



# Examensarbete

## Detektering av igentäppta dagvattenbrunnar i smart cities

Av

Anna Bengtsson

Department of Electrical and Information Technology  
Faculty of Engineering, LTH, Lund University  
SE-221 00 Lund, Sweden

# Abstract

In the urban society there are more and more hard surfaces that prevent the natural drainage of rain water. To lead the runoff of rain water and to avoid flooding it is crucial that the systems for drainage work properly. In the event of a storm drain being blocked, flooding can occur due to the rain water not being able to flow in to the storm drain. A system that can send an alarm when a storm drain is blocked before flooding has occurred is a step towards so-called smart cities.

To prevent flooding, this bachelor thesis has explored how such a system can be designed to detect and send an alarm when a storm drain is blocked, e.g. by leaves and debris. The proposed system measures the level and the expansion of a body of water together with the intensity of rain. The measurements are then used in a mathematical model which will detect a fault, that is, a storm drain not being able to let water through when it is supposed to. The measurement of the level of rain water is carried out by a radar, and the expansion is measured with a camera which utilizes image segmentation. The intensity of rain is monitored by the company Waterview's solution that uses a camera as a rain sensor. The bachelor thesis is written at Axis Communications AB in Lund.

**Keywords:** Blocked storm drains, smart cities, Internet of Things, radar, image segmentation.

# Sammanfattning

För att förebygga översvämningar har detta examensarbete undersökt hur ett system kan se ut som kan detektera och larma när dagvattenbrunnar blir igentäppta, av bl.a. löv och skräp. Det föreslagna systemet mäter nivån och utbredningen av en vattensamling samt den rådande regnintensiteten. De uppmätta värdena används i en matematisk modell för att upptäcka när ett fel har uppstått, d.v.s. att brunnen inte släpper igenom vatten när den borde göra det. Nivåmätningen sker med en radar och mätning av utbredningen sker med en kamera som använder sig av bildsegmentering. Regnintensiteten mäts med företaget Waterviews lösning som använder en kamera som regnsensor. Examensarbetet har utförts på Axis Communications AB i Lund.

**Nyckelord:** Igentäppta dagvattenbrunnar, smart cities, Internet of Things, radar, bildsegmentering.

# Förord

Det här examensarbetet har berört flera olika kunskapsområden som t.ex. bildanalys, avrinning, sensorer och matematisk modellering. En del av dessa områden har vart helt nya för mig vilket har varit väldigt lärorikt. I alla olika kunskapsområden har jag kommit i kontakt med personer som varit väldigt hjälpsamma vilket jag är tacksam för. Jag vill tacka Axis och alla medarbetare som där hjälpt till och intresserat sig för examensarbetet. Ett stort tack riktas särskilt till Felix Wehrmann och Ted Hartzell som varit mina handledare på Axis.

Anna Bengtsson

# Innehåll

Abstract .....	2
Sammanfattning.....	3
Förord.....	4
1. Inledning.....	8
1.1. Bakgrund .....	8
1.2. Syfte.....	10
1.3. Mål.....	10
1.4. Problemformulering.....	11
1.5. Motivering av examensarbetet .....	11
1.6. Avgränsningar.....	11
2. Teoretisk och teknisk bakgrund .....	14
2.1. Kontaktlös mätning av vattennivå.....	14
2.2. Time-of-flight.....	14
2.3. Avrinning .....	14
2.4. Bildsegmentering och neuronnät.....	15
2.5. Endress+Hauser Micropilot FMR10.....	15
2.6. Kamerorna.....	15
2.7. Waterview .....	16
2.8. Feldetektering med matematisk modell .....	16
3. Metod.....	18
3.1. Tester.....	18
3.1.1. Test i dusch.....	18
3.1.2. Test vid sjön Sjön.....	22
3.1.3. Inom- och utomhustest med IR-kamera .....	24
3.1.4. Testuppsättning på Pixlapiren i Helsingborg.....	25

3.1.5.	Simulering av regn.....	25
3.1.6.	Bildsegmentering.....	27
3.2.	Modellering .....	27
3.3.	Källkritik.....	27
4.	Analys .....	29
4.1.	Val av mätmetoder för kontaktlös mätning av vattennivå .....	29
4.2.	Val av hårdvara.....	29
4.2.1.	Mikroprocessor .....	29
4.2.2.	Mätutrustning .....	29
4.2.3.	Kameror.....	30
4.3.	Problem och deras lösningar.....	30
5.	Resultat.....	31
5.1.	Test i dusch.....	31
5.1.1.	Test med kameror .....	31
5.1.2.	Test av avståndsmätaren med laser i dusch .....	34
5.1.3.	Test av nivåmätaren med radar i dusch .....	35
5.2.	Test vid sjön Sjøn.....	38
5.2.1.	Test av avståndsmätaren med laser vid sjön Sjøn .....	38
5.2.2.	Test av nivåmätaren med radar vid sjön Sjøn .....	38
5.3.	Inom- och utomhustest med IR-kamera .....	40
5.3.1.	Test inomhus med IR-kamera.....	40
5.3.2.	Test utomhus med IR-kamera .....	40
5.4.	Testuppsättning på Pixlapiren i Helsingborg.....	40
5.5.	Simulering av regn.....	41
5.6.	Bildsegmentering.....	42
5.7.	Modellering .....	46

6.	Slutsats .....	50
6.1.	Reflektion över etiska aspekter .....	52
6.2.	Framtida utvecklingsmöjligheter .....	52
7.	Terminologi .....	54
8.	Källförteckning.....	55

# 1. Inledning

Detta avsnitt beskriver företaget där examensarbetet är utfört samt en samarbetspartner. Det följs av syfte, mål och problemformulering för examensarbetet samt dess motivering och avgränsningar.

## 1.1. Bakgrund

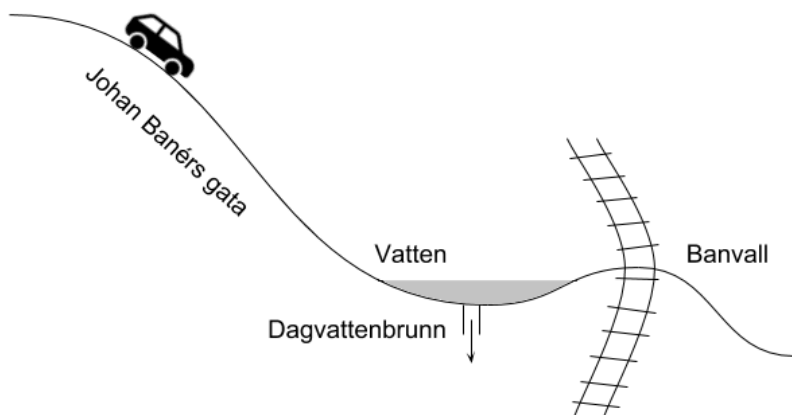
Examensarbetet är utfört på Axis Communications AB i Lund. Axis Communications är marknadsledande på nätverksvideo och uppfann 1996 världens första nätverkskamera. Företaget har en global närvaro med huvudkontor i Lund. Deras vision är innovationer för en smartare och säkrare värld. De utvecklar ständigt sina produkter inom nätverksvideo, användningen av IP-nätverk och olika produkter för Internet of Security Things, d.v.s. sakernas internet inom säkerhetsområdet. Företaget grundades 1984 då de gjorde utskriftsserverar för IBM och redan 1995 skapade de en teknik för nätverkslösning för optisk lagring som de då kallade "ThinServer" vilket idag kallas Internet of Things (IoT), sakernas internet.

Helsingborgs stad jobbar ständigt för att bli en smartare stad. Ett exempel på det är ett pilotprojekt med uppkopplade soptunnor som signalerar när de behöver tömmas. Ett annat problem som de vill lösa är att dagvattenbrunnar blir igentäppta av löv och smuts vilket kan orsaka översvämning. Ett ställe där detta ger stora negativa effekter är vid järnvägsövergången på Johan Banérs gata där vattnet kan stiga och rinna ut på järnvägsvallen för västkustbanan, se figur 1. Det kan leda till att järnvägsvallen blir för mjuk och all tågtrafik norrut behöver stoppas. Det kostar mycket pengar att åtgärda och skapar problem för tågresenärer. Ifall dagvattenbrunnarna kunde meddela när de är igentäppta skulle åtgärder kunna sättas in vid behov för att rensa brunnarna. Att ta bort löv och annat från ett brunnslock är en billigare, snabbare och enklare åtgärd än att restaurera banvallen. Helsingborg har ett LoRa<sup>1</sup>-nätverk över staden som är väl utbyggt. De vill använda detta nätverk för att koppla upp sina dagvattenbrunnar.

---

<sup>1</sup> LoRa är en teknologi för säker dataöverföring av små datamängder på långt avstånd (**Long Range**) och med låg strömförbrukning (LoRa<sup>®</sup> Alliance, 2015). Det är





**Figur 1: En skiss över Johan Banérs gata som visar området där det samlas vatten.**

Axis, som vill skapa innovationer för en smartare och säkrare värld, vill genom detta examensarbete ta fram ett system som kan detektera och larma när dagvattenbrunnar inte släpper igenom vatten när de ska göra det. Axis är även intresserade av att undersöka hur deras kameror kan användas som aktiva sensorer.

System som larmar när dagvattenbrunnar blir översvämmade av vattnet i rören finns sedan tidigare men det finns inte något system som kan larma när en brunn blir igentäppt och därmed orsakar översvämning. Några exempel på företag som har lösningar som sitter i brunnen är Microsensor (Microsensor, 2018), Huawei (Huawei, u.å.) och Nokia i samarbete med Tussock Innovation och Chorus (ngConnectProgram, u.å.). Microsensors system syns i bild 2. Det som skiljer det här examensarbetet från dessa lösningar är att detekteringen av översvämning beror på vatten som inte kan rinna ner i brunnen istället för vattnet i brunnen. Enligt SMHI förväntas skyfallen bli mer intensiva i framtiden vilket skapar större efterfrågan på system som kan hjälpa till att minska riskerna för översvämning (SMHI, 2018).

---

speciellt anpassat för IoT där batterier ofta används som strömförsörjning och data behöver kunna skickas på långa avstånd.



**Bild 1: Microsensors system för att upptäcka översvämning i en brunn.  
Foto: Felix Wehrmann.**

## 1.2. Syfte

Syftet med examensarbetet är att minska risken för översvämningar som orsakas av att dagvattenbrunnar är igentäppta och inte kan ta hand om regnvatten vid kraftig nederbörd. Detta skulle ge minskade kostnader för samhället och skapa mindre problem för tågresenärer.

## 1.3. Mål

Examensarbetets mål är att undersöka hur ett system kan se ut som kan detektera och larma när en dagvattenbrunn vid järnvägsövergången på Johan Banérs gata i Helsingborg inte släpper igenom vatten när de borde.

## 1.4. Problemformulering

Examensarbetets huvudsakliga frågeställning är: släpper dagvattenbrunnen igenom vatten när den borde? De andra frågeställningarna syftar till att svara på delproblem.

1. Hur kan mätning av höjd och utbredning av en vattensamling ovanför en dagvattenbrunn ske?
2. På vilket sätt borde vattennivån förändras om dagvattenbrunnen fungerar respektive är igentäppt med hänsyn till mängden nederbörd?
3. Hur kan detektering av en igentäppt dagvattenbrunn se ut?

## 1.5. Motivering av examensarbetet

Efter att ha kommit i kontakt med Axis Communications via en studentträff för tjejer på LTH som hölls på Axis huvudkontor blev jag intresserad av företaget då arbetsklimatet verkade väldigt härligt. Detta examensarbete verkade väldigt intressant, klurigt och roligt samtidigt som det behandlar ett vardagsnära problem.

I och med att det pratas mer och mer om Internet of Things och smarta städer börjar fler fundera på hur uppkoppling av saker kan förbättra och effektivisera vårt samhälle och vår vardag. Att kunna detektera när dagvattenbrunnar blir igentäppta innan en översvämning sker är ett steg i den riktningen.

Att igentäppta dagvattenbrunnar skapar översvämningar är ingenting nytt (Lamond m.fl., 2011) men det finns ingen lösning på problemet mer än att markägare uppmanas hålla sina brunnar rena (Nybro kommun, 2017).

## 1.6. Avgränsningar

Detektering av igentäppta brunnar kan ske på flera olika sätt. För att utnyttja möjligheten att använda Axis kameror som aktiva sensorer, anpassa arbetet till 15 veckor samt av praktiska skäl kommer detta examensarbete inte beröra lösningar där hela eller delar av systemet sitter i brunnen. Exempel på tänkbara lösningar som kan sitta i marken eller i brunnen är flottör, flödesmätare, konduktiva givare och vågceller

i brunnslöcket som kan mäta vikten från vattnet. Sådana typer av lösningar försvårar installation och underhåll då vägen behöver grävas upp. Annat som kan skapa problem är yttre påverkan så som stora mängder vatten, smuts, salt under vinterhalvåret och vibrationer från bilar och tåg. Dessa typer av problem undviks med ett kontaktlöst system och har därför valts som utgångspunkt i examensarbetets undersökning.

Helsingborgs stad vill att systemet ska kommunicera via LoRa eftersom de har ett välutbyggt LoRa-nätverk i staden. Hur detta ska gå till ingår inte i detta examensarbete. Det examensarbetet har tagit hänsyn till är att datan som ska skickas från systemet är liten och därmed kompatibelt med LoRa.

Hur systemet skulle kunna begränsas av de lagar som finns för användning av kameror i offentlig miljö berörs inte i detta examensarbete. Anledningen till det är den begränsade tid som finns tillgänglig.

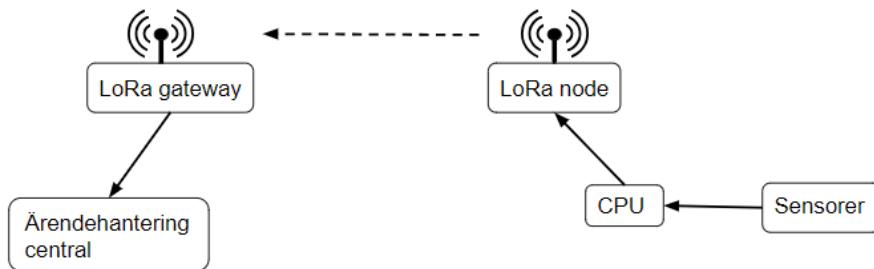
Eftersom examensarbetet pågår under våren kommer systemet inte kunna testas under alla årstider. Det innebär att alla olika typer av väderförhållanden och deras inverkan inte kommer vara möjliga att undersökas.

På vilket sätt en kamera ser en vattenyta påverkas av vattens brytningsindex, ljusförhållanden och kamerans vinkel i förhållande till vattenytan. Vattens brytningsindex påverkar hur ljus reflekteras vilket gör att i de fall totalreflektion uppstår ser vattenytan ut som en spegelbild eftersom allt ljus reflekteras. Då det inte uppstår totalreflektion kommer en del av botten att synas samtidigt som en del ljus reflekteras av vattenytan. Hur detta påverkar mätningar med en kamera kommer inte att undersökas.

Vid matematisk modellering görs alltid en förenkling av verkligheten. De förenklingar som gjorts för att modellera hur vattnet beter sig vid brunnen är att endast utgå från en av brunnarna på Johan Banérs gata, att markytan där det kan bildas en vattensamling har en konisk form och att allt vatten som rinner till brunnen kommer från en bestämd area.

Fokuset i det här examensarbetet är sensorerna och analysen av det inhämtade materialet. Ett övergripande blockschema över systemet finns i figur 2. Waterview som beskrivs i 2.7 kommer inte att testas

eller implementeras i demonstreringen då det inte ryms i tidsramen för examensarbetet.



**Figur 2: Övergripande blockschema för systemet**

## 2. Teoretisk och teknisk bakgrund

Den teoretiska och tekniska bakgrunden för examensarbetet beskrivs i detta avsnitt.

### 2.1. Kontaktlös mätning av vattennivå

Kontaktlös mätning av vattennivåer kan bl.a. ske med hjälp av radar, laser och ultraljud. Det används exempelvis i tankar, hav, åar och floder. Radar är elektromagnetiska vågor som sänds ut och studsar på olika objekt. Det kan användas till olika typer av mätningar så som avståndsmätning, hastighetsmätning och för att ta reda på vilka medium signalen penetrerar. Laser skapar en intensiv ljusstråle där ljusvågorna är i fas och har samma riktning. Reflektion direkt mot vatten fungerar inte med laser utan kräver en reflektor som flyter på ytan (Börjeson, Jansson, von Rosen Johansson, 2016). Ljus från omgivningen som exempelvis solljus kan tas emot av lasermätarens mottagare och ger då mätstörningar (Liros, u.å.). Ultraljud är inte lämplig för turbulenta vattenytor och fungerar upp till några meters avstånd (Geopraevent, u.å.). Turbulens på vattenytan kan undvikas genom att göra nivåmätningen i ett rör (Swedaq, u.å.). Mätningar med ultraljud kan även störas av regn och snö.

### 2.2. Time-of-flight

Time-of-flight är en metod för att beräkna avstånd genom att mäta tid. Eftersom ljusets hastighet är känd går det att beräkna ett avstånd genom att mäta tiden från att en signal skickas tills den kommer tillbaka. Signalen kan t.ex. vara radar eller laser. (Andersson, 2017)

### 2.3. Avrinning

När regn faller på marken och rör sig vidare till ett annat område kallas det avrinning. Två vanliga metoder för att beräkna avrinningen i ett område är rationella metoden och tid-area metoden (Almqvist, 2015). Ingen av dessa metoder tar hänsyn till områdets lutning. För att ta reda på hur avrinningen sker i ett kuperat område är det därför bra att använda ett simuleringsprogram. Ett exempel på ett sådant program är

MIKE Urban FLOOD som använder sig av områdets höjddata (Berggreen-Clausen, 2011). Med en sådan simulering kan information fås om hur vattenytan ovanför en dagvattenbrunn breder ut sig och hur vattennivån ändras vid olika regnintensitet och tid för nederbörd.

## 2.4. Bildsegmentering och neuronät

Bildsegmentering är ett sätt för en dator att förenkla och klassificera bilder. Algoritmen går igenom bilden pixelvis och kategoriserar bilden efter förbestämda klasser, t.ex. vatten, skog, trottoar och person. Resultatet visar en bild med olika färgfält där varje färg representerar en klass. Detta sker med neuronät som är självlärande algoritmer som försöker imitera hur hjärnan fungerar. I det här examensarbetet har två olika nätverk för bildsegmentering använts och jämförts, nätverk 1<sup>2</sup> (Zhou m.fl. 2016 och 2017) och nätverk 2<sup>3</sup> (Wu, Shen, van den Hengel, 2016). Neuronät behöver tränas för att vara bra på den uppgift det är tänkt att utföra. Båda dessa nätverk som använts för bildsegmentering är tränade med datasetet ADE20K från MIT (MIT, u.å.). Dessa två nätverk har använts då de fanns tillgängliga och hjälp fanns åtkomlig genom medarbetare på Axis.

## 2.5. Endress+Hauser Micropilot FMR10

Nivåmätaren som använts är från Endress+Hauser och heter Micropilot FMR10. Den använder radar och time-of-flight för att mäta avstånd. Kommunikation sker på två sätt, dels med en ström och dels via Bluetooth till Endress+Hausers app SmartBlue. Strömmen är mellan 4 och 20 mA men kan även larva genom 22,5 mA. Matningsspänningen som krävs är likspänning mellan 10,5 och 30 V. (Endress+Hauser, u.å.)

## 2.6. Kamerorna

Kamerorna består av objektiv, bildsensor, CPU och en kommunikationsdel. I CPU:n sker all behandling och analys av bilden. Det går att utveckla program som ligger lokalt på kamerorna och som

---

<sup>2</sup> <https://github.com/CSAILVision/semantic-segmentation-pytorch/tree/2a795c80c64c15f958802581bb454251a15eda9c>

<sup>3</sup> <https://github.com/itijyou/ademxapp>

har tillgång till bildströmmen. Axis kameror kommunicerar via Power over Ethernet (PoE) och en del av kamerorna har två analoga I/O-portar som är tänka att t.ex. kunna styra lampor och fläktar.

För att använda en kamera som en sensor är det inte bildströmmen som är outputen utan ett sensorvärde som t.ex. ett larm eller en procentsats av hur stor del av bilden som är täckt av vatten. Ett exempel på detta är Waterview som använder en kamera som regnsensor vilket beskrivs i 2.7.

Skillnaden på värmekamera och IR-kamera är att en värmekamera endast tar in IR-strålningen från omgivningen medan en IR-kamera även belyser med IR-ljus.

## 2.7. Waterview

Waterview är en av Axis samarbetspartners och de har tagit fram en applikation som använder en Axis-kamera som regnsensor (Sorri, 2017). Från bilder kan en algoritm ta fram regnintensiteten (Waterview, u.å.). Genom att algoritmen detekterar spår av regndroppar i en känd volym i bilden och med information om kamerainställningarna då bilden togs, så som exponeringstid, ISO-tal och bländarinställning, kan regnintensiteten beräknas. En del av beräkningen sker i kameran som skickar sitt resultat till molnet där resterande beräkning sker. Datan som skickas från kameran är liten och skulle därför kunna vara möjlig att sändas via ett LoRa-nät och sedan vidare till internet. Skattningen av regnintensiteten görs flera gånger per minut vilket ger en väldigt direkt och lokal angivelse av regnintensiteten.<sup>4</sup>

## 2.8. Feldetektering med matematisk modell

Att upptäcka och lokalisera fel i ett system kallas Fault Detection and Isolation (FDI) och är möjligt att göra med en matematisk modell (Ding, 2008). Den matematiska modellen kallas observerare. Observeraren, alltså den matematiska modellen, får samma insignal som det verkliga systemet. Om observeraren får en annan utsignal än systemet kan ett fel uppstått. Eftersom modellen inte är exakt som

---

<sup>4</sup> Mikael Lindberg Senior Engineer Axis Communications, intervju den 25 april 2018



verkligheten kommer inte de två utsignalerna att stämma överens helt. Därför införs ett tröskelvärde då avvikelsen är tillräckligt stor för att ett faktiskt fel ska ha inträffat. För varje tänkbart fel kan en observerare utformas. På så sätt kan fel detekteras och även lokaliseras då de olika observerarna används för att visa vilket fel som uppstått. (Bark, 2004)

## 3. Metod

Detta avsnitt beskriver metoden för examensarbetet.

### 3.1. Tester

Flera tester har skett under arbetets gång. Test i dusch och test vid sjön Sjøn har skett vid flera tillfällen och med olika mätutrustning.

#### 3.1.1. Test i dusch

De första testerna som skedde behövde vara i en lättillgänglig och kontrollerbar miljö där regn kan efterliknas. Denna testmiljö var en dusch och vattnet samlades upp i ett metalltråg, se bild 2, som vanligtvis används som droppskydd längst ner i ställ för diskmaskinsbackar. Metallträget är 50 x 50 cm och 5 cm djupt. I träget placerades takpapp för

att skapa en yta som efterliknar asfalt. Takpappen stack upp en bit på en sida för att låta vattnet rinna längs med den för att efterlikna när vatten rinner längs en backe till en vattensamling. Detta test har utförts med tre olika Axis-kameror, en avståndsmätare och en nivåmätare.



**Bild 2: Metallträget som används för att samla upp vatten i de tester som skett i en dusch.**

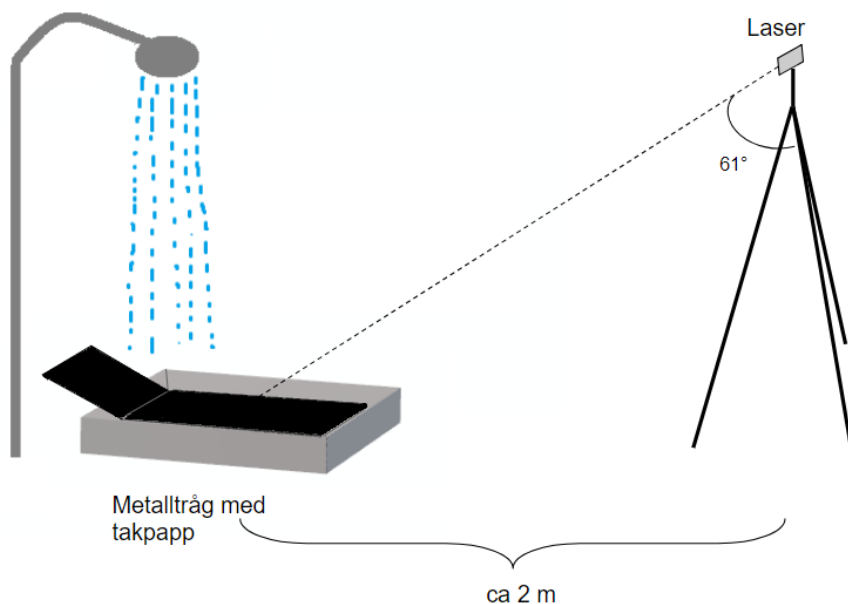
#### *Test med kameror*

Målet med att använda kameror som mätutrustning var att undersöka hur vatten ser ut genom en värmekamera (Q1932-E och P1280-E) och en IR-kamera som belyser med IR-ljus (P3224-LV). I testet fick vattnet rinna från duschmunstycket rakt uppifrån och sedan längs med takpappen. Därefter vinklades träget mot kameran för att se om det går att urskilja vattenytan. Testningen med Q1932-E undersökte även hur

resultatet påverkades av kallt respektive ljummet vatten samt om taklampan var tänd eller släkt. Det prövades även om två aluminiumbitar som lades i tråget skulle synas genom vattenytan för att undersöka om det skulle vara möjligt att se ett brunnsgaller som är täckt av vatten.

### *Test av avståndsmätaren med laser i dusch*

I avsnitt 2.1 framhålls att vatten inte reflekterar laser. Detta har ändå valts att testas eftersom laser är vanligt vid avståndsmätning och en lasermätare fanns tillgänglig. Målet med detta test var att ta reda på om avståndsmätning mot en vattenyta med laser fungerar. Detta skedde genom att sätta laseravståndsmätaren på ett stativ ca 2 m bort, riktad mot tråget, se figur 3. Därefter fylldes tråget med vatten från duschmunstycket medan avståndet mättes. Under tiden som tråget fylldes var vattenytan i rörelse vilket är intressant då vattensamlingen ovanför dagvattenbrunnen kommer vara i rörelse när det regnar. Avståndsmätningen skedde med en infallsvinkel som inte är  $90^\circ$  för att se om mätningen kan ske från en lyktstolpe som inte är precis vid dagvattenbrunnen. Vinkeln som användes var  $61^\circ$ .



**Figur 3: Skiss över uppställningen för test i dusch med laser.**

Därefter gjordes ett test av hur laserstrålens infallsvinkel påverkar resultatet. Avståndsmätaren placerades 230 cm från tråget, 180 cm upp. Avståndet och vinkeln mättes, sedan sänktes mätaren 10 cm rakt ned och en ny mätning utfördes. Detta upprepades tills lasermätaren var på en höjd av 70 cm. Det uppmätta värdet jämfördes med ett förväntat värde som togs fram med Pythagoras sats.

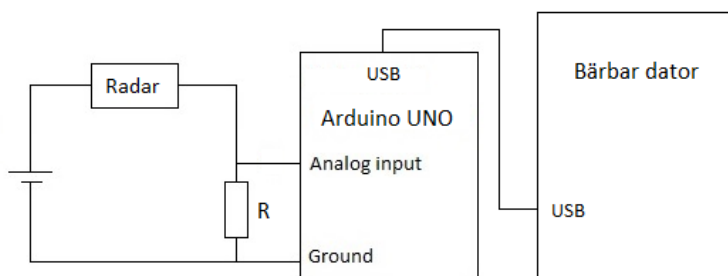
### ***Test av nivåmätaren med radar i dusch***

Testen utfördes med radarn på ett stativ, 112 cm rakt ovanför tråget, se bild 3. Första testet gjordes med takpapp i tråget och det andra utan takpapp. Det gjordes för att se om underlaget påverkar mätningen och om det skulle kunna vara möjligt att göra mätningar mot vatten på asfalt och på en brunn. Under de två första testerna hölls duschmunstycket i ena hörnet nära vattenytan för att inte störa mätningen. Därefter gjordes två regntest där duschmunstycket hölls ovanför tråget i höjd med radarn för att simulera regn. Regntesterna gick ut på att undersöka om själva regnet i luften påverkar mätningen. Det första regntestet gjordes med ganska högt tryck, uppskattningsvis det tryck som används vid duschning. För att simuleringen skulle bli mer verklighetstrogen gjordes det andra regntestet med lågt tryck och avslutades då tråget var halvfyllt.



**Bild 3: Uppställningen för test i dusch med radar. Bilden visar duschen där alla tester i dusch utfördes.**

Då nivåmätares användes i de olika testerna följdes kopplingen i figur 4. Radarn anslöts mellan spänningskällans positiva pol och ett motstånd R på 220  $\Omega$ . Andra benet av R kopplades till spänningskällans negativa pol. Strömmen ut från radarn skapar en spänning över R som mättes med en analog ingång på en Arduino 2 gånger per sekund. Den analoga ingången ger ett värde mellan 1 och 1024 vilket omvandlades till ett värde mellan 0 och 225 med Arduinos inbyggda funktion map (Arduino, u.å.). Arduinon var kopplad via en USB-sladd till en bärbar dator där dessa värden sparades i ett Excel-ark med hjälp av programmet PLX-DAQ (Arduino Forum, 2017). Programmet som kördes i Arduinon finns i figur 5. Under mätningen användes även den medföljande appen SmartBlue på en Ipad. Spänningskällan som användes till radarn i detta test var en AC/DC-transformator som transformerar nätspänningen till 24 V.



**Figur 4: Koppling som användes för tester med radarn och utnyttjar strömmen ut från radarn som är 4-20 mA.**

```

#define radar A0
int value;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("CLEAR SHEET");
  Serial.println("LABEL,Date,Time,Value");
}

void loop() {
  value = map(analogRead(radar), 0, 1023, 0, 225);
  Serial.println( (String) "DATA,DATE,TIME," + value + ",AUTOSCROLL_20" );
  delay(500);
}

```

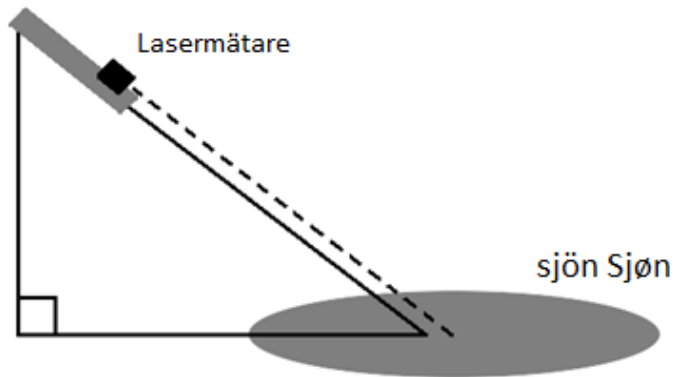
**Figur 5: Programmet som användes i Arduinon till testerna med radarn.**

### 3.1.2. Test vid sjön Sjøn

För att kunna testa avståndsmätning med radar och laser mot en vattenyta på längre avstånd än vad som är möjligt i duschen utfördes tester vid sjön Sjøn på LTH. Detta gav även en mer verklighetstrogen testmiljö än en dusch då det var utomhus med vatten som inte var helt klart.

#### *Test av avståndsmätaren med laser vid sjön Sjøn*

Testet utfördes på kanten en bit ovanför vattenytan där en metallbricka var fäst på ett kamerastativ och lutat ner som en ramp mot ett räcke. Lasermätaren placerades på rampen. Denna uppställning kan ses i figur 6 och användes för att kunna förflytta lasermätaren på ett kontrollerat sätt så att mätningarna skedde med samma vinkel.

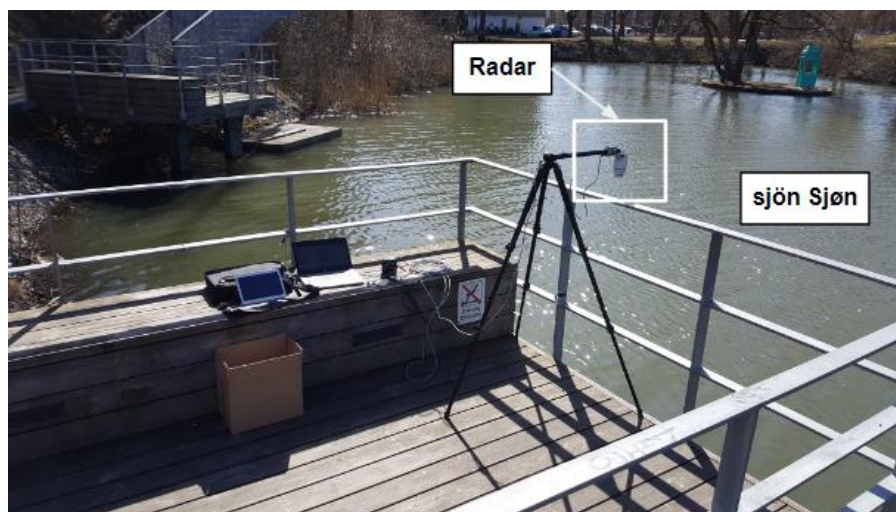


**Figur 6:** Skiss över test av avståndsmätaren vid sjön Sjøen.

### *Test av nivåmätaren med radar vid sjön Sjøen*

Radarn var fäst i ett kamerastativ och var riktat vinkelrätt mot vattenytan. Utgångsläget var ungefär 2 m ovanför vattnet och uppställningen syns i figur 7. I de två första testerna fördes stativet rakt upp och sedan rakt ned. I det andra testet lyftes och sänktes stativet långsammare än i det första. Det tredje testet gick ut på att se hur infallsvinkeln påverkar mätningen. Radarn vinklades stegvis så att

infallsvinkeln ökade och sedan vinklades den tillbaka. Till detta test användes ett batteri på 12 V som spänningskälla till radarn.



**Figur 7: Uppställningen för test av nivåmätaren vid sjön Sjön.**

### 3.1.3. Inom- och utomhustest med IR-kamera

IR-kameran P3224-LV Mk II testades både inom- och utomhus. Utomhustestet gjordes dock genom ett fönster så att kameran tittade inifrån och ut genom ett fönster då kameran inte var anpassad för utomhusbruk.

#### ***Test inomhus med IR-kamera***

Ett reflexband och en liten orange cykelreflex filmades med IR-belysning och stoppades sedan ned i en djup tallrik med vatten. Reflexerna användes som reflektorer för att se om vattnet hindrar reflekteringen. Syftet med detta var att undersöka om det skulle vara möjligt att sätta ett antal reflexer i marken vid dagvattenbrunnen för att låta en kamera registrera hur många reflexer som är synliga och utifrån det avgöra hur stor vattensamlingen är.

#### ***Test utomhus med IR-kamera***

Kameran placerades inomhus och filmade ut genom ett fönster. Ett reflexband och en liten orange cykelreflex hölls upp mot kameran på ett avstånd av cirka 5 m. Reflexerna vinklades på olika sätt mot



kameran och stoppades även ned i snön som låg på marken vid mättillfället. Kameran saknade kamerahus och var därför inte anpassad för utomhusbruk.

#### 3.1.4. Testuppsättning på Pixlapiren i Helsingborg

Genom samarbetet med Helsingborgs stad har Axis tillåtelse att sätta upp kameror på Pixlapiren i Helsingborg. Där sattes två kameror på ett tak riktade mot asfalten och den ena av kamerorna var även riktad mot en dagvattenbrunn. Dessa kameror användes för att samla in bilddata från en miljö som är intressant för examensarbetet. Kamerorna som användes var P1367-E och Q6128-E.

#### 3.1.5. Simulering av regn

I brist på regn har en simulering av regn skett på en parkering. Parkeringen är asfalterad och har en liten sänka med en brunn i. Brunnen täcktes med en dörrmatta för att skapa en situation där vatten inte kunde rinna ner i brunnen. Vatten spreds med en vattenspridare över området för att imitera regn. Mätningar gjordes med radarn och filmning med två kameror, en värmekamera av modellen P1280-E och en vanlig kamera, P1367-E. Radarn används för att mäta nivåskillnaden på vattensamlingen och kamerorna samlade bilddata till bildsegmenteringen. Ett batteri på 12 V användes som spänningskälla till nivåmätaren. Regnsimuleringen syftade till att efterlikna en översvämning som orsakas av en igentäppt dagvattenbrunn. Testuppställningen syns i bild 4 och kamerorna i bild 5.



**Bild 5: Uppställningen för simulering av regn.**



**Bild 4: Kamerorna som användes vid simulering av regn. Den mindre kameran (t.v.) är en värmekamera, P1280-E, och den större (t.h.) är en vanlig kamera, P1367-E.**

### 3.1.6. Bildsegmentering

Tre bilder valdes ut, en från regnsimuleringen och två från Pixlapiren, och segmenterades i de två nätverken. Dessa nätverk är inte tränade på det specifika fallet att upptäcka vattensamlingar på asfalt, utan testet var tänkt att visa på en metod som kan utvecklas och anpassas.

## 3.2. Modellering

En matematisk modell togs fram för att kunna beräkna hur höjden av vattensamlingen bör förändras med avseende på regnintensitet och vattenytans area. De antaganden som gjordes var att vattenpörens form är konisk med en känd vinkel samt att inflödet och vattnets area är känt. Höjdförändringens förlopp simulerades med Simulink. Som alla matematiska modeller är denna modell en förenkling av verkligheten. Modellen går att förbättra på många sätt, bl.a. genom experiment, för att få fram en tabell med värden som visar vad arean bör vara vid ett visst inflöde. Denna modell utgår även ifrån att det endast finns ett utflöde. Detta har använts som FDI (fault detection and isolation) med en observerare. Syftet med modellen och simuleringen var att visa på ett tillvägagångssätt att detektera att brunnen är igentäppt.

## 3.3. Källkritik

Källorna (Almqvist, 2015), (Bark, 2004), (Berggreen-Clausen, 2011) och (Börjeson, Jansson, von Rosen Johansson, 2016) är olika examens- och kandidatarbeten. De har blivit granskade och godkända av respektive universitet och högskola vilket gör dem till pålitliga källor.

(Arduino, u.å.), (Endress+Hauser, u.å.), (Huawei, u.å.), (Microsensor, 2018), (ngConnectProgram, u.å.), (Sorri, 2017) och (Waterview, u.å.) är företag som beskriver och informerar om sina egna produkter och samarbeten. Källorna (Geopraevent, u.å.), (Liros, u.å.), (S:t Eriks, 2012) och (Swedaq, u.å.) är företag inom det berörda området. Eftersom företag inte får bedriva falsk marknadsföring är dessa källor tillförlitliga.

(LoRa® Alliance, 2015) är en pålitlig källa då det är en ideell förening som arbetar för att främja LoRaWAN-standarden och möjliggöra att IoT ger en hållbar framtid.

(MIT, u.å.), (Wu, Shen, van den Hengel, 2016), (Zhou m.fl. 2016 och 2017) och (Arduino Forum, 2017) är källor där dataset, metod och nätverk är hämtade ifrån.

(Nybro kommun, 2017) är kommunens egen hemsida och SMHI är en expertmyndighet under Miljö- och energidepartementet vilket gör (Nybro kommun, 2017) och (SMHI, 2017 och 2018) till pålitliga källor.

Källan (Reglerteknik AK, 2015) är tillförlitlig då det är en laborations instruktion som används och är skriven av instutionen för reglerteknik på Lunds Teknisk Högskola.

(Ding, 2008) och (Lamond m.fl., 2011) är pålitliga källor då författarna är experter inom området.

## 4. Analys

I det här avsnittet motiveras de olika val som gjorts samt de problem som uppstått under arbetets gång.

### 4.1. Val av mätmetoder för kontaktlös mätning av vattennivå

För att mäta hur vattennivån ovanför dagvattenbrunnen förändras har två metoder valts: radar och laser. Radar är vanligt vid mätning av vattennivåer och är därför intressant. När laser används för mätning mot vatten används en reflektor (Börjeson, Jansson, von Rosen Johansson, 2016) men det är inte möjligt att ha ovanför en brunn som ständigt passeras av trafik. Trots det valdes laser att testas som mätmetod för att det är vanligt vid avståndsbedömning och därmed lättillgängligt. Laser valdes även för att se om det stämmer att vatten reflekterar laser dåligt.

### 4.2. Val av hårdvara

Här motiveras de val av hårdvara som skett.

#### 4.2.1. Mikroprocessor

För att analysera data från olika mätutrustning valdes en Arduino UNO. En annan valmöjlighet var Raspberry Pi men den saknar analoga ingångar tillskillnad från Arduino UNO. Detta skulle dock kunna lösas med en AD/DA-omvandlare. Under utbildningen har en del arbete gjorts med Arduino UNO medan Raspberry Pi aldrig har använts. Detta och förenklingen som analoga ingångar medför gjorde att Arduino valdes.

#### 4.2.2. Mätutrustning

De två instrument som använts för att mäta vattennivån ovanför brunnen är en avståndsmätare med laser och en nivåmätare med radar. Lasern var en Bosch Professional GLM 50 C och valdes då en av handledarna har en sådan. Den har även en inbyggd lutningsgivare.

Nivåmätaren beskrivs i avsnitt 2.5 och den valdes då den var billigare än andra industriella mätare med radar. Båda dessa mätinstrument använder sig av time-of-flight.

#### 4.2.3. Kameror

Alla kameror som använts är Axis egna kameror. Modellerna har valts utefter vilka som varit tillgängliga och vilka handledarna har tyckt vara intressanta för ändamålet. De kameror som använts står i respektive test.

### 4.3. Problem och deras lösningar

Då det knappt regnade från det att kamerorna på Pixlapiren sattes upp tills att slutet för examensarbetet närmade sig (16/3 – 25/4) kunde inte bilddata till bildsegmenteringen samlas in. Detta var väldigt oväntat då det vanligtvis brukar regna mycket i april och vara s.k. aprilväder. För att få bilder till bildsegmenteringen gjordes en regnsimulering som beskrivs i 3.1.5.

## 5. Resultat

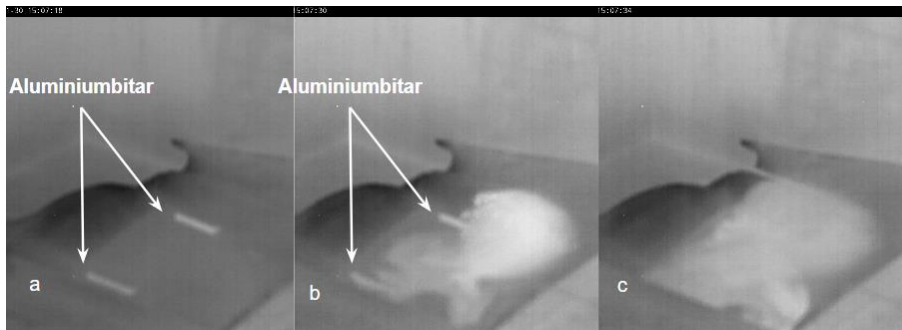
Här presenteras de resultat som framkommit från de olika testerna. De grafer som presenteras är resultat från tester som endast utförts en gång. Därför är de inte alltid representativa för hur medelvärdet av en hel serie test ser ut.

### 5.1. Test i dusch

Nedan följer resultaten från testerna i duschen där även några utvalda bilder visas.

#### 5.1.1. Test med kameror

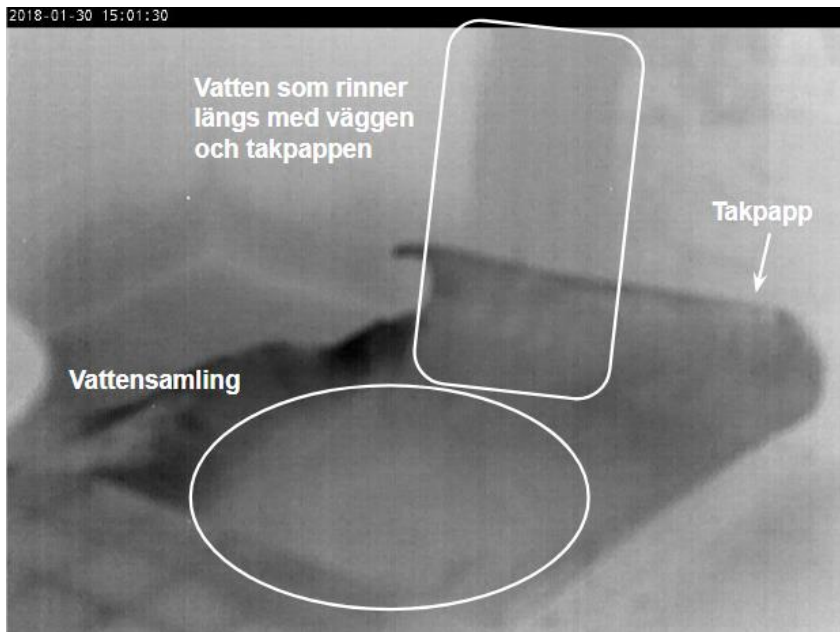
Testningen med värmekameran Q1932-E visar ingen skillnad på om taklampan är på eller av. Den visar även att ljummet vatten ger större kontraster och därmed syns bättre än kallt vatten. Aluminiumbitarna som lades i tråget syntes bra då de inte var täckta med vatten men försvann direkt när de hamnade under vatten, se bild 6. Detta tyder på att vattnet täcker allt som är under det.



**Bild 6: a. visar tråget med de två aluminiumbitarna, b. visar när aluminiumbitarna är halvtäckta med vatten och c. visar när aluminiumbitarna är helt täckta av vatten.**

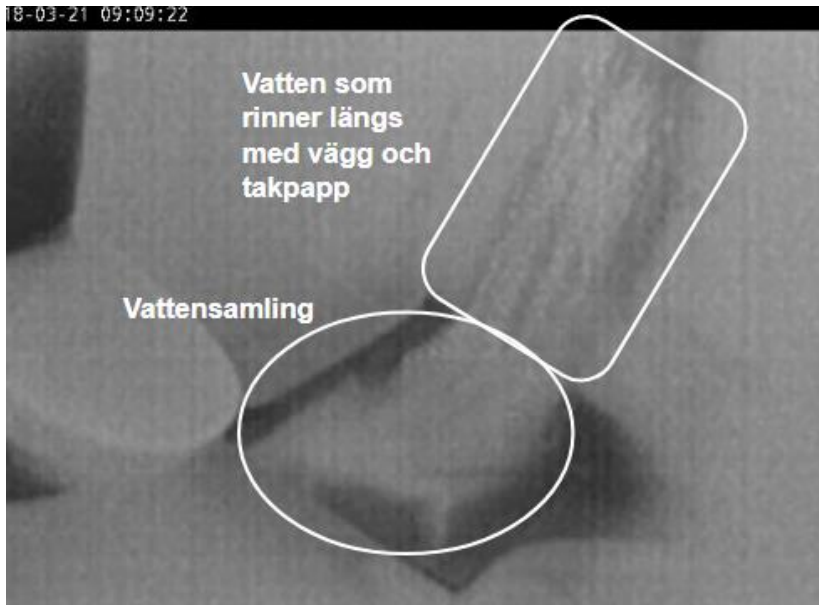
Det är svårt att se skillnad på vattnet som rinner på väggen och vattensamlingen vilket visas i bild 7. Den andra värmekameran, P1280-E, har lägre upplösning än Q1932-E vilket gör att det är ännu svårare att urskilja vad som är vad i bilden, se bild 8. IR-kameran ger en tydligare bild av området där testet görs men det är svårt att se vattnet vilket visas i bild 9. Eftersom duschen ger vatten på en väldigt

begränsad yta går det inte att likställas med regn. För att kunna dra säkrare slutsatser behöver detta testas i större skala.

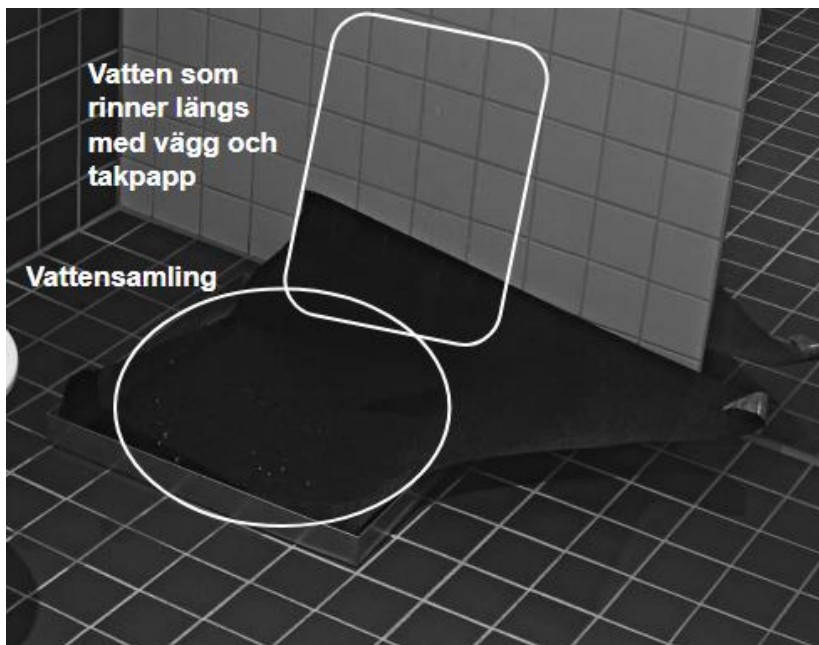


**Bild 7: Bild från värmekameran Q1932-E där vatten rinner längs med väggen och skapar en vattensamling i metalltråget.**





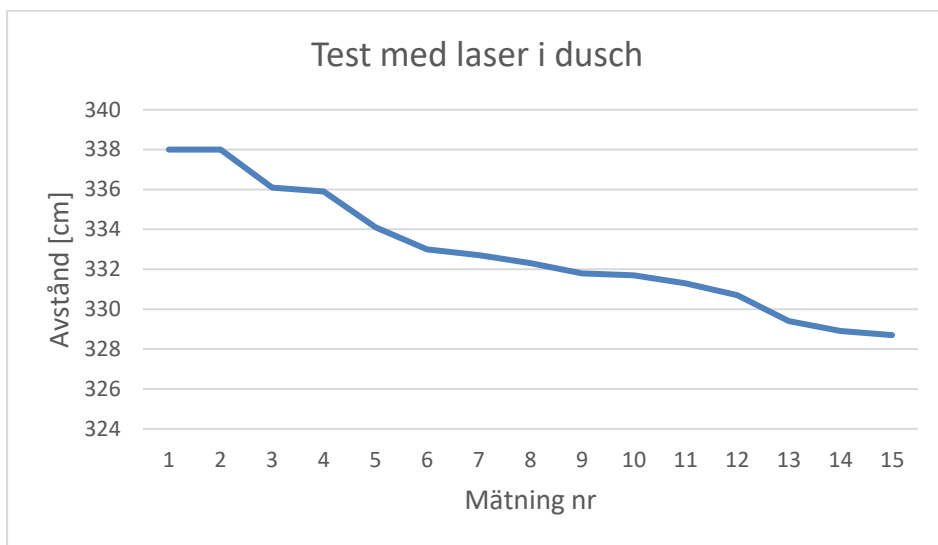
**Bild 8:** Bild från värmekameran P1280-E där vatten rinner längs med väggen och takpappen och samlas upp i metalltråget.



**Bild 9:** Bild från IR-kameran P3224-LV där vatten rinner längs med väggen och skapar en vattensamling i metalltråget.

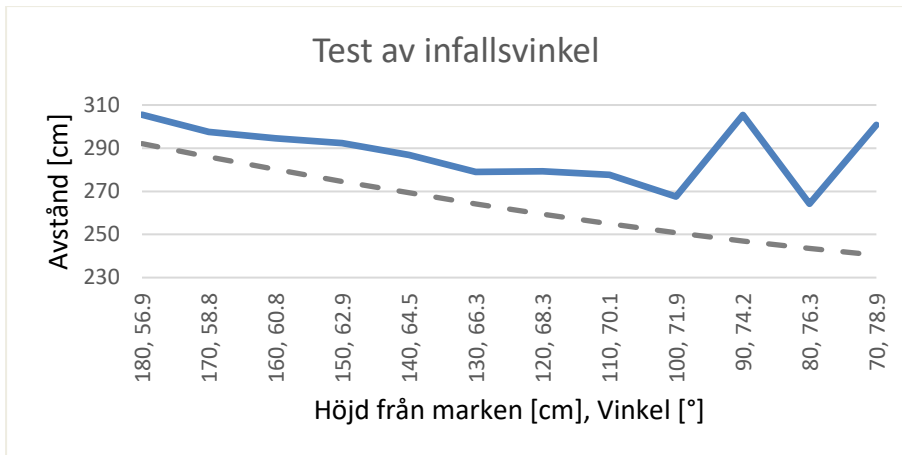
### 5.1.2. Test av avståndsmätaren med laser i dusch

Det var inga problem att mäta avståndet till vattenytan med lasermätaren. Enligt mätningen skedde en nivåförändring på nästan 10 cm vilket är dubbelt så mycket som metalltrågets djup men trenden för förändringen är tydlig. Ifall det är infallsvinkeln eller vattnets reflektion som orsakar detta går inte att säga utifrån det här testet. Detta går emot informationen som inhämtats före testerna om att vatten inte reflekterar laserstrålen (se 2.1). Resultatet visas i graf 1.



**Graf 1: Graf som visar hur avståndet till vattenytan från lasermätaren ändrades då tråget fylldes med vatten under test med laser i dusch.**

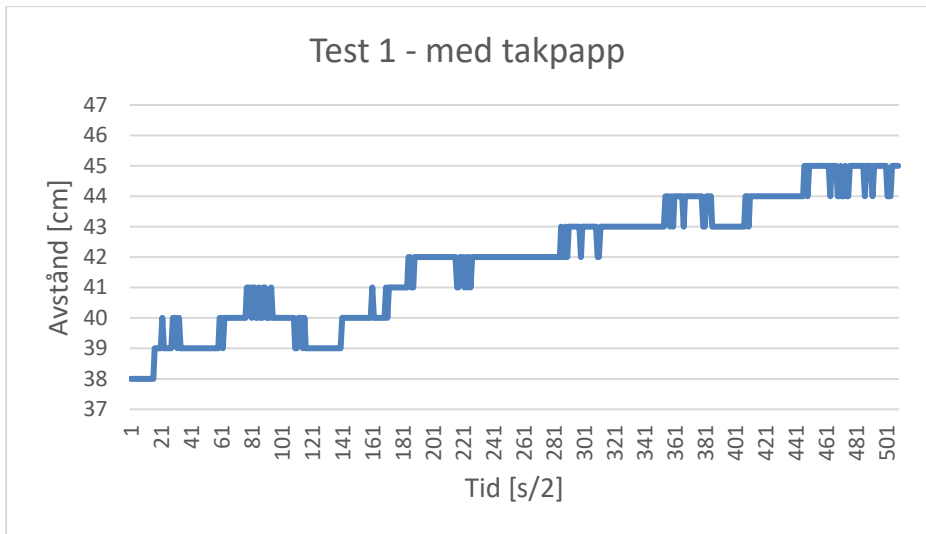
Testet av laserstrålens infallsvinkel visar en tydlig trend på hur avståndet minskar vilket syns i graf 2. Då höjden är 90 och 70 cm avviker resultatet vilket troligen beror på att strålen inte träffade vattenytan utan golvet bakom tråget. Den streckade linjen i graf 2 visar det förväntade värdet och ligger runt 15 cm under det uppmätta avståndet. En förklaring av det är att beräkningen av det förväntade värdet inte utgår från de exakta verkliga värdena eftersom höjden är relaterad till golvet och inte vattenytan samt att laserstrålen inte alltid mäter mot exakt samma punkt vilket gör att det horisontella avståndet varierar. Det var svårt att se var laserstrålen träffade vilket även det påverkar resultatet. Resultatet tyder ändå på att mätningen inte påverkas av infallsvinkeln eftersom resultatet visar en tydlig trend.



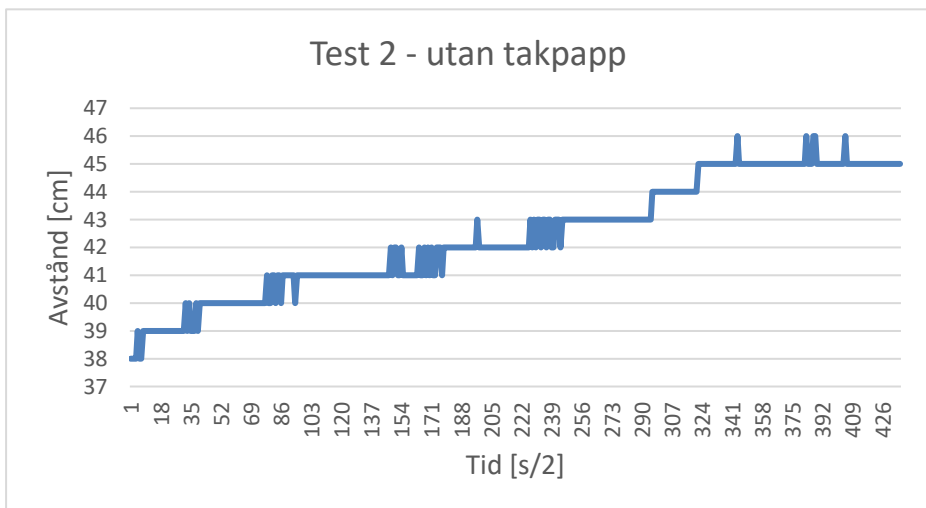
**Graf 2:** Grafen visar hur avståndet till vattenytan ändras beroende på infallsvinkel. Den streckade linjen representerar det förväntade värdet som beräknats med Pythagoras sats.

### 5.1.3. Test av nivåmätaren med radar i dusch

De två första testerna visar att mätningen inte ger ett exakt resultat vid varje mätning men visar en tydlig trend, se graf 3 och 4. Takpappen ger inte så stor skillnad på mätresultatet vilket tyder på att underlaget under vattnet inte spelar någon roll. Alltså bör mätning med radar både kunna ske mot vatten på asfalt och på en brunn.



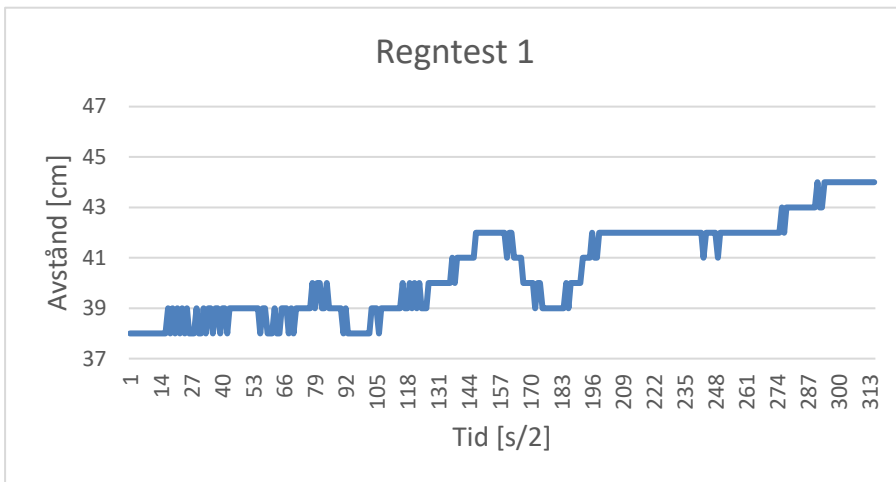
**Graf 3: Resultatet från test 1 av nivåmätare med radar i dusch med takpapp i metallträget.**



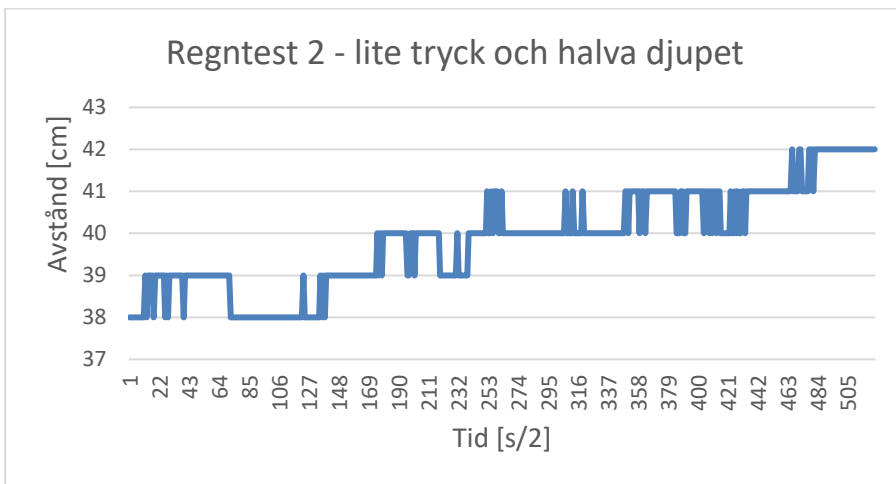
**Graf 4: Resultat från test 2 av nivåmätare med radar i dusch utan takpapp i metallträget.**

Regntesterna visar på en viss störning av regnet vilket gör trenden mindre tydlig än i de två första testerna. I graf 5 och 6 kan resultaten ses. Eftersom det simulerade regnet inte kan täcka hela mätytan på

samma gång är det svårt att avgöra hur verkligt regn skulle påverka mätningen.



**Graf 5: Resultat från det första regntestet med radar i dusch.**



**Graf 6: Resultat från det andra regntestet med radar i dusch som avslutades då tråget var halvfyllt.**

## 5.2. Test vid sjön Sjøn

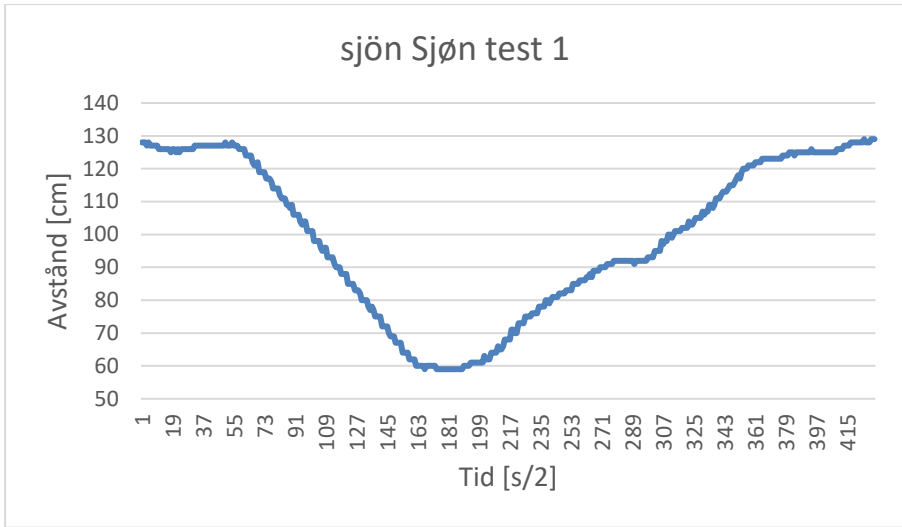
Resultaten från de tester som skett vid sjön Sjøn redovisas i denna del.

### 5.2.1. Test av avståndsmätaren med laser vid sjön Sjøn

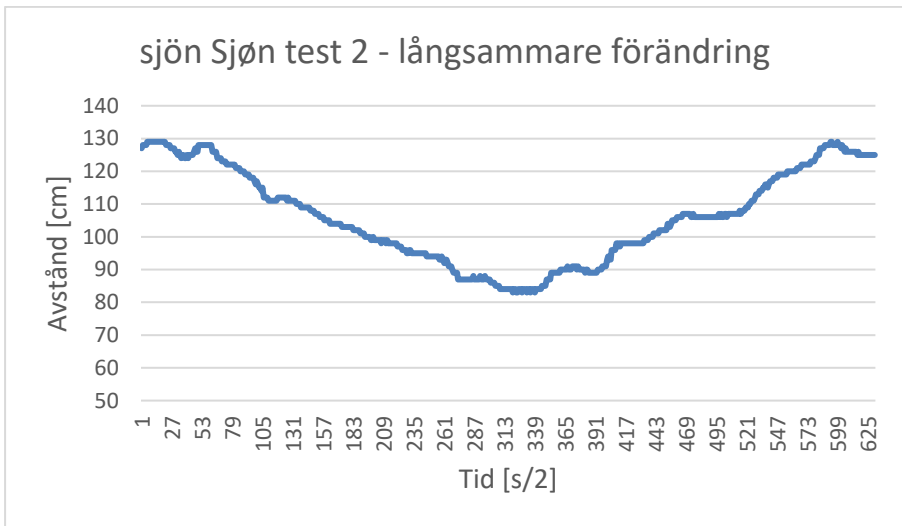
Avståndsmätaren fungerade inte alls mot vattenytan, inte ens på ungefär 2 m höjd, vinkelrätt mot vattnet. Testet utfördes i soligt väder och mätningen testades både i solen och i skuggan. Lasermätaren fick ingen signal tillbaka då den riktades mot vattenytan. En förklaring till att testet inte fungerade mot vatten utomhus skulle kunna vara att solen påverkade mätresultatet genom att mottagaren blev störd av allt extraljus. Att mätningen inte fungerade bekräftar den information som inhämtades innan testerna om att vatten inte reflekterar laser men går emot resultatet från testet i duschen.

### 5.2.2. Test av nivåmätaren med radar vid sjön Sjøn

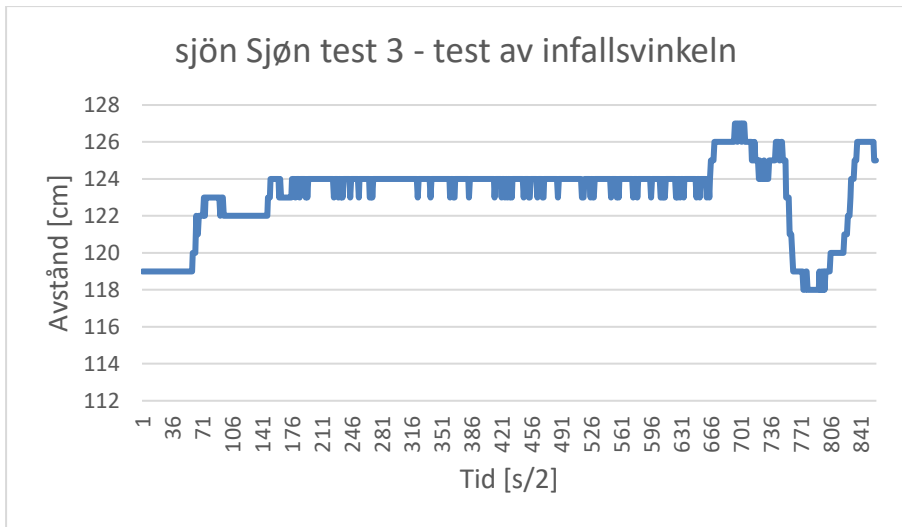
De två första testerna visade tydligt hur avståndet ändrades och kan ses i graf 7 och 8. När nivån i en tank ökar minskar avståndet mellan ytan och radarn vilket gör att det i graf 7 och 8 ser ut som att avståndet minskar då det faktiskt ökar. I det sista testet där infallsvinkeln undersöktes framgår det att radarn är väldigt beroende av att mätningen sker vinkelrätt mot ytan. Det märktes genom att Bluetooth-signalen till SmartBlue först försvagades och sedan försvann. När radarn vinklades tillbaka återkom signalen. Detta går inte att läsa ut från grafen som skapades från radarns utström och kan ses i graf 9. Grafen visar att avståndet är samma under största delen av testet vilket inte stämmer då radarn vinklades och därmed skapade ett större avstånd till vattenytan i mätriktningen.



**Graf 7: Resultat från det första testet med radar vi sjön Sjøen.**



**Graf 8: Resultat från test 2 med radar vid sjön Sjøen.**



**Graf 9: Resultat från test av radarns infallsvinkel.**

## 5.3. Inom- och utomhustest med IR-kamera

I denna del presenteras resultaten från testerna med IR-kameran.

### 5.3.1. Test inomhus med IR-kamera

Reflexbandet och den lilla cykelreflexen syntes väldigt bra inomhus på ca 1 m avstånd. Vattnet i tallriken påverkade nästan inte reflektionen från reflexerna alls.

### 5.3.2. Test utomhus med IR-kamera

Bilden påverkas inte synligt av att titta ut genom ett fönster. Kameran tar inte bara infrarött ljus utan även omgivningsljuset. Reflexerna syntes knappt på det uppskattningsvis 5 m långa avståndet oavsett reflexernas vinkel.

## 5.4. Testuppsättning på Pixlapiren i Helsingborg

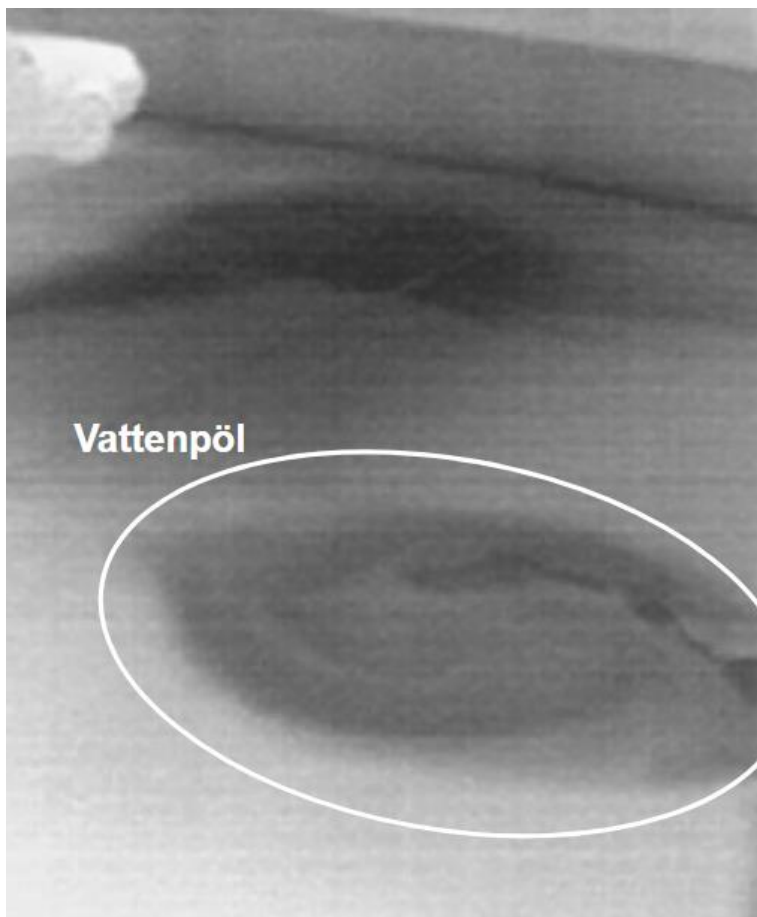
Sedan kamerorna installerades på Pixlapiren har det regnat väldigt lite. Det har mestadels varit uppehåll men det har kommit lite snö och det har även blivit blött på marken. Detta har gjort att bilddata inte har kunnat inhämtas i den mängd som var önskat. Eftersom det brukar



regna mycket i april var förväntan att det skulle komma mycket nederbörd. Några bilder har ändå kunnat användas för att testa i bildsegmenteringen.

## 5.5. Simulering av regn

Dörrmattan täckte brunnen väl vilket gav en stor vattenpöl. I bilderna från värmekameran är det möjligt att på ett ungefär urskilja vad i bilden som är en vattensamling, se bild 10. Hur detta skulle kunna vara möjligt för en dator att analysera har det inte funnits tid till att undersöka. En bild från den andra kameran valdes ut och användes i bildsegmenteringen, se bild 17 i 5.6.



**Bild 10: Bild från värmekameran från simulering av regn.**

När radarn skulle användas för att mäta vattennivån fick den ingen signal som den kunde förstå. På grund av tidsbrist hann inte detta felsökas ordentligt så radarn kunde inte användas under simuleringen. Senare undersökning och felsökning visade att problemet uppstod p.g.a. kalibreringen. I appen SmartBlue kan värden för en tom respektive full tank väljas. När värdet för tom tank väljs kalibreras radarn och om det dåvarande avståndet inte är ungefär lika långt tolkar den det som att signalen inte kommer tillbaka. Troligen filtreras den mottagna signalen bort som störeko.

## 5.6. Bildsegmentering

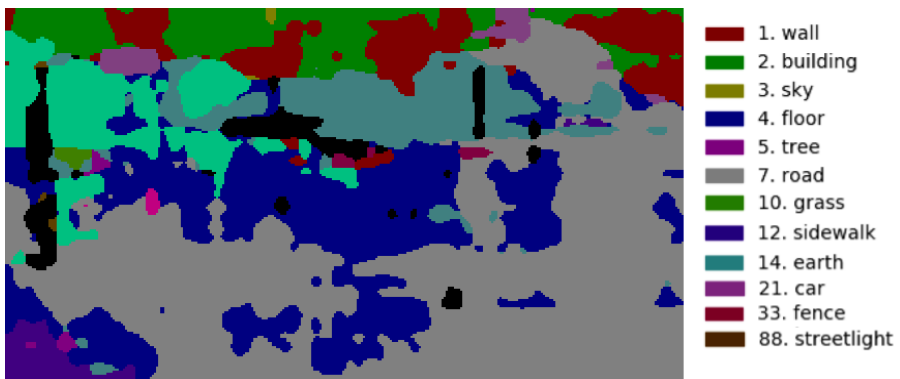
Till bildsegmenteringen har tre bilder valts ut, en från respektive kamera på Pixlapiren och en från regnsimuleringen. Båda nätverken har 150 st. förutbestämda klasser, de klasser som finns med i de segmenterade bilderna visas tillsammans med bilderna. I bilderna från nätverk 2 finns det fält som inte har kunnat klassificeras som en klass och representeras med färgen svart. Dessa bilder visar på att programmen kan urskilja olika delar av bilderna men att de inte är tränade på dessa typer av scener. Flera av klasserna som nätverken kategoriserar bilderna i är samma t.ex. klasserna wall och road. Nätverken ger olika resultat men visar på en metod som är möjlig att vidareutveckla och anpassa för ändamålet. Bild 11 visar en bild från Pixlapiren som är tagen med kameran Q6128-E., resultatet från segmenteringen visas i bild 12 och 13. Bilden från den andra kameran på Pixlapiren, P1367-E, finns i bild 14 och segmentering av den finns i bild 15 och 16. Den sista bilden, bild 17, är från regnsimuleringen och i bild 18 och 19 är resultaten från nätverken.



**Bild 11: Bild från Pixlapiren med Q6128-E som användes i bildsegmenteringen.**



**Bild 12: Segmentering av bild 11 med nätverk 1.**



**Bild 13: Segmentering av bild 11 med nätverk 2.**



**Bild 14:** Bild från Pixlapiren med P1367-E som användes i bildsegmenteringen.



**Bild 15:** Segmentering av bild 14 med nätverk 1.



**Bild 16:** Segmentering av bild 14 med nätverk 2.



**Bild 17: Bild från regnsimuleringen som användes i bildsegmenteringen.**



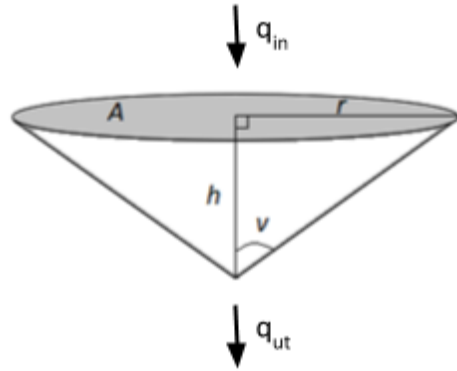
**Bild 18: Segmentering av bild 17 med nätverk 1.**



**Bild 19: Segmentering av bild 17 med nätverk 2.**

## 5.7. Modellering

Modellen utgår från en konisk form med vinkeln  $v = 60^\circ = \frac{\pi}{3}$ , se figur 7. Arealen  $A$  är känd från kameran och därmed även radien  $r$ . Inflödet  $q_{in}$  sattes till  $0,32 \text{ m}^2/\text{min}$  enligt (6) då avrinningsområdet uppskattas till  $320 \text{ m}^2$  och regnintensiteten  $1 \text{ mm/ minut}$  då det är den typiska intensiteten vid en kraftig åskskur (SMHI, 2017). Utflödet  $q_{ut}$  följer Torricellis lag (Reglerteknik AK, 2015) och utloppsarean är satt till  $0,06 \text{ m}^2$  vilket är den vanliga genomströmningsarean för dagvattenbrunnar (S:t Eriks, 2012). Höjden  $h$  modelleras i Simulink utifrån (11) och jämförs med den uppmätta höjden  $h_{mätt}$  enligt (12) och ifall det värdet är större eller lika stort som  $H_{tröskel}$  så antas brunnen vara igensatt. Tidsskillnaden  $x$  och tröskelvärdet  $H_{tröskel}$  i (10) behöver kalibreras så att modellen larmar vid en lämpligt stor avvikelse. För att veta vad som är lämpliga värden behöver tester göras så att modellen har en lagom känslighet. Se alla beräkningar nedan.



Figur 7: Kon som representerar formen av vattensamlingen.

$$A = \pi r^2 \quad (1)$$

$$\tan v = \frac{r}{h} \Leftrightarrow r = h \tan v \quad (2)$$

$$V = \frac{Ah}{3} = \frac{\pi r^2 h}{3} = \frac{\pi h^3 \tan^2 v}{3} \quad (3)$$

Insättning av (1) och (2) i (3) ger

$$V = \frac{\pi r^2 h}{3} = \frac{\pi h^3 \tan^2 v}{3} \quad (4)$$

$$\frac{dV}{dt} = q_{in} - q_{ut} \quad (5)$$

$$q_{in} = A_{avrinningsområde} * regnintensitet \quad (6)$$

$$q_{ut} = a\sqrt{2gh} = b\sqrt{h} \text{ (Torricellis lag)} \quad (7)$$

där  $a = \text{utloppsarean}$ ,  $b = a\sqrt{2g}$

$$\frac{dV}{dh} = \pi h^2 \tan^2 v \quad (8)$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{dV}{dh} * \frac{dh}{dt} \Leftrightarrow \frac{dh}{dt} = \frac{\frac{dV}{dt}}{\frac{dV}{dh}} \quad (9)$$

Insättning av (5), (7) och (8) i (9) ger

$$\frac{dh}{dt} = \frac{q_{in} - q_{ut}}{\pi h^2 \tan^2 v} = \frac{q_{in}}{c} h^{-2} - \frac{b}{c} h^{-3/2} \quad (10)$$

där  $b = a\sqrt{2g}$  och  $c = \pi \tan^2 v$

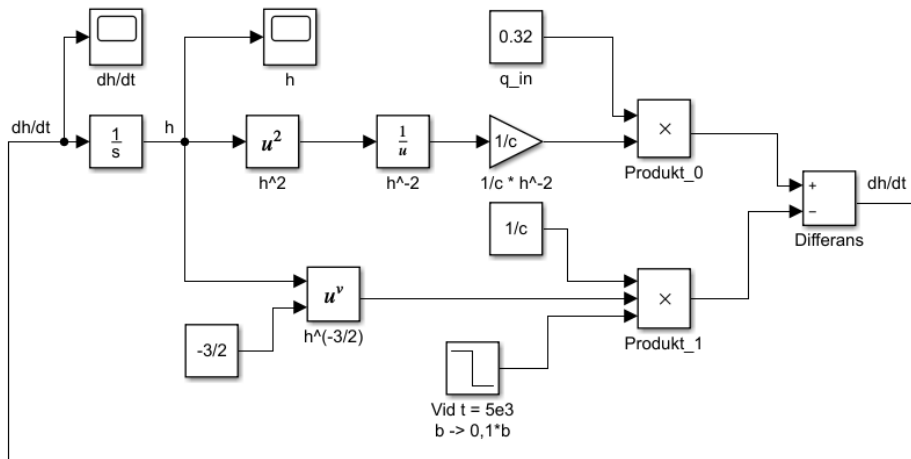
Insättning av de olika värdena i (6) och (10) ger (11)

$$\frac{dh}{dt} = \frac{0,32}{\pi \tan^2 \frac{\pi}{3}} h^{-2} - \frac{0,06\sqrt{2} * 9,82}{\pi \tan^2 \frac{\pi}{3}} h^{-3/2}$$

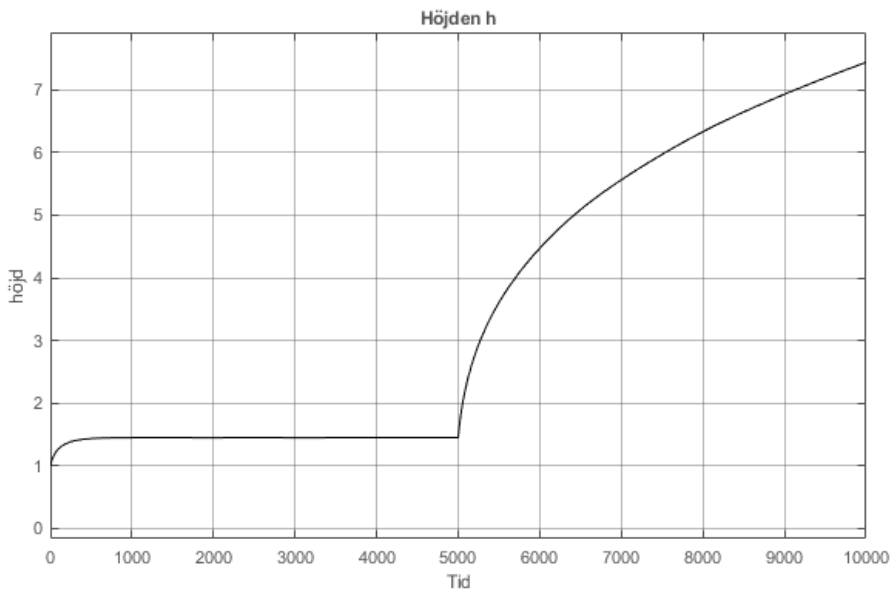
$$\int_{t-x}^t (h_{mätt} - h)^2 dt \geq H_{tröskel} \quad (12)$$

För att simulera effekten av att brunnen blir nästan helt igentäppt och att utflödet därmed minskas med 90 %, minskades värdet för b till en tiondel vid tiden 5000. Simuleringen kan ses i figur 8 och graferna för höjden h och höjdförändring  $\frac{dh}{dt}$  finns i graf 10 och 11. I båda graferna

sker en drastisk förändring då utflödet stryps vilket förenklar detektering av att någonting har hänt.

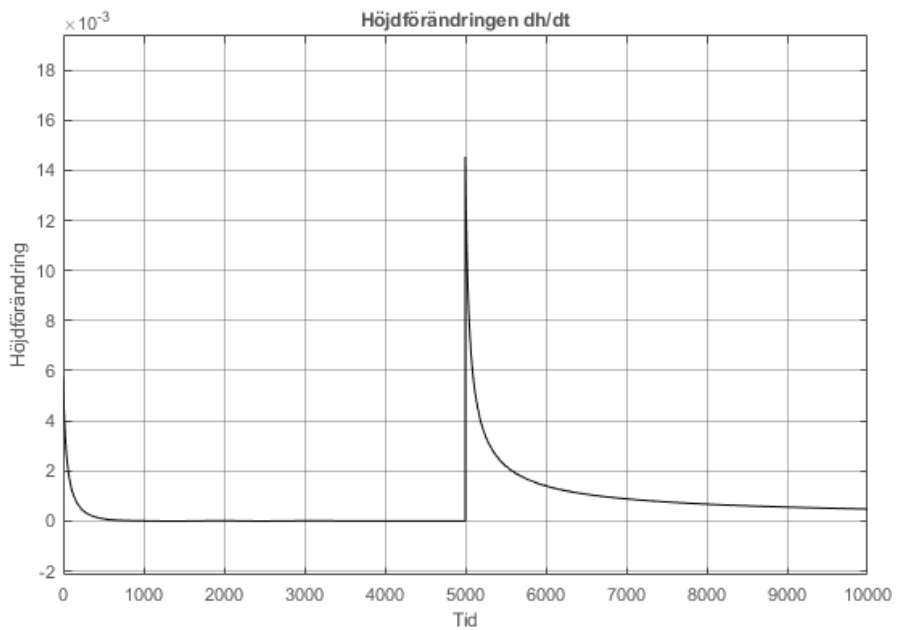


Figur 8: Simulering av den matematiska modellen i Simulink.



Graf 10: Grafen visar höjden som en funtion av tiden. Vid tiden 5000 minskar utloppet med 90 %.





**Graf 11: Grafen visar höjdförändringen som en funktion av tiden. Utloppet med minskar med 90 % vid tiden 5000.**

## 6. Slutsats

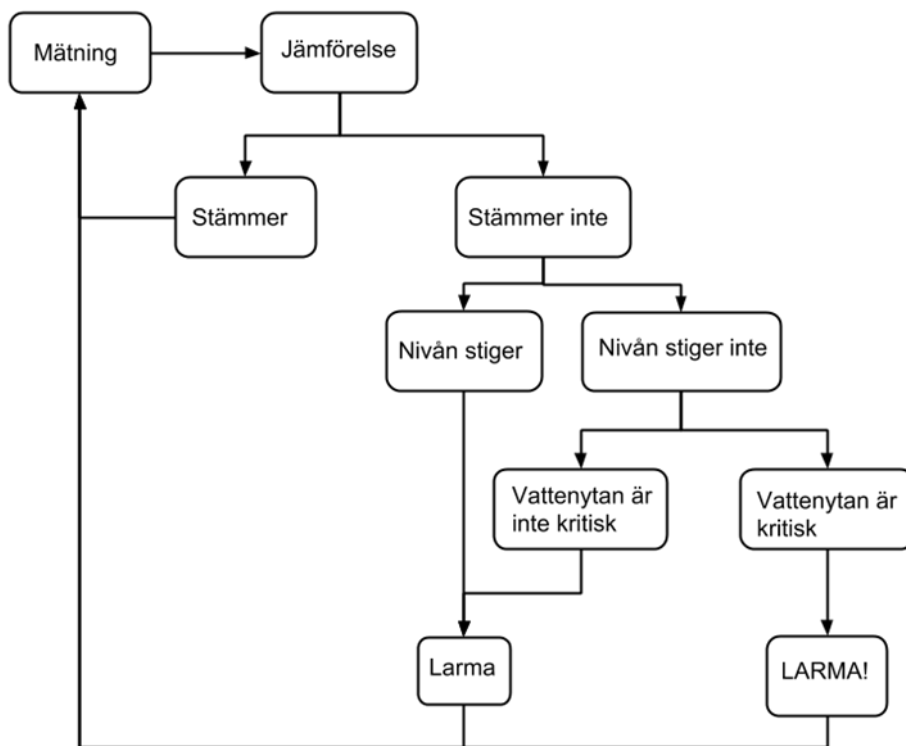
Under arbetets gång har flera olika tester utförts. Testerna har främst gått ut på att hitta sätt att mäta nivå och utbredning av en vattensamling. För nivåmätning har två olika metoder undersökts, laser och radar. Mätning med laser inomhus i en dusch där vattnet samlades upp i ett tråg visade på en nivåförändring. När mätningen testades utomhus vid sjön Sjön fick mottagaren i lasern ingen signal och kunde därmed inte ange ett värde för nivån. Eftersom nivåmätningen kommer ske utomhus valdes laser som mätmetod bort. De tester som gjorts för nivåmätning med radar har visat på att det både fungerar inomhus i en dusch och utomhus vid sjön Sjön. Testerna visar även att radarn är beroende av en vinkelrät infallsvinkel vilket påverkar kraven för systemets position. På grund av lite nederbörd under perioden för examensarbetet har radarn inte kunnat testas utomhus när det regnar vilket bör ske för att vidare testa nivåmätningen.

Olika tester med kameror har gjorts för mätning av en vattenytas utbredning. Både värme- och IR-kameror har testats för att undersöka om de kan urskilja en vattensamling. Testerna visade att det är svårt att separera en vattensamling från vatten som rör sig mot vattensamlingen. Detta betyder att vatten som rinner på marken mot en brunn ser likadant ut som en vattenpöl. En annan metod för mätning av utbredningen av en vattenyta som har testats är bildsegmentering. De testerna tyder på att det är en möjlig metod men att ett neuronät behöver tränas för att kunna urskilja vattensamlingar på asfalt. Det svåra med testningen av bildsegmentering var bristen på nederbörd vilket försvårade insamlandet av bilder. De bilder som användes i bildsegmenteringen var från två kameror placerade på Pixlapiren i Helsingborg och från en simulering av regn på en parkering.

Testerna som utförts har lett fram till att det i systemet som examensarbetet föreslår ingår en radar för nivåmätning och en kamera som med bildsegmentering mäter utbredning av en vattensamling.

Förutom mätning av nivå och utbredning behöver även regnintensiteten mätas, vilket är tänkt att göras med Waterview, se 2.7. Regnintensiteten behöver mätas för att kunna beräkna hur vattensamlingen bör förändras. Den beräkningen sker med en matematisk modell som beskrivs i 5.7. Modellen tar fram en förväntad

höjdförändring hos vattensamlingen med avseende på regnintensitet och utbredning. Det förväntade värdet jämförs med värdet från nivåmätningen. Stämmer ärvärdet överens med börvärdet ska systemet inte larma. Ifall värdena inte stämmer överens undersöks om nivån stiger eller inte. Stiger nivån ska systemet larma och i annat fall kontrolleras vattenytans storlek. Är storleken inte kritisk ska systemet larma. Ifall vattennivån inte stiger men vattenytan är kritisk betyder det att vatten rinner över på banvallen och då ska systemet larma att läget är akut, se flödesschema i figur 9. På detta sätt fås information om dagvattenbrunnen släpper igenom vatten när den borde göra det. Beräkningen av den matematiska modellen har i examensarbetet skett på en extern dator men är tänkt att ske i samma kamera som bildsegmenteringen.



**Figur 9: Flödesschema över mätning och larm.**

Analyseringen av mätdatan har i det här examensarbetet skett i en Arduino. För att minska antalet delar i systemet kan detta ske i en Axis-kamera genom att använda dennes I/O-portar för att läsa in mätvärden. För att bildsegmenteringen ska fungera behöver ett neuronät tränas för att se vattensamlingar på asfalt.

## 6.1. Reflektion över etiska aspekter

Att sätta upp kameror på allmänna platser kan uppfattas som en inskränkning av den personliga integriteten vilket gör det viktigt att göra en avvägning mellan samhällsnytta och individers integritet. Därför behövs det en reflektion över denna etiska aspekt för examensarbetets föreslagna system, som delvis består av en kamera. Kameran i systemet varken lagrar eller sänder bilder eftersom den används som en sensor istället för en vanlig kamera. Det innebär att bilderna inte är syftet med kameran utan de används som en input till beräkningar. Alltså kan inte kameran användas för att identifiera personer och är därför inte en inskränkning av den personliga integriteten. Detta behöver även säkerställas genom olika typer av säkerhetslösningar som t.ex. kryptering av utdata och brandvägg för att kameran inte ska kunna hackas.

## 6.2. Framtida utvecklingsmöjligheter

En utveckling av systemet är att göra all form av beräkning och analys i kameran, så som bildsegmentering, läsa in värden från radarn och beräkningen enligt den matematiska modellen. För att kunna utvärdera hur systemet bör placeras behöver undersökning av hur kamerans placering påverkar resultatet av bildsegmenteringen ske. En annan sak som bör undersökas är om Waterview ska användas i kameran för mätning av vattenytan eller i en separat kamera. Det förstnämnda kan innebära att kameran behöver kunna röra sig mellan två olika lägen, ett för bilder till segmenteringen och ett för bilder till Waterview. Ifall Waterview används i en separat kamera medför det fler fysiska delar i systemet men det kanske är robustare då kamerorna har fasta positioner.

För att möjliggöra att detta system används behöver fler frågor undersökas och besvaras. Några av dessa frågor är:

- Vad säger lagstiftningen om användning av kameror i offentligmiljö?
- Hur ska strömförsörjningen gå till?
- Hur ska kommunikationen med LoRa ske?

För att den matematiska modellen ska närma sig verkligheten behöver konen ändras så att formen är mer lik verkligheten. Eftersom det finns fler brunnar vid den tänkta platsen för systemet behöver fler utflöden införas i modellen. För att kunna detektera fler fel än igentäppning behövs fler matematiska modeller, s.k. observerare. Ett exempel på ett annat fel som kan uppstå är att brunnen blir översvämmad underifrån och att vatten strömmar ut ur brunnen. Ett annat sätt att ta fram en modell för feldetektering är att använda Mike Urban FLOOD enligt 2.3.

Det föreslagna systemet kan endast upptäcka att en brunn är igentäppt då det regnar. För att även kunna upptäcka det utan att det regnar bör möjligheten att ett neuronät tränas för att detektera när en brunn inte längre syns undersökas. En utmaning med det är att brunnar kan se olika ut vilket innebär att kameran behöver kalibreras efter just den typ av brunn den ska detektera.

## 7. Terminologi

Internet of things (IoT)	Sakernas internet
Smart Cities	Smarta städer
LoRa	En teknologi för säker dataöverföring av små datamängder på långt avstånd ( <b>Long Range</b> ) och med låg strömförbrukning.
Bildsegmentering	Ett sätt för en dator att analysera och kategorisera delar av en bild.
FDI	Fault Detection and Isolation, en metod för att detektera och lokalisera fel i ett system.
Observerare	Används i FDI och är en matematisk modell för att upptäcka olika typer av fel.

## 8. Källförteckning

Almqvist, D. (2015). *Evaluering av öppna dagvattensystem i Helsingborg vid kraftig nederbörd*. Lund: Lunds Universitet, Institutionen för kemiteknik. (Examensarbete, 2015-1).

Andersson, M. (2017). *Short-Wave Infrared Lidar on Atmospheric Aerosols and Insects*. Lund: Lunds Universitet, Department of Physics. (Master Thesis, 8927056).

Arduino (u.å.). *map()* [Elektronisk] Tillgänglig: <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/math/map/> [2018-04-03].

Arduino Forum (2017). *PLX-DAQ version 2 - now with 64 bit support! (and further new features)* [Forum]. Tillgänglig: <https://forum.arduino.cc/index.php?topic=437398.0> [2018-04-04].

Bark, O. (2004). *Observerbased Faultdetection in an Electromechanical Servo*. Lund: Lunds Tekniska Högskola, Department of Automatic Control. (Examensarbete, 0280-5316). Tillgänglig: <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOId=8847987&fileOId=8859427> [2018-05-09].

Berggreen-Clausen, C. (2011). *Strypta rännstensbrunnar – en utredning av en metod inom dagvattenhantering*. Lund: Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för kemiteknik. (Examensarbete, 2011-08).

Börjeson, E. Jansson, J. von Rosen Johansson, C. (2016). *Test och implementering av en laserbaserad havsnivåmätare*. Göteborg: Chalmers, Institutionen för rymd- och geovetenskap. (Kandidatarbete i Elektroteknik).

Ding, S.X. (2008). *Model-based Fault Diagnosis Techniques: Design Schemes, Algorithms, and Tools*. Duisburg, Tyskland: Springer.

Endress+Hauser (u.å.). *Micropilot FMR10* [Elektronisk]. Solna. Tillgänglig: <https://www.se.endress.com/sv/Produkter/Nivå/Radarn> som tar nivåmätning till nya nivåer [2018-04-23].

- Geopraevent (u.å.). *Level measurements* [Elektronisk]. Zürich. Tillgänglig: <https://www.geopraevent.ch/technologies/level-measurements/?lang=en> [2018-02-05].
- Huawei (u.å.). *Smart Water* [Elektronisk]. Tillgänglig: <http://www.huawei.com/minisite/iot/en/smart-water.html> [2018-05-07].
- Lamond, J. (Ed.), Booth, C. (Ed.), Hammond, F. (Ed.), Proverbs, D. (Ed.). (2011). *Flood Hazards*. Boca Raton, USA: CRC Press.
- Liros (u.å.). *Laseravståndsmätare från MEL Mikroelektronik* [Elektronisk]. Malmö. Tillgänglig: <http://www.liros.se/sensors/mel.html> [2018-03-20].
- LoRa® Alliance (november, 2015). *A technical overview of LoRa® and LoRaWAN™* [Elektronisk]. San Ramon, USA. Tillgänglig: <https://lorawan-alliance.org/sites/default/files/2018-04/what-is-lorawan.pdf> [2018-05-02].
- MIT (u.å.). *ADE20K* [Elektronisk]. Cambridge, USA. Tillgänglig: <http://groups.csail.mit.edu/vision/datasets/ADE20K/index.html> [2018-04-23].
- Microsensor (2018-01-24). *Micro Sensor IOT | Brand New Upgrade Underground Remote Monitoring Terminal* [Elektronisk]. Tillgänglig: [http://www.microsensorcorp.com/app-Micro\\_Sensor\\_IOT\\_Brand\\_New\\_Upgrade\\_Underground\\_Remote\\_Monitoring\\_Terminal.htm](http://www.microsensorcorp.com/app-Micro_Sensor_IOT_Brand_New_Upgrade_Underground_Remote_Monitoring_Terminal.htm) [2018-05-07]
- ngConnectProgram (u.å.). *Flood Abatement* [Elektronisk]. Tillgänglig: <http://ngconnect.org/service-concepts/smart-storm-drain/> [2018-01-18].
- Nybro kommun (2017--10-11). *ATT TÄNKA PÅ VID SNÖSMÄLTNING OCH KRAFTIGT REGN* [Elektronisk]. Tillgänglig: <https://nybro.se/kris-sakerhet/snosmaltning-och-kraftigt-regn/> [2018-01-18].
- Reglerteknik AK (juni, 2015). *Laboration 2 Modellbygge och beräkning av PID-regulatorn* [Elektronisk]. Lund: Lunds Tekniska Högskola. Tillgänglig: <http://www.control.lth.se/media/Education/EngineeringProgram/FRT010/lab2.pdf> [2018-04-25].



S:t Eriks (2012). *UNDERJORDISK INFRASTRUKTUR EN HANDBOK FÖR DIG SOM ARBETAR MED VATTEN OCH AVLOPP* [Elektronisk]. Tillgänglig: <http://steriks.se/globalassets/va-handbok2012.pdf> [2018-04-26].

SMHI (2017-06-14). *Regn* [Elektronisk]. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/regn-1.648> [2018-05-04].

SMHI (2018-01-22). *Skyfall i Sverige nu och i framtiden – ny kartläggning* [Elektronisk]. Sverige. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/nyhetsarkiv/skyfall-i-sverige-nu-och-i-framtiden-ny-kartlaggning-1.129420> [2018-01-23].

Sorri, A. (2017). *Rain as data in Smart Cities*. Secure insights, [Blogg] 11 oktober. <https://www.axis.com/blog/secure-insights/rain-data-smart-cities/> [2018-04-27].

Swedaq (u.å.). *Nivåmätare* [Elektronisk]. Höör. Tillgänglig: <http://www.swedaq.se/index.php/nivamatare> [2018-04-24].

Waterview (u.å.). *WeatherCAM* [Elektronisk]. Tillgänglig: <http://www.waterview.it/weathercam> [2018-04-27].

Wu, Z. Shen, C. & van den Hengel, A. (2016). *Wider or Deeper: Revisiting the ResNet Model for Visual Recognition* [Elektronisk]. Adelaide, Australien: School of Computer Science, The University of Adelaide. Tillgänglig: <https://arxiv.org/pdf/1611.10080.pdf> [2018-05-09].

Zhou, B. Zhao, H. Puig, X. Fidler, S. Barriuso A. & Torralba, A. (2016). *Semantic Understanding of Scenes through the ADE20K Dataset* [Elektronisk]. Massachusetts, USA: Massachusetts Institute of Technology, och Toronto, Canada: University of Toronto. Tillgänglig: <https://arxiv.org/pdf/1608.05442.pdf> [2018-05-09].

Zhou, B. Zhao, H. Puig, X. Fidler, S. Barriuso A. & Torralba, A. (2017). *Scene Parsing through ADE20K Dataset* [Elektronisk]. Massachusetts, USA: Massachusetts Institute of Technology, och Toronto, Canada: University of Toronto. Tillgänglig: <http://people.csail.mit.edu/bzhou/publication/scene-parse-camera-ready.pdf>