

**EARTH SCIENCES CENTRE
GÖTEBORG UNIVERSITY
B356 2003**

**RISKANALYS AV BRUDAREMOSSENS
DEPONI OCH RELATIONEN TILL
GÖTEBORGS VATTENTÄKT, DELSJÖARNA**

Anders Fersters

**Department of Physical Geography
GÖTEBORG 2003**

GÖTEBORGS UNIVERSITET
Institutionen för geovetenskaper
Naturgeografi
Geovetarcentrum

RISKANALYS AV BRUDAREMOSENS DEPONI OCH RELATIONEN TILL GÖTEBORGS VATTENTÄKT, DELSJÖARNA

Anders Fersters

ISSN 1400-3821

B356
Projektarbete
Göteborg 2003

Postadress
Centre Geovetarcentrum
S-405 30 Göteborg

Besöksadress
Geovetarcentrum
Guldhedsgatan 5A

Telefo
031-773 19 51

Telfax
031-773 19 86

Earth Sciences
Göteborg University
S-405 30 Göteborg
SWEDEN

Abstract

Risk analysis of the landfill at Brudaremassen and the relation to the city of Göteborg's water supply, the Delsjö lakes

The seepage of contaminated leachate from landfill sites in Sweden poses a threat to the surface water and groundwater supplies. The serious consequences that can result from contaminated leachate infiltrating water supplies have, in recent years, led to an increasing awareness on the part of the local authorities of the need for preventive measures to stop leachate seeping from waste sites.

This study is an attempt to explain, using a hazard analysis, the effect of a landfill site on a sensitive source of water supply with respect to the leachate's migration routes. So far, few hazard analyses of landfills have been conducted and it is probable that no quantitative hazard analysis has been previously carried out on any specific disused landfill site in Sweden. The hazard analysis is a cost-utility analysis in which the choice of costly measures that lead to a reduction of risks is weighed against the costs of the consequences of undesirable incidents occurring. It is thereby possible to choose whichever action is most beneficial to society.

The disused landfill site at Brudaremassen is situated approximately 750 metres away from the Delsjö lakes, which provide the water supply for the city of Gothenburg. This landfill is one of the largest in Sweden. There have been occurrences of leachate seepages from the site, but it has not been possible to prove that these have caused any adverse effect on the water in the Delsjö lakes. The ground and groundwater conditions in the area are complicated, and there is insufficient knowledge about the conditions. Consequently, there remains great uncertainty about the migration routes in the ground. This meant that the work also involved conducting my own field investigations into the ground conditions. These investigations were performed using geophysical measuring techniques.

Any courses of events that were identified which might result in the occurrence of an undesirable incident in the area are complex and are illustrated using trees of events. Three such trees have been produced, since several of the incidents can occur independently of one another. The sub-risks of these trees have then been linked in order to calculate the total risk.

The results show that the total risk of any seepage of leachate contaminants from the landfill site at Brudaremassen reaching the Delsjö lakes is small, and that the greatest risk stems from the migration of leachate via the bedrock. It is difficult to predict the migration route of the leachate in the bedrock and its spread via fissure zones can sometimes mean that the contamination spreads a relatively long way from its source without any real chance of immobilising or detaining it. A reasonable inference ought therefore to be to examine the geological barrier under the site in order to establish whether Brudaremassen as a whole can be considered impermeable, particularly south of the site towards the Delsjö lakes. The volumes of leachate formed in the area are at present affected by the surface water that mixes with leachate in unacceptable amounts following heavy rainfall, and it is imperative to extend the process of separated treatment of surface water. Furthermore, priority should be given to the final covering of the site at Brudaremassen so as to minimise the formation of leachate.

Sammanfattning

Utsläpp av förorenat lakvatten från avfallsdeponier i Sverige utgör ett hot mot yt- och grundvattentäkterna. De allvarliga konsekvenser för vattenförsörjningen som utsläpp av förorenat lakvatten kan leda till har medfört att behovet av skyddsåtgärder för lakvattenläckage uppmärksammats alltmer i kommunerna under senare år.

Studien är ett försök att med riskanalys klargöra en avfallsdeponis påverkan på en känslig vattentäkt med avseende på spridningsvägar av lakvatten. Riskanalyser på deponier är fortfarande få till antalet och någon kvantitativ riskanalys på en enskild nedlagd deponi i Sverige har troligen inte gjorts tidigare. Riskanalysen är en kostnads-nyttanalytisk analys där valet av kostsamma åtgärder som ger riskreduktioner vägs mot konsekvenskostnaderna av att oönskade händelser utlöses. Därmed kan den åtgärd som ger störst samhällsnytta bestämmas.

Brudaremassens nedlagda deponi ligger ca 750 m från Göteborgs vattentäkt, Delsjöarna. Deponin är en av de största i landet. Läckage av lakvatten från deponin har förekommit men ingen påverkan på Delsjöarna har kunnat påvisas. Mark- och grundvattenförhållandena i området är komplicerade och kunskapen är ofullständig, vilket medför att spridningsvägarna i marken är behäftade med stora osäkerheter. Detta medförde att arbetet även kom att innefatta egna fältundersökningar av markförhållandena och utfördes med geofysiska mätmetoder.

Identifierade händelseförlopp som kan leda till att en oönskad händelse utlöses i området är komplexa och illustreras med hjälp av händelseträd. Då flera av händelserna kan ske oberoende av varandra har tre händelseträd upprättats vars delrisker sedan kopplats för beräkning av totalrisk.

Resultaten visar att totalrisken för att läckage av lakvatten från Brudaremassen skall förorena Delsjöarna är liten, och att största risken härrör från spridning via berggrunden. Lakvattnets väg i berggrunden är svår att förutsäga och spridning via sprickzoner kan ibland innebära att föroreningar sprids relativt långt från upplaget utan nämnvärda möjligheter till fastläggning eller fördröjning. En rimlig slutsats borde därför vara att undersöka den geologiska barriären under deponin för att få klarhet i om Brudaremassen i sin helhet kan betraktas som tät främst söderut mot Delsjöarna. Mängderna av bildat lakvatten i området påverkas för närvarande av ovidkommande ytvatten som blandas med lakvatten i oacceptabla proportioner vid större regn och utökad separerad behandling av ytvatten är angeläget. Dessutom bör sluttäckandet av Brudaremassen prioriteras för att minska lakvattenbildningen.

Innehållsförteckning

Abstract.....	i
Sammanfattning.....	ii
Förord.....	vi
1 Inledning.....	1
1.1 Syfte.....	3
1.2 Arbetets omfattning.....	3
2 Riskhantering allmänt.....	4
2.1 Inledning.....	4
2.2 Riskdefinition.....	6
2.3 Definition av riskanalys.....	8
2.4 Motiv till riskanalys.....	8
3 Områdesbeskrivning.....	9
3.1 Belägenhet.....	9
3.2 Historik.....	10
3.2.1 Kontrollprogram.....	12
3.2.2 Lakvattenavledningen.....	14
3.2.3 Lakvattendammen.....	14
3.2.4 Uppsamlade av gas.....	15
3.3 Geologisk beskrivning.....	16
3.3.1 Jordarter.....	16
3.3.2 Berggrund.....	16
3.3.3 Den tektoniska kartans sprickmönster.....	17
3.3.4 Den flygmagnetiska kartans huvuddrag.....	19
3.5 Hydrologi.....	20
3.5.1 Lokala förhållanden.....	20
3.5.2 Brudare mossens avrinningsområde.....	20
3.6 Yt- och lakvattenbildning.....	20
3.6.2 Spädning.....	21
3.6.3 Transportförmåga i jordlagren söder om deponin.....	23
4 Metodik/utförande.....	24
4.1 Riskhantering.....	24
4.2 Riskidentifiering, utförande.....	24
4.3 Riskanalys, utförande.....	24
4.4 Riskvärdering, utförande.....	24
5 GIS samt egna fältmätningar.....	25
5.1 GIS-simulering av en okontrollerad bräddningssituation.....	25
5.1.2 GIS-beräkningar.....	26
5.2 Geofysikmätningar i fält.....	27
5.2.1 Geoelektrik.....	28
5.2.2 VLF (Very Low Frequency).....	29
5.2.3 Markradar.....	30
5.3 Grundvattennivåmätningar.....	31
6 Riskidentifiering.....	33
6.1 Ytvattenprocesser.....	33
6.1.1 Avrinningsområdets östra sida.....	33
6.1.2 Avrinningsområdets södra sida.....	33
6.2 Grundvattenprocesser.....	34
6.2.1 Berggrunden och jordarter under deponin.....	34
6.3 Konstruktioner i området.....	35
6.3.1 Teletunneln.....	35
6.3.2 Tätskärmen.....	35
6.3.3 Lakvattenledningar.....	36
6.3.4 Ytvattenledningar.....	38
6.4 Pågående verksamhet.....	38
6.4.2 Täckningsarbeten.....	38
6.4.2 Kontrollprogrammet.....	39

7	Risakanalys	41
7.1	Ytvatten.....	41
7.1.1	Avrinningsområdets östra sida.....	41
7.1.2	Avrinningsområdets södra sida.....	41
7.2	Grundvatten.....	41
7.2.1	Berggrunden och jordarter under deponin.....	41
7.3	Konstruktioner i området.....	42
7.3.1	Teletunneln.....	42
7.3.2	Tätskärmen.....	42
7.3.3	Lakvattenledningar.....	42
7.3.4	Ytvattenledningar.....	43
7.4	Pågående verksamhet i deponiområdet.....	43
7.4.1	Täckningsarbeten.....	43
7.4.2	Kontrollprogrammet.....	43
7.5	Riskberäkning.....	43
7.6	Konsekvenskostnader.....	44
7.7	Spridningsvägar.....	45
7.8	Händelseträäd 1.....	46
7.9	Händelseträäd 2.....	48
7.10	Händelseträäd 3.....	50
7.11	Sannolikhetsberäkning.....	52
7.12	Osäkerhetshantering och känslighetsanalys.....	52
7.13	Resultat av riskkostnadsberäkningar.....	53
8	Ris kvärdering	55
8.1	Ytvatten.....	55
8.1.1	Avrinningsområdets östra sida.....	55
8.1.2	Avrinningsområdets södra sida.....	55
8.2	Grundvatten.....	56
8.2.1	Berggrund och jordarter.....	56
8.3	Konstruktioner i området.....	56
8.3.1	Teletunneln.....	56
8.3.2	Tätskärmen.....	56
8.3.3	Lakvattenledningar.....	57
8.3.4	Ytvattenledningar.....	57
8.4	Pågående verksamheter i deponiområdet.....	57
8.4.1	Täckningsarbeten.....	57
8.4.2	Kontrollprogrammet.....	58
8.5	Känslighetsanalys.....	58
9	Diskussion	59
9.1	Ris kanalys som metod.....	59
9.2	Varför stiger grundvattennivåerna på Brudare mossen.....	60
9.3	En sprickakvifer eller flera.....	60
9.4	Jordlagrens transportförmåga mot Delsjön.....	60
9.5	Höjda halter av kadmium.....	60
10	Slutsatser av riskhanteringen	61
10.1	Riskidentifiering, slutsatser.....	61
10.2	Ris kanalys, slutsatser.....	61
10.3	Ris kvärdering, slutsatser.....	61
10.3.1	Förslag på skyddsåtgärder i södra deponiområdet.....	62
10.3.2	Förslag på skyddsåtgärder i marken.....	62
10.3.3	Generella skyddsåtgärder.....	62
11	Förslag på fortsatta studier	63
11.1	Deponiproblematiken.....	63
11.2	Förslag som rör lakvattenspridningen.....	63
12	Referenser	64
12.1	Publicerade källor.....	64
12.2	Muntliga källor.....	65
12.3	Kartor.....	65



Brudaremossen, strövområde eller riskområde? Foto: A Fersters

Förord

Examensarbetet

Studenter som söker lämpliga frågeställningar för en examensuppsats har ofta två huvudvägar att följa. En väg är mer grundforskningsinriktad och finns vid Universitetens institutioner. Den andra leder ut till samhällets företag och organisationer mot mera tillämpade problem. Detta arbete är resultatet av den senare vägen. Efter en sökperiod utanför universitetet etablerades av en händelse kontakter med Kretsloppskontoret rörande lakvattenfrågor på Brudaremossen.

Riskanalys visade sig vara en tänkbart angreppssätt som kommunen inte provat tidigare i dessa sammanhang. Efter att sakkunniga handledare tillfrågats framkom det att det var möjligt att göra en riskanalys som examensarbete med den kunskap jag inhämtat på Universitetets geovetarprogram.

Studien utgör ett examensarbete om 20 poäng som avslutar geovetarprogrammet vid GÖTEBORGS UNIVERSITET. Arbetet har utförts under 2001 och 2002 inom ämnet naturgeografi med inriktning mot riskanalys, hydrogeologi samt GIS-modellering.

Handledare för projektet var docent Olov Holmstrand och docent Lars Rosén, *Scandiaconsult Sverige AB*, på uppdrag av *Kretsloppskontoret*, Göteborgs stad. *Kretsloppskontorets* kontaktpersoner var Börje Löfgren, Agneta Sander och Elisabeth Porse. Handledare från Göteborgs Universitet, *inst. för Naturgeografi* var universitetslektor lektor Jon Norin.

Tack!

Ett stort tack till mina handledare OLOV HOLMSTRAND och LARS ROSÉN samt JON NORIN och *KRETSLOPPSKONTORET* för visat tålamod, träget bistånd och trevlig uppmuntran under projektet.

Tack även till civilingenjör OLOF BERGSTEDT GÖTEBORGS VA-VERK, civilingenjör ULF MÜHLENBOCK, *AQUA CANALE*, GÖTEBORG, och geokonsult ANDERS BLOM, *SWECOBOLAGEN*, *VBB VIAK AB* för givande och informativa pratstunder som bidragit till projektets genomförande. Tack även till lektorerna GUSTAV LIND och LENNART BJÖRKLUND och JAN BROUZELL, *INST. FÖR GEOVETENSKAPER*, för lån av geofysikutrustning, programvaror samt korrektur.

Vidare vill jag passa på att tacka kurskamraterna CHRISTINA NILSSON, GLENN BARK och JOAKIM SANDSTRÖM på *INST. FÖR GEOVETENSKAPER* som bistått vid rapportskrivning och undersökningar i fält samt tolkning av geofysikdata.

Sist men inte minst, en eloge till min gode vän, trogne hajkföljeslagare och tillika språkgeni ANDERS KARLSSON, *KARLSSONS SPRÅKSERVICE AB* som aktivt assisterat vid slutförandet av manuskriptet.

1 Inledning

Utsläpp av förorenat lakvatten från avfallsdeponier i Sverige utgör ett hot mot yt- och grundvattentäkterna. Cirka 50 % av det kommunalt producerade dricksvattnet kommer från ytvatten, 25 % från grundvatten och resterande 25 % från konstgjort grundvatten genom infiltration av ytvatten. De allvarliga konsekvenser för vattenförsörjningen som utsläpp av förorenat lakvatten kan leda till har medfört att behovet av skyddsåtgärder för lakvattenläckage uppmärksammats alltmer under senare år. Det är främst de större städerna, bl.a. Stockholm och Göteborg som utnyttjar ytvatten. Delsjöarna har sedan 1870-talet utgjort vattentäkt för Göteborg. 1967 hade man byggt klart en tunnel som leder vatten från Göta älv till Delsjöarna för att långsiktigt lösa renvattenproduktionen för kommunen.

Brudaremassens deponi ligger ca 750 m från Delsjöarna. Här har alla avfallsslag lagts upp tämligen okontrollerat under en period av 40 år. Dokumentationen av deponeringsverksamheten på Brudaremassen är bristfällig och sammansättningen av sopmassorna är oklar.

Den geologiska och hydrologiska situationen i området är komplicerad och inte helt utredd och osäkerheten är därför stor för flera av de processer som styr grund- och lakvattenbildning. Under senare tid har en rad undersökningar och åtgärder genomförts på Brudaremassen främst syftande till att behandla och minska lakvattenbildningen. Skyddsåtgärder på avfallsdeponier är vanligen förknippade med höga kostnader, vilket innebär att det ur ett samhällsekonomiskt perspektiv är angeläget att de åtgärder som utförs är effektiva och genomförs där de gör störst nytta.

Vissa åtgärder för att minska föroreningsriskerna för Delsjöarna har genomförts. Bland annat har täckning av deponin genomförts, ett uppsamlingssystem för lakvatten har anlagts och en flödesbarriär i form av en betongskärm har anlagts mellan deponin och Delsjöarna. Kretsloppskontoret är idag ansvarigt för miljöskyddsåtgärder på nedlagda deponier belägna på kommunal mark i Göteborg. På grund av Delsjöarnas betydelse för vattenförsörjningen i Göteborg och deponins läge är det angeläget att öka förståelsen kring huruvida ytterligare åtgärder är nödvändiga.

När det gäller riskanalyser av avfallsupplag i Sverige har olika former av inventeringar och översiktliga riskbedömningar genomförts. Under första hälften av 80-talet gjorde flertalet kommuner någon form av översiktlig inventering av sina gamla avfallsupplag. Närmare 4 000 objekt identifierades [Ström K, 1992]. En olämplig användning inom eller i anslutning till dessa anläggningar kunde medföra ökade risker för människor och miljö. Det fanns därför uppenbara behov av att utveckla kunskapen om de gamla upplagen så att de från miljösynpunkt besvärligaste upplagen kunde åtgärdas på lämpligt sätt.

Naturvårdsverket engagerade sig tidigt i problematiken och bidrog till finansieringen av två projekt rörande inventering och riskklassning av äldre avfallsupplag. Det ena projektet initierades av Växjö kommun genom dess gatukontor och det andra av länsstyrelsen i Östergötlands län. Växjömodellen beskriver ett brett tillvägagångssätt medan östgötametodikerna utgör ett exempel på ett förenklat förfarande där tyngdpunkten läggs på förutsättningarna för spridningarna av lakvatten etc. [Naturvårdsverket, 1990. Rapport 3859].

Naturvårdsverket fick 1990 i uppdrag att planera för åtgärder för efterbehandling och sanering av förorenade områden. En branschkartläggning genomfördes 1992 - 1994 för att identifiera de största och allvarligaste områdena/branscherna i landet [Naturvårdsverket, 1999, rapport 4918].

Denna byggde på befintligt underlag och visade att de flesta områden inte hade undersökts i fält. Branschkartläggningen behövde kompletteras. För ändamålet behövde en enhetlig metodik utvecklas med syfte att möjliggöra riskbedömningar med rimlig säkerhet. Genom att tillämpa en enhetlig metodik kunde objekt jämföras i samband med prioritering av fortsatta undersökningar och åtgärder samt vid beslut om miljöriskområden.

Arbetet var klart 1996, och metoden kallades ”metodik för inventering av förorenade områden” (MIFO), och tillämpas idag vid inventeringar [Naturvårdsverket, 1999, rapport 4918]

Inventeringen delas i huvudsak upp i två faser. I fas 1 studeras de enskilda objekten och riskklassas preliminärt. Riskklassningen grundar sig på vilka kemikalier som använts, verksamhetens omfattning osv. De verksamheter som anses ha de största riskerna, exempelvis riskklass 1 och 2, undersöks ytterligare i fas 2. I fas 2 tas prover på misstänkta objekt för att kontrollera om dessa är förorenade eller inte. De områden där man också finner tecken på markförorening undersöks ytterligare eller delas in i olika riskklasser. De områden med allvarliga markföroreningar går vidare till den sista fasen där lämpliga åtgärder sätts in.

Brudaremossen har inte varit föremål för riskklassning enligt någon av ovan nämnda metoder. Däremot ingick Brudaremossen redan 1987 i en riskklassificering. Då gjordes en hydrogeologisk utvärdering av elva avfallsupplag inom Göteborgs kommun där Brudaremossen ingick och studien skall betraktas som en tidig riskanalys. Här användes ett nytt klassificeringssystem där alla typer av läckage från alla avfallsupplagen kunde utvärderas, klassas och jämföras med varandra. Brudaremossen bedömdes som allvarlig på grund av dess storlek och läge, där kraven på den geologiska barriären inte uppfylldes. Situationens allvarlighet bedömdes som hög där täckning av avfallet och förhindrande av spridning var åtgärder som angavs som angelägna [Rosén, 1988].

I avsikt att få en mera heltäckande bild över risksituationen vid Brudaremossen med avseende på Delsjöarna har en fördjupad riskanalys genomförts. Huvudunderlaget till analysen kommer främst från tidigare undersökningar utförda på Brudaremossen. Genom att systematiskt behandla informationen har en helhetsbedömning av den totala risksituationen deponin utövar på sitt största skyddsobjekt kunnat göras. Analysen har omfattat ekonomisk värdering av risker i syfte att möjliggöra identifiering av ekonomiskt rimliga skyddsåtgärder. Eftersom någon liknande studie i Sverige inte kunnat identifieras, utgör det föreliggande arbetet en pilotstudie inom riskhantering vid avfallsdeponier i Sverige.

Metodiken som använts är klassisk inom riskhantering och beslutsanalys och den redogörs mera ingående i kapitel 2. Bedömningarna av riskerna kan inte ses som schabloner för andra deponier då beslutsunderlaget är frampreparerat ur material som strängt rör Brudaremossen. Däremot kan ramverket för analysen och kategoriseringen av identifierade riskkällor och bakomliggande processer vara till stöd vid framtida liknande riskstudier på andra deponier. Under arbetet bedrevs även en del egna undersökningar på deponiområdet syftande att reducera några av de stora osäkerheter som finns rörande den geohydrologiska situationen vid Brudaremossen. Dessa undersökningar var inte nödvändiga men var möjliga att utföra parallellt med riskhanteringsarbetet och gav värdefull information för bedömning av osäkerheter. Resultaten utgör en vägledning till uppdragsgivaren för de i framtiden ekonomiskt mest rimliga satsningarna på riskreducerande åtgärder på Brudaremossen.

Giltigheten av resultaten kan endast kontrolleras genom upprepade simuleringar av identifierade händelseförlopp som kan leda till skadlig påverkan och kan först därefter utvärderas. Därigenom skulle olika bedömningar och tolkningar av det befintliga underlagsmaterialet kunna jämföras och metodikens känslighet för olika användare kunna analyseras. Detta skulle också bidra till ett säkrare beslutsunderlag kring deponins framtida hantering.

1.1 Syfte

Mot bakgrund av de inledningsvis beskrivna förhållandena har Kretsloppskontoret framkommit med önskemål om att klarlägga riskerna för främst lakvattenutsläpp från Brudaremossen. Riskanalys är ett allt vanligare hjälpmedel för att underlätta valet av rätt riskreducerande åtgärd. Genom en kvantitativ riskanalys kan effektiviteten hos olika åtgärder jämföras, t ex olika konstruktioner för att minska förorenings-spridning, planering av saneringsinsatser och alternativ vattenförsörjning. Kretsloppskontoret är idag ansvarigt för miljöskyddsåtgärder på nedlagda deponier belägna på kommunal mark i Göteborg.

Syftet med den riskanalys som beskrivs i arbetet har varit att:

- strukturera och beskriva ett riskbaserat beslutsverktyg med möjlighet att hantera komplexa problemställningar där flera händelser är kopplade till varandra och där flera av de ingående faktorerna är osäkra.
- identifiera huvudsakliga åtgärdsalternativ/strategier.
- jämföra nyttan mellan åtgärdsalternativen och prioritera mellan dessa.
- skapa underlag för att diskutera risker och möjliga åtgärder med berörda intressenter och allmänhet.
- analysera känsligheten i slutresultaten för förändringar i ingångsvärdena till riskanalysen.

1.2 Arbetets omfattning

Omfattningen av riskanalysen måste av tids- och resursskäl begränsas. Efter en inledande riskidentifikation och därpå följande utvärdering med uppdragsgivaren bedömdes risksituationen mellan Brudaremossen och Delsjön vara av särskilt intresse för en mera ingående analys och rimlig att slutföra på avsatt tid.

Analysen bedömdes motiverad eftersom:

- Delsjöns vattentäkt är av stort skyddsvärde.
- Allmänhetens och VA-verkets låga tolerans av föroreningar i Delsjön.
- Faktaunderlaget för området bedömdes tillräckligt för en kvantitativ riskanalys.

Huvudsakliga frågeställningar i arbetet var följande:

- Hur ser den sammantagna lakvattensituationen ut för södra delen av deponiområdet?
- Hur stora är riskerna att Delsjöarna skall förorenas av lakvatten från deponin?
- Hur lång är tid åtgår för att åtgärda en olycka med bräddande lakvatten vid södra delen av deponiområdet?

Riskanalysen berör endast risker för förorenings-spridning via grund- och ytvattenströmningar från Brudaremossens deponiområde mot Delsjöarna.

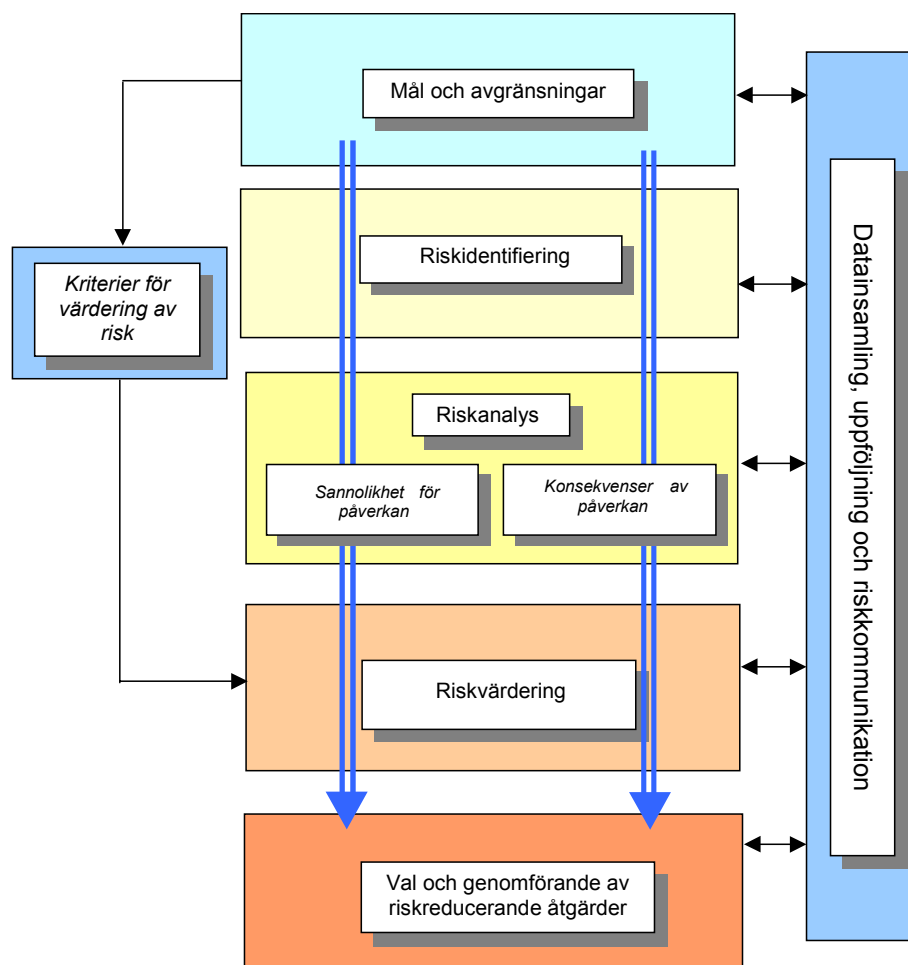
2 Riskhantering allmänt

2.1 Inledning

Avsnittet är baserat på rapporten *Risikanalyser för att värdera hot mot vattentäkter* [Rosén L, 2000]

Med *Riskhantering* avses hela det arbete som syftar till att förebygga oönskade händelser och begränsa dess skadeverkningar. Riskhantering kan utföras på flera sätt. Den bör dock alltid ske i form av en strukturerad och systematisk process under ständig utveckling. Riskhantering bör innefatta hela kedjan, från definition av mål och avgränsningar, via riskidentifiering och analys av risker till värdering av risk, genomförande av riskreducerande åtgärder samt uppföljning och erfarenhetsåterföring (fig. 1).

Risikanalyser är således en del av den mer omfattande riskhanteringsprocessen. I regel låter man risikanalysen även omfatta momentet riskidentifiering. I denna studie behandlas de emellertid var för sig.

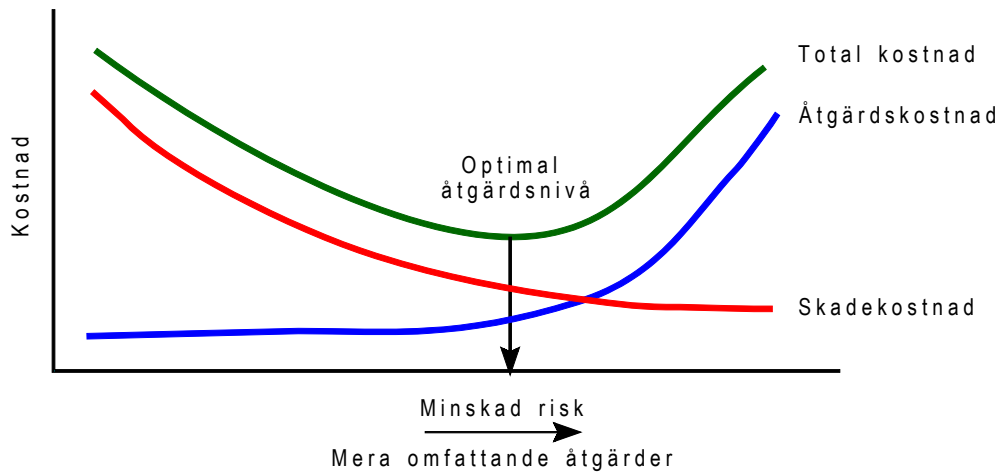


Figur 1. Riskhanteringsprocessen (efter Räddningsverket, 2000 och Calow 1998).

Oönskade händelser sker av olika anledningar och leder till olika typer av skador. Gemensamt är att de ofta betraktas som startpunkten i en händelsekedja. I denna kedja söker vi mönster och letar efter möjligheter att genomföra förändringar för att förebygga dessa händelser och mildra deras skadeverkningar. Exempel på oönskade händelser kan vara olycksartade utsläpp av farliga ämnen eller okontrollerad spridning av lakvatten från ett avfallsupplag. Riskhantering är processen för att bevaka förändringar i hotbild samt jämföra, föreslå och genomföra åtgärder som syftar till att minska riskerna.

Vissa typer av oönskade händelser är förknippade med höga kostnader för samhället i form av

skada på miljö, hälsa och egendom. Att förebygga dessa händelser och deras skadeverkningar innebär att riskerna minskar med lägre skadekostnader som följd. Förebyggande arbete är därför många gånger lönsamt ur ett samhällsekonomiskt perspektiv. Det finns emellertid en gräns när ytterligare åtgärder blir alltför kostsamma. För att riskhanteringsprocessen skall utnyttja tillgängliga resurser på bästa sätt, bör det övergripande syftet i riskhanteringen hela tiden vara att finna den s.k. optimala åtgärdsnivån (fig. 2). Den optimala åtgärdsnivån anses vanligen vara där summan av åtgärds-kostnader och skadekostnader, dvs. totalkostnaden, är lägst.



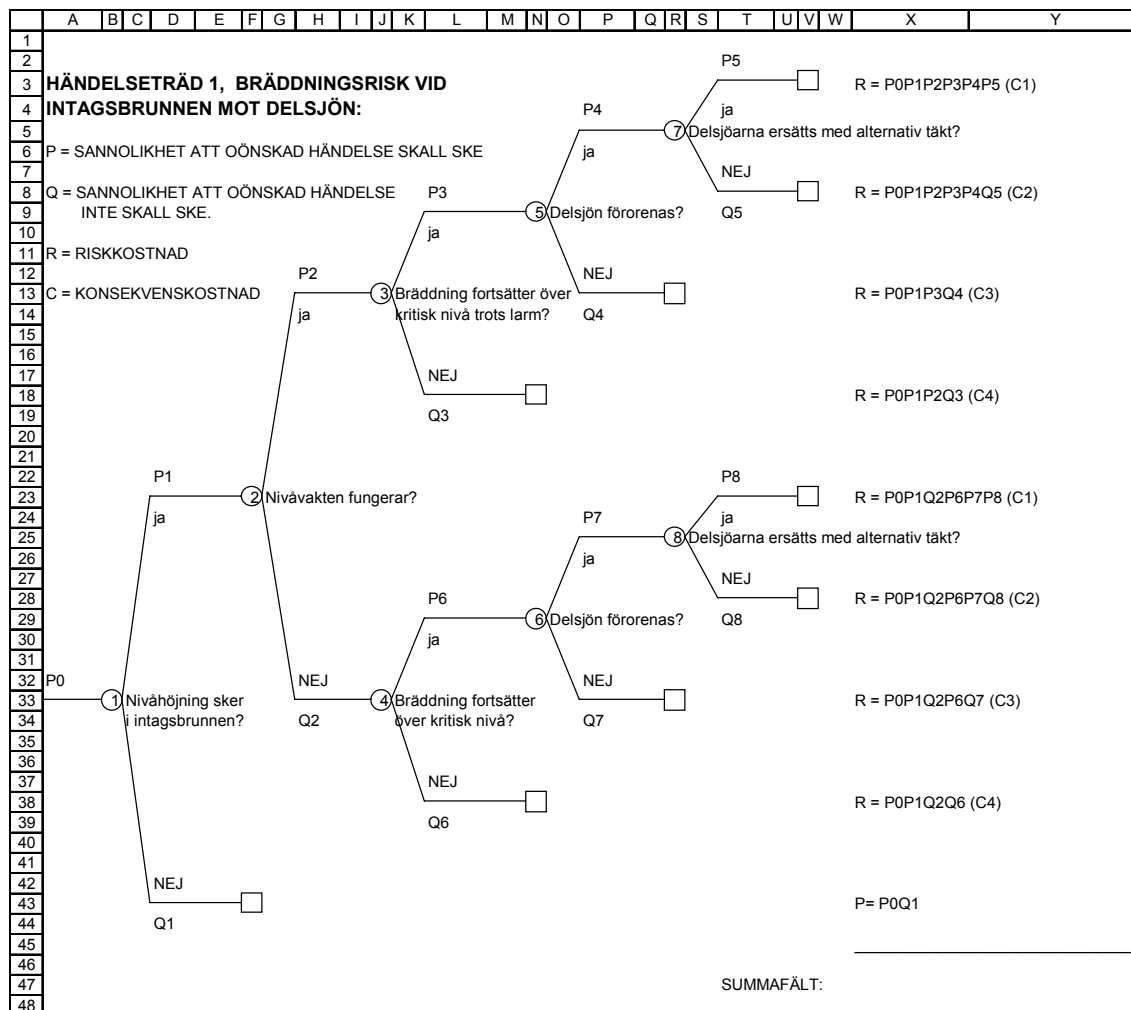
Figur 2. Sambandet mellan åtgärds-kostnad, skadekostnad och optimal åtgärdsnivå i riskhanteringsprocessen.

2.2 Riskdefinition

Riskbegreppet brukar normalt definieras som en sammanvägning eller produkt av sannolikheten (P) för oönskad händelse och konsekvensen (C) av en sådan olycka:

$$R = P \times C$$

I mer komplicerade händelseförlopp som leder till en oönskad händelse utlöses underlättas ibland arbetet med hjälp av händelsetråd. Här kan man utläsa sambanden mellan olika händelser som påverkar risken. I detta arbete har händelsetråd visat sig nödvändigt för att beräkna del- och totalrisker (fig. 3).



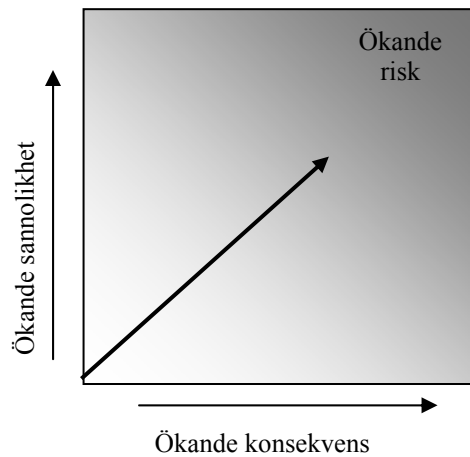
Figur 3. Schematiskt händelsetråd för beräkning av den totala riskkostnaden

Det finns två typer av punkter indikerade:

- cirklar, vilka betecknar att en specifik händelse inträffar eller ej med en viss sannolikhet.
- kvadrater, vilka betecknar konsekvensen av en händelse.

I händelsetrådet betecknas sannolikheten för att den negativa händelsen inte skall inträffa med $Q (=1 - P)$. Vid varje konsekvenspunkt (kvadrat) i riskträdet finns respektive del av den totala risken beskriven med en formel.

I fig. 4 ges en schematisk beskrivning av riskbegreppet i form av en s.k. riskmatris.

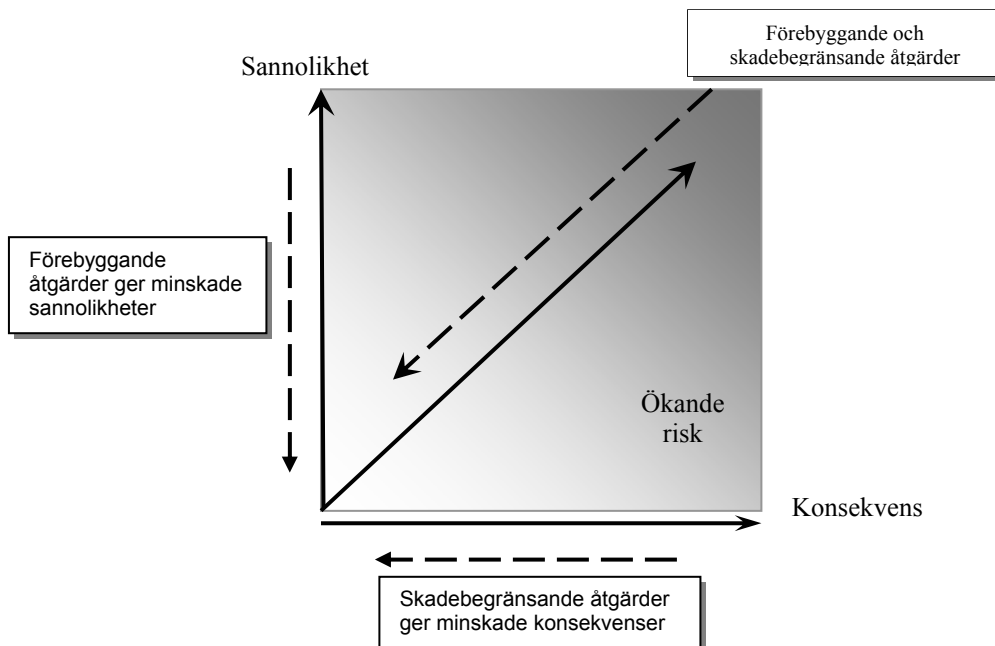


Figur 4. Riskmatris.

Riskbegreppet enligt definitionen ovan implicerar att det är viktigt att både sannolikhet och konsekvens beaktas för att kunna genomföra ett väl fungerande arbete med riskhantering.

Riskreducerande åtgärder

Riskbegreppet omfattar som nämnts av två delkomponenter: *sannolikhet* och *konsekvens* av olycka. För att minska risken kan därmed åtgärder genomföras som är *förebyggande* och/eller *skadebegränsande*. De förebyggande åtgärderna leder till minskad sannolikhet för olycka, medan de skadebegränsande åtgärderna leder till minskade konsekvenser (fig. 5).



Figur 5. Riskreduktion kan åstadkommas genom olycksförebyggande och/eller skadebegränsande åtgärder.

2.3 Definition av riskanalys

En klassisk definition av riskanalys är den som beskriver en process med avsikt att försäkra att ett systems säkerhetslösningar och dess kostnader står i proportion till de risker som systemet kan tänkas utsättas för [Borg, 1997]. Med Riskanalys menas här en systematisk analys av hotet och den risk dessa hot representerar mot ett skyddsobjekt, exempelvis ett datasystem, en vattentäkt, transport av farligt gods eller en verksamhet. I en riskanalys så behandlar man händelser som både har inträffat och registrerats och händelser som kan tänkas hända. Man kan säga att en sådan analys är en studie av risken då något sker [Pfleeger, 1997]. Man vill definiera de hot som en verksamhet möter. En ekonomiskt inriktad riskanalys bör omfatta [Freese, 1993]:

- Att identifiera väsentliga interna och externa hot som verksamheten kan bli utsatt för. Exempelvis förlorade intäkter, avbrott i eller skada på fysiska enheter, skada, sjukdom etc.
- Värdera sannolikheten och skadekostnaden för dessa händelser.
- Värdera kostnaderna och fördelarna med att reducera eller eliminera riskerna.
- Analysera existerande reserv- och katastrofplaner och värdera i vilken grad dessa täcker de händelser som företaget kan bli utsatt för.
- Att utarbeta en handlingsplan som ska skydda företags/verksamhetens värden till en rimlig ekonomisk insats.

Målet med riskanalys är att ge verksamheten en uppfattning om vilken säkerhetsnivå man befinner sig på, vilka brister som måste åtgärdas samt i vilken prioritetsordning detta ska ske. Omfattningen av analysen måste värderas i varje enskild situation så att analysen inte blir för kostsam, man bör alltså undvika både en för hög och för låg säkerhetsnivå.

2.4 Motiv till riskanalys

- *Öka medvetenheten.* Diskussionen kring säkerhet kan öka den generella nivån av intresse och deltagandet bland medarbetarna.
- *Identifiera tillgångar, osäkerheter och kontrollanordningar.* Vissa företag är omedvetna om känsligheten som är förknippad med deras verksamheter. En systematisk analys åstadkommer en omfattande lista av tillgångarna och dess risker.
- *Identifiera hot och risker.* Få fram trovärdig information.
- *Förbättra beslutsunderlag.* Kontroller och skyddsverktyg reducerar produktiviteten genom ökad komplexitet för användaren. Vissa kontroller kan inte rättfärdigas ur perspektivet av det skydd som de erbjuder samtidigt så är vissa risker så allvarliga att man hela tiden söker efter nya och bättre skyddsverktyg. Graden av allvar i risken påverkar önskan av skyddsverktyg.
- *Bevisa investeringarna i säkerhetskostnaderna.* Vissa säkerhetsåtgärder är mycket kostsamma utan att ha uppenbara fördelar. En riskanalys kan hjälpa till att identifiera delar i verksamheten som har behovet av stora säkerhetsmekanismer. Det är ofta användbart att identifiera de mycket större riskerna som uppstår då man inte investerar i säkerhet. [Pfleeger, 1997].

3 Områdesbeskrivning

3.1 Belägenhet

Brudaremossen ligger i Delsjöns naturreservat (fig. 6). Deponin är belägen på ca +100 m¹⁾ höjd och avgränsas i väster och i öster av bergryggar. Söderut, mot Stora Delsjön ca +77 m, går en 20 m bred ravin. Norrut, mot Härlanda tjärn ca +50 m, öppnar sig en bredare dalgång. Tippområdet vilar till ca två tredjedelar på en f.d. mosse, vilket indikerar att underlaget är ganska tätt. Resterande tredjedel ligger på berg. Deponiområdet omfattar ca 25 ha och tippmassorna är täckta med lera. Vegetationen är relativt sparsam och består huvudsakligen av gräs och en del buskar.



Figur. 6. Deponins placering i Delsjöreservatet. Karta från Göteborgs Stads hemsida.

¹ Samtliga förekommande höjder är angivna i Göteborgs höjdsystem.

3.2 Historik

Brudaremossen utnyttjades som deponeringsplats under åren 1938 till 1978. Fram till 1972 utgjorde den Göteborgs kommuns huvudtippningsplats. Samtliga typer av avfall har lagts upp här, dvs. hushållsavfall, avfall från byggnads-, industri-, kemi- och oljeindustrier. Dessutom har slam-, kadaveravfall samt schaktmassor deponerats. Volymuppgifterna är osäkra då ingen dokumentation av storlek eller sammansättning ägt rum. En grov uppskattning är 15 miljoner m³. Tippområdet är ca 25 ha stort.

Tippmassorna har deponerats tämligen okontrollerat utan separation av olika avfallsslag. Under senare tid (1970) deponerades kemiskt avfall i laguner i områdets mittersta västra del. Tungmetallhaltigt slam deponerades i gropar utförda för ändamålet. Dessa gropar finns avbildade på en äldre karta i områdets sydöstra delar.

Från november 1972 deponerades endast icke-brännbart avfall eftersom Sävenäs avfallsförbränningsanläggning tagits i bruk. Då ugnarna i Sävenäs ganska snart havererade och fick renoveras tilläts deponering av hushållsavfall under en begränsad tid efter 1972.

Brudaremossen ligger inom Delsjöreservatet som har stort rekreativvärde med promenad-, löp- och ridstigar. En skidanläggning är också uppförd på själva tippområdet. Brudaremossens läge är ogynnsamt med tanke på närheten till Delsjöarna som utgör råvattentäkt för Göteborg.

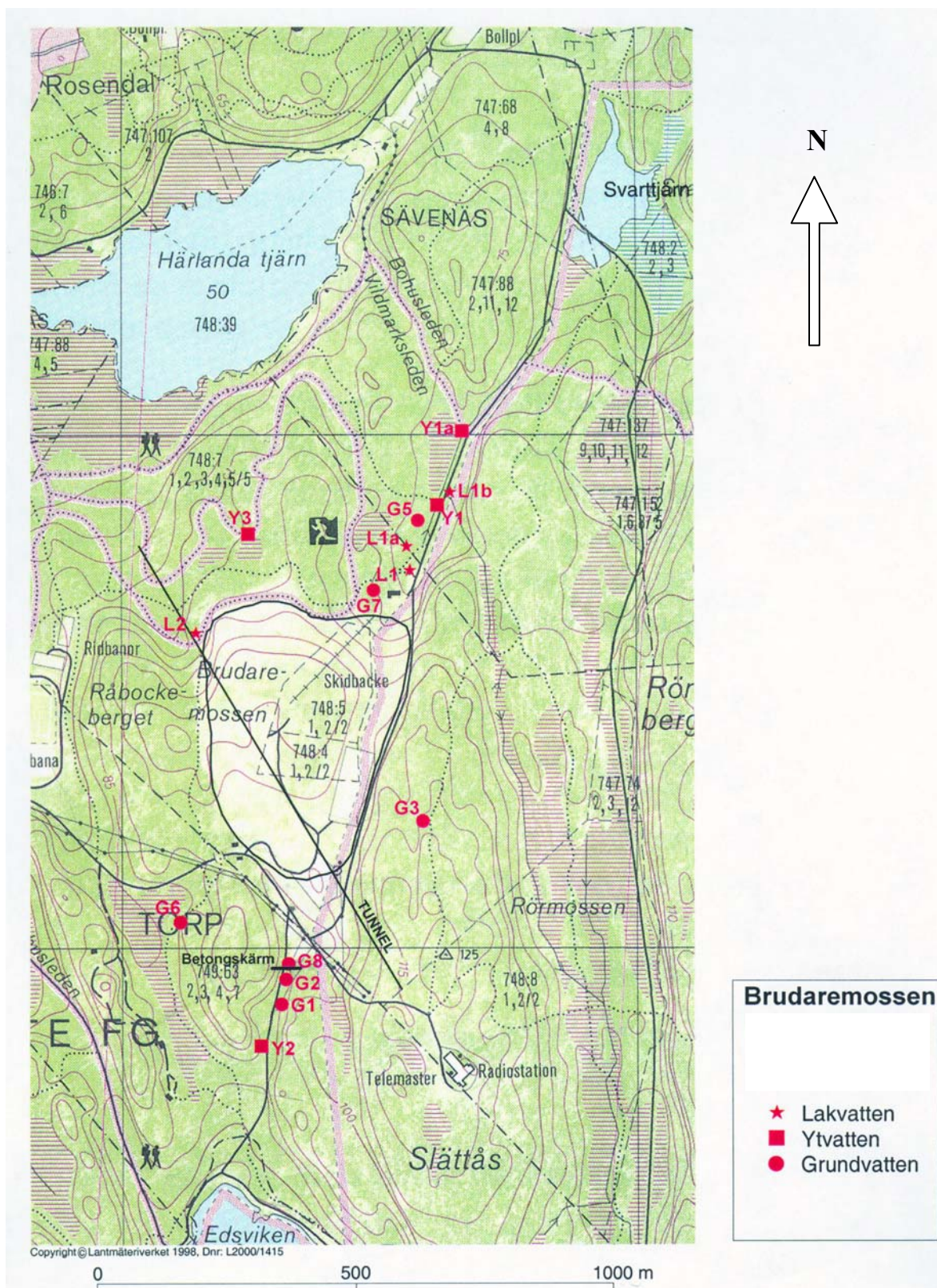
Brudaremossen har sin naturliga avrinning norrut via Finngösabäcken till Svartjärn som ligger inom Sävåns avrinningsområde. Från tippens tillkomst till 1960-talet avdränerades tippområdet till Finngösabäcken. Genom tippens tillväxt uppstod en inre vattendelare som medförde avrinning även åt Delsjöarna (fig. 7).

På 1940-talet uppfördes en betongskärm i ravinen mot Delsjöarna. Syftet var att avskära lakvattnet åt detta håll. Betongskärmen är 17,1 m lång, 1 m bred och högst 1,4 m djup. Den har anlagts i ca 1 m brett och 1 m djupt bergschakt som sprängts fram. Enligt ritningarna skulle samtliga betongytor strykas två gånger med asfalt och muren skulle kringfyllas med väl stampad lera för att motverka läckage genom eller under skärmen [GÖTEBORGS STADS RENHÅLLNINGSVERK, 1941].

1962 anslöts tippens dräneringssystem till en kulvert som vid Roberthöjdsområdet anslöt till spillvattennätet och Partille kommuns avloppssystem. Från 1972 avleddes vattnet till Ryaverket. Eftersom tippens växt högre än den avskärande betongskärmen anlades ett dräneringssystem för lak- och ytvatten 1966–67 [NILSSON, 2001].

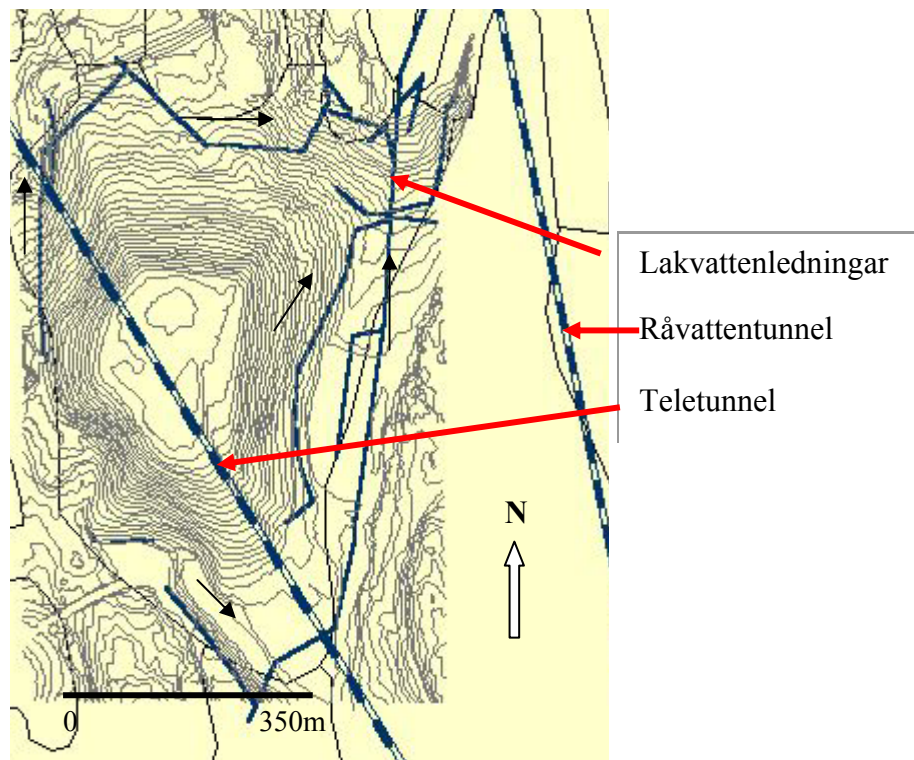
Efter en utredning [VIK AB, 1984] konstaterades att en tryckgradient bildats söderut innanför betongskärmen. 1985 utfördes markåtgärder i syfte att motverka detta tryck. Åtgärderna bestod främst i schaktningar för att mera entydigt styra grundvatten mot intagsbrunnen.

Efter det att området dränerats via ledning har lakvatten tillförts Finngösabäcken och Svartjärn genom bräddningar. I slutet av 1969 installerades en bräddavloppsbrunn nedströms Svartjärn som medgav lakvattentillföring på högst 10 l/s tillfördes ledningssystemet, överskottet skulle bräddas till Finngösabäcken [NILSSON, 2001]. Fram till 1988 då bräddställena pluggades har bräddningar skett till Finngösabäcken mellan tippområdet och Svartjärn.



Figur 7. Översiktskarta, SWECO VBB VIAK: Brudaremsens årsrapport, 2001.

Under tippområdet löper en teletunnel i berggrunden (fig. 8). Öster om tippområdet går råvattentunneln som utgör råvattenförbindelse mellan Göta Älv-Delsjöarna. Principen för vattentransporten från Göta Älv är att det vid intaget förbehandlade älvvattnet med självfall avleds genom en tunnel till en pumpstation i bergtrum invid Härlanda tjärn. Från pumpstationen uppfordras vattnet till Lilla Delsjön. Efter transitering av vattnet genom Lilla och Stora Delsjön avleds vattnet till vattenreningsverket i Lackarebäck med självfall likaledes i tunnel. Råvattentunneln sträcker nordvästligt och lakvattenledningen sträcker sig nordligt.



Figur 8. Kartskiss med några av konstruktionerna i deponiområdet utmärkta. [Nilsson, 2001].

Lakvattenledningen korsar över råvattentunneln ca 1 km norr om tippområdet. VA-verket uppmärksammade 1984 föroreningsrisker av lakvatten i råvattentunneln och begärde en utredning. Resultaten av utredningen visar entydigt att tryckförhållandena mellan råvattentunneln och omgivande grundvattenytor är högre i tunneln. Lakvattenläckage in i råvattentunneln bedömdes som uteslutna under normala förhållanden [VIAK AB, 1984]. Dräneringarna utgörs dels av en stam från söder till norr genom tippens östligaste sluttning, dels en ledning från betongskärmen i söder samt en längs områdets västligaste och norra del. Bildning och utströmning av lakvatten sker hela tiden inom tippområdet, vilket innebär att dräneringssystemet fordrar regelbunden tillsyn och fortlöpande underhåll.

Våren 1988 fann ornitologer oljeskadad fågel och förorenade gölar i mossen som vetter mot Härlanda tjärn norr om deponin. Efter att föroreningen konstaterats vara lakvatten från Brudare-mossen genomfördes efter samråd mellan Renhållningsverket, Länsstyrelsens miljövårdsenhet, Miljö- och hälsoskyddsförvaltningen, VA-verket samt Göteborg Fritid omfattande tättnings-, dränerings-, dikes- och ledningsarbeten under 1989 och 1990. Under 1991 lades ytterligare lera ut, främst på toppen och västra kanten av deponiområdet för att förbättra tätningen. Ungefär 50 % av deponiområdets totala yta var då försedd med tätning. Under 1992 - 94 lades ytterligare lera ut, främst på toppen och på östra sidan av deponin. Arbetet med att tätta deponin pågick mestadels under 1995. Sedan dess har ytterligare tätning inte utförts.

3.2.1 Kontrollprogram

För Brudaremossen gäller ett kontrollprogram fastställt av Länsstyrelsen 1989. Kontrollprogrammet syftar till att dokumentera deponeringsområdets utsläpp till Ryaverket samt påverkan på omgivningarna (fig. 9). Mätpunkterna för nuvarande kontrollprogram finns markerade på översiktskartan (fig. 7).

Programmet omfattar lak- grund- och ytvatten. Det är uppdelat i bas, special-, och biolog-program. Specialprogrammet används för en förundersökning samt ersätter vid behov det löpande basprogrammet. Basprogrammet omfattar relativt få mätningar. Visar mätningarna en markerad ökning av lakvattenpåverkan bör specialprogrammet träda in.



Figur 9. Ett av kontrollprogrammets undersökningsrör i jord (G1). Foto: A. Fersters

Det biologiska undersökningsprogrammet ger underlag för bedömning av förändringar av bottenfaunan orsakade av olika förändringar i föroreningsbelastningen. Provtplatser för det biologiska programmet är Finngösabäcken och Svartjärn. Provtagningen skall upprepas vart tredje år och inleddes 1989-90.

Kontrollprogrammets resultat skall fortlöpande utvärderas av huvudmannen. Efter varje provtagningstillfälle översänds analysresultat till Kretsloppsnämnden senast den 15 mars året efter det år undersökningen avser. Rapporten benämns årsrapport [enligt beslut fattat av Länsstyrelsen 1989-01-31, Göteborgs och Bohus län, Miljövårdsenheten).

Enligt årsrapporten för 2001 är den genomsnittligt uppmätta lakvattenmängden för åren 1994–2000 3,7 l/s, av detta är 0,4 l/s uppmätt i teletunneln och resterande från lakvattenledningen vid skidstugan. Ytvattenflödena är 0,7 l/s och har mätts upp på ett flertal punkter runt deponin (fig. 7).

Under 2000 upptäckte kontrollprogrammet svagt förhöjda halter av kadmium i bergörret G2 invid tätskärmen.

3.2.2 Lakvattenavledningen

Renhållningsverket färdigställde under 1996 anordningar för behandling av lakvatten från den nedlagda deponin i en våtmarksanläggning

Huvudledningen för lakvatten (600 mm), passerade tidigare under skidklubbens stuga. Ledningen är nu omlagd och försedd med en slam-/oljeavskiljare förlagd uppströms om den brunn som i nuvarande årsrapport benämnes L1 (fig. 7) och som står i förbindelse med ledning (225 mm, max. kapacitet 35 l/sek) som ansluter till kommunens spillvattenledning i Robertshöjd (ca 2 km lång, och därmed slutligen ansluter till avloppsreningsverket vid Rya). Den flödesmätning av lakvattnet som tidigare skedde i L1 har nu ersatts med en ny mätarbrunn. Slam-/oljeavskiljaren är försedd med stationär snabbkopplingsanslutning för slamsugarbil. Från slam-/oljeavskiljaren har en ny ledning lagts som mynnar i en lakvattendamm. På denna förbindelseledning har den nya mätarbrunnen utförts som ersättning för L1.

TV-filmning av lakvattenledningar skedde utmed ett flertal delsträckor under 2001.

Konditionen av rören bedömdes som acceptabel men sprickbildningar och järnutfällningar kunde fastställas på vissa sektioner. På några ledningssträckor kunde vidare fastslås att för stora ovanliggande laster vilade. Resultaten utreds för närvarande.

Under senare delen av 2001 inleddes arbeten med att ytterligare hindra ovidkommande dagvatten att nå lakvattenledningarna i södra deponiområdet.

3.2.3 Lakvattendammen

Den primära uppgiften för lakvattendammen är att utgöra magasin för att förhindra bräddning (fig. 10). Under vegetationsperioder avsågs tidigare sådant vatten att återpumpas till en planerad energigrödeplantering på den avslutade deponin. I uppströmsdelen av lakvattendammen finns en bräddavloppsbrunn med en anslutning till en pumpbrunn som avsågs att svara för nämnda återpumpning. Returpumpningen har i nuläget upphört.



Figur 10. Lakvattendammens övre del. Foto: A. Fersters

I nerströmsdelen av lakvattendammen finns ännu en bräddnings-/utloppsbrunn. Denna är ansluten till ledningen mot Robertshöjd. I lakvattendammen har växtlighet planterats för att i

möjligaste mån binda föroreningar i lakvattnet, främst kväve.

Nedströms lakvattendammen har en våtmarksanläggning iordningstälts, där tillfört vatten genom markjusteringar tvingas till ett meanderliknande genomlopp. Till denna våtmark anslöts ytvattendammen via ledning. Våtmarksområdet är i sin nedströmsdel ansluten till det befintliga dike som leder till Svarttjärn.

3.2.4 Uppsamlade av gas

Hela tippområdet försågs under 1996 med brunnar för uttag av gas. Under 1997 togs gasutvinningsanläggningen successivt i drift och trimmades in. Uppsamlad gas har sedan 1997 facklats av. Under 2000 facklades ca 824 000 m³ gas med en metanhalt av ca 42 %. Några speciella åtgärder för gasanläggningen gjordes inte under år 2000 och något speciellt planerades inte under 2001 års första del.

3.3 Geologisk beskrivning

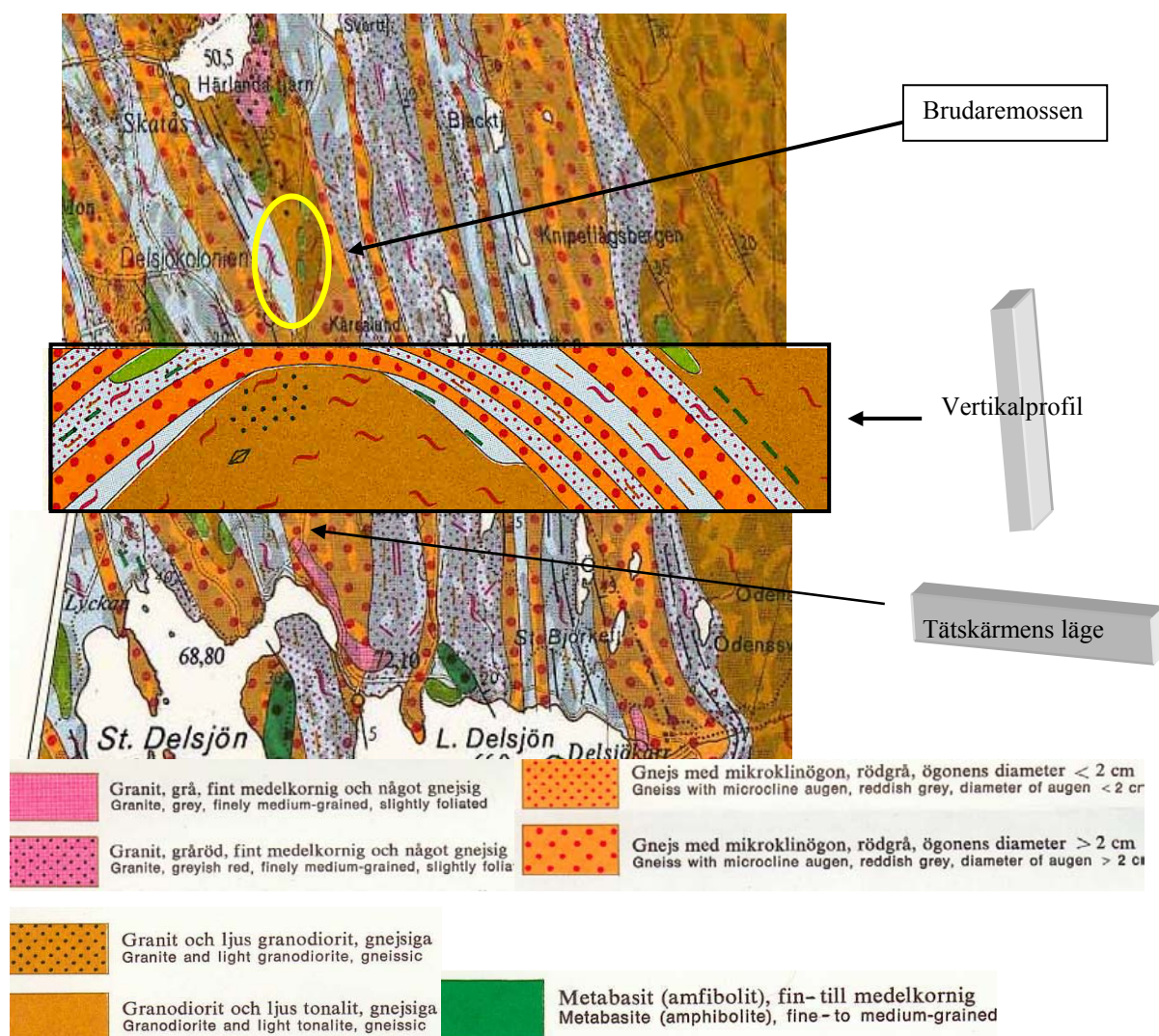
3.3.1 Jordarter

Jordarterna i området utgörs av morän, svallsand och organiska jordarter från kärr. Mot norr är jordarterna i ytan svallsand med varierande mäktighet som underlagras av morän. Berg i dagen förekommer. Åt söder är jordarten sandig morän med mäktigheten 1–4 m. Söder om deponin, ner mot Delsjön, leder en relativt smal nord-sydligt gående sänka i berget, delvis fylld med svallsand och sandig morän. Jordarternas genomsläpplighet varierar från god till låg [VIAK AB, 1984]

3.3.2 Berggrund

I Delsjöområdet utgörs berggrunden av ytbergarter bestående av fin till medelkornig, bandad gnejs samt även en del grov ögongnejs (fig.11).

Den sydvästsvenska gnejsregionen indelas i nord-sydligt orienterade bergartsprovinser. Ett genomgående drag hos områdets bergarter är deformationsgraden som skymmer bergarternas bildningsbetingelser. Huvudkaraktären för ögongnejs är de stora kalifältspatögonen (> 2 cm). Mellanmassan utgörs av plagioklas, kvarts, kalifältspat och biotit. Till berggrundskartan hör även en vertikal profil i Ö-V riktning som passats in med berggrundskartan (fig7).



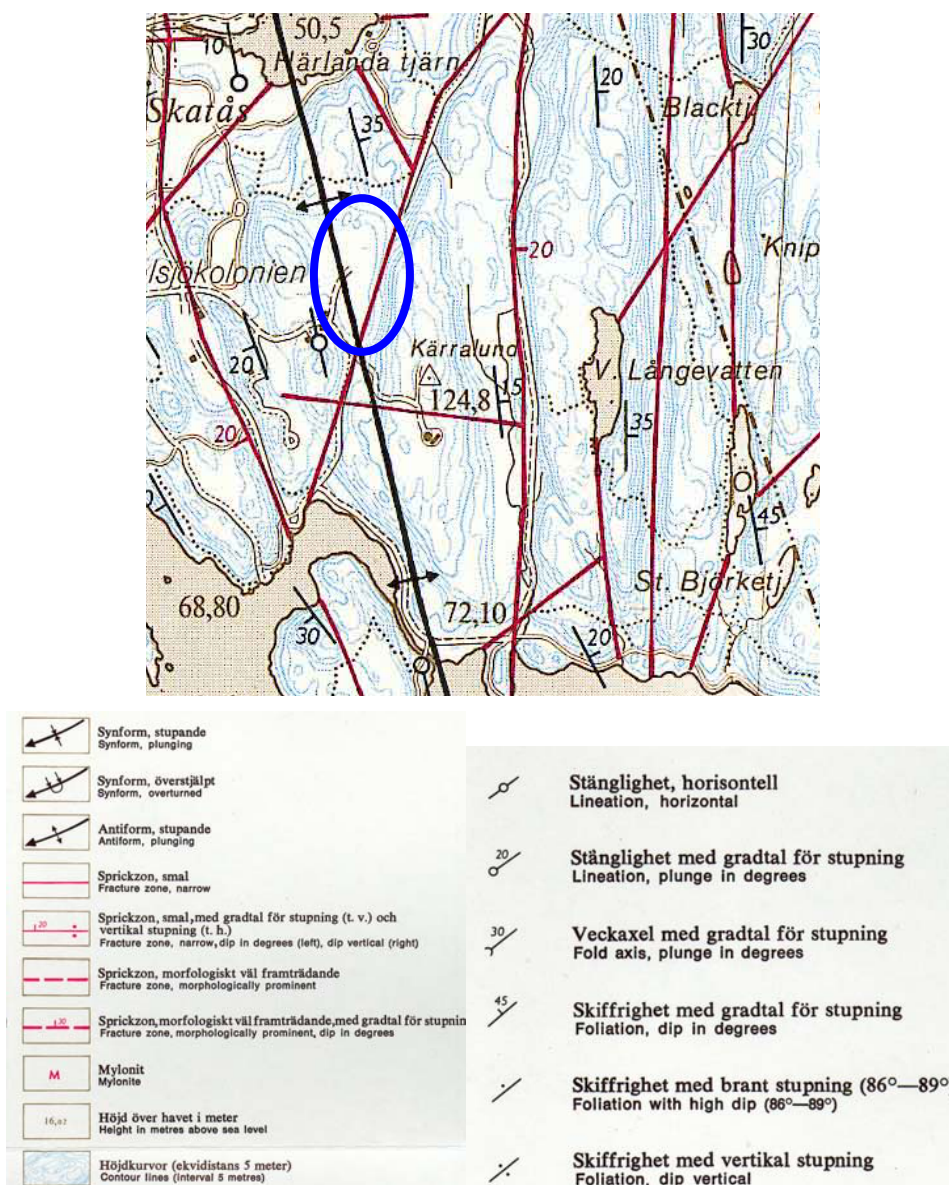
Figur 11. Avsnitt ur berggrundskartan och vertikalprofil, Berggrundskartan Göteborg SO, serie Af Nr 117, SGU 1978.

Profilen löper tvärs över den dalgång som finns mellan Brudaremossen och Delsjön. Profilen

avslöjar en domliknande veckstruktur med tydligt avgränsade bergartskontakter där gnejser dominerar. På många ställen inom det domliknande området finns även resistent partier av sammanhängande amfibolitiska (mörka) bergarter.

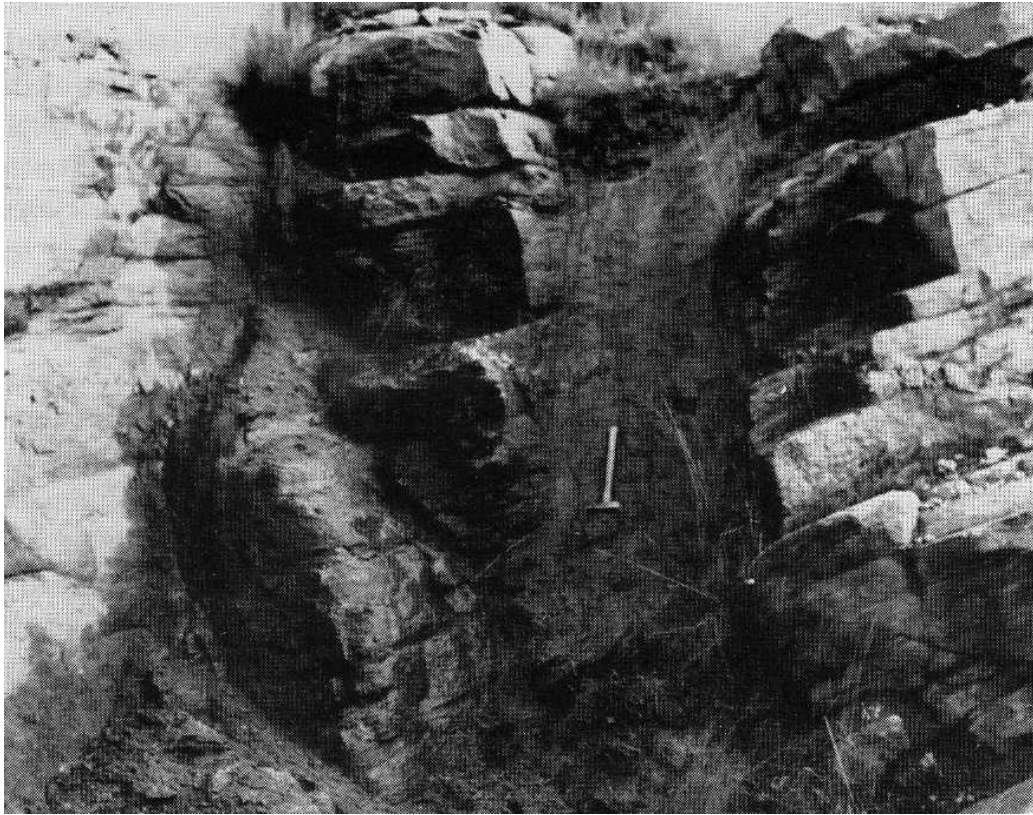
3.3.3 Den tektoniska kartans sprickmönster

Den tektoniska kartans sprickmönster (fig. 12) har i huvudsak tolkats från flygbilder. Dessutom redovisas iakttagelser både från markytan och bergtunnlar. Generell fältkontroll av sprickor har inte skett. Detta innebär att vissa markeringar kan sakna täckning i form av verkliga sprickor. Däremot är det helt klart att en stor mängd betydelsefulla sprickor av olika anledningar inte kommit med på den tektoniska kartan. Främst beror det på att huvuddelen av sprickmönstret frampreparerats av inlandsisen. Eftersom denna glidit fram över landskapet från nordöst-öst har sprickor och svaghetszoner med denna orientering följaktligen framträtt bäst.



Figur 12. Avsnitt ur strukturgeologiska kartan med deponins läge ringmarkerad, *Strukturgeologisk karta Göteborg SO, serie AfNr 117, SGU 1978*

Berggrunden är ganska sprickrik p.g.a. skiffrihet samt vinkelräta sprickytor mot skiffriheten. Sprickor och skjuvzoner löper i området i stort VNV-OSO. De har utbildats bäst i kalifältspatrika, glimmerfattiga och därför mekaniskt spröda bergarter. Bergmekaniskt är det viktigt att notera dessa sprickor ofta fyllts med lerrikt mineral bildat genom omvandling av sidostenen. Bredden av dessa lersprickor kan närma sig i 1 m (fig.13 a).

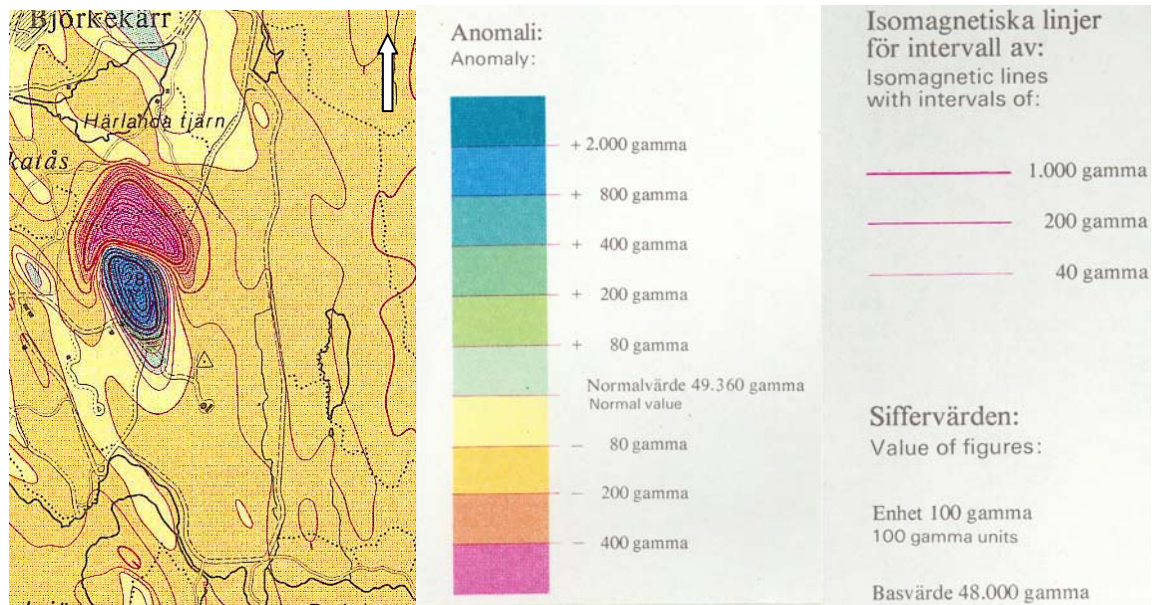


Figur 13 a. Brantstående ler- och grusfyllda sprickor. Bilden tagen nära Östra Sjukhuset, Göteborg. [Samuelsson, Beskrivning till berggrundskartan 1978, serie Af, SGU]

Studier av VNV-OSO-sprickor fyllda av både sandsten och lermineral visar entydigt att leromvandlingen är yngre än kambrium. Sprickorna har karaktären av tensionsprickor (till skillnad från t.ex. skjuvsprickor) och har öppnats vid flera tillfällen sedan bergskedjebildningen. Tension uppträder t.ex. där ursprungligen flackt liggande lager utsätts för veckning [SAMUELSSON, 1978]. Transporten av grundvatten förekommer huvudsakligen i bergets stora sprickor och särskilt där sprickorna är förenade i sprickzoner. Porositet i berget är generellt mycket låg och transporten kan därför vara snabb och fastläggningen obetydlig.

3.4.4 Den flygmagnetiska kartans huvuddrag

Med magnetiska metoder kan även svaghetszoner och spricksystem som inte kan identifieras från markytan lokaliseras. Magnetiska undersökningar kan utföras från marken eller från flygplan (fig. 13 b).



Figur 13 b. Avsnitt ur den flygmagnetiska kartan ,Flygmagnetiska kartan 7B Göteborg SO, serie Af, SGU 1977

Avsnittet ur den flygmagnetiska kartan visar svaga anomalier söder om Brudaremossen och skall tolkas med stor försiktighet. Graden av magnetiserbarhet minskar när graden av uppkrossning eller i berggrunden tilltar eller malminnehållet minskar och illustreras med ljusare färgtoner. Själva deponin som bland annat innehåller mycket metallavfall avbildas på kartan likt en stor magnet med en nord- och sydände tydligt avgränsad. Notera anomalistråken söder och norr om deponin.

3.5 Hydrologi

3.5.1 Lokala förhållanden

I Brudaremassens område följer grundvattennivån i allmänhet marknivån med en förskjutning i höjdområdena. I höjdområdena kan vattenytan återfinnas ned till 10 meter under markvattenytan. Åtminstone en punkt bryter detta mönster, G6, som är ett undersökningsrör i berg (se fig. 7). Grundvattennivån ligger i denna punkt ungefär 45 m under markytan. Även om röret G6 är beläget på en höjd kan inte den låga grundvattenytan enbart förklaras med detta. Tidigare studier pekar på att mätpunkten påverkas av det influensområde som ett inläckage i teletunneln bildar [Nilsson, 2001].

Enligt undersökningar omsätts det huvudsakliga berggrundvattnet i större skjuvzoner och i sprickor orienterade i öst-västliga tensionssprickor. Grundvattengradienten är i huvudsak riktad mot norr [SWECO VBB VIAK, 2001]. Gnejser dominerar i området och är normalt en lågt vattenförande bergart. Detta visade sig vara fallet vid arbetet med råvattentunneln på 60-talet utom i vissa avsnitt, bl.a. krosszonen vid Härlanda tjärn, där vatteninträngningen var betydande, ca 3000 l/min. Viss sänkning av vattenståndet i den intilliggande tjärnen kunde konstateras, innan tillfredställande tätning uppnåddes genom injektering [Ander, Samuelsson, 1968].

3.5.2 Brudaremassens avrinningsområde

Med Brudaremassens avrinningsområde (det område som avgränsas av en vattendelare) menas här det område som avvattnas mot deponin. Situationen kompliceras av den inre vattendelare på deponin som uppstått genom tippens tillväxt som medför avrinning även åt söder.

Avrinningsområdet har en yta av ca 33 ha. Området var ursprungligen en mosse som avvattnades åt norr genom Finngösabäcken mot Säveån. Området avgränsas i öster och väster av bergryggar. Åt söder begränsas området av en ca 20 m bred ravin (som är avskärmd genom betongskärmen). Åt norr öppnar sig en bredare dalgång. Området är högt beläget, ca +100 m medan Delsjöarna i söder ligger på ca +77 m och Härlanda tjärn i norr ligger på ca +50 m. Själva hjässan på deponin ligger på ca +130 m. De lakvattenledningar som löper i deponiområdet har som funktion att leda lakvatten norrut.

3.6 Yt- och lakvattenbildning

Tidigare utförda yt- och lakvattenmätningar:

Enligt gamla nivåmätningar 1967–69 utförda i lakvattenledningen vid L1b (fig. 7) före Robertshöjd avrann ca 115 000 m³ lakvatten per år från tippens vilket motsvarade ca 3,7 l/s. Samma flöden erhöles under tidsintervallet 1994-2000. [SWECO VBB VIAK AB, 2000].

Inläckage av vatten till en 500 meter lång sträcka i teletunneln under tippens skattades 1977 till 2 l/s, ca 65 000 m³ per år. Efter injekteringsarbete i tunneln minskade detta inläckage till dagens 0,4 l/s [VIAK, 1985].

Teoretiskt beräknade yt- och lakvattenmängder:

Vid en specifik avrinning (nederbörden minus evapotranspirationen) på 3100 m³/ha år, genereras teoretiskt ytvatten- samt nederbördsberoende lakvattenflöde upptill ca 102 000 m³/år (3100 m³ × 33 ha).

Beräkningar baserade på de inledningsvis utförda flödesmätningarna ger istället den sammanlagda yt- och lakvattenbildningen inom området i storleksordningen 160 000–180 000 m³/år (115 000 m³ + 65 000 m³). Härav dras slutsatsen att influensområdet avseende grundvattnet är sannolikt större än 33 ha, främst beroende på avsänkning av grundvattennivån i samband med teletunnelbygget.

Det är således rimligt att dräneringsvattnet för själva tippen är i storleksordningen 115 000 m³ (3100 m³ × ca 37 ha) per år samt att det i teletunneln inläckande vattnet till stor del härrör från grundvatten utanför själva tippområdet [SWECO VBB VIAK, 2001].

Dagens situation

Under 2000 var årsmedelnederbörden i området lägre än under 1999, 1171 mm respektive 1240 mm. Medelavrinningen för 2000 antas ha varit ca 3,7 l/s vid L1b baserat på vattenmätaren i L1a och manuella mätningar (fig. 7). Totalt inklusive läckaget till televerkstunneln, L2 (0,34 l/s), fås 4,1 l/s som årsmedelvärde för lakvatten från Brudaremossen under 2000. Detta motsvarar totalt 127 400 m³ varav 116 700 m³ avrinner via L1b (fig. 7).

Om årsnederbörden för 2000 var 386 000 m³/år (beräknad på 33 ha) utgör lakvattenproduktionen 33 % av årsnederbörden. Lakvatten och evapotranspiration står då för 83 % och resterande nederbörd avrinner som ytavrinning (s.k. Hortonsk ytavrinning) och grundvattenbildning [SWECO VBB VIAK, 2001].

Beräkningarna innefattar stora osäkerheter då de baseras på skattningar av nederbörd och evapotranspiration. Ovanstående teoretiska resonemang skall därför tolkas med försiktighet. Nyligen utförda vattenbalansberäkningar visar dock att den uppmätta lak- och ytvattenmängden är mindre än den framräknade, oavsett vilket avrinningsområde som väljs [Nilsson, 2001]. Det betyder att det sannolikt finns mer avrinnande vatten än vad lak- och ytvattenmätningarna visar.

Förutom omfattande täckningsarbeten har stora arbetsinsatser gjorts för att minska ytvatten från intilliggande berg att infiltrera ner i sopmassorna och därmed minska lakvattenbildningen. Flödesmätningar i intagsbrunnen visar att insatserna är otillräckliga vid stora regntillfällen. Trots att bräddningar aldrig observerats vid södra delen, kan inte en bräddningsrisk uteslutas för denna del. Denna risk är som störst vid kraftiga regn om bortledandet av lakvatten samtidigt skulle stoppas upp i ledningarna. Sker en bräddningsolycka vid stora flöden kommer lakvatten därför omblandas med dagvatten.

3.6.2 Spädning

Vid föroreningstransport till en recipient är spädningens inflytande normalt väsentligt. I strömmande vatten är halten avgörande och utspädning positiv. I tillräckligt stora sjöar är mängden avgörande eftersom utspädningen i samband med tillförseln ändå är försumbar i jämförelse med utspädningen i sjöns hela vattenvolym.

Delsjöarna, med en omsättningstid av vattnet på ca 6 månader, skall i detta hänseende betraktas som en sjö (fig. 14). VA-verkets och allmänhetens höga krav på vattenkvaliteten i Delsjöarna medför att gränsen för acceptans av lakvattenförorening från Brudaremossen är mycket låg.



Figur 14. Stora Delsjön, vy mot öster. Foto: A. Fersters

Antag att ett lakvattenläckage från Brudaremossen skulle nå Stora Delsjön. Detta lakvatten skulle då rimligtvis vara uppblandat med ytvatten. Antag vidare att uppgifter angående spädningens storlek var möjliga att beräkna och ge VA-verket som beslutsunderlag rörande åtgärder vid renvattenproduktionen. Har då VA-verkets bedömningssituation förbättrats? Sannolikt inte, då lakvattnets sammansättning antas skifta med tiden och därmed bör betraktas som okänd. Härav följer att det är utläkagets storlek, oavsett spädning, som ligger till grund för VA-verkets åtgärder rörande renvattenproduktionen vid en händelse där lakvatten förorenar Delsjön [efter intervju med civilingenjör O. Bergstedt, VA-verket, 2002]

Trots detta måste hänsyn tas till det skogsklädda kärret som passeras innan man når fram till Delsjön vid diskussioner om spädning (fig.15). I kärret kan en naturlig rening av en förorening ske genom fastläggning och nedbrytning. Förorenat vatten som når Delsjön efter att ha passerat kärret innehåller därför rimligtvis reducerade föroreningshalter.



Figur 15. Området närmast Stora Delsjön (skymtar i bildens vänstra kant) utgörs av kärre, vy mot söder. Foto: A. Fersters

Av resonemanget ovan följer att en ytavrinning med bräddande lakvatten vid kraftigt regn kombinerat med tjäle i marken rimligtvis är den sämsta kombinationen. Härav följer att den största föroreningsrisken med bräddande lakvatten därför begränsar sig till vinterhalvåret.

3.6.3 Transportförmåga i jordlagren söder om deponin

Beräkningsresultaten nedan är gjorda av VIAK år 1984 och visar att transportförmågan är relativt måttlig i jordlagren mellan Brudaremossen och Delsjön,

Man antog att moränens vattenförande mäktighet uppgick till 1 m och att ett utflöde skulle kunna ske inom en zon med bredden 20 m. Det teoretiskt möjliga maxflödet genom jordlagren beräknades då till ca 100 m³ per år.

Om man antog att ett medelvärde för permeabilitetsberäkningarna är representativt för marklagrens genomsläpplighet, blev grundvattnets flödes hastighet i jordlagren ca 40 m per år.

4 Metodik/utförande

4.1 Riskhantering

Hantering av risker (riskanalys) omfattar enligt kapitel 2 generellt följande delar,

- **Riskidentifiering**, dvs. identifiering av verksamhet som utgör risk (riskkälla) och de mottagare som utsätts för risk (skyddsobjekt).
- **Riskanalys**, vilket omfattar bedömning av sannolikheten för skada till följd av lakvattenläckage, värdering av konsekvenserna samt riskberäkning genom kvantifiering av delhändelser till variabler i ett händelsetråd som kan beräknas.
- **Riskvärdering**, dvs. en värdering av nyttan med olika alternativa åtgärder för att minska risken. Denna värdering kan exempelvis göras i form av en kostnads-nyttoriskanalys och resonemanget kan liknas vid ”bilåkning är farligt men nettotillskottet av gynnsamma effekter är stor- så den risken tar vi”. Exempel på åtgärder är hinder för lakvattenbräddning, planering av saneringsinsatser och alternativ vattenförsörjning.

I arbetet har denna metod i möjligaste mån följts och utförandet för respektive del beskrivs nedan. Riskhanteringen är helt avhängig det faktaunderlag som kunnat framprepareras. Utöver arkivstudier tillkom under arbetets gång behov av, och möjligheter till, egna undersökningar i syfte att förbättra faktaunderlaget och därmed minska osäkerheterna i riskbedömningen. Undersökningarnas metoder och resultat redovisas i kapitel 5.

4.2 Riskidentifiering, utförande

Arbetets inledande veckor ägnades åt arbete med övergripande riskidentifiering och resultaten redovisas i kapitel 6. Framst bestod detta av arkivstudier av tidigare undersökningar och utförda arbeten i området. Vidare gjordes intervjuer med sakkunniga för avslutade och pågående verksamheter i området samt egna besök på Brudaremossen. Detta arbete utmynnade i en preliminär sammanställning av ett arbetsmaterial som användes vid diskussioner. Ur denna sammanställning kunde sedan de processer på Brudaremossen som specifikt rör lakvattenbildningen i området urskiljas och ytterligare bearbetas. Därefter påbörjades identifiering av läckagerisker från Brudaremossen specifikt mot Delsjön.

4.3 Riskanalys, utförande

I kapitel 7 analyseras *hur* identifierade riskkällor kan leda till att en oönskad händelse utlöses. Därefter följer en redogörelse för hur riskberäkningen går till och hur händelser och konsekvenser kvantiseras för att kunna beräkna del- och totalrisk. Vidare beskrivs den statistiska hanteringen av osäkerheter kring skattningar. I kapitlet återfinns även riskberäkningsresultat.

4.4 Riskvärdering, utförande

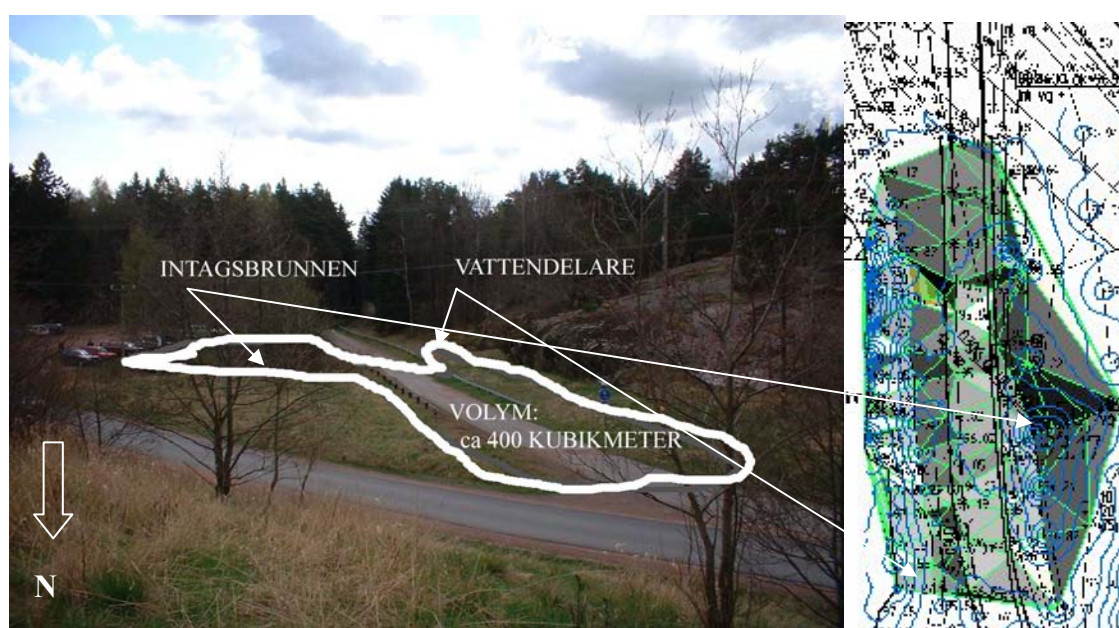
I kapitel 8 värderas identifierade riskkällor. Värderingarna beskrivs dels som tänkbara *konsekvenser* om oönskade händelser utlöses samt förslag på tänkbara *åtgärder* för att förhindra att de utlöses samt resultat och tolkning av s.k. känslighetsanalys.

5 GIS samt egna fältmätningar

5.1 GIS-simulering av en okontrollerad bräddningssituation

Under arbetet framkom att någon bräddning troligen aldrig ägt rum i södra området. Bräddningsförlopp och de tidsrymder som en insatsstyrka har på sig att läns pumpa eller åtgärda ledningsbrott m.m. var okända. En enkel modell av en sådan händelse kunde göras i GIS (Geographic Information System).

Nyligen utförda avvägningar på deponiområdet utgjorde ett bra dataunderlag för en tredimensionell kartbild med hög upplösning över området runt intagsbrunnen kunde tas fram som beräkningsunderlag. Under arbetet användes programvaran ArcView. På kartan kunde en okontrollerad bräddningssituation simuleras. Beräkningar kunde sedan göras av översvämningsvolym, kritisk punkt och tidsåtgång innan lakvatten bräddar över vattendelaren och ytavrinner med självfall ut ur deponiområdet mot Delsjön. Konturerna av översvämningsens maximala utbredning på kartan har ritats in på fotografi av området innan lakvattnet avrinner mot Delsjön (fig. 16).



Figur 16. Utbredning av en simulerad bräddningsolycka vid intagsbrunnen. Foto: A. Fersters.

5.1.2 GIS-beräkningar

Volym av översvämmande vatten: 402,99 m³

Kritisk nivå för bräddning
över vattendelare: +96,22 m

Beräkningar för åtgärd av bräddningsolycka har gjorts för tre flöden, normal-, hög- samt extremflöde. Den infiltrerande förmågan i marken har antagits vara noll dvs. mättade förhållanden.

Bidraget från södra delen till det totala lakvattenflödet ($Q_{\text{tot}} = 4 \text{ l/s}$) vid normala förhållanden bedöms vara ca 50%.

Normalflöde,

$$\text{ca } 2 \text{ l/s} = 0,002 \text{ m}^3 = Q_{\text{intagsbrunn}}$$

$$402,99 / 0,002 = 201\,495 \text{ sek.}$$

$$201\,495 / 3\,600 = 55,97 \text{ h} = 56 \text{ tim.} = \mathbf{2 \text{ dygn, } 8 \text{ timmar}}$$

Högt flöde,

$$\text{ca } 35 \text{ l/s} = 0,035 \text{ m}^3 = Q_{\text{intagsbrunn}}$$

$$402,99 / 0,035 = 11\,514 \text{ sek.}$$

$$11\,514 / 3\,600 = 3,2 \text{ h} = \mathbf{3 \text{ tim, } 12 \text{ minuter}}$$

Extremflöde,

$$\text{ca } 98 \text{ l/s} = 0,098 \text{ m}^3 = Q_{\text{intagsbrunn}}$$

$$402,99 / 0,098 = 4\,112 \text{ sek.}$$

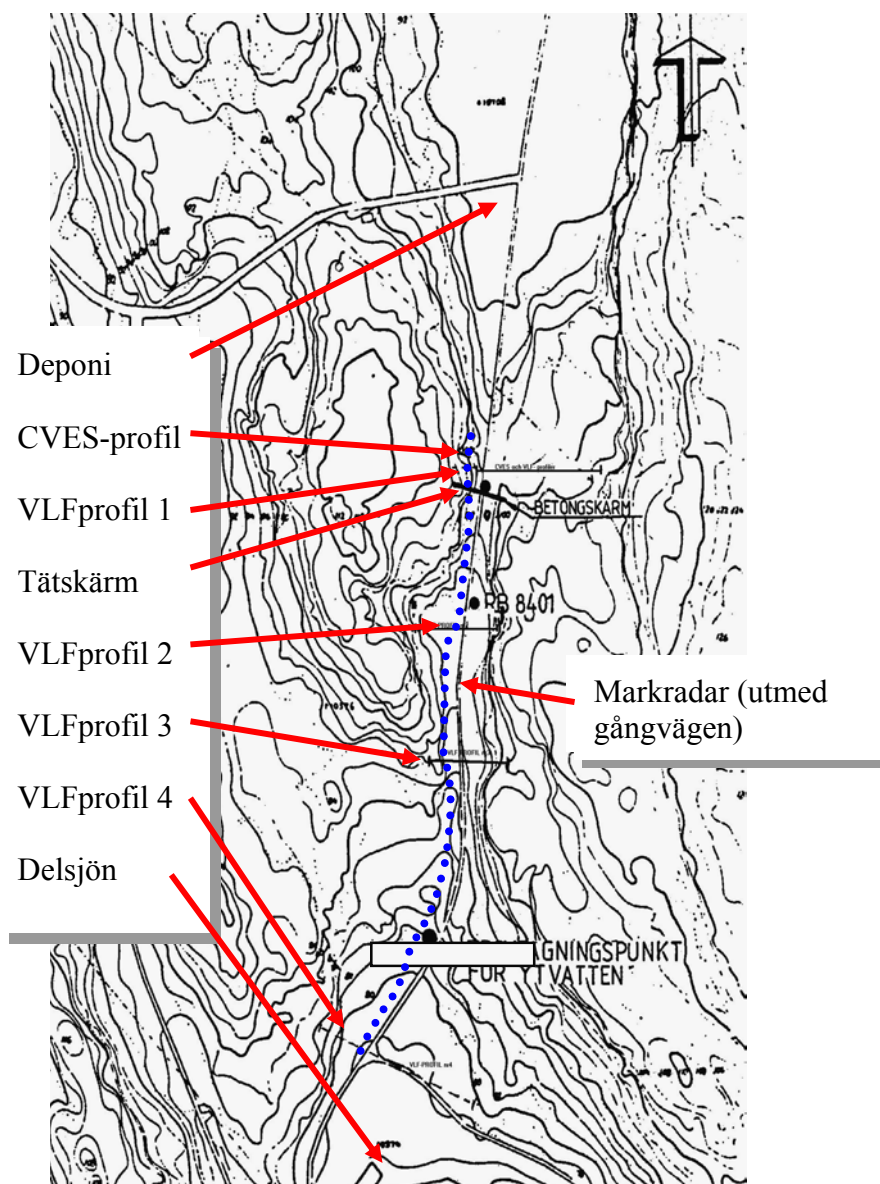
$$4\,112 / 3\,600 = 1,1 \text{ h} = \mathbf{1 \text{ tim, } 6 \text{ minuter}}$$

Högsta flödet hittills under 2002 var den 22 januari, då man uppmätte 98 l/s i intagsbrunnen. Flödet varade då endast några timmar. En okontrollerad dämning av intagsbrunnen vid ett sådant tillfälle skulle då rinna över vattendelaren vid tätskärmen och vidare mot Delsjön på ca 1 timme.

En hypotetisk jämförelse; om läns-pumpning sker med borttransport av lakvatten i tankbil (20 m³) skulle det i högflödesfallet (35 l/s) erfordras en ny tankbil ungefär var 10 minut.

5.2 Geofysikmätningar i fält

Berggrundens vattenförande förmåga i sprickdalgången mellan Brudaremossen och Delsjön är okänd. Med hjälp av olika geofysikmetoder kan ibland vattenfyllda sprickors läge i oåtkomlig berggrund lokaliseras. Under arbetet har geofysiska fältundersökningar utförts mellan tätskärmen och Delsjön för att få en bättre bild av hydrogeologiska förhållanden i berggrunden. Nedan redovisas en kartskiss med mätplatserna för de olika metoderna (fig. 17).

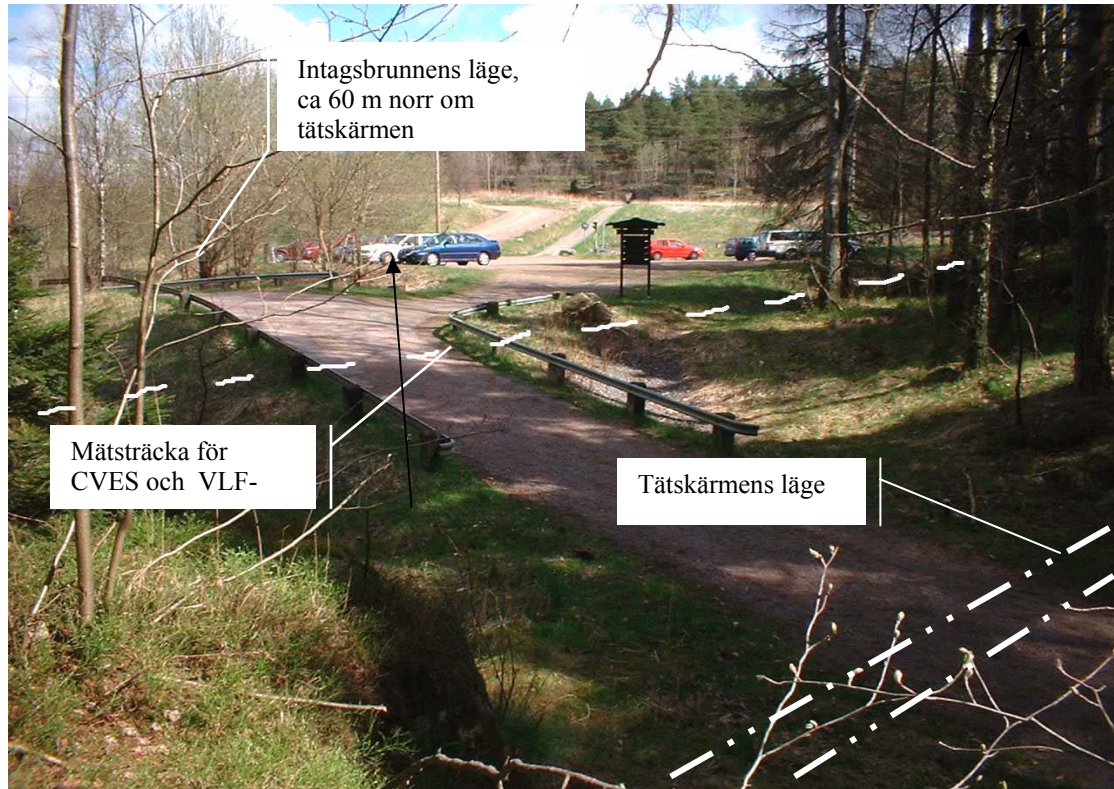


Figur 17. Karta över området mellan deponin och Delsjön med platserna för mätningar markerade.

5.2.1 Geoelektrik

Vid geoelektriska metoder utnyttjas skillnaderna i markens (jord eller berg) ledningsförmåga för bedömning av geohydrologiskt intressanta egenskaper.

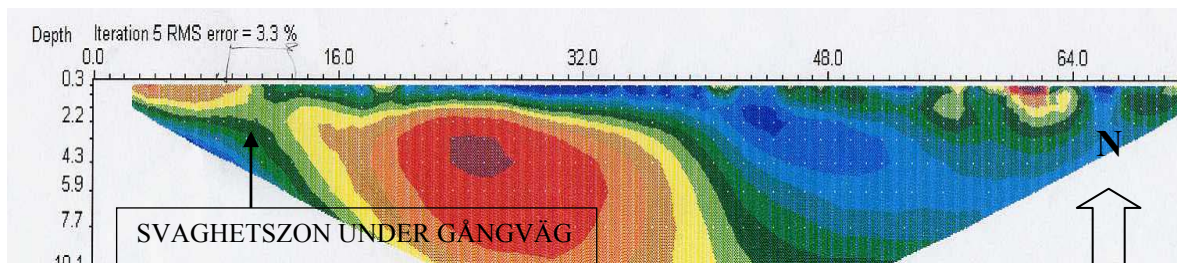
CVES (Continuous Vertical Electrical Sounding) har utförts invid tätskärmen (fig. 18).



Figur 18. Området vid tätskärmen med sträckan som mäts med CVES- och VLF-metoder. Foto: A. Fersters

Den undersökta sträckan mäter 70 m och avbildas i profil. Profilen löper ca 10 m norr om tätskärmen från gångvägen, förbi parkeringen österut mot vägen som leder till Brudaremasten. CVES-data har tolkats i RES2DINV programvara (fig. 19).

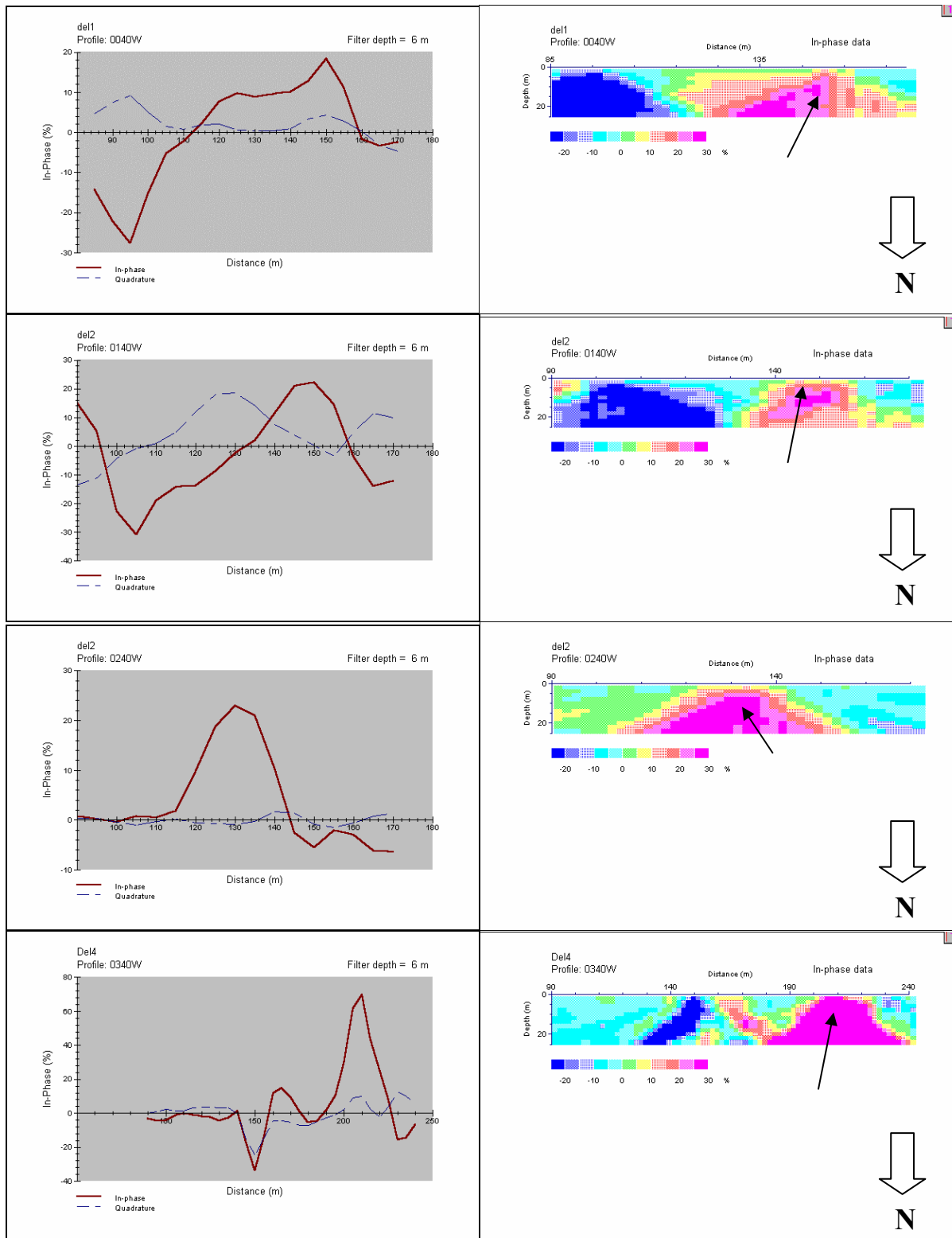
Profilen avbildar markförhållandena väst-östligt och visar en svaghetszon (sprickzon) med låga resistivetsvärden under gångvägen. Omgivande berg är avbildade som ljusare, högresistiva områden. Åt höger (öster) uppvisar profilen mycket lågresistiva miljöer troligen påverkade av en intilliggande bäck vars vatten rinner ner i marken och separat leds förbi tätskärmen i ledning vidare mot Delsjön.



Figur 19. CVES profil med svaghetszonen markerad, Y-axeln visar djup.

5.2.2 VLF (Very Low Frequency).

Fyra sträckor från norr till söder på mellan 50-150 m mättes och tolkades i programvaran RAMAG (fig. 20). Samtliga sträckor löper tvärs över dalgången mellan tätskärmen och Delsjön. Avståndet mellan parkeringen och Delsjön är ca 450 m.



Figur 20. Fyra VLF-diagram med respektive profiler där ledarnas storlekar (grafer) samt utbredningar (profiler) visas, ledarmaximum finns under gångvägen (pilar). Bilderna framtagna i RAMAG programvara.

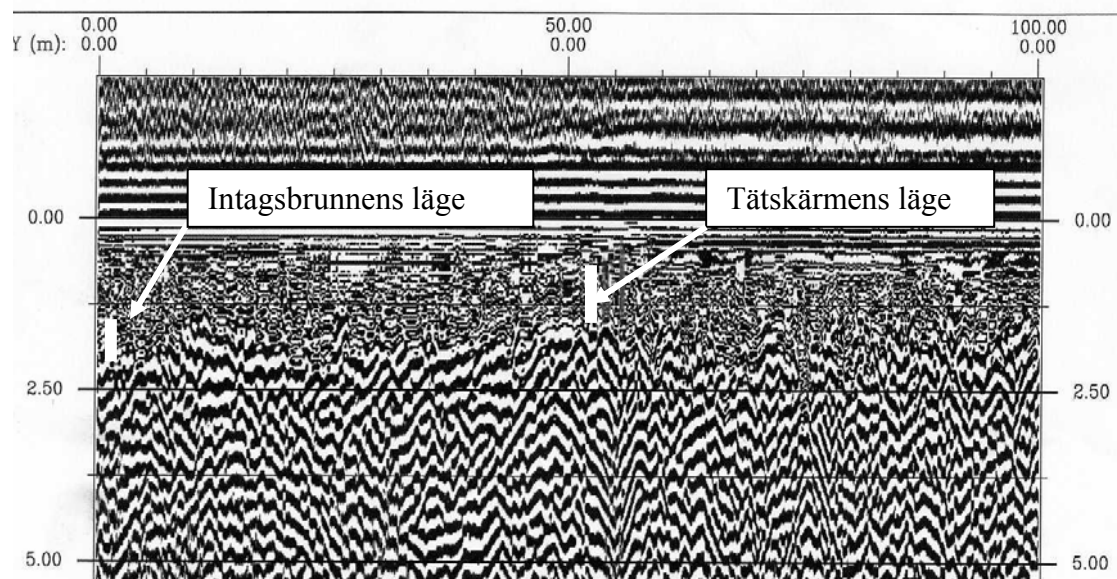
Vid VLF-mätningar utnyttjas lågfrekventa radiovågor, som utsänds från ett antal fasta stationer världen över. Med VLF-instrumentet mäts storleken av det i marken inducerade sekundära fältet, och genom profilmätning kan ledarens läge bestämmas. Utöver ledarens läge kan även stupningen på denna bestämmas. Styrkan hos det inducerade magnetfältet uttrycks i procent av det primära magnetfältet [Geoteknik, Handboken BYGG, 1984].

Den översta, nordliga VLF-profilen ovan är uppmätt på samma sträcka där CVES- metoden användes men är avbildad från öster till väster och uppvisar en ledaranomali på mätsträckan (fig.18). Liknande resultat visar de övriga tre mätsträckorna mellan tätskärmen och Delsjön. De positiva anomalierna består av tydliga toppar på graferna som visar styrka i det inducerade magnetfältet och bestämmer ledarnas lägen. Profilen vid denna del visar utbredningarna av ledaranomalierna. En rimlig tolkning av VLF- resultaten är vattenförande sprickor med ostlig stupning och att hydrauliskt kontinuerlig kontakt finns mellan tätskärmen och Delsjön.

5.2.3 Markradar

Kan närmast jämföras med ekolodsondering. I stället för ljudvågor sänds istället högfrekventa elektromagnetiska vågor, radiovågor, ner i marken. Dessa reflekteras i skikttytor och fångas upp av en mottagarantenn. I minerogena jordar (lera, silt, sand och grus) avtar nedträngningsdjupet med ökad halt finjord och ökad vattenhalt. I lera begränsas djupet till någon meter men i sand och grus kan penetrationsdjup på 20–30 m nås.

Även bergstrukturer är fullt detekterbara. Syftet med metoden under studien var att fastställa djupet till grundvattenytan för att kontrollera nivåerna i några undersökningsrör samt att mäta jordlagrets mäktighet under gångvägen mellan Brudaremassen och Delsjön (fig. 21).



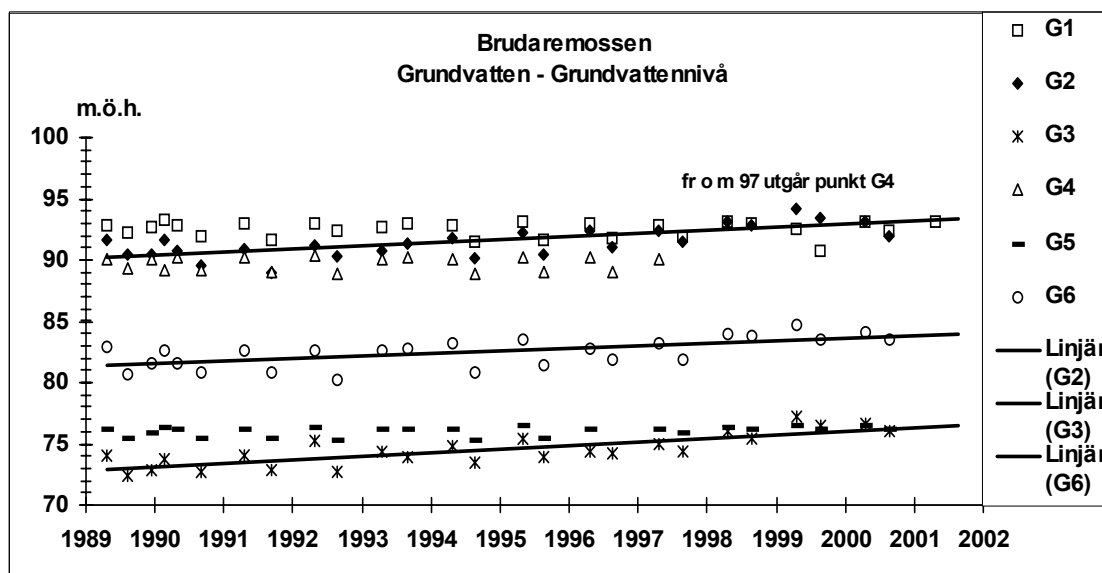
Figur 21. Markradarprofil som visar marklagren under gångvägen från intagsbrunnen till undersökningsröret G2 (ca 100 m).

Grundvattenytan kunde inte fastställas då grundvattenreflexerna var för svaga och inte gick att se i radarprofilerna. Djupet till berggrunden kan tolkas och varierar mellan 1–4 m på hela sträckan mellan tätskärmen och Delsjön. Endast första delsträckans profil redovisas med figur (fig. 21).

5.3 Grundvattennivåmätningar

Under arbetet väcktes misstanke om orimligheter i årsrapporternas nivåuppgifter för några undersökningsrör i södra deponiområdet. Egna nivåmätningarna inleddes därför som syftade till att kontrollera gamla nivåuppgifter. Detta resulterade i att ett löpande mätfel kunde justeras i tidsserierna avseende grundvattennivåer i Brudaremossens årsrapport. Bilden av grundvattensituationen under deponin klarnade också något.

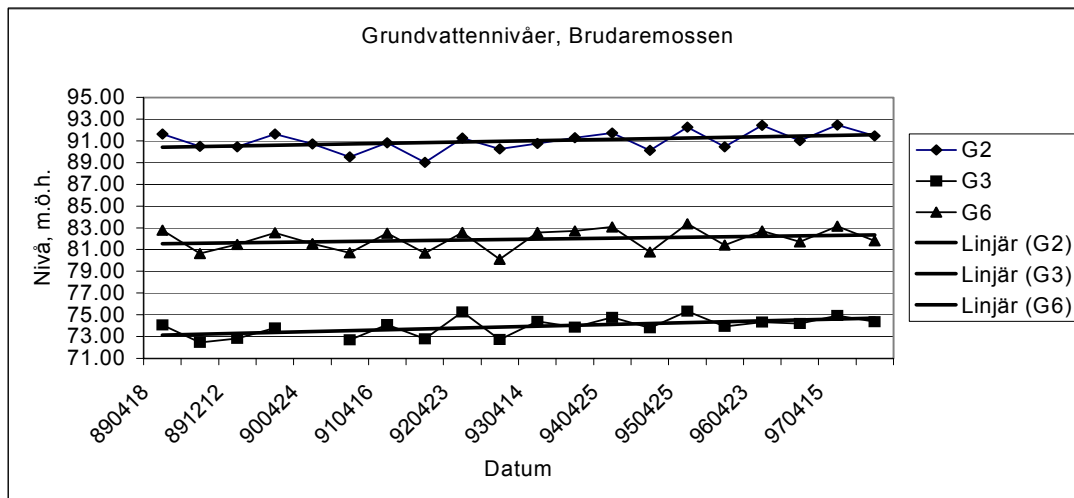
Mätningarna sträcker sig över en period av 12 år och anger nivåer efter att korrigeringar gjorts för mätfel som upptäckts i årsrapporten (fig. 22).



Figur 22. Grundvattennivåer för Brudaremossen. Källa: SVECO VBB VIAK, Årsrapport för Brudaremossen 2001.

En god samvariation kan utläsas för samtliga undersökningsrör. Trendlinjer har anpassats för de bergborede rören G2, G3 och G6. Förklaringen till stigningen beror delvis på att nederbördsnetto för Göteborg har ökat fr.o.m. 1988. Notera också den stora skillnaden i inbördes nivåförhållanden för nämnda rör.

Nästa diagram visar samma serie med den skillnaden att de nederbördsrika åren 1998- 2001 nu tagits bort (fig. 23). En svag uppåtgående trend kan fortfarande utläsas. Trenden kan verka blygsam men avspeglar en ökning av ca 1 m av grundvattennivåerna.



Figur 23 Grundvattennivåer för Brudaremossen. Nya trendlinjer anpassade efter att åren 1998-2001 tagits bort. Källa: SVECO VBB VIAK, Årsrapport för Brudaremossen 2001.

Ökningarna beror kanske på att inläckaget i teletunneln minskat från 2 l/s till 0.4 l/s. Det är okänt i vilka proportioner som minskningen i inläckaget beror av injekteringsarbete inifrån tunneln och utifrån betingad igensättning.

Tidigare vattenbalansstudier [Nilsson, 2001) på Brudaremossen ger rimliga resultat där uppmätta lak- och ytvattenmängder är mindre än de beräknade. Om detta är korrekta antaganden finns ett vattenöverskott. Det är oklart om var betydande delar av detta vatten tar vägen. Kanske avspeglar sig detta vatten i grundvattenökningarna ovan. Tänkbara vägar detta grundvatten kan söka sig kan vara:

- Läckage mot Härlanda Tjärn
- Läckage norrut vid sidan av lakvattenledning
- Inläckage i teletunneln
- Läckage söderut mot Delsjön

6 Riskidentifiering

De processer som bedöms påverka lakvattenbildningen och samtidigt kunna orsaka läckage söderut mot Delsjön är:

- Ytvattenprocesser, östra och södra sidan av deponin
- Grundvattenprocesser samt transportförmågan i berggrunden och jordarterna.
- Konstruktioner i området: teletunneln, tätskärmen, lakvattenledningar, ytvattenledningar
- Pågående verksamhet: täckningsarbeten och kontrollprogram

Riskkällan är följaktligen lakvattenproduktionen i deponin och ovan identifierade faktorer kan bidra att spridning mot skyddsobjektet uppstår och skildras mer ingående nedan.

6.1 Ytvattenprocesser

Brudaremassens avrinningsområde utmed dess östra och södra sidor domineras av berg i dagen. Här bildas en stor mängd ytvatten som måste hindras från att infiltrera ner i tippmassorna och bilda lakvatten. Det ytvatten som bildas på själva deponin behandlas under ”täckningsarbeten”

6.1.1 Avrinningsområdets östra sida

Följande faktorer som kan påverka risknivån har identifierats:

- Långsträckt, brant bergsida ner mot deponiområdet.
- Otillräckliga separata avledningsåtgärder har utförts ett stycke upp i berget.
- Vatten från berget infiltrerar dels ner i den östra lakvattenledningen dels vidare ner i tippens inre i okända proportioner
- Då den östra lakvattenledningen ledningen ligger nära berget kan man anta att merparten av ytvattnet omgående rinner ner mot den.

6.1.2 Avrinningsområdets södra sida

Följande faktorer som kan påverka risknivån har identifierats:

Avskärande diken och ledningar anlades i mitten av 90-talet för att vatten läckte ut på deponisidan av infartsvägen. Analys av ytvattenkvaliteten från denna del uppvisar inga spår av lakvatten.

- Bergklackarna mot deponiområdet medför onödigt ytvattentillskott.
- Vatten från berget infiltrerar trots ytvattenledningar dels ner i lakvattenledningen dels vidare ner i jordlagren i okända proportioner
- Diken i denna del är fortfarande otillräckliga
- Genomsläppliga jordarter.

6.2 Grundvattenprocesser

6.2.1 Berggrunden och jordarter under deponin

Området under deponin utgörs av en sprickakvifer och därmed föreligger troligen en komplicerad grundvattensituation. Ungefär en tredjedel av deponin ligger på berg.

Tidigare undersökningar av sprickförekomster inom området pekar på att de ”öst-väsliga sprickorna och skjuvzonerna helt torde bestämma berggrundvattnets rörelse, varför berget kan betraktas som tätt mot Stora Delsjön” [VIK, 1984]

Tidigare undersökningar pekar på att grundvattennivån vid teletunneln är betydligt lägre än vid någon annan punkt inom området och att den kan utgöra lågpunkt för grundvattenflödet inom berggrunden [Nilsson 2001]

Då upplaget anlades utgjordes platsen av en sänka mellan de två urbergshöjderna, till en del fylld av morän, svallsand och organiska jordarter från kärr.

Mellan intagsbrunnen och Delsjön varierar mäktigheterna i jordlagren. Djupet till berggrunden kunde tolkas med markradar och varierar mellan 1–4 m på hela sträckan mellan tätskärmen och Delsjön.

Tidigare undersökningar visar på teoretiska transporthastigheter på ca 100 m/år för denna del av området

Följande faktorer som kan påverka risknivån har identifierats:

- Söderut kan uppfattningen om sprickornas orientering sägas vara missvisande då gångvägen förbi betongskärmen följer en mycket tydlig sprickdalgång i nord-sydlig sträckning där transportförmågan av berggrundvatten är okänd. Det är inte utrett om denna sprickzon har kontakt med tippens längre norrut. Enligt den tektoniska kartan är detta rimligt.
- I jordarterna är genomsläpligheten undersökt och varierar från god till låg.
- Grundvattennivåerna i området visar på en stigande trend. Om detta speglar förhållandena i själva tippens är osäkert men det kan i så fall utlösa en strömning även söderut.
- Tidigare vattenbalansstudier visar på att mer vatten infiltrerar ner i tippens, och genererar större lakvattenmängder, än vad som uppfångas och mäts i lakvattenledningens flödesmätare. Det är okänt var merparten av detta vatten tar vägen.

6.3 Konstruktioner i området

6.3.1 Teletunneln

I början av 60-talet anlades en teletunnel som går rakt under tippet. Inläckage av lakvatten som blandats i okända proportioner med ytvatten upptäcktes genast i tunneln. Vattnet samlades upp och avleddes till Kaggeledstorget för vidare befordran till Ryaverket. På så sätt uppstod ett oönskat dränage av tippet. På ett sätt kan detta dränage ses som ett positivt bidrag till tippens lakvattenavledande i stort. Å andra sidan har dränaget gett en avsänkning av influensområdet i grundvattenmagasinet och ett större avrinningsområde med okänd utbredning som följd.

Flödesuppskattningar i tunneln idag är på ca 0,4 l/s och har minskat över tiden. Det är okänt i vilka proportioner minskningen beror av yttre igensättning, i tunneln utförda injekteringsarbeten eller på deponiytan utförda täckningsarbeten.

Följande faktorer som kan påverka risknivån har identifierats:

- Om man har en minskning vad beror minskningen på?
- Om det utestängda vattnet inte minskat på utsidan tunnelväggen, vart tar det vägen någonstans?
- Om minskningen beror på igensättning innebär det att man fått en tryckhöjning i övrigt och denna riktningen på denna strömning är okänd.
- Mäter man flöden inuti tunneln korrekt?

6.3.2 Tätskärmen

På 1940-talet anlades i en tätskärm tvärs över den ovan beskrivna sprickdalgången för att förhindra läckage från Brudaremossen till Stora Delsjön (fig. 24). Inom avfallsupplaget hade en inre vattendelare bildats på tippet då denna växt sig högre över åren. Tätskärmen som är belägen strax under markytan är av betong, ca 17 m lång och maximalt 1,4 meter djup och syftade till att förhindra lakvattentransport i jordlagren.

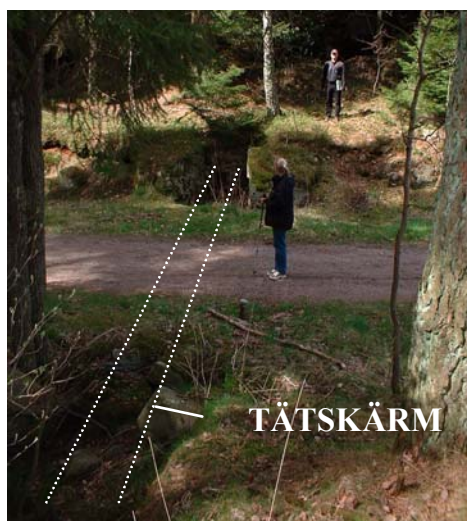


Fig. 24 Tätskärmens ungefärliga läge. Foto: A. Fersters.

För att avgöra om föroreningar läckte förbi skärmen utfördes 1984 en utredning där tre observationsrör installerades där idag två, G1 och G2, används för kontrollprogrammet [VIK 1984].

Man fann vid undersökningar 1988 att en svag tryckgradient bildats från intagsbrunnen ner mot tätskärmen. Gradienten var liten och genomsläppligheten i jordlagren måttlig. Vattenkvalitén bedömdes som mycket god [VIK 1988]. Man fann inte någon anmärkningsvärd förorening

nedströms tätskärmen och detta har inte gjorts fram till 2001 då svagt förhöjda värden av kadmium upptäcktes i G2 av kontrollprogrammet.

Följande faktorer som kan påverka risknivån har identifierats:

- Hur är iskarvningen mot berget utförd?
- Bergytan vid installationen är framsprängd och betongen lagd ovanpå. Några injekteringsarbeten finns inte dokumenterade.
- Kan vatten söka sig under och utmed sidorna?
- Vilket skick är skärmen i med avseende på betongens kondition samt det ”trampade lerlager” som enligt protokoll från 1941 skall finnas utlagd framför skärmen.

6.3.3 Lakvattenledningar

Eftersom tippen växt högre än den avskärande betongskärmen anlades ett dräneringssystem för lak- och ytvatten 1966–67. Dräneringarna utgörs dels av en stam från söder till norr genom tippens östligaste del, dels en ledning från betongskärmen i söder samt längs områdets västligaste och norra del.

TV-filmning av lakvattenledningar skedde utmed ett flertal delsträckor under 2001. Konditionen av rören bedömdes som acceptabel men sprickbildningar och järnutfällningar kunde fastställas på vissa sektioner. På några ledningssträckor vilar för stora ovanliggande laster. Resultaten utreds för närvarande.

I söder är intagsbrunnen den lägsta punkten i området (+94 m). Ledningssystemet går från denna punkt vidare norrut på självfall. 1985 utfördes markarbetet med omschaktningar syftande till att styra grundvattenströmningen mer entydigt ner mot intagsbrunnen.

Vid en inspektionsbrunn intill intagsbrunnen finns en nivåvakt installerad som skall larma till VA-verket i Alelyckan vid en ev. bräddning (fig. 25).



Figur 25. Nivåvakten i lakvattenledningen är placerad i en inspektionsbrunn.. Foto: A. Fersters.

Intagsbrunnen är sannolikt grävd ner till, och placerad på, berggrunden. Det är okänt om själva brunnen är tät och om berget under är tätt (fig. 26).



Figur 26. Intagsbrunnen, vilken är lägsta punkten i södra området (+94 m) och samtidigt lakvattenledningens högsta punkt. Foto: A. Fersters.

Följande faktorer som kan påverka risknivån har identifierats:

- Stora överliggande laster på ledningarna kan leda till sammanstörtning.
- Sprickbildning och järnutfällning är konstaterad inuti ledningarna utmed vissa sektioner då lakvattnet är kraftigt järnhaltigt. Detta medför att hållfastheten minskar samt att rördimensionerna krymper.
- Intagsbrunnen kan via berggrunden den är placerad på utgöra en riskkälla om brunnen läcker.
- Utmed långa sträckor av lakvattenledningen finns genomsläppligt material placerat ovanpå lakvattenledningen.
- Nivåvakten i intagsbrunnen innebär ingen garanti för att ett larm utmynnar i att åtgärder vidtas i tid. Om intagsbrunnens bortledande av lakvatten skulle stoppas upp till följd av en yttre igensättning sker dämning utan att nivåvakten påverkas.
- Ledningarna är fodrade med makadam och i fodret kan infiltrerat ytvatten ledas på utsidan ledningen till brunnen där det blandas ned i lakvattnet.
- Svårigheter att avgöra hur tät lakvattenledningen är.

6.3.4 Ytvattenledningar

Ovidkommande ytvatten leds generellt genom avskärande diken och ledningar i botten av dessa ut ur området. Merparten av ledningarna anlades i mitten av 90-talet. Trots att avskärande/avledande diken installerats strömmar vid kraftiga regn stora mängder ovidkommande ytvatten till intagsbrunnen och ger oacceptabla totalflöden.

Följande faktorer som kan påverka risknivån har identifierats:

- Dikena är fortfarande ineffektiva vid stora regn
- Ledningarnas kondition
- Ledningarnas kapacitet.
- Igensättning av grenar, löv etc.

6.4 Pågående verksamhet

Här avses verksamhet som inte är avslutad eller som löper kontinuerligt där riskkällor avseende yt-, grund- och lakvattenprocesser har kunnat konstateras.

6.4.2 Täckningsarbeten

Omfattande tätnings-, dränerings-, dikes- och ledningsarbeten utfördes under 1989 och 1990.

Under 1991 lades ytterligare lera ut, främst på toppen och västra kanten av deponiområdet för att förbättra tätningen. Ungefär 50 % av deponiområdets totala yta var då försedd med tätning. Under 1992 - 94 lades ytterligare lera ut, främst på toppen och på östra sidan av deponin. Sättningskador på utförda täckningsarbeten är en del av deponins aktiva fas och måste betraktas som en pågående process i en nedlagd deponi. Arbetet med att täta deponin pågick mestadels under 1995. Sedan dess har ingen ytterligare tätning utförts.

Följande faktorer som kan påverka risknivån har identifierats:

- Tippen har endast täckts med lera utan skyddsskikt i enlighet med nuvarande normer för sluttäckande av deponier.
- Utredningar om deponins sluttäckande och vidare öde prioriteras inte.
- Sättningar förekommer då tippmassorna sjunker ihop med tiden pga. av rötning. Storleken och omfattningen av dessa är inte utredda.
- Torksprickor uppstår på leran då denna torkar och tippen sätter sig. Huvuddelen av regnvattnet på själva deponin kan därför läcka in i tippmassorna trots utförda täckningsarbeten.

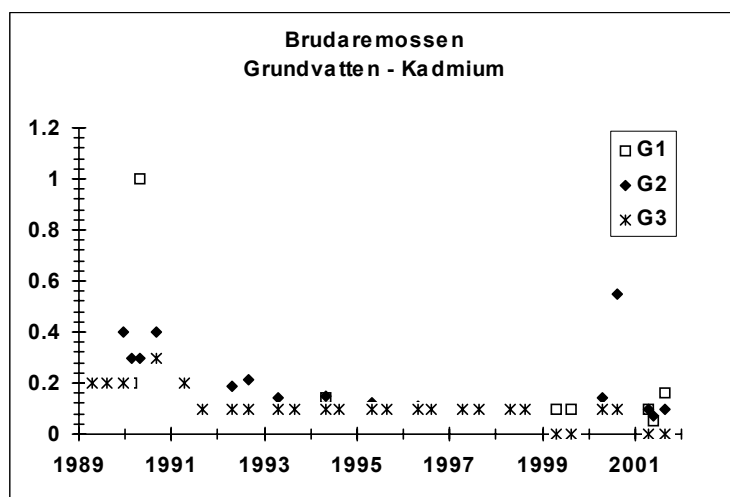
6.4.2 Kontrollprogrammet

Det är utomordentligt viktigt att verkligen veta vad kontrollprogrammet ger idag. Uppdelningen i ett mindre basprogram som utförs jämna mellanrum, och det specialprogram som kopplas in om något misstänkt upptäcks, förutsätter följaktligen att det förstnämnda programmens analyser registrerar att något riskfyllt kan ha inträffat.

Ansvar för Brudaremossen fördelas idag så att åtgärdsansvaret åvilar utövaren av den miljöfarliga verksamheten [Kretsloppskontoret] medan tillsynsansvaret, och därmed utformningen av kontrollprogrammet, åvilar Länsstyrelsen i samråd med Miljö- och hälsoskyddsnämnden. 2001 upptäcktes svagt förhöjda värden av kadmium av kontrollprogrammet 2001 i undersökningsröret G2 intill tätskärmen.



Figur 27. Undersökningsröret G2 i berg, ca 100 m djupt. Foto: A Fersters



Figur 28. Kontrollprogrammets mätserie för kadmium åren 1989-2001. Källa: SVECO VBB VIAK, Årsrapport för Brudaremossen, 2001.

Följande faktorer som kan påverka risknivån har identifierats:

- Är antalet undersökningspunkter tillräckligt?
- Inne på själva deponin saknas undersökningsrör helt. Någon riktig bild av grundvattensituationen finns därför inte på själva deponin.
- Är provtagningsintervallet för långt?
- Täcker analysparametrarna in hela risksituationen?
- Mellan bergrören G2, G3 och G6 finns orimligt stora nivåskillnader om dessa antas representera samma grundvattenmagasin. Dessa skillnader är inte närmare utredda.
- Det är inte utrett om undersökningsrören effektivt fångar in föroreningar i marken.
- Utvärderas de miljörapporter som finns i tillräcklig utsträckning?
- Är dialogen mellan de ansvariga organen tillräcklig?

7 Riskanalys

I detta kapitel analyseras hur olika identifierade faktorer kan leda till att en oönskad händelse utlöses.

I avsnitt 7.5 beskrivs riskbegreppet samt hur riskberäkning går till.

Vidare definieras de variabler som ingår i en riskberäkning och hur dessa kvantifieras för beräkning av del- och totalrisker.

I logisk följd beskrivs också konsekvenskostnader, sannolikhetsskattningar och osäkerhetshanteringen av skattningar.

7.1 Ytvatten

7.1.1 Avrinningsområdets östra sida

Avskärande/ avledande diken och ytvattenledningar klarar inte att hindra ytvatten att infiltrera vid stora regn och snösmältning.

Förhoppningsvis förmår lakvattenledningen att svälja allt, även ytvatten från själva deponins östra sluttningar, men om betydande mängder ytvatten läcker in i lakvattenledningen erhålls oönskade spädningseffekter med bräddningsrisker till följd.

7.1.2 Avrinningsområdets södra sida

Avledande/avskärande diken har minskat utspädningen av lakvatten med ovidkommande ytvatten. Kvaliteten på det bortledda vattnet bedöms som god. Någon bräddning av intagsbrunnen norr om betongskärmen har aldrig noterats. Innehållet i intagsbrunnen utgörs därmed troligen mest av lakvatten utom vid häftigt regnande och snösmältning. Ytvatten blandas då ner i lakvattnet och leder till kraftiga flödestoppar med bräddningsrisker till följd.

7.2 Grundvatten

7.2.1 Berggrunden och jordarter under deponin

Området under deponin utgörs av en sprickakvifer och som medför en komplicerad grundvattensituation. Deponiområdet har högt läge i terrängen. Ungefär en tredjedel av deponin ligger på berg.

Grundvattnet är marknära med en tryckgradient i nordlig riktning. Grundvattennivån vid teletunneln är betydligt lägre än vid någon annan punkt inom området och den kan utgöra lågpunkt för grundvattenflödet i berggrunden.

Slutsatser från tidigare undersökningar av sprickförekomster inom området fastslår att östvästligt orienterade sprickor och skjuvzoner helt bestämmer berggrundvattnets rörelse, varför berget kan betraktas som tätt mot Stora Delsjön.

Sprickdalgången mellan deponin och Delsjön är nord-sydligt orienterad. Resultat av egna VLF-undersökningar indikerar goda ledare (vattenförande sprickor) till följd av att tektoniska tensionsrörelser har påverkat hela sträckan mellan Brudaremossen och Delsjön och att hydrauliskt kontinuerlig kontakt därför inte kan uteslutas. Dvs. hela dalgången kan bestå av en eller flera vattenfyllda sprickor.

Det är inte utrett hur långt norrut sprickdalgången sträcker in i deponiområdet. Svagt förhöjda kadmiumvärden som nyligen upptäckts i ett undersökningsrör vid tätskärmen kan ha sitt ursprung från tippen. Tidigare finns inga uppgifter om förhöjda värden av tungmetaller dokumenterade i denna del av deponiområdet.

Då upplaget anlades utgjordes platsen av en sänka mellan två urbergshöjder, till en del fylld av morän, svallsand och organiska jordarter från kärr. Mellan intagsbrunnen och Delsjön varierar

mäktigheterna i jordarterna som domineras av sandig morän. Djupet till berggrunden kunde tolkas med markradar och varierar mellan 1–4 m på hela sträckan mellan tätskärmen och Delsjön. Jordarternas genomsläpplighet bedöms för denna del av deponiområdet som måttliga till låga med en genomsnittlig transportförmåga teoretiskt beräknad till ca 100 m/ år.

Generellt är en situation med ett läckage från Brudaremossen i berggrunden en mycket allvarlig situation där möjligheterna att förhindra vidare spridning kan visa sig vara små.

Risken för att lakvattenläckage kan ske i marken mellan Brudaremossen och Delsjön kan sammantaget inte uteslutas med ovanstående resonemang.

7.3 Konstruktioner i området

7.3.1 Teletunneln

För närvarande är kunskapen av inverkan från lakvattenläckage inne i teletunneln ofullständig. Om tidigare undersökningar stämmer har Brudaremossen pga. teletunneln ett större avrinningsområde än vad man tidigare trott och därmed finns ett betydande tillskott till vattenbalansen. Detta vatten måste ta vägen någon annanstans än in i tunneln om inläckaget minskar. En tänkbar väg skulle kunna vara söderut.

7.3.2 Tätskärmen

Tätskärmen har förmodligen aldrig varit i bruk dvs. aldrig utsatts för någon lakvattenpåfrestning då ev. lakvatten effektivt styrs till intagsbrunnen. Det grundvattentryck som ev. byggts upp mot tätskärmen har enbart utgjorts av lokalt infiltrerande nederbörd omedelbart norr om tätskärmen och har därför haft god kvalitet. Tätskärmens kondition har inte undersökts på 60 år och kan därför läcka men detta har ej kunnat påvisas då analys av vattenprov inte indikerar föroreningar.

7.3.3 Lakvattenledningar

Sprickbildning tillsammans med för stora överliggande laster kan leda till ledningskollaps och okontrollerad bräddning. Hög risk för ledningskollaps utmed vissa ledningssektioner är konstaterad. Risken kommer ytterligare att öka om nya steg i täckningsprogrammet vidtas som bl.a. innebär att mer material sprids över deponin vid slutförsegling. Åtgärder för att ersätta skadad eller kollapsad lakvattenledning kan bli tids- och resurskrävande. GIS-beräkningar visar att en okontrollerad bräddning vid intagsbrunnen måste åtgärdas inom några timmar om kollaps eller igensättning sker av lakvattenledningen vid ett högflödestillfälle. Skulle åtgärden komma för sent eller vara otillräcklig kommer lakvatten brädda över vattendelaren vid tätskärmen och vidare ner mot Delsjön. Denna sträcka är ca 450 m.

7.3.4 Ytvattenledningar

Utförda dikes och ledningsarbeten är otillräckliga vid stora regn och snösmältning och leder till

- Okontrollerad infiltration av ytvatten in i tippmassorna som ger utspädning och därmed ökad lakvattenbildning.
- Bräddning av lakvattenbrunnar.

7.4 Pågående verksamhet i deponiområdet

7.4.1 Täckningsarbeten

Leran som använts för att täcka tippen med kommer med tiden att torka ut. Tillsammans med sättningar uppstår därför torksprickor. Härav följer att tilltron till att tätningen effektivt tillgodosetts minskar. Först efter att en sluttäckning ägt rum närmar man sig vad som föreskrivs i frågan.

7.4.2 Kontrollprogrammet

Kontrollprogrammet borde innefatta fler mätpunkter, tätare provtagningsintervall och flera analysparametrar.

7.5 Riskberäkning

Med risk avses i riskberäkningen sannolikheten för ogynnsam händelse och konsekvenskostnaderna av denna för miljö och egendom. Med riskanalys avses en systematisk identifiering av riskkällor och av händelser som kan leda till att riskkällorna utlöses samt en uppskattning eller beräkning av sannolikheterna för att detta sker.

Den totala risken blir därför i detta arbete en förväntad kostnad givet antagna kravgränser (grad av osäkerhet kopplad till skattningar av sannolikheter och konsekvenser) samt att eventuella förenklingar av hydrogeologiska förhållanden är relevanta.

För att en riskbedömning av ett lakvattenläckage mellan Brudaremossen och Delsjön skall kunna göras måste hänsyn tas till olika konsekvenser. Dessa konsekvenser kan sammanfalla i olika ordning, vilket kan leda till att varierande riskvärden erhålls. I detta arbete beskrivs detta genom s.k. händelsetråd där sannolikheterna sammanvägs med konsekvenskostnaderna till riskkostnader. Konsekvens är därför ett mått på ett möjligt resultat av en oönskad händelsekedja.

Skattningar av sannolikheterna i händelsetrådet grundar sig på riskanalysen i detta kapitel och sammanfattas i bedömningsunderlaget intill händelsetrådet (fig. 7.8). Konsekvenskostnaderna är framtagna enligt nedan.

7.6 Konsekvenskostnader

Konsekvenskostnader återger kostnader för åtgärder som fastställts av kommunen och räddningsverket vid simuleringar av ett olycksscenario vid en vattentäkt. Beloppen baseras på ersättningskostnader för förlorad vattenförsörjning av tillfällig eller permanent art samt timkostnaden räddningsverket debiterar vid en utryckning. Uppgifterna har framkommit genom intervju med civ. ing. O. BERGSTEDT, Göteborgs VA-verk.

Under intervjun framkom att konsekvenskostnaden av att Delsjön måste ersättas av annan vattentäkt inte är förlusten av den säkerhet i vattenförsörjning som Delsjöalternativet ger. Värdet av förlusten ligger istället i återanskaffningsvärdet av den förlorade säkerheten med ett annat alternativ.

Konsekvenskostnaderna är mycket lågt satta. Vid en situation där Delsjön förorenas omfattar kostnaderna endast material- och arbetskostnad för en ny ledning till ersättningstakten.

Konsekvenskostnaderna vid en bräddningssituation vid intagsbrunnen, som efter åtgärd inte hunnit påverka Delsjön, omfattar endast kostnaden för akut läns-pumpning.

Konsekvenskostnaderna täcker alltså enbart den fysiska åtgärden, inte återställande av mark eller utredningsarbeten m.m.

Relevansen i riskanalysen bedömdes gynnad av att hålla konsekvenskostnaderna fria från icke fastställda uppgifter t.ex. egna uppskattningar av total konsekvenskostnad. Förhoppningen är att bibehållande av relationerna mellan fastställda konsekvenskostnader ger riskberäkningarna större trovärdighet.

Konsekvenskostnaderna baseras på följande scenarier:

- Delsjön måste permanent ersättas med annan råvattentäkt.

Kostnad, ca 300 MKR, gäller endast kostnad för rörläggning (ca 10 000 kr/m) för att ersätta Delsjön med vattentäkt utom nuvarande system (sträcka ca 40 km). Detta innebär att Delsjön permanent överges som dricksvattentäkt och ersätts med ledningar från sjöar utanför nuvarande vattenförsörjningssystem (Mjörn eller Lygnern).

- Delsjön förorenas men bedöms som möjlig att återställa och kopplas därför bort under den tid som åtgår för återställande.

Kostnad, ca 20 MKR, gäller endast kostnad att bygga en provisorisk överjordledning (ca 10 000 kr/m) från utloppet av råvattentunneln vid Kotången i Lilla Delsjön över Delsjöarna till intaget vid Bratteklevs udde i Stora Delsjön (sträcka ca 2 km). Härifrån leds vattnet vidare i befintlig ledning till vattenreningsverket vid Lackarebäck.

För ovan beskrivna olycksfall tas råvatten under byggtiden från befintlig reservledning till reservtåkten i Rådasjön som skulle klara att leverera 25 % av färskvattenbehovet till Göteborg. Resterande 75 % skulle Alelyckans vattenreningsverk leverera. Alelyckans produktionskapacitet utnyttjas då maximalt. Det innebär att Göteborgs normala färskvattenbehov akut kan tillgodoses men att inga andra störningar får förekomma i renvattenproduktionen. Störningar kan vara saltvattenuppträngning i Göta Älv (påverkar ca 70-90 dagar/år) eller olyckor med farligt godstransport vid Göta Älv, Rådasjön m.m.)

- Större okontrollerad bräddningsolycka vid intagsbrunnen med läns-pumpningsinsats

Kostnad, 100 000 kr - gäller endast kostnad för läns-pumpning av större omfattning mellan Brudaremossen och Delsjön (baseras på kostnader för räddningsverkets uttryckningar (ca 800 kr/timme).

- Mindre okontrollerad bräddningsolycka vid intagsbrunnen med läns-pumpningsinsats.

Kostnad, 50 000 kr - gäller kostnad för läns-pumpning av mindre omfattning mellan Brudaremossen och Delsjön (baseras på kostnader för räddningsverkets debitering för uttryckning, ca 800 kr/timme).

7.7 Spridningsvägar

Två huvudsakliga scenarier för att föroreningar från Brudaremossen når Delsjön har analyserats,

A) **Översvämningsfallet**, kulverten under tippen sätts igen, så att avledning av lakvatten genom brunnen i söder inte sker. Efter viss tid sker direkt ytavrinning ner till Delsjön.

B) **Dagens normalförhållanden**, föroreningstransport sker via berggrundvattnet till Delsjön.

Under arbetet med beskrivningen av ett händelseförlopps utseende, från att ett läckage från Brudaremossen södra del äger rum till att Delsjön förorenas, stod det efterhand klart att de två huvudriskerna kan bestå av tre inbördes oberoende händelseförlopp. Då en olycka kan utlösas på flera sätt oberoende av varandra måste dessa vid beräkningar behandlas separat, för att respektive delrisker skall kunna erhållas. Det medförde att tre händelseträdd upprättades, ett för varje händelseförlopp.

Risk för föroreningsläckage föreligger då:

- Bräddning sker i intagsbrunnen (jmf. med A, översvämningsfallet), *händelseträdd 1*.
- Läckage sker från intagsbrunnens uppsamlade lakvatten i marken (jmf. med B, dagens normalförhållanden), *händelseträdd 2*.
- Läckage sker från tippmassorna i marken (jmf. med B, dagens normalförhållanden), *händelseträdd 3*.

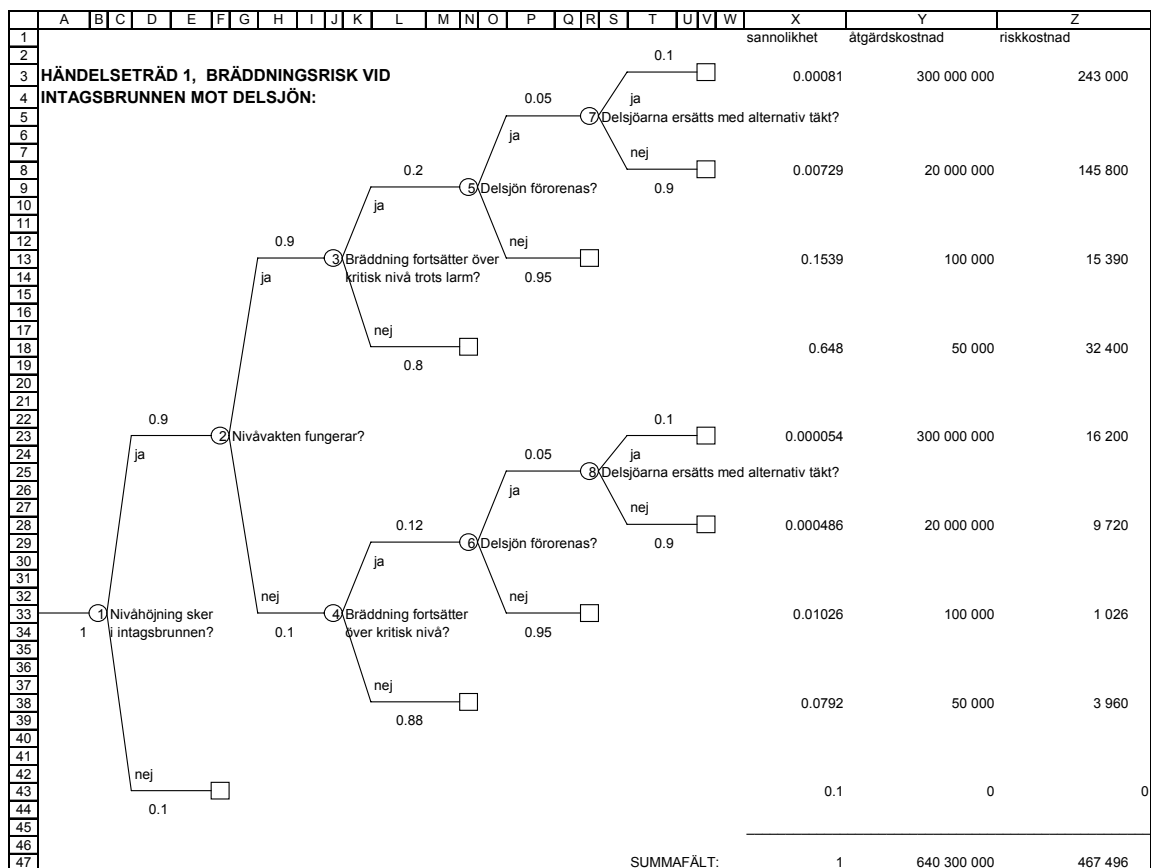
Efter varje händelseträdd följer ett bedömningsunderlag med fyra kolumner;

- händelse sker/sker inte
- sannolikhet
- konsekvenskostnad
- delhändelser tillsammans med de riskkällor som kan utlösa densamma samt fakta som talar emot detta.

Riskkällorna är frampreparerade ur tidigare riskidentifiering och analys av dessa och ger sammantaget vägledning om hur stor sannolikheten är att en oönskad delhändelse utlöses eller ej.

Den sammanlagda totalrisken beräknades slutligen genom att koppla de tre händelseträden till varandra genom att addera händelseträdens inbördes summerade delrisker. Nedan beskrivs de tre händelseträden med respektive bedömningsunderlag i tabellform.

7.8 Händelseträd 1



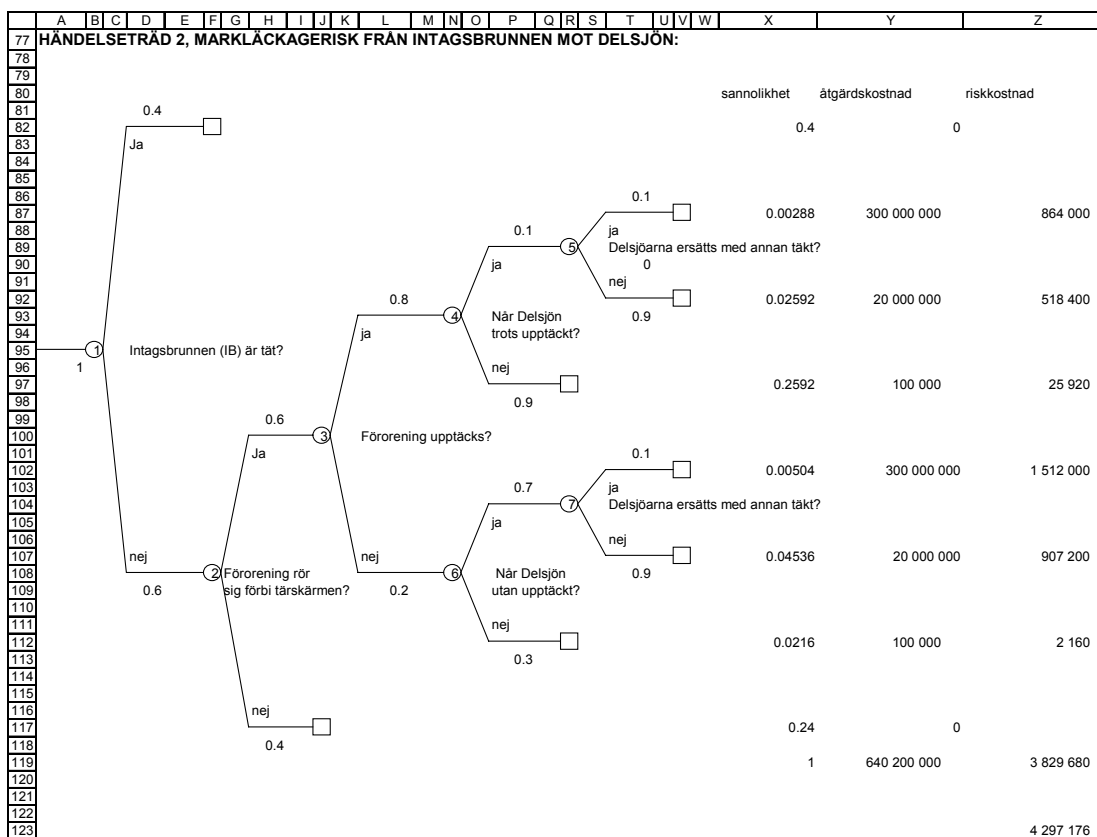
Figur 29. Händelseträd 1, bräddningsrisk vid intagsbrunnen och vidaretransport mot Delsjön.

Tabell 1. Bedömningsunderlag för händelseträd 1.

HÄNDELSE	SANNOLIKHET	ÅTG. KOSTNAD (kr)	RISKKÄLLOR
1			NIVÅHÖJNING I INTAGSBRUNNEN
Ja	0.9		Dämning kan ske av tre skäl, ledningskollaps, igensättning och stora flöden. TV-filmning av ledningar visar sprickbildning utmed vissa sektioner För stora överliggande laster vilar på ledningarna Över 100 år är sannolikheten för ledningsbrott nära 1.
Nej	0.1		Ledningar är makadamfödrade och leder vatten trots ledningsbrott om inte materialet är igensatt av finmaterial. Ledningarna klarar bevisligen flödestoppar på nära 100 l/s. Brunnen har troligtvis aldrig bräddat tidigare
2			NIVÅVAKTEN FUNGERAR
Ja	0.9		Nivåvakten kontrolleras varannan vecka av VA-verket
Nej	0.1		Larmet är kopplat till Alelyckan och insatsstyrka skall därifrån tillkallas och hinna åtgärda en bräddningssituation Nivåvakten är placerad i närbelägen brunn till intagsbrunnens ledning och påverkas därför inte av yttre igensättning med påföljande dämning
3			NIVÅHÖJNING FORTSÄTTER TROTS LARM
Ja	0.2		Osäkert om räddningspersonal hinner åtgärda en bräddningsolycka vid extremflöden (GIS-beräkningar)
Nej	0.8	50 000	Mycket få tillfällen per år som flöden är extremt stora.
4			NIVÅHÖJNING SKER UTAN LARM

Ja	0.12		Sannolikheter beräknade som den del av dygnet som allmänhet ej vistas på Brudaremossen i förhållande till sannolikheten för årets extremflödestillfällen.
Nej	0.88	50 000	- ” -
5 och 6			DELSJÖN FÖRORENAS
Ja	0.05		Liten sannolikhet att lakvatten skall nå fram
Nej	0.95	100 000	- ” -
7 och 8			DELSJÖARNA ERSÄTTTS MED ANNAN TÅKT
Ja	0.1	300 000 000	Låg tolerans av acceptabel lakvattenmängd
Nej	0.9	20 000 000	- ” -

7.9 Händelseträd 2



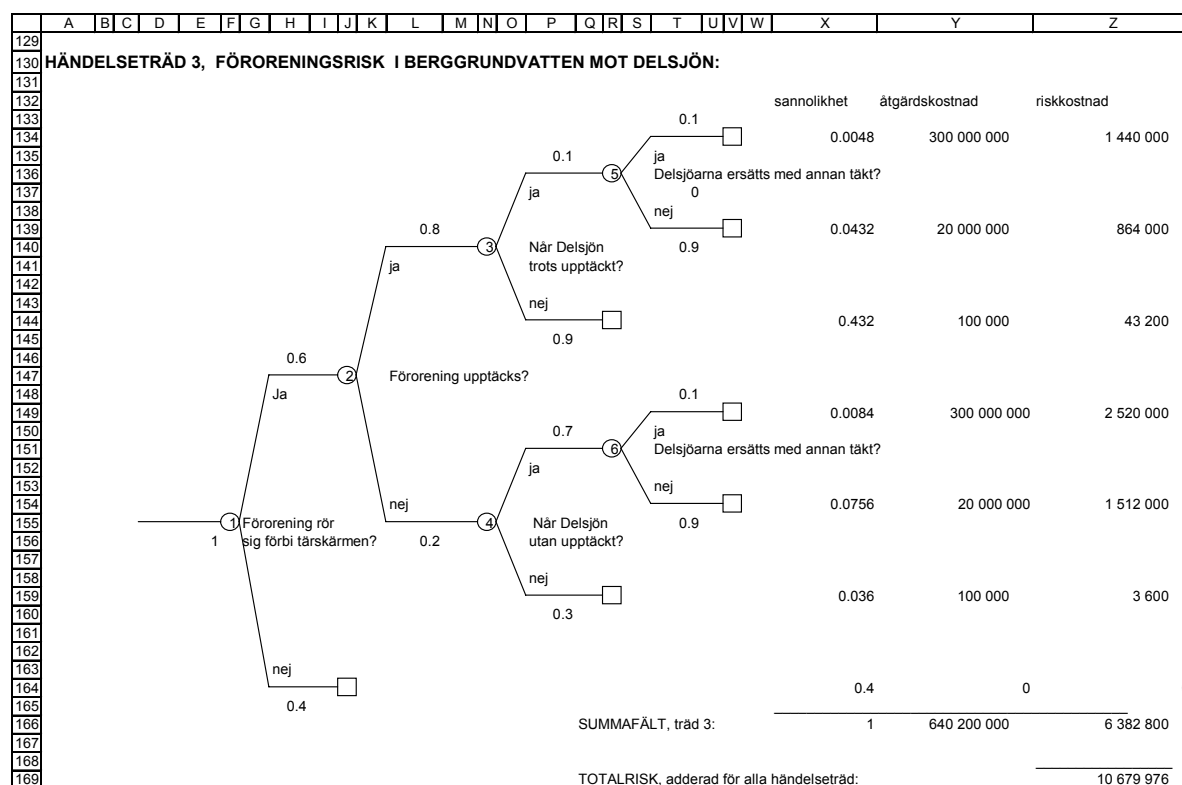
Figur 30. Händelseträd 2, läckagerisk från intagsbrunnen i berggrunden till Delsjön.

Tabell 2. Bedömningsunderlag för händelseträd 2

Händelse	Sannolikhet	Åtgärdskostnad (kr)	RISKKÄLLOR
1			INTAGSBRUNNEN ÄR TÄT
Ja	0.4		Brunnen är grävd 1966 och utformad som tät brunn [VIAK, 1985]
Nej	0.6		Brunnen står förmodligen på berggrunden som utgörs av en sprickzon. Inläckage genom brunnsväggarna av grundvatten kan betyda liknande utläckage i brunnens botten.
2			FÖRORENING RÖR SIG FÖRBI TÄTSKÄRMEN
Ja	0.6		Tätskärmen är 60 år och aldrig besiktigad. Tätskärmen är anlagd i framsprängd bergsschakt vid dåvarande vattendelare. Okänt hur tätskärmens iskarvning i berggrunden är utförd. Geoelektriska fältmätningar indikerar vattenfyllda sprickor under tätskärmen. Svagt förhöjda kadmiumhalter i G2.
Nej	0.4		Ingen tidigare dokumentation om läckage söder om skärmen. Intagsbrunnen utgör lägsta punkten i området och lokal grundvattenströmning är riktad hit samt att grundvattennivån rimligtvis aldrig är lägre än brunnen. Tätskärmen kan vara i god kondition. Måttlig förmåga att transportera förening i jordlagren (100 m/år) enl. teoretiska beräkningar.
3			FÖRORENING UPPTÄCKTS I UNDERSÖKNINGSRÖR
Ja	0.8		Kontinuerligt kontrollprogram för undersökningsrör i området. Svagt förhöjda halter av kadmium i G2 har skärpt bevakningen på detta rör.

			Kadmiumkällan behöver varken komma från tippet eller från försurningsutfällningar, då motsvarande förändring inte finns i G1 (jordrör)
Nej	0.2		Okänt om G1 och G2 effektivt fångar in grundvattenförändringar. Föroreningstransport i berggrund kan ske söderut trots förhärskande nordlig grundvattengradient.
4			FÖRORENING NÅR DELSJÖN TROTS UPPTÄCKT
Ja	0.1		Hydraulisk kontinuerlig kontakt finns rimligen mellan Brudaremsen och Delsjön.
Nej	0.9	100 000	Måttlig transportförmåga av vatten i jordlager (100 m/år) Kadmiumhalterna är försumbara.
5			DELSJÖARNA ERSÄTTTS AV ALTERNATIV TÄKT
Ja	0.1	300 000 000	Liten och svårbedömd risk. Inga indicier
Nej	0.9	20 000 000	- ” -
6			FÖRORENING NÅR DELSJÖN UTAN UPPTÄCKT
Ja	0.1		Okänt om G1 och G2 effektivt fångar in grundvattenförändringar.
Nej	0.9	100 000	Mossområdet utgör rimligen ett effektivt filter vid jordtransport av föroreningar.
7			DELSJÖARNA ERSÄTTTS AV ALTERNATIV TÄKT
Ja	0.1	300 000 000	Liten och svårbedömd risk. Inga indicier
Nej	0.9	20 000 000	- ” -

7.10 Händelseträd 3



Figur 35. Händelseträd 3, föroreningsrisk i berggrundvattnet från Brudaremassen mot Delsjön.

Tabell 3. Bedömningsunderlag för händelseträd 3

Händelse	Sannolikhet	Åtgärdskostnad (kr)	RISKKÄLLOR
1			FÖRORENING RÖR SIG FÖRBI TÄTSKÄRMEN
Ja	0.6		Geofysiska fältmätningar visar indikerar vattenfyllda sprickor under tätskärmen. Inga tillförlitliga undersökningsrör norr om tätskärmen. Svagt förhöjda kadmiumhalter i G2, 30 m S om tätskärmen.
Nej	0.4		Ingen tidigare dokumentation om lakvattenläckage i berggrunden söder om tätskärmen. Intagsbrunnen utgör lägsta punkten i området och lokal ytlig grundvattenströmning är riktad hit. Grundvattennivån är rimligen i höjd med intagsbrunnens överkant.
2			FÖRORENING UPPTÄCKS I UNDERSÖKNINGSRÖR
Ja	0.8		Kontinuerligt kontrollprogram för undersökningsrör i området. Svagt förhöjda halter av kadmium i G2 har skärpt bevakningen på detta rör. Kadmiumkällan behöver varken komma från tippen eller från försurningsutfällningar, då motsvarande förändring inte finns i G1 (jordrör)
Nej	0.2		Okänt om G1 och G2 effektivt fångar in grundvattenförändringar, dvs. är de korrekt placerade. Föroreningstransport i berggrund kan ske söderut trots förhärskande nordlig grundvattengradient.
3			FÖRORENING NÄR DELSJÖN TROTS UPPTÄCKT
Ja	0.1		Hydraulisk kontinuerlig kontakt finns rimligen mellan Brudaremassen och Delsjön.
Nej	0.9	100 000	Måttlig transportförmåga av vatten i jordlager (100 m/år) Kadmiumhalterna är försumbara.

4			DELSJÖARNA ERSÄTTTS AV ALTERNATIV TÄKT
Ja	0.1		Liten och svårbedömd risk. Inga indicier
Nej	0.9	100 000	- ” -
5			FÖRORENING NÅR DELSJÖN UTAN UPPTÄCKT
Ja	0.1	300 000 000	Okänt om G1 och G2 effektivt fångar in grundvattenförändringar.
Nej	0.9	20 000 000	Mossområdet utgör rimligen ett effektivt filter vid jordtransport av föroreningar.
6			DELSJÖARNA ERSÄTTTS AV ALTERNATIV TÄKT
Ja	0.1	300 000 000	Liten och svårbedömd risk. Inga indicier
Nej	0.9	20 000 000	- ” -

7.11 Sannolikhetsberäkning

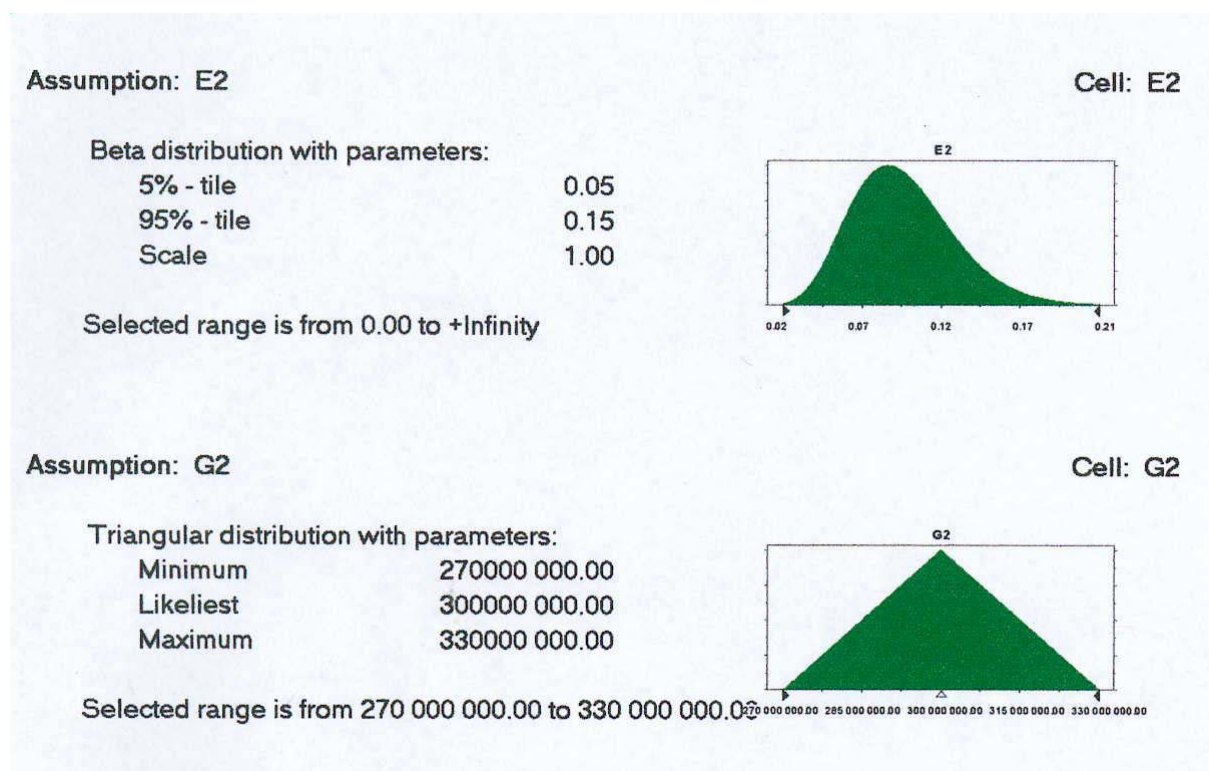
Varje delhändelse skattas till ett tal mellan 0 och 1, som direkt ger en motsatshändelse som får värdet 1 minus det skattade värdet. Tillsammans bildar båda utfallen alltid sannolikheten 1. En händelse som inte kan inträffa skulle få sannolikheten 0.

Under arbetet med att kvantisera delhändelserna till variabler är det omöjligt att exakt bestämma sannolikheten och konsekvenskostnaden. Att t.ex. ange sannolikheten 0.5 för att en delhändelse skall ske betyder att utfallet är "fifty/fifty" och säger egentligen att man inte vet något om vad som styr utfallet. Problemet detta medför är att osäkerheten fortplantas vidare. I avsnitt 7.12 (nedan) redogörs hur detta problem kan hanteras statistiskt.

7.12 Osäkerhetshantering och känslighetsanalys

Skattningar av delhändelser i händelsesträd är behäftade med olika grader av osäkerheter. Problemet kan statistiskt hanteras genom att förse varje variabel med ett osäkerhetsintervall. Genom statistisk simulering kan därefter osäkerheten i den totala risken skattas.

I denna riskberäkning uttrycktes skattade sannolikheter med hjälp av betafördelade osäkerhetsintervall (mest troliga, lägsta rimliga och högsta rimliga sannolikhet). Konsekvenskostnaderna representerades av triangulära fördelningar lägsta, troligaste, och högsta kostnad (fig. 31)

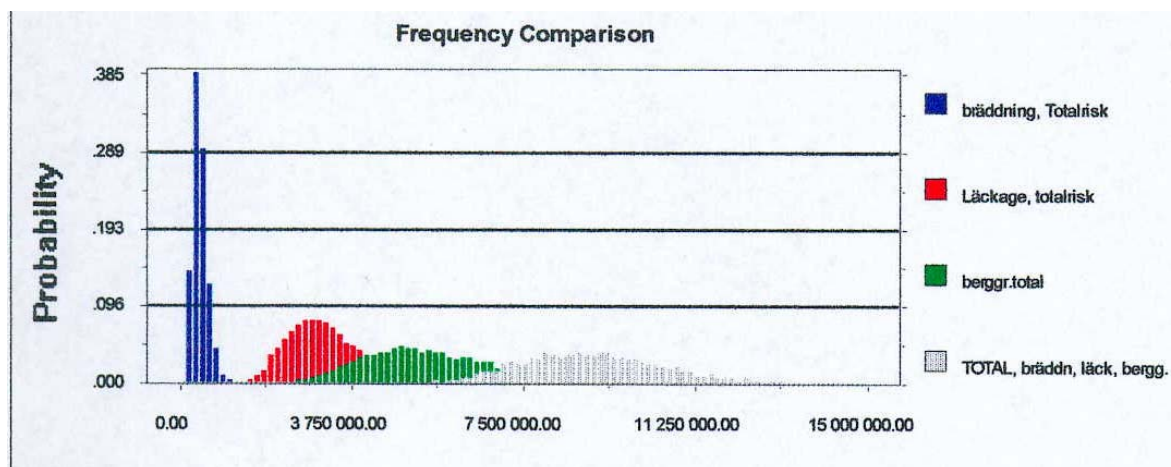


Figur 31. Exempel på osäkerhetsintervall vid riskberäkningarna, *Crystal Ball Report*.

Genom att vidare statistiskt behandla delutfallen vid simuleringar av händelseförloppen kan varje variabls osäkerhetsbidrag för vald prognos statistiskt urskiljas. Detta kallas känslighetsanalys, och medför att de faktorer som bidrar med störst osäkerhet till riskanalysen kan identifieras. I detta arbete har känslighetsanalyserna gjorts med s.k. Monte Carlo-simulering i programvaran *Crystal Ball*. Resultaten och tolkningen av känslighetsanalysen redovisas separat i avsnitt 8.5.2.

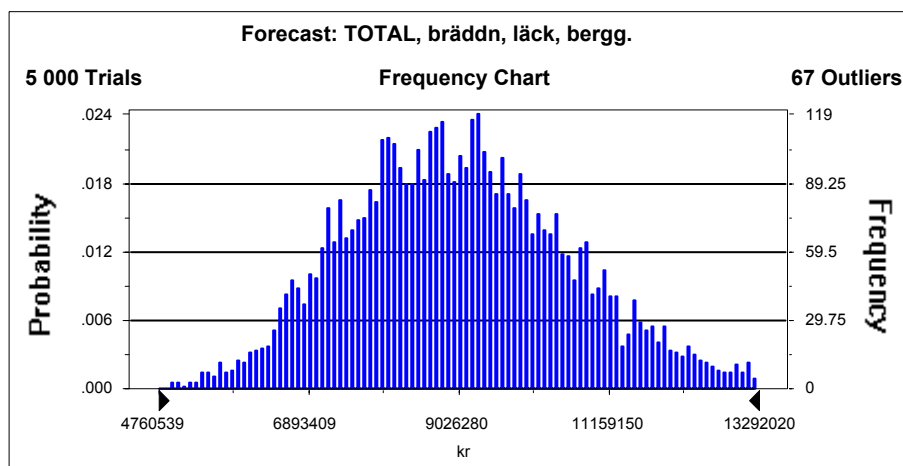
7.13 Resultat av riskkostnadsberäkningar

Beräkningen visar att en mycket liten risk finns för händelser av typen värsta scenario där Delsjön måste överges och ersättas med en annan vattentäkt. Riskkostnaderna blir därför låga, och skall jämföras i relation till varandra, dvs. med respektive händelseträds totala åtgärds kostnad (fig. 32).



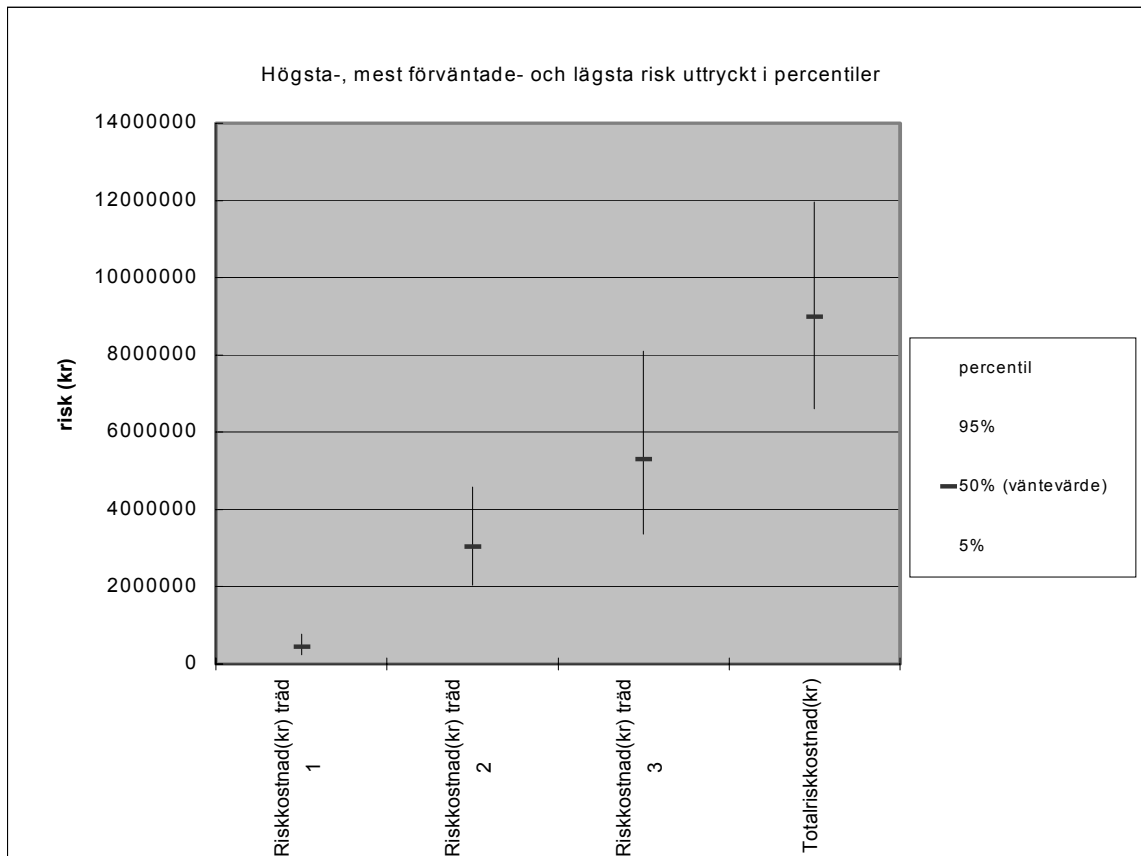
Figur 32. Riskkostnadsdiagram, Chrystal Ball Report.

Totalriskkostnaden för alla tre händelser är ca 10,7 MKR. Beloppet representerar den största möjliga riskreduktionen och kan därmed ses som en uppskattning av den kostnad som är samhällsekonomiskt försvarbar att satsa på olycksförebyggande åtgärder för att öka riskreduktionen. Totalriskkostnaden kan också studeras i detalj över hela osäkerhetsintervallet där lägsta och största riskvärden utgör yttervärdena (fig. 33).



Figur 33. Totalriskkostnader, Chrystal Ball Report.

Totalriskkostnaden är summan av varje händelseträds respektive riskkostnad och representerar den största möjliga riskreduktionen. Riskkostnaden (6,4 MKR) representerar tredje händelseträdet "föreningensrisker i berggrundvattnet mot Delsjön." Näst största riskkostnaden (3,8 MKR) utgör det andra händelseträdet där intagsbrunnen ensam läcker ut föroreningar i berggrundvattnet. Den minsta riskkostnaden (0,5 MKR) utgör en bräddningsolycka med påföljande ytavrinning mot Delsjön som beskrivs i det första händelseträdet. Även här erhålls en uppskattning av kostnader som är samhällsekonomiskt motiverade att satsa på olycksförebyggande åtgärder för att öka riskreduktionen (fig. 34).



Figur 34. Riskernas osäkerheter uttryckta i percentiler.

Förklaringen till att den större riskkostnaden återfinns i tredje händelseträdet beror av att här återfinns de stora osäkerheterna då berggrundens oåtkomliga geologi är komplicerad och att fakta saknas. Skattningarna blir här osäkrare och riskkostnaden ökar därmed.

De absoluta risknivåerna kan diskuteras beroende på den schematiska värderingen av konsekvenskostnader i avsnitt 7.6. Den inbördes relationen mellan riskerna ligger dock utanför alla värderingar och bör vara riktig.

8 Riskvärdering

De värderingar av risker som gjorts beskrivs nedan. Värderingen uttrycks i termer av tänkbara åtgärder av att konsekvenserna utlöses. Det har inte varit möjligt att fullt ut göra en kvantifierad riskvärdering i ekonomiska termer då den ekonomiska värderingen endast baseras på fysiska kostnader av åtgärder som ej innefattat projekteringar, marksaneringar m.m.

I kapitlet återfinns även resultaten av riskberäkningarna och tolkningen av känslighetsanalysen.

8.1 Ytvatten

8.1.1 Avrinningsområdets östra sida.

Tänkbar konsekvens:

- För stor lakvattenbildning till kommunalt avloppsnät (Rya).
- Bräddningsrisker.
- Stigande grundvattennivåer om ytvatten rinner ner i tippmassorna.

Tänkbar åtgärd:

Resurser bör läggas på att förbättra utformningen av tidigare utförda dikesarbeten.

8.1.2 Avrinningsområdets södra sida

Tänkbar konsekvenser:

- Oönskad uppblandning och utspädning av lakvatten.
- Okontrollerade bräddningar.

Tänkbara åtgärder:

- Höj vallen vid infartsvägen och gångvägen för att ytterligare öka separeringen av det tvärgående dike ytvattenledningen är dragen i.
- Regelbunden kontroll av ytvattenledningarnas kondition och funktion.
- Höj vattendelaren vid tätskärmen för att fördröja utbredandet av en okontrollerad bräddningssituation vid intagsbrunnerna.
- Installera permanent länsypump med separat reservledning dragen på marken norrut.

8.2 Grundvatten

8.2.1 Berggrund och jordarter

Geologin i området är komplicerad vilket medför en svårbedömd grundvattensituation där kunskapen är ofullständig.

Tänkbar konsekvens:

- Okontrollerad lakvattenspridning i marken under deponin.

Tänkbar åtgärd:

- Resurser bör läggas på att behärska grundvattensituationen i deponiområdet.
- Utred behovet av en datoriserad flödesmodell.

8.3 Konstruktioner i området

8.3.1 Teletunneln

Tänkbara konsekvenser:

- Okontrollerad lakvattenspridning under deponin.
- Förändringar i grundvattnets trycknivåer under deponin.

Tänkbara åtgärder:

- Förbättra täckningen av deponins kanter då avrinnande ytvatten infiltrerar ner i tippmassorna och vidare mot teletunneln.
- Utred flödesmätningarnas tillförlitlighet.
- Utvärdera kontrollprogrammets effektivitet i frågan.

8.3.2 Tätskärmen

Tänkbara konsekvenser:

Okontrollerad lakvattenspridning mot Delsjön.

Tänkbara åtgärder:

- Framgrävning av tätskärmen för inspektion då denna är över 60 år och aldrig inspekterats.
- Förnyade undersökningar av grundvattennivåerna samt utförligare kontroll av vattenkvaliteten vid tätskärmen.

8.3.3 Lakvattenledningar

Tänkbara konsekvenser:

- Okontrollerad lakvattenspridning i deponiområdet vid ledningsbrott.
- Okontrollerad bräddning vid flödestoppar i och utanför deponiområdet.
- Okontrollerad lakvattenspridning i marken.

Tänkbara åtgärder:

Stödarmera ledningarna, omfördela de på ledningarna överliggande massorna.

Installera reservpumpansläggning med separat ledning ovan mark.

Undersök om intagsbrunnen om läckage kan ske från intagsbrunnen i marken

8.3.4 Ytvattenledningar

Tänkbara konsekvenser:

Effektivt bortledande av ytvatten förhindras.

Tänkbara åtgärder:

- Större rördimensioner.
- Regelbundna inspektioner.

8.4 Pågående verksamheter i deponiområdet

8.4.1 Täckningsarbeten

Tänkbara konsekvenser:

- Förändringar av grundvattnets trycknivåer under deponin.
- Förhöjd lakvattenbildning.
- Okontrollerad bräddning av lakvatten.

Tänkbara åtgärder:

- Utred deponins vidare öde i fråga om sluttäckande med t.ex. geoduk och slutligt skyddsskikt. Detta innebär bl.a. att stora mängder nytt material skall placeras ut över deponin och är förmodligen ett stort åtagande.
- Flygfotograferingar med jämna mellanrum samt etablerande av ett nät med precisionsmätningar för att kontrollera sättningarnas storlek och omfattning.

8.4.2 Kontrollprogrammet

Konsekvenser:

Uppenbar risk att föroreningar sprids okontrollerat samt att oacceptabelt stora lakvattenmängder påförs det kommunala avloppsnätet.

Tänkbara åtgärder.

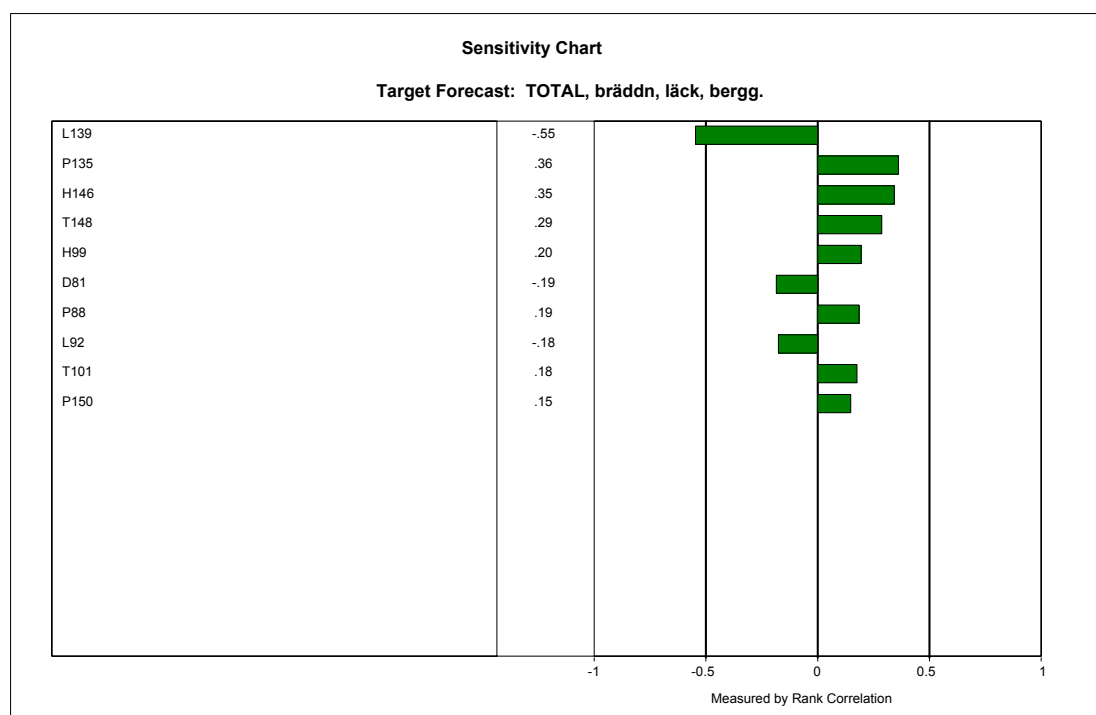
Utred behov av fler mätpunkter, tätare provtagningsintervall och flera analysparametrar.

8.5 Känslighetsanalys

En känslighetsanalys genomförs för att identifiera de största osäkerheterna, vilket ger vägledning kring var man skall lägga pengar för att få säkrare bedömningar. Samtidigt når man en stor riskreduktion eftersom man genom att minska osäkerheten också kan minska risken kraftigt.

Den beräknade känslighetsanalysen illustreras i ett diagram (fig. 35). Här framgår att delhändelsen L139 bidrar med störst osäkerhet för vald prognos. L139 anger rad- och kolumnkoordinaterna för en specifik delhändelse i koordinatsystemet till något av händelseträden. Delhändelsen L139 återfinns med hjälp av koordinaterna i tredje händelseträdet som ”förorening upptäcks”. I diagrammet kan vidare en negativ korrelation på 55 % utläsas för denna variabel ur känslighetsanalysen. Detta skall tolkas på så vis att om variabeln (L139) minskar, så ökar det sammanlagda riskvärdet.

Näst störst bidrag till osäkerheten ger variabeln ”förorening når Delsjön trots upptäckt” i samma träd. Här kan tvärtom en positiv korrelation på 36 % utläsas. Ökar korrelationen för denna variabel, så ökar det sammanlagda riskvärdet för det tredje händelseträdet o.s.v.



Figur 35. Känslighetsanalysdiagram, Chrystal Ball Report

9 Diskussion

9.1 Riskanalys som metod

Resultatet av en riskanalys är inte mer precist än siffrorna som använts i analysen, som ofta har ett stort inslag av subjektivitet. Trots detta så finns det många fördelar med riskanalys som det inledningsvis har pekats på.

En riskanalys tvingar fram en systematisk studie av utsattheten av ett verksamhetssystem samt identifierar tillgångar och säkerhetsåtgärder. Vid utvärdering av riskanalys är följande kriterier bland de viktigare,

- *Användbarhet.* Riskanalysens resultat måste uttryckas i termer som kan tolkas och förstås av exempelvis en företagsledning.
- *Praktisk.* Det värde som en analys genererar måste vara större än kostnaderna för att genomföra den.
- *Trovärdighet.* Osäkerheten i riskanalysens resultat måste vara inom acceptabla gränsvärden.

Vilken tillförlitlighet finns då i denna riskanalys?

Resultaten visar entydigt på att sannolikheten för svåra olyckor där Delsjöns vattentäkt måste överges är liten, (ca 1×10^{-3}). En uppfattning av storleken av denna risk får man genom att betrakta olycksstatistik för Göteborg där sannolikheten att dödas i en trafikolycka år 2001 var (ca 1×10^{-5}), som är den kvot som 8 dödsfall dividerat med 470 000 invånare ger.

Skattningarna är för samtliga delhändelser utom en har inslag av subjektiva bedömningar. Merparten av dessa skattningar ligger närmare 1 eller 0 än 0.5 där osäkerheten är som störst. Vidare har den betafördelade osäkerheten ofta legat runt +/- en tiondel av det skattade, mest troliga värdet. Osäkerheten i skattningarna har försökts att beskrivas så öppet som möjligt. På grund av det oundvikliga inslaget av subjektivitet i bedömningarna blir emellertid även osäkerhetsintervall osäkra. Det enda sättet att fullt ut kontrollera tillförlitligheten i resultaten är att upprepa riskanalysen med andras skattningar. Alla simuleringsunderlag kommer därför att ställas uppdragsgivaren till förfogande så att nya beräkningar kan göras vid önskemål.

De absoluta risknivåerna kan diskuteras beroende på den schematiska värderingen av konsekvenskostnader i avsnitt 10.6. Den inbördes relationen mellan riskerna ligger dock utanför alla värderingar och bör vara riktig.

Det faktum att inget läckage hittills har upptäckts i södra deponiområdet är naturligtvis betryggande. Men om detta leder till att vidare undersökningar inte prioriteras är det olyckligt. Skall en förorening i berggrunden vara möjlig att stoppa är det en förutsättning att den upptäcks i tid.

Förhoppningen med denna riskanalys vid en utvärdering är att något av ovan nämnda kriterier uppfyllts samt att den diskussion som kan utvecklas ökar den generella medvetenheten för behovet av säkerhetsåtgärder på deponier i allmänhet och på Brudare mossen i synnerhet.

9.2 Varför stiger grundvattennivåerna på Brudaremossen

En del av förklaringen ligger i att Göteborgs nederbördsnetto fr.o.m. 1998 har ökat. Samtidigt har teletunnelns inläckage minskat och det är osäkert om detta vatten fångas upp i lakvattenledningen. Kan detta vatten istället visa sig som höjningar av Brudaremossens grundvattennivåer? Om inläckaget i teletunneln minskat från 2 l/s till 0,4 l/s borde det innebära påtagligt förändrade tryckförhållanden inuti tippen. Detta kan vara en annan delförklaring till trenden i grundvattennivådata. På sikt måste detta betraktas som en risk för att strömningsförändringar kan ske i grundvattnet under Brudaremossen. Vilken/vilka riktningar grundvattnet då strömmar är okänt. Denna information bör betraktas som det största enskilda faktabidraget arbetet ger om nuvarande förhållanden på Brudaremossen och har minst lika stor betydelse som riskanalysens resultat i sin helhet.

9.3 En sprickakvifer eller flera

Grundvattennivådata för bergören G6 och G2 har en svårförklarad inbördes höjdskillnad på 8 meter om de förutsätts stå i samma akvifer. Avståndet mellan rören är endast ca 200 meter. Provpumpningar 1984 i G6 har visat på hydraulisk kontakt med G2 men inte G3. Tillsammans utgör nämnda rör de enda i södra området som är bergborrade och utgör själva stommen för tolkningen av grundvattensituationen. Om dessa rör står i skilda akviferer finns risk att grundvattenbildningen är missvisande.

9.4 Jordlagrens transportförmåga mot Delsjön

Riskerna med lakvattentransport från Brudaremossen söderut i enbart jordlager mot Delsjön är förmodligen mycket begränsad. För det första bedöms Brudaremossens grundvattenriktning som nordlig. För det andra är grundvattenströmningarna i jordlagren i södra deponiområdet invid tätskärmen entydigt riktade mot intagsbrunnen efter de markarbeten som utredningar 1988 resulterade i. För det tredje visar beräkningar på siktanalyser och provpumpningar att transportförmågan är måttlig. För det fjärde kan tätskärmen vara en fungerande läckagebarriär trots sin höga ålder.

9.5 Höjda halter av kadmium

Under 2000 upptäcktes svagt förhöjda halter av kadmium i bergörret G2 invid tätskärmen. Då inte samma förändring inte uppmätts i jordröret G1 i närheten, borde rimligtvis inte halterna bero av normal kadmiumurlakning som surstötter vid snösmältning kan ge upphov till.

En tänkbar förklaring kan vara att den öppna yta vid detta rör vintertid vissa snörika år används för att ställa snömassor på som kan vara förorenad av snöröjningsutrustningar m.m. Snön smälter sedan och infiltrerar ner i marken lokalt vid detta rör. Den andra förklaringen är givetvis att kadmiumet har sitt ursprung från Brudaremossen. Generellt är en situation med ett läckage från Brudaremossen i berggrunden på sikt en mycket allvarlig situation där möjligheterna att förhindra vidare spridning kan visa sig vara mycket små. Röret är satt under särskild observation i kontrollprogrammet.

10 Slutsatser av riskhanteringen

Den huvudsakliga slutsatsen av riskanalysen är att bättre utreda grundvattensituationen under Brudaremossen samt att prioritera sluttäckandet av deponin.

På grund av liten eller ingen kännedom, dvs. störst osäkerhet, om rådande mark- och grundvattenförhållanden är bedömningen av en förorenings-spridning i berggrunden behäftad med mycket stora osäkerheter. Det bedöms vara ett rimligt resultat, då förebyggande åtgärder på Brudaremossen hittills bestått av att isolera och innesluta tippmassorna med åtgärder som förhindrar att nederbörd infiltrerar ner i tippmassorna.

10.1 Riskidentifiering, slutsatser

Slutsatsen av riskidentifieringen är att de lakvattenbildande processerna som har samröre med risker för Delsjön kan avgränsas till deponiområdets östra och södra delar där ytvattenbehandlingen och scenarierna kring intagsbrunnen samt hittills utförda täckningsarbeten på själva deponin spelar en avgörande roll. Beträffande påverkan från konstruktioner i området är inläckaget i teletunneln samt konditionen på lakvattenledningarna och tätskärmen av största vikt.

10.2 Riskanalys, slutsatser

Sannolikheten för att lakvattenläckage från Brudaremossen skall förorena Delsjön är liten (i storleksordningen 1×10^{-3}). Av de tre spridningsvägar för lakvatten som identifierats i arbetet, som leder till skada på Delsjön, härrör största risken från lakvatten som rör sig i grundvattenströmningar i berggrunden.

Vid en händelse där en okontrollerad bräddning av intagsbrunnen sker kommer den rimligtvis att upptäckas i tid innan Delsjön skulle påverkas tack vare installerad nivåvakt. Det är mera osäkert om en insats hinner fram i tid vid stora flöden innan lakvatten bräddar över vattendelaren ner mot Delsjön trots larmande nivåvakt. Under normala flödesförhållanden är denna tid beräknad till ca 2,5 dygn men i värsta fallet endast ca 1 timme.

10.3 Riskvärdering, slutsatser

Känslighetsanalysen visar att den delhändelse som bidrar med störst osäkerhet är om kontrollprogrammet upptäcker en förorening i tid, och därmed om kontrollprogrammet är riktigt utformat.

Riskvärderingen visar att risken för en bräddningsolycka kan minskas om bättre skyddsåtgärder vidtas för att förhindra lakvattenläckage i eller på marken.

Totalriskkostnaden för alla tre händelser som kan leda till olycka är ca 10,7 Mkr beräknat i dagens penningvärde. Beloppet representerar väntevärdet på den största möjliga riskreduktionen och kan därmed ses som en uppskattning av den kostnad som är samhällsekonomiskt försvarbar att satsa på olycksförebyggande åtgärder för att öka riskreduktionen. Det skall betonas att andra kriterier än den förväntade risken kan användas, exempelvis en högsta rimliga risk, uttryckt som 95 % - percentilen (ca 12 Mkr). Vilket kriterium som används måste bestämmas av beslutsfattaren. Denna siffra skall ses i ljuset av ovan givna kommentar till konsekvenskostnaden för att Delsjön förorenas d.v.s. att värderingen av konsekvenserna är relevanta. Samhällsekonomiskt är det lönsammast att utreda berggrundens ev. förmåga att transportera en förorening från Brudaremossen mot Delsjön. Det är runt denna process de största osäkerheterna kretsar.

10.3.1 Förslag på skyddsåtgärder i södra deponiområdet

- Effektivt omhändertagande av ovidkommande ytvatten som annars ger oönskade spädningar, extremflöden och bräddningsrisker av lakvatten.
- Minska eller omfördela överliggande laster på lakvattenledningar.
- Förstärk lakvattenledningen invändigt.
- Installera reservpumpstation vid intagsbrunnen med permanenta reservledningar.
- Förse elförsörjningen till nivåvakten vid intagsbrunnen med signalövervakning som larmar vid elavbrott. Täta funktionskontroller av nivåvakten av t.ex. befintlig personal på Brudaremossen.
- Höj markytan (vattendelaren) vid tätskärmen så att ytvattenflöden fördröjs och styrs åt annan riktning än mot Delsjön om en okontrollerad bräddning sker vid intagsbrunnen.

10.3.2 Förslag på skyddsåtgärder i marken

För riskerna rörande lakvattenrörelser i marken är förslag på lämpliga skyddsåtgärder svårare att definiera. Generellt bör den geohydrologiska situationen under deponin utredas bättre.

- Installera flera undersökningsrör i området för att få bättre bild av grundvattensituationen.
- Provpumpningar av undersökningsrör för att identifiera olika grundvattenmagasin.
- Utred konditionen av undersökningsröret G8 invid tätskärmen, som inte längre ingår i kontrollprogrammet, och ta på nytt med det i kontrollprogrammet.
- Mätpunkterna på deponiområdet finns koncentrerade i södra och norra delen av området medan det på själva deponin helt saknas mätpunkter. En möjlig åtgärd här kan vara att gräva fram de överschaktade gasbrunnarna som finns under täckskiktet och använda dessa för grundvattenobservationer. På så sätt kan en bättre bild av grundvattenförhållandena inne i deponin åstadkommas utan kostsamma borrhningar.

10.3.3 Generella skyddsåtgärder

- Prioritera sluttäckandet av deponin.
- Utred om kontrollprogrammets syfte, dvs. dokumentera deponiområdets utsläpp till Ryaverket samt kontroll av påverkan på omgivningen, effektivt tillgodoses.

11 Förslag på fortsatta studier

11.1 Deponiproblematiken

Det finns i Sverige över 500 aktiva avfallsupplag, vara cirka 120 enbart tillförs slam. Dessutom finns cirka 6 000 avslutade äldre deponier i Sverige. Den totala mängden som deponerats under 1996 var 5,1 miljoner ton, vilket motsvarade en minskning på nära 1 miljon ton sedan 1994. Totalt uppsamlades cirka 7.2 miljoner m³ lakvatten från de aktiva avfallsupplagen under 1996 [NATURVÅRDSVERKET, 1998]. Lakvatten från upplag med hushållsavfall och industriavfall innehåller föroreningar som kan vara giftiga för organismer eller på annat sätt miljöfarliga. På grund av den stora mängden förorenat lakvatten, befintliga analysmetoder, kostnader och tid är kunskapen begränsad om vad som händer med dessa ämnen i upplaget och vad som hamnar i lakvattnet. Detta medför svårigheter att bedöma lakvattnets inverkan på miljön. Effekterna av de miljöpåverkande föroreningarna är dessutom mycket olika.

11.2 Förslag som rör lakvattenspridningen:

- Undersök lakvatten från Brudaremossen, några kritiska ämnen var för sig, eftersom de uppträder olika, framförallt vid strömning i marken (nedbrytning, fastläggning).
- Undersök den geohydrologiska situationen på Brudaremossen. En grundvattenmodell med simuleringsmöjligheter av flöden under olika scenarier är önskvärd.
- Undersök om grundvattnet sydväst om deponin vid infartsvägen kan vara en spridningsväg för lakvatten mot Delsjöarna. Grundvatten kan kanske söka sig västerut från sprickdalgången vid G2 till sprickzonerna vid G6 via en öst-västlig krosszon [se strukturgeologiska kartan, geologiavsnittet]. Provpumpningen och spräckningen 1984 av G6 visade att G6 hade hydraulisk kontakt med G2 men inte med G3 [VIAK, 1984]. Det kan därför finnas en okänd spridningsväg västerut från G2.

12 Referenser

12.1 Publicerade källor

- ANDER F, SAMUELSSON A: *Råvattenförbindelse Göta Älv- Delsjöarna- Lackarebäck*, VIAK AB, 1968
- BORG, T ET AL: *IT-säkerhet för ditt företag*. Bonnier datamedia, 1997
- CALOW, P., 1998: *Handbook of Environmental Risk Assessment and Management*, Blackwell Science. London.
- GRIP H, RODHE A: 1994: *Vattnets väg från regn till bäck*. Hallgren & Fallgren Studieförlag AB. Uppsala
- GÖTEBORGS STADS RENINGSVERK 1941-11-25
- FREESE J, HOLMBERG S: *Datasäkerhet*, Affärsinformation AB, 1993
- STRÖM K, 1992: *Äldre avfallsupplag, riskbedömning samt förslag till åtgärds- och miljöskyddsplan*. Göteborgs stad, 1992:21 ISSN 1100-4371
- NATURVÅRDSVERKET, 1990: Översiktlig undersökning av avfallsupplag, östgötamodellen. - Rapport 3859
- NATURVÅRDSVERKET, 1998: *STG: s projekt: Svensk avfallsterminologi*. AFR-rapport 217
- NATURVÅRDSVERKET, 1999: Avfallsdeponins roll för en hållbar samhällsutveckling. AFR-rapport 271
- NATURVÅRDSVERKET, 1999: *Metoder för analys av processystemet i en avfallsdeponi*, slutrapport. AFR-rapport 170
- NATURVÅRDSVERKET, 1999: *Metodik för inventering av förorenade områden*. Rapport 4918 Almqvist och Wiksell. MF
- NILSSON T, 2001: *Brudaremossen, hydrogeologisk modell*. Earth Sciences Centre, Göteborg University 1400-3821; 303
- NORDBERG L, PERSSON G, 1979: *Vårt vatten, tillgång - utnyttjande*. LT: s förlag, Stockholm, ISBN 91-36-01120-7.
- RENHÅLLNINGSVÄRKET, 1996: *Brudaremossen- lakvattenbehandling, kontrollprogram*. Göteborg 1996-10-01
- PFLIEGER C, *Security in computing*, Prentice Hall, 1997
- SAMUELSSON L, 1978: *Beskrivning till berggrundskarta Göteborg SO*. Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) Af 117 Stockholm
- SCANDIACONSULT, 1992: *Lokal lakvattenbehandling vid Brudaremossen*. Göteborg 1992-09-28
- SCANDIACONSULT, 1993: *Gasemissioner från Brudaremossens avfallsupplag. Termografering och besiktning*
- SCANDIACONSULT, 1994: *Lokal lakvattenbehandling vid Brudaremossen*. Principförslag
- SCANDIACONSULT, 1995: *Utvärdering av lokal lakvattenbehandling vid Brudaremossens avfallsupplag i Göteborg*
- ROSEN L, 2000: *Risikanalyser för att värdera hot mot vattentäkter*. Geologiska institutionen, Chalmers tekniska högskola och Göteborgs Universitet. Publ. B 383
- RÄDDNINGSVÄRKET, 2000: *Olycksrisker i MKB*. Koncept 2000-04-20
- STRÖM K, THURÉN S, 1992: *Äldre avfallsupplag- Riskbedömning samt förslag till åtgärds- och*

miljöskyddsplan. Göteborgs stad, Miljö och hälsoskydd.

Geoteknik. Handboken BYGG, 1984, s 208. Liberförlag, Stockholm

SWECO VBB VIAK, 1998-2001: *Brudaremossens årsrapporter*, Göteborg.

VBB VIAK, 1984: *Brudaremossen - undersökningar för kontroll av ett eventuellt vattenläckage genom den befintliga betongskärmen söder om deponeringsområdet*. Göteborg 1984-06-06 ISSN 5412-42-1382.

VBB VIAK, 1989-02-06: *Brudaremossen, Hydrogeologiska undersökningar 1988*. Göteborg 1989.

VÄGVERKET, 1998: *Förorening av vattentäkt vid vägtrafikolycka - hantering av risker med petroleumutsläpp*. VV Publ. 1998:064.

12.2 Muntliga källor

Civilingenjör ULF MÜHLENBOCK, Aqua Canale, Göteborg, 2002

Civilingenjör OLOF BERGSTEDT, Göteborgs VA-verk, 2002

Geokonsult ANDERS BLOM, Swecobolagen, VBB VIAK AB, 2002

12.3 Kartor

BERGGRUNDSGEOLOGISKA OCH GEOFYSISKA KARTBLAD (1977), skala 1:50 000, Serie Af nr 117, Sveriges Geologiska Undersökning (SGU).

JORDARTSKARTAN, GÖTEBORG SO, 1976, Serie Af nr 117, Sveriges Geologiska Undersökning (SGU).

GIS-karta, NILSSON T, Geovetarcentrum: *Brudaremossen, hydrogeologisk modell*. Earth Sciences Centre, Göteborg University 1400-3821; 303

