Utveckling av beröringsfri sensorteknik för turbiditets- och vattennivåmätning

En innovativ lösning för hållbar vattenhantering

Rapportnummer: B11012
I samarbete med: Göteborg Kretslopp och Vatten, Stockholm Vatten och Avfall samt VA SYD
Författare: Jens Wilhelmsson, Joel Wanemark och Jacob Andrén

Medel från: Stiftelsen Institutet för vatten- och luftvårdsforskning, Göteborg Kretslopp och Vatten, Stockholm Vatten och Avfall samt VA SYD

ISBN: 978-91-7883-757-1
Fotograf: Fredrik Hallgren

Summary

This report describes the development and implementation of an innovative contact-free sensor technology, Turbinator, for measuring turbidity and water levels in utility networks, particularly in stormwater wells. The development began in 2017 and underwent testing and improvements during the 2020–2024 period to meet the needs of Swedish water utility organizations.

Today, turbidity is mainly measured using optical sensors in direct contact with the water. However, these solutions have limitations in terms of high maintenance requirements and high energy consumption. Similarly, there are established techniques for water level measurement, but these have not previously been combined with turbidity measurement in a single solution.

The aim of the project was to create a cost-effective, maintenance-free solution for monitoring the pipeline network. The technology is based on AI and computer vision to analyze laser reflections in water. Data from a development well and field tests in Stockholm, Gothenburg, and Malmö were used to develop and evaluate the technology. The proposed technology addresses the knowledge gap regarding the ability to measure both turbidity and water level simultaneously, in an energy-efficient way, without direct contact with the water. This enables continuous data collection over longer periods of time, without the need for maintenance.

The results showed that the technology has the potential to emulate reference sensors with an average deviation of 13.6%, while tests confirmed a battery life of up to three years under optimal conditions. However, challenges were identified, particularly related to moisture and image quality in the field. Suggestions for improvement include more robust hardware and optimized algorithms.

The application of the technology can reduce manual inspections, improve maintenance planning, and detect pollutants, supporting more sustainable and digitalized water management system. The technology creates the conditions for an entirely new market, rather than replacing an existing one, and further research is recommended to address technical limitations and explore new market opportunities.

Keywords: turbidity, contact-free measurement, artificial intelligence, AI, water level, digitalization, utility systems, maintenance, environmental innovation.

Sammanfattning

Denna rapport beskriver utvecklingen och implementeringen av en innovativ beröringsfri sensorteknik, Turbinator, för mätning av turbiditet och vattennivå i ledningsnät, särskilt dagvattenbrunnar. Utvecklingen initierades 2017 och har under perioden 2020–2024 genomgått tester och förbättringar för att möta behoven hos svenska VA-organisationer.

Turbiditet mäts idag i huvudsak med optiska sensorer i direkt kontakt med vattnet. Dessa lösningar har dock begränsningar i form av högt underhållsbehov samt hög energiförbrukning. På samma sätt finns det etablerade tekniker för vattennivåmätning, men dessa har inte tidigare kombinerats med turbiditetsmätning i en och samma lösning.

Projektets syfte var att skapa en kostnadseffektiv, underhållsfri lösning för övervakning av ledningsnätet. Tekniken baseras på AI och datorseende för att analysera laserreflektioner i vatten. Data från en utvecklingsbrunn och fälttester i Stockholm, Göteborg och Malmö användes för att utveckla och utvärdera tekniken. Den föreslagna tekniken adresserar kunskapsluckan kring möjligheten att mäta både turbiditet och nivå samtidigt, på ett energieffektivt sätt, utan behov av direktkontakt med vattnet. Detta möjliggör en kontinuerlig datainsamling, under en längre tid, utan behov av underhåll.

Resultaten visade att tekniken har potential att efterlikna referenssensorer med en genomsnittlig avvikelse på 13,6 %, medan tester bekräftade batteritid på upp till tre år vid optimal användning. Utmaningar identifierades dock, särskilt relaterade till fukt och kamerakvalitet i fält. Förbättringsförslag inkluderar robustare hårdvara och optimerade algoritmer.

Teknikens tillämpning kan minska manuella inspektioner, förbättra underhållsplanering och upptäcka föroreningar, vilket stödjer en mer hållbar och digitaliserad vattenhantering. Tekniken skapar förutsättningar för en helt ny marknad, snarare än att ersätta en befintlig och vidare forskning föreslås för att adressera tekniska begränsningar och utforska nya marknadsmöjligheter.

Nyckelord: turbiditet, beröringsfri mätning, artificiell intelligens, AI, vattennivå, digitalisering, VA-system, underhåll, miljöinnovation.

Innehållsförteckning

Summary **3**

Sammanfattning **4**

1 Inledning **6**

1.1 Syfte och problemställning 6

1.2 Forsknings- och marknadsstatus 7

1.3 Teori 8

2 Metod **9**

2.1 Utvecklingsbrunnen var nödvändig för att få heltäckande data 9

2.2 Genom att mäta strömförbrukning för olika mätsekvenser kan batteritiden räknas ut 10

2.3 Sensorer monterades i fält för att utvärdera tekniken och prototypen 10

3 Resultat **11**

3.1 AI-tekniken kan efterlikna referens-sensorer 11

3.2 Prototypens batteri håller i upp till tre år 13

3.3 Mätningar i fält 15

4 Diskussion **16**

4.1 Tekniken klarar längre avstånd men prototypen möter fuktutmaningar 16

4.2 Genom smart planering av uppkoppling kan livslängden maximeras 17

4.3 Identifierade utvecklingsområden för sensorprototypen kan öka prestandan 18

4.4 Systemtjänster baserade på turbiditetsmätning kan optimera underhåll och öppna nya marknader 18

4.5 Ytterligare behov kan mötas med hjälp av en sensor av denna typ 19

5 Referensförteckning **20**

1 Inledning

Under 2017 inledde IVL Svenska Miljöinstitutet AB (IVL) arbetet med att utveckla en innovativ och beröringsfri sensor, Turbinator, för att mäta turbiditet och vattennivå i ledningsnätet, särskilt i dagvattenbrunnar. Sensortekniken, driven av efterfrågan från VA-organisationer, syftade till att skapa en underhållsfri övervakningslösning.

Den första prototypen, testad i Göteborg och kring projektet Västlänken, visade lovande resultat men behövde vidareutvecklas för att möta kraven bättre. Samarbeten med Göteborg Kretslopp och Vatten, Stockholm Vatten och Avfall och senare även VA Syd initierades för att skapa en kostnadseffektiv lösning. Projektet strävade efter en sensorteknik som var lätt att både installera, integrera med IT-system och anpassa till olika fysiska miljöer. Visionen var att utveckla ett system för beslutstöd i stadsplanering och underhåll av vattenledningsnätet, där mätdata från sensortekniken skulle kunna bistå i följande specifika områden:

- Detektera stopp eller sedimentering i ledningar
- Detektera inläckage i spillvattnet från dagvatten eller dricksvatten
- Utvärdera dagvattenanläggningars förmåga att rena vatten
- Undersöka kvalitet och kvantitet vid bräddningstillfällen

I denna rapport beskrivs arbetet med utveckling och utvärdering av sensortekniken under perioden 2020-2024 samt hur den nya tekniken kan användas i en mer digitaliserad vattensektor.

1.1 Syfte och problemställning

Syftet med denna studie är att utvärdera en innovativ och beröringsfri sensor, Turbinator, för att mäta turbiditet och vattennivå i ledningsnätet, särskilt i dagvattenbrunnar. Utvärderingen görs utifrån följande problemställningar:

- Hur väl fungerar tekniken i en kontrollerad miljö?
- Hur väl fungerar tekniken i ledningsnätets utmanande miljö?

Studien diskuterar även vilken potential sensortekniken har att användas som underlag för systemtjänster, såsom optimerat underhåll av ledningsnät och förutsägelse av sedimentering i rör.

1.2 Forsknings- och marknadsstatus

Turbiditet mäts idag med hjälp av optiska metoder där vätskan belyses med ljus av något slag och hur mycket ljus som reflekteras är ett mått på turbiditeten(1). Gemensamt för de existerande teknikerna för att mäta turbiditet är att sensorerna är i kontakt med vätskan, vilket i det här sammanhanget innebär att ingen luft är närvarande mellan den optiska sensorn och vätskan. En typ av teknik som används för turbiditetsmätningar är portabla handhållna instrument såsom HI-93703C från Hanna Instruments(2) där den vätska man önskar mäta sätts i en behållare som sedan monteras i instrumentet. Fördelen med den typen av teknik är att den är portabel och batteridriven och därför kan används i fältmiljö. Nackdelen är att det inte går att göra kontinuerliga mätningar eftersom ett vattenprov behöver tas och monteras in i mätenheten.

För kontinuerlig mätning av turbiditet finns det en annan typ av teknik där turbiditetssensorn sänks ner i vattenmassan och mäter under längre tid med ett inställt tidsintervall. Sådana sensorer har ofta någon slags teknik för att rengöra sig själva. Ett exempel är Campbell Scientific OBS 501(3) som har ett fönster som öppnas och stängs vid mätning och därigenom fungerar som en vindrutetorkare. Nackdelen med den typen av teknik är att det kan vara svårt att lita på de självrengörande funktionerna, i synnerhet om sensorn lämnas oövervakad under en längre tid. Det är också en typ av teknik som drar mycket ström och därför inte kan användas där fast strömförsörjning saknas.

Forskning pågår kring nya tekniker för att mäta turbiditet, med fokus på att utveckla lågkostnadslösningar med låg strömförbrukning. Dessa sensorer är utformade för att kunna mäta kontinuerligt över längre tidsperioder, drivna av batterier, vilket gör dem lämpliga för långsiktig övervakning(4). Ett exempel är sensorn som presenteras av Wang m.fl., som är kompakt och designad för att sänkas ner direkt i vattenmiljön och mäta turbiditet optiskt med hjälp av reflekterat infrarött ljus. Trots att sensorn är konstruerad för att fungera över längre tid i fält, kvarstår behovet av regelbundet underhåll och manuell rengöring, särskilt för att motverka beläggningar och biofilm som annars kan försämra mätkvalitén. För att kontinuerlig mätning av turbiditet ska bli ekonomiskt försvarbar, i synnerhet i ledningsnätet, krävs sensorer med ett betydligt minskat underhållsbehov. En lösning med potential att uppnå detta är beröringsfri mätning, där sensorn mäter utan direkt kontakt med vattnet.

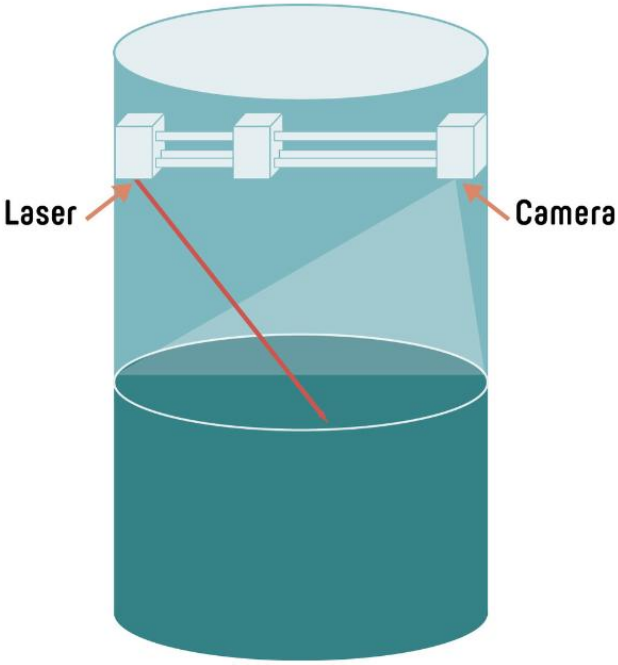
Att mäta vattennivå i ledningsnät kan göras på flera olika sätt. Exempelvis med hjälp av optiska sensorer(5), ultraljudssensorer(6), trycksensorer(7), kapacitiva sensorer(8) samt radar- och mikrovågssensorer(9). Dessa tekniker varierar i

kostnad, underhållsbehov och noggrannhet men kan alla sägas vara marknadsmässigt mogna tekniker som också har applicerats i trådlösa, uppkopplade, tillämpningar(10). Kombinationen av nivå- och turbiditetsmätare finns dock inte på marknaden idag.

Senaste årens snabba utveckling inom Artificiell Intelligens (AI) och delområdet Computer Vision (CV), tillsammans med en snabb utveckling av hårdvarukomponenter, har möjliggjort att använda AI-tekniker även inom tillämpningar som kräver energisnåla lösningar. Dessa tekniker möjliggör nya lösningar för både turbiditets- och nivåmätning som är energieffektiva och ställer lägre krav på underhåll men har fram tills idag inte kommersialiserats.

1.3 Teori

Den utvecklade sensortekniken utför mätningar av turbiditet genom att lysa en laser enligt Figur 1. Laserträffen samt ljusets spridning i vattnet fotograferas med kamera. För att räkna ut turbiditeten används ett neuralt nätverk som med hjälp av ett stort antal träningsbilder är utvecklat för att avgöra hur olika turbiditeter ser ut.



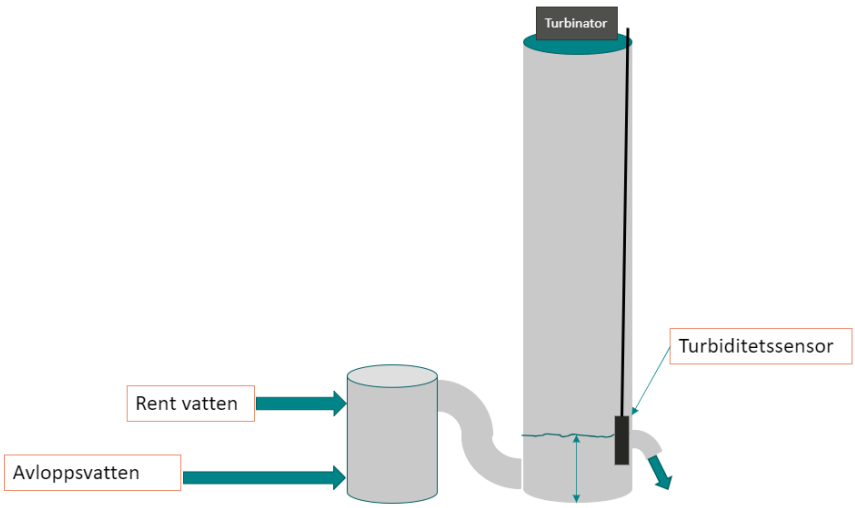
Figur 1: Skiss av Turbinator-prototyp monterad i brunn. Vid mätning lyser Turbinator med laser ner i vattnet och kameran fotograferar träffen i ytan samt hur laserljuset sprids i vattnet. Bilden används för att räkna ut turbiditeten i vattnet.

2 Metod

En utvecklingsbrunn byggdes på IVLs forskningsanläggning Hammarby Sjöstadsverk för att kunna samla in dataunderlag till AI-tekniken för turbiditetsberäkning och testa tekniken i en kontrollerad miljö. Insamlade data användes för att träna upp AI-tekniken vilken därefter implementerades i en prototyp utvecklad i samarbete med det franska företaget EEware. Ett tiotal sensorer tillverkades utifrån prototypen och monterades i Stockholm, Göteborg och Malmö för att testa tekniken och utvärdera prototyperna. Prototypens batteritid uppmättes genom en kombination av strömmätningar och teoretiska uträkningar.

2.1 Utvecklingsbrunnen var nödvändig för att få heltäckande data

Ett bra dataunderlag för träning av ett neuralt nätverk är en förutsättning för att AI-tekniken ska prestera bra. För att säkerställa ett tillräckligt brett och omfattande underlag konstruerades en brunn som möjliggjorde att både turbiditet och avstånd till vattenytan kunde varieras och kombineras på alla tänkbara sätt. Figur 2 illustrerar hur denna brunn såg ut, där en Turbinator-prototyp och en referenssensor av typen WTW VisoTurb 700 IQ monterades.



Figur 2: Illustration av den utvecklingsbrunn som byggdes på Hammarby Sjöstadsverk för att samla in det omfattande dataunderlag som behövs för att träna upp AI-systemet för beräkning av turbiditet. En prototyp är monterad högst upp på en motordriven vinsch och kan därigenom hissas upp och ner kontinuerligt för att variera avståndet till ytan. Turbiditeten i brunnen varieras genom en programmerbar pump som styr inflödet av avloppsvatten.

2.2 Genom att mäta strömförbrukning för olika mätsekvenser kan batteritiden räknas ut

En av de största utmaningarna med att använda sensorer i ledningsnät är den begränsade tillgången till strömförsörjning. Detta kräver att sensorerna drivs med batteri och att batterierna har en tillräckligt lång livslängd för att eliminera behovet av frekventa batteribyten, vilket annars skulle undergräva syftet med sensorerna. Vid utvecklingen av prototypen sattes målet att uppnå en batteritid på tre år, vilket bedömdes som rimligt. För att verifiera detta genomfördes tester för att mäta strömförbrukningen. Eftersom det skulle ta lång tid att låta batteriet ta slut av sig själv analyserades strömförbrukningen i stället i viloläge, vid en mätsekvens, samt vid en kombinerad mät- och dataöverföringssekvens via Narrowband Internet of things (NB-IoT)(11). Baserat på dessa mätningar kunde batteritiden beräknas vid olika mätfrekvenser. De tre mätfrekvenserna som testades var:

1. Mäta en gång per minut, skicka data en gång var 10e minut.
2. Mäta en gång var 10e minut, skicka data en gång i timmen.
3. Mäta en gång per timme, skicka data en gång per dygn.

2.3 Sensorer monterades i fält för att utvärdera tekniken och prototypen

AI-tekniken som utvecklades genom arbetet på Hammarby Sjöstadsverk implementerades i sensorprototyper i samarbete med det franska företaget EEware. Prototyperna och sensortekniken utvärderades genom mätningar i olika förhållanden i tre olika städer;

i) Göteborg - dagvattenbrunn samt på två mätpunkter i anslutning till en dagvattendamm, sommaren 2023
ii) Stockholm - fem platser i olika brunnar, med fokus på kombinerade dag- och spillvattenledningar, hösten 2023
iii) Malmö - två spillvattenbrunnar, vintern 2023–2024.

Urvalet av brunnar ansågs vara representativt för att kunna säga något om teknikens potential i verkliga förhållanden, då urvalet innebar en variation i både avstånd till vattenytan (ca 50 – 200 cm) och förväntade turbiditetsnivåer (ca 0 – 150 FNU). Mätningarna skedde dessutom under olika årstider och innebar därmed årstidsvariationer i nederbörd och olika temperatur- och fuktförhållanden. Resultaten från mätningarna analyserades utifrån både prototyp- och

teknikperspektiv. Exempelvis kunde fukt på insidan av linsen härledas till begränsningar i prototyperna, medan hög turbulens i vattnet satte begränsningar för själva sensortekniken. En viktig detalj är att mätningarna i fält ej gjordes i kombination med referensmätare, på grund av utmaningarna som tidigare nämnts i avsnitt 1.2, vilket påverkar vilka slutsatser man kan dra av mätningarna.

För att kunna göra kopplingar mellan data från prototypen och nederbörd användes publika nederbördsdata från NetAtmo(12) då dessa har högre rumslig och tidsmässig upplösning än de officiella mätdata som lokala/nationella aktörer publicerar.

3 Resultat

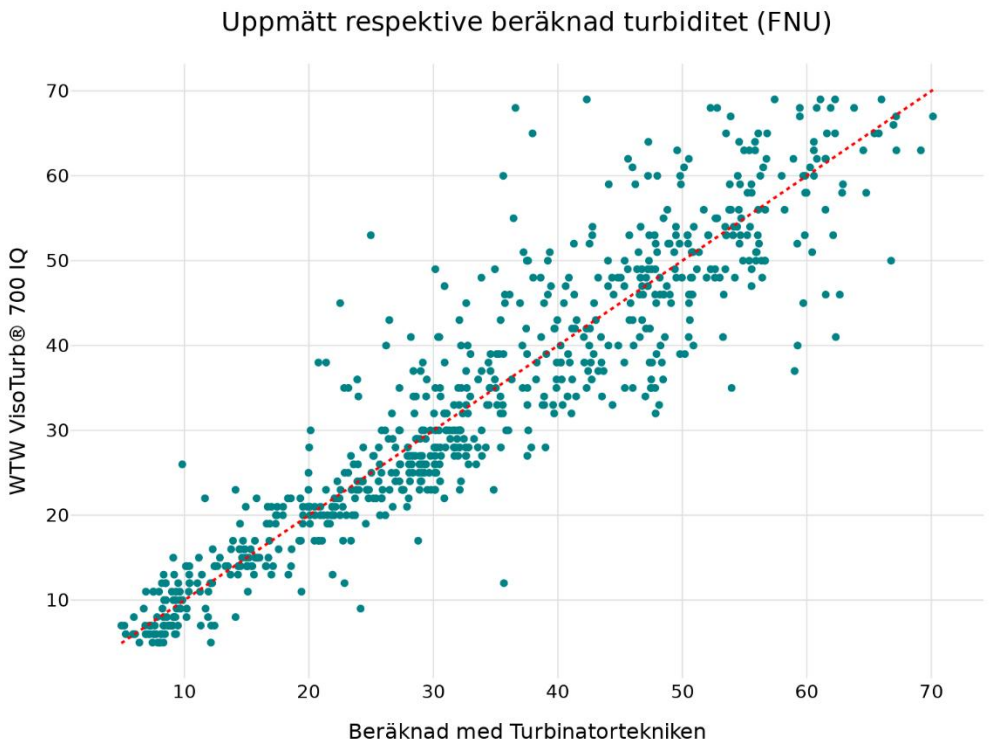
Insamlingen av data på Hammarby Sjöstadsverk resulterade i ett AI-system med en genomsnittlig avvikelse från referensmätarens (WTW VisoTurb 700 IQ) turbiditetsmätning på 13,6%. Mätningarna i Göteborg, Stockholm och Malmö skedde utan parallell mätning med referensinstrument vilket innebär att slutsatser om prestanda inte går att dra. Mätserierna från Göteborg visar däremot tydliga trender i turbiditet och vattennivå, vilket indikerar teknikens potential i fält. Vissa prototyper och monteringsplatser uppvisade fuktrelaterade problem, i synnerhet i Malmö.

3.1 AI-tekniken kan efterlikna referens-sensorer

Teknikens prestanda utvärderades genom att jämföra uppmätta turbiditetsvärden med referensvärden i den kontrollerade miljön på Hammarby Sjöstadsverk, vilket visas i Figur 3. Analysen visar att teknikens prediktioner ligger nära referensvärdena med en genomsnittlig procentuell avvikelse på 13,55%, en genomsnittlig avvikelse på 4,53 FNU och en standardavvikelse på 6,40 FNU, vilket visas i Tabell 1.

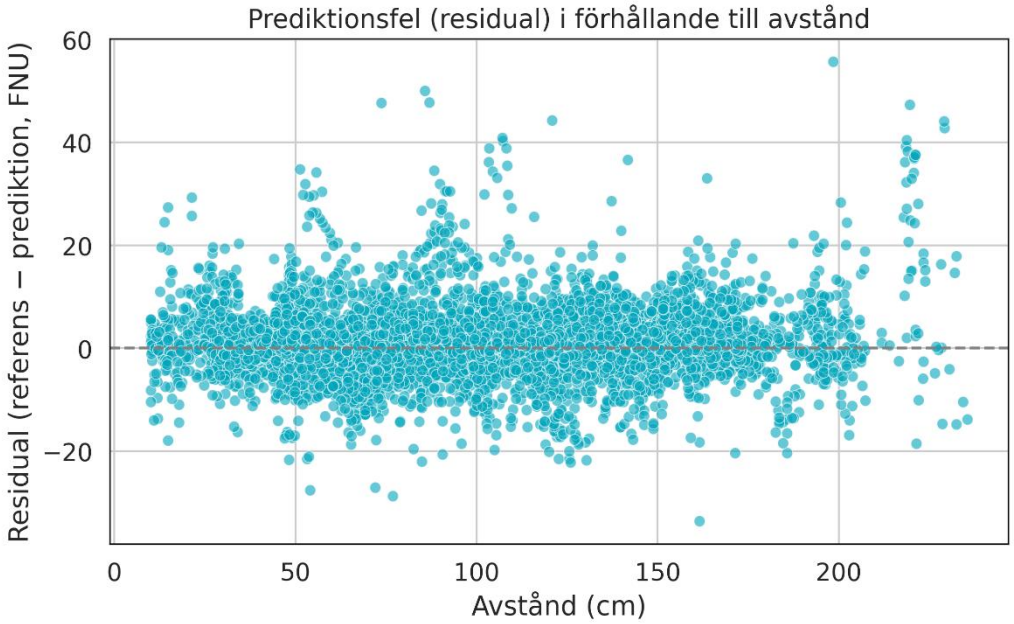
Tabell 1: Turbinatorteknikens prestanda, utvärderad i utvecklingsbrunnen på Hammarby Sjöstadsverk. Avvikelsen är jämfört med referensmätaren.

Mätområde turbiditet	10–70 FNU
Avstånd mellan sensor och vattenyta	50–170 cm
Genomsnittlig avvikelse	4,53 FNU
Genomsnittlig procentuell avvikelse	13,55%
Standardavvikelse	6,40 FNU



Figur 3: Diagram över sambandet mellan referenssensorn (y-axeln) och Turbinatortekniken (x-axeln). Ett perfekt resultat hade inneburit att alla prickar låg längs den streckade röda linjen.

Vidare visar analysen att avståndet till vattenytan, upp till 170 cm, inte har någon signifikant påverkan på sensorprestandan vilket visas i Figur 4. Detta har verifierats genom en mycket låg korrelationskoefficient (-0,1464) mellan avstånd och residualer, vilket innebär att sensortekniken kan användas till turbiditetsmätningar oberoende av avståndet inom detta intervall.



Figur 4: Diagram över förhållandet mellan residualen (y-axeln) och avståndet till vattenytan (x-axeln). Fördelningen visar att sensorprestandan inte påverkasav mätavståndet upp till 170 cm

3.2 Prototypens batteri håller i upp till tre år

Prototypen har, något förenklat, tre driftlägen: standby, mätning, samt mätning och dataöverföring via NB-IoT. En sammanställning av strömförbrukningen för varje läge visas i Tabell 2. För att uppskatta batteritiden i verkliga scenarier har de tre mätfrekvenser som implementerades under projektet använts som exempel.

Tabell 2: Strömförbrukningen för de tre olika lägena som prototypen kan befinna sig i.

	Strömförbrukning (snitt)	**Tid att genomföra**
Standby	0,0125 mA	-
Mäta	135 mA	9 sekunder
Mäta + skicka data	57 mA	40 sekunder

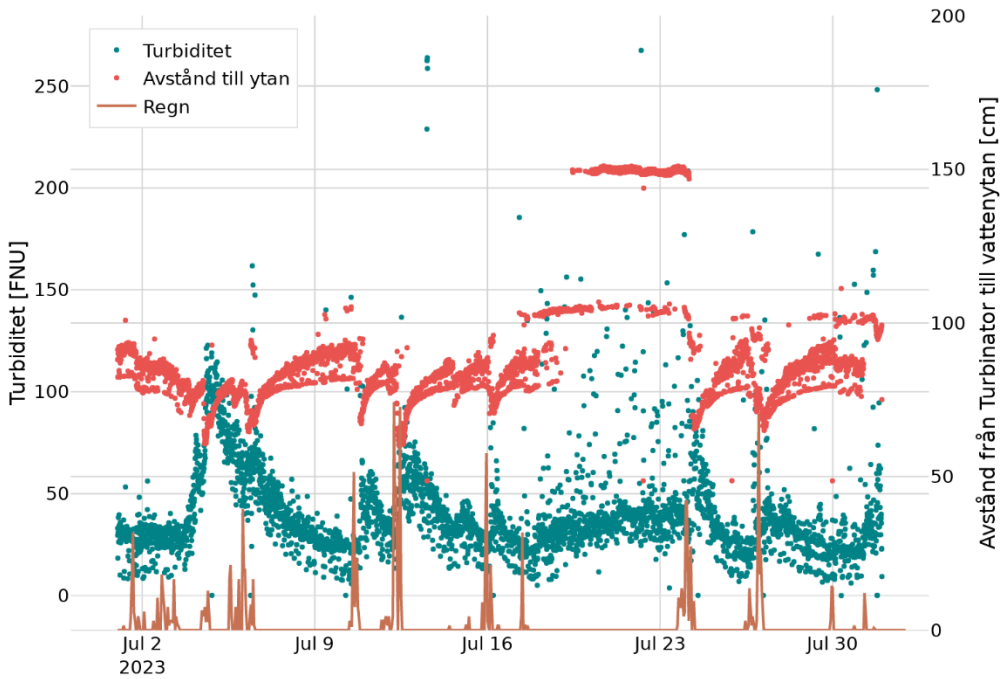
Resultatet i Tabell 3 visar att målet om tre års batteritid uppfylls vid mätning en gång i timmen och datakommunikation en gång per dygn.

Tabell 3: Den uträknade batteritiden för varje mätfrekvens. Batteritiden i tabellen bygger på att mäta strömförbrukningen i olika lägen och sedan räkna fram en teoretisk batteritid.

Mätfrekvens	**Uppskattad batteritid**
Mät en gång per minut, skicka data var 10e minut	20 dagar
Mät en gång var 10e minut, skicka data en gång i timmen	188 dagar
Mät en gång i timmen, skicka data en gång per dygn	1 208 dagar (3,3 år)

3.3 Mätningar i fält

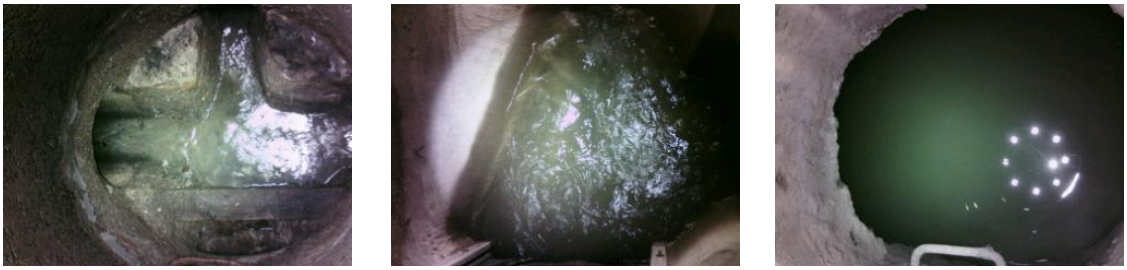
Mätningar genomfördes, som beskrivits ovan, i olika brunnstyper och brunnsförhållanden. I Figur 5 visas hur den uppmätta turbiditeten varierar under juli 2023 vid utloppet från en dagvattendamm i Göteborg. Eftersom tekniken mäter avståndet till vattenytan och inte vattenpelarens höjd så är det också det som visas i figuren.



Figur 5: Turbiditet och avståndet från Turbinatorprototypen till vattenytan. När turbiditeten ökar, till exempel runt 4 juli, så minskar samtidigt avståndet till vattenytan. Notera att det är avståndet från Turbinatorn till vattenytan som visas, med andra ord stiger vattennivån när de röda punkterna visar lägre värden. Nederbörden som visas är median-nederbörden i Göteborgsområdet.

Mätdata i Figur 5 visar efterbehandlade data, vilka har högre kvalitet än de data som kommer direkt från prototypen, vilket diskuteras i avsnitt 4.3.

Utöver att visa på potentialen i sensortekniken visade fälttesterna också på möjligheten att använda tekniken för att ta inspektionsbilder i ledningsnätet, vilket visas i Figur 6 från tre olika brunnar. Dock led flera av prototyperna av fuktproblem på linsen vilket gjorde att inspektionsbilderna snabbt blev otydliga.



Figur 6: Inspektionsbilder från sensorprototyper i tre olika brunnar i fält vilket påvisar möjligheten att använda tekniken för att undvika manuella inspektioner.

4 Diskussion

Projektet har visat att turbiditetsmätning utan direkt kontakt med vattnet är fullt möjlig. Tekniken, som tidigare bara fungerat teoretiskt, har visat sig fungera praktiskt i tester vid Hammarby Sjöstadsverk. En genomsnittlig avvikelse på ±14 % FNU vid turbiditetsmätningar bekräftar att tekniken är användbar för systemtjänster inom övervakning och underhåll av ledningsnät. Det finns dock behov av ytterligare tester för att utforska hur dessa tjänster kan tillämpas mer omfattande, särskilt i samband med turbiditets- och nivåmätningar i brunnar.

4.1 Tekniken klarar längre avstånd men prototypen möter fuktutmaningar

Ett större avstånd från Turbinatorn till vattenytan misstänktes inledningsvis leda till osäkrare turbiditetsmätningar, vilket motbevisades i testerna på Hammarby Sjöstadsverk (se avsnitt 3.1). Misstanken föranleddes av att det på längre håll finns färre pixlar för den artificiella hjärnan att använda som underlag för mätningen, men slutsatsen blir att turbiditetsmätning kan ske med oförminskad prestanda upp till åtminstone 170 cm avstånd till ytan (se Figur 4). Däremot finns det ofrånkomliga teoretiska begränsningar för avståndsmätningen relaterade till kamerans begränsningar då, mätupplösningen minskar med ökat avstånd till ytan och är, med projektets prototyp som exempel, 6,6 mm på tre meters avstånd. Det betyder att vid en avståndsmätning på tre meters avstånd så kan avståndet som bäst bestämmas med en osäkerhet på ±3,3 mm.

Teknikens förmåga att mäta turbiditeten uppmättes i testmiljö på Hammarby Sjöstadsverk vilket innebär enklare förutsättningar än i en riktig brunn. I en verklig miljö finns utmaningar såsom regn, smuts, varierande temperatur och hög luftfuktighet. Det är en miljö som ställer höga krav på utrustning som ska befinna

sig där under lång tid. Under projektet har framför allt utmaningar relaterade till fukt visat sig i form av att bilder blivit suddiga. Det har trängt in fukt i prototyperna som använts i projektet vilket innebär att de inte varit så vattentäta som de hade behövt vara. Det går dock inte att säga om fukten som synts på bilder varit ett resultat av fukt på utsidan eller insidan av prototyperna. Fukten på insidan är inget problem på sikt när en mer produktnära prototyp tas fram. Fukt på utsidan bör däremot tas i beaktning vid framtida prototypdesign, det kommer sannolikt vara en utmaning även framöver om tekniken ska användas i så utmanande miljöer som dag- och spillvattenbrunnar.

4.2 Genom smart planering av uppkoppling kan livslängden maximeras

För att en sensorinstallation på en otillgänglig plats ska anses vara meningsfull, bör sensorn kunna fungera utan underhåll under en tillräckligt lång tid, samtidigt som den producerar värdefulla data. I projektets diskussioner med behovsägarna angavs tre år som ett riktmärke för hur länge en sensor, som exempelvis Turbinatorprototypen, bör klara sig på batteri för att installationsinsatsen ska vara motiverad. Detta mål kunde uppnås genom att mäta en gång per timme och kommunicera data en gång per dygn. Då uppkopplingen drar mest ström, är frekvensen för uppkoppling avgörande för batteriets livslängd. Behovet av hög mätfrekvens i ledningsnätet är sällan stort, vilket innebär att betydande batterisparande kan uppnås genom att justera mätfrekvensen baserat på extern information, som till exempel prognoser för regnoväder. Ändringar i mätfrekvensen kan göras via NB-IoT, men med vissa begränsningar. Sensorn kan endast kommunicera och ändra mätfrekvens vid de tillfällen den kopplar upp sig, vilket innebär att om den är inställd på att koppla upp sig en gång i veckan, kan fördröjningen vid frekvensjustering vara upp till en vecka.

NB-IoT som kommunikationsprotokoll har visat sig vara ett bra val när det kommer till att skicka data från brunnar med gjutjärnslock. I vissa brunnar har det dock märkts att det varit något svårare att skicka data vilket inneburit att varje meddelande inte kunnat skickas. Genom att buffra mätningar på sensorn och sedan skicka all buffrad information när väl uppkoppling finns så har detta kunnat hanteras och därmed innehåller tidsserien inga avbrott. Nackdelen blir att mottagaren av data får vänta längre på att få mätvärden.

4.3 Identifierade utvecklingsområden för sensorprototypen kan öka prestandan

För att öka prestandan i fält på den nuvarande sensorprototypen och därmed närma sig prestandan som uppnåtts under kontrollerade förhållanden har analysen av resultaten från mätningarna i fält identifierat följande två viktiga utvecklingsområden:

1. Prototypen har en förenklad metod för att lokalisera laserpricken i bilden vilket gör att det inte alltid är säkert att rätt punkt hittas på grund av exempelvis ljusreflektioner. Bilden där laserpricken lokaliseras sparas dock, vilket gjort det möjligt att analysera bilderna med en mer avancerad funktion i efterhand.
2. I dagsläget sker beräkningen av turbiditeten på prototypen med vissa nödvändiga avrundningar, s.k. kvantisering, för att energiförbrukningen ska kunna hållas låg. På samma sätt som med lokaliseringen av laserpricken går det dock att efterprocessera bilderna med högre precision.

Dessa två utvecklingsområden beror på hårdvarubegränsningar i prototypen och begränsar inte själva mättekniken.

Vidare har sensorprototypen under projektets gång bidragit till insikter om vad en kamera installerad i brunnarna kan bistå med, vilket är att potentiellt reducera antalet manuella inspektioner för VA-organisationer. En begränsning är dock att det för tillfället inte är möjligt att på distans överföra bilder från sensorn så att driftspersonal kan granska dessa i stället för att behöva besöka platsen. Anledningen till detta är att bildöverföring kräver mycket energi, vilket i sin tur kraftigt påverkar batteritiden. Framtida utveckling bör därför beröra att skicka bilder och/eller utvärdera hur man kan använder till exempel AI för att tolka bilderna på plats och sedan skickar analysresultatet, motsvarande vad driftspersonal hade dragit för slutsats, i stället för att skicka bilden.

4.4 Systemtjänster baserade på turbiditetsmätning kan optimera underhåll och öppna nya marknader

Systemtjänster kan till exempel innebära att förutspå belastningen på rör i ledningsnätet utifrån tesen att högre turbiditet i anslutning till röret indikerar en större uppbyggnad av sediment. Denna information kan användas för att avgöra när ett rör behöver spolas – en åtgärd som redan görs idag, men då utifrån fasta

tidsintervall. Andra exempel är tidiga varningar vid större utsläpp som påverkar turbiditet och vattennivå, eller identifiering av otillåtna och återkommande utsläpp i ledningsnätet.

Även om en avvikelse på ±14 % vid turbiditetsmätning inte är tillräcklig för att ersätta mätningar i vatten eller laboratorier, är den ändå nog för att ge värdefullt underlag till dessa systemtjänster. Turbinatortekniken fungerar därmed som ett komplement till labbanalyser eller nedsänkt mätutrustning med sämre mätupplösning men har styrkan att kunna mäta under lång tid med avsevärt mindre underhållsbehov än nedsänkt mätutrustning.

Tekniken skapar förutsättningar för en helt ny marknad, snarare än att ersätta en befintlig. Detta innebär att en marknad för en Turbinator-produkt inte existerar på förhand, utan behöver byggas i samverkan med framtida kunder. Dessa behöver kunna se hur lösningen på sikt kan bidra till att spara resurser och skapa värde.

4.5 Ytterligare behov kan mötas med hjälp av en sensor av denna typ

Under projektets gång har fler möjliga applikationer med sensortekniken och därigenom möjliga nyttor framkommit, till exempel följande:

- Tidiga varningar vid föroreningar
- Prediktivt underhåll av ledningsnätet för spill- och dagvatten vilket ger ökad kapacitet med mindre risk för miljöpåverkan och översvämningar
- Färre manuella inspektioner vilket leder till effektivare arbete och mindre störningar i trafiken
- Längre livslängd på ledningarna genom att endast spola rent vid behov
- Detektion av läckor genom att fånga trender och koncentrationer över tid mellan flera ledningar

För att kunna dra nytta av sensorteknikens potential är det viktigt att arbetet och forskningen inom detta område fortsätter. Tillämpningarna visar på betydande möjligheter, men det finns som beskrivet fortfarande delar att utforska och utveckla. Fortsatt arbete inom området är därför önskvärt för att möta framtidens utmaningar och skapa ett smartare och mer resilient samhälle.

5 Referensförteckning

1. Matos T, Martins MS, Henriques R, Goncalves LM. A review of methods and instruments to monitor turbidity and suspended sediment concentration. J Water Process Eng. 01 juli 2024;64:105624.
2. HannaNorden AB [Internet]. [citerad 12 augusti 2025]. HI-93703C Portable Turbidity Meter kit. Tillgänglig vid: https://www.hannainst.se/sv/hem/1416-portable-turbidity-meter-kit
3. OBS501 - Smart Turbidity Meter with Antifouling Features [Internet]. [citerad 12 augusti 2025]. Tillgänglig vid: https://www.campbellsci.com/obs501
4. Wang M, Shi B, Catsamas S, Kolotelo P, McCarthy D. A Compact, Low-Cost, and Low-Power Turbidity Sensor for Continuous In Situ Stormwater Monitoring. Sensors. 2024;24(12).
5. O1D distance sensors - ifm [Internet]. [citerad 13 januari 2025]. Tillgänglig vid: https://www.ifm.com/de/en/category/200_010_020_010_180#/best/1/100
6. Ultrasonic sensor for continuous level measurement of liquids and bulk solids - VEGASON 61 [Internet]. [citerad 13 januari 2025]. Tillgänglig vid: https://www.vega.com/en-ca/products/product-catalog/level/ultrasonic/vegason-61
7. Smart Submersible Water Level Sensor | LoRaWAN® Water Level Sensor | Milesight [Internet]. [citerad 13 januari 2025]. Tillgänglig vid: https://www.milesight.com/iot/product/lorawan-sensor/em500-swl
8. Capacitance level measurement - Liquicap FMI51 | Endress+Hauser [Internet]. [citerad 13 januari 2025]. Tillgänglig vid: https://www.se.endress.com/sv/f%C3%A4ltinstrumentering-fl%C3%B6de-niv%C3%A5-tryck-temperatur-analys/Kontinuerlig-niv%C3%A5m%C3%A4tning-niv%C3%A5detektering-i-v%C3%A4tskor-och-bulkmaterial/Capacitance-level-Liquicap-FMI51?t.tabId=product-overview
9. Radar level sensor THE 6X® - VEGA [Internet]. [citerad 13 januari 2025]. Tillgänglig vid: https://www.vega.com/en-ca/products/product-catalog/level/radar/vegapuls-6x
10. Smart realtidsövervakat VA-system i Kristianstad - SSTT [Internet]. [citerad 13 januari 2025]. Tillgänglig vid: https://www.sstt.se/?cid=3530
11. Narrowband – Internet of Things (NB-IoT) | Internet of Things [Internet]. [citerad 13 januari 2025]. Tillgänglig vid: https://www.gsma.com/solutions-and-impact/technologies/internet-of-things/narrow-band-internet-of-things-nb-iot/
12. Netatmo Connect | Weather API Documentation [Internet]. [citerad 14 januari 2025]. Tillgänglig vid: https://dev.netatmo.com/apidocumentation/weather

STOCKHOLM
Box 21060, 100 31 Stockholm

GÖTEBORG
Box 53021, 400 14 Göteborg

MALMÖ
Nordenskiöldsgatan 24
211 19 Malmö

KRISTINEBERG
(Center för marin forskning och innovation)
Kristineberg 566
451 78 Fiskebäckskil

SKELLEFTEÅ
Kanalgatan 59
931 32 Skellefteå

BEJING, CHINA
Room 612A
InterChina Commercial Building No.33
Dengshikou Dajie
Dongcheng District
Beijing 100006
China

© IVL SVENSKA MILJÖINSTITUTET AB | Tel: 010-788 65 00 | www.ivl.se

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