



NNCOLD

DEN NORSKE DAMKOMITÉEN



NYHETSBREV 2021

INNHOLD:

- ♦ Presidenten har ordet
- ♦ Nytt fra tekniske komitéer
- ♦ Damkrona 2020
- ♦ Nytt fra NVE
- ♦ Digitalization and use of BIM in dam projects
- ♦ Fyllingsdammer under ekstreme lastsituasjoner
- ♦ Studie av brudd på fyllingsdammer
- ♦ ICOLD publikasjoner og kalender for 2021



Presidenten har ordet



Det er med stor glede vi kan presentere dette første nyhetsbrevet fra Den Norske Damkomiteen. Vi håper at dette vil gi dere innsikt i det arbeidet som pågår for sikrere dammer med gode miljømessige løsninger både nasjonalt og internasjonalt. Dammer med formål å sikre tilgjengelig vann for irrigasjon er i flertall på verdensbasis. I Norge er vannkraft hovedformålet for dambygging. ICOLD og NN-COLD arbeider for damsikkerhet uansett hvilket formål dammene er bygget for.

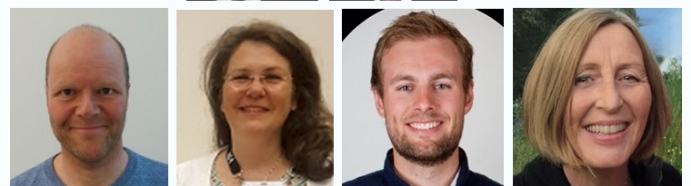
Kjernen i arbeidet til den internasjonale damkomiteen - ICOLD er arbeidet i de tekniske komiteene. Hver av disse komiteene består av dedikerte fagpersoner fra ICOLDs medlemsland. I disse komiteene er det gode faglige diskusjoner og man arbeider også sammen om å formidle oppdatert kunnskap innenfor komiteens fagområde. Dette formidles på ICOLDs konferanser, men først og fremst ved utgivelse av rapporter eller bulletins. Den norske damkomiteen har valgt å prioritere norsk deltagelse i de komiteene som er mest relevante for norske forhold, og vi er da bidragsytere i disse komiteene.

Den norske damkomiteen har som målsetning å benytte det arbeidet som pågår i disse komiteene på best mulig måte. Alle rapporter som utarbeides skal gjøres lett tilgjengelig for de norske medlemsbedriftene. Det er etablert norske referansegrupper som skal støtte den norske representasjonen i en komite. Det er et mål at den kunnskapen som vi tilegner oss i dette arbeidet eller fra dokumentasjonen som er utarbeidet, tas i bruk i det norske damsikkerhetsarbeidet. ICOLD gir oss også et faglig nettverk som også kan benyttes inn i det norske fagmiljøet.

Anne Marit Ruud, President

Den norske damkomiteen (NNCOLD)

NNCOLD styre



Anne Marit Ruud, Energi Norge, President

Leif Lia, NTNU, Visepresident

Goranka Grzanic, NVE, Generalsekretær

Kaare Høeg, NG, Æresmedlem

Elmo DiBiagio, NGI, Æresmedlem

Aslak Løvoll, Norconsult, medlem

Fjóla G. Sigtryggisdóttir, NTNU, medlem

Andreas Fløystad, Sweco, medlem

Siri Stokseth, Statkraft, medlem

Stig Arne Strokkenes, Multiconsult Norge, medlem

Vahid Afsari-Rad, Asphaltcoredams, medlem

Grethe Holm Midttømme, NVE, medlem

Are Eliassen, Skanska Norge, medlem



ICOLD TEKNISKE KOMITEER

For tiden har ICOLD mer enn 20 tekniske komiteer som tar opp aktuelle tekniske spørsmål knyttet til utvikling og forvaltning av vannressurser. Listingene av ICOLD-komiteene er gitt nedenfor. Mer enn 140 tekniske bulletener er publisert og er tilgjengelige for kjøp. Disse publikasjonene kan kjøpes direkte på nettstedet vårt www.icold-cigb.org. Medlemmene får gratis tilgang til disse publikasjonene.

Utlysning for nye norske medlemmer til komiteer Global climate change og Flood evaluation and dam safety, Operation, maintenance and rehabilitation of dams, og ny teknisk komitee Tropical Soil ble publisert på NNCOLD nett side i 2020.

NNCOLD har mottatt søknader for norske medlemmer i komiteer Global climate change og Flood evaluation and dam safety sendes til ICOLD.

Utlysning: Medlemmer til teknisk komitee *Operation, maintenance and rehabilitation of dams*, og ny teknisk komitee *Tropical Soil* ønskes.

OPERATION, MAINTENANCE AND REHABILITATION OF DAMS

Recommendations for raising the height of existing dams. ICOLD Bulletins "Ageing of Dams and Appurtenant Works" and "Rehabilitation of Dams" provide a better understanding of deficiencies occurring during the lifetime of a dam and show innovative rehabilitation measures against them. During the lifetime of dams they may need to be raised to provide additional storage or increase yield to accommodate increased demands, to alleviate the effects of siltation, or to provide greater freeboard to enable larger flood to be passed through existing spillways or enlarged spillways.

Recommendations will be given for suitable methods to design and construct raisings for each type of dam and appurtenant structure. Particular attention will be paid to the selection of design criteria for increasing the freeboard where the raised portion of the dam will retain water infrequently and for short periods. Methods of ensuring that the integrity of the existing dam and its foundations are retained or enhanced are to be investigated.

The use of risk assessment techniques to manage the selection of materials and suitable factors of safety is to be reported on.

Review Bulletin 49a "Operation of Hydraulic Structure of Dams" (reprinted 1986) and report on changes and additions required.

	ICOLD tekniske komiteer	Norske medlemmer
A	COMPUTATIONAL ASPECTS OF ANALYSIS AND DESIGN OF DAMS (2017-20)	Ronald Andersen, Eduardo Martins Bretas
B	SEISMIC ASPECTS OF DAM DESIGN (2017-20)	Kaare Høeg, Arnkjell Løkke
C	HYDRAULICS FOR DAMS (2019-22)	Hilde Marie Kjellesvig
D	CONCRETE DAMS (2018-21)	Bård Arntsen
E	EMBANKMENT DAMS (2017-20)	Vahid Afsari Rad
F	ENGINEERING ACTIVITIES WITH THE PLANNING PROCESS FOR WATER RESOURCES PROJECTS (2014-22)	Thor Haakon Bakken
G	ENVIRONMENT (2017-20)	
H	DAM SAFETY (2018-21)	Suzanne Lacasse
I	PUBLIC SAFETY AROUND DAMS (2016-22)	Anne Marit Ruud
J	SEDIMENTATION OF RESERVOIRS (2017-20)	Tom Jacobsen
K	INTEGRATED OPERATION OF HYDROPOWER STATIONS AND RESERVOIRS (2015-23)	
L	TAILINGS DAMS & WASTE LAGOONS (2017-20)	Øyvind Torgersrud
LE	LEVEES	Priska Hiller, Martin Jespersen
M	OPERATION, MAINTENANCE AND REHABILITATION OF DAMS (2017-20)	
N	PUBLIC AWARENESS AND EDUCATION (2018-21)	
O	WORLD REGISTER OF DAMS AND DOCUMENTATION (2017-20)	Dag Lindland
P	CEMENTED MATERIAL DAMS (2017-20)	
Q	DAM SURVEILLANCE (2017-22)	Goranka Grzanic
RE	RESETTLEMENT DUE TO RESERVOIRS (2018-22)	
S	FLOOD EVALUATION AND DAM SAFETY (2015-22)	
T	PROSPECTIVE AND NEW CHALLENGES FOR DAMS AND RESERVOIRS IN THE 21st CENTURY (2017-20) (AD HOC Committee)	
U	DAMS AND RIVER BASIN MANAGEMENT (2018-21)	
V	HYDROMECHANICAL EQUIPMENT (2016-22)	
X	FINANCIAL AND ADVISORY (AD HOC Committee)	
Y	CLIMATE CHANGE (2014-21)	
Z	CAPACITY BUILDING AND DAMS (2017-21) (AD HOC Committee)	
ZX1	REGIONAL CLUB	Anne Marit Ruud og Goranka Grzanic
ZX2	YOUNG ENGINEERS	
ZX3	ICOLD BOARD	

Nytt fra ICOLDs tekniske komitéer

Komité: A - COMPUTATIONAL ASPECTS OF ANALYSIS AND DESIGN OF DAMS

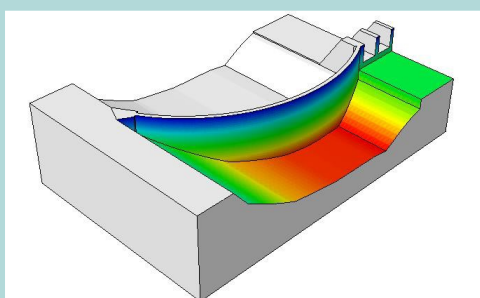
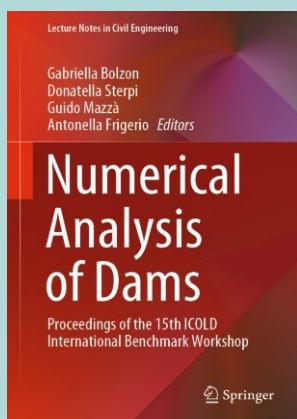
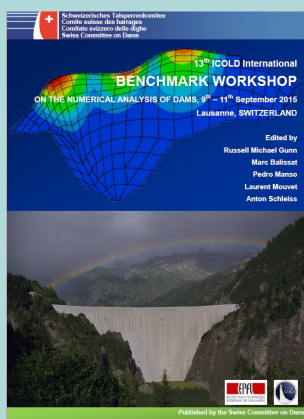
Norsk medlem: Ronald Andersen NVE, roan@nve.no

Mandat

1. Utarbeide anbefalinger om rollen og evnene for numeriske modeller for å håndtere problemer som er relevante for dammer gjennom hele livssyklusen (design, konstruksjon, drift, vedlikehold, fornyelse, osv.).
2. Organisere arbeidsm ter for å sammenligne numeriske modeller /resultater.
3. Utarbeide anbefalinger om hvordan beregningsmetoder kan brukes, for å estimere risiko og ta hensyn til usikkerheter som er forbundet med dammer.
4. Gjennomgå og styrke "state of the art" på nye probabilistiske tilnærminger til tradisjonelt deterministiske innganger og utfall av numerisk modellering.
5. Foreslå forskningsprosjekter som tar sikte på å etablere gyldige numeriske modeller for løsning av damproblemer som foreløpig ikke er egnet for pålitelig numerisk analyse.

Kommende aktiviteter 2021:

Utarbeidelse av nye Bulletiner: «Non-linear analysis of concrete dams» og «Bulletin on Capitalization» of forberedelse av «16th Benchmark Workshop held in Slovenia 2022».



Komité: I - PUBLIC SAFETY AROUND DAMS - Sikkerhet for allmenheten

Norsk medlem: Anne Marit Håstein Ruud, Energi Norge, amr@energinorge.no

Mandat

1.1. Utarbeide flere ICOLD tekniske bulletenger som blir retningslinjer for allmenn sikkerhet rundt dammer. Veiledningen vil adressere et bredt spekter av dammer, inkludert dammer for vannkraft og mindre terskler.

1.2. Vurdering av hendelser knyttet til sikkerhet for allmenheten:

- Etablere klare kriterier for å beskrive hendelser
- Etablere et format for rapportering
- Utvikle en database med hendelser

1.3. Støtte komiteen 'Public Relations' i utarbeidelse av informasjons- og utdanningsmateriell om allmenn sikkerhet rundt dammer.

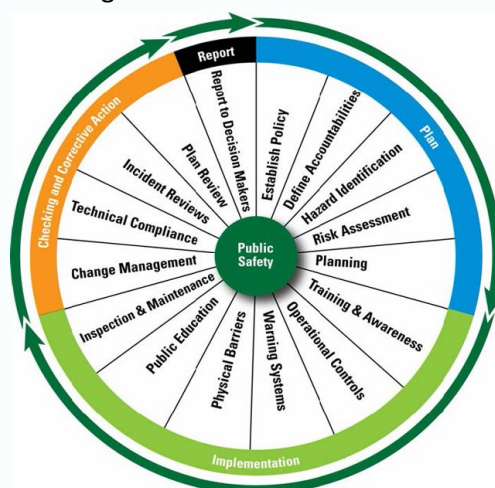
2.1. Koordinere komiteens aktiviteter med komiteen 'Dam Safety' på områder der det er felles eller overlappende problemstillinger.

2.2. Opprettholde kontakt med styreledere i andre ICOLD-komiteer for å sikre kontinuerlig arbeid og samarbeid om publikasjoner når det gjelder damsikkerhet.

2.3. Ha kontakt med internasjonale selskap og komiteer i ICOLD-medlemsland etter behov.

Kommende aktiviteter 2021:

Videre arbeid og ferdigstilling av Bulletin B1 "Public Safety Principles" vil bli hovedaktiviteten i 2021. Det vil også pågå arbeid med de øvrige planlagte bulletin'ene 'Public Safety Assessments', 'Technical Applications' og 'Incident Management'.



Nytt fra ICOLDs tekniske komitéer

Komité: B - SEISMIC ASPECTS OF DAM DESIGN

Norsk medlem: Kaare Høeg, NGI, kh@ngi.no
(Vara: Arnkjell Løkke, NGI, arnkjell.lokke@ngi.no)

Mandat

Tolkning av registrerte seismiske data og data om dammers oppførsel utsatt for jordskjelv;

Seismisk dimensjonering av fyllingsdammer med oppstrøms betongdekke, med geomembran, eller med asfaltkjerne;

Egnede ikke-lineære seismiske analysemetoder for ulike typer betongdammer og fyllingsdammer;

Informere om oppførsel og dimensjonering av dammer utsatt for jordskjelv.

Komite B er meget aktiv, og det legges frem tekniske rapporter fra flere ulike land ved hvert m  te. Rapportene inneholder informasjon om dammer utsatt for jordskjelv siden siste m  te, modellforsøk og numeriske analyser.

Kommende aktiviteter 2021:

Det arbeides spesielt med å utvikle metoder for å kunne beregne permanente deformasjoner, tap av fribord og oppsprekking av fyllingsdammer utsatt for sterke jordskjelv. USSD planlegger å arrangere en spesiell konferanse i 2021 for å kunne presentere resultater og diskutere disse emnene.

ICOLD Bulletins 148 "Selecting seismic parameters for large dams" is an important document, which provides modern seismic design criteria of the different structures and components of large storage dams:

i. Dam body

ii. Safety-critical elements such as low level outlets (bottom outlets) and spillways, which must remain functional that after a strong earthquake the reservoir level can be controlled or lowered to below the damaged zone and thus the safety increased

iii. Appurtenant structures such as penstocks, pressure tunnels, powerhouse, power intake structures, switchyard, and non-safety-critical electro-mechanical and electro-mechanical equipment.

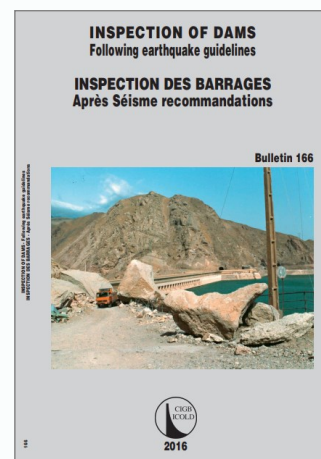
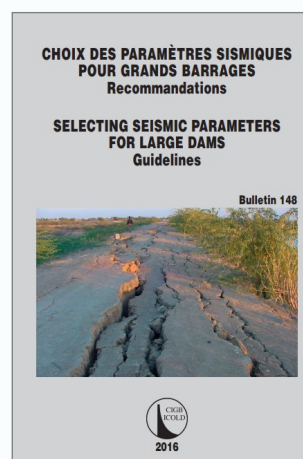
iv. Temporary structures such as river diversion schemes, cofferdams, earth retaining structures etc. as well as critical construction stages.

For the seismic design and seismic safety checks of these four types of structures different types of design earthquakes are needed. For the dam body and safety-critical elements that include mainly gates and their motors and power supply, two levels of earthquakes are specified, i.e. the operating basis earthquake (OBE) and the safety evaluation earthquake (SEE). The ground motion parameters of these design earthquakes with return periods of 145 years for the OBE and 10,000 years for the SEE may be obtained from a probabilistic seismic hazard analysis. Although the seismic design criteria are usually focussed on ground shaking only, Bulletin 148 is also addressing the other seismic hazards, which depending on the local conditions include, faults and/or discontinuities in the footprint of dams, which could be activated during strong earthquakes; mass movements at the dam site and into the reservoir, a hazard underestimated at many dam sites; liquefaction of dam and/or foundation materials, ground movements and others.

Bulletin 166, "Inspection of dams following earthquake ", is concerned with the earthquake inspection of dams. After a strong earthquake the condition and safety of dams subjected to strong ground shaking must be assessed. For example, after the 2011 Tohoku earthquake in Japan 2011, 400 dams had to be inspected within a short period of time. Therefore, a systematic approach is required for such inspections. Although large dams are inspected periodically, these inspections may not necessarily follow a fixed schedule.

In Bulletin 166 typical checklists are given for embankment and concrete dams and recommendations are made on the safety checks that have to be carried out depending on the intensity of ground shaking at a dam site. As in most countries strong earthquakes are rare events, the people in charge of dam safety and maintenance are not familiar with what has to be done after an earthquake, seismic safety checks should be carried out periodically.

It must be expected that Bulletin 148 will become an important document not only for the design of new dams, where the earthquake hazard is playing an increasingly important role, but also for the safety evaluation of existing dams, which have been designed against earthquakes – if designed at all -, using outdated seismic design criteria, in which the seismic hazard has been characterized by a seismic coefficient of typically 0.1, and where outdated methods of dynamic analyses, such as the pseudostatic method, have been used.



Nytt fra ICOLDs tekniske komitéer

Komité: C - HYDRAULICS FOR DAMS

Norsk medlem: Hilde Marie Kjellesvig, SWECO,
hilde-marie.kjellesvig@sweco.no

Mandat

Alt som gjelder nye typer flomløp: både kapasitet og utforming.

Nye former for energidreping, for eksempel skihopp med spalter i, ujevne (Y-formede) luke pilarer, kollisjon av stråler fra skihopp eller overløp, lukekontrollerte flomløpstuneller eller flomløpssjakter med hvirvelstrøm.

Lufting og tiltak mot kavitasjon i store flomløpstuneller og flomløpskanaler.

Forskning på vibrasjoner i segmentluker og tappeluker med høyt vanntrykk vha. fysiske modeller, CFD og observasjoner i felt.

Observasjoner av flomløp under flom og tapping for verifisering av design og registrering av evt. skader.

Kommende aktiviteter 2021:

Ferdigstilling av Bulletin 172 «Technical Advancement in Spillway Design – Progress and Innovations from 1985 til 2015»

• Innhold:

–Introduction

–Large spillways

–High head spillway and energy dissipation

–Stepped spillways

–Labyrinth spillways

–PKW spillways

–Tunnel, vortex and shaft spillways

–Spillways in very cold climate

–Composite (physical + numerical) modelling of hydraulic structures

–Economics, risk and safety in spillway design

Ferdigstilling av Bulletin 176 «Blockage of reservoir spillways, intakes and bottom outlets by floating debris»

• Innhold:

–Introduction

–Impacts of floating debris on dams

–Quantification of floating flood debris

–Mitigation impacts of floating debris

–Reservoir operation for sediment control

• Arbeid med ny bulletin igangsatt. Denne har foreløpig tittel: Recent and future challenges of high-velocity flows on chute spillways.

Jeg er bedt om å bidra i forbindelse med oppgradering og utvidelse av flomløp, gjerne med eksempler fra Norge.

I tillegg pågår arbeidet med en annen bulletin i samarbeid med Komite Q: Need of surveillance and monitoring of spillways.



Back Esk Reservoir spillway – PKW made of prefabricated concrete elements (Courtesy of Black and Veatch Ltd)



Karun III 205 m high concrete arch dam, service, auxiliary and emergency spillways

Nytt fra ICOLDs tekniske komitéer

Komité: Q - DAM SURVEILLANCE - Dam overvaking

Periode: 2017-2022

Norsk medlem: Goranka Grzanic, NVE, gog@nve.no

Mandat

Utarbeide retningslinjer for forskjellige aspekter ved damovervåking for å oppnå optimal nytte av måledata innhentet ved instrumentering.

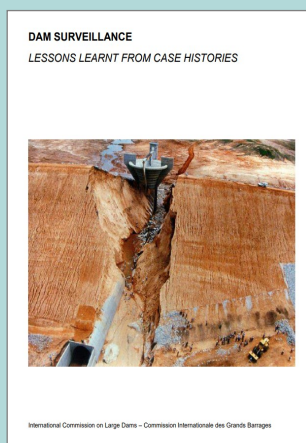
Følgende aspekter vil bli dekket i en serie av Dam Surveillance Bulletins:

- Metoder for forbedring av kvaliteten og påliteligheten av informasjonen
- Databehandling og presentasjon av måledata
- Analyser av måledata
- Dedikerte overvåkningssystemer for optimalisering av vedlikeholds-, rehabiliterings- og andre livssyklus-kostnader
- Utvalgte eksempler

Kommende aktiviteter 2021:

Utarbeidelse av ny Bulletin: *Acquisition and interpretation of surveillance data and observations.*

Siste to Bulletins:



Komité: LE - LEVEES - Flomverk

Periode: 2018-2024

Norsk medlem: Priska Helene Hiller, NVE, phh@nve.no,
(stedfortreder Martin Nørman Jestpersen, NVE)

Mandat

Den tekniske komiteen vil jobbe med flomverk og flomsikringer i forhold til teknisk oppbygging, retningslinjer og forvaltning. Komiteen vil utvide aktivitetene fra European Working Group on Levees and Flood Defences. Aktivitetene til komiteen vil omfatte følgende oppgaver og aktiviteter:

- Samle informasjon om flomverk som karakteristikk, retningslinjer, beste praksis for prosjektering, utførelse, forvaltning drift og vedlikehold, samt forvaltningen i ulike land.
- Undersøke likheter og forskjeller mellom dammer og flomverk.
- Samarbeide med andre tekniske komiteer i ICOLD som jobber med flomverk relaterte temaer. På sikt er det ønskelig at de inkluderer flomverk på samme linje som dammer.
- Utforske potensialet for å kombinere måten å behandle sikkerhet for dammer og flomverk, både i forvaltningen og i ulike fysiske miljø.
- Arbeide mot best praksis for flomverksystemer og systemer med både flomverk og dammer.
- Presentere flomverktematikken i en position paper.
- Utvikle muligheter for kompetansebygging og forskning om flomverk

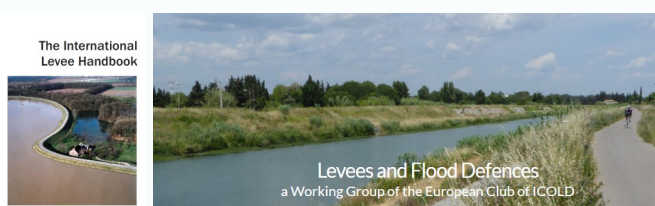
Kommende aktiviteter 2021:

Det jobbes intenst med en rapport som presenterer måten å håndtere flomverk i ulike land: Levee Situation Report . Vi skrev i fjor kapittelet om flomverk i Norge. Samtidig jobbes med position paper som sammenligner dammer og flomverk: Dams-Levees comparison report. Vi ser også på muligheten for å ha noen digitale webinar.

En del informasjon deles på hjemmeside til European Working Group on Levees and Flood Defences:

<https://lfd-eurcold.inrae.fr/>.

Nyhetter: <https://lfd-eurcold.inrae.fr/index.php/wg-newsletter/>



Damkrona 2020

Damkrona deles ut av NNCOLD, og er en hederspris til anlegg som fremmer landskapsmessige, miljømessige og teknisk gode løsninger ved vassdragsanlegg i regulerte vassdrag. Det benyttes store ressurser til å få gode løsninger i forbindelse med nybygging og fornying av dammer og andre vassdragsanlegg. Et viktig formål med prisen er å synliggjøre dette arbeidet. Både nye og eldre anlegg kan fremmes som kandidater til prisen.

Tidligere prisvinnere er:

- Dam Stolsvatn (2010)
- Telemarkskanalen (2011)
- Kraftverksanlegg i Jørpelandsvassdraget (2012)
- Bjørndalsdammene (2013)
- Grorudparken (2014)
- Dam Sønstevatn (2015)
- Dam Svartavatnet (2016)
- Dam Elgsjø (2017)
- Dammer Skjerkevatn (2018)
- Dam Finnflot (2019)

Prisen for 2020 ble delt ut på vassdragsteknisk forums vintermøte 28. januar 2021. De fire finalistene til prisen var:

- *Bygging av Embretsfoss 4, Modum*
- *Rehabilitering av dam Nibbehøl, Ullensvang*
- *Rehabilitering av dam Svartavatn, Kvinnherad*
- *Rehabilitering av dam Songa og Trolldalen, Vinje*

VINNER 2020: SONGA OG TROLLDALEN

Dammene fremstår som markerte byggverk med rene linjer. Et stort anlegg der det er lagt stor vekt på hvordan anlegget skal se ut etter at det er ferdigstilt. Det er lagt ned stor omtanke og ressurser for å få til god revegetering av anlegget, med nøye avskaving og pleie av torvtuer gjennom en lang anleggsperiode. Arbeidet synes å ha blitt svært virkningsfullt og anlegget er meget godt istandsatt med tanke på revegetering. Prosjektet har endt opp i et meget flott, presist damanlegg med god tilpasning til sideterreng. Forslaget er godt underbygget og en verdig vinner av damkrona 2020.



Foto: Statkraft Energi AS

Vinner Damkrona 2020: Songa og Trolldalen dammer



Generelt om reguleringsanlegget

Ombygging av Songa dam og Trolldalen dammer er gjennomført i perioden 2017 til 2020 av eieren Statkraft Energi AS.

Begge dammene inngår som en del av reguleringen av Songavatnet og drenerer via Tokkevassdraget ut i havet ved Porsgrunn. Dammene ligger i Vinje kommune i øvre Telemark. Songa – og Trolldalen dammer med Songa kraftverk ble satt i drift i 1964. Dammene ble ferdigstilt i 1962. Songa dam var i sin tid Nord Europas største damanlegg. Anlegget ble bygget etter datidens standard og har vært gjenstand for flere oppgraderinger som etablering av oppstrøms plastring (2001 – 2003) og nedstrøms drenasjetå (1994-1995). Songa dam har i tillegg vært gjenstand for omfattende granskning, vurderinger og instrumentering i forbindelse med store men kortvarige lekkasjeutbrudd.

Begge dammene er bygget som tradisjonelle steinfyllingsdammer med sentral tetningskjerne av morene. Dammene er plassert i bruddkonsekvensklasse 4. Magasinet er regulert mellom HRV på kote 974,0 og LRV på kote 939,0 som gir en total reguleringshøyde på 35,0 m. Songavatnet er inntaks- og hovedreguleringsmagasin for Songa kraftverk. Magasinet på Songavatnet er knytter sammen med magasinet på Bitdalsvatnet gjennom tilløpstunnelen til Songa Kraftverk.

Nøkkeldata

Songa dam

Lengde:	Ca. 1000m
Høyde:	Ca. 41m
Fyllingsvolum:	1,6 Mm ³ , påbygd 0,4 Mm ³

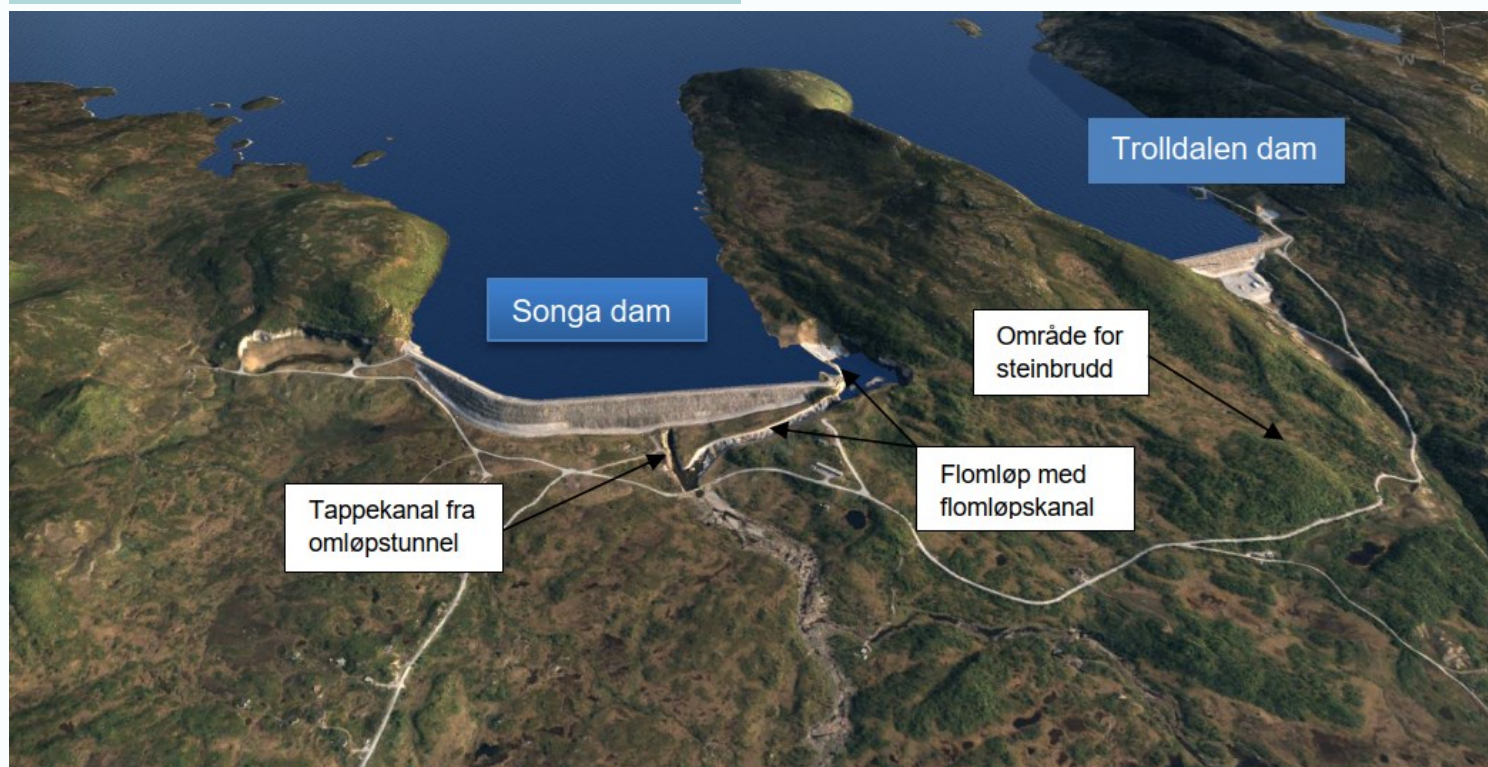
Trolldalen dam:

Lengde:	Ca. 385m
Høyde:	Ca. 47m

Trolldalen dam:

Midlere årsproduksjon	625 GWh
Installasjon	140 MW

Eiere:	Statkraft Energi AS
Rådgivende ing.	Norconsult AS
LARK:	Feste Grenland AS
ARK:	Ljøterud Ødegård Arkitekter
Entreprenør:	JV Skanska TT Anlegg ANS
Revegetering:	NMBU



Damkrona 2020 - Songa og Trollaldalen dammer

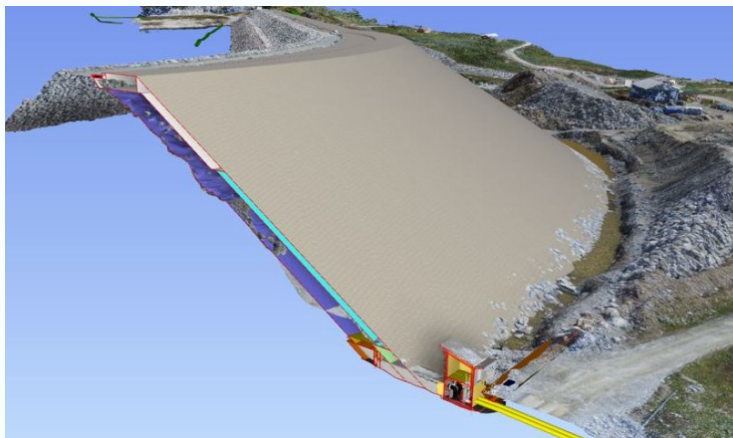
Ombygging av dammene

Prosjektet med ombygging av dammene innebar i hovedtrekk følgende aktiviteter:

- Etablering av nesten 1000 m lang ledevegg i betong for oppsamling av lekkasjer.
- Bygging av tre lekkasjemålehus på nedstrøms side av dammen.
- Bygging av ny portal og lukehus med trappesjakt for bunntappeluken.
- Bygging av ny bro over tappe – og flomløpskanalen.
- Bygging av ca. 3000 m langt kabelføringsanlegg med kummer etc.
- Bygging av to instrumenthus.
- Instrumentering for lekkasjemåling, deformasjoner, vannstandsmåling, vanntemperatur og poretryksmålinger.
- Bygging av terskel i flomløpskanal for vannspeil i gammelt steinbrudd og flomløp.
- Forsterkning av overløpstærskel.
- Avgraving før påbygging, innbygging av samfengt sprengstein, plastring av ny damtå og hele nedstrøms skråning opp til kronevernet.
- Innbygging av kronevern på topp dam og nedstrøms side.
- Etablert ny kjørebane på damkronen.
- Omfattende landskapsarbeider i brudd, deponiområder, riggområder og midlertidige anleggsveier og plasser.

Fullintegrert BIM

Fra byggestart og ved detaljprosjektering har det utelukkende vært en modellbasert leveranse av arbeidsgrunnlag. Ved bruk innsynsverktøy benyttes Samordningsmodellen som er en «digital tvilling» av utførelsen på anlegget. Figuren under viser et utklipp av samordningsmodellen.



Landskapsmessige forhold

Tiltakene krevde uttak av større mengder stein og det ble åpnet et steinbrudd som ligger lokalisert mellom de to dammene. Kvaliteten på stein og muligheten for god landskapsmessig utforming etter endt uttak av stein, har ligget til grunn for valg av plassering av bruddet. Det ble i tidlig fase iverksatt planer for revegetering etter endt arrondering av steinbruddene. Gjennom anleggsperioden ble det, med bistand fra Norges miljø- og biovitenskapelig universitet, Institutt for plantevitenskap, gjort en vurdering av utført arbeid og behov for eventuelle supplerende tiltak. Sluttarrondering av steinbruddene ble ferdig høsten 2020 og endelige resultater fra revegetering vil man først å se etter noen år.

Steinbruddet ligger på nesten 1000 moh. og naturlig revegetering går over en lengre periode. Ved oppstart av arbeidene ble det derfor tatt ut og lagret betydelige mengder stedlig torvflak og flak med stedlig vegetasjon.

Disse flakene har vært gjenstand for omstendelig «plantepleie» gjennom tre år på mellomlager. Etter arrondering av bruddet og midlertidige veier etc. ble flakene med stedlig torv og vegetasjon plassert ut mellom utlagte topp masser og vekstjord. Bildene under viser steinbruddet før og etter revegetering.

Ferdig arrondert steinbrudd utgjør ca. 30 000 m².



Finalist damkrona 2020: Dam Embretsfoss 4

Embretsfoss 4 (E4) er som navnet tilsier det fjerde kraftverket i Embretsfossen. Embretsfoss 1 og 2 er nedlagt, mens Embretsfoss 3 lever videre som flomkraftverk. Den nye dammen ble bygget nedstrøms for den gamle dammen, som så ble revet i sin helhet. Geografisk er E4 beliggende i Drammenselva på Åmot i Modum kommune.

Dammen er i konsekvensklasse 1. Det ble allikevel bygget som om det var i konsekvensklasse 2, med tanke fremtidige endringer i nedstrøms forhold.

Dammen er en tradisjonell betong gravitasjonsdam. Den er ca. 100 meter lang, lukeløp medregnet. Største høyde er ca. 16 meter. Det er montert to segmentluker for flomavledning, og en mindre klappluke for utvandring av fisk. Det er laget gytebekk nedstrøms for utløpet.

Under prosjektering og bygging ble det lagt stor vekt på terrengutforming. Det meste av området er åpent for publikum, og via brua nedstrøms for anlegget har dette blitt et av Modum sine mest besøkte turområder, og inngår i turnettet kalt «Modum på langs»

Gjennom prosjektering og bygging av E4 ble det lagt vekt på å finne gode løsninger som også kunne gagne miljøet.

Området rundt damanlegget og kraftverket er løftet fra å være et nedlagt industriområde til en del av Modums mest populære turområder.

GLITRE
ENERGI



Finalist damkrona 2020: Dam Nibbehøl

Dam Nibbehøl eies av Statkraft Energi AS og hører til Statkraft sitt reguleringssystem i Tyssedal. Dammen ligger i Ullensvang kommune om lag 2,5 km sørøst for Ringedalsvatnet, og ble bygget i 1965-66 som en betong hvelvdam med en platedamtilslutning. Anlegget ligger veiløst til 1200 moh, og helikoptertransport er eneste mulige transportmiddel av personell og materiell sommerstid.

Den nedre delen av damplaten som ikke hadde tilfredsstillende skjærkapasitet, er forsterket ved å støpe ekstra pilarer inne i dammen.

Pilarene (6 stk) er gitt tilfredsstillende stabilitet ved lissestag satt fra vannsiden. Ankerhodene er plassert i en ny påstøp på vannsiden over de aktuelle pilarene. Pilarenes glidestabilitet uten å regne med bergankere er sikret med forankringsklosser ned i berg i påstøpen på pilarene på begge sider.

Etablert løsning krevde lite areal utenfor damkonstruksjonen, og terrenget rundt ble ikke gjenstand for endringer. Små mengder revet betong ble etter analyse for evt miljøskadelige stoffer, godkjent av fylkesmannen deponert nedgravet i magasin, da dette var den mest miljøvennlige metoden med tanke på den lange flytiden.



Forskaling og armering av fundamenter oppstrøms for ankerhoder.



Finalist damkrona 2020: Dam Svartadalsvatn

Dam Svartadalsvatn i Kvinnherad kommune ble utbygget som del av den store Folgefonn utbyggingen i perioden 1973-74. Dammen er en fyllingsdam med sentral morenetting i bruddkonsekvensklasse 2, og revurdering av dammen at den ikke tilfredsstiller NVE sine krav. Som følge av dette ble dammen rehabilitert i perioden 2018-2020.

Dammen er rehabilitert med nytt oppstrøms og nedstrøms skråningsvern, forhøyet tetningskjerne, utvidet flomløp og forbedret tilkomstvei til dammen. Rehabiliteringsarbeidene har medført innbygging av 50 000 m³ stein i dammen.

Svartadalsvatnet har en reguleringshøyde på 80 m, og reguleres mellom LRV på kote 780 moh. og HRV på kote 860moh. Damanlegget ligger høyt til fjells i vill og vakker vestlandsnatur, og magasinet grenser mot Folgefonna nasjonalpark i sørøst. Området er nedbørsrikt og nærheten til breen medfører at nedbøren kan komme som snø i alle årets måneder.

Rehabiliteringen har gitt dammen et betydelig løft både sikkerhetsmessig, men også landskapsmessig. Den nye geometrien med den brede damkrona, sammen med den særdeles gode utførelsen av nytt skråningsvern gir dammen et svært solid inntrykk.



Damsikkerheit - informasjonsskriv 2021

Bakgrunnen for informasjonsskrivet er at NVE ønskjer å fokusere på enkelte tidsaktuelle tema og å informere om regelverket som gjeld sikkerheita ved vassdragsanlegg. Dette skrivet omhandlar:

- status og oppfølging av anlegg som manglar gyldig vedtak om konsekvensklasse
- hovudtilsyn og revurdering
- status framdrift flaumberekningar, revurdering og tekniske planar
- dambrotsbølgeberekningar (DBB)
- flaumberekning
- flaumavleiing
- bruk av rekneark for kapasitets- og stabilitetsberekningar
- årleg innrapportering

Informasjonsskrivet rettar seg i første rekke mot personar med vassdragsteknisk ansvar, det vil seie leiar, vassdragsteknisk ansvarleg (VTA), tilsynspersonell og NVE-godkjende fagansvarlege. Leiaren har ansvaret for at informasjonsskrivet blir gjort kjent for alt personell som arbeider med sikkerheits- og tilsynsoppgåver ved vassdragsanlegga.

Damsikkerheit - informasjonsskriv 2021 kan lastes ned på:

<https://www.nve.no/damsikkerhet-og-kraftforsyningsberedskap/damsikkerhet/>



NVE - damsikkerhet - forskning 2021

Hydraulisk modellering av vannføringskurve – økt kvalitet på flomberegningsdata – økt samfunnssikkerhet.

Usikker vannføringskurve gir usikre vannføringsdata som igjen gir usikre flomberegninger. Mål for prosjektet er å få god kunnskap om kostnytte for de ulike hydrauliske modellene for bestemmelse av vannføringskurva. Mange målestasjoner har vannføringskurver som er svært usikre. Dette skyldes vanskeligheter med å komme ut og måle vannføringer under store flommer, og at noen målestasjoner er plassert på elvestrekninger som «skifter hydraulisk regime» ved endring av vannføringen.

Økt sikkerhet i flomberegningene gir økt dam og samfunnssikkerhet, bedre arealplanlegging mm. I dette prosjektet er det foreslått å sammenlikne resultatene fra et PhD prosjekt med billigere og lettere tilgjengelig hydrauliske modeller.

Det er NVEs samfunnsoppdrag å levere et godt datagrunnlag innenfor hydrologi. Samfunnsnyttan av redusert usikkerhet i flomberegningene er sannsynligvis stor.

Hydraulisk modellering av flomløp - sideoverløp, kanal og lukket avløp

FoU-prosjektet «Hydraulisk modellering av flomløp - sideoverløp, kanal og lukket avløp» har som mål å forbedre og sammenstille kunnskapen om de forskjellige beregningsmetodene og -modellene som kan benyttes for å finne kapasiteten til lukka flomløp med samlekanal. Beregninger på sideoverløp og lukka flomløp kan gjøres med håndregningsformler, numeriske modeller eller fysiske modeller. Tradisjonelt sett har fysiske modellstudier vært den foretrukne måten å dokumentere avløpskapasitet til lukka flomløp. Slike studier er imidlertid kostbare og tidkrevende, og med utviklingen som har vært i numeriske modeller de siste årene, kan disse fremstå som attraktive alternativer. Prosjektet gjennomgår tilgjengelig litteratur som omhandler beregninger relevante for lukka flomløp med samlekanal. Både håndberegninger, CFD-modeller og fysiske skalamodeller kan være egnet til å beregne kapasiteten til lukka flomløp, men alle metodene har begrensninger og potensielle feilkilder. Spesielt luftinnblanding er en usikkerhet for alle metodene.

Nedstrøms plastring og damtå

Ved NTNU skal det opprettes et postdoktorprosjekt som skal ta utgangspunkt i det som allerede foreligger av studier på hvor stor betydning tilstedeværelse og utforming av nedstrøms plastring og damtå har for sikkerheten av tradisjonelle norske steinfyllingsdammer. NTNU skal kjøre videre forsøk for å få et bedre kunnskapsgrunnlag om sammenhengen mellom nedstrøms plastring og damtå. Prosjektet skal også støtte pågående PhD prosjekt i HydroCen om bruddforløp i fyllingsdammer. I vårt FoU prosjektet "Miljølasten på fyllingsdammer ved høyfjellsmagasiner" er det anbefalt å studere videre på forhold knyttet til dimensjonering av plastring på oppstrøms skråning på fyllingsdammer. Dette kan også bli en del av dette postdoktorprosjektet.

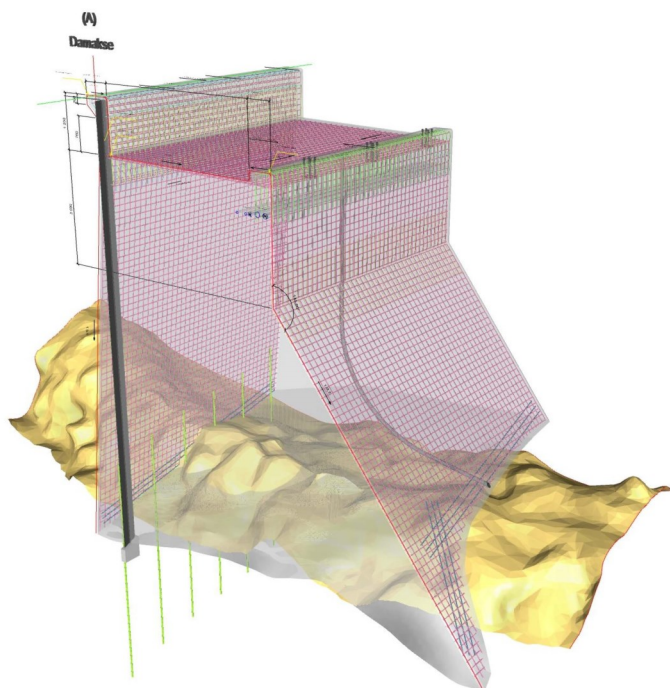
T1 - 671089

DIGITALIZATION AND USE OF BIM IN DAM PROJECTS

H. Bergsager, Norconsult AS, Norway



«PAPERLESS DESIGN PAPERLESS CONSTRUCTION»



WHY BIM?

- Better collaboration
- Easier optimization
- Less errors
- Increased ownership and understanding
- Better control of cost and quantities

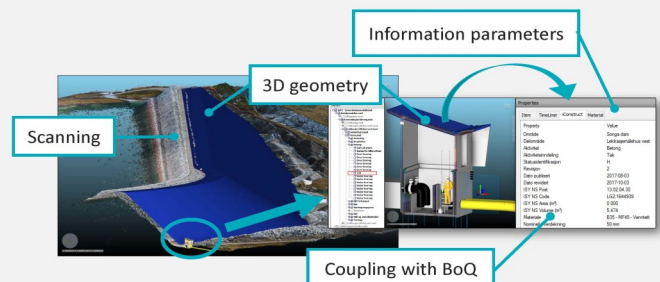
INTRODUCTION

Traditionally, dam projects have been carried out using 2D drawings, or 2D drawings based on 3D models, so called "hybrid-projects". Norconsult has developed a workflow for delivering projects in a fully integrated BIM environment, where all design and construction is carried out using one common BIM model for the project.

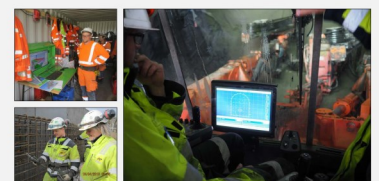


METHODOLOGY

In a **full BIM workflow** the design and construction is carried out based on one common BIM model for the project. The BIM model typically in brief consists of 3D geometry, scanning, terrain mesh and information parameters.



Contractors have different approaches, depending on skills and experience, size and location of the project. In the first BIM projects **tablets** were used, later **BIM-containers** and go-through of the model in the barracks has been more common. For ground works data is usually transferred directly to the **machines**.



RESULTS

After our experience Full BIM is very suitable for medium to large dam projects. For smaller dam projects, a fully integrated BIM-model may not be suitable until the workflow is further optimized. The attitude and mindset of the parties in the project, together with the workflow and structure, are important factors for success. The role of BIM is also changing from being just a tool and technology, into being a more integrated part of the whole project.



Håkon Bergsager
Civil Engineer, MSc / Group Manager Dams
Norconsult AS, Norway
hakon.bergsager@norconsult.com

Sikkerheten til fyllingsdammer under ekstreme lastsituasjoner

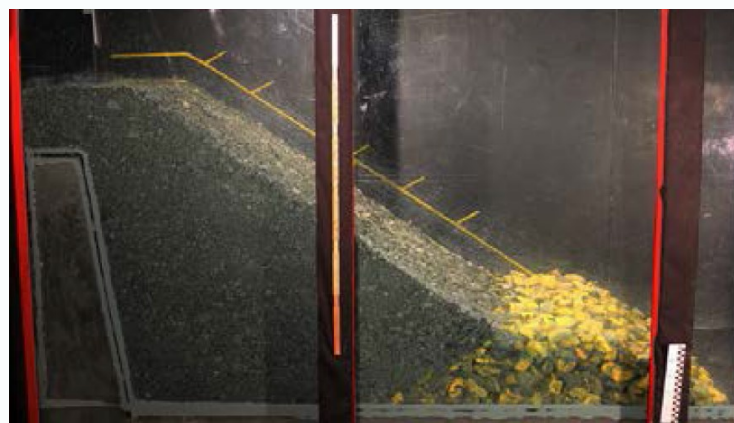
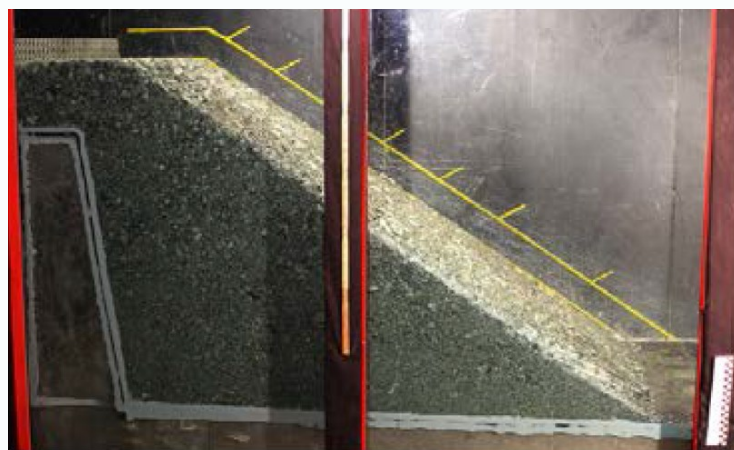
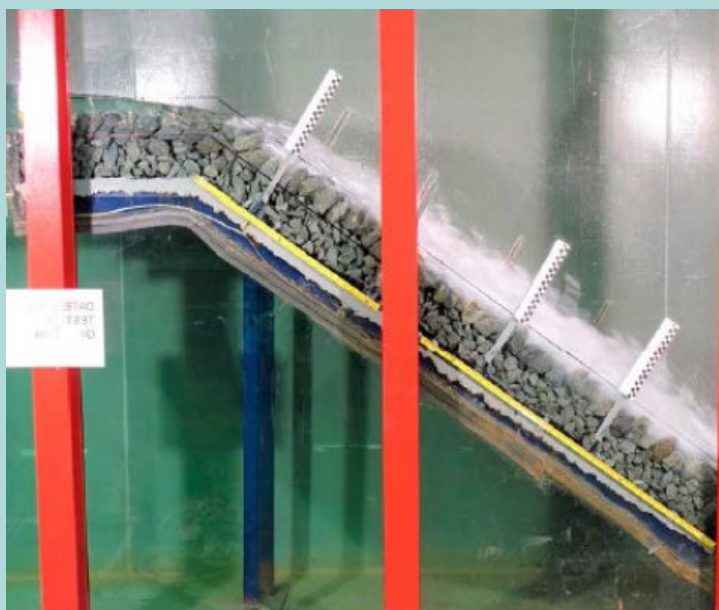
Ganesh H R Ravindra

Sammendrag av nylig fullført doktorgradsavhandling og tilknyttet masteroppgave på NTNU

Fyllingsdammer er nøkkelinfrastruktur for norsk vannkraftproduksjon. En bedre forståelse av stabiliteten av fyllingsdamkomponenter utsatt for ekstreme lastsituasjoner kan bedre beslutningstaking når det gjelder utforming og konstruksjon av fyllingsdammer. Kunnskapen kan videre føre til økt effektivitet med tanke på økonomi og damsikkerhet. NTNU har gjennom årene gjennomført eksperimentell forskning med formål å dokumentere oppførselen til forskjellige komponenter av fyllingsdammer utsatt for overtopping og gjennomstrømning. Dette notatet presenterer et kort sammendrag av nylige aktiviteter og hovedresultater fra NTNUs forskning på fyllingsdamstabilitet fra doktorgradsavhandlingen til Ganesh H.R. Ravindra (Ravindra, 2020) og tilknyttet masteroppgave gjennomført av Nils Solheim Smith (Smith, 2020).

Forskningen tilhører HydroCen prosjektet WP1.2 Dammer og damsikkerhet, som er ytterligere beskrevet på: www.ntnu.no/hydrocen/dammer-og-damsikkerhet.

Prosjektleder og hovedveileder for doktorgradsprosjektet samt masteroppgaven er Fjóla G. Sigtryggadóttir. Professor Leif Lia var medveileder for doktorgradskandidaten.



Figur venstre: eksperimentell plastringsmodell med tåstøtte, NTNU. Figurer høyre: Bilder av de ulike tå-konfigurasjoner: uten tå, ekstern tå, kombinert tå. Tåsteinene er malt gule for å forenkle opprydningen etter gjennomført forsøk.

Høyre under: feltundersøkelse av plastringer på fyllingsdammer, Oddatjørndammen.

Experimental study on the breaching of rockfill dams

Styrmir Sigurjónsson

Sammendrag av nylig fullført masteroppgave på NTNU

Project description

Destructive breakout floods generated by breaching of embankment dams caused by overtopping need to be assessed in the risk evaluation of potential hazards to prepare emergency action plans. The current standard practice to assess the breaching of embankment dams is with statistically derived parametric equations based on historic dam failures. The prediction uncertainties of such equations are widely recognised to be significant. These equations exclude the consideration of essential factors such as material properties, erodibility, configuration and construction method.

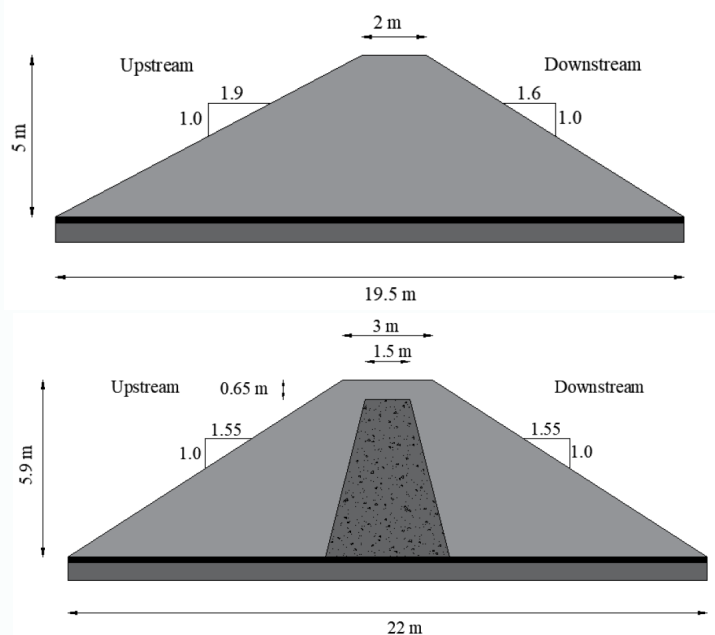
The master thesis focused on investigating and presenting available statistically derived breach equations, comparing the prediction accuracy of each equation and the accuracy when subjected to earthfill and rockfill dams. The study was conducted under the HydroCen project WP1.2 Dam construction and dam safety and also supported by Landsvirkjun's Energy Research Fund. Supervisor for the work was Fjóla G. Sigtryggisdóttir and Geir H. Kiplesund was co-supervisor. The work can be divided into two main parts, part I considers breaching models and Part II involves construction and testing of physical models. The thesis presents two simplified physically-based breach models, DLBreach and Embrea, which simulate the breaching processes of an embankment dam during an overtopping event. The simplified physically-based models take into consideration the material properties and the dimensions of the dam. The models can simulate both homogeneous and homogeneous embankments with an internal core, erosion rate of the dam material and the inflow rate into the reservoir. The outputs from the models are time-based values of the breach opening, depth, reservoir water levels and outflow through the breach opening, allowing the user to generate the outflow hydrograph. Further, two physical models were built and tested in the hydraulic laboratory at NTNU.

Results from dam breach simulations

The data used as input was gathered from two large scale rockfill experimental dams. The experiments were conducted in Norway during 2002 and 2003 as a part of the IMPACT project. The purpose of the IMPACT project was to provide better knowledge and understanding of the breaching processes of embankment dams, to gather data for validation of embankment breach models and to further improve breach modelling performance and accuracy.



The dam constructed in 2002 is homogeneous gravel dam and the one constructed in 2003 is a homogeneous gravel dam with a moraine core (Figure 1). Both dams included a breach initiation channel at the center of the crest to control the location of



Modelling dam breach with simplified physically-based breach models might not be the perfect solution but does allow for a more comprehensive method of estimating the breach parameters and an estimate of the outflow hydrograph. It is an interesting direction in the modelling of dam failures and can with some more research be a viable method for the future.

Physical Modelling

Two laboratory experiments were conducted in a rectangular horizontal flume in the hydraulic laboratory at NTNU. The reservoir behind the test dams has a low capacity which creates falling reservoir conditions. Both test dams were homogeneous, however the second test included a thin core assembled from 10x10 cm foam squares sealed with putty. The experiments were preliminary tests in an ongoing PhD research in HydroCen and conducted with the PhD student Geir H. Kiplesund.

Miljølaster og erosjonsskader på fyllingsdammer i Norge

Tiril Berg Bjørsum - Sammendrag av nylig fullført masteroppgave på NTNU

Våren 2020 skrev jeg masteroppgave om miljølaster og erosjonsskader på fyllingsdammer i Norge. Formålet med oppgaven var å få mer kunnskap om miljølaster på norske fyllingsdammer og hvorvidt slike laster påvirker drift av dammene, for eksempel ved rehabiliteringstiltak, og/eller damsikkerheten, samt om dagens dimensjoneringskrav er tilstrekkelige for å bevare sikkerheten.

Oppgaven har samlet og analysert informasjon fra litteraturstudier, spørreundersøkelser, informasjon fra dameiere og beregninger, men det er fortsatt mye informasjon å hente om vindgenererte bølger, minimum steinstørrelse og bølgeskader på opp-strøms skråningsvern.

De fleste bølgeskadene undersøkt i masteroppgaven opptrådte rundt HRV-beltet i form av erosjonsgroper eller «strandlinje». Dette kan indikere at bølgeskadene har skjedd på tidspunkt der vannstanden har ligget på HRV.

Det er sammenlignet ulike måter å beregne vind, bølger og steinstørrelse. De ulike metodene gir svært ulike svar, men det kommer ikke frem av informasjonen samlet i oppgaven hvilken metode som passer best til norske forhold. Det kan vises til at det å beregne vindstyrke etter Norsk Standard for vindlaster for hver enkelt dam, kan passe bedre til de virkelige verdiene enn å bruke vindstyrke på 30 m/s. Da 30 m/s kan føre til for konservative, eller ikke tilstrekkelige, resultat.

Det er sammenlignet minimum steinstørrelse i plastringen og dammene har hatt varierende skråningsvern, enten rauset eller ordnet stein. De dammene med ordnet steinskråning der det har blitt beregnet minimum steinstørrelse har alle bortsett fra to dammer hatt minimum steinstørrelse mindre enn dagens krav. Det betyr ikke at dette er grunnen til at det oppsto bølgeskader, men kan vise til at dette er en potensiell mulighet.

Informasjonen i denne oppgaven baserer seg på dammene som var med i spørreundersøkelsen og informasjonen som var mulig å få ut av undersøkelsen og andre dokumenter var begrenset, og baserte seg på et for lite utvalg dammer. Derfor er ikke kartleggingen gjort i denne undersøkelsen representativ for dagens situasjon i Norge.

Bølgeskadene ved disse dammene er alle fra før 1990, og fulgte ikke kravene i dagens damsikkerhetsforskrift (2009). Det er derfor vanskelig å vite om disse skadene ville oppstått dersom dammen var utført etter dagens retningslinjer. Det kan derimot vise at de gamle kravene ikke var gode nok for å bevare tilstrekkelig sikkerhet.

Kartleggingen og beregningene gjort i oppgaven har store usikkerheter da det er et lite utvalg og vil derfor ikke kunne gi sikre resultater. Det kan heller være en idé på hva som kan utforskes

Det er fokusert på kvantitative verdier som strøk, vindstyrke og steinstørrelse, men sikkerheten til en plastring er avhengig av flere faktorer enn dette. Viktige faktorer er blant annet utførelse, steinform og steinkvalitet. I denne sammenligningen er det ikke tatt hensyn til hvordan forholdene bak plastringen er, da informasjonen det var mulig å hente om dette kun besto av hvor steinen var hentet, og ikke spesifikke størrelser. Dette kan være viktig med tanke på skadene, og hvordan de oppsto. Det er flere av dammene der skaden har vært utvasking av finstoff gjennom plastringen, og dette er ikke påvirket av minimum steinstørrelse, men heller hvordan plastringen er utformet og gradering av massen.

Det finnes lite informasjon tilgjengelig angående observerte bølgeskader på fyllingsdammer i Norge. Metodene som blir brukt i dag er ikke endret fra metodene som baserer seg på kanadiske magasin. Det kan derfor være til god hjelp å bruke risikoanalyser når man skal vurdere rehabiliteringstiltak. Ved å utføre en risikoanalyse får en mer kunnskap om dammen og hvilke usikkerheter som inkluderes i utformingskravene.

En risikoanalyse kan også ta hensyn til tid, og hvor sannsynlig det er at en initial skade oppdages før den får tid til å utvikle seg til å bli farlig. Dette er noe som er forskjellig fra dam til dam. Det er derfor vanskelig å inkludere i standard deterministiske utformingskrav. Dersom en ser på hendelsestreet i Figur 3 kan en se ulike trinn som må til for at en dam skal gå til brudd ved erosjonsskader fra miljølaster.

Det er ingen av dammene i denne oppgaven som har kommet til det trinnet i dette hendelsestreet hvor kronevernet begynner å sige. Det har derfor aldri vært en reel fare for dambrudd i disse tilfellene, da bølgeskaden har blitt oppdaget og reparert før det har ført til en potensiell farlig situasjon.

Det er veldig lite dokumentert informasjon om faktiske bølgeforhold ved norske fyllingsdammer i Norge. Dersom en skal oppnå sikre resultater er det nødvendig med god informasjon fra norske forhold. Dette kan innhentes ved å gjøre en større kartlegging av norske fyllingsdammer og ved å dokumentere vind og bølgeforhold. Ut ifra denne informasjonen kan en bedre bestemme hvilke metoder som gir de mest realistiske resultatene. Det bør derfor måles vindforhold ved flere norske dammer for å best kunne beregne riktig vind, dette kan gjøres ved å plassere vindmålere ved dammene over lengre tid. Det kan også observeres hvilke bølgeforhold det er ved dammen og hvordan ulike bølger fungerer på plastringen.

Nyeste ICOLD bulletenger og publikasjoner

Bulletin Preprint - 176

BLOCKAGE OF SPILLWAYS AND OUTLET WORKS

Bulletin Preprint - 177

ROLLER-COMPACTED CONCRETE DAMS

Bulletin Preprint - 178

OPERATION OF HYDRAULIC STRUCTURES OF DAMS

Bulletin Preprint - 179

ASPHALT CONCRETE CORES FOR EMBANKMENT DAMS

Bulletin Preprint - 180

DAM SURVEILLANCE - LESSONS LEARNT FROM CASE HISTORIES

Bulletin Preprint - 181

TAILINGS DAM DESIGN - TECHNOLOGY UPDATE

Bulletin Preprint - 182

SEDIMENT MANAGEMENT IN RESERVOIRS: NATIONAL REGULATIONS AND CASE STUDIES

Bulletin Preprint - 183

SELECTION OF DAM TYPE

Bulletin Preprint - 184

MANAGEMENT OF EXPANSIVE CHEMICAL REACTIONS IN CONCRETE DAMS & HYDROELECTRIC PROJECTS

Bulletin Preprint - 185

CHALLENGES AND NEEDS FOR DAMS IN THE 21ST CENTURY

Bulletin Preprint - 186

INTEGRATED OPTIMAL OPERATION OF CASCADE HYDROPOWER STATIONS AND RESERVOIRS

Bulletin Preprint - 187

FLOOD EVALUATION, HAZARD DETERMINATION AND RISK MANAGEMENT

Bulletin Preprint - 188

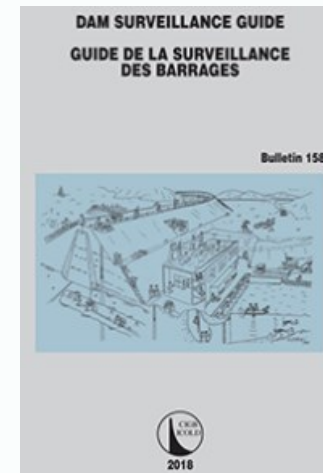
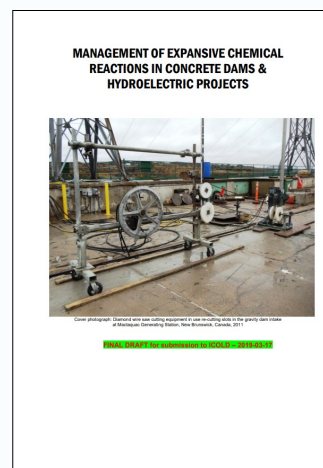
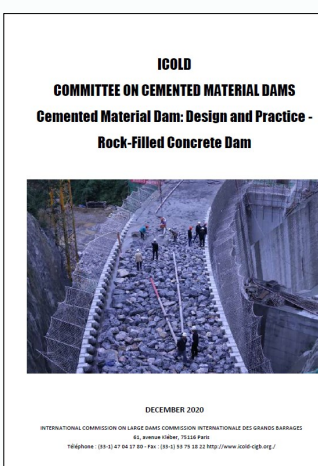
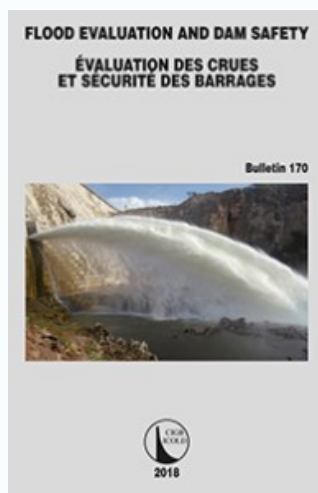
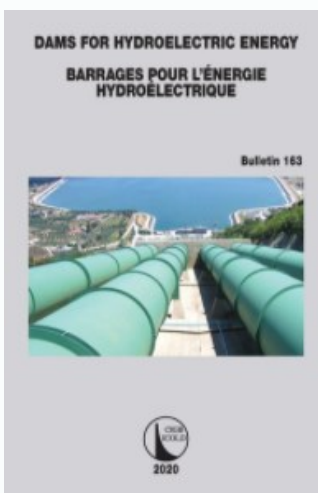
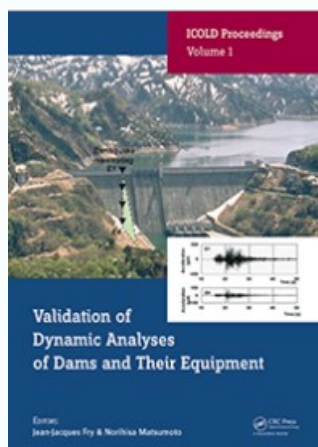
DAM FAILURES - STATISTICAL ANALYSIS

Bulletin Preprint - 189

CURRENT STATE-OF-PRACTICE IN RISK-INFORMED DECISION-MAKING FOR THE SAFETY OF DAMS AND LEVEES

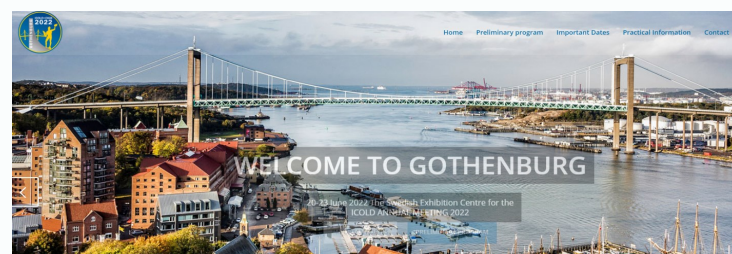
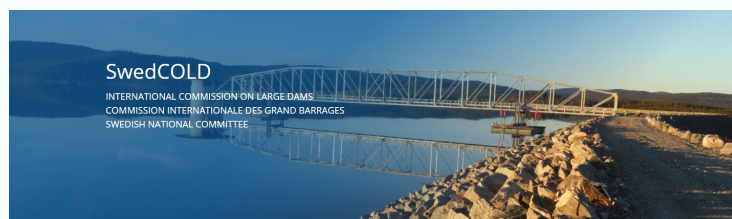
Elektronisk versjon (pdf-format) av ICOLD-publikasjoner er inkludert i NNCOLDs firmamedlemsskap, og kan fås tilsendt gratis ved å kontakte NNCOLDs sekretariat.

(Trykte kopier kan bestilles direkte fra ICOLDs nettsider, www.icold-cigb.org, men dekkes ikke av NNCOLD).



KALENDER 2021

- INCOLD 2021 Symposium, Sustainable Development of Dams and River Basins ble fullført 24-27.2.2021 i New Delhi, India og som videokonferanse, <https://www.icold2020.org/>
- NNCOLD webinarer 2021 - Annonsering kommer på nncold.no eller på NNCOLD facebook, <http://nncold.no/>
- SwedCOLDs temadag 20.4.2021, <http://www.swedcold.org/>
- SwedCOLDs temadag 19.10.2021 <http://www.swedcold.org/>
- 2nd Nordic seminar høst 2021 Finland
- ICOLD 27th Congress - 89th Annual Meeting - Marseille (France) 12-19.11.2021 <https://cigb-icold2021.fr/en/#>
- Frist for nominasjon for Damkrona 2021 er 1.12.2021. Juryen ønsker at forslag og nominasjoner tilsendes per epost til Mari Hegg Gundersen (jurysekretær, mhg@nve.no) eller Hilde Johnsborg (juryformann, hide.johnsborg@multiconsult.no).
- ICOLD 90th Annual Meeting - Göteborg (Sweden) 20-23.6.2022 - Submission of abstracts: October 2021, <https://icold-cigb2022.se/>

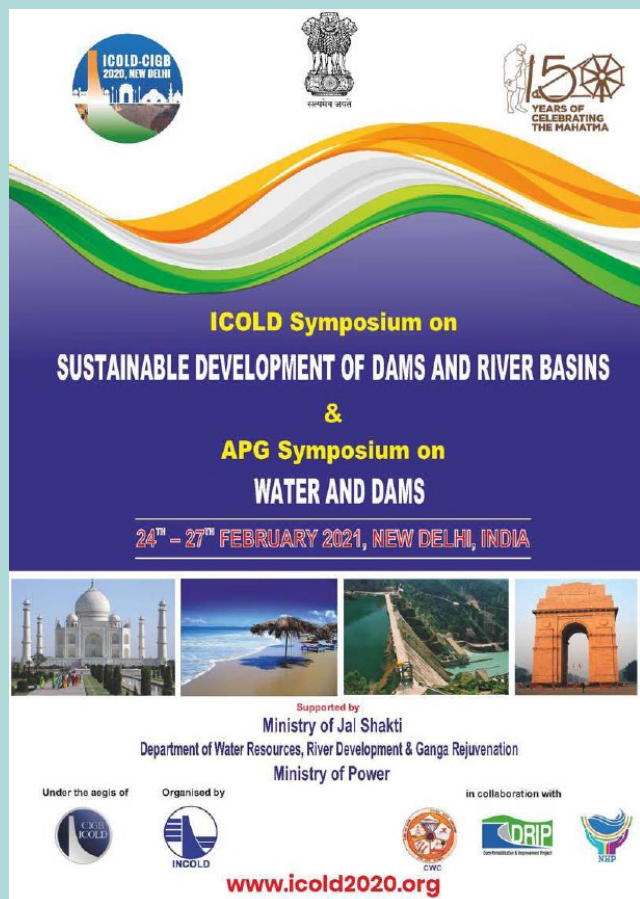


ICOLD Annual Meeting 2022

Symposium Sessions

1. Dam safety management
2. Surveillance and condition monitoring
3. Analysis, modelling and decision making
4. Rehabilitation and dam safety measures
5. Climate & environmental adaption
6. Innovation

- Registration opens: October 2021
- Submission of abstracts: October 2021
- Submission of technical paper: January 2022
- Meeting dates 20-23 June 2022



Riktig god påske - Hilsen fra NNCOLD

PLASTREREN

av Halvor Kjærås - Mel. «Julepresangen»

Kristoffer har fått anleggsjobb, han kjører att og fram og legger plastringstein på det som snart skal bli en dam. Nå har han hentet sprengstein i et steinbrudd like ved, da kontrolløren kommer fram til dammen for å se. Det der er ikke bra, begynn fra bunnen av. For steinenes beskaffenhet er ikke som jeg sa.

Da er det ikke annen råd, han kjører steinen vekk, og fjerner blokk som er for små og alt som har en sprekk. Han tipper kvalitetsstein ned fra fyllingsdam mens topp, men mister fort sitt smil når kontrolløren roper stopp. Det der er ikke bra, begynn fra bunnen av. At steinen legges enkeltvis kan ingen komme fra.

Han fjerner det han alt har gjort; han viser ikke trass. Med strev og møyte legger han hver enkelt stein på plass. Han føler han har teken nå, han plastrer som en helt. Men damkontrollen sier det er langt fra ideelt. Det der er ikke bra, begynn fra bunnen av. For to-lags plastring, det skal alle fyllingsdammer ha.

Kristoffer bryr seg mindre nå, han er nok blitt blasert. Han starter friskt fra bunnen, selv om uker er passert. For utvasking skal hindres med et ekstra indresjikt. Men når han snart er ferdig, blir det nok en gang konflikt. Det der er ikke bra, begynn fra bunnen av. Legg steinene i godt forband, så skal jeg nok bli glad.

Kristoffer fjerner lydig alle blokker han har lagt, og legger stein i godt forband, med innbyrdes kontakt. Nå er det to-lags plastring, og hver steinblokk er stabil, Men atter åpnes kontrollørens utblåsningsventil: Det der er ikke bra, begynn fra bunnen av. For hulrom mellom steinen vil jeg ikke vite av.

Og nå er dammen ferdig, selv om skuffen har blitt bøyd. Men en detalj ved dammen gjør Kristoffer mest fornøyd. For hullet nærmest bunnen er så tett som det går an. Der har han lagt en hissig kontrollør i godt forband. Ja, det ble veldig bra, og nå blir alle glad: Lekkasjekontrollør er også veldig bra å ha.



VIL DU BLI MEDLEM?

Hva er NNCOLD?

Den Norske Damkomiteen, medlem i ICOLD, EURCOLD

En ideell organisasjon med inntil 14 styremedlemmer og per i dag 30 firmamedlemmer

Hvem er vi?

Medlemmer fra: forskning og undervisning, rådgivere, dameiere, forvaltning og entreprenører

Hva omfatter dam?

Dammer av alle typer og formål i utvidet forstand, samt deres komponenter, funksjon og innvirkning på samfunnet og fag forbundet med dette:

kraftforsyning, drikke- og industrivann, irrigasjon, park og rekreasjon, gruedammer og deponier, luker, kanaler, rør og tunneler, flomdemping, diker, flomberegninger, hydraulikk, anleggs- og byggeteknikk, materialer, materialbruk, regulatorisk / lovverk, prosjektering av nybygg og fornying, samt nedlegging av anlegg, drift, instrumentering og overvåking, natur, miljø, sosiale faktorer, damsikkerhet

Hva er vi engasjert i?

Aktiv deltakelse nasjonalt og internasjonalt: ICOLD-symposier og årsmøter, EURCOLD og nylig etablerte "Nordisk COLD", inkludert:

- Deltakelse i ICOLDs tekniske komiteer (ref. spesielt utarbeidelse av ICOLDs faglige bulletiner – til nå nesten 200 stykker!)
- Deltakelse i EURCOLDs European Working Groups (ref. spesielt deres rapporter)
- Støtter, tar initiativ og formidler norske bidrag (artikler og presentasjoner) til konferanser og seminarer
- Støtter og inkluderer Young Engineers Forum i Norge
- Støtter studenter innenfor faget
- Promotering av fagområdet generelt, spesielt tildeling av Damkrona!

Hva resulterer dette i?

Adgang for norske bedrifter, institusjoner og enkeltpersoner til det viktigste internasjonale nettverket innenfor "dam".

Kan påvirke regelverk og "best praksis" og innovasjon innenfor faget, internasjonalt og nasjonalt (gjensidig), dette gjelder både teknisk, regulatorisk samt på miljø og sosiale forhold.

Ekspone norsk teknisk og annen relevant kunnskap internasjonalt.

Hvem benytter denne kunnskapen og miljøet?

Verdensbanken, diverse "offentlige" regionale banker og finansinstitusjoner, regionale banker, private investorer, offentlige og private bistandsorganisasjoner, forskjellige nasjonale myndigheter og regionale og lokale myndigheter, dameiere, rådgivere, entreprenører, flere?

Bli medlem:

Medlemskap i NNCOLD er basert på **firmamedlemskap**. NNCOLD medlemskap kan fås gjennom NNCOLDs sekretariat (henvendelse e-post gog@nve.no) mot en årlig medlemsavgift på kr. 4 950,-.

Medlemskap i NNCOLD inkluderer blant annet abonnement på ICOLDs tekniske bøker (bulletiner), informasjon fra ICOLD tekniske komiteer og andre relevante organisasjoner knyttet til ICOLD. Medlemmene får invitasjoner til NNCOLDs årlige fagseminarer og ICOLDs årsmøter/kongresser.

Medlemsorganisasjoner:

Agder Energi Vannkraft AS
Arendals Vasdrags Brugseierforening
AsphaltCoreDams AS
BKK Produksjon AS
Dr. techn. Olav Olsen AS
Energi Norge
Foreningen til Bægnavassdragets regulering
Glitre Energi Produksjon AS
Hafslund E-CO Vannkraft AS
Hydro Energi AS
Lyse Produksjon AS
Mo Industripark AS
Multiconsult Norge AS
NCC Construction AS
Norconsult AS
Norges Geotekniske Institutt – NGI
Norges Vassdrags- og Energidirektorat – NVE
NTNU
Oslo Kommune, Vann og avløpsetaten
Otteraaens Brugseierforening
SINTEF Narvik AS
Sira-Kvina Kraftselskap AS
Skagerak Kraft AS
Skanska Norge AS -Region Samferdsel og Energi
SKS Produksjon AS
Statkraft Energi AS
Sunnhordland Kraftlag AS
Sweco Norge AS
TrønderEnergi Kraft A
Veidekke Industri AS



ICOLD

(International Commission On Large Dams)

Etablert I 1928. Samler og bearbeider kunnskap knyttet til planlegging, bygging, drift, sikkerhet og miljø ved store dammer (over 15m). Arbeidet skjer gjennom tekniske komiteer, som utgir opptil fem tekniske bøker (bulletenger) årlig. Hvert tredje år arrangeres en kongress der opptil 300 artikler presenteres.



NNCOLD

(Norwegian National Committee On Large Dams)

NNCOLD representerer Norge i ICOLD, som kontaktledd for å opprettholde norsk kompetanse og profilere vannkraftmiljøet utad. NNCOLD fungerer også som kunnskapsformidler fra ICOLD til det norske miljøet. Norge har de senere årene vært svært aktive i ICOLD og er representert i mange av ICOLDs tekniske komiteer.

Digitalization and use of BIM in dam projects

H. Bergsager

Norconsult, Oslo, Norway

ABSTRACT: Building information modeling (BIM) is now widely used in most of the larger construction projects in varying extent. Even though BIM is widely used, most of the BIM-projects still ends up with 2D drawings, based on a 3D model, as deliverables. Norconsult carried out their first fully integrated BIM-project, the Vamma 12 hydropower project (125MW), in 2015-2019. This project was constructed based on the BIM-model itself, without delivering of traditional 2D drawings. Vamma 12 led the way for several new larger hydropower project. All carried out based on the same workflow, improved in each project. Now we are moving on to smaller hydro power projects, dam projects and dam rehabilitation projects. Separate dam projects or dam rehabilitation projects may be less complex than larger hydropower project and may use smaller contractors, with less experience and less equipment for operating fully digital. Experience however shows that the most important factor has not been equipment or software, but rather the attitude and mindset of the parties, and the workflow and structure of the project. The role of BIM in projects are also changing. From being just a tool or technology, into being an integrated part of the whole project. BIM creates opportunities for everyone to participate and to get an overview of the project. From workers at site to dam owners and authorities.

1 INTRODUCTION

Traditionally, dam projects have been carried out using 2D drawings for construction and design. The development of 3D modelling software from the early 2000s led way for visualization, and later for fully 3D modelling with the intention of creating 2D drawings as deliverables. These “hybrid-projects” is still largely in use in the industry but has several drawbacks. One of them is the fact that you are creating an almost complete 3D model of your structure before you transfer the data into 2D drawings. The 2D drawings are then used to build the actual 3D structure at site. Transforming the structure from 3D to 2D and then back again to 3D increases the risk of losing information and the risk of faults. Revision handling of drawings is also time consuming and may increase the risk of faults as you must update both the 3D model and the 2D drawings for each revision. As a cause of this we thought why not use the actual 3D model for construction, skipping the use of 2D drawings.

Norconsult carried out their first fully integrated BIM project in the Vamma 12 hydropower project (125MW) in Norway from 2015. In the Vamma 12 project all construction and design where carried out using one common BIM-model for the project. No drawings for construction where created. This project led the way for several more fully integrated BIM hydropower projects using the same workflow, gradually improved in each project. By improving our workflow and with the increasing experience of our project teams, we could move on to carry out smaller hydropower projects, dam projects and dam rehabilitation projects. Our first fully integrated BIM-dam-projects were the Songa dam rehabilitation project for Statkraft, and the new Mjåvatn dam project for E-CO Energi, both projects in Norway. Following these projects, several new dam projects, and dam rehabilitation projects are stating up, based on the same workflow. An example of the BIM-model used in the construction phase of the new dam Mjåvatn is shown in the figure below.

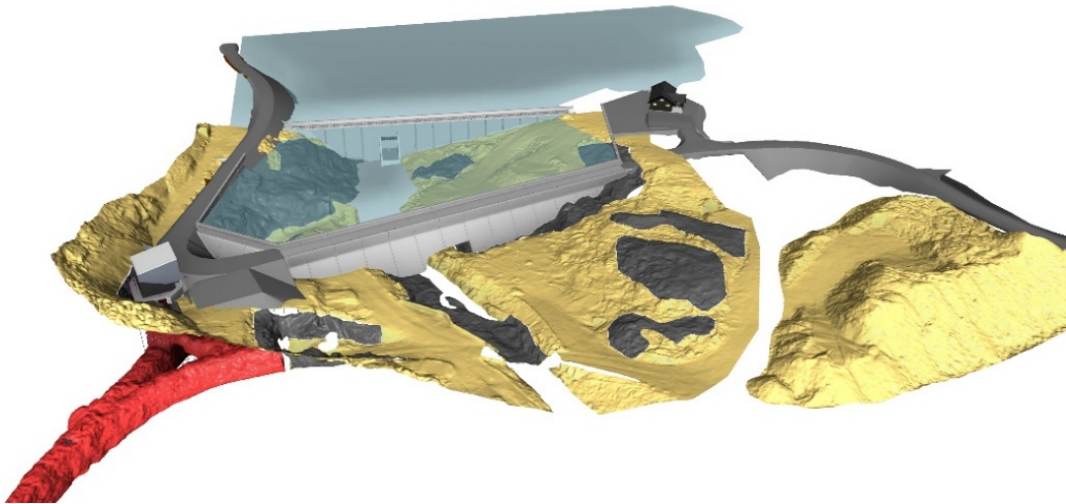


Figure 1. Example of BIM-model from the new Mjåvatn dam and water tunnel, currently under construction for E-CO Energi in Norway. The existing dam, which is to be de-commissioned, is shown in the background

2 WHY BIM

2.1 *The need for BIM in dam projects*

The need for BIM on dam projects may be questioned by some, as one would think that a dam normally could be constructed based on only a few numbers of drawings. One might think that a

dam normally follows a more or less straight center line, with the same or multiple cross sections which easily been shown on a few 2D drawings. This may be the case in some dam projects, but for most of our larger dam projects the situation tends to be more complex. In addition to more complex geometry, dams may contain gates, cable ducts, galleries, boreholes for grouting, monitoring facilities, control buildings, roads etc. The excavation of the dam foundation is usually also a significant part of the project that needs to be addressed. All this makes a dam project suitable for the use of BIM.

2.2 Control of cost and quantities

One of the most valuable assets of using BIM is the increased control of cost and quantities of the project. Most BIM-projects rely on continuously and accurate scanning of the project area as input into the BIM-model. With continuously scanning of the project area the elements of the BIM-model can be adjusted based on the scanned terrain during construction. This has caused less uncertainties and discussions regarding quantities and cost. The scanned data is also valuable for continuously evaluation of the at-site conditions for the design team.

The elements of the BIM-model can be coupled with the corresponding items in the bill of quantity (BoQ). The elements can also contain measured quantities such as volumes, areas, numbers etc. This makes it easier to address the correct BoQ item for the different works, as well as making the whole payment and settlement process more effective.

As the project moves forward the BIM-model is usually updated with the latest changes, and when an element is finalized at site, the corresponding element is set to “as built” status. Progressive payment and settlement of “as built” elements during the projects can save a lot of time and discussions in the final settlement of the project.

2.3 Easier access for all parties

By using a BIM-model instead of multiple drawings one creates a lower threshold for new members to get an overview of the project. The threshold for using the software to navigate in the model may be big for some, but the assets when you are being able to navigate in the model can be big. Parties that are only briefly entering into the projects at different time intervals, such as authorities, company managers, external parties etc. does not necessarily have to use the model them self, but will get a much faster overview of the project when the model is used in communication and discussions.

2.4 Visualization

Landscaping around a dam site and the final visual look of the dam, including its surrounding, is an important factor of a dam project. The BIM-model itself gives a much better visual understanding of how the project will look when it is finished, than traditional 2D drawings would do. This “free” visualization model if a part of any BIM-project. The BIM-model can also be used in different landscaping and visual software tool to present a more realistic model with plants, grass, correct colors, sun etc. After our experience, visualizations play a more and more important role in the communication with external parts such as landowners, authorities and environmental NGOs.

3 PLANNING AND DESIGN

3.1 Structure the model and the project

After starting our first BIM-project we soon realized that the model structure (model tree) plays a very important part of navigating in the model and in the project. The same applies for the naming and identification of the different elements and structures. A good structure and naming from the beginning of the project is essential. We see that using the same structure in the BIM-model as in the whole project is very beneficial. Sufficient time should be set aside in the start of the project for planning the structure and naming of different components of the project.

3.2 Level of detailing

The correct level of detailing of the model is an important exercise. If you model all the details of the project you may end up with a very time consuming and costly design phase. This may not be in the interest of the dam owner and not necessary for the contractor to carry out their works. It is important to advice with the contractor on which level of detailing that is necessary for the different types of works. At the same time, one must also bear in mind that the level of detailing should be sufficient for use in the final documentation of the project. Supplementary documentation, detail sheets and direct communication at site may be more efficient for some works of the project. An example of the typical level of detailing for a dam section is shown in the figure below.

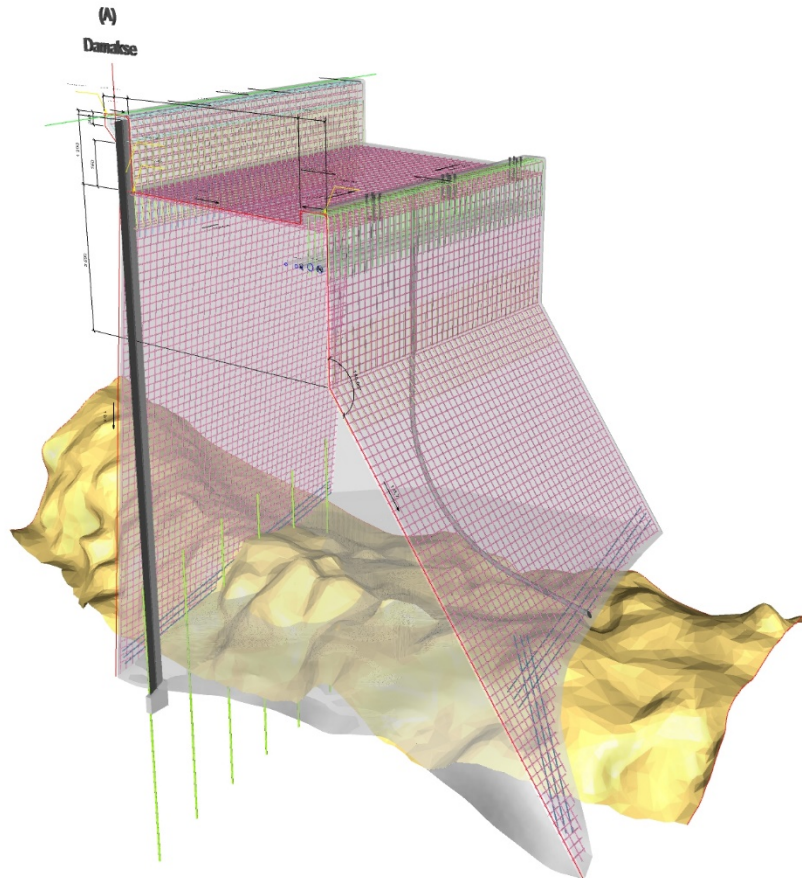


Figure 2. Typical dam section of the new Mjåvatn dam in Norway with concrete, reinforcement, grouted rock bolts and embedded parts.

3.3 Early stage design

An early stage BIM-model can be established in the planning phase of the project for evaluation of different alternatives, and for preliminary design. This can be very beneficial for the project as all parties gets better opportunities for evaluation the different alternatives and preliminary design.

3.4 Design team

Important factors of a BIM project are not limited to the software, workflow and structure of the project. The skills and encouragement of the project team members are just as important. Correct use of resources for the right tasks are important. Senior engineers may have greater experience in design and construction, while the younger generation tend to learn new software faster. It is

important to utilize the best of all generations, and to give appropriate training for each team member. We experience that BIM is being a more and more integrated part of the design. Frequently collaboration between the modeler and the other team members is important as the design is being made in the BIM-modeling process. Making the BIM-model available for everyone is also important and creates ownership to the project. This also demands more skills and experience from the modeler.

3.5 *Optimization*

Better optimization of the different elements in the projects is usually achieved through a BIM-model because all major elements of the project are modeled in 3D and merged into one common BIM-model. Volumes and quantities can be optimized to the scanned terrain, and faults and collisions can be discovered in an early stage of the design to avoid disruption of the contractor's progress at site. After our experience less faults and collisions appear in projects based on a fully integrated BIM-workflow than in projects based on traditional 2D drawings. For dam projects collision control between hydromechanical contracts and civil contracts is one of the most important.

4 CONSTRUCTION

4.1 *Contractors workflow*

Contractors have different approaches to BIM-projects, depending on their skills and experience, as well as the size and location of the project. In general, the surveyor plays a more central role than before. Both in setting out from the model and gathering correct and frequently updated data from field. A dedicated and competent BIM-coordinator is essential to harvest data from the model, and to coordinate incoming and outgoing data to and from the site.

The enthusiasm for new digital tools among the contractor's staff varies a lot, as for the other parties of the project. While some may be reluctant to change, other may be enthusiastic. Forcing all workers and foremen to learn a new software and to be able to harvest data from the model may cause irritation, confusion and disappointment for some, while others tend to be very enthusiastic.

To achieve success for the contractor it is important to have managers which believe in the new workflow, and that are encouraging their work force in using the model. Let the enthusiastic players play the other players good, rather than forcing everyone to learn a new skill.

4.2 *Tools and equipment*

In our first projects, contractors started to use tablets in field, such as iPads, RoughPads etc. The investment in tablets for the contractor can be significant, and their lifetime can also be limited in rough weather conditions, which is usual for dam projects in Norway. The contractors in the latest projects have tended to use one or several BIM-containers at the site, containing a computer with the software and model, set up in a dry and convenient environment. For smaller projects, a go through of today's work packages with the model in a morning meeting at the barracks may be sufficient. This is typical for many of our dam projects which can be limited in size and located in varying climate and weather.

For ground works such as excavation, drilling and blasting, backfilling etc., the data from the 3D models is usually transferred to the machines (excavators, bore rigs etc.), either directly, or by converting the data into the appropriate formats. Experience shows that the data, when used correctly, gives a very accurate execution of the works. There have been little discussions regarding the use of digital data and 3D models for ground works in general, and it has been in use for many years already and is known in the industry.



Figure 3. Borehole contours based on the BIM-model shown on a display in a tunnel rig. Example from the new Mjåvatn dam and water tunnel in Norway.

5 FINAL AND AS BUILT DOCUMENTATION

5.1 *Final documentation of the project*

When the project is finished the last revision of the BIM-model is regarded as the “as built”-model. The model can be saved in an archive in correct format for use in later works on the dam, or when necessary, for dam reviews or inspection. Some client may also want some drawings with overview of the dam. This could typical 2-3 numbers of drawing containing plan and typical sections. These drawings may be needed also in an emergence situation and may also be demanded by authorities to have in house. The few numbers of overview drawings can be created directly from the model with few additional adjustments.

5.2 *Coupling with O&M software.*

Possibilities for coupling the BIM-model with operation and maintenance planning software (O&M software) and are under development. This could be very beneficial for dams belonging to hydropower plants, drinking water treatment plants, factories or other process industry. Sensors, instrumentation and gates could be coupled with O&M software for monitoring and operation. Planning of inspections and maintenance, as well as storage of documentation and drawings may be combined in an O&M software.

6 CONCLUSION

After our experience BIM-model workflow is very suitable for medium to large dam projects. For smaller dam projects, a fully integrated BIM-model may not be suitable until the workflow is further optimized. The attitude and mindset of the parties in the project, together with the workflow and structure, are important factors for success. The role of BIM is also changing from being just a tool and technology, into being a more integrated part of the whole project.

BIM creates opportunities for everyone to participate, and to get an overview of the project. It can be challenging to get all parties of the project to learn a new software and start using the model themselves. This is not necessary, as one can participate in meetings and collaborate with other team members which are handling the model. This can create a stronger ownership to the project for all generations and disciplines.

NORWEGIAN NATIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS



NNCOLD

2020

News Letter

Author:

Styrmir Sigurjónsson

December 21, 2020

Project description

Destructive breakout floods generated by breaching of embankment dams caused by overtopping need to be assessed in the risk evaluation of potential hazards to prepare emergency action plans. The current standard practice to assess the breaching of embankment dams is with statistically derived parametric equations based on historic dam failures. The prediction uncertainties of such equations are widely recognised to be significant. These equations exclude the consideration of essential factors such as material properties, erodibility, configuration and construction method.

The master thesis focused on investigating and presenting available statistically derived breach equations, comparing the prediction accuracy of each equation and the accuracy when subjected to earthfill and rockfill dams. The study was conducted under the HydroCen project WP1.2 Dam construction and dam safety and also supported by Landsvirkjun's Energy Research Fund. Supervisor for the work was Fjóla G. Sigtryggsdóttir and Geir H. Kiplesund was co-supervisor. The work can be divided into two main parts, part I considers breaching models and Part II involves construction and testing of physical models. The thesis presents two simplified physically-based breach models, DLBreach and Embrea, which simulate the breaching processes of an embankment dam during an overtopping event. The simplified physically-based models take into consideration the material properties and the dimensions of the dam. The models can simulate both homogeneous and homogeneous embankments with an internal core, erosion rate of the dam material and the inflow rate into the reservoir. The outputs from the models are time-based values of the breach opening, depth, reservoir water levels and outflow through the breach opening, allowing the user to generate the outflow hydrograph. Further, two physical models were built and tested in the hydraulic laboratory at NTNU.

Results from dam breach simulations

The data used as input was gathered from two large scale rockfill experimental dams. The experiments were conducted in Norway during 2002 and 2003 as a part of the IMPACT project. The purpose of the IMPACT project was to provide better knowledge and understanding of the breaching processes of embankment dams, to gather data for validation of embankment breach models and to further improve breach modelling performance and accuracy. The dam constructed in 2002 is homogeneous gravel dam and the one constructed in 2003 is a homogeneous gravel dam with a moraine core (Figure 1). Both dams included a breach initiation channel at the center of the crest to control the location of breach initiation (Løvoll et al. 2003).

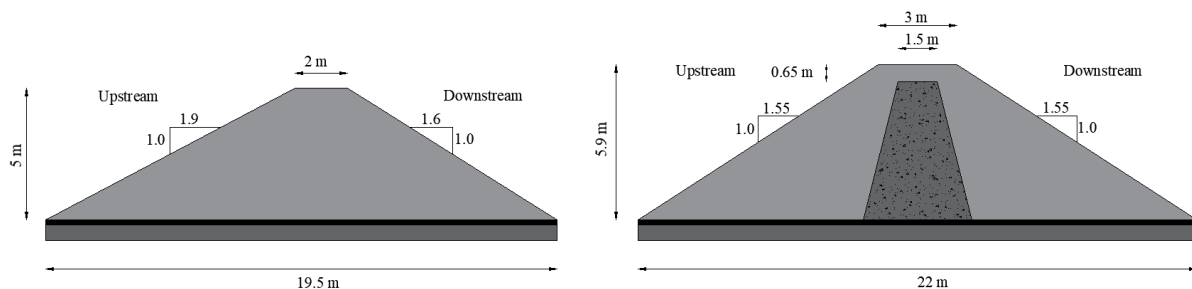


Figure 1: Configuration and dimensions of the two IMPACT test dams

Results from the field test is presented in Table 1 along with the simulated breach parameters with DLBreach and Embrea. In Figure 2 the simulated breach outflow hydrographs are presented and compared to the measured hydrograph.

Table 1: Measured and simulated breach parameters from the two field tests

Homogeneous dam	Parameter	Measured	DLBreach	Embrea	Unit
Average breach width	B	15	16.7	13.4	m
Breach depth	z_b	5	4.2	5	m
Peak discharge	Q_p	125	120	149	m^3/s
Time to peak	t_p	2.45	2.48	2.38	hrs
Failure time	t_f	3.1	2.54	2.43	hrs
Composite dam	Parameter	Measured	DLBreach	Embrea	Unit
Average breach width	B	16.8	14.1	26.5	m
Breach depth	z_b	5.9	5.8	4.7	m
Peak discharge	Q_p	242	242	244	m^3/s
Time to peak	t_p	5.06	5.11	5.13	hrs
Failure time	t_f	5.6	5.4	5.4	hrs

Measured data from EBL Kompetanse (2005)

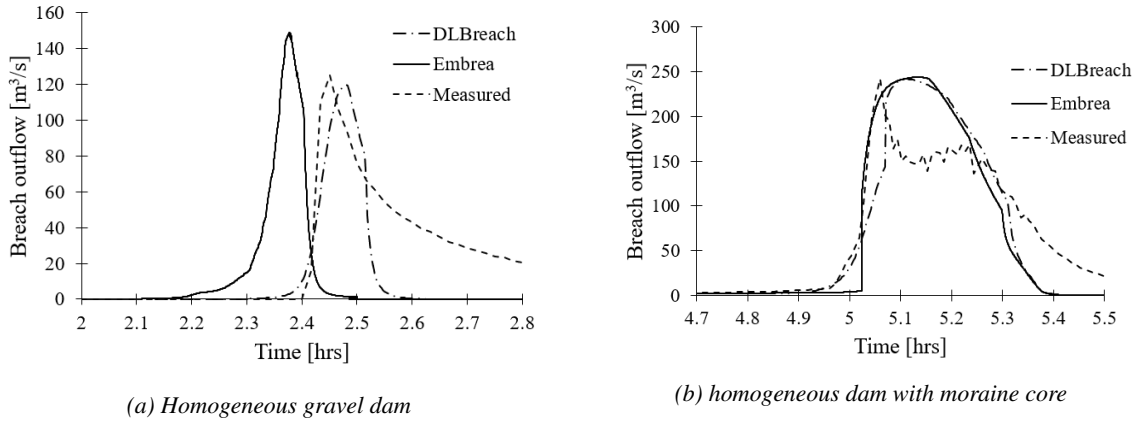


Figure 2: Measured and simulated breach outflow hydrographs from the two field tests

Care should be taken when reading into the time to peak (t_p) and failure time (t_f), due to the differences in the test site of the IMPACT project and the configuration of DLBreach and Embrea. The inflow into the reservoir is water released through gates at Røssvassdammen about 600 m upstream from the dam. Where theoretical method was used to evaluate how much water was being released into the course of the river with respect to the gate opening. Additionally, the outflow from the breached dam was measured about 230 m downstream from the dam, hence the milder slope on the falling limb of the measured hydrograph (EBL Kompetanse 2005). Conversely, the inflow into the reservoir in DLBreach and Embrea is instant and the outflow is computed right downstream from the dam and with the assumption of no downstream drowning area.

Modelling dam breach with simplified physically-based breach models might not be the perfect solution but does allow for a more comprehensive method of estimating the breach parameters and an estimate of the outflow hydrograph. It is an interesting direction in the modelling of dam failures and can with some more research be a viable method for the future.

Physical Modelling

Two laboratory experiments were conducted in a rectangular horizontal flume in the hydraulic laboratory at NTNU. The reservoir behind the test dams has a low capacity which creates falling reservoir conditions. Both test dams were homogeneous, however the second test included a thin core assembled from 10x10 cm foam squares sealed with putty. The experiments were

preliminary tests in an ongoing PhD research in HydroCen and conducted with the PhD student Geir H. Kiplesund.

During the first test, an excessive throughflow was experienced during the filling of the reservoir. The reservoir was filled by increasing the inflow rate at a time interval. Concentrated throughflow occurred and began to erode material away from the downstream slope which led to material sliding during the filling. During the initial phases and phases leading towards the end of the breaching process can be characterized by internal failure. However the dam failure would end with failure characteristics similar to overtopping failure. The testing procedure for the second test was similar, the inflow rate was increased at a time interval. The foam core installed at the center of the dam prevented the excessive throughflow but did not work as well as one had hoped for. A breach initiation channel was installed at one side of the crest to control the location of the breach. The breach formation expanded slowly at the initial phases but rapidly increased as the material started to erode.

During the breach formation of the second test, the approach flow on the upstream side would erode the sides of the opening in inwards direction. This would cause an undercutting which would induce a slope failure, the material would fall into the breach channel and be carried downstream with the flow. This is similar to how Embrea models the slope stability of the side slopes (Mohamed et al. 2002). Simulations with both DLBreach and Embrea were made of the second model test, results are shown in Table 2 and compared to the measured values.

Table 2: Simulated breach parameters from second model test compared with measured values

Breach Parameter	Measured	DLBreach	Embrea
Average Width (cm)	65	74	80
Peak Discharge (l/s)	78	59	140
Time to Peak (min)	68.1	59.8	59.8
Failure Time	71.4	61.3	60.3

Both breach models offer the function of simulate one sided breach, same as the configuration of model tests.

The breach openings of both test models from the laboratory experiments rather took a rectangular shape rather than a trapezoidal shape, like has been reported in several breach modelling articles (Froehlich 1995, 2008, 2016, Xu & Zhang 2009, MacDonald & Langridge-Monopolis 1984). Additionally, investigating the IMPACT project the breach openings of the large scale field experimental rockfill dams, the breach opening would have vertical side slopes (EBL Kompetanse 2005). Therefore, the preselection of the breach channel openings can yield inaccurate estimates of the outflow from the reservoir as Morris (2011) states. Going forward with physical modelling of rockfill dams, it would be interesting to research a more complex model, to record and interpret the breach formation of a model including an impervious core in combination with downstream slope protection. Further, to analyse how different modifications have different behaviour and results.

References

- EBL Kompetanse (2005), Stability and breaching of embankment dams: Report on sub-project 3 (sp3) - breaching of embankment dams, Technical report, EBL kompetanse.
- Froehlich, D. C. (1995), 'Embankment dam breach parameters revisited', *International Water Resources Engineering Conference - Proceedings* **1**, 887–891.
- Froehlich, D. C. (2008), 'Embankment dam breach parameters and their uncertainties', *Journal of Hydraulic Engineering* **134**(12), 1708–1721.
URL: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9429\(2008\)134:12\(1708\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9429(2008)134:12(1708))
- Froehlich, D. C. (2016), Empirical model of embankment dam breaching, in 'River Flow 2016', CRC Press.
URL: <https://doi.org/10.1201/9781315644479-285>
- Løvoll, A., Vaskinn, K. A. & Valstad, T. (2003), Stability and breaching of dams - data report no. 4, Technical report, Impact Project. www.impact-project.net.
- MacDonald, T. C. & Langridge-Monopolis, J. (1984), 'Breaching characteristics of dam failures', *Journal of Hydraulic Engineering* **110**(5), 567–586.
URL: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9429\(1984\)110:5\(567\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9429(1984)110:5(567))
- Mohamed, M., Samuels, P., Morris, M. & Ghataora, G., eds (2002), *Improving the accuracy of prediction of breach formation through embankment dams and flood embankments*, Proceedings of international conference on fluvial hydraulics (river flow 2002), Louvain-la-Neuve.
- Morris, M. (2011), Breaching of Earth Embankments and Dams, PhD thesis, the Open University, England.
- Xu, Y. & Zhang, L. M. (2009), 'Breaching parameters for earth and rockfill dams', *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* **135**(12), 1957–1970.
URL: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gt.1943-5606.0000162](https://doi.org/10.1061/(asce)gt.1943-5606.0000162)

Sikkerheten til fyllingsdammer under ekstreme lastsituasjoner- Sammendrag av nylig fullført doktorgradsavhandling og tilknyttet masteroppgave på NTNU

Ganesh H R Ravindra, Prosjektleder- dam og vassdrag, Kommunalteknikk, Trondheim Kommune.
Epost: ganesh.hiriyanna.rao.ravindra@trondheim.kommune.no.

Nils Solheim Smith, Vitenskapelig assistent, Institutt for bygg og miljøteknikk, NTNU, Trondheim.
Epost: nils.solheim.smith@ntnu.no.

Fjola G Sigtryggsdottir, Institutt for bygg og miljøteknikk, NTNU, Trondheim.
Epost: fjola.g.sigtryggsdottir@ntnu.no.

Leif Lia, Professor, Institutt for bygg og miljøteknikk, NTNU, Trondheim.
Epost: leif.lia@ntnu.no.

1.0 Sammendrag

Fyllingsdammer er nøkkelinfrastruktur for norsk vannkraftproduksjon. En bedre forståelse av stabiliteten av fyllingsdamkomponenter utsatt for ekstreme lastsituasjoner kan bedre beslutningstaking når det gjelder utforming og konstruksjon av fyllingsdammer. Kunnskapen kan videre føre til økt effektivitet med tanke på økonomi og damsikkerhet. NTNU har gjennom årene gjennomført eksperimentell forskning med formål å dokumentere oppførselen til forskjellige komponenter av fyllingsdammer utsatt for overtopping og gjennomstrømning. Dette notatet presenterer et kort sammendrag av nylige aktiviteter og hovedresultater fra NTNUs forskning på fyllingsdamstabilitet fra doktorgradsavhandlingen til Ganesh H.R. Ravindra (Ravindra, 2020) og tilknyttet masteroppgave gjennomført av Nils Solheim Smith (Smith, 2020). Forskningen tilhører HydroCen prosjektet WP1.2 Dammer og damsikkerhet, som er ytterligere beskrevet på: www.ntnu.no/hydrocen/dammer-og-damsikkerhet. Prosjektleder og hovedveileder for doktorgradsprosjektet samt masteroppgaven er Fjola G. Sigtryggsdottir. Professor Leif Lia var medveileder for doktorgradskandidaten.

2.0 1D og 2D stabilitet av plastring på nedstrøms skråning av fyllingsdammer

2.1 Knekking av plastring med tåstøtte

Nedstrøms skråninger av norske fyllingsdammer er generelt beskyttet med et enkelt lag plastring bestående av stein plassert i et sammenlåsende mønster. Tilgjengelig internasjonal litteratur som beskriver stabilitetsaspekter av plastring under overtoppingsforhold er begrenset. Hiller (2017) gjennomførte i perioden mellom 2012 og 2017, flere modellforsøk på enkeltlags plastringer bestående av grovkantet stein med størrelse $d_{50} = 0,057$ m plassert på en skråning med helning $S = 0,67$ (Figur 1). Hiller gjennomførte også flere fullskalaforsøk for å kalibrere modellforsøkene. Hovedfunn fra forskningen fremhevet at plastringer med tåstøtte utsatt for belastning fra overtopping opplever komprimering mot nedstrøms tåstruktur (1D), grunnet de hydrauliske krefter overført til plastringsteinene. Denne komprimeringen fører videre til et gap i øvre del av plastringen som resulterer i eksponering av underliggende filtersone og eventuell ustabilitet av plastringen. Hiller et al. (2018)

sammenlignet stabilitet av plastringer bestående av plasserte stein og dumpet stein og konkluderte at plassering av enkelte stein i et sammenlåsende mønster resulterer i 5 til 10 ganger forbedret stabilitet. Samtidig viste forskningen at med å låse damtåa gir selv dumpet stein tilsvarende sikkerhet som det i dag kreves av plastret stein. Det har ikke vært mulig i noen eksperiment, modell eller fullskala, å skape brudd i plastringen som konsekvens av gjennomstrømming.



Figur 1. Venstre: eksperimentell plastringsmodell med tåstøtte, NTNU. Høyre: feltundersøkelse av plastringer på fyllingsdammer, Oddatjørndammen (Ravindra et al., 2019).

Et nytt doktorgradsprosjekt ble initiert i Hydrocen og NTNU i 2017 for å bygge videre på tidligere funn om stabiliteten av plastringer utsatt for ekstrem last og samtidig for å generere nye resultater angående design av tåstrukturer for fyllingsdammer (Ravindra, 2020). Tidligere studier på stabilitet av plastringer under overtopping hadde vært begrenset til å beskrive 1D feilmekanismer. Med et mål om å utvide disse tidligere funn til 2D eksperimentelle datasett, ble det videre analysert og utført tilleggstester på undersøkelsene gjennomført av Hiller et al. (2018). Resultatene fra studiet gir kvalitative og kvantitative beskrivelser av en unik feilmekanisme i plastringer bygd av plasserte stein med tåstøtte. Det ble funnet at plastringer med tåstøtte gjennomgikk progressive deformasjoner i 2D når de ble utsatt for overtopping. Deformasjonsadferden ble funnet å ligne knekkingsprosessen i en lang og slank kolonne festet i den ene enden og fri i den andre. Disse 2D-deformasjonene ble i sin tur funnet å resultere i total plastrings-svikt som begynte ved oppstrømsdelen av plastringen (Ravindra et al. 2020).

2.2 Stabilitet av plastring uten tåstøtte

Tåseksjonen av en fyllingsdam/plastring som ligger på nedstrøms skråning av en fyllingsdam regnes som kritisk punkt for igangsetting av progressivt dambrudd under overtopping. Med et mål om å undersøke konstruksjonsaspekter av tåkonstruksjoner og tåstøtteforhold for plastringer på norske fyllingsdammer, ble en feltundersøkelse av ni norske fyllingsdammer gjennomført av NTNU i 2019. Detaljert kartlegging av tåseksjoner avslørte at aktuelle plastringer på norske fyllingsdammer mangler veldefinerte tiltak for tåstøtte (Ravindra et al., 2019).

Tidligere eksperimentelle modellstudier som har undersøkt stabilitet av plastringer under overtopping har blitt utført med plastringer begrenset ved tåpartiet. Demonstrert av funn fra feltundersøkelsen, plastringer bygd på nedstrøms skråninger av norske fyllingsdammer er vanligvis ikke utstyrt med noen form for tåstøtte. Derfor er det av betydning for stabilitet og økonomi, å forstå feilmekanismen i plastringer med realistiske tåstøtteforhold. For å undersøke denne forbindelsen nærmere, ble tåstøtten fjernet i den eksperimentelle plastringsmodellen. Detaljerte beskrivelser ble gjort av den underliggende feilmekanismen i plastringer uten tåstøtte under overtopping. Studiefunn demonstrerer glidning som den underliggende feilmekanismen i plastringer med tåseksjoner uten støtte. Videre, plastringer uten tåstøtte opplevde gjennomsnittlig femdoblet reduksjon i stabilitet, sammenlignet med plastringer med faste tåstøtter. Videre ble det funnet at forholdene for tåstøtte ikke hadde innvirkning på feilmekanismen eller den generelle stabiliteten til plastring konstruert av dumpet stein (Ravindra et al., 2020a).

2.3 Praktisk betydning av forskningsresultater

Norges vannkraftbransje har investert mye i konstruksjon og rehabilitering av plastringer, som er en konsekvens av regelverk fastsatt av damsikkerhetsforskriften. Vi er enig i at det er viktig å sikre stabilitet av dammer. Beskyttelsen av skråninger ved bruk av plastring er en effektiv metode for erosjonssikring. Men, det er også viktig å huske at bransjen også har økonomisk ansvar for samfunnsressurser. Forskningsresultater fremhever at plastringer bestående av plasserte stein uten tåstøtte ikke fører til betydelig økt stabilitet sammenlignet med plastringer bygd av dumpet stein. Plastringer utstyrt med tåstøtte får betydelig økning av stabilitet mot ekstreme lastsituasjoner. Siden nåværende byggeskikk for plastringer ikke legger vekt på stabilisering av tåseksjoner for plastringer, innebærer det at bransjens store investering i bygging og rehabilitering av plastringer på norske fyllingsdammene ikke resulterer i en nevneverdig forbedret sikkerheten for situasjoner med gjennomstrømning og overtopping. Sagt på en annen måte, inklusjon av tåstøtte kan ha drastisk positiv effekt på stabiliteten av plastringer på norske fyllingsdammer. Her anbefaler vi initiering av diskusjoner mellom NVE og bransjen, for å ta et nytt blikk på regelverk og veiledere.

3.0 Fysisk og numeriske modellforsøk av ulike damtåkonfigurasjoner

Overtopping av kjernen og påfølgende gjennomstrømning er undersøkt i doktorgradsprosjektet til Ravindra (2020) samt i tilknyttet masteroppgave av Smith (2020). Masteroppgaven er todelt, hvor første del undersøker gjennomstrømning med fysiske modellforsøk, gjort i kombinasjon med PhD prosjektet av Ganesh Ravindra. Den andre del består av numerisk modellering av det samme modelloppsett. For detaljer og mer vitenskapelig bakgrunn av numerisk analyse henvises til masteroppgaven (Smith, 2020).

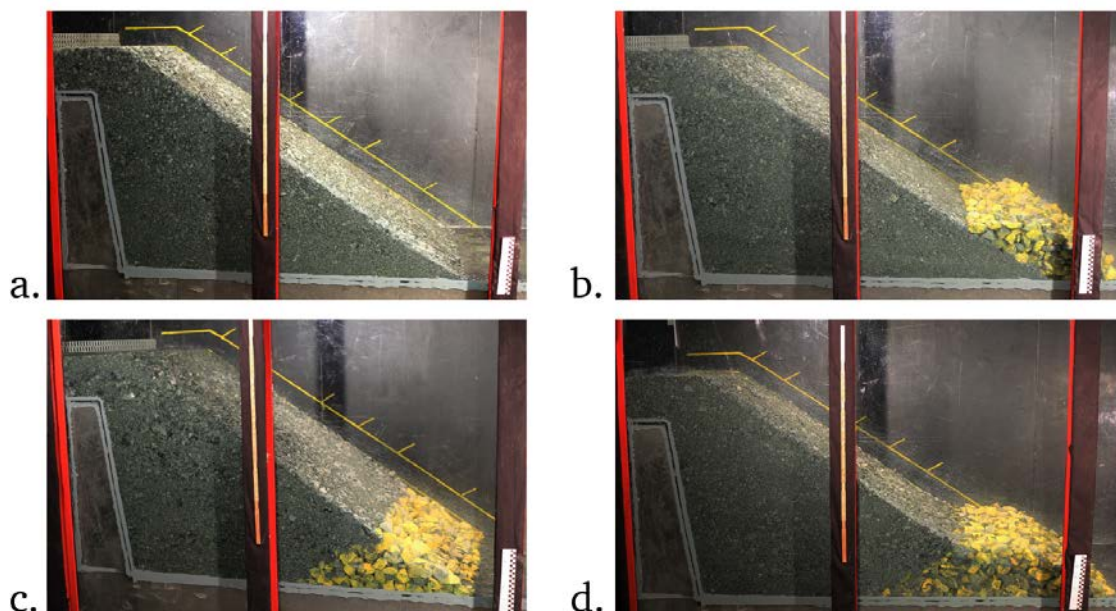
3.1 Fysiske modellforsøk

Overtopping og relaterte fenomen, hvor nedstrøms skulder blir satt under høy belastning, finnes å være hovedårsak til ulykker i fyllingsdammer (Foster et al., 2000; Zhang et al., 2009). For fremtidens

rehabiliteringer av fyllingsdammer, er et viktig aspekt å undersøke drenasjekapasiteten ved ulike utforminger av damtåa. Enkelte forhenhværende studier på plastrings-stabilitet, og generell damstabilitet, har stadfestet viktigheten av damtåa (EBL Kompetanse, 2005; Morán & Toledo, 2011; Ravindra et al., 2018). Med utgangspunkt i norsk designpraksis ble det gjort fysiske modellforsøk av tre ulike tå-konfigurasjoner for en nedstrøms skråning av en fyllingsdam i skala 1:10. Målsetningen var å undersøke hvilken effekt tå-konfigurasjonen hadde på poretrykksutviklingen ved overtopping av damkjernen.

Modellen representerer nedstrøms halvdel av en fyllingsdam med en tett kjerne (se Figur 2). Kroma og nedstrømsskulder var av velgradert materiale som var representativt for en nedskalert fyllingsdam. Oppbyggingen av dammen foregikk i 100 mm tykke lag, som ble komprimert for hånd. Tåmaterialet bestod av steinstørrelser som tilsvarende representerte nedskalert tåstein. Under dammen ble det gjort ti poretrykksmålinger i lengden av dammen. I tillegg til poretrykket, ble det gjort målinger av tilsiget og vannstand i oppstrøms magasin.

Modellen ble testet i fire ulike oppsett; uten tå, med intern tå, ekstern tå, eller med kombinert intern og ekstern tå. Ferdigbygget modell, med de utvalgte tå-konfigurasjoner, ses i Figur 2. Forsøkene ble utført ved å fylle oppstrøms magasin til kanten av kjernen, deretter ble vannføringen satt til 1,0 l/s. Tilsiget ble økt hvert 30. minutt inntil dammen sviktet. Ved å analysere data fra poretrykksmålingene ble effekten av ulike tå-konfigurasjoner undersøkt. Det ble funnet signifikant reduksjon i poretrykket for den interne og kombinerte tåa. Den eksterne tåa ga ingen signifikant endring i poretrykket, men bidro positivt til sikkerhet mot erosjon av tå-seksjonen.



Figur 2: Bilder av de ulike tå-konfigurasjoner, hvor a) viser uten tå, b) ekstern tå, c) intern tå og d) kombinert tå. Tåsteinene er malt gule for å forenkle opprydningen etter gjennomført forsøk.

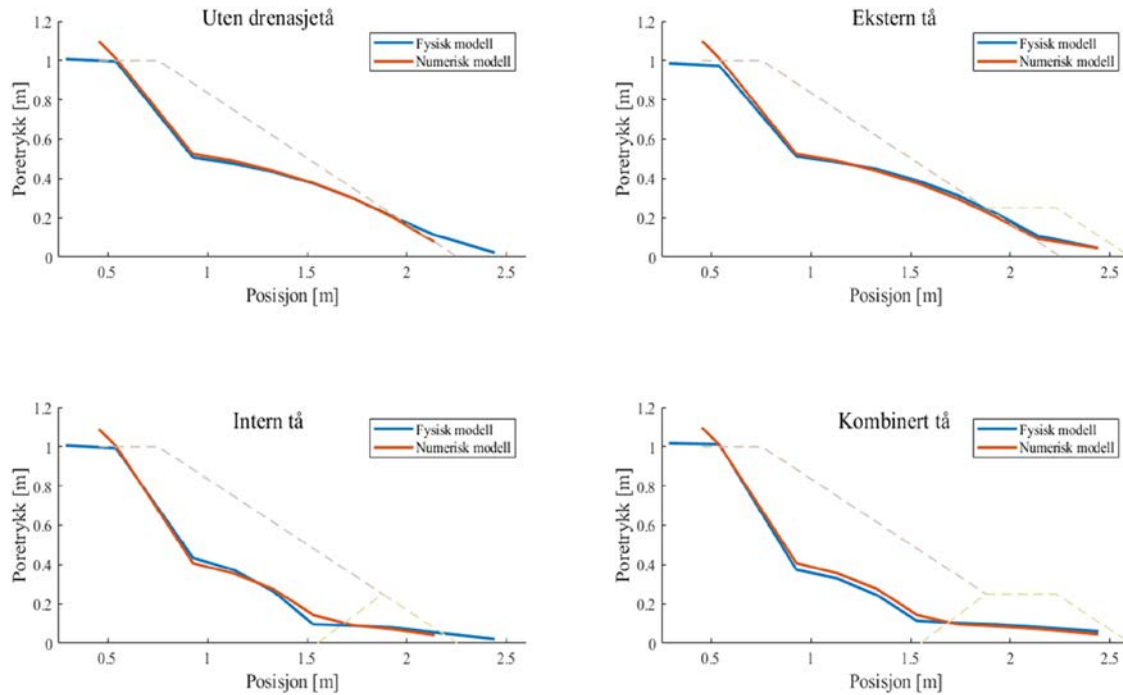
3.2 Numerisk modellering

I fortsettelse av de fysiske modellforsøk for 1:10 fyllingsdam, var det ønskelig å kalibrere og validere en numerisk modell i FEM programvaren Seep/W (Smith, 2020). Her var materialegenskapene godt kjent, samt resultatene for gjennomstrømning og poretrykksutvikling var gitt for kalibrering. Tidligere studier har benyttet Seep/W eller andre FEM-programmer for å validere utforming av fyllingsdammer eller analyse av gjennomstrømning (Fattah et al., 2014, Morán & Toledo, 2011; Kheiri et al., 2020). Disse studier benyttet alle laminære strømningsforhold. Storskalaforsøkene utført av EBL Kompetanse (2005) ble også validert gjennom en laminær Seep/W modell, hvor anisotropiske strømningsforhold ble benyttet som tilnærming for ikke-laminære strømningsforhold.

Det er etablert at strømningsforholdene i fyllingsdammer er forventet i turbulent regime, da fyllingsmaterialet inneholder porer av høyere størrelsesorden. GeoStudio har lansert en utvidelse for ikke-laminære strømninger, tilgjengelig som et programtillegg. Her benyttes Darcy-Forchheimers andregrads uttrykk for å beskrive strømmingen gjennom porøst materiale. I dette programtillegg blir permeabilitetskoeffisienten erstattet av en *apparent conductivity* som er en funksjon av vannhastigheten, dermed tilnærmes en ikke-lineær atferd i fyllingsmaterialet. Parameterne for å definere konduktiviteten er basert på Van Genuchten (1980) utledning av hydraulisk konduktivitet i umettet jord.

Analysene ble gjort i stasjonær tilstand, med materialegenskaper definert fra de fysiske forsøk. For hvert tidsteg, med tilhørende tilsig, ble en numerisk analyse kjørt. De numeriske resultatene for poretrykksutviklingen ble sammenholdt med resultatene av de fysiske forsøk, og parameterne for den hydrauliske konduktivitet ble kalibrert fra differansen.

Modellen ble funnet til å gjengi poretrykksutviklingen meget presist for de ulike tå-konfigurasjoner og tilsig, med en RMSE på 0,023 m for de sentrale målinger. Noen begrensinger er gjeldende, spesielt ved inn- og utløp, da den numeriske modell ikke håndterer frispeilstrømning utenfor modelldomenet. Sammenligningen av numerisk modell og fysiske modellforsøk kan ses i Figur 3.



Figur 3: Sammenligning av fysiske og numeriske modeller, for alle fire konfigurasjoner med tilsig 3,0 l/s. De stiplede linjer viser en skisse av dammen og eventuelt tåen (Smith, 2020).

3.3 Oppsummering av fysiske- og numeriske modellforsøk

Fra de fysiske modellforsøk kan det konkluderes at den interne tåa resulterer i den høyeste poretrykksreduksjonen i de mest sårbare områder av fyllingsdammen. Resultatene kan brukes i vurderingen av drenasjekapasiteten på eksisterende fyllingsdammer, samt utvikling av designpraksis. For å trekke konklusjoner mellom modell og prototyp er det viktig at strømningsforholdene er sammenlignbare. Den ikke-laminære programutvidelsen for Seep/W ble funnet å gjengi strømningsforholdene godt i dette tilfellet. For videreutvikling og for å teste mulighetene for oppskalering av den numeriske modellen, vil det være viktig å sammenligne modellen i større skala mot en nylig konstruert eller renovert fyllingsdam med data for gjennomstrømning og materialeegenskaper.

Referanser:

- EBL Kompetanse AS. (2005). *Report on sub-project 2, stability of downstream shell and dam toe during large through-flow*, In *Stability and breaching of embankment dams*.
- Fattah, M., Al-Labban, S. & Salman, F. (2014). *Seepage analysis of a zoned earth dam by finite elements*. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 5, pp. 128–139.
- Foster, M., Fell, R. & Spannagle, M. (2000). *Statistics of embankment dam failures and accidents*. *Canadian Geotechnical Journal*, 37, pp. 1000–1024.
- Hiller, P. H. (2017). *Riprap design on the downstream slopes of rockfill dams*. *Doctoral Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim*.
- Hiller, P. H., Aberle, J., & Lia, L. (2018). *Displacements as failure origin of placed riprap on steep slopes*. *Journal of Hydraulic Research*, 56(2), 141–155.
- Kheiri, G., Javdanian, H. & Shams, G. (2020). *A numerical modeling study on the seepage under embankment dams*. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6.
- Morán, R. & Toledo, M. (2011). *Research into protection of rockfill dams from overtopping using rockfill downstream toes*. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 38, pp. 1314–1326.
- Ravindra, G. H. R. (2020). *Hydraulic and structural evaluation of rockfill dam behavior when exposed to throughflow and overtopping scenarios*. PhD thesis, Norwegian University of Science and Technology.
- Ravindra, G. H. R., Gronz, O., Dost, B., & Sigtryggisdottir, F. G. (2020a). *Failure mechanism in placed riprap on steep slope with unsupported toe*. *Engineering Structures*.
- Ravindra, G. H. R., Sigtryggisdottir, F. G., Asbølmo, M. F., & Lia, L. (2019). *Toe support conditions for placed ripraps on rockfill dams- A field survey*. *Vann*, 3.
- Ravindra, G. H. R., Sigtryggisdottir, F. G., & Lia, L. (2020). *Buckling analogy for 2D deformation of placed ripraps exposed to overtopping*. *Journal of Hydraulic Research*.
- Ravindra, G. H. R., Sigtryggisdóttir, F. G. & Lia, L. (2018). *Protection of embankment dam toe and abutments under overtopping conditions*, In *Third international conference on protection against overtopping*, Grange-over-Sands, UK.
- Smith, Nils Solheim. (2020). *Physical and numerical modelling of extreme flow through rockfill dams*. MSc thesis, Norwegian University of Science and Technology.
- Van Genuchten, M. (1980). *A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils*. *Soil Science Society of America Journal*, 44.
- Zhang, L., Xu, Y. & Jia, J. (2009). *Analysis of earth dam failures: A database approach*. *Georisk*, 3, 184–189.