Nr B 2424
Juni 2021

Detektion av Givar- och Kommunikationsfel vid Dammövervakning

Projektet Optimerade och Anpassade Datadrivna Metoder för Dammsäkerhet

Anton Jacobson, Torbjörn Johansson, Håkan Fridén och Anders Björk

ivl SVENSKA MILJÖINSTITUTET

I samarbete med: Energiforsk, Uniper, Vattenfall Vattenkraft, Fortum och Statkraft

Författare: Anton Jacobson, Torbjörn Johansson, Håkan Fridén och Anders Björk
Medel från: Energiforsks program för Dammsäkerhet och Stiftelsen Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning.
Fotograf: Håkan Fridén, bilden visar Bergforsens kraftverk
Rapportnummer B 2424
ISBN 978-91-7883-302-3
Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© IVL Svenska Miljöinstitutet 2021
IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm
Tel 010-788 65 00 // www.ivl.se

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

Förord

Detta arbete behandlar utveckling och implementering av datadrivna metoder för att fånga upp felaktiga värden från givare monterade på eller intill dammar.

Vi presenterar en kort introduktion till dammsäkerhetsområdet, syfte för arbetet, beskrivning av data, framtagning av metoder för detektion av sensor- och kommunikationsfel och dess resultat, samt förbehandling av data för modellering. Rapporten innehåller beskrivning av använda teknologier för implementation, och en beskrivning om hur denna implementation gjorts, både off-line och on-line. En beskrivning av den workshop som hölls. Rapporten avslutas med slutsatser.

Rapporten har skrivits av:
Anton Jacobson, Torbjörn Johansson, Håkan Fridén och Anders Björk på IVL Svenska Miljöinstitutet
Projektledare har varit:
Anders Björk på IVL Svenska Miljöinstitutet

Projektet har haft en referensgrupp bestående av:
Uno Kuoljok (Uniper), Kerim Genel Waldenström (Vattenfall Vattenkraft AB), Sezar Moustafa Näsvall (Fortum), Romanas Wolfsborg (Vattenfall Vattenkraft AB) och Andreas Fridh (Statkraft)

Projektet ”Optimerade och anpassade datadrivna metoder för dammsäkerhet” har finansierat av Energiforsks program för Dammsäkerhet och Stiftelsen Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning.

I denna publikation presenteras resultat och slutsatser från projektet. För innehållet ansvarar IVL. Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem.

Denna rapport är även publicerad under Energiforsks rapportserie med nummer 2021:735 under samma titel.

Innehållsförteckning

Sammanfattning 5

Summary 6

1 Inledning 8

2 Bakgrund 10

3 Data 11

4 Detektion av givar- och kommunikationsfel 14

4.1 Metoder 14
4.2 Resultat 19

5 Förbehandling av data för modellering 26

6 Implementation 30

6.1 Använda metoder för att realisera on- och off-linelösningen 30
6.2 Generellt för både online- och off-line implementering 30
6.3 Off-line implementation 33
6.4 On-line implementation 36

7 Workshop 39

8 Slutsatser 40

9 Termer och förkortningar 41

10 Referenser 42

Sammanfattning

Dammövervakning är ett stort och viktigt område för svenska dammägare. Det är en utmaning att kontinuerligt övervaka en dammkonstruktion och snabbt kunna reagera på förändringar som visar på en avvikelse i dammen. Samtidigt kan även avvikelser i själva övervakningsutrustningen förekomma, som skulle kunna uppfattas som en avvikelse i dammen. Sådana fel är vanligt förekommande och beror typiskt på fel i givare eller i mätvärdets överföring från givare till datacentral. För att felen inte ska störa dammövervakningen behöver dessa fel detekteras, identifieras och skiljas från avvikelser som kan tyda på en förändring i dammen. Denna rapport behandlar just denna detektion och identifiering av givar- och kommunikationsfel vid dammövervakning.

Rapporten är resultatet av ett forskningsprojekt som drivits av IVL Svenska Miljöinstitutet AB under 2020–2021. Projektet finansierades av Energiforsk och Stiftelsen Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning (SIVL) och hade som slutmål att implementera metoder för detektion av givar- och kommunikationsfel i ett dammövervakningssystem. Detta mål uppnåddes, och för att nå dit utfördes flera steg.

Datadrivna analysmetoder utvecklas till att börja med typiskt off-line. Detta kräver en stor mängd historiska data. Att samla in, bygga upp en gemensam förståelse av och förbehandla dessa data kräver mycket tid och ett gott samarbete mellan dataspecialister och dammägare. Förbehandling är ett nödvändigt steg för att kunna utveckla en övervakning av dammens tillstånd. Tillståndsövervakning var dock inte del i detta projekt. Genom ett gott samarbete med en anläggningsägare fick projektet tillgång till 5 års data från 81 givare placerade på en damm i Sverige. Data innehöll ett nytt mätvärde var 15:e minut. Totalt utgör denna datamängd 14,2 miljoner mätvärden. Metoder för detektion av givar- och kommunikationsfel byggdes upp efter noggrann genomgång av data och identifiering av olika typer av förekommande fel. Här har samarbete med vår referensgrupp med medlemmar från olika kraftbolag varit ovärderlig. Metoderna byggdes upp från grundläggande signalanalysteori, men fanns trots sin relativa enkelhet fungera väl. Sju olika metoder har tagits fram och utvärderats i denna rapport. Tillsammans med dammägaren, Vattenfall, har en pilotimplementation genomförts i deras system. På grund av de krav som säkerhetslagstiftningen ställer kunde IVL endast få ett begränsat interface till realtidsdata. Trots detta har en implementation sjösatts och varit i drift i 5 veckor när denna rapport skrivs. För att effektivisera utvecklingen byggdes först en lokal utvecklingsversion som sedan installerades på en server hos Vattenfall. Den lokala versionen kommer också att användas i det fortsatta metodutvecklingsarbetet.

Detta projekt har tagit fram feldetektion och förbehandlingsmetoder som kan ligga till grund för en kostnadseffektiv utveckling av multivariata och andra maskin-inlärningsmetoder för övervakning av en eller flera dammars tillstånd.

Summary

Monitoring of dams is a big and important topic for Swedish dam owners. It is a challenge to continuously monitor a dam structure and to be able to react quickly to changes that show a deviation in the dam. At the same time, deviations in the monitoring equipment itself can also occur, which could be perceived as a deviation in the dam. Such errors are common and are typically due to errors in sensors or in the transfer of measured values from sensor to data center. In order for these faults not to interfere with dam monitoring, they need to be detected, identified and distinguished from deviations that may indicate a change in the dam. This report deals with this detection and identification of sensor- and communication errors in dam monitoring.

The report is the result of a research project run by IVL Swedish Environmental Research Institute during 2020–2021. The project was funded by Energiforsk and Stiftelsen Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning (SIVL) and had the goal of implementing methods for detecting sensor and communication errors in a dam monitoring system. This goal was achieved, and several steps were taken to reach it.

Data-driven analysis methods are initially developed typically off-line. This requires a large amount of historical data. Collecting, building a common understanding of and pre-processing this data requires a lot of time and good cooperation between computer specialists and dam owners. Preprocessing is a necessary step to be able to develop a monitoring of the condition of the dam. However, dam monitoring by itself was not part of this project.

Through a good collaboration with a dam owner, the project gained access to 5 years of data from 81 sensors placed in a dam in Sweden. The data include a new measured value every 15 minutes. In total, this dataset consists of 14.2 million measured values. Methods for detecting sensor and communication errors were built up after careful review of data and identification of different types of existing errors. Cooperation with our reference group from various dam owner has been invaluable. The methods were built from basic signal analysis theory but were found to work well despite their relative simplicity. Seven different methods have been developed and evaluated in this report. Together with the dam owner, Vattenfall, a pilot implementation has been carried out in their system. Due to enhanced security legislation, IVL could only have an extremely limited interface to real-time data. Despite this, an implementation has been launched and been in operation for 5 weeks at the time of writing. To streamline development, a local development version was first built, which was then installed on a server at Vattenfall. The local version will also be used in the continued method development work. This project has developed error detection and pre-treatment methods that can form the basis for a cost-effective development of multivariate and other machine learning methods for monitoring the condition of one or more dams.

1 Inledning

En damm är ett byggnadsverk vars syfte är att lagra, kontrollera och/eller avleda vatten. En damm utgör en barriär över till exempel ett vattendrag för att dämma upp ett magasin eller skydda lägre belägna områden från översvämning. Dammar började byggas i Sverige redan under medeltiden och den kraft som kan utvinnas när vatten släpps igenom dammen har länge utnyttjats för att ersätta muskelkraft vid utförande av tunga sysslor. Dammverksamheten utvecklades sedan för att kunna producera elektricitet. Detta genom att kraften från det indämda vattnet användes för att driva turbiner som i sin tur driver generatorer som producerar elektricitet.

Under 1900-talet byggdes vattenkraften ut för elproduktion och är idag den enskilt största källan till el producerad i Sverige (tätt följd av kärnkraft). År 2019 stod vattenkraften för cirka 39.3 % respektive kärnkraft cirka 39.1 % av den totala elproduktionen i Sverige (Ekonomifakta, (2020)).

De effekter som uppkommer vid en omställning till en mer klimatneutral energiproduktion kommer att påverka kraftverksägarnas regleringsstrategier. Till exempel kommer vattenkraften att användas för volatil kraftproduktion vilket medför högre inslag av korttidsreglering. Detta i sin tur kan innebära mer slitage på avbördningsanordningar men även på de dämmande konstruktionerna. Vidare kommer de pågående klimatförändringarna att påverka våra reglerade vattendrag på olika sätt genom förändrade flödesförhållanden. Det är också troligt att flera av klimatförändringens effekter ännu är okända, vilket gör det svårt att förutse om och hur dammsäkerheten påverkas.

Dammätningar som är en del av dammens tillståndsövervakning, utförs med syfte att följa och utvärdera eventuella förändringar, både kortare förlopp och förändringar på längre sikt, samt ge underlag för en långsiktig bedömning av anläggningens tillstånd. Detta ger ett bra underlag för att kunna bedöma dammkonstruktionens behov av eventuella åtgärder. Installerad mätutrustning ska även ge indikationer för styrning av drift och driftövervakning där även varnings- och larmfunktioner ska ingå.

Vid övervakning av dammar mäts ett antal olika storheter, ofta vid flera olika geografiska positioner i dammen. Den datamängd som sparas från en dammätning är ofta stor och det är svårt att hantera kvalitet och kvantiteten på ett effektivt sätt. I många fall finns både varnings- och larmgränser definierade för varje enskild givare i syfte att uppmärksamma operatörerna på att mätvärden som rapporterats är högre eller lägre än förväntat vid ”normalt” beteende. Men vad innebär ett ”normalt” beteende? Dammens tillstånd beror dels av förändringar i omgivningen men även på åldringsprocesser i dammkonstruktionen vilket gör att det i många fall är svårt att bedöma vad som kan betraktas som normalt. Ett sätt att delvis hantera detta är att använda sig av historiska data om vattennivåer och nederbörd i kombination av domänkunskap rörande normala beteenden hos dammövervakningssensorer.

När en avvikelse väl har detekterats måste den analyseras. Avvikande mätvärden kan grovt klassificeras i två orsaksgrupper.

- Avvikelser som beror på faktiska förändringar i dammens tillstånd, vilka kan bero på inre processer och yttre påverkan såsom temperatur- eller vattenståndsförändringar.
- Avvikelser som beror på fel i givare eller störning av signalkedjan

Det är problematiskt när rena mätfel (exempelvis felaktigt placerade eller trasiga givare) ger upphov till avvikande förändringar i mätdata och detta i sin tur påverkar bedömningen av dammens tillstånd. Idag görs denna bedömning erfarenhetsmässigt men den ökande mängden mätdata ändrade regleringsförhållanden med mera gör bedömningen allt svårare men även allt mer kritisk. Detta utgör motivationen för att ta fram automatiska metoder för att detektera givar- och kommunikationsfel.

Mycket av den vetenskapliga litteraturen inom datadriven metodik för dammsäkerhet handlar om tillämpning av maskininlärningsmetoder. Den tar oftast inte hänsyn i förbehandling och antar att alla sensorer fungerar, vilket inte alltid är sanningen. Slutsatser från Johansson et al., (2020), belyser att ”ett bra förarbete är nödvändigt om metoderna ska vara tillräckligt pålitliga för att kunna användas till dataanalys”. Där beskrivs fallgropar vid dataanalys och hur dessa kan undvikas. Ofta kan orsaken till dessa fel ligga tidigt i värdekedjan till exempel fel på sensorer, mätfel eller fel vid datainsamling.

En betydande del av projektet har ägnats åt en fallstudie av en specifik dammanläggning. Data från denna anläggning har använts för att utveckla och illustrera metoder för detektion av givar- och kommunikationsfel, och dessa metoder har sedan implementerats för övervakning av data hos dammägaren. Fallstudien har genomförts tillsammans med Vattenfall Vattenkraft AB. Projektet har också genomfört ett antal möten, både med representanter från Vattenfall liksom med hela referensgruppen. Möten har skett digitalt kompletterat med ett fysiskt möte i Gävle den 8 september 2020.

Rapporten inleds med en bakgrund till studien och en beskrivning av de data som ligger till grund för arbetet. Därefter beskrivs de metoder för detektion och givar- och kommunikationsfel som har utvecklats i projektet. Det närliggande problemet, förbehandling av data för multivariat modellering tas även upp. Resultat vid analys av data från fallstudien används för att illustrera metodernas funktion och prestanda. Implementering i dammägarens övervakningssystem beskrivs i ett separat kapitel. Därefter följer ett sammandrag av det som diskuterades på en workshop som hölls inför implementation av realtidsapplikationen. Rapporten avslutas med slutsatser.

Förklaringar till förkortningar och benämningar förklaras i kapitel 9.

2 Bakgrund

Vattenkraftverksamhet och dammsäkerhet styrs av olika lagar, förordningar, föreskrifter och riktlinjer. Här ingår bland annat *Miljöbalken (1998:808)*, (1998) med tillhörande förordningar om dammsäkerhet och verksamhetsutövarens egenkontroll. Ägaren av dammen är skyldiga att följa bland annat dessa regelverk, med syfte att så långt det är rimligt undvika dammhaveri med efterföljande negativa verkningar på samhälle och miljö.

Samhällets förväntningar och allmänhetens acceptans påverkar hur vattenkraftsverksamheten bedrivs. Det är av största vikt att säkerhet prioriteras. Energiföretagen Sverige verkar för god dammsäkerhet hos medlemsföretagen genom att tillhandahålla *RIDAS - Energiföretagens riktlinjer för dammsäkerhet*, (2019) . Riktlinjerna utgör grund för dammsäkerhetsarbete enligt god praxis för medlemsföretagen vad gäller arbetsmetoder och tekniklösningar.

Uttrycket dammsäkerhet innefattar riskbedömningar vid dammar, minimering av haveririsker samt minimering av de konsekvenser som blir följden om ett haveri ändå skulle inträffa. Dessa konsekvenser beror på ett antal faktorer som till exempel indämd vattenvolym, dammhöjd och skadeobjekt i översvämningsområdet. I Sverige klassificeras dammar med avseende på de konsekvenser som kan uppkomma i händelse av dammhaveri. Enligt Miljöbalken 11 kap. 24–26 §§ ska indelningen ske i dammsäkerhetsklasserna A, B och C.

- dammsäkerhetsklass A, om ett dammhaveri kan leda till en kris som drabbar många människor och stora delar av samhället samt hotar grundläggande värden och funktioner,
- dammsäkerhetsklass B, om ett dammhaveri kan leda till stora regionala och lokala konsekvenser eller störningar och dammen inte ska vara klassificerad i dammsäkerhetsklass A, och
- dammsäkerhetsklass C, om dammen inte ska vara klassificerad i dammsäkerhetsklass A eller B.

Till Svenska Kraftnäts sammanställning år 2019 rapporterades 427 dammanläggningar med minst en damm i säkerhetsklass A, B eller C. Av dessa har 267 en eller flera dammar i dammsäkerhets-klass A eller B. Det finns även många fler mindre anläggningar som kraftbranschen valt att göra klassificeringar för utöver A, B och C. I *RIDAS - Energiföretagens riktlinjer för dammsäkerhet*, (2019) finns även klasserna D och E. Dessa kan vara till exempel små dammar från tidigare små järnbruk eller mindre spannmålskvarnar.

Grunden för en god dammsäkerhet utgörs av en väldimensionerad, välbyggd och välskött dammbyggnad. I Regeringskansliet, (2015) beskrivs två ytterligare komponenter i en god damm-säkerhet: säkert handhavande (drift och tillståndskontroll) samt beredskap för dammhaveri och allvarliga problem.

Tillståndskontroll görs genom bland annat att analysera risker, instrumentera dammen med givare och övervaka dammens tillstånd. Dessa aspekter är idag centrala i dammsäkerhetsarbetet.

Dammar instrumenteras i syfte att erhålla tidig varning (larm) om en hastig förändring är kritisk men även för att kunna följa och utvärdera eventuella förändringar i dammen samt att ge underlag för en långsiktig bedömning av dammanläggningens tillstånd. Detta ger ett bra underlag för att bedöma dammkonstruktionens behov av eventuella åtgärder.

3 Data

Som en del av projektets fallstudie har mätdata från en specifik damm analyserats och använts för metoduppbyggnad. Dammen är instrumenterad med ett flertal givare, se Tabell 1. Dessa består framförallt av tryckgivare som mäter vattennivå samt temperaturgivare. Även givare för flöde och turbiditet, vilka är kopplade till läckage, samt meteorologiska referensdata finns representerade. Instrumenteringen installerades av dammägaren och var i drift vid projektets start. För en översikt över instrumentering för dammövervakning se Nilsson, (2014).

Data har exporterats från mjukvaran PI som är en långtidsdatabas med verktyg för analys och visualisering (se "OSIsoft," (2020)). De data som används i det här projektet representeras med ett samplingsintervall av 15 minuter och är uppmätta från 1 januari 2015 till 15 mars 2020. När en eller flera efterföljande observationer saknats för en specifik givare har PI, vid export av data, interpolerat fram värden som saknas till ett samplingsintervall av 15 minuter. Interpolationen är linjär mellan närliggande mätvärden, vilket innebär att förändringshastigheten i mätvärdet antas vara konstant. Drygt 5 års data har alltså exporterats från samtliga mätpunkter, vilket innebär drygt 180 000 observationer från var mätpunkt.

Tabell 1 Lista på givare som har gjorts tillgängliga i fallstudien

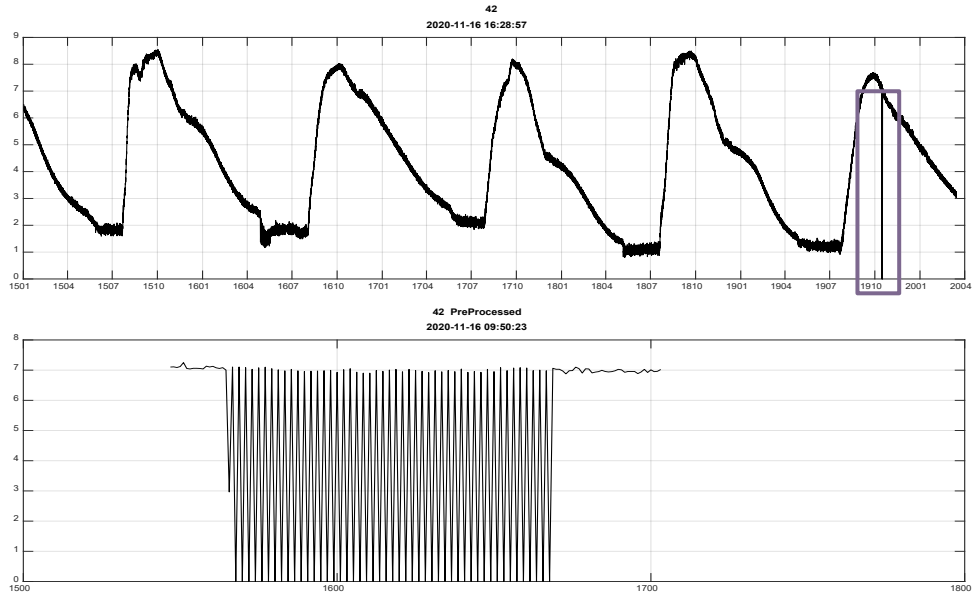
Typ av givare	Antal
Tryckgivare för nivå	33
Temperatur	31
Läckage – Flöde	9
Läckage – Turbiditet	2
Referens – Utetemperatur	1
Referens – Tryck	1
Referens - Magasinsnivå	1
Referens - Nederbörd	1
Referens – Vindhastighet	1
Referens – Vindriktning	1
Totalt	**81**

Ett bra första steg vid arbete med stora mängder data är att försöka skapa sig en överblick av datamängden. Det är därför bra att i början av analysen observera historiska rådata för att bilda sig en uppfattning av förekomsten av fel. Med tanke på den stora datamängden (5 år, 81 givare och en datapunkt varje kvart) som använts i denna studie är det ett krävande arbetet att gå igenom alla data och kontrollera med dammägaren angående specifika sensorer och identifierade avvikelser. Det senare kan kräva att till exempel en dammsäkerhetsingenjör måste kontrollera med flera aktörer inom sin organisation. Genom att plotta och visuellt studera rådata för samtliga signaler, var för sig, går det att utläsa mycket information om signalen. För att genomföra detta har vi i detta projekt använt oss av "MATLAB," (2021).

Arbetet inleddes med att studera avvikelser i beteendet. Fel som identifierades i denna data var exempelvis:

- Spikar (Momentant avvikande värde som snabbt återgår till normalläge)
- Skiften till nya normallägen
- Tillfällen när flera givare uppvisar liknande beteende
- Trasiga givare

I Figur 1 ser vi rådata från en givare i dammkroppen. Den övre grafen visar hela tidserien, med tidsaxeln indexerad enligt [år (2 siffror) + månad (2 siffror)]. Där kan vi observera en avvikelse strax efter 1910, alltså oktober 2019. Det är svårt att avgöra vilka egenskaper denna avvikelse har. Den nedre grafen är ett urklipp av samma signal kring avvikelsen. Här är x-axeln indexerad enligt [dag i månaden (2 siffor) + timma (2 siffror)].

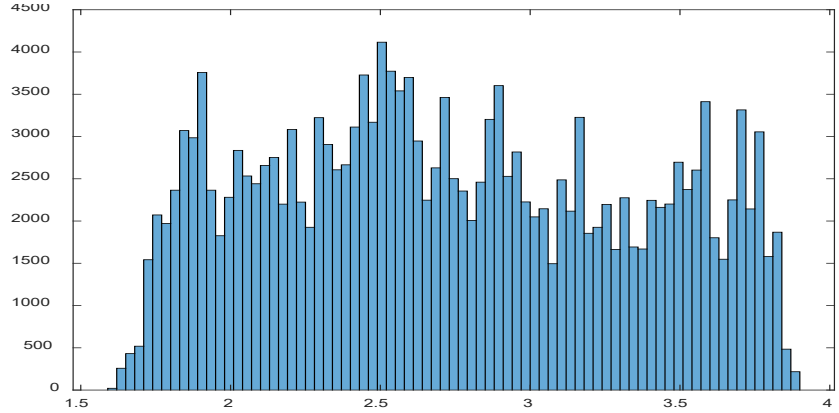


Figur 1 Två grafer av samma signal. Den övre visar signalen över drygt 5 år [åå mm], medan den undre visar en delmängd [dd hh] strax efter 1910, där en avvikelse har identifierats. Den nedre bilden ger mer kunskap om egenskaper hos avvikelsen.

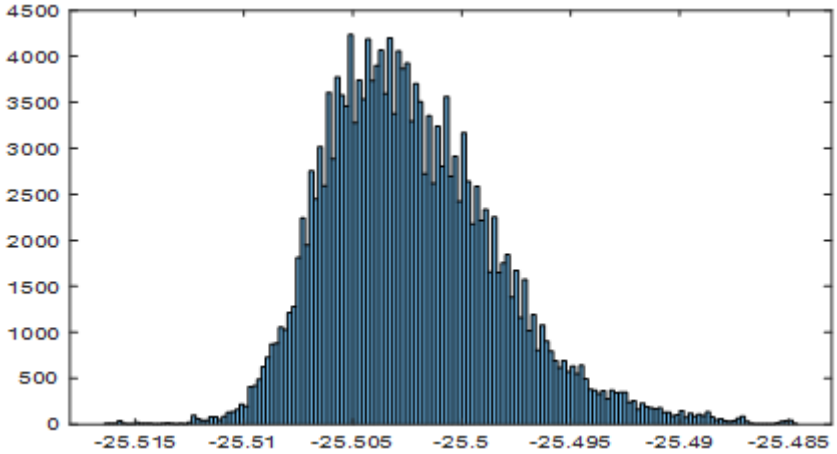
I den övre grafen i Figur 1 syns den årliga variationen av signalen tydligt. I en del dammar med stora regleringsamplituder varierar förhållandena kraftigt under året och det kan vara av intresse att studera den årliga variationen i mätdata för att skapa sig en uppfattning om mönstret återkommer och hur det skiljer sig mellan givare. Även dygnsvariationer kan vara intressanta att studerade då till exempel variation av temperatur skulle kunna uppvisa liknande beteende över dygncyklerna.

Det finns även andra sätt att visa data för att införskaffa sig mer kunskap om signalen. För att få en tydligare uppfattning om signalens omfång och fördelning kan till exempel histogram (frekvensdiagram) användas. I denna fallstudie används framförallt två typer av givare, temperatur- och tryckgivare (vilka mäter nivå). Histogrammen för de enskilda temperatursignalerna uppvisar ett likartat beteende med en förhållandevis jämn fördelning över det representerade intervallet. Intervallet för flera temperaturgivare är cirka 1,5 – 4 grader, där storleken på intervallet troligtvis beror på vilket djup givaren är placerad och därav bland annat dess känslighet för solens påverkan (se Figur 2). Histogrammen för tryckgivare varierar mer.

Generellt tenderar dessa histogram att vara mer eller mindre normalfördelade, men i vissa fall med en viss övervikt av de lägsta rapporterade nivåerna. Detta har även uppmärksammats vid observationer av rådata. Flera av nivågivarna ”bottnar” under en viss del av året. Under dessa perioder under året är vattennivån troligtvis lägre än nivågivaren position och givaren ”går torr” (se Figur 3).



Figur 2 Modifierat histogram över en av temperaturgivarna använda i denna studie. Ofta finns det avvikande mätvärden som urskilljer sig kraftigt från den huvudsakliga fördelningen. Dessa extrema värden har filtrerats bort innan histogramet skapats.



Figur 3 Modifierat histogram över en av nivågivarna använd i denna studie. Ofta finns det avvikande mätvärden som urskilljer sig kraftigt från den huvudsakliga fördelningen. Dessa extrema värden har filtrerats bort innan histogramet skapats.

4 Detektion av givar- och kommunikationsfel

Projektet har resulterat i metoder för övervakning av sensor- och kommunikationsfel som kan implementeras. Detektionsfunktioner, vars uppgift är att identifiera dessa fel som kan förekomma i dammövervakning behöver därför designas. Genom de studier av historiska data som beskrivs i föregående kapitel har en rad fel identifieras. Dessa lärdomar har även kompletterats genom diskussioner med projektets referensgrupp, som innehar unik kunskap om mätdatainsamling och identifiering av mätfel kopplat till dammsäkerhet. Metoderna har sedan utvärderats med hjälp av historiska data för att undersöka precision och effektivitet.

Metoder

Detta delkapitel beskriver en rad metoder som designats och utvärderats inom projektet.

- **Min- och maxbegränsningar**

  En enkel, men effektiv, metod för att undersöka att den nya observationen befinner sig inom givarens fysikaliskt lämpliga min- och maxvärden. Gränserna baserades till en början på vad som observerats i den historiska data från varje enskild signal. Genom en visuell inspektion av signalen bedömdes gränser som ansågs skilja mätvärden som är ”normala” samt de som förväntas ge en varning. I det andra steget valde projektgruppen att använda sig av de siffror som var framtagna för liknande ändamål för fallstudierna. Skillnaderna mellan dessa gränser och de förut använda var ofta mycket små.

- **Identifiera ”frusen” signal**

  En metod som undersöker om givaren har rapporterat samma värde under en längre period.

  Detta fel kan orsakas av en trasig givare. Från den tidpunkt där givaren havererar kan det senaste mätvärdet kommuniceras upprepade gånger, då inga nya värden mäts. Då mätvärdena från givarna i denna damm rapporteras med en hög upplösning torde ett konstant mätvärde tyda på att något har hänt med givaren som orsakar detta. Givaren bör då undersökas. I nuläget detekteras avvikelsen om värdet varit konstant under 24 timmar (96 observationer).

  Begränsning av glidande varians

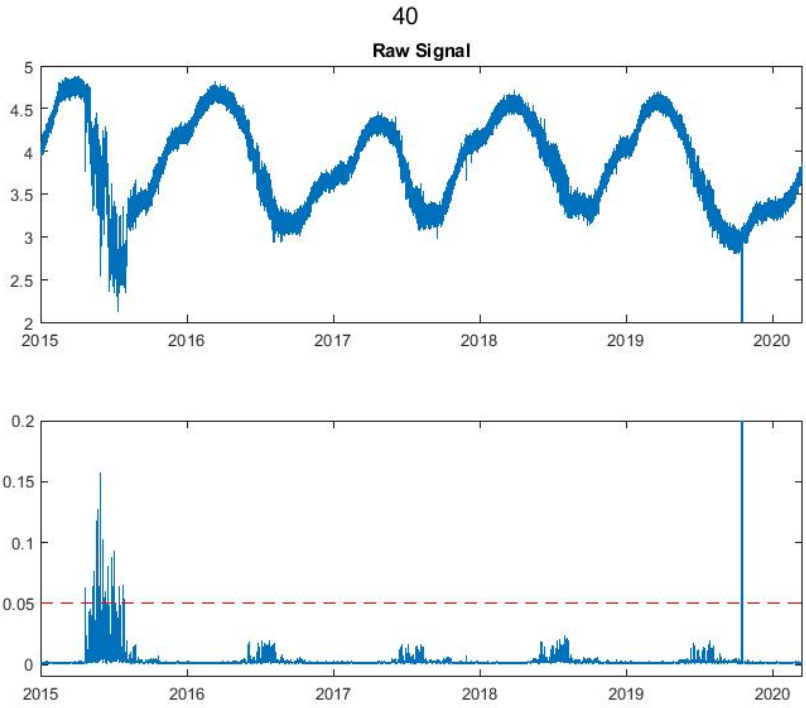
  Metoden beräknar variansen över ett antal tidigare observationer. Variansen beskriver medelvärdet av den kvadratiska avvikelsen från medelvärdet över ett visst tidsfönster. Tidsfönstret behöver definieras för detta test. Olika långa tidsfönster kan användas för att designa testet så det blir effektivt på att upptäcka olika typer av avvikelser. I denna studie har ett kortare och ett längre tidsfönster utvärderats.

  - **Kort tidsfönster**

    Under observationsfasen identifierades att vissa fel som kan tolkas som spikar egentligen är ett flertal spikar i tät följd, se Figur 1. Att använda sig av glidande varians är en effektiv metod för att upptäcka när differensen mellan flera efterföljande sampel ökat, även om signalen rör sig innanför max- och min-begränsningarna.

I denna korta tidsserie har data från 40 observationer (10 timmar) använts och resultatet har jämförts med ett tröskelvärde som är individuellt bedömt utifrån var givare. Tröskelvärdet har identifierats genom att studera statistik över signalernas glidande varians. Detta i kombination med rådata ger en tydlig bild hur signalens beteende ger utslag i variansen och har använts för att skilja ut när variansen beter sig som väntat och när beteendet urskiljer sig.

Detta exemplifieras i Figur 4 där vi ser två grafer, en över signalen och en över variansen. Tidigt i tidserien ser vi att signalen är brusig och instabil över ett antal månader. Detta avspeglas även i grafen av varians nedan. Under 2015 skiljer sig variansen avsevärt jämfört med senare år. Även under senare delen av 2019 ser vi vad som ser ut som en kraftig negativ spik. Detta är ett exempel av vad som presenterades i Figur 1, alltså flertalet spikar i tät följd. Detta medför att variansen blir mycket hög vid detta tillfälle. Denna analysmetod har använts för att identifiera lämpliga nivåer för detta test som används för att upptäcka när signalens varians ökar. I den nedre grafen av varians finns även variansnivå som togs fram som gränsvärde för avvikande beteende. Denna linje är röd och streckad.



Figur 4 Graf över rådata och dess glidande varians över 40 observationer. Röd streckad linje visar även testets larmgräns. När denna överskrids rapporteras avvikelse till dammoperatör.

- **Långt tidsfönster**

  För att upptäcka om brusnivån förändras i signalen kan ett längre tidsfönster användas. Denna metod kan inkludera ett högpassfilter för att minimera påverkan av den naturliga variationen och att brusnivån skall framgå tydligare.

- **Identifiering av givardrift**

  Då givardrift utskiljer sig från tidigare nämnda avvikande beteenden genom att det är en långsam förändring så krävs det betydligt längre tidserier för att identifiera givardrift. Metoden baseras på att jämföra ett nytt mätvärde med ett börvärde. Ett börvärde kan definieras på olika sätt, ofta genom någon form av filtrering. I detta projekt hanteras data från givare i en damm som har en tydlig årlig variation. Börvärdet i denna studie utgår därför från mätvärdet som registrerats vid samma tidpunkt ett år tidigare.

  Två olika utvärderingskriterier har utvärderats för att testa träffsäkerheten på att upptäcka givardrift.

  - **Procentuell bedömning**

    Denna bedömning baseras på statistik från ett stort antal observationer. Metoden undersöker samtliga observationer gjorda under det senaste sex månaderna (6 månader * 24 timmar * 4 observationer = 864 observationer). Varje enskild observation jämförs sedan med sitt individuella börvärde.

    Kriteriet för att givardrift skall ha upptäckts baseras på om 95 % av dessa 864 observationer är större, eller mindre, än sitt börvärde. Om en så stor andel av mätvärdena visar en gemensam tendens (ökande eller sjunkande) kan detta tyda på en drivning i givaren.

  - **Cusum**

    Denna bedömning baseras på att kontinuerligt summera differensen mellan observationen och börvärdet. Om observationer konsekvent skiljer sig i samma riktning från dess börvärde kommer summeringen således öka med tid. Summeringen jämförs sedan mot ett tröskelvärde och när summeringen når detta värde kan detta tyda på att signalen har drivit.

- **Begränsningar i differens**

  Genom att jämföra differensen mellan successiva mätvärden kan snabba förändringar mellan observationer upptäckas. Om skillnaden är ovanligt stor mellan närliggande observationer kan detta tyda på att det rapporterade värdet är felaktigt. Metodiken kan användas för att upptäcka stora hopp eller spikar i data. Differenser jämförs mot ett gränsvärde som definierats baserat på analys av historiska data för var enskild signal. I utvecklingen av metoder har signalens rådata plottats tillsammans med tidsseriedata för differensen. Det ger en god överblick av hur differensen svarar när rådatat beter sig iögonfallande. Detta har använts för att anpassa gränsvärden till en nivå som möjliggör varningar när signalens beteende frångår det normala.

  - **Första ordningens differens**

  I denna metod beräknas differensen mellan de två senaste observationerna. Detta gör det möjligt att upptäcka när senaste observationen skiljer sig mycket från föregående observerade värde. Metoden är alltså effektiv för att upptäcka steg i signalen.

- **Andra ordningens differens**

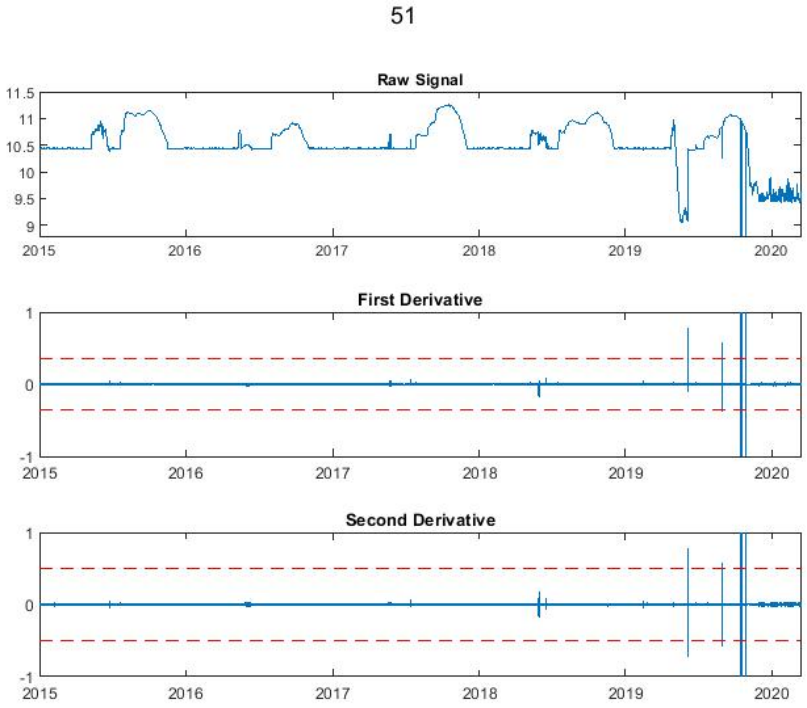
Att jämföra differensen av differensen är effektivt för att upptäcka differenser över korta tidsintervaller som snabbt återgår till tidigare värde.

Metoderna exemplifieras i Figur 5 och Figur 6. I dessa figurer finns tre grafer som beskriver:

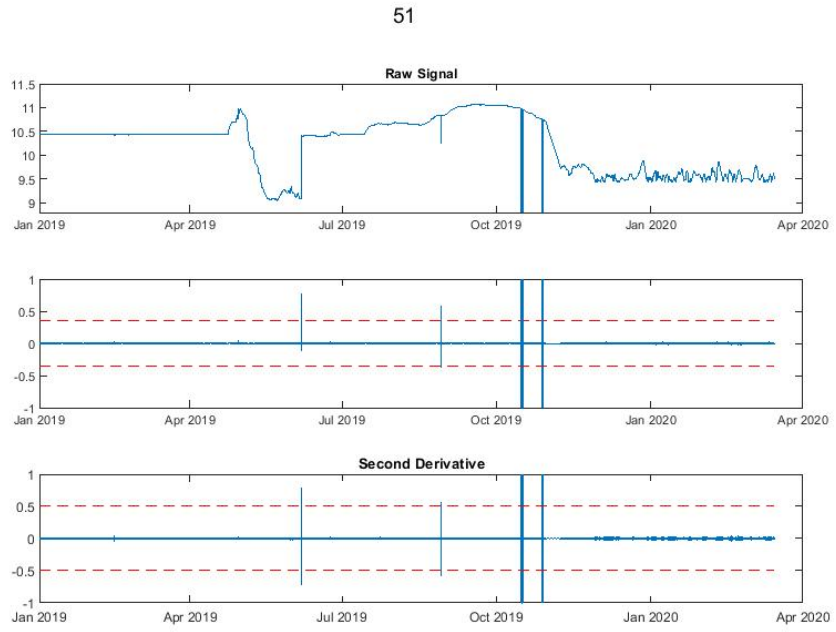
1. Rådata
2. Första ordningens differens
3. Andra ordningens differens.

Figurerna visar samma signal men med skillnaden att Figur 5 visar hela tidsserien medan Figur 6 endast visar den senare delen av signalen.

Det vi kan se i figurerna är att differenserna är betydligt högre vid vissa specifika tidpunkter. På vissa ställen i rådata ser vi att beteendet ser annorlunda ut och att detta kan tolkas som icke realistiskt. Detta kan användas för att sätta ett gränsvärde som fångar upp beteenden med kraftiga skiften eller spikar i denna specifika signal. I graf 2 & 3 ser vi även röda streckade linjer. Dessa markerar vilka gränsvärden som använts för att markera avvikande beteenden för just denna signal.



Figur 5 Graf över rådata, första ordningens differens och andra ordningens differens. Grafen sträcker sig över hela tidsserien som används. De röda streckade linjerna markerar de gränsvärden som används för denna signal.



Figur 6 Graf över rådata, första ordningens differens och andra ordningens differens. Grafen sträcker sig från början av 2019 till mars 2020. De röda streckade linjerna markerar de gränsvärden som används för denna signal.

4.1 Resultat

Här sammanfattas våra observationer vid användning av metoderna som beskrivs i avsnitt 4.1 på data i fallstudien. Efter sammanfattningen följer utvalda exempel för olika givare.

- **Min- och maxbegränsningar**

Metoden, i sin enkelhet, har visat sig vara effektiv och göra det som väntas av den. Då detta är det vanligast förekommande avvikande beteendet i fallstudiedata anses metoden vara effektiv.

- **Identifiera frusen signal**

Då ett antal givare uppvisat frusen signal och detta kunnat detekteras med den för ändamålet utvecklade metoden blir slutsatsen att metoden fungerar. Det kan diskuteras vilken tid som kan vara ett lämpligt gränsvärde för att bedöma en signal som frusen.

- **Begränsning av glidande varians**

Metoden har designats för att upptäcka sektioner med avvikande varians i data. Ofta överensstämmer detta med när mätvärden rapporteras utanför max- och mingränser. Det finns dock flera sektioner med hög varians där data håller sig innanför max- och minbegränsningarna, vilket denna metod kunnat identifiera.

- **Identifiering av givardrift**

Att upptäcka om en signal driver över tid är ofta mycket svårt. Att använda sig av den beskrivna metoden medför ett djärvt antagande. I beräkningen baseras börvärdet på ett rapporterat mätvärde från ett år tillbaka. Det betyder att observationen förväntas vara exakt samma som föregående år, vilket inte är realistiskt. Metoden kan inte heller hantera fel i den ett år gamla observationen, vilka alltså kan få stort genomslag. Metoden kommer att utvecklas vidare i nästkommande projekt.

- **Första och andra ordningens differens**

Dessa metoder detekterar snabba förändringar i data. Många av de värden som flaggas som avvikande av dessa metoder flaggas också av varianstestet eller min- och maxbegräsningarna. Dock förekommer exempel på data som endast identifierats av denna funktion.

Nedan presenteras exempel på resultat vid detektion av givar- och kommunikationsfel med de utvecklade metoderna. I varje figur presenteras två grafer. Den övre visar de historiska rådata från fallstudien. Den nedre visar ett antal binära signaler som presenterar om signalen, utifrån varje tests villkor, befinner sig i ett normalt läge, eller om funktionen skulle uppmärksammat avvikelsen. Gränsvärden för signalerna är individuellt framtagna baserat på historiska data. Dessa värden kan justeras om bedömningen görs att funktionerna reagerar på beteenden som bör anses vara normala.

Sju olika tester finns representerade i figurerna. En offset har adderats till testsignalerna för att underlätta tydlig presentation av samtliga testresultat. Följande tester är representerade i figurer sedan, och är numrerade enligt följande i samtliga figurer:

I. Mingränsvärde

II. Maxgränsvärde

III. Givardrift

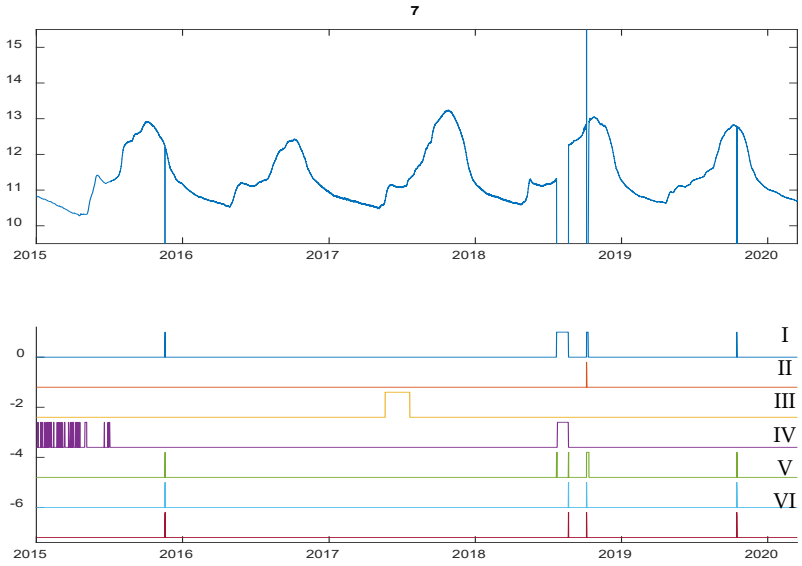
IV. Frusen signal

V. Glidande varians

VI. Andra ordningens differens

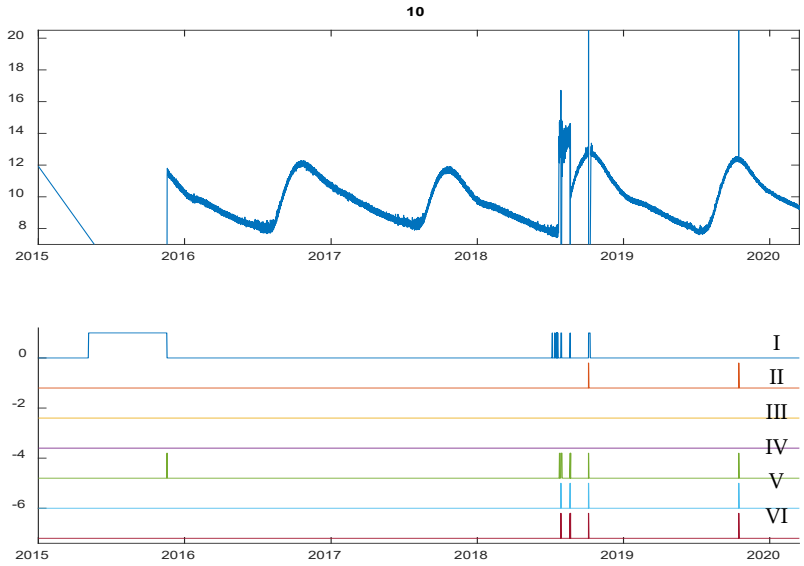
VII. Första ordningens differens

Figur 7 visar en nivåsignal från dammen. Signalen innehåller ett fåtal spikar. Vi kan observera att dessa upptäcks av flertalet test när de uppkommer. Spikarna är kraftiga och rapporterar värden större eller mindre än vad som anses vara ”normalt” för givaren, därav markerar min & maxtesten dessa. Förändringen går fort och därför markeras dessa förändringar av differenstester. I denna signal har data från 2015 en annan upplösning än senare i tidserien. Detta är svårt att se med ögat i denna bild, men blir tydligare i efterföljande figurer. Begränsningen i upplösning orsakar att testet för frusna värden larmar under 2015. Lägg även märke till att givardrifttestet markerar en kort sektion under 2017. Vid observation av signalen liknar detta inte givardrift utan kan betraktas som felaktigt. Detta beror på problematiken som beskrivits ovan och att nivån under senare delen av 2016 och början av 2017 generellt sätt är lägre än vid motsvarande tid ett år tidigare.



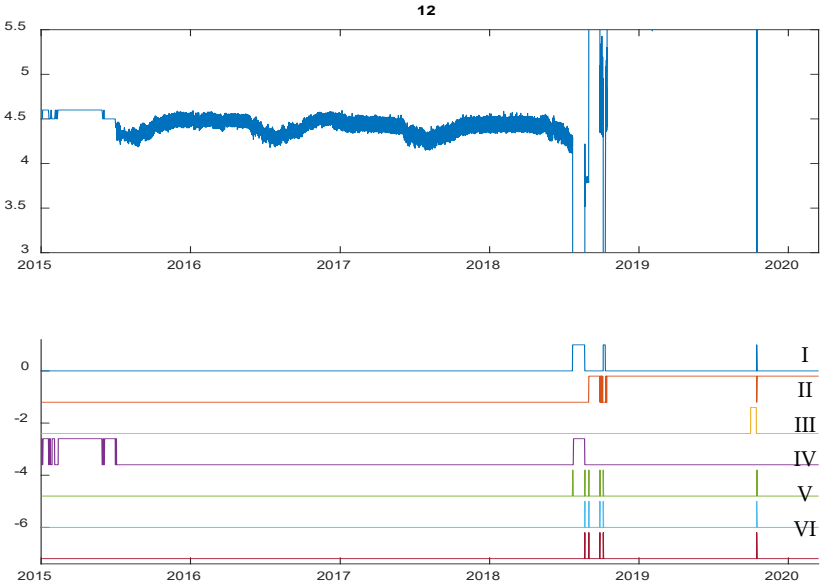
Figur 7 Nivåsignal från dammen i denna fallstudie

Figur 8 visar en temperatursignal med ett tydligt avvikande beteende under 2015. Detta beror troligtvis på att mätdata saknas och att en interpolation har gjorts i exporten av data. Signalen har också ett udda beteende med ett antal spikar under 2019 som markeras av flertalet test.



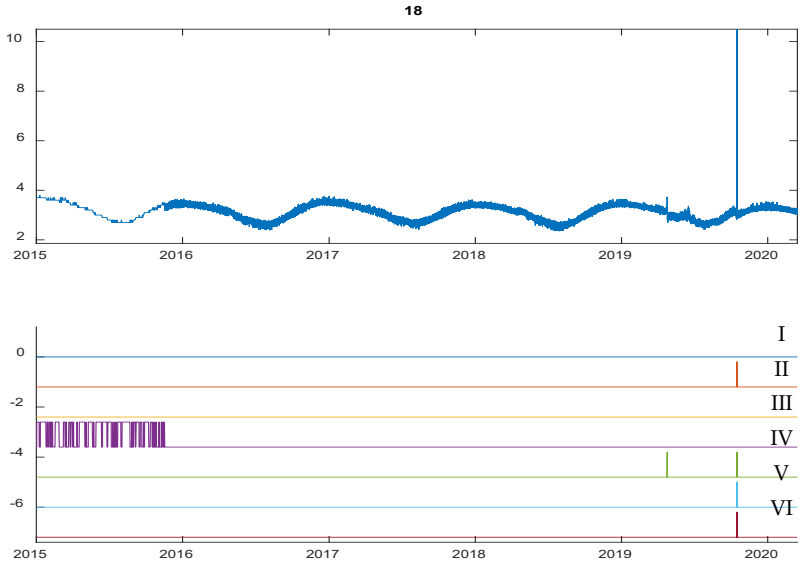
Figur 8 Temperatursignal från dammen i denna fallstudie

Figur 9 representerar en något brusig temperatursignal. I denna signal ser vi tydligt upplösningsskillnaden mellan första halvan av 2015 och resten av signalen. Testet för frusen signal larmar på ett korrekt sätt under 2015.
Under slutet av 2018 beter sig signalen udda och rapporterar kort där efter värden mycket större än tidigare. Detta beteende upptäcks av flertalet test. Sensorn har troligtvis gått sönder vid detta tillfälle.



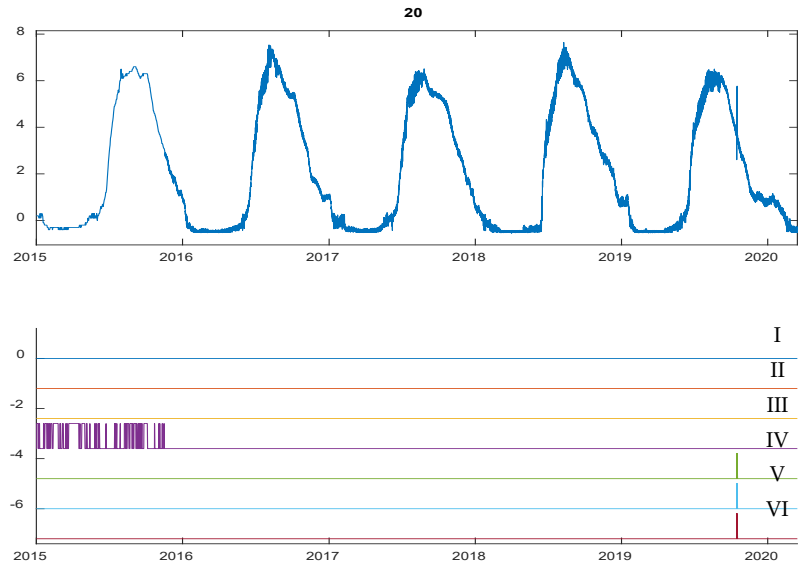
Figur 9 Temperatursignal från dammen i denna fallstudie

Figur 10 visar en temperatursignal med få avvikande beteenden. Återigen är upplösningen lägre i början av data, varför testet för frusen signal slår till. Vi ser sedan två spikar under 2019, en mindre och en större. Det kan diskuteras om den mindre spiken ska upptäckas. I nuläget upptäcks den av testet för glidande varians. Kriterierna för test kan förändras om detta beteende bedöms vara normalt och inte bör uppmärksammas.



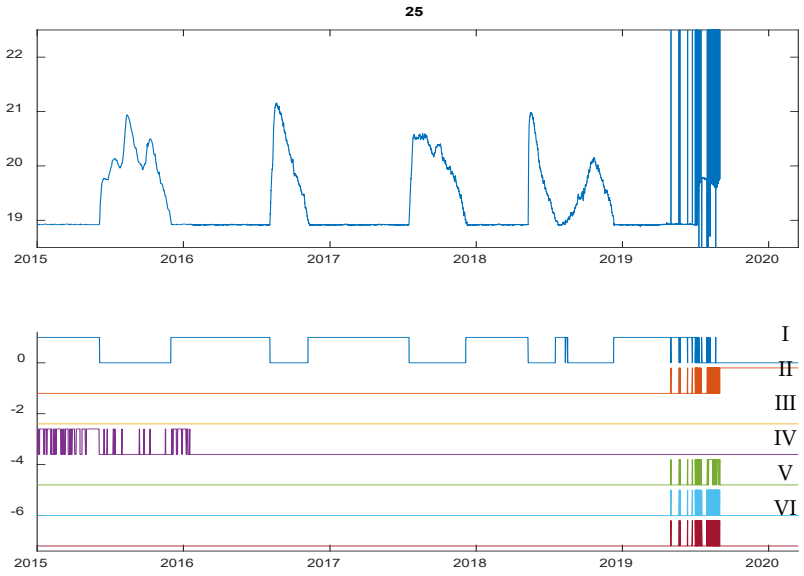
Figur 10 Temperatursignal från dammen i denna fallstudie

Figur 11 visar en temperatursignal vars beteende har få upptäckta avvikelser. Även här finns en skillnad i upplösning som orsakar testet för frusen signal att lösa ut under 2015. Det finns även ett par mindre spikar i slutet av 2019 som markeras av tester för differens samt varians.



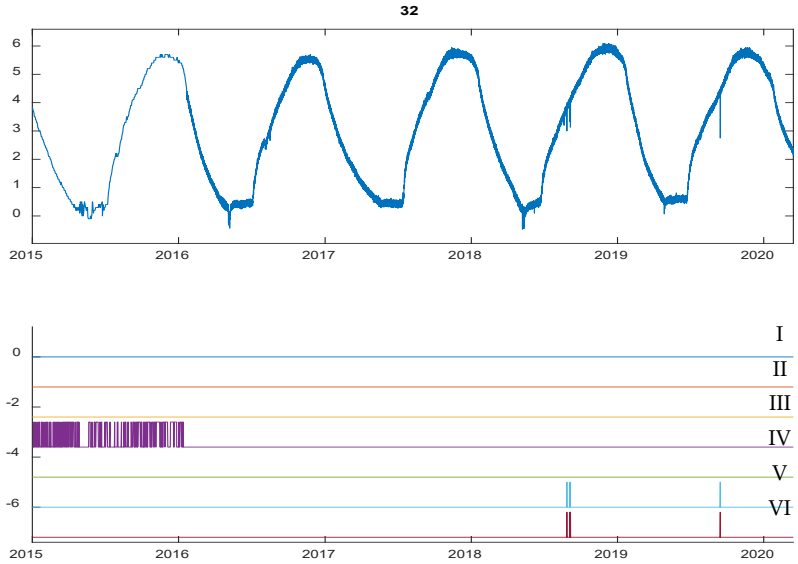
Figur 11 Temperatursignal från dammen i denna fallstudie

Figur 12 visar en nivå som bottnar stora delar av året fram till och med 2019. Under 2019 beter sig signalen underligt under en period och når sedan ett nytt läge som är betydligt högre än det beteende vi sett tidigare år, vilket markeras av maxbegränsningen.



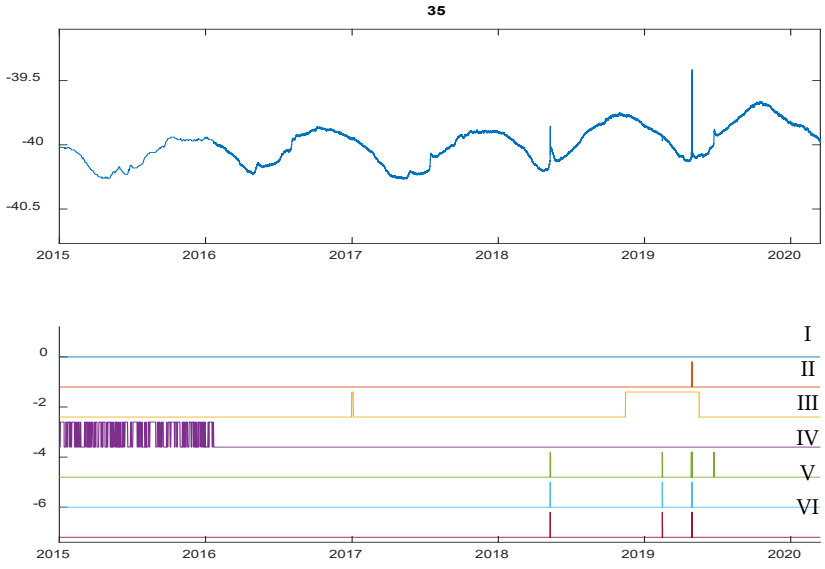
Figur 12 Nivåsignal från dammen i denna fallstudie

Figur 13 visar en temperatursignal. De tester som markerar, förutom beroende på förändring i upplösningen, är differenstester som upptäcker några mindre spikar under hösten av 2018 och 2019.



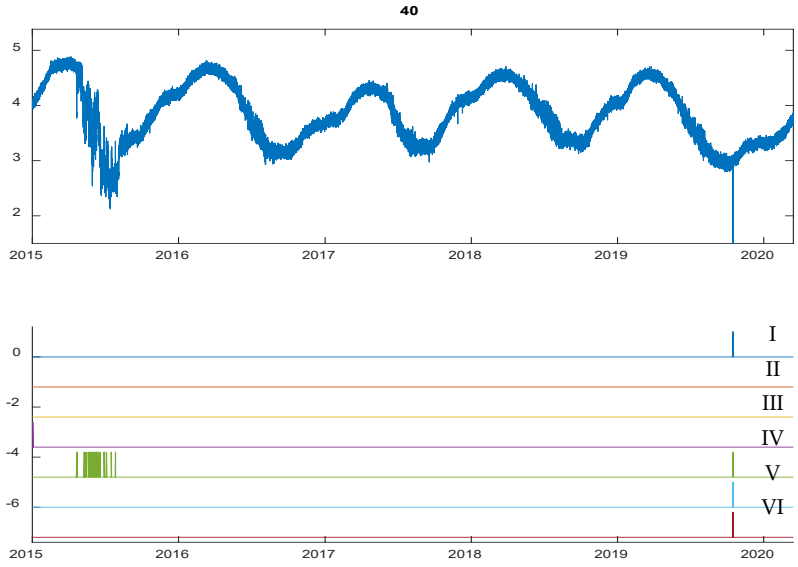
Figur 13 Temperatursignal från dammen i denna fallstudie

Figur 14 visar en nivåsignal. Signalen har ett antal mindre spikar som markeras av differens och variansberäkningar. Det kan diskuteras om dessa skall uppmärksammas och om kriteriet kanske skall lättas något. Däremot går givardriftsignalen hög under en gång under 2019. I detta fall kan en antydan till givardrift observeras i givaren.



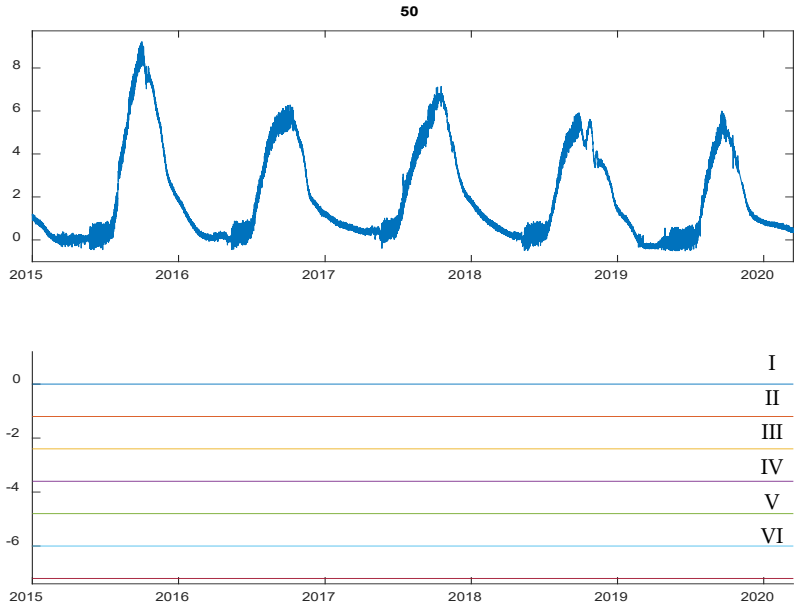
Figur 14 Nivåsignal från dammen i denna fallstudie

Figur 15 visar en signal med mycket kraftigt brus under 2015. Detta markeras av testet baserat på variansen. Vi ser även en spik i slutet av 2019 som markeras av flera tester.



Figur 15 Temperatursignal från dammen i denna fallstudie

Figur 16 visar en temperaturgivare som uppvisar ett förväntat beteende. Inget av testen reagerar vid något tillfälle i denna tidsserie.



Figur 16 Temperatursignal från dammen i denna fallstudie

5 Förbehandling av data för modellering

Projektets huvudsyfte är att detektera givar- och kommunikationsfel. Ett mycket närliggande problem är förbehandling av data för multivariat modellering. På grund av frågeställningarnas likhet är det kostnadseffektivt att även diskutera förbehandling av data här. Samma typer av metoder som vid detektion av sensor- och kommunikationsfel har använts som förbehandling, genom att avvikande värden ersatts med bortfall, för att ”tvätta” data från onormala tillstånd i synnerhet om modellen skall användas för att övervaka onormala tillstånd.

För att bygga bra modeller för övervakning behöver ett ”normalt” tillstånd för givarna identifieras, det vill säga att tydliga sensorfel behöver rensas bort. Förbehandling av data sker enskilt för varje enskild givare då behoven hos dessa ofta skiljer sig åt. Målsättningen med förbehandlingen är att få en ren och tydlig datamängd för modellering. De tydligaste behoven som identifierats i denna data är

- Ta bort stora spikar (som inte härrör till ett normaltillstånd)
- Minska kortvariga variationer i givarsignalerna (så att brusnivån synbart minskas)
- Identifiera ”trasiga” givare

Det finns en mängd av förbehandlingsmetoder som kan appliceras för att nå önskat resultat vid denna förbehandling. Metoder finns beskrivna i Johansson et al., (2020)
I denna studie har följande förbehandlingsmetoder använts:

- Min och maxgränser

  Flera givare visar observationer som skiljer sig avsevärt från den förväntade årliga variationen. Dessa ogiltiga värden kan rensas bort genom att förkasta mätvärden över och under vissa gränsvärden.

- Filtrering

  Många givare uppvisar olika nivåer av brus i signalen. Bruset kan reduceras i förhållande till en långsamt varierande signal genom lågpassfiltrering. Brus kan uppstå i en givare eller under transmission från givare till datalagring, och yttrar sig som en stokastisk variation mellan observationer (Bulyaculov et al., (2017)). Genom att använda sig av tidigare mätvärden kan beräkningar göras för att få en brusreducerad signal.

  Filtreringar som används i denna förbehandling är:

  - Median-filtrering
  - Exponentiellt glidande medelvärdesfilter
    (Exponentially Weighted Moving Average, EWMA se Oppenheim & Schafer, (2013))

- Differensbegränsningar

  Genom att undersöka skillnaden mellan observationer kan signalens momentana förändringshastighet övervakas. Detta kan användas för att se när oväntat snabba förändringar sker, till exempel när mätvärdet tillfälligt gör ett hopp (en så kallad spik). Det kan också användas för att identifiera när förändringen mellan flera observationer i rad är konstant vilket kan tyda på att observationen inte är ett mätvärde utan har interpolerats fram med hjälp av närliggande mätvärden. Detta beteende kan vara intressant att identifiera, då sådana interpolerade observationer eventuellt behöver tas bort för att kunna ta fram tillförlitliga modeller av data.

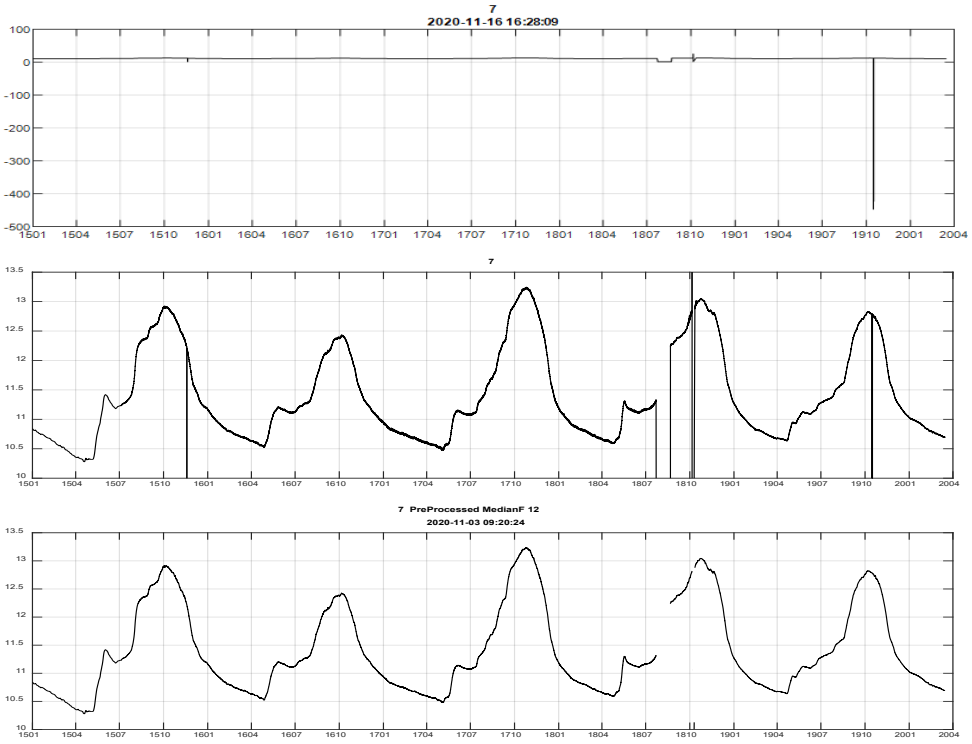
De vanligaste felen som upptäckts i den historiska datamängden är spikar, där en eller flera observationer i följd rapporterats utanför den årliga variationen och bryter mönstret i signalen, se nedan. Ett antal givare uppvisar även en hög brusnivå, vilket gör det svårt att utläsa mer information om den naturliga variationen. Fyra givare har en tydlig brytpunkt under den historiska tidsserien. Efter brytpunkten ser givaren ut att hamnat i ett nytt normalläge. Detta kan ha som orsak att givaren har gått sönder, eller att stora justeringar gjorts efter en kalibrering. Vi har även identifierat tre givare som uppvisar en tendens till att mätdata driver.

Nedan visas resultat av förbehandling av ett antal signaler från fallstudien. Varje figur innehåller tre grafer,

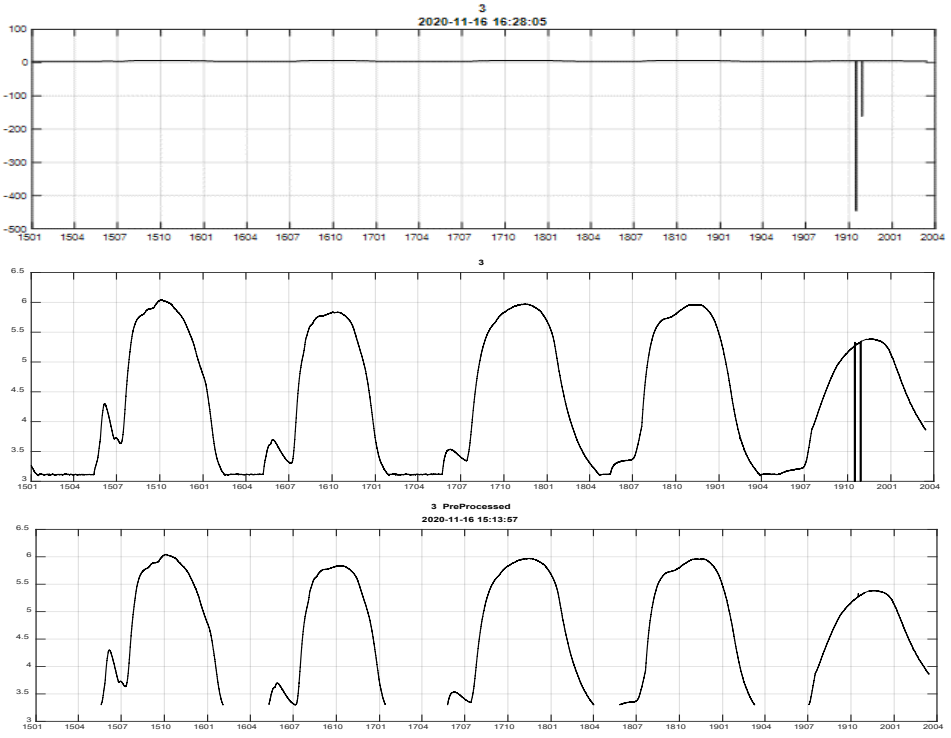
1. Rådata
2. Graf av rådata beskuren i y-led (endast i vissa figurer!)
3. Data efter förbehandling

Den nedersta grafen i varje figur presenterar alltså resultatet efter genomförd förbehandling enligt ovan.

I Figur 17 presenteras data från en nivågivare i dammen. Vid jämförelse mellan rådatat och den förbehandlade signalen ser vi att spikar (1511,1810,1910) samt sektionen med längre bortfall (1808) rensats bort och ersatts av ”tomma”(Not-A-Number) värden.



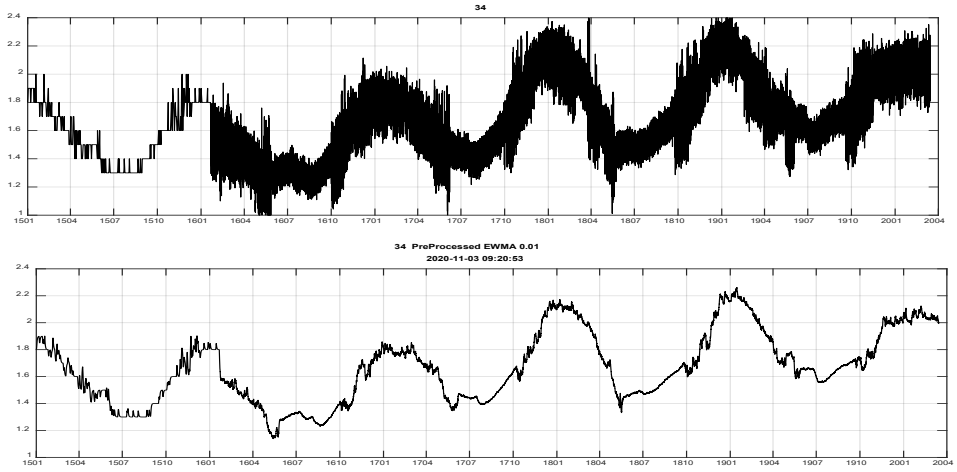
Figur 17 Data från en Nivågivare i dammen som används som fallstudie där x-axel beskriver tid [åå mm].



Figur 18 Data från en Nivågivare i dammen som används som fallstudie, där x-axel representerar tid [åå mm].

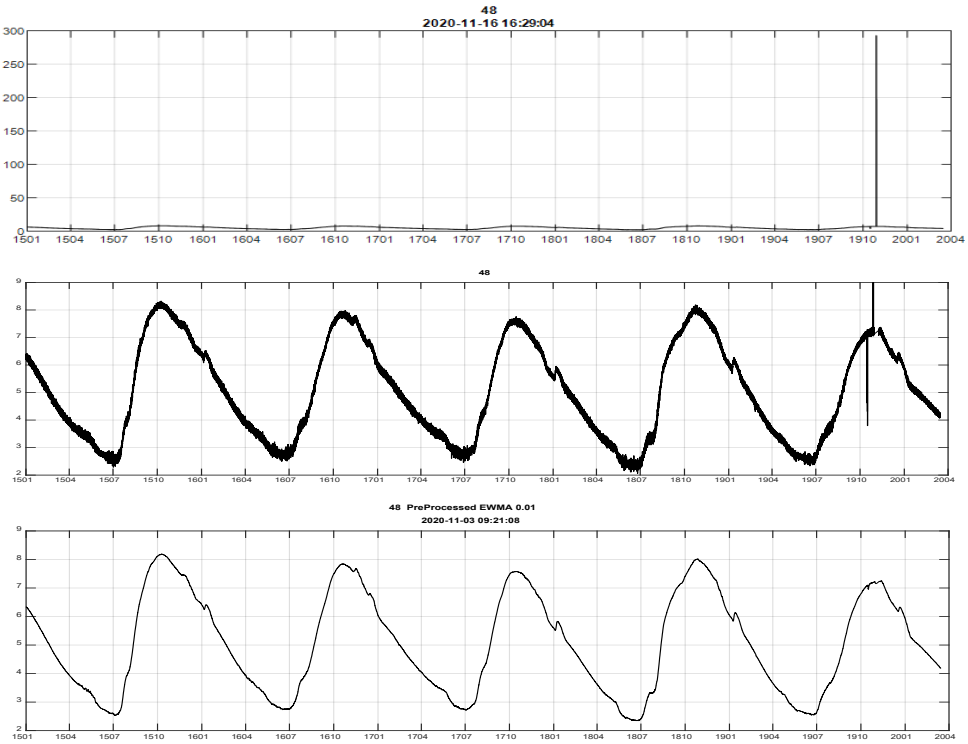
I Figur 18 presenteras data från ytterligare en nivågivare. Efter förbehandling har de bottnade delarna (under våren) rensats bort då dessa inte beskriver den korrekta nivån, utan endast att nivån är lägre än det rapporterade värdet. Även de negativa spikarna vid 1910 har filtrerats bort.

Figur 19 visar en temperatursignal. Den övre grafen representerar båda övre graferna i övriga figurer då denna signal inte har spikar stora nog för att behöva beskära den i y-led. Förbehandlingen har fokuserat på att minska brusnivån i signalen då rådatat har en hög stokastisk variation mellan observationer. Ett EWMA (exponentiellt glidande medelvärde) filter har använts.



Figur 19 Data från en temperatursignal i dammen där x-axeln beskriver tid [ååmm].

Figur 20 visar en temperatursignal. Filtrering har applicerats för att minska brusnivån i signalen. Även differensberäkningar har använts för att rensa bort spikarna (1910).



Figur 20 Data från en temperatur-givare i dammen där x-axeln beskriver tid [ååmm].

6 Implementation

6.1 Använda metoder för att realisera on- och off-linelösningen

Metoderna från 4.1 som utvecklats i "MATLAB," (2021) har implementerats för användning i realtid. Programvaran är skriven i språket "C-sharp," (2021) med hjälp av utvecklingsmiljön "Microsoft Visual Studio," (2021) version 2019 och använder i huvudsak ".NET Framework," (2020) version 4.0. Detta är en stabil miljö som används för de flesta realtidsapplikationerna hos IVL. Implementationen är också förberedd för det fortsatta projektet med multivariat signalövervakning som startar under våren 2021.

Detta projekt återanvänder vissa delar av implementationsmjukvara från två tidigare projekt. I projektet Miljöväder (se referens "Miljöväder ska visualisera utsläpp och buller," (2020)) implementerade vi en liknande applikation med flera multivariata modeller, datahämtning, datalagring och automatisk modelluppdatering. I ett annat projekt med Sandviken Energi kördes olika modeller och ett omfattande användargränssnitt byggt med den kommersiella mjukvaran "GENESIS64 ", (2021) från "Iconics," (2021). I båda fallen, liksom i många andra, använde vi OPC (se "What is OPC?," (2021)) (standard för industriell signalöverföring) för datakommunikation och presentation.

För att undvika att bygga in hårdkodade data i programmen läggs alla data i databaser. Vi använder tabeller för administrativ information såsom signal- och modelldefinitioner i en databas, "SQL Server Express," (2020), från Microsoft. För historiska signaldata använder IVL historikdatabasen "Hyper Historian," (2021), medan Vattenfall använder databasen PI från "OSIsoft," (2020). Med data i databaser är det också enkelt att flytta applikationen till andra användare; man byter bara signal- och modelldefinitionerna.

6.2 Generellt för både online- och off-line implementering

Signalövervakningen har implementerats i två versioner. En utvecklingsversion för “off-line”-användning som möjliggör uppspelning historiska data och testning/visualisering av utvecklade metoder, samt en realtidsversion för drift hos Vattenfall. Gemensamt för båda versionerna är programmet *VD001SignalExec*, där feldetektionsmetoderna som utvecklats har implementerats (se kapitel 4). Programmet har inga hårdkodade signalnamn eller gränsvärden utan all signal-information administreras i en tabell, *Signals* som visas Tabell 2.

Detta för att implementationen av mjukvaran ska vara modulär och lättöverförbar till en ny anläggning. Hårdkodade värden i programkoden är ofta svåra att överblicka vilket kan innebära att ändringar som borde gjorts inte alltid görs. Detta är generellt dålig praxis och tenderar ge en högre buggbenägenhet.

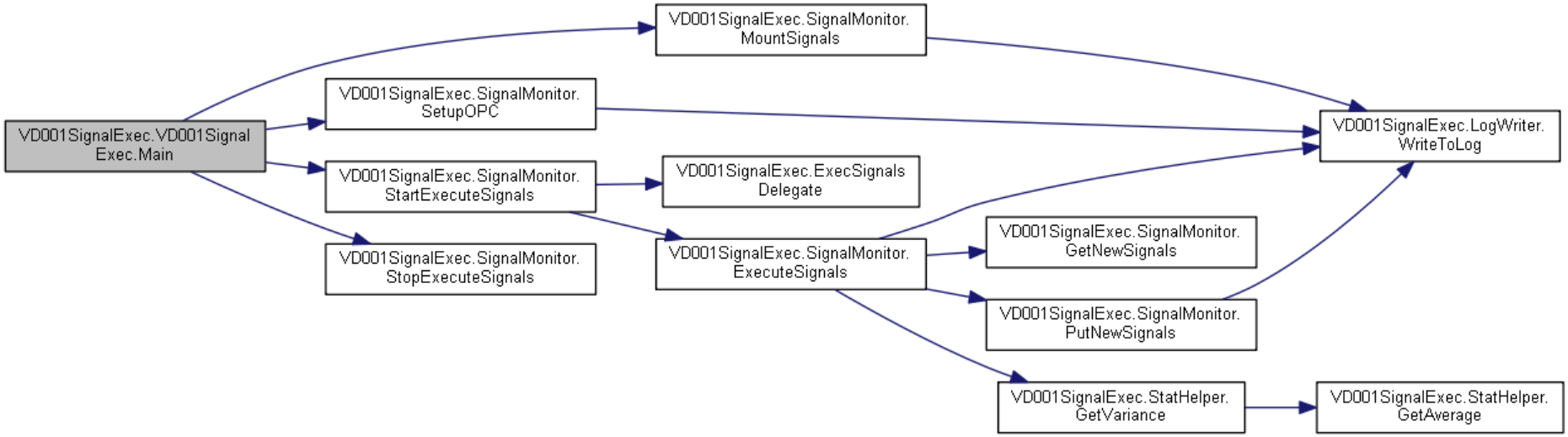
Tabell 2 Tabelldefinition för *Signals*

projektnamn – Här VD001	
variabelnamn – anonymiserat signalnamn	
signalens OPC-namn, här = variabelnamn	
den dator där signalens OPC server finns	
undre gränsvärde, larmgräns enligt Vattenfall	
övre gränsvärde, larmgräns enligt Vattenfall	
max antal lika värden i rad	
antal värden bakåt i tiden för medianfiltrering	
signalnamn i databasen, här = variabelnamn	
monitored = sann om signalen skall övervakas	
gränsvärde för signalens 1a derivata	
gränsvärde för signalens 2a derivata	
gränsvärde för glidande variansen	
nedre intervallgräns för plottning	

VM-W10-MIT12\SQLE...xec - dbo.Signals

Column Name	Data Type	Allow Nulls
Id	int	☐
ProjectName	nvarchar(255)	☑
VariableName	nvarchar(255)	☑
OPCTagName	nvarchar(255)	☑
NodeServerId	int	☑
MinLimit	real	☑
MaxLimit	real	☑
MaxConstant	smallint	☑
MedianMinus	real	☑
DBTagName	nvarchar(255)	☑
Monitored	bit	☑
MaxAbs1stDer	real	☑
MaxAbs2ndDer	real	☑
MaxMovVar	real	☑
RangeMin	real	☑
RangeMax	real	☑
MinWarn	real	☑
MaxWarn	real	☑

Programmet *VDSignalExec* är uppdelat i funktionsblock som visas Figur 21. Först hämtas info om vilka signaler som skall övervakas och dess gränsvärden via metoden *MountSignals*(). Metoden skapar också interna buffrar för varje signal som används för att, i förekommande fall, spara tidigare värden för beräkning av glidande varians och medianvärden. Om OPC-kommunikations skall användas anropas *SetupOPC*() för att koppla upp till motsvarande OPC-servrar (se "What is an OPC Server and an OPC Client?," (2020)) enligt info i tabellen *Signals*. Därefter anropas metoden *StartExecuteSignals*() som startar en fristående programdel som utför övervakningen med intervallet updateRate. Metoden *StopExecuteSignals*() stoppar övervakningen och avslutar *VD001SignalExec*.



Figur 21 Anropsgraf för programmet *VD001SignalExec*

VDSignalExec administreras via en konfigurationsfil vars inställningar visas i Tabell 3.

Tabell 3 Settings för VD001SignalExec, som kan anges utan att programmet behöver kompileras om.

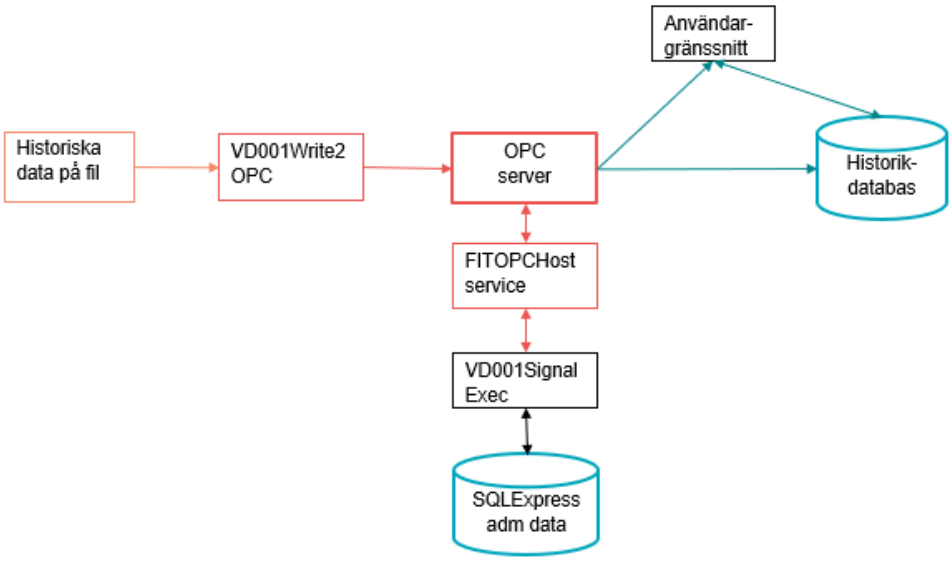
Name	Type	Scope	Value
updateRate	int	Application	10000
isReadFromFile	bool	Application	False
isWriteToOPC	bool	Application	True
isWriteToFile	bool	Application	False
fileRepository	string	Application	c:\Eget\Projects\2019\IVL\Dammsäk2\Data\
dbServerName	string	Application	localhost\SQLEXPRESS
isUseConsole	bool	Application	True

Mer utförlig beskrivning av inställningarna som visas i Tabell 3 är:

- *updateRate* [ms] anger hur ofta programmet skall hämta nya data. För utvecklingsversionen är den 10000 [ms]. För on-line-versionen är upDateRate = 900000 [ms] (15 min).
- *isReadFromFile* är sann om data skall läsas från fil, annars läses data från OPC-server
- *isWriteToOPC* är sann om resultaten skall skrivas till OPC-servern
- *isWriteToFile* är sann om resultaten skall skrivas till fil
- *fileRepository* anger sökväg till huvudkatalogen för dataöverföring
- *dbServerName* anger den databasserver där tabellen Signals finns
- *isUseConsole* är falsk om ingen utskrift skall ske till programfönstret.

6.3 Off-line implementation

Den förberedande implementationen består av programmoduler skrivna i C# i "Microsoft Visual Studio," (2021) med datakommunikationslösning i OPC (Se referens "What is OPC?," (2021)) och administrativa data i en "SQL Server Express," (2020). Användargränssnitt och historikdatabas är realiserade med komponenter i "GENESIS64 ", (2021) från "Iconics," (2021).



Figur 22 Blockschema för utvecklingsversionen av signalövervakningen

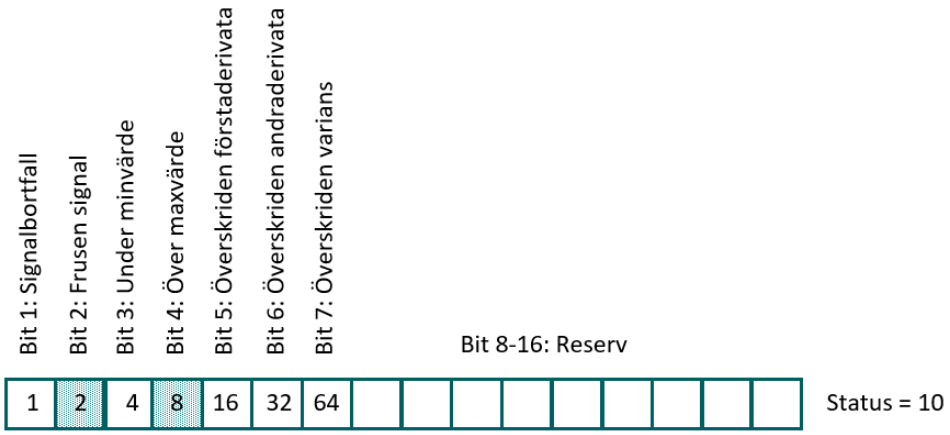
I Figur 22 visas blockschema för dataflöden mellan de olika mjukvarukomponenterna.

Tre program i C# har utvecklats eller används:

- *VD001Write2OPC* – skriver 15-mindata data från fil till OPC-servern med 5 sek intervall (ställbart)
- *FITOPCHost* - är en service som utväxlar OPC-data från OPC-serverns 32-bitsmiljö till VD001SignalExecs 64-bitsmiljö.
- *VD001SignalExec* - är systemets centrala funktion. Här sker själva signalövervakningen.

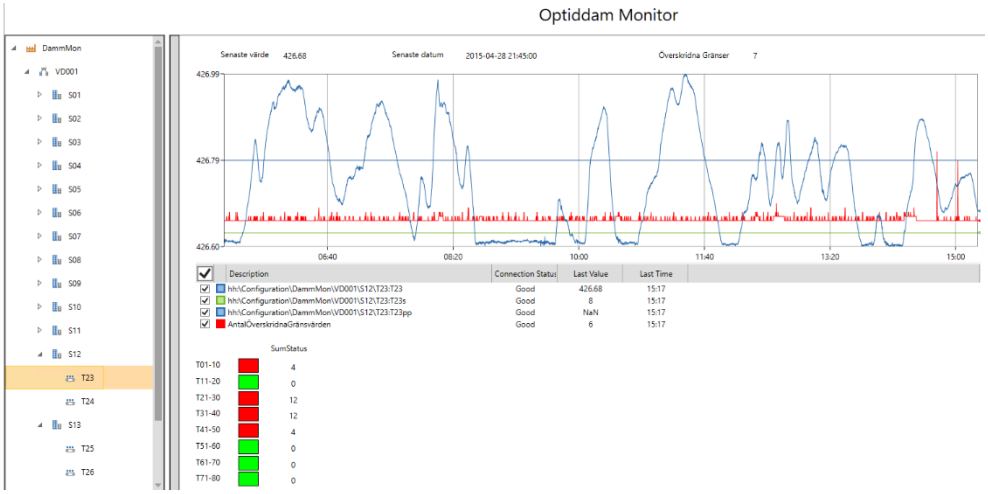
För närvarande övervakas följande egenskaper och avvikelser registreras i en bit-vektor, som sparas som ett 16-bitars heltal av vilka de 7 första bitarna används:

- signalbortfall - bit 1,
- frusen signal - bit 2,
- minvärde - bit 3,
- maxvärde - bit 4,
- förstaderivata (första ordningens differens) – bit 5,
- andraderivata (andra ordningens differens) – bit 6,
- glidande varians – bit 7.



Figur 23 Varje position i bit-vektorn har ett värde = (bitposition-1)^2. Statustalet = tvärsumman av alla flaggvärden, Med två samtidiga fel, en frusen signal som också är över maxvärdet blir Status = 10.

Användargränssnittet byggs i "GENESIS64 ", (2021) från "Iconics," (2021). Signalåtkomsten sker via en interaktiv trädstruktur, AssetWorX, till vänster i Figur 24. Via den väljer man, med ett musklick, vilken signal som skall visas som en trend i högra delen. I trendgrafen finns också en röd trend som visar det sammanlagda antalet överskridna gränser för alla signalerna som funktion av tiden. Under trendgrafen finns en sammanfattande presentation av signalläget i grupper om 10 signaler. För varje grupp finns en färgad ruta. Den är grön om gruppen är utan fel, röd annars. Till höger om rutan visas summan av gruppens Status.



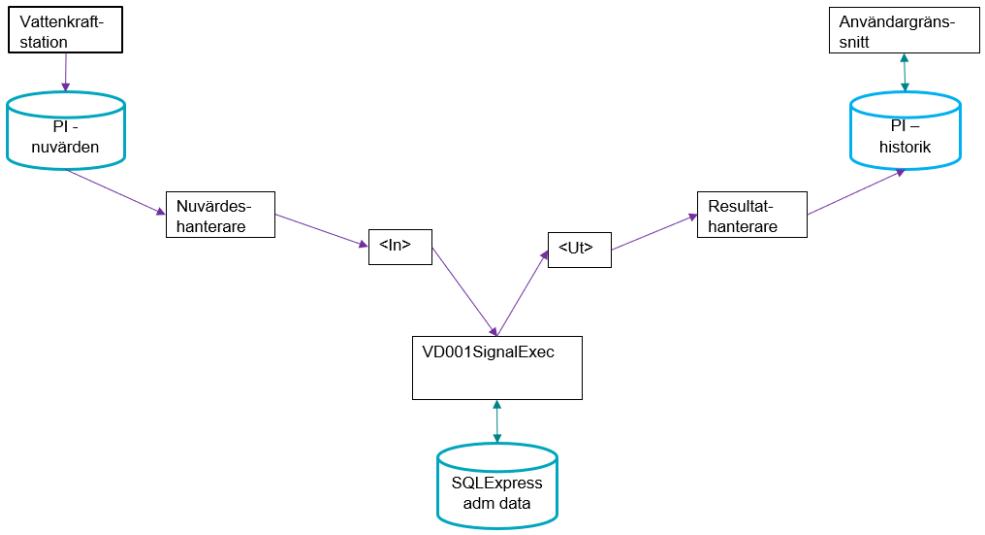
Figur 24 Användargränssnitt för utvecklingsversionen

6.4 On-line implementation

Som en förberedelse för on-lineversionen byggdes en utvecklingsversion på en av IVL:s virtuella VMware-datorer. Versionen drivs av historiska data som spelas upp med intervallet 10 sekunder i stället för verklighetens 15 minuter. Här kunde vi testa all funktionalitet på ett enkelt och snabbt sätt utan uppkoppling till Vattenfall vilket gjorde utvecklingen effektiv.

Online implementation togs i drift i början av december 2020. Själva program-överföringen gick på några timmar. En del finslipning återstår i form av översyn och justering av signalgränsvärden.

Realtidsapplikationen är skriven i "C-sharp," (2021) med "Microsoft Visual Studio," (2021) och bygger på komponenter som ingår i off-line-versionen men som anpassats efter Vattenfalls interna regler. Realtidsapplikationen är i drift på en server hos Vattenfall sedan början av december 2020.



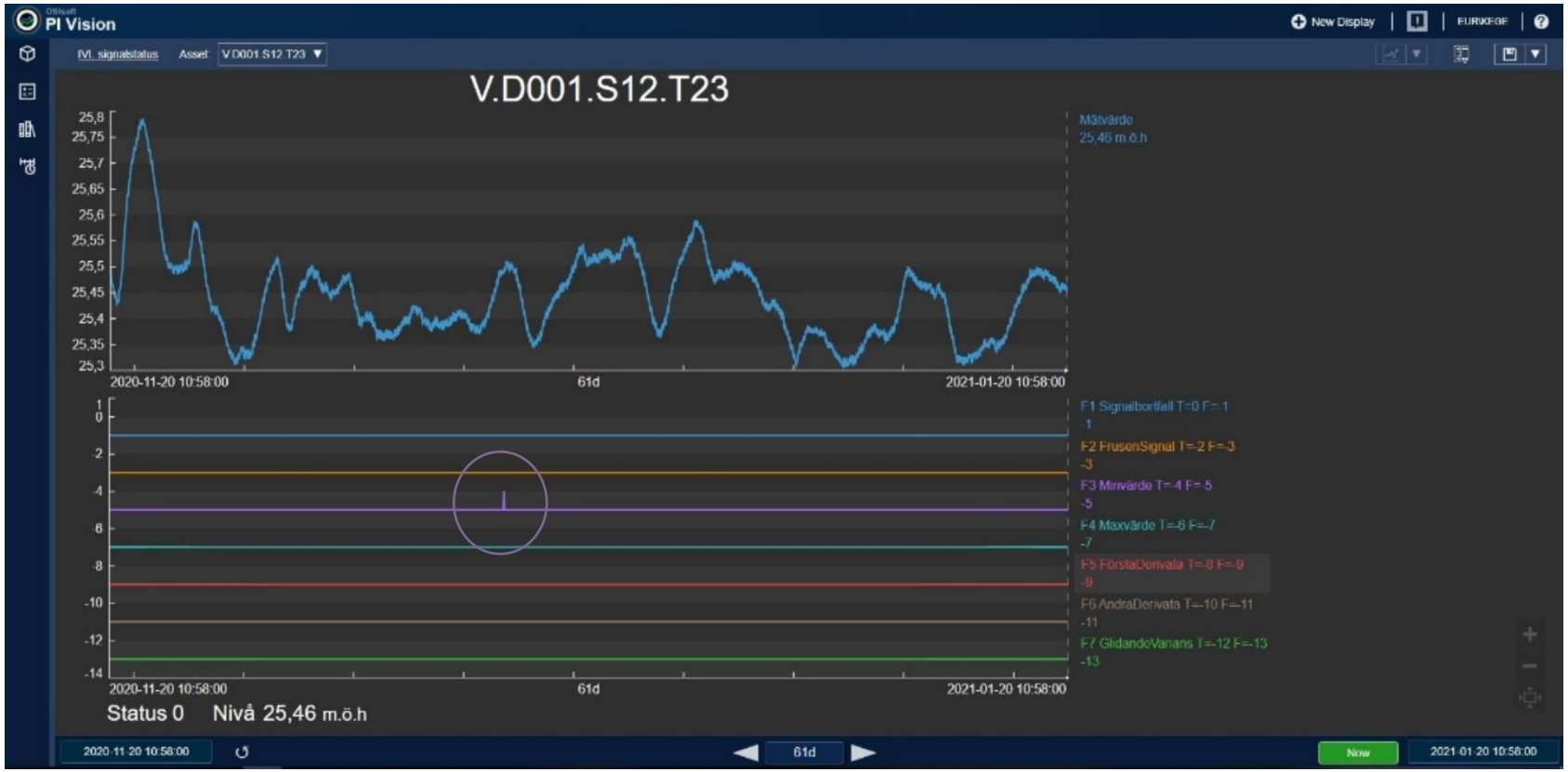
Figur 25 Blockschema för realtidsversionen av signalövervakningen

I Figur 25 visas hur datakommunikationen sker via filutväxling mellan två filkataloger: en för data från PI-databasen för bearbetning <In>, och en för utvärderingsresultaten <Ut>. Det är cirka 80 signaler som övervakas. Data för de övervakade signalerna skrivs som en observation i en textfil till <In> från PI varje 15e minut, med viss eftersläpning för att data från dammen skall ha ankommit. Realtidsapplikationen kollar med 5 minuters mellanrum om nya filer anlänt, processar dessa data, genererar resultatfiler i <Ut> samt raderar de processade filerna.

Varje observation resulterar i två filer, en med status för varje signal för Vattenfall, och en med signaldata och status för IVL. Resultatfilerna till Vattenfall överförs sedan till historikdatabasen i PI. Filerna till IVL överförs manuellt till IVL veckovis.

Själva installationen på Vattenfalls server gick smärtfritt på någon timme. Vattenfall hade förberett rutinerna som levererade data från PI till In-katalogen, liksom rutiner för inläsning av resultat från Ut-katalogen. Via SQL-skript skapades nödvändiga tabeller i "SQL Server Express," (2020) och datatabellen Signals importerades från en textfil. Programmet VD001SignalExec kopierades från IVL:s utvecklingsdator, programmets konfigurationsfil redigerades efter förhållandena på måldatorn och allt fungerade.

Efter implementationen som beskrivits tidigare diskuterade IVL och Vattenfall hur givarsignalerna tillsammans med de utvecklade feldetektionsmetoderna bör visualiseras på ett funktionellt sätt. Detta utvecklades sedan på ett förtjänstfullt sätt i Vattenfalls visualisering och analysprogramvara PI. Detta presenteras för givar-data från ett vattenståndsrör i Figur 26.



Figur 26 Dashboard för visualisering av en givarsignal från ett vattenståndsrör tillsammans med det utvecklade feldetektionsmetoderna. Övre delen av bilden presenterar givarsignalen och den nedre delen de detekterade feltillstånden. Vi ser vi här att ett fel detekteras på den lila linjen och som har ringats in, när det ej är något fel är status noll för linjen och ett då fel har upptäckts.

7 Workshop

En workshop tillsammans med referensgruppen genomfördes i Gävle den 18:e september 2020. Under mötet diskuterades projektets framsteg, potentiella sensorfel & felmoder, användar-gränssnitt som olika kraftföretag har för övervakning av givarsignaler, befintlig övervakning av givarsignaler, databassystem och datasäkerhet, olika upplägg av dataflöden inom branschen och den specifika fallstudien, samt struktur på denna rapport.

Flera dammägare har grafiska gränssnitt (HMI) i övervakningssystemet, där man kan klicka sig in till en viss givare och visa mätdata. Detta underlättar när antalet givare är stort.

I vissa dammövervakningssystem kan man välja att komprimera data innan de visas och lagras. Man kan ange hur ofta data ska lagras, och att de även ska lagras oftare vid till exempel förändringar.

Medelvärdesbildning i 15 minuter används ofta. Ett företag rapporterade att man sett att det inte var lämpligt för alla givare eftersom man kan missa ett genombrott. Max och min är då lämpliga som komplement, om man ändå ska gå ner i datafrekvens, så att snabba eller kortvariga händelser syns. Givarna mäter betydligt oftare, typiskt varje sekund. Ett kraftföretag tittar på att använda givare med fältbussteknik även för dammsäkerhetsgivare i stället för traditionell 4–20 mA teknik för överföring av givarsignalerna till anläggningens stationsdatorer. Fördelarna är mindre komplicerat kablage och att givarna ofta innehåller enklare självdiagostik.

En dammägare beskriver att i deras system finns en stationsdator/dammdator (också kallat SCADA) som tar emot och förprocesserar givardata och skickar via satellit/länk/lina till driftcentralen (se Mayadevi, (2014)). Där kan data processas vidare och sedan skickas de vidare till en långtidsdatabas. Det är data i långtidsdatabasen som man kan titta på i dammövervaknings-systemet. Intressant är så kallade ”datareservoar”-lösningar där man går förbi DC och lagrar data från dammdatorn direkt i databas.

För kommunikation av givardata från damm till databas kan LORA vara intressant. Man kan då sätta upp egna gateways som inte är kopplade till Internet för en säkrare kommunikation. Räckvidder på flera km i skog är inte orimliga. LORA tillåter inte att man skickar data så ofta, men det kan vara tillräckligt ofta i den här tillämpningen. Det håller också på att utvecklas möjlighet att skicka LORA-data via satellit.

Att skicka data till molnet kan underlätta, men kan också medföra säkerhetsrisker. De olika deltagarna i workshopen ser lite olika på detta.

Diskussionerna under workshopen var en viktig del av implementationen realtidsapplikationen on-line.

8 Slutsatser

Fallstudien tillsammans med Vattenfall Vattenkraft gav möjlighet att analysera en stor mängd data från en dammanläggning. Detta var ovärderligt vid utvecklingen av signalövervakningsmetoder. Vattenfall och övriga medlemmar i projektets referensgrupp har också bidragit med värdefull kunskap om dammövervakning, givare och dammövervakningssystem.

Vi har utvecklat sju olika metoder för detektion av givar- och kommunikationsfel. Övergripande utfall från användningen av dessa har sammanfattats och metodernas utfall har visats på utvalda givare av olika slag och placering. Överlag fångar dessa metoder relevanta avvikelser och reagerar inte för icke avvikande data. Intrimning av optimala gränsvärden för feldetektionsmetoderna är en iterativ process och det är viktigt att ha ett separat dataset för att utvärdera om eventuella justeringar är relevanta och behöver göras.

En pilotimplementation av metoderna har utförts i Vattenfalls dammövervakningssystem. En lärdom är att diskussionerna mellan extern aktör och dammägare om sådan implementation är tidsödande, särskilt då säkerhetskraven kring vattenkraftsanläggningars IT-system nyligen höjts, och bör påbörjas i god tid innan implementationen ska sjösättas.

Online implementation togs i drift i början av december 2020. Själva programinstallationen genomfördes på några timmar. Mindre finslipning återstår i form av översyn och justering av signalgränsvärden.

Metoderna för detektion av givar- och kommunikationsfel har med liten insats kunnat modifieras för förbehandling av data inför multivariat modellering.

Sammantaget utgör resultatet av detta projekt en bra grund för fortsatt arbete i ett framtida projekt med tillståndsövervakning via multivariat dataövervakning och genom andra maskininlärnings-metoder. Dessa kan användas för att jämföra en sensors aktuella värde med ett värde predikterat med hjälp av en modell, alternativt genom att tillämpa multivariat statistisk processtyrning.

9 Termer och förkortningar

Beteckning	Förklaring
OPC	Open Process Communication. En standard för industriell signalöverföring
Outlier	Avvikande värde
Spik	Momentant avvikande värde som snabbt återgår till normalläge
Median	Det mittersta värdet i en datamängd; det värde som efter sortering efter värde finns i mitten av dataserien
SPC	Statistical Process Control
MSPC	Multivariate Statistical Process Control
Exponentiellt viktad medelvärdesbildning	En populär form av glidande medelvärdesbildning som kan implementeras med bara ett värde i minnet. Det fönster som appliceras på signalen har en exponentiell form.
EWMA	Exponentially Weighted Moving Average dvs exponentiellt viktad medelvärdesbildning
SQL	Structured Query Language
HMI	Human-Machine Interface dvs användargränssnitt
SCADA	Sensory Control And Data Acquisition

10 Referenser

Bulyaculov, R. R., Schogoleva, K. P., Yakovlev, I. N., & Roskostov, R. A. (2017). *Modelling and analysis of the median filter algorithm of suppression of impulse noise*. Rapport presenterad på 2017 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), Saint Petersburg, Russia.

C-sharp. (2021). Hämtad från https://sv.wikipedia.org/wiki/C-sharp

Ekonomifakta. (2020). Sveriges totala elproduktion fördelat på energislag, 2019, TWh. Hämtad från https://www.ekonomifakta.se/Fakta/Energi/Energibalans-i-Sverige/Elproduktion/?gclid=Cj0KCQiA7qP9BRCLARIsABDaZziz1w25ccMa5Uqt-Zf_Ij0AJPXpjMpNoJrzTqa0focf9QzZ0zGBX9IaAm4gEALw_wcB&graph=/12218/all/all/

GENESIS64 (2021). *HMI/SCADA | ICONICS Software Solutions.* Hämtad från https://iconics.com/Products/GENESIS64

Hyper Historian. (2021). *Product | ICONICS Software Solutions.* Hämtad från https://iconics.com/Products/Hyper-Historian

Iconics. (2021). Hämtad från https://en.wikipedia.org/wiki/Iconics

Johansson, T., Fridén, H., Sundberg, M., Samuelsson, O., & Björk, A. (2020). *Datadrivna metoder för att detektera avvikande mätvärden inom dammsäkerhet* (Rapport 2020:640).Hämtad från https://energiforsk.se/media/27536/datadrivna-metoder-for-att-detektera-avvikande-matvarden-inom-dammsakerhet-energiforskrapport-2020-640.pdf

MATLAB. (2021). Hämtad från https://sv.wikipedia.org/wiki/Matlab

Mayadevi, N., Vinodchandra, S. S., Ushakumari, S. (2014). A Review on Expert System Applications in Power Plants. *International Journal of Electrical and Computer Engineering, 4*(1), 116-126. doi:DOI:10.11591/ijece.v4i1.5025

Microsoft Visual Studio. (2021). Hämtad från https://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Visual_Studio

Miljöbalken (1998:808). (1998). Stockholm: Regeringskansliet.

Miljöväder ska visualisera utsläpp och buller. (2020). Hämtad från https://www.ivl.se/vart-erbjudande/forskning/luft/miljovader-ska-visualisera-utslapp-och-buller.html

.NET Framework. (2020). Hämtad från https://sv.wikipedia.org/wiki/.NET_Framework

Nilsson, Å. (2014). *DAMMSÄKERHET, Dam safety performance monitoring and data management – best practice*.Hämtad från Stockholm: https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/18414/dam-safety-performance-monitoring-and-data-management-kortversion-energiforskrapport-2014-9.pdf

Oppenheim, A. V., & Schafer, R. W. (2013). *Digital Signal Processing*: Pearson Education Limited.

OSIsoft. (2020). Hämtad från https://en.wikipedia.org/wiki/OSIsoft

Regeringskansliet. (2015, 2015-04-02). Dammsäkerhet, Tydliga regler och effektiv tillsyn. Hämtad från https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/statens-offentliga-utredningar/2012/06/sou-201246/

RIDAS - Energiföretagens riktlinjer för dammsäkerhet. (2019). (J. Bladh Ed.). Stockholm: Energiföretagen Sverige.

SQL Server Express. (2020). Hämtad från https://en.wikipedia.org/wiki/SQL_Server_Express

What is an OPC Server and an OPC Client? (2020). Hämtad från https://www.matrikonopc.com/resources/opc-server.aspx

What is OPC? (2021). Hämtad från https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/

IVL Svenska Miljöinstitutet AB // Box 210 60 // 100 31 Stockholm
Tel 010-788 65 00 // www.ivl.se