

Uppföljning av rörelsemätning i gruvdammen i Aitik

Daniel Kero
Peter Marthin

CIVILINGENJÖRSPROGRAMMET
Väg- och vattenbyggnadsteknik

Luleå tekniska universitet
Institutionen för Samhällsbyggnad
Avdelningen för Geoteknologi

Förord

Detta examensarbete utgör avslutningen av vår civilingenjörsutbildning inom Väg- och Vattenbyggnadsteknik vid Luleå tekniska universitet (LTU). Arbetet har utförts på initiativ av Sweco i samarbete med LTU, avdelningen för geoteknologi, samt Boliden. Studien behandlar ämnet rörelsemätning i gruvdammen i Aitik.

Vi vill tacka alla som varit inblandade och hjälpt till med detta examensarbete. Ett särskilt stort tack vill vi rikta till följande personer.

- Fredrik Jonasson som varit vår handledare på Sweco.
- Linda Ormann, Sweco för hjälpen med Plaxis.
- Hans Mattsson, handledare och examinator vid Luleå tekniska universitet.
- Erik Kitok, Boliden.
- Peter Olsson, vår opponent på examensarbetet.
- Våra vänner och familjer som stöttat oss under arbetets gång.

Stockholm, Gällivare, oktober 2009

Daniel Kero, Peter Marthin

Sammanfattning

Gruvdammen i Aitik utanför Gällivare råkade den 8:e september år 2000 ut för ett haveri. Detta ledde till att Länsstyrelsen efter en utredning föreslog en skärpt tillsyn över dammarna. En del av detta bestod i att SWECO installerade sju inklinometerrör för att övervaka rörelser i dammkroppen. I uppföljningen av dessa mätresultat kände sig SWECO osäkra på vilka rörelser i dammkroppen som kunde antas vara normala och vid vilken storlek på rörelserna en varningsnivå bör sättas.

Som ett bidrag till uppföljningen av resultaten från inklinometermätningarna har föreliggande examensarbete genomförts. Dammen står under ständig påbyggnad vilket medför att vissa rörelser förväntas. Det övergripande syftet med examensarbetet var att bygga en grund till fortsatt studie av vilka rörelser som kan förväntas i en normalsituation i gruvdammen i Aitik. Målet var att kunna ge en indikation på vilken storleksordning det får vara på rörelserna i dammkroppen innan dammförstärkande åtgärder måste vidtas.

Baserat på en modell i det finita elementprogrammet PLAXIS som SWECO använder för bl.a. stabilitetsberäkningar i gruvdammen har simuleringar gjorts för att bl.a. jämföra numeriska beräkningar med uppmätta rörelser samt att få indikationer på vilka rörelser som kan förväntas i framtiden. Simuleringarna gjordes genom konsolideringsanalyser och phi-c analyser.

Vid jämförelser mellan mätningar gjorda under tiden juni 2007 – maj 2008 och numeriska beräkningar i PLAXIS under samma tidsperiod kan konstateras att sambandet mellan storleken på rörelserna är osäkert då PLAXIS visar rörelser som är ca 2,5 ggr större än inklinometermätningarna. Jämförelser i avseende på vilka rörelsetendenser som kan förväntas vid olika arbetsmoment på dammen kan dock göras. Om sambandet på rörelsestorleken enligt ovan antas stämma kan framtida rörelser närmast markytan vid inklinometers läge förväntas bli nedströms med storleken 13 mm för år 08-09, 10 mm för år 09-10, och 8 mm för år 10-11.

Inklinometerrörets läge kan anses vara placerad i ett bra läge i dammens tvärsnitt, om dammen antas höjas enligt modellen kommer skjuvzonen vid ett eventuellt skjuvbrott att gå igenom inklinometers läge oavsett vilken tidpunkt den skulle gå i brott inom de närmsta 10 åren. Ett eventuellt brott kommer mest troligt att ske under höjning av dammkrönet.

Abstract

The tailing dam in Aitik mine, Gallivare was on September 8th, 2000 an obstacle for a break down. This led to that the county administration board after an investigation proposed better supervision over the dams. A part of that increased supervision consist of, by SWEKO installed, seven inclinometer tubes to survey earth movements in the dam bodies. In the follow ups of their measures SWEKO feels insecure what movements to expect as normal and to what levels in the movement they should set as thresholds for further action.

As a contribution to their follow-ups from measuring by inclinometer this thesis has been carried out. The comprehensive purpose with this thesis was to build a foundation to further investigation in what movements to be expected in an everyday situation for the tailing dam in Aitik. The target was to give an indication on how big the motion could be in the dam body before action to dam reinforcement has to be executed.

Based on a model in the finite element program PLAXIS as SWEKO developed for stability calculation in the dam body simulations are made to, among others, compare numerical calculations with results from submitted movements and also to get an indication on what movement to expect in the future. Simulations are made by consolidation analyses and phi-c analyses.

By comparing measurements from June 2007 and May 2008 to numerical calculation under the same period of time conclusions can be made that PLAXIS overestimate the size of movements by a factor of 2.5. Though comparisons in what tendency of movements that can be expected, as a result from different actions from upgrading the dam, can be done. If the relation in movement as mentioned above is assumed the future movements along the top end of the inclinometer is expected to be 13 mm for 2008-2009, 10 mm for 2009-2010 and 8 mm for 2010-2011.

The inclinometer is located in a good place for the cross section of the dam. If the dam is assumed to be raised according to the model, the shear zone in a possible shear failure, are going to pass through the inclinometer if failure happens any time in the future ten years. Possible failure is to be expected during a raise in the dam crest.

Innehållsförteckning

Förord.....	I
Sammanfattning.....	III
Abstract	V
1 Inledning.....	1
1.1 Problembeskrivning.....	1
1.2 Syfte och mål.....	1
1.3 Metod	2
1.3.1 Tillvägagångssätt.....	2
1.3.2 Litteraturstudie	2
1.3.3 Datainsamling.....	2
1.3.4 Numeriska simuleringar.....	2
1.4 Avgränsningar	3
2 Gruvdammar	5
2.1 Allmänt.....	5
2.2 Gruvdrift.....	5
2.3 Anrikningssand.....	5
2.4 Olika typer av gruvdammar.....	6
2.4.1 Uppströmsmetoden	6
2.4.2 Nedströmsmetoden.....	8
2.4.3 Centerlinjemetoden.....	8
2.5 Brottfall	9
2.5.1 Cirkulärt skjuvbrott.....	9

2.5.2	Grundläggningsfel.....	10
2.5.3	Erosion	10
2.5.4	Liquefaction	11
3	Aitik	13
3.1	Allmänt dammarna i Aitik.....	13
3.2	Dammar konstruktion	15
3.3	Sanddeponering	18
3.4	Dammhaveri	18
3.5	Övervakning.....	19
4	Inklinometermätning	21
4.1	Installation.....	21
4.1.1	Allmänt.....	21
4.1.2	Borrning.....	21
4.1.3	Typer av inklinometerorr	21
4.1.4	Skarvning	22
4.1.5	Injektering	23
4.2	Inklinometersonden.....	23
4.3	Mätning	24
4.4	Utvärdering.....	24
4.4.1	Inkrementell	25
4.4.2	Kumulativ	26
4.4.3	Absolut position	26
4.4.4	Rörelse–Tid diagram	26
5	Beräkningar i PLAXIS	27
5.1	PLAXIS V8.....	27
5.1.1	Input.....	27
5.1.2	Calculations	27

5.1.3	Output	28
5.1.4	Curves.....	28
5.2	Modellbeskrivning.....	28
5.3	Numeriska beräkningar	30
5.3.1	Simulering 1.....	30
5.3.2	Simulering 2.....	31
5.3.3	Simulering 3.....	31
5.3.4	Simulering 4.....	32
5.3.5	Simulering 5.....	32
5.4	Resultat	33
5.4.1	Simulering 1.....	33
5.4.2	Simulering 2.....	35
5.4.3	Simulering 3.....	38
5.4.4	Simulering 4.....	38
5.4.5	Simulering 5.....	43
5.4.5.1	Övre stödfyll	43
5.4.5.2	Mittre stödfyll.....	45
5.4.5.3	Anrikningssand	47
5.4.5.4	Dammkrön	48
6	Diskussion och slutsatser.....	49
7	Referenser.....	51

1 Inledning

Detta inledande kapitel beskriver bakgrunden till examensarbetet med problembeskrivning, syfte, mål, metod och avgränsningar.

1.1 Problembeskrivning

Boliden Mineral AB bedriver gruvverksamhet i Aitik som ligger 15 km söder om Gällivare. Gruvdriften har pågått sedan 1968 och idag bryter de 18 miljoner ton malm per år. Malmen mals ned till fin sand och skickas till Rönnskär för vidareförädling. Av 18 miljoner ton är det bara 185 000 ton som skickas till Rönnskär för vidareförädling och därmed ska större delen av materialet förvaras på plats vilket görs i ett sandmagasin som ligger intill dagbrottet. Idag är sandmagasinet 13 km² stor och fram till år 2006 har 300 miljoner m³ sand deponerats.

I september år 2000 skedde ett dammhaveri i Aitik som kunnat få stora konsekvenser för människa och natur. Haveriet skedde i den sydvästra delen av sandmagasinet kallat EF2-dammen och ca 1,6 miljoner kubikmeter vatten rann ut via klarningsmagasinet till vattendragen Leipojoki och Vassara älv. Vatten nivån i klarningsmagasinet steg med 1.2 m och om den dammen brustit kunde 15 miljoner (Länsstyrelsen 2001).

Sweco har på uppdrag av Boliden Mineral AB installerat inklinometerrör i gruvdammen i aitikgruvan i syfte att på ett bra sätt kunna övervaka rörelser i dammkroppen. Det installerades 7 stycken inklinometerrör varav fyra stycken i gruvdammen (EF-dammen) och tre stycken i klarningsmagasinet (IJ-dammen). Inklinometern är ett rör som monteras ned i dammkroppen och vid mätning skickas en sond som känner av lutningsförändringar ned i röret. Resultatet registreras och kan redovisas i ett dataprogram. I sin uppföljning av dessa mätresultat känner sig Sweco osäkra på vilka rörelser i dammkroppen som kunde vara normala, med tanke på att dammen kontinuerligt byggs på, och vid vilken storlek på rörelser de ska sätta en varningsnivå där dammförstärkande åtgärder är nödvändiga.

1.2 Syfte och mål

Syftet med examensarbetet är att bygga en grund till fortsatt studie av vilka rörelser som kan förväntas i en normal driftsituation i gruvdammen i Aitik. Målet var att kunna ge en indikation på vilken storleksordning det får vara på rörelserna i dammkroppen innan dammförstärkande åtgärder måste vidtas. Studien kommer

att göras i sektion 62+315 i EF-dammen i Aitik där ett inklinometerrör är installerat.

1.3 Metod

I detta avsnitt beskrivs den metod och tillvägångssätt som vi använt oss av.

1.3.1 Tillvägångssätt

I ett inledande skede bestod arbetet i att leta fram tillräckligt med information för att kunna genomföra denna rapport. Detta genomfördes på ett kvalitativt sätt där djupare förståelse och kunskap utgick från egna undersökningar, litteraturstudie och diskussioner med personer som är insatta med inklinometermätning, dataprogrammen In-Site och PLAXIS samt dammarbete inom Aitikområdet.

1.3.2 Litteraturstudie

Litteraturstudien koncentrerades till relevant material om inklinometermätning och dammkonstruktioner som hittats på bibliotek och internet. Mycket av kunskapen om dammar och dess uppbyggnad kommer från kurser och seminarier som letts av personal på Luleå tekniska universitet i vår utbildning till civilingenjörer. Kunskaper om dataprogrammen In-Site, som redovisar resultat från inklinometermätningar, och PLAXIS kommer från respektive instruktionsmanualer.

1.3.3 Datainsamling

Datainsamling från utförda inklinometermätningar samt programmet In-site levererades av SWECO. Det gjordes även ett platsbesök på Aitik i samband med en inklinometermätning som SWECO gjorde under maj månad 2008.

1.3.4 Numeriska simuleringar

Numeriska simuleringar skedde med finita-element programmet PLAXIS som tillhandahölls av LTU. LTU har även varit delaktig tillsammans med personal på SWECO i framtagandet av den modell av EF-dammen i Aitik som simuleringarna utgått från. Studiebesök har gjorts på SWECOs kontor i Stockholm, där de i sitt arbete använder PLAXIS, samt på SWECOs kontor i Luleå.

För att kunna utföra simuleringarna så att de på ett så korrekt sätt som möjligt ska efterlikna verkligheten har intervjuer förekommit med personal vid Aitikgruvan och SWECO där det framkommit vilket arbete som skett och kommer att ske på dammen inom överskådlig framtid. Följande simuleringar har utförts i PLAXIS:

1. För att kunna jämföra resultat från PLAXIS med uppmätta inklinometervärden utförs en simulering med åtgärder som gjorts på dammen från juni 2007 till maj 2008.
2. En Simulering för planerade dammhöjningar tre år framåt i tiden genomförs för att ta reda på vilka deformationer som kan förväntas i dammen.
3. Inklinometerrörets läge utreds för att kontrollera om det är lämpligt placerat för att visa rörelser vid en eventuell brottsituation, detta görs genom en Phi-c analys.
4. En simulering utförs för att undersöka om det är möjligt att i förväg se rörelser som indikerar på att brott kommer att ske och var det kommer att initieras.
5. För att få bättre förståelse för hur enskilda höjningar på dammen påverkar dammkroppens rörelser simuleras varje höjningsmoment var för sig.

1.4 Avgränsningar

På grund av att arbetet som ska göras är begränsat till 30 högskolepoäng vilket innebär 20 veckors heltidsstudier har bl.a. följande avgränsningar i arbetet gjorts:

- data har samlats in från endast ett inklinometerrör på EF-dammen i Aitik
- simuleringarna har tidsbegränsats mellan åren 2007-2011
- simuleringarna gjordes med SWECOs PLAXIS-modell av EF-dammen
- simuleringarna görs främst med materialpåläggningar och förändring av grundvattenyta
- det enda brottfall som studeras är skjuvbrott i dammen.

2 Gruvdammar

2.1 Allmänt

En gruvdamm är en geoteknisk konstruktion med syftet att förvara restavfall från anrikningsverk på ett kontrollerat sätt. Detta måste ske i egentligen oändlig tid eftersom gruvdammar inte kan tas bort eller förflyttas efter att verksamheten lagts ner. I Sverige ska anrikningssand förvaras på ett säkert sätt i minst 1000 år eller till nästa istid varefter inga konstruktioner byggda av människor väntas stå kvar. Detta kan medföra problem eftersom det inte finns erfarenhet för hur konstruktioner som ska hålla i så stora tidsperioder ska designas. Gruvdammar byggs på och blir större allt eftersom verksamheten i gruvan fortgår vilket betyder att man inte kan designa den slutliga gruvdammen då man inte vet hur stor den kommer att bli. Konstruktionen av en gruvdamm är en pågående process så länge gruvan är i drift.

2.2 Gruvdrift

Gruvdriften i Sverige har pågått i över tusen år och är idag en viktig svensk industri. Omkring hälften av den malm som bryts i Sverige är järnmalm, den andra hälften är sulfidmalm från vilken koppar, zink, bly, silver och guld utvinns. Malmbrytning kan ske antingen under mark som underjordsbrytning eller ovan mark i dagbrott. Valet av metod baseras på bl.a. malmkroppens storlek, djup, och orientering.

Malmen genomgår en förädlingsprocess i sovrings- och anrikningsverk för att önskad slutprodukt skall erhållas. Sovringen är en helt torr process där malmen krossas och gråberg sikts bort. Slutprodukten från sovringsverken kallas styckemalm eller mull och är i storleken 6-30 mm. I anrikningsverket mals malmen till finare beståndsdelar i storleken fin sand eller silt och blandas med vatten. Mineralerna separeras från gråbergspartiklarna vilket ger slutprodukten slig och restprodukten anrikningssand.

2.3 Anrikningssand

När anrikningssanden dumpas från anrikningsverket kommer den oftast i form av en slurry, dvs. i en vattenblandning och kan efter förädlingsprocessen innehålla miljöfarliga ämnen som arsenik, cyanid eller olika tungmetaller och syror och måste därför deponeras på ett sätt som förhindrar spridning av giftiga ämnen till omgivningen.

Anrikningssandens egenskaper skiljer sig en hel del beroende på vilket anrikningsverk den kommer ifrån samt vilken packningsgrad den uppnått, men generellt har anrikningssand en partikelstorlek som kan jämföras med silt eller

siltig sand (mindre än 0,01 - 0,1 mm) och en skrymdensitet på ca 1,9 - 2,2 ton/m³. (Bjelkevik & Knutsson, 2005b och Eurenus, 2005)

2.4 Olika typer av gruvdammar

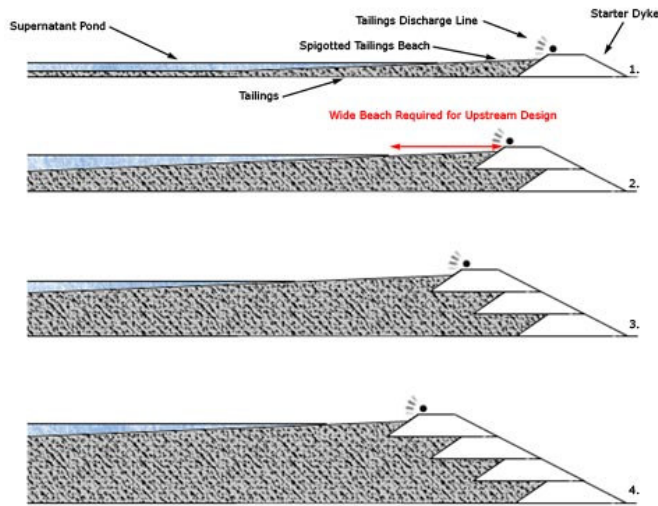
En av viktigaste aspekterna vid byggnation av gruvdammar är att de ska byggas på en plats där man har hjälp av naturliga höjder. Detta gör att kostnaderna för själva dammkonstruktionen inte blir onödigt stora eftersom man minimerar materialvolymen som behöver användas. Det är emellertid även viktigt att gruvdammen ligger i ett område där nederbördsarean är relativt liten.

Det finns tre typiska konstruktionsmetoder för gruvdammar: uppströmsmetoden, nedströmsmetoden och centerlinjemetoden.

2.4.1 Uppströmsmetoden

Uppströmsmetoden är den mest populära metoden vid byggnad av gruvdammar till stor del på grund av att materialbehovet är relativt lågt jämför med andra metoder.

Konstruktionen av en uppströmsdamm börjar med en startdamm, normalt bestående av fritt dränerande jordmaterial. Anrikningssanden släpps ut från toppen av dammkrönet vilket skapar en strand som kommer att användas som grund för framtida höjningar av dammen. De tyngre partiklarna stannar nära dammen och de små följer med vattnet och sedimenteras längre upp i vattensamlingen. Det är vanligt att materialet i stranden packas för att öka stabiliteten i dammen. Figur 2.1 visar en förenklad bild över stegen hur en uppströmsdamm byggs upp. När dammen börjar bli full byggs en ny damm ovanpå den gamla dammen och stranden.



Figur 2.1 Uppströmsmetoden.

Fördelar och nackdelar med uppströmsmetoden är (Bjelkevik, 2005a):

Fördelar:

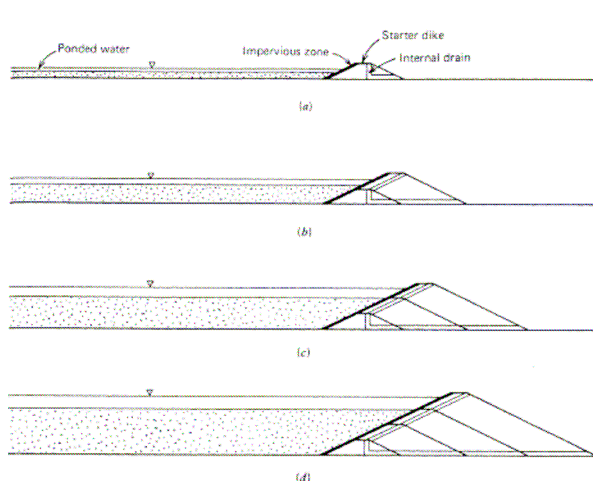
- Låga kostnader och enkelhet.
- Højningen av dammen kan ske med sand från dammstranden vilket är en enkel process som pågår hela tiden.
- Metoden ger en låg hydraulisk gradient.
- Den yttre slänten kan bli efterbehandlad då krönet rör sig inåt.

Nackdelar eller faktorer som är en restriktion för användandet av uppströmsmetoden:

- Kontroll av den hydrauliska gradienten.
- Kapacitet på vattenmagasinet.
- Känslighet för seismiska rörelser.
- Begränsad höjningstakt.
- Damningskontroll vid hård vind.
- Relativt lös underbyggnad vilket kan medföra sättningar.

2.4.2 Nedströmsmetoden

Konstruktionen av en nedströmsdamm börjar med en startdamm, normalt med jordmaterial från trakten. Anrikningssand fylls på bakom dammen och när den börjar bli full höjs dammen på nedströmssidan av den redan existerande dammen (se Figur 2.2).



Figur 2.2 Nedströmsmetoden.

Fördelar och nackdelar med nedströmsmetoden är (Bjelkevik 2005a):

Fördelar:

- Fungerar oavsett typ av anrikningssand.
- Mer resistent mot seismiska rörelser än andra metoder.

Nackdelar:

- Dammtån förflyttar sig nedströms vid varje höjning.
- Stora mängder fyllnadsmaterial krävs.
- Volymen fyllnadsmaterial som krävs ökar vid varje höjning.
- Efterbehandling kan inte påbörjas förrän den sista höjningsnivån har nåtts.

2.4.3 Centerlinjemetoden

Konstruktionen av en centerlinjedamm börjar med en startdamm och anrikningssand släpps ut bakom den. När dammen börjar bli full höjs den rakt ovanför föregående damm (se Figur 2.3). Centerlinjemetoden är på flera sätt en