



Användning av databaserade modeller för att upptäcka skador i betongdammar

Dammätning - syfte, analys och utvärdering, SwedCold, 2020-10-20

A decorative graphic consisting of several horizontal blue lines that are connected by vertical lines, creating a stepped or staircase-like pattern across the middle of the slide.

Rikard Hellgren (Tekn. Lic) KTH / WSP

Richard Malm (Docent) KTH / SWECO

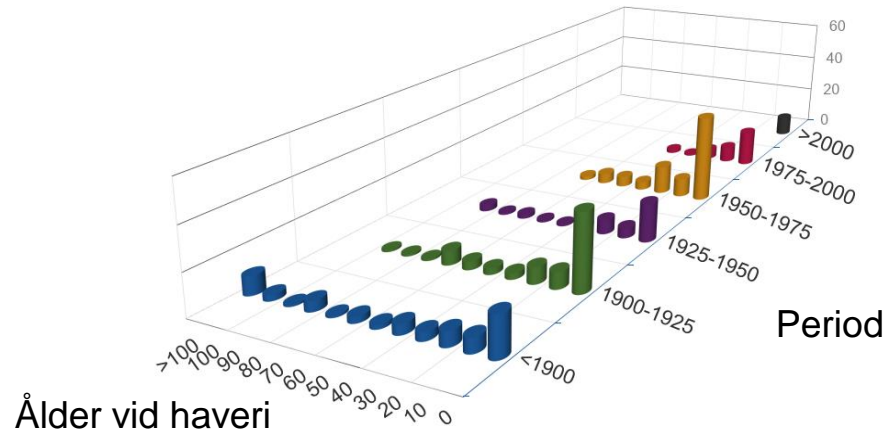
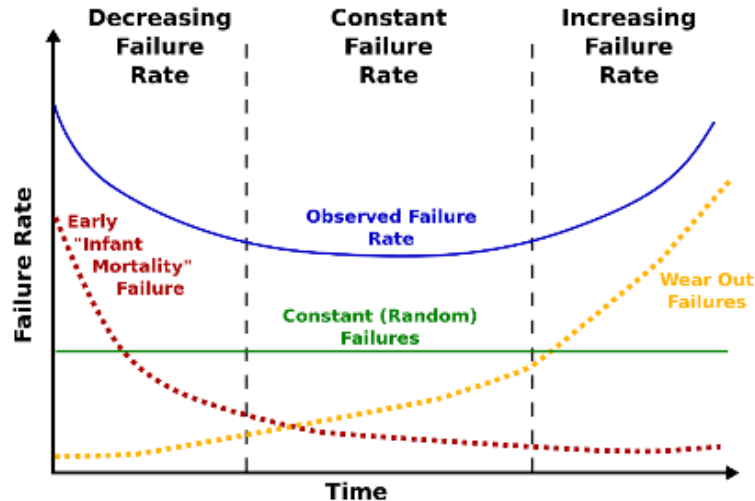
Inledning



- Dammätningar utgör en viktig del för att kunna bedöma en anläggnings status samt för att tidigt få en indikation av eventuella förändringar.
- Viktigt att välja lämplig instrumentering, detta innefattar dels beslut om
 1. var givare ska placeras (så att de tidigt kan indikera olika möjliga brottscenarios),
 2. vilken typ av givare som bör användas (så att rätt typ av beteende och parameter övervakas),
 3. förväntade mätvärden vid normal drift och 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)
- Krömförskjutning är ofta en av de bästa parametrarna att övervaka. Deformationer på årsbasis vanligtvis några millimeter (vid isolervägg) till enstaka centimeter (utan isolervägg)
 - I denna presentation fokuseras på val av varningsnivåer och möjligheten att identifiera en förändring i dammens tillstånd.

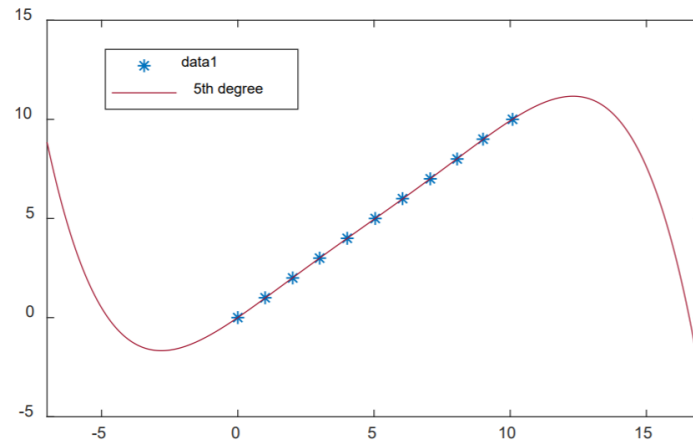
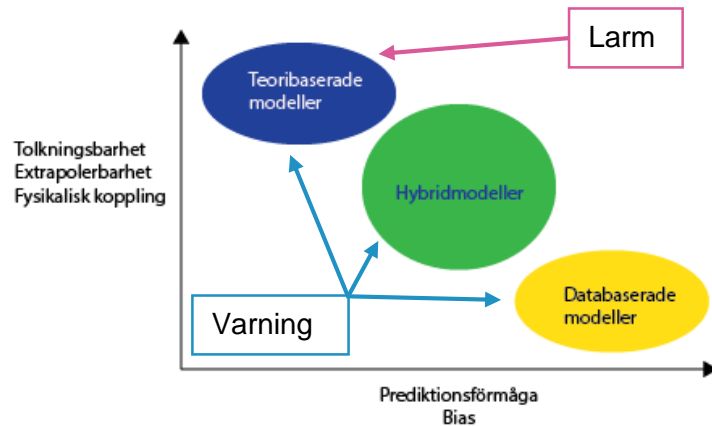
Inledning

- Ökad sannolikhet för dammbrott dels närmaste åren efter konstruktion men även pga ökande ålder.
- Brottförloppet vid ung ålder avviker sannolikt ifrån brottförloppen vid hög ålder
 - Brottförloppet hos åldrande anläggningar sker progressivt (nedbrytning)



Databaserade modeller

- Databaserade modeller utgår från befintlig mätdata
 - Genom kurvanpassning/viktning kalibreras en modell som kan användas för prediktion av dammens beteende.
 - Modellerna behöver inte ha någon direkt fysikalisk koppling
- Databaserade modeller kan ha mycket hög prediktionsförmåga men har i gengäld låg tolkningsbarhet
- Bör inte användas för extrapolering dvs prediktera beteende vid lastnivåer som överskrider nivåerna för kalibrering (pga risk för överanpassning av modellerna)



Multipel regression

- De två mest använda regressionsmodellerna
 - HST (Hydrostatic-Seasonal-Time) - Willm and Beaujoint (1967)
 - HTT (Hydrostatic-Temperature-Time) – Legér and Leclerc (2007)
- HST (Hydrostatic, Seasonal, and Time)

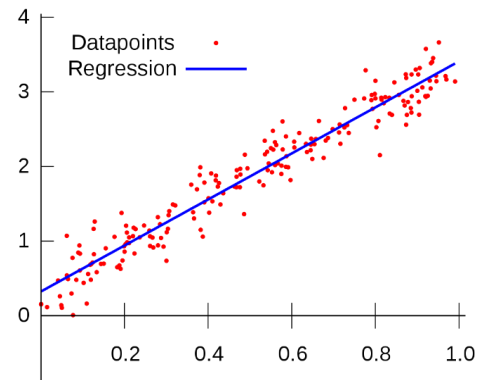
$$y_{HST} = F_1(H) + F_2(S) + F_3(t)$$

där

$$F_1(H) = w_0 + w_1H + w_2H^2 + w_3H^3 + w_4H^4 \quad H = \frac{h}{h_{\text{dam}}}$$

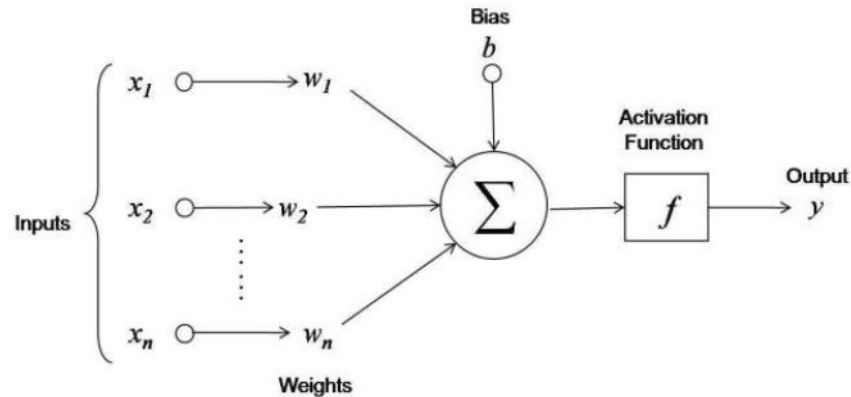
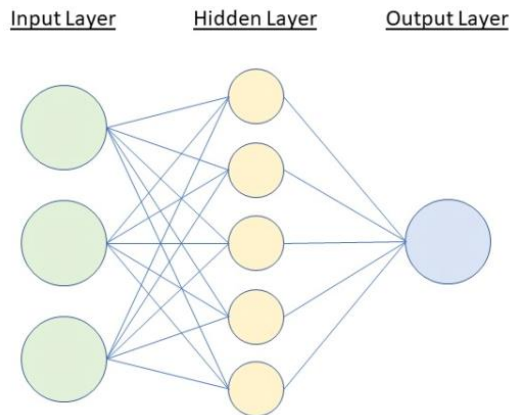
$$F_2(S) = w_5 \sin\left(\frac{2\pi t}{L}\right) + w_6 \cos\left(\frac{2\pi t}{L}\right) + w_7 \sin\left(\frac{4\pi t}{L}\right) + w_8 \cos\left(\frac{4\pi t}{L}\right)$$

$$F_3(t) = w_9 t$$



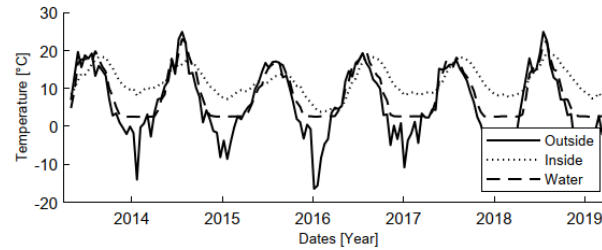
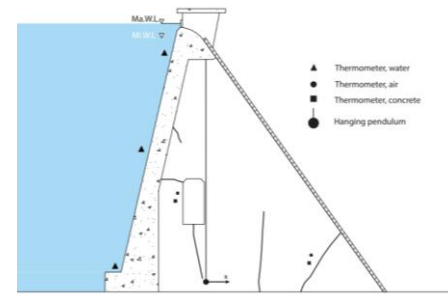
Artificiella Neurala nätverk (ANN)

- Artificiella neuronnätverk är ett samlingsnamn på en grupp av självlärande algoritmer som efterliknar biologiska neuronnätverk i t.ex. hjärnan.
 - Inom varje kärna viktas varje indata och med en transferfunktion (hyperbolic i detta fall), så skapas utdatan.
 - Vid inlärningsprocessen så itereras storleken på dessa vikter med hjälp av Levenberg-Marquardt backpropagation

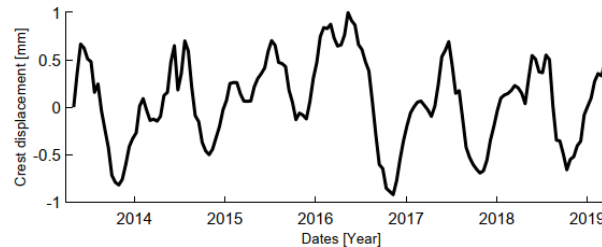


Fallstudie – nedbrytning

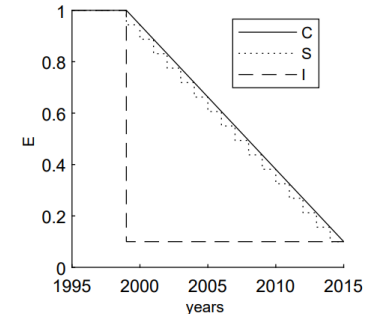
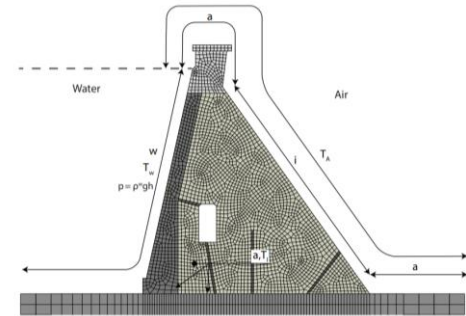
- Kalibrerad finit elementmodell av en lamelldammsmonolit används för att skapa artificiella tidssignaler (krönförskjutning) för att simulera olika scenarios med skadeutveckling.
- Nedbrytning simuleras genom reducerad styvhet
 - Frontplatta (Fp)
 - Stödskena (Bu)
 - Sprickor (Cr)
- Tre olika nedbrytningshastigheter
 - Kontinuerlig (linjär)
 - Säsong (steg)
 - Plötslig (momentan)



(a) Temperature

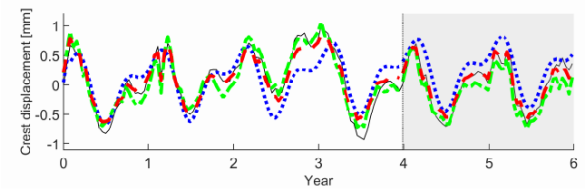


(b) Crest displacement

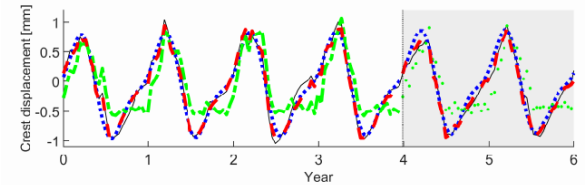


Resultat

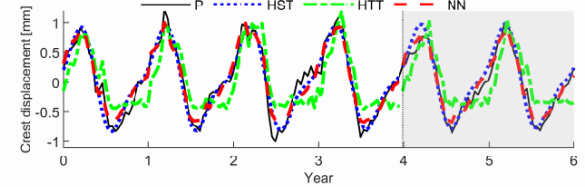
- Prediktionsmodellerna ger något högre överensstämmelse mot artificiell data än uppmätt data för den oskadade monoliten.
- Mycket liten skillnad i beräknad krömförskjutning mellan olika skade-scenarios.
 - Oftast omöjlig att detektera via visuell studie av tidssignalerna



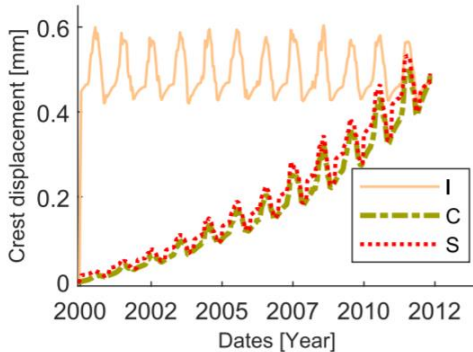
(a) Measurement data



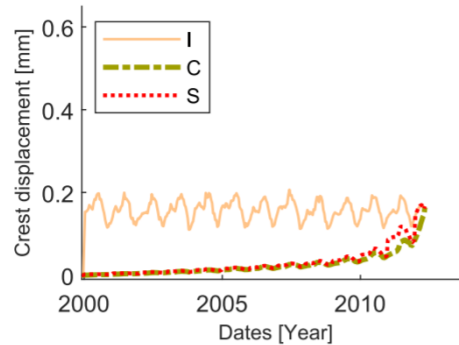
(b) Simulation data



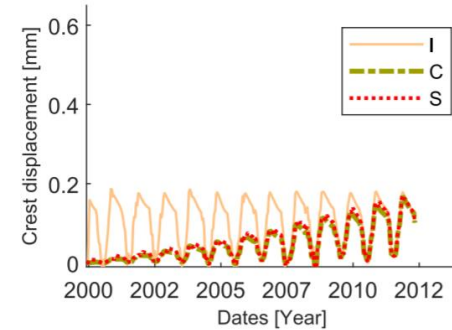
(c) Disturbed simulation data, 10 %



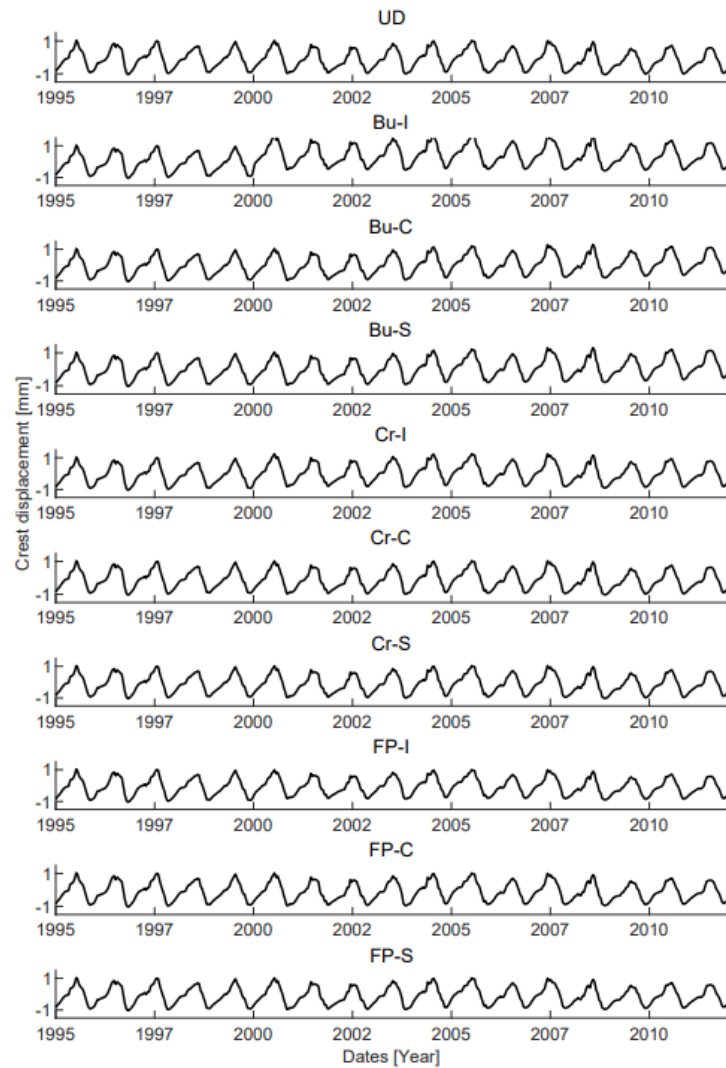
(a) Buttress



(b) Cracks



(c) Front plate

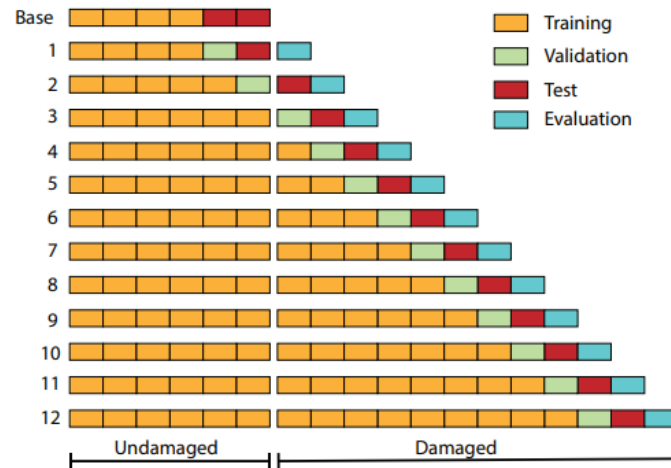
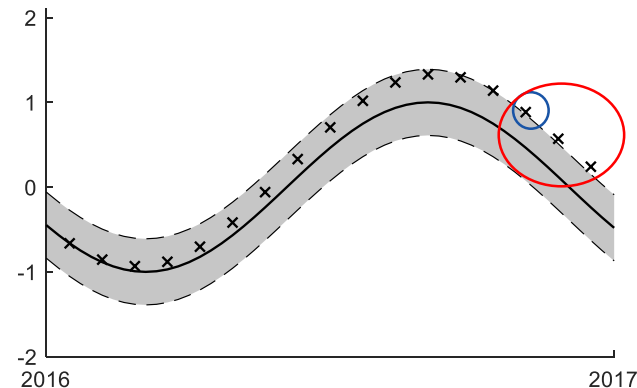


Varningsnivåer

- Prediktion \pm faktor* standard fel

$$[\hat{y}_t + Ks, \hat{y}_t - Ks]$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (y_t - \hat{y}_t)^2}$$

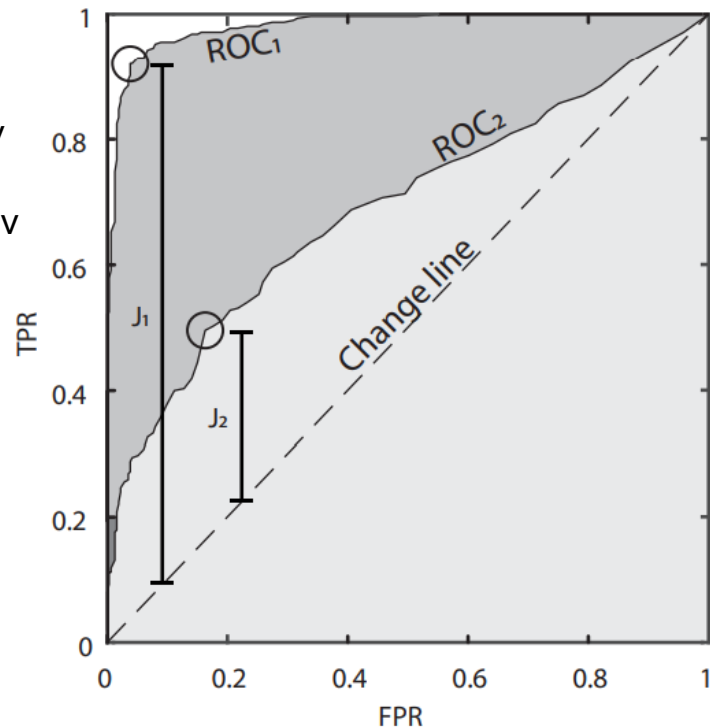


Utvärdering av varningsnivåer

- Receiver operating characteristic (ROC)
 - **TP** (true positive) – en varning ges vid utvärdering av en skadad damm
 - **FP** (false positive) – en varning ges vid utvärdering av en oskadad damm (falskt alarm)
 - **FN** (false negative) – ingen varning ges från utvärdering av skadad damm
 - **TN** (true negative) – ingen varning ges vid oskadad damm.

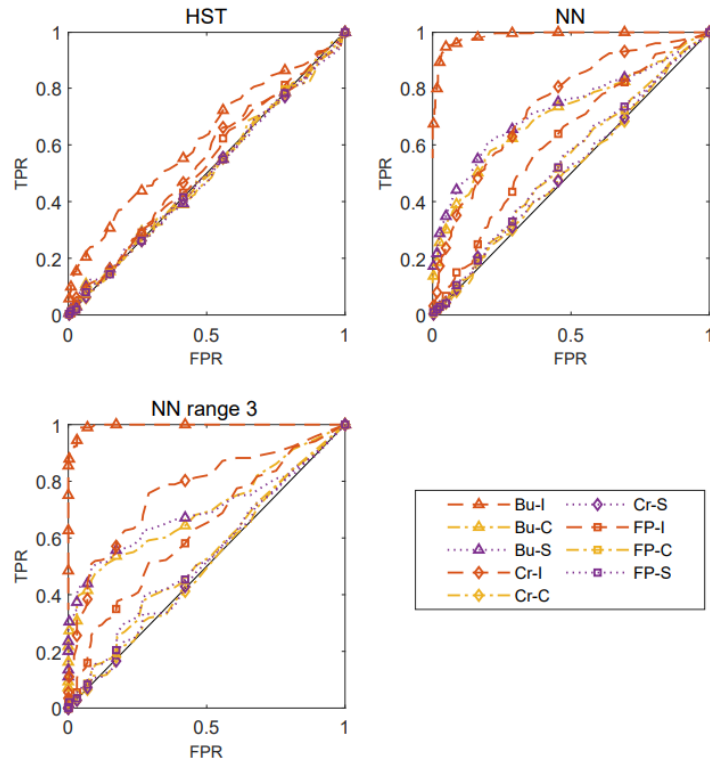
$$\text{TPR} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}}, \quad \text{FPR} = 1 - \text{TNR} = \frac{\text{FP}}{\text{FP} + \text{TN}}$$

- Area under the curve (AUC)
 - Inget prediktivt värde = 0.5
 - 100 % klassificering = 1.0



Resultat

- Alla modeller kan detektera både momentan och progressiv skada i stödskejven
- Vid skador i front-plattan eller sprickor i monoliten är det endast fallet med momentan skada som kan detekteras
- Matematiskt optimum för varningsnivå leder till stort antal falsklarm
 - Om gränsen väljs för att helt undvika falsklarm så sker en signifikant fördröjning innan skador detekteras
 - Med striktare varningsnivåer, kommer fler falsklarm att uppstå men samtidigt så upptäcks skador tidigare
- Genom att kravställa att t.ex. flera efterföljande mätvärden ska vara utanför tillåtet intervall innan varning skickas minskar risk för falsklarm.



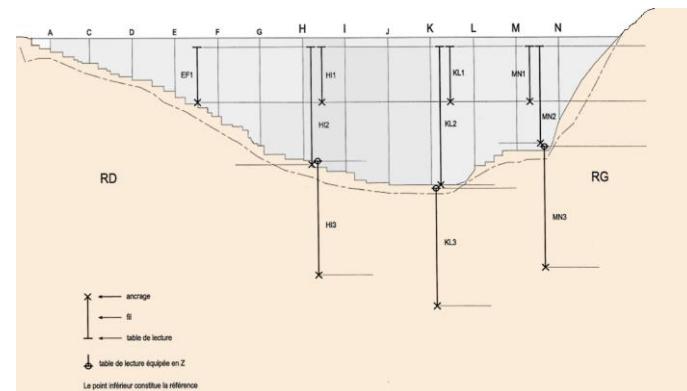


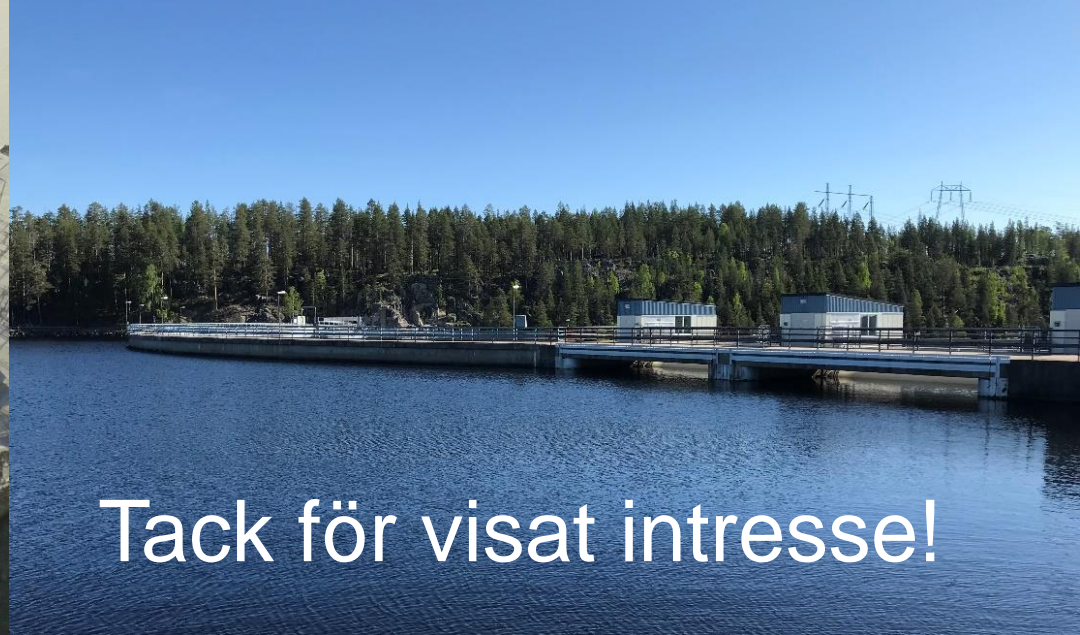
Slutsatser

- Databaserade modeller kan ge mycket hög prediktionsförmåga och är mycket lämpliga att använda för att definiera varningsnivåer
 - Kräver kvalitetssäkrad indata med hög kvalitet och långa mätserier (typiskt > 3 år)
 - ANN hade signifikant mycket högre prediktivt värde än HST.
 - Minskad risk för falsklarm om flera efterföljande mätpunkter ska vara utanför godkänt intervall innan varning ges.
- För val av larmgränser krävs modeller med fysikalisk koppling, t.ex. finita elementmodeller
- Databaserade modeller kan prediktera skadeutveckling i en monolits stödskena utifrån krön deformationen både om skadan sker momentant eller progressivt.
 - Inverkan från enskilda sprickor eller generell nedbrytning av frontplattan är svårare att detektera.
- För en lamelldamm med befintliga sprickor bör därför både krönrörelsen och sprickbredder övervakas.

Slutligen – ett tips för nästa år!

- Inom ICOLD avses en Benchmark Workshop att anordnas 2021 i Slovenien (Ljubljana) där ett föreslaget tema avseende analys och prediktion av mätdata
- 40 m hög valvdamm i Frankrike
- Mätdata i mer än 30 år
 - Temperaturer
 - Vattennivå
 - Förskjutningar
 - Porttryck
- Väldigt bra tillfälle att delta och lära sig mer om mätdataanalys mha finita element metoden och databaserade modeller.





Tack för visat intresse!

