

INSTRUMENTERING AV BETONGDAMMAR – KARTLÄGGNING

Energiforskseminarium 2019-05-09

Digitaliseringen i vattenkraften – nya möjligheter till prediktivt underhåll

Richard Malm,
Tekn. Dr.
Sweco Power Generation and Dams
KTH Betongbyggnad

Introduktion

- Pågående projekt inom Energiforsks betongprogram vattenkraft som bedrivs av Sweco;
 - Richard Malm, Benny Mohlin & Jonas Enzell
- Översikt av olika mätsystem och utrustning för instrumentering och övervakning av betongdammar, inkl. beskriva möjligheter och begränsningar med olika mätsystem och givare.
- De aspekter som behandlas i rapporten är
 - Syfte med instrumentering – behov av övervakning
 - Typer av mätsystem och deras för- och nackdelar
 - Typer av givare / sensorer och deras för- och nackdelar
 - Viktiga aspekter vid installation och funktionskontroll
 - Behov av underhåll



Disposition av presentationen

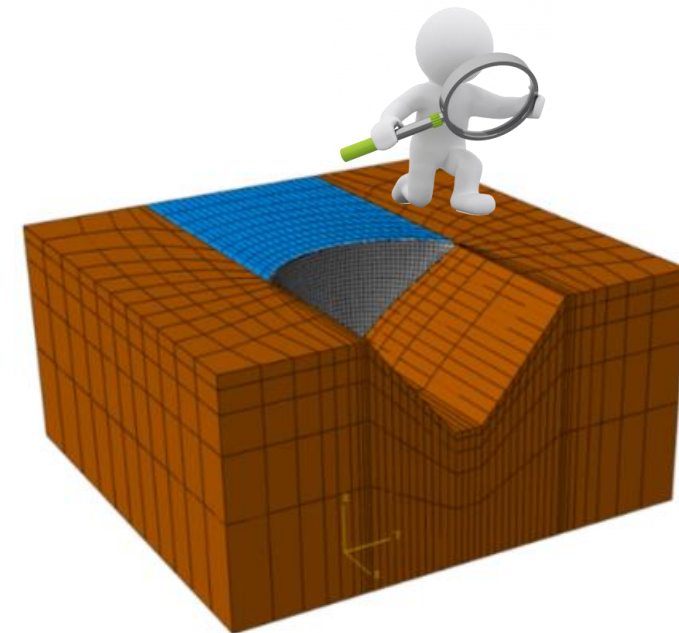
Dagens presentation följer i stort upplägget i rapporten.

1. Dammövervakning (bakgrund, motiv, begrepp)
2. Deformationsmätningar (förskjutning, töjning, etc)
3. Temperaturmätningar
4. Andra typer av mätningar (lastceller, islaster, kamera & fotogrammetri)
5. Vattenmätningar (läckage, porttryck, fukt)
6. Mätsystem
7. Projektering, installation och funktionskontroll
8. Slutsatser



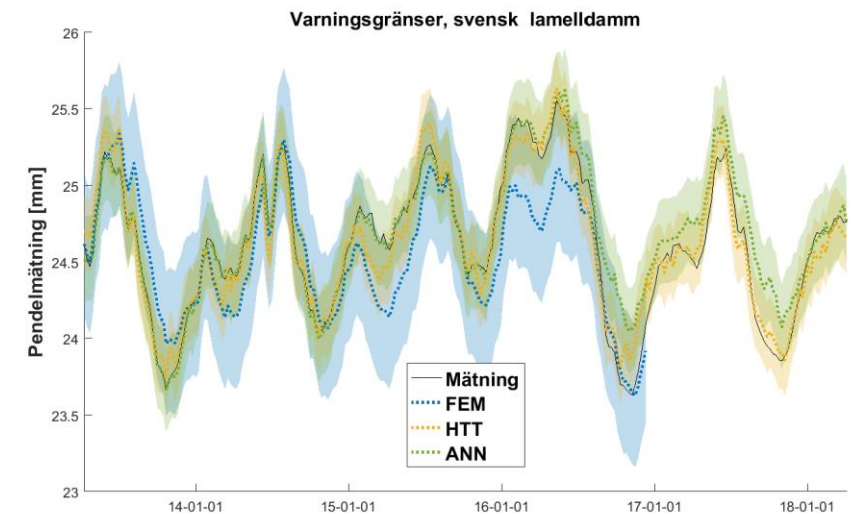
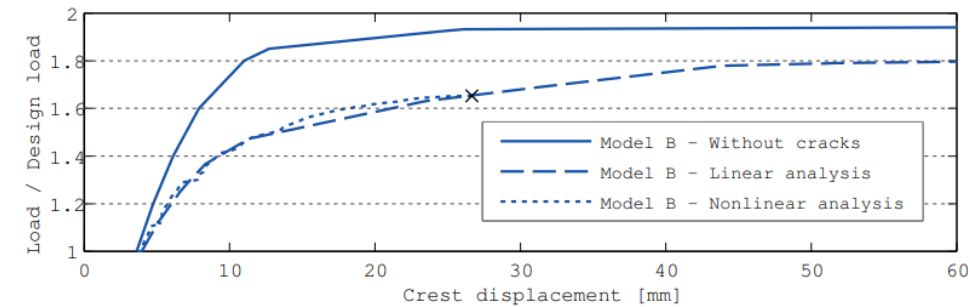
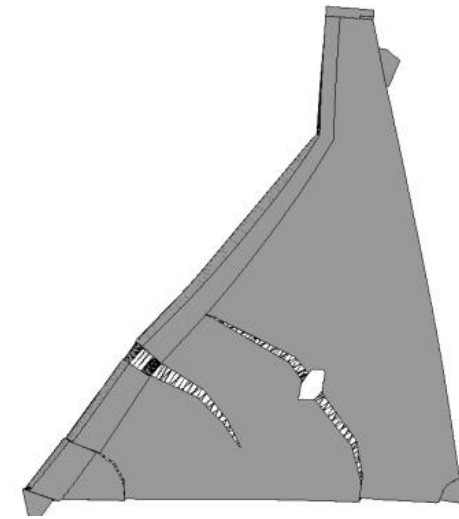
Dammövervakning

- Tillståndskontroll av befintliga dammanläggningar innefattar övervakning och kontrollaktiviteter så som
 - Inspektioner
 - Driftmässig tillsyn
 - Instrumentering och mätningar
 - Värdering av mätdata
 - Funktionskontroller
- Syftet med övervakning av dammar och övriga typer av konstruktioner är främst att upptäcka eventuella förändringar och därmed kontrollera att konstruktionen beter sig som förväntat
- Målet med att upptäcka förändringarna är att kunna få tidiga indikationer om konstruktionens respons förändras både på lång sikt eller på kort sikt. Hindra att en icke-önskvärd reduktion av dammsäkerheten sker genom att införa åtgärder.



Dammövervakning

- Viktigt att välja lämplig instrumentering, detta innefattar dels beslut om
 - var givare ska placeras (så att de tidigt kan indikera olika möjliga brottscenarios),
 - vilken typ av givare som bör användas (så att rätt typ av beteende och parameter övervakas),
 - förväntade mätvärden vid normal drift men även vid en eventuell initiering av ett brott (så att givare med tillräcklig känslighet väljs och att lämpliga larm och/eller varningsnivåer kan definieras vid behov)
- Detta projekt fokuserar på punkt nummer två. (övriga punkter hanteras i andra projekt inom Energiforsk och Svenskt vattenkraftcentrum)



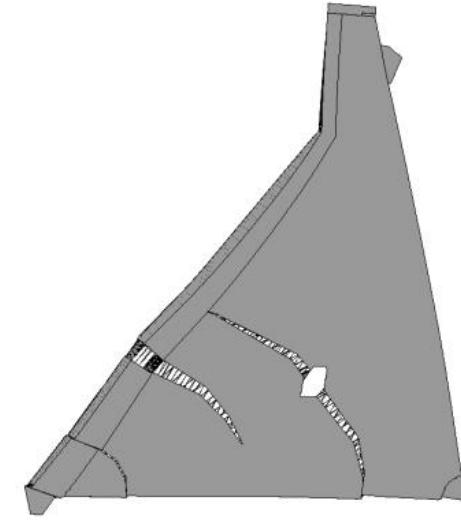
Mätsystem

Enklare mätsystem består ofta av följande komponenter

- givare (ofta även benämnda som sensorer) som kan mäta en fysikalisk storhet (deformation, tryck, töjning, temperatur, etc.),
- förstärkare – kan behövas för signalöverföring/signalbehandling
- loggers – insamling av mätdata från olika givare
- kommunikationsenhet – för överföring av mätdata
- dator (eller server) - för lagring och eventuellt bearbetning av mätdata



Detektorer och stödmätningar



- Vid dammövervakning kan instrumentering av en betongdamm ske dels i syfte att upptäcka förändringar i dammens beteende men även för att inhämta information som behövs som indata vid framtida utvärderingar
- **Detektorer** - syfte att detektera en pågående initiering av en potentiell felmod. Olika typer av givare kan vara detektorer för olika potentiella brottmoder. Vanligtvis utgörs detta av givare som mäter parametrar såsom portryck, läckage, rörelser i berg eller betong (pendlar, extensometrar, sprickviddsgivare) etc. detektorer. Typiskt för de givare som definieras som detektorer är att ett realtidslarm kopplas till dessa så att en åtgärd kan vidtas tas om dessa givare ger signal om värden högre än tillåtna.
- **Stödinstrumentering** - kan till exempel övervaka långtidsförändringar eller omgivande faktorer som är viktig input för utvärderingen av dammen. Exempel på parametrar kan vara temperatur, relativ fuktighet, deformationer/rörelser (t.ex. töjning, spricköppning, eller förskjutning) i delar av konstruktionen som inte bedöms utgöra risk för dammbrott etc. Typiskt för dessa givare är att de saknar realtidslarm.

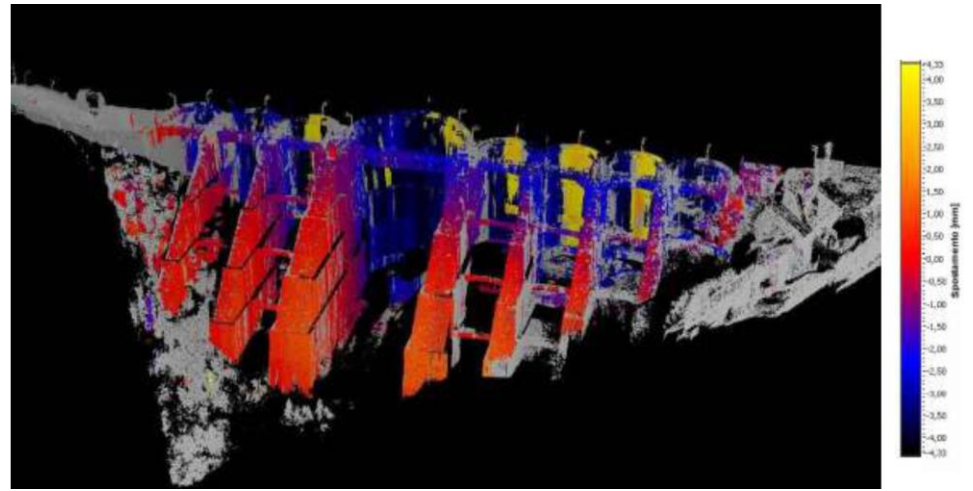
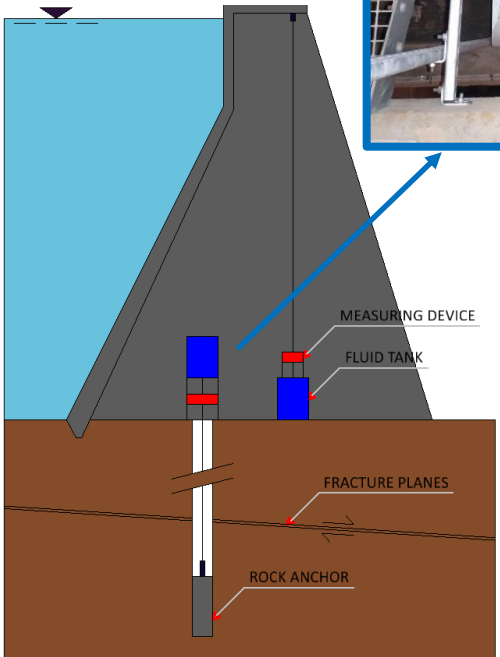
Global vs lokal mätning

- Vi särskiljer i denna rapport på om givare fångar dammens *globala* eller *lokala* beteende
 - Vid **lokala givare**, så som t.ex. töjningsgivare, sprickgivare, lokala portryckgivare etc. är att det ofta kan vara svårt att skala upp det uppmätta beteendet vid dessa givare till något som kan representera hela dammen. (dvs portryckändringar i närheten av portrycksgivaren eller t.ex. spricköppning i en ej övervakad spricka kommer rimligtvis inte att upptäckas)
 - **Globala givare**, så som pendelgivare, mätöverfall för läckage etc. beskriver det integrerade beteendet hos en del av dammen eller hos hela dammen. Eftersom dessa typer av givare registrerar beteendet för en större del blir mätskalan större och det är därför lättare att upptäcka avvikelser i dammens beteende. Dock svårt att identifiera var denna förändring har skett, dvs vilken spricka som vidgar sig eller var det ökade läckaget har uppstått. En nackdel är också att när man väl upptäcker en förändring i det globala beteendet så är risken stor att en eventuell skada är längre utvecklad.

Deformationsmätningar

- Är en av de vanligaste formen för mätövervakning av betongdammar och i samtliga fall bestäms rörelsen relativt en given punkt, antingen en vald referenspunkt eller t.ex. på vardera sida om en spricka
 - Global mätning (pendel, tiltgivare, totalstation, radar, laser) – vanligtvis övervakning av krön eller utvalda punkter längsmed dammen
 - Lokal mätning (sprickviddsgivare, extensometer, töjningsgivare, fiberoptiska kablar)
- Globala givare tillämpas ofta som detektorer medan lokala givare oftare används som stödinstrumentering. Vid dammövervakning på svenska dammar är
 - pendelgivare en av de mest vanligt förekommande mätteknikerna för övervakning av krönrörelsen, (krönrörelsen oftast en av de mest effektiva globala parametrarna att övervaka)
 - Sprickgivare en av de mest vanligt förekommande lokala givare som används för övervakning av betongdammar
- Stor skillnad i noggrannhet beroende på typ av mätteknik, från < 0.01 mm till 1 mm.

Globala deformationsgivare



Markbaserad radar



Lasergivare



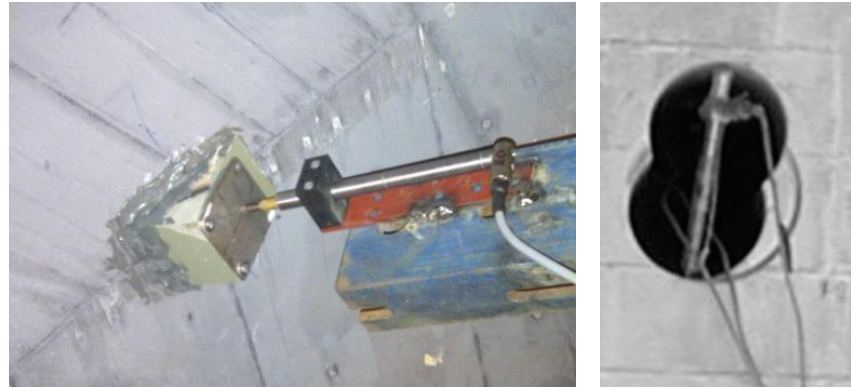
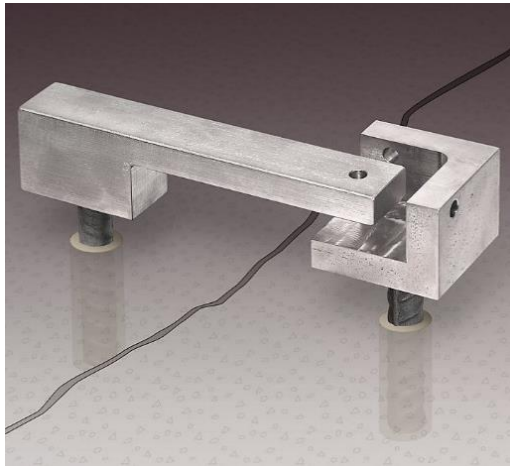
Tiltsensor



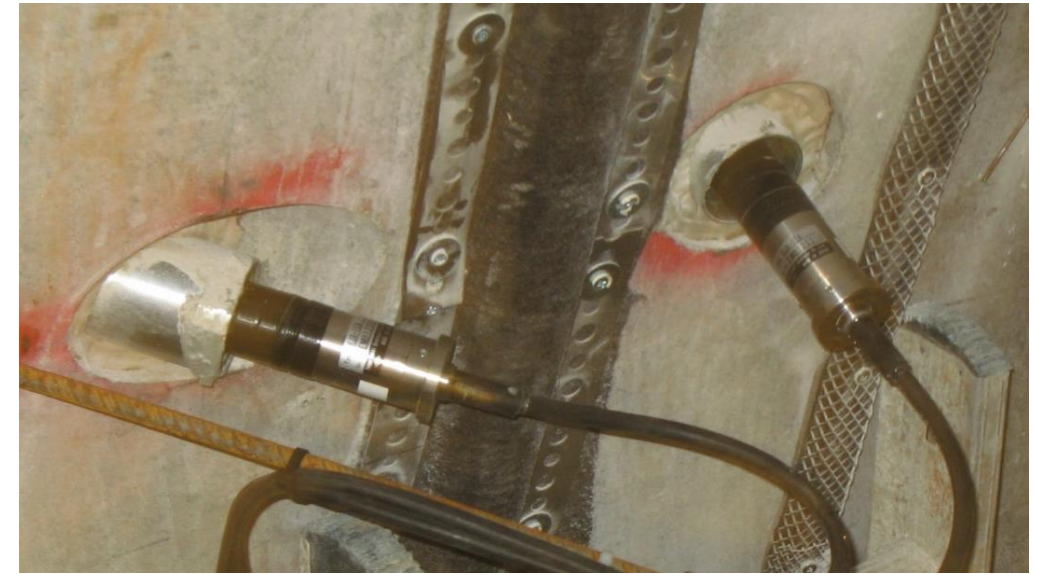
Totalstation

Hängande resp inverterad pendel

Lokala deformationsgivare



LVDT givare



Joint-meter



Sprickgivare



Töjnings och spänningsgivare



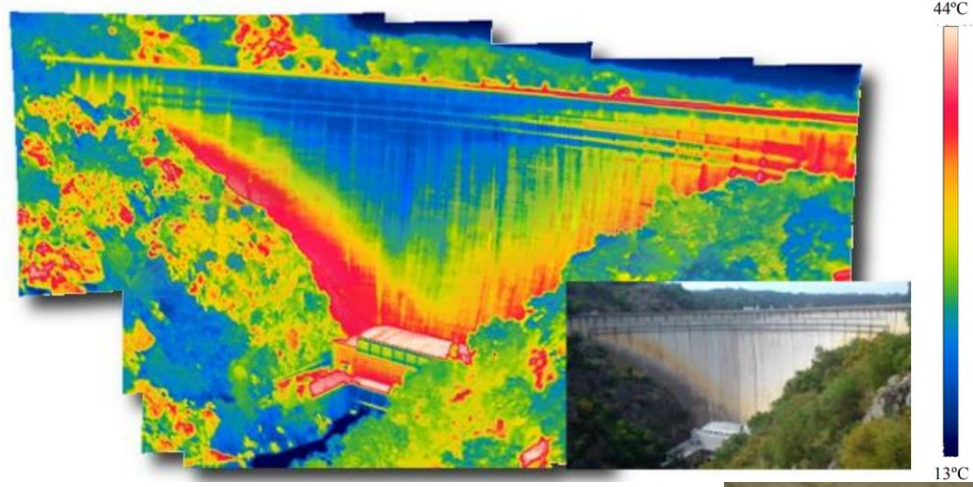
Extensometer



Temperaturgivare

- Temperaturvariationer, så som värmeutveckling under hydratation, säsongsb beroende variationer, uppvärmning pga aggregatnära konstruktioner etc, har stor inverkan på betongdammar.
 - Är en av de dominerande orsakerna till den sprickbild som ofta finns på dammar
- SMHIs klimatdatabas ger oftast god information om omgivningsklimatet men särskilt viktigt att lokala anläggningsspecifika temperaturer övervakas, så som t.ex. betongtemperaturer eller temperaturen i inre delar samt temperaturvariationer med stora osäkerheter, dvs magasinstemperaturen
- Mätnoggrannhet varierar mellan olika fabrikat (beror på material), typiskt $> 0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperaturgivare



Värmekamera



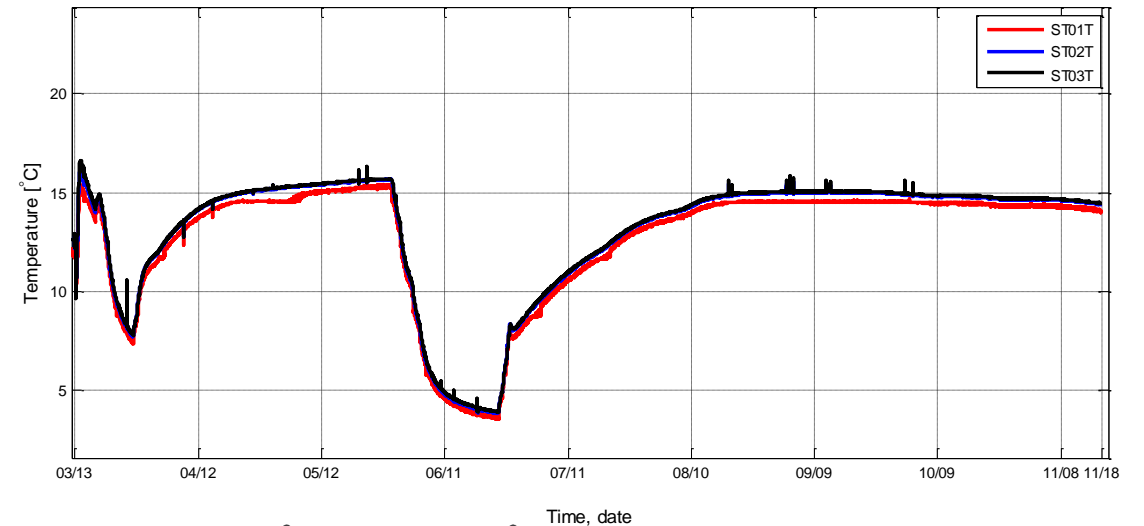
Fiberoptiska givare



Templinor



Kombinerade töjning/tempgivare



Exempel på resultat från termoelement resp. termistor

Andra typer av mätningar



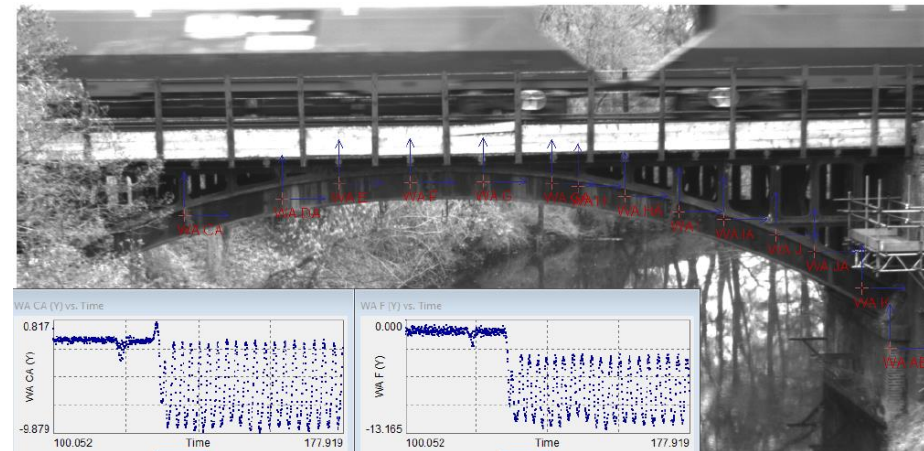
Accelerometer



Lastceller



Islastmätningar



Fotogrammetri



Vatten – läckage, upptryck och fukt vid betongdammar

- Globalt läckage – mätöverfall och normalt ultraljudsgivare/tryckgivare eller mätning av återfyllningstid för pumpar ICOLD (2018) anger att mätområdet bör vara det förväntade vattenflödet +100 % och att precisionen är ± 5 % av mätområdet.
- Lokalt läckage – flödesmätning i t.ex monterade ”svanhalsar”, monterade med packer i dränagehål
- Portryck i undergrund som kan ge artesiskt tryck = upptryck!
 - Mäts via manometerar monterade i toppen av ingjutna rör i utvalda dränagehål i berg, eller
 - Svängande sträng givare ingjutna i berg, eller
 - BAT-system, dvs ingjuten portrycksspets i berget. Givare sänks ned via rostfria förlängningsrör och ansluts till portrycksspets. Precisionen 0,15% av mätområdet, dvs 4, 5 cm för en 300 kPa-givare (max 5 cm fel enligt RIDAS)
- Relativa fuktmätare, kombineras ofta med temperaturmätning i samma givare

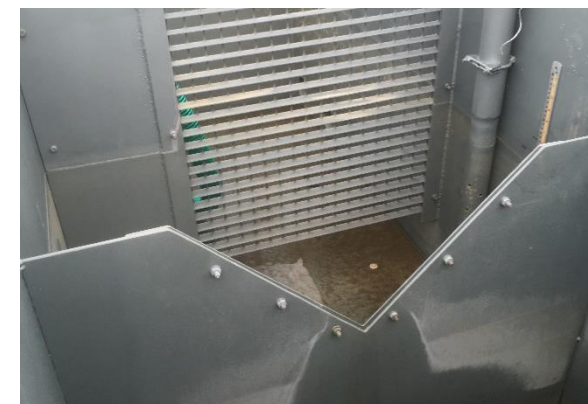
Vatten-globalt läckage.



Ultraljudsgivare för styrning av dränagepump



Ultraljudsgivare för mätning i pegelbrunn



Mätöverfall

Vatten – lokalt läckage

- Monterade svanhalsar i dränagehål – möjligt att observera förändring samt mäta flöde



Vatten – portrycksgivare

- Vanligtvis används portrycksgivare av typ BAT med membran, artesiskt tryck
- Mekaniska packers ingjutna
- Kanske de viktigaste givarna, ger förvarning i tid.
- Unikt för Sverige – stor fördel kunna funktionskontrollera



Vatten – fukt och temperatur



- Fuktmätare med inbyggd temperaturmätning

Funktionsprovning

- Vikten av att utföra kontinuerliga kontroller och kalibrering av instrument poängteras i *Dam surveillance guide, Bulletin 158*
- Vid en internationell litteraturstudie så betonas vikten av att kunna verifiera mätvärdet, men oftast inte hur det ska utföras. I en del fall så finns installerat dubbla givare, för att på så sätt kunna uppvisa att en rörelse finns registrerade på bägge givarna
- Om man redan vid projekteringsstadiet, samt vid installationen har med sig tanken att mätvärdet på något sätt ska kunna verifieras manuellt så är det fullt möjligt att uppnå ett system där mätvärdena kan verifieras och att installationerna blir pålitliga.
- Startvärden – för både manuella och automatiserade värden viktiga!!

Rekommenderade kontrollintervall förskjutningsgivare

Global förskjutning	Kontrollmetod	månad 1-3	år 1	år 2-3	Långsiktigt
Hängande och inverterad pendel	Avläsning med manuellt instrument Kontroll mot fingerat värde	var annan vecka	var annan månad	2 ggr/år	1 gång per år ¹ Vart annat år ¹
Tiltgivare	Mätning med maskinvattenpass Avstämning mot annan instrumentering	var annan vecka var annan vecka	var annan månad	2 ggr/år	1 gång per år ¹ 1 gång per år ¹
Lokal förskjutning					
Extensometer	Mätning med skjutmått mellan kontrollpunkter	1 gång/månad	2 ggr/år	1 gång per år	1 gång per år
1D-Sprickgivare	Mätning med skjutmått mellan kontrollpunkter	1 gång/månad	2 ggr/år	1 gång per år	1 gång per år
3D-Sprickgivare	Urtagning av automatiska mätinstrument och mätning med skjutmått	1 gång/månad	1 gång per år	1 gång per år	1 gång per år

¹Kontrollmätning bör inte ske samma månad varje år, på det viset kan säsongsvariationer kompenseras för



Kontroll av pendel mot fingerad förskjutning

Rekommenderade kontrollintervall vattenmätning

Vatten

Vattennivågivare	Kontrollmetod	månad 1-3	år 1	år 2-3	Långsiktigt
Tryckgivare	Kontroll mot pegel	1 gång/månad	2 ggr/år	1 gång per år	1 gång per år
Resistansgivare (TGDC)	Kontroll mot pegel	1 gång/månad	2 ggr/år	1 gång per år	1 gång per år
Kapacitiv vinkelgivare	Kontroll mot pegel	1 gång/månad	2 ggr/år	1 gång per år	1 gång per år
Kodgivare	Kontroll mot pegel	1 gång/månad	2 ggr/år	1 gång per år	1 gång per år
Ultraljudsgivare	Kontroll mot pegel	1 gång/månad	2 ggr/år	1 gång per år	1 gång per år
Radargivare	Kontroll mot pegel	1 gång/månad	2 ggr/år	1 gång per år	1 gång per år
Globalt läckage					
Mätöverfall	Mätning av flöde		2 ggr/år	1 gång per år	1 gång per år
Portryck					
BAT-system	Kalibrering av nollpunkt		1 gång per år	1 gång per år	1 gång per år
	Kalibrering mot känt vattentryck			Var annat år	Var annat år



Slutsatser

- Finns i dag begränsade instruktioner i RIDAS för hur dammar bör instrumenteras och relativt låg instrumenteringsnivå på många svenska dammar.
- Behov av att öka kunskap om instrumentering
 - Erfarenheter från angränsande branscher
 - Internationella erfarenheter
 - Snabb utveckling inom mättekniken (särskilt inom non-contact methods)
- Arbetet kommer presenteras i en Energiforskrappport som bl.a. beskriver olika mätmetoder och givare, deras fördelar och nackdelar samt viktiga erfarenheter tidigare projekt
 - Förväntas att publiceras senare i vår

SWECO

