

Norconsult 

# Bergerosion i spillfåror

Inte ett problem för det svenska urberget - eller?



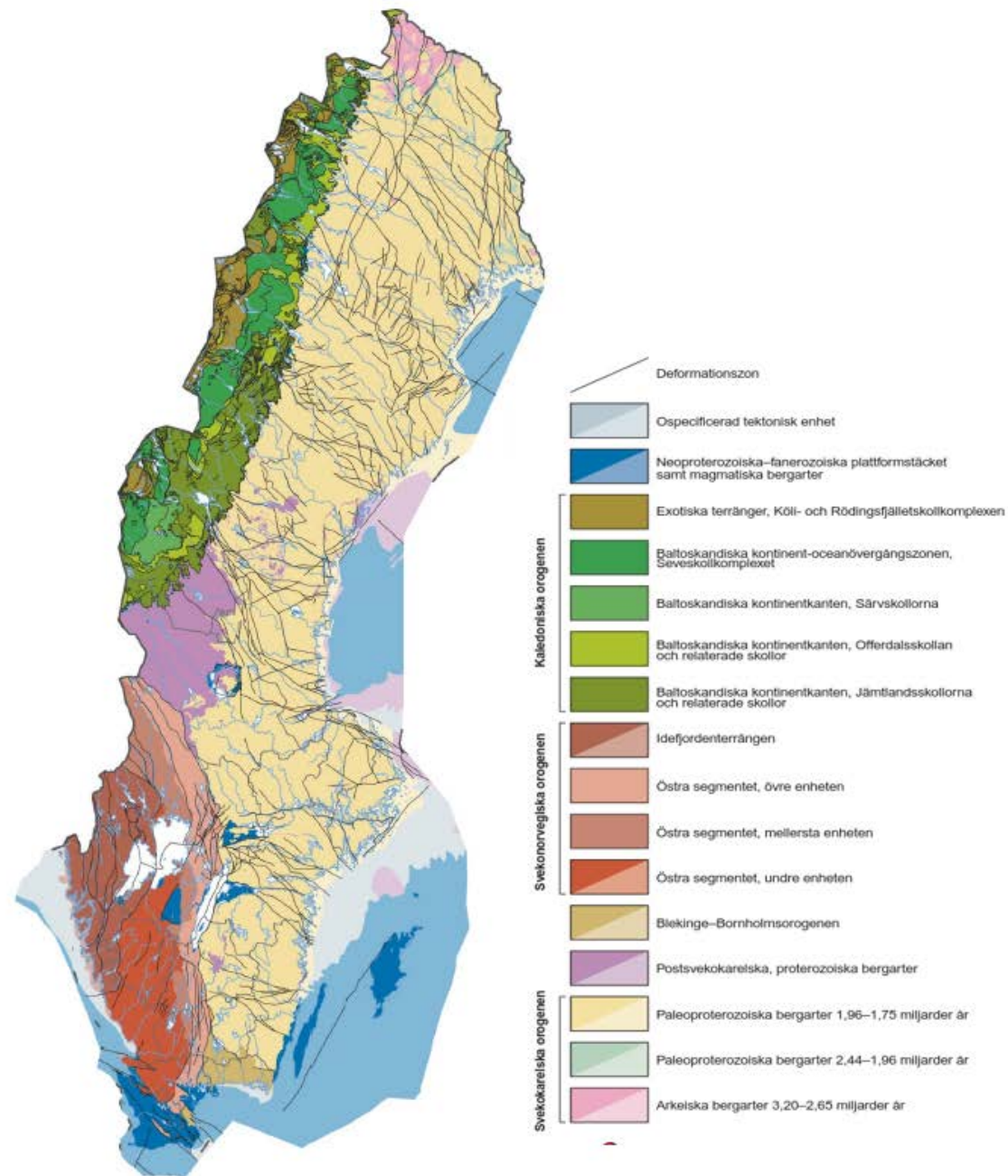
Jonas Persson och Per Eriksson, Norconsult AB

# Utskov och spillfåror i Sverige

- ▶ Utskovsluckor med tillhörande skibord vanligast
- ▶ Övriga typer är bl.a. överströmningsdammar och bottenutskov
- ▶ Direkt nedströms utskoven följer oftast en spillfåra (tidigare älvfåra) bestående av rå bergyta, lösa block alt. kanal i berg
- ▶ Ibland finns konstruerad energiomvandling (t.ex. bassäng)



# Sveriges bergarter



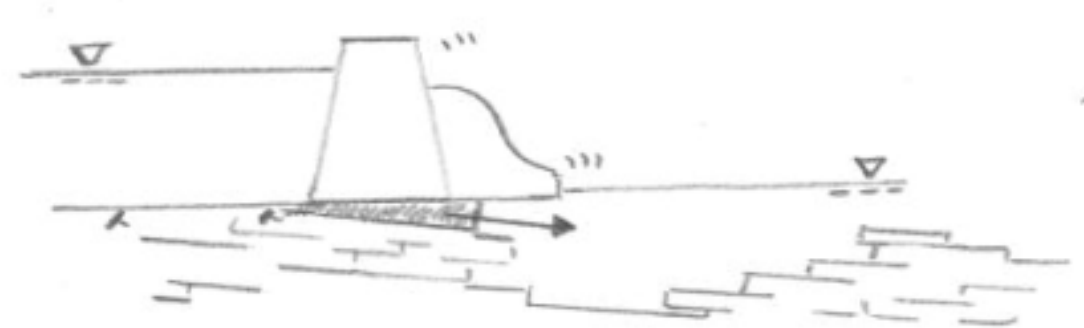
Sedimentära bergarter  
(Öland, Gotland, Skåne)

Metamorfa bergarter  
(Fjällkedjan)

Urberget  
(Nästan hela landet)

# Risker med bergerosion

- ▶ Underminering av dammkonstruktion
  - ▷ Reducerad glidstabilitet – betongdamm, *speciellt lamelldamm*
  - ▷ Reducerad släntstabilitet (fyllningsdamm)
- ▶ Underminering av ledmur som ev. faller
  - ▷ Erosion av slänt eller dammtå
- ▶ Vallbildning av eroderade massor
  - ▷ ofördelaktig styrning av vattnet



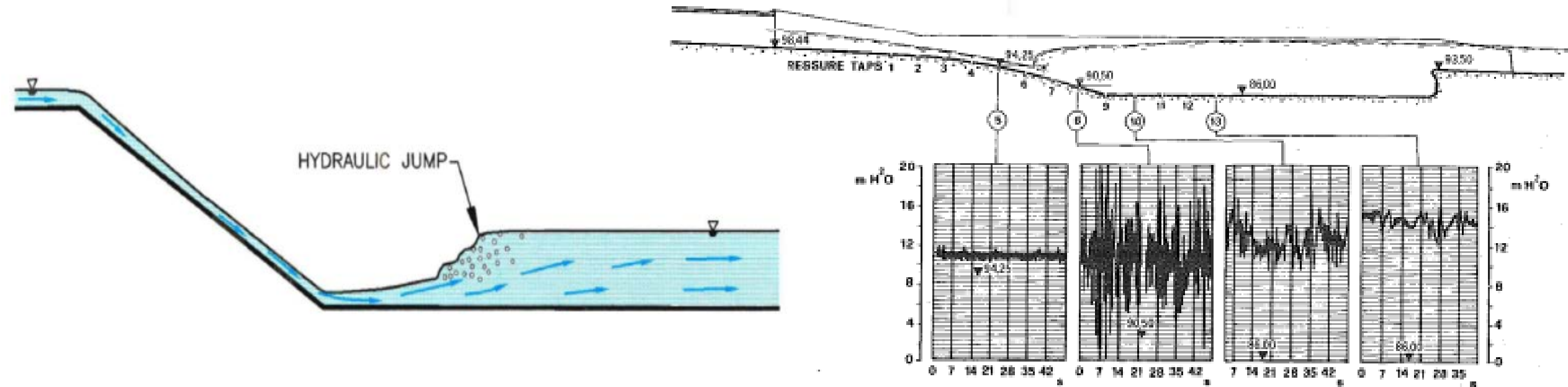
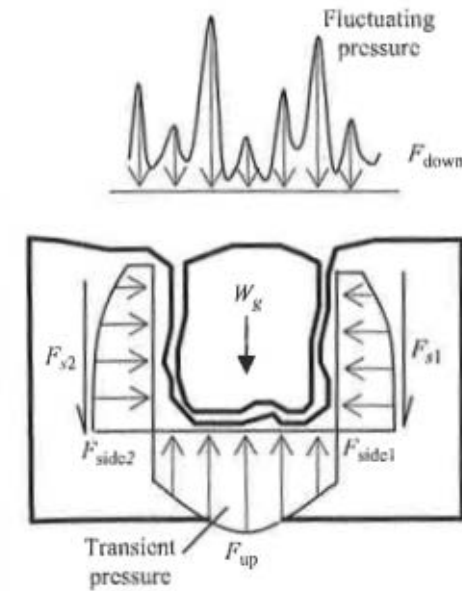
# Orsaker till bergerosion

- ▶ Magmatiska bergarter i majoritet i Sverige (t.ex. granit)
  - ▷ hög intern sammanhållning
  - ▷ hög tryck- och draghållfasthet - i förhållande till den tryckhöjd som kan åstadkommas vid vattenspill
- ▶ Erosion av denna typ av bergmassor måste då ske genom lossning och borttransport av intakta block *ur en redan uppsprucken bergmassa*
- ▶ Tillgänglig kraft saknas för undanpressning eller nedslipning av en bergmassa som endast består av fullkomligt passade bergblock
- ▶ Hela erosionsfenomenet pågår istället i sprickplanen mellan blocken



# Orsaker till bergerosion

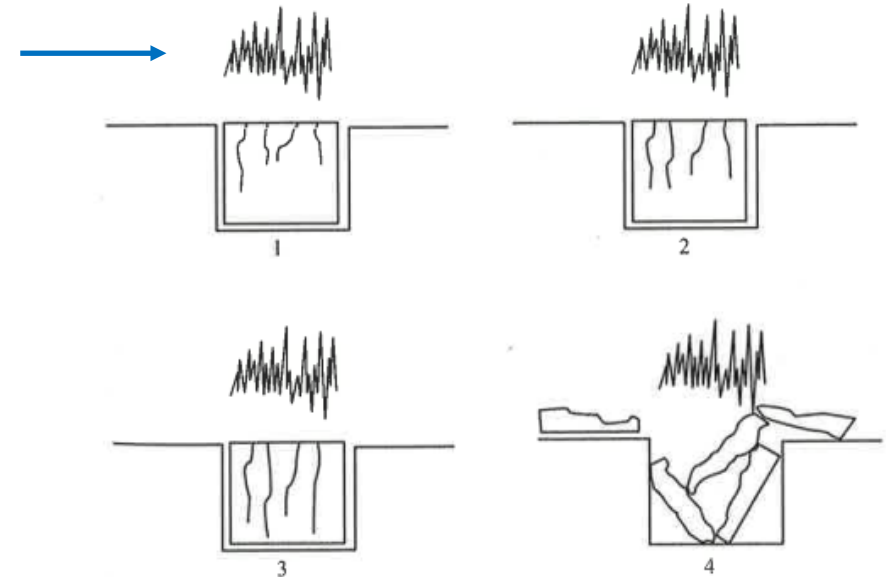
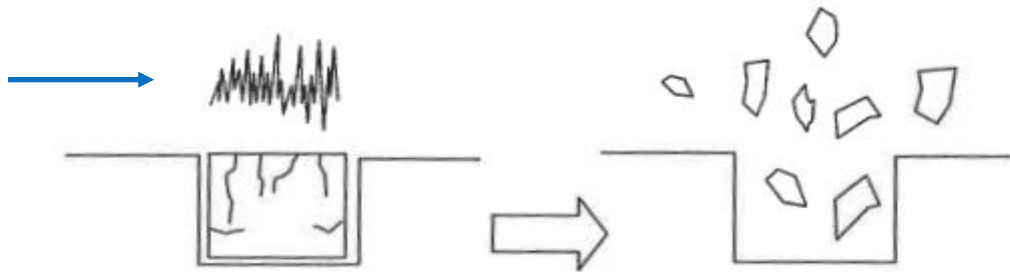
- ▶ Turbulens ger upphov till tryckfluktuationer som kan överlagra varandra...
- ▶ ...differens i våghastighet mellan tryck i öppna respektive slutna utrymmen gör att tryckavlastning inte sker samtidigt – resulterande lyftkrafter!



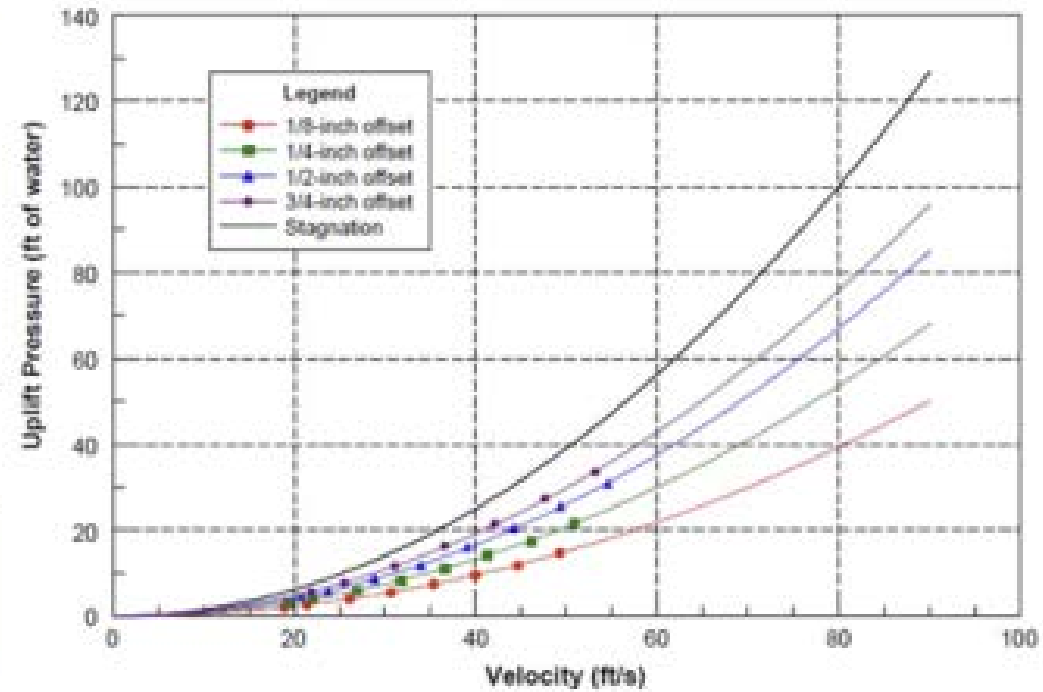
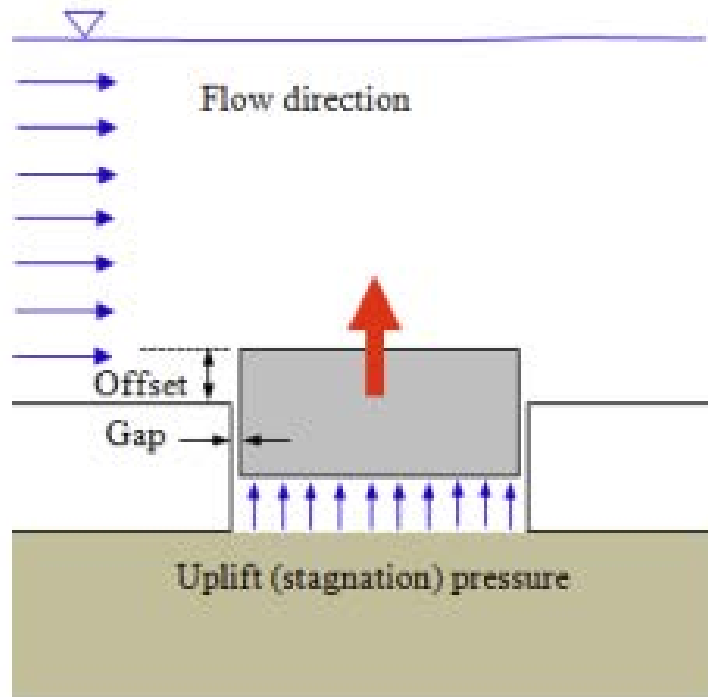
**FIG. 1(a). Typical Spillway Stilling Basin under Operation is Reproduced. Effective Records of Pressure Fluctuations are Illustrating Real Life Occurrences**

# Orsaker till bergerosion

- Bergmassans inre sammanhållning kan överskridas...
  - ▷ antingen omedelbart
  - ▷ eller genom successiv utmattning...
  - ▷ ...mindre men långvarigt spill kan orsaka skador



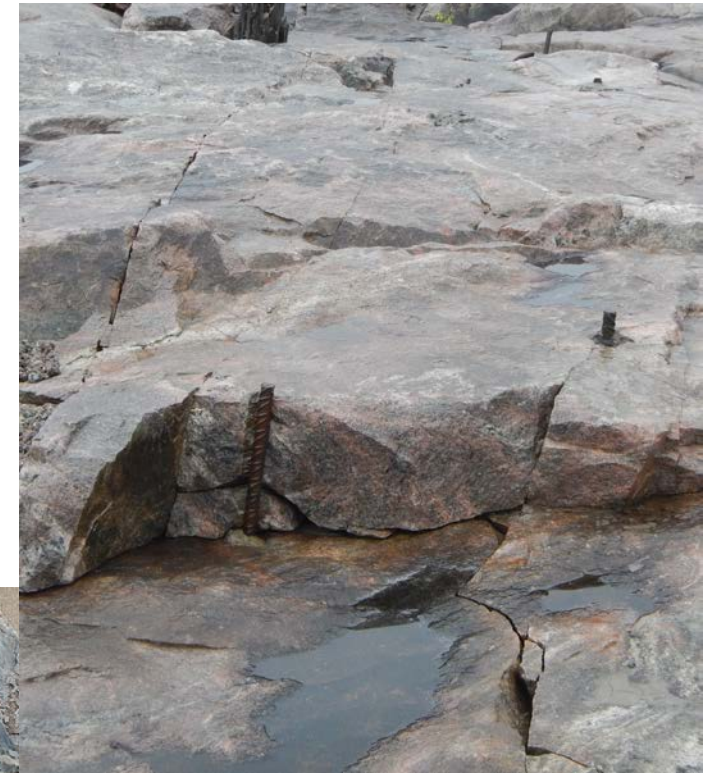
# Orsaker till bergerosion



# Ofördelaktiga bergegenskaper

- ▶ Småblockigt
- ▶ Horisontella sprickplan
- ▶ Öppna sprickor, stor sprickvidd
- ▶ Uppstickande partier (punktbelastningar)
- ▶ (Bergart av låg tryckhållfasthet)

Även en låg fallhöjd över utskovet kan ge tillräcklig energi i vattnet för att erodera berg, om egenskaperna är tillräckligt ofördelaktiga

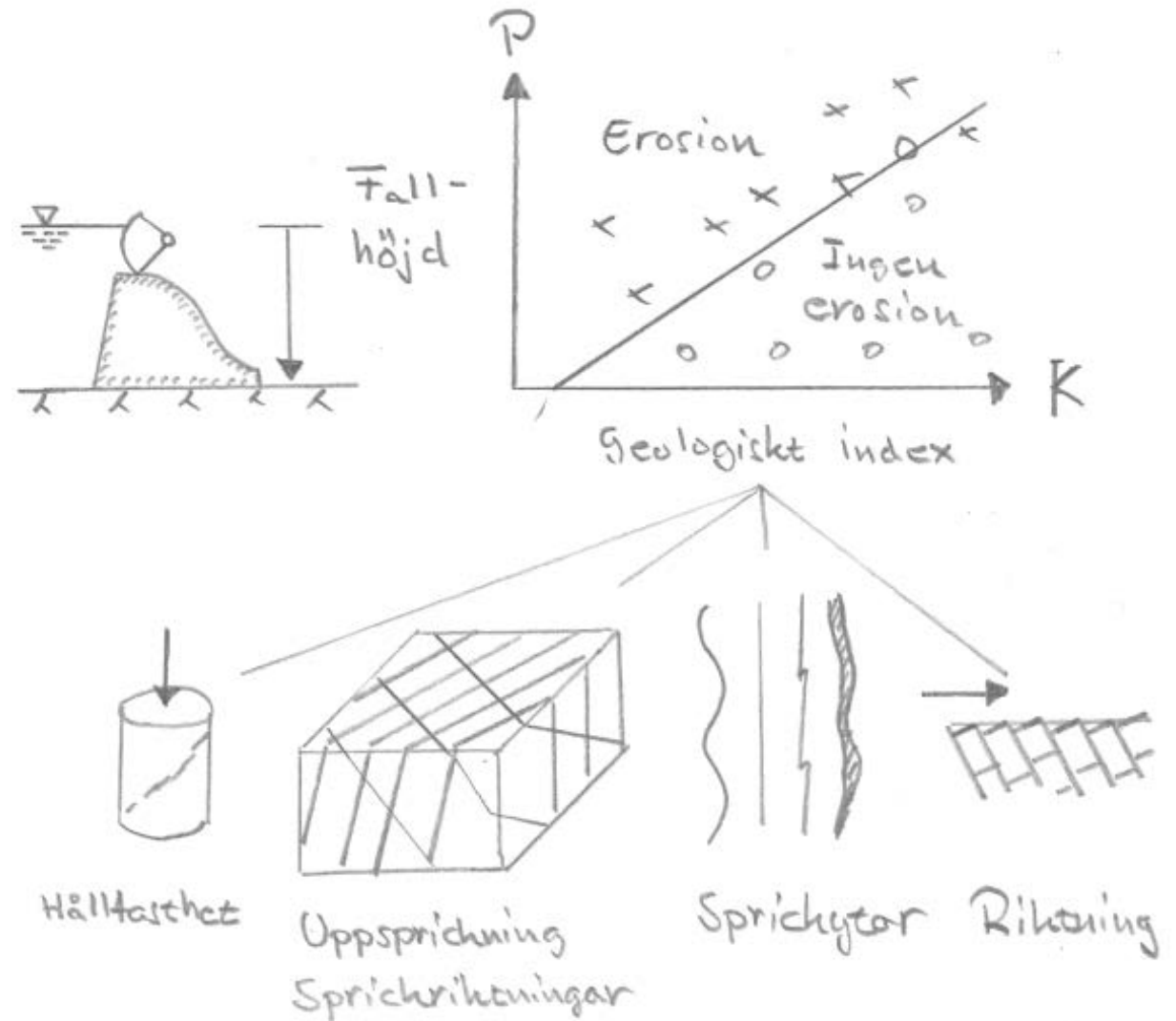


# Hur utvärderar vi erosionsrisk?

## Förhärskande indexmetoder

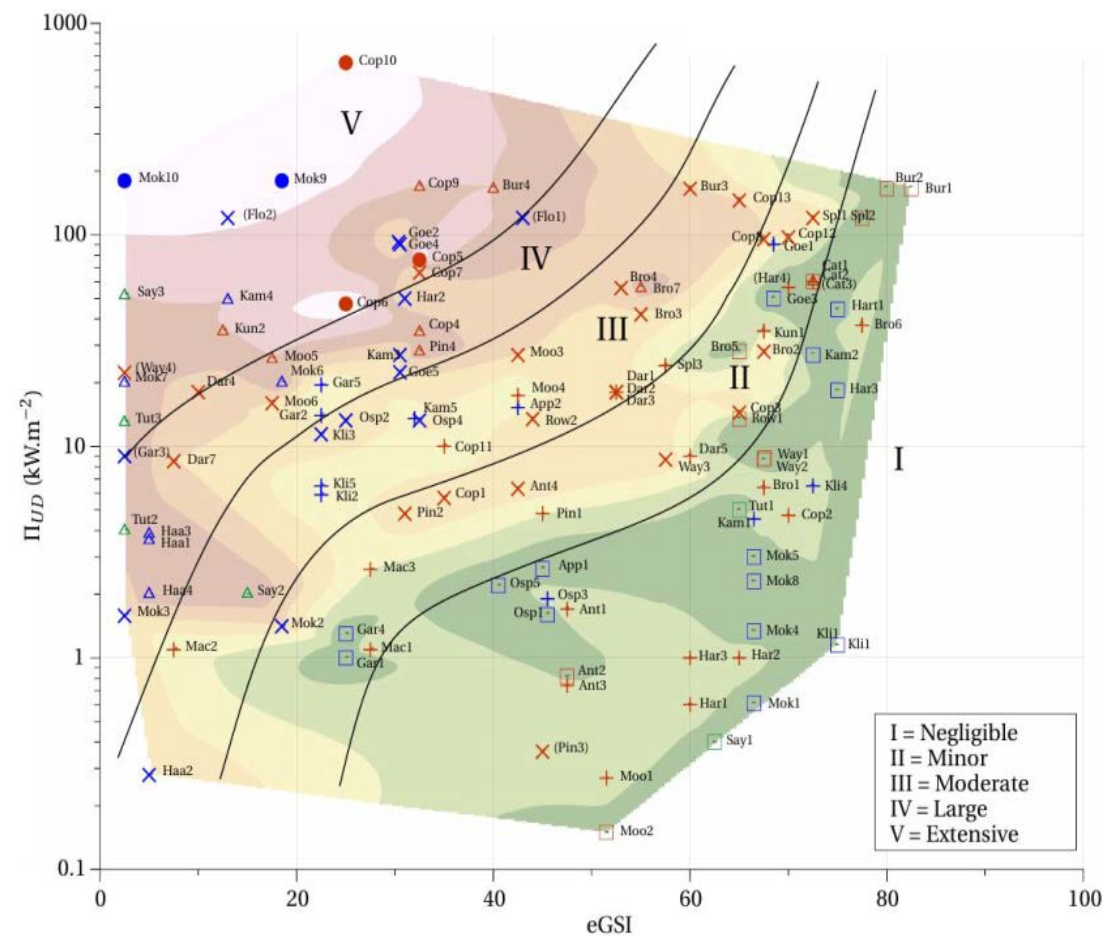
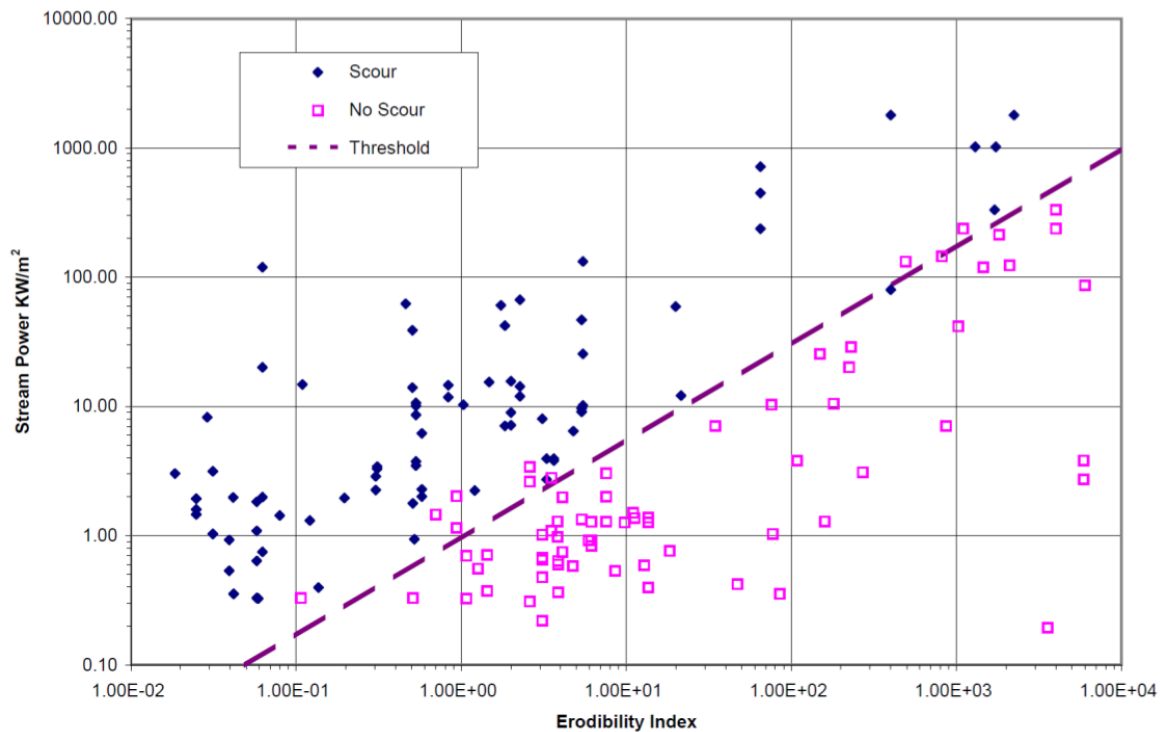
### ► Indexmetoder

- ▷ Vattnets erosiva effekt jämförs mot...
- ▷ ...bergmassans motståndskraft



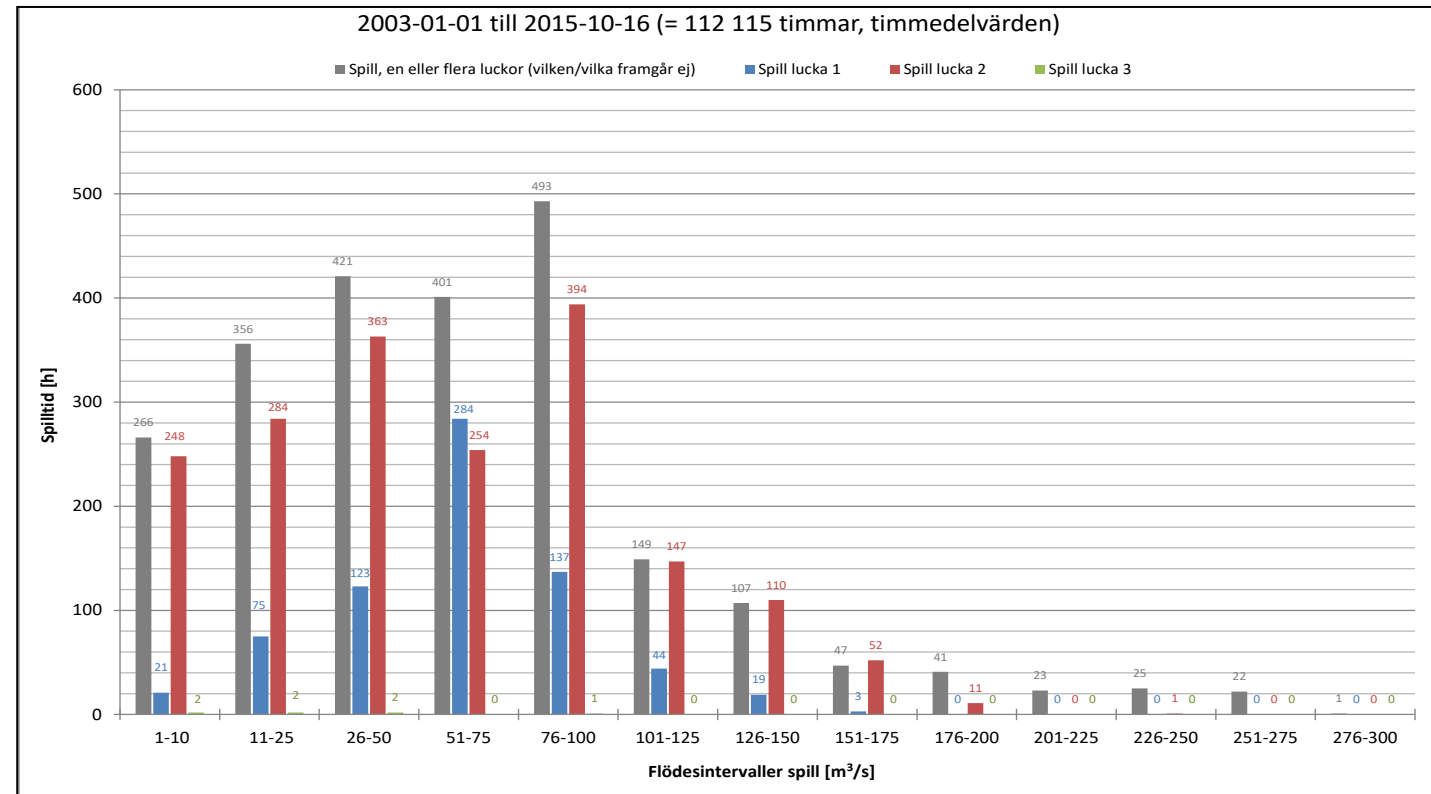
# Hur utvärderar vi erosionsrisk?

## Indexmetoder



# Svårigheter (utmaningar)

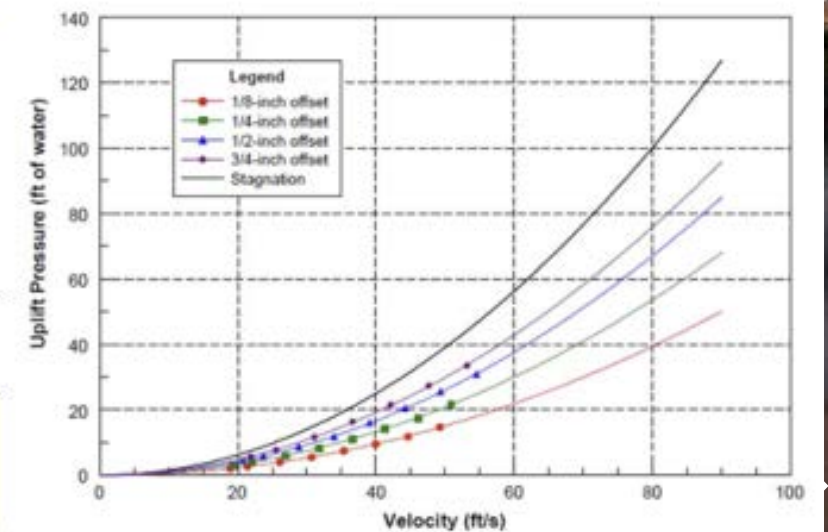
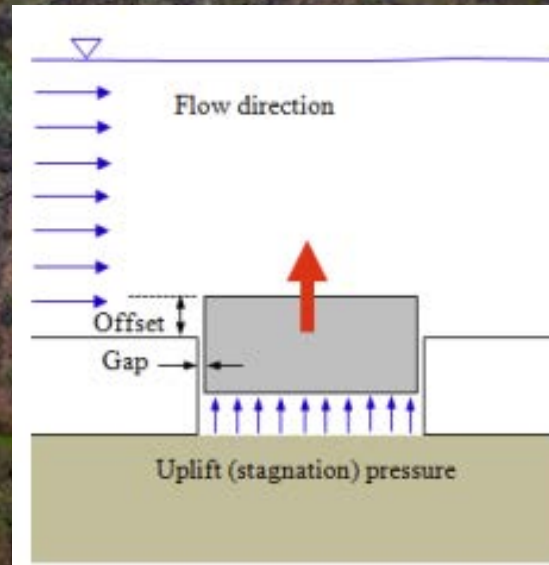
- ▶ Utskoven används sällan
- ▶ *Observerad* skadegrad liten...
- ▶ ...*potentiell* skadegrad mycket större?
- ▶ Dimensionerande last har inte inträffat
- ▶ Omöjligt att åtgärda under pågående högflödessekvens
- ▶ Proaktiva åtgärder krävs
- ▶ Dimensioneringsgrund saknas



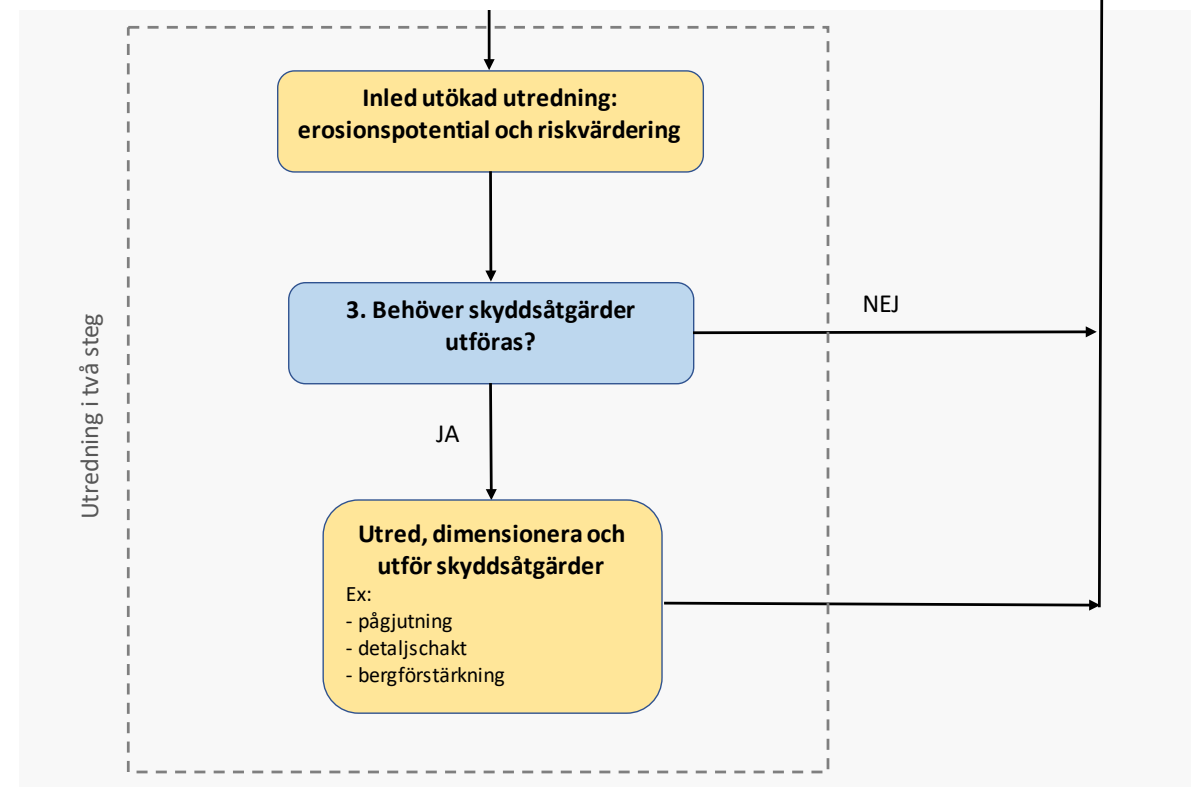
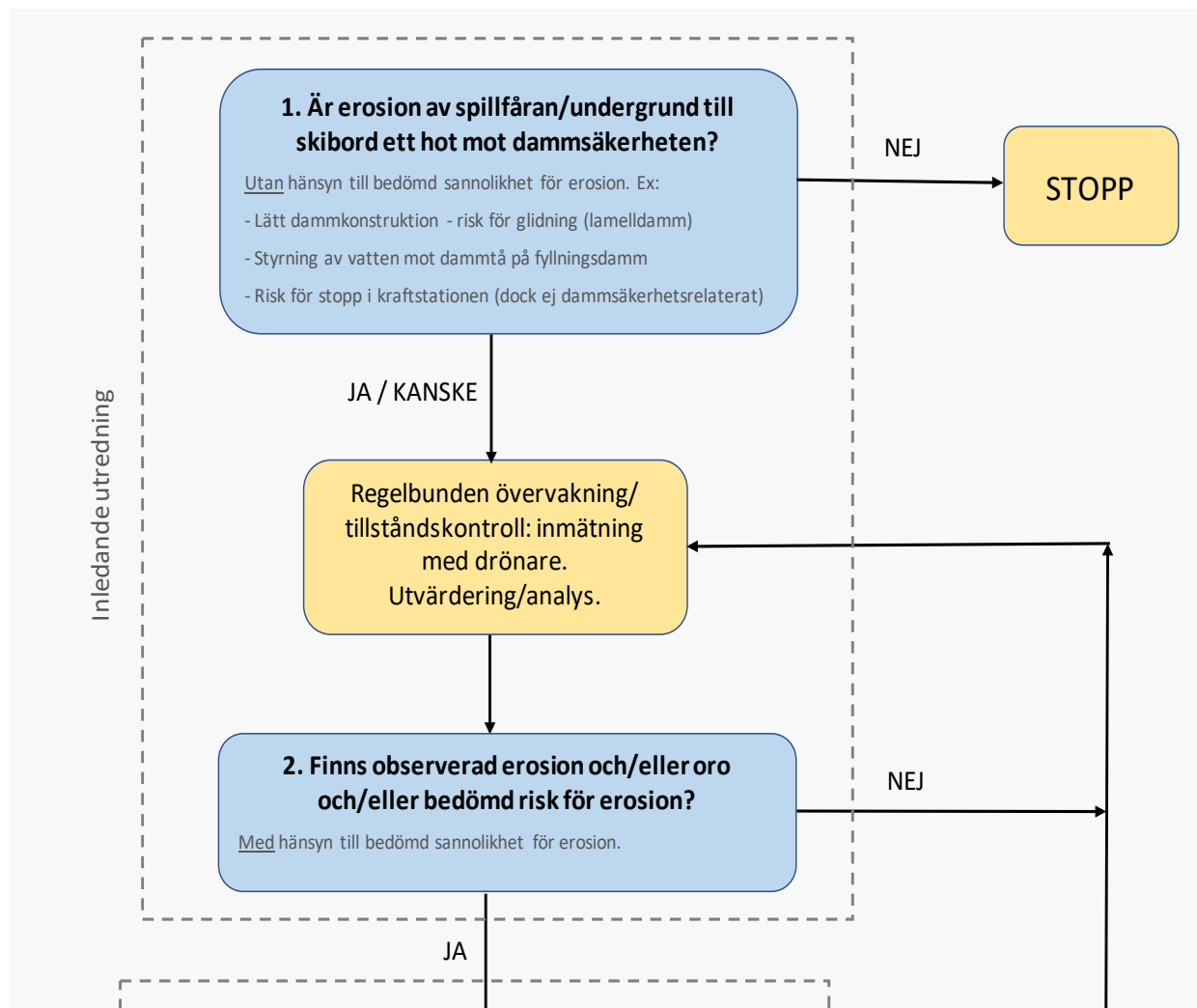


# Oroville

- ▶ Mycket höga vattenhastigheter
- ▶ Lyftkrafter i gjutskarv
- ▶ Grundlagd på jord
- ▶ Svaghetszon



# Hur utvärderar vi erosionsrisk?



# Övervakning och tillståndskontroll

- ▶ Besiktning efter varje större/längre spill
  - ▷ färskas brottytor?
  - ▷ fotografering
- ▶ Inmätning av spillfåran med drönare alt. skanning
  - ▷ Differenskartor kan skapas efter nästa spill/mätning



# Åtgärder mot bergerosion

## ► Principiella åtgärder

- ▷ Öka blockstorleken hos bergmassan (sammanfoga block)
- ▷ Reducera/eliminera lokala belastningar (jämna ut)
- ▷ Reducera vattnets energi (kontrollerad energiomvandling)
- ▷ Säkra mot bakåtskridande erosion
- ▷ Flytta erosionen längre nedströms (styrning)

## ► Konkreta åtgärder

- ▷ Bergförstärkning (bultning)
- ▷ Detaljschakt och/eller pågjutning
- ▷ Energiomvandlarbassäng
- ▷ Avskärande vägg
- ▷ Skibordsförlängning ev. med ski-jump

# Åtgärder mot bergerosion



# Åtgärder mot bergerosion



# Aktuell F&U

- ▶ Energiforsk-projekt "Bergerosion i spillfåror" etapp 1-3 (Norconsult, Persson/Eriksson)
  - ▷ Utvärdering av befintliga utvärderingsmetoder för svenska förhållanden
  - ▷ Rekommendationer om fortsatt svensk forskning (labförsök, öka förståelse för tryck i tunna sprickor)
  - ▷ Underlag för framtida tillämpningsvägledning i RIDAS
  - ▷ Etapp 3 inleds 2021
- ▶ Finns planer på internationella samarbetsprojekt via Energiforsk (främst Kanada, Hydro Quebec)
- ▶ Önskemål om samarbetsprojekt med Norge (SVC-NVKS)

## BERGEROSION I SPILLFÅROR

RAPPORT 2018:532

