden. Det översta lagret är gråaktigt och kallas blekjord eller urlakningshorisont eftersom lågt pH gör att närsalter urlakas med sjunkvattnet. Den gråaktiga färgen kommer av att det kvarvarande materialet till största delen består av kvarts (SiO_2). Rostjord eller anrikningshorisont kallas det rödbruna lager som följer under blekjorden och är ofta en halvmeter eller mer tjockt. Färgen på anrikningshorisonten kommer av att järnoxid (Fe_2O_3) fälls ut men även andra oxider som aluminiumoxid (Al_2O_3) allt eftersom pH stiger nedåt i markprofilen. Rostjorden övergår senare i den opåverkade mineraljorden utan någon skarp gräns. Den är mer gråbrun till färgen. (Se Figur 2)

²³ Bergil, C. & Bydén, S. 1995, s 38

²⁴ SLU:s hemsida, Markinfo. 2004-04-29



Figur 2: Översiktbild över podsoljordars olika skikt. (Ritad av L. Nilsson)

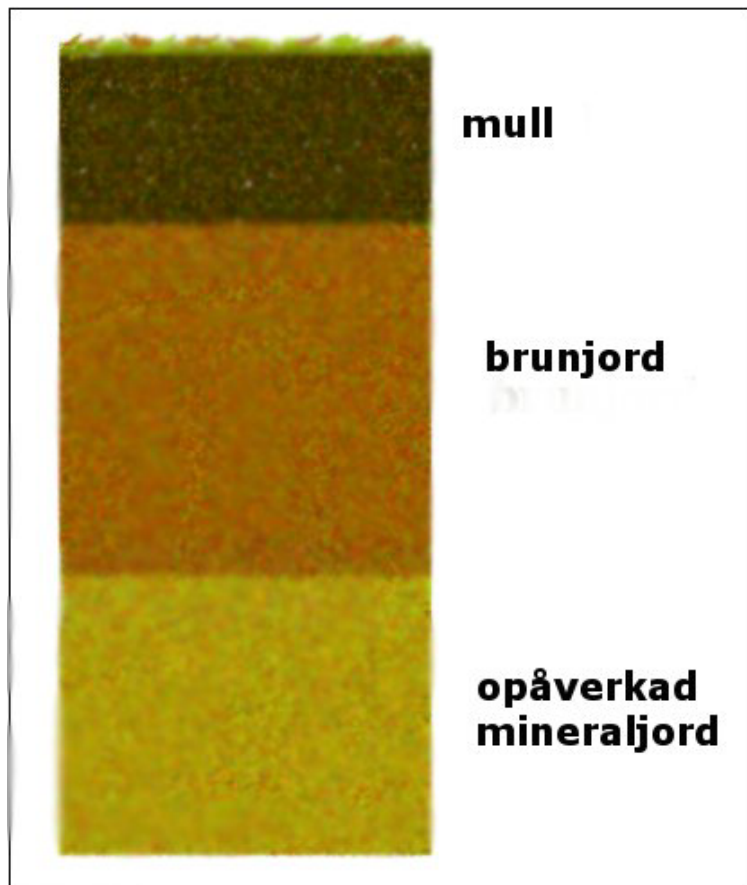
Humuspodsol har övre skikten färgade av nedtvättade humusämnen och har oftast en smutsgrå till smutsbrun färg. Denna färgning kan sträcka sig långt ned genom flera skikt.²⁵

1.3.5.2 Brunjord

I brunjorden finns ingen skarp gräns till den underliggande mineraljorden p g a. av dagmaskars verksamhet. Brunjorden saknar även urlaknings- och anrikningshorisont, pH är också högre än i podsolen, ca 1-2 enheter. Efter någon meters djup övergår brunjorden till den opåverkade mineraljorden. En jord med både brunjord och podsolkaraktär benämns övergångstyp. Det vanligaste är att en brunjord omvandlas till en podsol men även det motsatta förekommer²⁶. (Se Figur 3)

²⁵ Göteborgs Universitets hemsida. Zoologiska institutionen. 2004-05-26

²⁶ Ibid



Figur 3: Översiktsbild över brunjordars olika skikt. (Ritad av L. Nilsson)

1.3.6 Koppar

1.3.6.1 Koppar - förekomst

Som rent grundämne förekommer koppar (Cu) sällan. Mindre än 1 % av världens kopparförråd är koppar i ren form. Oftast förekommer koppar i form av sulfidmalmer, exempelvis kopparglans (Cu_2S) och kopparkis (CuFeS_2). Kopparhalten i olika bergarter varierar mycket, lägre halter finns i exempelvis kalksten och högre halter i basalt.²⁷ I graniter och gnejser som är de mest förekommande bergarterna i Sverige finns vanligtvis låga halter koppar. I Sverige finns områden med kopparmalmer och kopparmineraliseringar där halterna av koppar i berggrunden är mycket högre men de största kända kopparresurserna finns i dag i Chile, USA och i centrala Afrika.²⁸ Även i jord varierar halten av koppar mellan olika jordar. Variationsvidden är normalt ungefär mellan 5 till 100 mg/kg gällande både bergarter och jordarter. Skillnader i de ytliga lagren kan bero på nedfall innehållande koppar men det kan också bero på att koppar utlösts i lager djupare ner i marken. Om halterna koppar överstiger 100 mg/kg Ts i torv eller humus anses platsen vara förorenad eller geologiskt påverkad²⁹

²⁷ Balsberg A-M. et al. 1981, s 2-4

²⁸ Landner, L. & Lindeström, L. 1998, s 33-34

²⁹ Balsberg, A-M. et al. 1981, s 4

1.3.6.2 Koppar – egenskaper

I ren form är koppar lätt att forma, seg och rödglänsande. Metallens förmåga att leda värme och elektricitet är stor vilket har lett till att koppar används inom många områden. I torr luft med rumstemperatur ändras inte en bit koppar men om luften är fuktig och om den innehåller koldioxid, svaveldioxid eller salter bildas ett svart och grönt skikt på kopparytan – metallen oxideras. När koppar hettas upp oxideras metallen först till koppar(I)oxid och sedan till koppar(II)oxid.³⁰

1.3.6.3 Koppar – användning

Som tidigare nämnt har koppar mycket hög värmeledningsförmåga och elektrisk ledningsförmåga. Detta, plus att metallen är lätt att arbeta med och att den har hög resistens mot många typer av korrosion, har lett till att koppar har en stor betydelse för dagens industri. Idag används koppar inom ett stort antal områden: i tråd och kablar för elöverföring, i kärl och andra husgeråd, i byggnadsmaterial och vattenledningar m.m.³¹

1.3.7 Zink

1.3.7.1 Zink – förekomst

Liksom koppar varierar zinkhalten mellan olika bergarter, sandsten har lägre halter (ca 16 mg/kg) och basalt har högre (ca 100 mg/kg). Även i jord varierar halterna mellan ca 20 – 100 mg/kg zink men i områden nära en utläppskälla kan halterna vara avsevärt högre. Om halterna överstiger 350 mg/kg i torv eller humus anses platsen vara förorenad eller geologiskt påverkad. Zink förekommer i naturen endast med oxidationstalet +2. I mark kan olika slags zinkmineral förekomma men i markvätska finns zink vanligtvis i form av en aktiv, fri katjon. I mark är zink mycket beroende av pH eftersom zinkmineralets löslighet ökar när pH sjunker.³²

1.3.7.2 Zink – egenskaper

I metallisk ren form är zink gråblå, smidig att forma och en relativt bra ledare för värme och elektricitet. Zink i ren form är inte lika spröd som zink som hanteras i handeln eftersom ”handelszink” innehåller exempelvis järn.³³

1.3.7.3 Zink – användning

Zink används framför allt som korrosionsskydd för stål men även mässingstillverkning är ett stort användningsområde. Zinkföreningar av olika slag används i många olika områden, allt från kosmetika till batterier.³⁴

³⁰ Balsberg, A-M. et al, 1981, s 1

³¹ Balsberg, A-M. et al. 1981, s 2

³² Lindeström, L. et al. 1988, s 13

³³ Lindeström, L. et al. 1988, s 9

³⁴ Lindeström, L. et al. 1988, s 11 - 13

1.3.8 Metaller i mark

Metaller kan verka både som nyttiga näringsämnen och som toxiska ämnen för växter och djur. Om en organism påverkas av en metall i allt för stor dos påverkas vanligtvis organismen negativt. Genom utsläpp till luft, vatten och mark står metallindustrin för en stor del av metallföroreningarna i miljön och eftersom metaller inte kan brytas ned till ofarliga ämnen repareras inte skadorna av naturen själv.³⁵ I marken är sammansättningen av jorden viktig för hur metaller fördelar sig i olika faser. Metalljonerna binds exempelvis lättare till jordpartiklarna i lera än i grus och sand. Ju mindre kornstorleken är i jorden desto lättare binds alltså jonerna till dem. Ökat innehåll av humus i marken ökar också möjligheten för metalljonerna att fastläggas i jorden.³⁶ Markens pH påverkar också hur metaller rör sig. I barrskogsmark, som provtagningsplatserna i denna studie består av, samlas svårslösliga metaller som bly och kvicksilver i råhumusskiktet medan lättare metaller som koppar och zink transporteras längre ner i marken eftersom de löses upp av de sura humussyrorna.³⁷ Vid lägre pH (försurning) ökar dessa metallers rörlighet ytterligare. Zink har därigenom lakats ut i så stor omfattning att zinkhalten i markens ytskikt nu är lägre än normalt i sydöstra Sverige.³⁸

De övre lagren i marken är mest känsliga för föroreningar eftersom det är där den biologiska aktiviteten är som störst. Även om effekter inte visar sig direkt kan metallerna ackumuleras och på sikt utgöra en fara för markbiologin och mikroorganismerna.³⁹ Höga nivåer av tungmetaller i marken hämmar mikroorganismernas nedbrytning av organiskt material och därmed även frigörelsen av näringsämnen⁴⁰. I början av 1980-talet visade studier i Gusum att bland annat förnaomsättningen i området nära bruket var förändrad och att stora mängder mossor och lavar dött. Detta var ett resultat av de stora mängderna koppar och zink som emitterats från bruket under årens lopp. Mossor och lavar är ofta känsliga för föroreningar i nederbörd och luft eftersom de saknar det översta skyddande lagret och ett vaxskikt som de högre växterna har, därför har de svårt att stänga ute de ämnen som deponeras på dem. De har heller inga rötter utan tar i huvudsak upp näring enbart från nederbörd och stoffpålagring. Det finns även ”metalltoleranta” mossarter där metaller kan ackumuleras liksom vissa kärlväxter, svampar och vissa organismer i markfaunan i vilka höga metallhalter har påvisats.^{41 42}

1.3.9 Bakgrundshalter i mark

Att ha kunskaper om bakgrundshalter av olika metaller i mark är en nödvändig del för att kunna avgöra huruvida ett område är förorenat eller inte och till vilken grad. Även vid bedömning av efterbehandlingsbehov behövs kunskap om bakgrundshalter. Det finns idag ett stort behov av en sådan kartläggning av halter i Sverige och övriga världen. Den halt som finns i marken idag och som är opåverkad av lokala punktkällor (ej diffusa antropogena tillskottet) är den halt som benämns som bakgrundshalt. Man använder även begreppet naturlig halt som syftar på den halt som skulle finnas i marken om området inte utsatts för någon antropogen påverkan. Vid undersökningar med få prover (5-20 st) bör man, enligt Naturvårdsverket, jämföra det högsta eller näst högsta egna mätvärdet med bakgrundshalten. Bedömningen bör göras strängare ju osäkrare undersökningen är. Uppgifter om

³⁵ Warfinge, P. 1999, s 227-228

³⁶ Naturvårdsverket, 1998, s 14

³⁷ Fredén, C. 1994. s172

³⁸ Naturvårdsverkets hemsida, 2004-05-20

³⁹ Sternbeck, J. 2000, s 10

⁴⁰ Naturvårdsverkets hemsida, 2004-05-20

⁴¹ Tyler, G. et al. 1984, s 15-17

⁴² Bengtsson, G. & Rundgren, S. 1988

bakgrundsvärden i mark i Sverige fås av Sveriges geologiska undersökning (SGU), Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) och Naturvårdsverket.⁴³

2 Metod

Den här studien av metallers spridning i mark är baserad på en markundersökning genom att data samlats in och sedan bearbetats statistiskt. Undersökningen är uppdelad i fyra delar:

- Orienterande fas
- Provtagning
- Kemisk analys
- Statistisk analys och tolkning av resultat

Uppsatsen bygger på en kvantitativ metod genom att hypoteser har ställts upp och sedan testats med hjälp av statistiska test. Hypoteserna är riktade frågeställningar från vilka slutsatser sedan dras.⁴⁴ Genom att mäta koppar- och zinkhalten och pH på jordprover från den aktuella platsen har en bedömning av markens föroreningsstillstånd genomförts och de utvalda metallernas spridning i marken studerats. Resultaten av de uppmätta koppar- och zinkhalterna har jämförts med riktvärden gällande förorenad mark från Naturvårdsverket.

2.1 Orienterande fas

I den orienterande fasen samlades data in angående tidigare studier inom området, omgivningsförhållanden och industrihistoria. För att få en bild av det förorenade området inför provtagningen besöktes även platsen. En intervju via mail utfördes också med professorn i växtekologi och systematik Germund Tyler för att få kompletterande information och tips inför undersökningen. I den orienterande fasen avgränsades antalet föroreningar som studerades till en fokusering på koppar och zink eftersom dessa metaller tidigare uppmätts i höga halter inom området. Berörda parter, d v s Valdemarsviks kommun och ägarna till marken, kontaktades för att få provtagningen godkänd och för att informeras om undersökningen.

2.2. Provtagning

2.2.1 Plats för provtagning

Eftersom tidigare studier visade höga halter av metallföroreningar inom området gjordes antagandet att marken fortfarande är starkt förorenad. Med hjälp av tidigare studier på området avgränsade vi oss till att ta prover nordväst om utsläppskällan eftersom vinden bedömdes ha fört med sig störst mängd föroreningar i denna riktning under årens lopp. De två grupperna av provgropar (härefter kallade plats 1 och plats 2) placerades så att halterna enligt tidigare studier halverades från den gruppen närmast bruket till den längst ifrån.⁴⁵ Avståndet mellan platserna var ca 310 m och avståndet från utsläppskällan till plats 1 var 100 m och från utsläppskällan till plats 2 ca 410 m (se Figur 1). Jordmånen på plats 1 bedömdes vara en övergångsjord mellan brunjord och podsol och på plats 2 en humuspodsol där blekjordsskiktet är mörkfärgat av nedtvättade humusämnen. Jorden i provgroparna på de båda platserna bestod till stor del av finkornig sand.

⁴³ Naturvårdsverket, 1997, s 8-9

⁴⁴ Svenning, C. 2000, s 69

⁴⁵ Tyler, G. et al. 1984, s 12

2.2.2 Jordprovshämtning

Jordproverna togs den 10 maj 2004. Vädret var mestadels soligt, uppehåll och en temperatur på ca 20 °C. Med hjälp av jordprovtagare valdes två platser med liknande jordmån för att göra metallhalter och pH-värden på undersökningsplatserna jämförbara. Jordprover togs med plastspade från fyra olika djup i sammanlagt åtta provgropar (fyra på varje provplats). Avståndet mellan de fyra provgroparna på varje plats var 1-1,5 m. Djupen som jordprov togs ifrån var humuslagret, 0-0,05 m, 0,2-0,3 m och 0,45-0,55 m. Djupen valdes för att få en bild över koppar- och zinkhalterna i de olika jordlagren i marken (se Figur 2 och 3). Detta eftersom metallernas spridning normalt skiljer sig i de olika skikten i marken (se avsnitt 1.3). Under jordprovtagning iaktogs försiktighet för att inte kontaminera jordproverna exempelvis genom jordras eller jordrester på spadar eller skålar. Provgroparna grävdes med spade i metall. Det yttersta skiktet i provgroparna skrapades bort med plastspade innan provtagning så inga metallrester skulle finnas kvar av metallspaden. Alla redskap som användes under provtagningen diskades mellan varje enskild provhämtning. Plasthandskar användes även för att inte kontaminera proven med händerna. Jordproven samlades upp i plastburkar med lock och förslutbara plastpåsar.

2.3 Kemisk analys

2.3.1 Atomspektrometri

För att mäta halterna av koppar och zink användes i den här studien analystekniken ICP-MS (Inductively coupled plasma-mass spectrometry). Jordproverna analyserades på det ackrediterade laboratoriet SGAB Analytica, Luleå, med analyspaket M-1c.⁴⁶ I ICP-MS finns en plasma som omvandlar grundämnena till joner som sedan förs vidare till en masspektrometer där jonerna separeras efter massa. Plasman består av argongas som flödar genom ett radiofrekvensfält och på så sätt hålls i ett delvis joniserat tillstånd och på så sätt innehåller elektriskt laddade partiklar.⁴⁷ Våglängden för den elektromagnetiska strålningen som tas upp eller släpps iväg har olika längd beroende på vilket ämne det är och intensiteten av absorptionen eller emissionen visar hur mycket av ämnet som finns i provet.⁴⁸ Halterna av koppar och zink uppmättes på jordprov tagna från humuslagret, 0-0,05 m och 0,45-0,55 m djup.

2.3.2 pH

För att mäta pH på insamlade jordprover användes 1 M kaliumklorid (KCl) som extraktionsvätska. Kaliumkloriden extraherar vätejonerna (även de som är bundna till de minsta jordpartiklarna, kolloiderna). pH-mätningen utfördes enligt ”*pH-bestämning på jordprov*” i Bergil och Bydén *Mäta försurning*.⁴⁹ Filtrering av prover gjordes enbart på lösningar med jordprov från humuslagret eftersom sedimenteringen av humusproverna inte gav ett skikt av klar vätska att mäta pH på. pH mättes på jordprov tagna från humuslagret, 0-0,05 m, 0,2-0,3 m och 0,45-0,55 m djup.

2.4 Statistisk analys

⁴⁶ Analyticas hemsida 1, 2004-05-05

⁴⁷ Analyticas hemsida 2, 2004-05-05

⁴⁸ Fifield, F.W. & Haines, P.J. 1997, s 121

⁴⁹ Bergil, C. & Bydén, S. 1995, s 50

2.4.1 Beskrivande statistik och Mann-Whitney test

För att åskådliggöra resultatet har vi använt oss av beskrivande statistik i dataprogrammet SPSS 11.0. I den beskrivande statistiken används medelvärde istället för median eftersom provantalet är få och därför ger medelvärdet en mer rättvis bild av den genomsnittliga föroreningshalten i markens olika lager. För att jämföra två oberoende grupper används i denna studie det icke-parametriska Mann-Whitney testet eftersom testet jämför data som inte är normalfördelad. Ett icke-parametriskt test användes eftersom insamlad data inte visade sig vara normalfördelad i den beskrivande statistiken. Testet rangordnar data och beräknar ett p-värde utifrån dessa rangordnade data istället för de faktiska datavärdena.⁵⁰ Testet är utfört i dataprogrammet SPSS 11.0 och signifikansnivån är vald i testet till $p = 0,05$. H_0 (nollhypotesen) är: det finns ingen skillnad mellan platserna och H_1 (alternativhypotesen) är: det finns en skillnad mellan platserna.

2.5 Bakgrundshalt och riktvärden

Som bakgrundsvärden används i den här studien Naturvårdsverkets jämförvärden för halter i förorenad mark (se Tabell 1). Jämförvärden är uppskattningar av de halter som hade rått inom det undersökta området om det inte varit förorenat av någon lokal punktkälla. Jämförvärdena vill alltså visa de aktuella ämnenas naturliga förekomst plus eventuella tillskott orsakade av storskalig förorenings-spridning. Jämförvärdena har jämförts med det högsta mätvärdet i undersökningen eftersom det är en undersökning med få prover. Genom att se avvikelser från jämförvärdet för det förorenade området (uppmätt värde/jämförvärde) kan en bedömning av föroreningsgraden genomföras och huruvida platsen är påverkad av en punktkälla eller inte avgöras. Om det uppmätta värdet genom jämförvärdet blir större än 1 är platsen troligtvis påverkad av en punktkälla.⁵¹

Tabell 1: Naturvårdsverkets jämförvärden för halter i förorenad mark. Angivna jämförvärden utgör 90-percentiler av halter uppmätta vid SGU:s markgeokemiska kartering samt vid Naturvårdsverkets jordprovtagning i tätortsmiljö.⁵²

Föroreningsämne	Halt (mg/kg Ts)
Koppar	25
Zink	70

För att bedöma tillståndet i marken och vad de uppmätta metallhalterna kan leda till har Naturvårdsverkets riktvärden för förorenad mark använts (se Tabell 2). Riktvärdena är nivåer som inte överskrids utan en risk för hälso- och/eller miljökador och ju mer dessa riktvärden överskrids desto allvarligare anses det förorenade området vara (se Tabell 3).⁵³ Även här används det uppmätta max-värdet vid jämförelse.

Tabell 2: Naturvårdsverkets riktvärden för förorenad mark⁵⁴

Föroreningsämne	Halt (mg/kg Ts)
Koppar	100
Zink	350

⁵⁰ Wheater, C.P & Cook, P.A. 2002, s 75

⁵¹ Naturvårdsverkets hemsida, 2004-05-20

⁵² Ibid

⁵³ Naturvårdsverkets hemsida, 2004-05-20

⁵⁴ Ibid

Tabell 3: Naturvårdsverkets principer för bedömning av tillstånd⁵⁵

Tillstånd	Halt i förhållande till riktvärde
Mindre allvarligt	<riktvärdet
Måttligt allvarligt	1-3 ggr riktvärdet
Allvarligt	3-10 ggr riktvärdet
Mycket allvarligt	>10 ggr riktvärdet

3 Resultat

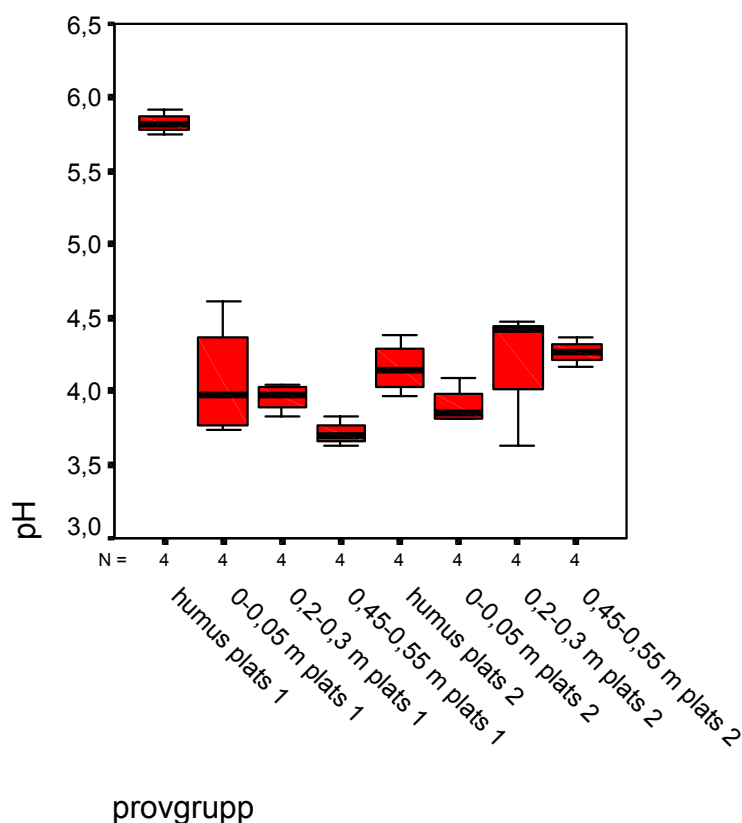
Vid provtagning observerades ett markant tjockt förnalager på plats 1. Lagret på plats 1 uppmättes till ca 15 cm och på plats 2 till ca 5 cm.

3.1 Beskrivande statistik och Mann-Whitney test

3.1.1 pH

I Figur 4 visas pH-värdena för de olika jordprovsdjupen. Diagrammet visar högre pH-värden i humuslagret nära anläggningen (plats 1) än i övriga provtagningslager (se Figur 4).

⁵⁵ Ibid



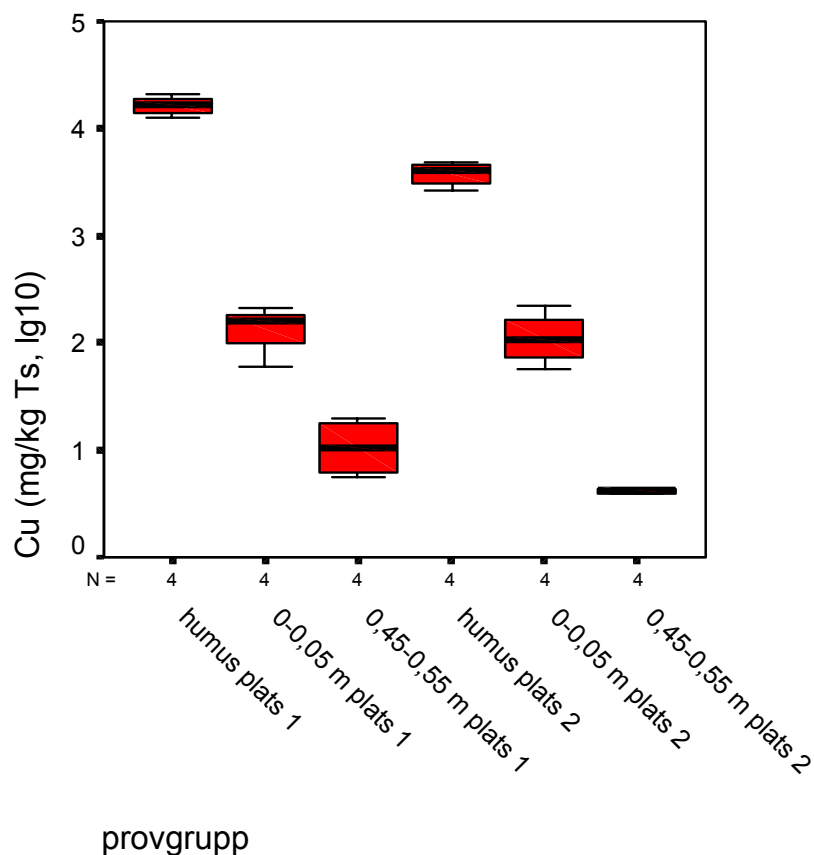
Figur 4: pH-värden för de olika jordprovsgrupperna. Plats 1= ca 100 m från Gräsdalenanläggningen och plats 2= ca 410 m från Gräsdalenanläggningen, Gusum. N= antal prover. Den horisontella linjen i den röda boxen visar medianen, den röda boxen utgör de värden som ligger inom kvartilavståndet d v s inom 50% av fördelningen. De svarta ”svansarna” visar max- och min-värden.

3.1.2 Koppar

I Figur 5 visas kopparhalterna för de två platserna i ett boxplot-diagram. Diagrammet visar ett högre max-värde för koppar på plats 1 (21 100 mg/kg Ts) än på plats 2 (4810 mg/kg Ts). Medelvärdena för kopparhalterna i de olika provdjupen visar att kopparhalten i humuslagret närmast bruket (plats 1) är betydligt högre än kopparhalten i samma lager längre ifrån bruket (plats 2). Kopparhalterna i de övriga jorddjupen är något högre för plats 1 än plats 2. (Se Tabell 4).

Tabell 4: Medelvärde för kopparhalter i mg/kg Ts för provdjup och plats. Plats 1= ca 100 m från Gräsdalenanläggningen och plats 2= ca 410 m från Gräsdalenanläggningen, Gusum.

Djup	Plats	Medelvärde kopparhalt (mg/kg Ts)
Humuslagret	1	16675
0-0,05	1	146
0,45-0,55	1	12
Humuslagret	2	3868
0-0,05	2	126
0,45-0,55	2	4



Figur 5: Kopparhalterna för de olika jorddjupsgrupperna i mg/kg Ts med logaritmerad y-axel. Plats 1= ca 100 m från Gräsdalenanläggningen och plats 2= ca 410 m från Gräsdalenanläggningen, Gusum. För förklaring se Figur 4.

Mann-Whitney test för varje jorddjup visade att det finns signifikanta skillnader i kopparhalt mellan plats 1 och plats 2 i humuslagret och i det största provdjupet (0,45-0,55 m) eftersom p-värdena var mindre än 0,05. Samma test visade att det inte finns en signifikant skillnad mellan plats 1 och plats 2 med avseende för lagret på 0-0,05 m djup. P-värdena för humuslagret och 0,45-0,55 m var 0,03 och p-värdet för 0-0,05 m var 0,67 (se Tabell 5).

Tabell 5: Resultat från Mann-Whitney test för kopparhalterna i de olika jorddjupen, plats 1 (ca 100 m från Gräsdalenanläggningen) och plats 2 (ca 410 m från Gräsdalenanläggningen), Gusum. P-värde = <0,05 visar att nollhypotesen kan förkastas och att det finns en skillnad mellan platserna.

Jorddjup	P-värde
Humus	0,03
0-0,05 m	0,69
0,45-0,55 m	0,03

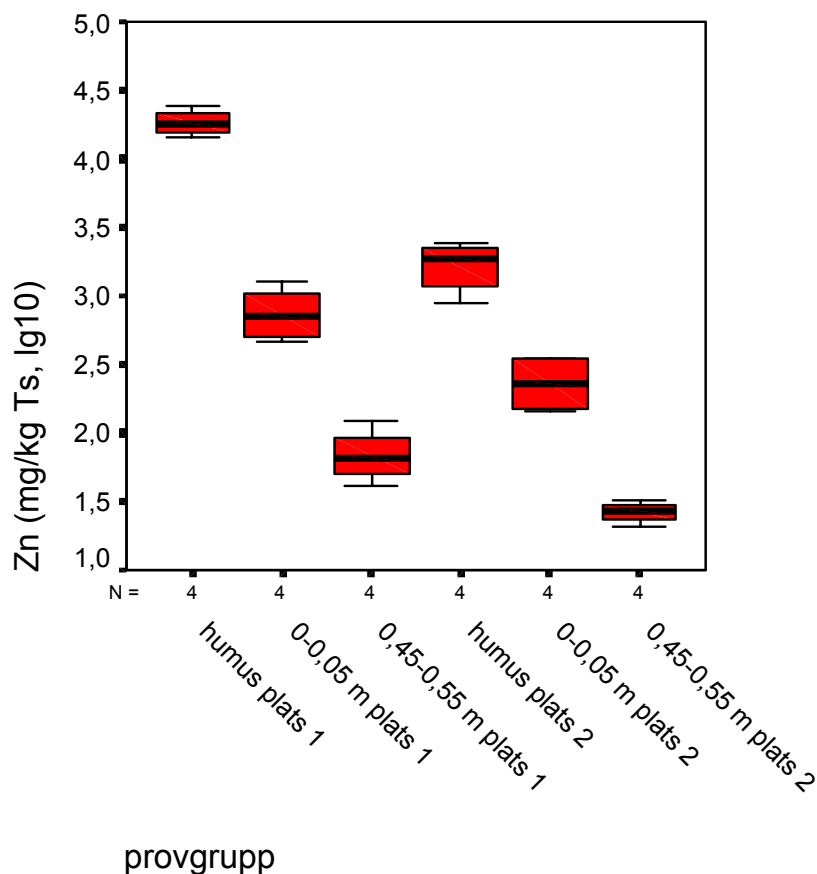
3.1.3 Zink

I Figur 6 visas zinkhalterna för de två platserna i ett boxplot-diagram. Diagrammet visar ett högre max-värde för zink på plats 1 (24 700 mg/kg Ts) än plats 2 (2410 mg/kg Ts). Medelvärdena för zinkhalterna i de olika provdjupen visas i Tabell 6. Kopparhalten i

humuslagret närmast bruket (plats 1) är betydligt högre än zinkhalten i samma lager längre ifrån bruket (plats 2). Zinkhalterna i de övriga jorddjupen är enligt samma tabell högre för plats 1 än plats 2.

Tabell 6: Medelvärde för zinkhalter i mg/kg Ts för provdjup och plats. Plats 1= ca 100 m från Gräsdalenanläggningen och plats 2= ca 410 m från Gräsdalenanläggningen, Gusum

Djup	Plats	Medelvärde zinkhalt (mg/kg Ts)
Humuslagret	1	18625
0-0,05	1	796
0,45-0,55	1	73
Humuslagret	2	1761
0-0,05	2	246
0,45-0,55	2	27



Figur 6: Zinkhalterna för de olika jordprovsdjupen i mg/kg Ts med logaritmerad y-axel. Plats 1= ca 100 m från Gräsdalenanläggningen och plats 2= ca 410 m från Gräsdalenanläggningen, Gusum. För förklaring se Figur 4.

Mann-Whitney test för varje jorddjup visade att det finns signifikanta skillnader i zinkhalt mellan plats 1 och plats 2 eftersom p-värdena var mindre än 0,05. P-värdena för samtliga lager var 0,03. (Se Tabell 7)

Tabell 7: Resultat från Mann-Whitney test för zinkhalterna i de olika jorddjupen, plats 1 (ca 100 m från Gräsdalenanläggningen) och plats 2 (ca 410 m från Gräsdalenanläggningen), Gusum. P-värde = <0,05 visar att nollhypotesen kan förkastas och att det finns en skillnad mellan platserna.

Jorddjup	p-värde
Humuslager	0,03
0-0,05 m	0,03
0,45-0,55 m	0,03

3.2 Jämförelse med jämförvärden och riktvärden

Genom att jämföra de uppmätta halternas max-värden för varje plats provtagningslager med Naturvårdsverkets jämförvärden för halter i förorenad mark (se Tabell 1) ser vi att mineraljorden, 0,45-0,55 m ned, är opåverkad av kopparutsläpp. För koppar understiger max-värdena för detta lager jämförvärdet medan zinkhalterna understiger jämförvärdet på plats 2 men ej på plats 1 där det uppmätta max-värdet överstiger jämförvärdet med ca 40 mg/kg Ts (se Figur 5 och 6). Denna avvikelse från jämförvärdet anser vi inte vara allvarlig eftersom den enligt Naturvårdsverket skulle bedömas som en avvikelse ej påverkad eller lite påverkad av punktkälla. De övriga provtagningslagrens max-värden för koppar och zink överstiger alla Naturvårdsverkets jämförvärden så pass mycket att ingen tvekan råder om att jorden är påverkad av en punktkälla, i detta fall Gräsdalenanläggningen i Gusum.⁵⁶

Hur pass allvarlig föroreningen är i området nära Gräsdalenanläggningen i Gusum har vi bedömt genom att jämföra de uppmätta koppar- och zinkhalternas max-värden med Naturvårdsverkets riktvärden för förorenad mark (se Tabell 2). På provtagningsplats 1, 100 m från Gräsdalenanläggningen, bedöms tillståndet som mindre allvarligt i avseende för både koppar och zink på 0,45-0,55 m djup. På 0-0,05 m djup på samma plats bedöms föroreningstillståndet av zink som allvarligt och föroreningarna av koppar som måttligt allvarliga. Halterna av koppar och zink i humuslagret på plats 1 klassas som mycket allvarliga eftersom de båda överstiger riktvärdena för förorenad mark med mer än 10 gånger riktvärdet.⁵⁷

4 Diskussion

pH-värdet visade sig, i likhet med tidigare studier, vara högre i humuslagret närmare bruket än i humuslagret längre ifrån. pH-värdet i humuslagret på plats 1 uppmättes till mellan ca 5,5 och 6,0 medan pH-värdet i humuslagret på plats 2 uppmättes till mellan ca 3,9 och 4,4 (se Figur 4). Ett högre pH på plats 2 förväntades eftersom jordmånen på plats 2 klassades som en övergångsjord mellan brunjord och podsol. Brunjordar har normalt en eller två enheter högre pH än podsoljordar⁵⁸. Normalt stiger också pH-värdet med djupet i marken i podsolliknande jordar⁵⁹ men enligt Figur 4 har humuslagret högre pH än de tre andra provtagningsdjupen på plats 1. Detta är troligtvis ett resultat av att koppar- och zinkhalterna är högre i humuslagret på plats 1 än på plats 2. Den biologiska aktiviteten i marken går enligt Tyler långsammare vid

⁵⁶ Naturvårdsverkets hemsida, 2004-05-20

⁵⁷ Ibid

⁵⁸ Göteborgs Universitets hemsida. Zoologiska institutionen. 2004-05-26

⁵⁹ Ibid

höga metallhalter än vid låga. Biologisk aktivitet leder ofta till avgivning av protoner och om denna aktivitet avstannar, avstannar också protonavgivandet och pH ökar. Detta kan också bero på att nedfallet av sura ämnen varit betydligt lägre närmre bruket än nedfallet metallpartiklar, metalloxiderna har neutraliserande egenskaper som leder till att basmättnadsgraden höjs och ger biologiska effekter på den naturliga syraproduktionen i marken genom att exempelvis förnämnedbrytningen nedsätts.⁶⁰ Att förnämnedbrytningen är nedsatt närmre bruket är tydligt eftersom förnalagret på plats 1 uppmättes till ca 15 cm och till ca 5 cm på plats 2.

Det kraftiga förnalagret som i likhet med tidigare studier⁶¹ observerades på plats 1 i kombination med bl a det högre pH-värdet på plats 1 har antagligen hjälpt till att binda metallerna och att minska utlakningen nedåt.⁶² ⁶³ Det kan tänkas att en större andel av metallerna på plats 2, trots den lägre föroreningshalten, har haft möjlighet att tränga ned i marken p g a av tunnare skikt organiskt material och lägre pH. Hade halterna av koppar varit lika höga på plats 2 som på plats 1 så hade antagligen även denna plats utvecklat ett tjockare skikt organiskt material och ett högre pH som hade bidragit till att spridningen nedåt i marken inte ökat nämnvärt. Det är ett rimligt antagande att spridningstakten idag är högre på plats 2 än plats 1. Detta beroende på att plats 2 har en högre biologisk aktivitet som ökar rörligheten av koppar och framförallt zink. Det är möjligt att spridning av metallerna kommer att förbli högre på denna plats då halterna inte är tillräckligt höga för att den biologiska aktiviteten skall minska kraftigt och därmed också spridningen. Denna plats kan då komma att utgöra en högre risk. På plats 1 som ligger närmast bruket har den biologiska aktiviteten minskat kraftigt pga. av den höga metallbelastningen och därmed är också den nuvarande spridningen av koppar och zink nedåt i markprofilen lägre.

Naturvårdsverkets jämförvärden ger ingen exakt bedömning och utgörs av metallhalter i tätortsmiljö där metallhalter sannolikt är högre än i skogsmark. En mer exakt bedömning av hur höga halterna är skulle man kunna få genom att använda bakgrundshalter från det aktuella området. Dock är marken här så kraftigt förorenad att haltskillnaden mellan lokala bakgrundsvärden och Naturvårdsverkets jämförvärden inte skulle spela någon större roll för resultatet.

På provtagningsplats 2, ca 410 m från Gräsdalenanläggningen, bedöms tillståndet i marken på 0,45-0,55 m djup även här som mindre allvarligt. På 0-0,05 m bedöms tillståndet som måttligt allvarligt. Max-värdet för zink (352 mg/kg Ts) går precis över riktvärdet (350 mg/kg Ts) och max-värdet för koppar (226 mg/kg Ts) är drygt dubbelt så högt som riktvärdet (100 mg/kg Ts). I humuslagret på plats 2 är tillståndet liksom på plats 1 mycket allvarligt gällande kopparföroreningar. Det uppmätta max-värdet är ca 48 gånger högre än riktvärdet. Halten zink i humuslagret bedöms till skillnad från plats 1 som allvarlig eftersom maxhalten är ca 7 gånger högre än riktvärdet.⁶⁴

Resultatet tyder på att föroreningshaltens betydelse för spridning nedåt i markprofilen är liten. I humusprovet på plats 1 finner vi ett medelvärde av kopparhalten på 16 675 mg/kg Ts och i underliggande prov på 0-0,05 m djup finns en medelvärdeshalt på 145,92 mg/kg Ts. Detta

⁶⁰ Tyler, G. Intervju via mail. 2004

⁶¹ Bengtsson, G. & Rundgren, S.. 1988,

⁶² Naturvårdsverket, rapport 4310. 1998, s 14

⁶³ Fredén, C. 1994. s 172

⁶⁴ Ibid

betyder att halten i humuslagret är ca 115 ggr högre än kopparhalten i det undre lagret (0-0,05 m). När det gäller provplats 2 så har humusproverna en medelvärdeshalt på 3 867 mg/kg Ts och 0-0,05 m 125 mg/kg Ts. Humuslagret har alltså en halt 31 ggr högre än lagret 0-0,05 m ned. Kopparhalterna på de båda platserna sjunker alltså kraftigt ned till en likartad nivå redan vid 0,05 m djup trots att plats 1 har över 4ggr högre halter i humuslagret. Kopparhalterna var höga på plats 1 i samtliga humusprov och på 0,45-0,55 m, dock ingen signifikant skillnad på 0-0,05 m mellan de båda platserna. Vi bedömer att en del av förklaringen till likheten i halt på de båda provdjupen skulle kunna vara det blekjordskikt, som finns mer eller mindre uttalat i podsoljordar och som lakar ur metallerna, i kombination med det organiska lagrets förmåga att hårt binda metallerna och effektivt förhindra en spridning nedåt.⁶⁵

När det gäller zink på de båda provtagningsplatserna så kan man även här se att det mesta stannar i den organiska delen och humusskiktet. På plats 1 är medelvärdet av zinkhalten i humuslagret ca 23 ggr högre än i 0-0,05 m-lagret och 250 ggr högre än i 0,45-0,55 m-lagret. På plats 2 är medelvärdet i humuslagret 7 ggr högre än i 0-0,05 m-lagret och ca 65 ggr högre än i 0,45-0,55 m. Liksom kopparhalterna sjunker zinkhalterna till ungefär samma nivå i provdjupen 0-0,05 m och 0,45-0,55 m för de två platserna trots en stor skillnad mellan platsernas zinkhalter i humuslagret. Detta resultat stämmer bra överens med tidigare studier inom området där metallhalterna visat sig fastläggs i det översta lagret i marken, humuslagret.⁶⁶

Mann-Whitney testen utförda för varje jorddjup för sig visade i 5 av 6 fall att det finns en signifikant skillnad mellan provplatserna. Det var bara kopparhalten i lagret 0-0,05 m ned i marken som inte visade en signifikant skillnad mellan platserna, och detta stödjer även boxplot-diagrammet över detta (Figur 5). Med detta resultat påstår vi att det finns en skillnad mellan platserna: plats 1, närmast bruket, är mer förorenad av koppar- och zinkutsläpp än plats 2.

De båda platserna består till stor del av finkornig sand som är mer genomsläpplig än lerjordar.⁶⁷ Det kan finnas en risk att metallerna tränger djupare ned i dessa jordar och ned i grundvattnet om tillräckligt med tid ges. Detta är extra intressant då en kommunal vattentäkt är belägen nära den ena provpunkten. Metallerna kan även vid vissa förhållanden transporteras ut i närliggande vattendrag och sjöar och tas upp av fisk och andra organismer. Metallerna tas även upp i växter, svampar och insekter i området⁶⁸ och det är svårt att sia om vad de långvariga effekterna av de höga metallhalterna kan bli. Skador på det mikrobiologiska livet konstaterades redan i de tidiga undersökningarna av området och kvarstår än idag.⁶⁹ Risker finns för kringboende som kan riskera att få i sig höga halter metaller genom föda som växer eller odlas inom området, dock torde detta vara allmänt känt i omgivningarna, risken kvarstår dock och det kan tänkas att boende ignorerar riskerna allt eftersom tiden går. Halterna har varit förhållandevis stabila i de olika skikten under 20 år p g a av att de är starkt bundna till den mer organiska övre delen av marken och har ej trängt djupt ner i markprofilen.⁷⁰ Eftersom utsläppen från Gräsdalenanläggningen har minskat och är idag

⁶⁵ Naturvårdsverket, 1998, s 14

⁶⁶ Tyler, G. et al. 1984, s 14

⁶⁷ Naturvårdsverket, 1998, s 14

⁶⁸ Bengtsson, G. & Rundgren, S. 1988

⁶⁹ Tyler, G. et al. 1984, s 15-49

⁷⁰ Ibid

närmast obefintliga i jämförelse med de tidigare utsläpp som orsakat föroreningen finns det ingen anledning att tro att det skulle förändras under en snar framtid förutsatt att markanvändningen förblir densamma⁷¹. Resultaten pekar således på att det inte föreligger en akut risk för spridning av metallerna i området längre ned i markprofilen eller till grundvattnet även om marken är väldigt kraftigt förorenad.

5 Slutsats

Syftet med denna studie var att se hur metaller sprider sig nedåt i marken i förorenade områden. För att kunna jämföra detta har vi mätt föroreningsnivån på två platser med olika avstånd från utsläppskällan. Resultaten visar att spridningen av metaller i markprofilen sker i blygsam skala oberoende av metallhalt i översta lagren, detta gäller dock endast där förutsättningarna är likartade som i det studerade området.

Vi ville också undersöka föroreningsnivån i området nära Gräsdalenanläggningen i Gusum. Genom att jämföra uppmätta koppar- och zinkhalter med naturvårdsverkets riktvärden för förorenad mark bedömer vi tillståndet som allvarligt till mycket allvarligt för båda platserna enligt Naturvårdsverkets riktvärden för förorenad mark. Samtidigt ser vi i nuläget ingen anledning till en eventuell sanering av området eftersom metallföroreningarna inte har spridit sig i stora mängder ned i marken. Vi ser ingen akut risk i att metallföroreningarna med rådande förutsättningar och nuvarande markanvändning skulle kunna spridas vidare till den närliggande vattentäkten eftersom halterna koppar och zink visat sig vara hårt bundna i humuslagret i marken.

⁷¹ Boliden Nordic Brass AB. Miljörapport, 2003

Referenser

Tryckta källor:

Balsberg, A-M., Lithner, G., Tyler, G. (1981) *Koppar i miljön. PM 1424*. Naturvårdsverkets förlag, Solna.

Bydén, S. & Bergil, C. (1995) *Mäta försurning – undersökning av mark och vatten*. Andra upplagan, Institutionen för tillämpad miljövetenskap vid Göteborgs Universitet, Göteborg.

Fifield, F.W. & Haines, P.J. (1997) *Environmental analytical chemistry*. Blackie Academic and Professional, London.

Forsberg, K. (1953) *Gusums bruks historia 1653-1953*. Nordisk rotogravyr, Stockholm.

Fredén, C. (1994) *Berg och Jord.. Sveriges Nationalatlas*. LM Kartor, Kiruna.

Golder grundteknik AB. (2000) *Miljöteknisk markundersökning av Bolidens anläggning i Gräsdalens industriområde, Gusum*. Valdemarsviks kommun.

Landner, L. & Lindeström, L. (1998) *Koppar i samhälle och miljö : en faktaredovisning av flöden, mängder och effekter i Sverige*. Miljöforskargruppen AB, Frykstad.

Lindeström, L. & Monefelt, C. (1990) *En beskrivning av påverkan på omgivningarna till koppar- och mässingverket i Gusum*. Miljöforskargruppen AB, Frykstad.

Lindeström, L., Nordén, U., Tyler, G. (1988) *Zink i miljön. Rapport 3429*. Naturvårdsverkets förlag, Stockholm.

Länsstyrelsen i Västerbottens län. (2002) *Rapport 248-12595/02:Regionalt program för arbete med efterbehandling av förorenade områden, Västerbottens län..*

Naturvårdsverket (1997) *Rapport 4640, Bakgrundshalter i mark - Halter av vissa metaller och organiska ämnen i jord i tätort och på landsbygd..* Naturvårdsverkets förlag, Stockholm.

Naturvårdsverket (1998) *Rapport 4310, Vägledning för miljötekniska markundersökningar, del 1: Strategi*. Naturvårdsverkets förlag, Stockholm.

Naturvårdsverket (1999) *Rapport 4918, Metodik för inventering av förorenade områden*. Naturvårdsverkets förlag, Stockholm.

Persson, P-O. & Nilsson, L. (1998) *Kompendium i miljöskydd, del 2 – Miljöskyddsteknik*. Norstedts tryckeri AB, Stockholm.

Sternbeck, J. (2000) *Uppträdande och effekter av koppar i vatten och mark*. IVL rapport B1349. IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Stockholm.

Svenning, C. (2000) *Metodboken – Samhällsvetenskaplig metod och metodutveckling. Klassiska och nya metoder i IT-samhället*. Lorentz förlag, Eslöv.

Tyler, G., Bengtsson, G., Folkesson, L., Gunnarsson, T., Rundgren, S., Rühling, Å., Söderström, B. (1984) *Metallförorening i skogsmark – biologiska effekter PM 1910* Naturvårdsverkets förlag, Solna.

Warfinge, P.(1999) *Miljökemi – Miljövetenskap i biogeokemiskt perspektiv*. KFS, Lund.

Wheater, C.P & Cook, P.A. (2002) *Using statistics to understand the environment*. Routledge Introductions to Environment series, London.

Tidskriftskällor:

Bengtsson, G. & Rundgren, S. (1984) *Ground-Living invertebrates in Metal-Polluted Forest Soils*. *Ambio*, vol. 13, no.1, 1984, s 29-33. Serix magasinet / SER 16959.

Bengtsson, G. & Rundgren, S. (1988) *The gusum case. A brass mill and the distribution of soil collembola* *Canadian journal of Zoology* vol 66, 1988. s 1518-1526.

Tyler, G. (1984) *The impact of heavy metal pollution on forests. A case study of Gusum Sweden*. *Ambio* 13, 1984. s 18-24.

Internetkällor:

Analyticas hemsida 1, 2004-05-05. Senast uppdaterad: 040517
http://www.analytica.se/hem2001/sv/analyse/miljo/jord_grund.asp

Analyticas hemsida 2, 2004-05-05. Senast uppdaterad: 040517
http://www.analytica.se/hem2001/sv/company/teknik_icpqms.asp

Göteborgs Universitets hemsida, Zoologiska institutionen, 2004-05-26. Senast uppdaterad: 2003-09-16
http://vivaldi.zool.gu.se/baskurs_ekologi_distans/Terrester_Ekologi/Marklara.htm

Institutet för miljömedicin, 2004-05-24. Senast uppdaterad: 030708
<http://www.imm.ki.se/national/Mark.html>

MarkInfo, Statens Lantbruksuniversitet, 2004-04-29. Senast uppdaterad: 2003-05-17
<http://www-markinfo.slu.se/sve/mark/mark.html>

Naturvårdsverkets hemsida, 04-05-20. Senast granskad: 021003
<http://www.naturvardsverket.se>

Övrigt:

Intervju via mail: Professor Germund Tyler, Lunds universitet. 040425

Boliden Nordic Brass AB. Miljörapport, 2003. Länsstyrelsen i Östergötlands län.