sweden water research

Urbana bad

Carolina Suarez
Ellinor M. Frank, Isabel K. Erb, Therese Jeppson,
Niklas Gador, Carina Svensson, Catherine J. Paul

Urbana bad

Huvudförfattare

Carolina Suarez, Sweden Water Research

Bidragande författare

Ellinor M. Frank, Sweden Water Research

Isabel K. Erb, Sweden Water Research

Therese Jeppson, VA SYD

Niklas Gador, Högskolan Kristianstad

Carina Svensson, Sweden Water Research

Catherine J. Paul, Lunds universitet

Sweden Water Research, 2025

Innehållsförteckning

Sammanfattning **2**
Bakgrund **3**
Undersökning av källor till dålig badvattenkvalitet **5**
Inre Barnviken 5
Viktiga punkter 5
Problem 5
Forskning 6
Slutsatser 6
Helsingborg **8**
Viktiga punkter 8
Problem 9
Forskning 9
Slutsatser 10
Framtidsutsikter 11
Snabb övervakning av badvattenkvalitet **12**
Viktiga punkter 12
Bakgrund 12
Onlineövervakning av fekala indikatorbakterier 13
Installation och provtagning 13
Resultat 13
Utmaningar 14
Begränsningar 14
Möjligheter 15
Flödescytometri för att bedöma badvattenkvalitet 15
Utmaningar 16
Rekommendationer **17**
Rekommendationer för Inre Barnviken 17
Ytterligare rekommendationer 17
Rekommendationer för Helsingborg 18
Ytterligare rekommendationer 18
Lista över publikationer och rapporter **19**
Fackgranskade vetenskapliga artiklar 19
Opublicerade rapporter 19
Avhandlingar och rapporter 19

Referenser **21**
Erkännanden **21**

Sammanfattning

Projektet Urbana bad har genomförts under 2020-2025 med två huvudmål; att utforska orsakerna till dålig badvattenkvalitet vid stränder i Helsingborg och Inre Barnviken, Malmö och innovativa metoder för realtidsövervakning av vattenkvaliteten.

Vid Inre Barnviken har fekala indikatorbakterier rapporterats vid upprepade tillfällen, vilket resulterar i frekvent dålig badvattenkvalitet. Inledningsvis föreslogs Hammarsbäck och dess källa, kalkbrottet i Limhamn, som föroreningskällor. Forskningen fokuserade därför på Hammarsbäck, från källa till utlopp, vilket visade att den primära föroreningskällan ligger nedströms i Hammars park - inte i floden. Forskning har också bekräftat att föroreningarna inte kommer från kalkbrottet i Limhamn utan den exakta föroreningskällan är okänd.

I Helsingborg är dålig vattenkvalitet ett återkommande problem för några av stränderna och observeras ibland vid torrt väder, vilket indikerar ytterligare källor utöver dagvatten eller ytavrinning. Man undersökte om resuspension av förorenade sediment kunde vara en möjlig förklaring. Forskning visade att sediment från Helsingborgs stränder kan innehålla fekala indikatorbakterier, där några av dem eventuellt kan vara skadliga och sannolikt kommer från flera källor, inklusive renat avloppsvatten. Det finns betydande variationer i vattenkvaliteten mellan närliggande stränder, vilket understryker hur komplext problemet är.

Det andra syftet med projektet var att undersöka de traditionella bakteriella odlingsmetoderna, som tar flera dagar att ge resultat. Projektet testade två snabba alternativ: onlineövervakning av fekala indikatorbakterier och flödescytometri.

Båda metoderna visar lovande resultat och möjliggör mätningar på bara några minuter. Direkt jämförelse med standardmetoder är dock utmanande på grund av metodikskillnader. I synnerhet mäter flödescytometri alla bakterier snarare än specifika typer, vilket gör det oklart hur resultaten effektivt kan användas för badvattenövervakning. För att hantera detta används maskininlärning för att hjälpa till att utvärdera data. Ytterligare utmaningar inkluderar behovet av dedikerad infrastruktur och personal, samt de praktiska svårigheterna att använda utrustningen i en kustmiljö, särskilt under stormar.

Bakgrund

Projektet Urbana bad, som leds av Sweden Water Research sedan 2020, undersökte badvattenfrågor i Helsingborg och Malmö. Det var ett nära samarbete mellan de två städerna Helsingborg och Malmö tillsammans med Lunds universitet, Kristianstad Högskola och de två vattenverken NSVA (Helsingborg) och VA SYD (Malmö). Forskningen leddes av Catherine Paul som vetenskaplig ledare, med medverkan av både seniora forskare, två doktorander och flera masterstudenter. Det ekonomiska stödet till projektet var ett gemensamt bidrag från städerna, vattenverken och Sweden Water Research.

Fritidsvattenanvändning, inklusive bad, är en populär aktivitet under sommaren i både kust- och inlandsområden. Att övervaka badvattenkvaliteten är avgörande för att förhindra hälsorisker i samband med dålig vattenkvalitet (WHO 2021). I Sverige regleras den mikrobiologiska kvaliteten på badvatten enligt det europeiska badvattendirektivet (direktiv 2006/7/EG) och de svenska föreskrifterna HVMFS 2012:14, där *Escherichia coli* (*E. coli*) och intestinala enterokocker används som indikatorer på fekal förorening.

Förbättringar av badvattenkvaliteten i hela Europa har uppnåtts på grund av dessa förordningar (EES, 2020). Begränsningar i nuvarande mikrobiologiska övervakningsmetoder kvarstår dock:

- Även om dålig vattenkvalitet kan identifieras på en badplats är de bakomliggande orsakerna ofta oklara utan ytterligare undersökning.
- Standardmetoder bygger på bakteriell odling, vilket medför flera dagars fördröjning mellan provtagning och resultatrapportering (Demeter et al., 2020).
- Föroreningshändelser med kort varaktighet kan leda till felaktiga bedömningar av vattenkvaliteten, eftersom den provtagningsfrekvens som används vid vattenövervakning ofta är otillräcklig för att upptäcka dem. (Boehm, 2007).

I södra Sverige har dålig badvattenkvalitet upprepade gånger rapporterats för stränder längs Öresund. Detta är fallet för Inre Barnviken i Malmö och kuststränder i Helsingborgs stadsområde. Vid Inre Barnviken har badvattenkvaliteten varit problematisk i många år. Tidigare forskning pekade på Hammarsbäck och kalkbrottet i Limhamn som potentiella föroreningskällor. För Helsingborg observeras ibland förorening under torra perioder, vilket tyder på okända källor. Marina sediment har identifierats som en möjlig reservoar för fekala indikatorbakterier (Paul et al., 2019).

Projektet Urbana bad, som leds av Sweden Water Research, började undersöka dessa frågor i augusti 2020. Projektet byggde vidare på tidigare studier som genomförts vid Lunds universitet (Paul 2019, Frank 2020, Persson 2020). Under projektet genomfördes undersökningar av orsakerna till dålig vattenkvalitet i både Helsingborg och Barnviken, samt en utvärdering av metoder för onlineövervakning av badvattenkvalitet.

Resultaten som sammanfattas i denna rapport syftar till att ge insikter som är begripliga och användbara för både vetenskapliga och allmänna målgrupper. Resultat från vetenskapliga studier

som fortfarande är opublicerade vid tidpunkten för skrivandet av denna rapport (oktober 2024) nämns endast kort här, eftersom analys och tolkning av resultat pågår.

Undersökning av källor till dålig badvattenkvalitet

Detta avsnitt är uppdelat i två delar, motsvarande de två studieplatser som undersökts i projektet Urbana bad: Inre Barnviken och Helsingborg.

Inre Barnviken

Viktiga punkter

Fekala indikatorbakterier som överskrider lagliga gränser rapporteras ofta, vilket resulterar i ett permanent badförbud och avregistrering som en EU-strand.

- Hammarsbäck, som rinner ut i Barnviken, och dess källa, kalkbrottet i Limhamn, misstänktes tidigare som potentiella föroreningskällor.
- Detaljerade provtagningskampanjer som genomfördes under 2022 och 2023 identifierade höga koncentrationer av *E. coli* i Hammarsbäck.
- Kalkbrottet i Limhamn uteslöts som en viktig källa till *E. coli* i Hammarsbäck. Istället verkar föroreningarna ha sitt ursprung nedströms i Hammars park.
- *E. coli* vid Hammarsbäck utgör inte bara en indirekt hälsorisk för allmänheten som indikatorer för fekal förorening utan är också en potentiell direkt hälsorisk för badande.
- Med tanke på osäkerheten kring ursprunget till *E. coli* och de potentiella riskerna för badare rekommenderar vi att badförbudet vid Inre Barnviken upprätthålls.

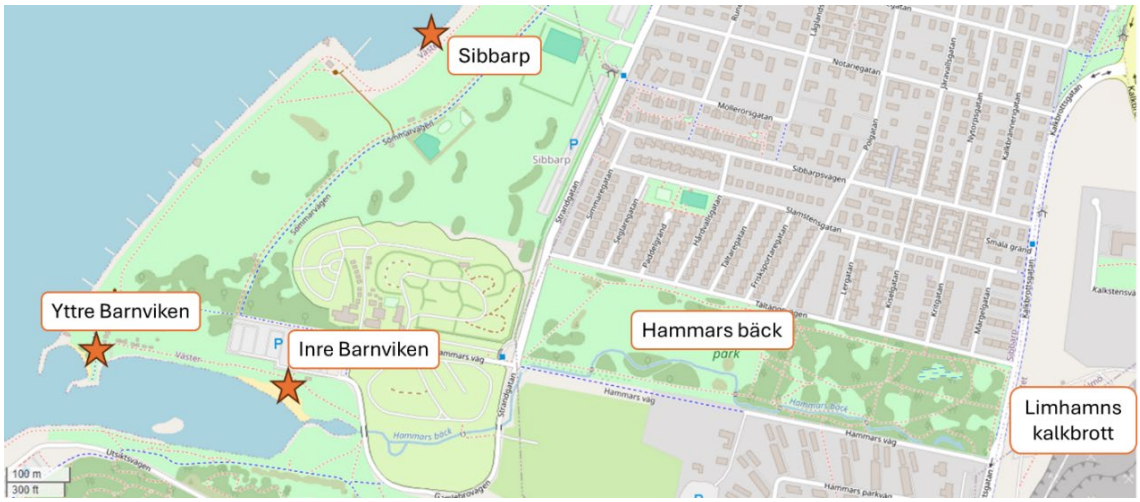

Bild 1. Karta över Barnviken och Hammars park. Modifierad från OpenStreetMap (hämtad 2024-08-29). Stränder indikeras med en stjärna.

Problem

Dålig badvattenkvalitet har varit ett ständigt problem vid Inre Barnviken, med höga nivåer av fekala indikatorbakterier som leder till frekventa stängningar och omfattande mediabevakning. Stranden avregistrerades slutligen som en EU-badplats.

Till skillnad från närliggande stränder som Yttre Barnviken och Sibbarp, vilka i regel uppvisar god vattenkvalitet, tycks föroreningen vid Inre Barnviken vara lokalt begränsad. Hammarsbäck, en bäck som har sitt ursprung i kalkbrottet i Limhamn, identifierades som en möjlig föroreningskälla. Vatten pumpas aktivt från kalkbrottet för att förhindra översvämningar, och flödet passerar genom Hammars Park innan det mynnar ut i Barnviken.

Forskning

För att undersöka om Hammarsbäck bidrar till föroreningarna vid Inre Barnviken genomfördes en rad undersökningar under 2022 och 2023 i samarbete med Lunds universitet. Dessa inkluderade:

- Provtagning vid flera punkter längs Hammarsbäck från källan till utloppet: vid Yttre Barnviken, Inre Barnviken, Hammarsbäcksmynningen och Limhamns kalkbrott (Erb, 2022b). Mer detaljerad och frekvent provtagning vid olika punkter längs Hammarsbäck gjordes under 2023 (Dwita 2023, Dwita 2024).
- Detaljerad analys av *E. coli*-koncentrationer i bäcken (Dwita 2024).
- Bedömningar av potentiella hälsorisker med *E. coli*-stammar som påträffats i Hammarsbäck har genomförts (Dwita 2024).
- En statistisk analys som inkluderar väderdata har genomförts för att identifiera möjliga korrelationer med vattenkvaliteten (Gullberg 2024).

Bild 2: Koncentrationer av de fekala indikatorbakterierna *Escherichia coli vid* Hammarsbäck. Endast de högsta observerade värdena under undersökningarna 2022 och 2023 visas.

Slutsatser

Genom provtagning längs hela Hammarsbäck, från källan till utloppet, fann man att:

- Den sämsta vattenkvaliteten, det vill säga de högsta koncentrationerna av E. coli, uppmättes i bäcken, vilket tyder på att nedströmsflödet av förorenat vatten är en betydande faktor som påverkar badvattenkvaliteten vid Inre Barnviken.
- Eftersom *E. coli*-koncentrationerna var låga vid kalkbrottet och i Hammarsbäcks övre del är det osannolikt att kalkbrottet är den främsta källan till *E. coli*-förorening i Hammarsbäck och Inre Barnviken.
- I Hammarsbäck identifierades den plats med sämst vattenkvalitet strax söder om Hammars park, i närheten av en gångbro där vattenstagnation förekommer (bild 3). Detta indikerar att

föroreningskällor kan finnas i närheten och att förhållandena i denna del av bäcken kan främja dålig vattenkvalitet.

- Under badsäsongen 2023 kunde inga tydliga samband mellan väderförhållanden och vattenkvaliteten vid Hammarsbäck observeras. Tidigare på våren föreföll dock ökade vattentemperaturer och nederbörd korrelera med högre *E. coli*-koncentrationer.
- Vissa *E. coli*-stammar som påträffades i Hammarsbäck uppvisade antibiotikaresistens och potentiell virulens, vilket utgör en möjlig hälsorisk för allmänheten.

Bild 3: Plats med sämst vattenkvalitet vid Hammarsbäck under 2023. Sydväst om Hammars park (55° 34' 17.816" N, 12° 54' 46.056" E)

Helsingborg

Viktiga punkter

- Dålig badvattenkvalitet rapporteras ibland vid flera stränder. Man har föreslagit resuspension av förorenade sediment som en möjlig förklaring till detta.
- Som en del av projektet Urbana bad samlades sediment- och vattenprover in i Helsingborg under perioden 2019 till 2021.
- De fekala indikatorbakterierna *E. coli* påträffades i kustnära marina sediment i Helsingborg.
- Det finns flera föroreningskällor till sedimenten, däribland avloppsvatten från både renade och orenade avloppsutsläpp (WWTP och CSO), samt sannolika bidrag från andra källor.
- Vissa *E. coli*-stammar i Helsingborgs sediment utgör inte bara en indirekt hälsorisk för allmänheten som indikatorer på fekal förorening, utan även en potentiell direkt hälsorisk för badande.
- Preliminär forskning tyder på att föroreningsmönstren vid Helsingborgs stränder är lokala, vilket innebär att det finns tydliga föroreningskällor eller specifika förhållanden som bidrar till försämrad vattenkvalitet även mellan stränder som ligger nära varandra.

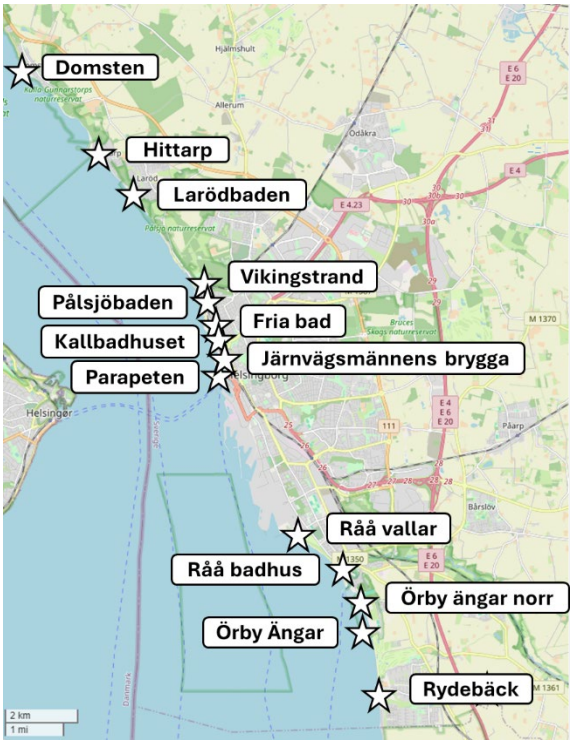

Bild 5: Placering av EU-klassade badstränder i Helsingborg längs Öresundskusten. Modifierad från OpenStreetMap (hämtad 2024-08-29). Stränder indikeras med en stjärna.

Problem

Mellan 2010 och 2024 förekom flera tillfällen vid Helsingborgs stränder då koncentrationerna av fekala indikatorbakterier var alarmerande höga och överskred gränsvärdena för godkänt badvatten (bild 6). Dessa incidenter inträffade vid de flesta av Helsingborgs EU-klassade badstränder, men var särskilt frekventa vid Vikingstrand, Hittarp och Fria Bad. Antalet förekomster var märkbart högt under 2018 och 2019 (data från HaV), vilket ledde till avrådan från bad och omfattande mediabevakning (Hjortsman, 2018; Sköldqvist, 2019).

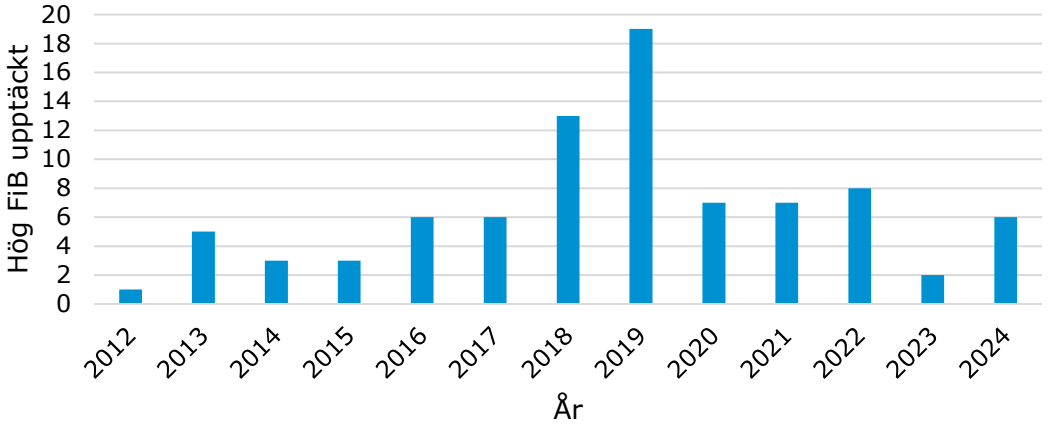

Bild 6. Antal tillfällen mellan 2010 och 2024 då höga koncentrationer av fekala indikatorbakterier rapporterades i Helsingborg (E. coli > 1000 CFU/100 ml eller Enterokocker > 300 CFU/ml). Data från HaV.

Några av dessa händelser inträffade under perioder med låg nederbörd, vilket tyder på att andra källor än avrinning, dagvatten och kombinerat avloppsflöde (CSO) kan bidra (Paul et al., 2020). Under torrare perioder har marina sediment föreslagits som reservoarer för fekala indikatorbakterier. Denna hypotes stöddes av preliminär forskning som upptäckte livskraftig *E. coli* i Helsingborgs kustnära sediment (Paul et al., 2020; Frank et al., 2020). Källan till *E. coli* i dessa sediment var dock osäker, och det var oklart om de utgjorde en risk för människors hälsa.

Forskning

Mellan 2019 och 2021 samlades vatten- och sedimentprover in längs Helsingborgs kust. Sedimentprovtagning genomfördes under våren och sommaren 2019, 2020 och 2021 för att undersöka källorna till *E. coli* i sedimenten, inklusive eventuell påverkan från avloppsreningsverket i Helsingborg. Dessa prover togs från områden kring reningsverkets utlopp, med en utbredning som sträckte sig en kilometer söderut och tre kilometer norr om utloppet (bild 7).

För att få en bättre förståelse för föroreningsmönster vid stränderna och identifiera möjliga orsaker genomfördes vattenprovtagning vid alla Helsingborgs stränder under badsäsongerna 2020 och 2021. För både vatten- och sedimentprover mättes koncentrationer av *E. coli*, och DNA-sekvensering utfördes för att karakterisera de mikrobiella samhällena och underlätta källspårning (Hägglund et al., 2018). Laboratorieexperiment genomfördes också för att ge en mer detaljerad karakterisering av de *E. coli*-stammar som finns i sedimenten. Dessutom genomfördes modellering av *E. coli*-dispersion i sedimenten. Slutligen analyserades historiska register över badvattenkvaliteten från 1995 till 2023 och jämfördes med motsvarande väderdata från SMHI.

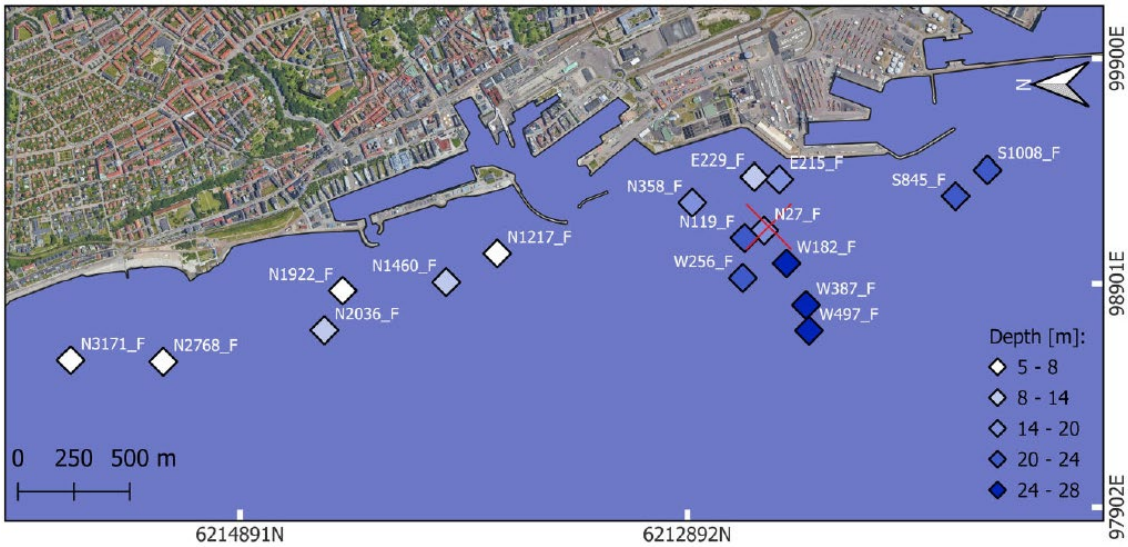

Bild 7. Provtagningsplatser för sediment i Helsingborg. Siffrorna i provnamnen anger avståndet i meter till reningsverkets utloppspunkt. Källa: Erb et al (2024)

Slutsatser

- Historiska föroreningsmönster i Helsingborgs badvatten har lokaliserats, där närliggande stränder ibland samtidigt uppvisar både godkänd och icke godkänd vattenkvalitet. Stränder med genomgående sämre vattenkvalitet inkluderar Vikingstrand, Fria Bad och Hittarp (Frank et al., 2025).
- Marina sediment i Helsingborg innehåller de fekala indikatorbakterierna *E. coli*, vilket gör dem till en potentiell reservoar för dessa bakterier i badvatten (Frank et al., 2024; Erb et al., 2024). Modellering förutspår dock att bidraget från sediment till badvatten är minimalt (Gudmundsson et al., 2024). Detta tyder på att det måste finnas andra föroreningskällor.
- *E. coli* och andra bakterier kopplade till avloppsvatten var vanligare i sediment nära avloppsreningsverkets utlopp, men påträffades även upp till tre kilometer norr om utloppet (Frank et al., 2024; Erb et al., 2024).
- Vissa *E. coli*-stammar i sedimenten, särskilt i närheten av reningsverkets utflöde, visade sig vara potentiellt patogena (Erb et al., 2024).
- Utsläpp från kombinerade avloppsflöden kan tillfälligt förorena sediment med bakterier från obehandlat avloppsvatten (Frank et al., 2024b).

- Dessa fynd tyder på att både renade och orenade avloppsutsläpp – från reningsverket och kombinerade avloppssystem – bidrar till förorening av sedimenten. Det finns dock även bevis för andra okända föroreningskällor (Erb et al., 2024; Frank et al., 2025).

Framtidsutsikter

Förhållandet mellan bakterier i sedimenten och badvattenkvaliteten i Helsingborg förstås fortfarande inte tillräckligt bra. Det är också oklart varför närliggande stränder kan uppvisa drastiska skillnader i vattenkvalitet. Dessutom är påverkan från väder och hydrologiska förhållanden osäker. Eftersom de faktorer som bidrar till försämrad badvattenkvalitet i Helsingborg till stor del är okända, försvårar detta både genomförandet av korrigerande åtgärder och utvecklingen av tidiga förebyggande system.

En mer omfattande analys av badvattenkvaliteten i Helsingborg pågår för närvarande (Frank et al., 2025), och arbetet pågår fortfarande vid tidpunkten för skrivandet av denna rapport.

Användningen av onlineövervakning och maskininlärning för att analysera vattenkvalitetsdata håller också på att undersökas. Dessa metoder kan förbättra vår förståelse av de förhållanden som är kopplade till försämrad badvattenkvalitet och stödja utvecklingen av nya och snabbare metoder för övervakning av vattenkvalitet. Detta behandlas vidare i nästa avsnitt.

Snabb övervakning av badvattenkvalitet

Viktiga punkter

- Att övervaka badvattenkvaliteten med hjälp av kulturbaserade standardmetoder är inte alltid lämpligt för att bedöma den aktuella statusen, eftersom resultaten tar flera dagar att framställa.
- Onlineövervakningssystem ger ett snabbt alternativ, vilket möjliggör frekvent provtagning.
- Två system utvärderades: flödescytometri och onlineövervakning av fekala indikatorbakterier.
- Med automatisk provtagning kan mätningar erhållas på bara några minuter.
- Potentiella tillämpningar inkluderar utveckling av tidiga varningssystem samt användning av data för statistisk analys och maskininlärningsmodeller.
- Mätningar som erhålls via dessa metoder är dock inte direkt jämförbara med dem från kulturbaserade standardmetoder, och som sådana kan de inte ersätta standardmetoder.
- För att onlineövervakningssystem ska fungera effektivt krävs särskild personal och infrastruktur.
- Ytterligare forskning krävs för att bestämma lämpligheten av flödescytometri för övervakning av badvattenkvalitet.

Bakgrund

Förekomsten av fekala indikatorbakterier i badvatten övervakas regelbundet med hjälp av standardmetoder baserade på odling av dessa bakterier (direktiv 2006/7, HVMFS 2012:14). Denna övervakning används för långsiktig klassificering av badplatser enligt deras vattenkvalitet. Den används också för att bedöma den aktuella vattenkvalitetsstatusen och, vid behov, för att avråda allmänheten från att bada i vatten av dålig kvalitet (HaV, 2021).

För övervakning av aktuell status har kulturbaserade metoder två betydande begränsningar:

1. Det finns en fördröjning på flera dagar mellan provtagning och erhållande av resultat.
2. Prover samlas endast in några gånger under badsäsongen.

Som en följd av detta representerar bedömningen av vattenkvaliteten en ögonblicksbild av förhållandena flera dagar tidigare, snarare än de faktiska förhållandena vid provtagningstillfället. Eftersom vattenkvaliteten kan förändras snabbt (Boehm, 2007; Whitman et al., 2004), kan kortvariga föroreningar förbli oupptäckta.

Det finns ett tydligt behov av snabbare övervakningsmetoder som kan stödja brådskande beslutsfattande. Införandet av snabba metoder, i kombination med frekvent provtagning flera gånger per dag, är önskvärt eftersom det skulle förbättra möjligheten att upptäcka föroreningshändelser med kort varaktighet. I Helsingborg och Malmö utvärderades två innovativa metoder: onlineövervakning av fekala indikatorbakterier och flödescytometri.

Onlineövervakning av fekala indikatorbakterier

För de två bakterier som används som fekala indikatorer, *Escherichia coli* (*E. coli*) och intestinala enterokocker, utvärderades onlineövervakning med hjälp av ColiMinder-systemet (Vienna Water Monitoring Solution). Enheten upptäcker aktiviteten hos målbakterier inom några minuter med hjälp av ett enzymatiskt test. Automatiserad provtagning möjliggör frekventa analyser med jämna mellanrum.

Bild 8. ColiMinder och Bactosense vid Pålsjöbaden

Installation och provtagning

Under badsäsongerna 2022, 2023 och 2024 installerades en eller två ColiMinder-enheter vid Pålsjöbaden (Helsingborg) för att mäta *E. coli* och intestinala enterokocker. Under 2023 installerades ytterligare två ColiMinder-enheter i Malmö. En flödescytometer användes också för att analysera samma vattenprover, vilket behandlas i följande avsnitt.

Enheterna placerades i inhägnade strukturer för att skydda dem mot yttre miljöpåverkan. Vatten pumpades från havet och prover togs var tredje timme 2022 och varannan timme 2023 och 2024. Användare kunde få åtkomst till enheterna och deras data via ett webbgränssnitt.

Resultat

Provtagning med täta intervaller under badsäsongerna möjliggjorde, för första gången, en detaljerad kartläggning av badvattenkvaliteten vid stränderna längs Öresund. Den mikrobiologiska vattenkvaliteten visade sig vara mycket dynamisk, där aktiviteten hos fekala indikatorbakterier ibland fluktuerade avsevärt inom loppet av bara några timmar (bild 9).

Sammantaget var trenderna i *E. coli* och intestinal enterokockaktivitet, mätt med ColiMinder, likartade. Detta tyder på att övervakning av endast en av dessa indikatorer kan vara tillräcklig för snabba bedömningar av badvattenkvaliteten.

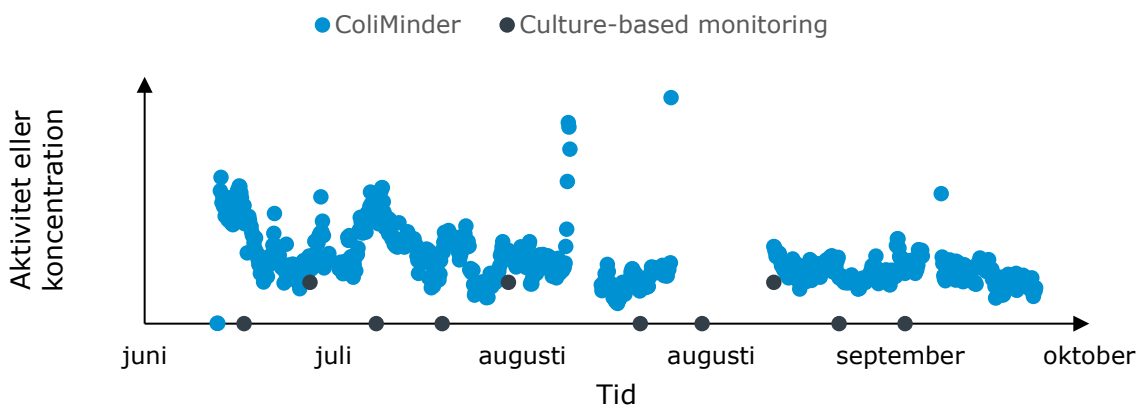

Bild 9: Jämförelse av provtagningsfrekvens för vattenkvalitetsmätningar vid en EU-strand med regelbunden övervakning (svart, cfu/mL) och ColiMinder (blå, aktivitet); varje punkt är en mätning.

Utmaningar

En betydande utmaning med onlineövervakning av badvatten är den omfattande infrastruktur som krävs för att använda enheterna. Detta inkluderar inte bara strukturer som skyddar utrustningen mot yttre miljöförhållanden, utan även elektriska och hydrauliska system, som vattenpumpar, för att säkerställa korrekt funktion.

Kustmiljön medför ytterligare utmaningar för enheterna och deras infrastruktur. Platsens utsatthet för hårda förhållanden, som stormar, ledde till strömavbrott som störde datainsamlingen. Dessutom störde begränsad och intermittent internetuppkoppling den webbaserade åtkomsten till enheterna.

Eftersom enheterna analyserar havsvatten, som innehåller stora partiklar, var omfattande vattenfiltrering nödvändig. Filtren krävde frekvent rengöring, och enheterna behövde dessutom regelbunden förberedelse och påfyllning av lösningar. Som en följd var driften av enheterna arbetskrävande och krävde särskilt avsatt personal.

Många av dessa problem återkom under de olika försöken. Därför rekommenderas det starkt att upprätta beredskapsplaner inför kommande badsäsonger för att minska risken för eventuella driftstörningar.

Begränsningar

Principerna bakom kulturbaserade standardmetoder och enzymatiska metoder, som ColiMinder, skiljer sig avsevärt åt, vilket innebär att deras mätresultat inte kan jämföras direkt. Enligt nuvarande svenska riktlinjer (HaV 2021) är gränsvärdet för otjänlig vattenkvalitet 1000 CFU/ml för *E. coli* och 300 CFU/ml för intestinala enterokocker i enskilda prover när standardmetoder används.

Motsvarande gränsvärden för enzymatiska metoder är fortfarande oklara, även om jämförelser med kulturbaserade metoder har genomförts i sötvatten och gränsvärden har föreslagits för andra länder (Cazals et al., 2020).

Dessutom kan de trender som observeras med enzymatiska metoder, som ColiMinder, ibland skilja sig från de som produceras med kulturbaserade metoder. Enzymatiska analyser kan upptäcka fekala indikatorbakterier som inte är odlingsbara (Garcia-Armisen et al., 2005). Falska positiva resultat kan uppstå när bakterier som inte är målorganismer påträffas (Fiksdal & Tryland, 2008). Specifikt kan vissa andra fekala bakterier, liksom vissa miljöbakterier, innehålla samma enzym som det enzymtestet för *E. coli* är utformat att detektera (Baudart et al., 2009; Demeter et al., 2020). Vid låga koncentrationer av fekala indikatorbakterier kan dessa andra bakterier störa analysen (Demeter et al., 2020).

Slutligen genomfördes försöken på endast en plats i Helsingborg och en i Malmö. Båda städerna har långa kuststräckor med ett flertal EU-klassade badplatser. Det är oklart om resultaten från dessa enskilda platser är representativa för vattenkvaliteten vid andra stränder. Till exempel, där lokala föroreningskällor förekommer, kan betydande skillnader i vattenkvalitet observeras mellan stränder inom samma stad. För att få en korrekt bild av den totala vattenkvaliteten kan det vara nödvändigt att installera flera enheter på olika platser.

Möjligheter

Även om enzymatiska metoder inte kan ersätta kulturbaserade standardmetoder, kan de fungera som ett värdefullt komplementärt tillvägagångssätt för att övervaka den aktuella statusen. Om onormalt höga värden upptäcks kan manuella prover samlas in och analyseras med hjälp av kulturbaserade metoder för att bekräfta om dessa värden representerar faktiska fekala indikatorbakterier. Under tiden kan en försiktighetsåtgärd i form av tillfällig stängning av stranden rekommenderas i väntan på bekräftelse.

Användningen av enzymatiska metoder för datainsamling kan också förbättra vår förståelse av hur väderförhållanden påverkar vattenkvaliteten vid stränder som är utrustade med övervakningssystem. Denna information skulle kunna stödja utvecklingen av prediktiva verktyg för att förutse förekomsten av fekala indikatorbakterier i badvatten.

Flödescytometri för att bedöma badvattenkvalitet

Flödescytometri är en metod som kan mäta samtliga bakterier i ett vattenprov för att fastställa deras totala koncentration samt ge ett DNA-profil av provet. Även om metoden inte kan skilja mellan skadliga och ofarliga bakterier, ger den snabba mätningar, och det finns enheter med automatisk provtagningskapacitet. Den omfattande erfarenheten av att använda metoden vid dricksvattenverk i Skåne tyder på att det kan vara värt att undersöka dess lämplighet för bedömning av badvattenkvalitet.

Under badsäsongen 2020 utfördes flödescytometrimätningar på samma prover som användes för regelbunden övervakning av badvattenkvaliteten. Höga koncentrationer av *E. coli* var kopplade till

flödescytometrimätningar som visade på höga bakteriehalter i vattnet samt förekomst av bakterier med stora mängder DNA (Persson, 2020). Även om dessa resultat är lovande, är mätvärdena i sig inte perfekta indikatorer på dålig badvattenkvalitet. För att hantera detta används maskininlärning för att analysera rådata från flödescytometri, eftersom dessa data innehåller ytterligare information som kan visa om flödescytometri kan fungera som en indikator för badvattenkvalitet (Erb et al., 2025).

2020-studierna förlitade sig på manuell provtagning och laboratorieanalys, som var tidskrävande och arbetskrävande. För realtidsövervakning presenterar automatisk onlineflödescytometri ett mer praktiskt alternativ. Detta undersöktes med hjälp av en BactoSense-flödescytometer (bNovate Technologies), som utvärderades parallellt med ColiMinder vid Pålsjöbaden och i Malmö, vilket möjliggjorde en direkt jämförelse mellan de två metoderna. Analys av data pågår vid tidpunkten för skrivandet av denna rapport.

Utmaningar

Vid användning av automatiserad onlineflödescytometri för övervakning av badvatten uppstod många av de samma utmaningarna som med ColiMinder, särskilt behovet av särskild infrastruktur och dedikerad personal.

En ytterligare utmaning var kravet på ett relativt konstant flöde, vilket visade sig vara svårt att upprätthålla på grund av att filtren snabbt täpptes igen – ibland inom bara några timmar.

Rekommendationer

Rekommendationer för Inre Barnviken

Eftersom källan till *E. coli* i Hammarsbäck fortfarande är okänd och potentiella hälsorisker för badande kvarstår, rekommenderar vi att det nuvarande badförbudet vid Inre Barnviken förlängs på obestämd tid tills föroreningskällan har lokaliserats och åtgärdats.

För att ytterligare undersöka föroreningskällan skulle onlineövervakning av *E. coli*-koncentrationer kunna användas för att följa förändringar över tid. Detta skulle kunna hjälpa till att avgöra om höga *E. coli*-nivåer korrelerar med ökad aktivitet vid den närliggande campingplatsen (till exempel under helger), eller om de följer efter regn, vilket i så fall skulle kunna tyda på dagvatten eller ytavrinning som möjliga föroreningskällor.

Undersökningsdetaljer

- Undersökningsperiod: En hel badsäsong för att få en heltäckande förståelse av vattenkvalitetens dynamik som är relevant för allmänheten
- Plats: En övervakningsenhet vid Inre Barnviken eller vid nedströmsdelen av Hammarsbäck

Erfordrad personal

- Tekniker för installationsfasen
- Personal för regelbundet underhåll och övervakning av enheten under undersökningsperioden
- Analytiker som ska tolka de insamlade uppgifterna

Infrastruktur och förbrukningsmaterial som krävs

- En ColiMinder-enhet
- En inhägnad och skyddad plats för att inrymma maskinen
- Tillförlitlig elförsörjning och internetuppkoppling
- Förbrukningsmaterial för ColiMinder samt kompletterande vatteninfrastruktur, till exempel en vattenpump och filter

Kunskapskrav

- Personal som använder enheten bör förstå dess funktionalitet och projektets mål
- Analytiker bör ha expertis inom statistik och mikrobiell badvattenkvalitet

Ytterligare rekommendationer

En detaljerad utredning av möjliga föroreningskällor längs Hammarsbäck bör också göras. Detta bör inkludera en undersökning för potentiella felkopplade rör eller avloppsläckage. Åtgärder bör vidtas för att ta itu med vattenstagnation vid den plats i Hammarsbäck med sämst vattenkvalitet.

För att utvärdera effektiviteten av dessa ingrepp bör fekala indikatorbakteriekoncentrationer mätas med hjälp av standardmetoder både före och efter att arbetet har utförts.

Rekommendationer för Helsingborg

Om onlineövervakning av *E. coli* med ColiMinder implementeras för Helsingborgs stränder bör följande rekommendationer övervägas:

Utveckla beredskapsplaner före installation

Frekvent övervakning är ColiMinders främsta fördel, och det är därför avgörande att minimera driftavbrott under användning. En beredskapsplan bör utarbetas för att hantera vanliga problem som uppstod under tidigare försök, som utrustningsfel, strömavbrott eller miljörelaterade utmaningar.

Fastställande av gränsvärden för dålig vattenkvalitet

För närvarande finns det inga fastställda gränsvärden för fekala indikatorbakterier i havsvatten som är specifika för ColiMinder eller som motsvarar de svenska riktlinjerna för standardmetoder. Gränsvärden skulle kunna utvecklas genom att jämföra ColiMinder-resultat med resultat från standardmetoder för samma havsvattenprover, inklusive prover som representerar både god och dålig vattenkvalitet.

Fastställande av åtgärder vid överskridande av ColiMinder-gränsvärden

Protokoll bör upprättas för situationer där gränsvärden överskrids. Dessa åtgärder kan omfatta insamling av bekräftande vattenprover för analys med standardmetoder eller att avråda allmänheten från att bada tills ytterligare resultat finns tillgängliga.

Välja installationsplatser

Vattenkvaliteten varierar avsevärt mellan stränder, så en enda övervakningsplats kanske inte ger en representativ översikt. Även om Pålsjöbaden är en praktisk plats på grund av dess befintliga infrastruktur, är vattenkvaliteten vid denna strand vanligtvis god, vilket begränsar användbarheten av ColiMinder på denna plats. För att minimera riskerna för folkhälsan bör ColiMinder-enheter installeras vid de badplatser som är kända för att ha den sämsta vattenkvaliteten.

Ytterligare rekommendationer

Andra snabba övervakningsverktyg, som flödescytometri, bör också utvärderas för potentiell implementering. Forskning om flödescytometrins lämplighet för övervakning av badvatten pågår dock fortfarande.

Snabba metoder, inklusive ColiMinder, kan endast fungera som kompletterande verktyg och kan på grund av lagkrav inte ersätta standardmetoderna. Standardmetoder bör förbli det primära tillvägagångssättet för beslutsfattande och offentlig rapportering, eftersom de är de enda officiellt godkända metoderna för bedömning av vattenkvalitet.

Lista över publikationer och rapporter

Följande vetenskapliga artiklar, rapporter och avhandlingar har tagits fram som en del av eller i samband med projektet Urbana bad.

Fackgranskade vetenskapliga artiklar

Erb, I. K., Suarez, C., Frank, E. M., Bengtsson-Palme, J., Lindberg, E., & Paul, C. J. (2024). *Escherichia coli* in urban marine sediments: interpreting virulence, biofilm formation, halotolerance and antibiotic resistance to infer contamination or naturalisation. *FEMS Microbes,* xtae024. https://doi.org/10.1093/femsmc/xtae024

Frank, E. M., Ahlinder, J., Jephson, T., Persson, K. M., Lindberg, E., & Paul, C. J. (2024). Marine sediments are identified as an environmental reservoir for *Escherichia coli*: Comparing signature-based and novel amplicon sequencing approaches for microbial source tracking. *Science of The Total Environment, 907*, 167865. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167865

Opublicerade rapporter

Manuskript under förberedelse för insändning till fackgranskade vetenskapliga tidskrifter:

Erb, I. K., Gador, N., Lindberg, E., & Paul, C. J. (2024). *Can flow cytometry be used in bathing water monitoring? Investigations with online instruments and machine learning*. [Manuskript under utarbetande]. Lunds universitet.

Frank, E. M., Suarez, C., Erb, I. K., Jephson, T., Lindberg, E., & Paul, C. J. (2024). *Microbial contamination in urban marine sediments: source identification using microbial community analysis and faecal indicator bacteria*. [Manuskript under utarbetande]. Lunds universitet.

Frank, E. M., Suarez, C., Erb, I. K., Jephson, T., Lindberg, E., & Paul, C. J. (2025). *Assessing bathing water quality with 16S rRNA gene sequencing and viable E. coli quantification*. [Manuskript under utarbetande]. Lunds universitet.

Avhandlingar och rapporter

Dwita, A. (2023). *Investigation of faecal contamination in the Hammar's stream in Malmö, Barnviken*. [Internship Report]. Berliner Hochschule für Technik.

Dwita, A. (2024). *Investigating the Source(s) of Microbial Bathing Water Contamination in Marine Environments Using Antibiotic Resistance*. [Bachelor's Thesis]. Berliner Hochschule für Technik.

Erb, I. K. (2022a). *Characterisation of Escherichia strains isolated from marine sediments: Investigating taxonomy, virulence, antibiotic resistance, and survival mechanisms*. [Examensuppsats]. Lunds universitet.

Erb, I. K. (2022b). *Sampling during the Summer of 2022: Online Monitoring of Seawater in Helsingborg, Manual Sampling in Malmö, Barnviken*. Sweden Water Research.

Gudmundsson, S. (2024). *Hydrodynamic modelling of E. coli along the urban coast of Helsingborg*. [Examensuppsats]. Uppsala universitet.

Gullberg, E. (2024). *Weather factors and E. coli concentration in Barnviken, Malmö: A Linear Mixed Model Approach*. [Kandidatuppsats]. Lunds universitet.

Persson, M. (2020). *Evaluating the use of flow cytometry for routine monitoring of bathing water quality*. [Examensuppsats]. Lunds universitet.

Thomson, E. (2022). *Analysis of seawater quality using flow cytometry*. [10-veckorsrapport]. Avdelningen för tillämpad mikrobiologi, Lunds universitet.

Referenser

Baudart, J., Servais, P., De Paoli, H., Henry, A., & Lebaron, P. (2009). Rapid enumeration of Escherichia coli in marine bathing waters: Potential interference of non-target bacteria. *Journal of Applied Microbiology, 107*(6), 2054–2062. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04392.x

Boehm, A. B. (2007). Enterococci concentrations in diverse coastal environments exhibit extreme variability. *Environmental Science & Technology, 41*(24), 8227–8232. https://doi.org/10.1021/es071807v

Cazals, M., Stott, R., Fleury, C., Proulx, F., Prévost, M., Servais, P., Dorner, S., & Burnet, J.-B. (2020). Near real-time notification of water quality impairments in recreational freshwaters using rapid online detection of β-D-glucuronidase activity as a surrogate for Escherichia coli monitoring. *Science of The Total Environment, 720,* 137303. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137303

Demeter, K., Burnet, J.-B., Stadler, P., Kirschner, A., Zessner, M., & Farnleitner, A. H. (2020). Automated online monitoring of faecal pollution in water by enzymatic methods. *Current Opinion in Environmental Science & Health, 16,* 82–91. https://doi.org/10.1016/j.coesh.2020.03.002

Directive 2006/7/EC. Directive 2006/7/EC of the European Parliament and of the Council of 15 February 2006 concerning the management of bathing water quality and repealing Directive 76/160/EEC (2014).

European Environment Agency. (2020). *Bathing water management in Europe: Successes and challenges.*

Fiksdal, L., & Tryland, I. (2008). Application of rapid enzyme assay techniques for monitoring of microbial water quality. *Current Opinion in Biotechnology, 19*(3), 289–294. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2008.03.004

Frank, E. (2020). *Investigating bacterial communities in marine sediment to assess the impact of wastewater effluent.* [Master's Thesis]. Lund University.

Garcia-Armisen, T., Lebaron, P., & Servais, P. (2005). β-d-glucuronidase activity assay to assess viable Escherichia coli abundance in freshwaters. *Letters in Applied Microbiology, 40*(4), 278–282. https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2005.01670.x

Hägglund, M., Bäckman, S., Macellaro, A., Lindgren, P., Borgmästars, E., Jacobsson, K., Dryselius, R., Stenberg, P., Sjödin, A., Forsman, M., & Ahlinder, J. (2018). Accounting for bacterial overlap between raw water communities and contaminating sources improves the accuracy of signature-based microbial source tracking. *Frontiers in Microbiology, 9.* https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02364

Havs- och vattenmyndigheten (2011). *Vägledning kring EU-bad* (Report 2021:17, Version 11). https://www.havochvatten.se/data-kartor-och-rapporter/rapporter-och-andra-publikationer/publikationer/2021-10-21-vagledning-kring-eu-bad.html

Havs- och vattenmyndigheten. (n.d.). *Rapporter och öppna data*. Retrieved August 23, 2024, from https://www.havochvatten.se/badplatser-och-badvatten/rapporter-och-oppna-data.html

Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om badvatten, HVMFS 2012:14 (2012).

Hjortsman, M. (2018, June 28). Kommunen avråder från bad – otjänligt vatten vid Fria bad. *SVT Nyheter*. https://www.svt.se/nyheter/lokalt/helsingborg/dalig-badvatten-i-helsingborg

Malmö stad. (2023, November 14). Kalkbrottet. https://malmo.se/Uppleva-och-gora/Arkitektur-och-kulturarv/Malmos-historia/Platser-och-byggnader/Stadsdelar-och-omraden/Kalkbrottet.html

Paul, C. J., Frank, E., & Lindberg, E. (2019). *Seasonal changes in faecal indicator bacteria in marine sediment reservoirs* (Urban Magma). Lund University.

Paul, C. J., Frank, E., Persson, K. M., Lindberg, E., & Ahlinder, J. (2019). *Marine sediments as a reservoir for faecal indicator bacteria associated with pollution of recreational waters* (Urban Magma). Lund University.

Sköldqvist, N. (2019, August 30). Vattnet rent igen efter rekordhöga bajsbakterier. *Sveriges Radio*. https://sverigesradio.se/artikel/7290698

Whitman, R. L., Nevers, M. B., Korinek, G. C., & Byappanahalli, M. N. (2004). Solar and temporal effects on Escherichia coli concentration at a Lake Michigan swimming beach. *Applied and Environmental Microbiology, 70*(7), 4276–4285. https://doi.org/10.1128/AEM.70.7.4276-4285.2004

World Health Organization. (2021). *Guidelines on recreational water quality. Volume 1: Coastal and fresh waters.*

Erkännanden

Författarna till denna rapport vill uttrycka sin tacksamhet till följande personer och organisationer för deras ovärderliga bidrag till projektet Urbana bad:

Teamet på Sabella samt Tage Rosenqvist för deras hjälp med provtagningen.

Helsingborgs stad och Malmö stad för deras stöd för att underlätta fältarbete och installation av utrustning.

Mekano AB, Amanda Widén (NSVA), Petra Larsson, Markus Fröjd (VA SYD) och Ludvig Andersson (KZ Handels) för deras hjälp med att inrätta och underhålla systemen ColiMinder och BactoSense.

Alla forskare och studenter som deltog i datainsamling, analys och rapportering under hela projektet.

Era bidrag har varit avgörande för framgången för detta projekt och har avsevärt förbättrat vår förståelse av badvattenkvaliteten.