



Norwegian University of  
Science and Technology

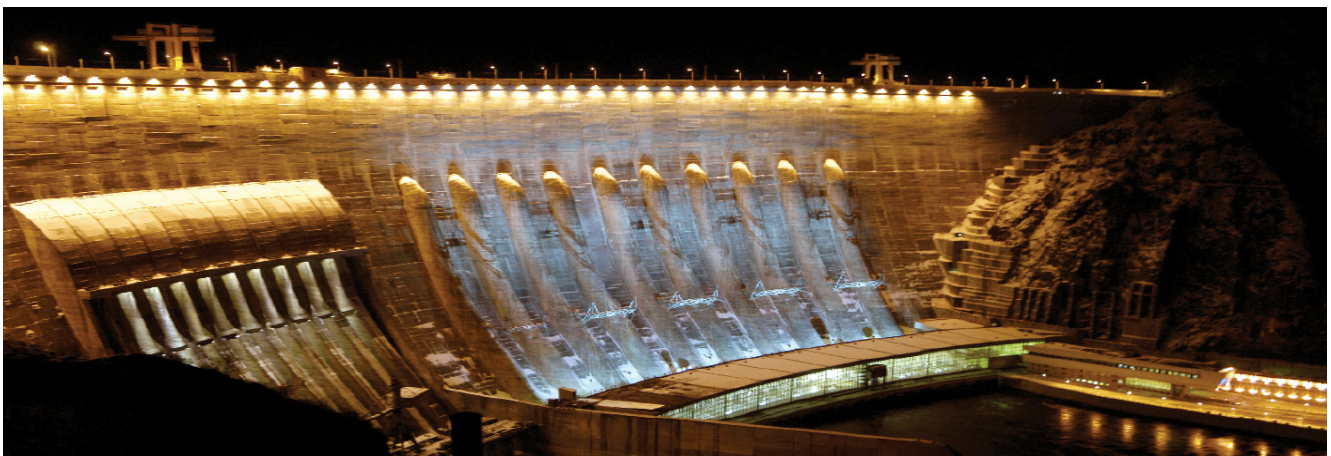


## Dypdykk i vannveien: Svingekammeret

Kaspar Vereide  
PhD Stipendiat

**CEDREN**

Centre for Environmental Design of Renewable Energy



Bakgrunn

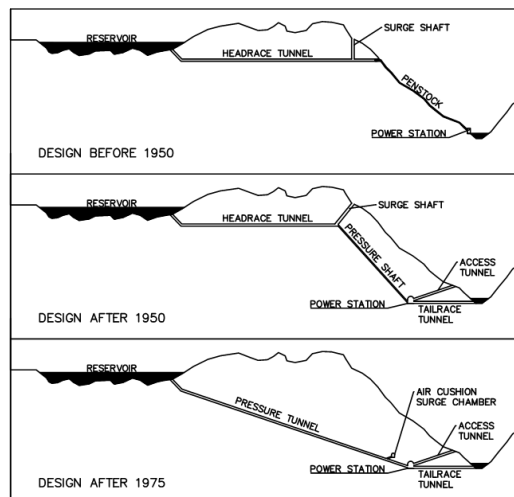
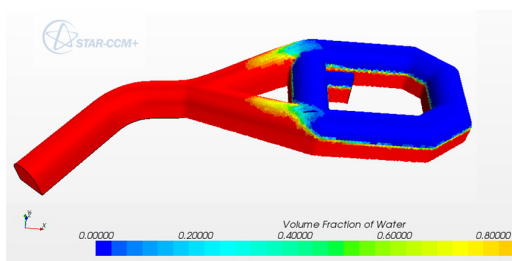
Hva er et svingekammer

Moderne design

Modellforsøk

# Bakgrunn

- ▶ Samarbeidsprosjekt med CEDREN, NTNU og Sira-Kvina kraftselskap
- ▶ Prosjekt over 4 år med feltmålinger, modellforsøk og numeriske studier



**CEDREN**

Centre for Environmental Design of Renewable Energy



# Motivasjon

- ▶ Svingekammeret styrer de hydrauliske kreftene i vannveien
- ▶ Bedre svingekammerdesign betyr:
  - Større frihet for regulering
  - Redusert dimensjonerende trykk
- ▶ Viktig ved effektkjøring og pumpekraft
  - Fra full pumping til full produksjon på 20 sekunder
  - 10 000 ganger i året?



**CEDREN**

Centre for Environmental Design of Renewable Energy



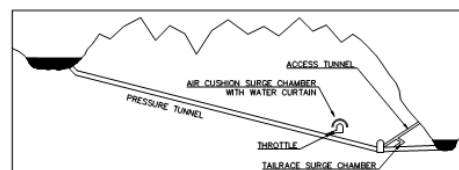


Bakgrunn  
 Hva er et svingekammer  
 Moderne design  
 Modelforsøk

## Hva er et svingekammer?

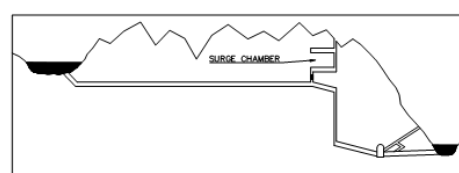
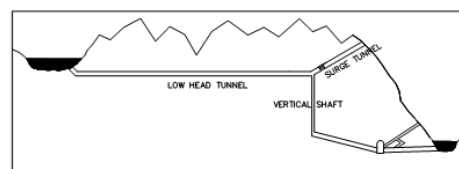
► Et fritt vannspeil nært turbinen

- Sjøkt/tunnel til dagen
- Tårn
- Trykkluftkammer



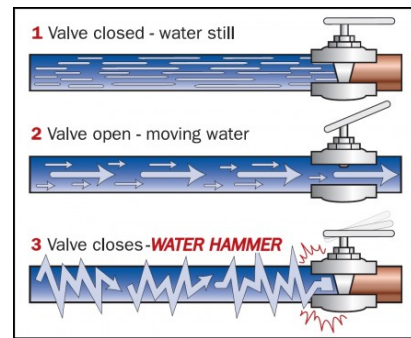
► Innføres grunnet to forhold:

- Trykkstøt
- Reguleringsstabilitet



# Trykkstøt

- ▶ Trykkstøt er elastiske trykkbølger
  - Analogt med semitrailer-krasj
  - Skapes ved regulering, oppstart og avslag
  
- ▶ Bestemt av Newtons 2. lov
  - Vannet akselereres
  - Vannet komprimeres
  - Trykkrefter oppstår



# Trykkstøt

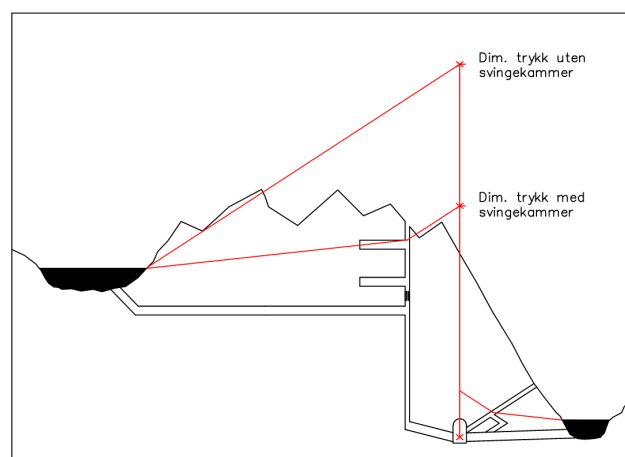
- ▶ Eksempel med  $v = 2\text{m/s}$ ,  $c = 1200\text{m/s}$ ,  $T_r = 2\text{s}$ ,  
 $T_l = 10\text{s}$

- ▶ Trykkstøt uten svingekammer

- $\Delta H = \frac{c \, dv}{g} = 240\text{mVS}$

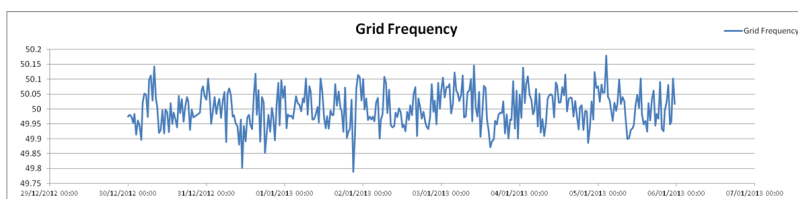
- ▶ Trykkstøt med svingekammer

- $\Delta H = \frac{c \, dv}{g} * \frac{T_r}{T_l} = 48\text{mVS}$



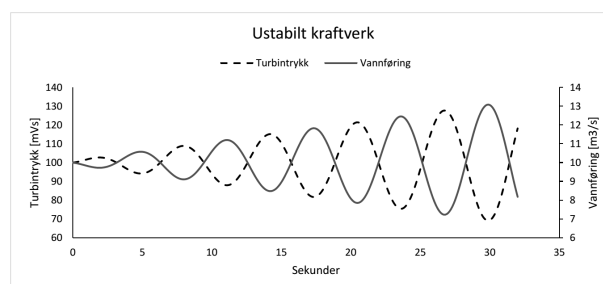
# Reguleringsstabilitet

- ▶ To forhold skal reguleres:
  - Frekvens i nettet
  - Produsert effekt
  
- ▶ Vannkraftverkene styrer nettfrekvens i Norge
  - Ustabile kraftverk ville ødelagt all elektronikk i landet



# Reguleringsstabilitet

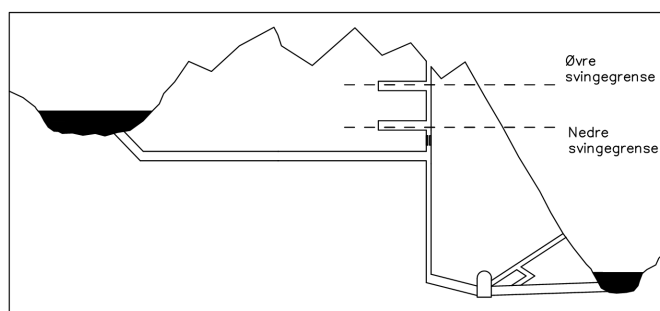
- ▶ Kontroll på produsert effekt
  - Må takle aggressiv regulering
  - Må takle svingninger i nettfrekvens
  
- ▶ Mer stabilt kraftverk → mer lønnsomt
  - Mindre produksjonstap (virkningsgrad/friksjon)
  - Hurtigere regulering
  - Levere tjenester til nettoperatør
  - Mindre skade på aggregat/vannvei



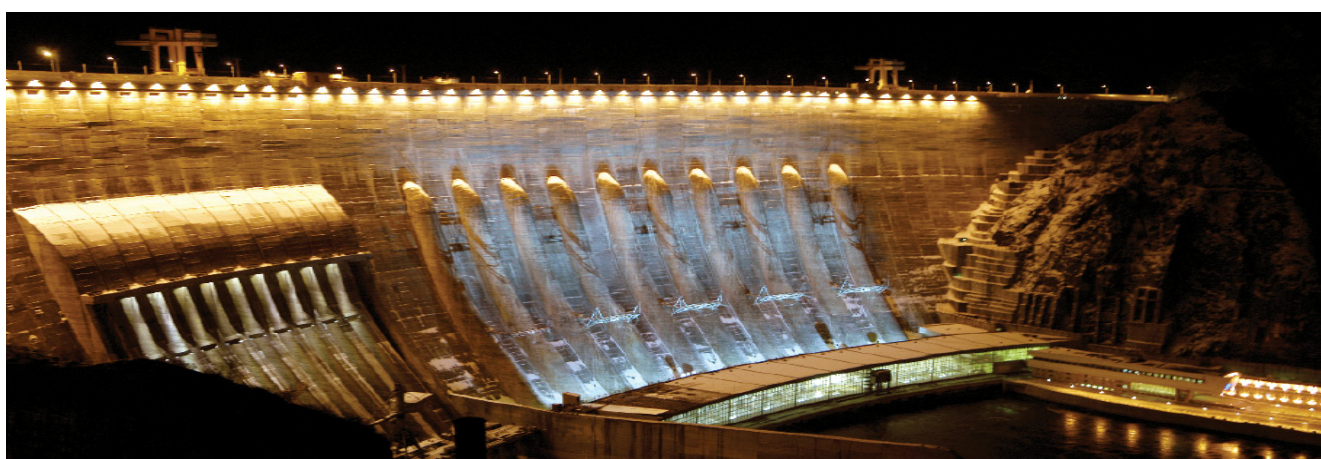


# Bivirkning: Massesvingninger

- ▶ Ved etablering av svingekammer innfører man massesvingninger
  - Strømning mellom svingekammer og magasin
- ▶ Massesvingningene blir dimensjonerende for svingekammeret
  - Må bestemme øvre og nedre svingegrense

**CEDREN**

Centre for Environmental Design of Renewable Energy



Bakgrunn  
Hva er svingekammer  
Moderne design  
Modellforsøk

# Moderne design

- ▶ Nye pumpekraftverk i Europa med ny svingekammerteknologi
  - Utviklet med numeriske modeller
  - Testet med laboratorieforsøk
  - Fokus på hurtig demping av svingninger

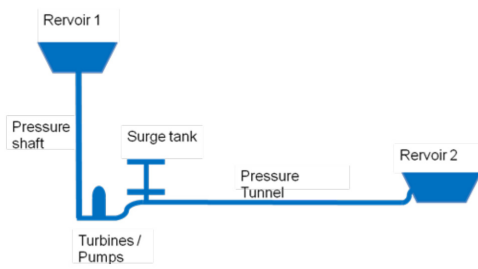
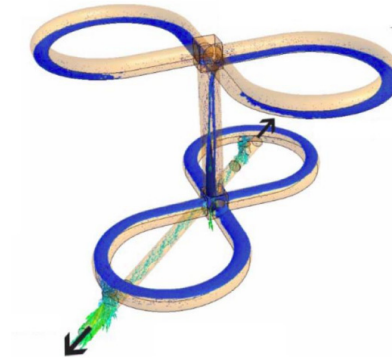


Fig: Wolfgang Richter



# Limberg 2 (833 MW Østerrike)

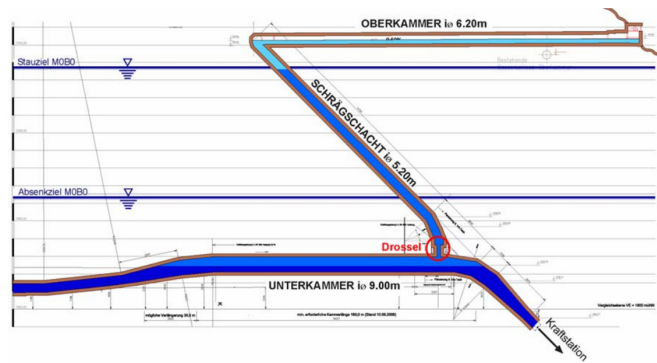
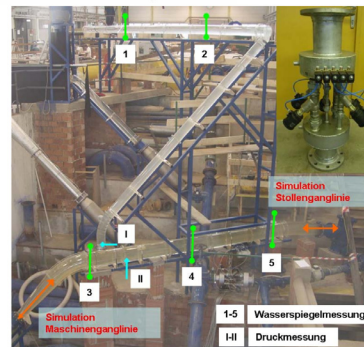


Fig: Klasinc & Bilus



## Atdorf (1400 MW Tyskland)

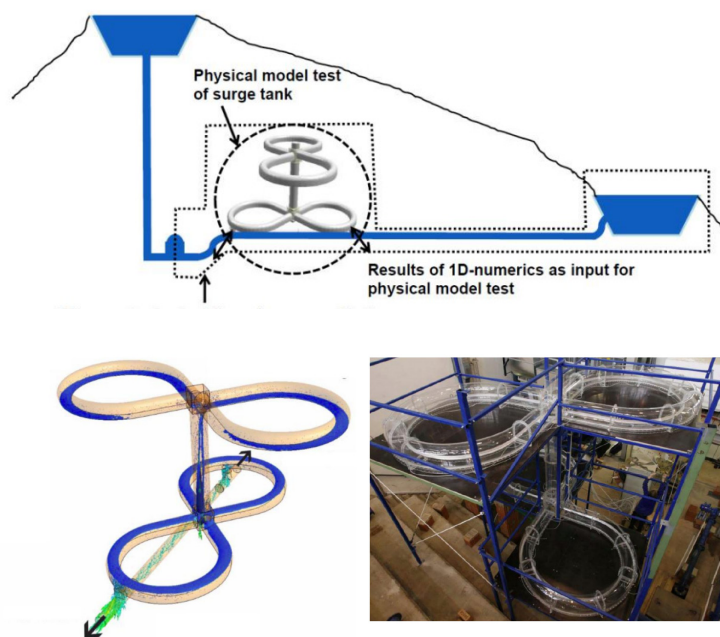


Fig: Wolfgang Richter

**CEDREN**

Centre for Environmental Design of Renewable Energy



## Krespa (400 MW Østerrike)

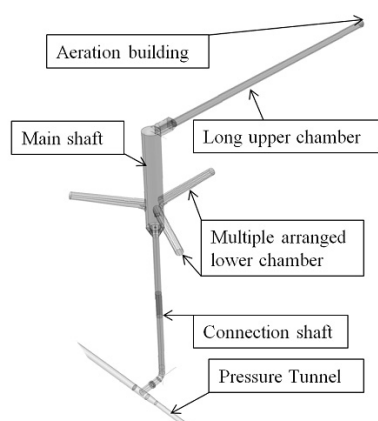
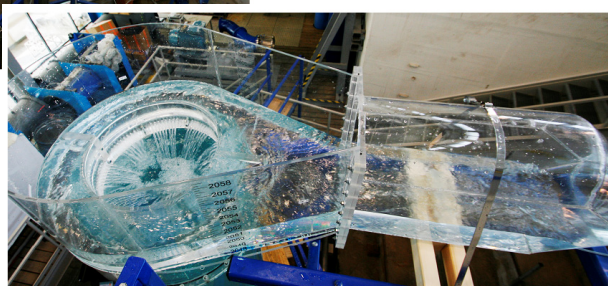


Fig: Wolfgang Richter



**CEDREN**

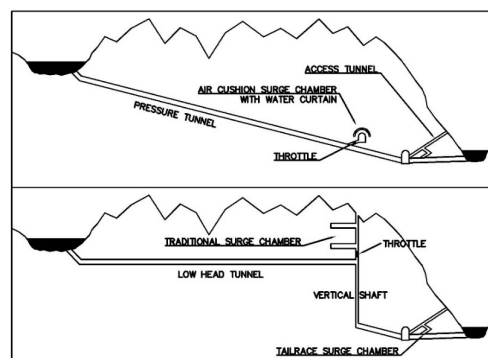
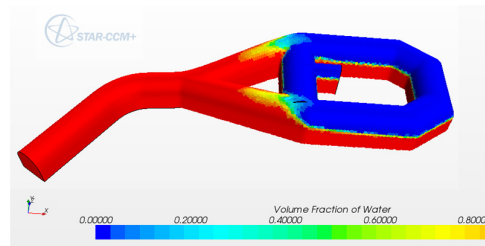
Centre for Environmental Design of Renewable Energy





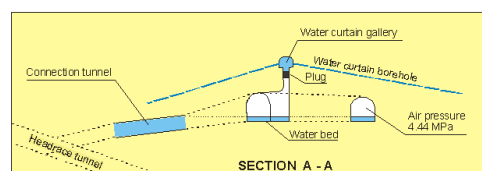
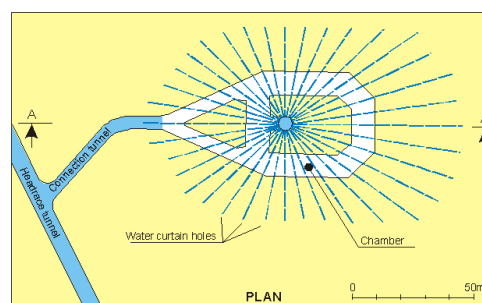
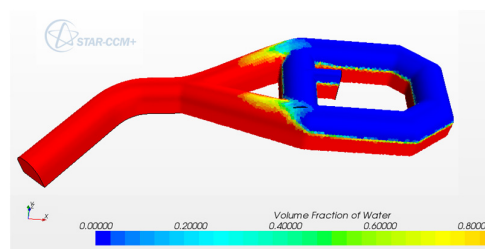
# Luftputekammer

- ▶ Luftputekammer nyeste design i Norge
- ▶ Fordeler:
  - Reduserer kostnader
  - Bedrer demping av trykkstøt
  - Bedre for reguleringsstabilitet
  - Ingen adkomsttunnel → mindre miljøpåvirkning!
- ▶ Ingen luftputekammer i Europa – hvorfor?
  - Ingen tidligere erfaring
  - Lite tiltro til uforet tunneldrift
  - Fjellkvalitet



# Luftputekammer

- ▶ Tror enda luftputekammer er State-of-the-Art
- ▶ Vil videreutvikle løsningen
  - Implementere nye løsninger fra Europa
  - Skaffe bedre forståelse av fysikken
- ▶ Metode: Fysisk og numerisk modellering



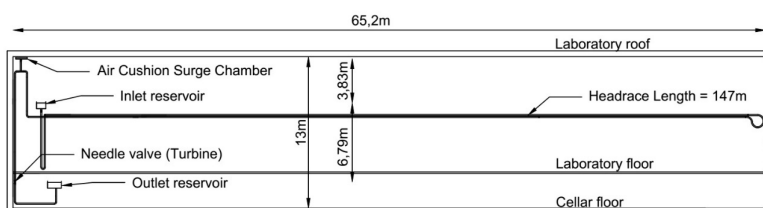


Bakgrunn  
Hva er svingekammer  
Moderne design  
Modellforsøk

20

## Modellforsøk

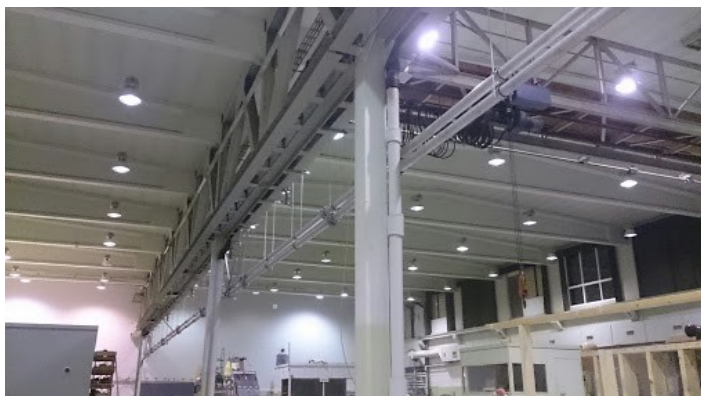
- ▶ Torpa kraftverk skala 1:65
  - Vannvei fra øvre til nedre magasin
  - Tuneller, luftputekammer og turbin
- ▶ Sammenligner modell med feltmålinger
- ▶ Tester deretter nye design



# Modellforsøk

## ► Fremdrift

- Modell er ferdig bygget
- Tidligfase testing utført
- Klargjøring for endelige tester



**CEDREN**

Centre for Environmental Design of Renewable Energy



## Centre for Environmental Design of Renewable Energy - CEDREN



NATURHISTORISK MUSEUM  
UNIVERSITETET I OSLO



**Thank you for your attention!**

