

Återställning av bottenutskov: Erfarenhetsåterföring från förstudie till idrifttagning ur strömningsteknisk synpunkt

Pierre-Louis Ligier

SwedCOLD temadag, 2023-10-24

Inledning

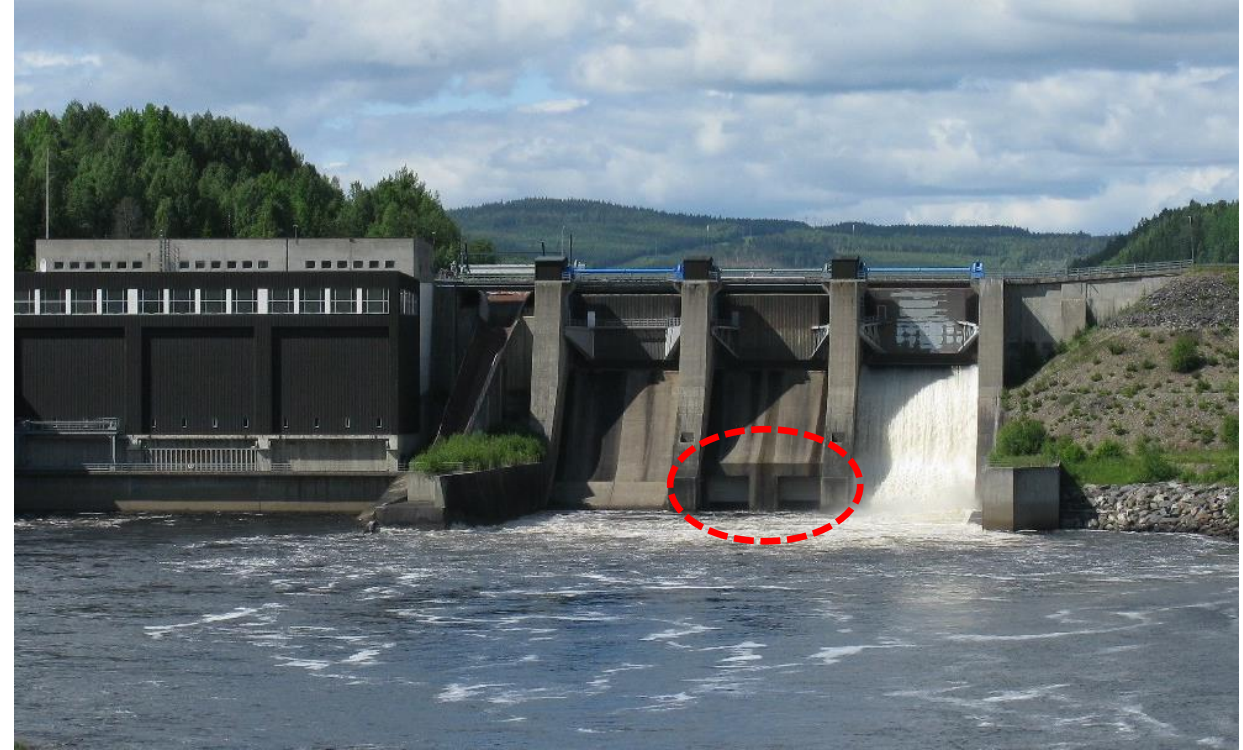
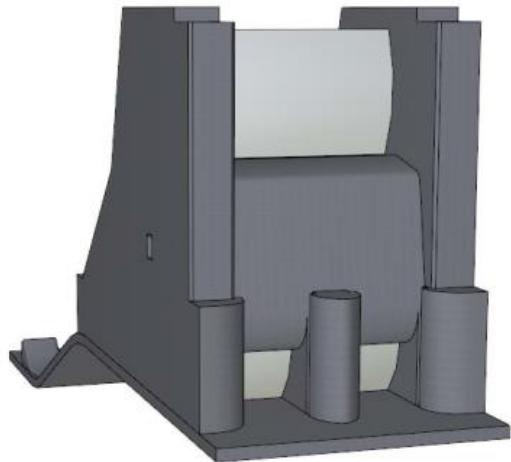
- Många svenska dammar har byggts med bottenutskov som dimensionerades för att uppfylla följande funktioner:
 - Omlöp under byggtid
 - Kontrollerad fyllning av magasinet
- Har oftast ej dimensionerats för avbördning vid normala drift- och högflödessituationer
- De flesta bottenutskov togs ur drift efter idrifttagning av anläggningen och nyttjades inte sedan dess
- Behov för återställande kopplat till dammsäkerhet:
 - För att erhålla extra avbördningskapacitet (ökning av dimensionerande flöde och/eller redundans i avbördningsfunktionen)
 - För att möjliggöra avsänkning av magasinen under befintlig lägsta tappningsnivå (inget särskilt krav i Sverige)
- Återställandet av bottenutskov är kopplat till tekniska utmaningar, vilket illustreras med hjälp av fallstudier på tre anläggningar
- Fokus på erfarenhetsåterföring från relevanta utredningsmoment, inte projektens aktuella skeden och besked
- Presentationen fokuserar på strömningstekniska aspekter

Tekniska utmaningar

- Ska fungera med högre ÖVY än ursprunglig design, högre maximala avbördningsflöden:
 - Belastning, varaktighet
 - Kavitation
 - Luftbehov
 - Interaktion med andra utskov
- Svår åtkomlighet
- Uppgradering av mekanisk utrustning
- Vibrationer
- Ofta svårt att skapa redundans i avstängningsfunktionen
- Reservdrift
- Arbetsmiljö:
 - Undertryck, lufthastigheter
 - Slussdörrar
- ...

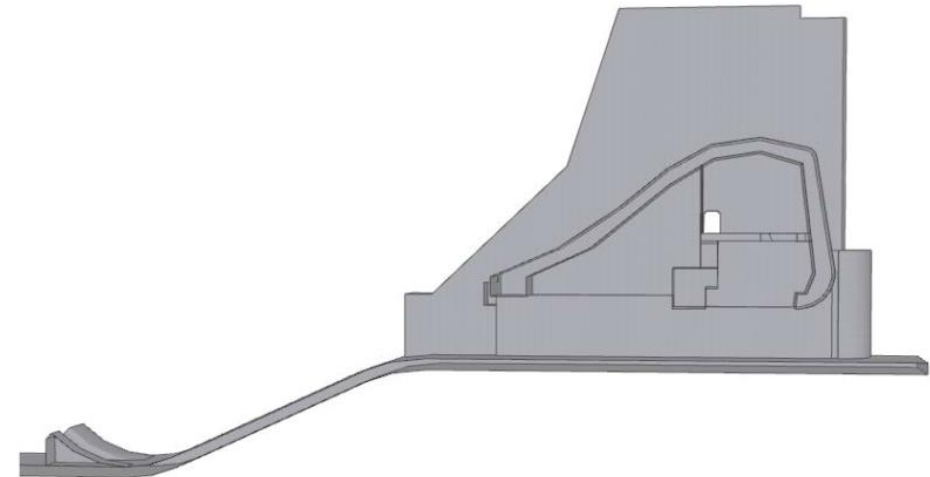
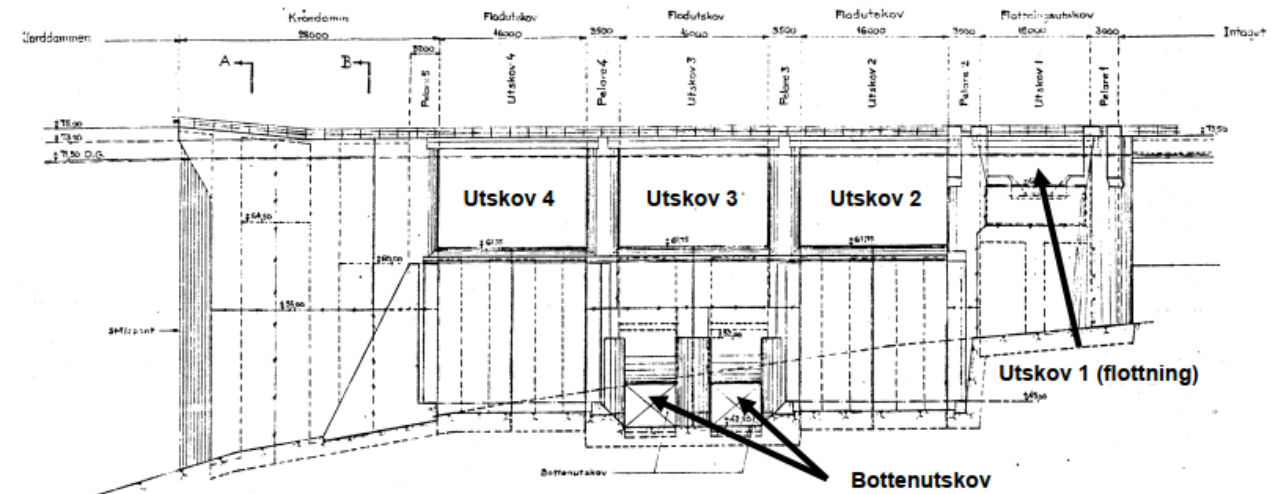
Fallstudie Moforsen: presentation av anläggningen

- Uniper
- Ångermanälven
- I drift sedan 1968
- Ytutskov: 3 st. 16 m breda segmentluckor + flottningsutskov (ej i drift)
- Bottenutskov:
 - Under mittersta ytutskov
 - Tröskelnivå 29 m under DG
 - 2 st. segmentluckor (B = 5,5 m, H = 4,5 m)
- Syfte: redundans i avbördningsfunktionen



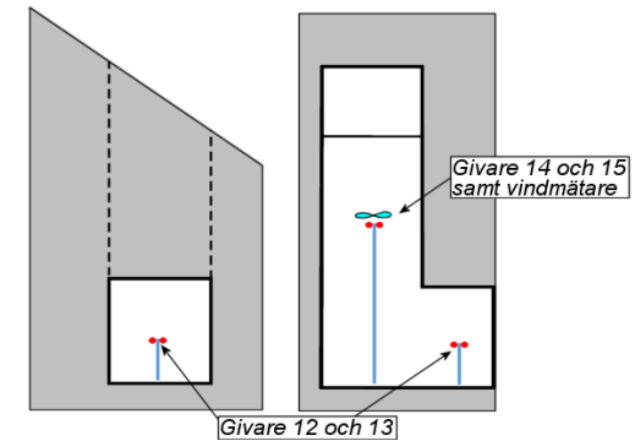
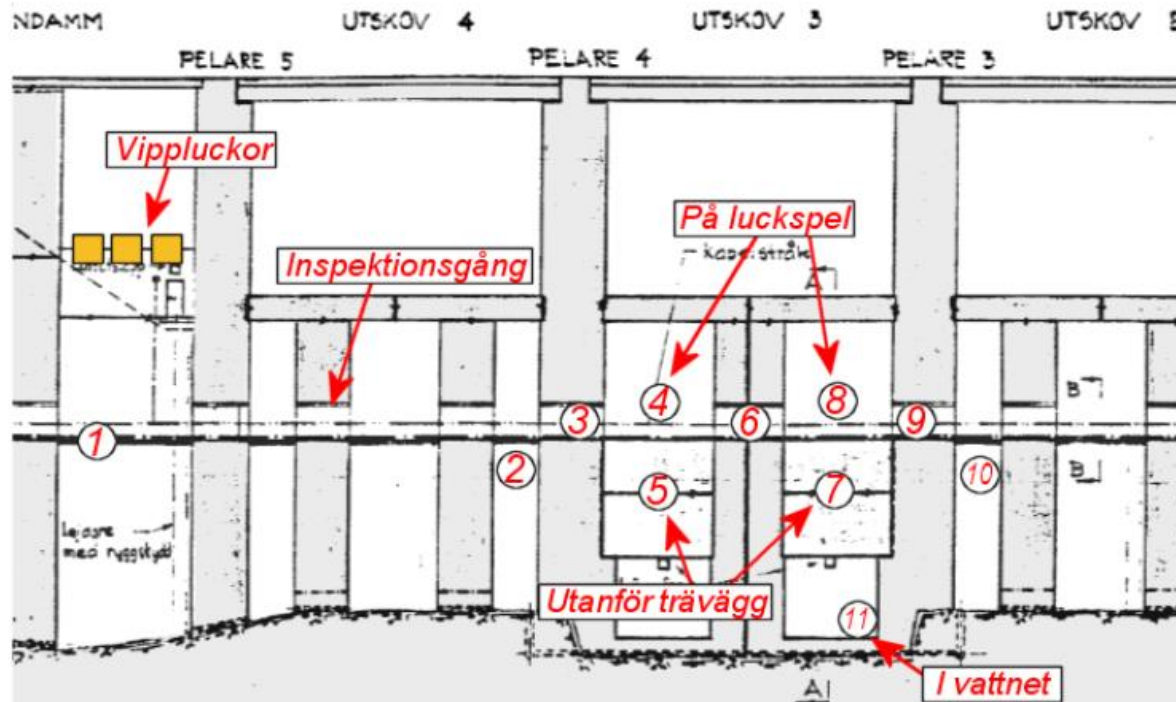
Fallstudie Moforsen – 2017-2018: Förstudie

- Syfte:
 - Definiera ev. åtgärder inför återställning av bottenutskov
 - Uppskatta bottenutskovens avbördningskapacitet
- Provtappning ytutskov och mätningar av lufttryck och luft hastighet i bottenutskovet och luftningsanordningar
- CFD-utredning (KTH):
 - Vatten och luft
 - Kalibrering mot observationer från provtappning
 - Analys av strömningsförhållanden i bottenutskovet
 - Samverkan mellan yt- och bottenutskov
 - Energiomvandling



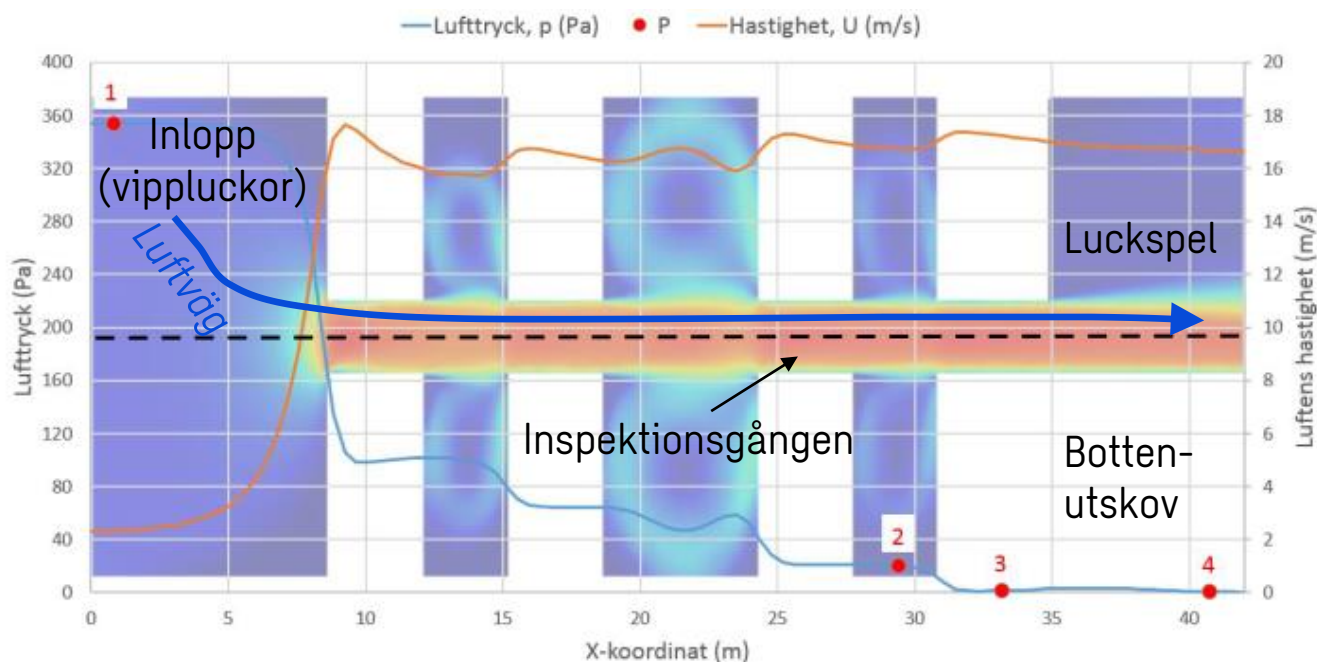
Fallstudie Moforsen – 2017-2018: Förstudie

- Provtappning:
 - Tappning från mittersta ytutskov (0,7-1,4-2,1 m lucköppning)
 - Mätning av lufttryck i inspektionsgången och lufthastighet i luftningsanordningar (luftschakt vid ytutskovets pelare)
 - Utrustning: divers och flygel



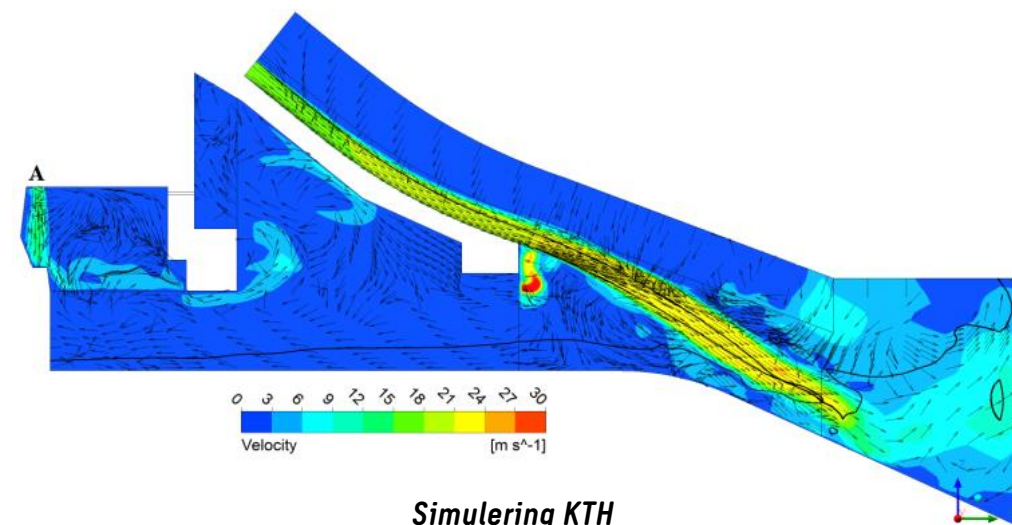
Fallstudie Moforsen – 2017-2018: Förstudie

- Provtappning:
 - Maximal avbördning ytutskov: 280 m³/s (2,1 m lucköppning)
 - Lägsta uppmätta lufttryck vid luckspel: -710 Pa
 - Luftflöden räknades fram utifrån uppmätta fallförluster utmed luftvägen (kalibrering av fallförlustkoefficienter i inspektionsgången mha. 2D CFD-simulering):



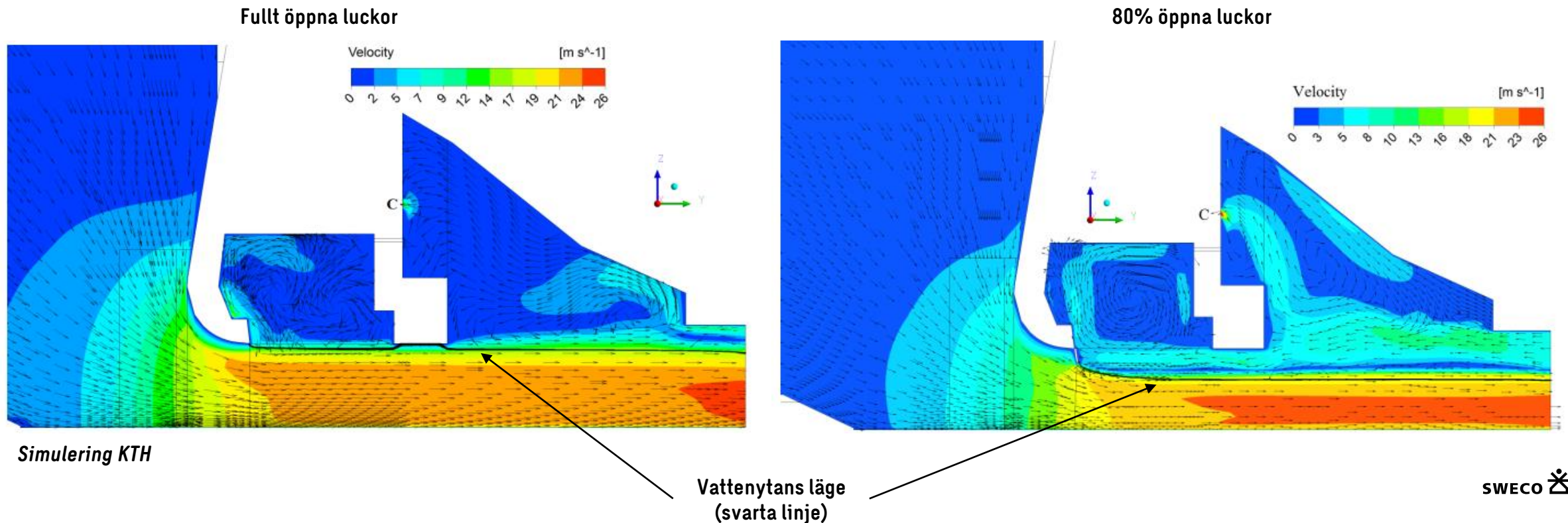
- Bra överensstämmelse mellan framräknade luftflöden utifrån uppmätta lufttryck och resultat från CFD-simulering:

Parameter	CFD-beräkning	Provtappning
Avbördning	272 m ³ /s	280 m ³ /s (lucktabellen)
Luftflöde genom schakt	50 m ³ /s	47 m ³ /s resp. 49 m ³ /s
Luftflöde från utskovsrum	66 m ³ /s	53 m ³ /s



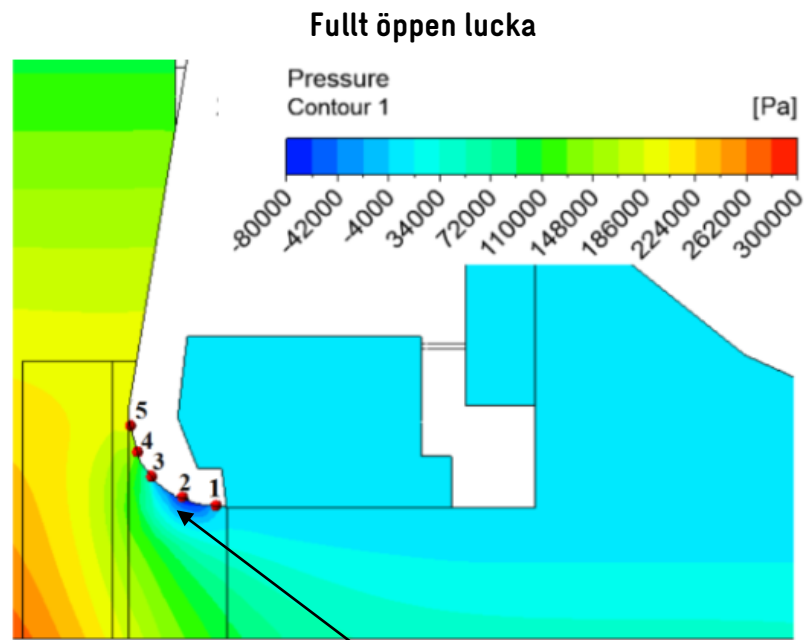
Fallstudie Moforsen – 2017-2018: Förstudie

- Strömingsförhållanden i bottenutskovet:
 - Fullt öppna luckor: mycket begränsat fribord mot betongbalk
 - 80% öppna luckor: tillfredsställande fribord



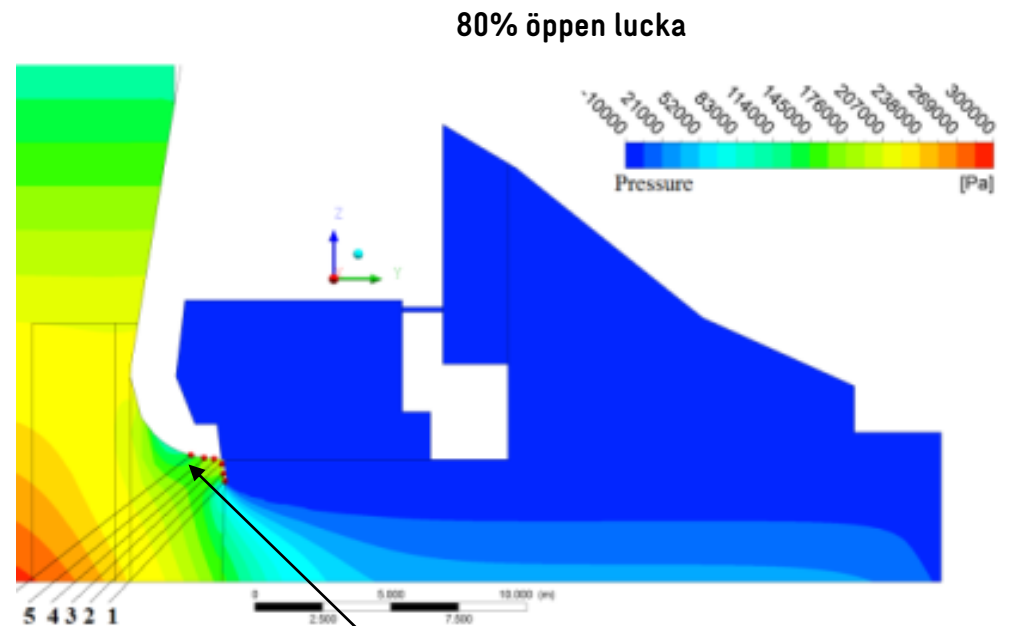
Fallstudie Moforsen – 2017-2018: Förstudie

- Strömingsförhållanden i bottenutskovet:
 - Fullt öppen lucka: stort undertryck vid inloppets överkant, potentiell risk för kavitation (ej aktuell, plåtbelagt inlopp)
 - 80% öppen lucka: luckläget möjliggör att eliminera undertrycket + tillfredsställande fribord → rekommenderas



Simulering KTH

ca -80 kPa undertryck



Inget undertryck

Fallstudie Moforsen – 2017-2018: Förstudie

- Slutsatser:

- Tappning med fullt öppna luckor bör undvikas (ej tillräckligt fribord)
- Tappning med 80% öppna luckor ger tillfredsställande strömningsförhållanden
- Maximal lucköppning bör identifieras i samband med provtappning
- Avbördningskapacitet vid DG:

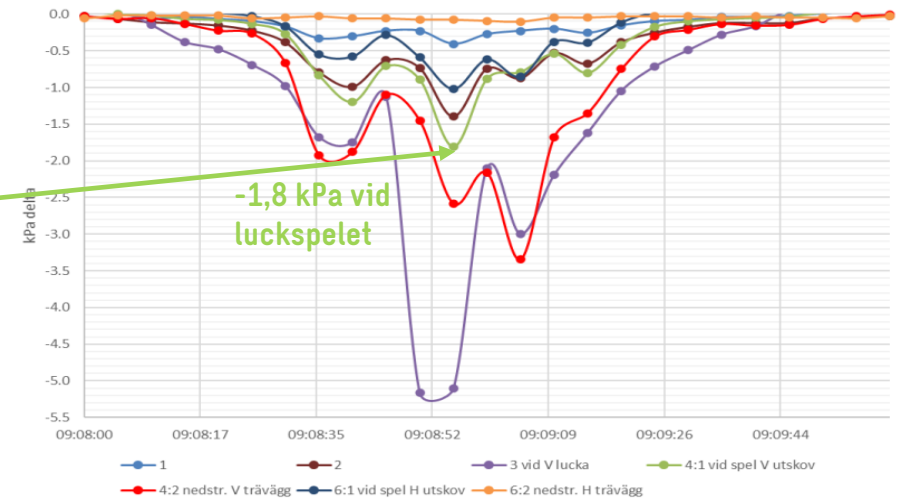
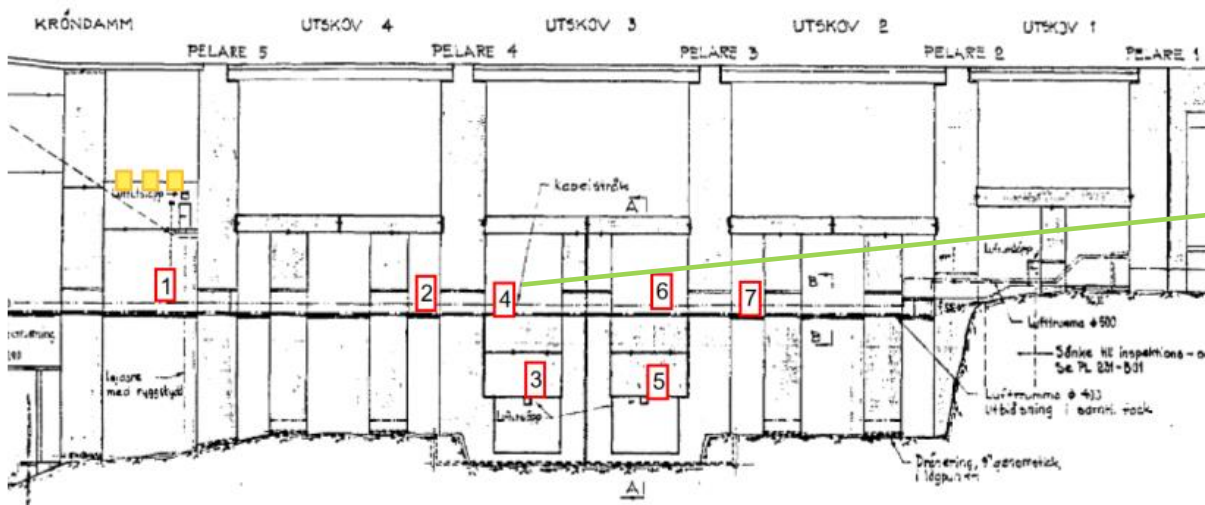
	Bottenutskov, 2 st. fullt öppna luckor	Bottenutskov, 2 st. 80% öppna luckor
Avbördningskapacitet	916 m ³ /s	656 m ³ /s
Andel av ytutskovets avbördningskapacitet	32%	23%

- Begränsningar:

- Antaget lufttryck vid luckspelet motsvarar uppmätt tryck vid provtappning från mittersta ytutskov
- Osäkerheter kring aktuellt luftbehov vid tappning från bottenutskovet
- Små lucköppningar har inte undersökts

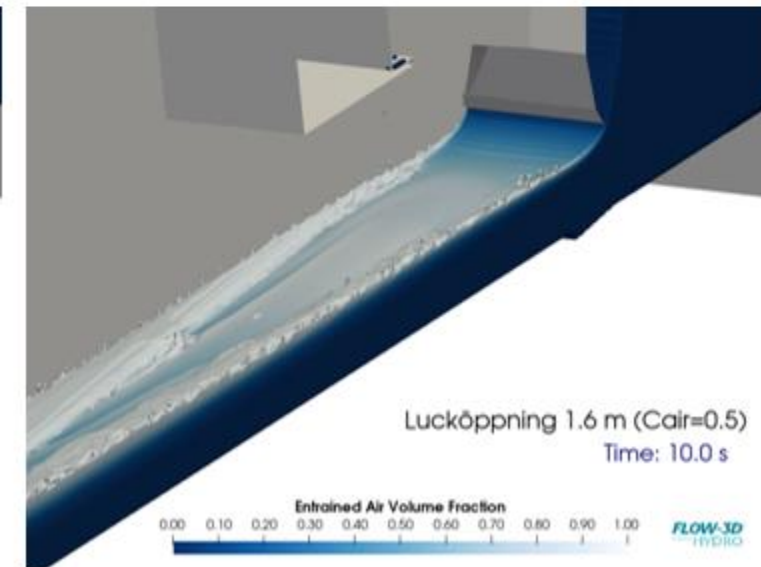
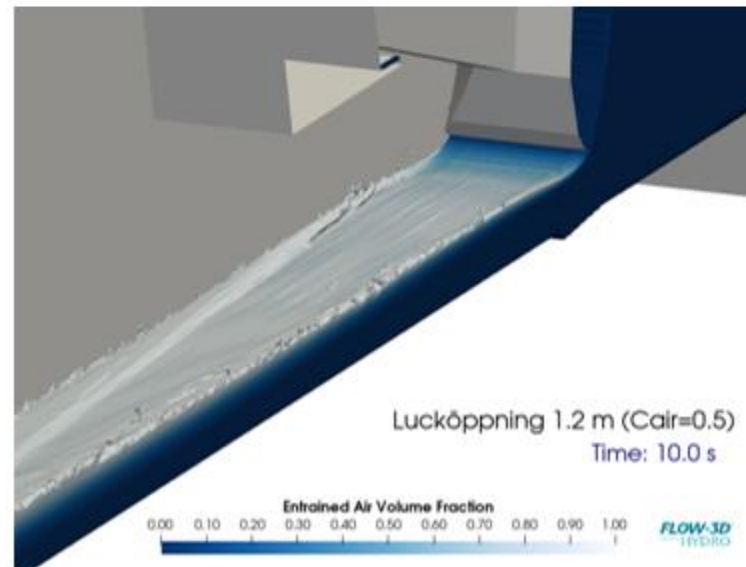
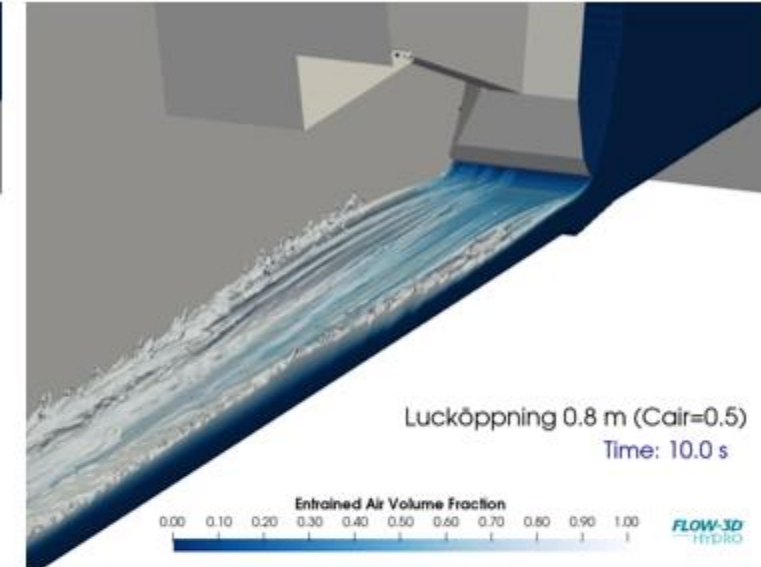
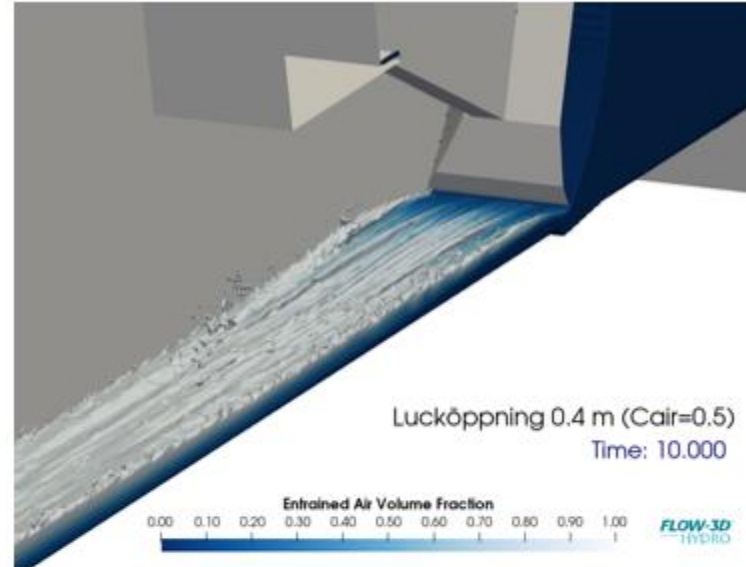
Fallstudie Moforsen – 2022: första provtappning

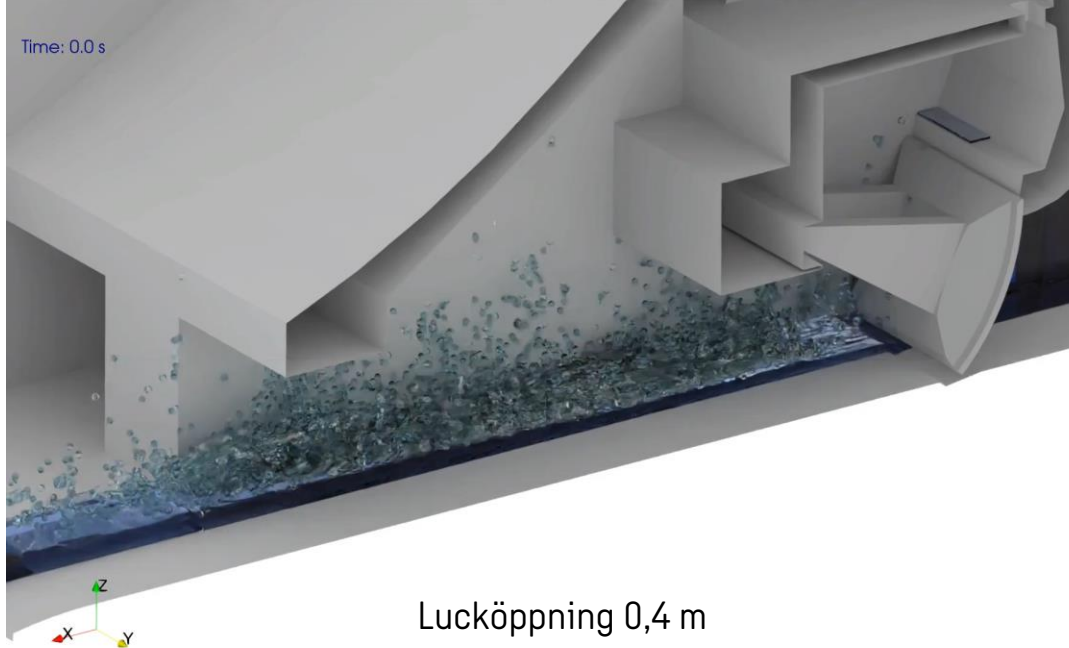
- Projektering och arbeten: 2018-2020
- Första provtappning augusti 2022:
 - Mätningar av lufttryck utmed luftvägen
 - Omfattande spray vid små lucköppningar
 - Störst undertryck vid luckspelet (där personal stod): -1,8 kPa
 - Obehag, arbetsmiljörisk
 - Testen avbröts



Fallstudie Moforsen – 2023: spray-utredning

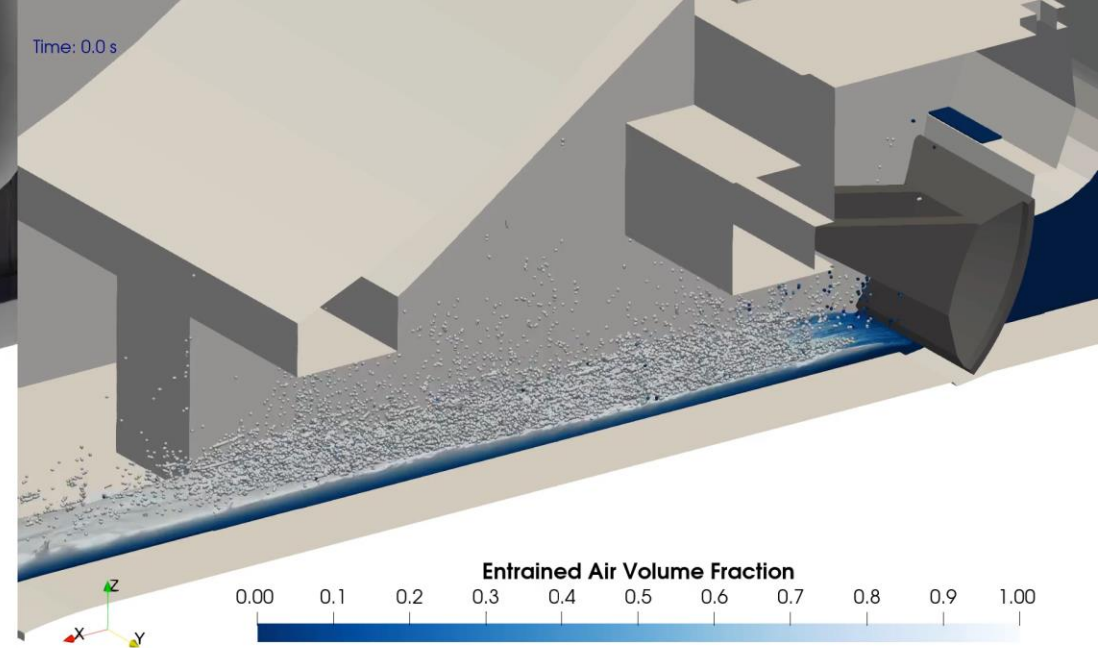
- Syfte: identifiera lucköppningen vid vilken fenomenet avtar
- CFD-simuleringar vid 4 st. lucköppningar:
 - 0,4-0,8-1,2-1,6 m
- För lucköppning $\leq 0,8$ m:
 - Rå/turbulent vattenyta, betydande luftinblandning även i djupet
 - Spray bedöms kunna förekomma
- För lucköppning $\geq 1,2$ m:
 - Mer slätt vattenyta, luftinblandning begränsad till ytan
 - Spray bedöms inte kunna förekomma



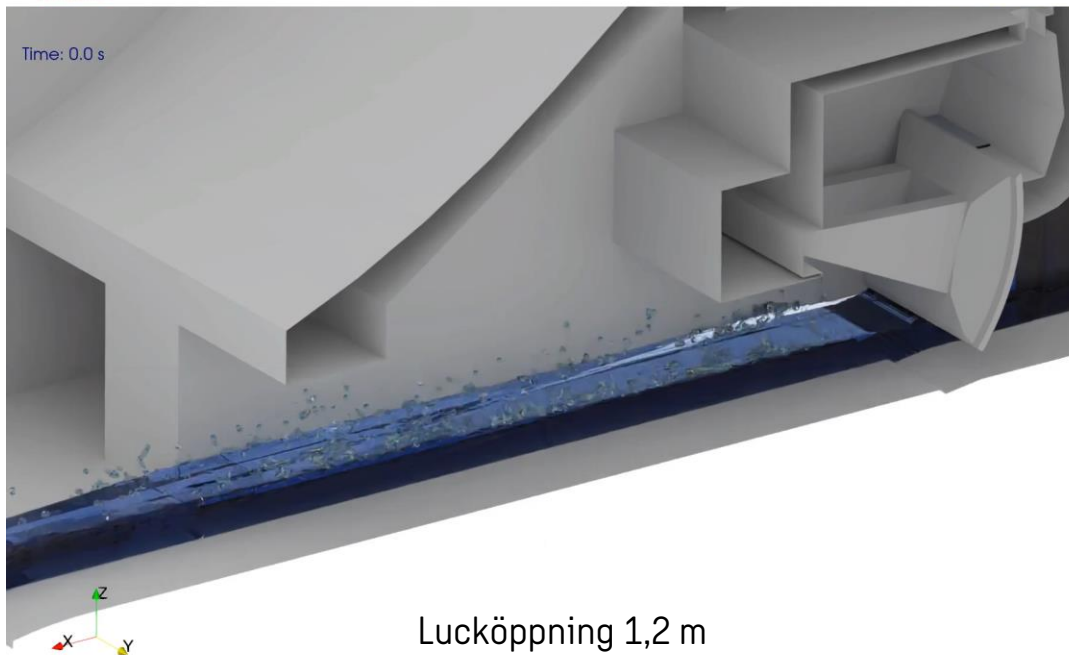


Lucköppning 0,4 m

FLOW-3D
HYDRO

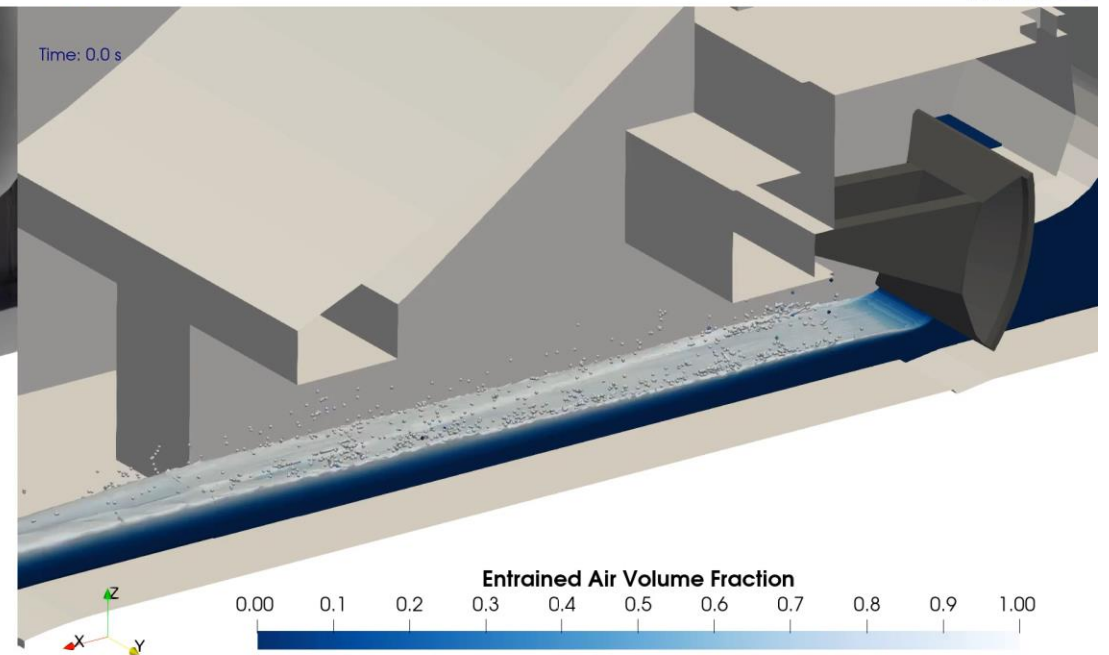


SWECO



Lucköppning 1,2 m

FLOW-3D
HYDRO



SWECO

Fallstudie Moforsen – 2023: åtgärder mht undertryck

- Syfte: definiera och simulera åtgärder som tillåter att minimera undertrycket i dammen (arbetsmiljö)
- Uppställning av träluckor vid isoleringsväggen (luckspel):
 - Stor inverkan på minskning av undertryck
 - Enkel åtgärd
- Åtgärder vid bottenutskovets utlopp (spalt, rör):
 - Effektiv även vid spray
 - Osäkerheter vid samtidig tappning från ytutskovet
 - Förhållandevis enkla åtgärder
- Borrat rör från högra sida:
 - Effektiv vid samtidig tappning från ytutskovet
 - Omfattande åtgärd



Fallstudie Rätan: presentation av anläggningen

- Uniper
- Ljungan
- I drift sedan 1968
- Ytuskov: 2 st. 12 m breda segmentluckor + 1 st. 12 m bred sektorlucka (mittersta)
- Bottenuskov:
 - Under högra ytuskov
 - Tröskelnivå 26 m under DG
 - 1 st. segmentlucka (B = 6 m, H = 2,85 m)
- Syfte: redundans i avbördningsfunktionen



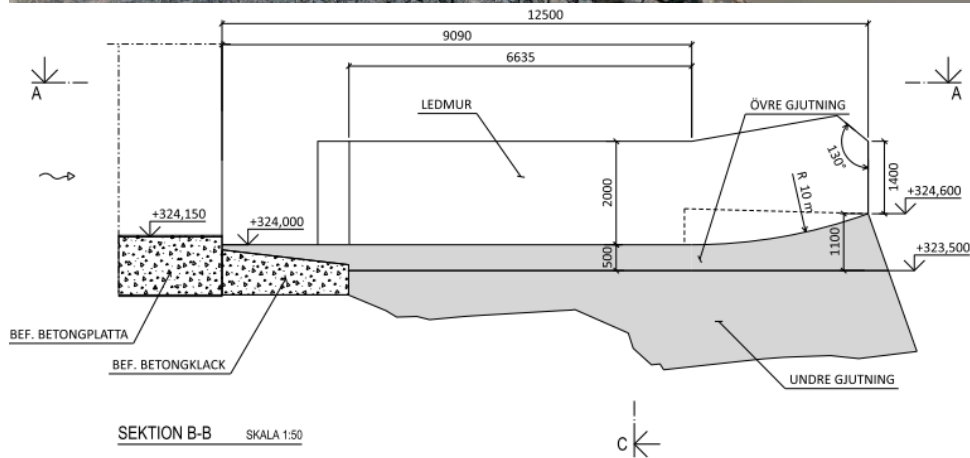
Fallstudie Rätan: bergerosion nedströms utloppet

- Bergerosion skedde under provtappning



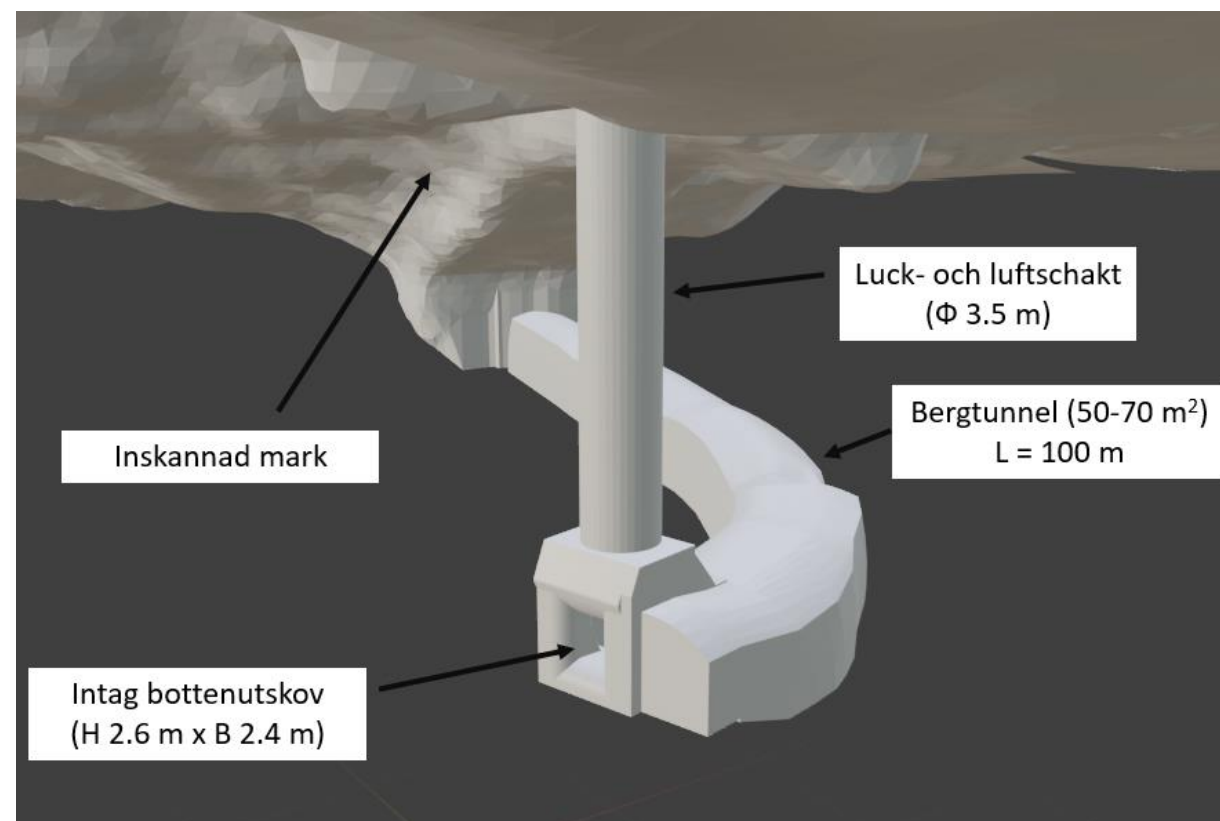
Fallstudie Rätan: bergerosion nedströms utloppet

- Anläggning av en flip-bucket



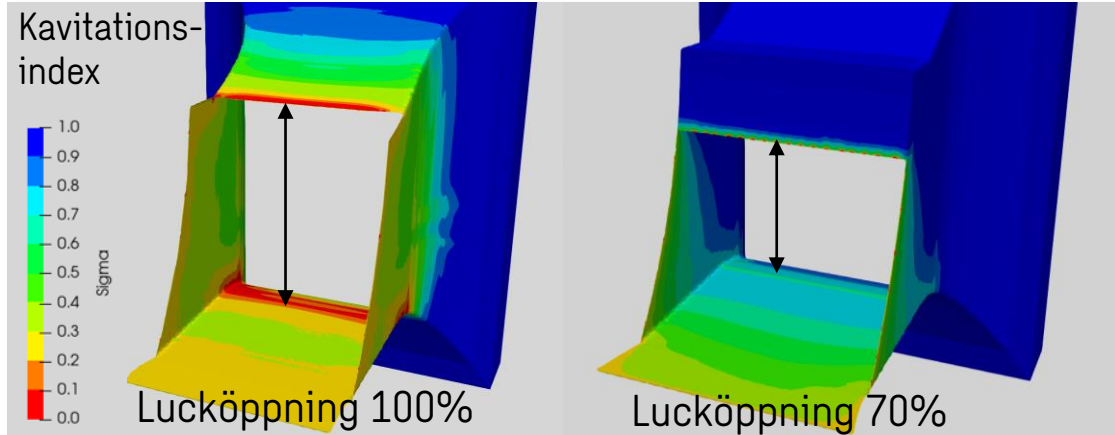
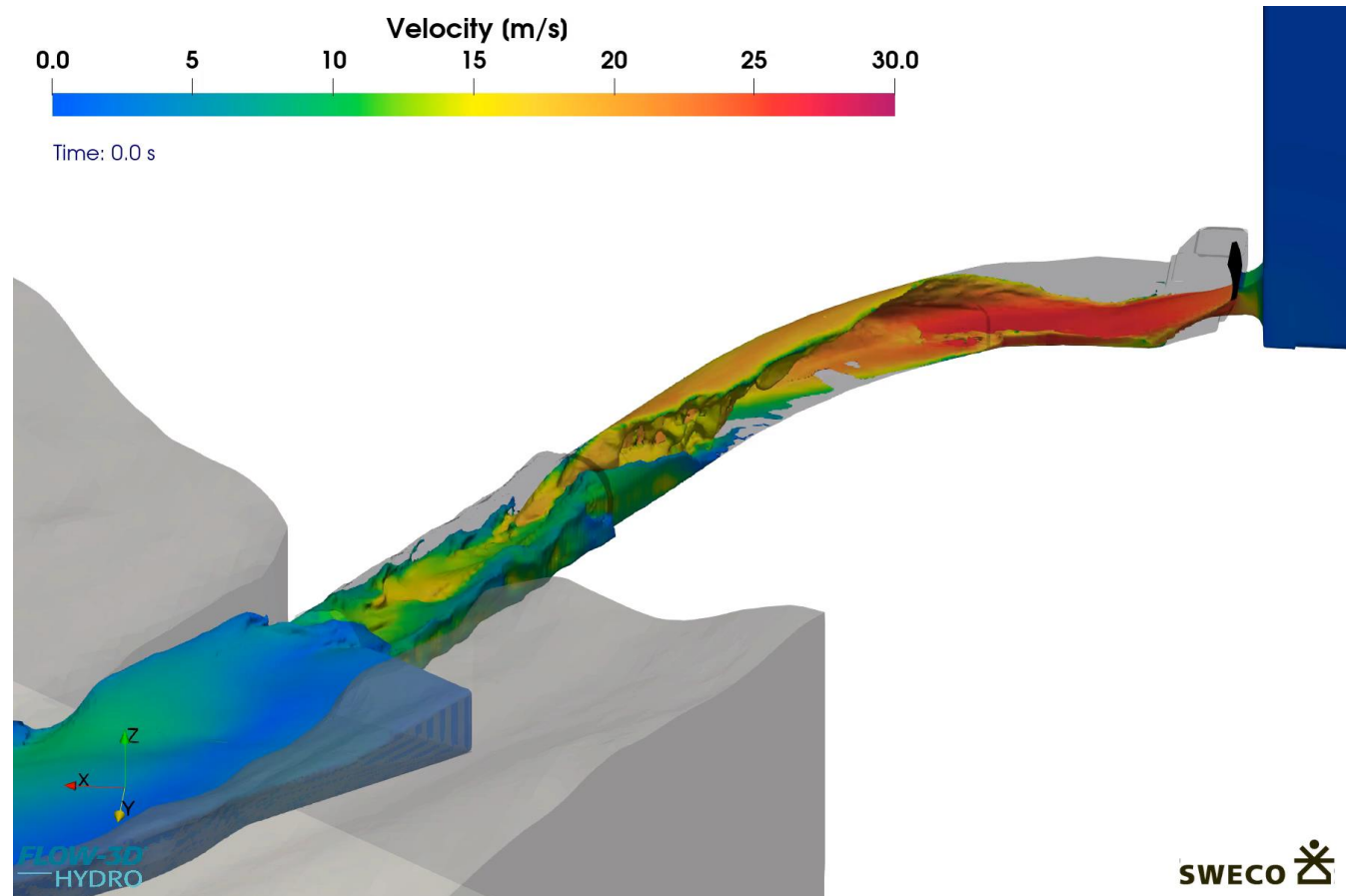
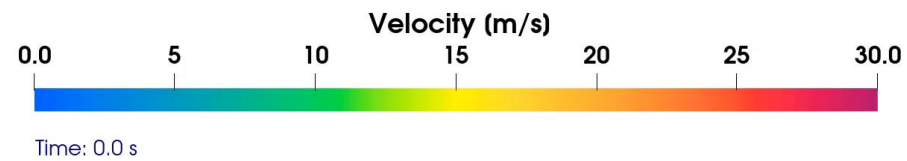
Fallstudie Dabbsjö: presentation av anläggningen

- Statkraft
- Fjällsjöälven (Saxälven)
- I drift sedan 1969
- Ytutskov: 2 st. 8 m breda planluckor (hjulluckor)
- 77 m lång överfallströskel
- Bottenutskov:
 - I bergschakt bredvid intag, ansluts till en tunnel och sedan avbördningskanal (ytutskov)
 - Tröskelnivå 37 m under DG
 - 1 st. segmentlucka (B = 2,4 m, H = 2,6 m)
- Syfte:
 - Magasinsavsänkning:
 - Bara ett aggregat
 - Ytutskovets tröskel hög j.f.m. regleringsamplitud
 - Befintlig avbördningskapacitet är tillräcklig
- Beslut om idrifttagning ej taget ännu



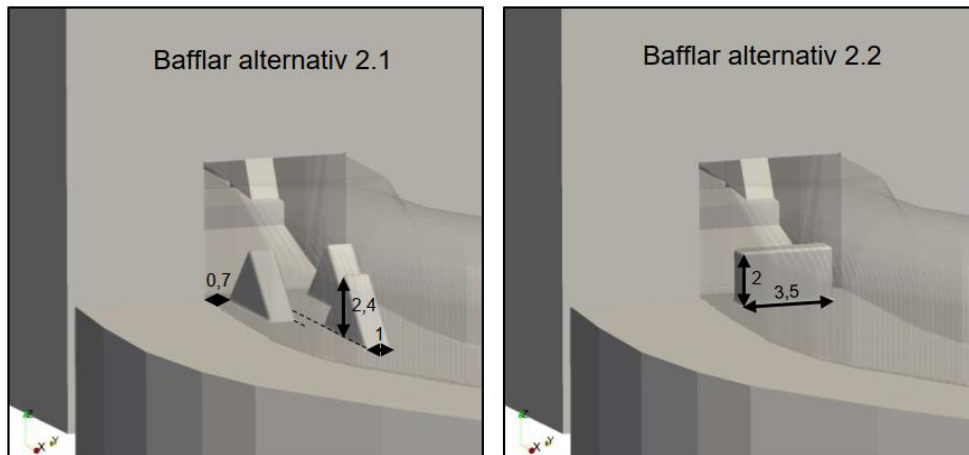
Fallstudie Dabbsjö: en strömningstekniskt utmaning

- Fallhöjd på 37 m ner till bottenutskovet:
 - Mycket höga hastigheter
 - Kavitationsrisk
- Krök tunnel: komplexa strömningförhållanden
 - Hög belastning, kräver förstärkning
 - Hög turbulens
 - Luftbehov
- Magasinsavsänkning: långa tappningsvaraktigheter

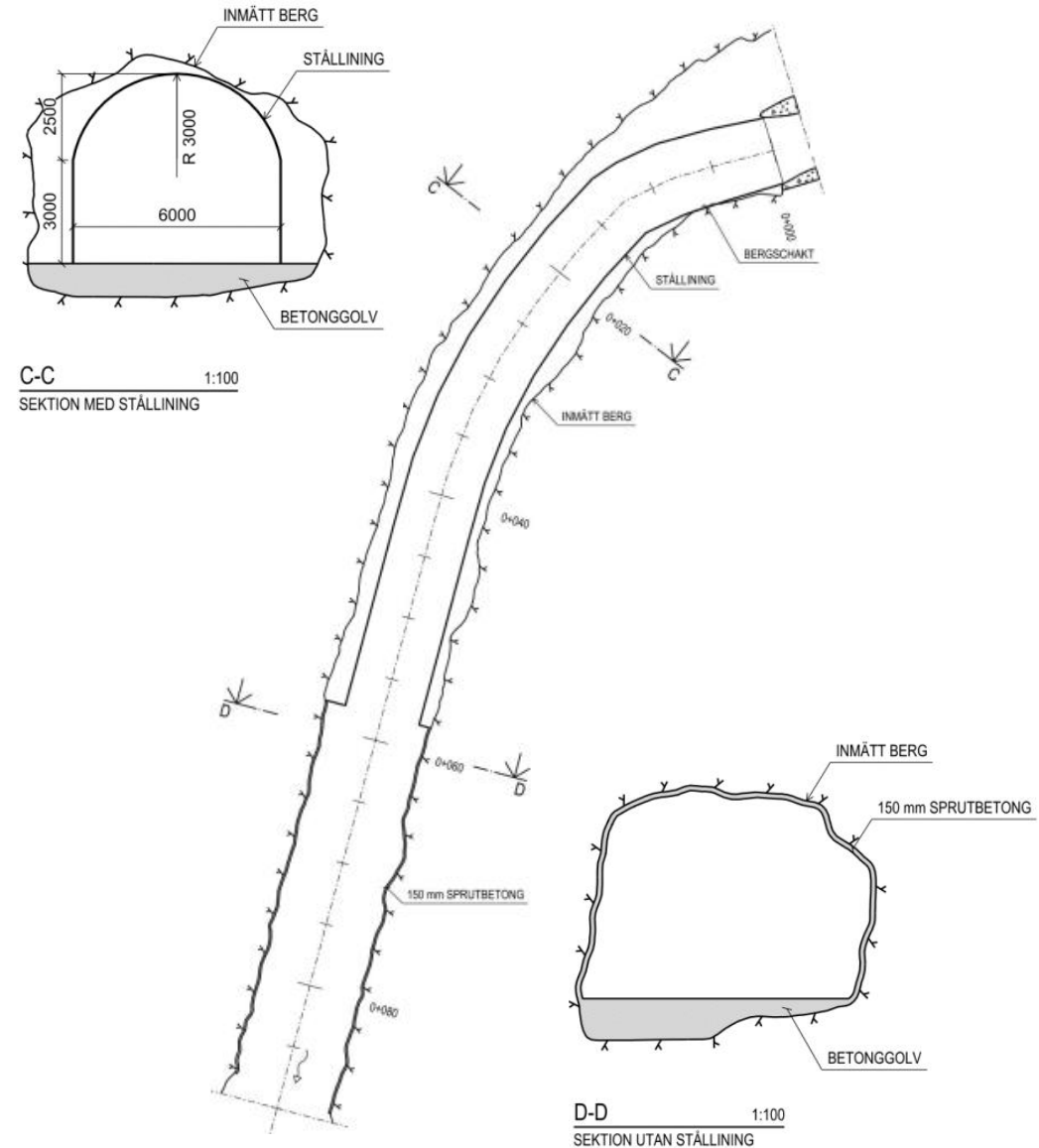


Fallstudie Dabbsjö: en strömningstekniskt utmaning

- Förstärkningsåtgärder tunnel:
 - Ställning
 - Betonggolv
 - Sprutbetong (vid lägst belastning)
- Åtgärder energiomvandling / luftbehov:
 - Bafflar:

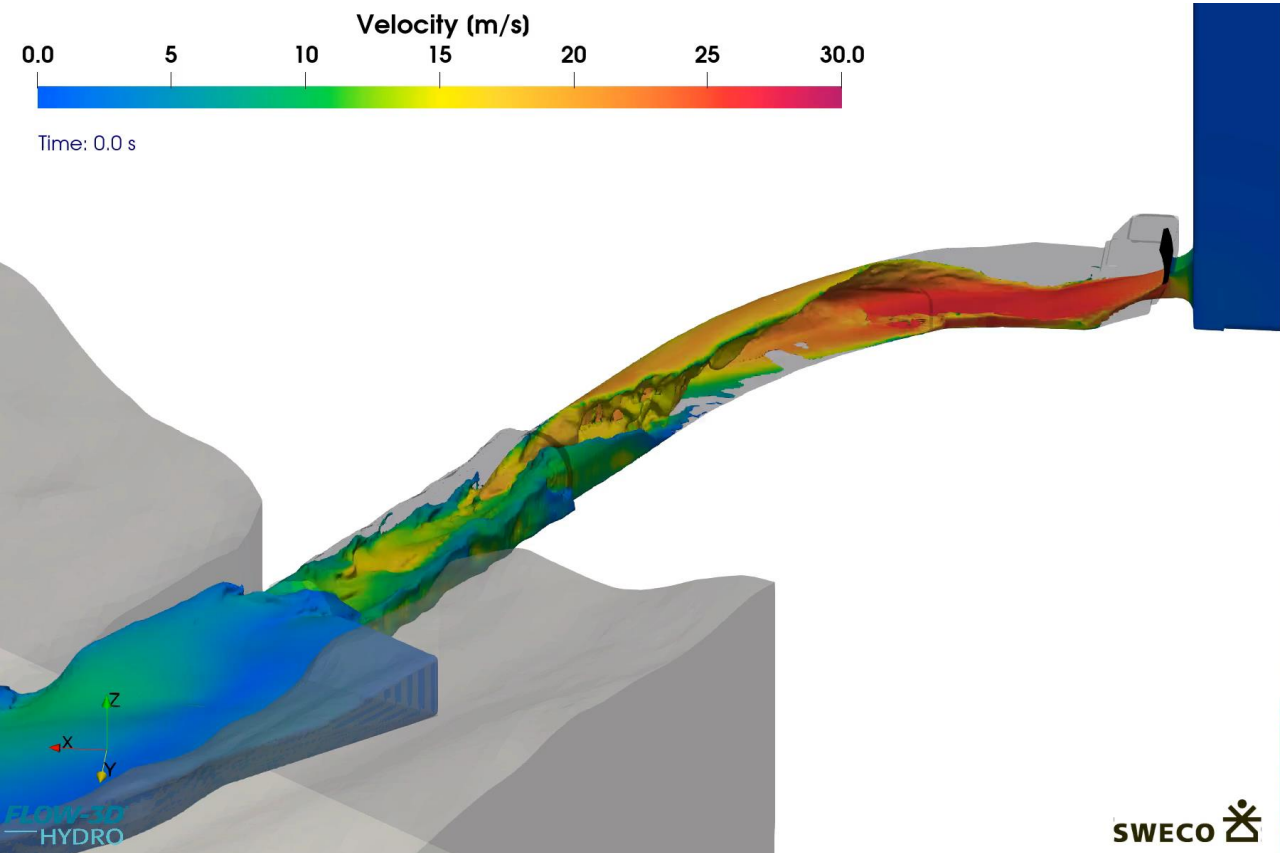
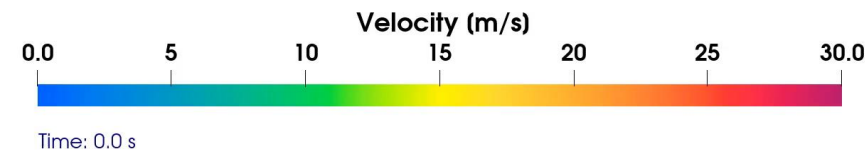


- Tröskel vid tunnellen mynning (för att fylla upp tunneln, kraftigt minskat luftbehov)

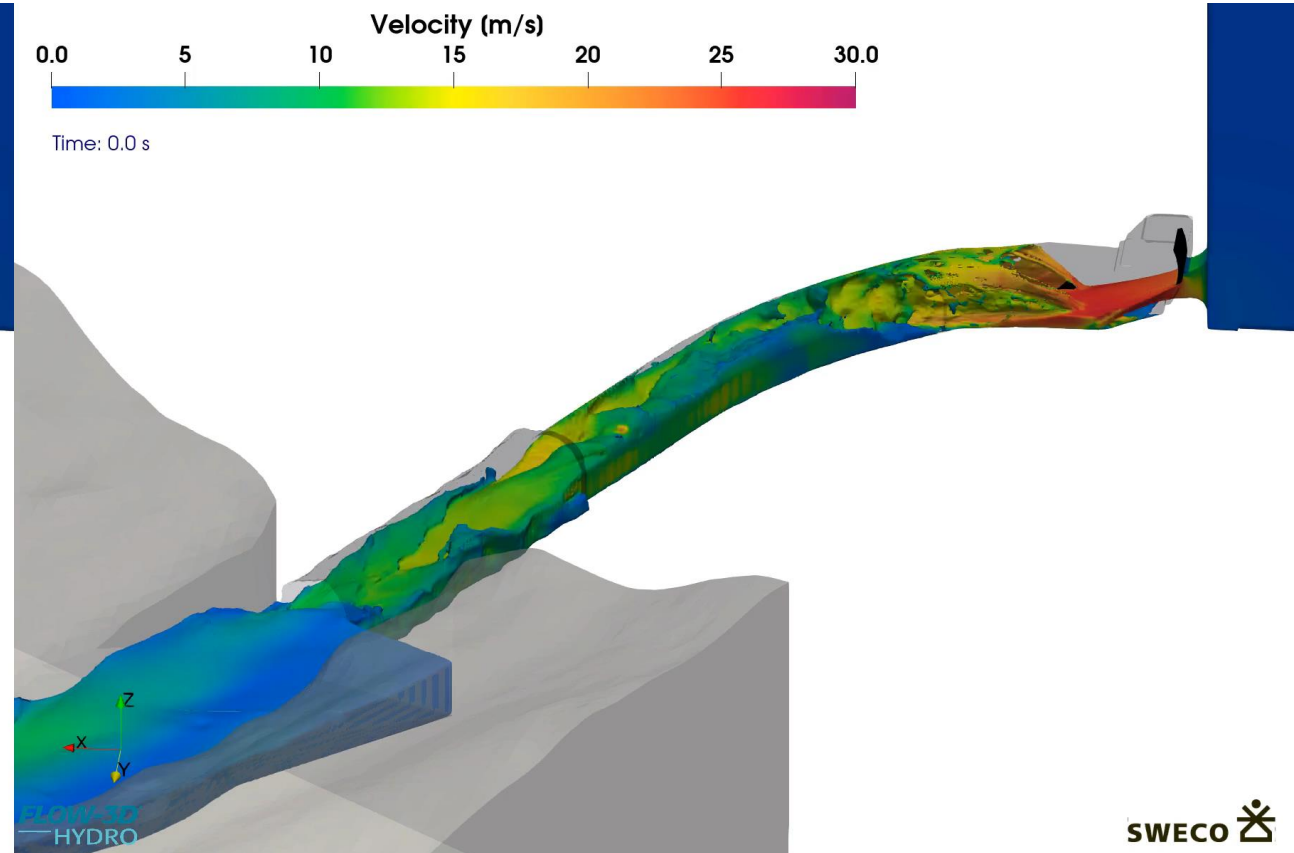
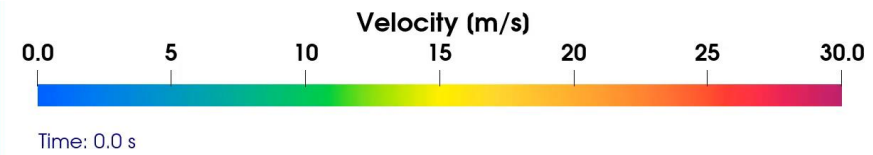


Fallstudie Dabbsjö: en strömningstekniskt utmaning

Förstärkt tunnel (alt. 1)

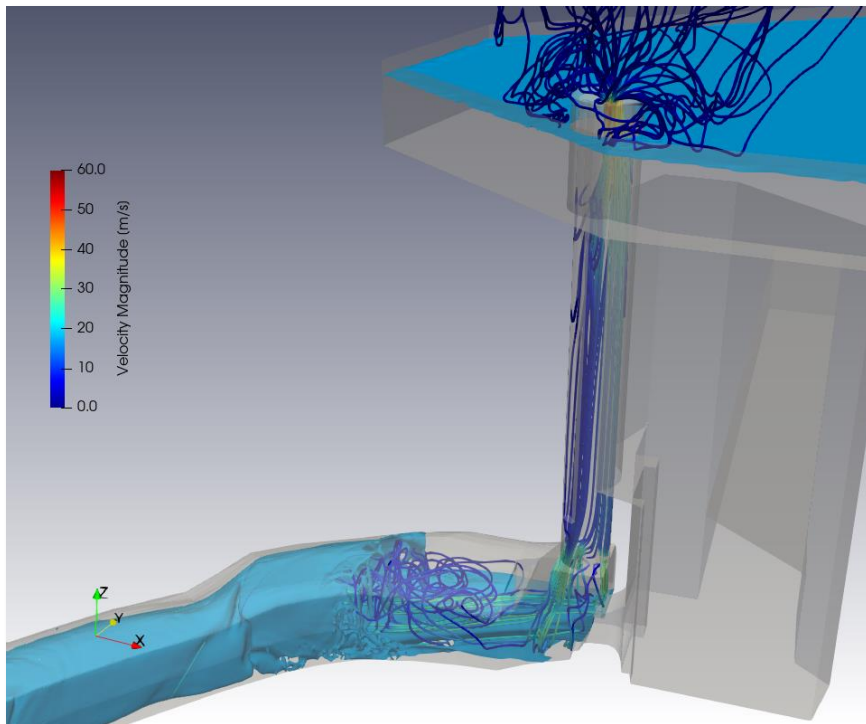


Förstärkt tunnel och bafflar (alt. 2.1)

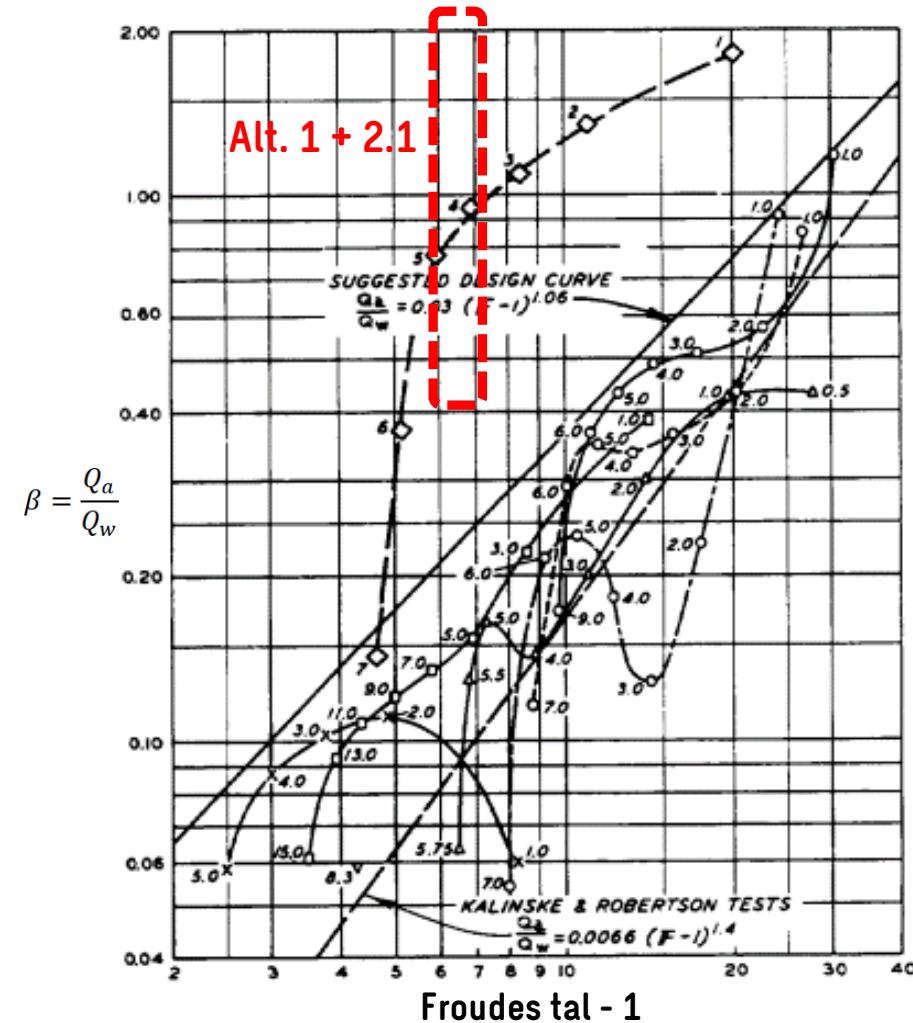


Fallstudie Dabbsjö: en strömningstekniskt utmaning

- Luftbehov:
 - Höga lufthastigheter i luftschakt (upp till 60 m/s)
 - Undertryck (ca 1,5 kPa)
 - Arbetsmiljörisk, framkomlighet



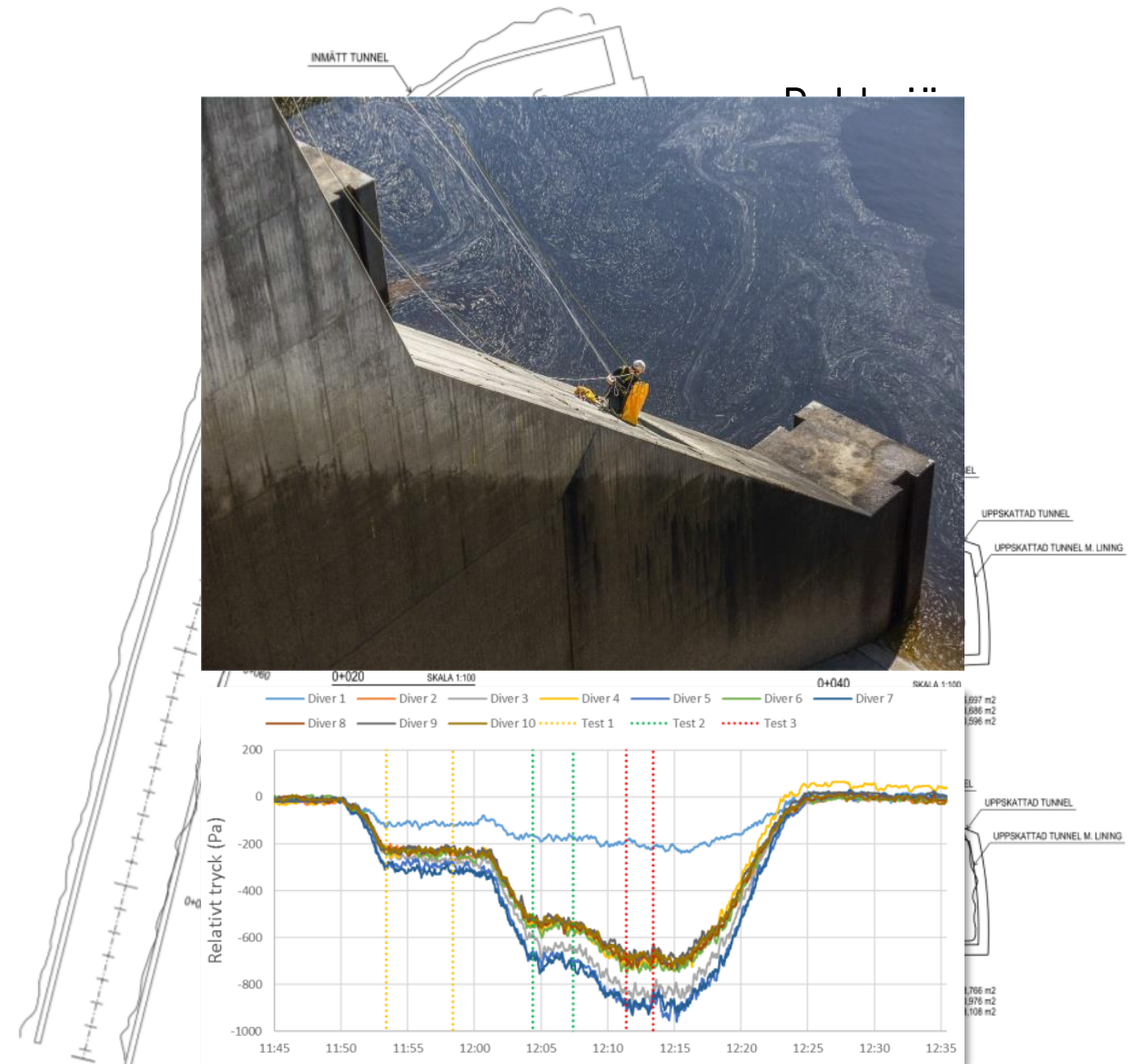
- Ogynnsam konfiguration, stora osäkerheter:



US Army Corps of Engineers (1980)

Erforderligt underlag

- Geometri:
 - Byggritningar kan vara osäkra
 - Höga hastigheter: små detaljer kan vara avgörande!
 - Magasinet: risk för drivgods (erosionsrisk, avstängning)
- Inspektioner, bergkvalitet, erosionsrisker
- Instrumentering och dokumentering vid provtappning:
 - Viktigt att dokumentera flöde, hastigheter, tryck och nivåer (kalibreringsunderlag)
 - Luftbehov är ett komplext och osäkert fenomen
 - Bilder och filmer
- ...



Medverkande

- Uniper (Moforsen, Rätan): Uno Kuoljok, Petter Vesterberg
- Statkraft (Dabbsjö): Mikael Hernqvist
- Sweco:
 - Pierre-Louis Ligier (strömningsteknik, CFD)
 - Björn Eriksson (mekanik)
 - David Geijer (dammsäkerhet)
 - Julius Fritzell (strömningsteknik, CFD)
 - Fredrick Marelus (strömningsteknik)
 - Manouchehr Hassanzadeh (betong)
 - Och några fler!
- KTH (Moforsen 2017-2018):
 - James Yang

