

# Instrumentering och övervakning av undergrunden - dränagetts funktion och icke-funktion

ALEXANDRA ÅLENIUS



# Introduktion

- Fokus betongdammar grundlagda på berg
- Sammanställning erfarenheter av:
  - Arbete i konsultuppdrag
  - Energiforskrapporter
  - Översiktlig litteraturgenomgång

## IGENSÄTTNING AV DRÄNAGE UNDER BETONGDAMMAR

RAPPORT 2017:369

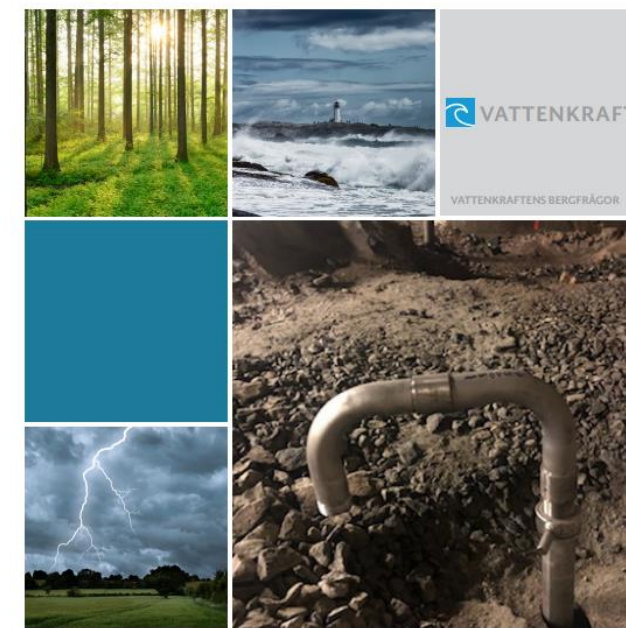


 Energiforsk

[Energiforskrapport 2017:369 \(Johansson F, Krounis A, Westberg Wilde M\)](#)

## ÖVERVAKNING AV I BERG VERKANDE UPPTRYCK PÅ BETONGDAMMAR

RAPPORT 2023:942



 Energiforsk

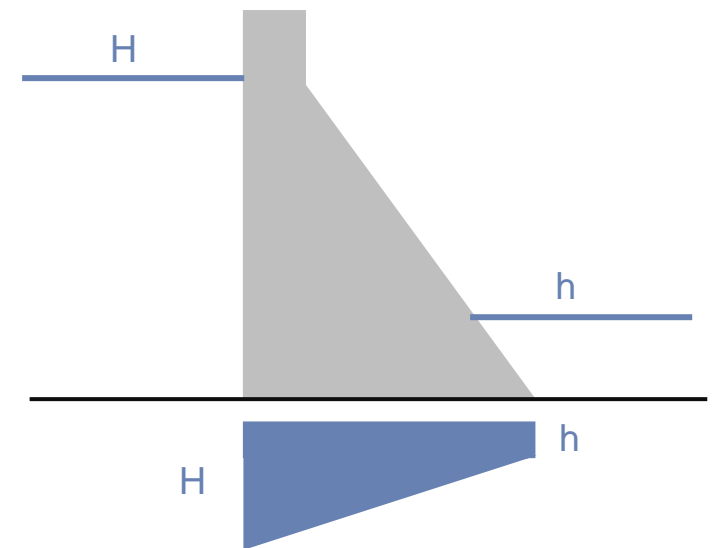
[Energiforskrapport 2023:942 \(Mohlin B, Sandström L, Ålenius A, Hassanzadeh, M\)](#)

# Varför dränage?

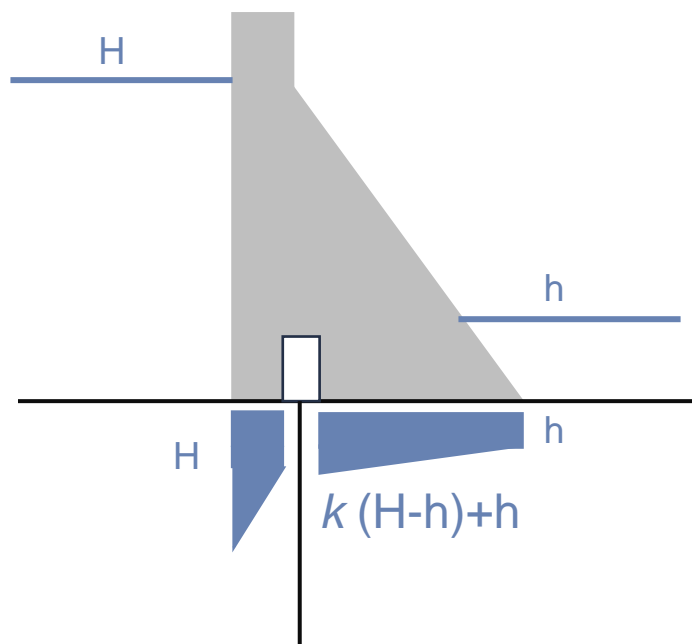
Upstryck är av stor vikt för betongdammars stabilitet, särskilt för gravitationsmonoliter och utskovsmonoliter där skibordets bottenyta ligger an mot berg, samt för berggrund där genomgående sprickplan identifierats.

Vid traditionella handberäkningar antas det generellt tillräckligt konservativt att anta att upstrycket varierar linjärt från trycket  $H$  på uppströmssidan till trycket  $h$  på nedströmssidan baserat på en kontinuum betraktelse där flödet antas ske jämnt fördelat genom ett homogent material (för mer komplexa fall kan upstrycksfördelning behöva beräknas med tex finit elementanalys)

*”För massivdammars försedda med kontrollerbara dränagehål i berget och dränagetunnel vid bergytan kan upstrycket vid dränagetunnelns uppströms- och nedströmskant vid fungerande dränage reduceras till  $0,30(H - h) + h$ ” – RIDAS 2020*



# Reduktion av upptryck mht dränage



| Riktlinje/regelverk | Reduktionsfaktor $k$ |
|---------------------|----------------------|
| Ridas               | 0,3 – 0,5*           |
| USACE (1995)        | 0,33 – 0,75**        |
| NVE (2005)          | 0,33***              |
| FERC (2002)         | ****                 |

\* 0,3 då dränagetunnel i bergyta och 0,5 då dränagetunnel i kroppen

\*\* Ska baseras på mätningar och får enligt vara lägst 0,5 om inte mätningar och flödesanalyser visar att dränagesystemets effektivitet kan motivera en lägre reduktionsfaktor. Reduktionsfaktorn inte sätts lägre än 0,33 även i det fall denna baseras på mätningar och flödesanalyser.

\*\*\* Rekommenderat värde, om tester och mätningar inte ger underlag för annat värde.

\*\*\*\* Ingen generell rekommendation gällande  $k$  utan ska utvärderas baserat på tester och övervakning av dränagesystemets effektivitet. Generellt antas uppmätt effektivitet endast tillämplig för den magasinens nivå för vilken mätning utförts, dvs extrapolering till högre nivåer tillåts inte annat än vid enstaka fall.

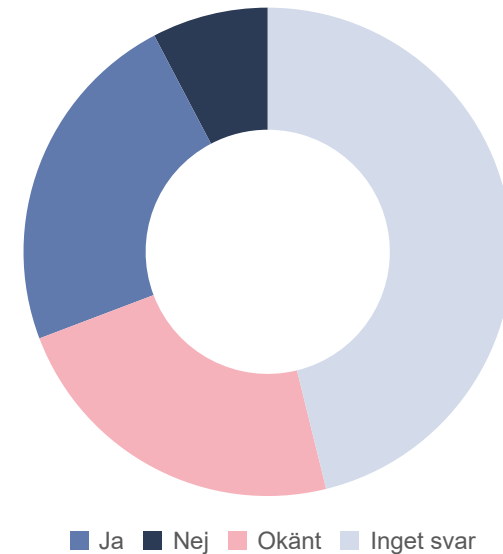
# Dränagets utformning

| Riktlinje    | Diameter   | Djup  | c/c-avstånd | Övrigt  |
|--------------|--|-------|-------------|---|
| RIDAS (2020) | 75 – 100 mm  | 0,5 H | 1,5 – 3,0 m |   |
| USACE (1995) | Dränagesystemet utformas baserat på specifika platsförhållande |       |             |   |
| NVE (2005)   | ≥ 100 mm   | 0,5 H | ≤ 3,0 m     | <p>Det förutsätts att läckagevattnet från samtliga hål är synligt i inspektionsgången och att vattnet dräneras frostfritt ur dammen via självfall.</p> <p>Inspektionsgången ska placeras så att den ligger över normal nedströmsvattenyta.</p> <p>Dränagehål borrar nedströms om en eventuellt tät skärm och inte närmare uppströmskanten än 1 m plus 5% av dammens höjd.</p> |
| FERC (2002)  | Dränagesystemet utformas baserat på specifika platsförhållande |       |             | Samtliga antaganden gällande dränagesystemets effektivitet ska verifieras medelst testning och övervakning.   |

# Dränagets utformning

I de flesta riktlinjerna kravställs också att en **underhållsplan** för dränagesystemet tas fram och implementeras för att den upptrycksreducerande effekten ska få tillgodoses i stabilitetsberäkningar med hänsyn till risken för igensättning av dränagehålen.

Tendens till igensättning av dränage?



# Igensättning av dränage

Dränagehålen kan sättas igen på ett flertal olika sätt;

- **Mekanisk igensättning** – orsakas av finmaterial, tex lerpartiklar som finns suspenderade i grundvattnet
- **Kemisk utfällning** – orsakas vanligtvis av järn, mangan eller kalcium som finns löst i grundvattnet
- **Biologisk utfällning** - den kemiska utfällningen påskyndas av bakterier. järnoxiderande bakterier oxiderar det lösta järnet och skyndar på utfällningsprocessen
- **En kombination av ovan**

# Risk för igensättning

Faktorer som påverkar risken för igensättning:

- **Tid** - avgör främst om utfällningspotential kan observeras och leda till förebyggande åtgärder. Kalcium som faller ut som kalцит bildar direkt en hård avlagring medan det tar tid för utfällningar av järnhydroxid att hårdna.
- **Vattenföring** - Mängden vatten avgör hur mycket metalljoner som kan transporteras och därmed hur stor volym utfällningar som kan bildas. Flödes hastigheter och kontaktider inverkar på mängden mineral som går i lösning
- **Bergart** - på lång sikt bestäms grundvattnets kemi av reaktioner med bergets primära mineral
- **Surhetsgrad** - vattnets pH påverkar vittringsgraden samt vilka bakterier som förekommer. pH-värdet inverkar också på om utfällning sker rent kemisk eller med hjälp av bakterier
- **Redoxpotential\*** - Redoxpotentialen påverkar om kemisk eller biologisk utfällning dominerar. Avgör också delvis om miljön är gynnsam eller inte för olika bakterier.
- **Bakterier och virus** - påverkar grundvattnets kemi genom att de påskyndar reaktioner som annars sker mycket långsamt.
- **Suspenderat material** – mängd material som transporteras med grundvattnet, tex lerpartiklar, levande och döda bakterier, och sätter igen porer och sprickor
- **Temperatur** – påverkar främst vilka bakterier som förekommer

\*ett relativt värde på en lösnings förmåga att avge eller ta emot elektroner



# Åtgärder för att återställa funktion

- Borring av nya dränagehål
- Upprymning, d.v.s. en utvidgning av håldiametern
- Mekanisk nötning
- Kemisk rensning
- Rengöring med högtryck

*Urblåsning – Till viss del*

*Rensning – Sannolikt*

*Spolning vatten – Ja*

*Rensning högtryck – Svårt att utvärdera*

# Underhållsplan dränage

Tre viktiga frågor:

- Finns förutsättningar för igensättning av dränage - riskanalys
- Hur ska dränagets funktion verifieras – instrumentering och övervakning
- Vilka underhållsåtgärder ska genomföras för att säkra dränagets långsiktiga funktion om igensättning kan misstänkas

# Instrumentering och övervakning

Syfte med instrumentering och övervakning är att:

- säkerställa dränagets funktion över tid
- säkerställa dränagets upptrycksreducerande verkan

RIDAS (2020) sid 34:

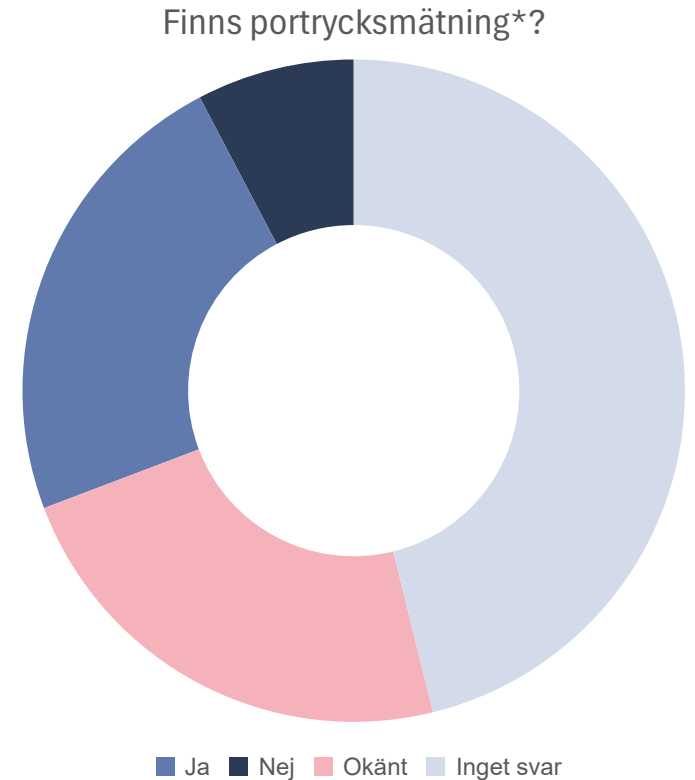
*För att få tillgodoräkna dränagehålens upptrycksreducerande effekt krävs att hålens funktion övervakas. Ett sätt att övervaka funktionen är att mäta portrycket nedströms dränagehålen. Övervakningen bör beskrivas i ett mätprogram och följas upp med tillräcklig frekvens för att kunna detektera eventuell igensättning. Mer information om orsak till igensättning och möjliga åtgärder finns beskrivet i [26]. Resultat från upptrycksmätning bör inte användas som indata i en stabilitetsanalys, detta med hänsyn till igensättning samt till att upptrycksfördelningen är beroende av aktuell belastningssituation. Därför bör mätningar enbart användas för att verifiera funktion hos dränage (eller injekteringsskärm).*

# Riktlinjer - RIDAS

Rekommendationer gällande utformning av övervakning och utvärdering av mätdata är generellt begränsade, troligtvis då det bör anpassas till platsspecifika förhållanden samt syftet med övervakningen.

I RIDAS rekommenderas att en modell av det förväntade uptrycket upprättas innan installation av portrycksmätare i syfte att erhålla en korrekt utvärdering av mätvärden.

Inga generella instruktioner gällande övervakningssystemets utformning, till exempel antal, typ och placering av givare, mätintervall osv. erhålls.



\* Framgår ej om uptrycksreduktion beaktas i beräkningar.

Källa: Johansson F et al (2017)

# Riktlinjer - FERC

FERC (2002) rekommenderar att portrycksgivare ingår som del i övervakningen för alla nya dammar. För befintliga dammar anses installation av portrycksgivare endast nödvändig om upptrycksreduktion antagits för att uppfylla ställda stabilitetskriterier, eller om speciella förhållanden misstänks.

Antal och placering ska utformas så att en komplett bild av den parameter som mäts erhålls. För portrycksgivare anses generellt 2 till 3 givare behövas i det tvärsnitt där maximalt upptryck förväntas. Ytterligare tvärsnitt kan behöva övervakas vid komplexa förhållanden eller om jämförelse mellan olika tvärsnitt önskas.

Det rekommenderas också att mätning utförs på flera isolerade tvärsnitt om grundläggningen är stratifierad/skiktad, dvs en variation av upptrycket på grund av andra orsaker än endast djup kan förväntas i olika lager av den ytliga berggrunden.

Installation av givare och kablar ska utföras så att inga läckagevägar öppnas upp i anslutning till dessa.

# Riktlinjer - FERC

Ett övervakningsprogram tas fram som beskriver: ansvarsfördelning, rutiner för datainsamling, databehandling och presentation samt rutiner för rapportering av resultat som också säkerställer att problem som uppdagas i samband med övervakningen åtgärdas i rätt tid.

Varnings- och larmvärden ska tas fram och dokumenteras i övervakningsprogrammet. Värden ska fastställas avseende faktisk magnitud, men också avseende förändringshastighet.

FERC (2002) anger också krav gällande dokumentation för övervakningssystemet.

# Utformning och installation

**Aktuellt kunskapsläge om grundläggningen samt ska ytterligare information samlas in i samband med installation?**

- Förekomst av sprickplan/spricksystem,
- Nivå och orientering av förekommande sprickplan
- Sprickplans faktiska egenskaper såsom friktionsvinkel och sprickfyllning etc

**Vad är syftet med övervakningen?**

- Verifiering av antagen upptrycksreduktion
- Erhålla en mer fullständig bild av hur upptrycket varierar under dammen
- Fånga förändringar över tid pga tex igensättning

**Hur ska mätdata utvärderas?**

- Inte tillräckligt att endast mäta, insamlad data behöver analyseras och utvärderas utifrån ett dammsäkerhetsperspektiv!

*Resultat från upptrycksmätning bör inte användas som indata i en stabilitetsanalys, detta med hänsyn till igensättning samt till att upptrycksfördelningen är beroende av aktuell belastningssituation. Därför bör mätningar enbart användas för att verifiera funktion hos dränage (eller injekteringskärm).*

# Utformning och installation

## Utifrån svar på föregående frågeställningar:

- Bestäm syfte mätningarna och tänkt utvärderingsmetod
  - Om relevant, fastställ larmvärden och preliminära varningsvärden
- Bestäm vad som ska övervakas utöver portrycket
  - Mätvärden bör kopplas till andra randvillkor, till exempel magasinsnivå
  - Stödjande parametrar som kan användas vid utvärdering, tex läckage
- Bestäm mätintervall
  - Mätning bör utföras kontinuerligt med kort intervall för att vara tillräckligt för utvärdering.
  - Manuella mätning bör utnyttjas för att bestämma varningsvärden. Mätningarna kan dock ändå ge en fingervisning om dränagets effektivitet och ifall givaren fungerar.



# Utformning och installation

## Utifrån svar på föregående frågeställningar:

- Bestäm antal och placering av givare
  - Hänsyn tas till geologiska förhållanden på plats, till exempel nivå för potentiella brottplan samt spricksystem i berggrunden under dammen – kontinuum eller diskontinuum betraktelse
  - Om syftet endast är att övervaka ett dränagesystems funktion kan det vara tillräcklig med en mätpunkt per tvärsnitt placerad nedströms om läget för dränagesystemet. Om syftet är att erhålla en så komplett bild som möjligt av upptrycksfördelningen under dammen kan flera givare behövas per tvärsnitt.
- Bestäm metod för mätning och signalöverföring
  - Välj lämplig typ av instrumentering med hänsyn till syfte, kostnader, underhållsbehov - varje modelltyp har olika egenskaper med för- och nackdelar.

# Utformning och installation

## Utifrån svar på föregående frågeställningar:

- Bestäm installationsmetod samt information som ska samlas in i samband med installation
- Noteringsprotokoll vid installation av instrumentering
  - Information relevant för utvärdering av mätarnas funktion samt utvärdering av mätdata tex om givaren mäter relativt eller absoluttryck, mätområde, lutning etc
- Utför verifikasjonstester
  - Verifikasjonstester innebär att en enhets karakteristik eller egenskap kontrolleras för att visa om den överensstämmer med angivna krav eller inte
  - I samband med installation av dränagesystemet bör också ett referensvärde för dränagehålens referensvärde genomsläpplighet fastställas, t ex genom pumpförsök där dränagehålet töms och stighastigheten registreras eller genom ett s.k. falling head test



# Utformning och installation

## Utifrån svar på föregående frågeställningar:

- Dokumentera
- Ta fram underhållsplan och utbilda driftpersonal
- Utvärdera mätdata
  - Jämförelse med varnings- och larmvärden
  - Justera varningsvärden
- Underhåll

# Utvärdering av mätdata

## Varning

Innebär att dammens beteende avviker från det förväntade utifrån rådande yttre förhållanden, dock inte tillräckligt mycket för att dammsäkerheten ska anses vara direkt hotad.

Syftet med varningsvärden är att tidigt bli medveten om förändringar och, vid behov, möjliggöra tidiga åtgärder innan fara hinner uppstå.

Varningsgräns bör baseras på ett prediktionsintervall för framtida mätvärden baserat på faktiskt uppmätt mätserie. Exempel på modeller för detta finns i bl a Hellgren et al (2019).

Vid nyinstallation av givare kan varningsvärden temporärt sättas utifrån stabilitetsberäkningar. När tillräcklig mätserie erhållits, bör dock varningsvärden justeras utifrån mätserien och den förväntade variationen.

# Utvärdering av mätdata

## Larm

Om ett larm utlyses behöver akuta åtgärder genomföras för att garantera dammsäkerheten.

Larmvärdet bör bestämmas utifrån värden på upptrycket som motsvarar dammens säkerhetsfaktorer för stabilitet.

Vid ansättandet av larmvärdet är det viktigt att ta hänsyn till studerad brottmod och brottplan.

Uppmätt värde bör översättas till motsvarande värde vid den brottyta som avses, till exempel så mäts ofta portrycket i berggrunden men beräknad stabilitet avser ett brottplan i anliggningsytan mellan betong och berg. I sådana fall behöver uppmätt värde justeras med hänsyn till skillnad i elevation mellan mätområde och brottplan.

Varnings- och larmvärdet bör kopplas till andra randvillkor, till exempel magasin nivå.

# Förslag på framtida studier

- Verifiera rekommendationer gällande utformning av dränagesystem mht upptrycksreducerande inverkan samt eventuell inverkan på igensättning tex
  - c/c-avstånd
  - djup
- Metodik för fastställande av område för mätning samt omräkning av uppmätt värde till värde som utgör indata i stabilitetsberäkningar

# Referenser

- Energiföretagen. (2020). RIDAS - *Energiföretagens riktlinjer för dammsäkerhet. Tillämpningvägledning Kapitel 9*. Energiföretagen
- FERC. (2002). *Federal Guidelines for Dam Safety. Chapter III Gravity Dams*. Federal Energy Regulatory Commission
- FERC. (2002). *Federal guidelines for dam safety. Chapter 9 Instrumentation and monitoring*. Federal Energy Regulatory Commission.
- Hellgren R., Malm R., & Nordström E. (2019). *Modeller för övervakning av betongdammar*. Energiforskrapport 2019:58. Energiforsk.
- Johansson, F., Krounis, A., & Westberg Wilde, M. (2017). *Igensättning av dränage under betongdammar*. Energiforskrapport 2017:369. Energiforsk.
- Mohlin B., Sandström L., Ålenius A & Hassanzadeh, M. (2023). *Övervakning av i berg verkande upptryck på betongdammar – En vägledning*. Energiforskrapport 2023:942. Energiforsk.
- NVE. (2005). *Retningslinjer for betongdammer*. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- USACE. (1995). *Gravity Dam Design - Engineer manual 1110-2-2200*. US Army Corps of Engineers.