

Övervakning av I berg verkande upptryck – En vägledning

Benny Mohlin (Sweco)

Leonard Sandström (Sweco)

Alexandra Ålenius (Aecom)

Manouchehr Hassanzadeh (Sweco)

Agenda

- Inledning
- Beskrivning av upptryck
- Upptrycksmätningar
- Övervakning och instrumentering
- Rutiner för kvalitetskontroll
- Slutsatser och rekommendationer
- Fortsatta studier

Inledning

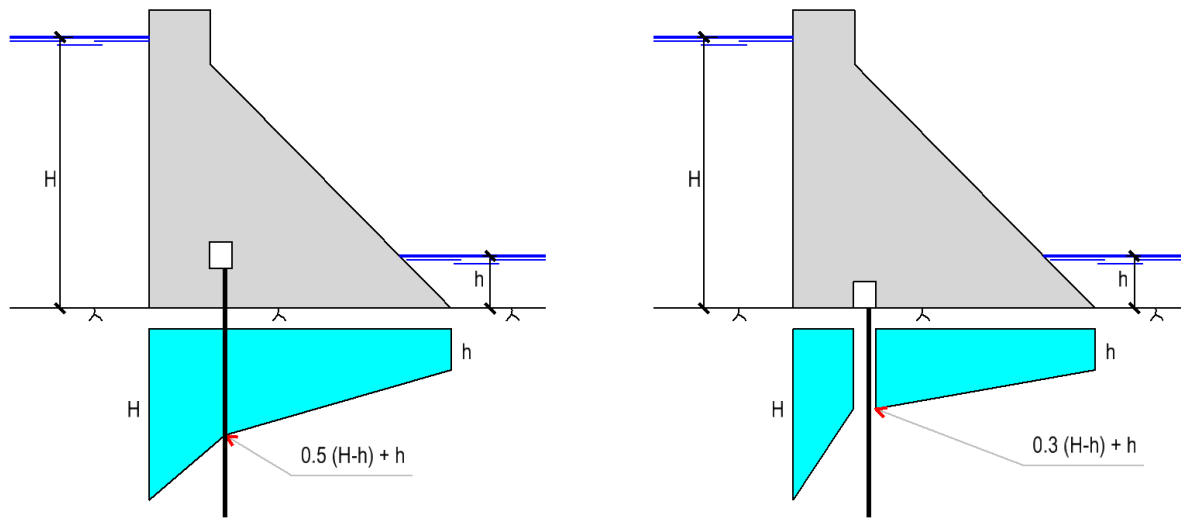
- Upptryck är av stor vikt för betongdammars stabilitet men ofta svårt att uppskatta
- Ett sätt att verifiera beräknad eller antagen upptrycksfördelning under en damm är genom övervakning.
- Övervakning av upptryck utförs generellt där dränagesystem finns eller vid komplexa förhållanden för att kontrollera och kalibrera antaganden i samband med upptrycksberäkning
- Övervakning av upptryck syftar också till verifiering av dränagesystemets funktion över tid.
- Trots detta saknas rekommendation om hur övervakning av upptryck bör utföras och utvärderas och frågor uppkommer ofta i samband med såväl projektering och installation av övervakning som vid utvärdering av mätningar.
- Syftet för denna studie är att analysera ett antal frågeställningar där resultaten ska utgöra en vägledning för utformning av övervakningssystem samt utvärdering av mätdata.

Beskrivning av upptryck

- I de svenska riktlinjerna för dammsäkerhet, RIDAS (Energiföretagen 2020), ges anvisningar för antaganden om upptrycksfördelning vid olika dammtyper.
- Dessa är för enkla konstruktioner där utbredning i längsled förutsätts vara stor och innefattar bland annat massiva dammar, utskovsdammar och lamelldammar. Anvisningar ges också för inverkan av injekteringskärm samt dränagehål på antagen upptrycksfördelningen.
- Baserade på fallen funna i olika riktlinjer.
- En sammanställning och jämförelse mellan riktlinjer inklusive framtagande av schematiska figurer för dessa fall.
- **Figurerna är en förenkling och en bedömning måste göras från fall till fall om de är lämpliga att använda.**

Beskrivning av upptryck

Schematisk upptrycksfördelning för massiv damm med dränage.



- Upptrycket antas variera linjärt från H på uppströmssidan till ett upptryck reducerat med en reduktionsfaktor k vid dränagehålens läge och sedan till h på nedströmssidan.
- Upptrycksreducerande effekten som antas erhållas som följd av dränaget skiljer sig åt i de olika riktlinjerna, se tabell.
- Det saknas generellt information om var dessa kommer ifrån annat än att de är baserade på tidigare erfarenhet, dock utan hänvisning till specifika källor.

Riktlinje	Reduktionsfaktor, k	Övrigt
RIDAS	0,5	
RIDAS	0,3	
USACE	0,33 – 0,75	Ska baseras på mätningar och får enligt (USACE, 2005) vara lägst 0,5 om inte mätningar och flödesanalyser visar att dränagesystemets effektivitet kan motivera en lägre reduktionsfaktor. Enligt (USACE, 1995) får reduktionsfaktor inte sättas lägre än 0,33 även i det fall denna baseras på mätningar och flödesanalyser.
NVE	0,33	Rekommenderat värde om tester och mätningar inte ger underlag för annat värde
FERC		Ingen generell rekommendation gällande k utan ska utvärderas baserat på tester och övervakning av dränagesystemets effektivitet. Generellt antas uppmät effektivitet endast tillämpligt för den magasinsnivå för vilken mätning utförts, dvs extrapolering till högre nivåer tillåts inte annat än vid enstaka fall.

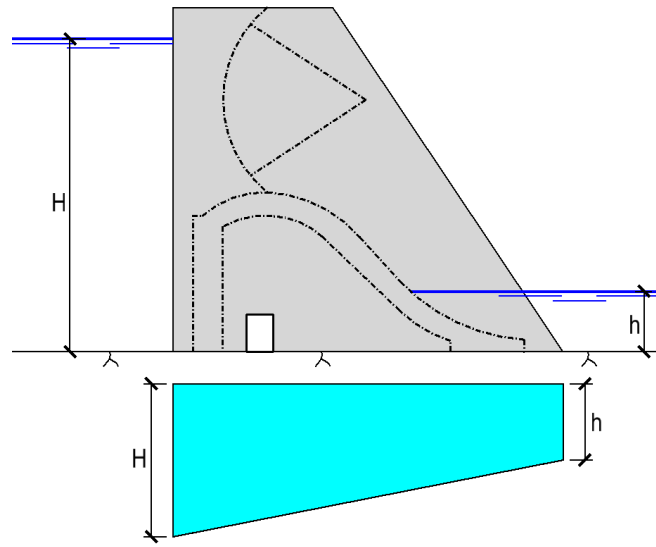
Beskrivning av upptryck

- Även krav gällande utformning av dränagesystem skiljer sig, se tabell.
- Hur bestäms djupet för dränagehålen?

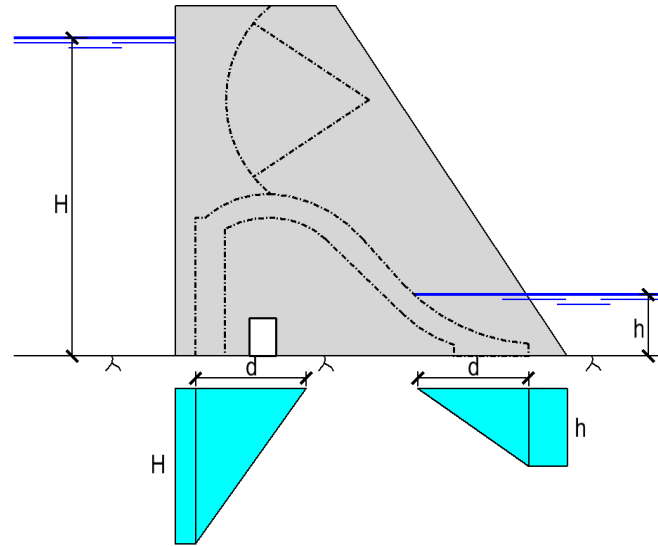
Riktlinje	Diameter	Djup	c/c-avstånd	Övrigt
RIDAS	75-100 mm	0,5H	1,5 – 3,0 m	
USACE				
NVE	≥ 100 mm	0,5H	≤ 3,0 m	Det förutsätts att läckagevattnet från samtliga hål är synligt i inspektionsgången och att vattnet dräneras frostfritt ur dammen via självfall. Inspektionsgången ska placeras så att den ligger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

Beskrivning av upptryck

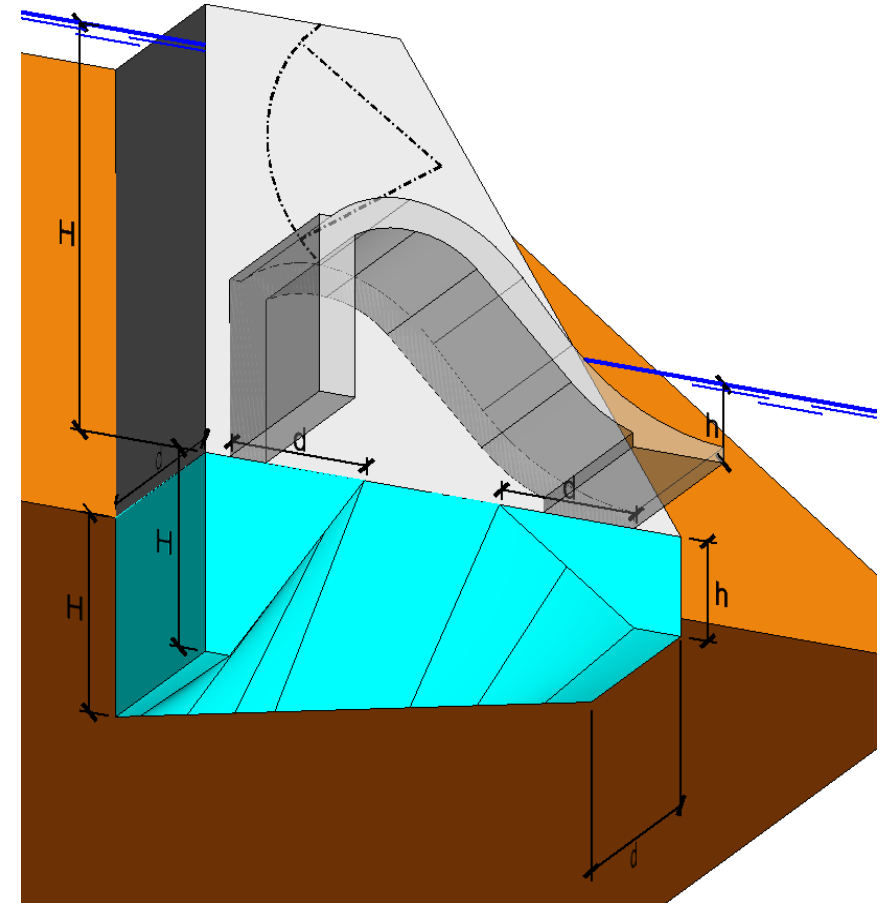
Schematisk upptrycksfördelning för utskovskonstruktioner



Mot fyllningsdamm



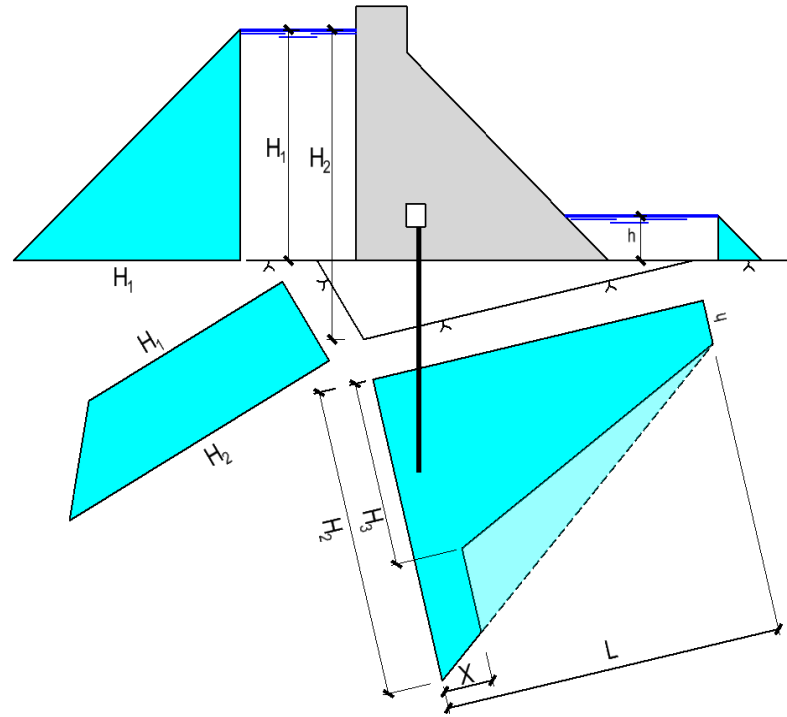
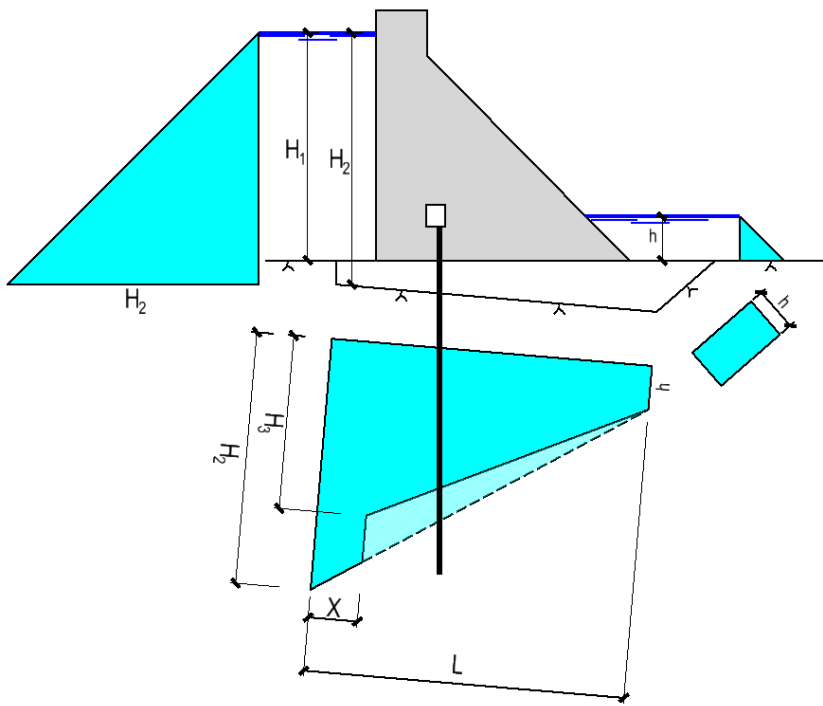
Mot skibord



Beskrivning av upptryck

Schematisk upptrycksfördelning för sprickplan i berg

- Generellt antas upptrycksfördelningen vara samma som den under massivdammar.
- Exempel på upptrycksfördelning vid lutande sprickplan i USACE (2005)



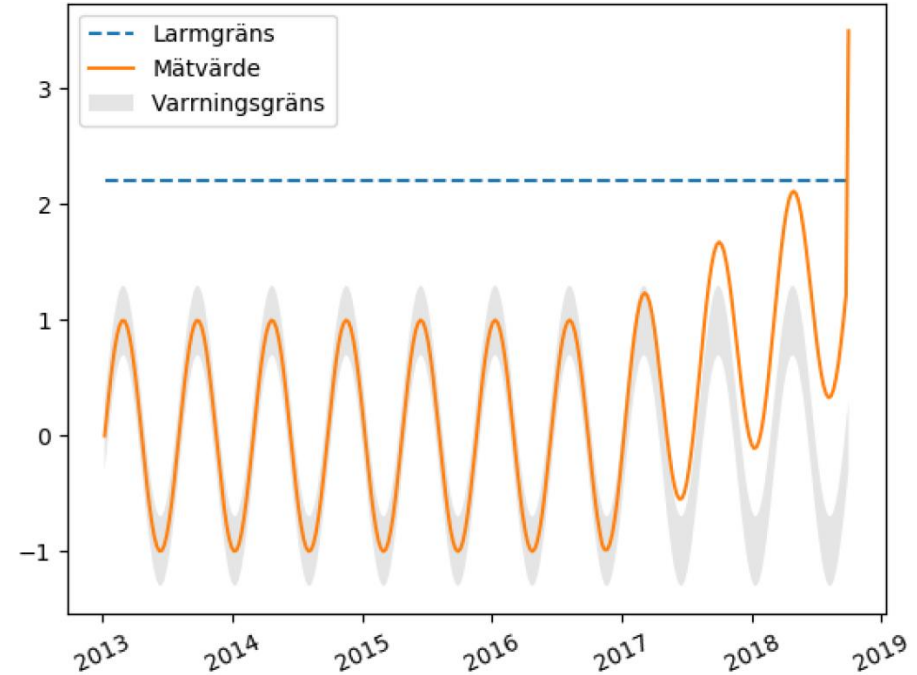
Beskrivning av upptryck

Riktlinjer gällande övervakning av upptryck

- Inga generella instruktioner gällande övervakningssystemets utformning, tex antal, typ och placering, mätintervall etc utan ska anpassas till det specifika fallet.
- Modell av det förväntade upptrycket upprättas innan installation av portrycksgivare för att erhålla en korrekt utvärdering av mätvärden (RIDAS). Liknade rekommendationer i andra riktlinjer.
- Antal och placering ska väljas så att en komplett bild av den parameter som mäts erhålls, hur detta ska göras finns det ingen rekommendation för i RIDAS, normalt mäts bara portrycket i en linje direkt nedströms dränaget.
- Enligt det amerikanska riktlinjen FERC bör 2 till 3 givare placeras i en transversal linje/snitt genom den sektion där maximalt upptryck förväntas.

Upptrycksmätningar

- Syfte med mätningar
 - Kontrollera beräknat upptryck
 - Varning och Larm
- Vad ska mätas?
 - Portryck
 - Läckage
 - Temperatur etc
- Var ska man mäta?
 - Placering av portrycksgivare i längsled
 - Hur djupt i berget ska portrycket mätas?
- Mätintervall
 - Ska ske kontinuerligt så att det går att följa över tid. Varningsvärden kan bara bestämmas om den typiska variationen för portrycket och/eller läckaget är känd.

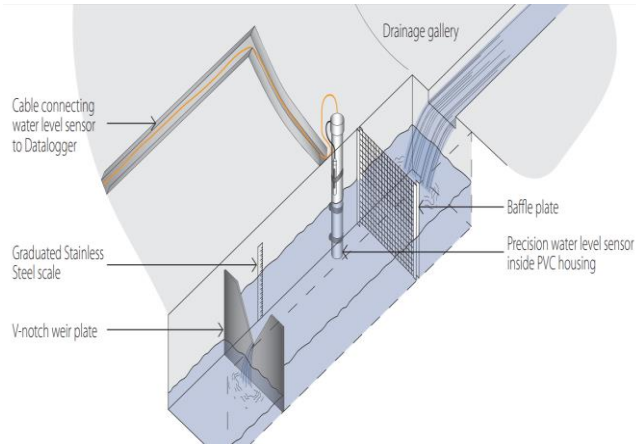


Varnings och larmgräns från Modeller för övervakning av betongdammar, (Hellgren, Malm, Nordström, 2019).

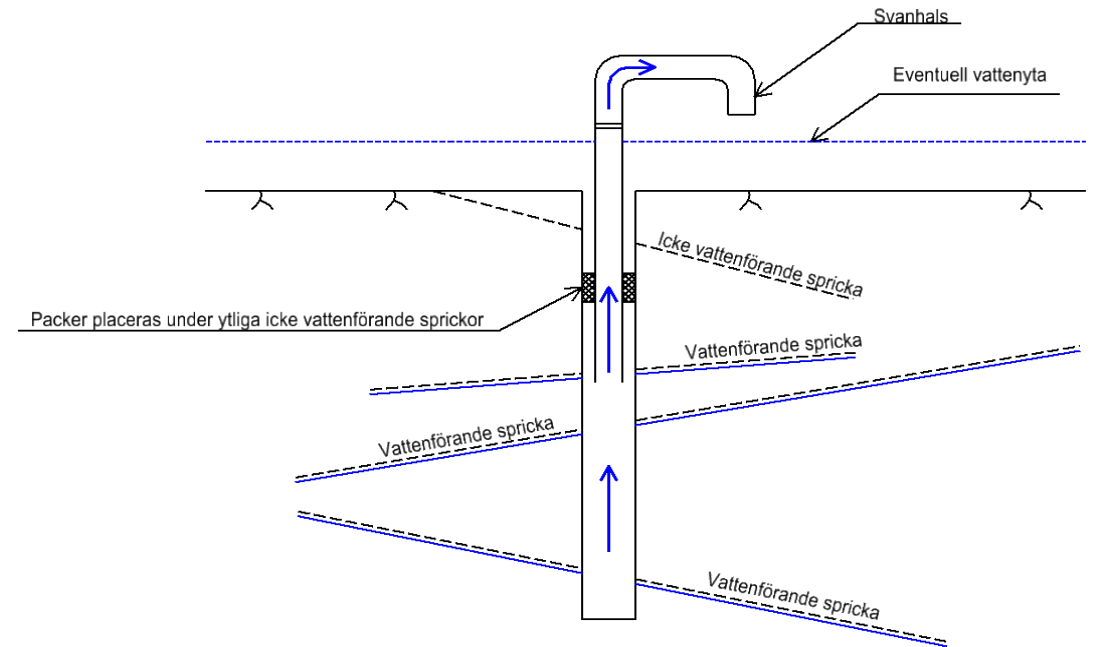
Övervakning och instrumentering

Läckagemätning

- Samlad läckagemätning längs en dammdel – globalt läckage
Flera dränagehål eller från vattenförande sprickor mm



- Läckagemätning ur enskilda dränagehål – lokalt läckage
Mekanisk packer ovan vattenförande spricka + svanhals för mätning av läckage



Övervakning och instrumentering

Läckagemätning ur enskilda dränagehål

Var ska "packern" placeras i borrhålet?

- Studera borrhprotokollet, förekommer det ytliga sprickor eller är berget fast ≤ 3 m från ytan?
- Kontrollera om karteringen av borrhkärnorna alternativt BIPS-filmningen visar vilka sprickor som är vattenförande.
- Bedöm om det finns andra faktorer som påverkar vilken höjd packern bör sitta på, till exempel bergets lutning i monolitfacket



Manual mounting with handle



Övervakning och instrumentering

Läckagemätning ur enskilda dränagehål

Var ska "packern" placeras i borrhålet vid artesiskt tryck?

- Undersök var den vattenförande sprickan finns ned till förslagsvis 3* meters djup genom att placera en tät packer på succesivt djupare nivå, börja på en meters djup under bergöverytan. Om vattnet fortsätter rinna så finns en vattenförande spricka inom den första metern. Packern flyttas då successivt upp tills den är över det vattenförande sprickan.
- Om flödet slutar placeras packern på 2 meters djup. Om det flödar vatten då finns den vattenförande sprickan mellan 1–2 meters djup.
- Om det inte flödar vatten så är den vattenförande sprickan djupare i borrhålet. Undersökningen fortsätter i så fall, dock så begränsas ofta packernivån till 3 meter av praktiska utrymmesskäl. I fall där det finns en fyllning som överlagrar berget kan dock en betydligt längre packer krävas. Detta kan då träs ned via ett foderrör ned till friskt berg.

*3m djup är en praktisk lämplig gräns för när packerns längd blir otymplig. Går dock att skarva djupare om behov finns)

Övervakning och instrumentering

Portrycksmätning i berg

- **Öppna och slutna system**
- BAT-portrycksgivare består av en filterspets med inbyggt tätande gummimembran med ett munstycke med ett gummimembran genom vilket en injektionsnål kan föras igenom alternativt finns en O-ringsförsedd nippelanslutning. Givaren kan tas upp och kalibreras om eller flyttas till ett annat borrhål vid behov.
- Elektriska portrycksgivare mäter deformationen av membranet elektriskt, exempelvis en vibrerande sträng eller trådtöjningsgivare.
- Hydrauliska portrycksgivare har ett membran i filterspetsen kopplat till en vattenfylld slang. Tryckförändringar kan avläsas vid ytan automatiskt eller via manometer.
- Pneumatiska portrycksgivare har ett membran kopplat till en slang med ett konstant luftflöde. Trycket avläses som ett mottryck vid markytan.

Absoluta portrycksgivare

- Kompenseras mot lufttryck
- Tänk på barometereffekten...

Relativa portrycksgivare

- Ska vara utrustade med avfuktare

Temperaturmätning

- Givarna kan försees med inbyggd temperatursensor
- Hjälp vid utvärdering

Tryckgivare

– en dränkbar givare för relativ- eller absoluttryck

Användningsområde

Tryckgivaren är främst avsedd för mätning av grundvattennivåer i öppna rör eller för mätning av portryck. Vid portrycksmätning ansluts givaren till en portrycksspets.

Konstruktion och mätprincip

Tryckgivaren består av en kiselsensor inbyggd i en vattentät hylsa av rostfritt stål. Tryckgivaren innehåller elektronik för signalbehandling och för överföring av dels en mätsignalen 4 - 20 mA och dels via en digital signal, via en signalkabel med 4 ledare. Vid mätning av relativtryck används en ventilerad signalkabel.

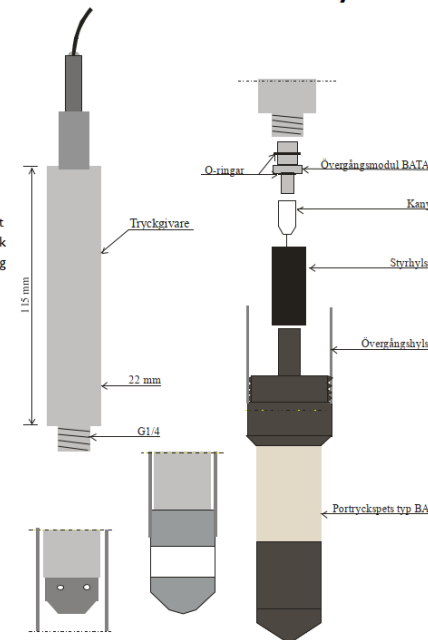
Mätning och registrering

Avläsning av tryck kan göras med ett batteridrivet handinstrument från markytan. Alternativt kan givaren kopplas till en datalogger för automatisk registrering.

Öppna rör

Tryckgivaren försedd med en enkel filterspets sänks ner i ett 1" vattenledningsrör. Se figur 1.

Portryck



Övervakning och instrumentering

Portryckspetsar

- Membranförsedda –kanyl
- Nippel + O-ringstätning
- Enkelt att verifiera ett mätvärde eller byta ut en felande givare
- Förlängningsrör – rostfria molybden-legerade
-ej galvaniserade rör - zinkoxidproblem
- Styrhylsor till givarna –också rostfria



Elit FTS
Art Nr S1010239
Syrafast portryckspets
med rörnippelanslutning



GeoN FTS
Art Nr 1010240
Syrafast portryckspets
med kanylanslutning



Rutiner för kvalitetssäkring

Borrmeter

Hammarborrning

- + Billigare
 - Kräver mer ställningsbyggande
 - Borrålet mer skrovligt och elliptiskt
- - Försvårar montering av packers och pumpningsförsök
- - För kartering krävs borrhålsfilmning (BIPS)

Kärnborrning

- + Fler karteringsmöjligheter
- + Slätare yta på berget i borrhålet - enklare montera packers och utföra pumpförsök
- + Utvärderingen blir bättre
- Dyrare



Rutiner för kvalitetssäkring

Hur djupt ska man borra?

- **Dränagehål**

I RIDAS rekommenderas att dränagehål borraras till halva djupet av magasinet under grundläggningsytan. I praktiken så varierar bergnivån i monolitfacket och även i magasinet. Därav brukar den lägsta punkten i monolitfacket bli styrande och dränagehålen borraras där till ett djup av halva magasinnivån +2 meter.

- **Avväg samtliga borrhåll inom monolitfacket först, topografiskt lägst blir styrande**

- **Portryckshål?**

- Rekommendationer saknas, generellt 6 m i FFU

- Betong ovan berg ska räknas bort vid djupbestämning

- - Borde man bland borra djupare?

- **Avväg samtliga borrhåll inom monolitfacket först, topografiskt lägst blir styrande**

Rutiner för kvalitetssäkring

Underhåll av dränage

- Järnoxidutfällningar kan orsaka igensättning av det vertikala borrhålet –arsenikinnehåll kan vara stort.
- Renblåsning genom förlängningsrör eller demontera packer fungerar.



Horisontella sprickor som passerar dränagehålet och som börjat sätta igen på grund av mineralisering

- - Går ej att "spola upp"
- - Nya dränagehål måste borraras.

Rutiner för kvalitetssäkring

Verifikationstester

Dränagehålen

- Referensmätningar vid installation möjliggör att bedöma ifall dränagehålet är på väg att sätta igen.
 - under 2 m vattenpelare – ”falling head”
 - över 2 m vattenpelare – urpumpningsförsök
 - artesiskt tryck – mätning av flöde via svanhals

Portryck

- Kontrollera 0-värde i luft varje år
- Kontrollera mot ett provtryck vartannat år
- Vid installation och vid behov, skicka ett fingerat tryck till HMI för kontroll av korrekt skalning mm



Slutsatser och rekommendationer

- Hur uppträckslasten beräknas stämmer ofta väl överens mellan olika riktlinjer, viss skillnad finns i hur man tillgodoräknar dränaget i stabilitetsberäkningar, hur dränaget bör utformas varierar också till viss del.
- Gemensamt för riktlinjerna är att uppträcket bör övervakas om en reduktion tillgodoräknas från dränaget.
- Det saknas riktlinjer för utformning av uppträcksövervakningen. Det är dock viktigt att tidigt bestämma vad syftet med övervakningen är samt hur man avser att använda mätdatat.
- Bestäm tidigt om man vill att ytterligare information ska framkomma i samband med installation av övervakningssystemet, tex berggrundens egenskaper, som kan vara av nytta vid såväl utvärdering av mätdatat och uppdatering av stabilitetsberäkningar som vid utformning av själva övervakningssystemet.

Slutsatser och rekommendationer

- Syfte med dränaget och vad ska övervakas?
- Vilken typ av instrumentering är lämpligast, vilka parametrar?
- Vilken bormetod ska jag välja – lämna inte fritt i ett FFU till borrentreprenören att välja
- Vad ska styra packers placering i borrhålen – vilka sprickor är vattenförande och ska särskilt övervakas?
- Ha inte för bråttom att besluta var mätning ska utföras, kartera först.
- Utför referensmätningar av dränagehålens funktion i samband med borrhningen. Annars svårt i framtiden att avgöra om igensättning är ”på gång”
- Upprätta ett kontrollprogram för verifikationstester av såväl dränagehål som portrycksgivare.
- Utbilda driftspersonalen så de förstår syftet med instrumenteringen, kan utföra verifikationstester och vet hur de ska åtgärda avvikelser.

Rekommenderade fortsatta studier

- **Instrumenteringen beror på syftet när det gäller placering och antal**
- Det saknas riktlinjer om placering och antal vid mätning av portryck i en hel sektion
- Ingen riktlinje finns egentligen om vilket djup portryckspetsar ska placeras på, normalt placeras de ca 6 m under den topografiskt lägst belägna punkten inom ett monolitfack

Rekommenderas att vidare studier behöva utföras på ovanstående.