

# Föroreningsspridning via ledningsgravar

en fältstudie på Köpmanholmens industriområde

---

Lars Gardfors

## **Referat**

### **Förorenings-spridning via ledningsgravar, en fältstudie på Köpmanholmens industriområde**

*Lars Gardfors*

Rörgravar innehåller ofta grövre material med högre hydraulisk konduktivitet än omgivande jord och kan därför tjäna som spridningsvägar från förorenade områden. Avloppsvatten från fabriksområden kan också misstänkas ge upphov till föroreningar i rörgravar via läckage från avloppsrören.

Detta arbete har haft som mål att utreda föroreningssituationen i ledningsgravar och avloppsledningar på Köpmanholmens industriområde, ca 2 mil söder om Örnsköldsvik. För att bedöma ledningsgravarnas potential att sprida föroreningar har också hydrologiska beräkningar gjorts.

Läckage i någon större omfattning från avloppsledningar har inte kunnat påvisas. Detta gäller både betongledningar och den trätub som har utgjort fabriksavlopp på området. Inte heller har någon förorenings-spridning kunnat påvisas i ledningsgravarnas längdriktning. Den största risken för spridning av föroreningar verkar istället vara via infiltration till avloppsledningarna. Detta ger en snabb transport från förorenade områden till recipient eller reningsverk.

Nyckelord: ledningsgravar, förorenings-spridning, Köpmanholmen, avloppsledningar, sanering

## **Abstract**

### **Transport of pollutants via sewer trenches, a field study in the industrial area of Köpmanholmen**

*Lars Gardfors*

Sewer trenches usually contain material with a higher hydraulic conductivity than the adjacent soil. Thus they can serve as paths of preferential flow in a polluted area. Wastewater from factories can also leak from wastewater pipes and pollute the soil in the sewer trenches.

The purpose of this project was to investigate pollutions in sewer trenches and in sewer pipes in the industrial area of Köpmanholmen, 20 km south of Örnsköldsvik in the north of Sweden. To make an estimation concerning the potential of transport of pollutions in sewer trenches, hydrological calculations were performed.

Leakage to any greater extent did not seem to be a problem in the area. This is the case both for the concrete and the wooden pipes that have served as factory wastewater pipes. A large transport in the lengthwise direction of the sewer trenches was not shown to exist. Instead the greatest risk of transport from a polluted area seems to come from infiltration into wastewater pipes, where the pollutants can flow readily to the recipient or wastewater treatment plant.

Key words: sewer, trenches, transport, pollutants, Köpmanholmen, wastewater, pipes, remediation

Department of earth sciences  
Uppsala University  
Villavägen 16  
SE-752 36 Uppsala  
Sweden

ISSN 1401-5765

## **Förord**

Detta är ett examensarbete på 20 p inom civilingenjörsprogrammet, Miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet. Arbetet har utförts inom ramen för Projekt Köpmanholmen, som är ett projekt för att sanera och utveckla området där den före detta massafabriken i Köpmanholmen, söder om Örnsköldsvik, har funnits. Saneringsprojektet finansieras av Naturvårdsverket, med Örnsköldsviks kommun som medfinansiär.

Handledare har Hans Bergman på AB Bothniakonsult varit. AB Bothniakonsult ingår i Hifabgruppen som har utgjort projektledning för saneringen. Ämnesgranskare har Auli Niemi, univ lekt i grundvattenmodellering på Institutionen för geovetenskaper, luft- och vattenlära varit. Allan Rodhe, professor i hydrologi vid samma institution har examinerat arbetet.

<b>1</b>	<b>INLEDNING .....</b>	<b>5</b>
1.1	LEDNINGSGRAVAR .....	5
1.2	TRANSPORT AV FÖRORENINGAR I LEDNINGSGRAVAR .....	6
1.3	LÄCKAGE FRÅN AVLOPPSLEDNINGAR .....	6
1.4	INFILTRATION .....	7
<b>2</b>	<b>BAKGRUND FÖR DET UNDERSÖKTA OMRÅDET .....</b>	<b>7</b>
2.1	GEOGRAFISKT LÄGE .....	8
2.2	HISTORIK .....	8
2.3	AVLOPPSNÄTET .....	9
2.3.1	<i>Utsläpp från verksamheterna i området till avloppsnätet .....</i>	<i>9</i>
2.3.2	<i>Historik avloppsanläggningen .....</i>	<i>10</i>
2.3.3	<i>Översikt av avloppssystemet .....</i>	<i>10</i>
2.4	FÖRORENINGSSITUATIONEN I MARKEN .....	11
2.5	OMRÅDETS ÅTGÄRDSMÅL OCH RIKTVÄRDEN .....	12
2.6	TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR .....	13
2.6.1	<i>Kviksilver i och kring trätuben .....</i>	<i>13</i>
2.6.2	<i>Tidigare undersökningar av terpentin kring trätuben .....</i>	<i>14</i>
2.6.3	<i>Tidigare undersökningar av avloppsvatten .....</i>	<i>15</i>
<b>3</b>	<b>METOD .....</b>	<b>16</b>
3.1	KARTLÄGGNING AV LEDNINGAR .....	16
3.2	UNDERSÖKTA LEDNINGSGRAVAR .....	16
3.3	FÖRORENINGSSITUATION I SAMBAND MED LEDNINGAR OCH LEDNINGSGRAVAR .....	17
3.3.1	<i>Provtagning av sediment i ledningarna .....</i>	<i>17</i>
3.3.2	<i>Provtagningar av avloppsvatten .....</i>	<i>17</i>
3.3.3	<i>Provtagning av jord ledningsgravarna .....</i>	<i>18</i>
3.3.4	<i>Provtagning av grundvatten .....</i>	<i>19</i>
3.4	LEDNINGSGRAVARNAS GEOHYDRAULISKA EGENSKAPER .....	20
3.4.1	<i>Texturanalys .....</i>	<i>20</i>
3.4.2	<i>Hydrometern metoden .....</i>	<i>20</i>
3.4.3	<i>Utförande av hydrometerförsöken .....</i>	<i>21</i>
3.4.4	<i>Statistisk metod för att skilja på olika jordarter .....</i>	<i>22</i>
3.4.5	<i>Statistiska beräkningar .....</i>	<i>23</i>
3.4.6	<i>Beräkning av hydraulisk konduktivitet .....</i>	<i>23</i>
3.4.7	<i>Bestämning av vattenflödet i ledningsgravarna .....</i>	<i>25</i>
3.5	LEDNINGARNAS KVALITET .....	26
3.5.1	<i>Filmning av ledningar .....</i>	<i>26</i>
<b>4</b>	<b>RESULTAT .....</b>	<b>26</b>
4.1	FÖRORENINGSSITUATION I SAMBAND MED LEDNINGAR OCH LEDNINGSGRAVAR .....	26
4.1.1	<i>Sedimentundersökning i brunnarna .....</i>	<i>26</i>
4.1.2	<i>Sanitära spillvattenledningarna .....</i>	<i>27</i>
4.1.3	<i>Dagvattenledningarna .....</i>	<i>27</i>
4.1.4	<i>Fiberfattigt avlopp .....</i>	<i>27</i>
4.1.5	<i>Fiberavlopp .....</i>	<i>27</i>
4.1.6	<i>Föroreningar i avloppsvatten .....</i>	<i>29</i>
4.1.7	<i>Föroreningar i ledningsgravarnas jord .....</i>	<i>30</i>
4.1.8	<i>Föroreningar i grundvatten .....</i>	<i>31</i>
4.2	LEDNINGSGRAVARNAS GEOHYDRAULISKA EGENSKAPER .....	32
4.2.1	<i>Partikelstorleksfördelning i och omkring ledningsgravar .....</i>	<i>32</i>
4.2.2	<i>Statistisk metod för att skilja på jordarter .....</i>	<i>33</i>
4.2.3	<i>Beräkning av hydraulisk konduktivitet .....</i>	<i>34</i>
4.2.4	<i>Vattentransport i ledningsgravarna .....</i>	<i>35</i>
4.2.5	<i>Inflöde till graven .....</i>	<i>35</i>
4.2.6	<i>Infiltration till avloppsrören .....</i>	<i>36</i>
4.3	OBSERVATIONER RÖRANDE TRÄLEDNINGAR .....	37
4.3.1	<i>Fyllning kring träledningarna .....</i>	<i>37</i>
<b>5</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>37</b>

<b>6</b>	<b>REFERENSLISTA .....</b>	<b>40</b>
6.1	MUNTliga .....	40
6.2	LITTERATUR.....	40
6.3	INTERNET .....	41
6.4	ÖVRIGT .....	41

# 1 Inledning

Ledningsgravar kan fungera som transportvägar för vatten och föroreningar inom förorenade områden. Detta beror på att de ofta är fyllda med ett grovt material som har en hög hydraulisk konduktivitet. Ett känt fenomen är dessutom att vatten infiltreras i rörledningar genom sprickor och skarvar. Detta kan leda till en mycket snabb borttransport av föroreningar till recipient eller reningsanläggningar.

Läckage från rörledningar genom sprickor och skarvar kan göra att omkringliggande jord förorenas. Speciellt gäller detta fabriksavlopp där det förekommer höga flöden och ofta kraftigt förorenat avloppsvatten.

Detta arbete syftar till att undersöka föroreningssituationen i ledningsgravarna och i ledningssystemet inom Köpmanholmens industriområde ca 2 mil söder om Örnsköldsvik. På området har det funnits industriverksamhet i form av massatillverkning och sågverksindustri sedan slutet av 1800- talet fram till nedläggningen 1982. Det syftar även till att undersöka den föroreningstransport som eventuellt sker via ledningsgravarna i den mättade zonen.

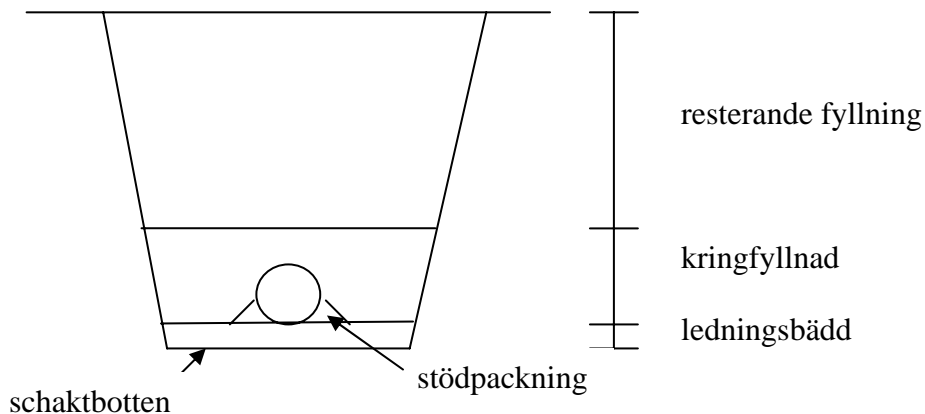
Föroreningssituationen undersöktes genom provtagning av jord och vatten i ledningsgravarna samt av sediment och avloppsvatten i avloppsledningarna.

För att beräkna transporten av föroreningar i krävdes kunskap om jordens hydrauliska konduktivitet, grundvattenytans lutning samt grundvattnets innehåll av föroreningar. Ingen hänsyn togs här till markens förmåga att binda föroreningar eller andra faktorer som gör att föroreningarna inte enbart följer med grundvattenströmmen.

Den hydrauliska konduktiviteten beräknades ur kornstorleksfördelningen hos de jordarter som fanns i och strax utanför ledningsgravarna. Det visade sig att de ekvationer som undersökts inte kunde ge ett rimligt värde för hårt packade moräner vilket gjorde att ett litteraturvärde istället användes till dessa.

## 1.1 Ledningsgravar

En ledningsgrav som kan innehålla såväl avloppsledningar som värmeledningar eller el- och telekablar är i regel uppbyggd med en ledningsbädd under ledningarna och en kringfyllnad som visas i figur 1. Materialet i, och uppbyggnaden av ledningsbädden samt kringfyllnaden finns reglerade i AMA 98 som ges ut av AB Svensk Byggtjänst. Här rekommenderas att ledningsbädden för avloppsledningar ska innehålla jord med en största kornstorlek på 32 mm och med en låg andel finjord. Exempel på lämpliga material är grus, sand, sandmorän, siltig sand, siltig sandmorän m fl. Tjockleken bör ligga runt 15 cm. Liknande material används också till el- och teleledningarna med den skillnaden att en mindre största kornstorlek bör väljas samt att bädden bör vara ca 10 cm tjock. I kringfyllnaden kan finare material som t ex lera och siltig morän användas. Dock används i praktiken oftast grövre material som sand och grus.



**Fig. 1** Ledningsgravens uppbyggnad

## 1.2 Transport av föroreningar i ledningsgravar.

På grund av att ledningsgravarna innehåller material med hög hydraulisk konduktivitet kan de tjäna som transportvägar för grundvatten och föroreningar under mättade förhållanden. För att vattentransport ska kunna ske i en markens porer krävs att de är vattenfyllda, vilket sker vid en lägre vattenmättnadsgrad för små porer än för stora. Detta innebär att en ledningsgrav innehållandes ett grovt material kan bilda en barriär mot vattentransport under omättade förhållanden.

## 1.3 Läckage från avloppsledningar

Läckage från avloppsledningar är dåligt kvantifierat på grund av svårigheter med mätningar. I Storbritannien har man beräknat ett läckage på mellan  $1$  till  $10 \text{ m}^3 \text{ km}^{-1} \text{ år}^{-1}$  vilket kan jämföras med  $34 \text{ m}^3 \text{ km}^{-1} \text{ år}^{-1}$  som en tysk undersökning har kommit fram till vid studier av ett  $18\,000 \text{ km}$  långt avloppsnät. Det har dock visat sig att påverkan från läckande avloppsledningar på grundvattnet i tätbebyggda områden inte är särskilt stor (Ellis et al, 2002). Hastigheten med vilken avloppsvatten läcker från en ledning beror på materialet omkring ledningarna, deras kvalitet samt i hög grad flödet. Hastigheten för läckage i en given spricka har visats vara en exponentiell funktion med avseende på vattenhöjden i röret (Ellis et al, 2002).

Vid en hög grundvattenföring kan man anta att inget läckage sker eftersom tryckpotentialen utanför ledningen är större än inuti. Om röret ligger under grundvattenytan har man två möjligheter till läckage.

- i) Diffusion, vilket inte kan ske i någon nämnvärd grad eftersom vattnets diffusionskonstant är mycket liten i förhållande till inströmningshastigheten.
- ii) Ett övertryck i vattenledningen kan bildas under t ex väldigt häftigt regn som gör att potentialen inuti röret är högre än utanför.

Det vatten som har läckt ut ur en ledning kommer att söka sig neråt mot grundvattenytan och därefter följa grundvattenflödet.

Om läckage sker från ett fabriksavlopp talar de höga flödena som ofta förekommer för en stor exfiltrationshastighet om en spricka bildas. Materialen i fabriksavlopp skiljer sig en hel del åt. I Köpmanholmen fanns vid nedläggningen både en trätub, syrafasta glasfiberledningar samt betongledningar för dagvattnet (inklusive spillvatten från kloralkalifabriken). De syrafasta ledningarna är antagligen ganska säkra från läckage medan betongledningar kan läcka från skarvar och från sprickor. Risken för läckage genom skarvar i nyare betongledningar är inte så stor eftersom de tätas med gummiringar.

Träledningars kvalitet och livslängd varierar mycket från fall till fall beroende på konstruktörens skicklighet och kvaliteten på råvaran. En generell regel har varit att ledningen måste hållas konstant vattenmättad för att undvika nedbrytning, men flera exempel på ledningar av hög kvalitet där vattenflödet varit varierande och där ledningen gått ovan jord i flera partier finns. Sandiga jordar verkar dock ha en negativ effekt på hur väl träet bevaras eftersom sanden suger fukten ur materialet.

Livslängden för en träledning av amerikansk obehandlad gran har beräknats till 20 år i en tät jord och mellan 4- 7 år för en löst packad jord. En positiv inverkan på ledningarnas livslängd har impregnering med kreosot haft (Partridge, 1918). Det sistnämnd gör att man kan misstänka PAH- föroreningar i träet och i omkringliggand jord.

## 1.4 Infiltration

Under mättade förhållanden kan det förekomma infiltration genom sprickor och skarvar i ledningarna. Två typer av infiltration finns. Den ena är läckage från ledningsgravens fyllnadsmaterial via lösa och trasiga skarvar då marken är vattenfylld efter ett kraftigt regn. Dessa problem finns mest på de laterala ledningarna till byggnader. Den andra typen av läckage sker då ledningen ligger under grundvattenytan vilket kan ske under längre perioder än den första typen (Ellis, 2001). När förorenat grundvatten flödar in i ledningarna kan det snabbt transporteras till recipient eller reningsverk.

Storleken på infiltrationen har beräknats till mellan 0,01 till 1,0 m<sup>3</sup>/dag/rörets diameter i mm/km och ökar exponentiellt med åldern på ledningen (Ellis, 2001). Störst infiltration har man i äldre ledningar av dålig kvalitet och i all synnerhet porslinsledningar som har en tendens att spricka.

Eftersom vattenflöde bara förekommer i mättade porer har vatten liten möjlighet att ta sig in i avloppsledningar via sprickor under andra förhållande än då jorden är helt vattenmättad.

## 2 Bakgrund för det undersökta området

Köpmanholmens industriområde har sedan slutet av 1800- talet haft verksamhet i form av sågverk och massfabriker. Inom området pågår en sanering sedan 2003 av förorenad



mark, byggnadsmaterial och ledningsnät. De främsta föroreningarna är kvicksilver och terpentin. Saneringen väntas slutföras under 2005 och området kommer sedan att på nytt användas för industriändamål, med dess läge vid en djup hamn som ett incitament för nya företag att etablera sig.

## 2.1 Geografiskt läge

Köpmanholmens industriområde är beläget ca två mil söder om Örnsköldsvik, vid Nätrafjärdens västra strand. Området gränsar till Sanningsundet som via Åfjärden bildar utlopp för Nätraån (fig 2).



**Fig. 2** Köpmanholmen ligger ca 2 mil söder om Örnsköldsvik, vid Nätraälvens mynning i Nätrafjärden. Inringningen visar industriområdets läge vid älvens mynning.

## 2.2 Historik

Området har använts som sågverks och massfabriksområde sedan slutet av 1800-talet. 1982 lades massfabriken ner och de sista resterna av verksamheten försvann 1994 då även den tillhörande klor-alkalifabriken lades ner. Numera är Bjästa återvinning AB, ett företag som återvinner kylskåp och lysrör, etablerade inom den fd klor-alkalifabrikens lokaler.

1864 lades grunden till verksamheten i och med att Forss Sågverksbolag anlade en ångsåg vid Nätraåns mynning. 1907 uppfördes även sulfittfabrik inom Forss AB:s regi som var i drift till och med 1963. Från början hade denna en kapacitet på 8 000 ton massa och vid nedläggningen producerades 24 000 ton. Från och med 1938 hade man börjat bleka massan. När sulfittfabriken upphörde byggdes lokalerna om till en björksulfatfabrik, klor-alkalifabrik samt en svavelsyrafabrik. De ombyggda fabrikerna stod klara för drift 1964.

1930 anlades en sulfatfabrik alldeles öster om sulfitfabriken med en årskapacitet på 27 000 ton. 1963 hade man byggt ut denna till en kapacitet på 120 000 ton per år.

1964 övertogs ägarskapet av Norrlands Skogsägares Cellulosabolag (NCB) från Forss AB.

1967 var årsproduktionen i Forss NCB fabriker enligt tabell 1:

1977 lades sågverket ner. 1982 följdes denna nedläggning av massafabrikerna samt svavelsyrafabriken. Klor- alkalifabriken klarade sig dock t o m 1994. Huvudorsaken till nedläggningarna angavs vara brist på virkesråvara. (Swesoil, Örnsköldsviks Allehanda)

**Tab 1** Årsproduktionen hos Forss NCB fabriker 1967 (Swesoil, 2000)

<i>Produktionsenhet</i>	<i>Produkt</i>	<i>Mängd</i>
Cellulosafabriken:	Blekt barrsulfatvedsmassa	110 000 ton
	Blekt björksulfatmassa	40 000 ton
	Tallolja	3 200 ton
	Terpentin	500 ton
Klor- alkalifabriken	Klor	10 000 ton
	Natronlut	11 000 ton
Svavelsyrafabriken	Svavelsyra	3 000 ton
Sågverket	Sågade varor	13 000 stds

## 2.3 Avloppsnätet

### 2.3.1 Utsläpp från verksamheterna i området till avloppsnätet

Områdets olika verksamheter har släppt ut föroreningar av olika slag till avloppssystemet. Nedan följer en beskrivning av dessa.

<b>Verksamhet</b>	<b>Utsläpp av förorening</b>
Klor- alkalifabriken:	Stor källa till utsläpp av kvicksilver. Klogasen framställdes genom en elektrolytisk reaktion med koksaltlösning med kvicksilver som katod och grafit som anod. (Swesoil, Näslund muntligt)
Svavelsyrafabriken:	Eventuellt utsläpp av bly eftersom kokarna var blyinklädda. Annars utsläpp av svavelhaltigt surt vatten.(Näslund, muntligt)
Kokeri:	I äldre tider använde man olja som skumdämpande medel. Det var vanligt att stora mängder lut tillsammans med tillsammans med ovan nämnda olja skummade över (Näslund, muntligt). Föroreningar från luten var terpentin tillsammans med de föroreningar som fanns inlagrad i veden. Viktigast av dessa är kadmium och krom. Dessutom skedde utsläpp av COD och fiber (Brücher, Fransson muntligt).
Tvätter:	Härifrån kom samma typer av utsläpp som från kokeriet. Denna del tillsammans med kokeriet har de högsta halterna av föroreningar (Fransson, muntligt).

Blekeri:	Olika typer av klorföreningar till exempel klorerade dioxiner och dibensofuraner. Även här skedde det utsläpp av COD samt metaller från vedhanteringen. Vattnet var fiberfattigt och alkaliskt (Fransson, muntligt).
Sileri:	Denna process finns med i två steg; för och eftersileri. Försileriet är beläget mellan kokeriet och tvätteriet och tar bort kvistar mm. Härifrån släpptes en del lut, fiber, COD och metaller ut. Eftersileriet ligger efter blekeriet. Härifrån har man låga utsläpp av alla föreningar utom fiber (Fransson, muntligt).
Sodapanna:	Inga direkta utsläpp, dock kan läckage av tjocklut, som innehöll tungmetaller, ha skett till dagvattenutloppet (Fransson, muntligt).
Mesaugn:	Härifrån kan utsläpp av mesa med ett innehåll av tungmetaller ha skett (Fransson, muntligt). Metallinnehållet är dock lågt.

### 2.3.2 Historik avloppsanläggningen

Till och med 1930 gick huvudavloppet nästan rakt norrut från sulfatfabriken och mynnade i älven ovanför det nuvarande magasinet A-6 i det så kallade syradiket. I och med att sulfatfabriken uppfördes 1930 kopplades huvudavloppet om till den trätub som mynnade vid Berglundkajen i östra delen av området (bilaga 1, karta 1). Detta var huvudavlopp fram till 1972 vilket innebär att massafabrikens utsläpp gick den här vägen i 42 år. Klor- alkalifabrikens och svavelsyrafabrikens utsläpp gick via trätuben i åtta år.

1972 byggdes det en sedimenteringsanläggning i norra delen av området och huvudavloppet kopplades således bort från Berglundkajen.

I och med ombyggnationen delades fabriksavloppet upp i fiberhaltigt, och fiberfattigt avlopp. Det fiberhaltiga vattnet leddes till sedimenteringsbassängen varifrån fibrerna återvanns och återfördes till processen.

1975 slöts klor- alkalifabriken och därmed minskade utsläppen av kvicksilver betydligt.

### 2.3.3 Översikt av avloppssystemet

Vid nedläggningen 1982 fanns det fyra spillvattensystem för området: sanitärt avlopp, dagvattenavlopp samt fiberhaltig- och fiberfattigt fabriksavlopp.

Dagvattensystemet har förutom dagvatten från tak och hårdgjorda ytor tagit vatten från klor- alkalifabriken. Bland annat har kylvatten till vätgaskylarna gått den här vägen under tiden fabriken ej var sluten (Näslund, muntligt) (bilaga 1, karta 1).

Det sanitära avloppet har varit anslutet till det kommunala avloppsnätet på två punkter: via Bjästa återvinning i västra delen av området samt rakt söderut i södra delen av området. Systemet har innehållit vatten från dusch, handfat mm från nästan samtliga av

områdets byggnader. Detta inkluderar kontaminerade byggnader såsom fabrikslaboratoriet och massafabriken B1 (bilaga 1, karta 1).

Fiberhaltiga avloppet har innehållit fabriksavloppsvatten med högt fiberinnehåll, från bland annat pappsalarna, sileriet och tvätterien (Näslund, muntligt). Vattnet leddes från björksulfatfabriken via det gamla fabriksavloppet till östra delen av sulfatfabriken B1, varifrån vattnet leddes norrut i nya ledningar till sedimenteringsbassängen och 150 meter ut i fjärden rakt norrut (bilaga 1, karta 1).

Fiberfattigt avloppsvatten bestod bland annat av vatten från urvattnare i sileriet, olika bleksteg samt bakvatten från tvättfilter i pappsalarna. Det var ofta starkt surt och man tillsatte tidvis mesa för neutralisering (Näslund, muntligt). Vattnet leddes via reningsanläggningen, ut i havet tillsammans med vattnet från sedimenteringsbassängen.

## **2.4 Föroreningssituationen i marken**

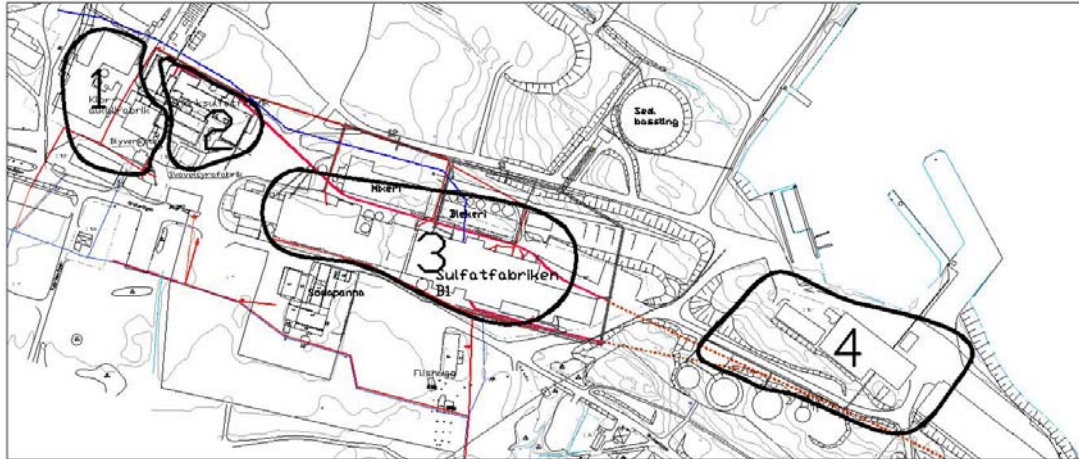
På industriområdet finns ett antal områden med höga föroreningshalter som har påvisats vid tidigare undersökningar. Dessa visas i figur 3, (Elert et al, 2002).

Område 1 kring den före detta klor- alkalifabriken är förorenat av kvicksilver på grund av den verksamhet som har bedrivits här. Högst är koncentrationerna kring de två cisterner som har innehållit natronlut, men höga koncentrationer har även hittats vid fabriksbyggnaden. Vid cisternerna har det även funnits en blyverkstad som har givit upphov till de höga koncentrationer av bly som har hittats i omkringliggande mark.

Område 2 ligger vid den före detta björksulfatfabriken. Här finns det en liten utbredning av terpentin samt förhöjda värden av olja.

I område 3 som inkluderar hela den före detta massafabriken, B1, fanns det höga halter av olja, aromater och kvicksilver. Viss förekomst fanns även av PAH:er, bly och kadmium.

Område 4 ligger i östra delen av industriområdet. Här har det skett utsläpp av terpentin från terpentincisterner vid minst två tillfällen, varav det senare var 1986. Terpentintutsläppen som skedde under vintern följde ett dike som låg över en ledningsgrav för en äldre trätub.



**Fig. 3** Förorenade områden inom Köpmanholmens industriområde.

## 2.5 Områdets åtgärds mål och riktvärden

Med hänsyn till nuvarande och planerad markanvändning för området, markens skyddsvärde samt hälso- och miljörisker vid spridning till nedströms liggande vattendrag har övergripande åtgärds mål satts upp för saneringen av Kemakta AB (Elert et al, 2002). Här anges bland annat att marken ska kunna användas för industriändamål och att läckaget av föroreningar ska ge en obetydlig belastning av Nätrafjärden som är recipient för området.

Baserat på de övergripande åtgärds målen och på den planerade markanvändningen har platsspecifika riktvärden tagits fram för föroreningar i mark på Köpmanholmens industriområde (Elert et al, 2002). Dessa har tagits fram i två intervall; 0-1 samt 1-2 meter under markytan.

I tabell 2 finns de platsspecifika riktvärdena presenterade. Här finns även de generella riktvärden från 1997 som Naturvårdsverket har tagit fram för känslig markanvändning (KM) samt för mindre känslig markanvändning (MKM) (SNV, rapport 4918).

Kritiska föroreningar som styr efterbehandlingsbehovet har identifierats genom att jämföra de platsspecifika riktvärdena med uppmätta halter i olika områden och på olika djup. Jämförelsen visar att kritiska föroreningar är kvicksilver, PAH, olja och terpentin. Med olja avses i detta fall den tyngre fraktionen C<sub>16</sub>- C<sub>35</sub>.

Baserat på de ovan nämnda riktvärdena och kritiska föroreningarna har mätbara åtgärds mål för att nå de övergripande åtgärds målen tagits fram för området. Dessa finns definierade för kvicksilver, olja, PAH samt terpentin. Denna gång definieras olja som C<sub>5</sub>- C<sub>35</sub> och med PAH menas den totala halten av PAH:er (summa PAH- 16) eftersom halten av de cancerogena PAH är låg (tab 2, 3) (Elert et al, 2002). De mätbara åtgärds målen är de främst styr saneringen av industriområdet.

**Tab. 2** Platsspecifika riktvärden för mark i Köpmanholmens industriområde samt generella riktvärden från Naturvårdsverket. Halter är angivna i mg/kg TS (Elert et al 2002).

Ämne	Platsspecifika riktvärden			NV generella	
	0- 1 m	1- 2 m	KM	MKM	
Djup:					
Arsenik	25	80	15	40	
Bly	300	600	80	300	
Kadmium	10	10	0,4	12	
Koppar	200	400	100	200	
Kvicksilver	10	20	1	7	
Nickel	200	400	35	200	
Zink	700	1 400	700	700	
Dioxiner (TEQ) (ng/kg)	200	2 000	10	250	
Alifater (C <sub>5</sub> - C <sub>8</sub> )	200	400	50	200	
Alifater (C <sub>8</sub> - C <sub>10</sub> )	500	1 000	10- 100	35- 500	
Alifater (C <sub>10</sub> - C <sub>16</sub> )	500	1 000	35- 100	120- 500	
Alifater (C <sub>16</sub> - C <sub>35</sub> )	1 000	2 000	100	1 000	
Aromater (C <sub>10</sub> - C <sub>35</sub> )	40	80	20	40	
Terpentin	15	30	2*	15*	
Bensen	1	1	0,01- 0,08	0,04- 20	
Toluen, Etylbensen, Xylen	60	120	10	30- 60	
Cancerogena PAH	10	20	0,3	8- 40	
Övriga PAH	40	80	20	40	
summa PCB**	-	-	4	7	

\*Generella riktvärden saknas, värden beräknade enligt förutsättningar för KM och MKM.

\*\* Platsspecifikt värde saknas i Kemaktas rapport.

**Tab. 3** Mätbara åtgärds mål för Köpmanholmens industriområde (Elert et al, 2002).

Förorening	Åtgärds mål		
	0-1 m	1- 2 m	2- 3 m
Hg	10	10	10
Olja (C <sub>5</sub> - C <sub>35</sub> )	1000	2000	4000
PAH	40	80	160
Terpentin	15	30	60

## 2.6 Tidigare undersökningar

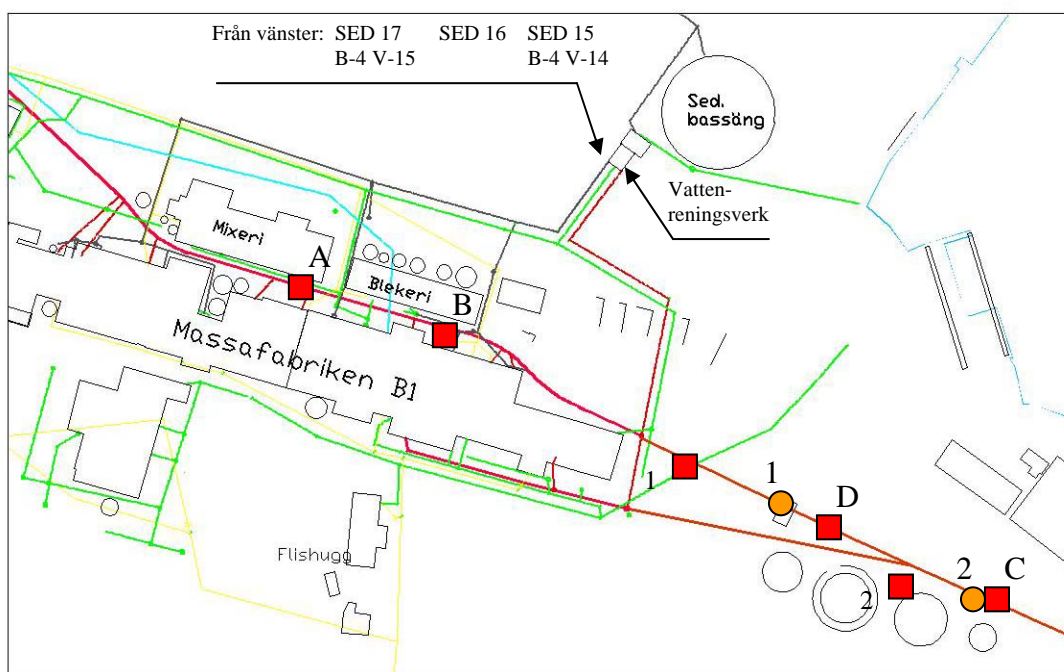
### 2.6.1 Kvicksilver i och kring trätuben

Trätuben som tidigare fungerat som avloppsledning grävdes i november 2001 fram på fyra ställen och prover togs på omkringliggande jord samt eventuellt slam i ledningen (fig 4). Resultaten visar höga halter av kvicksilver, samt förhöjda värden av koppar, zink, arsenik och bly i sedimentet från punkterna A och D. Halterna i omgivande jord var dock låga med undantag för punkt B där förhöjda halter av koppar och zink uppmätts (Elert et al, 2002).



**Tab. 4** Tidigare undersökning av trätuben

Punkt	A1	A2	B2	D1	D2	C1
	Slam i tuben	Omgivande jord	Omgivande jord	Slam i tuben	Omgivande jord	Jord i tuben
As	18	3,8	5,6	133	4,5	2,2
Pb	141	21	24	104	18	11
Cd	0,62	0,2	0,86	2,3	0,2	0,2
Co	20	4	3,9	8,5	4,9	4,4
Cu	396	17	388	229	19	17
Cr_tot	161	15	11	35	20	18
Ni	99	7,8	5,5	16	10	7,4
V	24	14	10	62	15	16
Zn	359	169	323	1 070	67	73
Hg	76	0,023	0,24	135	0,034	0,064



**Fig. 4** Placering av provpunkter vid Kemaktas undersökning av trätuben, A-D, (Elert et al, 2002), provpunkter vid undersökning av avloppssediment och avloppsvatten, SED 15 – SED 17 resp V14- V15 (Swesoil 2000) och provpunkter från undersökning av terpentin runt trätuben, 1-2(Brücher et al, 2003).

### 2.6.2 Tidigare undersökningar av terpentin kring trätuben

En undersökning av terpentinförekomsten kring trätuben har gjorts under 2003 (Brücher et al, 2003). Två provgropar grävdes i anslutning till tuben, den ena i övre delen av området (1) och den andra längre ner (2), vilket visas i figur 4. Prover togs från olika djup, med en koncentrerad provtagning kring tuben där jorden hade en mycket kraftig lukt. Det översta skiktet (0-40 cm) i båda provgroparna bestod av humusrik sand med inslag av mjåla. Längre ner ökade halten mjåla och lera. Här fanns också inslag av

järnoxidklumpar. I grop 1 låg trätuben som hade en diameter av ca 1 m på 1,5 m djup, medan den återfanns på ca 1 m djup i grop 2.

Det visade sig vid analys att huvudelen av föroreningen bestod av två ämnen, MIC (1-metyl 4-isopropylcyclohexan) och cymen (1-metyl 4-isopropylbensen). "Vanliga" terpenier som pinen och caren utgjorde mindre än 10% av den totala mängden organiska föreningar. Kvantifiering gjordes för cymen, MIC samt en summarisk halt för terpenier utan urskiljning av specifika föreningar, resultatet av analyserna återfinns i tabell 5.

**Tab. 5** Halter av terpenier, diterpenier, MIC och cymen i de undersökta proven (Brücher et al, 2003). Man kan se att de största andelen terpeninliknande föreningar utgörs av cymen och MIC.

<i>Prov- no</i>	<i>Provtagningsgrop/ djup</i>	<i>Summa Terpenier (mg/kg TS)</i>	<i>Diterpenier (mg/kg TS)</i>	<i>Cymen (mg/kg TS)</i>	<i>MIC (mg/kg TS)</i>
1	1/50 cm sandjord	i.d.	i.d.	50	60
2	1/1,7 m Ler/mjåla vattenmättad	200	10	3100	350
3	1/1,5 m Ler/mjåla vattenmättad	70	10	1100	250
4	1/ 1-1,5 m Blandprov förorenad kring tuben	260	20	1600	400
5	2/ 1 m Lervälling ovan tuben	260	20	2500	810
6	2/ 1 m Ler/mjåla ovan tuben	270	60	5600	1100
7	2/0,7 m Blandprov, förorenad kring tuben	940	20	4800	1200

### 2.6.3 Tidigare undersökningar av avloppsvatten

Avloppsvatten från tillloppet till vattenreningsverket provtogs av Swesoil under sommaren 2000 (Swesoil, 2000). Analyserna gjordes på ofiltrerat vatten från vänstra och högra tilloppen till vattenreningsverket, d v s utloppen för fiberfattiga respektive fiberhaltiga avloppen (B-4 V-15, B-4 V-14). Dessutom undersöktes sediment från tillloppsrennorna (tab 6, fig 4).

Det visade sig sedimentet innehöll kraftiga föroreningar i form av opolära alifater och kvicksilver. Det fanns även förhöjda koncentrationer av bly.

Avloppsvattnet hade förhöjda koncentrationer av kvicksilver, klassade som allvarlig förorening enligt kanadensiska ytvattennormer. Det vänstra tillloppet (fiberfattigt avlopp) hade förhöjda halter av bly och av opolära alifater, klassade som allvarligt enligt naturvårdsverket (SNV, rapport 4918).



**Tab. 6** Tidigare undersökning av sediment och avloppsvatten( Swesoil, 2000)

	<i>B-4 V-14</i>	<i>B-4 V-15</i>	<i>SED-15</i>	<i>SED-16</i>	<i>SED-17</i>
Plats	fiberhaltigt utlopp	fiberfattigt utlopp	fiberhaltigt utlopp	dagvatten-utlopp	fiberfattigt utlopp
typ av prov	vatten	vatten	sediment	sediment	sediment
enhet	µg/l	µg/l	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
Pb	<5	36	119	284	1 152
Cd	<5	<5	-	-	-
Hg	0,4	0,5	92,0	3 963	5 636
summa	<20	610	2 490	35 066	2 390
opolära alifater					
Bensen	0,6	0,5	-	-	-

### 3 Metod

#### 3.1 Kartläggning av ledningar

Kartläggningen av ledningarna har utgått från befintliga kartor av avloppsledningsnätet inklusive en projekteringskarta upprättad av VBB för utbyggnaden av ledningsnätet 1972. Ledningarnas utsträckning har sedan undersökts genom observationer i brunnarna där data angående ledningarnas dimension och riktning har noterats.

Området delades in i två delar; en nordlig och en sydlig där man i båda fallen kan identifiera en huvudledning samt biledningar till de olika systemen. En avloppsbrunn på huvudledningen kan betecknas NF1, där N står för norra delen, F för fiberavlopp och 1 är numreringen som börjar från väster. Biledningarna betecknas på samma sätt fast med små bokstäver. De kan skrivas som nf1:1, dvs första biflödesbrunnen till NF1. Beteckningar följer nedan.

N	norra delen
S	södra delen
F	fiberavlopp
Ff	fiberfattigt avlopp
D	dagvattenavlopp
S	spillvattenavlopp

Sammantaget har detta fyllt i de okända delarna av ledningsnätet inom området. Ledningarna finns inritade på en karta 1 och 2 i bilaga 1.

#### 3.2 Undersökta ledningsgravar

En ledningsgrav valdes ut för närmare studier av föroreningsituationen. Denna var ett huvudstråk för de ledningar som sträcker sig från den före detta klor- alkalifabriken, på norra sidan om både björksulfatfabriken och massafabriken B1 ner mot sedimenteringsbassängen. Graven innehöll en betongledning med dagvatten med en diameter på 600 mm, en syrafast ledning för fiberfattigt avlopp med en diameter på 500 mm samt en spillvattenledning med en diameter på 200 mm. (bilaga 1, karta 3).

Graven börjar inom det av kvicksilver förorenade området 1, med klor- alkalifabriken. Det finns även anslutningar till området med natronlutcisternerna via dagvattenledningar. Till område 2 finns anslutningar via både dagvattenledningar och spillvattenledningar. Även massafabriken B1 inom område 3 har ledningar som går ner mot detta huvudstråk, i form av dagvattenledningar, fiberfattigt avlopp samt spillvattenledningar.

Om transport av föroreningar har förekommit i ledningsgravarna kunde man förvänta sig hitta bland annat kvicksilver, bly, oljeföroreningar, aromater och PAH:er i ledningsgravens fyllnadsmassor.

Även trätuben har undersökts i en mindre omfattning. Här var målet framförallt att bedöma vilken typ av fyllnadsmaterial som fanns runt tuben samt att se om dessa innehöll någon förorening som kan härledas till läckage från ledningen.

### **3.3 Föroreningssituation i samband med ledningar och ledningsgravar**

#### **3.3.1 Provtagning av sediment i ledningarna.**

Provtagning av sediment i avloppsbrunnar utfördes för att kartlägga förekomsten av miljöfarliga ämnen i alla fyra avloppssystem. Om läckage har förekommit från ledningarna kan denna undersökning också ge en fingervisning om vilka ämnen det gäller.

Provtagningen utfördes i norra delen av området under augusti 2003. Provpunkterna valdes ut för att de skulle ge en så bra täckning av området som. De genomfördes med hjälp av en hålslev i rostfritt stål fastsatt på en lång pinne. Med hjälp av denna togs en provvolym upp ur brunnarna och placerades direkt i glasburkar som märktes upp efter brunnarnas benämning.

Ett prov togs också i en dagvattenledning av trä som hittades vid en grävning av en provgrop (PG 25) inom området för björksulfatfabriken. Ledningen togs hål på med hjälp av en grävskopa och provet togs med hjälp av en trädgårdsspade. Provet kallades PG 25 tub.

Proven skickades till Alcontrol i Umeå för analyser av PCB, oljor, PAH och tungmetaller. Några prov skickades också till Analytica i Luleå för analys av tungmetaller.

#### **3.3.2 Provtagningar av avloppsvatten**

Avloppsvatten har provtagits i dagvattenbrunnen ND 8, längst ner i den undersökta ledningsgravens. Ett vattenprov togs den 6 maj 2004 för att analyseras på alifater, aromater, BTEX, PAH, PCB och metaller inklusive kvicksilver.

Provet togs med hjälp av en plastflaska som sänktes ner i brunnen. Den del av provmängden som skulle analyseras med avseende på metaller filtrerades i fält genom ett 45 µm filter medan den provmängd som behövdes för övriga ämnen överfördes

direkt till glasflaskor. Ett kompletterande vattenprov togs den 5 februari 2005 för analys av terpentin.

I brunnen ND 8 sattes också två stycken passiva provtagare, så kallade Ecoscope från Alcontrol, mellan den 22 november 2004 och den 20 december 2004. Den ena innehöll ett dialysmembran för att fånga upp organiska föreningar och en del med en jonbytare för metaller. En separat mätare sattes ut med aktivt kol för att fånga upp kvicksilver. Mätarna sänktes ner i det grunda vattnet i brunnen genom att de lades och knöts fast i botten på en plastburk som sedan tyngdes ner med stenar. Detta skulle skydda dem från att komma i kontakt med alltför mycket sediment. Det gick dock inte att förhindra att lite avloppsediment kom in i burken (Bilaga 6, fig 4).

Provtagarna analyserades med avseende på metaller inklusive kvicksilver och en enkel screening för organiska ämnen. En fördel med de passiva provtagarna är förutom att de detekterar föroreningar vars halter varierar över tiden att de även kan detektera föroreningar i lägre halter.

### **3.3.3 Provtagning av jord ledningsgravarna.**

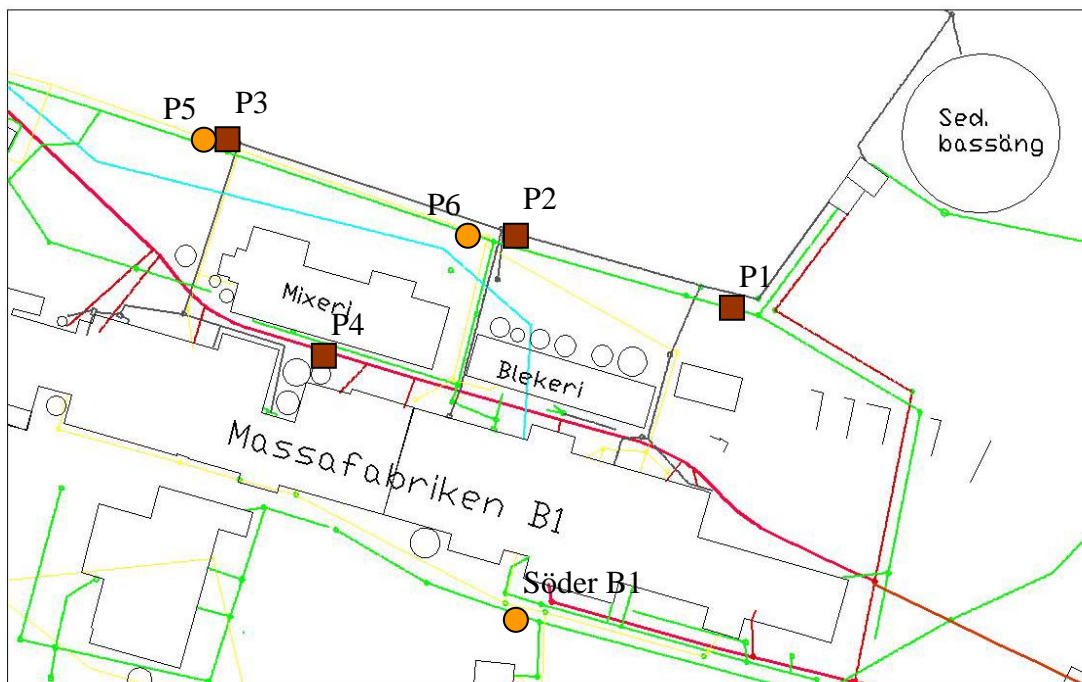
Provtagning av jord i ledningsgravar gjordes genom att tre stycken provgropar, P1 till P3, grävdes med hjälp av en grävskopa längs med ledningsgraven som går mot sedimentationsbassängen. Till detta kommer även en provgrop i anslutning till trätuben, P4. Från provgroparna togs stickprov med hjälp av en trädgårdsspade. Detta för att få så bra kontroll över provpunkternas placering och för att erhålla så rena prov som möjligt. Vissa prover togs dock upp med hjälp av grävskopan eftersom det på grund av rasrisken var för farligt att gå ner i gropen. Proverna om ca 1 kg placerades i märkta plastpåsar varifrån mindre provmängder togs till glasburkar som placerades i ett kylskåp. Ett utvalt stickprov från varje grop skickades direkt till Alcontrol för analys av olja, PAH och metaller inklusive kvicksilver. Om det skulle visa sig att något av proven innehöll en förorening skulle ytterligare prov sedan kunna skickas på till laboratoriet för analys av det specifika ämnet.

Provpunkternas lägen i förhållande till rör och markyta mättes in med hjälp av ett måttband. Provtagningen koncentrerades främst till området kring ledningarna och då särskilt under dem eftersom misstanke fanns om att eventuella föroreningar som transporterats i ledningsgraven eller som läckt från en ledning skull ansamlas här. Provpunkterna redovisas i bilaga 2, där ledningsgravens uppbyggnad också visas.

Kompletterande prover togs den 1 april 2005 i provgroparna P5, ca 5 m uppströms från P3, och P6 ca 20 m uppströms från P2. Prover togs strax under ledningarna på 4,5 respektive 4,8 m djup med hjälp av en grävskopa och transporterades samma dag till MoRe Research för analys av terpentin. Eftersom jorden under ledningarna i framförallt provgropen P6 var mycket mörk, åt det svarta hållet, undersöktes också vad som kunde ligga bakom detta.

Som jämförelse togs även två prover från den ledningsgrav som gick söder om massafabriken B1 (Söder B1) runt en dagvattenledning (fig 5). Provtagningarna utfördes den 22 september 2003 i samband med att en sönderkörd dagvattenbrunn reparerades. Proverna togs direkt under ledningarna med hjälp av en trädgårdsspade.

På ett antal prover genomfördes även en texturanalys (se nedan) för att ta reda på vilken typ av material ledningsgravarna och omkringliggande jord bestod av.



**Fig. 5** Provpunkternas placering i ledningsgravarna. P1- P3 placerades i det huvudstråket som gick från klor- alkalifabriken till sedimenteringsbassängen. Denna innehöll dagvatten, fiberfattigt fabriksavlopp och i den övre delen sanitärt spillvatten. P4 grävdes vid trätuben som har varit fabriksavlopp sedan 1930 och utgjorde fiberhaltigt avlopp vid nedläggningen. Provgroparna P5 och P6 har grävts vid ett senare tillfälle för att komplettera analyserna med terpentin.

#### 3.3.4 Provtagning av grundvatten.

I de ovan nämnda provgroparna ställdes grundvattenrör av plast med en diameter på 5 cm ner. Dessa hade ett en meter långt filterrör längst ner. Förutom på de ovanstående platserna placerades grundvattenrör norr och söder om P2 samt söder om P3. För att påverka grundvattenströmningen så lite som möjligt grävdes groparna igen på så sätt att jorden lades tillbaka på samma djup som den grävts upp från.

Höjden på toppen av grundvattenrören mättes in med hjälp av ett avvägningsinstrument. Som referenspunkt användes toppen av ett gammalt grundvattenrör (K-23), vilket var sedan tidigare inmätt av Swesoil (Swesoil, 2000). Rörens läge i x- och y- led mättes in med hjälp av ett måttband med utgångspunkt från kända referenspunkter, i det här fallet avloppsbrunnar.

Rören omsattes fyra gånger under en månads tid varefter grundvattenproven togs upp den 17 oktober 2003 med hjälp av två olika vattenhämtare; en lång i plast och en kort i metall. Det var nödvändigt att använda metallprovtagaren till vissa rör eftersom de hade böjt sig och därmed hindrade den längre plasthämtaren från att ta sig ned till grundvattnet. Omedelbart före provtagningen omsattes rören eftersom vattnet i dem kunde ha reagerat med luften och därmed kunde ge ett missvisande resultat. Det vatten som provtogs skulle i möjligaste mån komma från marken. Kompletterande provtagningar för analys av terpentin utfördes den 19 oktober 2004 i röret P2 m2.

Vattnet hälldes från provtagaren i en plastbägare varefter det överfördes till två stycken 0,5 l glasflaskor för analys av organiska ämnen och till en 100 ml plastflaska för analys av metaller. Den provmängd som skulle analyseras med avseende på metaller filtrerades först genom ett 45 µm filter. På grund av den lilla mängd vatten som fanns i varje rör var det nödvändigt att hämta upp vatten många gånger, vilket gjorde att luften hade stor chans att reagera med provet. Proverna skickades till Alcontrol för analys av olja, PAH och VOC och metaller inklusive kvicksilver samma dags provet togs. Provet som skulle analyseras med avseende på terpentin skickades till MoRe Research för analys.

### **3.4 Ledningsgravarnas geohydrauliska egenskaper**

Den hydrauliska konduktiviteten för jorden i ledningsgraven bestämdes genom så kallade pedotransformationsfunktioner. Dessa är empiriska funktioner som beskriver jordens hydrauliska konduktivitet utifrån parametrar som är lättare att mäta, t ex kornstorleksfördelning och porositet. I denna undersökning gjordes bara mätningar av jordarnas kornstorleksfördelning. Porositeten, som ingår i funktioner som t ex Kozeny och Kozeny-Carmen Bear har ställt upp, mättes inte (Domenico, Schwartz, 1998).

Med hjälp av uppmätta värden på grundvattenytans höjd kunde sedan flödesberäkningar i ledningsgravens längdriktning göras. En grov approximation av inflödet till ledningsgraven från omkringliggande mark kunde också utföras med hjälp av ovanstående information.

#### **3.4.1 Texturanalys**

På ett antal prov från provtagningen i ledningsgravarna utfördes texturanalys i syfte att dels fastställa jordarten, men framför allt för att med kännedom om kornstorleksfördelningen kunna ta reda på jordens hydrauliska konduktivitet (se nedan). Som jämförelse analyserades även två prov från en ledningsgrav i södra delen av området (söder B1 a, b). Denna grav innehöll ledningar för dagvatten och sanitärt avloppsvatten.

Texturanalysen utfördes på två sätt; genom siktning för grövre material och genom hydrometermetoden, där man med hjälp av partiklarnas sjunkhastighet i vatten kan beräkna jordens sammansättning, för finare material.

#### **3.4.2 Hydrometermetoden**

För att kunna använda sig av denna metod krävs att man först avlägsnar organiskt material samt att karbonater och seskvioxider löses upp. Detta görs med hjälp av väteperoxid och saltsyra. För att lösa upp aggregaten tillsätts natriumpolyfosfat. Denna gör jorden natriummättad vilket innebär att partiklarna kommer att repellera varandra. Under snabb omrörning kan sedan aggregaten lösas upp till primärpartiklar.

Från partiklarnas sjunkhastigheter i vatten kan sedan partikelstorlekarna beräknas. Jordpartiklar och i synnerhet lermineral kan ha mycket olika strukturer vilket innebär att de har helt olika beteenden i vatten. Detta kan man inte ta hänsyn till utan man arbetar istället med ekvivalentdiametrar vilka definieras som diametern av en sfär av samma material och med samma fallhastighet som jordpartikeln.

På hydrometern kan man utläsa en suspensions täthet i gram per liter. Denna är ett medelvärde på tätheten över den volym mätkroppen mäter vilket kan hänföras till en viss nivå under vattenytan, det så kallade effektiva djupet,  $h_{\text{eff}}$  (MV, SLU kemi).

### 3.4.3 Utförande av hydrometerförsöken

Jordproverna torkades i två dygn i ett torkrum varefter de sönderdelades med hjälp av en mortel. De siktades sedan genom en 4 och en 2 millimeters sikt varefter de olika fraktionerna vägdes in. Stenar som var större än 2 cm togs bort utan invägning.

Om man lätt kunde se att provet bestod av sand fortsatte siktningen ner till 0,125 mm varefter siktningsskurvor ritades.

Från finjorden vägdes mellan 20-50 g in och sönderdelades med hjälp av saltsyra, väteperoxid och natriumpolyfosfat. Proven siktades genom en 0,2 mm sikt ner i en 1000 ml sedimentationscylinder. Det material som fastnade i sikten torkades och vägdes.

Cylindrarna fylldes upp till 1000 ml med avjonat vatten. Efter kraftig omrörning stoppades en hydrometer ner i suspensionen och tätheten  $R$  avlästes vid 0,5, 1, 2, 5, 15, 45, 120, 300 samt 1440 minuter (1440 minuter = 24 timmar). Före detta hade tätheten i en blanklösning ( $R_L$ ) avlästs.

Från de avlästa värdena kunde det effektiva djupet utläsas ur en tabell. Den största partikeldiametern som inte passerat det effektiva djupet kunde beräknas ur ekvation 1 (Markvetenskap SLU, 2001).

$$d_p = \left(4 \frac{h_{\text{eff}}}{tk}\right)^{1/2} \quad (1)$$

$h_{\text{eff}}$  det effektiva djupet [cm].

$d_p$  den största partikelstorlek som inte passerat  $h_{\text{eff}}$  [mm].

$t$  tid [s]

$k$  konstant [ $\text{cm mm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ]

Den andel jord med som var finare än  $d_p$  kunde beräknas med ekvation 2 (Markvetenskap SLU, 2001).

$$kum\% = \frac{100(R - R_L)}{m} \quad (2)$$

$\frac{kum\%}{m}$  andel av mineraljord som inte passerat  $h_{eff}$ .  
invägd mineraljord.

$kum\%$  och  $d_p$  plottades i lin- logdiagram med  $kum\%$  på y- axeln och  $d_p$  på x- axeln bilaga 3. Från diagrammen kunde utläsas andel grus, sand, silt och lera.

Som ett mått jordens grad av sortering användes det så kallade graderingstalet  $C_u$  som definieras enligt ekvation 3. Ett stort graderingstal innebär en mer osorterad jord (Axelsson, 2000).  $d_{60}$  och  $d_{10}$  kunde utläsas ur diagrammen för kornstorleksfördelning.

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (3)$$

$C_u$  graderingstalet  
 $d_{60}$  kornstorlek som svarar mot att 60 % vikt mängd är finare.  
 $d_{10}$  kornstorlek som svarar mot att 10 % vikt mängd är finare.

Beroende på graderingstalets storlek benämndes jorden ensgraderad, mellangraderad eller månggraderad (Axelsson, 2000) (tab 7). I detta arbete antas en månggraderad jord vara morän även om inte bildningsmiljön är känd.

**Tab. 7** Graderingstalet  $C_u$ .

Benämning	Graderingstal $C_u$
Ensgaderad	<5
Mellangraderad	5- 15
Månggraderad	>15

#### 3.4.4 Statistisk metod för att skilja på olika jordarter

För att skilja de olika jordarterna åt användes en statistisk analys i form av t- test. Vid testet antogs att vikt mängden av lera, silt och sand var normalfördelade hos jordarter av samma typ. Det vill i denna undersökning säga att alla prov som benämndes siltig och lerig morän slogs ihop till en grupp. På samma sätt slogs proven från samma avsnitt av en ledningsgrav ihop till grupper.

Testet jämförde bara jorden i ledningsgravarna med siltig morän. Inget test genomfördes alltså för att skilja jorden från olika punkter i gravarna åt. Från P3 fanns bara ett prov analyserat vilket gjorde att den här formen av analys inte gick att genomföra.

De undersökta fraktionerna sand, silt och lera valdes för analys eftersom det är dessa man normalt är intresserad av vid undersökningar av jord. Fraktionen grus valdes bort eftersom de stora partiklarna gav en alltför stor slumpmässig variation i proven. Efter att ha sett partikelfördelningskurvorna lades en fraktionen kallad fin, mellansilt till testet då det visade sig att jordarna skilde sig mycket åt i detta intervall.

De prov som analyserades statistiskt redovisas i tabell 8.

**Tab. 8** grupper vid statistisk analys.

<i>Grupp</i>	<i>Prover</i>
Siltiga moräner	P1 B, P2 C, P2 södra, P4 E
P2	P2 A, P2 E
P4	P4 A, P4 C
P1	P1 A, P1 C, P1 F

### 3.4.5 Statistiska beräkningar

Standardavvikelsen approximerades enligt ekvation 4 (Johnson, 1994).

$$S^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})^2}{n-1} \quad (4)$$

$S$	approximering av standardavvikelsen
$\bar{X}$	medelvärde för en fraktions viktsprocent
$X_i$	fraktionens viktprocent i prov $i$
$n$	antal prov

Testet ställdes upp med nollhypotesen att medelvärdet,  $\bar{X}$ , var lika stort hos två populationer av jord och utfördes med en signifikansnivå på 95%. För att förkasta nollhypotesen som var att jordarna var lika krävdes det att någon fraktion skilde sig åt mellan jordarna.

För att jämföra två medelvärden kan följande ekvation användas (Johnson, 1994)

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} \quad (5)$$

$t$	approximation av normalfördelning
-----	-----------------------------------

Nollhypotesen förkastades om absolutbeloppet av  $t_{0,025}$  med  $n_1 + n_2 - 2$  frihetsgrader var mindre än framräknat  $t$ .  $t_{0,025}$  togs ur en tabell (Johnson 1994).

### 3.4.6 Beräkning av hydraulisk konduktivitet

Den hydrauliska konduktiviteten bestämdes genom utnyttjande av så kallade pedotransformeringsfunktioner, som beskriver den hydrauliska konduktiviteten från parametrar som är lättare att mäta, t ex kornstorleksfördelning, porositet och organiskt material. Eftersom inga mätningar gjordes av porositet i detta arbete valdes två funktioner som enbart bygger på kornstorleksfördelningen, en användes för sand och en användes för finare material (ekv 6,7).



Till det grövre materialet användes Hazens metod (ekv 6) som bygger på att den hydrauliska konduktiviteten är proportionell mot partikelstorlekarna i kvadrat. Denna metod är bara tillämpbar på sand med en effektiv kornstorlek ( $d_{10}$ ) mellan 0,1 och 3 mm (Fetter, 1994) vilket gjorde att den inte gick att använda till den leriga moränen.

$$K_s = C_1 d_{10}^2 \quad (6)$$

$K_s$	hydraulisk konduktivitet [ $\text{m s}^{-1}$ ]
$C_1$	konstant [ $\text{m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ]
$d_{10}$	partikeldiameter varav 10 viktsprocent är finare än och 90 är grövre än (mm).

$C_1$  i ekvation (6) varierar beroende på materialet. Här sätts värdena till  $8 \times 10^{-2}$  vilket är ett lämpligt värde för en dåligt sorterad grovsand (Fetter, 1994).

Till det finare materialet rekommenderar Jarvis et al, 2002 en ekvationen som bygger på att den hydrauliska konduktiviteten är proportionell mot ett geometriskt medelvärde av partikelstorleken (ekv 7) (Jarvis et al, 2002). Ekvationen beskriver egentligen den omättade konduktiviteten vid ett undertryck på -10 cm för en ytlig jord. Vid denna tryckpotential är alla finare porer i marken vattenfyllda, medan så kallade makroporer som maskhål och sprickor är tomma. Att makroporerna inte är fyllda innebär att de inte bidrar till något flöde, och de ändrar därför inte jordarnas hydrauliska konduktivitet, som annars påverkas kraftigt av dessa potentiella flödesvägar. Som tidigare nämnts är dock alla finare porer mättade och bidrar därför lika starkt till flödet som under mättade förhållanden. Eftersom jordproverna är tagna på ett djup mellan två till tre meter där man kan anta att det inte finns några makroporer bör den omättade konduktiviteten ( $K_{-10\text{cm}}$ ) vid -10 cm ligga mycket nära den mättade hydrauliska konduktiviteten ( $K_s$ ) (Jarvis, muntligt).

$$K_s = C_2 d_g \quad (7)$$

$d_g$	geometriskt medelpartikelstorlek [mm]
$C_2$	konstant [ $\text{h}^{-1}$ ]

Vid en log- normal partikelstorleksfördelning kan  $d_g$  beskrivas som

$$d_g = \exp\left(\sum_{i=1}^n m_i \ln d_i\right) \quad (8)$$

$m_i$	massfraktionen med en klass i
$d_i$	medeldiametern för massfraktionen [mm]

Storleksfraktionerna som används här är 0,001, 0,026 samt 1,025 vilket är för lera, silt respektive sand.  $C_2$  i ekvation 7 sätts här till 25,2.

Litteraturvärden (Grip, Rodhe, 1994) för den hårt packade siltiga moränen var mycket lägre än de som räknades fram med hjälp av ekvation 7, vilket tyder på att ekvationen inte är tillämplig på den här typen av jord. Ingen annan ekvation som var tillämplig med de värden som mätts upp hittades heller, och därför användes litteraturvärden på den hydrauliska konduktiviteten för siltig morän.

### 3.4.7 Bestämning av vattenflödet i ledningsgravarna

Det mättade flödet i ledningsgravarna bestämdes ur Dupuits antagande. Detta säger att vattenföringen,  $Q$ , genom ett tvärsnitt med arean  $A$ , om x-axeln är horisontell, ges av (Grip och Rodhe, 1994).

$$Q = -KA \frac{dh}{dx} \quad (9)$$

$Q$	vattenföring [ $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ]
$h$	grundvattennivå [m]
$x$	längd i ledningsgravens riktning
$\frac{dh}{dx}$	grundvattenytans lutning [ $\text{m m}^{-1}$ ]
$A$	snittets area [ $\text{m}^2$ ]

Ledningsgraven har en given bredd  $b$ , vilket gör att arean  $A$  endast beror av grundvattenytans höjd över ledningsgravens botten  $h^*$ .

$$Q = -Kbh^* \frac{dh}{dx} \quad (10)$$

$b$	ledningsgravens bredd [m]
$h^*$	grundvattennivå ovan ledningsgravens botten [m]

Grundvattenytans höjd lästes av i de grundvattenrör som satts ut i graven 8 gånger mellan den 6 oktober 2003 till den 9 februari med hjälp av ett ljuslod (bilaga 4). Den tidsserie som erhöles innehöll inte alla variationer i grundvattenföringen som fanns under året och framförallt inte de höga flöden som kan förväntas på försommaren. Försök gjordes att korrelera mätningarna med tidigare mätningar på andra platser inom området men det gav inget bra resultat.

Grundvattenytans lutning beräknades ur de tre observationsrören  $P1$ ,  $P2$  m,  $P3$  m i två snitt;  $S1$  mellan  $P1$  och  $P2$  respektive  $S2$  mellan  $P2$  och  $P3$ . Den hydrauliska konduktiviteten,  $K$ , samt vattenytans höjd över botten på ledningsgraven,  $h^*$ , i dessa snitt beräknades som ett medelvärde mellan de två närliggande observationsrören (fig 6).

I mjukvaran Matlab 6.1 togs värden fram för dagarna mellan mätningarna genom interpolation av två närliggande mätvärden och därmed erhöles en utökad tidsserie varifrån flödet kunde beräknas enligt ekvation 9.



**Fig. 6** Snitten S1 och S2:s läge på den undersökta ledningsgraven. Figuren visar också grundvattenrörens lägen vid provpunkterna P1-P3.

### 3.5 Ledningarnas kvalitet

#### 3.5.1 Filmning av ledningar

Ledningarna i södra delen av området filmades den 13 juni 2003 av PEAB. Det visade sig då att dagvattenledningarna var av mycket dålig kvalitet, med bl a frätskador som förorsakat att rörmaterial delvis saknades. Det fanns även en hel del sprickor och dåliga rörfogar. Rören för sanitärt spillvatten verkade vara av bättre kvalitet (PEAB, 2003).

Den 1 april 2004 filmades dagvattenledningen som går i den undersökta ledningsgraven i västra delen av området. Sträckan som skulle filmas var från ND 5 till ND 2 (bilaga 1, karta 2). Inspektionen fick dock avbrytas efter 37 respektive 11 meter på grund av att för mycket sediment hindrade filmningsbilen från att ta sig fram. Det visade sig att rören även här var av mycket dålig kvalitet med samma typ av frätskada som fanns i norra delen av området. I fogarna hade också den tätningssringen av gummi börjat tränga in i röret. I bilaga 5 finns ett inspektionsprotokoll från filmningen.

## 4 Resultat

### 4.1 Föroreningsituation i samband med ledningar och ledningsgravar

#### 4.1.1 Sedimentundersökning i brunnarna

Ledningssystemet innehöll höga halter av framförallt kvicksilver och olja, men det förekom även förhöjda halter av PAH, PCB, kadmium och bly. Halten kvicksilver vid tilloppet till reningsverket B4 var mycket lägre än som uppmättes vid tidigare undersökning, vilket kan bero på variationer i provtagningsmetodik och analyser.

#### 4.1.2 Sanitära spillvattenledningarna

Systemet innehöll mycket kvicksilver med högst halt i NS 1 som ligger inom Bjästa återvinnings område i nedre delen av systemet (63,1 mg/kg TS). Även brunn ns 5:4 innehöll höga halter. Den sistnämnda knyter ihop ett antal ledningar som leder från ett område med konstaterade markföroreningar av kvicksilver.

NS 1 och ns 4:1 innehöll även höga halter olja.

NS 1 innehöll höga halter av bly vilket kan förklaras av blykopplingar i ledningarna.

#### 4.1.3 Dagvattenledningarna

Sedimentet i alla brunnar utom nd 6:3 inom detta system hade höga halter av kvicksilver. Brunnen nd 7:1 utanför blekeriet och ND 7 längs huvudstråket hade mycket höga halter (140 respektive 150 mg/kg TS). Anmärkningsvärt är att brunnen ND 10 längst ner i systemet som där sedimentet bestod av grus innehöll kvicksilver över 10 mg/kg TS som är områdets riktvärde.

Brunnen *ND 2* samt *ND utlopp* hade mycket höga halter olja.

Träledningen som provet PG 25 tub kom ifrån ledde troligen från det område med en konstaterad kvicksilverförekomst där det fanns cisterner för natronlut (bilaga 1, karta 2). Här förekom kvicksilver i halter om 3 mg/kg TS och olja i halter om 4 000 mg/kg TS.

#### 4.1.4 Fiberfattigt avlopp

Brunnen nff 1:1 hade höga halter av kvicksilver liksom ff utlopp (13 respektive 2000 mg/kg TS). Någon störning på laboratoriet gjorde att sedimentet från brunnen nff 3:1 inte gick att analysera.

nff 1, nff 3:1 och Ff utlopp hade förhöjda värden av arsenik, med ett högsta värde på 46 mg/kg TS för nff 3:1.

Ff utlopp hade förhöjda värden av kadmium (1,6 mg/kg TS)

#### 4.1.5 Fiberavlopp

I detta system har endast en punkt provtagits (NF utlopp) eftersom det inte gick att komma åt någon annanstans. Provpunkten hade höga värden av arsenik och kvicksilver. Kemaktas (Elert et al, 2002) provpunkt A som låg i trätuben norr om sulfatfabriken B1, visade på halter av kvicksilver om 76 mg/kg TS (tab 4).

**Tab 9** Föroreningar i avloppssediment. Halterna är angivna i mg/kg TS. Fet stil anger värden över riktvärden.

	<i>NS1</i>	<i>ns 4:1</i>	<i>ns 5:1</i>	<i>ns 5:4</i>	<i>ND 2</i>
Färg	svart	brunt	brunt	brunt	svart
Material	slam sten	slam sten	fint	fint	fint
Mängd	lite	mycket	mycket	medel	medel
Oljor	<b>3800</b>	750	<b>1300</b>	340	<b>8600</b>
PAH	1,2	3,3	0,96	0,63	1,2
As	1,9	16	11	17	11
Cd	1,6	<0,4	2,2	<0,4	3,3
Hg	<b>61</b>	3,9	3,1	<b>17</b>	<b>44</b>
Pb	220	79	110	73	180
PCB	-	0,046	0,55	0,045	0,025

	<i>nd 6:3</i>	<i>nd 7:1</i>	<i>nd 9:1</i>	<i>ND, utlopp</i>	<i>ND 10</i>
Färg	grått	grått och vitt	sandfärg	svart	sandfärg
Material	betongflagor	medel sand	grovt, sand grus	fint	sandfärg sand grus
Mängd	lite	medel	lite	mycket	lite
Oljor	<b>1200</b>	890	9 000	<b>10 000</b>	45
PAH	<0,03	1,5	2,5	2,8	<0,3
As	4,2	15	4,1	11	<4
Cd	0,5	<0,4	<0,4	8,3	<0,4
Hg	0,59	<b>140</b>	<b>0,77</b>	<b>71</b>	<b>12</b>
Pb	<13	2,3	<13	240	<13
PCB	<0,02	0,36	0,045	0,13	<0,02

	<i>NFf 1</i>	<i>nff 1:1</i>	<i>nff 2:1</i>	<i>nff 3:1</i>	<i>NFf 4</i>
Färg	grått	svart	grått	brunt	grågul
Material	grovt	fint	fiber, sand	fint	fiber
Mängd	lite	mycket	väldigt mycket	mycket	väldigt mycket
Oljor	130	230	<b>1300</b>	370	540
PAH	<0,3	<0,03	2	1,6	1,2
As	35	<4	4,8	46	<4
Cd	<0,4	<0,4	<0,4	0,5	<0,4
Hg	2,1	<b>13</b>	1,08	-	<1
Pb	56	49	23	<b>510</b>	17
PCB	0,17	0,056	1,5	0,11	0,23

	<i>Ff, utlopp</i>	<i>F utlopp</i>	<i>NF, utlopp</i>	<i>sed bas</i>	<i>PG 25 tub</i>
Färg	brunt	mörkt grå	svart	fiber, svart	brun
Material	fint	fint	fint	fiber	sand
Mängd	mycket	mycket	mycket	mycket	-
Oljor	<b>1800</b>	270	45	<b>4500</b>	<b>4000</b>
PAH	8,1	3,2	<1	<2,2	1,9
As	17	130	<4	7,4	<4
Cd	1,6	2	<0,4	<0,4	<0,4
Hg	2000*	<b>22</b>	0,35	<b>17</b>	3,0
Pb	180	63	<13	40	24
PCB	0,6	0,16	<0,02	0,02	-

\* Värde hämtat från Swesoils rapport.

#### 4.1.6 Föroreningar i avloppsvatten

Vid provtagningarna av vattnet i dagvattenbrunnen ND 8 innehöll det kvicksilver i halter om 0,5 µg/l. De passiva provtagarna hade också samlat upp en hel del kvicksilver och bly i jonbytarmassan. Att kvantifiera dessa resultat mot halter i vattnet gick dock enligt laboratoriet som levererade utrustningen inte. Inga organiska ämnen inklusive terpentin kunde påvisas i den passa provtagaren. Vid provtagningarna rördes slam lätt upp från botten av brunnarna vilket gör att resultaten är mycket osäkra (tabell 10,11).

Terpentin och andra relativt lättflyktiga kan inte finnas i avloppsslammet under någon längre tid. Halter av dessa ämnen som eventuellt hade funnits i avloppsvattnet skulle ha tytt på att de hade läckt in ledningen. Resultaten pekar alltså i riktning mot att det inte förekommer något läckage av föroreningar från grundvattnet till avloppsledningen. Eventuella föroreningar som har infiltrerat kan dock ha hunnit avdunstat före det kom fram till provtagningspunkten eftersom luftväxlingen är mycket god i dagvattenrören.

**Tab 10** Föroreningar i avloppsvattnet. Halterna är osäkra eftersom avloppsslam rördes upp vid provtagningarna. Halter anges i µg/l.

	ND 8 – 2004-05-06	ND 8 – 2005-02-05
Summa Alifater	42	-
PAH <small>summa cancerogena</small>	0,3	-
PAH <small>summa övriga</small>	<1	-
Aromater <small>summa</small>	<10	-
C5- C35 inkl BTEX		
Aluminium	240	-
Arsenik	1,5	-
Hg	0,5	-
Pb	13	-
Mangan	840	-
PCB	<0,02	-
Terpentin	-	<50

**Tab 11** Upptag av föroreningar i jonbytarmassan och lösningsmedlet i de passiva provtagarna.

		ND 8 – 2004-11-22 – 2004-12-20
Alifater	ng/ml lösningsmedel	<100
PAH <small>summa</small>	ng/ml lösningsmedel	<100
alkylerade bensener	ng/ml lösningsmedel	<100
Diklorbensen	ng/ml lösningsmedel	<100
Triklorbensen	ng/ml lösningsmedel	<100
Tetraklorbensen	ng/ml lösningsmedel	<100
Kvicksilver	µg/kg jonbytarmassa	280
Kadmium	µg/kg jonbytarmassa	510
Bly	µg/kg jonbytarmassa	34 000
Zink	µg/kg jonbytarmassa	59 000
Krom	µg/kg jonbytarmassa	580
Nickel	µg/kg jonbytarmassa	2 400
Koppar	µg/kg jonbytarmassa	15 000

#### 4.1.7 Föroreningar i ledningsgravarnas jord

Vid grävningen av framförallt provgrop P2 men även provgrop P3 kändes en mycket stark lukt av terpentin vilket inte visar sig i provresultaten. Det har vid senare undersökningar av Köpmanholmens industriområde visat sig att terpentin inte visar sig vid analys av oljeindex eller alifater vilket var uppfattningen när dessa gropar grävdes. De kompletterande provtagningarna som gjordes i provgroparna P5 och P6, strax ovanför P3 respektive P2 analyserades därför med avseende på terpentin. Proverna, som togs strax under rören i ledningsgraven, visade inte på någon terpeninförorening. Den enda skillnad som kunde påvisas var att provet från P6 hade en S<sub>8</sub> halt som var 3 gånger högre än provet från P5.

Inga föroreningar i ledningsgravarna som översteg de platsspecifika åtgärds målen har påträffats. P4 D och söder B1 A visade en förhöjd oljehalt, men den ligger ändå klart under åtgärds målen för saneringen. De högsta halterna låg i intervallen C<sub>12</sub>- C<sub>40</sub> för P4 D respektive C<sub>12</sub>- C<sub>22</sub> för söder B1 A.

P1 E har ett förhöjt värde på kvicksilverhalten. Provet togs rakt under en skarv i dagvattenledningen och hade rödaktiga utfällningar som tydligt skilde sig från omkringliggande material. Detta indikerar att det troligen fanns ett lokalt maximum här.

Även P3C och söder B1 A innehöll kvicksilver men i ganska låga halter.

**Tab. 12** Halter av föroreningar i jorden kring ledningarna. Halter är angivna i mg/kg TS.

<i>parameter</i>	<i>P1E</i>	<i>P2D</i>	<i>P3C</i>	<i>P4D</i>	<i>söder B1 A</i>
Olja (C <sub>10</sub> - C <sub>12</sub> )	<5	<5	<5	<5	5
Olja (C <sub>12</sub> - C <sub>22</sub> )	<5	<5	<5	35	60
Olja (C <sub>22</sub> - C <sub>30</sub> )	<5	<5	<5	35	10
Olja (C <sub>30</sub> - C <sub>40</sub> )	<5	<5	<5	45	<5
summa olja	<20	<20	<20	120	75
summa PAH	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
As	<4	<4	<4	5,9	<4
Cd	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Cr	<15	<15	<15	<15	<15
Co	3,2	3,3	2,8	4	4,8
Hg	3,5	<0,05	0,09	<0,05	0,14

**Tab 13** Kompletterande provtagningar av den undersökta ledningsgraven. Halter anges i mg/kg TS.

<i>Parameter</i>	<i>P5 – 4,5-4,5-K-</i>	<i>P6 – 4,8-4,8-K-</i>
Jordart	sand, inslag av fint mtrl	sand
Färg	gråsvart	svart
Terpentin	<0,1	<0,1

#### 4.1.8 Föroreningar i grundvatten

I ledningsgraven som går i norra delen av området (P1- P3) hittades föroreningar i provpunkten P2 m2 i form av terpentin i halter om 1 500 µg. P2 södra innehöll höga halter av olja samt förhöjda värden av aromater och trikloreten. I detta grundvattenrör kändes även en tydlig lukt av terpentin. Detta till skillnad från P2 norra som inte innehöll några föroreningar alls. Här kan man tyda resultaten så att inget vatten från P2 södra flödar mot P2 norra utan att det avleds via ledningsgraven mot sedimentationsbassängen. Den oljefraktion som dominerade i P2 södra var C<sub>10</sub>- C<sub>12</sub>. Om terpentin ger utslag i oljeindex är det just i denna fraktion man ser det eftersom terpenerna innehåller 10 kolatomer (Brücher, muntligt). Eftersom vattnet hade en tydlig lukt av terpentin kan man med all säkerhet påstå att ämnet fanns i provet.

I grundvattnet vid trätuben (P4) fanns det höga halter av olja vilket stämde bra överens med omkringliggande prov av olja i marken.



**Tab. 14** Halter av föroreningar i grundvattnet i och utanför ledningsgravarna. De flesta proverna togs den 17 oktober 2003. Halterna är givna i µg/l.

	P1	P2 södra	P2 m**	P2 norra	P3 m	P3 södra	P4
Lukt	nej	terpentin	nej	nej	nej	nej	olja
Olja (C <sub>10</sub> - C <sub>12</sub> )	<10	4000	<10	<10	<10	<10	470
Olja (C <sub>12</sub> - C <sub>22</sub> )	<10	200	<10	<10	<10	<10	50
Olja (C <sub>22</sub> - C <sub>30</sub> )	<10	130	<10	<10	50	<10	<10
Olja (C <sub>30</sub> - C <sub>40</sub> )	<10	<80	<10	<10	<10	<10	<10
summa Olja	<50	4500	<50	<50	50	<50	530
aromater (BTEX)	<1,0	9	<1,0	<1	<1,0	<1,0	4,6
summa PAH	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6
trikloreten	<0,1	0,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
As	7,5	17	13	<5	6,4	<5	11
Cd	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Co	20	20	15	<5	<5	<5	<5
Hg	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,1	<0,05
Pb	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Terpentin	-	-	1 500*	-	-	-	-

\* Provtagning den 19 oktober 2004 av röret P2 m2

\*\* Provet som har analyserats på alla ämnen utom terpentin är en blandning av vatten från P2 m1 och P2 m2. Detta eftersom det fanns så lite vatten i rören att ett rör inte räckte till erforderlig provmängd.

## 4.2 Ledningsgravarnas geohydrauliska egenskaper

### 4.2.1 Partikelstorleksfördelning i och omkring ledningsgravar

Utifrån siktning och hydrometerförsök kunde kurvor för partikelstorleksfördelning ritas upp för de prov som analyserats. Dessa visas i bilaga 3. Utifrån kurvorna bestämdes halten grus, sand, silt och ler som fanns i respektive prov och graderingstalet C<sub>u</sub> kunde beräknas. Resultatet redovisas i tabell 15. Resultaten visade att materialet utanför den undersökta ledningsgraven var månggraderad lerig sand och ensgraderad siltig finsand. Den månggraderad lerig sand som kommer fortsättningsvis att benämnas lerig morän medan den ensgraderade siltiga finsanden kommer att benämnas som finsand. Den leriga moränen, som i folkmun kallas pinmo, är typisk för de nedre jordlagren inom hela industriområdet. Den finns även ytligt på de lägre liggande landområdena. Finsanden är typisk för områdets ytligare jordar och överlagrar den leriga moränen.

**Tab. 15** Resultat av provens partikelstorleksfördelning med de ingående fraktionernas viktprocent och graderingstalet C<sub>u</sub>.

	PI A	PI B	PI C	PI F	P2 A
grus	10	15	20	18	30
sand	90	61	78,5	62	53
silt	0	17,5	1,5	18,5	14
ler	0	6,5	0	1,5	3
C <sub>u</sub>	6	35	2	14	28
namn	mellangraderad sand	lerig morän	ensgraderad sand	mellangraderad siltig sand	månggraderad siltig sand

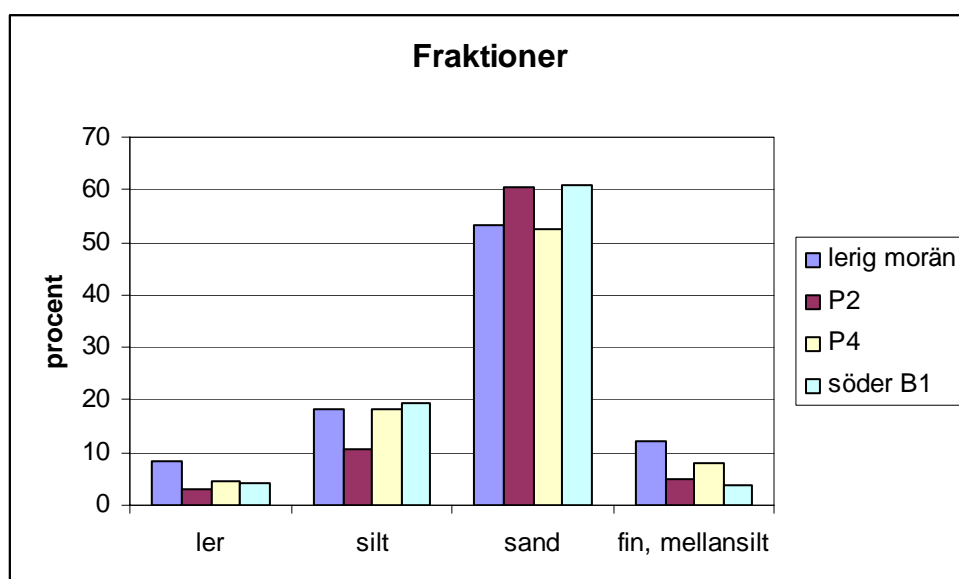
	<i>P2 C</i>	<i>P2 D</i>	<i>P2 E</i>	<i>P2 norra</i>	<i>P2 södra</i>
grus	26	13	22	21	100
sand	44	82	68	49	0
silt	19	3,3	7	21	0
ler	11	1,7	3	9	0
C <sub>u</sub>	225	6	14	100	2
namn	lerig morän	mellangraderad sand	mellangraderad sand	lerig morän	ensgraderad grovsand

	<i>P3 A</i>	<i>P3 E</i>	<i>P3 södra</i>	<i>P4 A</i>	<i>P4 B</i>
grus	13	0	13	21	29
sand	66	65	66	54	64
silt	16	32,2	30	21	<10
ler	5	2,8	6	4	0
C <sub>u</sub>	12	3	40	42	8
namn	mellangraderad lerig sand	ensgraderad siltig finsand	månggraderad lerig sand	siltig osorterad sand	mellangraderad sand

	<i>PC C</i>	<i>P4E</i>	<i>Söder B1 A</i>	<i>Söder B1 B</i>
grus	29	18	15	20
sand	51	59	63	55
silt	16	16	19	20
ler	4	7	3	5
C <sub>u</sub>	25	51	4	12
namn	månggraderad siltig sand	månggraderad lerig sand	ensgraderad siltig sand	mellangraderad lerig sand

#### 4.2.2 Statistisk metod för att skilja på jordarter

Med 95 procent säkerhet kan man säga att jorden i ledningsgravarna vid P2 och söder B1 skilde sig från den leriga moränen. Jorden runt trätuben i provgrop P4 skulle däremot mycket väl kunna vara lerig morän, eftersom ingen undersökt fraktion signifikant skilde jordarna åt (tab 16). Viktsprocenten av de undersökta fraktionerna framgår av figur 7.



**Fig. 7** Viktprocent av de ingående fraktionerna i den statistiska undersökningen.

**Tab. 16** Resultat av t- test med 95 % signifikans för de undersökta fraktionerna. En signifikant skillnad ger värdet ja medan en icke signifikant skillnad betecknas nej.

Fraktion	P2 mot lerig morän	P4 mot lerig morän	söder B1 mot lerig morän
lera	ja	nej	nej
fin- och mellansilt	ja	nej	nej
silt	nej	nej	nej
sand	ja	nej	ja

#### 4.2.3 Beräkning av hydraulisk konduktivitet

Den hydrauliska konduktiviteten beräknades genom ekvation 7 för de leriga moränerna och jordarna runt ledningarna i P2- P4 samt söder B1. På platsen P1 gjordes beräkningen med hjälp av ekvation 6 eftersom det här rörde sig om en sand med en effektiv partikelstorlek,  $d_{10}$ , på 0,98 mm. De beräknade värdena redovisas i tabell 17.

Där flera mätvärden på jordens sammansättning fanns på samma plats togs ett medelvärde fram för de olika fraktionerna. Vid beräkningarna med hjälp av ekvation 7 användes dessa medelvärden.

Den hydrauliska konduktiviteten för den leriga moränen blev vid beräkning med ekvation 7  $1,8 \times 10^{-6}$  m/s. Vid jämförelse med litteraturvärde visade det sig att detta värde var mycket högt. För leriga moräner bör konduktiviteten ligga mellan  $10^{-8}$  till  $10^{-9}$  m/s (Grip och Rodhe 1994). Den stora skillnaden beror antagligen på den hårda packningsgrad som ofta är fallet i orörda moränjordar och som inte ekvationen tar hänsyn till. Eftersom moränen på området är mycket hårt packad sattes konduktiviteten enligt ovanstående resonemang till  $10^{-8}$  m/s. Detta värde ligger i överkant av litteraturvärdet men valdes på grund av att flera prov låg på gränsen mellan siltig och lerig morän. Ekvationer som tog hänsyn till porositeten finns att tillgå, men eftersom denna parameter inte hade uppmätts gick de inte att använda.

**Tab. 17** Jordarnas innehåll av ler, silt och sand/grus samt deras hydrauliska konduktivitet.

	lerig morän	P1	P2	P3	P4	söder B1
antal prov	4	2	2	1	2	2
ler	9	0	3	5	6	4
silt	20	1	10	15	20	17,5
sand/grus	71	99	88	80	75	79
konduktivitet (m/s)	$10^{-8***}$	$8,0 \times 10^{-5**}$	$4,1 \times 10^{-6*}$	$2,9 \times 10^{-6*}$	$2,4 \times 10^{-6*}$	$3,0 \times 10^{-6*}$

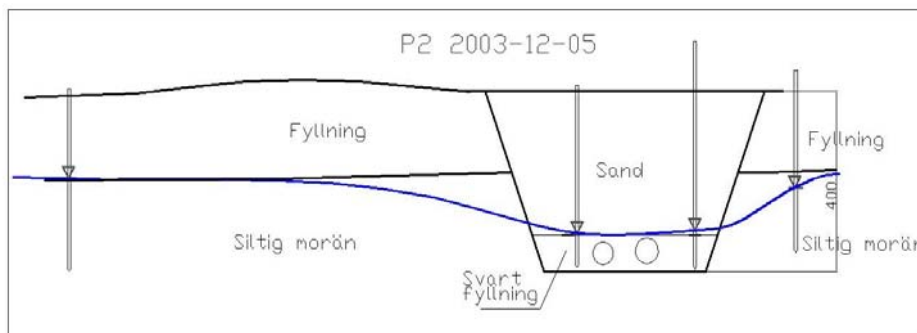
\* Beräknad enligt ekvation 7

\*\* Beräknad enligt ekvation 6.

\*\*\* Litteraturvärde.

#### 4.2.4 Vattentransport i ledningsgravarna

På den undersökta platsen P2 fanns det en klar avsänkning av grundvattenytan såsom framgår av figur 8. Detta visar att det sker ett snabbare flöde i ledningsgraven än i omkringliggande mark.



**Fig. 8** Grundvattenytan var klart avsänkt i ledningsgraven vid platsen P2 den 6 oktober 2003. Figuren är ritad med utsiktspunkt från väster mot öster. I bildens vänsterkant finns grundvattenröret P2 norra och i högra kanten finns P2 södra. I mitten av graven ligger P2 m1 och P2 m2.

Grundvattenflödet i den undersökta ledningsgraven beräknades under perioden 6 oktober till 30 januari, vilket motsvarar 117 dagar. Beräkningarna gjordes för två snitt av ledningsgraven, S1 mellan P1 och P2 och S2 mellan P2 och P3. Flödet genom snittet S1 beräknades till  $28 \text{ m}^3$  eller  $0,24 \text{ m}^3$  per dag medan flödet genom snittet S2 var  $0,6 \text{ m}^3$  eller  $0,005 \text{ m}^3$  per dag. Den stora skillnaden beror på att den hydrauliska konduktiviteten ökar väldigt mycket mellan P2 och P1. För S2 skulle den lägre hydrauliska konduktiviteten kunna vara styrande. Om så är fallet kan flödet genom S2 beräknas till  $3 \text{ m}^3$  för undersökningsperioden eller  $0,02 \text{ m}^3$  per dag.

Partikelhastigheten beräknades  $0,23 \text{ m/dag}$  för S2 respektive  $0,005 \text{ m/dag}$  för S1 vilket motsvarar  $84 \text{ m/år}$  respektive  $1,8 \text{ m/år}$ .

**Tab 18** Grundvattenflödet i den undersökta ledningsgraven från den 6 oktober 2003 till den 30 januari 2004.

Plats	enhet	S1	S2
hydraulisk konduktivitet	m/s		$4,2 \times 10^{-5}$
porositet*	$\text{m}^3/\text{m}^3$		0,5
partikelhastighet	m/dag		0,23
avrinning	$\text{m}^3$		28

\*uppskattat

#### 4.2.5 Inflöde till graven

Som en jämförelse hur inflödet till ledningsgraven uppskattas på platsen P2. Inflödet över gravens väggar delades upp i tre delar, väggarna och botten. För att beräkna flödet över väggarna användes Dupoits antagande enligt ekvation 10. Lutningen  $dh/dx$  beräknades här mellan P2 södra och P2 m1 respektive mellan P2 norra och P2 m2 (figur 8). Inflödet till graven beräknades över en 1 m lång sträcka där höjden  $h^*$  togs som vattenpelarens höjd i P2m1 respektive P2m2.

En grov uppskattning av inflödet genom gravens botten gjordes enligt Darcy's lag (ekv 11) (Grip och Rodhe, 1994).

$$Q = -KA \frac{d\phi}{dz} \quad (11)$$

$\phi$	vattnets totala potential [m]
$\frac{d\phi}{dz}$	ändring i totalpotential per längdenhet i z-led [m m <sup>-1</sup> ]

Eftersom graven enligt figur 8 visat sig vara en sänka borde man här ha ett uppåtriktat flöde och därmed en total potential under graven som är högre än potentialen i ledningsgraven. Den totala potentialen under ledningsgraven antogs vara ett medelvärde av grundvattenytans höjd i *P2 norra* och *P2 södra* (norr och söder om graven)  $\Delta z$  m under ledningsgravens botten. I randen mellan fyllnadsmaterialet och underliggande material antogs den totala potentialen vara ett snitt mellan grundvattenrören P2m1 och P2m2 som står i ledningsgraven. Dessa antaganden gjorde att ändringen i totalpotential kunde uppskattas enligt ekvation 12.

$$\frac{d\phi}{dz} = \frac{(h_{P2m1} + h_{P2m2})/2 - (h_{P2södra} + h_{P2norra})/2}{\Delta z} \quad (12)$$

*Uppskattning av ändringen i totalpotential per längdenhet vid ledningsgravens botten.*

$h$	grundvattenytans höjd, eller totalpotential [m]
-----	---

Den hydrauliska konduktiviteten sattes till det 10<sup>-8</sup> ms<sup>-1</sup> för lerig morän och  $\Delta z$  till 0,5 m. Med dessa antaganden implementerades ekvationerna 10 och 11 i mjukvaran Matlab 6.0 för att räkna ut inflödet till ledningsgraven. Som indata användes den utökade tidserie som beräknats för grundvattenföringen.

Det uppskattade inflödet till graven blev 0,5 m<sup>3</sup> m<sup>-1</sup> på de undersökta 117 dagarna, varav den allra största delen kommer över gravens botten (0,4 m<sup>3</sup> m<sup>-1</sup>/117 dagar). Om man utökar detta till hela den undersökta biten av ledningsgraven som var 180 m lång, P1-P3, och beräknar på årsbasis får man ett inflöde på 290 m<sup>3</sup> år<sup>-1</sup> till ledningsgraven från omkringliggande mark.

#### 4.2.6 Infiltration till avloppsrören

Om man utnyttjar det antagande som säger att infiltrationen är mellan 0,01 och 1,0 m<sup>3</sup>/dag/rörets diameter i mm/km (se kap 1.4) blir infiltrationen mellan 1,1 m<sup>3</sup> till 110 m<sup>3</sup> per dag på den undersökta sträckan P1 till P3 i den grova betongledning som utgör dagvattenavlopp. Under undersökningsperioden på 117 dagar skulle alltså denna infiltration motsvara minst 120 m<sup>3</sup> vilket motsvarar 370 m<sup>3</sup> per år. Eftersom rören till största delen ligger i nivå med grundvattenytan och eftersom dagvattenledningen har visat sig vara av så dålig kvalitet är de senare värdena antagligen lågt räknade.

Ledningen för fiberfattigt fabriksavlopp är gjord av glasfiber och antas därför inte läcka.

### 4.3 Observationer rörande träledning

Under detta projekts gång har andra verksamheter i form av saneringar och undersökningar också pågått. Detta har gett information om hur andra ledningar och ledningsgravar ser ut. Bland annat har den trätub som utgjorde fabriksavlopp till och med 1972 grävts bort och mindre ledningar, t ex en mindre träledning som utgjort dagvattenavlopp grävts fram.

#### 4.3.1 Fyllning kring träledning

Fyllningen kring trätuben som har utgjort fabriksavlopp verkar vara av samma typ som omkringliggande material, vilket visade sig i provgrop P4 där har det som tidigare nämnts inte gått att påvisa någon skillnad i den jord som omgav tuben jämfört med den leriga morän som är typisk för området.

I en provgrop alldeles nedan cisternerna inom område 4 (fig 3) visade det sig att tuben låg direkt på den siltiga moränen och var överfylld med samma sandiga fyllnadsmaterial som använts för den omkringliggande marken (bilaga 6). På ett ställe nedanför denna hade tuben rasat in vilket troligen berott på att den var övertäckt med ett ganska grovt material som ger större möjlighet för aerob nedbrytning. Ingen speciell kringfyllnad verkar alltså vara lagd kring trätuben, utan det verkar snarare som att det material som har grävts upp när man byggde den också användes som kringfyllnad.

I provgrop PG 25 som grävdes i vid björksulfatfabriken påträffades en mindre fyrkantig träledning med en sida på cirka två decimeter. Sedimentet i denna hade förhöjda halter av kvicksilver. Det verkar inte som att tuben var lagd i en ledningsgrav med avvikande fyllning. Materialet alldeles intill tuben var samma finsand som var typisk för området (bilaga 6).

Inte heller har några föroreningar som kan härledas till läckage från tuben eller den mindre träledningen kunnat påvisas. Vid håltagningar och rivningar av de nedre delarna av trätuben har den visat sig vara förvånansvärt fräsch, och har luktat färskt när den har sågats i. Efter minst 50 år i jorden är alltså trätuben i gott skick och fri från läckage.

## 5 Diskussion

Undersökningarna har inte kunnat påvisa några föroreningshalter i ledningsgravar som avviker från den omkringliggande jorden i någon större utsträckning. Eftersom kraftiga föroreningshalter, speciellt av kvicksilver, hittades i avloppsslammet tyder det på att läckage från ledningar inte förekommer i någon större omfattning. De ledningar som har ingått i undersökningen är således relativt täta, trots att de som visats i filmningsprotokollet är kraftigt anfrätta med sprickor och inträngningar av rörfogar. En anledning till resultaten kan vara att ledningarna i den undersökta ledningsgraven ligger så djupt, i höjd med och delvis under grundvattenytan, vilket gör att tryckgradienten snarare är riktad in mot ledningen. I stället för läckage från ledningarna får man då infiltration i desamma från omkringliggande mark.

Ett mindre läckage av kvicksilver kunde påvisas under en skarv på dagvattenledningen men det gav bara upphov till en föroreningshalt om 3 mg/kg TS direkt under skarven. Större läckage från ledningar har under saneringen av område 4, som är förorenat av terpentin, kunnat påvisas från den trätub som utgjorde fabriksavlopp till och med 1972.

Här rörde det sig dock om ett hål om ca  $1,5 \times 1,5$  dm som givit upphov till en föroreningsutbredning.

De låga föroreningshalterna i ledningsgravarna tyder också på att det inte förekommer transport av föroreningar i någon högre grad i gravarnas längdriktning. Beräkningar och uppskattningar av flöden i graven tyder på att den största vattentransporten sker via infiltration till ledningarna och flöden i dessa. Transport av föroreningar i gravens längdriktning sker alltså inte i någon högre grad genom flöden i gravens fyllning. Det relativt fina materialet i den undersökta ledningsgraven gjorde också att flödet blev mindre.

Med den partikelhastighet som beräknades för snittet S2 skulle det uppskattningsvis ta ca 90 år för en löst förorening att nå ledningsgraven från fabriksbyggnaden B1. Denna långsamma förorenings-spridning kan också förklara att inga föroreningar har hittats i de punkter där provtagningarna har utförts. Om materialet i graven istället hade varit en mellan- till grovsand med en hydraulisk konduktivitet på  $10^{-3} \text{ m s}^{-1}$  och om man hade haft samma uppmätta tidserie för grundvattenytan skulle flödena i snitten S1 och S2 ha blivit  $670 \text{ m}^3$  respektive  $94 \text{ m}^3$  /år. Ett sådant material gör alltså att flödet i gravens längdriktning börjar närma sig infiltrationen i ledningarna som har beräknats till  $370 \text{ m}^3$ /år. Ett grövre material i ledningsgraven ger också en ökad avsänkning av grundvattenytan och därigenom en minskad infiltration till ledningarna.

Även om resultaten i denna undersökning inte tyder på att transport av föroreningar i ledningsgravar förekommer i någon större omfattning är problemet dock välkänt. Exempel på detta finns bland annat inom område 4, på Köpmanholmens industriområde, som är förorenat av terpentin. När detta sanerades en tid efter att fältundersökningarna för detta arbete hade utförts kunde man bland annat se hur terpentin följde en kabelgrav. Detta visas i bilaga 6, figur 3.

Föroreningar i avloppsvattnet kommer troligen från det förorenade sedimentet i ledningarna, speciellt eftersom det rördes upp vid provtagningarna. En bättre metod för provtagning skulle behövas för att ta dessa prover. Speciellt intressant är inga flyktiga ämnen, terpentin eller BTEX, har hittats vid provtagningen av avloppsvattnet i brunnen ND 8 trots att grundvattenprover från grundvattenrören P2 m2, i ledningsgraven, och P2 s, söder om ledningsgraven visade att terpentin fanns i grundvattnet. Infiltrationen från området kring P2, verkar alltså inte vara så kraftig som man kunde misstänka utifrån de beräkningar som gjorts. Ämnena kan dock ha hunnit avdunsta på vägen från P2 till provtagningspunkten för dagvatten eftersom avloppsledningen är väl ventilerad.

Sammantaget visar denna undersökning att läckage från ledningar och transport föroreningar i ledningsgravar inte är något stort problem på Köpmanholmens industriområde. Att transporten av föroreningar var så låg i ledningsgravens längdriktning kan delvis förklaras av att kringfyllnaden är gjord av ett relativt fint material i den undersökta ledningsgraven. Trätubens kringfyllnad utgörs av samma leriga morän som är typisk för området och spridningen längs tubens sträckning minimeras därmed.

Eventuell förorenings spridning som sker via ledningsgravar verkar istället ske genom att föroreningar kan infiltrera till avloppsledningarna och därefter snabbt transporteras bort tillsammans med avloppsvattnet.

Fler undersökningar behövs för att fastställa om det verkligen finns ett problem med förorenings spridning av den typ som beskrivits ovan. Dessa resultat tyder dock på vikten av att i ett tidigt stadium se till att ledningar inom förorenade områden är täta för att undvika infiltration. Detta kan göras genom att ledningar helt enkelt grävs av och pluggas, eller om området är i bruk genom så kallad inlining, då en strumpa av glasfiberarmerad plast läggs på insidan av ledningen som sedan härdar fast på stället.



## 6 Referenslista

### 6.1 Muntliga

Brücher Jörg, *doktor, MoRe Research, Örnsköldsvik*

Fransson Anders, *miljöingenjör, M- real Husum.*

Näslund Roland, *fd. anställd vid laboratoriet, Forss NCB fabriker, Köpmanholmen.*

Jarvis Nicholas, *Professor Inst för markvetenskap, biogeofysik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala*

### 6.2 Litteratur

AB Svensk Byggtjänst, 1999, *Anläggnings AMA 98*, ISBN 91-7332-885-5

Axelsson K, 2000, *Introduktion till geotekniken jämte byggnadsgeologin, jordmaterialläran och jordmekaniken*, Ingenjörshögskolan i Jönköping avd för Byggnadsteknik, skrift 00:1

Brücher J, Gidlund K G, 2003, *Terpentinföroreningar i marken, Köpmanholmens saneringsprojekt*, 2003-06-30 MoRe Research, projektnr 1 750 214, Örnsköldsvik

Domenico P A, Schwartz F W, 1998, *Physical and chemical hydrogeology 2<sup>nd</sup> ed*, John Wiley & Sons, Inc, ISBN 0-471-59762-7

Ellis J B, 2001, *Sewer infiltration/exfiltration and interactions with sewer flows and groundwater quality*. 2<sup>nd</sup> International Conference Interactions between sewers, treatment plants and receiving waters in urban areas – Interurba II. 19-22 Feb. 2001, Lisbon, Portugal, 311-319.

Ellis J B, Revitt D M, Lister P, Willgress C, 2002, *The effects of sediments on sewer exfiltration*, 147-153 i Proc. 3<sup>rd</sup> International Conference Sewer processes and networks, April 2002, GRAIE, Villuerbanne, Cedex, Frankrike.

Elert M, Södergren S, Jones C, Fanger G, 2002, *Köpmanholmens Industriområde, Omfattning av förorening, riskbedömning och åtgärdsförslag*, Kemakta AR 2002-06.

Fetter C W, 1994, *Applied Hydrogeology (4<sup>th</sup> ed)*, Prentice Hall

Grip H, Rodhe A, 1994, *Vattnets väg från regn till bäck, 3:e reviderade upplagan*, Hallgren & Fallgren Studieförlag AB, Uppsala.

Jarvis N J, Zavattaro L, Rajkai K, Reynolds W D, Olsen P- A, McGechen M, Mecke M, Mohanty B, Leeds- Harrison P B, Jaques D, 2002, *Indirect estimation of near- saturated hydraulic conductivity from readily available soil information*, Geoderma 108 –17.

Johnson R A, 1994, *Miller an Freund's Probability and Statistics for Engineers (5<sup>th</sup> ed)*, Prentice Hall

Markvetenskap SLU, 2001, *Laborations- och övningskompendium i markemi, Markvetenskap Mv2 14p för miljö- och vattenteknik, vt 2001*, Avdelningen för markkemi och jordmånslära, Institutionen för markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet.

McLean J E, Bledsoe B E, 1992, *Behavior of Metals in Soil*, EPA Ground Water Issue, October.

Partridge J F, 1918, *Modern Practice in Wood Stave Pipe Design and Suggestions for Standard Specifications*, Transactions of the American Society of Civil Engineers, vol LXXXII, pp 433- 514

Svenska Naturvårdsverket, 1999, *Metodik för inventering av Förorenade områden*, rapport 4918, Naturvårdsverkets förlag

SweSoil AB, 2000, *Köpmanholmens industriområde Örnsköldsvik, miljöteknisk undersökning inklusive riskanalys, 2001-10-25*

Yin Y, Allen H E, Huang C P, Sparks D L, Sanders P F, 1997, *Kinetics of Mercury(II) Adsorption and Desorption on Soil*, Environmental Science & Technology, vol 31, No 2

Örnsköldsviks Allehanda, 19 juni 1982, Sektion 2

### **6.3 Internet**

Naturvårdsverket, [www.naturvardsverket.se](http://www.naturvardsverket.se), september 2003

### **6.4 Övrigt**

PEAB, Inspektionsprotokoll och inspektionsfotografier vid filmning av ledningar inom Köpmanholmens industriområde

Örnsköldsviks kommun, Tekniska kontoret, , Inspektionsprotokoll och inspektionsfotografier vid filmning av ledningar inom Köpmanholmens industriområde

## **BILAGA 1**

Karta 1: Köpmanholmens Industriområde  
Översikt Ledningar

Karta 2: Provpunkter i avloppsbrunnar och övriga

Karta 3: Köpmanholmens Industriområde  
Den undersökta ledningsgraven och grundvattenrörens  
placering

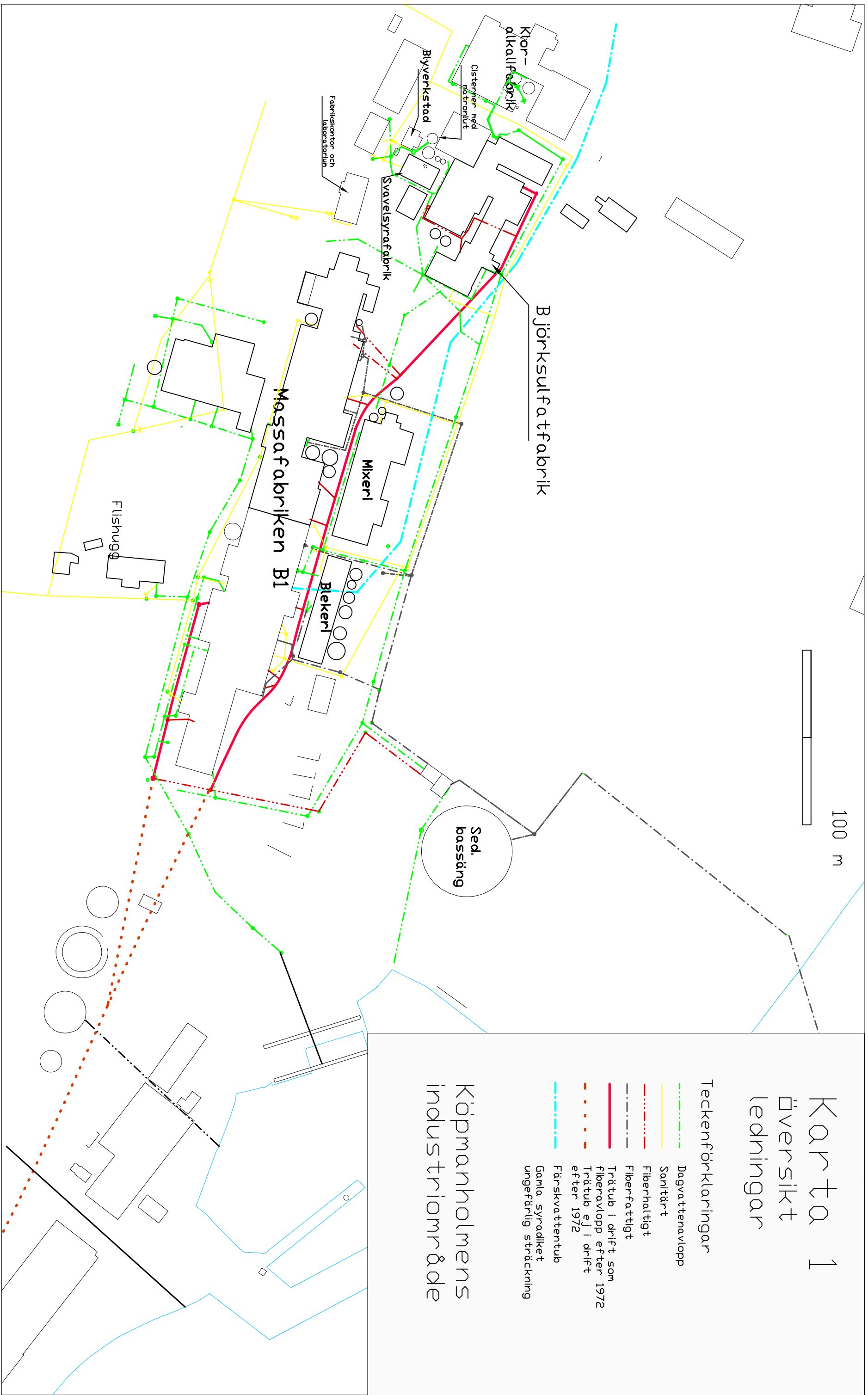
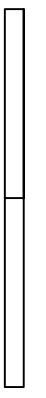
# Karta 1 översikt ledningar

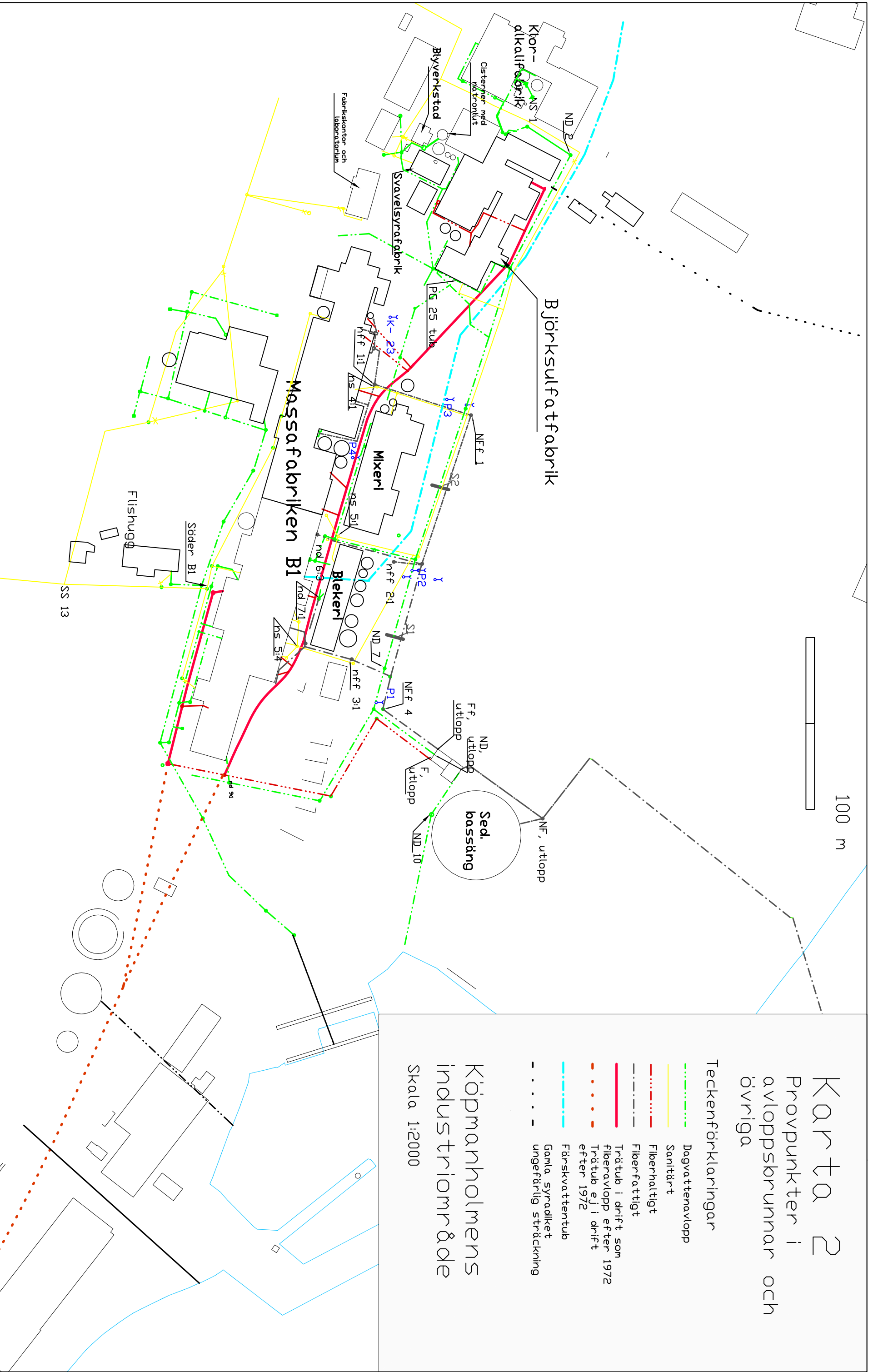
## Teckenförklaringar

- Dagvattenavlopp
- Sanitär
- Fiberhaltigt
- Fiberfattigt
- Trätub i drift som fiberavlopp efter 1972
- Trätub ej i drift efter 1972
- Färskvattentub
- Gama syraskicket ungefärlig sträckning

## Köpmanholmens industriområde

100 m





# Karta 2

Provpunkter i  
avloppsbrunnar och  
övriga

## Teckenförklaringar

- - - Dagvattenavlopp
- Sanitär
- - - Fiberhaltigt
- Fiberfattigt
- Trätub i drift som fiberavlopp efter 1972
- - - Trätub ej i drift efter 1972
- Färskvattentub
- - - Gama, syradiket ungefärlig sträckning

Köpmansholmens  
industriområde  
Skala 1:2000

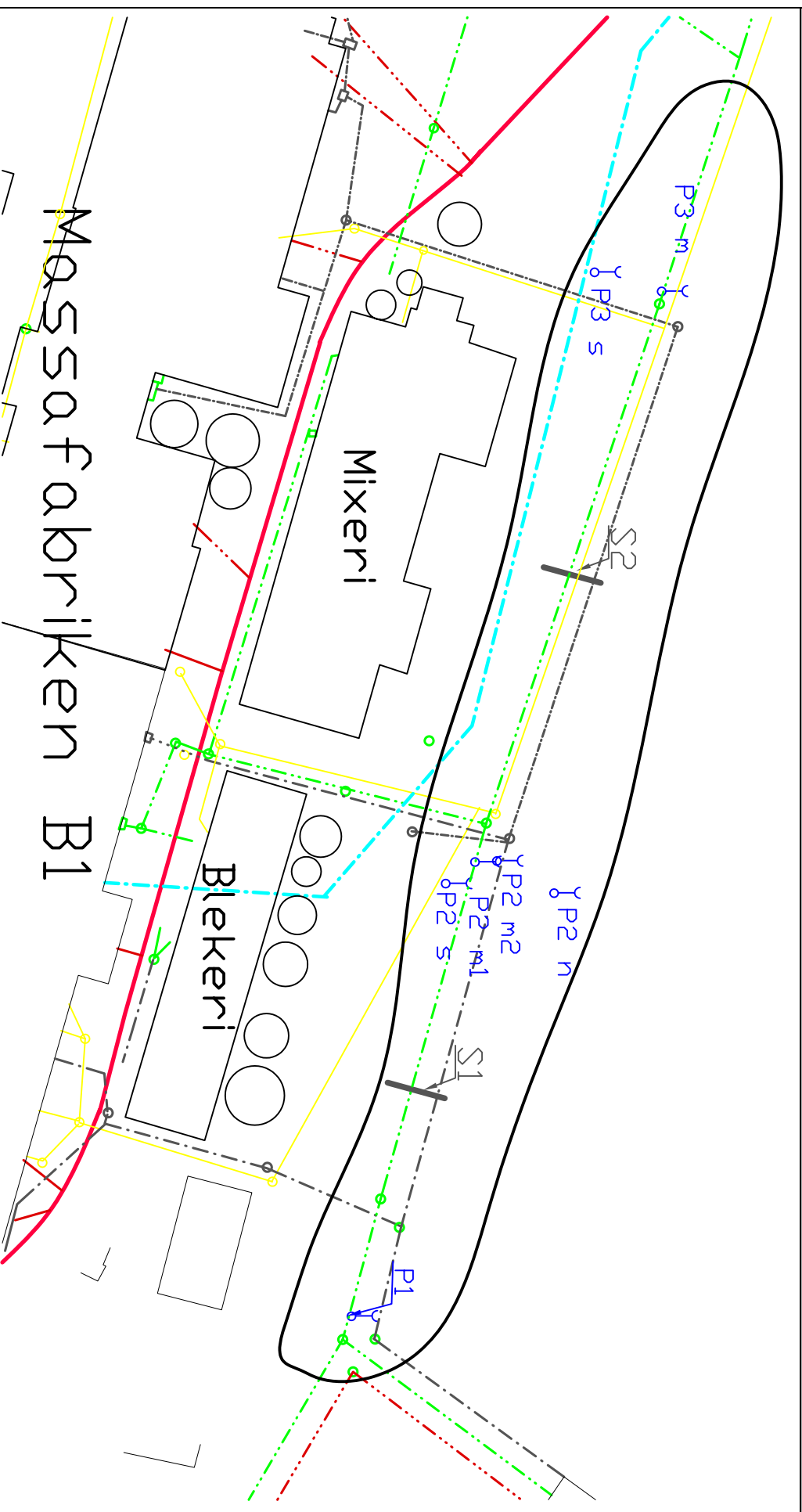
# Teckenförklaring

- grundvattenrör
- Dagvattenavlopp
- Spillvatten
- Fiberhaltigt
- Fiberfattigt
- Trätub
- Färskvattentub

## Karta 3

DEN UNDERSKÄTTA  
LEDNINGSGRAVEN

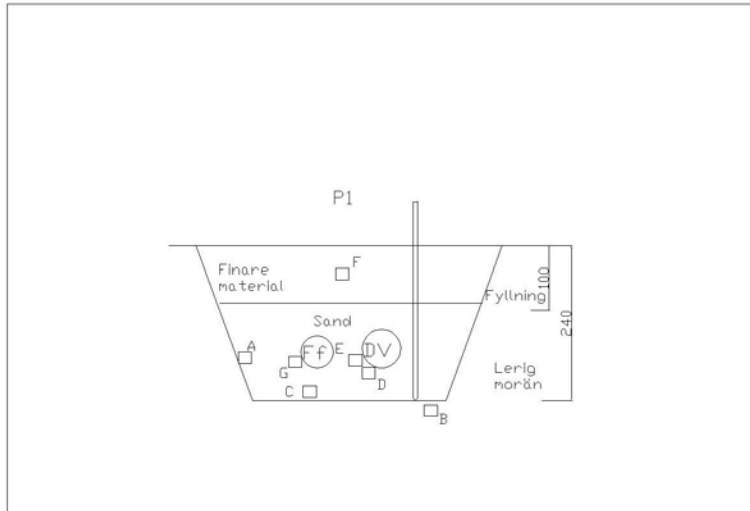
Skala 1:1000  
2004-04-05



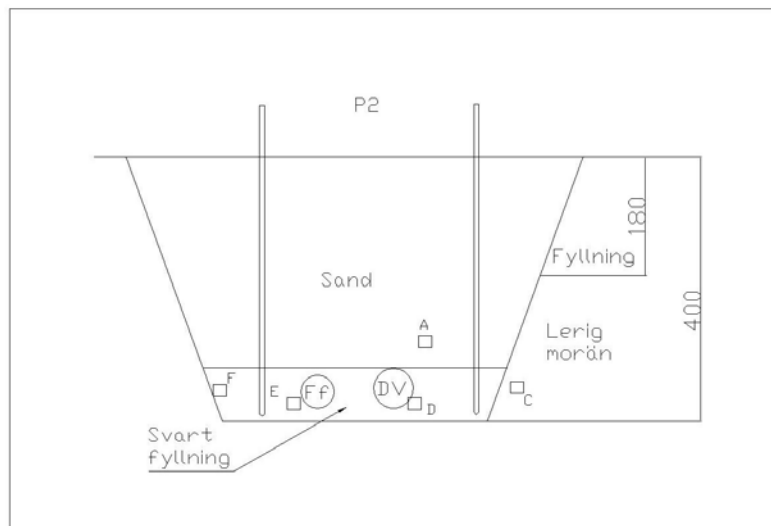
Massa fabriken B1

## BILAGA 2

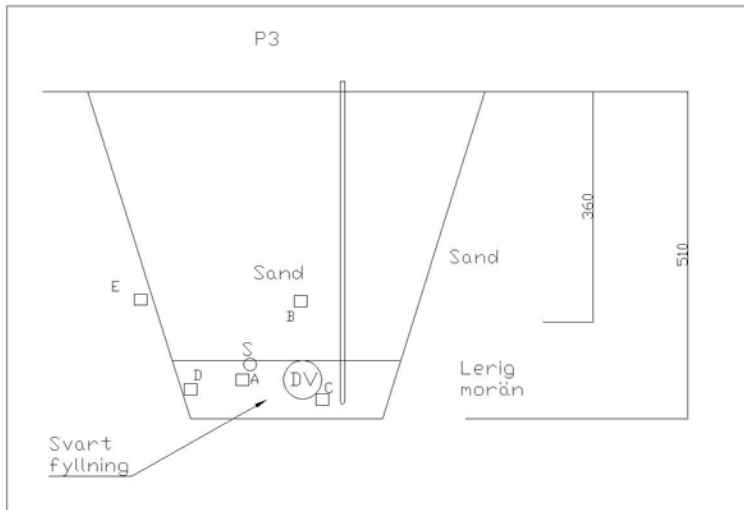
Skalenliga tvärsnitt av ledningsgravarna vid provplatserna P1- P4 med stickprovens placering.



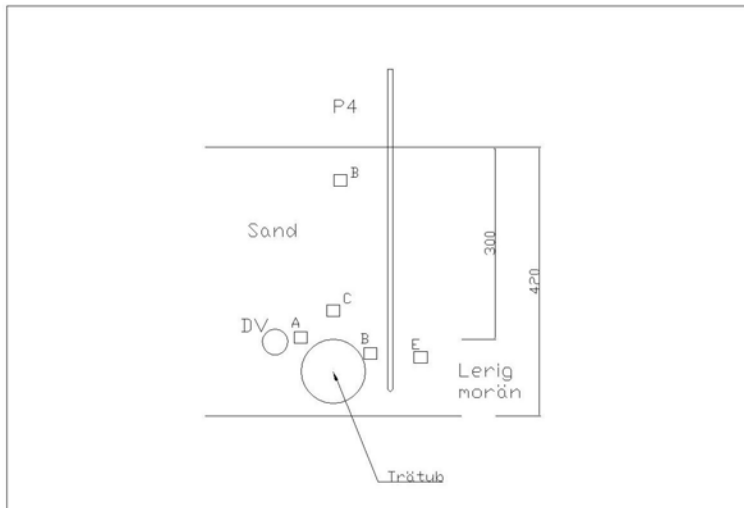
Provplats P1: DV och Ff står för dagvatten- respektive fiberfattigt avlopp. Tvärsnittet ses från väster.



Provplats P2: DV och Ff står för dagvatten- respektive fiberfattigt avlopp. Tvärsnittet ses från väster.



Provplats P3: DV och S står för dagvatten- respektive sanitärt avlopp. Tvärsnittet ses från väster.

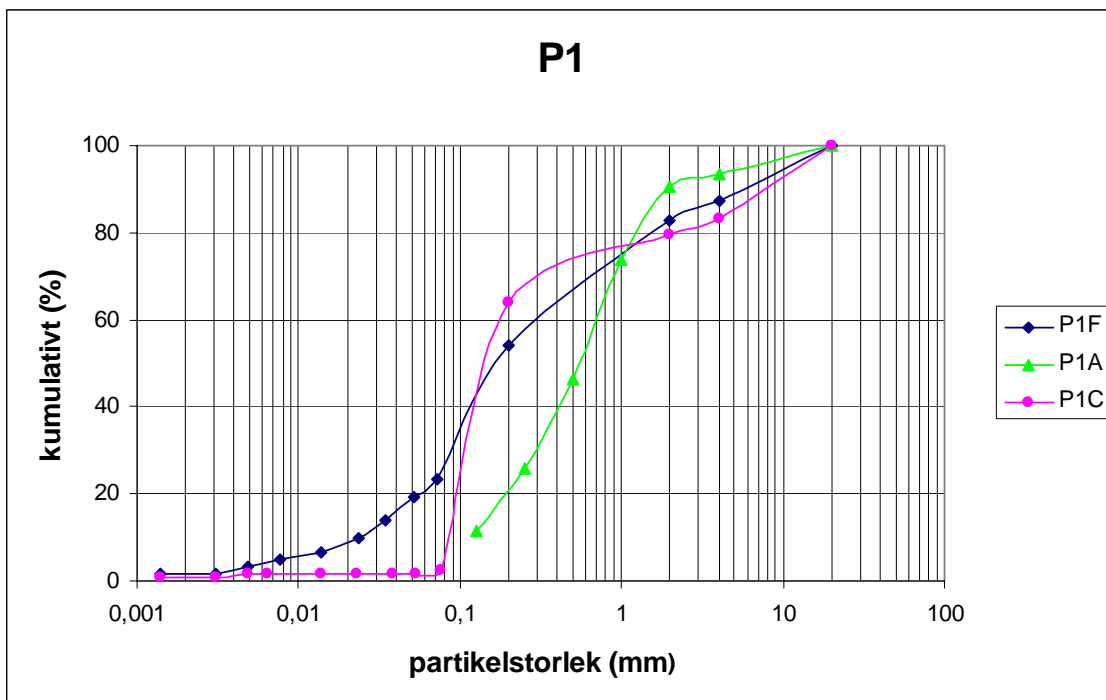
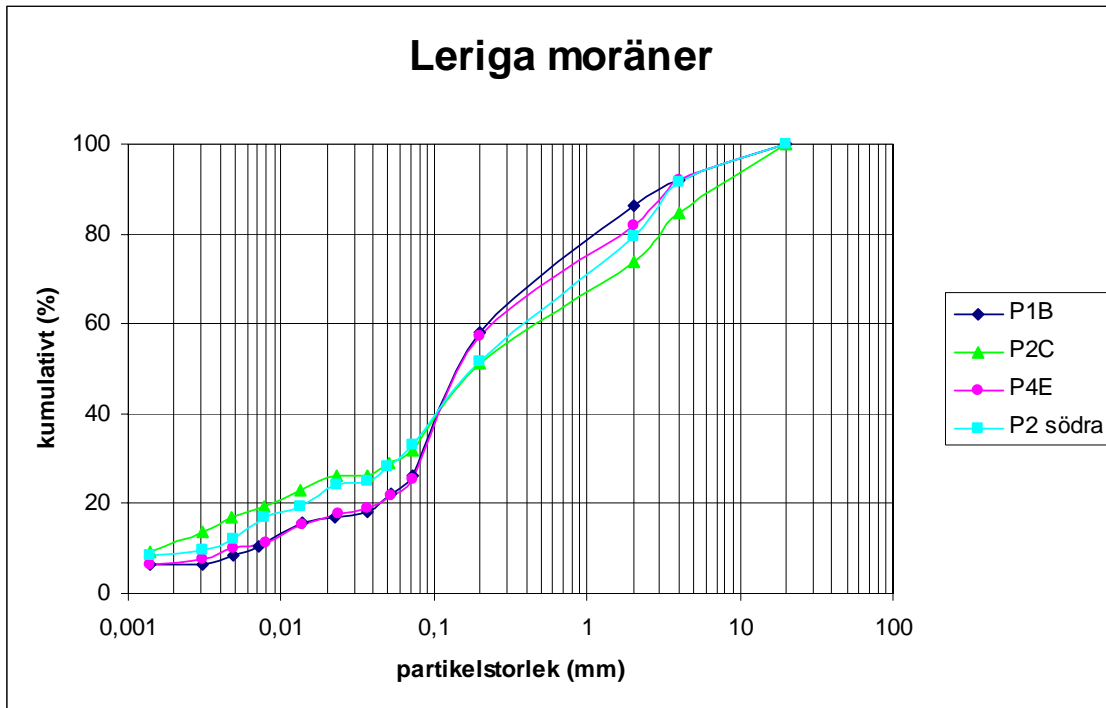


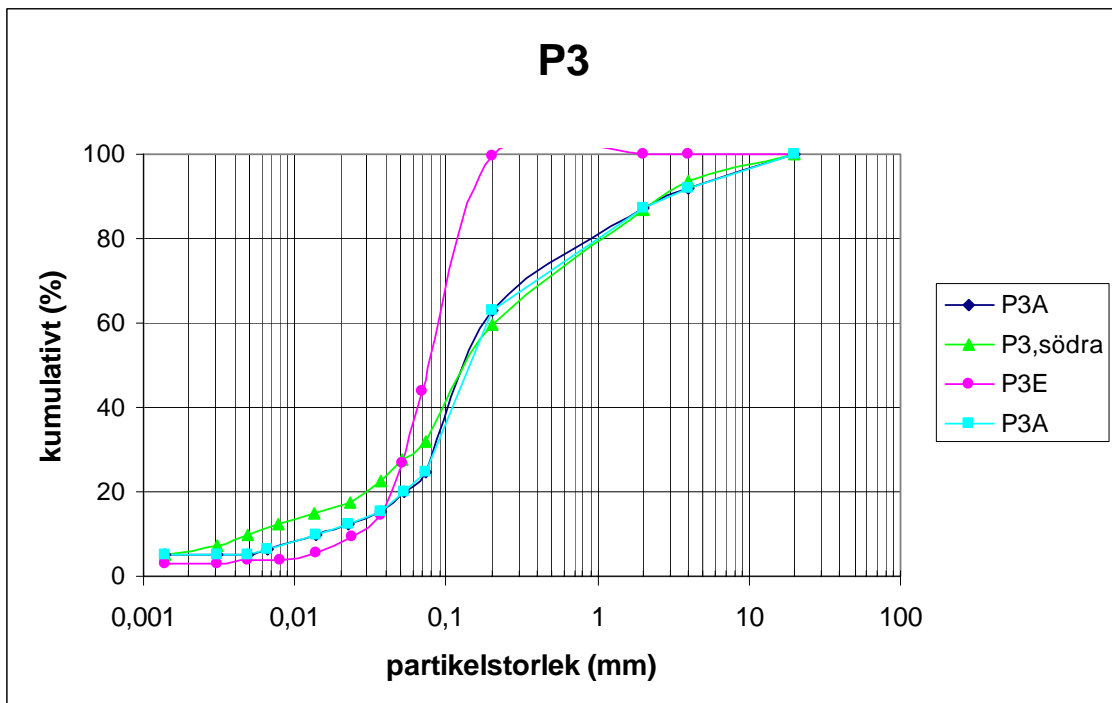
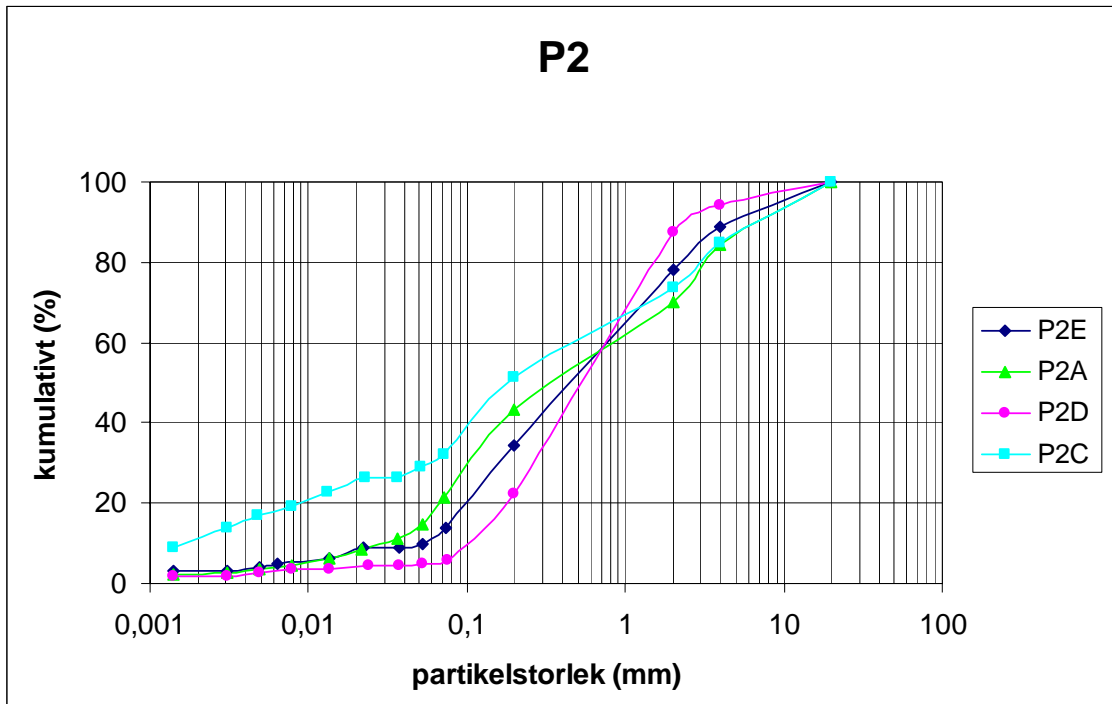
Provplats P4: DV står för dagvattenavlopp. Någon ledningsgrav i egentlig mening fanns inte på provplatsen



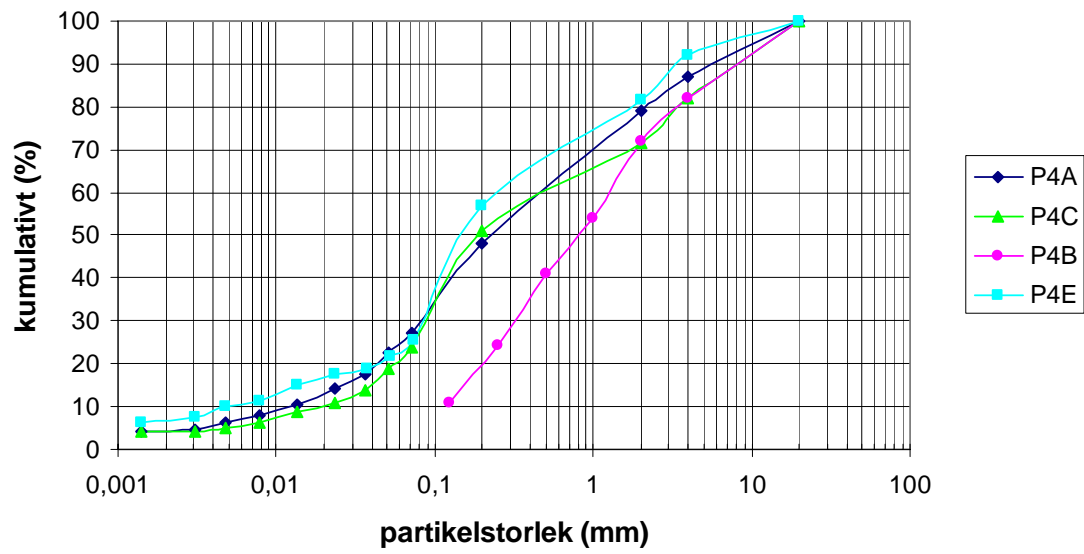
### BILAGA 3

Kornstorleksfördelningar för jordproverna uppritade enligt hydrometerförsök och siktning.





# P4



## BILAGA 4

Grundvattenytornas förändring under undersökningsperioden

**Tab 1** Grundvattennivåer mätta från rörtoppen (m).

	P4	P3s	P3m	P2s	P2m1	P2m2	P2n	P1	K-24	K-23
rörtoppens HÖH	13,26	13,84	13,69	12,18	12,82	11,81	11,73	8,34	12,68	12,77
03-10-06	2,95	4,18	4,6	3,55	4,55	3,5	3,48	2,69	3,85	4,33
03-12-05	2,78	3,98	4,36	2,6	4,18	3,3	1,98	2,3	3,8	-
03-12-12	2,93	4	4,4	2,78	4,32	3,38	2,18	2,34	3,81	-
03-12-31	3,15	4,02	4,44	2,93	4,42	3,47	1,96	2,5	3,87	4,51
04-01-12	3,16	4,07	4,48	3,17	4,53	3,55	2,42	2,56	3,81	4,55
04-01-16	3,24	4,09	4,49	3,26	4,57	3,58	2,57	2,57	3,92	4,55
04-01-23	3,29	4,12	4,51	3,39	4,63	3,62	2,78	2,62	3,88	4,59
04-01-30	3,35	4,15	4,52	3,52	4,65	-	2,98	2,62	3,89	4,62
04-04-14	2,69	3,95	4,47	3,04	4,56	3,57	3,53	2,05	3,87	-

**Tab 2** Grundvattennivåer, höjd över havet (m).

	P4	P3s	P3m	P2s	P2m1	P2m2	P2n	P1	K-24	K-23
rörtoppens HÖH	13,26	13,84	13,69	12,18	12,82	11,81	11,73	8,34	12,68	12,77
03-10-06	10,31	9,66	9,09	8,63	8,27	8,31	8,25	5,65	8,83	8,44
03-12-05	10,48	9,86	9,33	9,58	8,64	8,51	9,75	6,04	8,88	-
03-12-12	10,33	9,84	9,29	9,4	8,5	8,43	9,55	6	8,87	-
03-12-31	10,11	9,82	9,25	9,25	8,4	8,34	9,77	5,84	8,81	8,26
04-01-12	10,1	9,77	9,21	9,01	8,29	8,26	9,31	5,78	8,87	8,22
04-01-16	10,02	9,75	9,2	8,92	8,25	8,23	9,16	5,77	8,76	8,22
04-01-23	9,97	9,72	9,18	8,79	8,19	8,19	8,95	5,72	8,8	8,18
04-01-30	9,91	9,69	9,17	8,66	8,17	-	8,75	5,72	8,79	8,15
04-04-14	10,57	9,89	9,22	9,14	8,26	8,24	8,2	6,29	8,81	-

## **BILAGA 5**

Inspektionsprotokoll från dagvattenledningen i södra delen av området.



## Inspektionsprotokoll

Datum: <b>2004-04-01</b>	Projekt nr:	Väderlek: <b>Soligt</b>	Operatör: <b>PETER</b>	Ledningssträcka nr: <b>1</b>	Ref. Nr:
Profil anmärkning:	Insp.fordon: <b>Ford Transit</b>	Kamera typ: <b>SK 80 - FW 125</b>	Bedömn.grund: <b>VAVP74</b>	Förarbete 1: <b>Inget förarbete</b>	Mät metod:

Gatunamn: <b>Saneringsområde</b>	Karta nr 1:	Litt # 1: <b>ND5</b>
Plats: <b>Distrikt 505</b>	Karta nr 2:	Litt # 2: <b>ND4</b>
Överyta: <b>Grus</b>	Videoband nr:	Längd ledn.: <b>37,41 m ( insp.: 37,41 m )</b>
Inspektionssyfte: <b>Funktions- och statuskontroll</b>	Dimension: <b>dia 600 mm</b>	
Ledningstyp: <b>Dagvatten</b>	Material: <b>Betong Rörlängd: 2m</b>	
Omr.typ: <b>Industrområde</b>	Flöde: <b>Litet flöde &lt; 5 %</b>	
	Förarbete 2:	

Anmärkning:

1:300	läge	Nivå	observation	foto	sv.grad
		<u>0,00</u>	10%		
		<u>0,00</u>	B1 10%		
		<u>1,28</u>	B2 10%		
		<u>2,25</u>	10%		
		<u>6,27</u>	10%		
		<u>6,27</u>	10%		
		<u>6,27</u>	B3 10%		
		<u>12,21</u>	B4 20%		
		<u>20,54</u>	S3 20%		
		<u>23,90</u>	20%		
		<u>30,25</u>	S1 20%		
		<u>30,26</u>	B5 20%		
		<u>33,34</u>	20%		
		<u>34,06</u>	S4 20%		
		<u>37,41</u>	30%		
			Inspektion börjar		
			Sediment 2: 5-15% av rörets diameter, Börjar		2
			Ytskada 3: Rörmaterialet delvis saknas, 03 09, Börjar		3
			Inträngande fogtätning 4: Inträngande fogring i rörtvärsnittets undre halva, 04 08		4
			Inträngande fogtätning 4: Inträngande fogring i rörtvärsnittets undre halva, 04 08		4
			Utfällning 2: 5-15% reduktion av rörets diameter, 12 12		2
			Inläckning 1: Fuktig rörfog eller spricka, 12 12, Börjar		1
			Inträngande fogtätning 4: Inträngande fogring i rörtvärsnittets undre halva, 04 08, Börjar		4
			Inläckning 1: Fuktig rörfog eller spricka, 12 12, Slutar		1
			Främmande föremål 2: 5-15% reduktion av rörets tvärsnitt, 06, Anmärkning: Sten		2
			Sediment 2: 5-15% av rörets diameter, Slutar		2
			Sediment 3: 15-30% av rörets diameter, Börjar		3
			Främmande föremål 2: 5-15% reduktion av rörets tvärsnitt, 06, Anmärkning: Sten		2
			Inträngande fogtätning 4: Inträngande fogring i rörtvärsnittets undre halva, 04 08, Slutar		4
			Avbruten inspektion, Anmärkning: Pga.Sediment		



## Inspektionsprotokoll

Datum: <b>2004-04-01</b>	Projekt nr:	Väderlek: <b>Soligt</b>	Operatör: <b>PETER</b>	Ledningssträcka nr: <b>2</b>	Ref. Nr:
Profil anmärkning:	Insp.fordon: <b>Ford Transit</b>	Kamera typ: <b>SK 80 - FW 125</b>	Bedömn.grund: <b>VAVP74</b>	Förarbete 1: <b>Inget förarbete</b>	Mät metod:

Gatunamn: <b>Saneringsområde</b>	Karta nr 1:	Litt # 1: <b>ND2</b>
Plats: <b>Distrikt 505</b>	Karta nr 2:	Litt # 2: <b>ND3</b>
Överyta: <b>Asfaltyta</b>	Videoband nr:	Längd ledn.: <b>11,26 m ( insp.: 11,26 m )</b>
Inspektionssyfte: <b>Funktions- och statuskontroll</b>	Dimension: <b>dia 600 mm</b>	
Ledningstyp: <b>Dagvatten</b>	Material: <b>Betong Rör längd: 2m</b>	
Omr.typ: <b>Industrområde</b>	Flöde: <b>Litet flöde &lt; 5 %</b>	
Förarbete 2:		
Anmärkning:		

1:100	läge	Nivå	observation	foto	sv.grad
<i>V4 = Ø - 3.1 m</i>					
<b>ND2</b>	0.00	5%	Inspektion börjar		
	0.00	B1 5%	Sediment 2: 5-15% av rörets diameter, Börjar		2
	0.50	B2 5%	Inträngande fogtätning 4: Inträngande fogring i rörtvärsnittets undre halva, 04 08, Börjar		4
	1.10	B3 5%	Ytskada 3: Rörmateriallet delvis saknas, 03 09, Börjar		3
	2.95	5%	Främmande föremål 3: 15-30% reduktion av rörets tvärsnitt, 06 08, Anmärkning: Sten	25a	3
	6.93	20%	Främmande föremål 2: 5-15% reduktion av rörets tvärsnitt, 05 07, Anmärkning: Sten		2
	9.13	20%	Inträngande fogtätning 4: Inträngande fogring i rörtvärsnittets undre halva, 04 08	27a	4
	11.26	20%	Avbruten inspektion, Anmärkning: Pga.Gummiring		

## **BILAGA 6**

Foton





**Fig. 1** Avloppstuben i cisternområdet. Tuben är lagd direkt på befintligt material och överlagrad med en sandig fyllning.



**Fig. 2** En mindre trätub för dagvatten i området för björksulfatfabriken. Tuben är lagd direkt i det ursprungliga materialet som är finsand.



**Fig. 3** Exempel på en terpentinförorenad ledningsgrav. Fyllningen utgörs här av sand och omkringliggande material är siltig morän.



**Fig. 4** Passiva mätare i dagvattenbrunnen ND 8.