

SAXBERGSPROJEKTET

En dokumentation av projektets genomförande



**Projektledningsgruppen
September 2000**

Redaktör: Tom Lundgren
Envipro Miljöteknik AB

Innehåll

| | | |
|----------|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | BAKGRUND | 3 |
| 1.1 | HISTORIK | 3 |
| 1.2 | GRUVVERKSAMHETENS OMFATTNING..... | 4 |
| 1.3 | MILJÖÖVERVÄGANDEN OCH BESLUT OM ÅTGÄRDER | 4 |
| 1.4 | PLANERING, ORGANISATION OCH FINANSIERING | 5 |
| 1.5 | GENOMFÖRANDE AV SAMRÅD OCH INFORMATION | 7 |
| 2 | FÖRSTUDIER OCH BEHANDLINGSPLAN FÖR SAXDALEN..... | 8 |
| 2.1 | BAKGRUND | 8 |
| 2.2 | FÖRORENADE MARKOMRÅDEN I SAXDALEN | 8 |
| 3 | FÖRSTUDIER OCH BEHANDLINGSPLAN FÖR SANDMAGASINEN | 11 |
| 3.1 | FÖRSTUDIER OM MILJÖSITUATIONEN OCH BEHOV AV ÅTGÄRDER | 11 |
| 3.1.1 | <i>Allmänt</i> | <i>11</i> |
| 3.1.2 | <i>Magasinens lägen och utformning</i> | <i>11</i> |
| 3.1.3 | <i>Avfallet</i> | <i>12</i> |
| 3.1.4 | <i>Grundvattenförhållanden och metalltransport</i> | <i>12</i> |
| 3.2 | TILLGÅNG PÅ TÄCKNINGSMASSOR | 13 |
| 3.3 | GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDEN | 14 |
| 3.4 | VAL AV AMBITIONSNIVÅ FÖR TÄCKNING AV SANDMAGASINEN | 14 |
| 3.4.1 | <i>Möjliga täckningsmaterial</i> | <i>14</i> |
| 3.4.2 | <i>Modellberäkningar för täckning med morän</i> | <i>15</i> |
| 3.5 | GENOMFÖRANDE AV TÄCKNING AV SANDMAGASINEN | 15 |
| 3.6 | FRAMTAGANDE AV ANBUDSUNDERLAG OCH VAL AV HUVUDENTREPRENÖR | 17 |
| 4 | PLAN FÖR EFTERBEHANDLING AV GRUVOMRÅDET..... | 18 |
| 4.1 | LÄGE OCH UTFORMNING | 18 |
| 4.2 | PLANERING OCH GENOMFÖRANDE | 18 |
| 5 | SANERING AV FÖRORENADE MARKOMRÅDEN I SAXDALEN | 19 |
| 5.1 | DE FÖRORENADE MASSORNA | 19 |
| 5.2 | UPPLÄGGNING AV ARBETET | 19 |
| 5.3 | BORTFÖRSEL AV GRUVAVFALL OCH FÖRORENAD JORD KRING DET ÄLDSTA VERKET..... | 19 |
| 5.4 | MUDDRING AV ANRIKNINGSSAND I SJÖN SAXEN | 20 |
| 5.5 | ÅTERSKEPPANDE AV VATTFALLSGROPBÄCKEN GENOM SAXDALEN | 20 |
| 5.6 | UTFORMNING AV BADPLATS M.M. I SAXEN | 20 |
| 5.7 | FRAMTIDA MARKANVÄNDNING..... | 21 |
| 6 | TÄCKNING AV SANDMAGASINEN | 22 |
| 6.1 | SYFTE OCH VALD AMBITIONSNIVÅ | 22 |
| 6.2 | VAL AV TÄCKNINGSMASSOR | 22 |
| 6.3 | PLANERING OCH UPPHANDLING | 23 |
| 6.4 | FÖRBEREDANDE ARBETEN | 23 |
| 6.5 | PROBLEM MED BL.A. GRUNDVATTEN | 24 |
| 6.6 | UTLÄGGNING OCH PACKNING AV TÄTSKIKT | 25 |
| 6.7 | TILLVERKNING AV SKYDDSSKIKT..... | 28 |
| 6.8 | UTFORMNING AV SLÄNTER | 28 |
| 6.9 | AVLEDNING AV VATTEN PÅ FÄRDIGSTÄLLDA MAGASIN | 29 |
| 6.10 | UTFÖRANDEKONTROLL..... | 31 |
| 6.10.1 | <i>Allmänt</i> | <i>31</i> |
| 6.10.2 | <i>Materialkontroll</i> | <i>31</i> |
| 6.10.3 | <i>Packningskontroll</i> | <i>32</i> |
| 6.11 | FUNKTIONSKONTROLL | 34 |
| 6.12 | FRAMTIDA MARKANVÄNDNING..... | 35 |
| 7 | EFTERBEHANDLING AV GRUVOMRÅDET | 36 |
| 7.1 | TILLREDNINGSBERG, RASÖPPNING OCH ANDRA MARKYTOR..... | 36 |

| | | |
|-----------|----------------------------------------------------------|-----------|
| 7.2 | RIVNING AV BYGGNADER..... | 37 |
| 7.3 | LEDNINGAR OCH PUMPSTATIONER M.M..... | 37 |
| 7.4 | SÄKRING AV GRUVÖPPNINGAR..... | 37 |
| 7.5 | FRAMTIDA MARKANVÄNDNINGSMÖJLIGHETER | 37 |
| 8 | UPPFÖLJNING AV ÅTGÄRDERNAS EFFEKT..... | 38 |
| 8.1 | UPPLÄGGNING OCH GENOMFÖRANDE..... | 38 |
| 8.2 | FÖRORENAD MARK I SAXDALEN | 38 |
| 8.3 | TÄCKNINGENS FUNKTION PÅ SANDMAGASINEN | 39 |
| 8.3.1 | <i>Bakgrund</i> | 39 |
| 8.3.2 | <i>Förutsättningar</i> | 40 |
| 8.3.3 | <i>Vattenbalansen</i> | 40 |
| 8.3.4 | <i>Syretransporten</i> | 43 |
| 8.4 | DET UTGÅENDE VATTNETS KVALITET | 48 |
| 8.4.1 | <i>Grundvatten</i> | 48 |
| 8.4.2 | <i>Ytvatten - funktionskontrollprogrammet</i> | 50 |
| 8.4.3 | <i>Ytvatten - det reguljära kontrollprogrammet</i> | 51 |
| 8.4.4 | <i>Slutsatser</i> | 53 |
| 8.5 | GRUVAN OCH GRUVOMRÅDET | 53 |
| 8.6 | FRAMTIDA ÖVERVAKNING | 53 |
| 9 | DOKUMENTATION OCH INFORMATION..... | 55 |
| 9.1 | MYNDIGHETSBEKÄNNELSE | 55 |
| 9.2 | TEKNISKA RAPPORTER | 55 |
| 9.3 | BYGGHANDLINGAR OCH PROTOKOLL..... | 55 |
| 9.4 | INFORMATION TILL ALLMÄNHETEN | 60 |
| 10 | VAD HAR VI LÄRT AV PROJEKTET?..... | 62 |
| 10.1 | SAMMANFATTANDE SLUTSATSER..... | 62 |
| 10.2 | UPPLÄGGNING, UPPHANDLING OCH KONTRAKTSSKRIVNING | 63 |
| 10.3 | FÖRUNDERSÖKNING OCH PROJEKTERING | 64 |
| 10.4 | TÄKT FÖR TÄTSKIKTSMATERIAL | 66 |
| 10.5 | FÖRARBETEN PÅ SANDMAGASINEN | 66 |
| 10.6 | PACKNING AV TÄTSKIKTET | 67 |
| 10.7 | UTLÄGGNING AV SKYDDSSKIKTET | 69 |
| 10.8 | UTFÖRANDEKONTROLL..... | 70 |
| 10.9 | FUNKTIONSKONTROLL | 70 |
| 10.10 | DOKUMENTATION OCH INFORMATION..... | 71 |
| 10.11 | KOSTNADER | 72 |
| 11 | LITTERATUR | 73 |
| 11.1 | REFERERAD LITTERATUR (I BOKSTAVSORDNING)..... | 73 |
| 11.2 | ATT LÄSA..... | 73 |

BILAGOR

1. Projekt(bygg)handlingar (i kronologisk ordning)
2. Projektrapporter (i kronologisk ordning)
3. Projektskrivelser (i kronologisk ordning)

1 Bakgrund

1.1 Historik

Berget Saxberget med samhället Saxdalen ligger söder om den lilla sjön Saxen i Ludvika kommun. I denna del av Bergslagen förekommer järnmalmgruvor sida vid sida med sulfidmalmgruvor. Visserligen finns ingen känd järnmalmfyndighet just vid Saxberget men järnmalm finns närbelägna Blötberget och Grängesberg. Det var förmodligen därifrån man fick malm till den hytta i Saxdalen som producerade järn redan på 1630-talet. Hyttan utnyttjade kraften från Vattfallsgröpbäcken som avvattnar ett ca 15 km² stort avrinningsområde som omfattar Saxbergets och Låsbergets långa nord-, respektive sydsluttningar.

Saxbergsgruvan hette ursprungligen Långfallsgruvan och upptäcktes i slutet av 1800-talet av Skarp Jakob Jansson från Räfåla by som Saxdalen hette då. Det första anrikningsverket, som togs i drift 1892, låg nere i byn. Malmen innehöll främst zink och bly och var mycket svårbearbetad. Det krävdes en lång utveckling av teknik och tillflöde av nytt-kapital innan man 1923 började få ekonomi på utvinningen.

Före 1935, då Zinkgruvor AB köpte gruvan, var förhållandena instabila med flera ägare och en brand som på 30-talet förstörde det då nyligen uppförda nya anrikningsverket vid gruvan. Boliden tog över gruvan 1957 och utökade verksamheten. 1988 var malmen slut och man tvingades lägga ner. Eftersom anrikningsverket och gruvan sysselsatte inte mindre än 100 personer, innebar nedläggningen problem för samhället Saxdalen.

Efterbehandlingsplanen för Saxberget har sin grund i det beslut som koncessionsnämnden för miljöskydd tog i mars 1982 rörande avvecklingen av Bolidens verksamhet vid gruvan. I detta beslut föreskrevs att bolaget skulle inge en plan för återställningsåtgärder vid sandmagasinet i Saxberget för godkännande av länsstyrelsen i Kopparbergs län. En sådan plan inlämnades i oktober 1983, men återkallades senare eftersom Naturvårdsverket motsatte sig den deponering av sand i det Västra Sandmagasinet (det äldre) som bolaget förutsatt i planen.

Gruvverksamheten i Saxberget - viktiga årtal

| | |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 1634-1865 | En järnmalmshytta drevs vid Hyttdammen |
| 1886 | Gruvbrytning startar i Långfallsgruvan |
| 1892 | Första anrikningsverket (i byn) tas i drift |
| 1902-1903 | Fem rostugnar byggs. Driften pågår en bit in på 20-talet |
| 1929 | Nytt kross- och anrikningsverk byggs vid gruvan. Deponering i Västra Magasinet. |
| 1935 | Yngsta anrikningsverket tas i drift sedan det äldre ödelagts i brand |
| 1960 | Nya sand- och klarningsmagasinet (Östra Magasinet) tas i drift |
| 1975-1976 | Muddring av gammalt avfall i Saxen och första upprensning vid Vattfallsgröpbäcken |
| 1982 | Första prövningen enligt miljöskyddslagen (dammvallar mm) |
| 1988 | Driften vid gruvan upphör |
| 1989-1991 | Saneringsåtgärderna utreds och projekteras |
| 1991 | Ny sanering genomförs i Saxdalenområdet |
| 1992 | Sanering påbörjas i Gruvområdet |
| 1993-1995 | Täckning av sandmagasinen genomförs |
| 1997 | Pumpning av gruvan upphör |
| 1997 | Fortsatt sanering av Gruvområdet |

Frågan om efterbehandling diskuterades ett flertal gånger mellan bolaget, länsstyrelsen och Naturvårdsverket. Ett avgörande blev nödvändigt då Boliden beslutade att upphöra med verksamheten i Saxbergsgruvan i och med utgången av september månad 1988. Fortsatt deponering av sand i det Östra Sandmagasinet blev därmed inte längre aktuell. Länsstyrelsen krävde såsom tidigare att båda magasinerna skulle ingå i efterbehandlingsplanen vars inlämnande fick anstånd till utgången av 1988.

Genom särskilda överläggningar kom Boliden Mineral AB och Naturvårdsverket under våren 1990 överens om att genomföra ett gemensamt efterbehandlingsprojekt i Saxdalen, där Naturvårdsverket som företrädare för Staten tog ansvaret för de områden som relaterade till verksamheter före Bolidens tillträde till gruvan 1958. Man beslöt att dela kostnaderna för efterbehandlingen lika mellan Boliden och Naturvårdsverket. Finansieringen av Statens del i projektet skedde genom medel från anslag som avsågs bekosta saneringen av sådana industriområden som förorenats före miljöskyddslagens tillkomst och för vilka det inte finns någon ansvarig.

I koncessionsnämndens föreskrift anges enbart ett sandmagasin vilket föranledde Boliden att i sin plan påpeka att det egentligen handlar om två magasin, varav endast det ena, det östra, utnyttjats av bolaget. För det ursprungliga magasinet, det västra, vilket avslutades redan före 1958, fanns det inte kvar någon ansvarig.

En ny efterbehandlingsplan för sandmagasinen godkändes av länsstyrelsen i februari 1992 (del 1 - nivellering) och oktober samma år (del 2 - täckning). Tillstånd att ändra antalet delskikt gavs i ett beslut av länsstyrelsen i juni 1994.

1.2 Gruvverksamhetens omfattning

Även om malmkroppen i Saxbergsgruvan var begränsad till sin volym var den en av Sveriges rikaste malmer. Halten zink och bly kunde tidvis uppgå till 15 %. Den ursprungligen brutna delen av malmkroppen låg på måttligt djup där sättningar i gruvan skapade en djup och med rasmassor fylld svacka i terrängen, ofta felaktigt benämnd "Dagbrottet". Under senare tid bröts malm från nivån -345 m till -900 m.

Totalt beräknas 8,2 miljoner ton malm ha uppfodrats ur Saxbergsgruvan. Eftersom uttaget av koncentrat hållit sig mellan 5 och 20 % och anrikningen har skett på platsen bör mängden restprodukter från verksamheten ligga kring 7,5 miljoner ton eller ca 4 miljoner m³. Den ojämförligt största delen av restprodukterna består av anrikningssand, men smärre mängder grövre material i form av gråberg eller tillredningsberg och från den äldsta verksamheten även slagg förekommer. Den nämnda volymen omfattar inte massor som sekundärt kontaminerats av metaller, t.ex. resterna från det gamla smältverket.

1.3 Miljööverväganden och beslut om åtgärder

Under 80-talet uppmärksammades att sjön Väsmans vatten innehåller förhöjda halter av metaller, främst kadmium och zink. Belastningen kunde härledas till sjön Saxen och dess tillflöde Vattfallsgropbäcken. I mars 1985 gjorde koncessionsnämnden bedömningen att belastningen av zink på Vattfallsgropbäcken var oroväckande hög och att man måste klarlägga

vilka källorna var till denna belastning innan man kunde pröva frågan om efterbehandling av sandmagasinen. Sedan man visat att metallbelastningen på Väsman till större delen berodde på det äldre avfallet i Saxdalen, men att belastningen sannolikt kommer att öka om inte magasinen åtgärdas, inlämnades en slutlig efterbehandlingsplan vid utgången av 1988 och godkändes av länsstyrelsen. Planen utvidgades senare till att omfatta inte enbart de två sandmagasinen utan även industriområdet vid gruvan och det förorenade området nere i Saxdalen.

1.4 Planering, organisation och finansiering

Projektet organiserades övergripande i en projektledningsgrupp och två arbetsgrupper. Projektledningsgruppen har haft det övergripande tekniska och ekonomiska ansvaret medan en av arbetsgrupperna ansvarat för uppläggning och genomförande av saneringsarbetet i Saxdalen och den andra arbetsgruppen haft motsvarande ansvar för täckningsarbetet på sandmagasinen. Det dagliga ansvaret har legat på projektledaren och dennes kontrollanter. Sammansättningen på projektledningen framgår av tabell 1.1.

Tabell 1.1 Organisation och bemanning av ledningen för projekt Saxberget.

| Namn | Representerar | Anmärkning |
|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Projektledare och kontrollant | | |
| Per-Ove Nyström | Boliden Mineral AB | Boliden Mindeco |
| Tommy Schönfeldt | Boliden Mineral AB | Edström & Schönfeldt |
| Gunnar Karlsson | Boliden Mineral AB | Platskontrollant |
| Projektledningsgrupp | | |
| Broman, Per G | Boliden Mineral AB | |
| Granström, Per-Erik | Ludvika kommun | |
| Gustafsson, Hans | Naturvårdsverket | |
| Holmgren, Svante | Boliden Mineral AB | ordf. |
| Lindahl, Lars-Åke | Naturvårdsverket | |
| Nyström, Per-Ove | Boliden Mineral AB | |
| Södermark, Björn | Naturvårdsverket | ordf. |
| Arbetsgrupp Saxdalen | | |
| Göthlin, Sven | Länsstyrelsen i W län | Inbjuden för information |
| Lindahl, Lars-Åke | Naturvårdsverket | ordf. |
| Nyström, Per-Ove | Boliden Mineral AB | |
| Rundqvist, Ingvald | Ludvika kommun | |
| Arbetsgrupp Sandmagasin | | |
| Broman, Per G | Boliden Mineral AB | |
| Göthlin, Sven | Länsstyrelsen i W län | |
| Lindahl, Lars-Åke | Naturvårdsverket | |
| Nyström, Per-Ove | Boliden Mineral AB | ordf. |
| Rundqvist, Ingvald | Ludvika kommun | |
| Tommy Schönfeldt | Edström & Schönfeldt | ordf. |

Under genomförandet av projektet har de närboende och de av kommunens tjänstemän och förtroendevalda som varit berörda av arbetet hållits informerade genom skrivelser och särskilda informationsmöten där de kunnat ge synpunkter på arbetet, se vidare avsnitt 8.8. Extern information/samråd var särskilt angelägen vid saneringsarbetena i Saxdalen. Informationsgruppens sammansättning framgår av tabell 1.2.

Tabell 1.2 Informationsgruppens sammansättning (kontaktpersoner).

| Namn | Representerande | Anmärkning |
|--------------------|------------------------------------------------|---------------------|
| Holmberg, Johnny | Boende i "Momsen"-området | |
| Åberg, Anders | -"- | |
| Rått, Ralf | Boliden Mineral AB | 1990-93, informatör |
| Eriksson, Göran | Ludvika kommun, Miljö- och hälsoskyddskontoret | |
| Karlsson, Gunnar | Projektets lokala kontaktperson | Informatör |
| Kerstis, Ingvar | -"-, Tekniska kontoret | 1990-93, informatör |
| Larsson, Börje | -"-, Kommunledningskontoret | Informatör |
| Lindahl, Lars-Åke | Naturvårdsverket | Informatör |
| Rundqvist, Ingvald | Ludvika kommun | Informatör |

Som framgår av sammanställningen av projektskrivelser och -rapporter har en mängd experter och konsulter varit engagerade i förarbete och genomförande av projektet. Tabell 1.3 sammanfattar de som engagerats för detta och i tabell 1.4 visas vilka entreprenörer och underentreprenörer som genomfört de praktiska arbetena.

Tabell 1.3 Sammanställning av konsulter och experter som engagerats för projektet.

| Företag | Uppgifter | Experter |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| VBB AB | Projektering i Saxdalen | Bengt Ekström, Jan Eurenus |
| VIAK AB | | |
| Institutet för Miljömedicin | Hälsoeffektbedömningar | Lennart Dock |
| KH Byggkonsult AB | Kontroll av rötslamsförsök | Kurt Högström |
| Statens geotekniska institut | Laboratorieförsök, rötslamsförsök | Tom Lundgren, Pär Elander, Sten Kullberg, Fredrik Burman, Britt Aurell, Lena Fredén |
| Terratema AB | Kartläggning av förorenad mark, täckningsteknik, utförande- och funktionskontroll | Tom Lundgren, Lisa Ledskog, Elke Myrhede, Ann Palmqvist, Margaretha Svensson, Jan Sundberg, Åke Gustafsson |
| Ragn-Sells Agro AB | Rötslamsförsök | Anders Tengsved |
| Vattenfall HydroPower AB | Moränkartläggning | Rolf Christiansson, Rickard Jernlås |
| Kemakta AB | Modellberäkningar över vatten- och syreomsättning samt vittring och transport | Lars-Olof Höglund, Maria Lindgren |
| Golder Geosystem AB | Grundvattenförhållanden och metalltransport | Carl-Lennart Axelsson, Anders Ekstav, Johan Holmen, Ulf Qvarfort |
| J&W Bygg & Anläggning AB | Besiktning av sprickor på byggnader | |
| Vattenfall Hydro Power AB | Kontrollant | Bo Nyberg |
| Gräsetablering AB | Beprotning av sandmagasinen med gräsblandning | Hans Danielsson |
| Rune Wilson, trädgårdskonsulent | Besiktningförrättning: växtetablering, slutbesiktning | Rune Wilson |
| Hushållningssällskapet i Dalarna | Garantibesiktning | Harald Kratschmer, Trädgårdsservice |

Tabell 1.4 Sammanställning av entreprenörer och underentreprenörer som genomförde efterbehandlingen av sandmagasinen i Saxberget.

| Företag | Uppgifter | Ansvariga |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AEB Anläggnings-entreprenader AB, Ludvika | Huvudentreprenör för saneringen i Saxdalen | Håkan Lodin, arbetsledare |
| Gräv och schakt AB, Västerås | Huvudentreprenör för masstransporten i samband med täckningen av sandmagasinen | Stig Åström, projektansvarig Lennart Rydin, arbetsledare Gunnar Lindberg, arbetsledare Lars Eriksson, arbetsledare |
| Vägmaskiner AB, Norrköping | Ansvarig för packningsarbetena i samband med täckningen av sandmagasinen | Åke Eklund, projektledare, ansvarig för packningsarbetena |
| PEAB Nord AB | Schakt- och rivningsarbeten inom gruvområdet (Boliden Mineral) | Ingvar Heed, arbetschef |

Totalt beräknades det ta fem år för att genomföra efterbehandlingsplanen. Den sammanlagda kostnaden för att genomföra efterbehandlingen enligt planen budgeterades till drygt 55 Mkr. Kostnaderna fördelades enligt sammanställningen i tabell 1.5. Utfallet av kostnaderna redovisas i avsnitt 10.11.

Tabell 1.5 De budgeterade kostnaderna för de olika delarna av saneringsarbetena i Saxdalen och Saxberget. Utfallet av kostnaderna redovisas i avsnitt 10.11.

| Objekt | Budgeterad kostnad (Mkr) | Ansvarig (betalande) |
|------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| Gruvområdet | 7 | Boliden Mineral AB |
| Sandmagasinen | 37 | Staten och Boliden Mineral AB |
| ”Momsen”-området i Saxdalen | 11 | Staten via Naturvårdsverket |
| Projektledning ”Momsen-omr.” | 0,2 | Kommunen |
| Summa: | 55,2 | |

1.5 Genomförande av samråd och information

Projektets utveckling grundades på en form av samråd mellan huvudintressenterna Boliden Mineral AB och Naturvårdsverket, men även mellan projektet och Länsstyrelsen. De senare samråden var täta i vissa delar av projektet och kan i praktiken därför karakteriseras som kontinuerliga. Kommunen deltog också i viss utsträckning i dessa samråd.

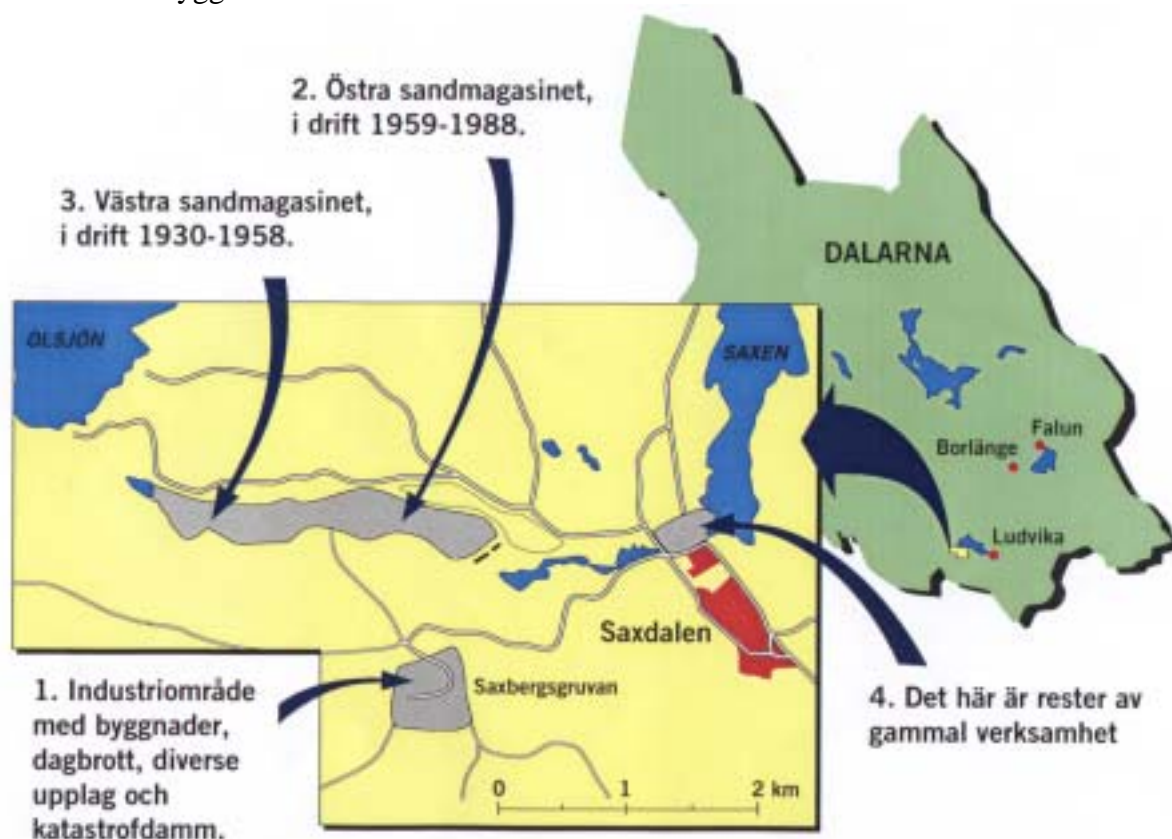
När planerna för saneringsarbetena började få en fastare form, gavs också en mer allmän och extern information om projektet. Detta skedde i form av offentliga informationsmöten i Saxberget. Dessa var nödvändiga eftersom spekulationer börjat spridas i lokalpressen. För att öka insynen i projektet och underlätta utbytet av informationen med de närmast berörda villaägarna startades en särskild informationsgrupp med representanter för invånarna i byn och de förtroendevalda i kommunen. Gruppen deltog i vissa av projektledningsgruppens möten.

2 Förstudier och behandlingsplan för Saxdalen

2.1 Bakgrund

Saxdalen och Saxberget har fått sitt namn av den lilla sjön Saxen som utgör en avsnörd vik av den större sjön Väsman som ligger väster om Ludvika i Södra Dalarna, figur 2.1. Avståndet till de större orterna Grängesberg, Ludvika och Sunnansjö är en dryg mil. Saxdalen är den nuvarande benämningen på samhället som förr hette Råfvåla by, medan Saxberget egentligen är namnet på den bergsrygg strax väster om samhället som gruvan, Saxbergsgruvan ligger vid.

De aktuella saneringsarbetena berör, som redan nämnts, samhället Saxdalen, Saxbergsgruvan och sandmagasinen, se figur 2.1. Saneringen i Saxdalen berör endast ravinen kring Vattfalls-gropbäcken och de villafastigheter som ligger intill denna. Figur 2.2 visar läget för den gamla avfallssanden i ravinen, de närliggande fastigheterna och industribyggnaderna som rivdes 1930. Villorna som förlagts i en hästskoform strax norr om ravinen utgör det s.k. Momsen-området som byggdes i mitten av 70-talet.

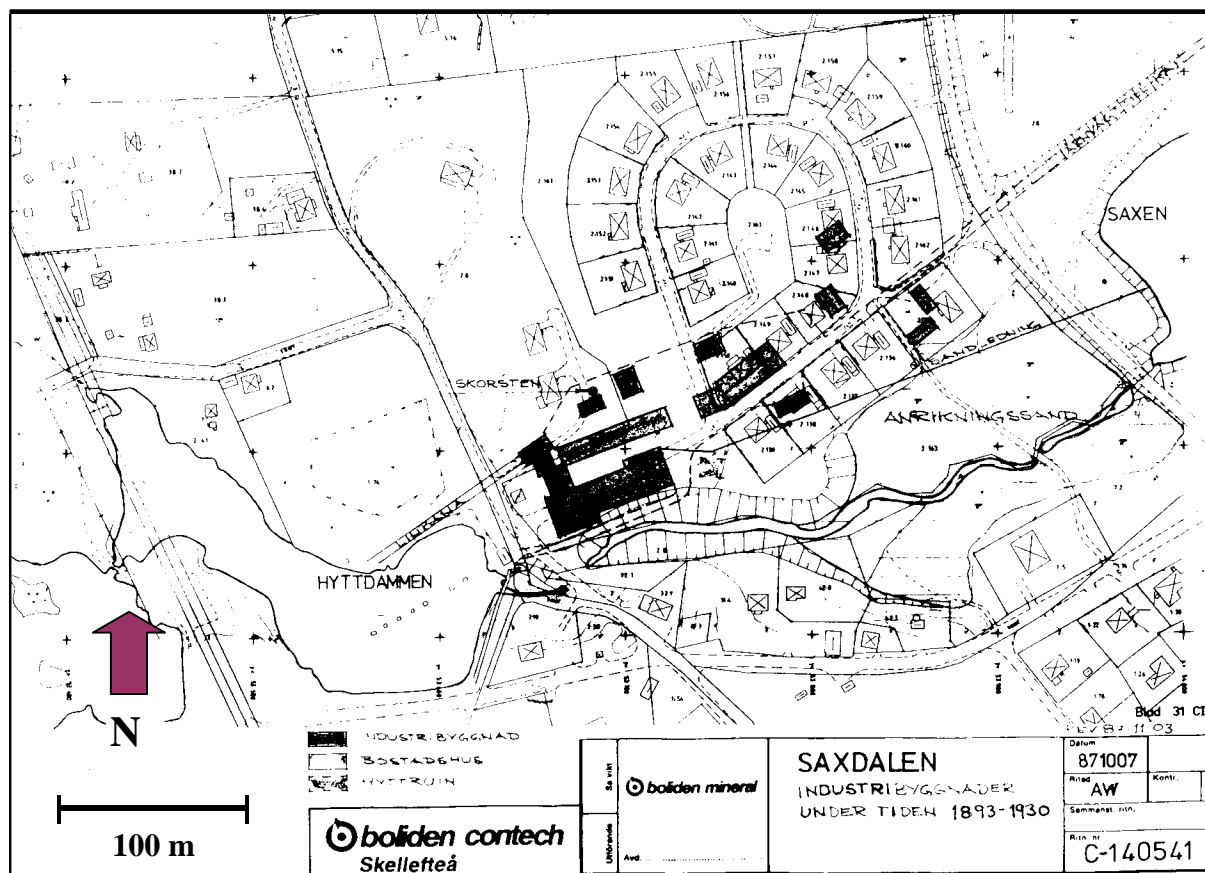


Figur 2.1 Saxdalens och Saxbergsgruvans lägen markerade i informationsmaterial från tiden när åtgärder planerades. Observera att "dagbrott" egentligen betecknar ett rasområde.

2.2 Förorenade markområden i Saxdalen

Under hösten 1989 genomförde Terratema en kartläggning av det deponerade gruvavfallet vid Vattfalls-gropbäcken nedströms Hyttedammen. Syftet med undersökningen var att klarlägga

vilka avfallstyper som förekom, deras utbredning, mäktigheter och viktiga egenskaper. Kartläggningen skulle även klargöra vilka förhållanden som var viktiga för vittrings- och utlakningsprocesserna samt för åtgärdsalternativen. Även ägarförhållandena skulle klargöras.



Figur 2.2 Markering av läget för de byggnader som uppförts för det gamla anriknings- och smältverk som revs 1930.

Arbetet utfördes dels som en skrivbordsstudie dels som en fältstudie. I skrivbordsstudien undersöktes kartor och flygbilder av olika årgångar samt arkivmaterial. Fältstudien genomfördes i tre etapper där den första var orienterande och låg till grund för ett program för genomförandet av en allmän och övergripande studie. Den avslutande etappen koncentrerades på förhållandena på enskilda villatomter i det s.k. Momsenområdet och var en mer detaljerad studie inom detta delområde.

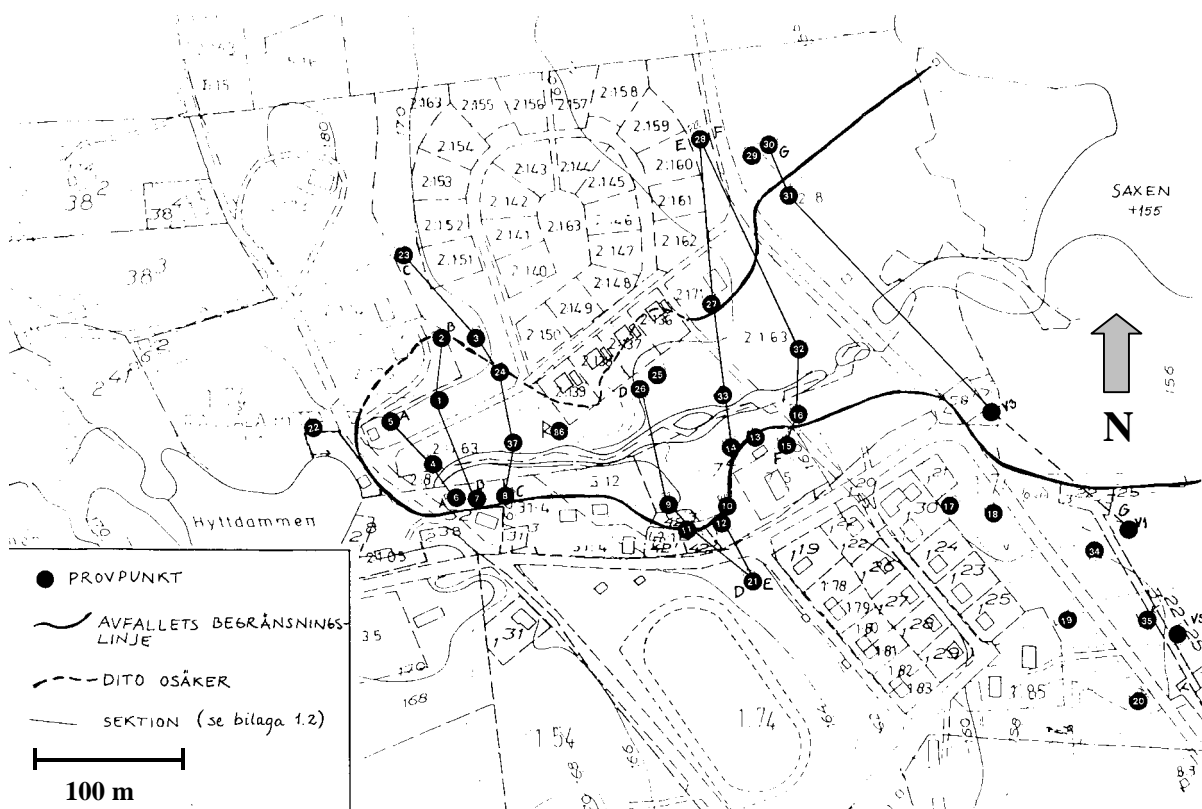
I samband med den orienterande etappen intervjuades ett flertal invånare i Saxdalen om den gamla gruvverksamheten och om förorenade områden. Samtidigt grävdes ett tiotal provgropar om ca 1 m djup varur 15 prover insamlades och analyserades. Dessutom besiktigades varje grop okulärt.

Vid den andra fältundersökningen grävdes ett 40-tal provgropar med en traktorgrävare och 81 prover analyserades med avseende på svavel och metallerna koppar, molybden, bly, zink, silver, antimon och kadmium. Dessutom utfördes lakförsök på samtliga prover som tagits i båda etapperna. Lakvätska/fastfasförhållandet var 1:1 och laktiden 60 minuter. Lakvattnet analyserades med avseende på pH, elektrisk konduktivitet och zink-halt. ICP-analys (multielement) utfördes på 14 utvalda lakvattenprover.

Den tredje undersökningen utfördes med grävning för hand och samtidig okulär besiktning. Sammanlagt 90 prover togs för bestämning av pH och elektrisk konduktivitet efter 1 timme i det vatten som provet blandades med i fält. Av dessa 90 prover valdes 40 ut för speciella, 6 timmars lakförsök med bestämning av halten koppar, zink, bly och svavel i lakvattnet.

Resultaten av undersökningarna, d.v.s. kartmaterial, flygbilder, vittnesuppgifter, okulärbesiktning och provanalyser, visade entydigt var gränsen för avfallet gick i terrängen runt större delen av Vattfallsgropbäcken, se figur 2.3. En viss tvekan förelåg alltså i kontakten mellan bäckravinen och det s.k. Momsenområdet. Här hade omgrävningar skett och avfall hade uppenbarligen använts lite här och var som fyllning när man byggde bostadsområdet. Avfallet härrörde uppenbarligen från rivningen av det gamla anriknings- och smältverket som legat strax intill och delvis inom Momsenområdet, figur 2.2

Den särskilda undersökningen inom detta område klarlade gränsen för deponeringsområdet i ravinen vilken även omfattade gränsen mot det fornminnesskyddade upplaget av slagg kring den gamla hyttruinen. Gränsen på djupet var emellertid fortfarande något oklar. Dessutom kunde de större fläckarna av kontaminerad fyllning inom Momsenområdet avgränsas, åtminstone ned till en dryg halvmeters djup. Eftersom närmare kartläggning bedömdes kräva en i det närmaste lika stor grävinsats som en sanering och att den påtagligt kontaminerade fyllningen var relativt lätt att identifiera med blotta ögat rekommenderades att de slutliga gränserna för saneringen bestämdes i anslutning till urgrävningen för denna.



Figur 2.3 Avgränsningen av gruvavfallet i Vattfallsgropbäcken före den detaljerade undersökningen av Momsen-området.

3 Förstudier och behandlingsplan för sandmagasinen

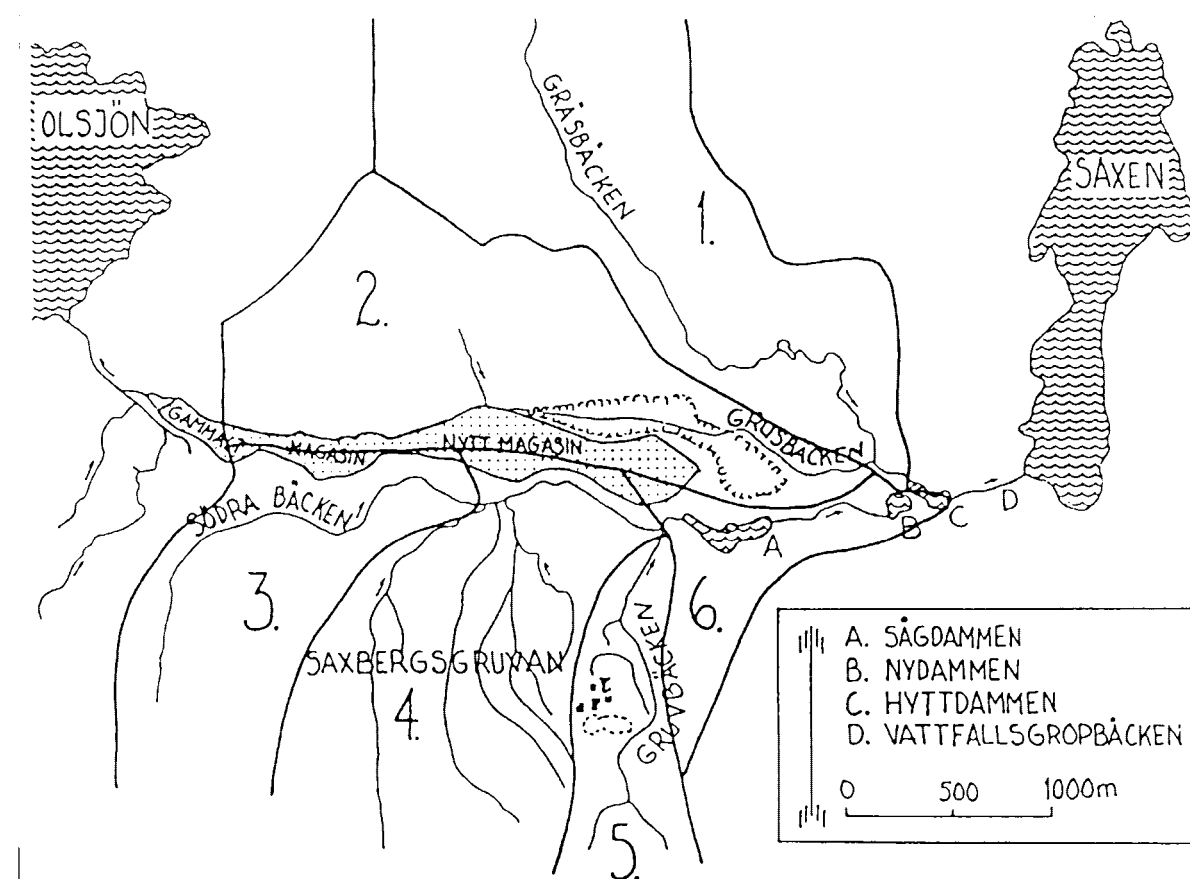
3.1 Förstudier om miljösituationen och behov av åtgärder

3.1.1 Allmänt

Efterbehandlingsplanen omfattade ursprungligen enbart sandmagasinen men så småningom inkorporerades även åtgärder i byn och inom gruvområdet.

3.1.2 Magasinens lägen och utformning

Båda sandmagasinen ligger intill varandra i den ost-västliga dalgången mellan Olsjön och sjön Saxen. Magasinen ansluter till dalens vattendelare vilken utgör gräns för avrinningen mot dessa båda sjöar. Det Östra ("Nya") Magasinet avrinner liksom huvuddelen av det Västra ("Gamla") Magasinet österut mot sjön Saxen medan en mindre del av det Västra Magasinet avrinner åt väster mot Olsjön. Det Östra Magasinet är störst till ytan (ca 33 ha), medan det Västra Magasinet är ca 18 ha. Läget framgår av figur 2.1. Storleken på det avrinningsområde som avbördas mot sandmagasinen är knappt 3 km². Dräneringen av området har reglerats med hjälp av avskärande diken etc. och är relativt komplicerad, se figur 3.1.



Figur 3.1 Läget för sandmagasinen och områdets dräneringar.

En påtaglig skillnad i förhållandena kring de båda magasinen är att praktiskt taget hela det Östra Magasinet är anlagd på en väl-dränerande bädd av grovt isälvs-material, medan det Västra Magasinet ligger på morän och berg som inte klarar av att dränera det vatten som avrinner mot dalgångens botten, d.v.s. mot magasinet. Vid det Östra Magasinet blir dalgången betydligt bredare än magasinet vilket har medfört att dammar har fått byggas runt större delen av detta magasin. Det Västra Magasinet, som upptar hela den trånga dalgångens bredd, har endast behövt dämmas med hjälp av två korta dammar i sina respektive ändar. Det Västra Magasinet är högre beläget och mer kuperat på ytan än det Östra Magasinet. Skillnaden i nivå mellan de båda magasinens högsta nivå är ca 19 m och mellan deras lägsta nivå ca 5 m. Skillnaden mellan Västra Magasinets östligaste (lägsta) del och Östra Magasinets västligaste (högsta) del var knappt 1 m före täckningen.

3.1.3 Avfallet

Avfallssanden i båda magasinen härrör från likartade malmer och har fallit från en i stort sett oförändrad anrikningsprocess. Avfallet är därför relativt homogent bortsett ifrån den vittring som hunnit ske i avfallet som legat i det Västra Magasinet sedan detta blev dränerat någon gång i mitten av 50-talet. Vittringen har emellertid inte trängt särskilt djupt eftersom grundvattennivån ständigt ligger högt inom det Västra Magasinet. Vittringen inom det Östra Magasinet är marginell eftersom tillförsel av sand och vatten upphörde först 1988 och det tog tid innan magasinet blev dränerat.

Svavelhalten i den opåverkade avfallssanden ligger kring 2-3 % medan halten buffrande mineral, kalcit har bestämts till 0,5-1 %. Zinkhalten är strax under 1 %. Eftersom sanden transporterats hydrauliskt och utsläppspunkten ändrats vid flera tillfällen förekommer skiktvisa avvikelser i sandens sammansättning och egenskaper. Generellt avtar sandens partikelstorlek från väster mot öster i respektive magasin. Olika bestämmningar av sandens hydrauliska konduktivitet har givit värden mellan $5 \cdot 10^{-6}$ och $3 \cdot 10^{-7}$ m/s. Avfallssanden är således tillräckligt tät för att ytavrinning skall uppkomma i anslutning till häftiga regn men tillräckligt genomsläpplig för att släppa igenom hela årsnederbörden om denna fördelas någorlunda jämnt över tiden.

I de icke oxiderade delarna av magasinen låg porvattnets pH före åtgärderna vid pH 7 eller strax därunder och med låga metallhalter (zink = 5-10 mg/l). I de oxiderade delarna låg porvattnets pH ned mot 3 och utlakningen av zink, koppar och kadmium var då nästan fullständig i ytan och med en anrikning på större djup av dessa metaller som dock var relativt lätta att åter laka ut. Blymineralen var mindre påverkade av oxidation och utlakning.

3.1.4 Grundvattenförhållanden och metalltransport

I december 1988 presenterade Golder Geosystem AB en utredning över de hydrogeologiska förhållandena vid Saxbergsgruvan och sandmagasinen samt över zinktransporten under driftskedet. Utredningen låg till grund för beslut rörande saneringen av gruvområdet och täckningen av sandmagasinen. För gruvområdet konstaterades att grundvattennivån i gruvsystemet skulle återhämtas till ett naturligt läge i nära anslutning till marknivån när man väl slutat pumpa i gruvan. Detta beräknades dock ta relativt lång tid i anspråk.

För det Östra Sandmagasinet konstaterades att nettonederbörden på magasinet endast utgjorde ca 25 % av den mängd vatten som under driften tillfördes magasinet. Efter nedläggningen av gruvan (pumpningen av sand och gruvvatten upphör) minskade således vattenomsättningen i magasinet märkbart liksom läckaget från magasinet till den underliggande isälvsformationen. Grundvattennivån beräknades därigenom sjunka i såväl magasinet (med 5-10 m beroende av läge) som i isälvsformationen (med 1-6 meter). Detta innebar att den framtida, normala grundvattennivån beräknades i stort sett ligga i skiljet mellan avfallssand och underlag i den västra delen av Östra Magasinet och 1-2 m ovan denna gräns i dess östra del. Man bedömde även att grundvattennivån skulle sjunka i det Västra Magasinet, ca 2-4 m under normala förhållanden. Det verkliga utfallet rörande vattensituationen behandlas i kapitel 8.

Genom närmare studier av främst VBB AB under 1984-86 fastställdes att zinktransporten med Vattfallsgröpbäcken var drygt 17 ton/år eller ca 90 gånger mer än den naturliga bakgrundstransporten. Källorna för dessa utsläpp utgjordes av det gamla industriområdet nere vid byn Saxdalen inklusive nedströmsdelen av Vattfallsgröpbäcken (ca 70 %), medan utsläppet från sandmagasinen var relativt måttligt (7 %). Utsläppen från det moderna industriområdet vid gruvan bedömdes utgöra en icke oväsentlig källa (ca 20 %) om än ej av samma dignitet som det äldsta industriområdet.

Zinktransportstudien repeterades med mätningar under 1986 och 1987, nu av Golder Geosystem AB. Under 1987 var nederbördsmängden i stort sett normal och totaltransporten till Saxen fastställdes till 16,8 ton/år. Sandmagasinen och gruvan med industriområde bidrog med 17, respektive 14 %. Den naturliga transporten var mindre än 2 %. Läckaget från det gamla industriområdet med det utströmmande grundvattnet från de gömda resterna kring Vattfallsgröpbäcken var alltså enligt denna studie omkring 68 % av totalutsläppet till Saxen. Trots denna dominans i dåvarande källor var man väl medveten om att situationen skulle förändras drastiskt om sandmagasinen tilläts oxidera fritt. Med hänsyn till den långt större avfallsmängden och exponerade avfallsytan bedömdes det aktuella utläckaget kunna öka med flera tio-potenser.

Golders beräkning av zinktransporten till sjön Saxen genomfördes för två år varav den för 1986 representerade ett nederbördsrikt år och den för 1987 representerade ett normalår. Den visade att zinktransporten till Saxen ökade med 50 % under det våta året. Största ökningen härrörde från Vattfallsgröpbäcken.

3.2 Tillgång på täckningsmassor

Redan 1988 genomfördes provtagning och laboratorieprovning av jordprover i Saxberget. Detta utfördes av VIAK AB i anslutning till sandmagasinen. Totalt togs 8 prover varav 4 togs på olika djup i en provgrop och resten som ytprover i slänter. Proverna betecknades som siltiga, sandiga moräner eller sandiga, siltiga moräner. Permeabilitetsförsök på ett prov (en i huvudsak siltig morän) visade på en permeabilitet på $1,1 \cdot 10^{-8}$ m/s.

En mer omfattande inventering av moräntillgångarna utfördes av Vattenfall HydroPower under 1991 (Christiansen & Jernlås, 1991). Utgångspunkten var att finna en tätskiktstorän vars hydrauliska konduktivitet (permeabilitet för vatten) är högst $5 \cdot 10^{-9}$ m/s i packat tillstånd.

Två sökområden ingick i kartläggningen - området invid och strax söder om rasområdet vid gruvan respektive området kring sandmagasinen. Man konstaterade att moränen vid sandmagasinet inte var tillräckligt tät ens efter omfattande packningsarbete, men att moränmaterialen vid gruvan klarar kravet. Man drog även slutsatsen att den ljusare ytmoränen vid gruvan klarade kravet redan vid låg packningsgrad medan den mörkare bottenmoränen generellt krävde en högre packningsgrad för att klara täthetskravet.

Kartläggningen grundades på provtagning till mer än 4 m djup i 11-12 punkter inom vardera sökområdet. Laboratoriet vid Statens geotekniska institut svarade för inpackning och permeabilitetsförsök. Med ledning av data från en georadarundersökning över området vilken anslöt till provpunkterna kunde ett område kring gruvan preciseras där moränens permeabilitet var tillräckligt låg. Området bedömdes innehålla 250 000 m³ i fast mått.

3.3 Grundvattenförhållanden

Grundvattnet inom Vattfallsgropbäckens område undersöktes inför efterbehandlingsplanen av VBB AB och Golder Geosystem AB. Båda undersökningarna avser transporten av förorenat grundvatten men Golders undersökning (1988) som var en relativt omfattande studie behandlar särskilt de geohydrologiska förhållandena vid sandmagasinen. För magasinområdet utförde Golder dessutom (1991) en vattenbalansstudie som omfattar prognoser med olika täckningsalternativ. En motsvarande studie hade då redan utförts (1988) av Kemakta AB fast med andra täckningsalternativ och inkluderande beräkningar av vittringshastigheterna.

Dessa undersökningar klargjorde de olika föroreningskällornas dåvarande betydelse för metallbelastningen på sjön Saxen, men också hur denna situation skulle förändras om man inte täckte sandmagasinen. De kan sägas ha utgjort grunden för samarbetet mellan Boliden och Naturvårdsverket när det gäller utvecklingen av den slutliga efterbehandlingsplanen och fördelningen av kostnaderna för efterbehandlingen.

3.4 Val av ambitionsnivå för täckning av sandmagasinen

3.4.1 Möjliga täckningsmaterial

Några andra, realistiska alternativ än s.k. torr täckning såg man inte för sandmagasinen. Att samla upp och behandla lakvattnet var av uppenbara skäl alltför kostsamt i längden liksom att blanda in tillräckligt med neutraliserande material i magasinet. S.k. våttäckning ansågs under 80-talet och i början av 90-talet inte vara acceptabel med hänsyn till risken för dålig stabilitet i långtidsperspektivet.

Med tanke på sandmagasinens stora areal gjordes redan på ett tidigt stadium bedömningen att endast naturliga jordmaterial eller sekundära restprodukter, vilka var tillgängliga i Saxbergets närhet, borde prioriteras som täckningsmaterial. Kalkyler fanns ursprungligen på ett 30-tal alternativ. Undantag från krav på kort transport gjordes för rötslam och cementstabiliserad flygaska, s.k. Cefyll®, (båda som tätskiktmaterial). Vid tiden för projekteringen var avsättningsmöjligheterna dåliga för rötslam och det bedömdes möjligt att få transportbidrag för sådant slam från t.ex. Stockholm eller Örebro. Användning av Cefyll som tätskiktmaterial

var redan i början av 90-talet etablerad teknik, men förutsatte transport av kolflygaska från Västerås kraftvärmeverk och bedömdes vara ett alltför dyrt alternativ.

Särskilda pilotförsök utfördes på Östra Sandmagasinet med de två nämnda tätskiktmaterialen. I övrigt var morän och torv de enda jordmaterial som förekom på platsen i tillräcklig omfattning för att kunna utnyttjas i täckningen. Torvens egenskaper ansågs för dåliga eller för osäkra och man satsade på finkorniga moräner när det gäller användning i tätskiktet.

3.4.2 Modellberäkningar för täckning med morän

Redan genom de olika forskningsprojekt som genomförts i Sverige rörande täckningars effektivitet stod det klart att endast finkorniga moräner skulle kunna verka begränsande på vatten- och syreomsättningen i det deponerade avfallet. I syfte att klarlägga vilka krav man borde ställa på en morän som skall användas i täckningen undersöktes med hjälp av beräkningsmodeller ett antal moräntäckningars effektivitet att minska anrikningens oxidationshastighet.

I modellerna beräknades syrediffusionen genom tätskiktet för ett typår ur vattenhaltsprofilens variation över året. Vattenhaltsprofilen beräknades i sin tur med hjälp av klimatdata från den officiella väderstationen i Ställdalen. Som typmorän användes en lerig morän med den hydrauliska konduktiviteten $1,0 \cdot 10^{-7}$ m/s. Hastighetskonstanten för sulfidoxidationen byggde på tidigare laboratoriearbeten med anrikningssand samt på svavelhalter och specifika ytor från de undersökningar Qvarfort (1983) tidigare genomfört på sandmagasinen i Saxberget.

Beräkningarna genomfördes för tre olika tjocklekar på moränskiktet - 0,4; 0,8 och 1,2 m samt med olika avstånd till grundvattenytan och med olika avdunstningsförhållanden. Beräkningarna visade att oxidationshastigheten under dessa förhållanden borde kunna sänkas med någon tiopotens, men endast om täckningens mäktighet uppgår till 0,8 m eller mer. Beräkningarna visade också att avståndet till grundvattenytan i magasinet får betydelse. Eftersom denna kan bli ända uppemot 10 m i det Östra Magasinet förstod man att man måste höja kravet på täthet relativt den som använts i beräkningarna om man vill uppnå 90 % reduktion för oxidationshastigheten.

3.5 Genomförande av täckning av sandmagasinen

I samband med att Naturvårdsverket och Boliden diskuterade att gå samman om en gemensam efterbehandlingsplan gav man Terratema i uppdrag att genomföra en bedömning av olika täckningsalternativ. Undersökningen skulle vara översiktlig och omfatta kostnader, tekniska lösningar, täckningsmaterialets tillgänglighet, effekt på vittringen och beständighet. Bedömningarna över materialens motståndskraft mot rotpenetration blev osäker på grund av ett bristfälligt underlag. Resultaten av utredningen sammanfattas här i tabell 3.1.

Av tabellen framgår tydligt att kostnaden för ett kvalificerat tätskikt är stort. För 55 hektar handlar extrakostnaden om minst 12 Mkr. Också täckningens mäktighet betyder stora kostnader. När man bestämt sig för att använda den leriga moränen i ett särskilt tätskikt (ej med i Terratemas analys), uppkom frågan vilken skyddstäckning denna kräver. Eftersom underlaget för Terratemas analys var bristfälligt gavs Terratema ett särskilt uppdrag att utreda vad skyddstäckningens mäktighet betyder för tätskiktets beständighet. Värderingen skulle omfatta tätskiktets påverkan av såväl frost som rotpenetration.

Tabell 3.1 Sammanfattning av bedömd kostnad, effektivitet och beständighet för ett antal aktuella täckningsalternativ. Med ”effekt på vittring” avses bedömd reduktion av vittrad pyrit per enhet avfallsyta. Med ”effekt på vattenläckage” avses bedömd reduktion av bildat lakvattenflöde. + avser sannolikt god beständighet på lång sikt (++ mycket god), - avser sannolikt dålig beständighet på lång sikt (-- mycket dålig). Angivelse inom () är osäker. Från Lundgren (1992).

| Alternativ | Effekt på | | Beständighet mot*: | | | Kostnad (kr/m ²) |
|-----------------------------------|-----------|---------------|--------------------|---------|--------|------------------------------|
| | Vittring | Vattenläckage | Frost | Erosion | Rötter | |
| 1 Morän, 1,0 m | 80 % | 0-10 % | -- | + | -- | 21 |
| 2 Morän, 1,5 m | 90 % | 5-15 % | - | + | - | 31 |
| 3 Sten och torv, 1,3 m | 85-90 % | 0 % | ? | +(+) | (+) | 88 |
| 4 Morän 1,5 m + Cefyll | >98 % | 90 % | (+) | + | (+) | 62 |
| 5 Morän, 1,5 m + lera | >99 % | >95 % | - | + | - | 54 |
| 6 Morän 1,5 m + bentonit-morän | >97 % | 90 % | ? | + | - | 84 |
| 7 Morän, 1,5 m + packad fiberrest | >96 % | 80 % | + | + | -- | 102 |
| 8 Morän 1,5 m + packad torv | >94 % | 60 % | + | + | -- | 55 |
| 9 Sten + torv, 1,3 m + Cefyll | >98 % | 90 % | + | ++ | + | 67 |

* Beständigheten bedömd specifikt för Saxbergsområdet

Terratemas ”Skyddstäckningsrapport” redovisades i augusti 1992. Ett omfattande litteraturmaterial hade då gått igenom. Även om varken frostpenetration eller rotpenetration tidigare hade studerats i anslutning till täckning av avfallsupplag kunde det fastställas att trädrötter och frost kan tränga ungefär lika djupt i moränmark i mellersta Sverige, ca 1,3 m, men att frosten tränger djupare ju längre norrut man kommer i landet medan trädrötter tränger djupare ju längre söderut man kommer och tvärtom.

Penetrationsdjupet för frost eller snarare risken för djupgående frysning beror naturligtvis på vilken sikt man gör bedömningen. Naturvårdsverkets utgångspunkt var att tätskiktet måste anses vara beständigt i flera hundra år. Det finns inte statistik över tjälnedträngningen i Sverige för mer än några decennier varför man tvingas extrapolera erfarenheterna. Statistiken är dessutom bristfällig när det gäller icke snöröjd mark, men beräkningsregler är utarbetade som översiktligt kan kompensera för detta. När det gäller rotpenetration konstaterades att de flesta trädets rötter inte går under grundvattennivån men att det finns undantag (t.ex. klibbal). Det konstaterades även att växtrötter har en begränsad förmåga att tränga igenom kompakta skikt. Därför bör man i Bergslagen inte oroa sig för rotpenetration så länge tätskiktet består av ett material med tillräcklig skjuvhållfasthet och som är mer än 1,3 m mäktigt och så finkornigt/tätt att det hålls ständigt vattenmättat.

Med ledning av Terratemas rapport och med tillämpning av en säkerhetsmarginal motsvarande för Saxberget en faktor ca 1,2 bestämde sig Naturvårdsverket och Boliden för att skydda tätskiktet med 1,5 m morän.

Innan Naturvårdsverket bestämt sig för att genomföra efterbehandlingen tillsammans med Boliden lät man Terratema AB genomföra en granskning av Bolidens efterbehandlingsplan från 1988. Granskningen skulle ske med avseende på praktisk genomförbarhet, krav på noggrannhet, eventuella brister i form av dålig anslutning till omgivningen samt på eventuella fördelar jämfört med annan teknik. Granskningen skulle även omfatta en bedömning av rimligheten att finna tillräckligt mycket morän av lämplig kvalitet inom det angivna området.

Sammanfattningen av eventuella brister i planen skulle åtföljas av förslag till hur bristerna skulle avhjälpas.

Granskningen genomfördes kring årsskiftet 1989/90 och redvisades då muntligen till verket. Verket begärde senare en skriftlig rapport som redovisades i mars-92. Terratema var kritisk till slutsatserna av de fältundersökningar som legat till grund för Bolidens val av täktområde vid sandmagasinen. Egna fältundersökningar (utförda av Ulf Qvarfort) visade att dessa moräner sannolikt inte skulle uppfylla de krav Boliden preciserat i planen. Sedermera påträffades lämpligare morän av Boliden intill gruvområdet samtidigt som verket och Boliden kom överens om att höja ambitionen till att omfatta ett tätskikt med relativt tät morän i kombination med ett skyddsskikt där de tidigare påträffade moränförekomsterna vid sandmagasinen utan tvekan var lämpliga. Därmed föll frågan om den morän som Terratema skulle värdera.

Terratema pekade i sin rapport på bristen av en precisering av hur täckningen skall anslutas mot omgivningen för att undvika lateralt läckage av vatten samt ”skorstenseffekter”, d.v.s. konvektivt betingad strömning av luft genom öppningar i täckningen vilka har olika lufttryck.

När valet av ambitionsnivån för täckningen var klar liksom valet av täckningsmaterial så återstod att klarlägga hur täckningen skulle genomföras. För detta ändamål genomfördes en rad packningsförsök på den leriga moränen med bestämning av dess permeabilitet för vatten.

3.6 Framtagande av anbudsunderlag och val av huvudentreprenör

Underlaget för anbudsgivningen togs fram och genomfördes under sommaren 1992 av Boliden Mindeco AB som också administrerade projektet. I underlaget angavs att magasinen skulle terrasseras till rätt utformning, att ett tätskikt av 0,3 m morän skulle läggas över sanden och att det är synnerligen viktigt att detta utförs på rätt sätt, d.v.s. packas till minst 95 % packningsgrad. Moränmaterialet för tätskiktet anvisades i en täkt omedelbart söder om Saxbergsgruvan. Vidare angavs att tätskiktet skulle täckas med 1,5 m av en grövre morän som anvisades för täkt i direkt anslutning till sandmagasinen.

Generalentreprenad valdes som entreprenadform och fast pris som ersättningsform. Upphandlingen följde Byggforskningsrådets upphandlingsregler för entreprenader bortsett ifrån att man inte tillämpade gemensam anbudsöppning och offentliggörande av protokoll från anbudsöppningen. Anbudsöppningen var sluten och anbudsprövningen fri.

I de administrativa föreskrifterna uppgavs att utförandet av entreprenaden skulle kvalitets-säkras (SS 02 01004). Entreprenören skulle antingen uppfylla kraven enligt ISO 9001 respektive 9002 eller krav som specificerades i de administrativa föreskrifterna rörande organisation och upprättande av en kvalitetsplan för tätskiktet. Särskilda kvalitetskontroller skulle utföras av både beställare och entreprenör.

4 Plan för efterbehandling av gruvområdet

4.1 Läge och utformning

Inom gruvområdet låg anrikningsverk, gruvstuga, verkstäder, förrådsbyggnader, kontor, transport- och upplagsytor, dagöppning, bassänger för gruv- och ytvatten, tre ventilations-schakt samt gruvlave (torn) med uppföringsschakt. Norr om anrikningsverket låg en inval-lad yta om ca 8.000 m² som har använts för mellanlagring av den anrikningssand som mudd-rades upp från sjön Saxen i mitten av 70-talet. Dessutom hade man fyllt ut delar av området med tillredningsberg och hårdgjorda ytor och transportvägar.

4.2 Planering och genomförande

Efterbehandlingsarbetena inom gruvområdet behandlades endast översiktligt i den ursprung-liga åtgärdsplanen som koncentrerades på Momsen-området och sandmagasinen. Därför fick en särskild åtgärdsplan utformas för detta område. Detta utfördes av Edström & Schönfeldt. Rapporten (odaterad) ingår som bilaga i den slutliga efterbehandlingsplanen. Vissa av dessa arbeten genomfördes under 1991-1992, d.v.s. före täckningsarbetena på sandmagasinet. De övriga arbetena utfördes först efter täckningsarbetena och efter att man beslutat upphöra med pumpningen i gruvan, d.v.s. under perioden oktober-96 till januari-98.

För den efterbehandlingsplan som Boliden redovisade 1988 genomförde Edström & Schönfeldt en åtgärdsplan för gruvområdet. Denna plan har i stort sett följts fram till den slutliga efterbehandlingsplanen som redovisades 1996. Den ursprungliga planen omfattade samtliga byggnader inklusive gruvlaven, dagöppningar och schakter, fyllningar med tillredningsberg, vägar och hårdgjorda ytor, bassänger, ett område som nyttjats för mellanlagring av anrikningssand samt alla ledningar för el, sand och vatten.

Efterbehandlingsplanen för gruvområdet fastställdes slutgiltigt först 1996, men redan dess-förinnan hade anrikningsverket och vissa andra byggnader rivits. Efterbehandlingen hade dessutom förberetts genom att kontaminerade massor från området hade använts vid stabiliseringen av sandmagasinens överyta i samband med täckningsarbetena. Dessa massor har således deponerats likvärdigt med anrikningssanden och det äldsta gruvavfallet från Sax-dalen. I samband med att gruvan stängdes för gott 1997 kunde den sista fasen i efterbehand-lingen genomföras på gruvområdet.

För uppföljning av åtgärderna inom gruvområdet genomförs ett löpande kontrollprogram.

5 Sanering av förorenade markområden i Saxdalen

5.1 De förorenade massorna

Den kartläggning som låg till grund för arbetshandlingarna visade att den yttre gränsen för den förorenade marken var relativt tydlig, se figur 2.3. Däremot uppträdde metallhaltigt fyllningsmaterial påtagligt fläckvis inom Momsen-området. Dessa fläckar var ofta små och varierande med djupet men samtidigt relativt lätta att identifiera med bara ögat. Källan till föroreningarna var uppenbar. Förutom rena avfall från den gamla mineralberedningen, slagg och anrikningssand, förekom även rena mineralkoncentrat (slig) och rivningsrester från det gamla anriknings- och smältverket - mycket tegel. Framförallt de grövre materialen hade utnyttjats som utfyllnad för bebyggelsen, men föroreningsgraden av dessa varierade kraftigt.

De finkorniga materialen, anrikningssand och slig, visade sig också variera i sammansättning, men framförallt i lakbarhet, främst beroende av oxidationsgrad och totalutlakning. De oxiderade materialen var i allmänhet ockra-färgade medan de icke oxiderade ofta var mörka. Ett av dessa, nästan svarta material - en grovkornig variant som på vissa fastigheter användes som dräneringsmaterial, lakade nästan inga metaller. Det härrörde uppenbarligen från anrikning av järnmalm och ej från Långfallsgruvan. Sannolikt kom det från Grängesberg.

De mest kontaminerade massorna uppvisade koppar-, bly- och zinkhalter omkring 1 %. Kadmiumhalten var i allmänhet över 200 mg/kg i dessa massor. I lakvatten och grundvatten från dessa material låg t.ex. zinkhalterna mellan 100 och 800 mg/l.

5.2 Uppläggning av arbetet

Saneringsarbetet bestod i att särskilja de mest förorenade massorna, transportera och deponera dem i det äldre av de två sandmagasinen, det Västra Magasinet. Det ansågs omöjligt att i detalj skilja förorenade massor från icke förorenade. Detta skulle kräva nästan lika mycket uppgrävning för kartläggningen som för saneringen. Därför genomfördes den inledande kartläggningen i huvudsak i markytan med djupare grävning i ett urval punkter där föroreningen verkade "gå på djupet". Denna översiktliga kartläggning visade, förutom de yttre gränserna för saneringen, var de enskilda urgrävningarna skulle koncentreras inom dessa gränser. Det slutliga beslutet av vilka massor som skulle bortföras togs först i samband med urgrävningen och togs av en representant från Naturvårdsverket som kontinuerligt undersökte de uppgrävda massorna.

5.3 Bortförel av gruvavfall och förorenad jord kring det äldsta verket

Gruvavfallet, som producerats vid det kombinerade anriknings- och smältverket i Saxdalen, återfanns huvudsakligen i anslutning till Vattfallsgropbäcken och Saxens innersta (södra) vik. Mängden avfall som schaktades ur från bäckravinen bestämdes till ca 59.000 m³, medan den fyllning i Momsenområdet som kontaminerats av slagg och rivningsavfall från verket uppgick till ca 5.000 m³. Den senare volymen krävde trots sin litenhet mycket grävningsarbete eftersom den förekom i många små, oregelbundna enheter på villatomterna. Det skall påpekas att

flera tomter som gränsade mot bäckravinen innehöll både gruvavfall och förorenad fyllning varför urgrävningen blev mycket omfattande.

Urgrävningen av kontaminerad fyllning på tomterna skedde med en mini-grävmaskin för att medföra så små ingrepp och innebära så små skador som möjligt. Den centrala lekparken, som också innehöll kontaminerad jord, användes för mellanlagring av de uppgrävda massorna. Totalt återfylldes i Momsen-området drygt 4.500 m³ jord. Den borttagna växtligheten ersattes av tomtägarna sedan de sanerade ytorna planerats av entreprenören.

5.4 Muddring av anrikningssand i sjön Saxen

För de avfall som låg i sjöviken bestämdes att avfall som låg över nivån +154,10 m skulle grävas bort. För att kunna bedöma hur detta skulle göras utfördes i januari 1991 en geoteknisk undersökning i syfte att klarlägga bärigheten för schaktmaskiner i sjön. Den visade att sjöbotten behövde förstärkas med geotextil (bruksklass 3) som materialskiljande och lastfördelande skikt mellan den lösa, dyiga, avfallshaltiga botten och det stabiliserade 0,2 m mäktiga bärlagret av grus eller krossmaterial. Entreprenören valde dock att genomföra schaktningen från isen vid lågvatten med uppläggning av massorna på lösa isflak som drogs in och tömdes från land. Volymen av på detta sätt upptagna massor uppgick till närmare 30.000 m³. En nästan lika stor volym ren morän åtgick för att täcka sjöbotten och för att återuppbygga stränderna och ge dessa den önskade formen.

5.5 Återskapande av Vattfallsgrupbäcken genom Saxdalen

När de förorenade massorna bortförts från bäckravinen gällde det att återskapa en så naturlig bäckfåra som möjligt. Följande principer tillämpades vid utformningen:

- Bäckens får ett naturligt vindlande lopp
- Stabiliteten i slänterna skall vara tillfredsställande med erosionsskyddade strandkanter
- Samma anslutning mot Hyttdammen respektive sjön som tidigare
- Den gamla hyttan med kvarvarande slagghög
- De trädsamlingar som fanns före utgrävningarna skall på sikt kunna återskapas

Stabiliteten i slänterna erhöles genom att slänternas lutning inte någonstans fick överstiga 1:4. Urschaktningen fick delvis ske sektionvis med direkt återfyllning av respektive strimla för att tillräckligt god stabilitet skulle erhållas under bortschaktningen. Erosionsskyddet uppnåddes genom att bäckravinens botten fylldes med osorterad sten och block. Slutligen återplanterades enstaka björkar och ansamlingar av träd (hassel, sälg, rönn och björk) på sluttningarna ned mot bäcken. Figur 5.1 visar utformningen av Vattfallsgrupbäcken nedströms Hyttdammen och den omformade strandkanten mot sjön.

5.6 Utformning av badplats m.m. i Saxen

Som framgår av figur 5.1 anlades en ny badplats på den norra sidan av viken och en parkeringsplats mellan badplatsen och Vattfallsgrupbäckens utlopp. Genom urgrävningarna i viken

utökades den badbara arealen något och stranden blev bättre lämpad som badplats. Badplatsen är gräsbeklädd med enstaka vindskyddande träd ned till sandstranden. Plats för båtar anordnades, förutom vid den gamla båtplatsen söder om bäckens utlopp, även norr om badplatsen.



Figur 5.1 Design av det sanerade området vid Vattfallsgropbäcken (VBB AB, 1990).

5.7 Framtida markanvändning

Bortsett ifrån de ingrepp som utfördes på villatomtmark har all sanering utförts på mark som strax före åtgärderna utnyttjades för rekreation. Som just framgått, har restaureringen utgått ifrån att återställa marken så att den lämpar sig för detta ändamål. Marken ägs av kommunen och Boliden och markanvändningen är reglerad i kommunens översiktsplan för rekreation. I övrigt är hyttrinen med tillhörande slagghög, liksom tidigare, skyddad enligt fornminneslagen.

En allmän lärdom av alla dessa arbeten har blivit att alla markytor som skall grävas ur bör avvägas före schaktarbetet påbörjas.

6 Täckning av sandmagasinen

6.1 Syfte och vald ambitionsnivå

Avsikten med täckningen av sandmagasinen var att förhindra oxidationen av sulfider i anrikningssanden eller snarare att reducera oxidationshastigheten så långt att utsläppen av metaller från magasinen inte ökar särskilt mycket när de lämnas för att dräneras fritt. Avsikten är således inte att påtagligt reducera vattenomsättningen i avfallet genom en täckning som ökar avdunstningen eller den laterala avrinningen. Täckningen syftar till en beständig täthet mot luftens oxidation av avfallet. Därför ansågs det krävas både ett tätskikt och ett skyddsskikt. Tabell 6.1 redovisar den beräknade åtgången av de olika material som skulle användas.

Tabell 6.1. Beräknad materialåtgång för täckningsarbetena.

| | Tjocklek (m) | Yta (m ²) | Volym (m ³) | Kvalitet |
|-------------------------|--------------|-----------------------|-------------------------|--------------|
| Västra Magasinet | | | | |
| Tätskikt | 0,3 | | 55 000 | Lerig morän |
| Skyddsskikt | 1,5 | | 270 500 | Siltig morän |
| Östra Magasinet | | | | |
| Tätskikt | 0,3 | | 110 000 | Lerig morän |
| Skyddsskikt | 1,5 | | 550 000 | Siltig morän |

6.2 Val av täckningsmassor

Som ett förberedande arbete lät entreprenören undersöka det anvisade täktområdet för tätskiktsmoränen. Det visade sig då att moränens kvalitet inom detta område inte motsvarade den som redovisats i den tidigare inventeringen. Endast ungefär en tredjedel av den anvisade materialvolymen befanns klara kravet utan någon tvekan, medan ca en tredjedel var klart underkänd och en tredjedel låg kring kravgränsen, d.v.s. kunde godkännas med tvekan eller efter en intensifierad packning.

Dessa problem löstes på följande sätt:

- Generellt refuserades den översta halvmetern i täkten efter det att matjordstäckets och trädrötter tagits bort.
- De minst leriga partierna av moränen markerades av kontrollanten i täkten och refuserades. De användes för återställningsarbeten i täkten.
- Tätskiktet lades under 1993-94 ut i tre delskikt som packades individuellt. Avsikten var att överbrygga felaktigheter som eventuellt uppkom på grund av moränpartier med för hög permeabilitet.
- Tätskiktet lades under 1994-95 i två delskikt som packades individuellt. Anledningen till att man reducerade med ett delskikt var att tätskiktsmoränens kvalitet i täkten blev högre och att problemen med sten i skikten vid packning i princip blev mindre ju mäktigare dessa skikt var.
- Utförandekontrollen intensifierades inte enbart i täkten utan även på de färdigpackade ytorna på sandmagasinen. Samtliga delskikt kontrollerades, se avsnitt 6.7.

I den sydöstra delen av täkten motsvarade den refuserade moränvolymen ca 30 %, medan kvaliteten blev bättre mot väster och mot söder, där kanske 10 % refuserades. Åtgärderna förorsakade naturligtvis extrakostnader för projektet, men innebar att man kunde behålla konceptet med det relativt billiga, lokala tätskiktsmaterialet.

6.3 Planering och upphandling

Projektledningen lämnade ut en riktad anbudsförfrågan i juli 1992 för en generalentreprenad som omfattade täckningen av de båda magasinerna med moränmaterial från en täkt vid gruvan och två täkter vid Västra Magasinet. Entreprenaden omfattade även viktiga förberedelsearbeten såsom avverkning och avtäckning av täktområdena, planering/terrassering av magasinens överytor och slänter, stabilisering av vissa ytor på Östra Magasinet samt dikesgrävningar och borttagning av konstruktioner som inte längre behövdes.

Beställare var formellt Boliden Mindeco AB som också svarat för projekteringen. Anbudet skulle gälla ett fast, icke indexreglerat pris och fri anbudsprövning tillämpades med sluten anbudsöppning. Förfrågningsunderlaget omfattade följande handlingar:

- Särskilda ersättnings- och mättningsbestämmelser (MR83 Mark och Mättnings- och ersättningsbestämmelser, daterade 1992-07-16)
- Mängdförteckning och à-prislista, 1992-07-16
- Allmänna föreskrifter, 1992-07-16
- Material- och arbetsbeskrivning, 1992-07-16
- Ritningar, förtecknade 1992-07-16
- Övriga handlingar: anbudsformulär

Efter projektledningens utvärdering av anbudet antogs enhälligt Gräv- och Schakt AB i Västerås i allians med Vägmaskiner AB i Norrköping som huvudentreprenör. Kontraktshandlingarna som upprättades med entreprenören omfattade vissa kompletterande arbeten utöver de som reglerades av anbudet.

6.4 Förberedande arbeten

Det låg på entreprenörens ansvar att lokalisera alla ledningar för VA, el och tele som kunde beröras av arbetena. Dessutom var han tvungen att riva vissa konstruktioner på magasinerna såsom ett träbräddavlopp med rörledning på Östra Magasinet och en gammal betongmunk på det Västra Magasinet. Vidare erfordrades att täktverksamheten förbereddes med avverkning av träd och avrymning av övrig vegetation, stubbrytning och det översta jordlagret på moräntäkterna.

Innan täckningen kunde påbörjas måste ytorna på sandmagasinerna terrasseras så att täckningen skulle få en lämplig anslutning mot omgivningen och så att ytavrinningen skulle bli den lämpliga. Bl.a. fick en kvarvarande del av ravinen på Västra Magasinet om ca 5 m djup och 20 m bredd terrasseras till maximal släntlutning om 1:3. En hög med 200 m³ rötslam från en tidigare försöksyta blev så småningom utlagd i ett tunt skikt ovan färdigt skyddsskikt.

För att minska belastningen av ytvatten på det Västra Magasinet fick man gräva ett avskärande dike på södra sidan om Östra Magasinet. På mindre avsnitt i sandmagasinens utkanter fick en del träd avverkas och marken beredas för att täckningens anslutning skulle bli lämplig. I ett senare skede av projektet genomfördes en stabilisering av Östra Magasinets klarningsyta med schaktmassor från Östra Magasinets dammvallar. Detta moment skulle egentligen enligt anbudshandlingarna genomförts i det inledande skedet, men man valde att invänta en utdränering av denna del av magasinet. Det Östra Magasinets dammvallar blev också planerade i en senare del av projektet, när större delen av täckningen redan var klar.

6.5 Problem med bl.a. grundvatten

Det blev i ett tidigt skede beslutat att täckningsarbetena skulle starta på det Västra Magasinet för att finslamsdelen på det Östra Magasinet skulle få tillfälle att dräneras så länge som möjligt. Sommaren 1993 var en ovanligt regnig period som startade bara några veckor efter att snösmältningen upphört. Därför hann aldrig ytskiktet torka upp på mer än vissa delar av sandmagasinen.

Den korta torrperioden i början på sommaren utnyttjades för att deponera relativt grova och något kontaminerade massor från gruvområdet på den västligaste delen av det Västra Magasinet. Dessa massor förbättrade bärigheten på några svaga partier, men det visade sig snart att det fanns många partier med alltför dålig bärighet för att tillåta en tillräckligt god packning av tätskiktet.

Inom vissa ytor var problemet av övergående natur, d.v.s. torkade det bara upp tillräckligt länge så kunde packningen till slut ändå genomföras, men i förvånande många fall kvarstod problemet även efter flera dagars upptorkning. Då upptäcktes att grundvattentrycken i det Västra Magasinet generellt var höga och i många fall markant översteg markytan. Detta skapade "liquifaction" av det finkorniga avfallet och genombrott för packningsredskap och andra fordon.

Det enda sätt man kunde lösa detta problem på var att dränera bort överskottet av grundvatten. Detta skedde genom att man grävde ner dränslangar av varierande grovlek vilka omgivits med makadam som skyddats med fiberduk. Dessa utgick ofta från ett större inläpp av externt yt- eller grundvatten som kunnat avledas med avskärande, externa diken. De följde sedan de naturliga dräneringsstråken i magasinet vilka kartlagts på förhand med hjälp av en portabel tensiometer. Denna kartläggning omfattade det undertryck (kapillärtryck) som fanns i avfallet på ca 0,2 m djup och relaterades till vilket undertryck som krävdes för att ge den stabilitet som behövdes för att packning skulle kunna genomföras.

I centrum av stråken med för låga undertryck erhöles ofta övertryck i tensiometern. Där lades dränledningarna som i stort sett bildade ett fiskbensliknande mönster och som bl.a. följde den igenfyllda gamla ravinen och vissa underjordiska kanaler som påträffades på upplaget och som uppenbarligen utgjort gamla dräneringsvägar vid högvattenflöden. Efterhand förbättrades möjligheterna att genomföra packningen på Västra Magasinet, särskilt under den torra sommaren 1994 som var den föregående sommarens motsats vad gäller nederbördsmängder.

Även det direkta regnet på magasinen skapade problem vid utläggning och packning. Trots att man inte körde tätskiktsmorän när det regnade uppkom under sommaren -93 problem med vattenhalter i moränen som var för höga för packningen. Det kunde gälla material som varit uppgrävt före regn men legat på "mellanupplag" i tåkten, på dumpers eller på magasinet i avvaktan på utläggning, men framförallt gällde det material som lagts ut men av olika skäl inte kunnat packas tillräckligt väl före regnet. Dessa massor "sög till sig" vatten och fick sedan lämnas för uttorkning vilket kunde ta flera dagar. Många gånger fick de rivas upp för att torkningen skulle bli tillräckligt djupgående och jämn, men inte förrän man förväntade sig tillräckligt bra väder, annars kunde situationen förvärras.

Särskilt svåra problem uppkom med de "fönster" av underkänt material som uppkom när de omgivande, godkända ytorna påförts det stipulerade skyddsskiktet. I dessa breda gropar ansamlades stora mängder vatten som endast kunde avledas med hjälp av pumpning och som ändå aldrig tycktes torka upp under den våta sommaren. Det var en stor lättnad när de äntligen kunde godkännas fram på höstkanten!

6.6 Utläggning och packning av tätskikt

Tillverkningen av tätskiktet skedde generellt i 2-3 delskikt och med följande moment:

1. Förplanering och förpackning av sandytan
2. Utläggning av första delskiktets lermorän
3. Borttagning av för stora stenar med hjälp av gallerskopan
4. Packning med vibrovält
5. Utläggning av andra delskiktet, bortgallring av sten, packning osv.
6. Kontroll av packningsresultat och vattenkvot
7. Besiktning av färdig yta med avseende på mäktighet, stenstorlek m.m.
8. Eventuell ompackning eller andra åtgärder

Utläggningen av de ändtippade högarna av lerig morän skedde med en bandgående schakt-bladsmaskin av typ Cat D6 eller Cat D8N. Gallerskopan var monterad på en gummihjuls-lastare av typ BM 4000. Medan packningen utfördes av en 10-tons midjestyrd vibrovält med enkel vältcylinder av fabrikat Dynapac. På denna kunde vibratorfrekvensen styras och anpassades genom särskilda försök så att det bästa resultatet uppnåddes.

Även om dräneringen av Västra Magasinet klart förbättrade möjligheterna att packa avfallet så innebar den inte att packningen kunde ske problemfritt. En särskild teknik utvecklades för att klara packningen på besvärliga delytor. Generellt utfördes alltid en förpackning av sandytan. Det visade sig nämligen att det första delskiktet aldrig kunde uppnå fullgod packning om inte sandytan var någorlunda väl packad. En jämn sandyta underlättade dessutom den fortsatta packningen märkbart. Därefter lades det första delskiktet ut och packades. Mätningar av packningsresultatet (se avsnitt 6.10) fick avgöra vidare åtgärder. Om resultatet blev godkänt mätt efter kravet för det färdiga tätskiktet (>95 % packningsgrad) fortsatte utläggning och packning av de efterföljande delskikten.

Om packningsresultatet blev klart underkänt för någon delyta (<90 % packningsgrad) så inväntades en torkning av ytan om det var uppenbart att underkännandet berodde på för hög vattenhalt - om inte så packades den om omgående. Om resultatet var nästan godkänt, d.v.s. motsvarade mellan 90 och 95 % packningsgrad, fortsatte packningen av det efterföljande

delskiktet varefter man följde upp packningsgraden i båda delskikten. I allmänhet uppnåddes då godkänd packning även i bottenskiktet.

Om den underliggande sanden var för våt, drogs vatten automatiskt upp i det första delskiktet vid packningen och det kunde dröja länge innan ytan blev tillräckligt torr. I vissa fall inträffade detta aldrig och en avledning av vatten blev nödvändig. I de enklare fallen räckte det då med att slå hål på tätskiktet och låta överskottsvattnet trycka upp på överytan och avdunsta. I övriga fall krävdes anslutning till täckdikessystemet.

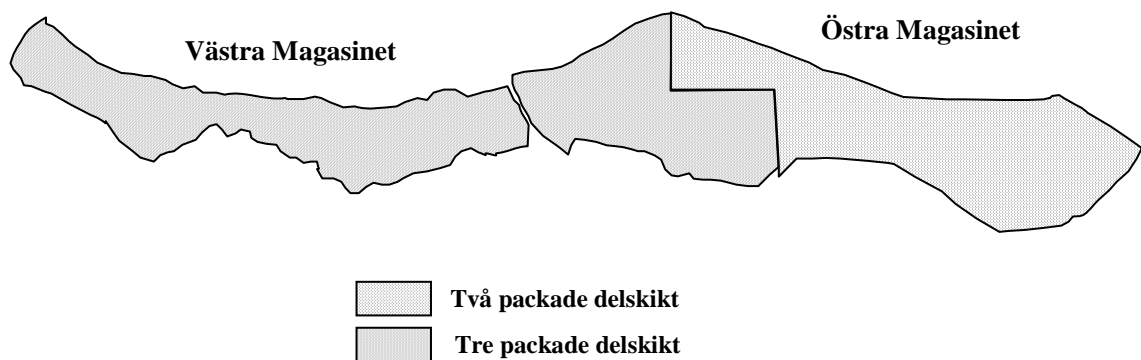
Den generella erfarenheten var att ett bra inledande arbete belönades med mindre behov av senare packningsarbete och efterjusteringar och med att packningsresultaten förbättrades för de efterkommande skikten. Till de inledande momenten hörde inte enbart en god packning av underlaget och det första delskiktet utan även planhet, jämnhet (utan uppstickande stenar).

Förutom problemen med uppträngande vatten på magasinerna uppkom problem med materialkvaliteten. Till de mindre allvarliga problemen hörde förekomst av sten. Efter bortplockning med gällerskopian kunde enstaka, ofta avlånga, stenar uppträda i delskikten. I allmänhet trycktes dessa ned i sanden vid packning och skapade inga fortsatta problem, men ibland kunde de sticka upp och skapa en "slagskugga" med sämre packning, se figur 6.1. Detta gällde främst delskikten 2 och 3 när det underliggande skiktet var så väl packat att stenarna inte kunde tryckas ned eller när två stenar råkade lägga sig över varandra. Om inte fler överfarer med välten hjälpte fick även stenar som var mindre än max-storleken plockas bort för hand.

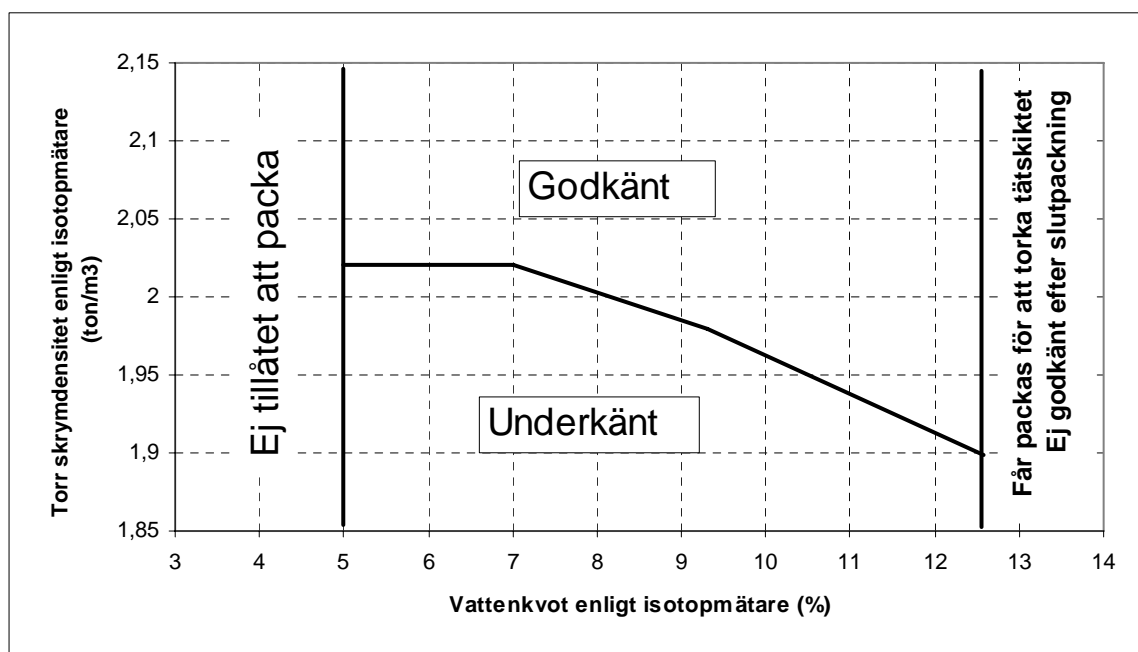
Till de allvarliga problemen hörde avvikelser i materialkvalitet som innebar för dålig täthet hos det färdigpackade tätskiktet. Som redan redovisats, klargjordes med en särskild kartläggning i tåkten för lermorän vilka massor som inte kunde användas som tätskikt utan fick deponeras som "återställningsmaterial" i tåkten. Trots detta fanns det material som låg på gränsen till underkänt och även under denna gräns men som på grund av materialbrist måste användas som tätskiktsmaterial.

För att inte effekterna av partierna med alltför genomsläppliga material skulle få ett avgörande inflytande på tätskiktets totala täthet bestämdes att detta skikt skulle packas i tre delskikt och att varje pall skulle vara så stor att material från samma del i tåkten inte kunde hamna i olika skikt och just över varandra. Detta gällde så länge risken var stor att underkänt material kom att användas. I ett senare skede, då materialkvaliteten blev bättre i tåkten, övergick man till utläggning och packning i 2 delskikt. Därigenom minskade även problemen med sten som påverkade packningen av delskikten. I figur 6.1 redovisas för vilka magasinstrytor tätskiktet tillverkats i 2 respektive 3 delskikt.

Vid projektstarten relaterades packningskravet till minst 95 % packningsgrad, d.v.s. den lägsta torra skrymdensiteten skulle motsvara 95 % av den vid optimal vattenkvot och vid den standardiserade tunga laboriestampningen. Eftersom den lägsta permeabiliteten generellt erhålls vid en vattenkvot som ligger något över den optimala för packning, följde man upp dessa förhållanden och kunde konstatera att resultatet från flera synpunkter blev bättre om materialet fick vara något våtare än vad man normalt tillät. Därför justerades kravet från och med 1994 till att gälla vattenkvot i kombination med torr skrymdensitet. Eftersom man även konstaterat genom statistisk bearbetning av resultaten från isotopmätningarna att vattenkvoten med denna metod avvek från den verkliga, justerades vattenkvotsgränserna till att gälla den som erhöles i fält. Ett särskilt diagram upprättades över de krav som gällde efter 1993-06-01, figur 6.2



Figur 6.1 Ytor som packats i två, respektive tre delskikt.



Figur 6.2. De reviderade packningskraven relaterade till den använda isotopmätarens parametrar.

6.7 Tillverkning av skyddsskikt

Skyddsskiktet tillverkades av en lokal morän som är något grövre än den leriga tätskiktsmoränen och som fanns helt intill det västra magasinet, dels en mindre förekomst på den södra sidan, dels en större förekomst på den norra sidan. Så länge täckning utfördes på det Västra Magasinets östra del, d.v.s. mittför täkterna kunde materialet skjutas ut över magasinet med hjälp av bandtraktor, medan omlastning på dumpers krävdes för de övriga delarna av magasinen.

Utläggningen skedde i två omgångar där det första delskiktet var 0,5 m och det efterföljande 1,0 m. Till sin hjälp fick bandtraktorföraren flukter utsatta på stakkäppar. Att mäktigheten blivit tillräcklig kontrollerades med avvägning. Viss kontroll erhöles även genom de exakt 2,5 m långa grundvattenrör som på vissa delar grävdes ned till tätskiktets ovansida. Om skyddsskiktet är 1,5 m mäktigt sticker de således upp 1,0 m ovan markytan.

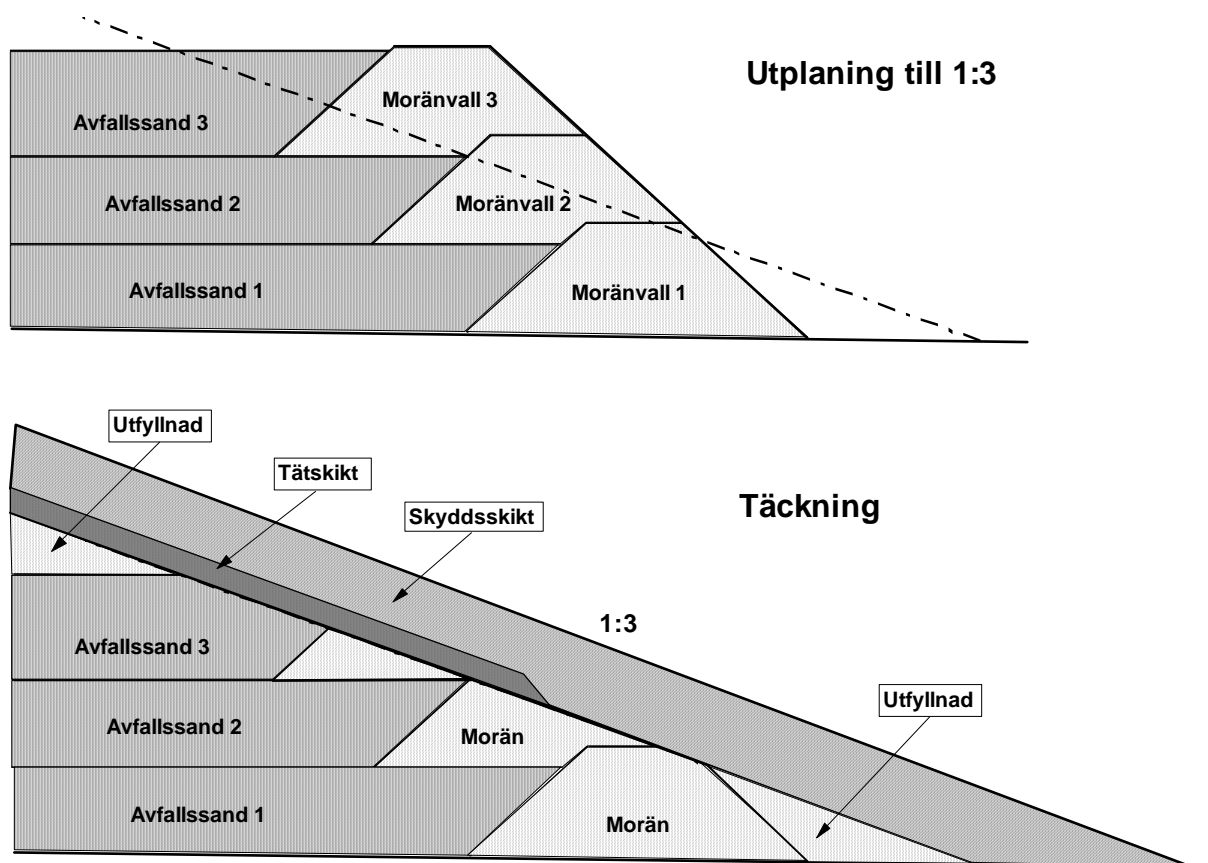
Utläggningen skulle egentligen ske ganska omgående efter det att en delyta av att tätskikt blivit godkänt. Anledningen var att torksprickor inte skulle uppkomma i tätskiktet eller att skiktet inte skulle ta upp vatten och svälla vid regn. Det visade sig emellertid snart att de torksprickor som uppkom vid stark sol inte blev djupare än 10-15 mm och snabbt gick ihop vid regn och att tätskiktsytor som uppfyllde packningskraven inte tog upp extra vatten annat än i det allra översta skiktet. Därför var det inte så angeläget att genast täcka de godkända tätskiktsytorna. Om de däremot var mindre välpackade och omättade på vatten kunde vattenvikten öka även om någon svällning inte observerades.

Utläggningen av det första delskiktet skyddsmorän på en delyta utfördes i allmänhet ganska omgående efter att tätskiktet för delytan godkänts. Däremot kunde det dröja tills även det andra delskiktet påförts eftersom detta kunde utföras även vid sämre väderlek då tillverkning av tätskikt inte var möjlig.

6.8 Utformning av slänter

Större delen av det Västra Magasinet ansluter mot en terräng som ligger på samma eller högre nivå som magasinets överyta. Mot väster begränsas det dock av en dammvall vars sluttning var alltför brant för att medge en stabil täckning. I samband med att man drog in anrikningssand och förorenade sediment utanför vällen släntades denna ut till en lutning på 1:3 vilket medgav täckning med tätskikt och skyddsskikt på normalt sätt.

Större delen av Östra Magasinet ansluter mot terräng som ligger lägre än magasinets överyta och begränsas av en dammvall som är hela 2300 m lång. Dammvallens fot låg i stort sett på Bolidens ägogräns och möjligheterna att inlösa ytterligare mark för att genomföra en normal utsläntning bedömdes inte finnas. Istället släntades dammvallen av inåt på ovansidan varvid anrikningssand exponerades på de högre nivåerna, se figur 6.3. Därefter täcktes den övre delen av slänten med lerig morän som lades ut med grävskopa utan att packas med annat än skopan och därpå lades 1,5 m skyddsmorän i vanlig ordning.



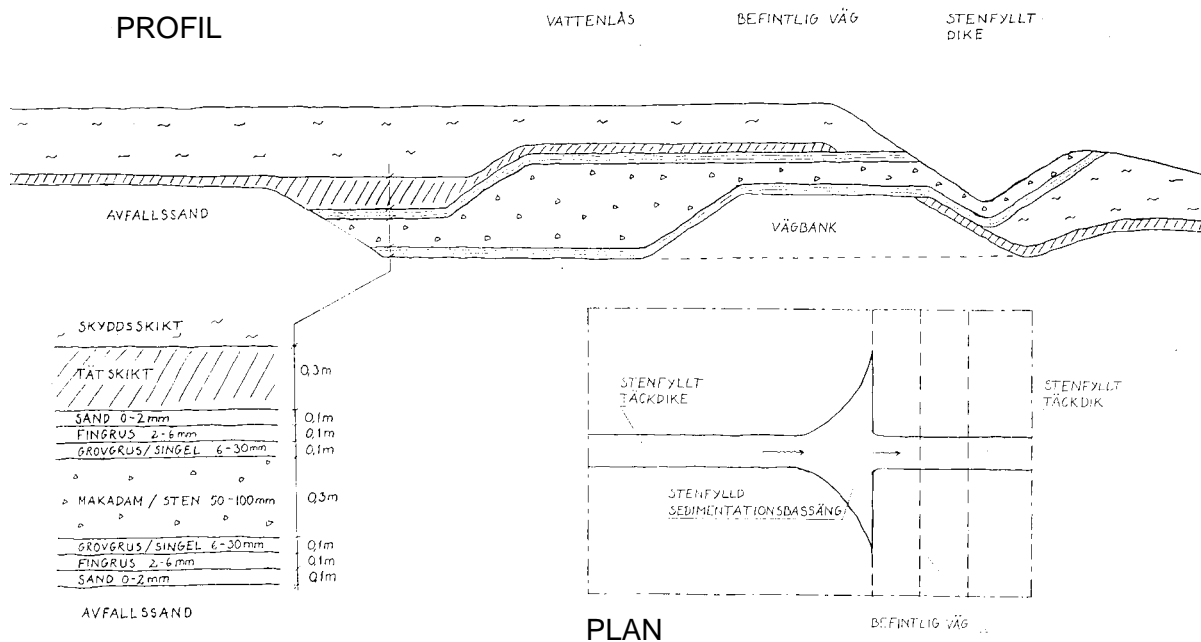
Figur 6.3 Utformning av Östra Magasinet slänter.

6.9 Avledning av vatten på färdigställda magasin

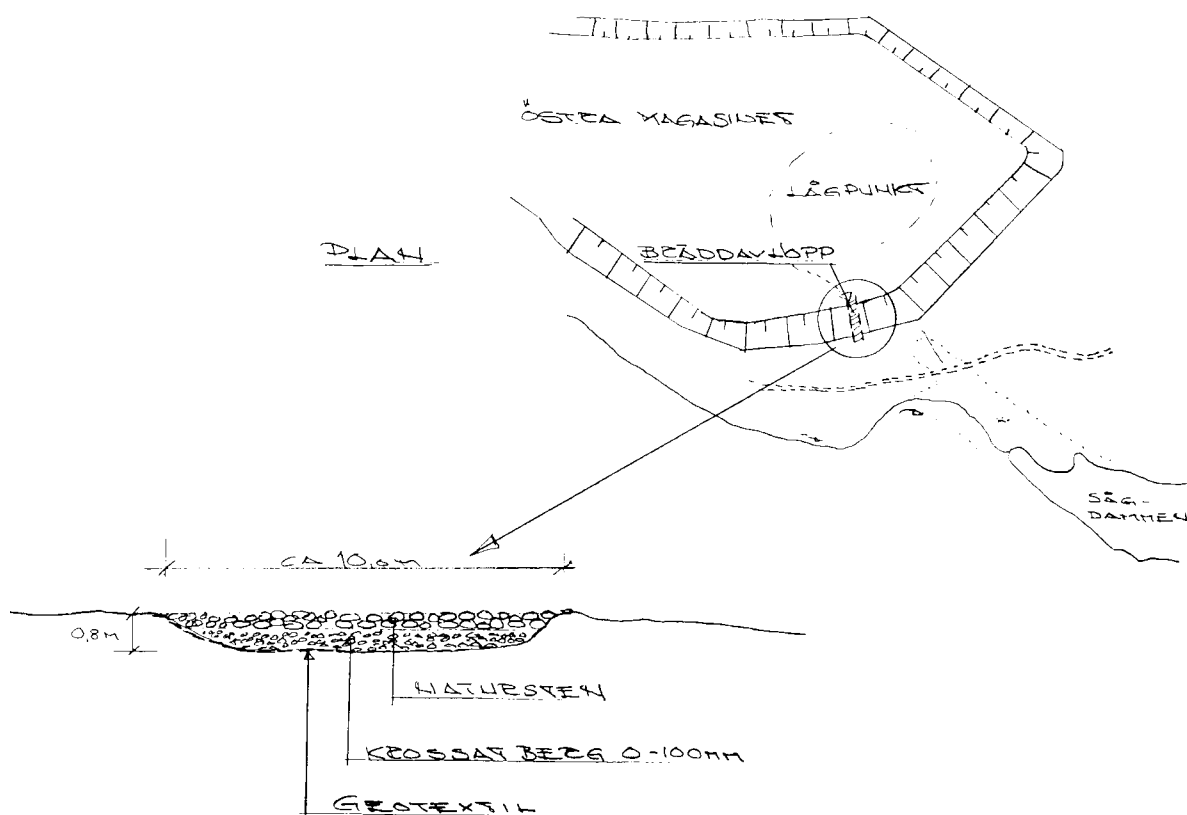
Grundvattnet i det Västra Magasinet - till stor del avlett i det anlagda täckdikessystemet - samlas i dess nedströmsdel som utformats som ett stort vattenlås med en sedimentationskammare fylld av grov sprängsten. Vattenlåset har anlagts med hjälp av två täta, parallella dammvallar av packad lermorän med det inbördes avståndet 10-15 m. Den övre ansluter tätt mot tätskiktet och når ned till ca 1 m ovan botten på den stenfyllda kammaren, medan den övre vallen ansluter tätt mot botten men når inte ända upp till tätskiktet utan är täckt med ungefär en meter mäktig stenfyllning, se figur 6.4. Vattnets trycknivå når normalt upp till tätskiktet, men även vid lågvattenstånd kan således luft inte ta sig längre in i vattenlåset än till den övre damvallen.

Den nedre dammvallen i vattenlåset utgör den östra gränsen för det Västra Magasinet och skiljet mellan detta magasin och det Östra Magasinet. Överkanten på vallen når över det färdigtäckta Östra Magasinet och det utgående grundvattnet från det Västra Magasinet släpps ut på bred front från vattenlåset på det Östra Magasinet överyta. Avsikten är att detta lakvatten skall underhålla en våtmark på åtminstone den västra delen av det Östra Magasinet och att vattenkvaliteten skall förbättras genom fastläggning av metaller i denna våtmark.

Överskott av ytvatten från det Västra Magasinet avleds delvis i diken på magasinets sidor och delvis i ett centralt dike i nedströmsdelen vilket avbördas tillsammans med grundvattnet från vattenlåset på våtmarken i den västra delen av det Östra Magasinet.



Figur 6.4 Utformningen av vattenlåset mellan Västra och Östra Magasinen. Bassängen med ledning var en tillfällig konstruktion för rening av utgående vatten under täckningsarbetena.



Figur 6.5 Bräddavloppets utformning i nedströmsdelen av Östra Magasinet.

Allt grundvatten i det Östra Magasinet omsätts via den underliggande isälvsformationen. Var detta vatten i sin tur strömmar ut är inte klarlagt, men sannolikt sker det i anslutning till Vattfallsgropbäckens ravin och sjön Saxen i Saxdalen. Utspädningen av lakvattnet från magasinet är då troligen betydande. Det ytvatten som bildas på detta magasin avdunstar till stor del tillsammans med det påförda vattnet från det Västra Magasinet. Vid snösmältning och höstregn bildas dock ett överskott av vatten som på den östra delen av magasinet avleds mot söder via ett särskilt erosionsskyddat överfall, figur 6.5. Detta utformades som en stenklädd, flack och grund kanal som ursprungligen var ca 10 m brett. Erosionsskyddet befanns dock vara otillräckligt redan vid de två första vårfloödena och fick breddas till 15 m och förstärkas med mer sten, särskilt vid släntfoten.

6.10 Utförandekontroll

6.10.1 Allmänt

Kontrollen av entreprenadens utförande genomfördes i flera, i stort sett oberoende, aktiviteter:

1. Entreprenörens egenkontroll av vissa arbetsmoment
2. Byggherrens kontroll av vissa arbetsmoment och uppnådda resultat
3. Den särskilt anlitade kontrollantens (Terratema:s) utförandekontroll
4. Entreprenörens och byggherrens kontroll över projektets ekonomi och tidsramar

Entreprenörens egenkontroll omfattade huvudsakligen dokumentation av utfört arbete och transporterade materialmängder, medan byggherrens tekniska kontroll i huvudsak omfattade dräneringarnas utförande och underhåll samt delskiktens mäktigheter i täckningen och förekomsten av sten i tätskiktet. Han genomförde också kontinuerligt en ekonomisk kontroll av entreprenaden.

Terratemas utförandekontroll reglerades av ett särskilt program och omfattade i första hand materialkontroll och packningskontroll. Därtill kom viss undersökning av den erhållna tätheten i färdigställda tätskikt vilken utfördes, dels med infiltrometrar, dels genom grundvattenståndsförändringar i större avsnitt av färdigtäckta ytor som bevattnades under kontrollerade former, s.k. testytor. Parallellt med detta utförde Terratema en kontroll av att det erhållna resultatet av åtgärder motsvarade vad man velat uppnå. Denna s.k. funktionskontroll hade inte som syfte att reglera entreprenörens arbeten. Genomförandet av funktionskontrollen behandlas i avsnitt 6.11, medan dess resultat redovisas i avsnitt 8.3 och erfarenheterna av dem i avsnitt 10.9.

Kontrollen av entreprenörens utförande omfattade materialkvaliteten i tåkten för tätskiktsmorän vid gruvan och tillverkningen av tätskiktet på sandmagasinen. Med hänsyn till den viktiga relationen till det valda jordmaterialet användes endast personal med geovetenskaplig utbildning och vana från jordartsbestämningar. Eftersom entreprenören arbetade i två-skift krävdes regelmässigt 2, ibland 3 kontrollanter. Dessa arbetade normalt mellan klockan 7 och 19 med viss överlappning. Ett eget jordartslaboratorium sattes upp på platsen där det fanns möjligheter till bestämning av kornstorleksfördelning, vattenkvot, packningskurvor m.m.

6.10.2 Materialkontroll

Kontrollarbetet i tälkten omfattade kontroll av materialsammansättning, vattenkvot och orenheter med markering av icke godkända volymer. Frekvensen av besök berodde på transportintensiteten och inhomogeniteterna i materialet. Normalt utfördes mellan 2 och 5 besök dagligen. Därutöver förekom genomgång av avtäckta ytor inför urgrävning. Prover togs dagligen för bestämning av vattenkvoten och i början av projektet även för bestämning av kornstorleksfördelningen. Mindre ofta togs prov för bestämning av packningskurvan och allmän kontroll av kontrollantens färdighet och bedömning.

Bestämningar av lermoränsens vattenkvot utfördes på prover från tälkten med hjälp av torkning i konventionell ugn vid 105 °C. Detta innebar att resultatet erhöles först den efterkommande dagen. I praktiken baserades därför alla anvisningar i tälkten på subjektiva bedömningar vilka korrelerats till de allmänna provresultaten. I slutet av projektet utprovades torkning i mikro-vågsugn med goda resultat. Detta medgav vattenkvotsbestämningar inom en timme.

Kontroll av material avsåg den leriga morän som togs ut i tälkten vid gruvan. Den allra största delen av arbetet gick ut på att okulärt granska kvaliteten med avseende på lerhalt, vatten-innehåll, jämnhet i kornstorleksfördelning samt inslag av sandskikt och orenheter. Granskningen ställde krav på viss förmåga och erfarenhet att bestämma jordarter. För att upprätthålla och utveckla personalens färdighet och känsla för materialet samt för att få en enhetlig bedömning mellan personalen genomfördes med jämna mellanrum kornstorleksanalyser av prov som tagits i tälkten. Dessutom utfördes dagligen ett flertal bestämningar av materialets vattenkvot i såväl tälkten som i utlagda tätskikt på magasinerna.

Besiktningen av materialet i lermoräntälkten startade tidigt på morgonen, mellan kl. 7 och 8. Den utfördes på de slänter i tälkten som var aktuella att bryta under förmiddagen. Till sin hjälp hade geologen ett par spadar av olika storlekar, en sprutflaska med vatten (för att känna på materialet vid olika fukthalter), hinkar och provpåsar. Efter att ha besiktigat och ”känt igenom” allt blottlagt material och eventuellt bett grävmaskinisten frilägga tveksamma delar övergick geologen till att ta prover och att kontrollera att inga avvikelser förekom på den närmaste delen av markytan. Slutligen markerades de eventuellt underkända delarna av slänterna och markytan med sprayfärg och stakkäppar. Dessa jordvolymer lastades separat och kördes för deponering i redan utbrutna delar av tälkten.

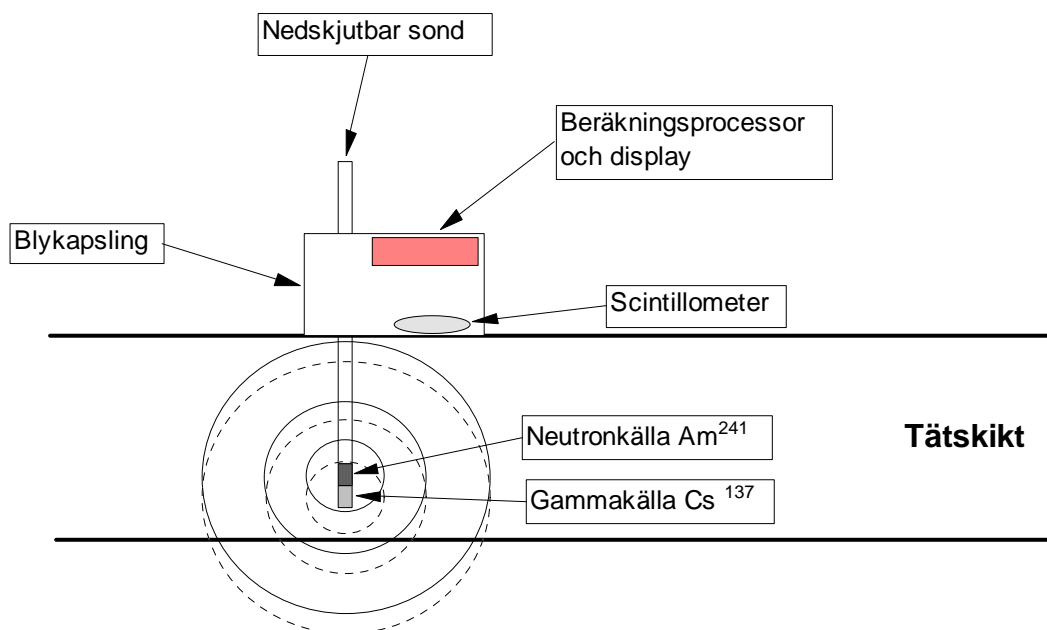
De insamlade proverna undersöktes i laboratorium. Prover för vattenkvotsbestämning vägdes in i dubbla provkärl och sattes i torkugnen. Vid tveksamheter jämförde geologen med en uppsättning av referensprover vars kornstorleksfördelning bestämts i ett tidigt skede och vilka representerade alla förekommande (och tveksamma) typer av jordmaterial. Svårigheterna för geologen att klassificera materialet betingades av att materialets egenskaper förändrades med vattenhalten och att samma material kunde förekomma i en oxiderad (brunaktig) variant och en icke oxiderad (mörkgrå) variant samt att materialet naturligt blev mer kompakt med djupet.

Med jämna mellanrum, ca en gång var tredje vecka, togs ett extra stort prov för bestämning av materialets packningskurva. Detta tillgår så att en varierande mängd vatten tillsätts ett antal delprov (4-6 st) vilka sedan packas in i en cylinder i en apparat där packningsarbetet kan utföras på ett standardiserat sätt. Därefter mäts den uppnådda densiteten hos provet och markeras i ett diagram efter den motsvarande vattenkvoten. Resultatet, packningskurvan, användes sedan för att klarlägga vilken tolerans man har med avseende på vattenkvoten för att kunna uppnå det stipulerade packningskravet.

6.10.3 *Packningskontroll*

Kontrollarbetet på magasinen bestod i bestämning av tätskiktets och skyddsskiktets mäktighet och förekomsten av stenstorlek över den tillåtna samt bestämning av vattenkvot och densitet hos det färdigpackade tätskiktet. Mäktigheter och stenstorlekar bestämdes, som redan nämnts, av beställarens kontrollant medan vattenkvot och densitet bestämdes av den externa kontrollanten. I början av entreprenadarbetet bestämdes det uppnådda packningsresultatet, d.v.s. lermoränens densitet, med en s.k. vattenvolymeter. Denna visade sig ge osäkra resultat varför man snart övergick till en s.k. isotopmätare.

Vid packningskontrollen med hjälp av det s.k. isotop-instrumentet fördes en sond innehållande två radioaktiva källor ned i ett förtillverkat hål i tätskiktet. Den ena källan producerar ett neutronflöde och den andra ett flöde av gammastrålar som utbreder sig sfäriskt kring källan. Dessa strålars förmåga att penetrera jordmaterialet registreras av en scintillometer som sitter i den välkapslade enheten direkt ovan marken, figur 6.6. Gammastrålarnas penetrationsförmåga är proportionell mot materialets densitet och vatteninnehåll, medan neutronstrålarnas penetrationsförmåga är proportionell mot materialets vatteninnehåll. Eftersom båda parametrarna registreras kan materialets densitet och vattenkvot beräknas. Kalibrering erfordras bl.a. med hänsyn till de radioaktiva källornas intensitet som avtar med tiden.



Figur 6.6 Principen för packningskontroll med s.k. isotopmätare.

I början av projektet utfördes jämförande mätningar mellan denna metod och de traditionella metoden med vattenvolymeter. Det visade sig att båda metoderna är känsliga för förekomsten av sten, men att osäkerheten med vattenvolymetern generellt var större. Den uppenbara fördelen med isotopmetoden är också att tidsåtgången är så mycket mindre, att uppgifter om vattenkvoten erhålls direkt samt att mätning kan ske på varierande djup vilket ger extra information om förhållandena. Detta innebär bl.a. att mätningar kunde utföras relativt tätt och att extra mätpunkter tillämpades regelmässigt vid tveksamma mätresultat, då tydligare avgränsningar erfordrades för icke godkända delytor eller då information behövdes om vattnets fördelning i tätskiktetsprofilen.

Normalt utfördes packningskontrollen i ett kvadratisk rutnät med 25 m avstånd, vilket kunde förtätas vid behov. Varje mätpunkt registrerades på en särskild plankarta med uppgift om vattenkvot och uppnådd densitet.

Utanför kontrollprogrammet användes tensiometrar i den underliggande anrikningssanden för att klarlägga när det var möjligt att packa tätskiktet. Tensiometern visar primärt det undertryck (relativt lufttrycket) som råder i materialet som dess filterspets sitter i. Detta undertryck är proportionellt mot den vattenmättnadsgrad eller vattenhalt materialet har. Inte förrän undertrycket i sanden nått en viss nivå visade sig denna vara bärkraftig nog för vibrovälten. Detta kunde utnyttjas för en kartläggning av de delar på det Västra Magasinet där det utströmmande grundvattnet var alltför omfattande för att tillåta packning och där särskilda dräneringar först fick anläggas.

6.11 Funktionskontroll

Funktionskontrollen har omfattat följande moment:

- Grundvattenstånd och -kvalitet i magasinen - 15 st polyetenrör, + 1 st PVC-rör.
- Grundvattenstånd i skyddsskiktet - ett 60-tal rör på magasinen
- Läckage av nederbördsvatten genom täckningen - 6 st uppsamlingslysimetrar
- Läckage av syrgas genom täckningen - 4 st diffusionslysimetrar under + 2 st ovan tätskiktet
- Syrgashalt i magasinen - 32 st slangar fördelade på 1-4 nivåer och 17 ställen på magasinen
- Temperatur i magasinen - 32 st termoelektroder fördelade på 1-4 nivåer och 17 ställen

Den viktigaste delen i funktionskontrollen har varit mätningen av syrgashalten i anrikningssanden. Dessa mätningar har ofta visat på kraftiga svängningar i syrgashalten vilka många gånger varit ologiska. Detta har tolkats som otätheter i installationerna och kompletterande tätningar har tydligt minskat variationerna. I vissa fall har otätheter i form av skador på skyddsroren av plast kunnat observeras. Även om det är möjligt att otätheterna i vissa fall kan gälla tätskiktet, så är det uppenbart att dessa installationer varit olämpligt utformade.

Om skyddsror överhuvudtaget skulle ha använts borde dessa ha varit av stål och inte av plast. Vidare borde ordentliga ventiler ha använts i änden av mätslangarna istället för gummiproppar som har en tendens att blåsas ur vid interna tryckförändringar i magasinen. Det är också möjligt att skyddsroren borde ha isolerats bättre mot termiska förändringar för att temperaturmätningarna skulle bli korrekta.

De diffusionslysimetrar som grävdes ner under tätskiktet anlades med en högre ambition på både material och utförande ("Ranstadsmodellen") än vad som uppgavs i programmet ("Bersbomodellen"). Anledningen var de misstankar man fått om risken för intern syrekonsumtion i lådorna och önsknings om en högre precision i bestämningarna. Förbättringen innebar betydligt högre kostnader per lysimeter. Samtliga lysimetrar har fungerat bra, bortsett ifrån en under tätskiktet som hamnat under grundvattenytan nära vattenlåset på det Västra Magasinet samt igensättning av några av de slangar från lysimetrarna vilka används för evakuering av vatten eller gas. Eftersom det finns reservslangar har inte detta haft någon betydelse för användningen.

Diffusionslysimetrarna som grävdes ner ovan tätskiktet kunde göras betydligt enklare men fungerar endast under torrperioden när man slipper den omfattande inträngning av vatten i lysimetern som annars sker ovan tätskiktet. Även dessa lysimetrar har fungerat oklanderligt.

Bland grundvattenrören som nedförts i anrikningssanden finns en serie om 8 rör fördelade på 2 grupper och på olika nivåer. De är försedda med ett keramiskt bottenfilter, i övrigt är de täta. De skall tömmas med hjälp av en s.k. BAT-provtagare där luftevakuerade provrör sätts i kontakt med filtret via en dubbelsidig kanyl som får penetrera gummimembranet (septum) till filtret respektive provröret. Dessa installationer fungerade oklanderligt direkt efter installationen, men skyddsroren av ofärgad polyeten deformerades, trots sin kraftiga väggtjocklek (10 mm), efter hand vid genomgången av täckningen så mycket att provtagaren fastnar i denna del.

Avsikten med det installerade BAT-systemet var att kunna provta vatten även från den omättade zonen ovan grundvattenytan i magasinet. Redan vid den första provtagningsomgången visades detta endast vara möjligt om vattenmättnadsgraden är nära den maximala, d.v.s. möjligen i de sjunkvattenzoner som uppträder t.ex. efter snösmältningen. För detta begränsade ändamål synes därför BAT-systemet vara en onödigt kostsam installation även om styvare skyddsror skulle ha använts.

Deformationer vid genomföringen i täckningen har även drabbat de flesta djupare grundvattenrör som installerats. Det är samma typ av ofärgade polyetenrör (s.k. Jensen-rör) som användes som skyddsror för BAT-systemet. Provtagning är dock fortfarande möjlig i grundvattenrören om smala provtagare används. På Östra Magasinet har grundvattenytan sänkts så djupt att den inom vissa delar av magasinet numera ligger under avfallet under torrperioden. Under dessa perioder kan således inga vattenprover tas.

6.12 Framtida markanvändning

Moräntäkterna har efterbehandlats genom att slänterna har flackats ut, botten har avjämnats, området har dränerats och kommer att planteras med skog (tall). Eftersom områdena var beskogade även före täktverksamheten kommer markanvändningen här inte att bli förändrad.

Sandmagasinen avses inte utnyttjas som s.k. produktiv mark. Boliden kommer att äga marken i framtiden. Det är väsentligt att täckningen inte utsätts för en yttre påverkan som reducerar dess täthet eller beständighet. Visserligen har björkpollen blandats in i den gräsfröblandning som sprutats på täckningen, men sannolikt kommer tall att så småningom spontant att vandra in. Oavsett trädslaget kommer emellertid inte träd att kunna växa sig särskilt starka i denna mark med kraftigt varierande vattenstånd som under en stor del av året kommer att stå högt i skyddsskiktet. Den enda rimliga markanvändningen är därför som allmänt rekreationsområde. Före Miljöbalkens tillkomst fanns inga lagliga medel att för framtiden reglera markanvändningen även om området markerades som skyddat område i tillämpliga planinstrument enligt plan- och bygglagen vilket var avsikten. Miljöbalken ger däremot ett bättre framtida skydd åt denna typ av områden.

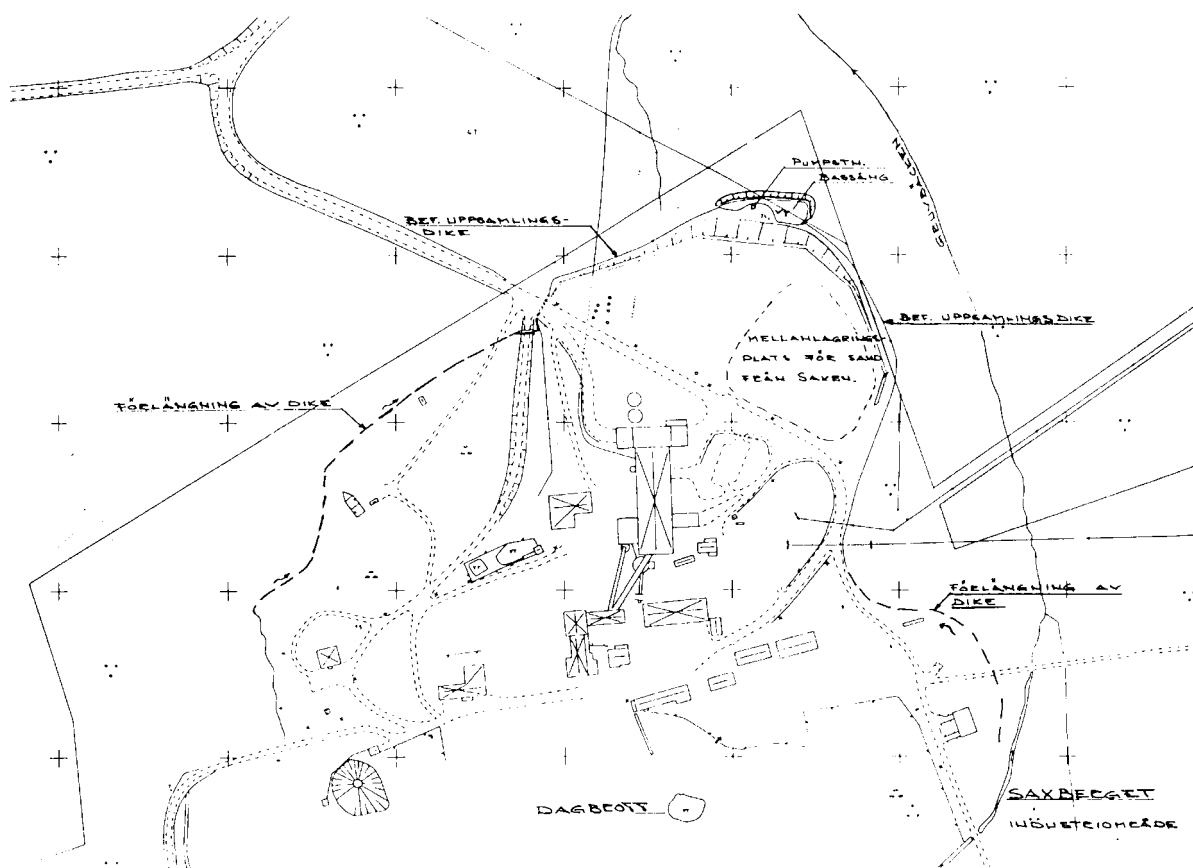
7 Efterbehandling av gruvområdet

7.1 Tillredningsberg, rasöppning och andra markytor

Alla byggnader, hårdgjorda ytor, upplagsytor och vägar var anlagda på fyllningar med tillredningsberg, figur 7.1. Dessa massor, ca 60.000 m³ innehöll sulfidmineral och bedömdes kunna ge upphov till surt gruvvatten. Man beslöt därför att deponera dem delvis på magasinområdet, delvis under en framtida grundvattennivå i dagöppningen. Massorna schaktades successivt bort under en flerårsperiod.

Rasöppningens moränslanter avjämnades till lutningar som är flackare än 1:3. En del av denna morän användes för täckning av gruvområdet.

Det område som använts för upplag av uppmuddrad anrikningssand avrymdes på den tunna moräntäckning som tidigare lagts på. Rester av anrikningssanden (ca 35.000 m³) skrapades bort från ytan och deponerades på sandmagasinen. Därefter planerades området till lutningar mindre än 1:3 och täcktes med morän.



Figur 7.1 Översiktsplan över gruvområdet före åtgärder.

7.2 Rivning av byggnader

Anrikningsverket revs redan 1992. Övriga byggnader inom området, ställverk, gruvstuga, gruvlave, spelhus, verkstäder och kontor, revs under den andra saneringsperioden för gruvområdet och i den takt som erfordrades för att kunna komma åt tillredningsberget. En del utrustning såldes och rivningsmaterialet deponerades i dagöppningen.

Två genomfartsvägar som skär igenom gruvområdet, se figur 7.1, har lämnats intakta för att kunna användas för skogsbruket. De hårdgjorda ytorna och de övriga vägarna revs upp och besåddes med gräs.

7.3 Ledningar och pumpstationer m.m.

En råvattenledning låg i mark, dels från sjön Saxen till Hyttdammen, dels från denna damm till anrikningsverket. Större delen av denna ledning är uppriven och bortforslad. Den ca 200 m långa sandledningen från gruvan, vilken låg ovan jord parallellt med transportvägen mellan anrikningsverket och sandmagasinen, demonterades liksom den äldre ledningen med tillhörande stöd. Akvedukter, bräddavlopp och trärännor från utskovet vid Östra Magasinet monterades också ned. Dock kvarstår vissa delar nedströms mot Hyttdammen.

Alla kraftledningar och ställverk som inte skall användas mer monterades ned och forslades bort. Rivningsmassorna deponerades i rasöppningen och i den mån grunderna finns kvar har de täckts med morän.

7.4 Säkring av gruvöppningar

Uppfordringsschaktet och de två ventilationsschakten förseglades med armerade betonglock mot fast berg. Industristängslet runt gruvan har lämnats kvar, men kan rivas när det bedöms att rasrisken är obetydlig och området tål fritt tillträde.

7.5 Framtida markanvändningsmöjligheter

Bortsett från rasöppning och gruvschakt föreligger inte några hinder för normal markanvändning. Det antas att marken under överskådlig framtid kommer att användas för skogsbruk och rekreation.

8 Uppföljning av åtgärdernas effekt

8.1 Uppläggning och genomförande

För de tre huvuddelarna i efterbehandlingsplanen har uppföljningsarbetet organiserats på olika sätt beroende av syftet med uppföljningarna och åtgärdernas karaktär:

| Metod | Förorenad mark i Saxdalen | Täckning av sandmagasinen | Rivning och sanering av gruvområdet |
|----------------------|---------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Okulära besiktningar | Ja | Ja | Ja |
| Ytvattenkontroll | Ja | Ja | Ja |
| Särskilda mätningar | Nej | Ja - Kontroll av täckningens täthet och funktion | Nej |

De okulära besiktningarna har i huvudsak genomförts i anslutning till att respektive entreprenad har avslutats och att garantitiden för arbetena gått ut. Dessutom planeras en besiktning efter att några år har gått. Ytvattenkontrollen som är det slutliga beviset för att saneringen lyckats kommer att pågå under en längre tid. Den kommer att trappas ned allt eftersom förhållandena stabiliseras, men en viss kontroll från hela området, t.ex. vid utloppet till sjön Saxen kommer säkert att erfordras för att kontrollera att åtgärderna också är beständiga.

De speciella mätningarna som syftar till att kontrollera täckningens täthet mot vatten och syre kommer att pågå tills man har klarlagt att oxidationen av avfallet nått de nivåer som motsvarar ambitionsnivån, d.v.s. den nivå som de inledande modellberäkningarna förutspådde. Man vill också få en uppfattning om dynamiken i det täckta magasinet. Detta arbete kan ta ytterligare något år att genomföra. Därefter får magasinen "klara sig själva" och kontrollen sker enbart genom övervakningsprogrammet för ytvattendragen, se närmare avsnitt 8.6.

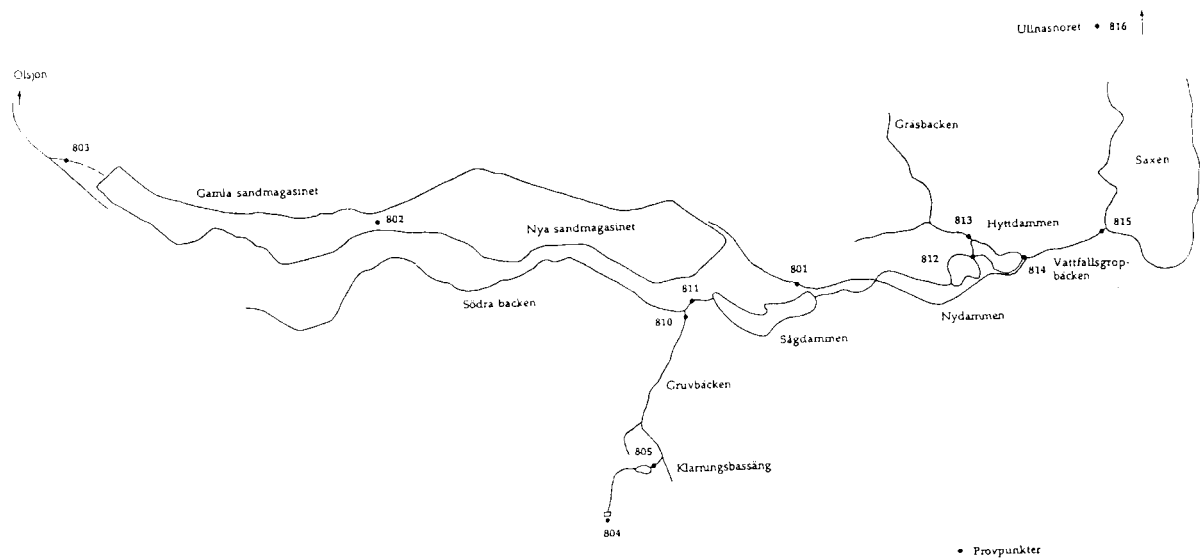
8.2 Förorenad mark i Saxdalen

I Saxdalen pågår sedan länge en övervakning av yt- och grundvattenkvaliteten. Ytvattnet provtas nu en gång per kvartal och tidigare varannan månad vid Hyttedammens utlopp samt i Vattfallsgropbäckens utlopp i Saxen. Grundvattnet provtas också en gång per kvartal i ett antal grundvattenrör i anslutning till bäckravinen, se figur 8.1. Provtagningspunkten i -bäcken och den i ett grundvattenrör norr om Grusbäcken utgör bakgrundsreferenser.

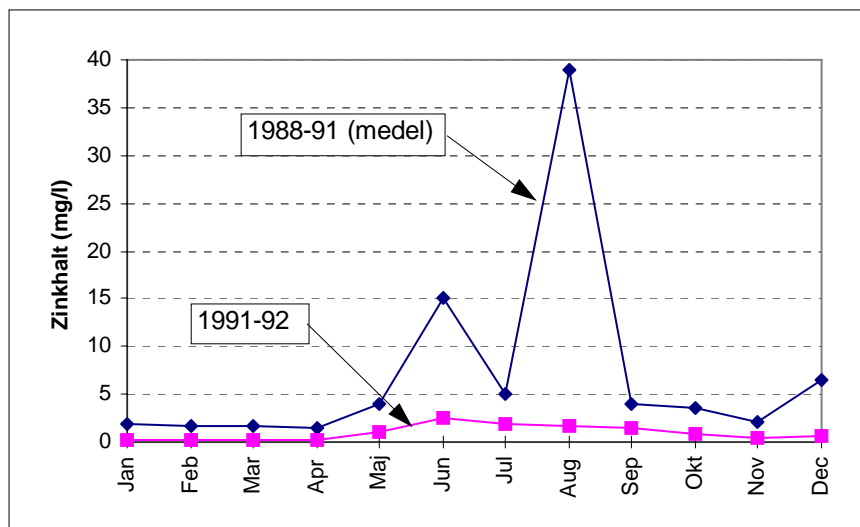
Redan det första året efter saneringen i Saxdalen märktes en påtaglig minskning av metallhalterna i Vattfallsgropbäckens utlopp i Saxen, figur 8.2. Därefter har metallhalterna minskat något men utvecklingen är långsammare. I genomsnitt har zinkbelastningen under åren 1992-96 på sjön Saxen minskat från ca 17 ton/år före åtgärderna till ca 14,5 ton/år varav drygt 10 ton beräknas härröra från området nedanför Hyttedammen.

Förutom minskningen av metallutsläppen till bäcken och sjön Saxen har åtgärderna även medfört tråkiga och oväntade effekter. Några av ägarna till villorna inom Momsen-området har anmält sättningsskador i form av sprickbildning och lutning av bottenbjälklagen. Sättningarna upptäcktes i oktober och november 1996 då skadorna ännu var måttliga. Dessa

fastigheter ligger närmast bäckravinen och i de delar där relativt stora mängder massor fick schaktas bort. Utredningar om orsaken till sättningarna och vad som bör göras för att motverka skadorna har inletts.



Figur 8.1 Provtagningsstationernas lägen i området för det reguljära kontrollprogrammet.



Figur 8.2 Zinkhalten i Vattfallsgröpbäcken före och efter saneringsåtgärderna (1991).

8.3 Täckningens funktion på sandmagasinen

8.3.1 Bakgrund

Syftet med täckningen är att motverka oxidation av de sulfidhaltiga mineralen i anrikningssanden och bromsa en ökad utlakning av avfallet. Att täckningen blev utförd på det noggranna sätt som angavs i anbudshandlingarna eller i andra överenskommelser kontrollerades genom en särskild s.k. utförandekontroll. Täckningsmaterialens barriäregenskaper tillåter en viss avvikelse från det beslutade utförandet, men med hänsyn till täckningens funktion som

syrebarriär får inte avvikelserna i materialet vara särskilt stora. Därför lades relativt stora ansträngningar ned på att kontrollera tätningsmoränens sammansättning och vatteninnehåll.

Eftersom erfarenheter av fullskaliga täckningsarbeten är knappa, ansågs det väsentligt att kunna fastställa vilken effekt som täckningen får på syrgastransporten. Saxbergsprojektet gav därför Terratema AB i uppdrag att under två år genomföra en kontroll av täcksiktets funktion på de båda magasinen. Funktionskontrollen genomfördes under perioden 1994-1995. På grund av att täckningsarbetena pågick till och med hösten 1995 har vissa insatser utförts även under 1996. Uppdraget redovisades i en slutrapport 1996-10-26.

8.3.2 Förutsättningar

Det äldre, Västra Magasinet, ligger huvudsakligen på en moräntäckt botten av en relativt smal sprickdal, medan det yngre, Östra Magasinet, ligger på en dränerande botten av isälvsmaterial där dalgången breder ut sig till en flack sänka. Denna geologiska skillnad får betydelse för täckningens barriärfunktion eftersom den påverkar dess vattenbalans.

På det Västra Magasinet blir gradienten genom tätskiktet måttlig eftersom grundvattennivån under detta skikt ligger relativt högt. På det Östra Magasinet ligger emellertid grundvattennivån normalt långt under tätskiktet, 6-10 m under tätskiktet. Detta innebär en generell stor hydraulisk gradient genom detta skikt. Storleken beror förutom på grundvattennivån även på de kapillära egenskaperna hos anrikningssanden och tätskiktet. Konsekvensen kan bli en kraftigare och mer långvarig uttorkning av tätskiktet på det Östra Magasinet, vilket medför en högre syretransport genom täckningen relativt den på det Västra Magasinet.

8.3.3 Vattenbalansen

Vattenmättnadsgraden i täckningen, framförallt i tätskiktet, kommer att bestämma dess förmåga att motverka syrgastransporten till avfallet. Om tätskiktet fungerar som en vattenspärri kommer en grundvattennivå att byggas upp i skyddsskiktets nedre del, åtminstone periodvis. Vattenståndsmätningar i observationsrör i skyddsskiktet kommer att representera ytor motsvarande flera tiotals kvadratmeter i storlek. Sådana mätningar får därför relativt stor betydelse jämfört med permeabilitetsmätningar in situ eller på små prov. Med hänsyn till att endast ett 50-tal grundvattenståndsrör placerats genom skyddsskiktet kommer de trots allt endast att fungera som stickprov.

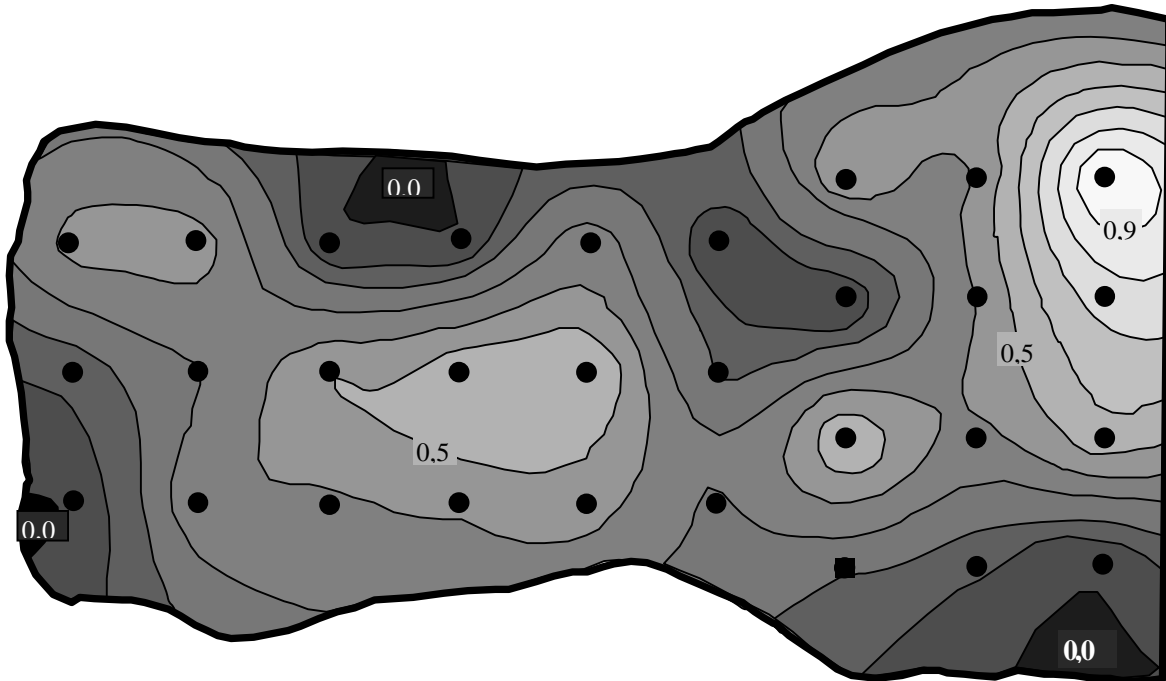
Tätskiktsmaterialets (lerig morän) generella permeabilitet har undersökts vid utförandekontrollen, dels genom permeabilitetsförsök i laboratorium som utförts på inpackade små prov av moränen, dels genom infiltrometerförsök på färdigpackade tätskikt i fält. Dessutom utfördes under hösten-93 intensiva mätningar av grundvattenståndet inom 3 provytor på det Västra Magasinet i syfte att klarlägga den storskaliga, vertikala permeabiliteten i tätskiktet.

Slutligen har uppsamlingsanordningar installerats under tätskiktet i avfallet för att samla in och mäta perkolationsvattnet genom detta skikt. Vissa problem har uppstått vid tidigare sådana försök i full skala. Kapillära krafter påverkar t.ex. strömningen av vatten till uppsamlingslådorna. Det bedömdes ändå som intressant att göra ett försök att på detta sätt mäta denna genomströmning.

Intensivmätningarna på de 3 provytorna utnyttjade ett 10-tal grundvattenrör i skyddsskiktet där vattennivån registrerades under avsänkingsförlöppen efter ett antal kraftiga "regntill-

fällen" vilka i de flesta fall genererades med utlagda perforerade vattenslangar. De visade bl.a. att avsänkingsförloppet i skyddsskiktet går fort och kan vara över på några dygn. Därför är inte en regelmässig registrering av vattenståndet i varje rör meningsfull med längre avläsningstider än en gång per dygn vilket blir orimligt omfattande.

Av flera skäl blev nedgrävningen av grundvattenrör försenad. Endast omkring hälften av Västra Magasinets yta är idag täckt med grundvattenrör i skyddsskiktet. Ett fåtal rör blev satta på Ö. Magasinet. Avläsning av grundvattenståndet i skyddsskiktet har genomförts i de installerade rören vid ett tillfälle, figur 8.3.



Figur 8.3 Vattenståndsvariationer i skyddsskiktet på den västligaste delen av Västra Magasinet, uttryckta i meter ovan tätskiktet.

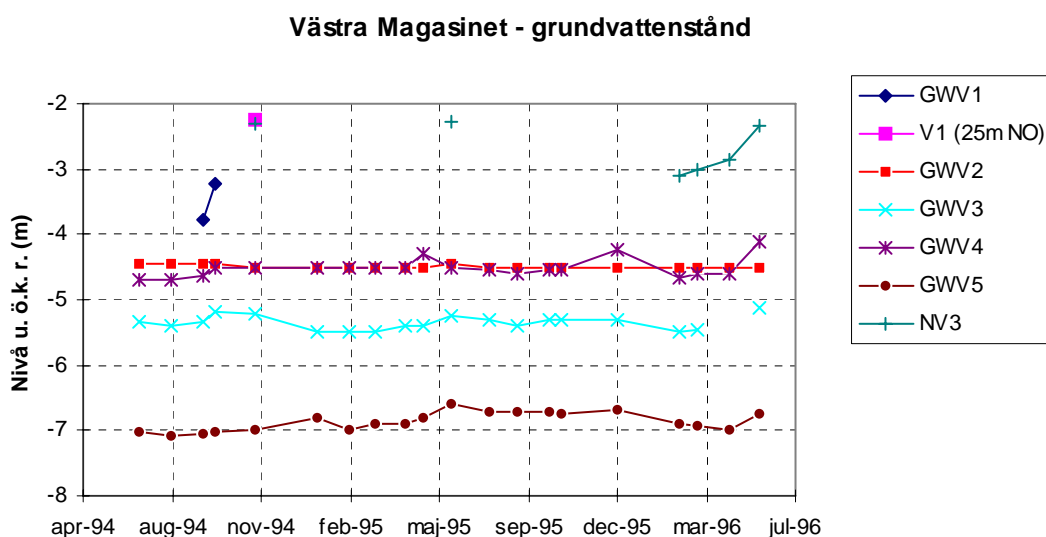
I vardera upplaget installerades 3 uppsamlingsanordningar. Uppmätning av insamlat vatten har, på grund den långa färdigställandetiden för upplaget, endast skett 1-2 gånger, den inledande "noll-tömningen" direkt efter färdigställandet oräknad. Kärlets öppningsarea är 0,444 m². Värdet på inläckande vattenmängd har även erhållits vid den tömning på vatten som föregick mätningar i syrelsymetrarna. Dessa är dock något osäkra eftersom de legat utan täckning en obestämd tid. Syrelsymetrarnas area är 1,2 m².

Grundvattenrör med intagsslitsar som sitter under grundvattennivån i avfallet har också installerats. Nivån har mätts relativt regelbundet även i dessa rör.

Som framgår av exemplet i figur 8.3, varierar grundvattenståndet i Västra Magasinet skyddsskikt påtagligt men med tanke på erfarenheterna från de tre försöksytorna 1993 är det ändå förvånansvärt jämnt. Det visar inte på att någon större otäthet bör misstänkas inom detta delområde.

Från tömningarna av uppsamlingsanordningarna och syrelysimetrar framgår att den resulterande perkolationen i denna "halvskala" (storleksordningen 1 m²) är ojämn, vilket överensstämmer med den allmänna erfarenheten från liknande försök på annat håll och även med resultaten av den enskilda uppmätningen av vattenståndet på det Västra Magasinet. Inläckaget har varierat med säsongen, men i stort sett samtliga mätresultat tyder på att täthetskravet uppfylls. När den inledande perioden borträknats erhålls för de egentliga uppsamlingsanordningarna beräknade värden på den hydrauliska konduktiviteten mellan 1*10⁻⁹ och 5*10⁻⁹ m/s. De få tillförlitliga värden som erhållits från tömning av syrelysimetrar ligger kring 1-2*10⁻⁹ m/s, vilket bekräftar resultaten från uppsamlingslysimetrarna.

Det är uppenbart att täckningsåtgärderna inte påverkat vattenomsättningen i anrikningssanden särskilt mycket inom det Västra Magasinet, figur 8.4. Grundvattennivån är fortfarande hög i avfallet och påverkas förhållandevis litet av säsongens nederbördsfluktuationer. Detta bedöms vara positivt från oxidationssynpunkt.

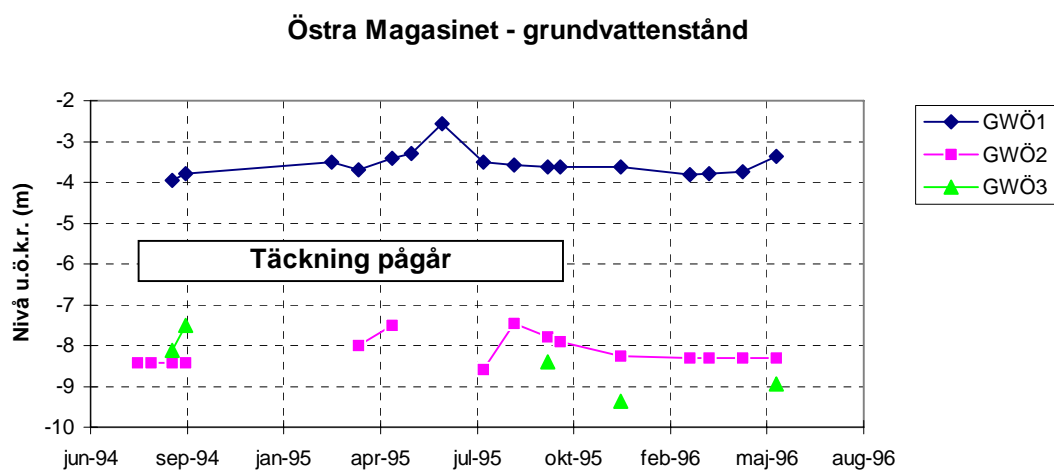


Figur 8.4 Grundvattenstånd i Västra Magasinet efter täckning.

Den beräknade avsänkning av grundvattennivån med 2-4 m i det Västra Magasinet (Golder, 1988) har således uteblivit. Det finns flera förklaringar till detta:

- Det enda grundvattenrör som fanns 1988 i Västra Magasinet låg högt och var inte representativt för magasinet
- Igenfyllningen av den gamla dränerande ravinen samt anläggandet av ett vattenlås dämde upp och höjde grundvattennivån i detta magasin
- Västra Magasinet (och den västligaste delen av Östra Magasinet) är inte så väl dränerad av det kvarvarande underlagade isälvs materialet som Golder antagit. Möjliga orsaker till detta är en bergklack tvärs över dalen (gamla "Vattfallet") och att anrikningssand har fyllt igen det grova isälvs materialet i underlaget.

Inom det Östra Magasinet skapar den underliggande dränerande isälvsavlagringen en betydligt lägre grundvattennivå än i det Västra Magasinet. Redan under senare hälften av 1994 uppkom en grundvattennivå som låg 7-8 meter under anrikningssandens överyta, figur 8.5. Avsänkningen är ännu inte riktigt så stor som prognosticerats av Golder (1988). Detta beror nog delvis på att anrikningssandens mäktighet överskattats och att inmatningen av vatten från det Västra Magasinet är underskattat i beräkningen. Av figur 8.5 att döma verkar det som avsänkningen redan har stagnerat. Under vårperioderna har en i stort sett mättad våtfront rört sig ner mot grundvattennivån som tillfälligt höjts. Våren -95 blev det möjligt att ta prov på detta sjunkvatten i BAT-spetsarna. Ytterligare mätningar bör utföras för att visa vilken slutlig effekt täckningen haft på vattenbalansen i det Östra Magasinet. Under sommaren -96 sjönk t.ex. grundvattennivån ytterligare och låg då i underkant på alla de grundvattenrör som installerats.



Figur 8.5 Grundvattenstånd i Östra Magasinet under och efter täckning.

8.3.4 Syretransporten

Bakgrund

Oxidationshastigheten av sulfiderna kommer att bli den faktor som i första hand bestämmer utlakningen av metaller från den anrikningssand som ännu inte vittrat. Den kommer att bli proportionell mot syrgastransporten genom täckningen. Den viktigaste mekanismen för denna transport är diffusion. Den syrgashalt som inställer sig i avfallet efter täckningen uttrycker balansen mellan syretransport och konsumption av syre till följd av vittringen. Därför blir denna syrgashalt indirekt en god måttstock för syrgasbarriärens effektivitet. Mätningar av syrgashalten på olika nivåer är av större intresse i anrikningssand än de är i t.ex. gruvvarp som är betydligt grövre än anrikningssand och där det finns goda förutsättningar för utjämning av syrgashalten genom konvektiv transport.

Temperaturen är en annan indirekt parameter som avslöjar intensiteten hos de exoterma vittningsreaktionerna och som utnyttjats vid fältundersökningar vid fullskaleuppföljningar bl.a. i Australien och i Aitik i Gällivare kommun. Denna mäts antingen med stationära termoelektroder, som grävts ned på olika djup i anrikningssanden, eller med en termologg som försiktigt

förs ned till olika mätnivåer i ett förinstallerat rör i sanden. I Saxberget installerades termoelektroder på de rör och på de djup som utnyttjades för syrgasmätningarna.

Den materialegenskap hos täckningen som uttrycker motståndet mot syretransport genom diffusion kallas för syrediffusivitet. Denna kan bestämmas med en syrgasdiffusionscell, som installeras under tätskiktet och i direkt kontakt med dess underkant för bestämning av hela täckningens integrerade diffusivitet, eller på ett bestämt djup i skyddsstäckningen för bestämning av diffusiviteten i motsvarande del av skyddsskiktet. Mätningarna utförs med hjälp av att atmosfären i cellen byts ut mot "ren" kvävgas för vilken ökningen av syrgasinnehållet bestäms efter några månader. Ur denna ökning beräknades diffusiviteten.

Följande program har genomförts för kontroll av syretransport respektive temperatur:

Grupper med syrgasrör installerades vars respektive mätöppning förlades på upp till 4 nivåer ovan grundvattenytan i avfallet. På båda sandmagasinen finns två korsande mätprofiler med 3, respektive 5 mätpunkter i vardera. Från varje nivå leds atmosfären i magasinet till rörets överkant via en slang vilken dragits genom en tät plugg i botten av röret. Extra tätning har efterhand utförts i de övre delarna av rören. Syrgashalten har bestämts en gång per månad med en syrgasdetektor av typ Servomex 740A.

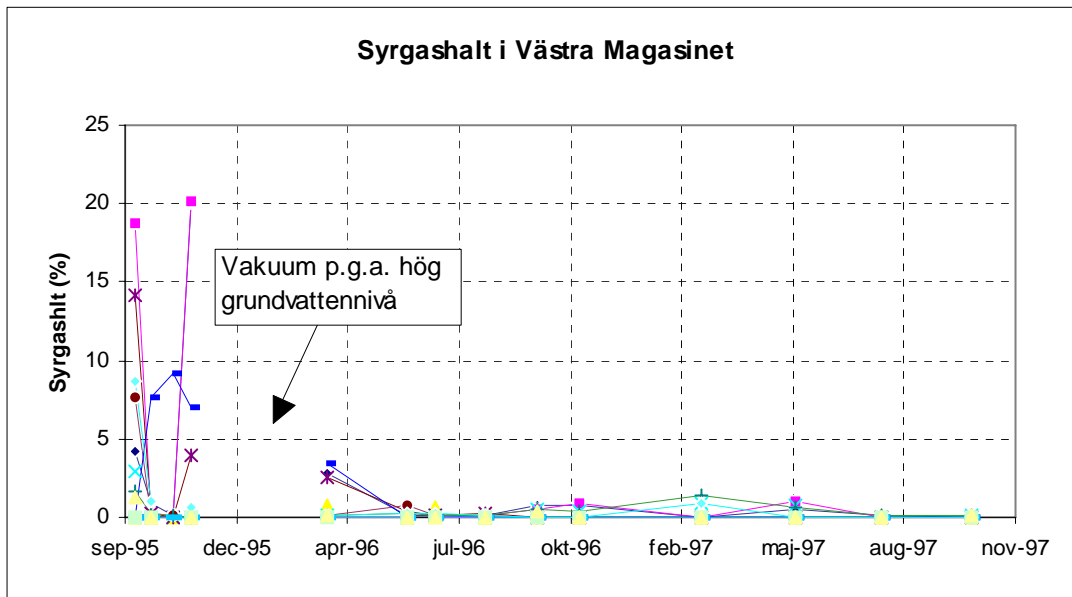
Fasta termoelektroder installerades på syrgasrörens yttersida vid dess nedre mynning. Kablarna drogs inuti röret och genom samma tätningar som syrgasslangarna. Termoelektroderna har kalibrerats för lämpligt temperaturområde och temperaturen avläses i fält med ett lämpligt termo-instrument. Mätningar utfördes en gång per månad och samtidigt som mätningarna av syrgashalten.

På Västra Magasinet installerades en och på Östra Magasinet fem syrgasceller för diffusivitetmätning. Av dessa ligger fyra direkt under tätskiktet och två just ovanför detta. Mätningar har utförts under en period för två av cellerna under tätskiktet och under två perioder för de två cellerna ovan tätskiktet.

Resultat

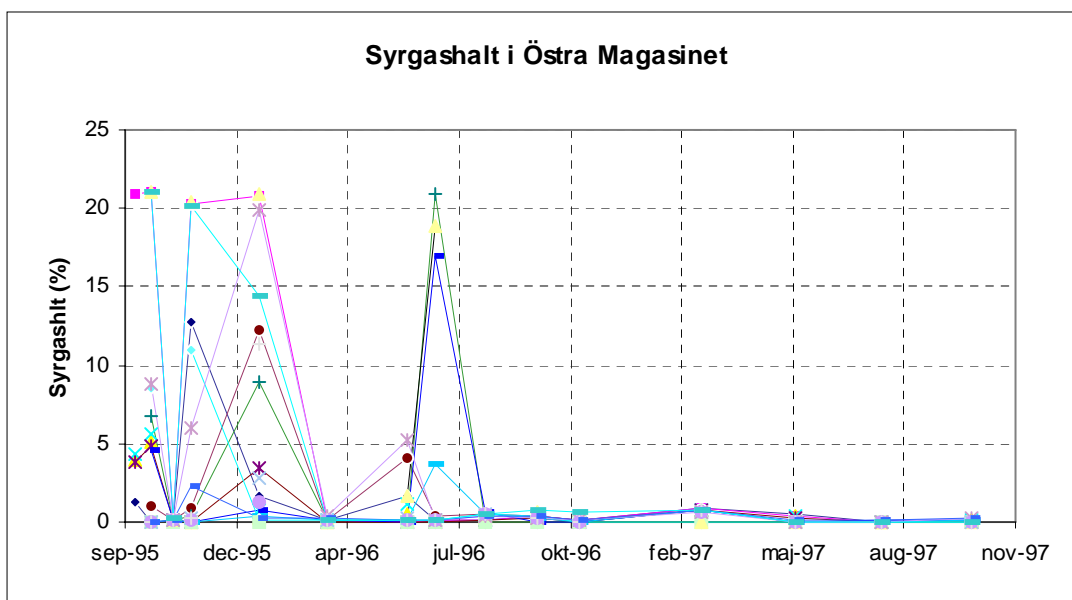
Stora problem uppkom med orimliga resultat från syrgasmätningarna. För ett flertal syrgasslangar har mätvärdena varierat snabbt och inom vida gränser. Mätutrustning och mätförfarande har kontrollerats genom särskilda insatser varvid sådana felaktigheter kunnat uteslutas. Trots att kompletteringstätningar utförts i flera omgångar konstaterades i april -96 genom trycktester att vissa av syrgasrören läckte. Därför genomfördes en genomgripande tätning av samtliga rör i maj-96. Efter denna tätning har genomgående lägre syrgashalter uppmätts och antalet höga värden som kan antyda otätheter har reducerats.

Ett fåtal mätserier existerar som endast drabbats av ett fåtal tillfällen med okontrollerat inläckage av syre, figur 8.6. På Västra Magasinet erhöles en allmän nedgång av syrgashalten under hösten 1994 - en nedgång som upprepades hösten 1995 från en betydligt lägre nivå under våren och sommaren-95. Täckningens effekt märks på syrgashalten i detta magasin under perioden hösten-93 till hösten-94 vilken sjunker från 17-21 % till nära 0 %. Det är i stort sett under denna tid som täckningen genomfördes. Inom det Östra Magasinet erhöles för vissa mätpunkter låga syrgashalter redan innan täckningen nått mätpunkten, figur 8.7. På 0,5 m djup erhöles en viss nedgång under sommaren/hösten-94 inom samtliga delar av detta magasin, alltså även där täckning ännu inte skett.



Figur 8.6 Syrgashaltens utveckling på 0,5 m djup under tätskiktet i Västra Magasinet. Täckningen avslutades på detta upplag under hösten-94.

Nedgångar i syrgashalterna på större djup än 0,5 m på Östra Magasinet har före täckning huvudsakligen skett under hösten och vintern (93/94). Tillfälliga och enstaka uppgångar har skett under torrperioden 1994 och 1995 vilket kan bero på inläckage till följd av minskande tryck i magasinet som en följd av grundvattensänkning. Efter tätningsinsatsen i maj-96 erhöles väsentligt lägre halter, i nivån 0,1-0,5 %.



Figur 8.7 Syrgashaltens utveckling på 0,5 m djup under tätskiktet i Östra Magasinet efter att täckningen färdigställts.

Inom Västra Magasinet erhålls ofta en grundvattennivå som är så hög att den når över intaget för luft till syrgasmätaren. Då erhålls undertryck eller "vacuum" och mätresultatet har satts till 0 %. Generellt har annars gällt att syrgashalterna sjunkit mot djupet, men detta har egentligen

endast kunnat studeras på Östra Magasinet där grundvattennivån generellt legat under den lägsta rörnivån för mätning av syrgashalt.

Syrgashalterna på Västra Magasinet är ofta lägre än de på Östra Magasinet. Öster om mätstation Ö2, vilket ungefär motsvarar gränsen mellan utströmnings- och inströmningsområde under detta magasin, finns en tendens till en något högre syrgashalt i magasinet, åtminstone när vattenståndet i tätskiktet på båda magasinen är lågt.

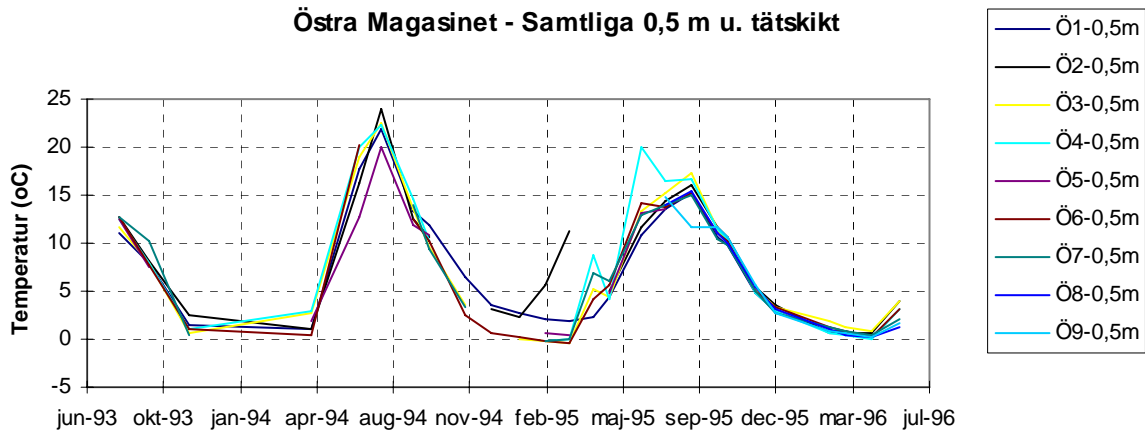
Den effektiva diffusivitetskonstanten bestämdes under hösten 1995 till $2-4 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, d.v.s. av samma låga storleksordning som den som tidigare erhållits i Bersbo. Vid motsvarande mätning under våren och sommaren 1996 noterades betydligt högre syrgashalter än tidigare och den beräknade diffusivitetskonstanten blev för dessa mätningar 5-100 gånger högre än vid det tidigare tillfället, vilket är helt rimligt med tanke på den lägre vattenmättnadsgrad som gäller i täckningen under torrperioden.

Vid syrelysimeterförsök i de lysimetrar som installerats ovan tätskiktet ökade syrgashalten mycket snabbt. Ökningen var så snabb att användbara mätvärden erhöles samma dag och dagen efter. Resultaten bekräftar att både skyddsskiktet och tätskiktet under torrperioden i augusti är relativt dåliga syrebarriärer. Skyddsskiktets bidrag till syrebarriären är då relativt obetydlig och syretransporten genom skyddsskiktet är då av storleksordningen 10 gånger större än genom t.ex. tätskiktet. Under vinterperioden är syretransporten genom tätskiktet ännu mycket lägre. I förhållande till den genom skyddsskiktet under augusti är den endast 0,1-1%. På grund av förekomsten av fritt vatten i skyddsskiktet kan tyvärr inte syrediffusivitetmätningar utföras ovan tätskiktet annat än under torrperioden.

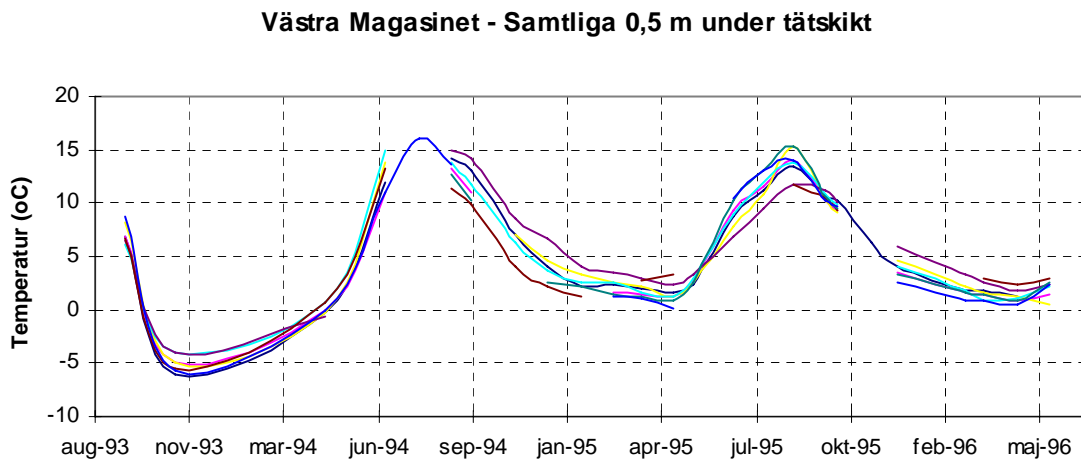
Temperatur

Figur 8.8 och 8.9 visar temperaturförändringen under två och ett halvt år 0,5 m under anrikningssandens överyta för respektive magasin. Stora delar av Västra Magasinet var täckt sommaren 1994, medan Östra Magasinet blev täckt under somrarna 1994 och 1995. Därför finns en relativt stor spridning i temperatur över tiden. Det är dock tydligt att täckningen verkar termiskt isolerande på båda magasinen redan vintern 94/95. Lägsta temperaturen på denna nivå har ökat från ca $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ till ca $+2 \text{ }^\circ\text{C}$, se figur 8.8. Kurvskarorna är betydligt bättre samlade när hela täckningsinsatsen avslutats från och med hösten -95, särskilt på Östra Magasinet. Det skall dock poängteras att temperaturen nästan når ned till nollpunkten på denna nivå under april-96. Möjligen har isoleringen i skyddsroren var för dålig och givit upphov till att man uppmätt för stora temperaturskillnader.

För mätpunkt Ö2, Ö3 och Ö7, där mätning skett på 4 nivåer ned till 2,9 - 3,5 m djup, erhöles en bild av värmenedträngningen under säsongen, figur 8.10. Tiden för nedträngning till dessa djup, där säsongsvariationen är mycket måttlig - endast ca $3 \text{ }^\circ\text{C}$ - är ca 3 månader. Säsongsvariationen på 0,5 m djup under sandytan var $20-25 \text{ }^\circ\text{C}$ före täckningen och ca $10-15 \text{ }^\circ\text{C}$ efter täckningen.

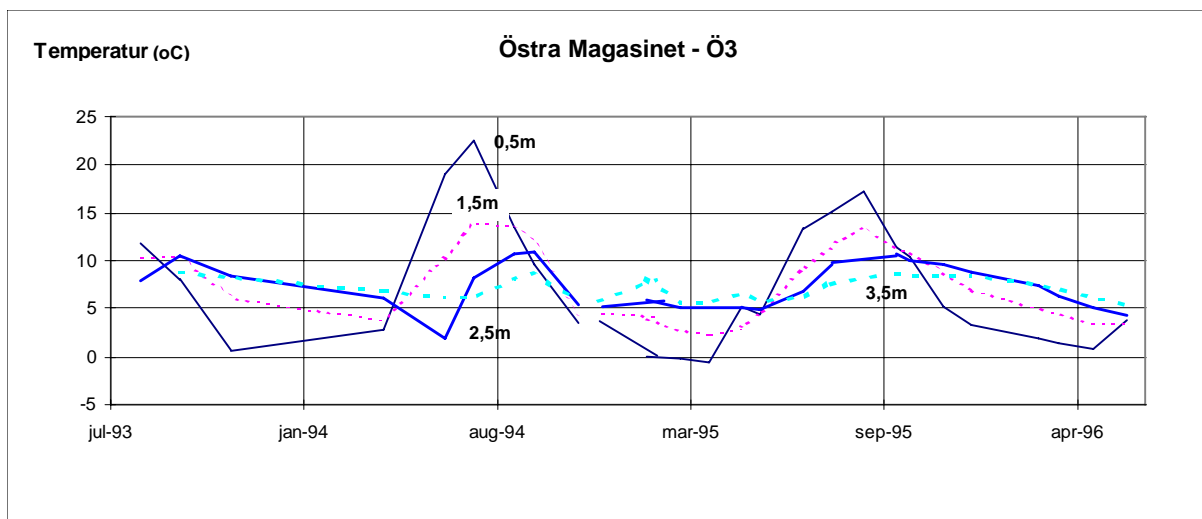


Figur 8.8 Uppmätt temperatur 0,5 m under tätskiktets nivå för samtliga mätpunkter på Östra Magasinet.



Figur 8.9 Uppmätt temperatur 0,5 m under tätskiktets nivå för samtliga mätpunkter på Västra Magasinet.

Effekter av exoterma reaktioner i anrikningssanden har spårats som mindre oregelbundenheter i de djupare mätserier under vinterperioden i fyra mätpunkter, men endast före täckningen. Under övrig tid var uppenbarligen dessa temperaturförändringar för små i relation till den som betingas av solinstrålningen för att kunna skönjas i tidsserierna. Märkbart är även en snabbare temperatursänkning i Västra Magasinet under hösten-93 relativt det Östra Magasinet. Frysgrader noterades för den efterkommande vintern under 1,5 m nivån.



Figur 8.10 Temperaturen på olika djup i mätpunkt Ö3 på Östra Magasinet.

8.4 Det utgående vattnets kvalitet

8.4.1 Grundvatten

På Västra Magasinet har 4 grundvattenrör installerats i avfallet. Det har varit nödvändigt att förlänga några av dem i samband med täckningen. Samtliga grundvattenrör har kontakt med grundvattnet i avfallet. Det har inte gått att föra ned dem i moränen under avfallet. På det Östra Magasinet installerades 2 grundvattenrör som vid installationen hade god kontakt med grundvattnet i avfallet. Sedan dess har grundvattnet sjunkit kraftigt och under torrperioderna förloras kontakten med grundvattnet i ett av dessa rör.

Dessutom installerades i Östra Magasinet 3 grupper med vardera 3 grundvattenrör, som är försedda med s.k. BAT provtagarespets i änden. De 3 grundvattenrören inom samma grupp når ned till olika djup i avfallet. De provtas med en särskild utrustning som anskaffats till projektet. Provtagningsförfarandet innebär att vattenproverna sugas in i luftevakuerade glasrör om 200 ml via en dubbelsidig kanyl som förs ned tillsammans med glasröret och som penetrerar ett membran som avskiljer det filter som sitter på grundvattenrörets bottenände. Avsikten har varit att provta sjunkvattnet som är på väg ned i den omättade zonen till grundvattennivån i avfallet.

Grundvattnet i BAT-rören har provtagits vid sammanlagt 4 tillfällen och endast då magasinet ännu inte var täckt. Dock har samma nivå sällan provtagits mer än en gång. Om röret på en viss punkt och en viss nivå är provtagen beror till största delen på om vatten kunnat extraheras ur detta BAT-rör vid tillfället eller inte. Endast vid något enstaka tillfälle med hög vattenmättnadsgrad har det gått att provta över grundvattenytan, vilken då legat någonstans mellan den djupaste och näst djupaste mätnivån alternativt strax över den näst djupaste mätnivån.

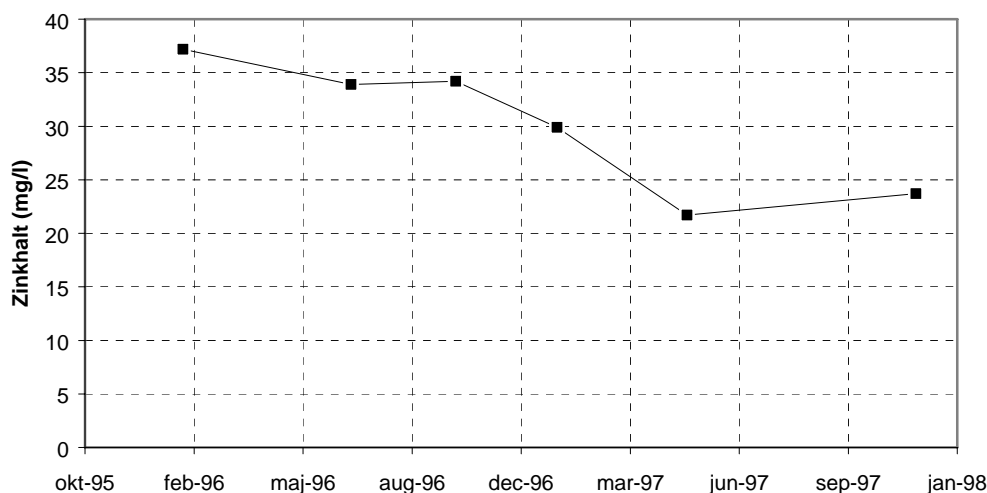
Vid provtagningen i augusti 1996 upptäcktes att samtliga BAT-rör deformerats så kraftigt att provtagaren inte längre går ned i rören. Uppenbarligen har sättningar inträffat i skyddsskiktet. Nästan alla rör har böjts i utfyllnadsriktningen för skyddsskiktet, d.v.s. mot öster. Några få rör

har böjts mot norr. Det är möjligt att provtagning fortfarande kan ske med hjälp av en BAT-provtagare med mindre provbehållare än den som anskaffats till projektet.

Analysresultaten för vatten provtagna i BAT-spetsarna visar att förhållandena växlat kraftigt innan avfallet blivit täckt. I vissa av proverna är metall- och sulfathalterna relativt låga, men är betydligt högre vid ett senare tillfälle. Det finns inga indikationer på att halterna generellt skulle vara högre i de ytliga delarna eller i de djupare delarna av det Östra Magasinet.

Grundvattenproverna som togs i augusti 1996, tabell 8.2, visar att grundvattnet är relativt rent i anrikningssandens undre delar i Västra Magasinet. I punkten V1, som ligger i anrikningssanden i anslutning till vattenlåset vid övergången till Östra Magasinet, noterades emellertid relativt höga salt- och metallhalter vid denna tidpunkt. Sulfathalten var t.ex. ca 5000 mg/l, järnhalten 1400 mg/l, zinkhalten 510 mg/l och blyhalten 20 mg/l. Innehållet av kalcium och magnesium 720 mg/l visar att buffrande substans finns i avfallet. Innehållet av kadmium (<0,01 mg/l) och koppar (0,1 mg/l) var dock relativt lågt. Att detta vatten måste representera ett stillastående grundvatten och att huvuddelen av grundvattenflödet inte kontamineras lika mycket visas av de låga metallhalterna i grundvattnet som avbördas från det Västra Magasinet via vattenlåset, se exemplet i figur 8.11.

Zinkhalt i utgående grundvatten från Västra Magasinet



Figur 8.11 Zinkhalten i det grundvatten som avbördas från det Västra Magasinet via vattenlåset.

Den enda provtagningspunkt för grundvattnet på Östra Magasinet där prov kunde tas i augusti-96 var punkten GWÖ1, tabell 8.2. Innehållet av järn och sulfat visar att vattnet här i viss mån är påverkad av oxidation/utlakning, men varken halten av koppar, bly, kadmium eller zink är särskilt hög. Eftersom grundvattennivån vid detta tillfälle sjunkit under grundvattenrörens botten, är det uppenbart att större delen av Östra Magasinet blir helt utdränerad under sommarperioden.

Tabell 8.2. Sammanställning av undersökning i fält av grundvatten 1996-08-09.

| Rör- beteckning | pH | El.kond. mS/cm | Sulfat (mg/l) | Koppar (mg/l) | Zink (mg/l) | Anmärkning |
|----------------------------|-----------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|
| GWÖ1 | 7.01 | 4.3 | 2940 | 0,4 | 0,74 | |
| GWÖ2 | | | | | | nästan torr |
| GWÖ3 | | | | | | torr |
| GWV1 | 6.08 | 5.9 | 5100 | 0,1 | 510 | mycket susp., torr |
| GWV2 | | | | | | |
| GWV3 | 6.98 | 0.442 | 111 | 0,02 | 1,2 | |
| GWV4 | 6.88 | 0.79 | 135 | 0,13 | 1,5 | |

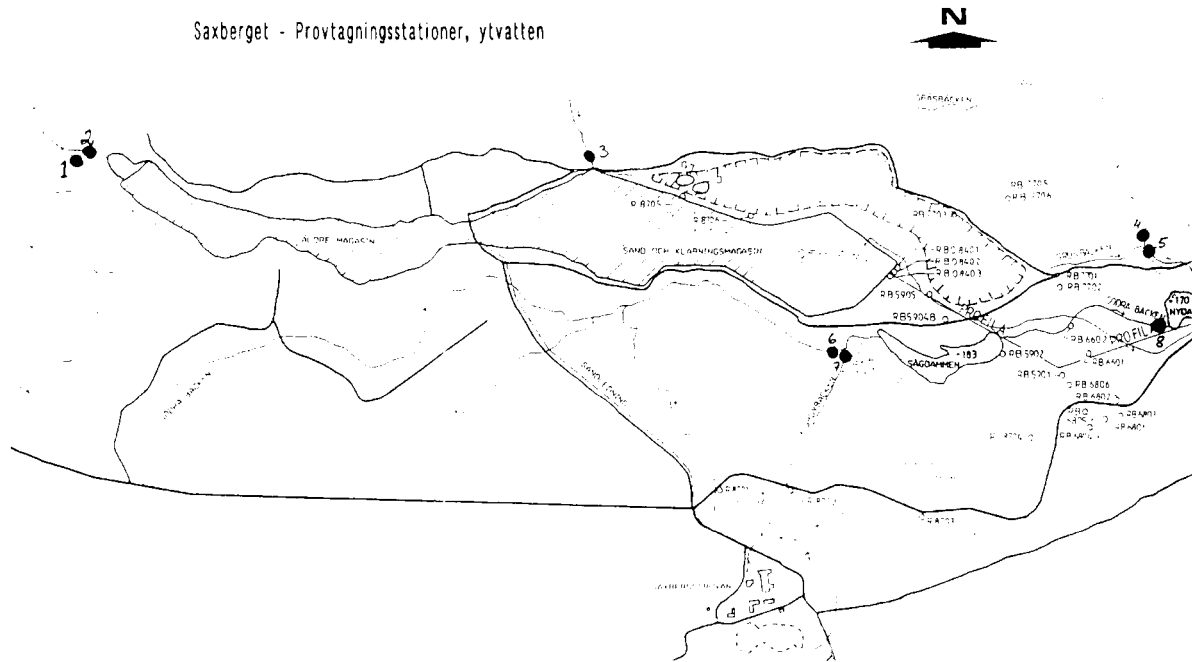
8.4.2 Ytvatten - funktionskontrollprogrammet

Provtagning har i stort sett utförts en gång per kvartal och med början i augusti 1993. Dock utfördes en något tätare provtagning vid programmets start i avsikt att kontrollera om det är tillräckligt med kvartalsvis provtagning. I samband med provtagningen har pH, temperatur och elektrisk konduktivitet uppmätts. De provtagna vattnen har skickats till laboratorier (SGAB, VVL) för analys av sulfat och metaller (ICP-MS).

Följande provtagningsstationer har utnyttjats, se figur 8.12.

1. Bäckén mot Olsjön - uppströms anslutningen från Västra Magasinet = bakgrundsdata
2. Bäckén mot Olsjön - nedströms anslutningen från västra magasinet = avrinning västra delen av västra magasinet
3. Grusbäckén - uppströms magasinet och grustäkten = bakgrundsdata
4. Gräsbäckén - uppströms anslutningen med Grusbäckén = bakgrundsdata
5. Gräsbäckén - nedströms anslutningen med Grusbäckén, str = del av avrinningen från östra och västra magasinerna (delvis som grundvatten)
6. Södra Bäckén - uppströms anslutningen med Gruvbäckén = bakgrundsdata.
7. Gruvbäckén - uppströms anslutningen med Södra Bäckén = avrinningen från Gruvområdet (bakgrundsdata).
8. Södra Bäckén - uppströms Nydammen ("Övre Dammen") = avrinningen från delar av östra och västra magasinerna.

Det kan framhållas att flera av provtagningsstationerna representerar mer eller mindre naturliga bakgrundshalter. Vilka stationer som påverkas av gruvavfallet är uppenbart från analysresultaten. Det skall dock påpekas att stationerna 6 och 7 huvudsakligen representerar det vatten som härrör från gruvområdet och ej de aktuella sandmagasinerna.



Figur 8.12 Läget för provtagningsstationer som utnyttjats i funktionskontrollprogrammet.

Vattenkvaliteten vid två (Sb1 och Sb3) av de tre mätstationer som skall representera bakgrundsförhållanden uppvisar genomgående låga halter. Halterna vid den tredje stationen (Sb4) uppvisar halter som ger anledning misstänka en mindre påverkan från gruvavfall. I övrigt visar analysdata på en klar påverkan från gruvområdet (Sb6 och Sb7) och sandmagasinen (Sb2 och Sb5). Mätpunkten längst nedströms i systemet (Sb8) integrerar alla de östliga utsläppen och är naturligtvis klart förhöjd, även om utspädning och fastläggning medfört att halterna där är generellt lägre än de som representerar påverkade stationer uppströms.

Särskilt höga halter har uppmätts i under somrarnas torrperiod för sulfat och alkaliska komponenter. Vattenföringen var emellertid då mycket låg och vatten har helt saknats vid några mätpunkter. Av intresse är att notera att metallhalterna under dessa tillfällen sjunkit påtagligt, trots den låga vattenföringen. Detta kan bero på den ökade tillgången på alkaliska komponenter och järn i vattnet med kraftigare utfällning av metallsalter som följd

8.4.3 Ytvatten - det reguljära kontrollprogrammet

Det reguljära kontrollprogrammet genomförs enligt de utsläppsvillkor som Boliden måste följa enligt koncessionsnämndens beslut 1985-03-08. Dock har det varit nödvändig att ändra provtagningspunkternas lägen efter hand som utsläppspunkterna förändrats under saneringsarbetena. I tabell 8.3 - 8.5 redovisas metallhalterna i tre av de viktigaste utsläppspunkterna. Läget för dessa punkter redovisa i figur 8.12.

Som framgår av tabell 8.5 har den ändrade behandlingen av gruvvattnet medfört en minskning av framförallt zinkhalten. I övrigt har inte metallhalterna förändrats på något påtagligt sätt under perioden 1991-96. Sedan mars -97 sker inget utsläpp av vatten från gruvan. Man kan även se en liten ökning av zinktransporten från sandmagasinen under 1994 då täcknings-

arbetena pågick som intensivast, tabell 8.3. Detta utsläpp kompensades av att reningen av gruvvattnet var särskilt effektivt detta år. Det bedöms ännu vara för tidigt att se någon effekt av våtmarksreningen av utsläppen från det Västra Magasinet.

Tabell 8.3 Medelkoncentrationen på årsbasis i vatten som provtagits nedströms magasinen.

| År | Koppar (mg/l) | Bly (mg/l) | Zink (mg/l) | Kadmium (mg/l) | Arsenik (mg/l) |
|------|---------------|------------|-------------|----------------|----------------|
| 1991 | ≅ 0.001 | 0.002 | 0.28 | <0.001 | <0.002 |
| 1992 | ≅ 0.001 | 0.015 | 0.25 | <0.001 | <0.002 |
| 1993 | ≅ 0.002 | 0.002 | 0.28 | <0.001 | <0.002 |
| 1994 | 0.003 | 0.018 | 0.75 | 0.005 | <0.002 |
| 1995 | ≅ 0.003 | 0.015 | 0.43 | <0.001 | <0.002 |
| 1996 | ≅ 0.006 | 0.016 | 0.40 | <0.001 | n.d. |

Tabell 8.4. Medelkoncentrationen på årsbasis i vatten som provtagits strax uppströms sjön Saxen.

| År | Koppar (mg/l) | Bly (mg/l) | Zink (mg/l) | Kadmium (mg/l) | Arsenik (mg/l) |
|------|---------------|------------|-------------|----------------|----------------|
| 1991 | 0.009 | 0.04 | 4.4 | 0.004 | <0.002 |
| 1992 | 0.007 | 0.05 | 3.1 | 0.003 | <0.002 |
| 1993 | 0.009 | 0.014 | 2.7 | 0.003 | <0.002 |
| 1994 | 0.012 | 0.02 | 3.7 | 0.004 | <0.002 |
| 1995 | 0.011 | 0.014 | 3.6 | 0.004 | <0.002 |
| 1996 | 0.009 | 0.016 | 2.5 | 0.0035 | n.d. |

Tabell 8.5 Medelkoncentrationen på årsbasis i vatten som provtagits nedströms gruvan efter behandling

| År | Koppar (mg/l) | Bly (mg/l) | Zink (mg/l) | Kadmium (mg/l) | Arsenik (mg/l) |
|------|---------------|-----------------------------------------|-------------|----------------|----------------|
| 1991 | 0.008 | 0.107 | 51 | 0.08 | <0.005 |
| 1992 | 0.009 | 0.069 | 52 | 0.073 | <0.002 |
| 1993 | | Förändrad behandling och utsläppspunkt: | | | |
| 1994 | 0.002 | 0.006 | 3.5 | <0.001 | <0.002 |
| 1995 | 0.02 | 0.039 | 4.4 | 0.026 | <0.002 |
| 1996 | 0.014 | 0.063 | 5.2 | 0.018 | n.d. |

8.4.4 Slutsatser

Med det nu genomförda funktionskontrollprogrammet har följande slutsatser dragits angående täckningens effektivitet:

- Tätskiktet har fått den täthet som avsetts. Mätvärdena i enskilda mätpunkter tangerar endast i ett fåtal fall det gränsvärde som uttryckts i mättad hydraulisk konduktivitet ($5 \cdot 10^{-9}$ m/s).
- Syrgashalten under tätskiktet har gått ned till låga värden för båda magasinen (<0,5 %). Fortfarande erhålls dock tidvis enstaka höga värden. Dessa bedöms vara orsakade av läckage i installationerna.
- Diffusionshastigheten för syre genom täckningen ökar under sommarperioden (augusti) med 5 till 100 gånger vad den är under vinterperioden (november-januari).
- Under torrperioden motsvarar skillnaden i diffusionshastighet för syre mellan tätskiktet och skyddsskiktet ungefär en faktor 10.
- Överstrilningen av grundvatten från det Västra till det Östra Magasinet innebär ett visst tillskott av främst järn, zink och bly till den våtmark som spontant skall etableras på det senare magasinet. Hittillsvarande resultat tyder på att belastningen inte är större än att våtmarken bör kunna ta hand om den.

8.5 Gruvan och gruvområdet

I dagsläget sker en uppfyllnad av gruvan med grundvatten. Detta kommer att pågå under många år. Under denna tid kommer ytvattnet från gruvområdet att dräneras två vägar, till gruvan och till Gruvbäcken. Gruvområdet är nivellerat så att allt ytvatten kommer att avbördas i Gruvbäcken när gruvan är fylld med vatten. Även om gruvvattnets kvalitet kommer att förbättras och flödet kommer att minska, så måste det övervakas under en viss tid och åtgärdas efter behov. I övrigt planeras inga uppföljningsåtgärder inom gruvområdet.

8.6 Framtida övervakning

Mätresultaten från den särskilda uppföljningen av situationen kring sandmagasinen - funktionskontrollen, vilken avslutades 1996 - bör tillsammans med de från det reguljära kontrollprogrammet för hela området Saxdalen/Saxberget kunna utgöra en användbar referensserie för den fortsatta uppföljningen. Det reguljära kontrollprogrammet för ytvattnets kvalitet omfattar sedan oktober-95 provtagningspunkterna i tabell 8.6, där punkterna 6 och 12 utgick när man slutade pumpa i gruvan.

Provtagningen sker numera fyra gånger per år (vårflod, sommar, höst och vinter. För orenat gruvvatten, provpunkt 6, togs prover 2 gånger per år (vårflod och höst) medan provtagningen av renat gruvvatten (provpunkt nr. 12) skedde månadsvis - så länge gruvvattnet pumpades.

Fortsatt uppföljning av situationen på magasinen avses främst inriktas mot följande förhållanden:

- Vattenkvaliteter och flöden i utgående vatten från vattenlåset (Västra Magasinet) och från Östra Magasinets överyta

- Vattenkvaliteten i grundvattnet nedströms Östra Magasinet
- Temperaturutvecklingen och tjälningen under kommande vintrar i anslutning till tätskiktet på båda magasinen
- Syrgashalten i anrikningssanden i åtminstone några nyckelpunkter
- Trycksituationen under täckningen på det Östra Magasinet i relation till det externa atmosfärstrycket.

Tabell 8.6 *Provtagningspunkterna för det reguljära kontrollprogrammet för ytvatten.*

| Beteckning enligt: | | |
|---------------------------|----------------|-----------------------------------------------------|
| ursprungligt | nytt | Lokal |
| program | program | |
| 1 | 801 | Utloppsdiket strax nedströms Östra Sandmagasinet |
| 2 | 814 | Utloppet från Hyttdammen |
| 4 | 815 | Vatfallsgröpbäcken vid inflödet i sjön Saxen |
| 6 | 804* | Gruvvatten från Saxbergsgruvan |
| 8 | 812 | Utflödet från Nydammen |
| 9 | 813 | Gräsbäcken vid inflödet i Hyttdammen |
| 10 | 811 | Södra Bäckens strax nedströms Gruvbäckens inflöde |
| 11a | 810 | Gruvbäckens strax före utflödet i Södra bäcken |
| 12 | 805* | Renat gruvvatten vid utflödet från klarningsbassäng |
| 13 | 802 | Vattenlåset mellan Västra och Östra Magasinen |

* Har utgått sedan pumpningen av gruvvattnet upphörde i mars 1997.

Inom de övriga områdena planeras inte någon annan uppföljning än den som är kopplad till övervakningen av vattenkvaliteten i ytvattendragen som avbördar de (tidigare) kontaminerade områdena.

9 Dokumentation och information

9.1 Myndighetsbeslut

På grund av den långa tid som de industriella verksamheterna bedrivits i Saxberget, den areella spridningen av föroreningarna och den stora omfattningen av utredningar som krävts för att uppnå de slutliga lösningarna, har en mängd dokument författats som berör Saxbergsprojektet. Detta framgår tydligt av sammanställningen i kapitel 11 och bilaga 1-3. För den oinvidige kan det vara svårt att se någon medveten struktur bland dessa dokument. Det är inte heller säkert att alla dokument faller in i en logisk handlingsplan och det är i praktiken omöjligt att kontrollera om dokument saknas i något sammanhang. Det många önskade sig redan i början av projektet är en fullständig förteckning av befintliga dokument. En sådan borde ha underlättat arbetet. Tyvärr är inte heller de sammanställningar som ges i denna rapport fullständiga.

9.2 Tekniska rapporter

Underlaget för beslut om ambitionsnivåer och metoder för saneringsarbetena liksom för bygghandlingarna har grundats på en mängd utredningar vilket beskrivits i kapitel 2-4. De sammanfattas dessutom i bilaga 2.

9.3 Bygghandlingar och protokoll

I samband med entreprenadverksamheterna har följande typer av handlingar utnyttjats i projektet:

- Anbudsunderlag
- Kontraktshandlingar
- Byggmötesprotokoll
- Andra mötesprotokoll
- Dagböcker
- Besiktningsprotokoll

Anbudsunderlagen och kontraktshandlingarna har förtecknats i bilaga 1. Samtliga byggmöten och andra möten där entreprenadarbetena behandlats mellan byggherre och entreprenör har protokollförts. Dessa ger en bild av projektets problem och genomförande. Totalt 31 sådana möten hölls under projektet. Tabell 9.1 och 9.2 sammanfattar dessa protokoll. De besiktningar som genomförts har också protokollförts. I det följande ges en sammanfattning av dessa protokoll.

Både entreprenören och kontrollanterna förde regelbundet dagbok. Entreprenörens dagbok fördes med hjälp av blankettset så att byggherren fick ett eget exemplar av de signerade dagboksbladen vilka arkiverades. Kontrollanternas dagböcker fördes dels på förtryckta blanketter när det gäller väderlek, utförda arbeten och testresultat, dels på en särskild fil i laboratoriets dator. Figur 9.1 visar ett exempel på dessa dagboksnoteringar.

Tabell 9.1 Sammanfattning av byggmötesprotokollen för perioden dec.-92 till dec.-94.

| Löpnr. Ärende | Datum | Viktiga beslut |
|------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 92-1 | 1992-12-09 | Dikesarbeten, start av terrasseringsarbeten. Bergklackar på Ö.Mag. Utbildning av personal. |
| 93-1 | 1993-02-16 | Massor från industriområdet. Gruvvatten. Morän till tätskiktet. Gräns för tätskikt på V.Mag. |
| 93-2 | 1993-03-11 | Rapport ang. förberedande arbeten: täktavrymning, terrassering och diken |
| 93-3 | 1993-04-23 | Tveksamheter påkallade av resultat av undersökningar av lermoränen. Förslag till utformning av tätskikt. |
| 93-4 | 1993-05-11 | Justering av tätskiktets utformning diskuterades |
| 93-5 | 1993-06-01 | Justering av ekonomiska uppgörelser samt av kontrollprogrammet. Tätskiktsarbetet och täktarbetena påbörjade. |
| 93-6 | 1993-06-18 | Utbildning av personal. Vatten på V.Mag. Anslutning av tät- och skyddsskikt på V.Mag. Flyttning av otjänliga massor i täkt |
| 93-7 | 1993-06-29 | Täckdikning på V.Mag. Ersättning för dikning och bortförsl av underkända massor i moräntäkten |
| 93-8 | 1993-07-23 | Svåra vattenförhållanden på V.Mag. som kräver extra dräneringar och justeringar. Överenskommelse om dränering av Ö. Mag. |
| 93-9 | 1993-08-16 | En mängd mindre justeringsarbeten, främst rörande dräneringarna. Övergången mellan Västra och Östra Magasinen skall undersökas |
| 93-10 | 1993-09-03 | Tätskiktsarbetena ligger nere på grund av regn. Förseningsfrågan. Förslag till vattenlås mellan magasinen. |
| 93-11 | 1993-09-20 | Icke godkända ytor på Ö.Mag. Södra diket vid V.Mag. Massor från Björnhyttan skall flyttas till Ö.Mag. |
| 93-12 | 1993-10-20 | Bräddavlopp från V.Mag. Beslut om utförande av vattenlås mellan magasinen. Resultat från provyta A. Provytorna B och C utförda. |
| 1-94 | 1994-05-17 | Arbetena skall påbörjas 24/5. Rensningsmassor vid västra dammen. Kompletterande dräneringsarbeten. Beslut om att terrassytan alltid skall förpackas. |
| 2-94 | 1994-06-08 | 15 000 m ² färdigtäck, utläggning pågår vid v.delen av V.Mag. 30-50% av moränen sorteras bort i täkten. Områdena Ö & S om täkten skall undersökas. Förstärkn. av sandytan V.Mag. Undersökn. för tätskikt Ö.Mag. dammslänter. |
| 3-94 | 1994-06-30 | Lermoräntäkten måste utökas med ca 70 ha. Dammbekämpning med bindningsmedel. Fortsatt undersökning av Ö.Mag. dammslänter. Modifiering av tätskiktets utförande (2 delskikt) |
| 4-94 | 1994-07-21 | 16 000 m ² färdigtäck. Tätskiktsmaterialets kvalitet förbättrats avsevärt. Norra dammvallen måste schaktas om. |
| Arbets- möte | 1994-10-18 | Arbeten som skall utföras under hösten: Avskärande dike V.Mag., Vattenlåset mellan magasinen, vattenavrinningen justeras. |
| 5-94 | 1994-08-16 | 20 000 m ² tättäck. Tätskiktsmaterialets kvalitet fortfarande bra - kartläggningen klar. Mindre sten på färdig täckning. Täckning av dammvall med 2 m bred lermorän. Ytvattenavrinning från lågpunkt Ö.Mag. |
| 6-94 | 1994-09-13 | V.Mag. 20 ha färdigtäck. På Ö.Mag. har ca 18 ha tättäckts varav 12 skyddstäckts. Ca 100 000 m ³ skyddsskiktstorän beräknas fattas. |
| 7-94 | 1994-11-15 | Ca 17 ha täckning beräknas kvarstå till 1995. Ö Mag. Har ca 20 ha tättäckts varav ca 18 ha har skyddstäckts. Erosion av anrikningssand justeras. |
| 8-94 | 1994-12-14 | Arbetena avslutade v.49. Alla tättäckta ytor också skyddstäckta. Katastrofdamm färdigställd. Täckta delar på Ö. Mag. kan besås. Bevakning av vårflood. |

Tabell 9.2 Sammanfattning av byggmötesprotokollen för perioden maj-95 till maj-96.

| Löpnr. | Datum | Viktiga beslut |
|--------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ärende | | |
| 1-95 | 1995-05-17 | Arbetena planeras påbörjas 29/5, 50-tim vecka. Vattenlåset mellan magasinen fungerar. Areal- och volymberäkningar utförda. |
| 2-95 | 1995-06-14 | Sandytan på Ö.Mag. har förstärkts på vissa delar, ytterligare förstärkning krävs. Dammvall anläggs ca 300 m nedströms vattenlåset. Gräs sås i aug. |
| 3-95 | 1995-07-05 | Ca 7 ha tättäckts varav 5 ha skyddstäckts. Återstår ca 10 ha att tättäcka. |
| 4-95 | 1995-08-02 | Överenskommelse om à-priser för förstärkningsmaterial Återstående tätskikt ca 2 ha. Återstående skyddsskikt 10 ha. 18000 m ³ morän utlagd som förstärkning. Fortfarande problem med bärigheten. 3 dammvallar färdiga efter justering. Överfart över dike V.Mag. Extra morän på vattenlås. |
| 5-95 | 1995-08-23 | Tätskikt färdigställt. Återstår 6 ha skyddsskikt. Totalt 35000 m ³ morän utlagd som förstärkning. Morän i täkt vid magasinet kräver rivning före lastning. Erosionsskyddad rännal anläggs på Ö.Mag. lägsta del. Ö.Mag. slänt tätas |
| 6-95 | 1995-09-19 | Återstår 3 ha skyddsskikt. Återställning av täkt vid magasinet pågår. Hela V.Mag. och halva Ö.Mag har gräsbesåts. Resten efter frysning. |
| 7-95 | 1995-10-18 | Återstår 1 ha skyddsskikt. Arbetet avbryts p.g.a. regn och återtas när marken frusit/torkat upp. Uppmätta ytor/volymer redovisades. Samtliga tätskiktsytor godkändes av båda parter, men enighet nåddes ej betr. skyddsskiktsmängden. |
| 8-95 | 1995-11-21 | Samtliga arbeten avslutade och är besiktigade. Resterande grässådd utförs. Ekonomiska frågor reglerades. |
| 1-96 | 1996-05-22 | Erosionsskada vid Östra dammen vid sidan av iordningställt bräddavlopp åtgärdas. Kompletteringsådd efter justering av V.Mag. Konstaterades vara olämpligt att Gatv och Väg utvidgar grustäkten mot Ö.magasin |
| 2-96 | 1996-06-26 | Efterbesiktning |

SAXBERGET 1994
DAGBOK

Datum: 940609

Väder: Molnigt, tidvis sol. Ingen nederbörd. Nb: 4,1 mm T: 14 °C

Sign: MS

VERKSAMHET TÄKTEN

Materialet blir allt sämre ju längre österut mot diket längs vägen vi kommer. Underkänner 1/3-1/2 av materialet. Vi har grävt 2 stycken provgropar öster om diket. Materialet är bättre där. Vi har börjat gräva vid provgrop 1, ca 50 m väster om anslutningsväg från gruvan.

VERKSAMHET SANDMAGASINET

Mätyta: 70*30 m². 2 stycken provhål (9427-9428), varav 1 underkänd.

Extra mätpunkter: 9427a-b och 9429-9430 på underkänd yta intill "vägbanken".

ÖVRIGT

Vi utför hydrometeranalyser på osäkert material.

Figur 9.1 Exempel på kontrollanternas dagboksanteckningar inom utförandekontrollen.

Besiktningssprotokoll

Saxdalen, Vattfallsgropbäcken - Slutbesiktning efterbehandling av Rune Wilson, Kopparbergs läns Hushållningssällskap och innehållande 20 åtgärds punkter varav entreprenören anses ansvarig för 18. Entreprenaden blev godkänd och beställaren övertog ansvaret 91-11-01. Garantitiden löpte till 93-10-15.

Utlåtande över garantibesiktning - Saxdalens vattenfallsgropbäcken - efterbehandling 93-09-20 av Harald Kratschmer, HS Trädgårdskonsult och innehållande 16 åtgärds punkter med förlängd garantitid till 93-11-15.

Sandmagasinen - efterbehandlingsarbeten - Utlåtande av slutbesiktning

Saxbergsgruvan - efterbehandlingsarbeten - Utlåtande över efterbesiktning nr 1 av Tommy Schönfeldt, 1996-06-26 och innehållande 8 punkter varav endast en punkt entreprenören ansågs vara ansvarig för.

Besiktning av efterbehandlingsarbeten av sandmagasin vid Saxbergets gruva i Ludvika kommun av Länsstyrelsen, Dalarnas län. Utlåtande: Kraftfulla åtgärder måste vidtagas utefter större delen av östra magasinets södra och östra slänter för att varaktigt förhindra erosion. Erosionsskyddet vid lågpunkten måste omkonstrueras och sannolikt byggas om i sin helhet.

Övriga mötesprotokoll

En hel rad fältundersökningar utfördes under entreprenadarbetena. Dessa redovisades oftast i särskilda rapporter, se avsnitt 8.3, men även som enstaka protokoll. Det senare gäller särskilt resultaten av den löpande packningskontrollen på magasinerna som redovisades löpande i form av protokoll och i dagböcker. Läget för kontrollpunkterna redovisades löpande på en karta som var uppsatt på väggen i laboratoriet.

Parallellt med all saneringsverksamhet genomfördes en rad sammanträden för att styra projektet. I tabell 9.3 har dokumentationen för övriga möten och i tabell 9.4 de för arbets- och ledningsgruppsmöten sammanställts.

Tabell 9.3 Övriga sammanträden.

| Benämning/ärende | Datum | Viktiga frågor och beslut |
|-----------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Arbetsmöte projekt Saxberget | 1992-01-07 | Sammanställning och utvärdering av underlag för olika täckningsalternativ för sandmagasinen. Kemakta, Vattenfall Hydropower. Verksamhetsrapport 1990, 1991, 1992 |
| Träff angående sandmagasinen | 1992-10-12 | Fördelning av ansvar och kostnader för inmätningar. Tidpunkt för start av entreprenadarbetena |
| Saxbergsprojektets sandmagasin | 1995-12-06 | Genomgång av kontrollprogrammets resultat. Beslut om framtagande av förslag till funktionskontrollprogram för 1996. |
| Funktionskontroll - ytvattenprovtagning | 1996-06-26 | Genomgång av kontrollprogrammets resultat. Konstaterades att syrgashalten nu är låg efter att mätrören tätats speciellt. Nytt program för reguljär ytvattenkontroll antaget. |

Tabell 9.4. Arbets- och ledningsgruppsmöten.

| Benämning | Datum | Viktiga frågor och beslut |
|-------------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Arbetsgruppssammanträde nr 1. | 1990-05-11 | Saneringen i Saxdalen: ambitionsnivåer, redovisning av pågående provtagningar, besiktning av aktuellt område, underlag och tidplan för projektering. |
| Arbetsgruppssammanträde nr 2. | 1990-10-15 | Ludvika kommun blir huvudman för saneringsarbetet i Saxdalen. |
| Arbetsgruppssammanträde nr 3. | 1991-01-17 | Redovisning av resultat från kartläggningen av förorenad mark i Saxdalen. |
| Arbetsgruppssammanträde nr 4 | 1991-03-27 | Lägesrapport för sanering i Saxdalen. Arbetsgruppen för Saxdalen upphör. Kvarvarande arbetsuppgifter övertas av "Saxbergsggruppen". |
| Ledningsgruppsmöte nr 1 | 1990-03-01 | Organisationsplan, diskussion om slamtäckning |
| Ledningsgruppsmöte nr 2 | 1990-04-18 | Försök med rötslam |
| Ledningsgruppsmöte nr 3 | 1990-07-02 | Rötslam, lägesrapport, vattenbalansstudie, Hallsbergförsöket (rotgenomträngning) |
| Ledningsgruppsmöte nr 4 | 1990-10-31 | (Lg-smtr) Täkttillstånd, lägesrapport angående rötslam |
| Ledningsgruppsmöte nr 5 | 1990-11-04 | (Lg-smtr) Rötslam, Golders vattenbalansstudie |
| Ledningsgruppsmöte nr 6 | 1991-02-06 | (Lg-smtr) Rötslam, Golders vattenbalansstudie |
| Ledningsgruppsmöte nr 7 | 1991-10-17 | Ledningsgrupps- och arbetsgruppssammanträde |
| Ledningsgruppsmöte nr 8 | 1992-01-15 | (Lg-smtr) Tät- och skyddsskiktalternativ, 30 alternativ, Kemakta |
| Ledningsgruppsmöte nr 9 | 1992-05-27 | (Lg-smtr) Dimensionering av skyddstäckning |
| Ledningsgruppsmöte nr 10 | 1992-09-18 | (Lg-smtr) Anbud |
| Ledningsgruppsmöte nr 11 | 1993-05-11 | Studiebesök på sandmagasin och täktområden. Lägesrapport för sandmagasinen, Saxdalen. Sämre lermöränkvalitet. Revidering av tätskiktets utformning. Smittade massor från Björnhyttan. Beslut om inspelning av videofilm. |
| Ledningsgruppsmöte nr 12 | 1993-08-20 | (Lg-smtr) Extra möte ang. infiltrationsförsök. |
| Ledningsgruppsmöte nr 13 | 1993-09-21 | (Lg-smtr) Lägesrapport sandmagasinen, Saxdalen. Beräkning av vattenbalans på testytor. Förslag till vattenlås mellan magasinen. |
| Ledningsgruppsmöte nr 14 | 1993-10-27 | (Lg-smtr) Lägesrapport sandmagasinen. Redovisning och diskussion av genomförda försök med testytor på Västra Magasinet. |
| Ledningsgruppsmöte nr 15 | 1994-05-25 | (Lg-smtr) Vattenbalansstudie, kompletterande modellering, modifierat tätskikt |
| Ledningsgruppsmöte nr 16 | 1994-09-28 | Lägesrapport entreprenadarbetena och Saxdalen. Sanderosion, växtetablering, resultat av syrgasmätningar. Utförandekontrollprogrammet revideras |
| Ledningsgruppsmöte nr 17 | 1995-09-29 | Lägesrapporter rörande efterbehandlingen av sandmagasinen, Saxdalen och gruvområdet. Förslag till nytt, integrerat kontrollprogram. Kommunen upprättar områdesbestämmelser och detaljplan över sandmagasinen. |
| Ledningsgruppsmöte nr 18 | 1996-09-26 | Lägesrapporter rörande efterbehandlingen av sandmagasinen, Saxdalen och gruvområdet. Resultat av gjorda mätningar. Översyn av översiktsplaner. |
| | 1997-06-23 | Länsstyrelsens besiktning av sandmagasinens efterbehandling. Lägesrapport ang. gruvområdets sanering. Program för fortsatt funktionskontroll. Dokumentation av projektet. |

9.4 Information till allmänheten

För myndigheternas handläggning finns det etablerade rutiner och kanaler att söka information som kan erfordras. Svårigheterna är större att informera allmänheten om ett tekniskt komplicerat och långvarigt projekt. I Saxdalen gjorde sig detta till känna redan innan man beslutat om hur saneringsarbetet skulle genomföras. Lokalpressen kände sig då nödsakad att spekulera om hur allvarlig situationen var för samhällsinnevanorna, hur allvarlig den skulle bli under åtgärderna och vilken (dålig) effekt de (då ännu inte beslutade) åtgärderna skulle få.

I det läget beslutade Naturvårdsverket och Boliden för att ge invånarna i Saxdalen en saklig information om projektplanerna i form av offentliga möten. Informationen som gavs på dessa välbesökta ”stormöten” omfattade lägesbeskrivningar av täckningsarbetena på sandmagasinen och mer preciserad information rörande saneringen av Momsenområdet:

- Det ekonomiska anslaget för åtgärder mot miljöskador som verket administrerade
- Målsättningen med saneringen
- Begränsningen av saneringsområdet
- Åtgärder utanför saneringsområdet
- Inga åtgärder utan fastighetsägarnas tillstånd - avtal mellan fastighetsägare och kommun
- Skador på hus regleras av entreprenörens försäkringar
- Beskrivning av genomförandet - försiktig schaktning styrd av okulär granskning
- Indelning i tre preliminära klasser efter bedömd omfattning av urschaktning

I mars 1991 gick Naturvårdsverket ut till berörda fastighetsägare med ett informationsbrev med en första allmän information om den planerade saneringen i Saxdalen. Man påtalade bl.a. att Boliden inte kan göras ansvarig för situationen i Saxdalen eller för huvudparten av de utsläpp som då var aktuella i området. Brevet innehöll även information om bakgrunden till och målsättningen för den sanering som verket planerade genomföra med allmänna medel och man påpekade att Naturvårdsverket inte hade någon skyldighet att sanera men önskade göra så i samförstånd och i samarbete med de berörda. Grunden för genomförandet skulle vara ett avtal med de berörda och Ludvika kommun som skulle fungera som huvudman för projektet.

Den information som senare lämnades till den berörda lokalinformationen gick via den särskilt tillsatta förtroendegruppen av villaägare. Eftersom denna grupp fick praktiskt taget full insyn i verksamheten och blev så väl insatta i de aktuella frågorna att de kunde göra egna bedömningar, fick denna informationsform ett gott förtroende hos avnämarna. När projektet närmade sig sin fullbordan breddades informationen till allmänheten om de genomförda åtgärderna genom att en särskild broschyr och en videofilm gavs ut. Dessa har redan använts i olika sammanhang, bl.a. i kurser och konferenser.

Den slutliga dokumentationen av projektet omfattar förutom denna rapport följande:

- Teknisk dokumentation, Saxdalen (Ludvika kommun)
- Broschyr: ”Saxberget - ett efterbehandlat gruvområde” (Boliden Mineral)
- Broschyr på engelska: ”Saxberget - decommission closed” (Boliden Mineral)
- Poster för konferenser och liknande: ”Saxberget - decommission closed” (Boliden Mineral)

- Videofilm som beskriver bakgrund, syfte och medel för att genomföra efterbehandlingen av sandmagasinen. En svensk och en engelsk version.
- Pärm med viktiga dokument från entreprenadarbetena för täckningen av sandmagasinen.
- Informationstavla (Ludvika kommun)
- Informationsmöte för allmänheten

Av dessa kommer allt utom den tekniska dokumentationen för åtgärderna i Saxdalen och på sandmagasinen (pärm) att distribueras för en bredare publik. De tekniska rapporterna är offentliga handlingar och kommer att finnas tillgängliga bl.a. på kommunkontoret i Ludvika.

10 Vad har vi lärt av projektet?

10.1 Sammanfattande slutsatser

Saxbergsprojektet var ett omfattande och komplext saneringsprojekt som genomfördes under en relativt lång tidsperiod, drygt 4 år. Visserligen hade man erfarenheter från några tidigare saneringsprojekt, främst Bersbo-projektet och Ranstadprojektet, men förutsättningarna var där annorlunda i flera avseenden. Därför var det oundvikligt att man skulle stöta på problem. För att motverka att liknande problem uppkommer i kommande saneringsprojekt och för att öka möjligheterna att lösa dem, redovisas i detta kapitel lärdomarna från projektet. De viktigaste av dem kan sammanfattas i följande punkter:

- Fastigheter med byggnader vilka berörs av schaktningsarbeten bör alltid besiktigas och avvägas omsorgsfullt innan arbetena påbörjas.
- Som i många andra arbeten, som berör jord och fasta avfall, ökar möjligheterna att lyckas med uppgiften och att minimera kostnaderna med omfattningen av förundersökningarna
- Om saneringen förutsätter en viss teknik eller att vissa material skall användas bör beställaren förvissa sig om att tekniken är möjlig att tillämpa och att materialen är användbara fullt ut innan detta preciseras i anbudsunderlaget
- Det är en fördel om så många av arbetsmomenten som möjligt kan preciseras i anbudsfrågan istället för att begära in kompletteringsanbud av den utvalda entreprenören.
- Allmänheten och särskilt de berörda närboende bör informeras på ett så tidigt stadium som möjligt även om informationen då inte kan bli fullständig.
- Vattensituationen i ett sandmagasin är en mycket viktig fråga som måste klargöras för att rätt teknik skall kunna väljas. För detta krävs omsorgsfulla geohydrologiska studier.
- Packningsarbeten bör inte påbörjas förrän de nödvändiga dräneringarna utförts och fått tillräcklig verkan.
- Packning av lerig morän är ett arbete som är betydligt känsligare än packning av de flesta andra jordarter, inklusive lera. Packningsförsök bör utföras som bl.a. klarlägger känsligheten för förändringar i vattenhalten och vad detta betyder för när uttag i täkt, transport och utläggning kan ske och hur arbetet skall bedrivas vid regn.
- Fördelningen av entreprenörens egenkontroll och beställarens kontroll skall vara tydlig.
- Omsorg måste läggas på de installationer som penetrerar tätskiktet och som utförs för att kontrollera täckningens funktion. De måste vara täta och tillräckligt robusta. De måste också skyddas väl under entreprenadtiden mot påverkan av fordon etc., alternativt installeras först efter att täckningsarbetena avslutats.

Trots att det finns många förhållanden att peka på som skulle ha kunnat förbättras i projektet, är det inte säkert att det skulle ha gått att genomföra projektet till en så mycket lägre kostnad. Möjligheterna till förbättringar ligger snarast på kvalitetssidan. I det följande fokuseras på en del av de viktigare av de moment som skulle kunna förbättras.

10.2 Uppläggning, upphandling och kontraktsskrivning

En stor fördel vid uppläggningsen av det komplexa projektet har varit de täta och kontinuerliga samråden med länsstyrelsen vilka inneburit arbets- och tidsbesparingar som en följd av informell handläggning och effektiva utvärderingar.

Enligt anbudshandlingarna var entreprenadformen bestämd till generalentreprenad. Detta innebär att entreprenören tar ansvaret för utförandet utan att ha del i projekteringen av objektet. Detta innebär i sin tur att han måste lita på byggherrens uppgifter i anbudshandlingarna. Om dessa uppgifter inte visar sig stämma med påföljd att byggherren måste justera dem, finns risk att viktiga delar av entreprenörens underlag för anbudsberäkningen inte längre gäller. Det är inte heller säkert att avtalade mängdförteckningar och å-prislistor går att använda för kostnadsregleringen. Konsekvensen blir i så fall naturligtvis att entreprenören begär ekonomisk kompensation. I alla projekt av denna typ tvingas beställaren avväga riskerna för denna typ av extrakostnader mot kostnader och tidspilan för omfattande undersökningar och utprovningar i förväg.

I detta fallet var entreprenörens uppgift att tillverka en täckning utifrån de utförande- och materialkrav som beställaren specificerat. När det visade sig att det anvisade tätskiktsmaterialet inte kunde fås att uppfylla de täthetskrav som ställdes - i vart fall inte med den teknik som preciserats i anvisningarna - uppkom anspråk på extra betalt för såväl tillkommande moment vid uttag av material i tåkten som tillkommande behandling av tätskiktssmassorna på magasinerna. Det är uppenbart att dessa problem hade kunnat undvikas med en noggrannare undersökning av lermoräna i projekteringsfasen. Helst skulle ett pilotförsök ha genomförts som bekräftade att man praktiskt kunde genomföra tillverkningen av tätskiktet. Den intressanta frågan är emellertid hur mycket pengar ett sådant förfarande skulle ha besparat projektet.

Ett alternativt förfaringssätt vore att endast precisera kraven på täckningens funktion och ställa moräntäkterna till entreprenörens disposition utan krav på att använda dem - ett sätt som mer liknar totalentreprenadformen. I detta fallet är det emellertid långt ifrån säkert att någon anbudsgivare skulle finna den mest rationella och den tekniskt/ekonomiskt mest effektiva lösningen. Risken är uppenbar att detta förfaringssätt skulle resultera i betydligt högre kostnader och/eller mindre effektiva åtgärder. Generellt sett blev trots allt kostnaderna för tätskiktet mycket låga och effektiviteten sannolikt tillfredsställande. I detta fallet gick det att komma överens om att korrigera tekniken för utförandet och hålla extrakostnaderna på en rimlig nivå. När det är fråga om väderberoende arbeten som lätt kan bli tidspressade bör man överväga omfattande förundersökningar och utprovningar alternativt totalentreprenadformen. I det senare fallet krävs att man kontrollerar att entreprenören har kompetens att själv klara erforderliga förundersökningar och att han verkligen utför dem.

Upphandlingen av kontrollarbetet komplicerades av att det program som preciserades i anbudsunderlaget i vissa delar inte var genomförbart och i andra delar var olämpligt eller onödigt kostsamt. Programmet fick revideras flera gånger eftersom tekniken att utföra tätskiktet förändrades under entreprenadtiden liksom de krav som ställdes på material och utförande. Ursprungligen ingick utförandekontrollen i entreprenörens kvalitetsplan och i hans budget men när utförandet, kraven och kontrollarbetet förändrades var det mera praktiskt att överföra kontrollfunktionen på beställaren. Eftersom kontrollanten måste vara opartisk i sitt arbete oavsett uppdragsgivare skapade detta enbart smärre praktiska problem. Dock uppkom

vissa problem med ersättning för kontrollantens arbete vilket dock i första hand orsakades av ändringarna i kontrollprogrammet.

10.3 Förundersökning och projektering

Förutom behovet av information till de berörda invånarna i Saxdalen var den viktigaste erfarenheten av saneringsarbetena att alla byggnader, som berörs av omfattande schaktningsarbeten, bör höjdvägas och besiktigas/dokumenteras med avseende på förekomsten av sprickor och andra relevanta skador. De största problemen som uppkom i täckningsprojektet berodde på tre förhållanden:

- Dålig bärighet på sandmagasinens överyta
- Stora inslag av material med alltför tveksam kvalitet i lermoräntäkten
- Dålig väderlek i kombination med användandet av vattenkänsliga jordmaterial

I grunden är samtliga dessa förhållanden betingade av ett totalt överskott av vatten - ett överskott som var särskilt stort under sommaren-93. Med dagens kunskap hade man övervägt att utföra en våt täckning av Västra Magasinet, d.v.s. dämt upp dalgången så att lägsta grundvattennivån säkert legat över avfallsytan eller i vart fall över den aktuella vittringsnivån i avfallet. Idag ligger endast en mindre volym av avfallet över denna nivå varför insatserna för att höja grundvattennivån över vittringsnivån sannolikt inte hade behövt vara särskilt omfattande. Även om man haft full kunskap om vattenbalansen på magasinerna i samband med att man planerade för efterbehandlingsåtgärderna är det ändå inte troligt att man valt våttäckning. I början på 90-talet var nämligen inte detta alternativ riktigt accepterat av t.ex. myndigheterna.

Huvudanledningen till att man missbedömde vattenbalansen för det Västra Magasinet synes ligga i en kombination av att man inte tydligt nog klargjorde vattenomsättningen i detta magasin och att man tog för givet att undergrunden till anrikningssanden i detta magasin, som enligt den officiella geologiska kartan utgörs av isälvsmaterial, hade kapacitet nog att dränera allt vatten i dalgången. Tre kända förhållanden borde ha inneburit varningstecken för att så inte var fallet:

1. Dalgången har ända från vattendelaren innehållit ett kraftigt vattendrag med benämningen Vattfallsgropbäcken. "Vattfallsgropen" låg sannolikt strax nedströms dagens skilje mellan de två magasinerna (Tunelli, 1940).
2. Vårflödet i dalgången hade någon gång på 40- eller 50-talet sköljt bort både den då torrdeponerade anrikningssanden och den kulvert som lagts i botten på dalgången för att leda bort bäckvattnet.
3. Det brott på Västra Magasinets östra damm vilket ägde rum strax efter att man anlagt dammen runt det Östra Magasinet skapade en djup ravin. Vattenomsättningen måste ha varit (och är fortfarande) stor längs detta stråk.

Dessa och övriga problem borde kunna ha eliminerats genom följande åtgärder:

1. Bättre förundersökningar och modellberäkningar. Framförallt mer utförliga fältarbeten, t.ex. fler grundvattenståndsrör och en ordentlig kartläggning av sandmagasinerna.

2. Upprättande av en särskild förberedande etapp för entreprenaden med ordentlig kartläggning av situationen och en efterföljande utdikning av alla aktuella delområden samt ytterligare stabilisering med påförande av grova massor där så erfordras. Inväntande av tillräcklig stabilitet.
3. Bättre kartläggning av lermoränområdet - tätare provtagning, mer omfattande permeabilitetstester och större undersökningsområde.
4. Utredning om vatteninnehållets variation i lermoränen (i relation till dess betydelse för packningsegenskaperna) och fullskaliga pilotförsök med hantering av aktuella jordmaterial under regnväder eller i vart fall med varierande vatteninnehåll.
5. Krav på entreprenören att precisera en handlingsplan vid dåligt väder.

Problemen var svåra att förutse och uppmärksammades i regel på allvar först när arbetena kommit igång. När de blev noterade tog det ytterligare tid innan vidden av deras konsekvenser blev klar. Entreprenören var enligt anbudshandlingarna uttryckligen skyldig att försäkra sig om förhållandena på platsen och uppmärksammas på väderlekssituationens stora betydelse för genomförandet innan han gav sitt anbud. Å andra sidan var det orimligt att han skulle ha insett betydelsen av den stora vattenomsättningen i magasinet. Bärigheten varierade kraftigt med tiden och var många gånger inte lätt att förutse ens med relativt stor erfarenhet. När det gäller leriga moräners packningsegenskaper är det rimligt att hävda att entreprenören borde vara fullt insatt däri. Å andra sidan konstaterades snart att projekteringshandlingarna delvis var missvisande när det gäller dess kvalitet. Detta bedöms till stor del bero på ett för dåligt utredningsunderlag baserat på provtagning och provning inom täktområdet.

Även om såväl beställare som entreprenör är ursäktade av de svåra omständigheterna så borde problemen till viss del ha undvikits på förhand. Bärighetsförhållandena och dräneringsbehovet borde således ha varit beskrivet i anbudsunderlaget och borde ha preciserats genom en särskild utredning vid projekteringen, men entreprenören borde också ha haft en bättre beredskap att möta problemen. Istället löstes problemen i samförstånd mellan beställare och entreprenör efter hand som de uppkom. Detta behandlas närmare i avsnitt 8.4.

Moränmaterialet för tätskiktet var delvis sämre än vad förundersökningen visade och prioriteringen av delområdena i tåkten var missvisande. Även kvalitetsangivelsen på djupet var missvisande även om detta i praktiken inte fick så stor betydelse. Att man missade en icke oväsentlig mängd lerig morän i tåkten för skyddsskiktstorän vid sandmagasinen var förståeligt eftersom den uppträdde på relativt stort djup. Möjligen kunde man vid moräninventeringen ha utnyttjat befintliga kunskaper om områdets moräner bättre (Karin Eriksson). I kombination med en tätare provtagning areellt och på djupet borde detta givit en hänvisning. Konsekvenserna av och tekniken att lösa tätmaterialproblemen behandlas närmare i avsnitten 6.3 - 6.5.

Att den leriga moränen generellt är känslig både för uttorkning och för packning påpekades i anbudshandlingarna. Ändå tycktes entreprenören bli överraskad av effekten av de kraftiga och ihållande regn som inträffade strax efter att täckningsarbetena påbörjats. Han fick naturligtvis ta konsekvenserna av detta själv, men det var många gånger svårt att skilja på vad som direkt orsakades av för vått tätskiktmaterial och vad som indirekt orsakades av dålig bärighet som förstärktes av den då förhöjda omsättningen av vatten i främst det Västra Magasinet. Sommaren -93 hade extremt få torra och varma dagar. Problemen minskade påtagligt under -94 och -95, delvis också på grund av de erfarenheter man vunnit om hur man planerar för och agerar vid avbrotten för regn, se vidare under avsnitten 6.3 och 6.5.

Inom några smärre delområden uppkom dålig bärighet i torr anrikningssand. Den var då omlagrad efter att ha varit vinddriven. Detta löstes genom påförande av bärande massor.

10.4 Täkt för tätskiktmaterial

Svårigheterna, som uppkom i täkten för tätskiktsmaterialet, lermoränen, var relaterade dels till problemet att endast transportera godkänt material till sandmagasinen, dels till regntillfällena. Det förra problemet löstes med följande insatser:

- Tät besiktning av geolog som markerade partier med underkänt material med sprayfärg
- God planering av schaktstråken och transportvägarna i och till täkten
- Generell borttagning av de översta 0,5 m morän sedan matjord och rottäcke avlägsnats
- System för intern transport och deponering av underkänt moränmaterial med hantering företrädesvis vid dålig väderlek
- Moment med lossgöring av morän och bortsortering av block i täkten med grävskopan vid uppehållen mellan lastning av dumpers.

Problemen som uppkom vid regntillfällena bestod i att vattenkvoten i det losstagna lermaterialet ökade något under transport-, utläggnings och packningsmomenten. Det stod tidigt klart att packningsresultatet var kraftigt beroende av moränens vatteninnehåll, se avsnitt 8.7 och figur 8.1. Eftersom vattenkvoten var hög redan i täkten, blev vatteninnehållet för stort för packning redan vid lättare regn och materialet blev i praktiken oanvändbart. Att lägga alltför vått material i tillfälligt upplag för torkning visade sig vara alltför riskabelt eftersom det losstagna materialet lätt ”sög till sig” mer vatten när det regnade medan torkprocessen var effektiv endast på ytan vilket ledde till en inhomogen fördelning av vattnet.

Problemen löstes genom att man upphörde med att bryta och transportera lermorän så snart det regnade. Vatteninnehållet visade sig nämligen inte öka på grund av regnet i den morän som inte tagits loss ifrån täktväggarna, åtminstone inte så länge fritt ytvatten förhindrades att ta sig in i täktens väggar eller botten. Det blev oftast nödvändigt att refusera lermorän som tagits loss och som utsatts för påtagliga mängder regn. Vidare var det nödvändigt att hela tiden hålla täktbotten torr genom en effektiv bortledning av externt och internt ytvatten med hjälp av diken. Dessa diken krävde i sin tur att effektiva trummor anlades genom de vägar som utnyttjades till täkten.

10.5 Förarbeten på sandmagasinen

I projekteringshandlingarna uppgavs att en viss mängd s.k. skrotsten från gruvområdet skulle användas för att stabilisera vissa ytor på sandmagasinen. Dessa åtgärder visade sig vara otillräckliga för att få tillräcklig bärighet på alla ytor som var nödvändiga för transport- och packningsarbetena på magasinen. Orsaken till den dåliga bärigheten var inte bara den angivna förekomsten av finslam inom den östligaste delen av Östra Magasinet, den s.k. klarningsdammen utan även förekomsten av:

- Utströmmande grundvatten i främst det Västra Magasinet
- Lösa avlagringar ovan grundvattennivån av vindavsatt anrikningssand på båda magasinen
- Underjordiska kanaler i det Västra Magasinet vilka uppenbarligen tjänat som dräneringar vid högvattenflöden

Det utströmmande grundvattnet går till stor del förbi (läs: under) de avskärande dikessystem som anlagts kring det Västra Magasinet. Det måste bedömas som praktiskt taget omöjligt att ta hand om allt det grundvatten som avbördas via denna dalgång. Avrinningsområdets storlek är närmare 3 km² vilket inte motsvaras av storleken av det flöde som man ställvis kunde iakta i anslutning till Västra Magasinet före åtgärderna. Orsaken till detta är med all sannolikhet att största delen av vattenflödet (i genomsnitt ca 18 l/s) avbördades i djupare delar av magasinet för att lämna detta huvudsakligen som grundvatten direkt till isälvsavlagringen (sand och grus) under det Östra Magasinet.

Sannolikt avbördas fortfarande en del av dalgångens avrinnande vatten på detta sätt. Enligt uppgift var vattenflödet i dalbotten mycket kraftig på den tiden då Västra Magasinet började fyllas ut - så kraftig att den vid flera tillfällen sköljde bort torrdeponerad sand och en kulvert som anlagts i ravinbotten för att leda bort detta vatten. Kulverten blev troligen aldrig borttagen och kan utgöra en del i det underjordiska dräneringssystemet. Det dammbrott som uppkom i det Västra Magasinet 1958 var sannolikt också orsakad av otillräcklig dräneringskapacitet vid högvatten i detta dräneringssystem.

Det ravinliknande system av erosionskanaler som uppkom i det då färdigfyllda Västra Magasinet i samband med dammbrottet, figur 8.2, antyder läget för de underjordiska dräneringarna. Flera av de problem med uppträngande grundvatten som erhöles under täckningen av Västra Magasinet ansluter till dessa raviner som 1991 fylldes med kontaminerade massor från Momsen-området. I ett fall erhöles en trycknivå i ett nedslaget rör som var upp till en meter över tätskiktets underkant. Röret satt nära den högsta punkten på Västra Magasinet!

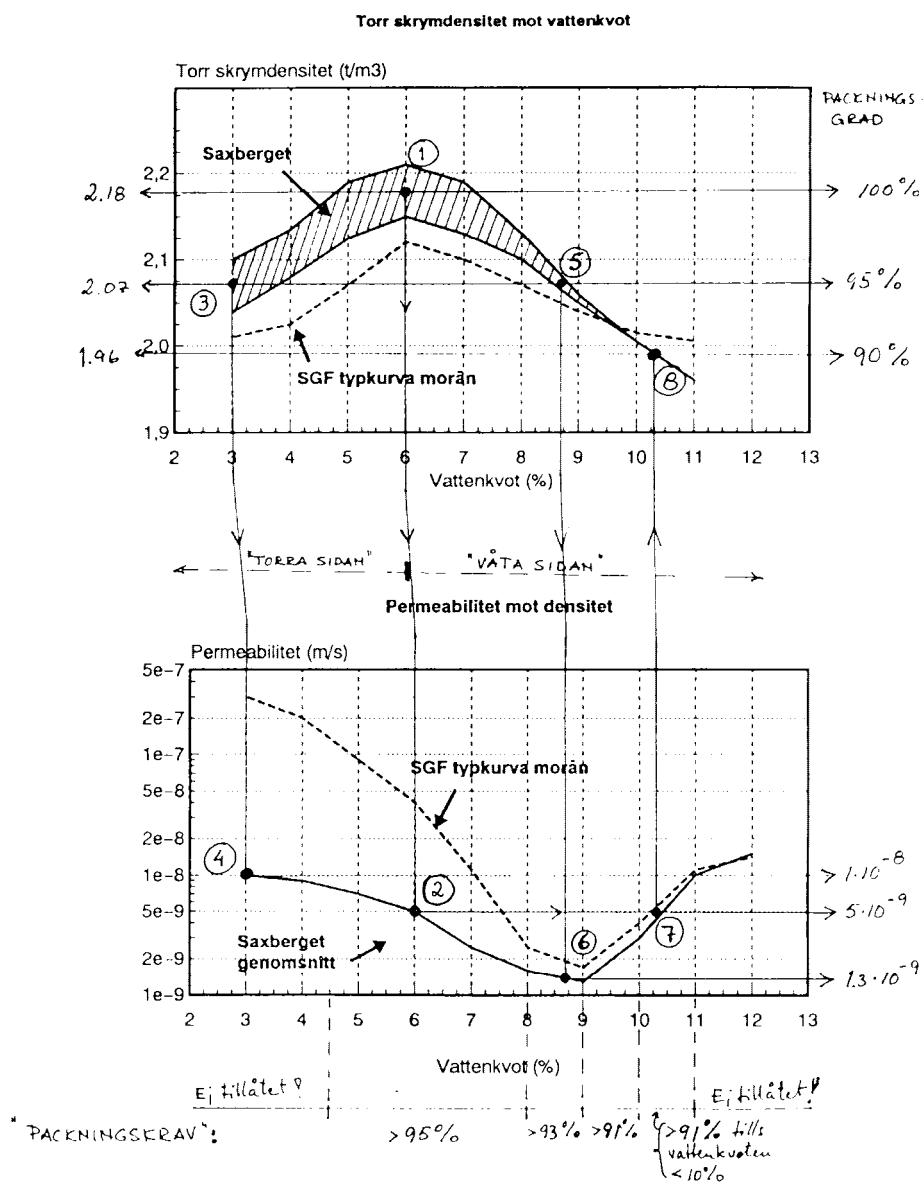
Bärighetsproblemen på Västra Magasinet löstes i första hand genom en omfattande dränering i form av täckdiken som förlades till de områden som var vattensjuka och som avbördades i Gruvbäcken. Efter de inledande erfarenheterna på de Västra Magasinet utfördes en generellt nödvändig förpackning av ytan med anrikningssand. På Östra Magasinet var dräneringen mindre omfattande. Istället lade man vid behov ut stabiliserande massor av krossat gråberg eller motsvarande som förstärkningslager innan tätskiktet lades ut för packning. I några fall kunde man öka antalet överfarter med vibrovälten, främst på det första delskiktet i tätskiktet. När det gällde vindavlagrad, lös, torr anrikningssand, användes enbart utläggning av stabiliserande massor.

10.6 Packning av tätskiktet

Eftersom packningskravet åtminstone från början var strikt relaterat till den maximala densiteten för ett visst packningsarbete (inom 95 % relativt den för tung laboratoriestampning) kunde relativt torr morän accepteras även om den leriga moränen då såg för torr ut och delskikten inte längre tycktes vara plastiska utan blev småsprickiga och smuliga på överytan. Normalt var emellertid lermoränens vattenkvot tillräckligt över den optimala för packning för att materialet skulle behålla sin plasticitet även efter någon timmes väntan på packning.

När väl materialet blivit packat minskade uttorkningshastigheten och de torksprickor som bildades i överytan på de färdigpackade (och godkända) tätskikten var normalt några få millimeter djupa men kunde i vissa fall bli upp till 20 mm djupa.

I själva verket erhålls inte den lägsta permeabiliteten vid den högsta densitet som kan uppnås för ett visst packningsarbete utan vid en något högre vattenkvot, se figur 10.1. Anledningen till att man undviker att packa vid vattenkvoter som är högre än vad som motsvarar t.ex. 95 % tung laboratoriestampning på den våta sidan är att man då riskerar att uppnå full vattenmättnad vilket leder till att materialet förlorar bärigheten och packningsredskapen stansar igenom. I ett senare skede av projektet, när man fått bättre kunskaper om variationerna för vattenhalten i materialet och om permeabilitetens beroende av packningsgraden i den aktuella moränen beslöts att entreprenören skulle få packa tätskiktet vid högre vattenkvoter och därmed en lägre densitet "på den våta sidan".



Figur 10.1 Principiellt diagram över moräners packningsegenskaper och deras permeabilitet vid varierande packningsgrad.

Packningsproblemen som uppkom till följd av för dålig bärighet behandlas i avsnitt 8.2 - 8.4. Problem att uppnå tillräcklig packningsgrad uppkom emellertid även av andra orsaker, t.ex.:

- Ojämnt underlag
- För stora eller för många stenar i tätskiktetsmaterial
- För torrt tätskiktetsmaterial

Underlaget för tätskiktet kunde, trots det inledande terrasseringsarbetet, vara ganska ojämnt. Detta kunde i sin tur ha flera orsaker såsom för dåligt eller ojämnt packad anrikningssand, erosionsfenomen eller uppträckning av grundvatten. Man lärde sig att ju jämnare och bättre packat underlaget är desto lättare uppnås packningskravet för tätskiktet. Regeln gäller även de understa delskikten i tätskiktet. I regel blev packningsresultatet successivt bättre ju fler delskikt som hade packats, men endast under förutsättning att man var noga med att få delskikten jämna.

Normalt kan inte stenar som är större än, säg halva skiktjockleken, ingå i ett skikt som skall packas utan att störa packningsprocessen. I Saxberget tilläts stenstorlekar upp till 150 mm i tätskiktet även då delskikten inte var mer än 100 mm. Detta förutsatte att de större av stenarna trycktes ned i underliggande lager, vilket var lätt i det understa delskiktet. I det översta delskiktet var det svårt om det underliggande delskiktet var välpackat. Ofta stod stenen upp en bit över omgivningen och släpade med välten vilket gav en "slagskugga" runt stenen och i dess släpspår. Det bästa sättet att undvika detta var att för hand plocka bort sådan sten före sista överfarten med välten.

Vid tippningen av moränmaterialen från dumprarna uppkom en tendens till ansamling av större sten vid släntfoten av varje hög. Eftersom det förekom en bortsortering av stenar större än 150 mm av varje sådan hög med hjälp av en gummihjulslastare med s.k. gallerskopa blev emellertid dessa omrörda redan innan de breddes ut med hjälp av en tyngre bandtraktor med schaktblad. Därför var ansamlingar av sten med eventuella hålrum mellan stenarna inte särskilt ofta förekommande.

10.7 Utläggning av skyddsskiktet

Skyddsskiktet lades ut i två delskikt varav det första var ca 0,5 m mäktigt och det andra 1,0 m. Anledningen var främst att man snabbt ville få ut ett skydd så att inte tätskiktet torkade ut och att inte större sten som rullade ned från slänkrönet på fronten av ändtippad skyddsmorän skulle skada skyddsskiktet. Dessa farhågor visade sig nog vara överdrivna. Som redan nämnts blev inte effekterna av uttorkning av tätskiktet så allvarliga som t.ex. på packade skikt av ren lera. När tätskiktet packats till godkänd densitet visade det sig vara mycket motståndskraftigt och några tendenser till skador av nedrullande stenar upptäcktes aldrig.

Avsikten var ursprungligen att förse hela den färdiga överytan på täckningen med större stenblock som skulle spridas ut jämnt över hela upplaget. Syftet med detta var att skapa ett skydd mot motorcykelåkande och annat som skulle kunna skada täckningen. Blockfrekvensen visade sig vara relativt liten i moränen. Blocken räckte helt enkelt inte för att skapa ett sådant skydd. Den besprutning med gräs som genomfördes på de färdigtäckta magasinerna har givit ett bra skydd mot erosion och bidrar till att magasinerna redan smälter väl in i landskapsbilden.

10.8 Utförandekontroll

Erfarenheterna av materialkontrollen i täkten var att kontrollanten snart fick upp en fingertoppskänsla för både materialkvalitet och vattenkvot. De viktiga momenten i materialbedömningen var lerhalt och förekomst av ensgraderade, grova skikt/linser av siltig-sandig morän. Genom referensprover och regelbundna kontroller kunde kontrollanternas individuella skicklighet upprätthållas. Eftersom materialet även kontrollerades på den färdigpackade ytan kunde man grovt bedöma förekomsten av felaktigt material som slunkit genom den icke kontinuerliga kontrollen i täkten. Det var ovanligt att man påträffade underkänt material på magasinen i större volymer än vad som motsvarade ett dumperlass - uppskattningsvis mindre än en gång per vecka och aldrig motsvarande mer än 2-5 lass totalt. Största svårigheten bestod i att göra en rätt värdering för materialet vid varierande fuktighet och konsolideringsgrad. Detta krävde övning och i början intensiva kontroller mot referensproverna.

Vattenkvotsbestämningarna utgjorde ett problem eftersom det tog närmare ett dygn innan besked erhöles. Prov utfördes i täkten med en helt ny typ av fuktighetsmätare, "Tracer", men den övergavs eftersom elektroderna inte kunde stickas in på ett bra sätt i schaktväggen. Försöken med torkning i mikrovågsugn borde ha påbörjats tidigare i projektet. Sannolikt hade detta inneburit en billig och bra lösning på problemet.

Användningen av isotopmätare bedöms som klart överlägsen vattenvolymeter vid packningskontroll vid denna typ av moränmaterial. Visserligen erhålls vid båda metoderna fel på grund av t.ex. förekomsten av sten. Med isotopmätaren kan emellertid mätningarna repeteras relativt snabbt och man kan upptäcka och korrigera missvisande värden. Dessutom kan bestämningar göras på olika nivåer i samma profil vilket kan ge extra information. De snabba bestämningarna medger även kontroll av de olika delskiktens egenskaper vilket utnyttjades flitigt när problem uppkom att nå tillräcklig packningsgrad. Nackdelen med instrumentet är riskerna för operatören att bli utsatt för strålning vid mätning och rengöring. Särskild utbildning och transportlicens krävs av operatören, som dessutom inte får använda utrustningen mer än ett begränsat antal timmar per år. Eftersom flera kontrollanter hanterade utrustningen gick detta att uppfylla.

10.9 Funktionskontroll

Det största problemet med funktionskontrollen var utan tvekan otätheter i de plaströr som användes som skyddsrör för syrgasslangar och termoelektrodkablar vid genomföringen i täckningen. Problemet förvärrades av svårigheterna att kontrollera tätheten på ett tillräckligt bra sätt. Orsakerna till otätheterna var flera:

- För klen tätning inuti skyddsröret (styrofoamplast-propp som tätats med silikon).
- Deformationer i samband med påförandet av täckningen
- Påkörning med fordon (även överkörning förekom)
- Perforering med klammerpistol (röret användes för fastsättning av flukter)

Om man använt stålrör istället som skyddsrör och slösat med silikon vid genomföringen inuti röret hade problemet sannolikt eliminerats. Hade dessutom röret isolerats med t.ex. 0,5 m rörisolering i höjd med täckningens överkant så hade installationen troligen blivit perfekt.

Orsaken till att även mycket små otätheter fick så stora konsekvenser var troligen de påtagliga tryckförändringarna under tätskiktet. Dessa förändringar upplevdes bl.a. genom att gummi-propparna på syrgasslangarna ständigt försvann. De blåstes helt enkelt ur. Tryckförändringar orsakas av gravitativa förändringar, s.k. tidvatteneffekt som äger rum på dygnsbasis samt förändringar av grundvattenståndet i magasinet som uppträder på längre sikt (säsongsvariation). Dessutom kan möjligen lufttrycksvariationer ge upphov till tryckskillnader mellan magasinet och atmosfären.

De eventuella otätheterna utnyttjas för att utjämna tryckskillnaderna och man kan få ett utbyte mellan porgasen i det stenmagasin varifrån man tar prov för analys av syrgashalten. Denna mekanism är också verksamt och effektiv om otätheterna gäller tätskiktet. Dessa mätproblem i Saxberget har haft den goda påföljden att man blivit uppmärksam på betydelsen av punktvisa otätheter i tätskiktet som kan utnyttjas för advektiv strömning av luft. Uppenbarligen är detta en viktig orsak till förhöjda syrgashalter i ett av de täckta upplagen med gruvvarp Bersbo.

Uppföljning av grundvattenstånd i skyddstäckningen på objekt av denna storleken kan, främst av ekonomiska skäl, endast bli aktuell som mer eller mindre en engångsmätning. Ekonomiska skäl är även begränsande för upplösningen på informationen. För att ringa in eventuella otätheter i tätskiktet skulle avståndet behöva minskas till ca 20 m och helst skulle nätet vara triangulärt. Kostnaderna skulle då bli mycket betydande för installationen.

Grundvattenståndsrören i det Västra Magasinets anrikningssand är tillräckligt djupgående för mätningarna, vilket däremot inte är fallet för det Östra Magasinet, åtminstone inte under torrperioden. Enligt prognosberäkningarna borde det räcka att föra ned dem till magasinets underkant så som genomfördes för hand. Att borra ned dem i det underliggande isälvs materialet kan fortfarande genomföras med användning av tung utrustning.

Användningen av s.k. BAT-spetsar för tagning av vattenprover i den omättade zonen av anrikningssanden var ett misslyckande. Möjligen skulle en annan typ av filter använts. En särskild utprovning krävs i varje enskilt fall. Om man nöjt sig med en vanlig rörbrunn och eventuellt ersatt slitsarna med en filterspets skulle provtagning av grundvattnet vara möjlig med de normala grundvattenrören i polyeten, trots att dessa deformerats kraftigt. BAT-provtagaren går däremot enbart att använda i rör som inte är deformerade eller är endast svagt deformerade.

10.10 Dokumentation och information

Dokumentationen borde ha systematiserats på ett tidigt stadium och inletts med en inventering och kortfattade beskrivning av vilka dokument som redan förelåg. Man borde då även kunna tillverka en lista över dokument som förväntades.

Den i vissa delar felaktiga och missriktade information som lokalpressen förmedlade i ett tidigt stadium skrämde delvis upp lokalbefolkningen. Tillrättalägganden från myndigheterna och bolaget fick därför ske på ett snabbt och inte helt effektivt sätt på allmänna stormöten. Istället borde information ha lämnats tidigare och på ett mer strukturerat och effektivt sätt, kanske med hjälp av just lokalpressen. En tidig information skulle å andra sidan ha inneburit att man tvingats informera redan innan alla beslut var tagna och revidera uppgifterna efter hand som de tekniska lösningarna utvecklades.

Den valda formen för informationen med en förtroendegrupp för de berörda måste anses vara lyckad. Spridningen av den färdiga videofilmen avses fortsätta med en intensiv marknadsföring som bland annat skall riktas mot politiker. Det låga priset för videokopiorna bör underlätta spridningen.

10.11 Kostnader

De inledande beräkningar som utfördes i slutet av 1988 pekade på en totalkostnad på drygt 30 Mkr för täckningen av sandmagasinen. Kalkylen baserades på ett enda skikt om 1 m morän. Av dessa beräknades täckningen av Västra (gamla) Magasinet svara för ca en tredjedel. Med den tillkommande halvmetern morän i skyddstäckningen och det tillkommande tätskiktet om 0,3 m borde enligt samma beräkning kostnaden öka till ca 46 Mkr. Tar man dessutom hänsyn till att den totala täckningsytan var något underskattad erhålls totalsumman 48 Mkr som 1988-års prognostiserad totalkostnad för den täckning av sandmagasinen som utfördes. De inledande kostnadsprognoserna omfattade ett 30-tal olika alternativ. Alternativet Cefyll i tätskiktet beräknades t.ex. kosta ca 11 Mkr mer än den rena moräntäckningen.

Entreprenörens anbud, som gavs vid en tidpunkt då sysselsättningen var låg inom anläggningsbranschen, var för täckningsarbetena totalt 12 Mkr. Anbudet omfattade dessutom 2,1 Mkr för rivningsarbeten och andra förberedande arbeten samt 1,4 Mkr för kontroll vilka delkostnader ej ingick i prognosberäkningen. Entreprenaden omfattade inte alla nödvändiga arbeten varför tilläggsersättningar var planerade. Tillsammans med kompensation för alla dräneringsarbeten och försvårande omständigheter kom entreprenörens ersättning för täckningen att uppgå till totalt ca 22 Mkr. Detta motsvarar en kostnad av 40 kr/m² färdig täckning. Observera att i kostnadsberäkningen ingår alla förberedelsearbeten på magasinen och i täkterna men ej projektering.

Som redan nämnts i avsnitt 1.4, budgeterades 37 Mkr för täckningen av sandmagasinen. Kostnadsöverskridandet för täckningen relativt de budgeterade medlen blev ca 2 Mkr och betingas av ett flertal ändrade förutsättningar med bl.a. två års försening av projektet. Denna extrakostnad måste betraktas som marginell eftersom totalkostnaden ändå blev ca 9 Mkr lägre än den ursprungliga prognosen, trots att ambitionen för täckningen höjdes påtagligt. Motsvarande specifik kostnad (här ca 71 kr/m²) i andra täckningsprojekt uppgår till mellan 57 och 250 kr/m² (Gustafsson, 1997). Endast vid enklare täckningsalternativ, t.ex. utan tätskikt eller med vattentäckning, har man kommit ned under 40 kr/m². Därför måste kostnaden för täckningen i Saxberget betraktas som helt rimlig.

De mest kostnadskrävande förändringarna i täckningsentreprenaden på sandmagasinen relativt anbudshandlingarna omfattade totalt 6,53 Mkr och fördelade sig på följande moment:

| | |
|------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1. Dränering av Västra Magasinet och stabilisering av båda magasinen | 2,7 Mkr |
| 2. Utläggning av tätskikt i 3 delskikt | 2,1 Mkr |
| 3. Avtäckning och bortsortering av ej godkända massor i lermoräntäkten | 0,6 Mkr |
| 4. Vattenlås mellan magasinen | 0,4 Mkr |
| 5. Erosionsskador och anläggande av bräddavlopp vid Östra Dammen | 0,3 Mkr |
| 6. Indexuppräkning | 0,43 Mkr |

Slutkostnaderna för saneringsarbetena i Saxdalen och inom gruvområdet höll sig inom budgetramarna, d.v.s. 11 Mkr, respektive 7 Mkr.

11 Litteratur

11.1 Refererad litteratur (i bokstavsordning)

Collin, M. (1987): Mathematical modelling of Water and Oxygen Transport in Layered Soil Covers for Deposits of Pyritic Mine Tailings, Licentiate Treatise, Royal Institute of Technology, Dep. Of Chemical Engineering, April 16, 1987.

Edfors, H. (1985): Saxbergsfältet - Något om dess tillkomst och utveckling. Stencilerad skrift. Falun, 1985-09-29

Nunes, M. & Friström, J. (1996): Sanering av Saxdalen - Teknisk dokumentation, Kungl. Tekniska Högskolan, Inst. För Väg- och Vattenbyggnadskonst respektive Fysisk planering, Rapport för högskolepraktik.

Qvarfort, U. (1983): En kartläggning av sandmagasin från sulfidmalmsanrikning, Naturvårdsverket, SNV pm 1699, maj 1983.

11.2 Att läsa

Collin M. & Rasmuson, A. (1986): Distribution and flow of water in unsaturated layered cover materials for waste rock. SNV-rapport 3088.

Granström, G.A. (1931?): Bidrag till Bergverkets på Saxbergets historia 1930 och 1931. Skrivelse, Bolidens arkiv i Stockholm och Garpenberg.

Magnusson, M (Collin) & Rasmuson, A. (1983): Transportberäkningar på vittringsförloppet i gruvavfall. SNV PM 1689.

Qvarfort, U. (1983): En kartläggning av sandmagasin från sulfidmalmsbrytning. SNV PM 1699.

Rapp, C. (1993): Rapport från praktikarbete i Saxberget sommaren 1993. Stencilerad rapport. Stockholms Universitet, Kvartärgeologiska avdelningen.

Sveriges Geologiska Undersökning (1933): Geologiska kartbladet "Grängesberg", SGU Ser. Aa N:o 177.

Sydvästra Skånes kommunalförbund (1984): Packning av moränlera. Redovisning av en metod för terrassering av mark för bebyggelse. SSK. Februari 1984.

Tegengren, F.R. (1924): Sveriges ädlare malmer och bergverk.

Tunelli, I. (1940): Rävåladeltat - Beskrivning till en kartläggning av topografi och blockfördelning hos ett issjödeltat i Bergslagen. Geologiska Föreningens i Stockholms Förhandlingar, maj-okt. 1940.

VIAK AB (1968): GRANGÄRDE KOMMUN. Saxdalen. Redogörelse för undersökningar av grundvattenförhållandena i anslutning till Saxdalens grundvattentäkt.

VIAK AB (1977): LUDVIKA KOMMUN. Saxdalen. Vattenkvalitet och kvalitetspåverkan vid Saxdalens grundvattentäkt.

Öhrn, E. (1931): Aktiebolaget Zinkgruvors sulfidmalmsgruvor, april 1931. Skrift som gåva till Zinkgruvors dåvarande styrelseordf., dir. Martin Waldenström på hans 50-årsdag, kopia i Boliden Mineral AB:s arkiv i Garpenberg.

Projekt(bygg)handlingar (i kronologisk ordning)

Boliden Mindeco AB (1992-07-16): Saxbergsgruvan - Efterbehandlingsarbeten på sandmagasin. Administrativa föreskrifter avseende generalentreprenad med material- och arbetsbeskrivning, mättnings- och ersättningsbestämmelser samt mängdförteckning.

Boliden Mindeco AB (1992-07-16): Saxbergsgruvan - Efterbehandlingsarbeten på sandmagasin - Ritningsförteckning

Boliden Mindeco AB (1992-07-16): Saxbergsgruvan - Efterbehandlingsarbeten på sandmagasin - Formulär för anbud

Projektrapporter (i kronologisk ordning)

VIAK AB (1966): Yttrande över undersökning för täktplan gällande vissa fastigheter inom Rävåla, Saxdalen, Grangärde kommun.

Ekelius, W. & Lindeström, L. (1984): Biologiska och sedimentkemiska undersökningar i Saxbergsgruvans recipientområde 1983, Institutet för vatten- och luftvårdsforskning, IVL-rapport F84/009:2, 1984-03-26, Dnr 500-151/80.

VBB AB (1984): Rapport över utförda seismiska mätningar vid Saxbergsgruvan.

VBB AB (1984): PM angående dammar för nytt restproduktmagasin.

VBB AB (1987): PM angående orsaker till belastningen av zink på Vattfallsgröpbäcken. Tekniskt utlåtande 1987-10-16, G9491, Saxberget.¹

Boliden Mineral AB (1987): Inlägga till koncessionsnämnden för miljöskydd (angående utredning om diffusa metallutsläpp till Vattfallsgröpbäcken, 1987-11-30, Dnr 500-151/80

Boliden Mineral AB (1987): "Yt- och grundvattenprovtagningar". Sammanställning för åren 1979-87. Ingår som bilaga i inlägga till koncessionsnämnden 1987-11-30.

Boliden Contech AB (1987): Saxberget. Åtgärder som skulle kunna minska utflödet av zink samt beräknade kostnader härför. Tekniskt utlåtande 1987-11-20. Ingår som bilaga i inlägga till koncessionsnämnden 1987-11-30.

VIAK AB (1988): Jordprovtagning vid Saxbergsgruvan. Tekniskt utlåtande 5716.6235/131, 1988-11-07.¹

Rasmuson, R. & Lindgren, M. (1988): Modellberäkningar för moräntäckskikt på sandmagasinet i Saxberget, Kemakta Konsult AB, Kemakta AR 88-30, 9 november 1988.¹

Golder Geosystem AB (1988): Grundvattenförhållanden och metalltransport vid Saxbergsgruvan, Rapport sammanställd av Carl-Lennart Axelsson, Anders Ekstav, Johan Holmen och Ulf Qvarfort på uppdrag av Boliden Mineral AB, November 1988.¹

Boliden Engineering AB (1988): Alternativa åtgärder för efterbehandling av sandmagasin, Tekniskt utlåtande 1988-12-29.¹

Boliden Mineral AB (1988): Saxberget - Efterbehandlingsplan 1988-12-30.

Edström & Schönfeldt Bygg & Mark konsulter AB (odaterad): Saxberget - Åtgärdsplan för sandmagasin.¹

Edström & Schönfeldt Bygg & Mark konsulter AB (odaterad): Saxberget - Åtgärdsplan för gruvområdet m.m.¹

Boliden Mineral AB (odaterad): Förslag till kontrollprogram för Saxbergsområdet efter avslutad drift.¹

Terratema AB (1989): Efterbehandling av sandmagasinen i Saxberget - Bedömning av alternativa täckningsinsatser. Rapport 1989-09-29. Uppdragsnr. 89055.

Statens geotekniska institut (1989): Efterbehandling av sandmagasinen i Saxberget. Saxberget slamdamm - stabilisering av finslam. (Delrapport 1) Teknisk rapport 1989-11-17.

VIAK AB (1990): VBB - Efterbehandlingsarbeten i Saxdalen - Geoteknisk undersökning. Förhandskopia av tekniskt utlåtande 1990-10-10, Nr. 21791.6549/270.

Terratema AB (1990): Efterbehandling av sandmagasinen i Saxberget - Granskning av Bolidens efterbehandlingsplan. Tekniskt utlåtande 1992-03-02.

VBB Viak AB, Falun (1990): Saxdalen, Ludvika kommun - Efterbehandling

Institutet för Miljömedicin (199.): Hälsoriskbedömning av gruvavfall i Saxdalen.

Golder Geosystem AB (1991): Vattenbalansstudie - Saxberget. Teknisk rapport maj 1991, Dnr: 907-1647.

Vattenfall HydroPower AB (1991): Moräntinventering i Saxberget. Teknisk rapport 1991-12-09, Projektnr: 2234.

Kemakta Konsult AB (1991): Resultat från uppskattning av metallfrigörelse från sandmagasinet i Saxberget vid alternativa täcksiktutformningar. Internt utlåtande 1991-12-11.

TS Geokonsult AB (1991): Georadmätning inom två delområden vid Saxberget. Teknisk rapport 1991-12-12, ID-nr: RAP 91201.

Lundgren, T. (1992): Dimensioneringen av skyddsskiktets maktighet på sandmagasin - En litteraturstudie med inriktning mot förhållandena i Saxberget, Ludvika kommun. Terratema AB, Arbetsrapport till Naturvårdsverket, Vattenfall Research och Boliden Mineral, 1992-08-28.

Statens geotekniska institut (1992): Efterbehandling av sandmagasinen i Saxberget. Uppföljning av provytor med rötslam. Delrapport 2. Teknisk rapport 1992-01-08, Dnr 2-489/90.

Statens geotekniska institut (1992): Tätmaterial för dammarna i Saxberget. Tekniskt utlåtande 1992-02-06, Dnr: 2-537/91.

Terratema AB (1993): Saxberget - Moräntäkten. Sammanställning av utvärderade permeabilitetsresultat. Internt utlåtande 1993-02-12.

Terratema AB (1993): Täckning av sandmagasinen i Saxberget - Moräntäkt för tätskikt. Angående krav på tätskikt. Internt utlåtande 1993-05-03.

Terratema AB (1993): Saxberggruvan - Efterbehandlingsarbeten på sandmagasin - Förslag till specificering av krav vid kontroll av material och utförande av tätskikt. Internt utlåtande 1993-05-31.

Terratema AB (1993): Efterbehandling av sandmagasinen i Saxberget - Utredning av rimliga packningskrav för lermoränen. Tekniskt utlåtande 1993-05-25, projektnr. 93040.

Terratema AB (1993): Saxberget - Täckning av sandmagasinen. Redovisning av undersökning rörande anrikningssandens bärighet. Internt tekniskt utlåtande (till Vägmaskiner AB och Gräv & Schakt AB) 1993-07-08, projektnr. 93055.

Terratema AB (1993): Saxbergsprojektet - Efterbehandling av sandmagasin. Redovisning av utförda försök inom testytorna B och C. Preliminärt Tekniskt utlåtande 1993-10-13, projektnr. 93064.

Terratema AB (1993): Saxbergsprojektet - Efterbehandling av sandmagasin. Preliminär redovisning av utförd uppföljning inom testyta A. Preliminärt Tekniskt utlåtande 1993-10-19, projektnr. 93064.

Terratema AB (1993): Saxberget - Efterbehandling av sandmagasinen. Beräkning av vattenbalansen inom täckta testytor på täckta testytor på Västra Magasinet. - Anteckningar från diskussionsmöte 93-11-17 med KEMAKTA angående vattenbalansstudierna på testytor, hösten -93. Internt utlåtande 1993-11-21, projektnr. 93064.

Terratema AB (1994): Efterbehandling av sandmagasinen vid Saxberget - Synpunkter på täckningsutförandet med ledning av erfarenheterna från arbetena under 1993. Tekniskt utlåtande 1994-01-27, projektnr. 94001.

Terratema AB (1994): Försök att suga ur vattenmättad anrikningssand med BAT-spets. Tekniskt utlåtande 1994-09-06, projektnr. 93057.

Terratema AB (1994): Saxberget - Efterbehandling av sandmagasinen. Sammanställning av funktionskontrollen. Preliminärt tekniskt utlåtande 1994-10-11.

Terratema AB (1996): Saxberget - Funktionskontroll. Utvärdering av syrgasmätning med 3 olika instrument 960118. Tekniskt utlåtande 1996-02-08. Projektnr. 93057.

Terratema AB (1996): Saxbergsprojektet - Täckning av sandmagasinen. Redovisning av utförd funktionskontroll 1994-1996. Slutrapport 1996-10-26.

Edström & Schönfeldt (1997): Boliden Mineral AB - Saxberggruvan - Efterbehandling av sandmagasin. Teknisk dokumentation. 1997-02-14.

Projektskrivelser (i kronologisk ordning)

Boliden Mineral AB, Saxdalen den 31 oktober 1983, till Länsstyrelsen i Kopparbergs län angående: Plan för återställningsåtgärder vid sandmagasinet i Saxberget. Senare återkallad?

Boliden Mineral AB, Stockholm den 30 november 1987, till Koncessionsnämnden för miljöskydd angående: Uppskjutna frågor rörande verksamheten inom Saxbergsområdet.

Boliden Mineral AB, Boliden den 28 december 1988, till Länsstyrelsen i Kopparbergs län angående: Ansökan om täkttillstånd.

Boliden Mineral AB, Stockholm den 30 december 1988, till Länsstyrelsen i Kopparbergs län angående: Efterbehandlingsplan för Saxberget.

Boliden Mineral AB, Garpenberg, löpande och årligen, till Länsstyrelsen i Kopparbergs län angående: Redovisning av kontrollprogram - Yttre miljö. Vattenprovtagning. Data på flöden och metallhalter i olika provtagningspunkter.

Terratema AB, Linköping den 30 juni 1989, till Saxbergsprojektet angående: Efterbehandling av sandmagasinen i Saxberget - Granskning av Bolidens efterbehandlingsplan - Programförslag.

Naturvårdsverket, Solna 6 februari, 1990: Pressmeddelande: Nu startar projekt Saxberget.

Statens Naturvårdsverk, Samhällstekniska avdelningen, Avfallsenheten den 10 oktober 1991, till konsulter angående: Förfrågan angående utvärdering av lerig morän som tätskiktsmaterial.

Boliden Mineral AB den 7 februari 1992 till Länsstyrelsen, Miljövårdsenheten, Falun angående: Saxberget - Redovisning av provtagningar 1991

Vattenfall HydroPower AB, Ludvika den 25 februari 1992 till Saxbergsprojektet angående: Moränen i Saxberget.

Terratema AB den 26 augusti 1992 till Saxbergsprojektet angående: Saxbergsgruvan - Efterbehandlingsarbeten på sandmagasin - Program för kontroll av material och utförande av tätskikt.

Boliden Mineral AB den 1 mars 1993 till Länsstyrelsen, Miljövårdsenheten, Falun angående: Saxberget - Redovisning av provtagningar 1992

Terratema AB den 13 april 1993 till Vägmaskiner AB, Boliden Mineral AB och Statens Naturvårdsverk angående: Saxberget - Moräntäkten. Preliminära resultat från laboratorieundersökningar av prover inom det södra täktområdet.

Terratema AB den 9 maj 1993 till Saxbergsprojektet angående: Saxbergsgruvan - Efterbehandlingsarbeten på sandmagasin - Reviderat program för kontroll av material och utförande av tätskikt - Tätskikt av packad lermorän (dubbelskikt).

Terratema AB den 9 maj 1993 till Saxbergsprojektet angående: Saxbergsgruvan - Efterbehandlingsarbeten på sandmagasin - Reviderat program för kontroll av material och utförande av tätskikt - Tätskikt av packad bentonitblandad lermorän (dubbelskikt).

Terratema AB den 12 maj 1993 till Saxbergsprojektet angående: Saxbergsgruvan - Efterbehandlingsarbeten på sandmagasin - Reviderat program för kontroll av material och utförande av tätskikt - Tätskikt av packad lermorän (dubbelskikt - 2x0,3 m).

Terratema AB den 19 maj 1993 till Saxbergsprojektet angående: Saxbergsprojektet - Förslag 2 till program för utförandekontrollen 1994 - Tätskikt av packad lermorän - utlagt i 3 delskikt.

Terratema AB den 31 maj 1993 till Saxbergsprojektet angående: Saxbergsgruvan - Efterbehandlingsarbeten på sandmagasin - Reviderat program för kontroll av material och utförande av tätskikt - Tätskikt av packad lermorän - utlagt i 3 delskikt, packat i 1 skikt.

Terratema AB den 28 juni 1993 till Saxbergsprojektet angående: Saxberget, täckning av sandmagasinen. Förslag till program för funktionskontroll.

Terratema AB den 16 mars 1994 till Saxbergsprojektet angående: Saxbergsprojektet - Förslag till program för utförandekontrollen 1994. Tätskikt av packad lermorän - utlagt i 3 delskikt.

Boliden Mineral AB den 30 mars 1994 till Länsstyrelsen, Miljövårdsenheten, Falun angående: Saxberget - Redovisning av provtagningar 1993.

Boliden Mineral AB den 30 mars 1995 till Länsstyrelsen, Miljövårdsenheten, Falun angående: Saxberget - Redovisning av provtagningar 1994.

Boliden Mineral AB den 29 september 1995 till Länsstyrelsen, Miljövård i Falun angående: Funktionskontrollprogram (vattenprovtagning).

Boliden Mineral AB den 28 mars 1996 till Länsstyrelsen, Miljövårdsenheten, Falun angående: Saxberget - Redovisning av provtagningar 1995.

Terratema AB den 16 september 1996 till Saxbergsprojektet angående: Teknisk dokumentation över Saxbergsprojektet - Programförslag.

Terratema AB den 18 september 1996 till Saxbergsprojektet angående: Sammanställning av justeringsbehov kring mätinstallationer på sandmagasinen.

Boliden Mineral AB den 19 juni 1997 till Länsstyrelsen, Miljövårdsenheten, Falun angående: Saxberget - Redovisning av provtagningar 1996