



Nr B 2294
Oktober 2016

Datadriven diagnostik av avloppsledningsnät

Automatisk identifiering av tillskottsvatten
och pumpproblematik

Linus Bergfors



I samarbete med Borås Energi och Miljö AB

Författare: Linus Bergfors, IVL Svenska Miljöinstitutet

Medel från: Borås Energi och Miljö AB, SIVL

Rapportnummer B 2294

ISBN 978-91-88319-97-5

Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© IVL Svenska Miljöinstitutet 2016

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // Fax 010-788 65 90 // www.ivl.se

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

Förord

Stort tack riktas till Borås Energi och Miljö AB som har bistått oss med systemexpertis och dataunderlag. Den goda dialogen har varit en starkt bidragande faktor till resultaten. Nu krävs vidare samarbete för att börja använda resultaten i praktiken och se vilket faktiskt bidrag de kan ha för arbetet med att minska tillskottsvatten i systemet.

Linus Bergfors och Fredrik Hallgren, IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	5
1 Inledning	6
2 Bakgrund.....	6
3 Genomförande och resultat	7
3.1 Automatisering & Förbehandling	7
3.2 Diagnosticeringsmetoder	7
3.2.1 Basflöde (torrvädersuppskattning)	8
3.2.2 Autokorrelation.....	9
3.2.3 Korskorrelation med regn	9
3.2.4 Avloppsnätet och korrelationer	10
3.2.5 Pumpkvot.....	11
4 Slutsatser	11

Sammanfattning

Det finns stor potential i att effektivare övervaka och styra pumpstationer i vatten- och avloppsledningsnät i de allra flesta städer och samhällen. Kan man tidigt upptäcka fel i pumpstationer eller onormala förhållanden i ledningsnätet kan man förbättra reningen samt undvika bräddning med vattenmängder som annars går ut orenade i miljön.

Projektets mål är att utveckla metodik och verktyg för övervakning av pumpstationer för att säkerställa att driften är normal och ge tidiga varningar när en pumpstation får problem samt att ta fram en prioritering av var insatser för att minska tillskottsvattnet har störst effekt. Metodiken bygger på att jämföra drifttillståndet från historiska data under normala förhållanden med driftsförhållandet nu och se om man hittar avvikelser. Ett annat sätt att hitta avvikelser på är att jämföra pumpstationens driftdata med närliggande pumpar eller pumpstationer för att se om förhållandet förändrats över tid vilket kan bero på slitage eller ökad mängd tillskottsvatten.

Projektet har resulterat i konkreta verktyg som kan ha stor nytta vid kommunernas arbete med att förebygga problem i avloppsledningsnätet. Vi kan nu göra en automatisk diagnostisering av ett pumprätverk där användaren får ut vilka stationer som är särskilt drabbade av tillskottsvatten och där mycket kan vinnas på att sätta in åtgärder. Resultaten kan användas för att prioritera de områden där insatser kan göra störst skillnad både ekonomiskt och för miljön. I samband med detta får användaren dessutom ut en enkel uppskattning av hur mycket av det som pumpas som kommer från den faktiska förbrukningen på nätet.

Vi har påvisat att drifttiderna i pumpstationerna är korrelerade med regnmängden i området och förhållandet kan anses vara kausalt. Tillsammans med korrelationerna mellan stationerna i avloppsledningsnätet ger det viktig information om tidsförskjutningarna i systemet, vilket i sin tur är viktig för att kunna vidta preventiva åtgärder vid stora regnmängder.

Uppföljning på trenden för pumpkvoten, som beräknas genom att ta kvoten mellan pumparna i samma pumpgrupp vilka används växelvis, ger en indikation på drift av enskilda pumpar.

Metodiken och verktygen kan göra det möjligt för användarna att övergå till behovsstyrt underhåll istället för att arbeta utifrån underhållsscheman. Det kan dessutom möjliggöra ett mer preventivt arbete med färre nödavledningar som följd och minskat antal nödutryckningar. Det krävs dock vidare utveckling för att få ut den fulla potentialen i tekniken.

För att ta resultaten vidare behöver samarbetet med Borås Energi och Miljö fortsätta med regelbundna diagnostiseringar. I dagsläget finns det inget enkelt sätt för driftspersonalen att få ut resultaten från verktygen för diagnostisering. Nästa steg blir därför att utveckla ett användargränssnitt för att tillgängliggöra verktygen för användare i Sverige.

1 Inledning

Det finns stor potential i att effektivare övervaka och styra pumpstationer i vatten- och avloppsledningsnät i de allra flesta städer och samhällen. Kan man tidigt upptäcka fel i pumpstationer eller onormala förhållanden i ledningsnätet kan man förbättra reningen samt undvika bräddning med vattenmängder som annars går ut orenade i miljön.

Målet är att övervaka pumpstationer för att säkerställa att driften är normal och ge tidiga varningar när en pumpstation får problem samt att ta fram en prioritering av var insatser för att minska tillskottsvattnet har störst effekt. Detta kan uppnås genom att jämföra drifttillståndet mot normal drift för en pumpstation baserat på historiska data och driftfall och jämföra med pumpstationens närliggande pumpstationer.

Med hjälp av statistiska modeller baserat på ett antal framräknade karakteristiska data för pumpstationen och kurvanpassning på dygnsmedelvärden vid regn utvecklade i ett VGR projekt i samarbete med Cactus har vi undersökt om metodiken är generell och kan användas på andra avloppsledningsnät.

Eftersom pumpstationer och ledningsnät i princip har samma funktionalitet oavsett var de finns bör de modeller som utvecklats vara allmänt giltiga även om de kan behöva anpassas för varje nytt driftfall.

2 Bakgrund

I samtliga 290 kommuner i Sverige ser avloppsledningsnäten ut på likande sätt. Detsamma gäller i stort sett även övriga västvärlden. Tillsyn och kontroll av dessa ledningsnät är i dagsläget minimal. Det finns metoder för att hydrauliskt beräkna statusen men dessa metoder är dock väldigt kostsamma då de kräver tillgång till fysikaliska mätningar. Tack vare de senaste årens teknikutveckling i form av fjärrövervakning och styrning av pumpstationer har möjligheten att samköra driftdata från olika pumpstationer uppstått. Idéen för detta projekt är att utvärdera en statistisk generell modell utifrån grundläggande befintlig information där ledningsnätsstatus kan visualiseras online. Modellen är tänkt att anpassas till data som redan finns. Detta innebär att inga hårdvaruinstallationer krävs ute på ledningsnätet (vilket krävs av andra metoder). Den nya metoden kan ge information om onormala förhållanden såsom onormalt inläckage, läckage från dricksvattensystem och pumpproblematik. Man får även information kring situationen i ledningsnätet gällande ovidkommande vatten och lokala regn mm. Detta skulle ge operatörerna av VA-systemet möjlighet att optimera sin verksamhet med avseende på miljö och ekonomi.

Enbart i Sverige uppgår ledningsnätsvärdet på avloppssidan till runt 200 miljarder SEK och står för en energiförbrukning på runt 200 GWh/år. Ungefär 50 % av det vatten som pumpas i dagens svenska avloppsledningsnät är så kallat ovidkommandevatten, dvs vatten som inte är avloppsvatten utan kommer från dagvattensystem, läckage och dräneringar. Den nya metoden kommer att kunna visa på förekomst av sådant vatten, vilket, efter åtgärd, skulle innebära energibesparingar i storleksordningen 100 GWh/år. Dessutom kan besparingar göras på avloppsreningsverk (ARV), ledningsnät och dricksvattenproduktion, minskad bräddning (miljöpåverkan) och lägre investeringar då man får ett minskat flöde vilket gör att man inte behöver bygga ut ARV.

IVL är ledande inom tillämpad forskning för miljöfrågor och har stor erfarenhet av vattenrening (egen pilotanläggning vid Hammarby Sjöstad) samt har under många år utvecklat fysikaliska och statistiska modeller för övervakning och optimering inom vattenrening och för processindustrin.

Utmaningen är att använda befintliga historiska drifttidsdata från pumpstationer samt regndata för att ta fram torrväderssituationsmodeller med statistiska metoder. För varje driftläge beräknas ett relativt värde fram i förhållande till torrvädersfallen. Dessa relativa värden ger sedan en bra bild hur tillskottsvattenfördelningen ser ut för olika områden. Genom att jämföra dessa värden mellan varandra kan avvikelser från normala driftmönster upptäckas och felsituationer som bräddning, läckage dricksvatten och pumpproblem bör kunna upptäckas. Detta görs genom att man definierar regler mellan pumpstationerna för hur dessa skall förhålla sig mellan varandra, dvs vilka stationer som skall påverka vilka. De relativa värdena skall även användas för att kontinuerligt följa upp tillskottsvattenutvecklingen för olika områden i ledningsnätet bland annat genom att korrelera det mot regnmängder.

3 Genomförande och resultat

Utvecklingen har utgått från de resultat som togs fram i ett tidigare projekt finansierat av VGR som utfördes i samarbete med Göteborgs stad och Cactus. Målet med projektet har varit att generalisera och förbättra de resultaten. Metodiken bygger på att vi främst analyserar drifttiden för de olika pumpstationerna, vilket är en relativt enkel parameter som de flesta pumpar har möjlighet att logga. Vi har utifrån data som Borås Energi och Miljö tillhandhållit anpassat de befintliga metoderna. Utöver metoderna har vi även lagt mycket arbete på att automatisera flödet och förbehandling av data för analyserna.

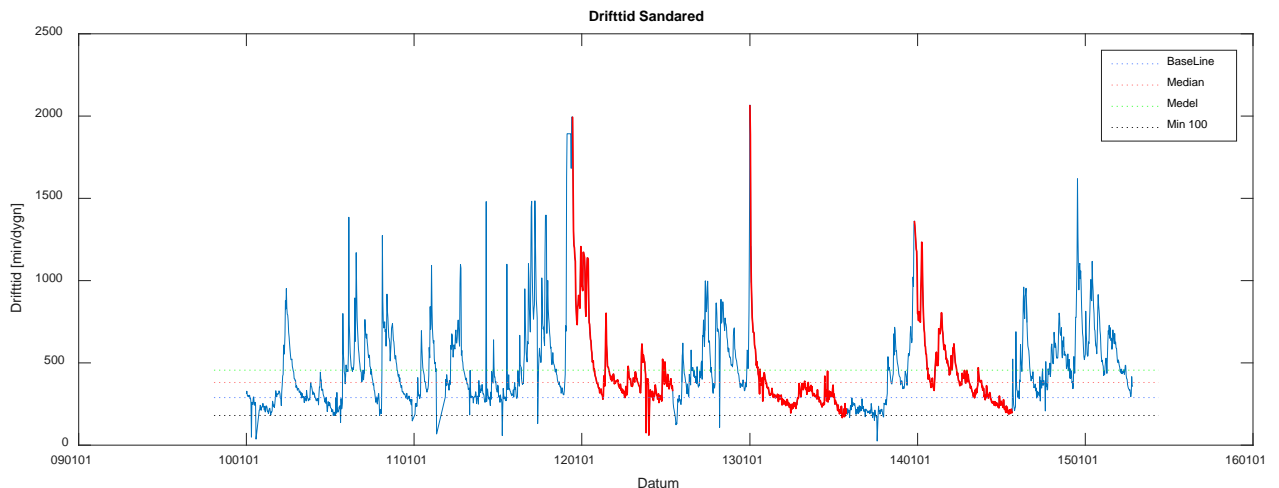
3.1 Automatisering & Förbehandling

Samtliga delar i analysen ska automatiseras vilket innebär att människor inte ska behöva vara med i processen att diagnosticera pumpnätet. Vi har därför lagt mycket arbete på att göra de metoder, som ofta kräver mänsklig hantering, automatiska. Det gäller kanske främst förbehandlingen av data som istället för att en person sitter och fattar beslut om enskilda datapunkter så gör man istället inställningar som tolkas av programmet och sedan används vid förbehandling och analys. De förbehandlingsmetoder som utvecklats är till exempel interpolation av saknade värden, identifiering av avvikare och identifiering av så kallade "döda signaler". Genom att titta på den rullande variansen i signalen kan många avvikelser identifieras.

Vi har också definierat en datastruktur som passar den typ av information som associeras med VA-system. Genom den strukturen kan användarna arbeta i Excel med indata och resultaten levereras tillbaka i Excel och Word. Användaren kan då på ett enkelt sätt se över resultaten.

3.2 Diagnosticeringsmetoder

Vi arbetade utifrån fem huvudspår då vi tog fram metoder för att diagnosticera pumpstationer. De är beskrivna nedan



Figur 1: Drifttid för pumpstationen Sandared där medelvärde, median, basflöde och medianen av de 100 minsta punkterna plottas som punktlinjer.

3.2.1 Basflöde (torrvädersuppskattning)

Ett uppskattat mått på vad basflödet i en station borde vara är en viktig parameter för att kunna kvantifiera hur mycket stationen påverkas av tillskottsvatten. En bra uppskattning ger oss också möjligheten att ta fram kvoter som mått på olika egenskaper, vilka i sin tur kan jämföras mellan olika stationer i nätet.

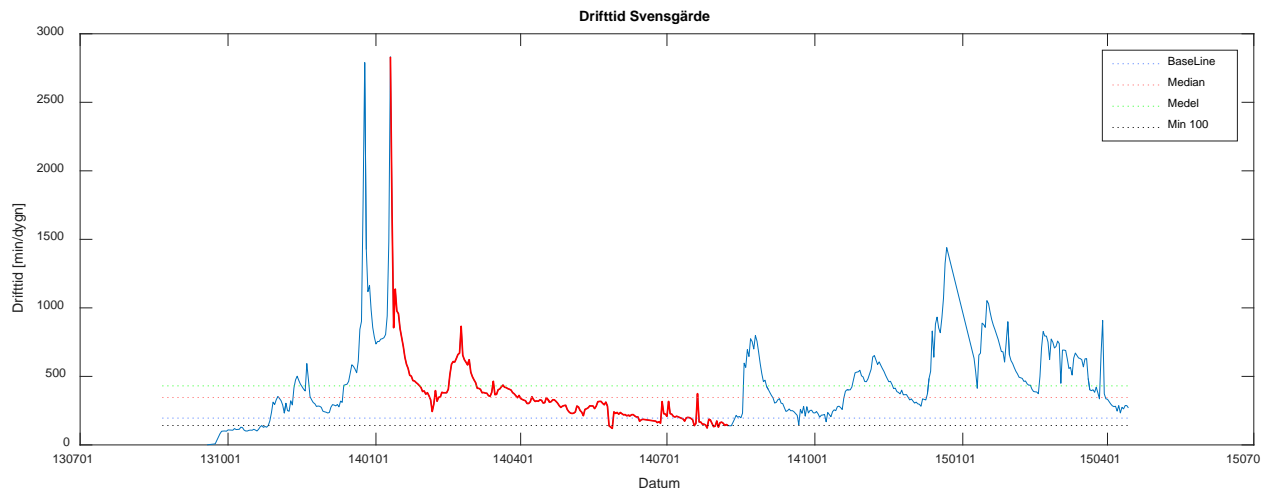
3.2.1.1 Basflöde metod 1

Initialt arbetade vi med en metod som anpassade en avtagande exponentialfunktion till tiden efter en regnperiod. Vår tanke var att med minstakvadratmetoden passa funktionen (1) till dataperioden som följer direkt efter en topp (regn) då pumptiden avtar exponentiellt. När den exponentiella termen går mot noll så blir det enbart en offset kvar som kan antas vara så mycket som stationer ska pumpa i normaltillstånd.

$$\hat{y} = k \cdot e^{-t/\tau} + m \quad (1)$$

Problemet med den metodiken var att det var svårt att dels identifiera lämpliga perioder automatiskt utan att en människa är med och tittar på data och att det krävs långa perioder av data för att få ut bra resultat samt att det visade sig att metoden vara för känslig för störningar i form av avbrott på den avtagande kurvan. Figur 1 visar en figur där ett antal perioder har identifierats automatiskt och använts för att modellera basflödet.

Basflödet är den näst nedersta prickade linjen och vi kan med ögat se att detta förmodligen inte det flöde som erhålls då pumpstationen inte har någon påverkan från tillskottsvatten. Det förekommer fall då metoden ger mycket goda resultat, som i Figur 2, men den är inte tillräckligt robust för att kunna användas generellt.



Figur 2: Drifftid för pumpstationen Svensgärde visar ett exempel där anpassning av exponentialfunktion ger goda resultat.

3.2.1.2 Basflöde metod 2

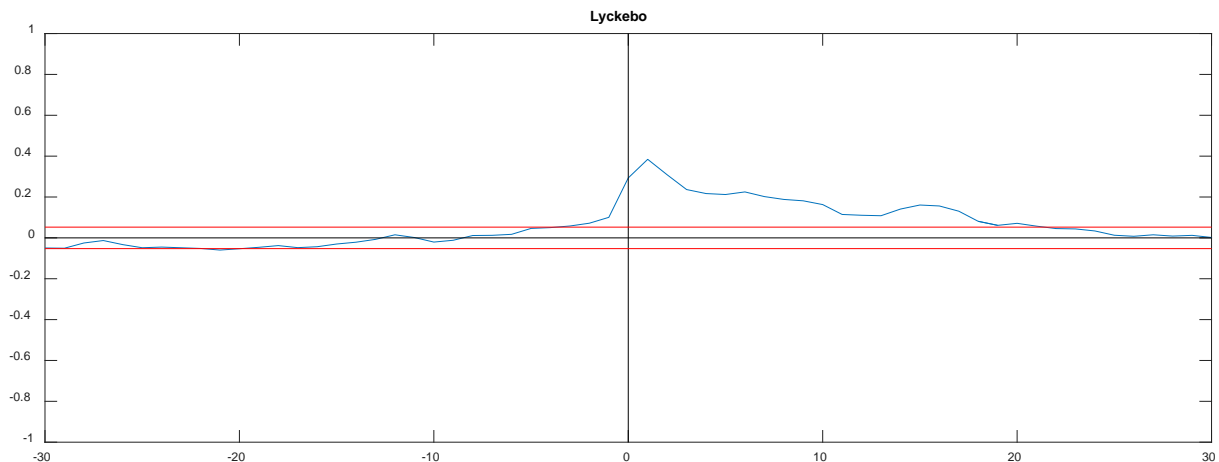
I sökandet efter en mer robust uppskattning av basflödet testade vi ett antal olika enklare metoder. Den metod som presterade bäst var att ta medianen av de hundra lägsta värdena i serien. Denna metod bortser på ett effektivt sätt från orealistiska värden (avvikare) samtidigt som den behåller den essentiella informationen kring låga flöden. Att använda de hundra lägsta värdena är inte ett måste utan bör anpassas för att passa dataseriens längd. I Figur 1 visas denna uppskattning i den lägsta prickade linjen. Vi kan se att detta kan vara en rimlig uppskattning på basflödet. Denna metod kräver en viss mängd data innan den kan anses helt stabil men den är betydligt snabbare än att anpassa en exponentialfunktion.

3.2.2 Autokorrelation

I projektet som föregick detta använde vi autokorrelation för att kategorisera pumpstationer som har mycket låg påverkan från tillskottsvatten. Vi kan då se ett återkommande mönster i signalen som kopplar till vattenanvändning i området. Vi kan till exempel se skillnader mellan helg och vardag medan man i data från pumpstationer med påverkan från tillskottsvatten inte kan se dessa mönster eftersom det döljs av andra flöden. I detta projekt kunde vi därför inte vidareutveckla denna metod.

3.2.3 Korskorrelation med regn

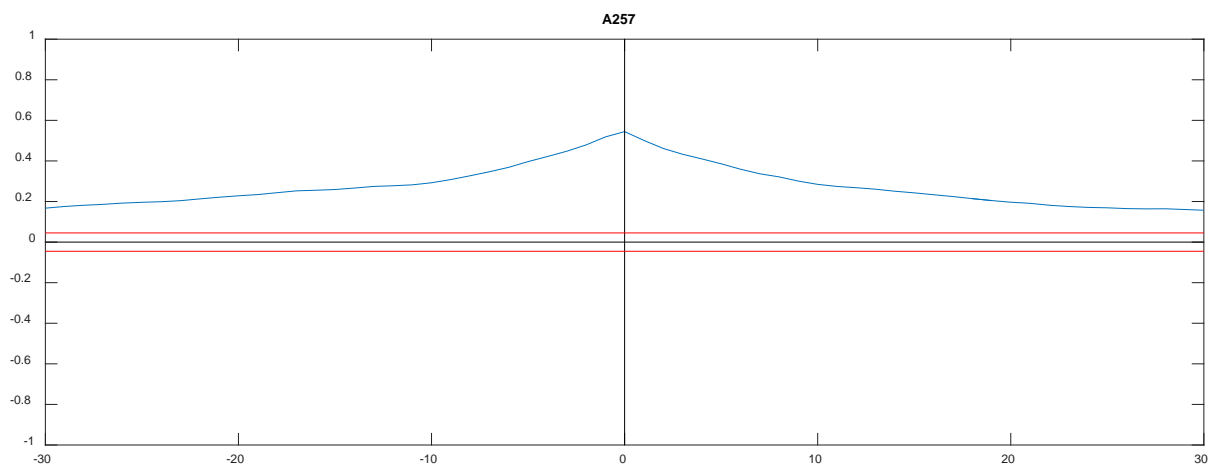
I de fall där regndata var tillgängligt implementerade vi metoder för att göra korskorrelation mellan regndata och drifftiden för pumpstationerna. Det visade sig vara ett effektivt sätt att påvisa om det är troligt att regnvatten läcker in till pumpstationen och ungefär hur lång tid det tar. I Figur 3 visas hur resultaten från en sådan analys ser ut. Det är lätt att se att vi i det här fallet har en tydlig positiv korrelation mellan regnmängd och drifftid. Vi kan anta att det är så att regnvattnet gör att det blir mer vatten för pumpstationen att hantera. Vår kunskap om systemet tillsammans med den tydliga korrelationen gör att vi kan anta att det är ett kausalt samband där regnvatten läcker in i avloppsnätet. Kunskap om tidsförskjutningen mellan regn och effekt på avloppsnätet kan möjliggöra preventiva åtgärder då man har indikationer på stora regnmängder.



Figur 3: Korskorrelation mellan regnmängd och drifttiden vid pumpstationen Lyckebo.

3.2.4 Avlopps nätet och korrelationer

Relationerna i avlopps nätet kan undersökas genom korrelation mellan stationerna som ligger nära varandra i nätet. För att kunna automatisera analysen var vi först tvungna att utveckla en metod för att beskriva avlopps nätet på ett för en dator läs- och tolkbart sätt. Metoden utgår från att varje pump är försett med ett id och en vektor av id:n för ett godtyckligt antal understationer kallade "child sites". I indata anges dessa som understationer som en kommaseparerad textsträng. Genom att ange detta för samtliga ingående pumpstationer kan vi beskriva hel avlopps nätverket. Om vi dessutom kombinerar detta med GPS-positioner kan vi lägga ut nätet på en karta.



Figur 4: Exempel på korrelation mellan en pumpstation och de pumpstationer som ligger uppströms stationen i avlopps nätet.

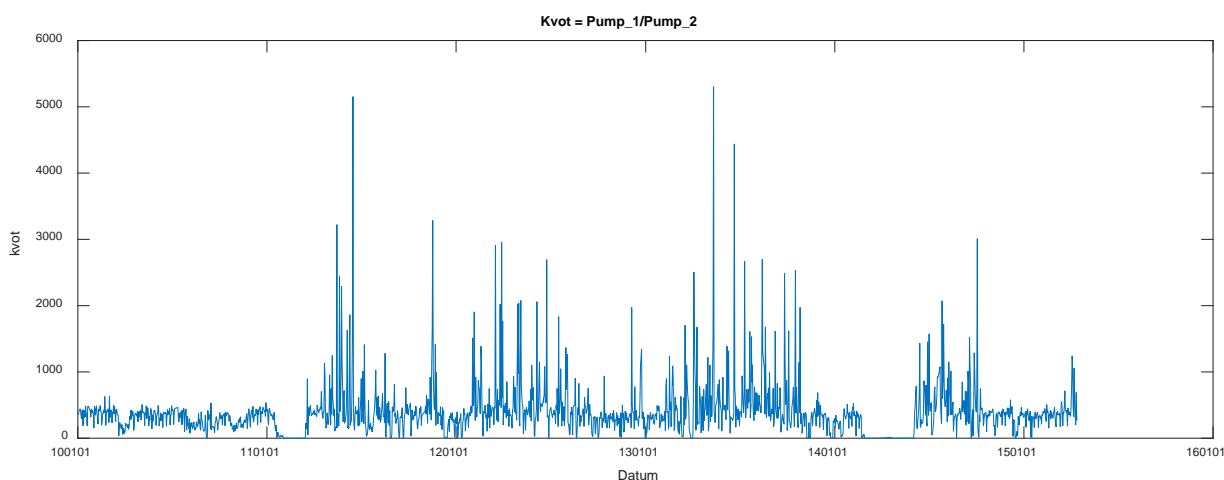
Vi implementerade metoder för att genomföra korskorrelationsanalys mellan en station och dess understationer. Figur 4 visar ett typiskt exempel på hur relationen mellan stationerna kan se ut när vi har en stark positiv korrelation. Avvikelser från detta mönster kan bero på att det finns stor påverkan från tillskottsvatten i området mellan stationerna men det kan också vara på grund av att det är många understationer som påverkar drifttiden för huvudstationen. En del av korrelationsanalysen kan ge information om hur lång tidförskjutning det är mellan stationerna i

systemet, vilket dock kräver mer högupplöst data för att ge säkrare resultat. I det här projektet har vi använt oss av dygnsdata vilket gör att vi alltid har korrelation mellan stationer samma dygn. Med mer högupplöst data skulle kunna med denna analys skapa information som ger möjlighet att genomföra preventiv pumpning för att undvika nödavledning.

3.2.5 Pumpkvot

Genom att analysera hur pumparna i en station förhåller sig tillvarandra i nuläget och historisk kan vi indikera om pumparna beter sig avvikande jämfört med normalt. De flesta pumpstationer idag består av två pumpar som pumpar vattnet sekventiellt. Förenklat kan man säga att pumparna turas om att pumpa vattnet i pumpgropen. Det innebär att de över tid borde pumpa enligt ett visst mönster i förhållande till varandra. Vi kan inte anta att de pumparna kommer att ha ungefär samma drifttid eftersom vi inte vet om de har samma kapacitet eller ålder men kvoten mellan drifttiderna för de olika pumparna borde däremot vara ungefär den samma över tid. Om något inträffar med den ena pumpen så att den tappar kapacitet kommer det visa sig på kvoten genom en drivande trend. Figur 5 visar en obehandlad pumpkvotskurva. Vi kan se att det finns en ungefärlig bas på kurvan framförallt i början och slutet. Det finns också toppar i kurvan som tyder på att den ena pumpen har ett instabilt beteende som den andra får kompensera för. Vi kan också se att vi har trender i perioder som visar att förändringar sker i förhållandet mellan pumparna.

Pumpkvotskurvorna kan ge viktig information om hur pumparna i en station samspelar. Det kan bidra till arbetet med preventivt underhåll för att undvika plötsliga stopp i stationerna med nödavlednings som följd.



Figur 5: Obehandlad pumpkvotskurva.

4 Slutsatser

Projektet har resulterat i konkreta verktyg som kan ha stor nytta vid kommunernas arbete med att förebygga problem i avloppledningsnätet. Det första verktyget är en automatisk diagnosticering av ett pumpnätverk där användaren får ut vilka stationer som är särskilt drabbade av tillskottsvatten och där mycket kan vinnas på att sätta in åtgärder. Resultaten kan användas för att prioritera de områden där insatser kan göra störst skillnad både ekonomiskt och för miljön.

I samband med detta får användaren även ut en enkel men tillräckligt trovärdig uppskattning av hur mycket av det som pumpas som kommer från den faktiska förbrukningen på nätet. Vi kan alltså nu utifrån historiska data uppskatta torrväderssituationen som annars kräver ett komplicerat modelleringsarbete, vilket ofta inte ger mer korrekta svar.

Vårt försök att automatisera hela analysen på ett sådant sätt att det i framtiden kan bli en automatisk tjänst har gjort att vi har skapat mängder av nya smarta förbehandlingsmetoder för stora datamängder. Dessa metoder är nödvändiga för att få ut korrekta resultat från analyserna. Metoderna är generella och kan även användas i andra sammanhang för att hantera tidserier.

Drifttiderna i pumpstationerna är korrelerade med regnmängden i området och förhållandet kan anses vara kausalt. Tillsammans med korrelationerna mellan stationerna i avloppsnätet ger det viktig information om tidsförskjutningarna i systemet, vilket i sin tur är viktig för att kunna vidta preventiva åtgärder vid stora regnmängder.

Det finns ytterligare resultat kring hur hela nätverk av pumpar samspelar som är värda att undersöka vidare. Det förhållandet går att kvantifiera och kan användas för att detektera förändringar i systemet eller hur belastningar på enskilda områden kan propagera genom systemet. Det kan också ligga till grund för att identifiera delar av nätet som är särskilt sårbara för höga belastningar.

Pumpkvoten jämför driften av pumparna i en pumpstation och kan varna när pumparna börja divergera, vilket är en indikation på att någon av pumparna är i behov av underhåll eller behöver bytas ut. Pumparnas inbördes relation följs över tid för att lära systemet hur dessa beter sig vid normal drift. Om förhållandet mellan pumparna i stationen förändras kan användaren meddelas. Detta möjliggör att användarna kan övergå till behovsstyrt underhåll istället för att arbeta utifrån underhållsscheman. Det kan dessutom möjliggöra ett mer preventivt arbete med färre nödavledningar som följd och minskat antal nödutryckningar.

För att ta resultaten vidare behöver samarbetet med Borås Energi och Miljö fortsätta där regelbundna diagnosticeringar genomförs. I dagsläget finns det inget enkelt sätt för en vanlig användare att få ut resultaten från en diagnosticering. Nästa steg blir därför att utveckla ett användargränssnitt för att tillgängliggöra verktygen för användare i Sverige.

Ambitionen i det här projektet var även att börja utforma ett användargränssnitt för att göra resultaten tillgängliga för användaren. Dit har vi inte lyckats nå. I nuläget krävs ytterligare förankring av resultaten och att de verkligen nyttjas innan resurser ska användas för ett användarvänligt verktyg. I dagsläget finns det inte resurser hos mottagaren för att förvalta resultaten eftersom de är upptagna med att bygga ett nytt reningsverk och byta styrsystem. I samband med det bytet har de sett till att förbättra förutsättningarna för att använda Miljöpumpas resultat och diskussionen om hur är redan påbörjad.

