

# Bergmassans beteende under fyllningsdammar med fokus på sprickerosion och bergmassans stabilitet

Alexander Bondarchuk

## Sammanfattning

Projektärende 12453

Rock mass behavior under hydropower embankment dams with focus on fracture erosion and rock mass stability. Bondarchuk, A., Feb. 2012 Luleå: Luleå Tekniska Universitet, Doktorsavhandling.

## Bakgrund

Det finns över 190 stora (> 15 meter, ICOLD) kraftverks – och regleringsdammar i Sverige, varav ca 100 är en kombination av betong- och fyllningsdammar. Många av dessa dammar börjar bli gamla, och därmed ett ökande renoverings - och uppgraderingsbehov. Uppgraderingsbehovet föranleds bl.a. av de ökade säkerhetskraven som baseras på de internationella riktlinjer som ”the Commission on Large Dams” (ICOLD) utvecklat. I Sverige har dammäggarorganisationer även utvecklat och etablerat egna nationella riktlinjer avseende damsäkerhet (RIDAS).

Åtgärder måste vidtas för att förbättra säkerheten, hitta nya beräknings- och bedömningsmodeller samt redogöra för nya förutsättningar (dvs. klimatförändringar och ökad nederbörd). Dessa åtgärder kräver stora investeringar i tid och pengar av vattenkraftsindustrin.

Det finns alltså anledning att studera dammars tekniska status och öka kunskapen avseende nedbrytningsprocesser etc. för att utveckla metoder för klassificering, riskvärdering och lämpliga åtgärdsmetoder. Det finns många studier avseende dammars stabilitet, risker och orsak till olyckor, och då vanligen med fokus på själva dammkroppen. I detta projekt är istället fokus på interaktionen mellan undergrund och damm, med hänsyn tagen till cykliska belastningar. Vad får de varierande lasterna för konsekvens på bergrunden under en fyllningsdamm?

Variationer i belastning under drifttid (variation av vattennivå i magasin) för kraftverksdammar kan orsaka deformation och förskjutningar i berggrunden som i sin tur kan leda till förskjutning av fyllningsmaterialet i dammen samt skada injekteringskärmarna under dammen, med ett ökat flöde och erosion som följd. Både en ökning av vattenflödet genom bergrunden och tryckförändringar kan ha negativa effekter på dammens stabilitet och öka risken för dammbrott.

## Syfte

Syftet med denna undersökning har varit att studera interaktionen mellan fyllningsdammar och undergrunden, dess respons och konsekvens på berggrundens stabilitet och flöden, genom att identifiera och kvantifiera parametrar i bergmassan som har stor inverkan på undergrundens stabilitet och hydrauliska konduktivitet och därmed få en ökad kunskap och förståelse för storleken på de nedbrytningsprocesser som sker under dammen och dess konsekvens på dammkroppen.

Numerisk analys har gett möjlighet till en detaljerad känslighetsanalys och undersökning av hur i bergmassan utvalda parametrar interagerar. Resultatet kan utgöra ett stöd vid framtagning av riktlinjer för dammars konstruktion och utformning av drift och underhåll för att säkerställa funktion och säkerhet. I en hydro-mekanisk kopplad modell har varierande, simulerande statiska och cykliska belastningar och dess inverkan på stabilitet studerats med hjälp av den numeriska analysen. Den statiska- och cykliska belastningen

[Skriv text]

[Skriv text]

simulerar belastningen från dammkroppen respektive de varierande vattennivåerna i magasinet under ett år. I detta fall har ett Distinct Element Method program använts, UDEC, Itasca.

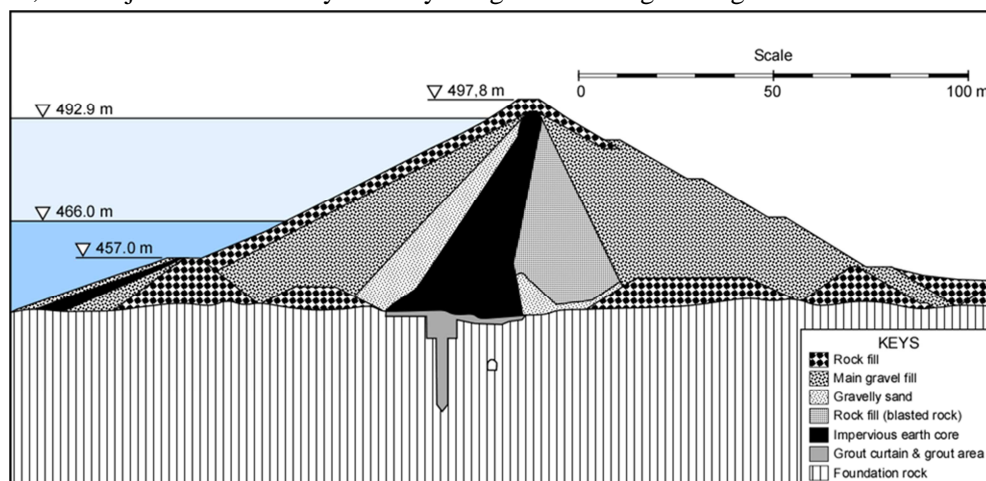
Efter framtagande och utvärdering av enklare konceptuella modeller har den långsiktiga utvecklingen av förskjutningar längs sprickor och fördelning av portryck i berggrunden, läckage och flödes hastigheten i berg studerats och senare testats mot en befintlig fyllningsdamm i Sverige.

## Genomförande

Följande tillvägagångssätt har utvecklats för att uppnå syftet och målet med projektet:

1. Fördjupade analyser av resultaten från en konceptuell modell, Licentiatavhandling<sup>1</sup> och paper<sup>2,3</sup>
2. Utveckla den konceptuella modellen för en verklig damm genom att modellering i UDEC med platsspecifik data och validera den nya modellen genom jämförelse med verkliga övervakningsuppgifter. Paper<sup>2,4</sup>
3. Utföra långsiktiga analyser av bergmassans deformation och utveckla en metod för att tolka resultaten i form av sprickerosion och bergmassans stabilitet. Paper<sup>5</sup>

Häckrendammen i Jämtland har valts som fallstudie, se figur 1. Bergmassan klassificerades och en rad fält- och laborietester utförde för att erhålla bergmassans mekaniska egenskaper. Ytterligare information om geologi, övervakning av flöden i inspektionstunneln och portrycksförändring i berggrunden har tillhandahållits av ägarna. All information har utvärderats och de valda värdena tillämpas i den numeriska modellen. Bergmassan studeras längs två ortogonala profiler och analyser har gjorts under tio genomsnittliga år, där varje år innebär en cykel av fyllning och tömning av magasinet med  $\pm 25$  m.



Figur 1. Layout av Häckrendammen, Abrahamsén och Edlund (1967)

<sup>1</sup> Bondarchuk A., (2008). Rock mass behavior under hydropower embankment dams: result from numerical analyses. Luleå tekniska universitet, Licentiate thesis

<sup>2</sup> Bondarchuk A., Ask M., Dahlström LO., Nordlund E., (2011). Rock Mass Behavior Under Hydropower Embankment Dams: A Two-Dimensional Numerical Study. Rock Mech. And Rock Eng., Springer DOI 10.1007/s00603-011-0173-2

<sup>3</sup> Bondarchuk A., Ask M., Dahlström LO., Nordlund E., Knutsson S., (2009). Hydro-Mechanical numerical analysis of rock mass behavior under a Swedish embankment hydropower dam. *Long time behavior of dams*. Bauer E., Semprich S., Zens G. (eds). P. 113-118

<sup>4</sup> Bondarchuk A., Ask M., Dahlström LO., Nordlund E., (2012). Rock mass stability of the Häckren hydropower embankment dam in the central Sweden: Part I, Developing and validating 2D UDEC numerical models. Submitted for publication in the Rock Mechanics and Mining Sciences

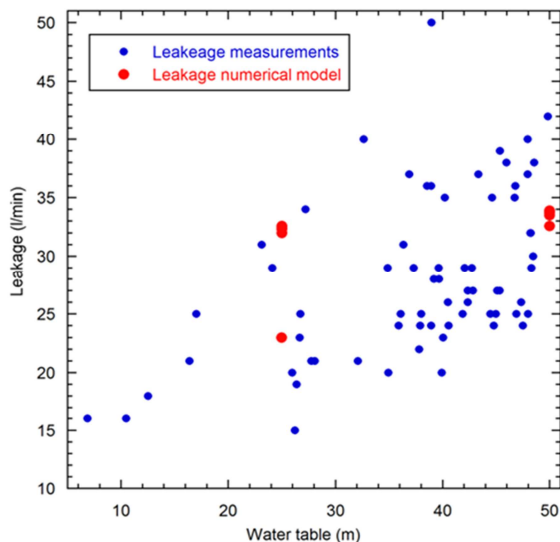
<sup>5</sup> Bondarchuk A., Ask M., Dahlström LO., Nordlund E., (2012). Rock mass stability of the Häckren hydropower embankment dam in the central Sweden: Part II, Investigating fracture erosion. Submitted for publication in the Rock Mechanics and Mining Sciences

## Resultat

I avhandlingen studeras bergmassans beteende under fyllningsdammen från uppförandet tom. , i form av deformation och eventuell sprickerosion. De första analyserna gjordes med hjälp av den konceptuella modell som utvecklades i Bondarchuks licentiatarbete<sup>6</sup>. Denna modell utvecklades senare och tillämpades på fallstudien av Håckrendammen. Bergmassans beskaffenhet under Håckrendammen har undersökts under en period på tio idealiserade år.

Nedan redovisas kortfattat resultat och slutsatser avseende bergmassans respons på statisk och cyklisk belastning baserad på den framtagna konceptuella modellen.

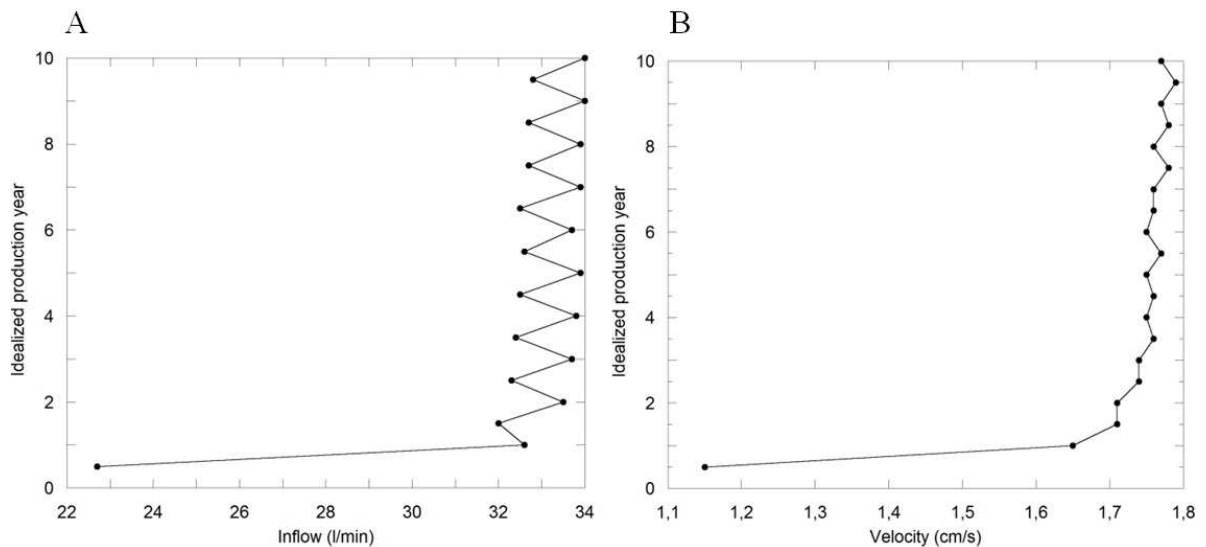
- Varierande vattennivå i magasinet resulterar i deformation av bergmassan, antingen under dammen och i anslutning till magasinet.
- Den kombinerade effekten av höga in situ-spänningar och vattnets cykliska belastning resulterar i omfattande skjuvning av sprickor, som resulterar i ökad sprickvidd pga. dilatans.
- Små friktionsvinklar främjar vidgning av sprickor efter första fyllningen av magasinet men resulterar samtidigt endast i små skjuvrörelser.
- Ökad frekvens av subvertikala sprickor leder till vidgning av sprickor efter den första fyllningen av magasinet. Vidare magasinförändringar resulterar inte i ytterligare utveckling av sprickvidd, så denna faktor är framförallt avgörande vid den första fyllningen av magasinet.
- Ökad hydraulisk apertur har inte resulterat i någon betydande förskjutningar eller normaldeformationer i bergmassan, men ett betydande inflytande på konduktivitet av bergmassan har identifierats. När det gäller mängden vatten som passerar genom bergmassan är den ökade hydrauliska aperturen en kritisk parameter. Figur 2 visar en jämförelse mellan uppmätta värden och resultatet från den numeriska analysen.



Figur 2. Verkligt läckage till övervakningstunneln mellan 1966 till 1976 (blå cirklar) och beräknade utifrån modellen (röda cirklar).

<sup>6</sup> Bondarchuk A., (2008). Rock mass behavior under hydropower embankment dams: result from numerical analyses. Luleå tekniska universitet, Licentiate thesis

- Beräkningsresultat visar god överensstämmelse med tillgänglig information avseende på portryck och vattenläckage i övervakningstunneln, vilket tyder på att man kan, med vissa begränsningar, utveckla en realistiskt riktig numerisk modell med hjälp av en kombination av enkla fält- och laborietester och befintlig information. En modell som kan användas som stöd vid utvärdering av bergmassans tillstånd under dammen och magasinet.
- Simuleringsresultatet från den första påfyllningen av magasinet indikerar att dammen försköts nedströms längs subhorisontella sprickor. Men att de följande cykliska belastningar som orsakas av variation av vattnet i magasinet bidrar inte till ytterligare utvecklingen av glidningen.
- Inflödet i övervakningstunneln stabiliseras efter första året och hålls på samma nivå och flödes-hastigheten kring övervakningstunneln visar en liten ökning vilken kan leda till erosion på lång sikt, se Figur 3.



Figur 3. Beräknade inflöden till [A] och vattenhastigheter runt [B] övervakningstunneln under tio idealiserade år.

#### 4. Förslag på fortsatta studier

Nuvarande modell baseras på 2D simulering, längs och tvärs dammen. Nästa steg kan vara att simulera dammen i en 3D modell, där hänsyn kan tas till mer komplexa mönster av sprickor och svaghetszoner. Modelluppbyggnaden föregås av en noggrann karakterisering och utvärdering av bergmassans och dammkroppens egenskaper, både mekaniska såväl som hydrogeologiska. Genomförandet med 3D-modellering kommer bidra till en känslighetsanalys som förenklar utvärdering av parametrar och dess inverkan. Det kommer krävas tillämpning av rätt metoder och tillämpning av 3D-generatorer, för att realistiskt återge statistiskt beskrivna sprickmönster och egenskaper.

Analyserna har huvudsakligen utförts med hjälp av *Mohr-Coulombs* brottkriterier. Men det skulle vara intressant att tillämpa andra brottvikor som *Barton-Bandis* eller en *continous yield modell* för en jämförelse.

En grundlig undersökning rekommenderas för att hitta det bästa sättet att simulera injekteringskärmen. Ska den simuleras som genomsläpplig eller ogenomtränglig, vilka fördelar och nackdelar finns med olika metoder.

Kompletterande och fortsatta studier avseende erosion föreslås med tanke på dammarnas livslängd och konsekvens av en olycka.

[Skriv text]

[Skriv text]