

UPTEC W 05 043
ISSN 1401-5765

Examensarbete
M.Sc. Thesis Work

Dammsäkerhetsutvärdering samt utformning av dammregister och felrapporteringsystem för svenska gruvdammar

Dam Safety Evaluation
and Development of a Database
for Swedish Tailings Dams

Nils Isaksson
Helena Lundström

Oktober 2005

REFERAT

Vid alla gruvprocesser skapas stora mängder restprodukter i form av gråberg och anrikningssand som måste tas om hand på lämpligt sätt. Anrikningssanden deponeras tillsammans med vatten från gruvprocessen i magasin omgärdade av dammvallar, s.k. gruvdammar. Gruvdammar har som syfte att hålla kvar anrikningssand och vatten och måste vara stabila så att de skyddar omgivningen från utsläpp av anrikningssand som skulle kunna vara skadligt för miljön. En gruvdamm byggs ofta upp i etapper eftersom byggkostnaderna och behovet av dammfyllnadsmaterial då sprids över tiden.

Syftet med arbetet har varit att sammanställa och utvärdera händelser vid svenska gruvdammar samt att utforma ett för gruvindustrin gemensamt dammregister och felrapporteringsystem.

60 händelser vid svenska gruvdammar har sammanställts och utvärderats. Utvärderingen har genomförts dels genom att enskilda parametrar jämförts och analyserats och dels med hjälp av den multivariata analysmetoden PLS. Den statistiska analysen visar på en minskning i antal händelser under de senaste fem åren, vilket tyder på ett förbättrat dammsäkerhetsarbete inom gruvindustrin. Analysen har kunnat uppvisa ett samband mellan allvarliga händelser och den mänskliga faktorn när det gäller vad det är som initierat händelserna. Genom PLS-analysen har ytterligare samband mellan de undersökta parametrarna och allvarlighetsgraden av händelserna kunnat utläsas, bl.a. visar analysen att låga och korta dammar i större utsträckning drabbas av allvarliga händelser jämfört med höga och långa dammar. För att säkra slutsatser ska kunna dras krävs dock vidare studier med ett mer komplett statistiskt underlag.

Examensarbetet har påvisat ett behov av ett branchgemensamt damm- och felrapporteringsregister för att ett mer komplett underlag ska kunna erhållas i framtiden. En färdig databasstruktur för ett sådant dammregister och felrapporteringsregister för svenska gruvdammar har utformats. Databasen är uppbyggd i Microsoft Access 2000 och är tänkt att underlätta erfarenhetsåterföring inom branschen samt att ge ett underlag för framtida statistiska undersökningar.

Sökord: gruvdammar, PLS-analys, dammsäkerhet, statistisk utvärdering, gruvdammsregister, felrapporteringsystem

Institutionen för geovetenskaper
Uppsala universitet
Villavägen 16
SE-752 36 Uppsala

ISSN 1401-5765

ABSTRACT

A lot of mine waste rock and tailings arise from all mining processes and have to be stored in an appropriate way. Tailings are deposited in impoundments retained by tailings dams. The objective of tailings dams is to retain the slurry from the mining process and in that way prevent spill into the surroundings that might be harmful for the environment. Tailings dams are often constructed as staged embankments so that construction costs and demand of materials are spread more evenly over the period of deposition.

The objective of this thesis has been to compile information about and evaluate events at Swedish tailings dams and also to develop a collective database for all Swedish mining companies for all tailings dams and all events that occur at tailings dams.

Information about 60 events at Swedish tailings dams has been gathered and evaluated. The evaluation has been performed by comparison between and analysis of individual parameters and also by use of a multivariate statistical method called PLS. The statistical analysis shows a decrease in the numbers of events during the last five years, which indicates improved dam safety within the mining industry. The analysis also shows that severe events and the human factor might be related when it comes to the initiating cause of the event. Further relations between the parameters and the severity of the events can be seen from the PLS-analysis, for example that low and short tailings dams to a greater extent are subjected to severe events. To be able to draw more reliable conclusions further studies with a more complete basic data are needed.

This work has shown a need of a collective database within the Swedish mining industry for tailings dams and occurring events at tailings dams so that more complete basic data could be obtained for future studies. A structure for such a database has been developed in Microsoft Access 2000. The aim of the database is to facilitate feedback within the mining industry and to gather comprehensive data for future statistical evaluations.

Keywords: tailings dams, PLS-analysis, dam safety, statistic evaluation, database

Department of Earth Sciences
Uppsala University
Villavägen 16
SE-752 36 Uppsala

ISSN 1401-5765

FÖRORD

Detta arbete har utförts som ett 20-poängs examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Miljö- och vattenteknik vid Uppsala Universitet. Arbetet är initierat av SveMin (Föreningen för gruvor, mineral- och metallproducenter i Sverige) och Annika Bjelkevik anställd vid SWECO VBB AB i Stockholm samt doktorand vid Luleå Tekniska Universitet. Under arbetet har Annika Bjelkevik och Raivo Maripuu vid Boliden Mineral AB fungerat som handledare. Kennet Axelsson vid Institutionen för geovetenskaper har varit ämnesgranskare och Allan Rodhe vid Institutionen för geovetenskaper har varit examinator. Arbetet har genomförts gemensamt, men av examinationstekniska skäl anges här de kapitel som var och en av författarna har haft särskilt ansvar för. Nils Isaksson: Kapitel 5, 6, 7.3, 7.4; Helena Lundström: Kapitel 1, 2, 3, 7.1, 7.2. Övriga kapitel har skrivits gemensamt.

Vi vill tacka samtliga personer som på det ena eller andra sättet bidragit till detta examensarbete: Raivo Maripuu, Michel Sandberg och Ola Turtola, Boliden Mineral AB; Sven Isaksson samt Pia Lindholm, LKAB; Annika Bjelkevik, SWECO VBB AB och Luleå Tekniska Universitet; Lars-Åke Lindahl och Viveca Lindfors, SveMin; Fred Mellberg, och Sara Berglund, Zinkgruvan Mining AB; Anders Brundin, Dragonmining AB; Mats Lindegren, Björkdalsgruvan AB; Gun Åhrling-Rundström, Svensk Energi; Michael Sjöström vid Kemiska Institutionen, Umeå Universitet. Vi riktar även ett tack till hela våning nio på SWECO VBB AB i Stockholm för att ni svarat på frågor, givit oss tillgång till information samt låtit oss utnyttja era lokaler under tiden för examensarbetet.

Vi vill rikta ett särskilt stort tack till Anders Brundin, professor vid Linköpings Universitet samt miljö- och säkerhetschef vid Dragonmining AB, för all hjälp du bidragit med till PLS-analysen, Sven Isaksson, LKAB, för all tid du avvarade vid vårt studiebesök vid LKAB:s anläggningar samt Annika Bjelkevik för den engagerade handledningen du har gett oss under arbetets gång då du alltid tagit dig tid till att svara på alla våra frågor och kommit med värdefulla kommentarer och idéer.

Vi vill till sist ge en stor kram till Tobias och Marie för stöd och uppmuntran under hela arbetet.

Uppsala, oktober 2005

Nils Isaksson och Helena Lundström

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND.....	1
1.2	SYFTE	1
2	GRUVDRIFT	3
2.1	ALLMÄNT	3
2.2	GRUVPROCESSEN.....	3
2.2.1	<i>Allmänt om gruvprocessen</i>	3
2.2.2	<i>Hantering av restprodukter</i>	5
2.2.3	<i>Vittring</i>	6
2.2.4	<i>Efterbehandling</i>	7
3	GRUVDAMMAR	9
3.1	ALLMÄNT	9
3.2	UTÅTMETODEN.....	10
3.3	INÅTMETODEN	10
3.4	UPPÅTMETODEN	11
3.5	SKILLNADER MELLAN GRUVDAMMAR OCH VATTENKRAFTSDAMMAR.....	11
4	DAMMSÄKERHET	13
5	DATABASER	17
5.1	ALLMÄNT.....	17
5.2	RELATIONS-DATABASER	17
5.2.1	<i>Allmänt om relationsdatabaser</i>	17
5.2.2	<i>Tabeller, Poster och Fält</i>	17
5.2.3	<i>Nyckelfält</i>	17
5.2.4	<i>Samband mellan tabeller</i>	18
5.2.5	<i>Referensattribut</i>	18
5.2.6	<i>Databasstruktur</i>	19
5.2.7	<i>Integritetsvillkor</i>	20
5.2.8	<i>Uppslag</i>	20
5.2.9	<i>Uppbyggnad av en databas</i>	20
6	UPPBYGGNAD AV EN DATABAS FÖR GRUVDAMMAR	23
6.1	ALLMÄNT.....	23
6.2	FRAMTAGET GRUVDAMMSREGISTER	23
6.2.1	<i>Allmänt om gruvdammsregistret</i>	23
6.2.2	<i>Gruvdammsregistrets struktur</i>	24
	<i>Anläggningar</i>	24
	<i>Magasin</i>	25
	<i>Dammar</i>	25
	<i>Utskov & Stödbankar</i>	26
6.3	FRAMTAGET FELRAPPORTERINGSSYSTEM.....	26
6.3.1	<i>Allmänt om felrapporteringssystemet</i>	26
6.3.2	<i>Felrapporteringsregistrets upplägg</i>	27
6.3.3	<i>Felrapporteringsregistrets struktur</i>	28
6.4	SAMMANFATTNING	28

7	GRUVDAMMSHÄNDELSE	29
7.1	INLEDNING	29
7.2	BESKRIVNING AV DATA	29
7.3	KORTFATTAD BESKRIVNING AV PLS-ANALYS	31
7.4	TOLKNING AV PLS	34
7.5	RESULTAT	35
8	DISKUSSION	45
9	SLUTSATSER	51
10	REFERENSER	53

BILAGOR

Bilaga I	Sammanställning av dokumenterade händelser vid svenska gruvdammar	a
Bilaga II	Sammanställning av dammregistrets innehåll	c
Bilaga III	Exempel på formulär för gruvindustrins felrapportering	e
Bilaga IV	Studiebesök	i

1 INLEDNING

1.1 BAKGRUND

Vid alla gruvprocesser skapas stora mängder restprodukter som måste tas om hand på lämpligt sätt. En stor del av avfallet deponeras i stora magasin omgärdade av dammvallar. På senare tid har fokus på dammsäkerhet inom gruvbranschen ökat. Anledningen till detta är dels att lagkraven hårdnat och dels att ett antal haverier inträffat vid gruvdammar, både i Sverige och utomlands. Haverierna har lett till stor medial uppmärksamhet och ökad medvetenhet bland allmänheten. I och med detta har gemene man fått en ökad inblick i de risker som gruvdammar medför. På grund av ökade krav på säkerhet har insatserna inom området ökat. Inom forskningsprojektet "Tailings Dams – Design and construction for operation and long term effective performance" har uppgifter om händelser vid svenska gruvdammar samlats in och analyserats (Bjelkevik, 2005). Denna undersökning är idag ensam i sitt slag. Dock har en sammanställning av händelser gjorts internationellt av ICOLD (International Committee of Large Dams) där 221 händelser dokumenterats (ICOLD, 2001). Ingen ingående statistisk analys har genomförts av händelserna i denna sammanställning. Det bör också nämnas att det i den internationella sammanställningen inte finns en enda händelse från svenska gruvdammar inkluderad. Ett behov av komplettering och ytterligare undersökning kring händelser vid svenska gruvdammar finns. Det har lett fram till detta examensarbete.

Gruvindustrin saknar idag egna riktlinjer för sina dammar. Därför tillämpas de riktlinjer som vattenkraftsindustrin tagit fram, RIDAS (Svensk Energi, 2002a). Dessa är dock inte helt tillämpliga på gruvdammar eftersom dessa skiljer sig relativt mycket från traditionella vattenkraftsdammar. Gruvindustrin har därför tagit initiativ till att ta fram egna riktlinjer, GruvRIDAS. I dessa riktlinjer kommer det bl.a. att finnas, precis som i RIDAS, krav på ett dammregister och ett väl fungerande felrapporteringsystem. Dessa är tänkta att fungera som underlag dels för rapportering till tillsynsmyndigheter och dels för internt branscharbete genom t.ex. erfarenhetsåterföring och statistiska analyser, vilket kan ge lärdomar för fortsatt dammsäkerhetsarbete.

1.2 SYFTE

Detta examensarbete syftar till att bygga upp en grundstruktur för den databas som är ämnad att fungera som både damm- och felrapporteringsregister för svenska gruvdammar. I examensarbetet ingår även att utföra en statistisk analys av händelser vid svenska gruvdammar. De händelser som tidigare har sammanställts och analyserats i forskningsprojektet "Tailings Dams – Design and construction for operation and long term effective performance" (Bjelkevik, 2005) ska kompletteras med fler händelser samt med dammtekniska data för de berörda dammarna. Med ett större statistiskt underlag ska sedan de sammanställda uppgifterna analyseras statistiskt och slutsatser dras om hur dammarnas utformning påverkar dammsäkerheten. Arbetet utgör en del av det dammsäkerhetsarbete som bedrivs inom svenska gruvföretag och SveMin (Föreningen för gruvor, mineral- och metallproducenter i Sverige).

2 GRUVDRIFT

2.1 ALLMÄNT

Gruvdrift har pågått i Sverige i över 1000 år och är fortfarande en viktig svensk industri som omsätter omkring 7 miljarder kronor årligen (Fröberg m.fl., 2004). Omkring hälften av all malm som bryts i Sverige är järnmalm och resten är sulfidmalm. Ur sulfidmalm utvinns det i Sverige koppar, zink, bly, silver och guld.

Malm är ett ekonomiskt begrepp som används då en mineralisering är lönsam att utvinna. Den ekonomiska lönsamheten avgörs av faktorer som t.ex. metallpriser, miljövårdskostnader, brytningskostnader och anrikningskostnader. Det finns idag 12 aktiva gruvor i Sverige, se Figur 1. I början av 1900-talet var det betydligt fler aktiva gruvanläggningar, men trenden inom gruvbranschen visar på färre och större anläggningar (Hatlevoll, 2000). Effektivisering och teknisk utveckling har lett till att gruvindustrin sysselsätter färre personer, samtidigt som produktionsvolymerna ökat stadigt. Bättre brytnings- och anrikningsmetoder har gjort att gruvor som har lagts ned åter kan tas i bruk och material som förklarats som restprodukter kan förädlas och ge tillräcklig ekonomisk vinst. Detta är aktuellt vid Björkdalsgruvan där det idag inte bryts någon ny malm utan företaget gör vinst av att anrika material från gamla upplag som tidigare ägare lämnat efter sig (Lindegren, 2005).



Figur 1. Aktiva gruvanläggningar i Sverige. Bilden reviderad från Fröberg m.fl. (2004).

2.2 GRUVPROCESSEN

2.2.1 Allmänt om gruvprocessen

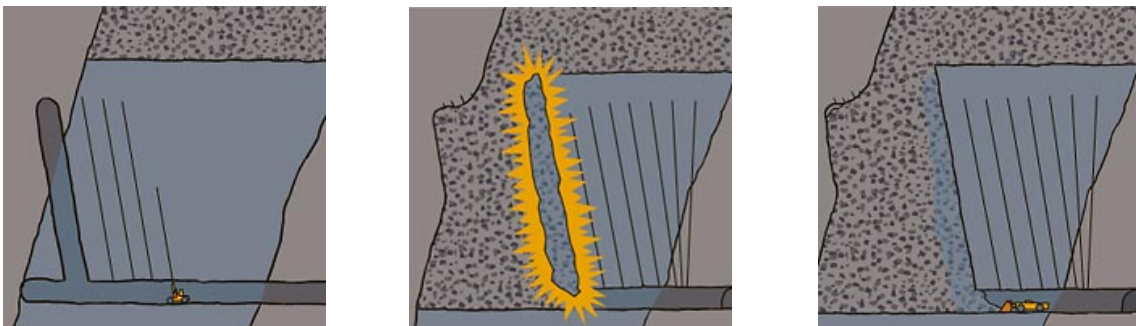
I Sverige bryts malm både genom underjordsbrytning och i dagbrott. Avgörande kriterier för vilken brytningsmetod som väljs är bland annat malmkroppens metallhalt, geometri och hur djupt den sträcker sig (SGU, 2005). De dagbrottsgruvor som är i drift i Sverige idag är:

- Maurliden i Bolidenområdet
- Björkdal
- Svartliden
- Aitik



Figur 2. Dagbrottet i Aitik är en av Europas största dagbrottsgruvor med ett djup på ca 340 meter. (Foto: Boliden Mineral AB)

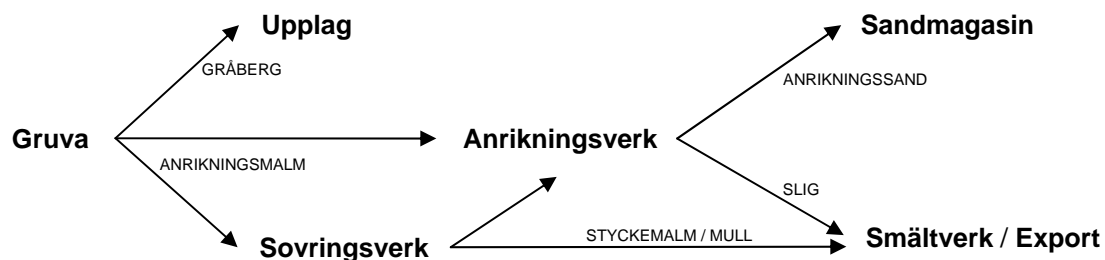
Brytning i dagbrott är oftast billigare än underjordsbrytning, men innebär brytning av större mängder gråberg för att komma åt malmen. Pallbrytning är den vanligaste metoden i dagbrott, där pall efter pall bryts i nedåtgående riktning. Vid underjordsbrytning bryts malmkroppen via ett system av orter anslutna med schakt till markytan. Den vanligaste metoden är då skivrasbrytning, se Figur 3 (Fröberg m.fl., 2004). Mer ingående information om några svenska gruvanläggningar redovisas i Bilaga IV.



Figur 3. Uppborrning av skivor som laddas och sen sprängs. Den losskjutna malmen kan sedan transporteras iväg. (Bilder från www.lkab.se)

Gruvprocessen utförs sedan i flera olika steg innan man erhåller de slutprodukter som efterfrågas, se Figur 4. Efter borrning och sprängning i gruvan krossas bergmaterialet. Det sker ofta i två steg med en grovkross och en finkross. Efter krossning transporteras malmen antingen till sovringsverket eller till anrikningsverket. Sovring är en slags grovsortering av krossad malm som används då metallhalten i malmen är hög och i Sverige är det vid anrikning av järnmalm som sovring utnyttjas. I sovringsverket siktas den krossade malmen i olika styckestorlekar och gråberg och mineraler skiljs sedan åt med hjälp av magnetiska separatorer. Slutprodukter från sovringen är styckemalm och mull som kan säljas direkt. Styckemalm består av höghaltiga malmstycken vanligen krossade ner till 20-30 mm och mull är malm av finare storlek, ca 6-10 mm. Malm som måste förädlas ytterligare går vidare till anrikningsverket.

Ofta är metallhalten i malmen låg och då transporteras malmen direkt till anrikningsverket där den förädlas. Till skillnad från sovringsprocessen, som är en helt torr process, tillsätts vatten vid anrikningen. När malmen kommer till anrikningsverket mals den till fin sand och blandas med vatten till en slurry. Då malmen är finfördelad kan olika mineral lättare separeras från varandra och oönskade beståndsdelar avskiljas för att erhålla så hög halt av mineralerna som möjligt. De metoder som används vid anrikningen är selektiv flotation, gravimetrisk separation och lakning, vilka alla är våta processer. Flotation är enligt Aronsson m.fl. (2004) den mest använda anrikningsmetoden i Sverige och innebär att kemikalier, luft och skumbildande medel tillsätts så att mineralkornen i slurryn blir vattenavstötande, fäster vid luftbubblorna och samlas i skummet på ytan. Tillsatserna kombineras och mineralernas olika ytkemiska egenskaper nyttjas så att olika mineralslag floterar var för sig. Vid gravimetrisk separation utnyttjas gravitationsskillnader mellan berget och mineralen. Materialet spolat så att det lätta eller det tunga materialet kan samlas upp. Metoden används främst för anrikning av järn och guld (Aronsson m.fl., 2004). Vid anrikning av järn kombineras metoden ibland med magnetisk separation. Lakning innebär att man kemiskt löser upp metallerna som sedan utvinns selektivt ur laktlösningen och är en metod som i huvudsak används vid anrikning av ädelmetaller. Slutprodukten från anrikningen kallas för slig och är det metallkoncentrat som erhålls efter avvattning av slurryn från anrikningsprocessen. Vid anrikning av järnmalm i Sverige transporteras slurryn vidare till sinterverk där den avvattnas och rullas till kulor som sedan bränns till pellets.



Figur 4. Schematisk bild över gruvprocessen från gruva till slutprodukt.

2.2.2 Hantering av restprodukter

Som ett led i gruvprocessen produceras stora mängder restprodukter. I Sverige bryts totalt ca 81 Mton gråberg och malm (SGU, 2003) varav bara ca 23 Mton, d.v.s. ca 28 %, går till försäljning (Raw Materials Group, 2005). Resten utgör restprodukter i form av anrikningssand och gråberg som måste tas om hand på lämpligt sätt. Förr låg miljöfokus mest på gruvans produktionscykel, d.v.s. undersökning och exploatering av själva malmkroppen, men idag tas även övriga processer in i miljöarbetet. Omhändertagande av restprodukter från gruvprocessen är en aktivitet som prioriteras allt mer och idag är bra hantering av restprodukter en förutsättning för ett gruvföretags verksamhet (MiMi, 2002).

Gråberg

En del av restprodukterna från gruvprocessen utgörs av gråberg som är det berg som måste brytas för att man ska kunna komma åt malmfyndigheterna. Detta leder till stora mängder krossat berg som läggs på upplag om det inte kan används som byggnadsmaterial, t.ex. för vägar och dammar. I vissa fall innehåller gråberget svavel,

vilket gör det olämpligt att använda som byggnadsmaterial. Det måste då täckas över på ett säkert sätt för att förhindra oxidering av sulfidmineralerna (se avsnitt 2.2.3).

Anrikningssand

Malm som bryts i Sverige kan innehålla allt från några promille till ca 20-30 procent metall. Därför produceras betydande mängder restprodukter vid anrikningen. Restprodukten från anrikningsprocessen kallas anrikningssand och erhålls ofta som slurry, d.v.s. uppblandad med vatten, eftersom anrikningen vanligtvis är en våt process. Vatteninnehållet i anrikningssanden är så högt att anrikningssanden med hjälp av pumpning eller självfall kan transporteras från anrikningsverket till deponeringsplatsen i rör eller kanaler, se Figur 5.

I den mycket finmalda sanden finns det rester av metaller och därför förvaras anrikningssanden i en miljö där den inte skadar naturen. Några olika metoder för förvaring av anrikningssand är enligt ICOLD (1996):

- Magasin ovan mark omgärdade av naturliga höjdparter och dammkroppar
- Återfyllning av bergrum som bildats vid malmbrytningen
- Torr lagring i upplag efter avvattning av anrikningssanden
- Utsläpp till vattendrag, sjöar eller hav

Förr släpptes i allmänhet anrikningssand från gruvanläggningar ut i närmaste vattendrag där sanden sedan sedimenterade längre nedströms eller ute i havet. Ett svenskt exempel är Zinkgruvan där anrikningssanden släpptes ut i en vik i Norra Vättern, vilket efter viss återanrikning samt efterbehandlingsåtgärder resulterat i ca 40 ha mark där det idag bl.a. ligger en golfbana och en småbåtshamn. Den ökade medvetenheten kring miljöfrågor har lett till att denna deponeringsmetod i princip är helt oacceptabel idag, förutom i sällsynta fall. I Sverige är detta helt oacceptabelt. Idag är den i särklass mest använda metoden för förvaring av anrikningssand att låta sanden sedimentera i sandmagasin ovan jord, men även underjordslagring som återfyllning av gruvan förekommer (ICOLD, 1996).

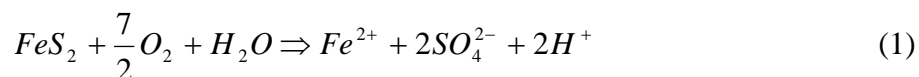


Figur 5. Deponering av anrikningssand vid Enemossen. (Foto

2.2.3 Vittring

I naturen sker ständigt en långsam vittring av bergarter och mineraler. Vittring innebär omvandling och sönderdelning av berg och jord genom kemiska och mekaniska processer. Ur miljösynpunkt är oxidation det allvarligaste problemet med restavfall från gruvprocessen (Jonsson, 2003). Sulfidmineraler som är stabila i berggrunden vittras genom oxidation när de i och med gruvdriften förs upp till ytan och kommer i kontakt med syre. Processen påskyndas ytterligare av att den specifika reaktiva ytan förstöras i och med att malmen krossas. Avfallet från järngruvor har vanligtvis väldigt låga halter av metallsulfider vilket innebär att oxidation inte medför någon större miljöpåverkan. Det är främst anrikningssand och gråberg från sulfidmalmsgruvor som ger negativ miljöpåverkan vid oxidation. Oxidation innebär att elektroner flyttar över eller förskjuts

från ett ämne till ett annat. Ämnet som avger elektroner oxideras och ämnet som tar upp elektroner reduceras. Pyrit (FeS_2), även kallat svavelkis, är det vanligast förekommande sulfidmineralet. När detta kommer i kontakt med syret i luften oxideras sulfiden till sulfat och metall- och vätejoner frigörs. Förenklat ser reaktionsformeln ut på följande sätt:



Vätejonerna som frigörs sänker pH-värdet vilket medför att vittringen påskyndas ytterligare. En surare miljö gör också att metallerna lättare kan förbli i ett löst tillstånd och därmed ökar metallhalten i det genomströmmande vattnet. Metallernas mobilitet påverkas även av andra faktorer såsom vattenhalt samt sandens lerhalt och innehåll av organiskt material. Det är viktigt att motverka att avfallet vittrar genom oxidation, vilket det gör om det får ligga oskyddat och påverkas av väder och vind. Oxidation av restprodukterna kan skapa ett både surt och metallhaltigt lakvatten som riskerar att ge förhöjda halter av metaller och sänkt pH i omgivningen.

Det kan förekomma mineral med buffrande verkan i restprodukterna som reagerar med det sura vattnet och på så sätt minskar vittringshastigheten och utlakningen av metaller. Exempel på sådana mineral är karbonatmineral, såsom kalcit och dolomit, samt silikatmineral, såsom klorit och olivin. Balansen mellan syrabildande och syrabuffrande mineral är väsentlig för hur omgivningen påverkas av avfallet. Viktiga faktorer för vittring av gruvavfall är:

- Sammansättning av mineral i avfallet
- Kornstorlek
- Tillförsel av syre
- pH
- Temperatur
- Förekomst av bakterier

En del bakterier som finns både i och utanför restprodukten har förmåga att accelerera oxidationen. Aktiviteten hos bakterierna är begränsad av syreinträngningen i restprodukten och påverkar inte vittringshastigheten så länge syreinträngningen begränsas (Fröberg m.fl., 2004).

2.2.4 Efterbehandling

Försurande processer förekommer naturligt i naturen, men när balansen ändras är det viktigt att de processer som påverkar naturen negativt motverkas så att naturen klarar av att hantera den vittring som verksamheten ger upphov till. Det bästa sättet att begränsa miljöbelastningen från sulfidrika restprodukter är att isolera dem från syre. Det innebär ofta stora och dyra efterbehandlingsinsatser eftersom det rör sig om stora mängder restprodukter som ska skyddas under lång tid, d.v.s. tusentals år (MiMi, 2002). De metoder som idag används för efterbehandling av restprodukter är jord- och vattentäckning, vilka ofta kombineras för att passa förutsättningarna på den specifika platsen. T.ex. i Kristineberg i Skelleftefältet har såväl överdämning som flerskiktstäckning och enkel moräntäckning använts som efterbehandlingsåtgärd av de magasin som tagits ur drift (Fröberg m.fl., 2004).

Myndigheterna kräver idag att det ska finnas en efterbehandlingsplan för varje gruvområde. Målet med efterbehandlingen är att gruvföretaget ska kunna lämna över området till samhället, men det krävs då att man kan påvisa att efterbehandlingen är stabil i ett långtidsperspektiv (ofta nämns 1000 år). Det saknas idag kunskap om hur detta ska kunna uppfyllas för så långa tidsperspektiv. Det krävs mer erfarenhet av efterbehandlade gruvdammar för att ett gruvområde på ett säkert sätt ska kunna överlämnas till samhället (Fröberg m.fl., 2004; Skoglund, 2002).

3 GRUVDAMMAR

3.1 ALLMÄNT

Då deponering av anrikningssand genomförs i magasin ovan jord gäller det att välja en lämplig plats och baserat på detta bestämma vilken typ av magasin och dammar som passar bäst. Valet av plats och magasin typ avgörs med hänsyn till säkerhet, ekonomi, topografi, hydrologi, geologi, klimat, miljöeffekter, operativa aspekter och där det är aktuellt även seismiska faktorer. Avståndet mellan magasinet och anrikningsverket samt tillgången till dammbyggnadsmaterial på platsen är viktigt att tänka på för att försöka hålla nere driftkostnaderna. Pumpning av dels anrikningssand och dels returvatten till processen och transport av material som behövs för eventuella dammbyggen utgör ofta en stor kostnad. Det kan också bli kostsamt om magasinet placeras fel ur ett hydrologiskt perspektiv, vilket kan innebära att tillrinningen till magasinet blir för stor. Det krävs då skärmdiken för att avleda vattnet. För att minska tillrinningen bör magasinet placeras nära vattendelaren för det aktuella avrinningsområdet (ICOLD, 1996). De grundläggande magasin typerna redovisas nedan.

- Befintlig fördjupning: naturliga fördjupningar eller gruvhål som tagits ur bruk. Kräver minimalt med fyllnadsmaterial.
- Dalgångsmagasin: förvaringen sker i en dalgång och begränsas av dalgångens naturliga sidor och dammkroppar. Ger stor magasineringskapacitet men kräver ofta en hög nedströmsdamm.
- Släntmagasin: begränsas av dammkroppar på alla sidor eller på nedströms-sidorna. Brant släntlutning ger stor dammkroppsvolym i förhållande till sin magasineringskapacitet.

Magasin omgärdas ofta av flera dammvallar och faller i praktiken ofta under flera av dessa kategorier (ICOLD, 1996).

Geologin och topografin i området har stor betydelse för uppförandet av dammvallarna som ska begränsa magasinet. Grundläggningsförhållandena är viktiga för dammens stabilitet och dränering. Topografin avgör hur stor dammkroppsvolym som krävs för att erforderlig volym anrikningssand ska kunna magasineras.

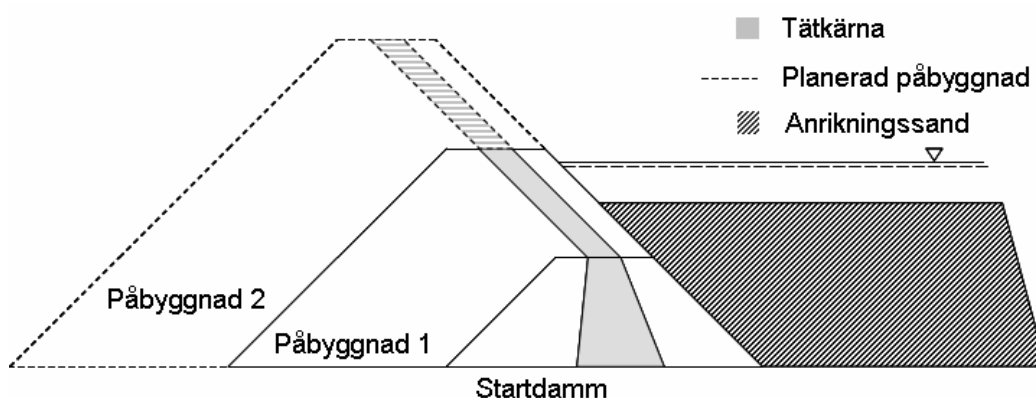
Dammar används inom gruvbranschen dels för att skapa magasin för anrikningssand, dels för magasinering av vatten och ofta i kombination. Syftet med en gruvdamm är att den ska lagra anrikningssand och vatten från gruvprocessen på ett säkert sätt. Gruvdammarna måste vara stabila så att de skyddar omgivningen från utsläpp av anrikningssand som skulle kunna vara skadligt för miljön. En gruvdamm byggs ofta upp i etapper eftersom byggkostnaderna och behovet av dammfyllnadsmaterial då sprids över tiden. I vissa fall används enbart material från gruvprocessen till dammkroppen. Förr var det vanligt att inte bygga dammarna så höga utan istället använda flera magasin. Dagens lagstiftning innebär att det är svårare att få tillstånd till att ta stora ytor i anspråk och därför byggs dammarna högre. Under senare år har höjden på dammarna också ökat i takt med ökad produktionsvolym. Byggnadsmaterial och byggmetod som används vid uppförandet av dammarna varierar för att passa de särskilda behov som finns vid den utvalda platsen. Dammkropparna konstrueras således på olika sätt. Det finns tre generella byggmetoder för påbyggnad av stegvis uppbyggda

gruvdammar: utåtmetoden, uppåtmetoden och inåtmetoden (se Figur 6-Figur 8). Namnen syftar på hur dammkrönet förflyttar sig (ICOLD, 1996).

3.2 UTÅTMETODEN

När en damm byggs enligt utåtmetoden placeras fyllnadsmaterialet för påbyggnaden på nedströmssidan av den befintliga dammvallen (Figur 6). Detta innebär att dammen kan byggas med mycket god stabilitet då materialet kan kontrolleras och packas väl, vilket gör att denna dammtyp lämpar sig bra för att indelas i zoner. Dammar indelade i zoner med t.ex. tät kärna och filter kan byggas lika täta som traditionella vattendammar. Denna dammtyp kan därför ha vatten direkt mot dammkroppen (se Figur 6).

Nackdelarna med utåtmetoden är att mer och mer markyta måste tas i anspråk allteftersom dammen höjs samt att stora volymer fyllnadsmaterial fordras vilket ger höga kostnader. Ytterligare en nackdel är att slutlig efterbehandling av dammens nedströmssidan kan göras först efter avslutad drift (Bergh, 2004).

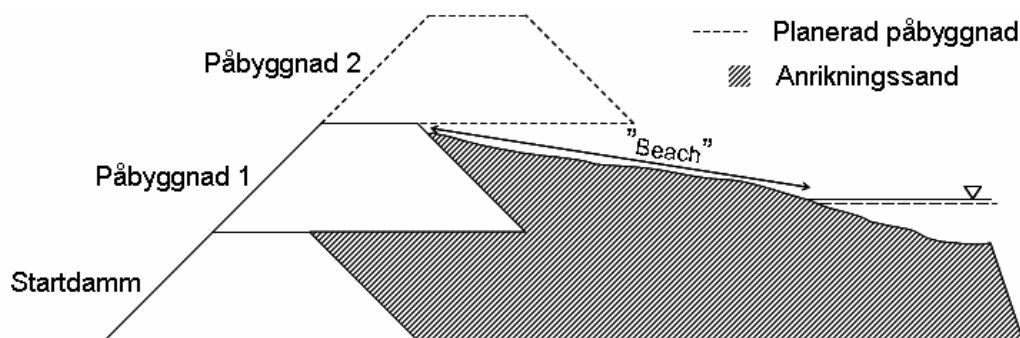


Figur 6. Principskiss för byggandet av en gruvdamm enligt utåtmetoden.

3.3 INÅTMETODEN

Dammar med påbyggnader enligt inåtmetoden konstrueras så att krönet förflyttar sig inåt i magasinet allt eftersom dammen höjs. Den deponerade anrikningssanden utgör därmed en del av själva dammkroppen, se Figur 7. Genom att anrikningssand kontinuerligt deponeras från dammvallen bildas en strandliknande slänt som sen utgör grund för kommande påbyggnader. Ibland cykloneras anrikningssanden (separering av olika fraktioner) så att den grövre delen kan användas till dammkroppen och den finare delen kan deponeras i magasinet. Det är viktigt att man ser till att dammkroppen hela tiden är tillräckligt dränerad så att uppkomsten av höga portryck förhindras. Avståndet mellan dammkrönet och den fria vattenytan i magasinet är därför kritiskt för dammens stabilitet. Området av sand som sluttar från dammkrönet ned mot vattenytan kallas både i Sverige och internationellt för "beach". Att bygga dammen på en genomsläpplig grund eller på annat sätt förse dammen med dränering är också nödvändigt för att erhålla god stabilitet. Att bygga en damm inåt med hjälp av anrikningssanden är en ekonomiskt bra metod eftersom den kräver en mindre mängd fyllnadsmaterial (Benckert, 2004). Däremot kräver metoden omfattande stabilitetskontroller av t.ex. portrycksförhållanden och skjuvhållfasthet i den deponerade anrikningssanden. Anrikningssandens sammansättning och hållfasthet spelar därför stor roll för stabiliteten. Ytterligare en

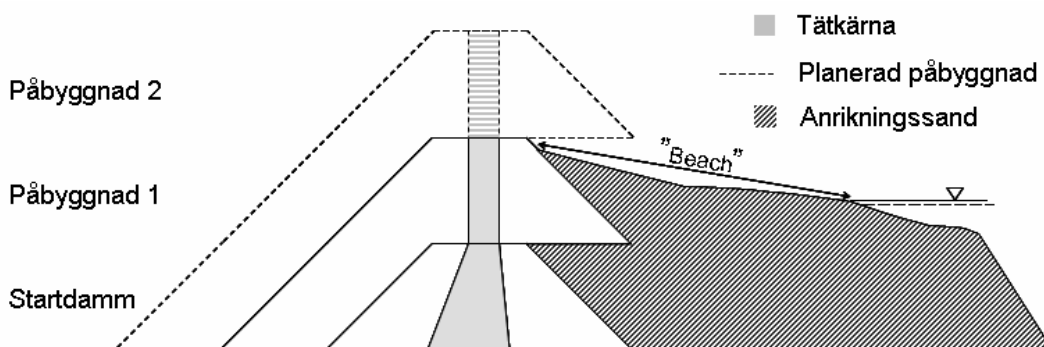
fördel med inåtmetoden är att dammens utsida kan efterbehandlas medan magasinet fortfarande är i drift (Bergh, 2004).



Figur 7. Principskiss för byggandet av en gruvdamm enligt inåtmetoden.

3.4 UPPÅTMETODEN

När en damm höjs rakt uppåt kallas metoden för uppåtmetoden, vilken är ett mellanting mellan inåt- och utåtmetoden, se Figur 8. Påbyggnad görs dels på slänten av anrikningssand som deponerats från dammvallen (beachen) och dels på nedströmssidan av dammvallen. Detta innebär att dammen till viss mån är lämplig för indelning i zoner samtidigt som anrikningssandens egenskaper inte blir lika kritiska för dammens stabilitet som då inåtmetoden tillämpas. Som i fallet med utåtmetoden kan efterbehandling av nedströmsslänten ej utföras förrän magasinet tagits ur drift. Det kommer även krävas att mer och mer mark tas i anspråk samtidigt som behovet av fyllnadsmaterial kommer att öka allt eftersom dammen höjs, även om behovet är mindre än vid tillämpning av utåtmetoden (Bergh, 2004).



Figur 8. Principskiss för byggandet av en gruvdamm enligt uppåtmetoden.

3.5 SKILLNADER MELLAN GRUVDAMMAR OCH VATTENKRAFTSDAMMAR

Vattenkraftsdammar är något som folk i allmänhet känner till, medan gruvdammar oftast bara är känt inom gruvbranschen. Gruvdammar har mycket gemensamt med vattenkraftsdammar, men det finns dock betydande skillnader.

En gruvdamm är konstruerad för att magasinera både vatten och anrikningssand, medan en vattenkraftsdamm enbart magasinerar vatten. Gruvdammen utsätts därför för

vattentryck i kombination med laster från anrikningssanden, vilket påverkar utformning och konstruktionssätt. De flesta gruvdammarna i Sverige har i grunden byggts med tät kärna av morän på samma sätt som fyllnadsdammar för vattenkraft. Anrikningssanden har oftast deponerats från fast mark så att den fria vattenytan hamnat mot dammkroppen som då, på samma sätt som vid en vattenkraftsdamm, utsätts för ett vattentryck. Skillnaden är då att gruvdammarna byggts på i etapper. Till att börja med har påbyggnaderna ofta skett med utåt- eller uppåtmetoden, men eftersom dessa metoder kräver mer och mer fyllnadsmaterial allt eftersom dammen höjs har man vid flera gruvdammar övergått till inåtmetoden. Det är då viktigt att beakta konsekvenserna av att konstruktionssättet förändrats. Om dammen till en början byggs med tät kärna för att sedan börja byggas enligt inåtmetoden kan det vara svårt att erhålla den dränering som behövs för att hålla ner portrycket i dammkroppen. Åtgärder för att öka dräneringskapaciteten erfordras då ofta, liksom anläggande av stödbankar vid dammtån för att öka stabiliteten.

En vattenkraftsdamm sköts ofta från ett kontrollrum som kan vara beläget långt från själva dammen. Gruvområdet är, under drift, alltid bemannat så att visuell tillsyn av aktiva gruvdammar är möjlig att genomföras dagligen. När en gruva stängs måste gruvdammen efterbehandlas för att säkerställa framtida stabilitet (se avsnitt 2.2.4). En gruvdamm kan aldrig avlägsnas och måste därför konstrueras för att kunna hålla i tusentals år. En vattenkraftsdamm kan teoretiskt sätt avlägsnas när verksamheten upphör.

4 DAMMSÄKERHET

Begreppet dammsäkerhet avser framförallt säkerhet mot uppkomst av okontrollerad utströmning av det som finns i magasinet. Okontrollerade utsläpp kan orsaka stora skador nedströms dammen. I Sverige finns inga regler som ska beaktas vid dimensioneringen av en damm. Däremot finns det riktlinjer och anvisningar angående dimensionering och kontroll av dammbyggnader (Svensk Energi, 2002a). Byggande i vatten reglerades tidigare av vattenlagen som tillkom år 1918, men några särskilda regler om dammsäkerhet eller övervakning av dammkonstruktioner fanns inte i lagen. Det var dammägaren som avgjorde hur dammen skulle konstrueras och övervakas (Svenska Kraftnät, 2003).

Sverige var länge skonat från allvarliga dammolyckor. Ett dammbrott år 1973, vilket orsakade ett dödsfall, medförde att dammsäkerhetsfrågor kom att hanteras av regering och riksdag. Länsstyrelserna gavs då enligt lag rättighet att vidta åtgärder mot oaktsamma dammägare. Dammsäkerhetsarbetet i Sverige intensifierades efter dammolyckan. En dammsäkerhetsnämnd inrättades vars uppgift var att lämna skriftliga rekommendationer för underhåll och tillsyn av dammar. Nämnden gav ut en serie av skrifter och anordnade seminarier om dammsäkerhet (Svenska Kraftnät, 2003).

1984 trädde den nya vattenlagen i kraft som innebar att länsstyrelserna skulle vara tillsynsmyndighet för vattenföretag och vattenanläggningar. Ett år senare, 1985, rasade en dammbyggnad i Oreälven på grund av höga flöden, vilket ledde till en utredning kring skydd mot översvämningar. Samma år bildades den så kallade Flödeskommittén för att utarbeta riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden vid kraftverks- och regleringsdammar. 1990 utgavs rapporten ”Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar” (Flödeskommittén, 1990). Fortsatt höga flöden under 1990-talet ledde till ytterligare en utredning om dammsäkerhet och översvämningar. Utredningen konstaterade att dammsäkerheten vid svenska dammar i stort sett var bra, men det föreslogs att det skulle utformas ett heltäckande incidentrapporteringsystem för dammar i Sverige och att det borde satsas mer kring forskning inom området (Svenska Kraftnät, 2003).

1997 antog kraftindustrin i Sverige ”Kraftföretagens Riktlinjer för DAMMSÄKERHET”, RIDAS, reviderad 2002 (Svensk Energi, 2002a). De övergripande målen med riktlinjerna är att definiera krav för enhetlig dammsäkerhet, identifiera behov av dammsäkerhetshöjande åtgärder samt utgöra grund för enhetlig bedömning av dammsäkerheten och utgöra stöd för myndigheters dammsäkerhetstillsyn (Svensk Energi, 2002a). De ska inte betraktas som lag utan ses som ett stöd i respektive företags dammsäkerhetsarbete. Efter att större händelser och dammbrott inträffat även vid gruvdammar så rekommenderar även SveMin sina medlemmar att i tillämpliga delar följa RIDAS (Svenska Kraftnät, 2003).



Figur 9. Nybyggt utskov i fast mark i Kiruna.
(Foto: H. Lundström)

Eftersom gruvdammar har speciella förutsättningar och på många sätt skiljer sig från vattenkraftsdammar har gruvindustrin genom SveMin tagit initiativ till att utarbeta specifika riktlinjer för svenska gruvdammar, vilka kallas GruvRIDAS. Dammsäkerhetsarbetet bland svenska gruvföretag har också resulterat i en inventering av svenska gruvdammar som genomfördes 1995 (Ahnström m.fl., 1996) samt initiering av ett dammsäkerhetsprogram som inkluderade framtagande av Drift-, Tillsyns- och Underhållsmanualer, s.k. DTU-manualer under åren 1997-1999.

Enligt RIDAS (2002) ska det för varje anläggning finnas en DTU-manual innehållande rutiner och regler för drift, tillståndskontroll och underhållsaktiviteter med direkt anknytning till dammsäkerheten. DTU-manualen ska innehålla uppgifter om:

- Dammsäkerhetsorganisation
- Konsekvensklassificering
- Beredskapsplan
- Konstruktion och utförande
- Hydrologi och avbördning
- Miljö
- Tillsyn
- Skötsel och kontroll
- Vattendomar, tillstånd etc.
- Rapporter

RIDAS tar också upp dammägarens underrättelse till myndighet vid driftstörning som del av dammsäkerhetsarbetet. Kraftindustrin har tagit fram ett felrapporteringsystem för rapportering av onormala händelser som rör dammanläggningarna. Detta felrapporteringsystem har enligt Svensk Energi (Åhring-Rundström, 2005) inte fungerat så bra, till huvudsak på grund av registrets utformning. Felrapporteringsregistret för kraftindustrins dammar håller på att uppdateras och förbättras samtidigt som gruvindustrin satsar på att ta fram ett felrapporteringsystem för gruvdammar i Sverige, vilket detta examensarbete är en del av.

Lagar som reglerar de delar av gruvverksamheten som påverkar den omkringliggande miljön ur olika hänseenden och som måste tas hänsyn till ur dammsäkerhetssynpunkt är bl.a. Plan- och bygglagen, Lagen om hushållning av naturresurser, Naturvårdslagen, Kulturminneslagen och Miljöskyddslagen. Flera av dessa lagar ligger numera under Miljöbalken. Miljöskyddslagen trädde i kraft 1969 och innebar att verksamhetsutövaren blev ansvarig för efterbehandlingsåtgärder efter att verksamheten lagts ner. I Garpenberg finns det exempel på ett sådant magasin där verksamhetsutövaren inte är skyldig till efterbehandlingsåtgärder eftersom magasinets drift upphörde innan Miljöskyddslagen trädde i kraft. Verksamhetsutövaren är ändå aktiv, tillsammans med kommunen, i arbetet att finna en bra lösning för efterbehandling av magasinet och tillhörande dammar.

Under 2005 har det utkommit en komplettering till Flödeskommitténs riktlinjer. Kompletteringen gäller dimensionerande flöden för stora sjöar och små tillrinningsområden samt diskussion om klimatfrågan (Elforsk, 2005). Kommittén för komplettering av Flödeskommitténs riktlinjer har bl.a. haft till uppgift att göra en översyn över gruvdammar med avseende på dess små tillrinningsområden. För små tillrinningsområden har kommittén kommit till slutsatsen att det inte finns någon

anledning att frånga den hydrologiska beräkningsmodell som beskrivs i Flödeskommitténs riktlinjer från 1990 vid tillämpning på gruvdammar. Däremot kan det enligt Kommitténs bedömning finnas skäl att undersöka effekterna av högre tidsupplösning för gruvdammar med mycket små tillrinningsområden.

5 DATABASER

5.1 ALLMÄNT

Med en databas menas en samling bestående data som hör ihop och beskriver en del av en verklighet som i detta fall uppgifter om ett antal gruvdammar. Man brukar även säga att en databas ska vara konsistent och logiskt koherent, d.v.s. fri från motsägelser (Padron-McCarthy, 2005). En databas ska ge snabb åtkomst till all data som lagrats. Databasen ska vara lätt att underhålla och ger möjlighet för flera användare att ha åtkomst till all inlagd data. Det ska även gå att begränsa åtkomsten till viss data för vissa användare i de fall det är önskvärt. (Buchanan, 1999)

5.2 RELATIONS DATABASER

5.2.1 Allmänt om relationsdatabaser

En relationsdatabas är en databas i vilken information lagras i tabeller där varje tabell innehåller information av en viss kategori. De olika tabellerna relateras till varandra genom index, s.k. nyckelfält, som kopplar samman information av olika kategorier (Buchanan, 1999). På detta sätt kan inmatningen i databasen effektiviseras och effektiva sökningar kan utföras trots stora mängder data. Informationen blir på så sätt lättillgänglig, lättolkad och enkel att bearbeta.

5.2.2 Tabeller, Poster och Fält

Principen för hur tabeller i relationsdatabasen byggs upp är enkel. Varje tabell består av ett antal kolumner (fält), och ett antal rader (poster). Varje *post* innehåller information om ett objekt, och varje *fält* innehåller en viss typ av information (en egenskap eller ett s.k. attribut) för ett objekt. Ett enkelt exempel kan vara en tabell som beskriver gruvdammar där varje post innehåller information om en specifik damm och där de olika fälten beskriver specifika egenskaper hos respektive damm, t.ex. dammbeteckning, krönlängd, högsta dammhöjd och byggnadsmaterial, se Tabell 1.

Tabell 1. Exempel på en tabell ur databasen med samlad teknisk information om olika dammar.

Dammbeteckning	Krönlängd	Högsta dammhöjd	Byggnadsmaterial
Damm 1	1000	12	Morän
Damm 2	1300	22	Betong
Damm 3	1250	15	Sten

En tabell bör vara uppbyggd på ett sådant sätt att varje fält innehåller ett s.k. atomärt värde, d.v.s. ett stycke odelbar information. Som exempel ska då ett personnamn lagras i två fält, ett för förnamn och ett för efternamn för att detta kriterium ska uppfyllas.

5.2.3 Nyckelfält

För att förenkla och effektivisera sökningar i databasen används s.k. nycklar. En nyckel är ett index som väljs bland attributen i en tabell. Nyckeln används av databashanteraren för att identifiera poster eller enstaka fält, varför det är ett krav att nyckeln är utformad på ett sådant sätt att varje värde är och kommer att förbli unikt. Med hjälp av fälten kan

det i varje tabell bildas minst en så kallad *kandidatnyckel*. En kandidatnyckel är en nyckel som består av det lägsta antalet fält som kan garantera unikheten hos indexet (Padron-McCarthy, 2005). Ur dessa kandidatnycklar väljs en nyckel som huvudnyckel, den s.k. *primärnyckeln*, som fungerar som ett id-nummer för varje post i tabellen. Som exempel kan återigen en tabell som beskriver olika gruvdammar tas. Den kan t.ex. bestå av fälten *Dammbeteckning*, *Kommun*, *Anläggningstillhörighet* och *Krönlängd*. Exemplet visas i Tabell 2 där det framgår att det finns två stycken dammar med namnet "Damm 1" och två stycken med namnet "Damm 2". För att särskilja dessa dammar från varandra behövs minst ett andra fält. I detta fall kan både fältet *Kommun* och fältet *Anläggningstillhörighet* användas för att unikt identifiera varje damm. Dessa bildar således tillsammans med fältet *Dammbeteckning* två stycken kandidatnycklar. Ur dessa väljs sedan en av dem ut som primärnyckel. Förmodligen är *Dammbeteckning* tillsammans med *Anläggningstillhörighet* det bästa valet eftersom det kan uppstå en situation där det kan finnas flera dammar med samma beteckning inom samma kommun om där finns flera gruvanläggningar. Däremot borde det aldrig dyka upp något tillfälle där det på en och samma anläggning ges samma beteckning till två olika dammar och därför bör detta vara det främsta alternativet till primärnyckel.

Tabell 2. Tabellen exemplifierar konceptet kandidatnyckel. Fältet *Dammbeteckning* bildar kandidatnyckel antingen tillsammans med fältet *Kommun* eller med fältet *Anläggningstillhörighet*.

Dammbeteckning	Kommun	Anläggningstillhörighet	Krönlängd
Damm 1	Kommun 2	Anläggning 1	1000
Damm 2	Kommun 2	Anläggning 1	1000
Damm 1	Kommun 1	Anläggning 2	1000
Damm 2	Kommun 1	Anläggning 2	1000

5.2.4 Samband mellan tabeller

Databaser byggs upp av flertalet tabeller som alla innehåller olika typer av information, men som hör ihop på ett eller annat sätt. Då det är viktigt att det på ett funktionellt sätt går att koppla ihop informationen i de olika tabellerna måste de relateras till varandra. För detta används tre olika typer av samband mellan tabellerna, eller relationer som det kallas i Microsoft Access. Dessa samband är:

- 1:1, ett-till-ett-samband
- 1: N, en-till-många-samband
- N: M, många-till-många-samband

Ett 1:1-samband innebär att ett objekt av typ A endast kan tillhöra ett objekt av typ B och vice versa. Med 1: N menas att ett objekt av typ A kan tillhöra N st. objekt av typ B, men att ett objekt av typ B endast kan tillhöra ett objekt av typen A. N: M-samband betyder att ett objekt av typen A kan tillhöra M st. objekt av typen B, och att ett objekt av typen B kan tillhöra N st. objekt av typen A (Padron-McCarthy, 2005).

5.2.5 Referensattribut

Sambanden i relationsdatabaser skapas med hjälp av referensattribut, även kallat främmande nycklar eller sekundärnycklar (Padron-McCarthy, 2005). Ett referensattribut

är ett fält (eller flera) i en tabell som pekar på primärnyckeln i en annan tabell. Referensattributet och primärnyckeln är av samma datatyp. De poster där värdet i fältet för referensattributet i ena tabellen överensstämmer med värdet i primärnyckelfältet hos den relaterade tabellen hör ihop. Undantaget detta är 1:1-sambandet som skapas genom att respektive primärnyckel i två tabeller kopplas mot varandra, vilket i praktiken innebär att de två tabellerna egentligen skulle kunna ligga lagrade som en tabell (Buchanan, 1999). Det finns dock tillfällen när det kan vara till sin fördel att dela upp en tabell i två på detta sätt. Ett exempel kan vara om att databas behöver ha flera olika åtkomstnivåer. Då kan information för användare med begränsade rättigheter lagras i ena tabellen och kompletterande information som ska kunna ses av användare med större rättigheter, lagras i andra tabellen. På detta sätt blir uppdelningen mellan nivåerna enkel (Buchanan, 1999).

5.2.6 Databasstruktur

Genom att bygga upp en genomtänkt databas- och kopplingsstruktur effektiviseras inmatning och lagring av data i databasen. Onödig dubbellagring av information och risk för inmatningsfel minimeras. För att åstadkomma en god lagringsstruktur i databasen används ett koncept som kallas för *normalisering*. Normalisering innebär i korthet att databasen byggs upp på ett sådant sätt att varje tabell beskriver en typ av objekt, varje post i tabellen beskriver ett objekt och informationen om ett objekt går att finna på en post (Padron-McCarthy 2005). På detta sätt undviks onödig dubbellagring av information och tydligheten i databasen ökar, d.v.s. vad finns var, vad betyder vad etc. Problem med att information inte går att lägga till, eller förlust av viktig information då annan information plockas bort kan också undvikas.

För att tydliggöra varför en databas bör normaliseras kan de tidigare exemplen med gruvdammar utvecklas. Säg att det finns flera magasin som har dammar och att man är intresserad av att lagra vilka dammar som hör till vilket magasin. Dessutom finns ett intresse att lagra diverse teknisk information om varje magasin. Detta skulle kunna göras i en och samma tabell t.ex. genom att flera fält läggs till i Tabell 1 i vilka varje damm tilldelas ett magasinsattribut d.v.s. där det helt enkelt läggs in vilket magasin varje damm tillhör, samt information om respektive magasin, i detta fall magasinvolym. Detta leder emellertid till att informationen om ett magasin läggs in lika många gånger som antalet tillhörande dammar vilket förstås är något som bör undvikas. Exemplet illustreras i Tabell 3.

Tabell 3. Mindre lyckat exempel på hur information om en gruvdamm skulle kunna kopplas samman med respektive magasin och information om detta.

Dammbeteckning	Krönlängd	Byggnadsmtl	Magasintillhörighet	Magasinsvolym
Damm 1	1000	Morän	Magasin 1	10
Damm 2	1300	Betong	Magasin 2	5
Damm 3	1250	Sten	Magasin 1	10
Damm 4	800	Morän	Magasin 1	10
Damm 5	600	Anrikningssand	Magasin 2	5

Eftersom dubbellagring av information i största möjliga mån ska undvikas är detta sätt ej lämpligt. Denna typ av lagringsstruktur tar mycket lagringsutrymme, risken för fel vid inmatning är stor och det är svårt att förändra i data. Som exempel kan tas att en damm byggs om. I detta fall leder ombyggnationen till att det tillhörande magasinets

volym förändras. Med lagringsstrukturen i Tabell 3 måste då, förutom inmatning av nya uppgifter om dammen, även information om magasinvolym uppdateras i varje post som hör till magasinet i fråga. Om detta förbises på ett ställe i databasen blir informationen om volymen inkonsekvent och det blir senare svårt att veta vilken volym som är den gällande. Istället bör informationen om magasinerna samlas i en egen tabell. Denna information kan sedan genom ett 1:N-samband kopplas samman med en tabell i vilken gruvdammarna beskrivs. På detta sätt tilldelas varje damm ett magasin och därmed även all lagrad information om detsamma. Det blir då enkelt i framtiden att gå in och ändra eller lägga till information för ett magasin eller en damm i databasen om det skulle behövas eftersom det endast behöver göras en gång på en post i databasen.

5.2.7 Integritetsvillkor

Ett viktigt verktyg för att minimera fel i databasen, förutom en väl utarbetad struktur, är användningen av *integritetsvillkor*. Integritetsvillkor är villkor som för databashanteraren beskriver hur data ska se ut, t.ex. inom vilket intervall ett värde i en tabell får vara, eller att värden på ett ställe i databasen ska vara lika med värden på ett annat ställe. Två vanliga typer av integritetsvillkor är *nyckelvillkor* och *referensintegritetsvillkor* (Padron-McCarthy 2005). Nyckelvillkoret säger att ingen rad i en tabell får ha samma värde på primärnyckeln som någon annan rad i samma tabell. Referensintegritetsvillkoret innebär att det inte får skapas ett objekt i en tabell vilket refererar till ett icke existerande objekt i en annan tabell, d.v.s. inget objekt som refererar till något annat objekt får vara "föräldralöst". Detta illustreras enkelt med hjälp av ett exempel. En gruvdamm i databasen som refererar till ett magasin, som inte existerar i tabellen som refereras till, är "föräldralöst" och bryter därmed mot referensintegritetsvillkoret.

5.2.8 Uppslag

För att ytterligare minska risken för fel i databasen finns något som heter uppslag. Ett uppslag är en tabell, en s.k. *uppslagstabell* som kopplats till ett fält i en annan tabell. Uppslagstabellens uppgift är att ange olika inmatningsalternativ för det specifika fältet som det kopplas till och innehåller således en lista över de olika alternativen. Användandet av uppslag förenklar och minskar risken avsevärt för fel vid inmatningen av data. Framförallt gäller detta fält där text ska skrivas in och där risken för felstavning eller olika skrivsätt kan ställa till med problem. Uppslag bör användas i fält där det förmodligen kommer att finnas vissa data som ständigt återkommer. Ett exempel kan vara ett uppslag för fältet *byggnadsmaterial* i Tabell 1 där det antagligen kommer att vara tre till fyra återkommande svar t.ex. betong, morän, sten och anrikningssand.

5.2.9 Uppbyggnad av en databas

Uppbyggnaden av en databasstruktur kan delas upp i fem huvudsteg.

- 1) Det första steget i uppbyggnadsprocessen av en databas är att ta reda på vilka data som databasen ska innehålla. En del i detta steg är att ta reda på syftet med databasen. Med syftet menas vad databasen ska användas till, vilka ska använda den och vem som ska ha tillgång till den o.s.v.

- 2) Nästa steg i processen är att dela upp informationen, som identifierades i första steget, i olika kategorier. De olika kategorierna samlas i tabeller. Sedan identifieras tabellernas primärnyckelfält. Om det är svårt att hitta en unik nyckel så är ett enkelt sätt att lösa detta att lägga till ett fält med en så kallad räknare. Det är ett fält i vilket varje post ges ett heltal där första posten får värdet ett, nästa två o.s.v. Detta kommer att garantera unikheten i varje post.
- 3) Efterföljande steg är att bestämma hur informationen hör ihop, vilka tabeller ska vara kopplade till varandra, på vilket sätt och genom vilka samband.
- 4) Steget efter detta är att identifiera hur varje fält i respektive tabell ska vara uppbyggt, bestämma förklarande fältnamn, vilka datatyper (d.v.s. vilken sorts information fältet innehåller, text, heltal, datum, o.s.v.) och vilka referensintegritetsvillkor som ska gälla för varje fält.
- 5) Det sista steget är sedan att skapa de fysiska tabellerna och kopplingar mellan dessa i databashanteraren, som i detta fall är Microsoft Access.

För att slutresultatet ska bli så tillfredsställande som möjligt bör varje steg i skapandeprocessen genomföras på ett sådant sätt att tankesättet med normalisering i så hög grad som möjligt appliceras. Dessutom bör regelbunden kontakt och diskussion med kommande användare genomsyra hela processen.

6 UPPBYGGNAD AV EN DATABAS FÖR GRUVDAMMAR

6.1 ALLMÄNT

Den databas som utvecklats i detta examensarbete består av ett *dammregister* och ett *felrapporteringsregister* för gruvdammar i Sverige. Databasens syfte är framförallt att förenkla erfarenhetsåterföringen för gruvföretagen genom att i framtiden fungera som underlag för statistiska analyser av olika slag eller som understöd då en händelse inträffat vid en gruvdamm (se avsnitt 6.3.1). Den kommer även att kunna vara ett stöd vid rapportering till tillsynsmyndigheter.

Det är tänkt att ett webbgränssnitt ska utvecklas genom vilket anslutna företag enkelt ska kunna kopplas upp mot databasen för att mata in uppgifter och skriva ut blanketter, rapporter och statistiska data. Genom detta gränssnitt är det även tänkt att det ska gå att söka på diverse uppgifter och läsa eventuella rapporter och utredningar kring inrapporterade händelser. På så sätt ska användaren kunna dra nytta av andras erfarenheter. Utvecklandet av ett sådant webbgränssnitt ligger dock utanför ramen för detta examensarbete. Ett antal möten med en representant från företaget som kommer att utveckla webbgränssnittet har dock genomförts för att få lämplig struktur på databasen. Gränssnittet och databasens upplägg har då diskuterats.

En viktig del för utvecklingen av databasen har varit att genom möten med framtida användare diskutera syftet med och innehållet i databasen. Möten har hållits tillsammans med representanter från berörda gruvföretag och SveMin. En viktig åsikt som kom fram var att ingen information i databasen ska överlagras, vilket ställer mer komplexa krav på databasens utformning. En grundstruktur för dammregistret och felrapporteringsregistret har tagits fram i databashanteraren Microsoft Access 2000 som är en mjukvara i vilken man bygger upp databaser enligt relationsmodellen, så kallade relationsdatabaser.

6.2 FRAMTAGET GRUVDAMMSREGISTER

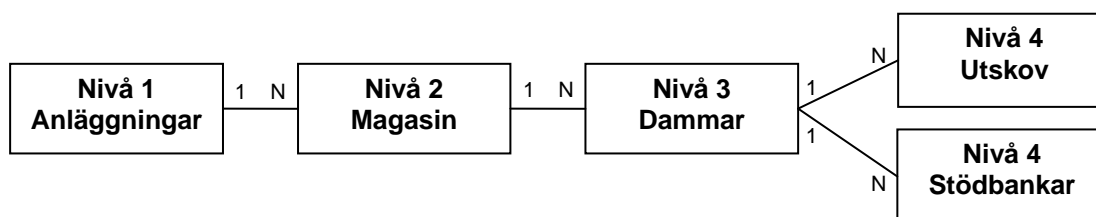
6.2.1 Allmänt om gruvdammsregistret

Syftet med ett gruvdammsregister är att på ett och samma ställe samla grundläggande information om alla gruvdammar i Sverige. Informationen blir lättare att hantera då den samlas i en databas och den är tänkt att underlätta vid t.ex. rapportering till tillsynsmyndigheter.

Registret måste uppdateras regelbundet för att det ska hållas aktuellt. Vid diskussion med representanter från gruvindustrin har det framkommit att en årlig uppdatering av registret vore lämpligt. Uppdateringen är också viktig för att det vid felrapporteringar ska kunna vara möjligt att relatera en viss händelse till hur anläggningen i fråga var utformad vid en specifik tidpunkt. Därför krävs att det vid varje inrapportering anges datum för när uppgiften börjar gälla. På detta sätt kan rätt information om anläggningens utformning kopplas till rätt händelse.

6.2.2 Gruvdammsregistrets struktur

Allt som allt innehåller databasen ett tjugotal tabeller plus ytterligare ett tjugotal s.k. uppslagstabeller. Merparten av tabellerna tillhör dammregistret. Dammregistret är uppbyggt enligt en hierarkisk struktur. Registret består av fyra huvudnivåer där den översta nivån beskriver anläggningarna. Efter detta kommer i följande ordning nivåer som beskriver magasinerna, dammarna samt utskoven och stödbankarna. Figur 10 visar en översiktlig bild av dammregistret där det också framgår hur de olika nivåerna är kopplade till varandra. Nivåerna i dammregistret är kopplade till varandra med ett 1:N-samband. Detta innebär att en tabell i en överliggande nivå kan vara kopplad till flera tabeller i en underliggande nivå, d.v.s. en anläggning kan ha flera tillhörande magasin, ett magasin kan ha flera tillhörande dammar och en damm kan ha flera tillhörande utskov eller stödbankar. Däremot kan ett utskov inte tillhöra flera dammar.



Figur 10. Schematisk bild över dammregistrets grundstruktur. Registret är uppdelat i fyra huvudnivåer.

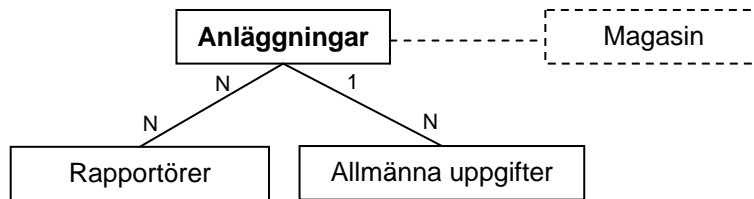
Till varje huvudnivå hör ett antal undertabeller som beskriver olika typer av egenskaper för den specifika nivån.

Anläggningar

Den översta nivån i dammregistret innehåller information om de olika anläggningarna. Nivån består av tre tabeller:

- Huvudtabellen *Anläggningar* som innehåller en lista över de olika anläggningarna
- En undertabell *Rapportörer* som listar användarna (ev. dammägarna) och relevant information om dessa, som t.ex. olika kontaktuppgifter
- En undertabell *Allmänna uppgifter* vilken innehåller allmän information om varje anläggning såsom lokalisering, ägare, malmtyp etc.

Tabellen *Rapportörer* är kopplad till tabellen *Anläggningar* med ett N:N-samband för att ett företag ska kunna ha flera rapportörer till samma anläggning om så önskas, samtidigt som en rapportör ska kunna ha ansvar för flera anläggningar. Tabellen *Allmänna uppgifter* är kopplad till tabellen *Anläggningar* med ett 1:N-samband, eftersom gammal information ska kunna lagras och t.ex. ägare kan komma att förändras med tiden. Kopplingarna visas i Figur 11.

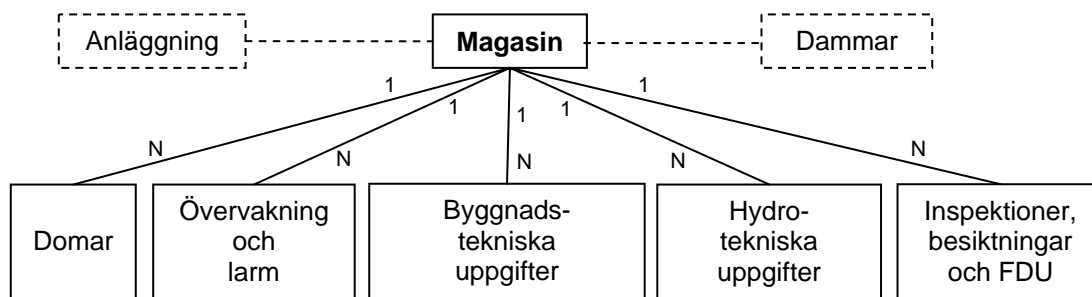


Figur 11. Schematisk bild över nivån *Anläggningar* i dammregistret.

Magasin

På nästa nivå i dammregistret lagras all information om magasinerna. Ett schema över nivån visas i Figur 12. Magasinsnivån består av sex tabeller:

- En huvudtabell *Magasin* i vilken magasinerna listas
- En undertabell *Domar* som innehåller information om de vattendomar och tillstånd som gäller för magasinet
- En undertabell *Övervakning & larm* som beskriver övervakning som är relaterad till hela magasinet, t.ex. vattennivå
- En undertabell *Byggnadstekniska uppgifter* vilken innehåller teknisk information som till exempel kapacitet och koordinater
- En undertabell *FDU, besiktningar, inspektioner* som listar när, var, hur och av vem dessa utförts
- En undertabell *Hydrotekniska uppgifter* som innehåller diverse information om flöden och dämninggränser



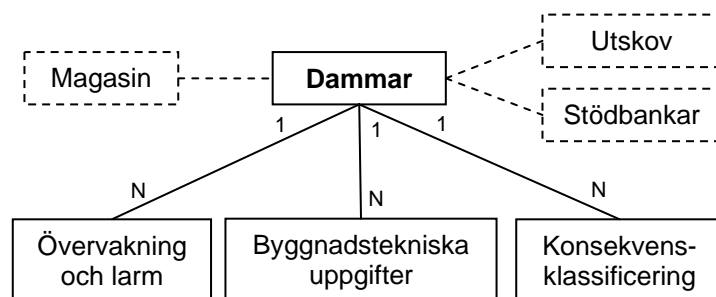
Figur 12. Schematisk bild över magasinernivån. Nivån är kopplad uppåt i hierarkin till nivån *Anläggning*.

Dammar

Den tredje nivån i dammregistret består av fyra tabeller där information om dammarna lagras. Bland dessa fyra tabeller finns det en huvudtabell som listar huvudobjekten samt tre tabeller som beskriver olika egenskaper hos objekten:

- Huvudtabellen *Dammar* som listar de olika dammarna
- En undertabell *Byggnadstekniska uppgifter* som innehåller diverse teknisk information såsom krönlängder, krönnivåer, byggnadsmaterial o.s.v.
- En undertabell *Övervakning och larm* som beskriver vilken sorts övervakning och vilka larm som finns i anslutning till respektive damm
- En undertabell *Konsekvensklassificering* som innehåller information om hur, när och av vem dammen konsekvensklassificerats

Samtliga undertabellerna är länkade till huvudtabellen *Dammar* genom ett 1:N-samband. Ett schema över nivån visas i Figur 13.



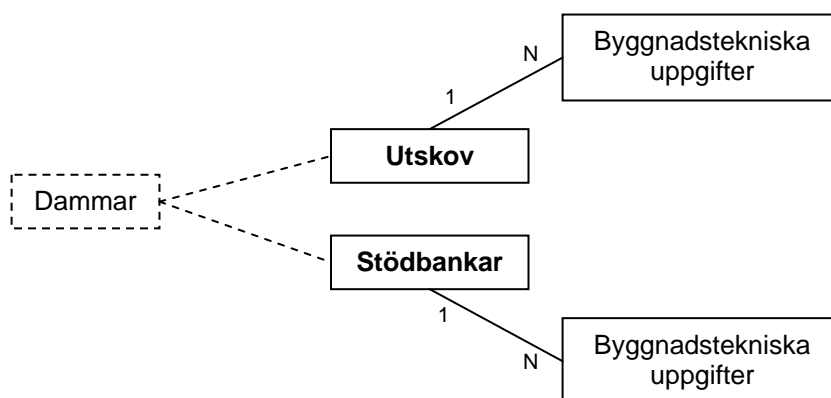
Figur 13. Översiktlig bild av dammnivån i gruvdammsregistret.

Utskov och Stödbankar

Den fjärde nivån i dammregistret består av två separata delar, utskov respektive stödbankar. Båda delarna är kopplade till den ovanliggande nivån "*Dammar*" med ett 1:N-samband. Det finns totalt fyra tabeller på den här nivån varav två beskriver utskov

- *Utskov* där huvudobjekten listas
- *Byggnadstekniska uppgifter* där tekniska uppgifter såsom utskovstyp, regleringssätt, storlek etc. lagras och två beskriver stödbankar
- *Stödbankar* där huvudobjekten listas
- *Byggnadstekniska uppgifter* där tekniska uppgifter såsom byggnadsmaterial, släntlutning, krönnivå etc. lagras

En schematisk bild över nivåns uppbyggnad visas i Figur 14.



Figur 14. Bilden visar nivån för *Utskov* och *Stödbankar* med deras undertabeller.

6.3 FRAMTAGET FELRAPPORTERINGSSYSTEM

6.3.1 Allmänt om felrapporteringssystemet

Felrapporteringssystemet ska precis som dammregistret fungera som ett för industrin internt register och inte som ett verktyg för tillsynsmyndigheten. Däremot kan det användas för att förenkla kontakten mellan företagen och myndigheten. Syftet med

felrapporteringsystemet är att, genom att bygga upp ett lättillgängligt och lättarbetat statistiskt underlag förbättra kunskapsåterföringen till industrin. Om det uppstår ett dammsäkerhetsproblem vid en damm finns det möjlighet att söka upp liknande problem i registret för att se vilka konsekvenser problemet lett till och vilka åtgärder som vidtogs. Under diskussioner med gruvinindustrin har det framkommit åsikter om att rapporteringssystemet måste vara enkelt att använda så att nyttan med det framstår som mycket större än det arbete som måste läggas ner för att hålla det aktivt. Rapportörerna på plats måste undervisas för att underlätta användandet och för att nyttan och syftet med systemet verkligen klargörs.

Felrapporteringsregistret är kopplat till dammregistret så att alla de uppgifter som finns lagrade i dammregistret och de inrapporterade händelseuppgifterna enkelt kan relateras till varandra. I och med detta kan, vid analys av händelser, olika egenskaper hos respektive anläggning jämföras med händelser som rapporterats in. När det statistiska underlaget växer kan slutsatser dras om olika egenskapers påverkan på dammsäkerheten.

6.3.2 Felrapporteringsregistrets upplägg

Registret för felrapportering är upplagt på ett sådant sätt att en rapport inte bara beskriver en enskild händelse. Istället beskrivs ett händelseförlopp. Förloppet delas upp i en initierande händelse och sedan i tur och ordning i dess följdändelser. Ett exempel kan vara en händelse där onormalt höga vattennivåer uppstått i ett magasin på grund av att ett utskov var feldimensionerat. Den initierande händelsen skulle då beskrivas som konstruktionsfel med onormal vattennivå som följdändelse. Varje händelse kan då härledas ”bakåt” till den föregående och på så sätt ge en överblick av hela händelseförloppet. På detta sätt undviks också terminologin med orsak och konsekvens vilket förenklar rapporteringen eftersom det ofta kan vara svårt att avgöra vad som är orsak och vad som är konsekvens i ett långt händelseförlopp.

Varje händelseförlopp bedöms och tilldelas en gradering på en allvarlighetskala. Skalan är en kombination av bedömningsklasserna (Svenska Kraftnät, 2004) och termerna *Olycka* och *Incident*. Bedömningsklasserna är allvarlighetsgraderingen som idag används vid besiktningar. De två allvarligaste nivåerna BK4 och BK5 ingår i felrapporteringsystemet medan BK1 till BK3 ej bedöms värda att rapportera till felrapporteringsystemet. Definitioner för Olycka och Incident är enligt Svensk Energi (2002b)

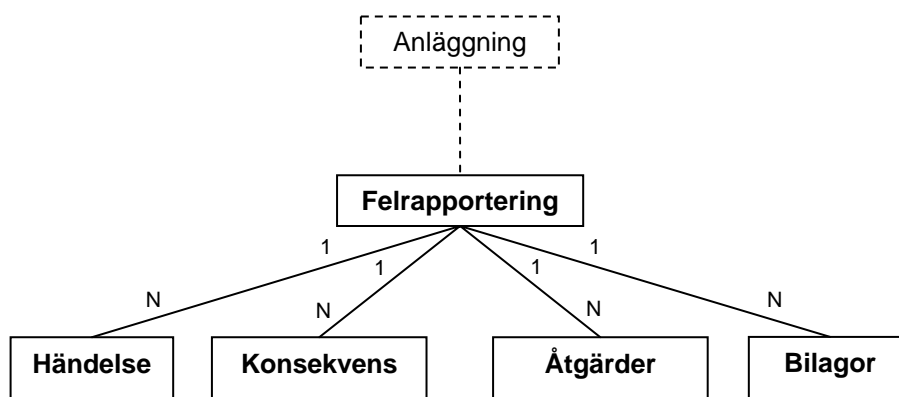
- Olycka: Ett dammhaveri d.v.s. dammens inneslutande funktion har upphört att fungera
- Incident: En oväntad händelse som orsakar ett omedelbart hot mot dammsäkerheten där snabb åtgärd måste vidtas för att undvika ett dammhaveri

Varje separat händelse i ett förlopp tilldelas sedan en placering, t.ex. om det är ett problem i ett utskov eller i en damm. Händelsen beskrivs ytterligare genom att kategoriseras efter händelsetyp. Vilka val av händelsetyp som finns att tillgå beror på den valda placeringen och vilka typer av händelser som kan tänkas uppstå på den delen av anläggningen. I Bilaga III visas ett exempel på hur ett felrapporteringsformulär skulle kunna komma att se ut.

6.3.3 Felrapporteringsregistrets struktur

Felrapporteringsregistret är uppbyggt av fem tabeller, se Figur 15, där en tabell utgör huvudtabell och fyra tabeller utgör undertabeller:

- Huvudtabellen *Felrapport* som bl.a. innehåller information om när händelsen inträffade, grad av händelse och eventuella utsläpp
- En undertabell *Händelse* där händelseförloppet beskrivs
- En undertabell *Konsekvens* som lagrar information om vilka konsekvenser händelsen lett till, både för företaget, tredje part och omgivande miljö
- En undertabell *Åtgärder* i vilken information om eventuella vidtagna åtgärder beskrivs
- En undertabell *Bilagor* som är tänkt att innehålla utredningsdokument, bilder och ritningar



Figur 15. Schematisk bild över felrapporteringsregistret.

6.4 SAMMANFATTNING

Arbetet har lett fram till en färdig databasstruktur för ett dammregister och ett felrapporteringsregister för svenska gruvdammar. Databasen består av sammankopplade tabeller som är uppdelade efter olika kategorier för att databasen ska vara lätt att underhålla och smidig att söka i. Eftersom dammregistret och felrapporteringsregistret är sammankopplade och ligger i samma databas blir det möjligt att få fram aktuell information för en anläggning och dess magasin och dammar vid tidpunkten för en viss händelse.

Gruvföretagen ska via ett webbgränssnitt kunna lägga in uppgifter om alla magasin och dammar samt rapportera eventuella händelser. Webbgränssnittet har ännu inte tagits fram, men innehåll och upplägg har diskuterats med företaget som kommer att utveckla gränssnittet. Uppgifter som kommer att ingå i felrapporteringsregistret visas i Bilaga III som innehåller ett exempel på hur felrapporteringsformuläret kan komma att se ut i webbgränssnittet. Ett liknande upplägg är tänkt i webbgränssnittet för dammregistret, men eftersom detta register innehåller så många olika nivåer och tabeller är det svårt att i rapporten redovisa det på samma sätt. Dammregistrets innehåll redovisas i Bilaga II som tabeller med de parametrar som registret innehåller.

7 GRUVDAMMSHÄNDELSER

7.1 INLEDNING

Som en del i examensarbetet har en statistisk analys av händelser vid svenska gruvdammar utförts. Anledningen till att denna analys utförts är att Bjelkevik (2005) visat att det finns ett behov av komplettering och vidare analys av händelser vid svenska gruvdammar. Förhoppningen med analysen är att den ska kunna ge en ökad kunskap om orsaker till varför händelser inträffar vid gruvdammar och att denna kunskap ska kunna användas vid nuvarande och framtida verksamhet. Analysen avser dock endast dammar där händelser inträffat. En stor del av den datamängd som har analyserats har erhållits från Bjelkevik (2005). Kompletterande data har framförallt erhållits från respektive gruvföretag vid vilkas anläggningar händelserna har ägt rum, se muntliga referenser för kontaktpersoner på respektive företag. Informationen har samlats in dels via muntlig kommunikation (telefonsamtal och studiebesök) och dels skriftligen (via e-post). Viss information har funnits att tillgå på SWECO VBB AB i Stockholm i form av konstruktionsritningar och utföranderapporter (SWECO VBB AB, 2005). Produktionssiffror har dels givits ut av företagen och dels kunnat erhållas ur den bergverksstatistik som årligen sammanställs av SGU (1944-2004) samt via Raw Materials Group (2005). Den statistiska analysen har genomförts på två sätt.

- 1) Sammanställning och genomgång av data. Intressanta parametrar har jämförts och analyserats.
- 2) PLS-analys som är en multivariat statistisk analysmetod.

PLS-metoden valdes för att det är en robust metod som på ett enkelt sätt åskådliggör de strukturer som finns i ett dataset. Den kan också användas för att bedöma och prediktera prestationen hos ett system. PLS kräver inte att dataserien som analyseras är komplett vilket var en förutsättning eftersom det saknades vissa data i de serier som samlades in. En kortfattad beskrivning av PLS ges i avsnitt 7.3.

7.2 BESKRIVNING AV DATA

Vid den statistiska analysen har händelser vid svenska gruvdammar studerats. Händelserna är uppdelade i tre olika händelsegrader utifrån en bedömning om hur allvarligt dammsäkerheten hotats på grund av den inträffade händelsen. De olika händelsegraderna är:

- 1 ***Olycka***, ett dammhaveri d.v.s. dammens inneslutande funktion har upphört att fungera, vilket leder till en nödsituation på grund av utsläpp av anrikningssand och/eller vatten.
- 2 ***Incident***, en oväntad händelse som orsakar ett omedelbart hot mot dammsäkerheten och där snabb åtgärd måste vidtas för att undvika ett dammhaveri.
- 3 ***Event Driven Maintenance (händelseframkallad underhållsåtgärd)***, en händelse som kunde ha förutsetts och som kräver underhållsåtgärder ej inkluderade i den normala driften av gruvdammen för att förhindra att händelsen eskalerar och/eller för att sänka risken kopplad till händelsen. Denna händelsegrad motsvaras av bedömningsklass 4 och 5 i felrapporteringssystemet, se avsnitt 6.3.2.

Till varje händelse finns, utöver händelsegrad, information om följande parametrar

- anläggning
- berört magasin
- berörd damm
- årtal för händelsen
- typ av malm (järn- eller sulfidmalm)
- status på det berörda magasinet (aktivt, d.v.s. i drift, eller icke aktivt)
- dammtyp för den berörda dammen
- fyllnadsmaterial för den berörda dammen
- högsta dammhöjd för den berörda dammen
- initierande händelse
- area för det berörda magasinet
- krönlängd för den berörda dammen
- produktion av anrikningssand för det aktuella årtalet
- dammårder vid den inträffade händelsen

Med ett icke aktivt magasin menas i detta fall ett magasin där ingen deponering sker; magasinet behöver alltså inte vara efterbehandlat och ”överlämnat till samhället” för att räknas som icke aktivt.

Fastställandet av dammtyp är i samtliga fall en bedömningsfråga eftersom byggnads sättet ändrats i takt med att kunskapen ökat. Som dammtyp används fem olika alternativ. Beteckningar och dammtyper som används är en modifikation av dem som beskrivs i ICOLD (1996). De olika dammtyperna redovisas nedan.

- | | |
|-----------|---|
| A | Traditionell vattendamm |
| B | Stegvis uppbyggd traditionell vattendamm (byggts på utåt eller uppåt vid ett eller flera tillfällen) |
| D | Homogen läckande ”spärrdamm” av gråberg |
| E2 | Dammvall med anrikningssand som fyllnadsmaterial, uppbyggd enligt uppåtmetoden |
| E4 | Dammvall med anrikningssand som fyllnadsmaterial, uppbyggd enligt inåtmetoden där anrikningssanden utplaceras mekaniskt |
| NR | Ingen uppgift om dammens uppbyggnad finns |

Dammarnas fyllnadsmaterial är i studien indelade i sex olika kategorier. Beteckningarna för dessa följer nedan.

- | | |
|------------|--|
| E | <i>Jordfyllning</i> , i de flesta fall morän |
| R | <i>Stenfyllning</i> , i många fall gråberg |
| T | <i>Anrikningssand</i> |
| C/R | <i>Betong och stenfyllning</i> |
| E/R | <i>Jord- och stenfyllning</i> |
| E/T | <i>Jordfyllning och anrikningssand</i> |

Beskrivningen av varje händelse har studerats och den initierande händelsen har fastställts. De initierande händelserna har delats upp i de sju följande kategorierna:

- YD** *Yttre defekter* såsom yttre erosion till följd av nederbörd, vågor, is etc. samt sprickor och släntras
- ST** Händelser som inträffat på grund av *konstruktionsfel* i dammen eller i tillhörande konstruktioner som t.ex. utskov
- I** *Is och frostrelaterade händelser*, t.ex. utskov igensatta av is, eller sättningar i dammvallen på grund av tjällossning
- W** Händelser där *onormala vatten och/eller anrikningssandsnivåer* har gett upphov till dammsäkerhetsproblem (överspolning av dammen ingår i denna kategori)
- IER** Händelser relaterade till *inre erosion*. I denna kategori ingår händelser såsom sjunkhål och piping
- L** *Läckage*, en situation har uppstått där det naturliga läckaget genom dammen övergått till ett onormalt stort läckage
- O** *Driftsrelaterade händelser*, där människan medverkat, t.ex. händelser orsakade av felaktig deponering, felaktig reglering av vattennivå eller felaktigt underhåll av dammen

7.3 KORTFATTAD BESKRIVNING AV PLS-ANALYS

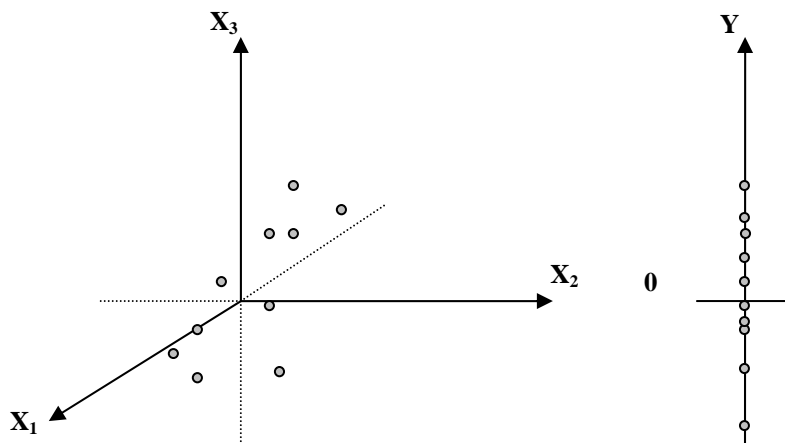
PLS, eller *projections to latent structures by means of partial least square*, är en metod som används för att statistiskt ta fram information ur och hitta mönster i stora mängder data. PLS är en multivariat projektionsmetod som kombinerar egenskaper från principal komponentanalys (PCA) och multipel regression (Abdi, 2003). Metoden används för att prediktera oberoende variabler, Y med hjälp av ett antal beroende variabler, X och för att beskriva allmänna strukturer i data (Abdi, 2003). Till skillnad mot multipel regression som använder sig av variationen i X för att prediktera Y så använder sig PLS av variationen i både X och Y vid predikteringen (Chaloud m.fl., 2002). En fördel med PLS är att det är en metod som går att använda i fall där det inte finns kompletta dataserier (Chaloud m.fl., 2002) och att det inte ställs några krav på vetskap om statistiska fördelningar i det data som ska analyseras, vilket gör metoden användbar inom områden där bakgrundkunskapen är relativt låg.

Data kategoriseras in i två olika grupper beroende på variablernas egenskaper. Dessa två grupper är *predikterande variabler* (variabler vars värden kan tänkas påverka systemet i olika riktningar) och *responsvariabler* (variabler vilka beskriver systemets "prestation"). I detta fall har vi valt att använda händelsegrad, d.v.s. allvarlighetsgraden för en händelse, som respons på de övriga variablerna. PLS används med fördel vid situationer där antalet predikterande variabler är mycket stort, men fungerar även väl för mycket små dataset med ett litet antal observationer och få predikterande variabler.

Innan en PLS-analys genomförs på ett dataset bör den insamlade informationen bearbetas. Variabler med stora variationer bör logaritmeras. En tumregel är att variabler som varierar mer än en tiopotens bör logaritmeras före analys. Andra vanliga åtgärder, som bör vidtas innan dataanalysen utförs är medelvärdescentrering, d.v.s. flytta medelvärdet till noll för samtliga variabler, och omskalning till enhetsvarians (Eriksson m.fl., 2001), d.v.s. förändra data så att samtliga variabler får en standardavvikelse lika med ett. Skalningen till enhetsvarians kommer sig av antagandet att samtliga variabler

ska, innan analys, behandlas som lika viktiga (Eriksson m.fl., 2001). I programvaran SIMCA-P 10.0 som använts i detta examensarbete, utförs skalning och medelvärdescentrering automatiskt.

När insamlad data har kategoriserats och bearbetats placeras de predikerande variablerna i en matris X av storleken $I \times J$ där I är antalet observationer och J antalet variabler. Responsvariablerna läggs in i en matris Y av storleken $I \times K$ där I är antalet observationer och K är antalet responsvariabler. Dessa två matriser formar således varsin rymd, en X - och en Y -rymd (Abdi 2003). Eftersom varje observation innehåller både beroende och oberoende variabler korresponderar varje observation mot två punkter, en i respektive rymd. Observationerna bildar därmed två stycken punktsvärmar (Eriksson m.fl., 2001). Syftet med analysen är att beskriva relationen mellan en observations position i prediktionsrymden (X) och i responsrymden (Y) (Eriksson m.fl., 2001). I detta fall består dock responsen Y av endast en variabel (händelsegrad) och bildar därmed ingen rymd utan en Y -vektor. Figur 16 visar ett exempel på hur dessa rymder kan se ut med tre predikerande variabler och en responsvariabel.

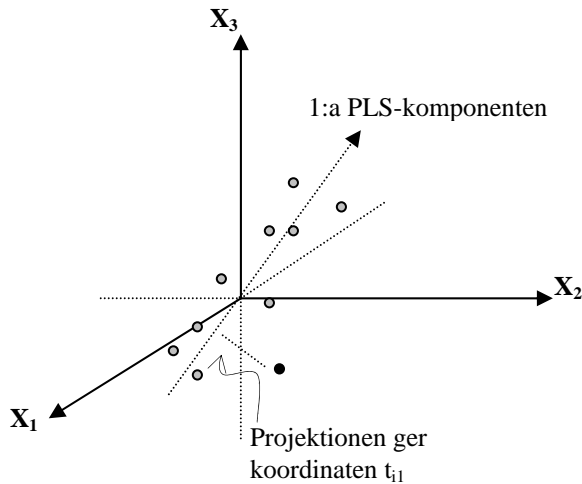


Figur 16. Figuren visar X - och Y -rummen och hur observationerna kan fördela sig i de båda rummen (Modifiering av bild i Eriksson m.fl 2001).

Metoden PLS utförs i korthet genom att ett antal vektorer/komponenter (latent vectors) tas fram, vilka beskriver en linje, ett plan eller ett rum. De båda matriserna X och Y projiceras ner på/i linjen/planet/rummet som vektor(n)(erna) spänner upp. Första PLS-komponenten är en linje i X -rummet. Detta är en linje som tas fram på ett sådant sätt att den på bästa sätt beskriver punktsvärmen i rummet samtidigt som den ger en god korrelation till Y -vektorn (Eriksson m.fl., 2001). Koordinaten på denna linje för en observation i fås genom att dess punkt i X projiceras ner på PLS-komponenten. Denna koordinat kallas score t_{i1} (Figur 17). Koordinaterna från samtliga observationer bildar tillsammans första X -scorevektorn t_1 (Eriksson m.fl., 2001). Denna vektor kan ses som en ny variabel, en scorevariabel, som används för att prediktera och modellera responsvariabeln, y , vilken ges av

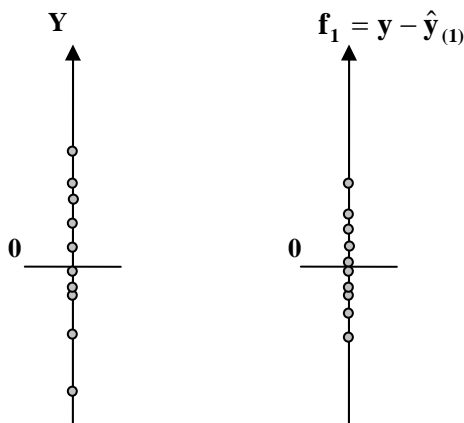
$$\hat{y} = c_1 t_1 \quad (2)$$

där \hat{y} är ett skattat värde av vektorn y och c_1 är viktningen av vektorn y .



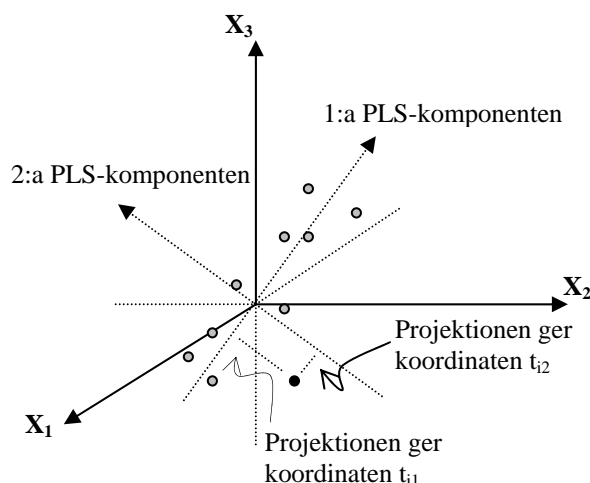
Figur 17. Grafisk framställning av X-rymden och den första PLS-komponenten för ett fall med tre predikerande variabler X_1 , X_2 , X_3 . Varje punkt motsvarar en observation som projiceras ner på komponenten och tilldelas en koordinat t_{11} (Modifiering av bild i Eriksson m.fl 2001).

Vanligtvis är det inte tillräckligt med endast en PLS-komponent för att åstadkomma en tillräckligt god beskrivning av Y . I dessa fall kan modellen förbättras genom att den utökas med en andra PLS-komponent. Denna komponent utgörs, precis som den första komponenten, av en linje i X -rymden. Linjen går genom origo och är ortogonal mot den första komponenten. Den ska vara riktad på ett sådant sätt att den förbättrar beskrivningen av informationen i X så mycket som möjligt samtidigt som den ger en god korrelation till den återstående y -residualen, f_1 (Figur 18), efter införandet av första PLS-komponenten (Eriksson m.fl., 2001).



Figur 18. Bilden visar en principskiss över objektens spridning i Y -rymden samt y -residualen efter första PLS-komponenten (Modifiering av bild i Eriksson m.fl 2001).

Varje punkt i X kan nu även projiceras ner på den andra PLS-komponenten och tilldelas på så sätt en koordinat t_{12} . En andra scorevariabel, t_2 , erhålls då, se Figur 19. I och med detta får varje observation en punkt på det plan som de bägge komponenterna spänner upp i X -rymden.



Figur 19. Grafisk framställning av X-rymden och den första och andra PLS-komponenten i ett fall med tre predikterande variabler X_1 , X_2 , och X_3 . Varje punkt motsvarar en observation som projiceras ner på de två komponenterna och tilldelas koordinaterna t_{11} och t_{12} (Modifiering av bild i Eriksson m.fl 2001).

En andra skattning av y kan nu tas fram som

$$\hat{y} = c_1 t_1 + c_2 t_2 \quad (3)$$

där \hat{y} är ett skattat värde av vektorn y , c_1 och c_2 är viktningskonstanter och t_1 och t_2 är scorevariabler. I händelse av att modellen fortfarande inte fungerar tillfredsställande kan ytterligare komponenter läggas till.

7.4 TOLKNING AV PLS

PLS-analysen utförd i programmet SIMCA resulterar i ett loading-diagram, ett score-diagram och ett modellöversiktsdiagram.

Loading-diagrammet visar relationen mellan de predikterande variablerna och responsvariabeln. Variabler som ligger nära varandra samverkar. Responsen är proportionellt beroende mot x-variabler som ligger nära denna, d.v.s. ett högt värde på dessa variabler ger ett högt värde på responsen. På samma sätt är responsen omvänt proportionell mot de variabler som ligger på motsatt sida i loading-diagrammet, d.v.s. ett högt värde på dessa variabler ger ett lågt värde på responsen (Brundin, 2005). Nämnas bör att i de körningar som utförts här innebär ett högt värde på responsen (händelsegrad) en mindre allvarlig händelse och ett lägre värde en allvarligare händelse. Variabler nära origo har mindre betydelse än de som ligger långt ifrån.

Score-diagrammet visar planet som spänns upp av första och andra score-variabeln (t_1 , t_2). Varje punkt i planet motsvarar projektionen av en observation (i detta fall en händelse) ner på planet. Observationer (händelser) som ligger nära intill varandra har liknande egenskaper. Genom att placera score-diagrammet ovanpå loadingdiagrammet kan information om varje observations inneboende egenskaper utläsas. De observationer (händelser) som hamnar nära en viss variabel innehar förmodligen den egenskap som den variabeln beskriver; en observations (händelses) placering i loading-diagrammet visar på förhållandet mellan variabel för den händelsen. (Brundin, 2005)

Hur väl responsvariabeln, Y, beskrivs av PLS-analysen redovisas med ett modell-översiktsdiagram. I detta diagram redovisas kumulativa R^2 -värdet och kumulativa Q^2 -värdet. R^2 -värdet beskriver hur väl den matematiska modellen genom projektionen ner till PLS-komponenterna överför och förklarar variationen i det data som analyserats. Q^2 -värdet anger hur väl Y kan predikteras med hjälp av modellen. Dessa parametrar är således ett mått på hur väl analysen beskriver Y. (Eriksson m.fl, 2001)

7.5 RESULTAT

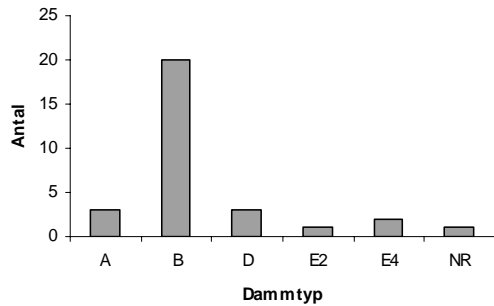
Insamlade data beskriver 60 händelser vid 12 olika svenska gruvanläggningar, se Bilaga I. I Tabell 4 redogörs för de anläggningar som finns representerade bland de dokumenterade händelserna.

Tabell 4. Anläggningar representerade i händesedokumentationen

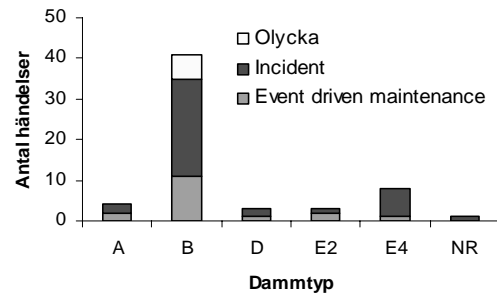
Anläggning	Malm	Ägare
Aitik	Sulfidmalm	Boliden Mineral AB
Björkdal	Guldsmalm	Björkdalsgruvan AB
Boliden	Sulfidmalm	Boliden Mineral AB
Garpenberg	Sulfidmalm	Boliden Mineral AB
Kiruna	Järnmalm	LKAB
Kristineberg	Sulfidmalm	Boliden Mineral AB
Laisvall	Sulfidmalm	Boliden Mineral AB
Malmberget	Järnmalm	LKAB
Saxberget	Sulfidmalm	Boliden Mineral AB
Stekenjokk	Sulfidmalm	Boliden Mineral AB
Svappavaara	Järnmalm	LKAB
Zinkgruvan	Sulfidmalm	Zinkgruvan AB

Händelserna har inträffat vid 30 dammar tillhörande 20 olika magasin. Dammarna har delats in i sex olika kategorier beroende på dammtyp, se avsnitt 7.2. Fördelningen mellan dessa kategorier för de dammar som ingår i dataserien illustreras i Figur 20. Största andelen dammar tillhör dammtyp B, d.v.s. påbyggda konventionella vattendammar. En av dammarna har klassats in under både kategori B och kategori E4 på grund av att byggnadssättet har förändrats med tiden och finns därmed med två gånger. Detta medför att totala antalet dammar i Figur 20 uppgår till 31 istället för 30.

Det största antalet händelser har inträffat vid dammar av typ B. Det är endast för dammtyp B som händelser av den allvarligaste graden, d.v.s. olycka, finns dokumenterade, se Figur 21 där fördelningen av antal händelser per dammtyp samt händelsegrad åskådliggörs.



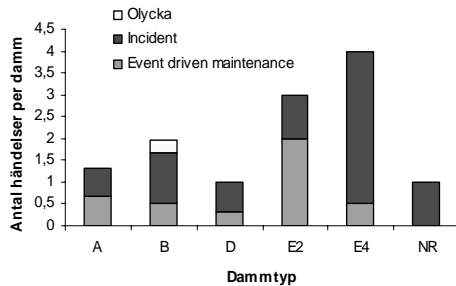
Figur 20. Antalet dammar i dataserien inom varje dammtypskategori.



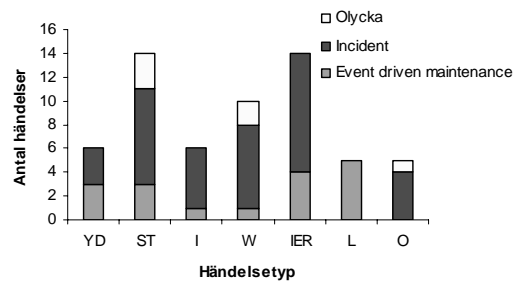
Figur 21. Antal händelser inom respektive dammtypskategori och allvarlighetsgrad.

Genom att jämföra antalet händelser som inträffat vid dammar av en viss dammtyp (Figur 21) med det totala antalet dammar för just den dammtypen (Figur 20) ges den genomsnittliga återkomstfrekvensen för en händelse vid en damm av den dammtypen. Den dammtyp där händelser återkommer med högst frekvens är dammar av typen E4, d.v.s. inåtdamm med anrikningssand som fyllnadsmaterial där anrikningssanden utplacerats mekaniskt, se Figur 22. Dammar av dammtyp E4 har en frekvens av fyra händelser per damm under den studerade tidsperioden.

De 60 dokumenterade händelserna är fördelade på de sju initierande händelsetyperna enligt avsnitt 7.2, se Figur 23 som även visar fördelning av händelsegrad inom de olika händelsetyperna. De tre mest frekvent förekommande initierande händelserna är konstruktionsfel, inre erosion och onormal vattennivå. Tre av de sju kategorierna har initierat olyckor, vilka är konstruktionsfel, onormal vattennivå samt driftrelaterade händelser.

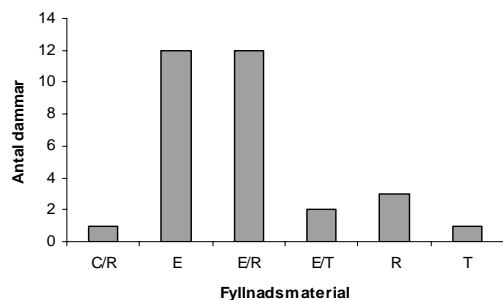


Figur 22. Antalet dokumenterade händelser i genomsnitt per damm för en viss dammtyp samt fördelning av händelsegrad.

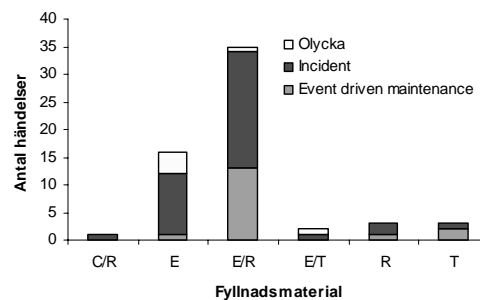


Figur 23. Antalet dokumenterade händelser för varje typ av initierande händelse samt fördelningen av händelsegrad.

Figur 24 illustrerar vilka fyllnadsmaterial de dokumenterade dammarna är uppbyggda av. De flesta dammarna ligger i kategorierna E och E/R, d.v.s. jordfyllnadsmaterial och jord- och stenfyllnadsmaterial. Figur 25 visar hur de dokumenterade händelserna fördelar sig mellan dammar uppbyggda av olika fyllnadsmaterial. Den största andelen av händelserna har inträffat vid dammar uppbyggda av jord- och stenfyllnadsmaterial (drygt 50 procent). Den allvarligaste händelsen, olycka, har inträffat inom tre av de sex kategorierna, vilka är jordfyllning (E), jord- och stenfyllning (E/R) samt jordfyllning och anrikningssand (E/T).

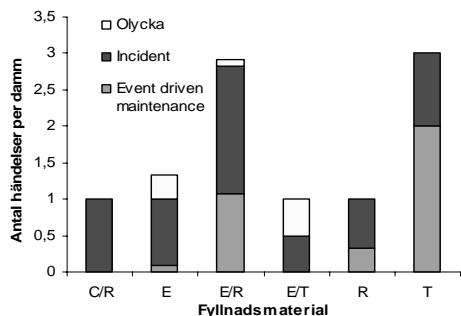


Figur 24. Antal dammar i dataserien fördelat på fyllnadsmaterial.



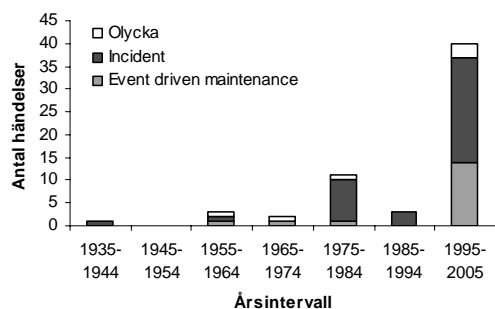
Figur 25. Dokumenterade händelser fördelade över dammarnas fyllnadsmaterial.

Den statistiska analysen visar att de flesta av de dokumenterade händelserna har inträffat vid dammar uppbyggda av jord- och stenfyllnadsmaterial samt jordfyllnadsmaterial, vilka också är de dammar som det finns flest av i dataserien, se Figur 24 och Figur 25. Genom att jämföra antalet händelser som inträffat vid dammar med ett visst fyllnadsmaterial med det totala antalet dammar med just det fyllnadsmaterialet ges den genomsnittliga återkomstfrekvensen för en händelse vid en damm med det fyllnadsmaterialet. Denna jämförelse visar att flest händelser per damm inträffar inom kategorierna anrikningssand och jord- och stenfyllning, där det i båda fallen inträffar i snitt tre händelser per damm under den studerade tidsperioden, se Figur 26.

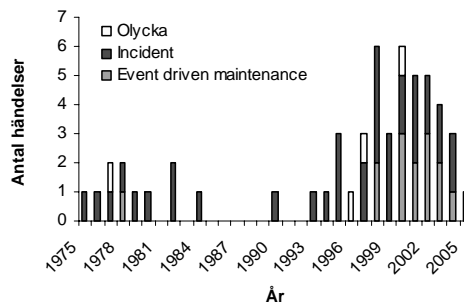


Figur 26. Antal dokumenterade händelser i genomsnitt per damm uppbyggd av ett visst byggnadsmaterial.

För att få en uppfattning om förekomsten av händelser har de dokumenterade händelserna sorterats efter årtal och händelsegrad. Resultatet visar på en markant ökning av dokumenterade händelser under de senaste 10 åren, se Figur 27 som visar antal dokumenterade händelser per decennium från 1935 och framåt, samt Figur 28 vilken visar en mer detaljerad illustration av fördelningen av händelser för de senaste 30 åren.



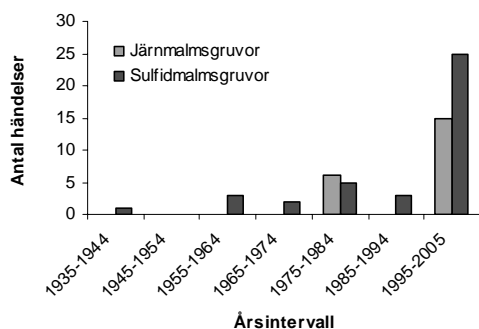
Figur 27. Antal händelser per decennium.



Figur 28. Händelsernas utbredning i tiden de sista 30 åren

En jämförelse av fördelningen av händelser mellan järn- respektive sulfidmalmsgruvor har utförts. Händelserna har delats in i tioårsintervall från år 1935 och framåt. Jämförelsen visar på en ökning av händelser inom båda grupperna, särskilt inom det senaste decenniet, se Figur 29. Där ses också att det finns fler dokumenterade händelser för sulfidmalmsgruvor än för järnmalmsgruvor.

Det har inträffat allvarligare händelser vid sulfidmalmsgruvor än vid järnmalmsgruvor och det är också vid dammar knutna till denna grupp som samtliga dokumenterade olyckor inträffat, se Tabell 5.

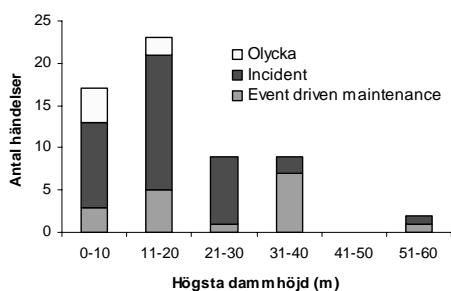


Figur 29. I figuren visas hur de dokumenterade händelserna fördelat sig mellan järn- och sulfidmalmsgruvor.

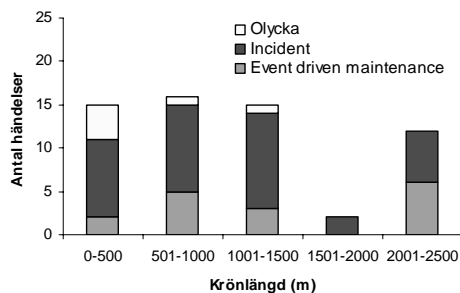
Tabell 5. Fördelningen av händelsegrad för järn- respektive sulfidmalmsgruvor

	Järnmalmsgruvor	Sulfidmalmsgruvor
Olycka	0	6
Incident	11	26
Event driven maintenance	10	7
Totalt	21	39

Antalet händelser samt händelsegrad har även jämförts med högsta dammhöjd och krönlängd, se Figur 30 och Figur 31. De flesta händelserna har inträffat bland dammar med en höjd på under tjugo meter. Det är även bland dessa som de allvarligare händelserna har dokumenterats. De allvarligaste händelserna har också inträffat bland dammar med en krönlängd på under 1500 meter. Händelserna är relativt jämnt fördelade mellan krönlängdsintervallen bortsett från intervallet 1501-2000 meter inom vilket endast två händelser inrapporterats.

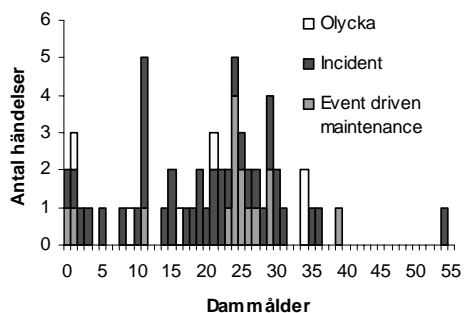


Figur 30. Antal dokumenterade händelser vid olika dammhöjdsintervall samt fördelning av händelsegrad.



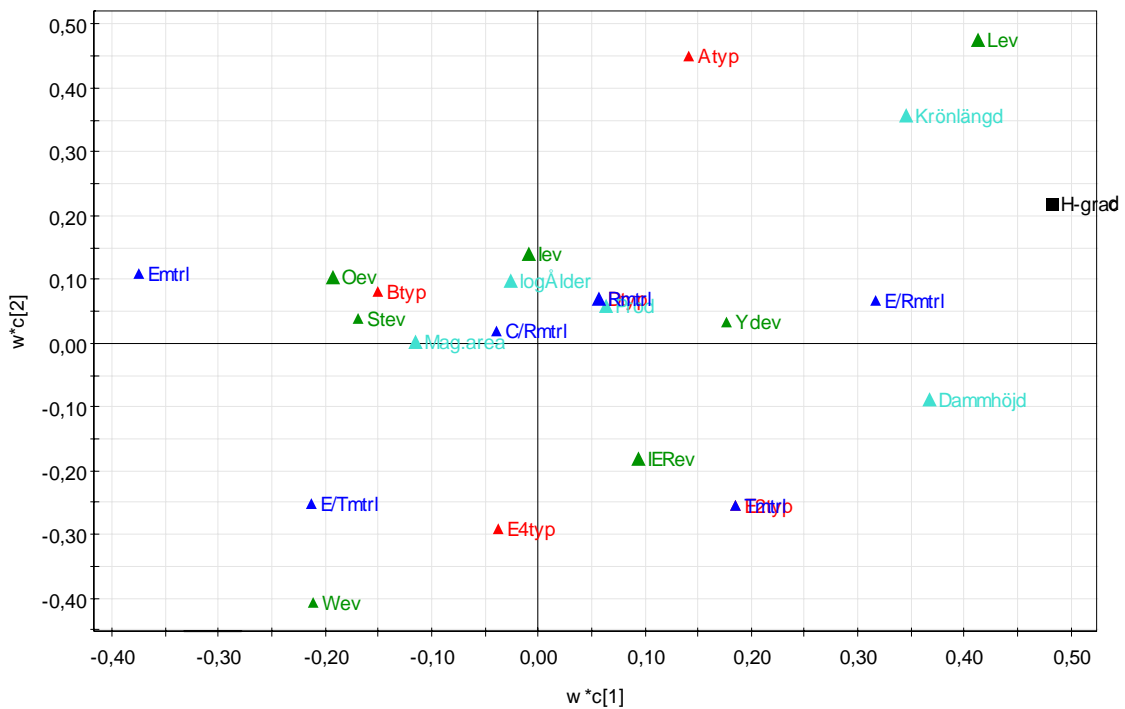
Figur 31. Antal dokumenterade händelser vid olika krönlängdsintervall samt fördelning av händelsegrad.

Av de 60 händelser som dokumenterats har de flesta inträffat vid dammar vars ålder varit mellan tjugo och trettio år, se Figur 32. Två händelser finns dokumenterade för dammar med en dammålder på över 300 år (se Bilaga I), men dessa händelser har bortsetts från för att göra resultatet mer överskådligt.



Figur 32. Antal händelser fördelat efter dammens ålder samt fördelning av händelsegrad.

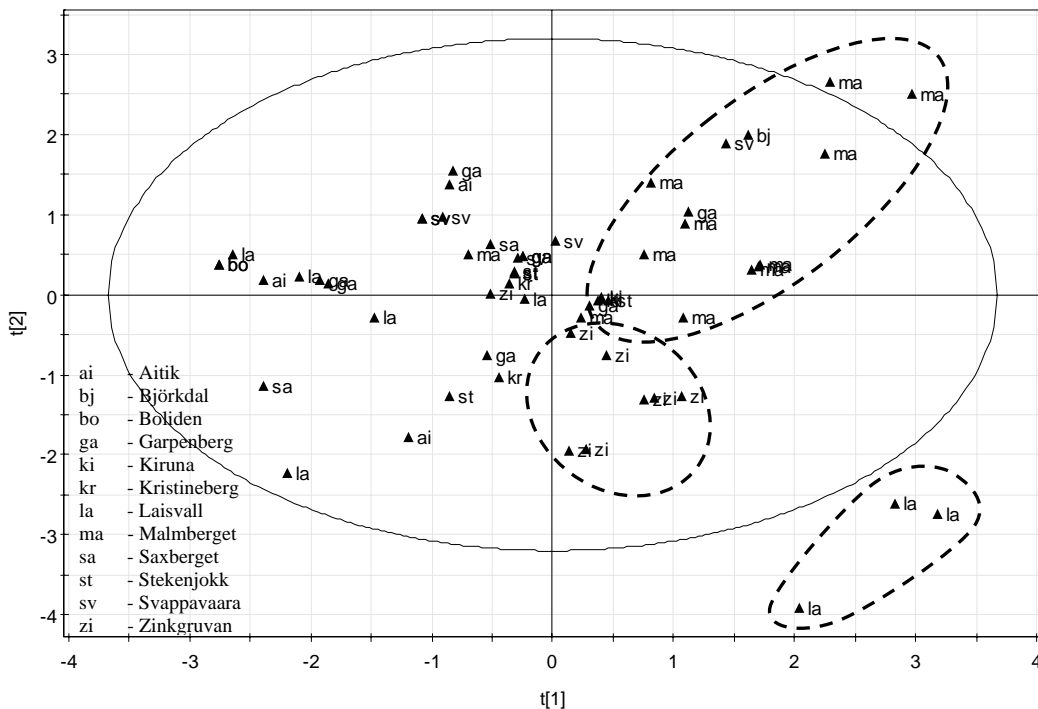
Vid PLS-analysen som utfördes på de insamlade händelserna användes händelsegraden som responsvariabel, vilket innebär att det är den variabeln som bedömer systemets prestation. Dammåldern logaritmerades (\log_{10}) vid analysen eftersom spridningen i denna variabel är stor. Analysen visar att de dammar där det inträffat mindre allvarliga händelser är dammar med stor krönlängd, med hög högsta dammhöjd, uppbyggda av E/R-material samt utsatta för händelseförlopp som initierats av onormalt stora läckage. De dammar som utsatts för allvarligast händelser är korta, låga dammar av B-typ som är uppbyggda av E-material eller E/T-material där händelseförloppet initierats av ett konstruktionsfel, en driftrelaterad händelse eller onormala vattennivåer, se Figur 33.



Figur 33. Loading-diagram från PLS-analys av dokumenterade händelser vid svenska gruvdammar. Röda punkter är dammtyper, blåa är olika fyllnadsmaterial, gröna är initierande händelser och turkosa beskriver byggnadstekniska parametrar såsom krönlängd och dammhöjd.

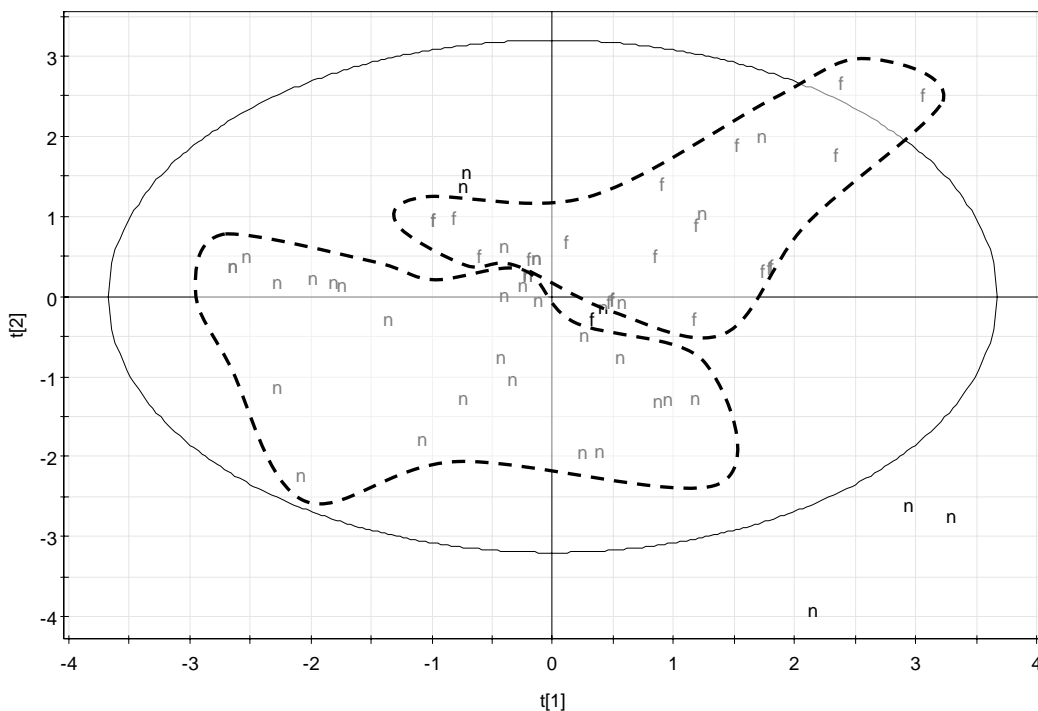
Score-diagrammet som erhöles vid analysen visas tre gånger (Figur 34-Figur 36) där händelserna i var och en av de tre figurerna givits olika beteckningar beroende på vilken information om händelsen som ska framhävas.

Händelser från samma anläggning tenderar att ligga i närheten av varandra i score-diagrammet, se Figur 34 som anger vid vilken anläggning en viss händelse ägt rum. Exempel på detta är händelser vid dammar i Zinkgruvan och Malmberget som betecknats *zi* och *ma* och som är markerade i figuren. Det kan också noteras att tre händelser med beteckningen *la* (Laisvall) ligger avskilt från resten av observationerna i nedre högra hörnet av figuren och dessa är också inringade.



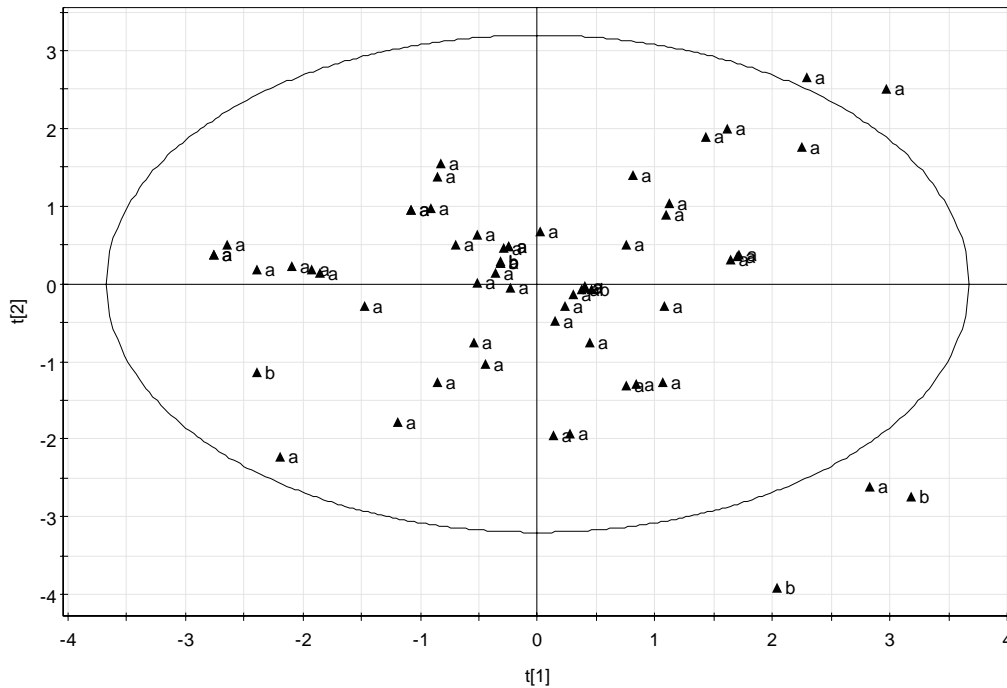
Figur 34. Score-diagram från PLS-analys av dokumenterade händelser vid svenska gruvdammar. Varje händelse följs åt av en förkortning för vid vilken anläggning händelsen inträffat.

Händelser vid dammar vid järn- respektive sulfidmalmsgruvor har också åskådliggjorts i ett score-diagram, se Figur 35. Händelser tillhörande järnmalmsgruvor, som i figuren betecknas med ett f, har placerat sig uppe till höger, medan övriga händelser, tillhörande sulfidmalmsgruvor, (betecknas med n) till största delen ligger placerade till vänster. I figuren har de två grupperna markerats med streckade områden.



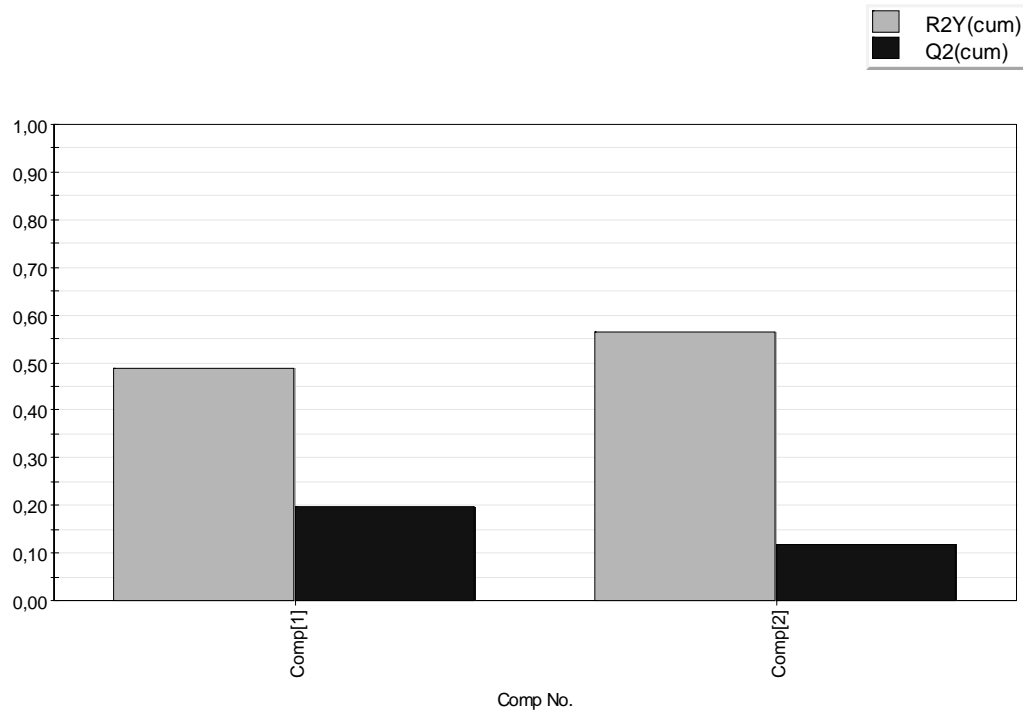
Figur 35. Scorediagram för PLS-analys av händelser vid svenska gruvdammar. Där händelser vid järnmalmsgruvor har beteckningen f och sulfidmalmsgruvor har beteckningen n.

Score-diagrammet i Figur 36 visar hur händelser vid aktiva respektive icke aktiva magasin fördelar sig. Händelser vid aktiva magasin, d.v.s. där deponering pågår, betecknas med ett a och händelser vid icke aktiva magasin betecknas med ett b. De fåtal händelser som finns vid icke aktiva magasin ligger väl utspridda bland de mer frekvent förekommande händelserna tillhörande aktiva magasin. Inga mönster kan ses.



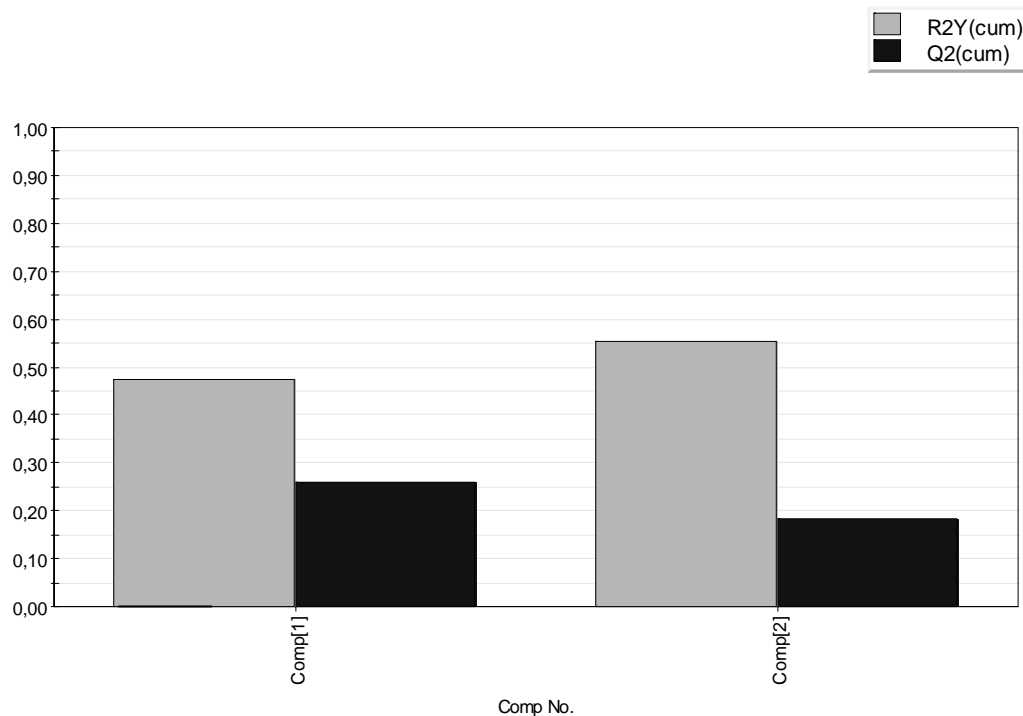
Figur 36. Scorediagram från PLS-analys av händelser vid svenska gruvdammar där händelser vid ett aktivt magasin betecknas med ett a och händelser vid ett icke aktivt magasin med ett b.

Hur väl responsvariabeln beskrivs av PLS-analysen redovisas med ett modell-översiktsdiagram i Figur 37. Analysen har utförts på samtliga 60 dokumenterade händelser och samtliga framtagna parametrar har tagits med. I figuren kan ses att analysen resulterat i en relativt låg förklaringsgrad. Här ses också att införandet av den andra PLS-komponenten endast ger en ökning av det kumulativa R^2 -värdet med ca 0,08, vilket innebär att denna komponent endast förklarar ca 8 % av variationen i data, samtidigt som det kumulativa Q^2 -värdet nästan halveras.



Figur 37. Modellens prestationsnivå för en respektive två komponenter. Figuren visar kumulativa värden för R^2 och Q^2 . Dammålder har logaritmerats vid analysen

I ett försök att förbättra förklaringsgraden plockades de tre inringade händelserna med beteckning la i Figur 34 bort eftersom de låg långt utanför de övriga händelserna. Detta ledde dock endast till en marginell ökning av modellens förklaringsgrad, se Figur 38.



Figur 38. Modellens prestationsnivå då dammålder logaritmerats och tre händelser i utkanten av planet har tagits bort

8 DISKUSSION

Under examensarbetets gång har en del svårigheter med insamlingen av data uppstått. För att få tag på vissa uppgifter har stor hjälp fordrats och erhållits från enskilda personer på gruvföretagen. Viss information har kunnat ges tillgång till på SWECO VBB AB i Stockholm i form av konstruktionsritningar för dammar samt utföranderapporter (SWECO VBB AB, 2005). Huruvida dessa konstruktionsritningar är dem som efterföljts i praktiken har i vissa fall varit svårt för oss att validera, varför vissa av de insamlade uppgifterna kan skilja sig något från verkligheten. Flera av de uppgifter som efterfrågats har ändå kunnat sammanställas och utvärderas. Arbetet hade dock underlättats avsevärt om all data varit samlad på ett ställe i t.ex. en databas.

För de händelser som sammanställts är dataserien nästintill komplett (ett fåtal luckor finns, se Bilaga I). Att denna sammanställning av händelser innefattar samtliga händelser som inträffat vid svenska gruvdammars och därmed väl representerar verkligheten är inte särskilt sannolikt. De sista femton åren av dataserien förmodas dock beskriva verkligheten på ett mera trovärdigt sätt. Inga referensdammars, det vill säga dammar där det inte inträffat någon händelse, har använts i analysen. Detta beror dels på svårigheter som uppkommit vid sammanställning av data och information om händelser och dels på att det inte finns någon dokumentation om det totala antalet gruvdammars i landet vid tidpunkten för varje händelse. I och med detta ansågs referensdammars bara tillföra ytterligare osäkerheter till analysen.

Dammtyper

De flesta dammar som finns representerade i händesedokumentationen är uppbyggda som traditionella vattendammars, d.v.s. täta dammar med tätkärna och filter som har byggts på utåt eller uppåt, en eller flera gånger, se Figur 20. Det är också vid dessa som de klart flesta händelserna inträffat och det är endast vid dammar av denna dammtyp som det finns händelser av graden olycka dokumenterade, se Figur 21. PLS-analysen visar också på ett samband mellan denna dammtyp och allvarigare händelser då den ligger till vänster i loadingdiagrammet, dock ligger den relativt nära origo vilket gör att sambandet inte är så starkt (Figur 33). Den största delen av alla svenska gruvdammars är konstruerade på detta sätt, vilket naturligtvis kan vara en starkt bidragande orsak till varför dammar av denna typ är överrepresenterade i händesestatistiken. Detta gäller framförallt till antal, men kanske även händelsernas händesegrad; fler dammar inom en och samma kategori ökar sannolikheten att en allvarlig händelse ska ske inom den kategorin.

Händesetyper

Den initierande händelsen i ett händeseförlopp valdes för beskrivning av händelserna eftersom det kan ge en indikation om varför händelsen inträffat. Ofta är det en följd av händelser som inträffar varför vissa händesetyper med detta system inte kommer med i statistiken. T.ex. sjunkhål, som visat sig vara en vanligt förekommande händelse och orsakas av inre erosion i dammkroppen, kommer inte med i statistiken eftersom det inte är den initierande händelsen. I vissa fall är det flera magasin och dammar som drabbas vid samma händelse. Det är då bara den första dammen som ingår i analysen trots att det ibland handlat om ett händeseförlopp av flera allvarliga händelser. Vid framtida inrapportering av händelser finns förhoppning om att händelsen ska beskrivas i olika steg, så att det lätt går att urskilja den initierande händelsen samt alla följdändelser i händeseförloppet.

De initierande händelser som gett upphov till allvarliga händelser (Figur 23) och även enligt PLS-analysen är de som medför störst risk för allvarliga händelser (se Figur 33), är händelser som uppkommit genom konstruktionsfel (ST), felaktig drift (OP) och onormala vattennivåer (W). Det är intressant att två av dessa händelsetyper, ST och OP, kan relateras till den mänskliga faktorn, vilket betyder att med andra rutiner samt med mer kunskap skulle dessa kunna undvikas. Den initierande händelse som i Figur 23 och Figur 33 visar sig medföra minst risk ur ett dammsäkerhetsperspektiv är onormalt stora läckage.

Byggnadsmaterialets betydelse

Dammar uppbyggda av jord- och stenfyllnadsmaterial (E/R) är de dammar som, tillsammans med jordfyllnadsdammar (E), till störst del finns representerade i statistiken, se Figur 24. Flest händelser har inträffat vid E/R-dammar, ca 50 procent av alla dokumenterade händelser, medan motsvarande siffra för E-dammar är ca 25 procent (Figur 25). På grund av den goda tillgången på lämpliga naturliga material, framförallt morän, samt inflytande från den svenska kunskapen och erfarenheten vad det gäller dammbyggnad för vattenreglering har de flesta gruvdammar traditionellt byggts som täta jord- och stenfyllnadsdammar. Gruvverksamheten har i flera fall också bidragit till god tillgång på berg, vilket har kunnat och kan användas till dammarnas stödfyllning. Att det finns så stort antal dammar uppbyggda av dessa material (E/R och E) kan vara orsaken till att dessa kategorier är överrepresenterade i statistiken, både vad gäller antalet inblandade dammar och antalet händelser vid dessa (Figur 24 och Figur 25). Detta förklarar dock inte varför dubbelt så många händelser är representerade av E/R-dammar jämfört med E-dammar. Några slutsatser om orsaken till detta kan inte dras utifrån den analys som gjorts.

De allvarligaste händelserna har inträffat vid dammar uppbyggda av jord- och stenfyllning (E/R), jordfyllning (E) samt jordfyllning och anrikningssand (E/T) (Figur 25). Loadingdiagrammet från PLS-analysen (se Figur 33) visar på en korrelation mellan allvarliga händelser och förekomsten av de två sistnämnda fyllnadsmaterialen (E och E/T), medan det förstnämnda materialet (E/R) snarare visar det omvända. Utifrån Figur 25 ser däremot E/R-dammar ut att vara det sämsta konstruktionsmaterialet för gruvdammar. Det statistiska underlaget bedöms dock inte vara tillräckligt för att bevisa detta. Framförallt så är antalet dammar i övriga kategorier få, vilket ger ett dåligt underlag för att bedöma lämplighet för att konstruera dammar av dessa material.

Dammhöjd

PLS-analysen visar att det finns ett samband mellan höjden på dammarna och hur allvarliga händelser som uppstår. Sambandet visar att lägre dammar medför högre risk för allvarliga händelser, vilket är anmärkningsvärt, se Figur 33. I Figur 30 där de dokumenterade händelserna sammanställts med avseende på högsta dammhöjd visar det sig att de flesta och de allvarligaste händelserna har inträffat vid dammar mellan 0 och 20 meter, vilket alltså överensstämmer med PLS-analysen. Anledningen till detta kan vara att gruvdammar byggs på i flera etapper, vilket medför att alla gruvdammar (möjligtvis med undantag för någon eller några enstaka dammar som i första steget byggts högre) någon gång legat inom de lägre höjdintervallen. De har därmed kunnat bidra till händelser inom detta höjdintervall. Bara ett fåtal dammar når upp till de högre höjdintervallen och således är det färre dammar inom dessa intervall på vilka händelser skulle kunna inträffa.

Mer intressant än det absoluta antalet händelser i varje intervall är hur händelsegraden fördelat sig inom de olika intervallen och varför. Figur 30 visar att de flesta händelser i de tre lägsta höjdintervallen tillhör de två allvarligaste nivåerna, olycka och incident. En bidragande orsak till att en stor andel av händelserna som inträffat vid dessa höjdintervall tillhör de allvarligare händelsegraderna kan vara att dammsäkerhet tidigare, då de flesta dammar ännu inte hunnit bli så höga, varit lågt prioriterad. Således har kontrollen och kunskapen om dammarna då varit låg i förhållande till dagens nivå. Dokumentationen av händelser har på grund av den låga prioriteringsgraden förmodligen också varit dålig, i vissa fall obefintlig, vilket gör att information kring de tidiga händelserna ofta härstammar från vad någon på företaget eller någon tidigare anställd på företaget kommer ihåg. Dessa gäller då mestadels allvarligare händelser medan information om de mindre allvarliga händelserna fallit i glömska. Således kan det tänkas att det saknas kännedom om ett stort antal mindre allvarliga händelser för dammar som tidigare låg inom de lägre höjdintervallen.

Krönlängd

Figur 31 visar att de allvarligaste händelserna inträffat vid dammar inom de nedre krönlängdsintervallen. Detta bekräftas också i loadingdiagrammet från PLS-analysen där ett samband kan utläsas mellan dammar med kort krönlängd och allvarliga händelser (Figur 33). Antalet händelser verkar dock inte skilja sig mellan de olika intervallen. Anledningen till att dammar med kort krönlängd visar sig vara mer utsatta av allvarliga händelser kan bero på att gruvdammar generellt sett blir längre i takt med att de byggs på, vilket på samma sätt som dammhöjden innebär att de flesta gruvdammar var kortare förr. Händelser som är dokumenterade från långt tillbaka i tiden är företrädesvis av allvarligare grad. Lindrigare händelser, event driven maintenance, har förmodligen inträffat även då men har varit svåra att få med i statistiken på grund av att dokumentation saknas. Detta är antagligen orsaken till det påvisade sambandet i det statistiska underlaget.

Dammålder

Dammåldern uppvisar inget tecken på att ha någon inverkan på graden av händelse. De allvarligaste händelserna, olyckor, är väl utspridda över tiden och samma sak gäller för incidenter (se Figur 32). Loadingdiagrammet från PLS-analysen uppvisar detsamma (Figur 33). I Figur 32 kan det ses att de flesta händelser inträffar vid dammar som är mellan 20 och 30 år gamla. Detta kan bero på att de flesta dammar hade uppnått denna ålder då dammsäkerhetsarbetet tog fart under 90-talet. Det skulle då innebära att denna topp inte har att göra med åldern i sig utan snarare med det ökade dammsäkerhetsarbetet och den ökade dokumentationen som följt på detta. Med tanke på att man i Figur 32 kan se att den lindrigaste graden av händelse, som nästan uteslutande har dokumenterats under de senaste 10 åren (se Figur 27 och Figur 28), framförallt ligger inom åldersintervallet 20-30 år så understryks detta.

Tidsaspekten

Synen på dammsäkerhet, både stabilitets- och miljömässigt, har förändrats. Gruvbranschen har under denna tid gått från att, under tidigt 1900-tal, deponera restprodukter direkt i vattendrag till dagens kontrollerade verksamhet där deponering sker i gruvdammar och där förändringar granskas och kontrolleras. Detta har naturligtvis lett till att synen på magasinen och hur dessa sköts har förändrats, vilket medför att noggrannheten i dokumentationen av händelser också har ökat. En granskning av Figur 27 visar att antalet dokumenterade händelser de senaste 10 åren

utgör två tredjedelar av det totala antalet händelser. Detta skulle kunna tolkas som att dammsäkerhetsarbetet utvecklats mot det sämre på grund av fler händelser, men det visar snarare på det motsatta, d.v.s. ökad medvetenhet och ökad dokumentation. I Figur 28 som visar hur det sett ut under de sista 30 åren ses en topp kring slutet på 1990-talet. Detta var den period när dammsäkerhetsarbetet kom i fokus och utvecklingen av DTU-manualer påbörjades. Det troliga är att det egentligen är först här som antalet dokumenterade händelser närmat sig det verkliga antalet. I samma figur ses en viss avtagande trend efter år 2000 och andelen mindre allvarliga händelser ökar vilket kan tolkas som att problem upptäcks tidigare, innan de leder till allvarligare problem. Huruvida detta är en ihållande trend eller en tillfällig nedgång får tiden utvisa.

Järn- och sulfidmalmsgruvor

Det finns betydligt fler sulfidmalmsgruvor än järnmalmsgruvor i Sverige och som det kan utläsas i Tabell 4 är det också fler sulfidmalmsgruvor representerade i händelsestatistiken. Därför är det logiskt att det också har inträffat fler händelser vid sulfidmalmsgruvor, se Figur 29. Det kan dock observeras i Tabell 5 att händelser vid sulfidmalmsgruvor är av allvarligare grad.

Scorediagrammet i Figur 35 visar resultatet från PLS-analysen med avseende på händelsefördelningen mellan järnmalmsgruvor och sulfidmalmsgruvor. Figuren visar en tydlig uppdelning mellan de två grupperna. Händelser vid dammar tillhörande järnmalmsgruvor ligger alla uppe till höger i diagrammet medan händelser vid sulfidmalmsgruvor till största del ligger mer ner till vänster. Genom att jämföra placeringen av dessa två grupper i scorediagrammet (Figur 35) med placeringen av parametrarna i loadingdiagrammet (Figur 33) kan slutsatser dras om vilka parametrar som är av betydelse för händelser från respektive grupp. Det innebär t.ex. att onormalt höga vattennivåer och E/T-material är mer dominerande bland händelser vid sulfidmalmsgruvor. Läckage och dammar av typ A är mer dominerande bland händelser vid järnmalmsgruvor. Gruppernas placering i scorediagrammet visar också på att det inträffat fler allvarligare händelser vid sulfidmalmsgruvor eftersom den gruppen är placerad på motsatt sida från responsvariabeln i loadingdiagrammet.

Aktiva och icke aktiva magasin

Samma typ av jämförelse som utförts ovan mellan järn- och sulfidmalmsgruvor har även utförts för händelser som inträffat vid aktiva respektive icke aktiva magasin, se Figur 36. Inget mönster kunde urskiljas. Det är dock väldigt liten del, ca tio procent, av de dokumenterade händelserna som inträffat vid icke aktiva magasin. Därmed är det statistiska underlaget för litet för att kunna dra några slutsatser utifrån PLS-analysen.

PLS-analysens förklaringsgrad

PLS-analysen som genomförts på den insamlade händesedokumentationen har kunnat visa vissa mönster som beskrivits tidigare i diskussionen. Vid tolkningen av resultaten bör det dock tas i beaktande att modellens förklaringsgrad är relativt låg. Vid införandet av den andra PLS-komponenten ökar R^2 -värdet marginellt (från 0,49-0,57) medan Q^2 -värdet halveras (Figur 37), vilket tyder på att denna komponent inte är relevant. Bedömningen gjordes att det trots en relativt låg förklaringsgrad kan utläsas viss information genom de mönster som bildas i de loading- och scorediagram som analysen producerar. Dock bör noteras att den knappa ökningen i förklaringsgrad av den andra PLS-komponenten medför att tolkningen framförallt bör göras utifrån placering i höger-vänsterled i score- respektive loading-diagrammen. Observationer som i Figur 34

identifierades som "outliers" (inringade och med beteckning la) samt parametrar nära origo som saknar större betydelse för förklaringsgraden av Y har plockats bort i ett försök att förbättra förklaringsgraden. Då de tre händelserna från Laisvall plockades bort, som förövrigt dessutom rör samma damm, steg förklaringsgraden en aning (se Figur 38), men när parametrar placerade nära origo togs bort skedde ingen större förändring. På grund av den knappa förbättringen beslutades därför att endast de score- och loadingdiagram där samtliga händelser och parametrar finns representerade skulle tolkas och redovisas. En viss optimering av analysen skulle kunna utföras om data utökas med fler relevanta parametrar och observationer. På grund av de svårigheter som uppkommit i datainsamlingen har detta inte kunnat åstadkommas inom ramen för detta examensarbete.

9 SLUTSATSER

Av den statistiska analysen drar vi slutsatsen att den mänskliga faktorn ofta är inblandad när allvarliga händelser inträffar. Resultaten visar att det är onormalt höga vattennivåer (W), konstruktionsfel (ST) samt driftsrelaterade händelser (OP) som lett till de allvarligaste händelserna. Av dessa kan de två senare kopplas till den mänskliga faktorn. Att misstag begås är naturligtvis oundvikligt, men genom att arbeta med att förbättra rutiner, öka kunskapen etc. kan antagligen antalet sådana händelser minskas och utgången av de misstag som ändå sker bli mindre allvarlig. Detta kan t.ex. uppnås med hjälp av bättre utbildning och kunskapsåterföring. Den framtagna databasen bedöms kunna bidra till detta.

Samband som visar sig i resultaten, mellan händelser och konstruktionsspecifika egenskaper är t.ex. att högre och längre dammar är mindre utsatta för allvarliga händelser. Det går dock inte att lägga allt för stor tyngd vid dessa resultat eftersom tidsaspekten och förändringen i synen på dammsäkerhetsarbetet innebär att dokumentationen ej är komplett, vilket tillför osäkerheter i analysen. Slutsatsen av den statistiska analysen blir därför att det krävs bättre/mer konsekvent dokumentation för att kunna dra säkra slutsatser om hur dammars utformning påverkar dammsäkerheten.

Detta arbete visar att en positiv attitydförändring angående felrapportering skett inom gruvbranschen. Det visar sig i statistiken genom att dokumentationen av händelser ökat markant de senaste tio åren, framförallt genom att dokumentationen av mindre allvarliga händelser ökat. Slutsatsen är därför att dammsäkerhetsarbetet lett till att dammsäkerheten nu tas på största allvar. De senaste fem åren visar en tydlig trend på en minskning i antal händelser, vilket redan nu tyder på positiva förändringar. Vidare uppföljning krävs dock för att det ska kunna dras säkrare slutsatser om detta.

För att kunna följa upp utvecklingen av det som kunnat utläsas finns ett behov av att händelseinformation fortsätter att samlas in. Förslagsvis i ett gemensamt register, vilket förenklar framtida statistiska undersökningar och även underlättar kunskapsåterföringen inom och mellan gruvföretagen i Sverige. För att registret ska kunna fungera bra och ge rättvisande statistik måste det finnas tydliga instruktioner om vad som ska rapporteras till detta register. Den grundstruktur som tagits fram inom detta examensarbete för ett sådant register och de diskussioner som redan förts om hur detta ska kunna komma att fungera medför ett ypperligt tillfälle för gruvbranschen att ta ytterligare ett steg framåt i dammsäkerhetsarbetet.

PLS-analysen har visat på vissa tendenser, men förklaringsgraden är för låg för att säkra slutsatser ska kunna dras. Utifrån det arbete som genomförts kan vi dock dra slutsatsen att PLS-analys är ett intressant verktyg för tolkning av händelser vid svenska gruvdammar. Analysmetoden kan på ett grafiskt och lättolkat sätt ta fram information ur och hitta mönster i stora mängder data, vilket passar bra för detta ändamål. Fortsatta studier med PLS-metoden skulle kunna visa huruvida resultaten som analysen i denna studie påvisat verkligen stämmer eller är missvisande på grund av inkonsekvent inrapportering av händelser genom årens lopp. Vid framtida studier kommer den framtagna databasen förhoppningsvis att ha lett till ett väl fungerande gruvdammsregister och felrapporteringssystem för gruvbranschen. Det skulle innebära att ett större och mer pålitligt statistiskt underlag skulle kunna erhållas med tiden. Det i

sin tur kommer att resultera i säkrare slutsatser beträffande hur dammarnas utformning påverkar dammsäkerheten.

10 REFERENSER

Publicerade referenser:

Abdi, H. (2003). *Partial Least Squares (PLS) Regression*, in Encyclopedia of Social Science Research Methods (Red: Lewis-Beck M. Bryman, A. Futing, T.), Thousand Oaks (CA)

Ahnström, P. Och Benckert, A. (1996). *Gruvdammar – Planering, utformning och efterbehandling samt sammanställning av svenska förhållanden*, Stockholm

Aronsson, P. och Björk, M. (2004). *Stabilitet hos en homogen gruvdamms nedströmsslänt*, Universitetsservice US AB, Stockholm (ISSN 1651-064X)

Benckert, A. (2004). Gruvdammar – Dammsäkerhet och efterbehandling, *XIV Nordic Geotechnical Meeting, 19-21 maj 2004, Ystad*, Svenska Geotekniska Föreningen Report 3:2004, Volume 2, s. 51-61

Bjelkevik, A. (2005). Swedish tailings dams incidents and failures – Lessons learnt, *Securing the future 2005, 28-30 juni 2005*.

Bergh, H. (2004). *Kompendium i vattenbyggnad*, KTH Mark och vattenteknik, Avd. Vattenbyggnad, Stockholm

Buchanan, T. (1999). *Lär dig Access på 24 timmar (Teach yourself Microsoft Access 2000 in 24 hours)*, Pagina Förlags AB, Sundbyberg, Första tryckningen (ISBN 91-636-0548-1)

Chaloud, D och Nash, M (2002). *Multivariate Analyses (Canonical Correlation and Partial Least Square (PLS)) to Model and Assess the Association of Landscape Metrics to Surface Water Chemicals and Biological Properties Using Savannah River Basin Data*, U.S. Environmental Protection Agency, Las Vegas

Elforsk (2005). *Dimensionerande flöden för stora sjöar och små tillrinningsområden samt diskussion om klimatfrågan*, Elforsk rapport 05:17

Eriksson, L. Johansson, E. Kettaneh-Wold, N. och Wold, S (2001). *Multi- and Megavariate Data Analysis - Principles and Applications*, Umetrics AB, Umeå (ISBN 91-973730-1-X)

Flödeskommittén (1990). *Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar*, Slutrapport från Flödeskommittén, Norrköping 1990

Fröberg, G. och Höglund, LO. (2004). *MiMi Light – en populärvetenskaplig sammanfattning av MiMi-programmets forskning kring efterbehandling av gruvavfall*, MiMi Print, Luleå (ISSN 1403-9478, ISBN 91-89350-41-3)

ICOLD (1996). *Bulletin 106: A guide to tailings dams and impoundments – Design, construction, use and rehabilitation*, (ISBN 92-807-1590-7, ISSN 0534-8293)

ICOLD (2001). *Bulletin 121: Tailings Dams, Risk of Dangerous Occurrences –Lessons learnt from practical experience*, BLUE EYES – Neuilly-sur-Seine, Paris (ISBN 92-807-2053-8, ISSN 0534-8293)

Jonsson, A. (2003). *Sulfidoxidation och metalltransport i gruvavfall – Fallstudie på planerad guldgruva i Svartliden*, Institutionen för geovetenskaper, Uppsala Universitet, Uppsala (ISSN 1401-5765)

MiMi (2002). *Åtgärder mot miljöproblem från gruvavfall*, Årsrapport 2001 för MISTRA-programmet MiMi, Luleå (ISSN 1403-9478, ISBN 91-89350-20-0)

SGU (2003). *Bergverksstatistik 2003*, Elanders Tofters, Uppsala (ISSN 0283-2038)

Skoglund H. (2002). *Inventering av förorenade områden i Norrbottens län enligt MIFO-modellen (glasbruk, äldre nedlagda gruvor)*, Rapportserie 8/2002, Länsstyrelsen i Norrbottens län, Luleå (ISSN 0283-9636)

Svenska Kraftnät (2003). *Dammsäkerhet – egenkontroll och tillsyn*, (ISBN 91-970190-4-6)

Svenska Kraftnät och Svensk Energi (2004). *Bedömningsklasser för dammsäkerhet*

Svensk Energi (2002a). *RIDAS Kraftföretagens riktlinjer för dammsäkerhet* (ISBN 91-7622-174-1)

Svensk Energi (2002b). *Felrapportering dammar, RIDAS – Drift, tillståndskontroll och underhåll*, Tillämpningsanvisningar, Bilaga D

Internetkällor:

Hatlevoll, T. (2000). *Gruvnäringen*, Rapport från Metalls utredningsavdelning, [http://www.metall.se/home/metall2/home2.nsf/docs/Gruvn%C3%A4ringen.pdf/\\$FILE/Gruvn%C3%A4ringen.pdf/](http://www.metall.se/home/metall2/home2.nsf/docs/Gruvn%C3%A4ringen.pdf/$FILE/Gruvn%C3%A4ringen.pdf/) (2005-07-21)

NVV, Naturvårdsverket (2003). *Efterbehandling av förorenade områden. Kvalitetsmanual för användning och hantering av bidrag till efterbehandling och sanering*. CM Digitaltryck, <http://www.naturvardsverket.se/dokument/teknik/sanering/kunskpr/kmanual.pdf> (2005-09-20)

Padron-McCarthy, T. (2005). *En Webbkurs Om Databaser*, Örebro Universitet, <http://www.databasteknik.se/webbkursen> (2005-07-18)

SGU (1999). Remissvar på Naturvårdsverkets rapport ”Gruvavfall – Miljöeffekter och behov av åtgärder”, http://www.sgu.se/sgu/sv/om_sgu/remisser/1999/01-51699_s.htm (2005-09-25)

Muntliga referenser:

Brundin, Anders (2005). Chef Miljö, Hälsa, Säkerhet, Dragon Mining Sweden AB, Svartliden

Isaksson, Sven (2005). Project Engineer Process Media, LKAB, Kiruna

Lindahl, Lars-Åke (2005). Direktör, Yttre Miljö, SveMin, Stockholm

Lindegren, Mats (2005). Chef för Kross- och Anrikningsverksamheten, Björkdalsgruvan, Björkdal

Lindholm, Pia (2005). LKAB, Kiruna

Maripuu, Raivo (2005). Corporate Project Manager, Dams and Deposits, Boliden Mineral AB, Boliden

Mellberg, Fred (2005). Miljöchef, Zinkgruvan Mining AB, Zinkgruvan

Sandberg, Michael (2005). Reclamation Project Manager, Boliden Mineral AB, Boliden

Åhrling-Rundström, Gun. (2005). Ansvarig vattenkraftfrågor, Svensk Energi, Stockholm

Övriga referenser:

Raw Materials Group (2005). Utdrag om produktion ur databasen RAW MATERIALS DATA, via e-post Stockholm, 2005. För information om databasen se <http://www.rawmaterialsgroup.com/> (2005-09-28)

SGU (1944-2004) Bergverksstatistik, SGUs periodiska publikationer

SWECO VBB AB (2005). Diverse dokument såsom ritningar och utföranderapporter samt muntlig information från Tomas Bohlin, Annika Bjelkevik, Per, Dag Ygland

Bilaga I

SAMMANSTÄLLNING AV DOKUMENTERADE HÄNDELSER VID SVENSKA GRUVDAMMAR

Tabell B I.1 Dokumenterade händelser vid svenska gruvdammar sorterade efter år för händelsen.

Anläggning	År	Malm typ	Berört magasin	Mag. Status	Berörd damm	Dammtyp	Fyllnads mtrl	Högsta dammhöjd	Init. händ.	Händelse typ	Magasins area	Krön längd	Prod-uktion	Damm ålder
Garpenberg	1944	N	Grusjön	A	G1	A	C/R	8	ST	2	1,57	0,35	0,05	1
Laisvall	1961	N	Nedre sjömagasinet	A	Nedre sjömagasinet	NR	E	25	YD	2	0,2	0,6	0,86	18
Garpenberg	1963	N	Ryllshytte	A	A	B	E/R	6	L	3	0,15	0,09	0,23	0
Saxberget	1964	N	Saxbergsmagasinet	B	"old dam"	B	E	10	W	1	0,18	0,15	0,10	34
Garpenberg	1966	N	Finnhytte	A	Finnhytte dammen	A	E/R	5	W	3	0,93	0,135	0,20	300
Laisvall	1974	N	B	A	B	B	E/T	10	W	1	0,7	1,4	1,20	16
Kristineberg	1975	N	IV	A	4	B	E/R	15	ST	2	0,74	0,75	0,24	23
Malmberget	1976	F	Sandmagasinet	A	C-D-E1	B	E/R	20	ST	2	1,8	2,5	9,43	0
Garpenberg	1977	N	Finnhytte	A	Finnhytte dammen	A	E/R	5	W	2	0,93	0,135	0,39	300
Zinkgruvan	1977	N	Enemossen	A	Dam X-Y	B	E/R	10	ST	1	0,26	0,52	3,32	1
Svappavaara	1978	F	Klarningsmagasinet	A	C-H	B	E	16	ST	2	0,7	2,35	1,95	11
Svappavaara	1978	F	Klarningsmagasinet	A	C-H	B	E	16	ST	3	0,7	2,35	1,95	11
Kiruna	1979	F	Klarningsmagasinet	A	R-S-F	B	E/R	8	IER	2	0,7	1,44	sgu	2
Kiruna	1980	F	Klarningsmagasinet	A	R-S-F	B	E/R	8	IER	2	0,7	1,44	1,66	3
Kristineberg	1982	N	IV	A	4	B	E/R	17	W	2	0,74	0,76	0,76	30
Kiruna	1982	F	Klarningsmagasinet	A	R-S-F	B	E/R	8	IER	2	0,7	1,44	sgu	5
Saxberget	1984	N	Saxbergsmagasinet	A	"north dam arm"	B	E	15	YD	2	0,33	1,5	0,14	54
Zinkgruvan	1990	N	Enemossen	A	Dam X-Y	E4	E/R	19	IER	2	0,426	1,06	0,63	14
Zinkgruvan	1993	N	Enemossen	A	Dam X-Y	E4	E/R	21	IER	2	0,497	1,1	0,68	17
Stekenjokk	1994	N	Sand och klarnings	A	S1	B	E/R	13	W	2	1,1	0,18	0	20
Stekenjokk	1995	N	Sand och klarnings	A	S1	B	E/R	13	I	2	1,1	0,18	0	21
Malmberget	1995	F	Sandmagasinet	A	B-A	B	E/R	13	O	2	1,8	0,7	7,32	15
Zinkgruvan	1995	N	Enemossen	A	Dam X-Y	E4	E/R	23	W	2	0,515	1,15	0,64	19
Laisvall	1996	N	H	A	Piren	B	E	2	O	1	0,6	0,43	1,81	21
Garpenberg	1997	N	Ryllshytte	A	C	B	E/R	12,5	YD	2	0,23	0,1	0,92	11
Garpenberg	1997	N	Ryllshytte	A	A	B	E	17	ST	1	0,23	0,49	0,92	34
Garpenberg	1997	N	Ryllshytte	A	D	B	E	13	ST	2	0,23	0,6	0,92	11
Laisvall	1998	N	H	A	1	B	E	8	ST	2	0,6	0,58	1,94	10
Garpenberg	1998	N	Ryllshytte	A	S1	D	R	8,5	W	2	0,23	0,6	0,93	8
Laisvall	1998	N	H	A	H	E2	T	40	YD	3	0,6	0,75	1,94	23
Stekenjokk	1998	N	Sand och klarning	B	S3	B	E/R	13	IER	3	1,1	1,4	0	24
Svappavaara	1998	F	Klarningsmagasinet	A	C-H	B	E	21	IER	2	0,7	2,35	3,85	31
Malmberget	1998	F	Sandmagasinet	A	C-D-E1-F	B	E/R	35	IER	2	1,8	2,5	7,96	22
Stekenjokk	1999	N	Sand och klarnings	B	S1	B	E/R	13	I	2	1,1	0,18	0	25
Laisvall	1999	N	H	A	1	B	E	8	IER	2	0,6	0,58	1,97	11
Malmberget	1999	F	Sandmagasinet	A	B-A	B	E/R	13	IER	2	1,8	0,7	7,99	19
Aitik	2000	N	Sandmagasinet	A	E-F förlängningen	B	E	17	ST	1	13	0,15	18,22	9
Zinkgruvan	2000	N	Enemossen	A	Dam X-Y	E4	E/R	27	W	2	0,569	1,2	0,73	24
Zinkgruvan	2000	N	Enemossen	A	Dam X-Y	E4	E/R	27	ST	3	0,569	1,2	0,73	24
Aitik	2000	N	Klarningsmagasinet	A	I-J	B	E	12	I	2	1,5	1,9	18,22	15
Malmberget	2000	F	Sandmagasinet	A	C-D-E1-F	B	E/R	35	IER	3	1,8	2,5	8,64	24
Malmberget	2000	F	Sandmagasinet	A	C-D-E1-F	B	E/R	35	ST	3	1,8	2,5	8,64	24
Boliden	2001	N	Gillervättnet	A	D	B	E	5	O	2	2,6	0,2	15,86	21
Malmberget	2001	F	Sandmagasinet	A	C-D-E1-F	B	E/R	35	IER	3	1,8	1,05	7,73	25
Svappavaara	2001	F	Sandmagasinet	A	Spärrdamm	D	R	15	ST	2	1,2	1,1	3,11	27
Aitik	2001	N	Sandmagasinet	A	E-F	E4	E/T	35	I	2	13	1,1	17,72	35
Malmberget	2001	F	Klarningsmagasinet	A	E-J1-J2	B	E/R	14	L	3	1,8	2,5	7,73	25
Boliden	2002	N	Gillervättnet	A	E	B	E	5	O	2	2,6	0,2	15,03	22
Björkdal	2002	N	Sandmagasinet	A	sildammen	D	R	12	L	3	1,52	0,61	13,14	1
Malmberget	2002	F	Sandmagasinet	A	C-D-E1-F	B	E/R	35	L	3	1,8	0,87	7,75	26
Zinkgruvan	2002	N	Enemossen	A	Dam X-Y	E4	E/R	27	O	2	0,585	1,2	0,73	26
Malmberget	2002	F	Klarningsmagasinet	A	J1-J2	B	E/R	15	I	3	1,8	2,5	7,75	26
Stekenjokk	2003	N	Sand och klarnings	B	S1	B	E/R	13	I	2	1,1	0,18	0	29
Svappavaara	2003	F	Recipientmagasin	A	Recipientdamm	A	E/R	10	YD	3	0,4	0,8	3,79	39
Svappavaara	2003	F	Klarningsmagasinet	A	C-H	B	E	21	ST	2	0,7	2,35	3,79	36
Malmberget	2003	F	Sandmagasinet	A	C-D-E1-F	B	E/R	35	L	3	1,8	2,5	8,78	27
Laisvall	2004	N	H	B	H	E2	T	52	W	2	0,6	0,75	0,00	29
Laisvall	2004	N	H	B	H	E2	T	52	YD	3	0,6	0,75	0,00	29
Zinkgruvan	2004	N	Enemossen	A	Dam X-Y	E4	E/R	27	IER	2	0,608	1,2	0,73	28
Malmberget	2005	F	Sandmagasinet	A	C-D-E1-F	B	E/R	35	IER	3	1,8	2,5		29

Bilaga II

SAMMANSTÄLLNING AV DAMMREGISTRETS INNEHÅLL

Tabell B.II.1 Dammregistrets innehåll sorterat efter tabellernas tillhörighet. Fet text i tabellen motsvarar ett tabellnamn och övrig text motsvarar fältnamn

ANLÄGGNINGAR	MAGASIN		DAMMAR	UTSKOV OCH STÖDBANKAR
ANLÄGGNINGAR	MAGASIN	HYDROTEKNISKA UPPGIFTER	DAMMAR	UTSKOV
AnläggningsID	MagasinsID	HydroID	DammlID	UtskovsID
Namn	Magasinsbeteckning	Datum	Dammibeteckning	Utskovsbeteckning
	AnläggningsID	Operativ DG	MagasinsID	DammlID
ALLMÄNNA UPPGIFTER	BYGGNADSTEKNISKA UPPGIFTER	Tillrinningsområde	BYGGNADSTEKNISKA UPPGIFTER	BYGGNADSTEKNISKA UPPGIFTER
AllmänID	ByggnadsID	"Klass1"-flöde	PåbyggnadsID	Datum
Datum	Magasinskoordinat-x	100års-flöde	Dammkoordinat-x	Åtgärd
Agare	Magasinskoordinat-y	Processvattenflöde	Dammkoordinat-y	Typ
Höjdsystem	Datum	Maximal utsläppt vattenvolym vid Driftgräns	Datum	Användning
Höjdsystemsnyckel	Magasinstyp	Maximal utsläppt vattenvolym vid DG	Åtgärd	Sektion
Län	Utbyggnadskapacitet	Maximal utsläppt vattenvolym vid Krön	Längdsektion	Regleringstyp
Kommun	Area	Maximal avbördring vid DG	Konstruktionsstyp	Placering
Årsproduktion	Årsdeponering	Maximal avbördring vid Krön	Verkningsstätt	Tröskelnivå
AnläggningsID	Årsaktuell fyllnadsvolym	Maximal avbördring vid krön	Grundläggning	Tröskelbredd
	Magasinstatus		Högsta krönnivå	Küvertdimensioner
	Beskrivning av efterbehandling		Lägsta krönnivå	Avbördring vid DG
	MagasinsID		Högsta damm höjd	Ritningsnummer
		ÖVERVAKNING OCH LARM	Lägsta grundläggningsnivå	Anmärkning
		ÖvervakningsID	Krönbredd	UtskovsID
		Datum	Krönlängd	
		Signal vid förändring av vattennivå	Beachbredd	STÖDBANKAR
		Automatisk bräddnivå vid hög vattennivå	Slantlutning US	StödbanksID
		Vattennivåns stigningshastighet vid högsta beräknade tillrinning	Slantlutning NS	Stödbanksbeteckning
		Tid för personal till anläggningen	Fyllnadsmaterial	DammlID
		Körbar tillfartsväg	Mtrl tätkäma	
		Plogas vintertid	Placering tätkäma	BYGGNADSTEKNISKA UPPGIFTER
		Anmärkning	Bredd tätkäma	PåbyggnadsID
		MagasinsID	Högsta nivå tätkäma	Datum
			Lägsta nivå tätkäma	Åtgärd
			Recipient vid ev. dammbrott	Langdsektion
			Ritningsnummer	Krönnivå
			Ritning	Krönbredd
			Anmärkning	Slantlutning
			DammlID	Fyllnadsmaterial
				Ritningsnummer
				Anmärkning
				StödbanksID
			KONSEKVENSKLASSIFICERING	
			KonsekvensklassificeringsID	
			Datum	
			Konsekvensklass	
			Utförd av	
			Anmärkning	
			DammlID	
			ÖVERVAKNING OCH LARM	
			ÖvervakningsID	
			Datum	
			Läckagemätning	
			Läckagelarm	
			Dammreiselämning	
			Porttrycksnivåmätning	
			DammlID	

Bilaga III

EXEMPEL PÅ FORMULÄR FÖR GRUVINDUSTRINS FEL- RAPPORTERING

FELRAPPORTERINGSFORMULÄR

Rapportör
Företag
Adress
Postadress
Telefon
Fax
E-post

Preliminär rapport Slutgiltig rapport

Anläggning Årsproduktion mal

TIDPUNKT FÖR SKADA/UPPTÄCKT

År Månad Dag Tid

HÄNDELSEBEDÖMNING

Haveri/olycka Incident BK5 BK4

Händelsebeskrivning i text:

INITIERANDE HÄNDELSE - BESKRIVNING AV SKADA/FEL

Berörd del

Magasin Statistikuppgifter
Aktuell Vattennivå Aktuell Vattenvolym
Aktuell Sandvolym

Damm Utskov Pumpar och Sandledning Övervakningsutrustning

Dammbezeichnung

Utskovsbezeichnung

Ytterligare beskrivning, berörd del:

HÄNDELSEBESKRIVNING, DAMM

Släntinstabilitet, erosion och dyl.

Utglidning slän
Erosion
Inre erosion
Piping
Sjunkhål
Läckage
Sättning
Sprickor
Grundläggning

Yttre faktorer

Överströmning
Vattennivå/Vattenföring
Is och frost
Övrigt
Intilliggande magasin
Konstruktion
Djur
Pågående arbete
Ej rapporterad

HÄNDELSEBESKRIVNING, UTSKOV

Vattennivå/Vattenföring Sättar/Luckor Drivgoods
Läckage Sättning Djur
Erosion Grundläggning Pågående arbete
Is och frost Brand Ej rapporterad
Sprickor Eifel
Konstruktion Mekaniskt fel

HÄNDELSEBESKRIVNING, PUMPAR OCH SANDELEDNINGAR

Deponeringsmetod Sprickor Djur
Utsläpp Konstruktion Pågående arbete
Vattenföring Sättning Ej rapporterad
Is och frost Grundläggning

HÄNDELSEBESKRIVNING, ÖVERVAKNINGSTRUSTNING

Utsläpp Felgivning Brand
Vattennivå/Vattenföring Bristande övervakning Djur
Is och frost Utrustning saknas Pågående arbete
Konstruktion Eifel Ej rapporterad

FÖLJDHÄNDELSE - BESKRIVNING AV SKADA/FEL

Berörd del

Magasin Statistikuppgifter
Aktuell Vattennivå Aktuell Vattenvolym
Aktuell Sandvolym

Damm Utskov Pumpar och Sandledning Övervakningsutrustning

Dammbezeichnung

Utskovsbezeichnung

Ytterligare beskrivning, berörd del:

HÄNDELSEBESKRIVNING, DAMM

Släntinstabilitet, erosion och dyl.

Utgångning slän
Erosion
Inre erosion
Piping
Sjunkhål
Läckage
Sätningar
Sprickor
Grundläggning

Yttre faktorer

Överströmning
Vattennivå/Vattenförling
Is och frost
Övrigt
Intelligande magasin
Konstruktion
Djur
Pågående arbete
Ej rapporterad

HÄNDELSEBESKRIVNING, UTSKOV

Vattennivå/Vattenförling Sättar/Luckor Drivgoods
Läckage Sätningar Djur
Erosion Grundläggning Pågående arbete
Is och frost Brand Ej rapporterad
Sprickor Eifel
Konstruktion Mekaniskt fel

HÄNDELSEBESKRIVNING, PUMPAR OCH SANLEDNINGAR

Deponeringsmetod Sprickor Djur
Utsläpp Konstruktion Pågående arbete
Vattenförling Sätningar Ej rapporterad
Is och frost Grundläggning

HÄNDELSEBESKRIVNING, ÖVERVAKNINGSTRUSTNING

Utsläpp Felgivning Brand
Vattennivå/Vattenförling Bristande övervakning Djur
Is och frost Utrustning saknas Pågående arbete
Konstruktion Eifel Ej rapporterad

KONSEKVENSER, FÖRETAGET

Driftstopp, antal dagar:

Kostnad återuppbyggnad:

KONSEKVENSER, TREDJE PART

Förlust av människoliv	<input type="radio"/>	Ekonomisk skadegörelse	<input type="radio"/>
Allvarlig personskada	<input type="radio"/>	Skada på miljövärde	<input type="radio"/>
Skada på viktiga samhällsanläggningar	<input type="radio"/>	Ej tillämpbar	<input type="radio"/>
		Ej rapporterad	<input type="radio"/>

Ytterligare beskrivning, konsekvenser:

Utsläppt vattenvolym Utsläppt sandvolym Sträcka utsläpp

ÅTGÄRDER

LÄRDOMAR/SLUTSATSER

Bilaga IV

IV.1 Studiebesök

För att få en bättre insikt och grundkunskap om gruvdammar genomfördes studiebesök vid samtliga idag aktiva anläggningar där gruvdammar finns. Studiebesöken kunde genomföras med ekonomisk hjälp från SweMin, Boliden Mineral AB och LKAB. Vid studiebesöken gavs rundturer vid dammarna och genomgång av den besökta anläggningen. Dessutom gavs det vid flera tillfällen möjlighet att få se övriga delar av gruvverksamheten. I Kiruna gjordes t.ex. ett besök ner i gruvan och i Aitik ett kortare besök i anrikningsverket. Ett antal dagbrott besöktes också. I samband med besöken vid Garpenberg och Zinkgruvan hölls möten där databasen diskuterades. Vid dessa möten deltog representanter från Arbetsgruppen för DAMMSÄKERHET samt representanter från den besökta anläggningen. I de följande avsnitten ges en översiktlig bild och en kortfattad beskrivning av de anläggningar som har besökts under projektets gång.

IV.1.1 Zinkgruvan (2005-04-13)

1857 startades verksamheten i Zinkgruvan, som både är namnet på gruvan och samhället där gruvan ligger, av det belgiska bolaget Vieille Montagne. Malmen anrikades då i Åmmeberg, som ligger ca 10 km nordväst om Zinkgruvan, där anrikningssanden deponerades i en vik i Vättern. Deponeringen har gett upphov till ca 40 ha mark där det idag ligger en golfbana och en småbåtshamn. Malmen fraktades med tåg mellan gruvan och verket från och med 1860 då järnvägen stod klar. 1931 började flotationsanrikning användas och ett nytt anrikningsverk byggdes. Den nya tekniken gjorde det möjligt att återanrika den deponerade avfallssanden. Verksamheten ägdes av Vieille Montagne ända fram till 1996 då den övertogs av den australiensiska gruvkoncernen North Limited, som stod som ägare av Zinkgruvan fram till år 2000 då gruvkoncernen Rio Tinto köpte upp det australiensiska företaget. 2004 gick gruvan ur koncernen då den köptes av Lundin Mining AB.

Idag ligger anrikningsverket i Zinkgruvan och den del av anrikningssanden som inte förs tillbaka ner i gruvan deponeras i ett sandmagasin ca 4 km söder om verket. Sandmagasinet benämns Enemossen efter det mossområde som det är beläget på och togs i drift 1976. Då tillstånd för deponering söktes var magasinet avsett att ligga öster om den tänkta dammen, men ansökan avslogs och istället gavs tillstånd att deponera gruvavfallet i Enemossen, väster om dammen. Tillståndet från 1975 gav Zinkgruvan rättigheter att deponera 1 Mm³ anrikningssand, vilket då motsvarade ca fem års deponering. 1981 gavs ett nytt deponeringstillstånd för Enemossen, denna gång på 6 Mm³, och 2002 utgavs ett tillstånd på ytterligare 5 Mm³. Vattnet från sandmagasinet avbördas till ett klarningsmagasin, ca 1 km norrut. Minst 50 % av vattnet pumpas sedan tillbaka till



Figur B.IV.1. Flygfoto över Enemossen med omgärdande dammar. E-F-dammen ligger högst upp i bilden och X-Y-dammen ligger till höger om magasinet. (Foto: Zinkgruvan Mining AB)

processen och överskottsvatten förs ut till Vättern via Ekershyttedämbäcken och Salaån. Råvatten till processen tas även från tre uppdammda sjöar kring Åmmeberg. Enemossen begränsas av dammarna X-Y och E-F samt naturliga höjdparter, se Figur B.IV.1.

IV.1.2 Garpenberg (2005-04-28)

Redan under 1200-talet började man utvinna malm i Garpenberg, men det finns spår av att brytning skett så tidigt som under 800-talet. Detta gör Garpenbergsgruvan till det i drift äldsta gruvområdet i Sverige. Gruvverksamheten i Garpenberg har haft många olika ägare, däribland kyrkan och Gustav Vasa. Nuvarande ägare är Boliden Mineral AB som köpte Garpenbergsgruvan av AB Zinkgruvor år 1957. 1972 togs en andra gruva i drift i området, Garpenberg Norra, som idag är sammanbunden under jord med den äldre gruvan. I Garpenbergsområdet bryts en sulfidmalm som innehåller främst zink, men även bly, koppar, silver och guld. Idag bryts 1,2 miljoner ton per år i Garpenberg och malmreserven beräknas möjliggöra drift i minst 20 år framåt. Malmen förädlas i anrikningsverket och anrikningssanden återförs idag till gruvan eller deponeras i Ryllshyttedämbäcken som är ett sandmagasin beläget ca 2 km sydväst om Garpenberg (Figur B.IV.2). Av den brutna malmen är det ca 10 % som utvinns medan 45 % används som återfyllnadsmaterial till gruvan och 45 % förs till sandmagasinet. Ryllshyttedämbäcken beräknas med nuvarande tillstånd kunna användas i ytterligare ca 5 år. Det finns förslag både på att höja det befintliga magasinet och på att anlägga ett helt nytt magasin för framtida deponering av anrikningssand.

Det finns flera gamla deponier i området som står för större delen av den metallurlakning som sker till närliggande recipienter. Lakvatten från dessa deponier har sedan 1988 till stor del kunnat samlas in med hjälp av en invallning i Gruvsjön. Det förorenade vattnet pumpas sedan till Ryllshyttedämbäcken där det renas då det rinner genom sanden för att sedan via klarningsmagasinet ledas tillbaka till recipienten eller återanvändas i anrikningsprocessen. Ca 75 % av processvattnet är återvunnet vatten, resten tas från Finnhytte dammsjö som är en uppdammd sjö.

Såsom Finnhytte dammsjö är också de flesta andra sjöar i området reglerade. Några av dessa är reglerade med dammar som är flera hundra år gamla. Sjöarna dämades bl.a. upp för att kunna ge elkraft, men fyller idag inget annat syfte än att bevara landskapet som det är. Dammarna är dock väldigt viktiga ur säkerhetssynpunkt eftersom vattnet från sjöarna vid ett dammbrott skulle riskera att vattenfylla gruvan. Det har diskuterats att gräva ut dammarna och avsänka sjöarna till dess naturliga nivåer, men många markägare med stugor och hus kring sjöarna är emot detta. Många av de gamla dammarna är dessutom K-märkta.



Figur B.IV.2. Flygfoto över Ryllshyttedämbäcken.
(Foto: Boliden Mineral AB)

IV.1.3 Aitik (2005-06-15)

15 km sydost om Gällivare ligger Aitikgruvan som är en av Europas största koppargruvor. Aitik är en dagbrottsgruva som i dagsläget är ca 340 m djup, 2,8 km lång och 1 km bred. I Aitik bryts förutom koppar både silver och guld. Malmfyndigheten upptäcktes på 1930-talet, men det dröjde till 1968 innan gruvdriften påbörjades. I dagsläget bryts ca 18 miljoner ton malm varje år och malmen innehåller ca 0,38 % koppar. Gruvan ägs av Boliden Mineral AB och dess livslängd beräknas just nu till år 2012.

På gruvområdet finns ett anrikningsverk där den brutna malmen anrikas genom flotation varefter det erhållna metallkoncentratet, den s.k. sligen, avvattnas genom filtrering och torkning. Anrikningssanden som är restprodukt från anrikningsprocessen deponeras i ett sandmagasin som ligger i den indämda sjön Ahmajärvis dalgång, väster om dagbrottet. Sandmagasinet i Aitik har en area på 13 km² och begränsas av naturliga höjder samt fyra dammkroppar: damm A-B, damm E-F och damm G-H, som byggdes 1968 när anläggningen togs i drift, samt damm B-C som tillkom 1985. 1985 byggdes även damm I-J för att skapa ett nytt klarningsmagasin. Klarningsmagasinet är beläget alldeles väster om sandmagasinet och har en area på ca 1,5 km².

IV.1.4 Malmberget (2005-06-16)

Gruvan i Malmberget består av ett tjugotal malmkroppar, varav tio bryts idag. Malmen består till största del av magnetit, men det finns också omagnetisk hematitmalm. Det bryts ca 12 Mton råmalm i Malmberget varje år. Brytning sker på flera olika nivåer beroende på de olika malmkropparnas läge. Huvudnivåerna ligger i dagsläget på 600, 815 och 1000 meters djup. Truckar körs av förare fram till bergschakten där föraren med hjälp av ett manöverdon inne i truckhytten tappar ner malmen på truckflaket. Även tömningen sköts från hytten. Malmen töms i krossfickor varefter den matas in i en kross som sönderdelar malmen till 100 mm stora bitar. Från huvudnivån på 1000 meters djup transporteras sedan malmen med en bandtransportör till en uppfodringsanläggning på 815 meters nivå. Därifrån lyfts malmen ovan jord med stora malmhissar som kallas skippar. Det finns även en uppfodringsanläggning på 600 meters nivå som uppfodrar malm från det Västra fältet. Ovan jord transporteras malmen med bandtransportör den sista biten till förädlingsverken. Både krossning och uppfodring styrs från kontrollrum. Efter förädling skickas malmen till pelletsverket där den anrikade malmen rullas till kulor som bränns och blir slutprodukten pellets.

Anrikningssand från förädlingsprocessen deponeras i Nalöjärvimagasinet vilket begränsas av dammkropparna A-B och C-D-E1-F. Från sandmagasinet släpps vattnet till klarningsmagasinet som begränsas av dammkroppen E-J1-J2, se Figur B.IV.3.



Figur B.IV.3. Flygfoto över Nalöjvimmagasinet. Närmast i bild ses A-B-dammen. Vänster om magasinet ligger C-D-E1-F-dammen. (Foto: LKAB)

IV.1.5 Svappavaara (2005-06-16)

Svappavaara gruvområde ligger ca 4 mil sydost om Kiruna och ägs av LKAB. Gruvdrift har pågått i området ända sedan 1600-talet. 1982 upphörde malmbrytningen i Svappavaara och det 110 meter djupa dagbrottet fylldes med vatten.

Det sker idag ingen brytning av malm i Svappavaara, men anrikningsverket får rågods från Kirunavaaragruvan och hålls på så sätt aktivt. Malmen transporteras från Kiruna med tåg. Från anrikningsverket leds sligen till ett pelletsverk som producerar slutprodukten pellets och anrikningssanden från anrikningsprocessen deponeras i ett närliggande sandmagasin. Sandmagasinet begränsas förutom av naturliga höjder av damm A-C samt en spärrdamm som avgränsning mot klarningsmagasinet. Då gruvdammen togs i drift användes en naturlig sjö norr om sandmagasinet som klarningsmagasin, men sjön visade sig vara för liten. Istället delades sandmagasinet upp med hjälp av spärrdammen så att det bildades en klarningsdel i den norra delen av magasinet. Klarningsdelen begränsas i övrigt av naturliga höjder samt av damm C-H, se Figur B.IV.4



Figur B.IV.4. Flygfoto över magasinet i Svappavaara. Närmast i bild ligger A-C-dammen. Längst upp i bild ligger C-H-dammen. (Foto: LKAB)

IV.1.6 Kiruna (2005-06-17)

Nybyggare och de allra första gruvarbetarna kom till Kiruna i början av 1600-talet under den första gruvepoken. Den första järngruvan öppnades år 1647 i Kiruna kommuns sydöstra del. Det var inte förrän i mitten på 1880-talet som de stora malmrikedomarna i Kirunavaara och Luossavaara upptäcktes. Beslutet om att bygga Malmbanan mellan Luleå och Narvik via Gällivare och Kiruna blev avgörande för malmbrytningen i området. Malmbanan stod färdig år 1903.

Malmbrytningen i Kirunavaara och Luossavaara började i dagbrott. Gråberg tippades då för hand ut på bergens sluttningar. Underjordsbrytning påbörjades i Luossavaaragruvan redan på 1930-talet. I Kirunavaaragruvan gick man helt över till underjordsbrytning år 1962. Luossavaaragruvan lades ned 1967 medan brytningen i Kirunavaaragruvan pågår än idag. Berget sägs inrymma en av världens största kända järnmalmfyndigheter. Malmkroppen liknar en bred stående skiva som är 80 meter bred, 4 km lång och minst 2 km djup. Kirunamalmen består av nästan ren magnetit med en järnhalt på 60-80 %. Kirunavaaragruvan ägs av Luossavaara-Kirunavaara AB, LKAB, som bildades redan år 1890. Malmbrytningen har pågått i över hundra år och under tiden har man nått drygt tusen meter ner i malmkroppen. Under jord finns det idag mer än 400 km väg. För att kunna konkurrera med utländska ovanjordsgruvor krävs ständig utveckling och modernisering, vilket har inneburit tillämpning av IT, moderna geografiska informationssystem, fjärrstyrning och automation.

Malmen bryts med skivrasbrytning. Skjutningar sker varje natt så att malmen sedan kan köras till ett störtschakt som mynnar på huvudnivån som ligger på 1045 meters djup. Lastmaskinerna är fjärrstyrda och körs från ett kontrollrum. Maskinerna navigerar med hjälp av reflexer längs ortväggen och roterande laser. Malmen tappas fjärrstyrt ned i vagnarna till ett fjärrstyrt tåg och körs sedan till krossar. Malmen krossas till bitar mindre än 100 mm och hamnar i en bergficka under krossarna. Därifrån transporteras malmen med bandtransportör till en av fyra malmhissar, s.k. skippar, som lyfter upp malmen till 775-meters-nivån. Där omlastas malmen till en av sex skippar för vidare transport till malmförädlingsverken ovan jord.

I sovringsverket krossas först malmen till bitar mindre än 20 mm innan gråberget skiljs från malmen med hjälp av magnetisk separering. Vidare anrikning av malmen sker i anrikningsverket där malmen mals till ett fint pulver, s.k. slig, för att sedan skiljas från oönskade beståndsdelar genom magnetisk separering och flotation. Sligen blandas med vatten till en slurry. Slutsteget i malmförädlingsprocessen innebär att slurryn blandas med olika tillsatsmedel och rullas till kulor som bränns och blir slutprodukten pellets. Restprodukten från anrikningsprocessen, den s.k. anrikningssanden, leds via två utlopp till sandmagasinet på Kiirunavuoma. Sandmagasinet begränsas av dammarna O-R-B och C-D samt naturliga höjdparter. Till sandmagasinet angränsar ett klarningsmagasin som begränsas av damm R-S-F, se Figur B.IV.5.



Figur B.IV.5. Flygfoto över magasinerna i Kiruna R-S-F-dammen ligger längst ner i bild, O-R-B-dammen till vänster och C-D-dammen högst upp. (Foto: LKAB)

Påverkan på staden

I takt med att malmen bryts lämnas ett tomrum som fylls på med rasmassor ovanifrån. Detta underminerar hängväggen som är sidan mot samhället. Sprickor bildas och dagbrottet växer sig sakta större. Redan år 1900 när brytningen startade i Kiruna såg man att malmkroppen stupar i riktning mot samhället, men trots diskussioner om att bygga staden på annan plats så blev det inte så. Staden har stått relativt opåverkad av gruvbrytningen i över 100 år. Sjön Luossajärvi har minskats i etapper och är nu nästan helt tömd, men nu talas det även om påverkan på järnväg, vägar och bostadshus. Detta handlar dock om påverkan på lång sikt och under förutsättning att malmbrytningen fortsätter att vara lönsam. Prognosen säger att sprickbildningen skulle påverka järnvägen omkring år 2013, några år senare området kring E10 och brandstationen samt om ca 15 år Nikkaluoktavägen. Allt händer alltså inte på en gång och enligt beräkningar kommer totalt ca 8 % av Kirunas invånare att påverkas.

IV.1.7 Svartliden (2005-06-21)

Huvudägare till Svartliden Guld AB är det australiensiska företaget Dragon Mining. Gruvanläggningen omfattar dagbrott, malmbehandlingsverk, kontor och servicebyggnader samt ett sandmagasin för deponering av restprodukten från anrikningen. Anläggningen ligger i Pauträsk i Lycksele kommun och togs i drift februari 2005.

IV.1.8 Bolidenområdet (2005-06-21)

Bolidenområdet består idag av anrikningsverk och guldlakverk i Boliden samt tre underjordsgruvor i Kristineberg, Renström och Petiknäs och en dagbrottsgruva i Maurliden. Brytning har dock skett i 28 olika gruvor i området sedan malmupptäckten 1924. Gruvdriften i Bolidenområdet inleddes i Boliden med brytning av en guldfyndighet som dock lades ned 1967. Alla gruvor i området ägs av Boliden Mineral AB.

Malmerna i området innehåller främst zink, koppar och bly, men även ädelmetaller. Malmen fraktas med lastbil från gruvorna till anrikningsverket i Boliden där den krossas, mals och sedan anrikas genom flotation. Anrikningssanden deponeras i ett kombinerat sand- och klarningsmagasin. Magasinet var tidigare en sjö som hette Gillervattnet med tillflöde från Höbäcksdalen. Användning av sjön Gillervattnet som sand- och klarningsmagasin påbörjades 1974. Tidigare deponerades anrikningssanden högre upp i Höbäcksdalen. Gillervattnet begränsas av fem dammar som samtliga är byggda 1980 och benämns damm A, damm B, damm C, damm D och damm E, se Figur B.IV.6. Magasinet har en area på ca 2,6 km² där det årligen deponeras ca 0,9 Mm³ anrikningssand.



Figur B.IV.6. Flygfoto över Gillervattnet. A-dammen ligger längst ner i bild. B-, C-, D- och E-dammen ligger högst upp i bild. (Foto: Boliden Mineral AB)

IV.1.9. Björkdal (2005-06-22)

35 kilometer nordväst om Skellefteå ligger Björkdalsgruvan. Gruvan är ett dagbrott som är ca 1500 meter långt, 500 meter brett och 210 meter djupt. Björkdalsgruvan var under 1990-talet en av Europas största guldgruvor där det bröts ca 2,3 ton guld per år. Brytning i Björkdalsgruvan startade 1988 och höll på fram till 1999 då gruvverksamheten upphörde. 2003 köpte det irländska bolaget MinMet gruvan och påbörjade anrikning av tidigare bruten malm som låg på upplag. Gruvan har bytt ägare flera gånger och sedan augusti 2005 ägs gruvan av Gold-Ore. Nedan visas en kort sammanfattning av gruvans historik.

1985 Gruvbolaget Terra Mining lokaliserar fyndigheten i Björkdal.

1988 Brytning startar i Björkdalsgruvan och guldproduktion inleds.

1996 Gruvbolaget William Resources köper Terra Mining för 732 miljoner kronor.

1999 Bolaget försätts i konkurs och verksamheten i Björkdal upphör.

2001 Konkursförvaltaren bjuder ut Björkdalsgruvan på auktion och finansmannen Rolf Nordström köper gruvan till utbudspriset 14 Mkr.

2001 Rolf Nordström säljer 50% av aktierna till prospekteringsbolaget International Gold Exploration.

2003 Irländska MinMet köper gruvan och börjar anrika tidigare bruten malm som de tidigare ägarna lämnat kvar.

2005 MinMet säljer Björkdalsgruvan till kanadensiska bolaget GoldOre som har för avsikt att prospektera igen.

Anrikningssand pumpas från anrikningsverket till ett närbeläget magasin. Magasinet ligger i en dalgång och begränsas av dalgångens sluttningar och dammkroppar tvärs över dalgången. Västra spärrdammen och Östra dammen begränsar sandmagasinet, Östra dammen och Klarningsdammen begränsar klarningsmagasinet. I sandmagasinet finns ytterligare två dammar: Västra dammen som numera ligger under nivån för anrikningssanden men tidigare begränsade magasinet västerut och Östra spärrdammen som delar av sandmagasinet och hindrar förflyttning av grova partiklar från västra till östra delen av magasinet. Deponering sker västerut från Västra dammen ner mot Västra spärrdammen. Vattnet leds sedan tillbaka öster om Västra dammen för vidare klarning genom östra spärrdammen och ner till klarningsmagasinet.

