



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Samspil mellem grundvand, afløbssystem og vandløb i byer (GRAVA)

DANVA VUDP projektrapport

Ziegler, Anja Sloth; Thorndahl, Søren Liedtke; Nielsen, Rasmus; Westergaard, Morten; Vester, Ida Kempainen

Publication date:
2023

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Ziegler, A. S., Thorndahl, S. L., Nielsen, R., Westergaard, M., & Vester, I. K. (2023). *Samspil mellem grundvand, afløbssystem og vandløb i byer (GRAVA): DANVA VUDP projektrapport*. Dansk Vand- og Spildevandsforening (DANVA). <https://danva.dk/publikationer/vudp-rapporter/samspil-mellem-grundvand-afloebssystem-og-vandloeb-i-byer-grava/>

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

SAMSPIL MELLEM GRUNDTVAND, AFLØBSSYSTEM OG VANDLØB I BYER (GRAVA)



SAMSPIL MELLEM GRUNDEVAND, AFLØBSSYSTEM OG VANDLØB I BYER (GRAVA)

DANVA VUDP PROJEKTRAPPORT

DATO: 28. marts 2023

Projekt ID:
48.2019

Udgiver:
Dansk Vand- og Spildevandsforening (DANVA)

Rapport udarbejdet af:
Anja Sloth Ziegler, Aalborg Forsyning
Søren Liedtke Thorndahl, Aalborg Universitet
Rasmus Nielsen, Aalborg Universitet
Morten Westergaard, NIRAS A/S
Ida Kemppinen Vester, NIRAS A/S

Finansiering:
Projektet er finansieret af
VUDP, Vandsektorens Udviklings- og Demonstrationsprogram

Samarbejdspartnere:
Aalborg Forsyning
NIRAS A/S
Aalborg Kommune
Aalborg Universitet

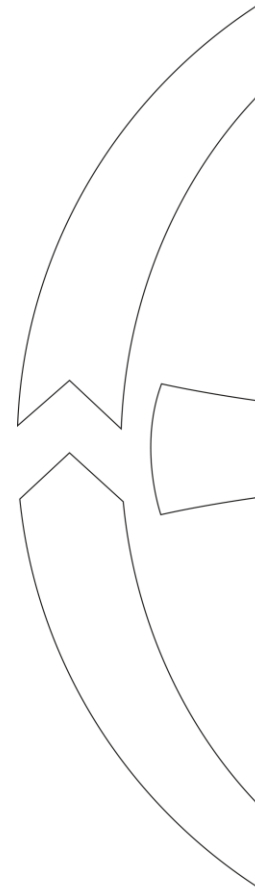
Kategori (Spildevand, drikkevand eller klimatilpasning):
Spildevand, klimatilpasning

Indholdsfortegnelse

1	Sammenfatning	3
2	English summary	4
3	Introduktion	5
4	Projektets betydning for vandbranchen	8
4.1	Marked og/eller anvendelsesmuligheder	8
4.2	Næste skridt	9
4.3	Formidling	11
5	Projektet	12
5.1	Formål	12
5.2	Output	12
5.3	Projektlokalitet	13
5.4	Moniterings-set-up og dataindsamling	17
5.5	Borgerinddragelse og -kontakt	20
5.6	Tendenser for anvendelse af CS-stationer over projektperioden	23
5.7	Erfaringer og udfordringer med CS-stationer	27
5.8	Analyse af grundvandsstand og vandkredsløb baseret på opsamlede data	30
5.9	Grundvands- og scenariemodellering	43
5.10	Interaktiv modelportal	56
5.11	Konklusion	57
5.12	Anbefalinger	58
6	Litteraturliste	59

Bilagsliste

- Bilag A: Modelopstilling
- Bilag B: Litteraturstudie – afværgeløsninger
- Bilag C: Borgerinddragelse – erfaringer og tendenser
- Bilag D: Målte data
- Bilag E: Spørgeskema til evaluering af borgerinddragelse
- Bilag F: Vejledning til sløjfning af CS-stationer



1 Sammenfatning

Vores vandsystemer er (stadig) opdelt både administrativt og lovgivningsmæssigt, således grundejere er ansvarlige for grundvand på egen grund, forsyningsselskabet for afløbssystem og kommunen for vandløb. I praksis betyder det, at det kan være utroligt svært at finde frem til de gode løsninger, som netop skal fungere på tværs af administrative barrierer. Det resulterer i, at de enkelte aktører i mange tilfælde får gennemført tiltag inden for eget ansvarsområde (vandsystem). Men ofte har tiltagene også en effekt på de andre vandsystemer.

For at kunne drage mest mulig nytte af de implementerede løsninger, er der i den grad behov for at betragte vores vandsystemer i byerne som en helhed og få undersøgt samspillet mellem systemerne. Det er især vigtigt i en tid påvirket af klimaforandringer.

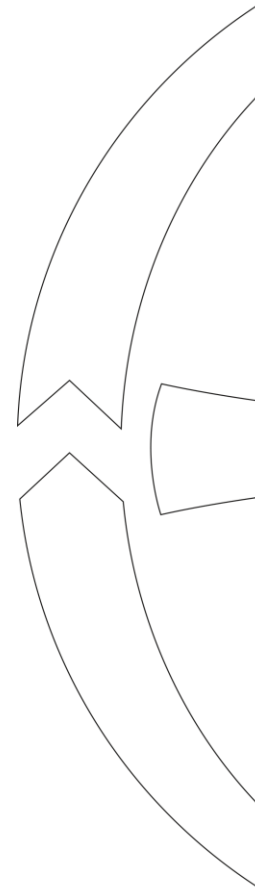
GRAVA-projektet tager udgangspunkt i ét samlet vandkredsløb i byen, både fra en forvaltningsmæssig vinkel og i forhold til målinger og modeludvikling, samtidig med at samspillet mellem vandsystemerne (grundvand, afløbssystem og vandløb) undersøges. Dette gennemføres ved at inddrage forsyningsselskabets kunder (borgerne) i indsamling af data, som anvendes i modellen udviklet under projektet. Derudover inddrages borgene i problemstillingerne ifm. håndtering af grundvand, spildevand og regnvand, hvorved alle aktører er repræsenteret i projektet (grundejere, forsyningsselskab og kommune/myndighed). Dette bidrager til bedre kvalitet af informationsudveksling mellem kommune, forsyning og borgere i området, samtidig med at dialogen med borgerne og deres forståelse for nødvendige tiltag forbedres.

Projektet eksemplificeres med udgangspunkt i Aalborg-bydelen Kærby, som i dag er udfordret af høj grundvandsstand, et ældre fælleskloakeret afløbssystem med mange utætheder, pumpning af regn- og spildevand, nærtliggende vandløb samt planer om snarlig separatkloakering og omlægning af vandløbstracé.

Til monitoring af grundvandsstanden er der opstillet ni automatiske (LoRaWAN) loggere og i alt 65 citizen science (CS) stationer, hvoraf otte står på offentligt tilgængelige arealer og de resterende 57 står i private haver. Konceptet til CS-stationerne og dataplatformen, hvorpå data opsamles og udstilles, er udviklet under projektet. De opsamlede data anvendes i projektets model til scenariosimulering af grundvandsstanden under nuværende og fremtidigt klima samt forskellige driftsscenerier.

Med projektet demonstreres der bl.a. vha. billige, manuelt aflæste pejleboringer (CS-stationer), at det er muligt at indsamle borgerdata af en sådan kvalitet og kvantitet, at det kan indgå direkte i beregningsmodeller. Det er hidtil en helt ny måde at anvende borgerdata på, nemlig som supplement til opstilling af dyrt måleudstyr (automatiske loggere).

Projektets analyser og resultater bidrager generelt til bedre forståelse af det samlede vandkredsløb. Derudover bidrager det med viden, der kan danne grundlag for forsyningernes prioriteringer af dimensionerings-, sanerings- og klimatilpasningsløsninger. Bl.a. hvilke afværgeløsninger, der potentielt kan sænke grundvandsstanden i områder med højtstående grundvand, samt disses effektivitet.



2 English summary

Our water systems are (still) divided both administratively and legislatively, so landowners are responsible for groundwater on their own land, the utility company for the drainage system and the municipality for the watercourses. In practice, this means that it can be incredibly difficult to find good solutions that must work across administrative barriers. In many cases this results in the individual actors carrying out measures within their own area of responsibility (water system). But often the measures also affect the other water systems.

To make the most of the implemented solutions, there is a need to consider our water systems in the cities as a whole and to examine the interactions between the systems. It is especially important in a time affected by climate change.

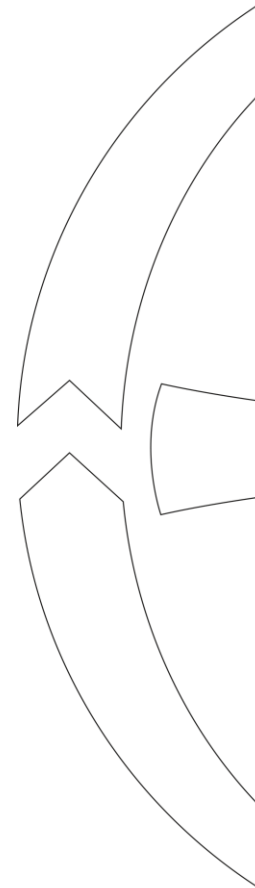
The GRAVA project considers one integrated water cycle within the city, both from an administrative angle and in relation to measurements and model development, while at the same time the interactions between the water systems (groundwater, drainage system and watercourses) are investigated. This is done by involving the utility company's costumers (citizens) in the collection of data that is used in the model developed during the project. In addition, the citizens are involved in the issues related to handling of groundwater, wastewater and stormwater, whereby all actors are represented in the project (landowners, utility company and municipality/authority). This contributes to a better quality of information exchange between municipality, utility company and citizens, while at the same time the dialogue with the citizens and their understanding of necessary measures is improved.

The project is exemplified using the Aalborg district Kærby as a case study. Kærby is challenged by high groundwater levels, an old, combined drainage system with a large degree of unintended infiltration, pumping of stormwater and wastewater, nearby watercourses as well as plans for separating sewers and rerouting of watercourses.

To monitor the groundwater levels, nine automatic (LoRaWAN) loggers and a total of 65 citizen science loggers (CS stations) have been set up, of which eight are located on publicly accessible areas and the remaining 57 are located in private gardens. The concept for the CS stations and the data platform on which data is collected and displayed has been developed during/for the project. The collected data is used in the project's model for scenario simulations of the groundwater levels under current and future climates as well as various operational scenarios.

The project demonstrates among other things that using cheap manually read water levels in boreholes (CS stations) it is possible to collect citizens data of such quality and quantity that it can be included directly in numerical models. So far, it has been a new way of using citizens data, namely as a supplement to the installation of expensive measuring equipment (automatic loggers).

The project's analyses and results generally contribute to a better understanding of the overall water cycle. In addition, it contributes with knowledge that can form the basis for the utility companies' prioritization of dimensioning, remediation and climate adaptation solutions. For example, which mitigation solutions can potentially lower the groundwater level in areas with high groundwater levels as well as their effectiveness.



3 Introduktion

Stigende terrænnært grundvand er blevet et problem for stort set alle landets kommuner, der i høj grad er præget af oversvømmelsesrisiko og udfordringer med vandafledning. Både grundejere og forsyningsselskaber er berørte af det stigende grundvandspejl, mens ansvaret (ift. håndtering) ligger ene og alene hos grundejerne.

Med klimaændringernes øgede nedbørsmængder samt stigning i hav- og grundvandspejl øges udfordringerne i de kommende årtier. Især er ændringer i grundvandsstanden i lavtliggende byområder og konsekvenserne heraf forholdsvis ukendte. Flere byer står over for sanering af det ældre fælleskloakerede system til et nyt separatsystem, hvilket øger risikoen for grundvandsstigning som resultat af ændrede dræningsforhold.

Forståelse for samspillet mellem byernes vandsystemer (grundvand, afløbssystem og vandløb), som i dag forvaltes adskilt og derfor ikke har været betragtet som en helhed, giver bedre forudsætninger for at kunne sikre sig mod overbelastning og effekter som forurening, oversvømmelse og øgede driftsudgifter.

GRAVA-projektet opstod på baggrund af et generelt behov for at kunne kortlægge samspillet mellem de forskellige vandsystemer i byen.

Hensigten med GRAVA har derfor været at skabe overblik over det *samløbe* vandkredsløb i byer på tværs af administrative barrierer samt under forskellige belastninger og driftssituationer.

En stor del af projektet har været baseret på et citizen science (CS) koncept, hvor forsyningens kunder (borgerne) har været inddraget i dataindsamling, som er anvendt i modellen udviklet i projektet. Vi har med projektet ville demonstrere for vandbranchen, hvordan borgere kan inddrages i byens vandafledningsrelaterede udfordringer og indsamling af data.

Interaktionerne mellem grundvand, vandløb og afløbssystem har været modelleret i nuværende og fremtidigt klima, hvoraf scenarier for den fremtidige grundvandsstand er simuleret. Ligeledes er forskellige løsninger og afværgeforanstaltninger blevet screenet for deres potentiale i forhold til at minimere problemer med høj grundvandsstand samt risiko for oversvømmelse fra vandløb og kloak.

Projektpartnernes rolle:

Projektet er gennemført af partnere, der er bredt sammensat af aktører i vandbranchen: forsyning (Aalborg Forsyning), kommune (Aalborg Kommune), rådgiver (NIRAS A/S) og vidensinstitution (Aalborg Universitet). Projektpartnerne har gennem hele projektperioden varetaget forskellige roller:

Aalborg Forsyning har varetaget projektleder-rolle og været hovedansvarlig for kommunikation, formidling og borgerinddragelse. Derudover har Aalborg Forsyning stor interesse i at finde frem til løsninger, der kan afværge stigende grundvandspejl. Som forsyningsselskab, modtager Aalborg Forsyning i dag store mængder uvedkommende vand i form af indsvivende grundvand og vand fra omfangsdræn (ikke uvedkommende), som er en belastning for kloaksystem og renseanlæg, og samtidig kan der ikke opkræves betaling herfor. Aalborg Forsyning skal desuden, indenfor de nærmeste år,

separatkloakere Aalborg-bydelen Kærby, som i forvejen er udfordret af en høj grundvandsstand, og har med projektet kunnet få belyst hvilken effekt separatkloakeringen vil få for grundvandsstanden. Fra Aalborg Forsyning har Anja Sloth Ziegler, Martin Mortensen, Maria Pilehave Jensen og Freya Mosbæk bidraget til projektet.

Aalborg Kommune er myndighed (efter vandløbsloven) og har været med i projektet for at sikre den rette myndighedsmæssige vinkel på projektet samt bidrage med viden om vandløbenes nuværende og fremtidige status og kapacitet. Derudover har Aalborg Kommune være vigtige ift. inddragelse af og dialog med borgerne. Fra Aalborg Kommune har Kimmie Kirsten Knakkegaard, Ole Schwalbe Madsen og Peter Bildgaard Jensen bidraget til projektet.

NIRAS A/S har været ansvarlig for udvikling og opsætning af udstyr til monitoring af grundvandsstand. NIRAS har til projektet fået udviklet et simpelt og intuitivt system til pejling af grundvandsstanden samt en dataplatform til opsamling og visualisering af data, så borgerne nemt har kunnet aflæse og indsende data om grundvandsstanden i Kærby. På dataplatformen udstilles de indsendte data, på en visuel og let forståelig måde. NIRAS har været hjernen bag citizen-science delen og har spillet en stor rolle ift. borgerinddragelse samt formidling. Fra NIRAS A/S har Morten Westergaard, Daniel Palm Simonsen, Morten Nørgaard Stenkær, Anja Wejs, Sara Bugge Ploug, Ida Kempainen Vester og tidligere praktikanter bidraget til projektet.

Aalborg Universitet har været ansvarlig for modeludvikling, herunder opsætning og kalibrering, og scenariosimuleringer for forskellige klima og løsningsforslag til håndtering af stigende terrænnært grundvand. Aalborg Universitet har spillet en stor rolle ift. borgerinddragelse samt formidling af projektets resultater til borgere og vandbranchen generelt. Derudover har de været projektets kontakt til forskningsmiljøet (både nationalt og internationalt) og dermed bidraget med vigtigt input til projektet. Fra Aalborg Universitet har Søren Liedtke Thorndahl og Rasmus Nielsen bidraget til projektet.

Udover projektpartnerne har en følgegruppe af forsyninger og kommuner bidraget med relevante problemstillinger ift. at sikre en bred anvendelse af projektet i branchen.

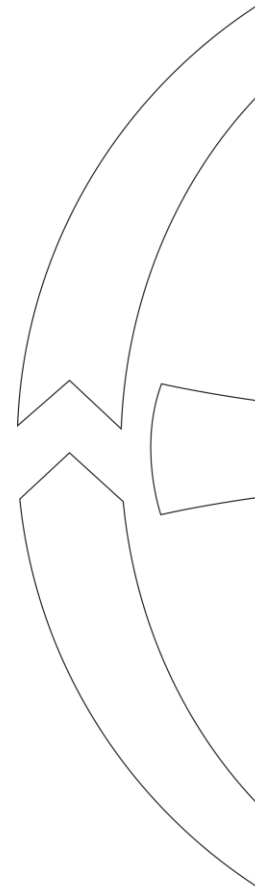
Følgegruppen har bestået af repræsentanter fra følgende kommuner og forsyninger:

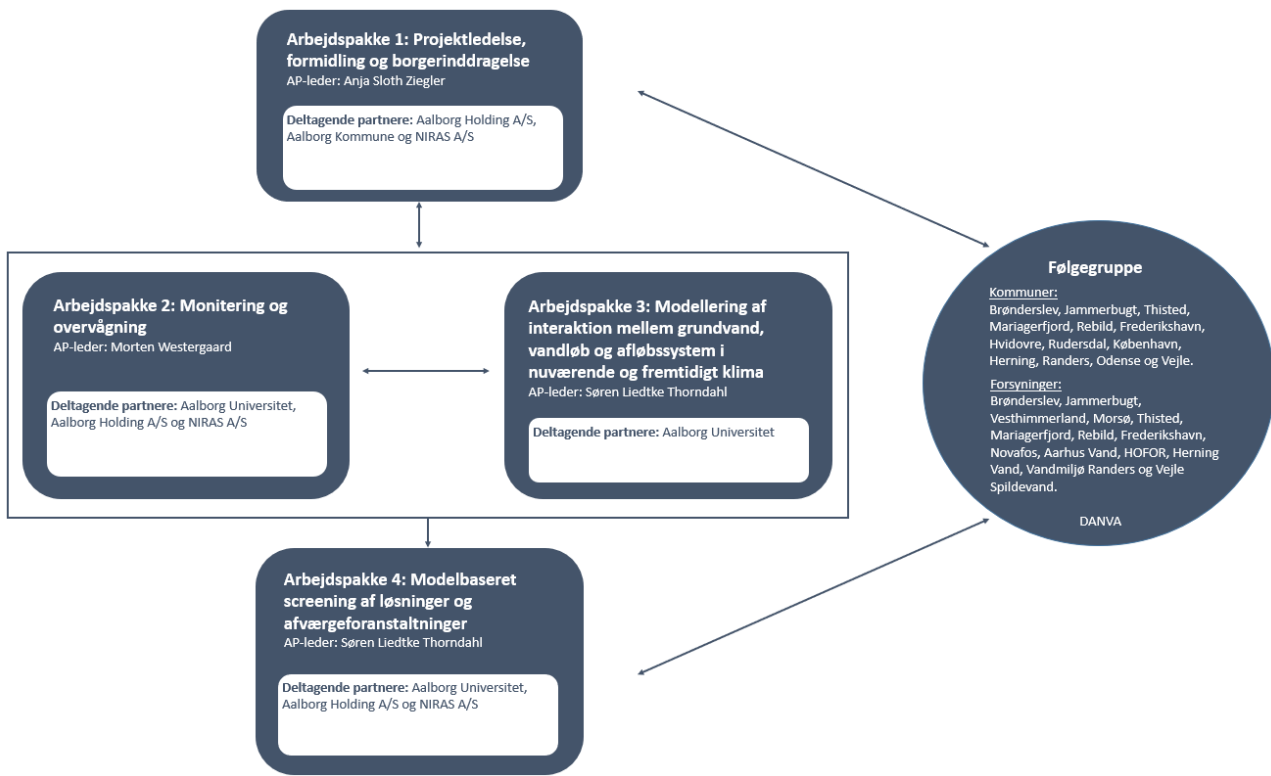
Kommuner: Brønderslev Kommune, Jammerbugt Kommune, Thisted Kommune, Mariagerfjord Kommune, Rebild Kommune, Frederikshavn Kommune, Hvidovre Kommune, Rudersdal Kommune, Københavns Kommune, Herning Kommune, Randers Kommune, Odense Kommune og Vejle Kommune.

Forsyninger: Brønderslev Forsyning, Jammerbugt Forsyning, Vesthimmerlands Forsyning, Morsø Forsyning, Thisted Forsyning, Mariagerfjord Vand, Rebild Forsyning, Frederikshavn Forsyning, Novafos, Aarhus Vand, HOFOR, Herning Vand, Vandmiljø Randers og Vejle Spildevand.

Derudover har en repræsentant fra DANVA deltaget i følgegruppen.

Organiseringen kan ses på Figur 3.1.





Figur 3.1: Organisationsdiagram i GRAVA-projektet.

4 Projektets betydning for vandbranchen

I GRAVA-projektet er der taget udgangspunkt i det samlede vandkredsløb i byer fra en forvaltningsmæssig vinkel og i forhold til målinger og modeludvikling. At systemerne betragtes som en helhed samt samspillet mellem systemerne er undersøgt, repræsenterer en stor nyhedsværdi for den danske vandbranche.

Projektet er vidensopbyggende og demonstrerer for vandbranchen, hvordan borgere kan inddrages i problemstillinger i nærområdet.

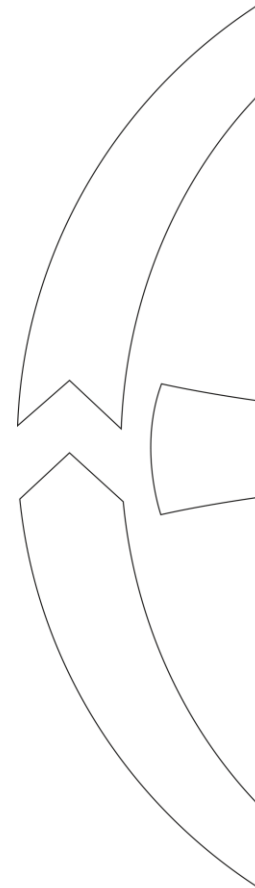
- Projektets analyser og resultater bidrager generelt til bedre forståelse af det samlede vandkredsløb. Derudover bidrager det med viden, der kan danne grundlag for forsyningernes prioriteringer af dimensionerings-, sanerings- og klimatilpasningsløsninger.
- Der demonstreres, bl.a. vha. billige, manuelt aflæste pejleboringer (CS-stationer), at det er muligt at indsamle borgerdata af en sådan kvalitet og kvantitet, at det kan anvendes direkte til analyse af grundvandets tidslige og rumlige variabilitet samt indgå direkte i beregningsmodeller. Det er hidtil en helt ny måde at anvende borgerdata på, nemlig som supplement til opstilling af dyrt måleudstyr (automatiske loggere).
- Projektet viser, at inddragelse af borgerne i klimarelaterede problemstillinger ifm. håndtering af grundvand, spildevand og regnvand er i stand til at øge borgernes bevidsthed på området. GRAVA-projektet har bidraget til at kvaliteten af informationsudvekslingen mellem kommune, forsyning og borgere i Aalborg er højnet, og generelt er dialogen med borgerne og deres forståelse for nødvendige tiltag blevet forbedret.

Derudover bidrager projektet til opfyldelse af følgende af FN's verdensmål:

- # 3 (Sundhed og Trivsel) gennem overvågning af forurening med ubehandlet spildevand og deraf følgende sundhedsrisici.
- # 4 (Kvalitetsuddannelse) gennem formidling til studiegrupper og borgere.
- # 6 (Rent Vand og Sanitet) gennem sikring af sanitet og forvaltning af vandressourcer på tværs af administrative grænser.
- # 11 (Bæredygtige Byer og Lokalsamfund) gennem inddragelse af borgere og lokalsamfund.
- # 13 (Klimaindsats) gennem analyse af klimaændringernes påvirkning af vandkredsløbet.
- # 17 (Partnerskaber for Handling) gennem partnerskaber på tværs af administrative grænser.

4.1 Marked og/eller anvendelsesmuligheder

I løbet af de seneste år er vandhåndtering kommet til at fylde mere, når vi snakker planlægning og fremtidssikring af vores byer. Det er betydeligt lettere at tage højde for denne del, når der er tale om nye byområder frem for allerede eksisterende byområder. For de eksisterende byområder er en præcis kortlægning af områder med høj grundvandsstand endnu mere vigtig.



Klimafremskrivning og scenariemodellering, som udført i GRAVA-projektet, kan anvendes til at udpege og kortlægge udsatte områder. Andre kommuner og forsyninger vil i praksis kunne udføre samme analyse, som er lavet i GRAVA-projektet for Kærby-området, ved at etablere (borger)målestationer samt opstille en hydrogeologisk model for området. Herefter kan der laves en screening af, hvilke løsninger, der potentielt fungerer bedst for et givent område ift. håndtering af terrænnært grundvand.

Formålet med at lave analyse og screening er, at belyse både problemets omfang, men også hvilke løsninger, der reelt er mulige og evt. vil have den største effekt. Og så vil det være muligt at igangsætte afværgeforanstaltninger før problemerne opstår eller forværres yderligere.

I GRAVA-projektet er der anvendt en meget detaljeret modelopsætning, med mange observationer med meget høj rumlig og tidlig opløsning. I nogle tilfælde kan det være muligt at medtage færre data i sin model, end der er anvendt her. Hvor meget data, der skal medtages i modellen, afhænger i høj grad af de hydrogeologiske forhold i området, der skal undersøges.

En model, som den i GRAVA-projektet vil kunne anvendes til integreret realtidsovervågning af vandkredsløbet i byområder og derved bidrage til sikker drift af afløbssystemer og vandløb. Dels fordi et observations- og modelbaseret monitoringssystem potentielt kan nyttiggøres til varsling ved recipientforurening, risiko for kapacitetsoverskridelse eller oversvømmelse og dels fordi flere observationer i vandkredsløbet og en integreret modelbaseret monitoring bidrager til et bedre systemkendskab under forskellige belastninger. Hvis der varsles tidsnok til at afværgeforanstaltninger kan etableres, kan risici for kapacitetsoverskridelser og oversvømmelse mindskes. Det vil give en bedre forsyningssikkerhed for vandselskabernes kunder og borgere generelt.

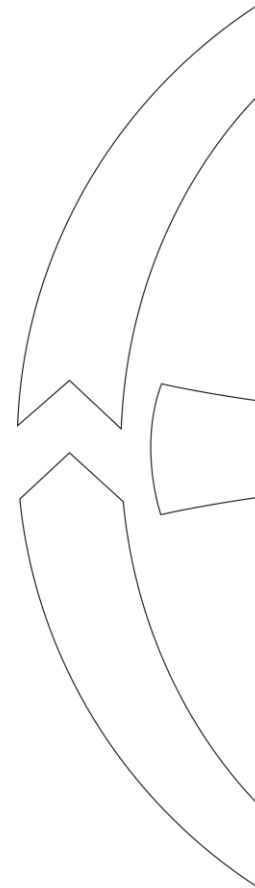
GRAVA-projektet tjener som eksempel for andre forsyninger og kommuner med lignende problemstillinger i forhold til vandhåndtering og der kan på sigt skabes et marked for realtidsmodeller og -målinger i hele den danske vandbranche.

I løbet af projektperioden har flere kommuner/forsyninger allerede fået etableret pejleboringer til monitoring af grundvandet efter samme princip som i GRAVA-projektet.

Formidling til borgerne vedr. tekniske (hvilke fysiske parametre spiller ind) og lovgivningsmæssige (hvordan er ansvarsfordelingen) udfordringer med vandafledning generelt, men især højtstående grundvand, har spillet en stor rolle i GRAVA-projektet. Måden hvorpå borgerne er blevet inddraget i projektet kan tjene enten som inspiration til fremtidige projekter eller anvendes som en decideret drejebog – både af andre forsyninger og kommuner, men også af forsyningsselskab og kommune i Aalborg i lignende situationer.

4.2 Næste skridt

Aalborg Forsyning og Aalborg Kommune, som begge har været en del af projektet, arbejder nu videre med resultaterne af scenariosimuleringerne. Der skal træffes beslutning om, hvorvidt der skal etableres en afværgeforanstaltning samtidig med at Aalborg Forsyning udfører separatkloak i Kærby.



Afhængig af, hvornår en evt. afværgeløsning etableres, kan det være grundejerne, der skal betale og drive løsningen, eller det kan være forsyningsselskabet (forudsætter ændring af nuværende lovgivning).

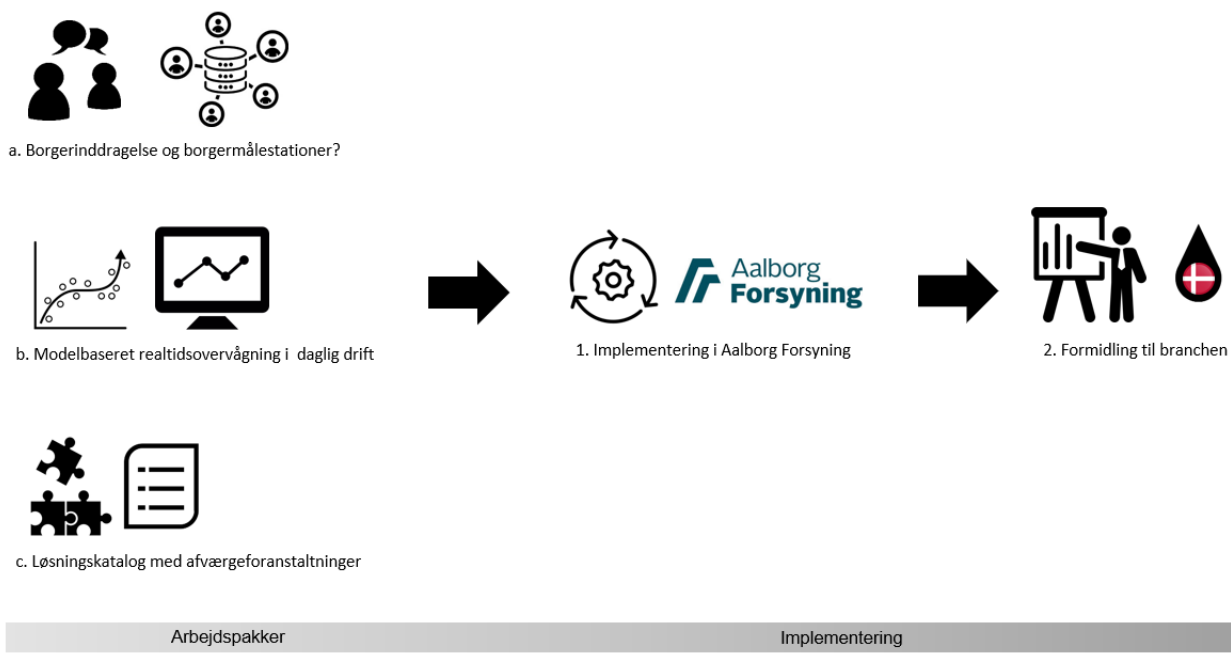
Aalborg Forsyning har valgt at fortsætte dataindsamlingen på grundvandsiden, da det giver mulighed for at undersøge grundvandsstanden før, under og efter separatkloakering (med eller uden afværgeforanstaltninger), hvilket er yderst interessant. Dels kan ændringer i grundvandsstand, indsviwing, afvanding mv. monitoreres og dokumenteres i udførelsesfasen og dels kan ændringerne undersøges på længere sigt efter udførslen, med henblik på vurdering af systemets drift, lokale ændringer eller skader.

På sigt håber projektpartnerne på at kunne indgå i et nyt fælles udviklingsprojekt, f.eks. ved at søge fælles midler fra VUDP, når der er taget en beslutning om separatkloakering og evt. afværgeløsninger. Indtil dette er besluttet, planlagt og igangsat opretholdes monitoringen af området.

Det øgede kendskab til de kombinerede hydrologiske processer, som er opnået igennem projektet vil i fremtiden inddrages i Aalborg Forsynings langtidspanlægningen af anlægsinvesteringer og drift.

Der er endnu ikke truffet beslutning om, hvorvidt modelbaseret realtidsovervågning af det samlede vandkredsløb implementeres i Aalborg Forsynings og Aalborg Kommunes daglige drift.

Den oprindelige implementeringsplan kan ses på Figur 4.1.



Figur 4.1: Oprindelig implementeringsplan for GRAVA-projektet.

4.3 Formidling

Der har i løbet af hele projektperioden været stort fokus på formidling – dels ift. at inddrage borgerne i projektet og dels ift. kommunikation af projektresultater og erfaringer til følgegruppen og vandbranchen generelt. GRAVA-projektet og dets resultater har allerede været formidlet på forskellige platforme både mundtligt, skriftligt, fysisk og digitalt over for forskellige målgrupper:

- Borgere: Borgermøder, hjemmesider (vandkortet.dk og grava.dk), sociale medier (Facebook), pjecer samt infotavler i lokalområdet.
- Uddannelsesinstitutioner: Projektoplæg til lokale skoler, gymnasier samt universitetsstuderende gennem forskellige platforme.
- Følgegruppe: Følgegruppeworkshops og hjemmesider (vandkortet.dk og grava.dk).
- Vandbranchen nationalt: Præsentationer ved nationale konferencer (eksempler: Kortdage (2020), YWPKD-forum (2021), Regnvandsforum (2021), EVA-temadag (2022), Godmorgen med DNNK (2022), Hydrologidagen (2022) og workshops samt artikel i EVA-bladet (Thorndahl et al. 2022).
- Vandbranchen internationalt: Internationale conferencepræsentationer (IWA DWWC 2020, NORDIWA 2021 (online), IWA 2022).

GRAVA-projektet er derved allerede kendt flere steder i branchen. Dette kendskab skal der bygges videre på. Derfor planlægger projektgruppen følgende:

- Oplæg på DMIs workshop om sammenfaldende hændelser (28. marts 2023): Erfaringer fra GRAVA – risiko for oversvømmelse grundet sammenfaldende hændelser.
- Oplæg på Vandforum 2023 (25. april 2023): Præsentation af projektets resultater for scenariosimuleringer samt erfaringer med borgerinddragelse.
- Videnskabelige artikler (under udarbejdelse): 1) "Modelling of shallow groundwater levels and interaction with drainage systems and streams under the impact of climate change". Indsendes til f.eks. Journal of Hydrology; 2) "Analysis of shallow groundwater level observations in an urban area based on a dense network of citizens-science stations". Indsendes til f.eks. Hydrology and Earth System Sciences; 3) "Stochastic generation of geological models for estimation of shallow groundwater levels". Indsendes til f.eks. Water MDPI.
- Debatindlæg i Ingeniøren WaterTech.

5 Projektet

5.1 Formål

Størstedelen af de danske byer er udfordret både i forhold til vandafledning, vandforurening og oversvømmelsesrisiko. Med klimaændringernes øgede nedbørsmængder samt stigning i hav- og grundvandspejl øges udfordringerne i de kommende årtier.

Udover klimaforandringerne påvirkes byernes vandkredsløb ligeledes af ændrede dræningsforhold ifm. separatkloakering/sanering, nedsivning af regnvand, rekreative vandløsningsforhold, genåbning af rørlagte vandløb mv. Effekten af hver enkelt ændring på vandafledningen fra byerne og risikoen for grundvandsstigning er uvist. Især er ændringer i grundvandsstanden i lavtliggende byområder og konsekvenserne heraf er forholdsvis ukendte.

Der er derfor et generelt behov for at kunne kortlægge samspillet mellem de forskellige vandsystemer i byen, for bedre at kunne sikre sig mod overbelastning og effekter som forurening, oversvømmelse og øgede driftsudgifter. Dette kræver gode observationer af vandkredsløbet, som i dag sjældent findes.

I GRAVA er formålet at skabe overblik over det samlede vandkredsløb i byer på tværs af administrative barrierer samt under forskellige belastninger og driftssituationer. Dette gennemføres ved at:

1. inddrage borgere i byens vandafledningsrelaterede udfordringer og undersøge anvendelse af borgerindsamlede data (grundvandspejlinger, fotomateriale).
2. udvikle en observations- og modelbaseret platform til monitorering af vandkredsløbet i byen og undersøge samspillet mellem forskellige vandsystemer og driftssituationer.
3. konsekvensberegne, hvordan klimaændringer samt kloaksanering og vandløbsomlægning påvirker vandafledningen og risiko for kapacitetsoverskridelse.

Derudover var det et konkret ønske fra Aalborg Forsynings side, at der med projektet blev kigget på potentielle afværgeløsninger til problemet med højtstående grundvand i Aalborg-bydelen Kærby (se Kapitel 5.3, Projektlokaltet), løsninger som samtidig kan finde anvendelse i lignende byområder med lignende udfordringer.

5.2 Output

Output fra projektet:

- **Borgerhenvendt formidling af projektet og dets resultater.** Herunder udarbejdelse af informationstavler og pjecer ifm. borgerinddragelse, samt hjemmesiderne vandkortet.dk og grava.dk, som bl.a. indeholder informationer om projektet og dets resultater. Se mere om borgerinddragelsen under Kapitel 5.5.

Figur 5.1 viser informationstavle samt pejleboring, som har været placeret i Kærby.



Figur 5.1: Informationsskilt med information til borgerne omkring projektets formål samt vejledning til hvordan data aflæses og indsendes. Offentlig CS-station (pejleboring) ses til venstre.

- **Kombineret monitorings- og modelleringsystem** til overvågning af grundvandsstand, vandløbsafstrømning og afstrømning fra afløbssystem. Specifik for projektlokaliteten.
- **Vejledning** til opstilling, kalibrering og scenariemodellering af integrerede numeriske modeller for det samlede vandkredsløb. Dokumentation til opstilling af modellen kan findes på grava.dk og i Bilag A og kan anvendes som inspiration af andre forsyninger og kommuner, der ønsker at monitorere f.eks. grundvandsstand i et givent område.
- **Inspiration til generelle løsnings- og afværgemuligheder**, der på tværs af forvaltningsmæssige grænser kan løse problemer med især høj grundvandsstand i lavtliggende byområder. Se grava.dk, hvor effekten af de forskellige løsninger er præsenteret under forskelligt klima. Resultaterne eller effekterne af de forskellige løsninger er ligeledes præsenteret i Kapitel 5.9. Resultaterne kan forhåbentlig inspirere vandbranchen til fremtidige løsninger. Ud over de løsninger, der er præsenteret her i rapporten og på grava.dk, indeholder Bilag B et litteraturstudie med beskrivelse af yderligere afværgeløsninger, med fokus på minimering af høj grundvandsstand.

5.3 Projektlokalitet

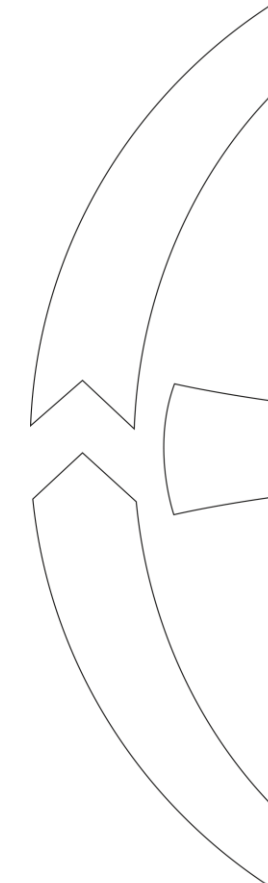
Aalborg-bydelen Kærby er et boligkvarter med 1916 indbyggere (2009), som primært består af enkeltfamiliehuse, enkelte lejlighedsbyggerier samt mindre erhverv. Kærby, som har et areal på ca. 60 ha, er beliggende mellem to bakkeøer (se Figur 5.2) og gennem

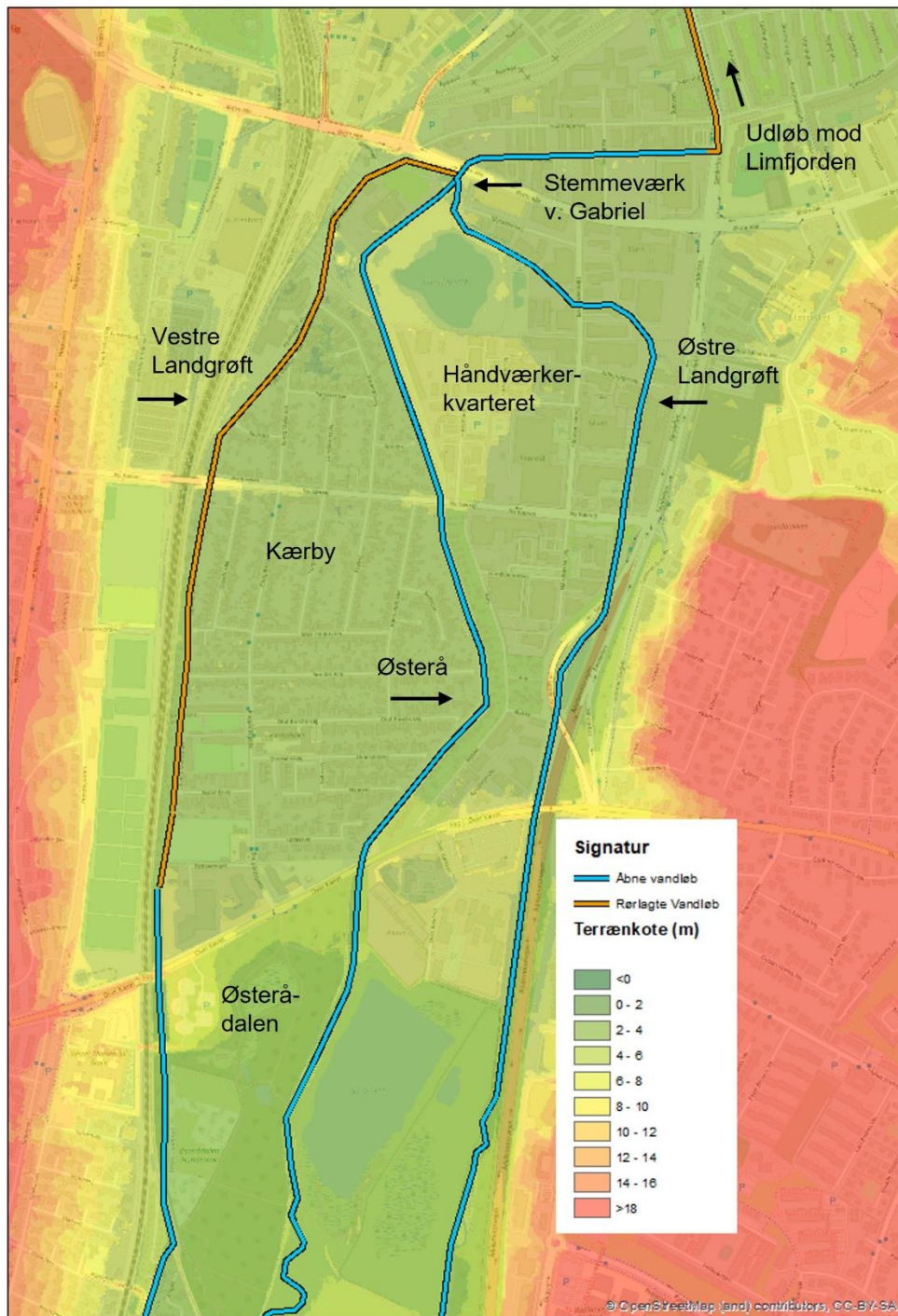
området løber Østerå og to afvandingsgrøfter hhv. Vestre og Østre Landgrøft. Landgrøfterne modtager overflade- og overløbsvand fra området.

Det fælleskloakerede afløbssystem i Kærby kan visse steder dateres tilbage til 1930'erne. Enkelte steder er systemet senere blevet separeret, strømpeforet og udbygget. Der findes i alt tre pumpestationer på fællessystemet i Kærby placeret på Enggårdsgade, Davids Allé og Kjærs Mølle Vej, se Figur 5.3. I tørvejr pumpes spildevand og drænvand til Renseanlæg Vest og under regn pumpes overløbsvand til Vestre Landgrøft.

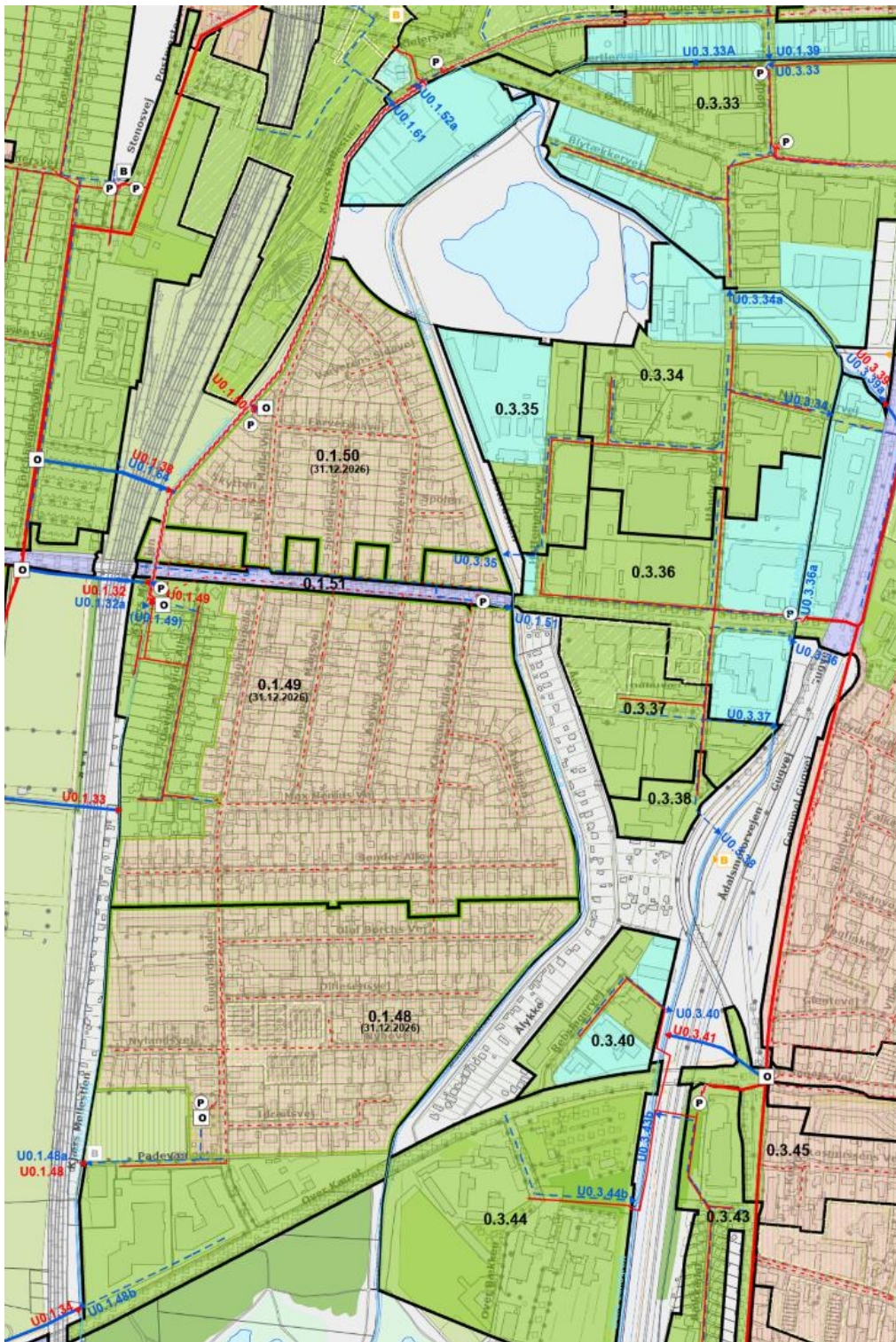
Østerå danner den østlige grænse fra Kærby mod Håndværkerkvarteret. Åen er på denne strækning inddæmmede med diger på begge sider. I dæmningen er der i 1960'erne etableret en egetræsspuns. Åen er opstemt ved virksomheden Gabriel (gl. Kjærs Mølle). På grund af opstemningen ligger Østerås vandspejl ca. 50 cm højere end i Østre og Vestre Landgrøft. Vestre Landgrøft er rørlagt på det meste af strækningen gennem Kærby og løber sammen med Østerå og Østre Landgrøft under Østre Allé.

Kærby er valgt som projektlokalitet på grund af udfordringer med hyppige aflastninger fra fællessystemet, et aldrende afløbssystem med betydelig indsvivning af grundvand, nærtliggende vandløb, højtstående grundvand og en planlagt separatkloakering inden udgangen af 2026. Projektet gennemføres derfor med udgangspunkt i Kærby som projektlokalitet, men kan fungere som inspiration til andre lavtliggende byområder, der oplever lignende udfordringer.





Figur 5.2: Terrænkoter i Kærby og Østerådalen. Grundet topologien forekommer der grundvandstilstrømning til Kærby.

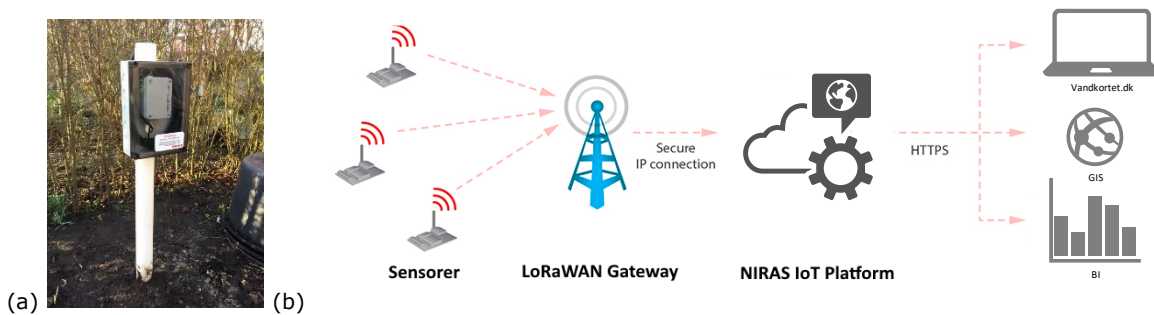


Figur 5.3: Udclip fra Aalborg Kommunes spildevandsplan for Kærby. Grønne områder er separatkloakerede og brune områder er fælleskloakerede. Pumpestationer er angivet med (P) og overløbsbygværker med (O).

5.4 Moniterings-set-up og dataindsamling

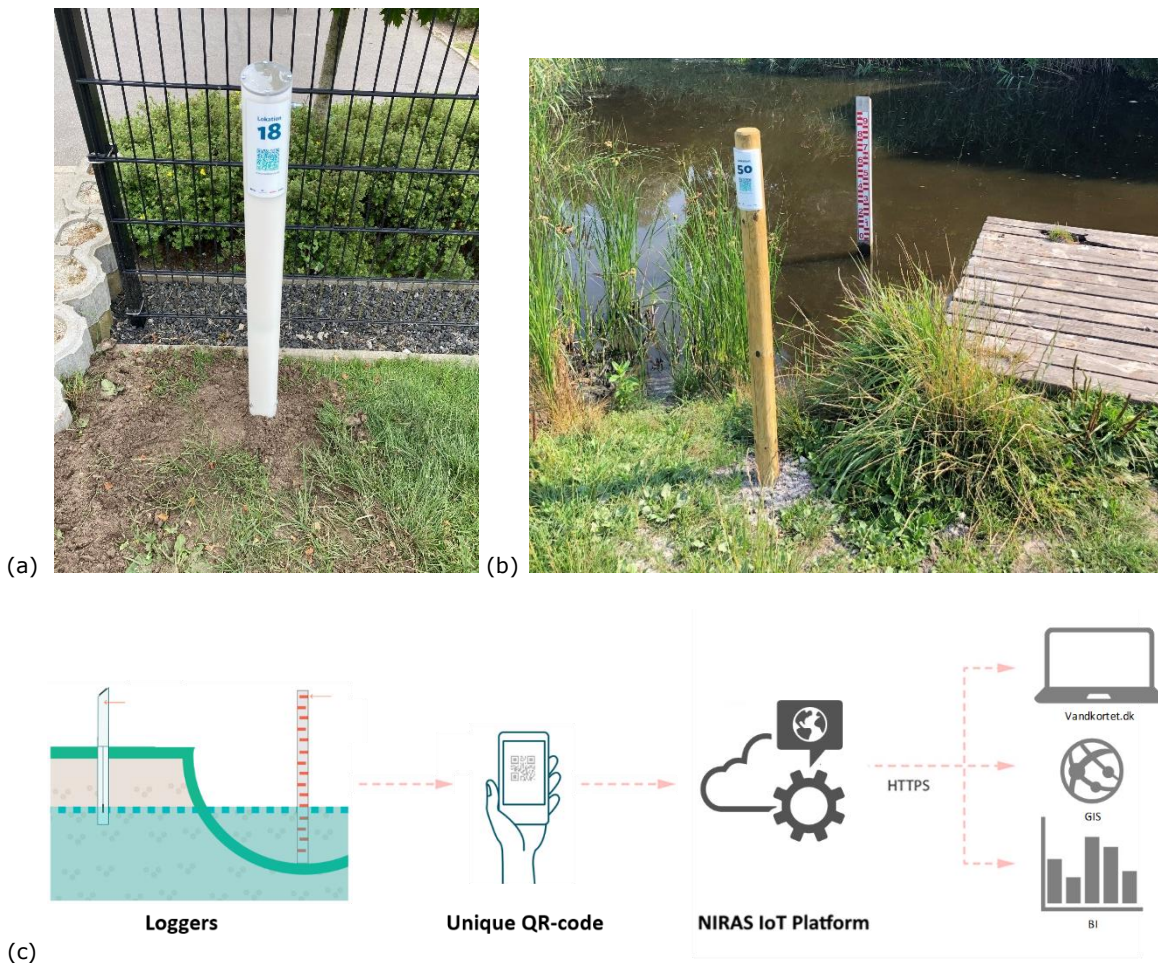
Rundt omkring i Kærby, samt i og omkring Østerådalen og Østerå, er der blevet opsat en række pejleboringer og skalapæle med det formål at kunne monitorere grundvandsstand og vandstand.

Til monitoring af grundvandsstanden er der etableret ni automatiske (LoRaWAN) loggere, hvor grundvandsstanden logges hver halve time. Ifm. logning sendes data automatisk til en IoT-server på dataplatformen vandkortet.dk. LoRaWAN logger og koncept for automatisk dataindsamling kan ses på Figur 5.4.



Figur 5.4: (a) LoRaWAN logger til automatisk pejling af grundvandsstanden samt (b) koncept for dataindsamling fra de automatiske loggere.

Ud over de automatiske loggere, er der desuden etableret otte manuelle pejleboringer på offentlige områder og 57 manuelle pejleboringer i private haver til monitoring af grundvandsstanden. Derudover fire skalapæle, der ligeledes aflæses manuelt. De manuelle pejleboringer og skalapælene kaldes i projektet citizen science (CS) stationer, da de er etableret med det formål at borgerne inddrages i og bidrager til dataindsamling. Figur 5.5 viser en manuel pejleboring, en skalapæl samt konceptet for dataindsamling fra CS-stationerne.

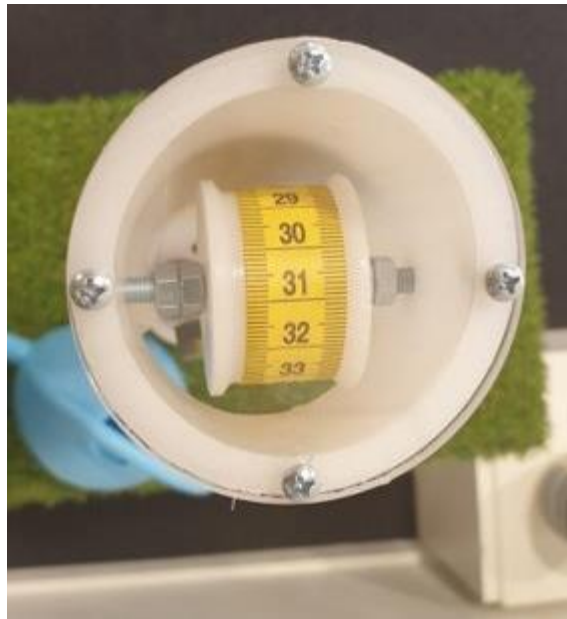


Figur 5.5: CS-stationer. (a) Manuel station til aflæsning af pejling, (b) skalapæl til aflæsning af vandstand samt (c) koncept for dataindsamling fra de manuelt aflæste CS-stationer.

Figur 5.13 viser et kort over alle målestationer, både automatiske loggere og CS-stationer, som har bidraget med data til projektet.

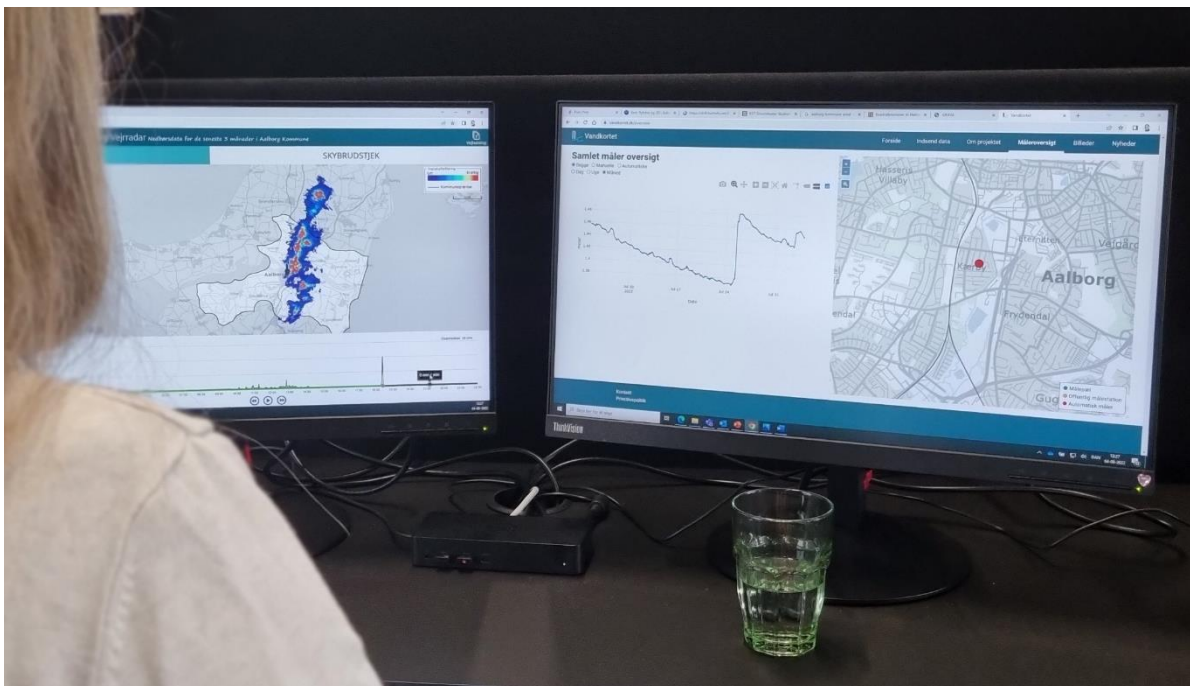
Borgernes dataindsamling ved pejlestationerne og skalapælene er foregået via hjemmesiden vandkortet.dk. Princippet er, at en borger foretager en aflæsning ved et pejlerør eller en skalapæl, hvorefter de kan scanne en unik QR-kode og indsender data via denne. Derefter ligges data op på en IoT-server tilknyttet vandkortet.dk. På vandkortet.dk visualiseres indsendt data for hver station. Data fra serveren kan, af dem, der har adgang, trækkes ud hvorefter de kan viderebehandles.

Ved pejlestationerne aflæses pejlingen på et målebånd, der viser afstanden til vandspejlet i boringen i meter under terræn, se Figur 5.6. Ved skalapælene aflæses vandspejlet direkte på skalapælen.



Figur 5.6: Målebånd til aflæsning ved pejlestationer.

Borgerne har i løbet af projektet haft mulighed for at følge udvikling i grundvandsstanden i deres område eller på deres grund ved daglige aflæsninger af grundvandsstanden, og ved indsendelse af data har de haft mulighed for at se det visuelt på hjemmesiden vandkortet.dk, se Figur 5.7.



Figur 5.7: Højre skærm viser vandkortet.dk med visualisering af vandstandskurve (måned) for en af pejleboringerne i GRAVA-projektet.

5.5 Borgerinddragelse og -kontakt

Borgerne har som nævnt været inddraget i projektet, blandt andet ved at deltage i dataindsamlingen om grundvandsstanden i området.

Der har løbende været behov for kontakt med borgerne i Kærby, i forskelligt omfang og gennem forskellige medier. Kontakten har hovedsageligt bestået af mailkorrespondancer, vedr. henvendelser samt løbende spørgsmål og praktiske problemer. Derudover har kontakten til borgerne bestået af borgermøder, hvor projektets formål og dets resultater er blevet formidlet til borgerne.

Borgermøder

Der har været afholdt tre borgermøder i projektets forløb, svarende til et borgermøde årligt. Ét i forbindelse med opstart af projektet, et opdaterende møde ca. midtvejs i projektperioden og et afslutningsmøde ifm. projektets afslutning. Borgermøderne er optaget på video og kan findes på hjemmesiden grava.dk.

Opstartsmøde

Ifm. projektets opstart, blev der sendt et brev rundt til borgerne i Kærby, hvor de blev inviteret til at deltage i opstartsmødet for projektet. Brevet blev ligeledes delt i en lokal Facebook-gruppe. Fremmødet ved første møde var større end forventet, og der var stor interesse blandt borgerne i Kærby, i at blive klogere på de problematikker de allerede i en vis grad kendte til og/eller oplevede.

Til opstartsmødet blev de ca. 80 fremmødte borgere introduceret bredt til klimaproblematikker, samt hvilke muligheder og begrænsninger der er ved håndtering af højtstående grundvand. Desuden blev de også introduceret til ansvarsfordelingen samt hvilke forpligtelser og rettigheder man har som grundejer, og hvilke forpligtigelser og ansvar kommunen samt forsyningen har.

Derefter blev de introduceret til projekt Vandkortet¹, hvor de altså selv kunne bidrage til dataindsamling. På mødet blev der givet en demonstration på en fysisk model af CS-stationerne af, hvordan aflæsning af grundvandsstanden laves, samt en demonstration af hvordan indberetningerne foretages ved hjælp af stationernes unikke QR-koder.

Efter det første borgermøde, opfattede projektgruppen, at der var en anspændt stemning fra borgernes side mod myndighederne samt forsyningen. Borgerne havde grundet den komplekse situation, en vis skepsis, da mange af dem allerede var bekendte med problemer som vand i haver og kældre. På trods af skepsissen, blev projektet mødt med stor interesse, især for de private CS-stationer, hvor 57 borgere meldte sig til at få etableret en pejleboring i deres have. Dermed var der rig mulighed for at opnå projektets mål, der blandt andet har været viden om og erfaring med borgerinddragelse i problemstillinger i deres eget nærområde.

Opdateringsmøde

Opdateringsmødet blev holdt efter at projektet havde været kørende i ca. et år. Formålet med mødet var at give borgerne i Kærby en opdatering på, hvordan projektet forløb, både iht. dataindsamling, hvordan de indsamlede data kunne bruges samt hvad der skulle ske

¹ Projektet er hos borgerne kendt som projekt Vandkortet, og ikke GRAVA.

med projektet fremover. Fremmødet til opdateringsmødet var mindre end ved opstartsmødet, hvilket tyder på at interessen for projektet måtte være faldet undervejs.

Opdateringsmødet har været med til at opbygge viden hos borgerne, da de her fik et indblik i, hvordan deres dataindsamling bidrog til viden om hydrologien i Kærby. Desuden blev borgerne præsenteret for hvilke andre faktorer der påvirker det hydrologiske kredsløb, som evapotranspiration, grødeskæring og geologiske forhold.

På mødet blev der gjort status på, hvordan borgernes erfaringer med CS-stationerne havde været over året, hvilke problematikker der havde været, og hvordan disse kunne afhjælpes. Borgerne blev ligeledes opfordret til at fortsætte det gode arbejde, og indberette dagligt. Der blev på mødet kåret en vinder af "Årets indberetter" og "Årets billede", for at øge engagementet og motivationen for fortsat at indberette det kommende år.

Afslutningsmøde

Fokusområderne til det afsluttende borgermøde var i stor grad sammenfaldende med dem for opdateringsmødet. Der blev igen givet en status på dataindsamling og hvad de indsamlede data viste for det forgangne år. Der blev også fremvist resultater fra de modelberegninger Aalborg Universitet har kunnet opsætte på baggrund af projektet, hvor mulige fremtidsscenerier blev konkretiseret.

På baggrund af modelberegningerne blev der foreslået konkrete løsningsforslag, og deres potentielle effekter blev præsenteret og forklaret. Derefter blev der givet endnu en opsummering af de lovmæssige og forvaltningsmæssige grundlag i sagen. Slutteligt blev der redegjort for, hvad der skulle ske med de private CS-stationer, hvor borgerne har fået mulighed for at beholde dem. Interessen for at beholde stationerne var større end forventet; 43 borgere har på nuværende tidspunkt valgt at beholde deres station.

Der er i løbet af projektet opfattet et stemningsskift blandt borgerne i Kærby. Den tidligere nævnte skepsis mod myndighed og forsyning er blevet mindre fra det første til det sidste borgermøde, som følge af at borgerne har fået et større indblik i de problemer fremtiden byder på, og hvordan det lovmæssigt er et komplekst emne, som hverken forsyning eller kommune let kan løse. Det er også opfattet, at den øgede viden om det urbane hydrologiske kredsløb og det fremtidige klima har klædt borgerne bedre på i deres opfattelse af problemet.

At borgerne selv løbende har bidraget til dataindsamlingen, samt at de har været inviteret til møder, hvor løsningsforslag, ansvar og fremtidige muligheder er blevet diskuteret, er også opfattet som bidragende til at stemningen mod kommunen og forsyningen er blevet løftet. Projektgruppen har desuden opfattet at projektet, for en gruppe borgere, har vækket en nysgerrighed for og interesse i grundvandet, i og med de dagligt har kunne følge med i ændringerne i grundvandsstanden på et helt lokalt niveau.

Fra borgerne med private CS-stationer især, er der eksempler på borgere, der har henvendt sig med spørgsmål til projektet samt generelle spørgsmål om grundvand og det hydrologiske kredsløb. En enkelt borger har endda bedt om ekstra data, så de selv kunne forsøge at sammenstille deres målinger med den mængde regn de havde noteret sig i deres private regnmåler. En anden borger viste interesse for hvad målingerne i meter under terræn, DVR90 og kote betød. På den måde er der flere eksempler på nysgerrighed fra borgernes side, for projektet og de naturfaglige fænomener og begreber projektet knyttes op på.

Afslutningsvist blev borgerne bedt om at evaluere de dele af projektet, hvor de havde været inddraget. Bilag E indeholder spørgeskema med spørgsmål til de ting borgerne blev bedt om at evaluere på.

Løbende borgerinddragelse og -kontakt

Den løbende kontakt med borgerne har hovedsageligt bestået af mailkorrespondancer mellem borgere og mailadressen VANDKORTET@NIRAS.dk, som NIRAS primært har varetaget. Der har været henvendelser af forskellig karakter, bl.a. forkerte indberetninger, billeder der viser lokale oversvømmelser, problemer med stationer, eller spørgsmål i forbindelse med projektet.

Borgerinddragelsen ved de offentlige CS-stationer er blevet forsøgt fremmet ad flere omgange. F.eks. ved opslag på Facebook, hvor borgerne opfordres til at tage på tur (med familien) samtidig med at de bidrager med vigtig viden/data, se Figur 5.8 for eksempel. I efteråret 2021 (efterårsferien) blev der desuden afholdt en halloween-konkurrence, som gik ud på at samle bogstaver ved hver af de offentlige CS-stationer. Her blev borgerne også opfordret til at foretage en indberetning, når de nåede til hver af stationerne. Efter hvert opslag, og især efter halloween-arrangementet, sås der en tydelig effekt, i form af en markant stigning i antal indberetninger, se Kapitel 5.6 samt Figur 5.10.



Figur 5.8: Facebook-opslag med det formål at motivere borgerne til at aflæse og indsende data til vandkortet.dk.

5.6 Tendenser for anvendelse af CS-stationerne over projektperioden

Der har hen over projektperioden været en række tendenser knyttet til borgernes anvendelse af CS-stationerne. Det giver her mening af skelne mellem de private CS-stationer, der hver især har været sat op for en enkelt grundejer, og de offentlige CS-stationer, der har været til fri afbenyttelse for brugere af de offentlige områder, da tendenserne for de to typer er forskellige i nogle tilfælde. Derfor er de kommende to afsnit delt op i et afsnit om tendenserne relateret til de offentlige CS-stationer og et afsnit om tendenserne relateret til de private CS-stationer.

Af nøgletal, der er gældende for både de offentlige og private CS-stationer kan der nævnes:

- I projektperioden fra juli 2020 til november 2022, blev der indsamlet i alt **12.819 indberetninger** fra borgere.²
- Indberetningsmængden havde, for alle stationer, sit højdepunkt umiddelbart efter opstart af projektet i november 2020.
- Mellem juli 2020 og november 2022 er november den måned, hvor indberetningshyppigheden er størst for alle stationer, efterfulgt af marts og september.
- Mandag er den dag på ugen, hvor indberetningshyppigheden har været størst for alle stationer set over den samlede projektperiode. Indberetningshyppigheden har for alle stationer været størst mellem kl. 09-10 om morgenen samt mellem kl. 15-16 om eftermiddagen.

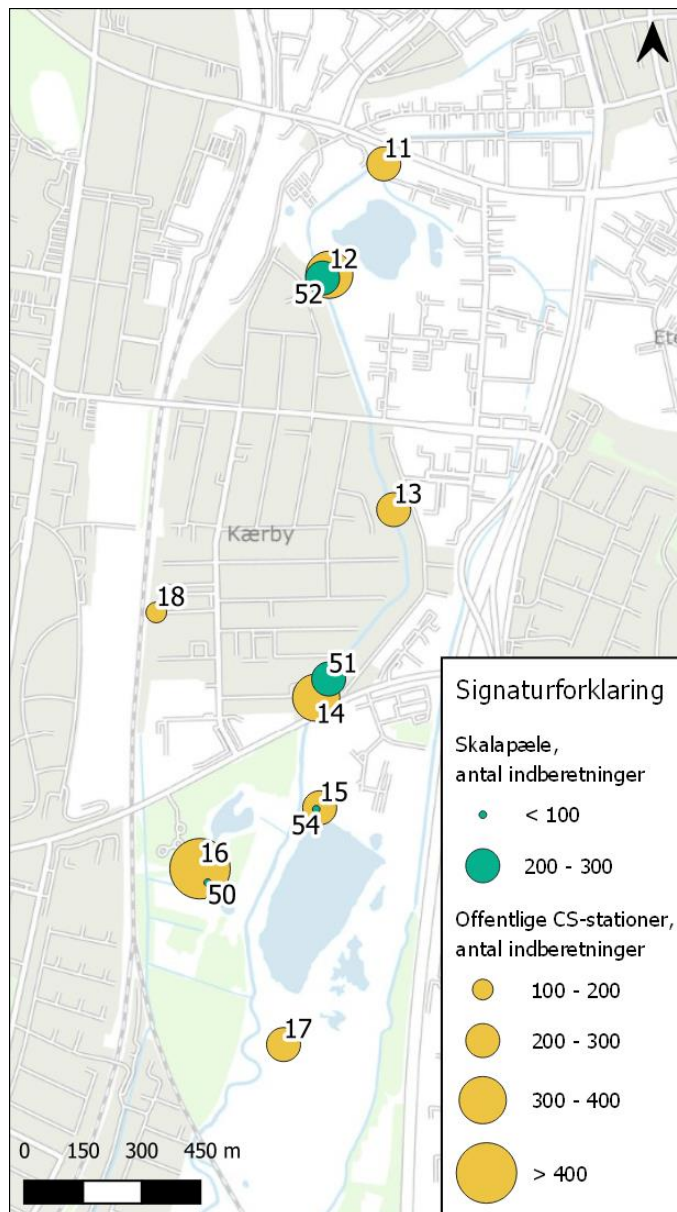
Offentlige CS-stationer

Fra de offentlige CS-stationer, inklusive indberetninger ved skalapælene, har der i alt været **3.020 indberetninger**, svarende til ca. 24% af alle indberetninger i perioden. Indberetningerne er fordelt over otte offentlige CS-stationer og fire skalapæle. Fordelingen af indberetninger på stationsniveau, både for CS-stationer og skalapæle, kan ses i Figur 5.9.

Der er forskel på, hvor anvendte de enkelte offentlige CS-stationer samt skalapæle har været. Forskellene er illustreret i Figur 5.9. Af de 3.020 indberetninger, har de 2.425 været modtaget ved CS-stationer, hvor de resterende 588 har været modtaget ved skalapæle. Dette svarer til, at der gennemsnitligt har været 303 indberetninger pr. CS-station, og 147 indberetninger pr. skalapæl, i hele projektperioden. Altså har systemet ved CS-stationerne været mere tiltalende, velplaceret eller intuitivt, da det altså er dem, der er anvendt mest, sammenlignet med skalapælene. Dette til trods for at de har været placeret tæt på hinanden, og det derfor må antages, at der kommer lige mange borgere forbi.

Den mest anvendte CS-station har over hele projektperioden modtaget 543 indberetninger, hvor den mindst anvendte har modtaget 118 indberetninger. For den mest anvendte station svarer dette til ca. én indberetning hver anden dag, og for den mindst anvendte svarer det til ca. én indberetning hver ottende dag.

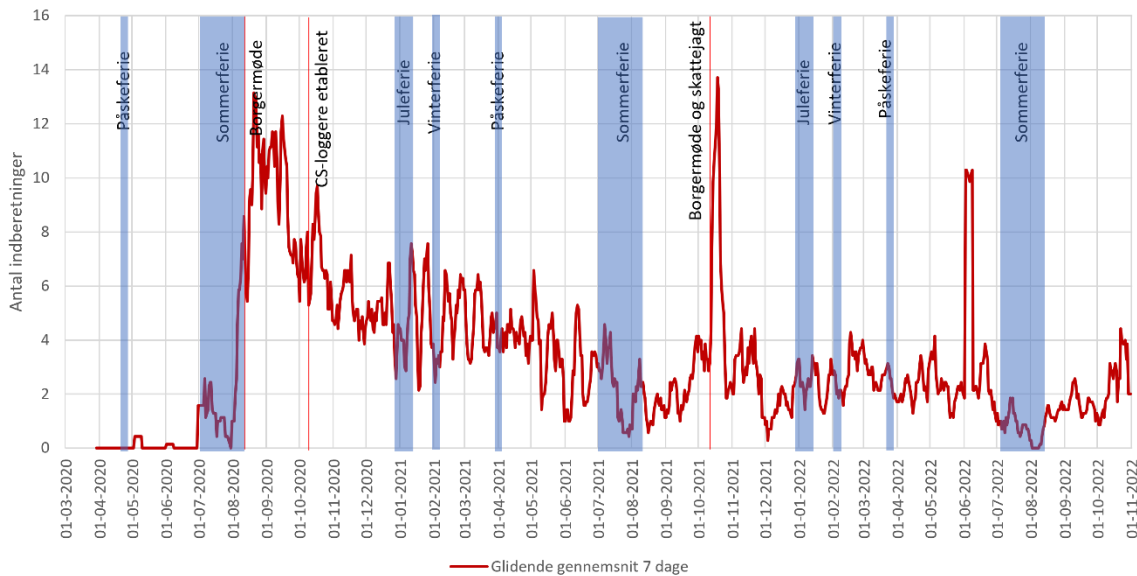
² Dataindsamlingen startede i juli 2020, hvor de første stationer blev sat op. Officielt begyndte borgerinddragelsen i november 2020, hvor der blev afholdt opstartsmøde med borgerne.



Figur 5.9: Oversigt over offentlige CS-stationer og skalapæle. Stationsnummer for hver station står angivet på kortet. Grøn er skalapæl og gul er CS-station (pejleboring). Antal indberetninger er angivet med størrelsen af prikken ved hver station.

At station 18 har været så lidt besøgt i forhold til de andre CS-stationer, se Figur 5.9, kunne tyde på, at denne station har haft en særligt dårlig placering med meget lidt let trafik, eller at den har stået for langt væk eller skjult ift. stien den er placeret nær.

Den mest anvendte skalapæl har over hele projektperioden modtaget 231 indberetninger, hvor den mindst anvendte har modtaget 74 indberetninger. Dette svarer for den mest anvendte skalapæl til én indberetning hver fjerde dag, og for den mindst anvendte én indberetning hver trettende dag.



Figur 5.10: Glidende gennemsnit over 7 dage, over antal indberetninger ved samtlige offentlige CS-stationer samt skalapæle.

Fordelingen af indberetninger ved de offentlige stationer over tid kan ses plottet i Figur 5.10. Der kan findes en række forskellige tendenser i plottet. Interessen for stationerne var tydeligt størst i starten af projektet, hvor antallet af indberetninger pr. dag havde sit næststørste højdepunkt. Sidenhen har der været et faldt i antal indberetninger indtil august 2021, hvor antallet af indberetninger pr. dag stabiliseres omkring 1-4 indberetninger pr. dag.

Det største højdepunkt i antallet af indberetninger pr. dag fandtes ifm. den tidligere nævnte halloween-konkurrence. Det ses dog også, at interessen derefter ikke var vedholdende over tid, hvor arrangementet i større grad bidrog med en kort periode med mange indberetninger. Der ses desuden en tendens til at antallet af indberetninger rammer lavpunkter i folkeskolernes sommerferier, hvilket kunne tyde på, at det er borgere i Kærby, der med jævne mellemrum bevæger sig rundt i Ådalen og sender indberetninger ind, og ikke nødvendigvis turister eller andre, der normalt ikke kommer i området.

Fordelingen af indberetninger er undersøgt i større detalje, hvor antallet af indberetninger per måned, per ugedag og over døgnet er optalt. For nærmere beskrivelser og analyser heraf henvises til Bilag C. Hovedpointerne fra analysen, foretaget ved de offentlige stationer, er:

- Oktober er den måned, hvor der er blevet indberettet mest samlet set over hele projektperioden. I 2020 var det september, i 2021 var det oktober, og i 2022 var det juni.
- Mandag og søndag er de dage der bliver indberettet mest.
- Der er flest indberetninger om morgenen mellem kl. 9-10 og om eftermiddagen mellem kl. 14-15. Der færrest indberetninger om natten mellem kl. 21-06.

Private CS-stationer

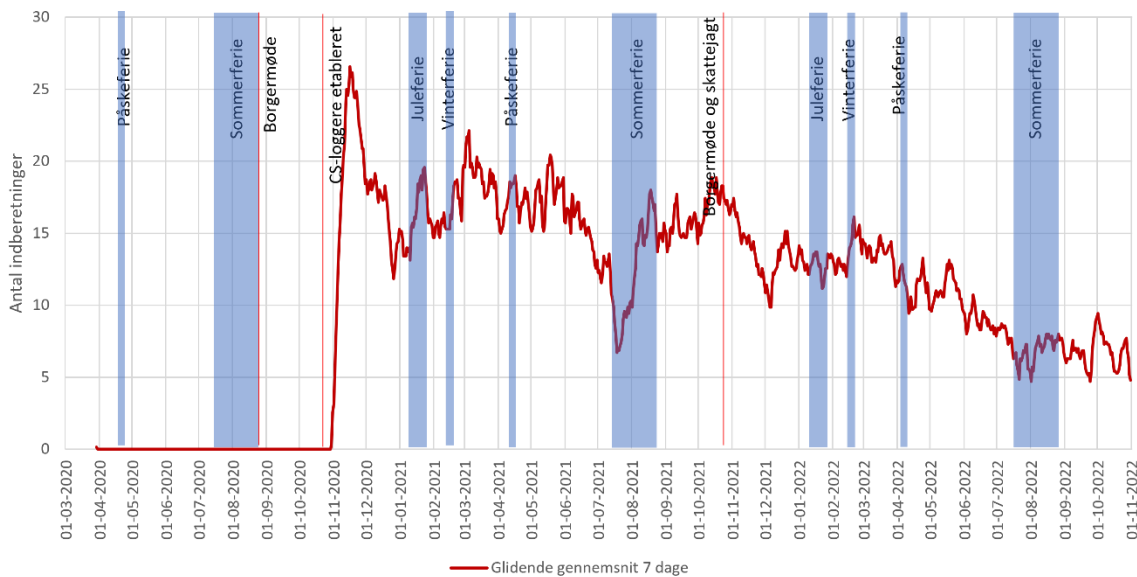
Fra de private CS-stationer har der i alt været **9.799 indberetninger**, svarende til ca. 76% af alle indberetninger. Der har dog også været flere private stationer, end der har været offentlige. Der har ved projektets afslutning været 57 opsatte borgerstationer, tilhørende private husstande, op imod de nævnte otte offentlige CS-stationer samt fire skalapæle.

Det har været meget svingende, hvor stort engagement der har været ved de enkelte stationer. Antallet af indberetninger pr. station varierer meget fra station til station, i langt større grad end ved de offentlige stationer. Ved den mindst anvendte station er der modtaget tre indberetninger i hele perioden, og ved den mest anvendte er der modtaget 617 indberetninger. For den mest anvendte station svarer det til, at der minimum er lavet en indberetning hver anden dag.

Fordelt over alle de private CS-stationer, har der over hele projektperioden gennemsnitligt været 166 indberetninger pr. station, svarende til ca. én indberetning hver 5. dag. For 21 af stationerne er der foretaget flere indberetninger end dette, og for 38 er der foretaget færre. Gennemsnittet for antal indberetninger er altså væsentligt højere ved de offentlige CS-stationer, med 303 indberetninger pr. station.

I Figur 5.10 kan det ses, at der dagligt har været flere indberetninger ved de private stationer, end ved de offentlige, hvilket også er forventeligt, da der er mange flere private end offentlige stationer. Derudover er det folk, der selv har udvist interesse for at aflæse og bidrage med data, der har fået etableret en privat CS-station - i modsætning til de offentlige, hvor det er uvist, hvor mange interesserede, der bidrager. Der har som nævnt været 534 indberetninger i alt ved den mest populære offentlige CS-station. Der er to private borgerstationer, hvor der er foretaget flere indberetninger end dette.

Modsat de offentlige stationer, ses der ved de private stationer, at der i sommerferierne sker en stigning i antal indberetninger pr. dag, både under ferien, men også i et stykke tid derefter, se Figur 5.11. Der ses samme tendens som ved de offentlige stationer, med at interessen må have været størst i begyndelsen af projektet, hvorefter antallet af indberetninger pr. dag falder i resten af projektets løbetid.



Figur 5.11: Glidende gennemsnit over 7 dage, over antal indberetninger ved samtlige private CS-stationer.

Hvis der kigges på de private stationer og fordelingen af indberetninger over året, se Figur 5.11, er november også den måned der er flest indberetninger, når alle år betragtes. I både 2021 og 2022 har det dog været i marts, at der er blevet indberettet mest. På Figur 5.11 ses det også, at der i 2021 generelt er en del variation i antallet af indberetninger ved de private stationer, fra måned til måned, frem for et konsekvent fald i antallet af indberetninger, hvilket i større grad er tilfældet for 2022.

Fordelingen af indberetninger er for de private stationer ligeledes undersøgt i større detalje, hvor antallet af indberetninger per måned, per ugedag og over døgnet er optalt. For nærmere beskrivelser og analyser heraf henvises igen til Bilag C. Hovedpointerne fra analysen er:

- Marts og november er samlet set de måneder, der bliver indberettet mest. I 2020 er november den måned der bliver indberettet mest. I 2021 og 2022 er marts den måned der bliver indberettet mest.
- Der er meget mere ligelig fordeling af antal indberetninger over ugen ved de private stationer end ved de offentlige. Der er en svag tendens til flest indberetninger først på ugen, hvorefter antallet pr. dag falder i resten af ugen.
- Der er flest indberetninger om morgenen mellem kl. 8-9 og om eftermiddagen mellem kl. 15-16. Der færrest indberetninger om natten mellem kl. 00-05.

5.7 Erfaringer og udfordringer med CS-stationerne

I løbet af projektperioden er der, udover erfaringer med borgerinddragelse og dataindsamling, også gjort erfaringer med det fysiske system CS-stationerne består af. Disse erfaringer er i det nedenstående delt op i erfaringer relateret til systemets anvendelighed for borgerne, samt et afsnit om de udfordringer, der har været med systemerne, og hvordan disse udfordringer er løst. Slutteligt findes et afsnit om opsætning og nedtagning af systemet.

Systemets anvendelighed

Mængden af indberetninger, samt at der ved de offentlige stationer blev lavet indberetninger inden projektet officielt var sat i gang, vidner om, at CS-stationerne er intuitive systemer, hvor brugeren i stor grad selv kan lykkedes med at få aflæst og indberettet en pejling af grundvandsstanden, uden den store introduktion til eller forklaring af systemet. Det betyder også, at de offentlige CS-stationer må vække en nysgerrighed hos borgerne, når de ser det første gang og undersøger nærmere ved hjælp af infotavlerne og QR-koderne på stationerne.

Når de indsendte data undersøges, tegnes der et billede af, at det er et fåtal af de indberetninger, der kommer ind, der er behæftede med fejlaflæsninger eller -indtastninger. Dette vidner ligeledes om, at CS-stationerne må være et intuitivt system.

Når borgere har været bevidste om, at de har fået indberettet en forkert værdi, hvor de f.eks. er kommet til at taste forkert, har de ofte skrevet en mail til VANDKOR-TET@NIRAS.dk, hvor de gør opmærksomme på fejlen. Der har på den del af hjemmesiden, hvor indberetningerne indsendes, været et direkte link til at sende en mail ind til Vandkortet ifm. fejlregistreringer, og denne del har tydeligvis været velfungerende, da det ikke er mange fejlregistreringer, der ikke er blevet indberettet.

Udfordringer med og udvikling af systemet

Efter stationerne var sat op og projektet var begyndt at køre, gjorde flere af borgerne opmærksomme på, at der, pga. fritstående vandspejl i borerne, var tendens til kondens på indersiden af glassene i toppen af CS-stationerne, således at målebåndet ikke kunne aflæses, se Figur 5.12 (a). Nogle af borgere ved de private stationer tog problemet i egen hånd, og erfarede selv, at de ved at skrue tre af de fire skruer ud i toppen af stationen, kunne vippe glasset til siden og derefter aflæse og indberette vandstanden.

En anden løsning, der blev fundet på dette problem, var at coate indersiden af glasset med nanospray, så vandet nemmere kunne glide af glasset, hvorved vandstanden igen blev læselig, se Figur 5.12 (b). Begge disse løsningsforslag blev videresendt via et informationsbrev til alle borgere med private stationer, og alle offentlige stationer blev behandlet. I informationsbrevet blev borgerne også opfordret til at kontakte NIRAS, hvis de ikke selv havde mulighed for at afhjælpe problemet.



Figur 5.12: (a) Plexiglas på CS-station med kondens inden behandling med nanospray. (b) Plexiglas på CS-station med kondens efter behandling med nanospray. Aflæsningen af målebåndet er blevet tydeligere.

For skalapælene var der i starten af projektet en del misforståelser med enheden på skalapælen kontra enheden, der skulle indberettes på vandkortet.dk. Skalapælene var angivet i decimeter, hvorimod indberetningen skulle angives i meter. Dette ledte til mange indberetninger i forkerte enheder, der derefter skulle efterbehandles og rettes. Problemet blev løst ved at skifte skalaen på skalapælene ud, så den blev samme enhed som indberetningerne. Desuden må meter også antages at være en mere intuitiv og forståelig enhed for den almindelige borger end decimeter.

Der har i løbet af projektperioden, ved de offentlige CS-stationer og skalapæle, et par gange været problemer med hærværk, hvor stationer er blevet hevet op, QR-koder er blevet fjernet eller der er blevet malet graffiti på stationerne. I disse tilfælde er toppen af boringen blevet skiftet, og i visse tilfælde er stationen blevet flyttet.

Ved det første system, der blev udviklet, var der problemer med at lod og flyder ikke kunne passere hinanden i boringen, hvilket resulterede i at CS-stationen kunne sidde fast på samme værdi i længere tid, frem for at flytte sig med vandspejlet. Ved stationer, hvor dette viste sig at være et problem, blev loddene systematisk skiftet ud til mindre lodder, så systemet igen kørte som det skulle. Desuden blev systemet også opdateret, så afstande på under en meter under terræn kunne vises og aflæses, hvilket de ikke kunne ved den første iteration.

Enkelte borgere ved de private CS-stationer har oplevet problemer med, at deres individuelle QR-koder eller links ikke har virket, men disse problemer har været midlertidige, hvor linket eller koden er kommet til at virke igen, efter der har gået lidt tid.

Opsætning og nedtagning af systemet

Grundet systemets simple natur, er det også et relativt simpelt system at montere og nedtage. Systemet kan bygges indendørs, inden opsætning i felten. Der samles målebånd, flyder og lod, samt bores de nødvendige huller i pejlerøret (den del af røret, der er under jorden, inden filteret) så pejlehovedet (den del af røret, der er synlig over jorden) kan monteres på pejlerøret. Derudover skal der bores de nødvendige huller i pejlehovedet, så trisse

til målebånd samt glas kan monteres. Pejlehoved inklusive målebånd og glas kan samles inden felten.

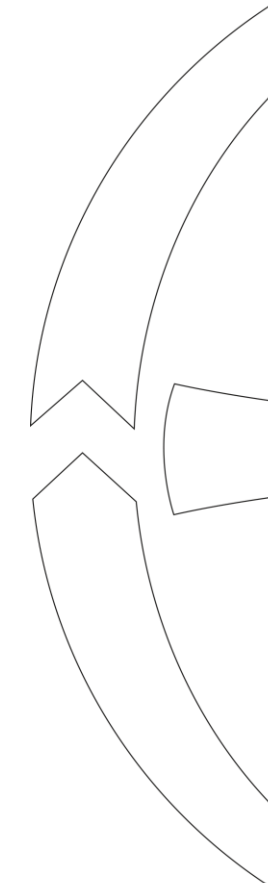
I felten bruges et håndbor til at bore et hul i en passende diameter og dybde, efter de givne forhold (afhænger af grundvandets niveau). Der er ikke nogen gruskastning i pejleboringerne, så nedsætning af filter og pejlerør kan udføres umiddelbart efter at hullet er boret. Derefter kan pejlehovedet med tilhørende trisse, målebånd, flyder og lod monteres i pejlerøret. Målebåndet påsættes efter der er foretaget en pejling af grundvandsstanden og en GPS-indmåling af terræn og pejlepunkt, så det sikres, at den vandstand, der aflæses på målebåndet, er kalibreret til at vise meter under terræn, og så disse målinger kan relateres til den generelle kotesætning i området efterfølgende.

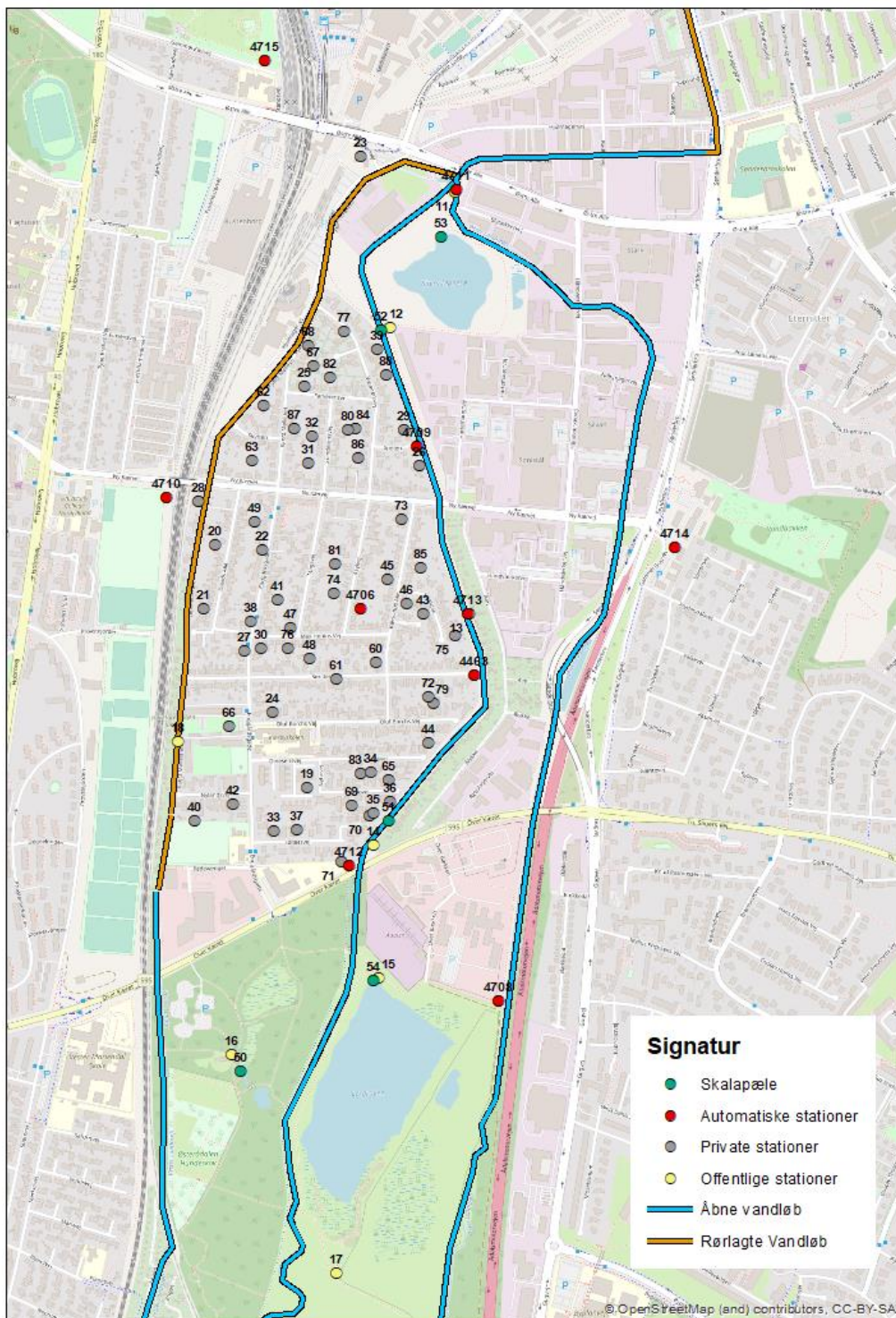
Nedtagning af systemet indebærer først afmontering af pejlehovedet, hvor flyder, lod og målebånd trækkes med op af pejleboringen i samme omgang. Derefter kan der bores to huller i siden af pejlerøret, hvor der kan monteres en bolt, der kan trækkes i med f.eks. et reb eller en baggefastspænder. Derefter kan borerør og filter hives op med håndkræft. Efter dette skrues filter og pejlerør fra hinanden, og borehullet sløjfes iht. brøndborerbekendtgørelsen.

Bilag F indeholder en vejledning, der er udarbejdet til borgerne ifm. sløjfning af deres CS-stationer.

5.8 Analyse af grundvandsstand og vandkredsløb baseret på opsamlede data

I dette kapitel analyseres data fra CS-stationer og automatiske stationer (Figur 5.13). Alle opsamlede data er vist som tidsserier i Bilag D, mens udvalgte tidsserier og sammenfattende kort præsenteres herunder.



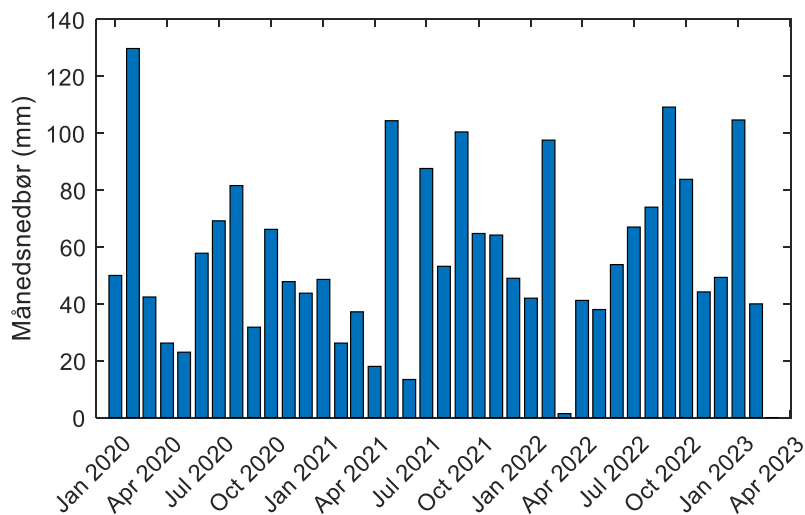


Figur 5.13: Kort med angivelse af samtlige målestationer og deres ID-nummer (stationsnummer).

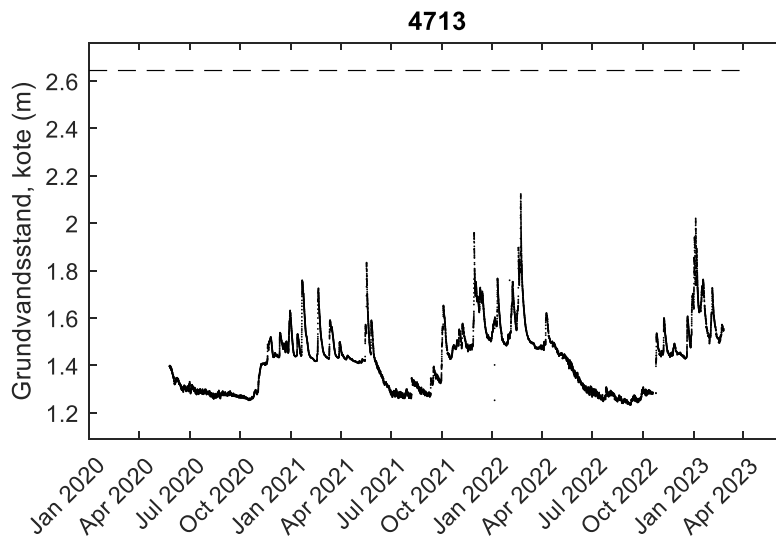
Tidsserieanalyser

Figur 5.14 viser månedsnedbør målt i spildevandskomiteens regnmålerstation 5052 på Østerport pumpestation i Aalborg. For den samme periode viser Figur 5.15 og Figur 5.16 den målte grundvandsstand i stationerne 4713 og 4463 (automatiske loggere). Sammenlignes figurerne, ses en tydelig korrelation mellem nedbør og vandstand. Generelt er grundvandsstanden højere i vintermånederne og især i februar 2022 og februar 2023 er der målt høje vandstande. De laveste vandstande findes i sensommerperioderne.

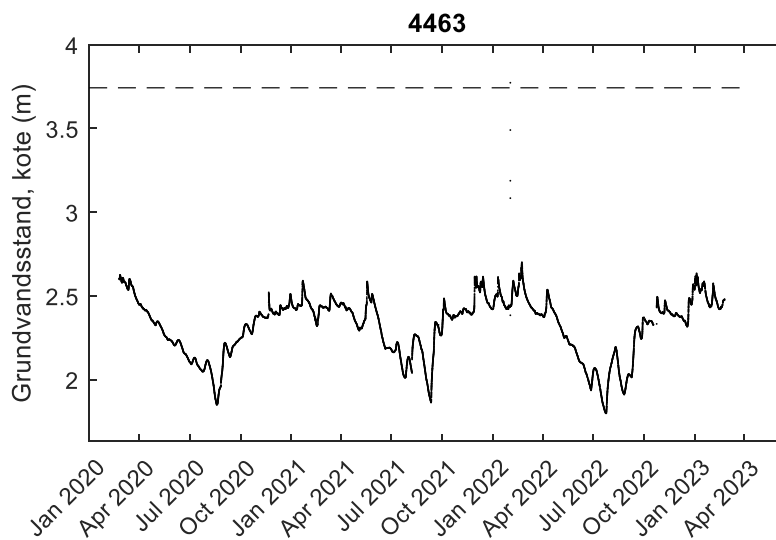
Station 4713 og 4463 er placeret ca. 130 m fra hinanden. Station 4713 er placeret på øst-siden af Østerå og 4463 på vestsiden af Østerå. Stationerne udviser forskellig respons i forhold til ændringer i vandstanden i åen: Station 4713 ses at reagere hurtigt med vandstanden i åen, hvorimod station 4463 reagerer væsentligt langsommere. Den langsommere respons på station 4463 formodes at skyldes, at stationen er placeret bag diget (hvor der er placeret en gammel egetræsspuns). Spunsen danner en barriere, så grundvandet mod vest i Kærby er mindre påvirkeligt af vandstandsvariationerne i Østerå. Grundvandet på vestsiden ses også at stå højere, hvilket kan skyldes at vandet ikke naturligt kan strømme mod vandløbet. Der skabes således en "badekarseffekt" i Kærby.



Figur 5.14: Månedsnedbør (mm) målt i spildevandskomiteens regnmåler station 5052 (Østerport pumpestation).



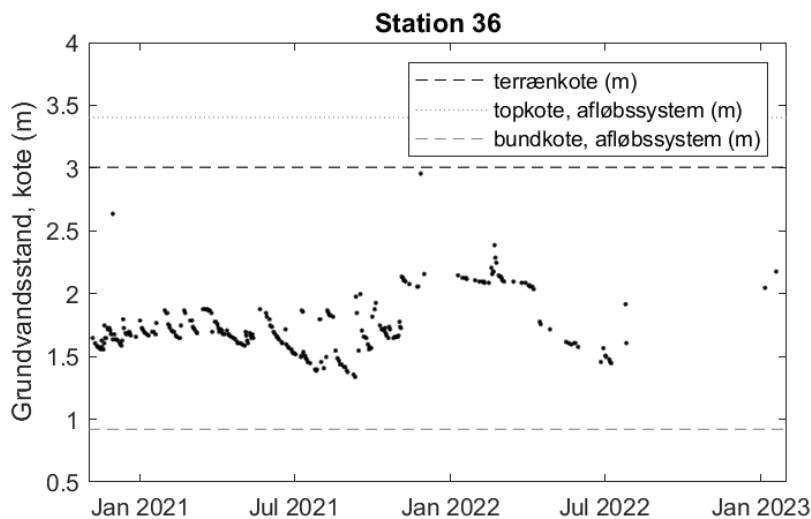
Figur 5.15: Grundvandsstand (kote, m) for station 4713 (på østsiden af Østerå). Den stiplede linje viser terrænkote.



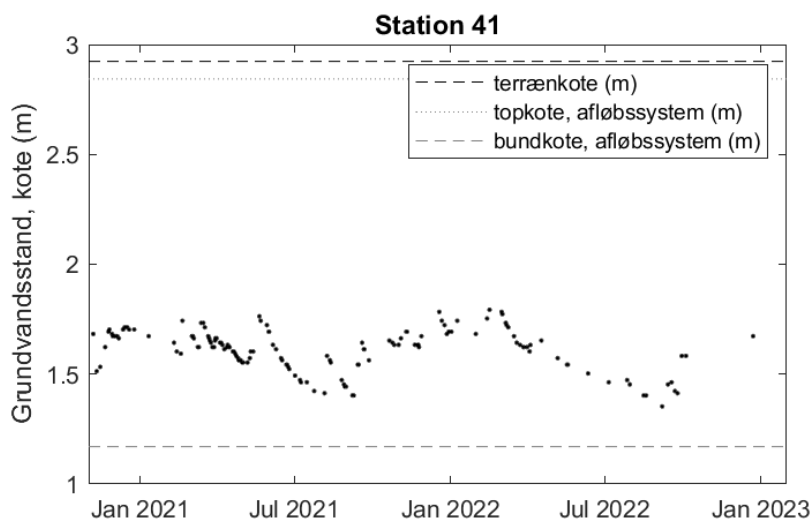
Figur 5.16: Grundvandsstand (kote, m) for station 4463 (på vestsiden af Østerå). Den stiplede linje viser terrænkote.

Som supplement til de automatiske logger-stationer viser Figur 5.17 og Figur 5.18 to eksempler på manuelle indberetninger fra CS-stationerne 36 og 41. Begge stationer har daglige til ugentlige aflæsninger og viser samme variationer i grundvandsstanden som i de automatiske stationer. I figurene henviser terrænkote til terrænets kote der hvor loggeren er placeret. Samtidig vises top- og bundkoter af den offentlige brønd i afløbssystemet, der er placeret tættest på stationen. Topkoten svarer derfor til kote på vejen hvorunder afløbssystemet ligger. Bundkoterne svarer til den dybeste del af afløbssystemet som ligger nærmest. På begge figurer ses grundvandet at stå højere end bunden af afløbssystemet, hvorfor der, afhængigt af afløbsledningernes tilstand, kan være potentiale for grundvandsindsivning til afløbssystemet (uvedkommende vand).

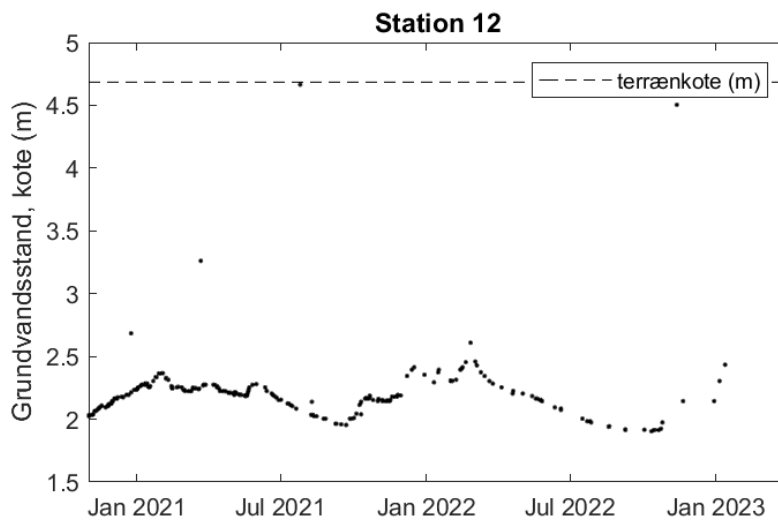
Figur 5.19 viser grundvandsstanden i en af de offentlige CS-stationer (station 12). Her ses årsvariationen at følge både de private og automatiske loggere fint, men dog også enkelte fejlindberetninger.



Figur 5.17: Grundvandsstand (kote, m) for CS-station nr. 36 samt kote (m) på nærliggende afløbssystem og terræn.



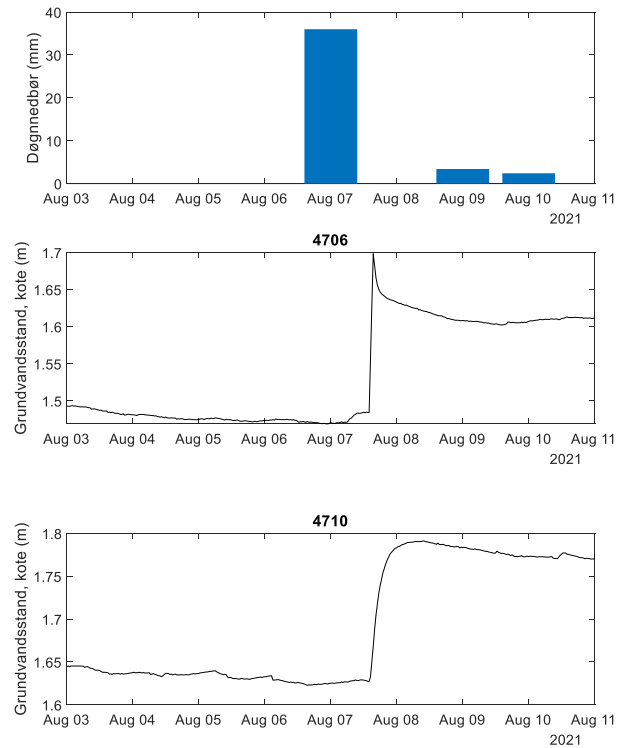
Figur 5.18: Grundvandsstand (kote, m) for CS-station nr. 41 med kote (m) på nærliggende afløbssystem og terræn.



Figur 5.19: Grundvandsstand (kote, m) for offentlig CS-station nr. 12 samt terrænkote (m).

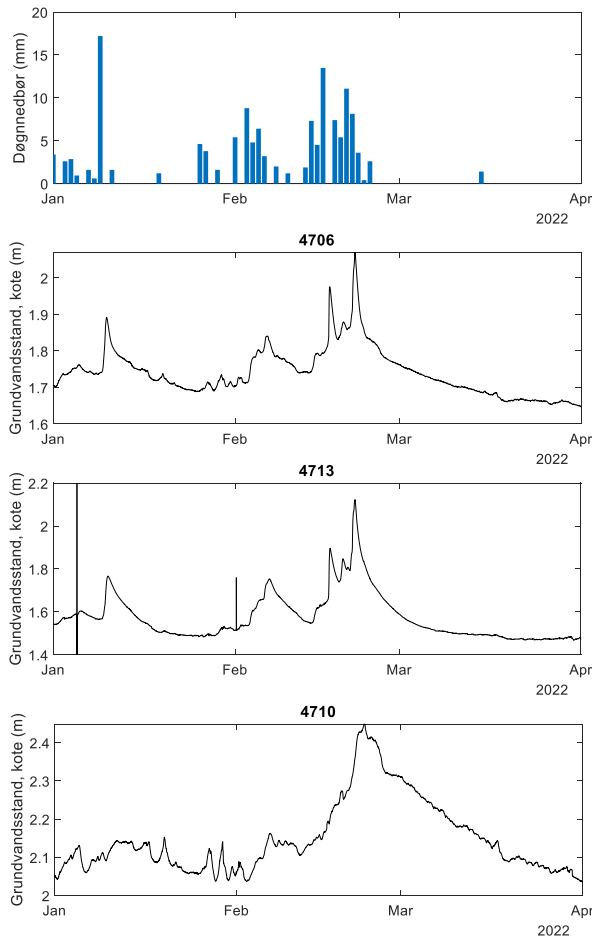
Udvalgte hændelser

Den 7. august 2021 oplevede Aalborg en kraftig skybrudshændelse. Flere steder blev der registreret hvad der svarer til et dobbelt skybrud, dvs. mere end 30 mm regn på 30 minutter. Dette svarer ca. til en gentagelsesperiode på 50 år for en 30 minutters regnhændelse. På Figur 5.20 ses den målte nedbør (målt på Østerport pumpestation) i dagene omkring den 7. august 2021 sammen med grundvandsstanden i station 4706 (placeret ca. midt i Kærby) og station 4710 (placeret tæt ved Vestre Landgrøft). Det er tydeligt, at der sker en kraftig og hurtig stigning i grundvandsspejlet som følge af skybruddet. I begge stationer registreres en stigning på 15-20 cm, hvilket umiddelbart er mere end de ca. 35 mm regn ville give anledning til. Stigningen formodes at skyldes, at jordens umættede zone under regnhændelsen bliver vandmættet og derfor stiger relativt mere end den mængde regn, der falder.



Figur 5.21: Målt døgnedbør (mm) og grundvandsstand (kote, m) i station 4706 og 4710 august 2021

Et andet eksempel på en ekstrem periode er vinteren 2022. På Figur 5.21 vises nedbør fra januar til april 2022 sammen med den målte grundvandsstand i tre stationer: 4706 (placeret midt i Kærby), 4710 (placeret langs Vestre Landgrøft) og 4713 (placeret langs Østerå). På alle stationer måles den højeste vandstand i slutningen af februar 2022 som et resultat af en samlet regnmængde i februar 2022 på 101.2 mm registreret på Østerport Pumpestation. Fotografiet til højre i Figur 5.21 viser vandstanden i Østerå, tæt ved station 4713 den 20. februar 2022. Vandstanden i Østerå skønnes at stå ca. 50 cm fra digets kronekant.

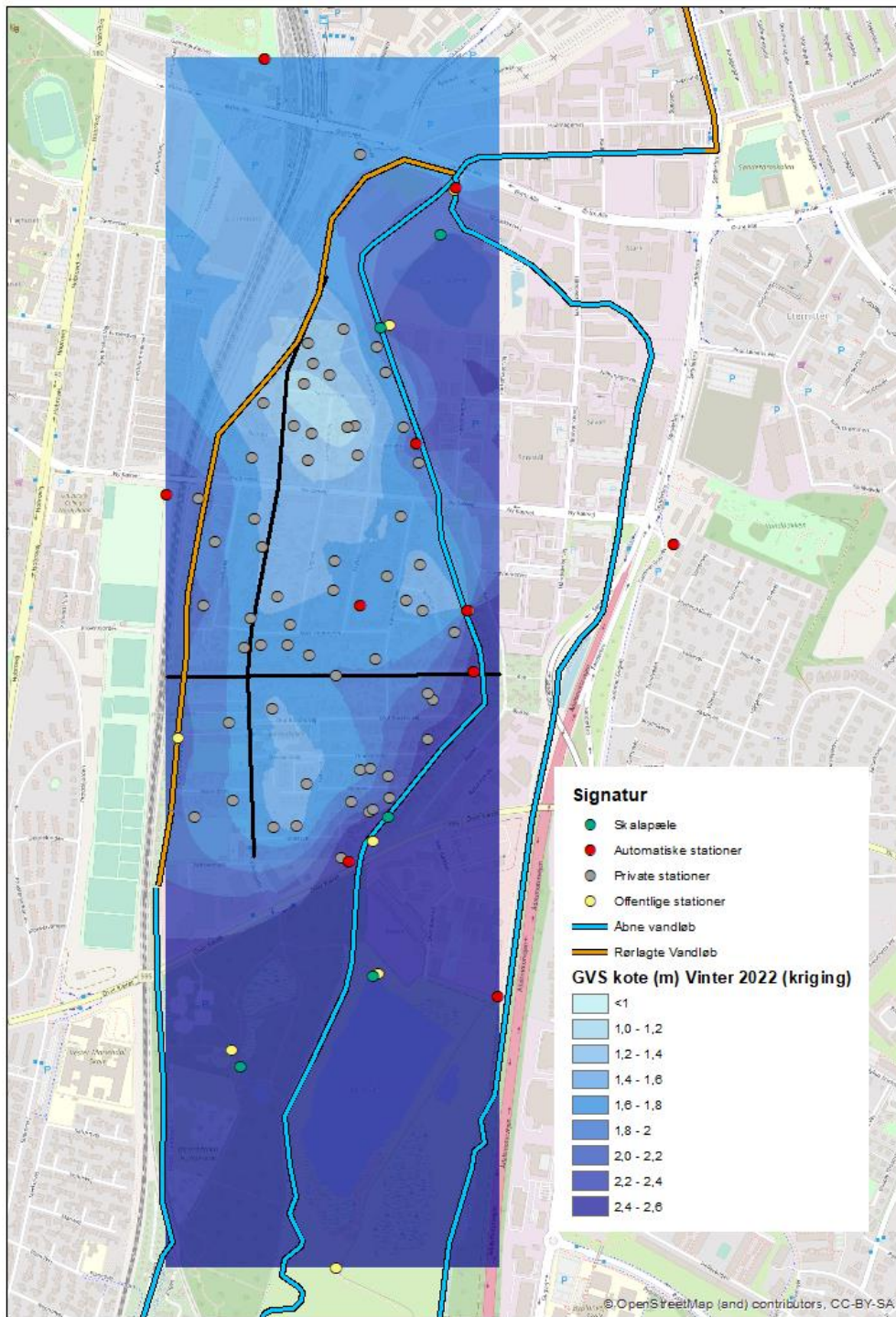


Figur 5.21: Venstre: Målt døgnnedbør (mm) og grundvandsstand (kote, m) i station 4706, 4713 og 4710 i vinteren 2022. Højre: Privat foto af vandstanden i Østerå 20. februar 2022.

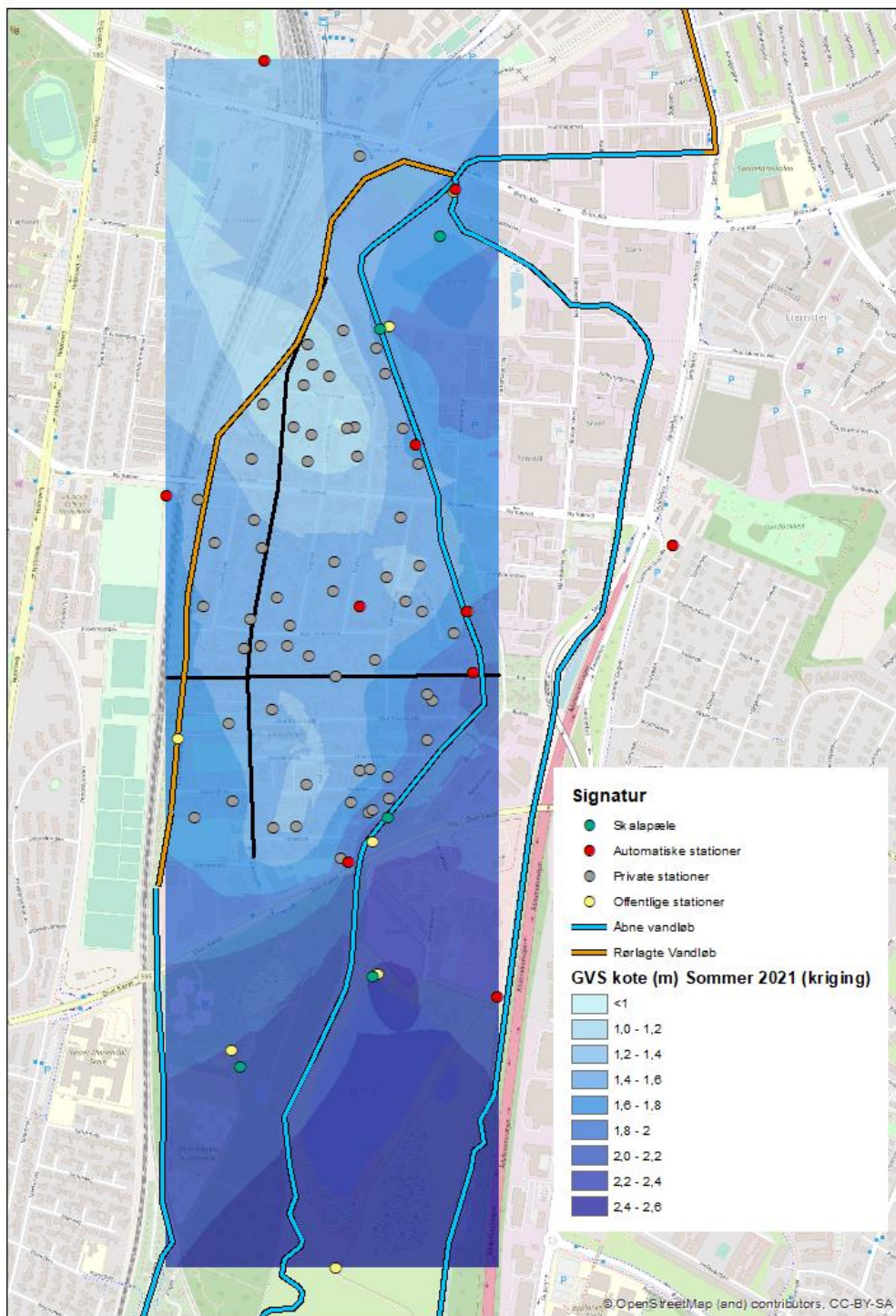
Sammenfattede måleresultater

Som det kan ses på ovenstående figurer, er grundvandsstanden generelt højest om vinteren og lavest om sommeren. I den målte periode er grundvandsstanden højest i vinteren 2022 (dec. 2021-feb. 2022) og lavest i sommerperioden 2021 (jul.-sep.). Derfor anvendes disse ekstremer som udgangspunkt for nedenstående interpolerede grundvandskort, der viser et gennemsnit af grundvandsstanden i kote (DVR90), se Figur 5.22 og Figur 5.23.

Både sommer og vinter ligger grundvandsstanden generelt højest langs Østerå og falder mod vest for at stige en smule langs Vestre Landgrøft. Den højere vandstand langs Østerå skyldes opstemningen ved Gabriel/Kjærs Mølle. Generelt ses en ca. 50-75 cm højere grundvandsstand langs Østerå. De laveste målte vandstande findes generelt midt i Kærby, hvor det er sandsynligt, at grundvandsstanden holdes nede af dræn, omfangsdræn og et ældre afløbssystem, hvori der sker en væsentlig grundvandsindsivning (se følgende afsnit).



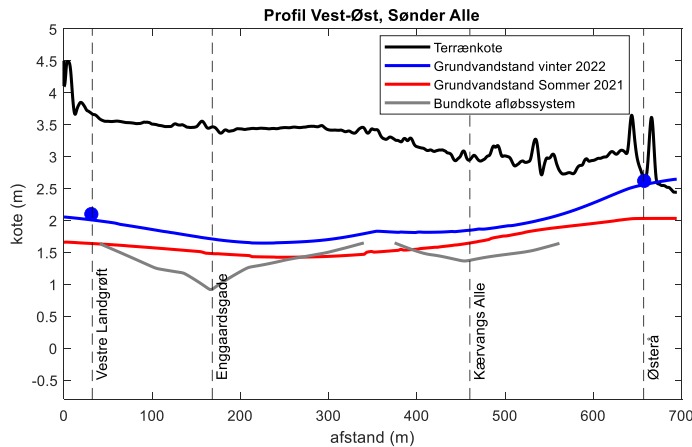
Figur 5.22: Interpoleret grundvandsstand, GVS (kote i meter), for vinteren 2022. De sorte linjer henviser til profilerne i Figur 5.24 og Figur 5.25.



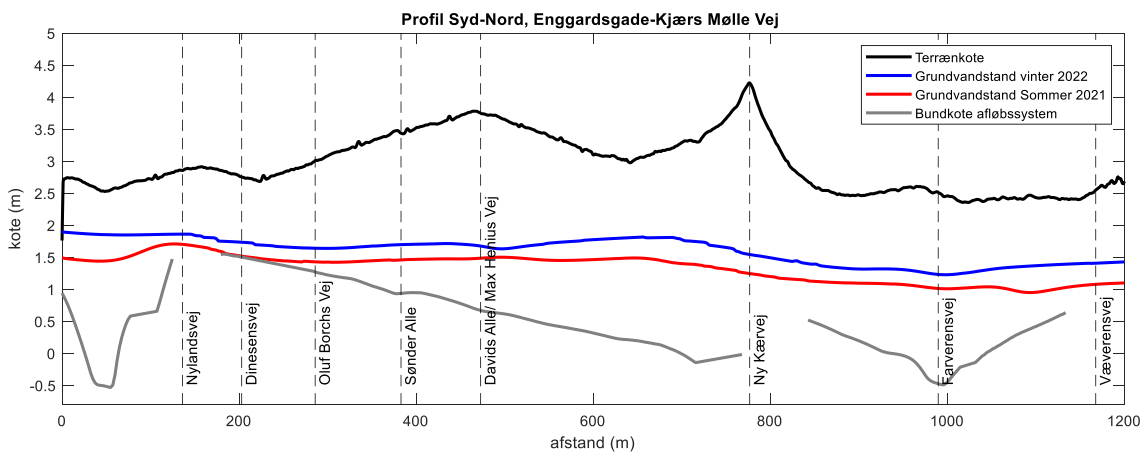
Figur 5.23: Interpoleret grundvandsstand, GVS (kote i meter), for sommeren 2022. De sorte linjer henviser til profilerne i Figur 5.24 og Figur 5.25.

Figur 5.24 og Figur 5.25 viser to længdeprofiler gennem Kærby, hvor terrænniveau samt grundvandsstand sommer 2021 og vinter 2022 er vist sammen med lokale gennemsnitlige dybder af afløbssystemet (nuværende fælleskloak). Igen ses højst grundvandsstand langs

Østerå. Desuden er det tydeligt på begge længdeprofiler, at afløbssystemet ligger under grundvandspejlet både sommer og vinter. De viste afløbssystemer har fald mod pumpestationer og overløbsbygværker i Enggårdsgade, Davids Allé og Kjærs Mølle Vej.

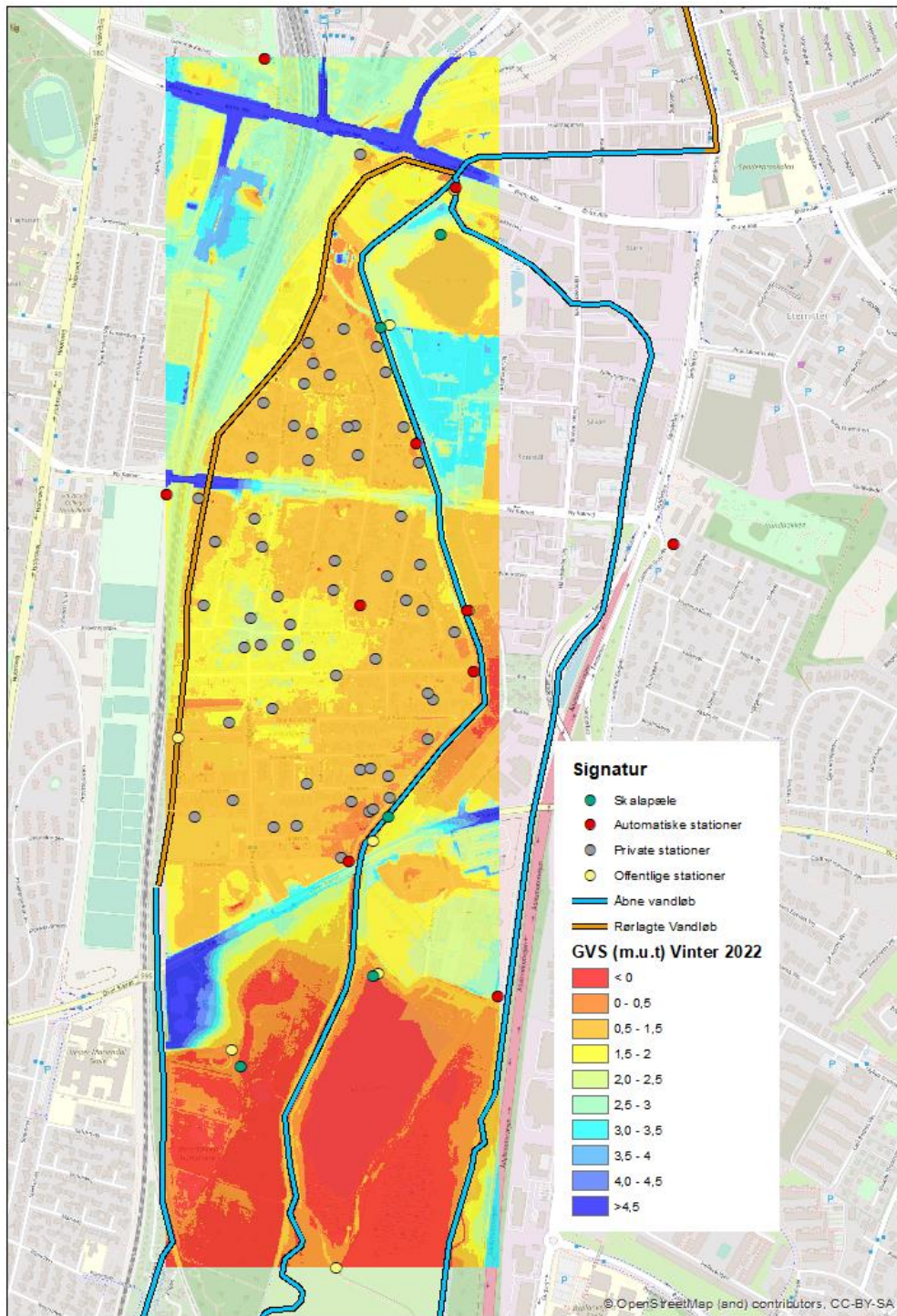


Figur 5.24: Vest-Øst profil gennem Kærby med terrænniveau, gennemsnitlig grundvandsstand og afløbssystemets bundkote (m). Profilet følger omtrent Sønder Allé. De blå prikker viser placeringen af Vestre Landgrøft og Østerå.

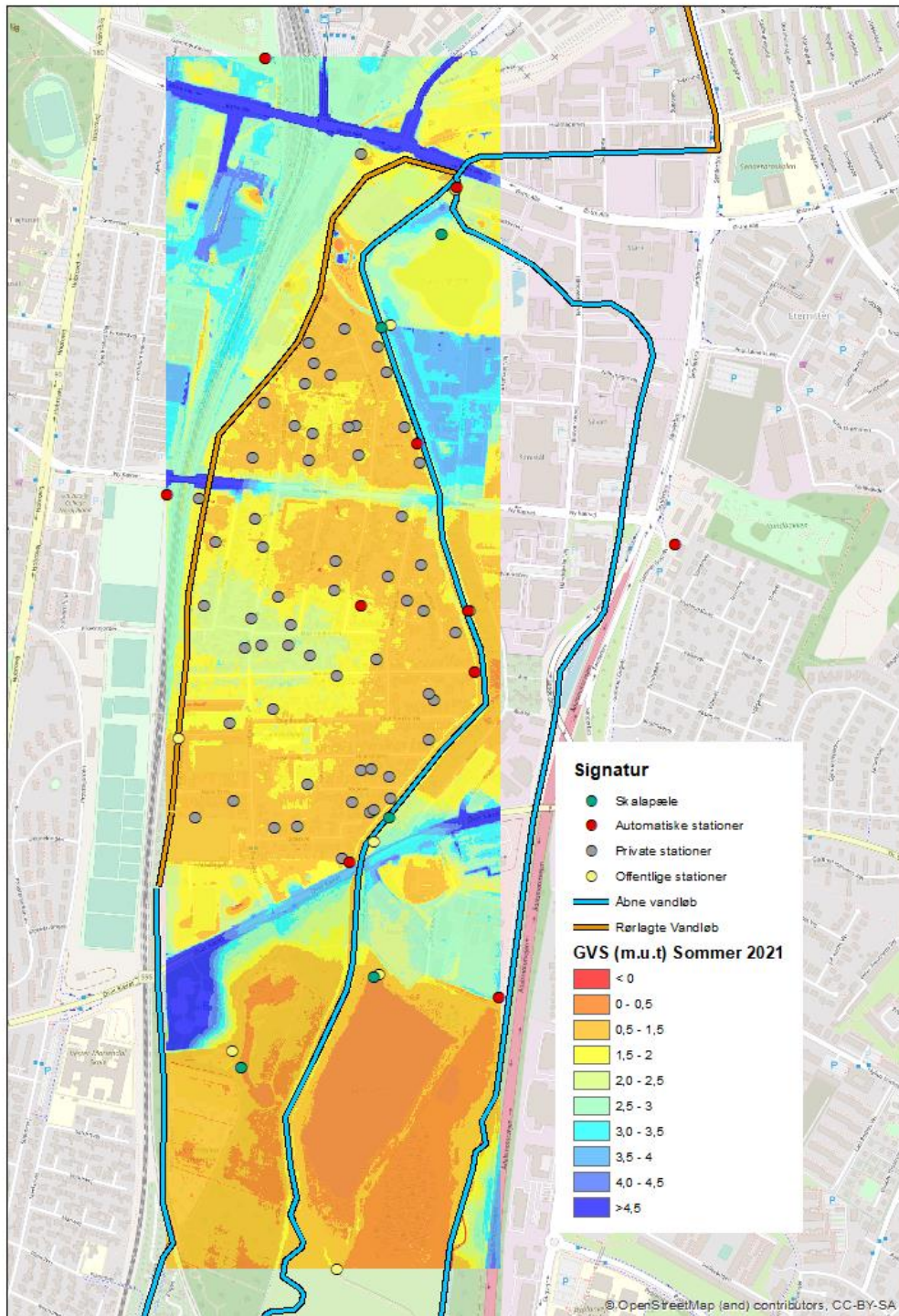


Figur 5.25: Syd-Nord profil gennem Kærby med terrænniveau, gennemsnitlig grundvandsstand og afløbssystemets bundkote (m). Profilet følger omtrent Enggårdsgade og Kjærs Mølle Vej.

På Figur 5.26 og Figur 5.27 er de interpolerede gennemsnitlige grundvandspejl fratrukket terrænkoterne og viser derfor grundvandspejlets dybde i meter under terræn (m.u.t). Langs Østerå og i størstedelen af det nordlige og sydlige Kærby ligger grundvandspejlet 0,5-1,5 m under terrænniveau. Midt i Kærby er afstanden lidt højere (1,5-2 m under terrænniveau).



Figur 5.26: Interpoleret grundvandsstand, GVS, i meter under terræn (m.u.t.) vinter 2022.



Figur 5.27: Interpoleret grundvandsstand, GVS, i meter under terræn (m.u.t.) sommer 2021.

Grundvandsindsivning til afløbssystemet

Indsivningen til afløbssystemet er estimeret i Nielsen (2017). På baggrund af vandstands-målinger ved pumpestationerne ved Enggårdsgade, Davids Allé og Kjærs Mølle Vej er den samlede afledte vandmængde i Kærby estimeret til ca. 1700 m³/døgn. I forhold til antallet af indbyggere i Kærby er den teoretiske spildevandsmængde pr. døgn i størrelsesordenen 200 m³/døgn. Derfor vurderes det, at ca. 1500 m³/døgn svarer til grundvandsinfiltrationen. Antages det, at indsivningen er jævnt fordelt over hele Kærby, svarer indsivningen til ca. 2,4 mm/døgn eller 875 mm/år. Det vil sige, at afløbssystem og dræn i Kærby bortdræner mere end årsnedbøren (ca. 775 mm). Befæstelsesgraden i Kærby er ca. 40 %. Det betyder, at der kan regnes med at 40 % af årsnedbøren bortledes gennem afløbssystemet. Ved sammenligning af ovenstående tal, vurderes det, at afløbssystemet i Kærby bortdræner omtrent det dobbelte af den nedbør, der falder i Kærby. Det kan selvfølgelig kun ske, fordi der sker en grundvandstilstrømning til Kærby og Østerådalen fra de omkringliggende højere liggende områder (se Figur 5.2). Grundvandstilstrømningen ses ved gradienterne på grundvandsspejlet fra hhv. Østerå og Vestre Landgrøft til midten af Kærby, hvor grundvandet står lavere. På baggrund af disse tal og ovenstående analyser, er det derfor forventeligt, at grundvandsstanden vil stige betydeligt, hvis området separatkloakeres og ledningerne dermed tætnes og grundvandsindsivningen forhindres.

5.9 Grundvands- og scenariemodellering

I GRAVA-projektet er der anvendt en grundvandsmodel til at simulere grundvandsstanden i Kærby-området. Grundvandsmodellen simulerer det nuværende og fremtidige grundvandsspejl. Der eksisterer flere forskellige grundvandsmodeller, hvor dette projekt anvender modelkoden MODFLOW 2005.

Formålet med grundvandsmodellen er at simulere det terrænnære grundvandsspejl i Kærby på lokal skala og med særligt fokus på at simulere effekten af afværgeløsninger til at sænke grundvandsspejlet. Modellen anvendes til at kvantificere betydningen af ændringer i det hydrologiske kredsløb for de nuværende forhold og under udvalgte klimascenarier, hvorfor der i modelopsætningen er fokus på en korrekt beskrivelse af interaktionen mellem det terrænnære grundvand og det urbane miljø. Derudover anvendes modellen som et screeningsværktøj til afværgeløsninger for nuværende og fremtidige forhold.

Opsætning af grundvandsmodellen beskrives i detaljer i Bilag A. Modellen er opbygget med udgangspunkt i DK-modellen (Stisen et al. 2019). Dog er randbetingelser, geologi, mv. forfinet i forhold til den originale model for at kunne modellere det terrænnære grundvand i større detaljer. Modellen er stationær (uforandret over tid), hvilket gør, at modelresultaterne viser periodevis konstante tilstande, men kan ikke bruges til at simulere enkelthændelser.

Klimascenarier

Simuleringerne tager udgangspunkt i en gennemsnitlig vinterperiode med højtstående grundvandsspejl. Med forbehold for klimaændringer simuleres grundvandsspejlet i perioderne 2040-2070 (nær-fremtid) og 2070-2100 (fjern-fremtid). Klimascenarierne tager udgangspunkt i RCP 8.5, som er klimascenariet uden nye klimatiltag, svarende til en temperaturstigning på 5°C. For hver af løsningerne simuleres dybden til grundvandsspejlet for de fremtidige forhold. Klimascenarierne baseres på data fra Hydrologisk Informations- og Prognosesystem (HIP, Henriksen et al. 2020).

Modelscenarier

På sigt skal GRAVA bidrage med forskellige løsningstiltag for at imødekomme problematikken med det stigende grundvand i Kærby. Løsningstiltagenes effekt på grundvandsstanden er undersøgt ved at udvikle en række modelscenarier, som er som følgende:

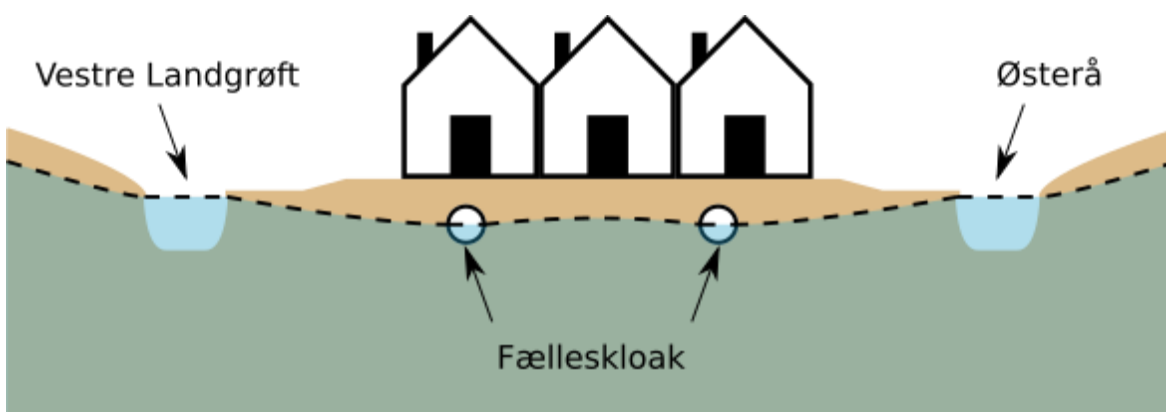
- Nuværende tilstand (ældre fællessystem)
- Separeret regn- og spildevandssystem (fremtidig tilstand)
- Sænkning af vandstand i nærliggende søer
- Horisontale drænledninger
- Vertikale drænledninger
- Kombination af horisontale og vertikale drænledninger

Simuleringerne tager udgangspunkt i en gennemsnitlig vinterperiode med højtstående grundvandspejl. Modelscenarierne beskrives mere detaljeret i det nedenstående. Ovenstående modelscenarier er valgt på baggrund af, hvad der med sandsynlighed vil kunne implementeres i Kærby. Bilag B indeholder et indledende litteraturstudie, herunder potentielle, af yderligere afværgeløsninger, som ikke er medtaget her i rapporten, da de vurderes mindre sandsynlige eller ligefrem usandsynlige at implementere i Kærby. Herudover har Interreg projektet Topsoil tidligere undersøgt forskellige generelle løsninger til sænkning af det terrænnære grundvand i byen (Region Midtjylland, 2021).

Bemærk, at de beskrevne løsningstiltag ikke nødvendigvis afspejler, hvad der er hjemmel til at gøre rent lovmæssigt (herunder hvem der er ansvarlig), men viser udelukkende effekten (potentialet) af hvert scenarie på grundvandsstanden. Modelscenarierne kan anvendes som inspiration ifm. politiske ændringer i forhold til offentlig dræning af grundvand. Detaljerede beskrivelser og resultater for løsningstiltagende (ovenstående modelscenarier) kan findes på GRAVA-projektets interaktive hjemmeside <http://grava.dk/>.

Nuværende tilstand:

Det aldrende kloaksystem i Kærby har mange utætheder, og en analyse af afløbssystemet viser, at der er meget stor infiltration af grundvand til kloaksystemet (se afsnit om grundvandsindsivning til afløbssystemet). Kloaksystemet i Kærby fungerer dermed som et dræn og reducerer pt. problemerne med højtstående grundvand (Figur 5.28).



Figur 5.28: Illustration af nuværende tilstand i Kærby. Grundvandet indsviver i det aldrende, utætte fællessystem, der holder grundvandet sænket i vinterperioderne.

Dette modelscenarie er tilsvarende det nuværende system i Kærby, og er et scenarie, hvor regn- og spildevand i oplandet til Kærby ikke separeres. Generelt fungerer det nuværende

utætte afløbssystem som et ret effektivt dræn af grundvandet. Klimascenariet "nær-fremtid" (Figur 5.29) svarer omtrent til den nuværende situation, hvorfor denne ikke er vist i dette afsnit. Klimascenariet "fjern-fremtid" viser, at grundvandsstanden stiger kraftigt i den nordlige og sydlige del af Kærby (Figur 5.30).



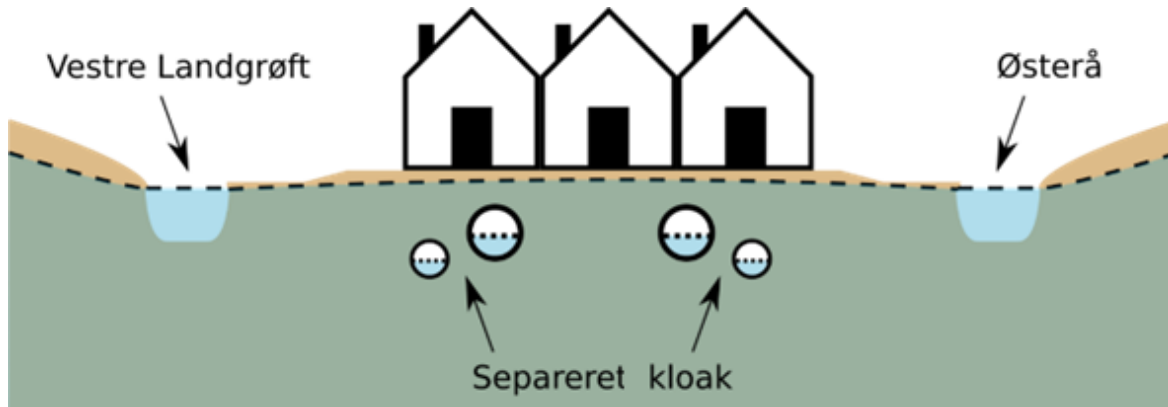
Figur 5.29: Simulering af dybden til grundvandsspejlet fra terræn for modelscenariet med det nuværende system og klimascenariet "nær-fremtid". Der er meget lille forskel på den nuværende situation og "nær-fremtid", hvorfor den nuværende situation ikke vises grafisk.



Figur 5.30: Simulering af dybden til grundvandsspejlet fra terræn for modelscenariet med det nuværende system og klimascenariet "fjern-fremtid".

Separeret regn- og spildevandssystem:

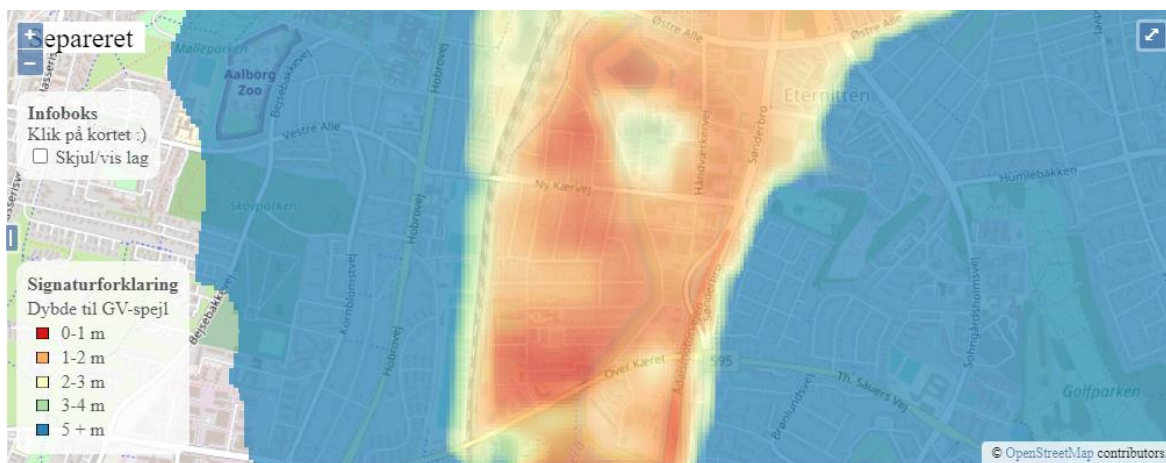
I forbindelse med Aalborg Kommunes strategi for håndtering af spildevand, så skal alle fælleskloakerede områder i kommunen separatkloakeres, herunder også Kærby. Separatkloakeringen blev indledt de første steder i slutningen af 1960'erne og er et led i Aalborg Kommunes spildevandsplan (Aalborg Kommune, 2021). Separatkloakeringen erstatter de, i nogen tilfælde, gamle utætte rørledninger med nyere rør. Et nyt tæt separeret afløbssystem antages ikke at dræne grundvandet (Figur 5.31).



Figur 5.31: Illustration af nyt separatsystem uden grundvandsindsivning, hvorfor grundvandet vil stige som følge af separatkloakeringen.

Der er lavet simuleringer, hvor det ældre fællessystem er fjernet og et separatsystem er etableret. Her antages, at der ikke længere sker indsvivning af grundvand til afløbssystemet. Simuleringerne viser, at grundvandsstanden i Kærby derved stiger betydeligt. Især er der i den sydlige del af Kærby problemer med grundvandet, der i scenarierne giver anledning til periodevis grundvand på terræn i enkelte områder. Dette vil vise sig i vinterperioderne som værende store mængder vand i haverne og generelt meget sumpede områder i dele af Kærby.

I dette modelscenarie nærmer grundvandsstanden sig terræn i både nord og syd for Ny Kjærvej, med en gennemsnitlig dybde på mindre end 50 centimeter under terræn (se Figur 5.32 og Figur 5.33). Grønne områder vil i scenariet med "fjern-fremtid" være meget sumpede områder i vinterperioderne. Grundet det højtliggende grundvandsspejl, så er kapaciteten for infiltration af nedbør i jordmatricen næsten ikke eksisterende. Dette medfører potentielt større risiko for oversvømmelser i forbindelse med både kortvarende, høj-intensivt nedbør og længerevarende medium-intensivt nedbør.



Figur 5.32: Simulering af dybden til grundvandspejlet fra terræn for modelscenariet med separeret regn- og spildevandssystem og klimascenariet "nær-fremtid". Der er meget lille forskel på den nuværende situation og "nær-fremtid", hvorfor den nuværende situation ikke vises grafisk.



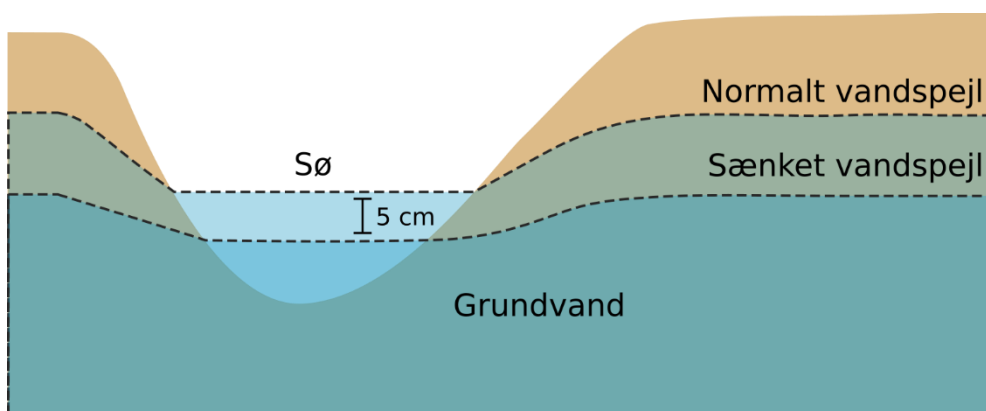
Figur 5.33: Simulering af dybden til grundvandsspejlet fra terræn for modelscenariet med separeret regn- og spildevandssystem og klimascenariet "fjern-fremtid".

Afværgeforanstaltninger

Simuleringerne ovenfor repræsenterer et worst-case-scenarie, dvs. en situation hvor afløbssystemets nuværende dræncapacitet fjernes, samtidig med at der, pga. klimaændringerne, sker en generel grundvandsstigning. Simuleringerne for nedenstående afværgeløsninger tager udgangspunkt i dette scenarie. Resultaterne viser derfor hver enkelt afværgeløsnings potentiale til at sænke grundvandsstanden i Kærby.

Sænkning af vandstand i nærliggende søer

I dette løsningsforslag er det undersøgt, hvorvidt en sænkning (nedpumpning) af vandspejlet i Lergraven og Kjærs Møllesø er i stand til at sænke grundvandsstanden i Kærbyområdet. I dette scenarie er det eksisterende, utætte fælleskloaksystem erstattet af et tæt separatsystem. Lergraven og Kjærs Møllesø er begge i kontakt med grundvandet. Vandstanden i søerne er derfor stærkt påvirkede af grundvandsspejlet og omvendt. Derfor vil en permanent eller midlertidig sænkning af vandspejlet i søerne føre til en sænkning af grundvandsspejlet, dog kun lokalt omkring søerne, se Figur 5.34.



Figur 5.34: Illustration af permanent sænkning af vandspejlet i Lergraven og Kjærs Møllesø på 5 cm, som ligeledes vil medføre en sænkning af det lokale grundvandsspejl.

Afhængig af geologien i området, så vil sænkningen af søernes vandstand mere eller mindre påvirke grundvandsindsivningen i Kærby. I scenariet pumpes vandet fra søerne til hhv. Østerå og Østre Landgrøft, hvor den nuværende kapacitet i vandløbet og grøften tillader, at der ledes relativt store mængder vand væk i størstedelen af året.



Figur 5.35: Simulering af dybden til grundvandspejlet fra terræn for modelscenariet med sænkningen af vandstand i søerne og klimascenariet "nær-fremtid".

Figur 5.35 viser, at grundvandsstanden i Kærby er mindre påvirket af vandstandsændringen i søerne, hvorfor det vil kræve en større sænkning af vandstanden i søerne for at få en mærkbar effekt i Kærby. Flora og fauna i og omkring søerne er meget påvirkede af vandstanden i søerne, hvorfor det kan være, at påvirkningen af det omkringliggende miljø overskygger gevinsten af en lavere grundvandsstand i Kærby.

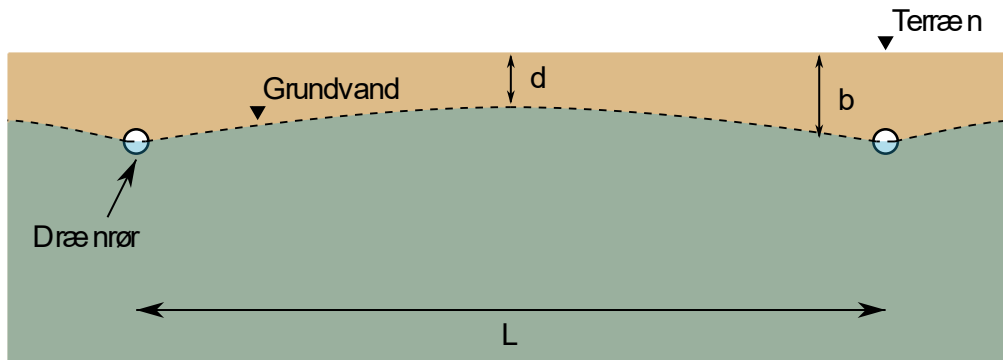
Med en sænkning af vandspejlet i Kjærs Møllesø på 5 cm øges grundvandsstrømningen til Kjærs Møllesø betydeligt, hvilket forårsager en kraftig ændring af grundvandsstrømningen i Kærby-området. Det ændrede grundvandsstrømningsmønster kan have stor betydning for det hydrologiske kredsløb i og omkring Kærby, hvorfor der skal laves risikoanalyser af påvirkningen af miljøet inden denne løsning anbefales. Da resultaterne for "nær-fremtid" giver minimale effekter på grundvandsstanden i selve Kærby vises resultaterne for "fjern fremtid" ikke.

Horisontale drænledninger:

I scenariet med horisontale drænledninger ledes grundvandet ud i grøft- og vandløbssystemet. Drænledningerne er placeret i samme trace som fællesledningerne i det nuværende system. Forudsat at drænledningen etableres samtidigt med separatkloakeringen i Kærby, vil det kunne forhindre yderligere grundvandsstigninger i området i forbindelse med tætning af det eksisterende kloaknetværk. Drænledningens dybde og geologien i Kærby's undergrund er afgørende for effektiviteten af drænledningerne. Til at bestemme dræningsdybden anvendes en numerisk model, der simulerer grundvandspejlets placering. I den numeriske model evalueres løsningsforslaget med de horisontale drænledninger for så at optimere dybden af drænledningerne.

Sænkningen af grundvandspejlet udbreder sig horisontalt væk fra drænledningen i en såkaldt "sænkningstragt" (se Figur 5.36). Grundvandsstanden er lavest i midten af sænkningstragten og stiger i takt med at afstanden fra drænledningen øges. For at opnå den ønskede effekt skal drænledningerne således placeres i en dybde ("b" på Figur 5.36) og

med en afstand til hinanden ("L" på Figur 5.36), hvormed kanten af sænkningstragten er under en kritisk kote ("d" på Figur 5.36), der f.eks. kunne være kælderniveau.



Figur 5.36: Illustration af sænkning af grundvandsspejlet forårsaget af parallelle horisontale drænelidninger. L, d og b angiver hhv. afstanden mellem drænrør, den kritiske kote og dybden til drænelidningerne.

Styrken af jordsøjlen er afhængig af vandtrykket og når vandtrykket falder ved sænkning af vandspejlet, kan jorden komprimeres yderligere. Inden evt. udførsel skal det derfor sikres, at den maksimale dræningsdybde (vist med dybden "b" i Figur 5.36) ikke fører til sætningsskader i sommerperioderne.

Simuleringerne viser, at grundvandsspejlet i Kærby, med implementering af horisontale drænelidninger kan sænkes lokalt med op til 50 centimeter. Simuleringerne tager udgangspunkt i en vinterperiode med højtstående grundvandsspejl. Med forbehold for klimaændringer simuleres grundvandsspejlet i "nær-fremtid" og "fjern-fremtid" (Figur 5.37 og Figur 5.38). I scenariet med "nær-fremtid" er grundvandsspejlet steget med 10 centimeter på trods af implementeringen af drænelidningerne.

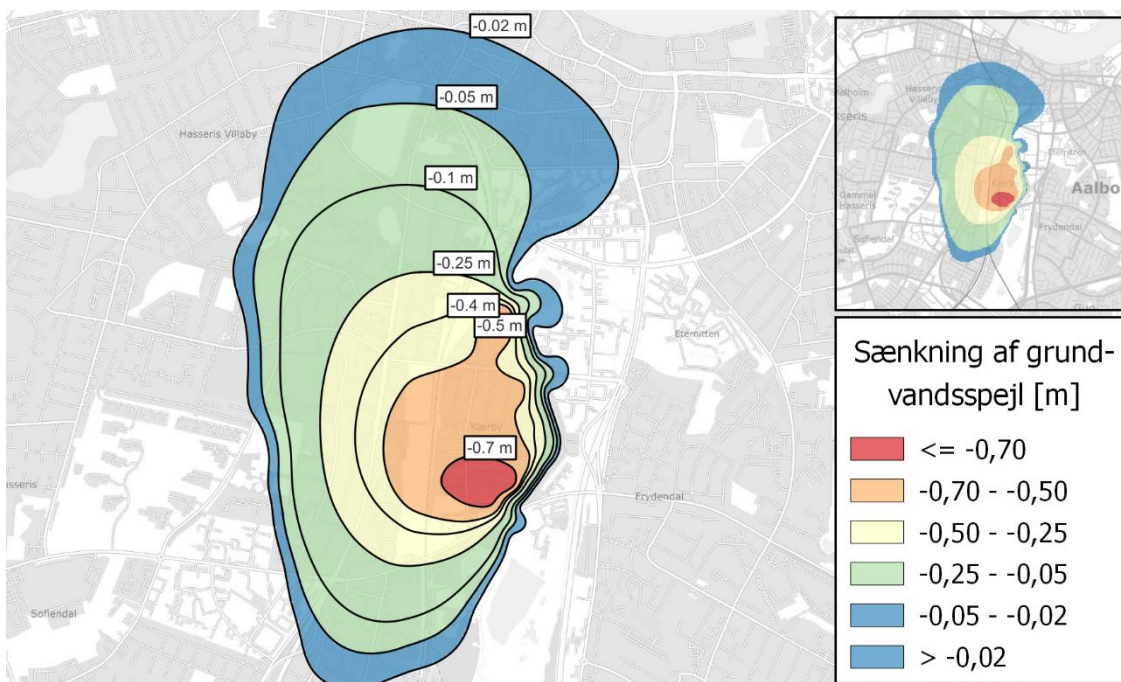


Figur 5.37: Simulering af dybden til grundvandsspejlet fra terræn for modelscenariet med horisontale drænelidninger og klimascenariet "nær-fremtid". De horisontale drænelidninger er lagt i samme tracé og dybde som det nuværende kloaksystem.



Figur 5.38: Simulering af dybden til grundvandsspejlet fra terræn for modelscenariet med horisontale drænledninger og klimascenariet "fjern-fremtid".

På Figur 5.39 er sænkningen af grundvandsspejlet forårsaget af implementeringen af de horisontale drænledninger, der er differencen mellem Figur 5.37 og Figur 5.32. Her er udbredelsen i nord-, syd- og østgående retning og stopper meget brat ved Østerås forløb. Af Figur 5.39 fremgår det, at grundvandssænkningen breder sig vest for Kærby, hvor Bane- og nedanmarks banelegeme ligger, hvorfor grundvandssænkningen i Kærby i forbindelse med en drænløsning kan være problematisk. Grundvandsstanden holder sig mellem 0,5 til 1 meter under terræn i Kærby, hvilket betyder, at infiltrationskapaciteten i den øvre del af jordsøjlen er meget begrænset. I forbindelse med nedbørshændelser, vil der kunne opleves vand nær og på terræn i haverne mere hyppigt. Lokalt vil de enkelte husstande sandsynligvis stadig kunne holde vand ude af kældrene med omfangsdræn eller lign. løsninger.

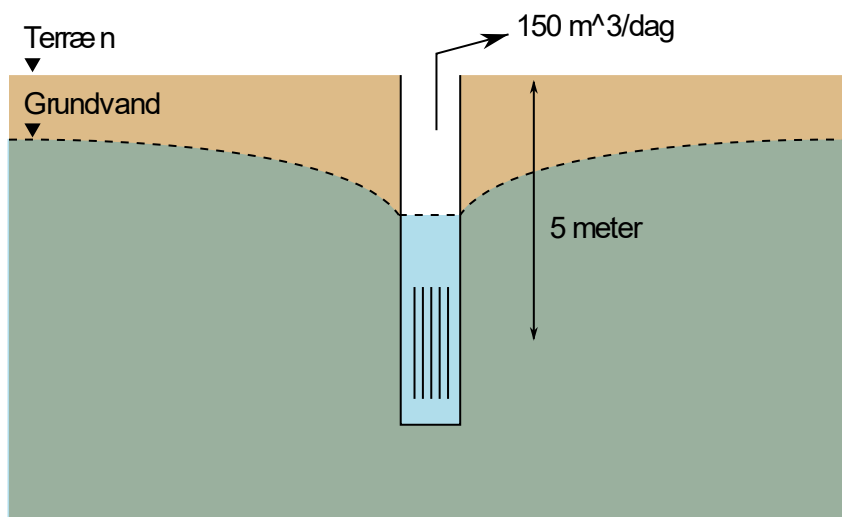


Figur 5.39: Konturlinjer for sænkningen af grundvandsspejlet for modelscenariet med horisontale drænledninger og klimascenariet "nær-fremtid".

Vertikale dræn:

Vertikale drænledninger har til formål at sænke grundvandspejlet lokalt i specielt udsatte områder. Her bores et rør ned i jorden, hvori der sidder et filter, som grundvandet kan strømme igennem. Grundvandet pumpes så op fra boringen således, at der forekommer en permanent gennemstrømning af grundvand igennem filteret.

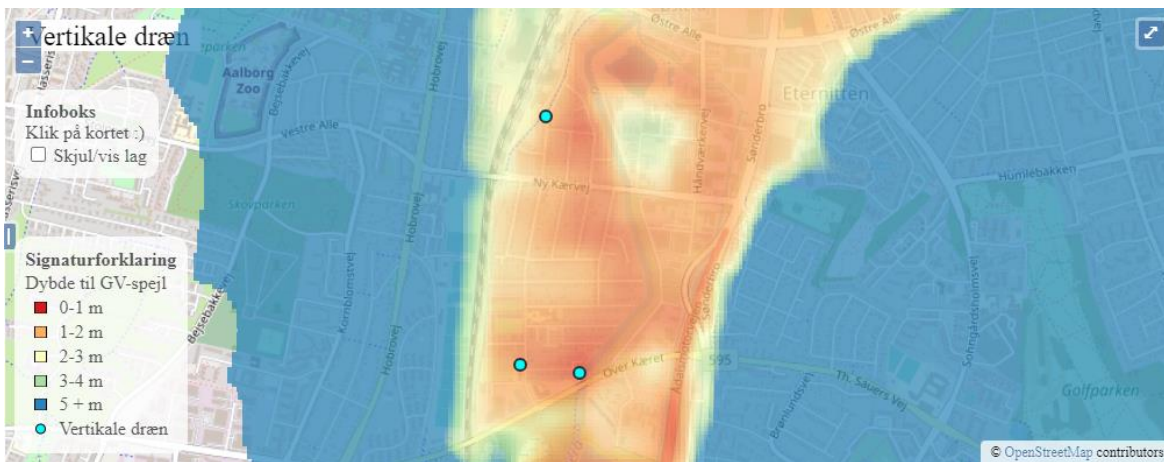
Filteret i boringen er typisk sat i dybere jordlag end de horisontale dræn (typisk 8–30 meter under terræn). Den højere drændybde forudsætter, at dræningen af de dybere jordlag tillader, at der kan infiltrere mere vand fra de terrænliggende jordlag. Konceptet er illustreret på Figur 5.40. Filteret kan også sættes i lavere dybder, mellem 2-5 meter, for at ramme eventuelt terrænnært grundvand. Sænkningstragten nær boringen kan være ret stejl, og derfor kan det skabe problemer med sætninger i jorden nær boringen. Det oppumpede grundvand ledes ud til nærliggende grøfter og vandløb. Derfor skal boringerne placeres relativt nær eksisterende vandområder.



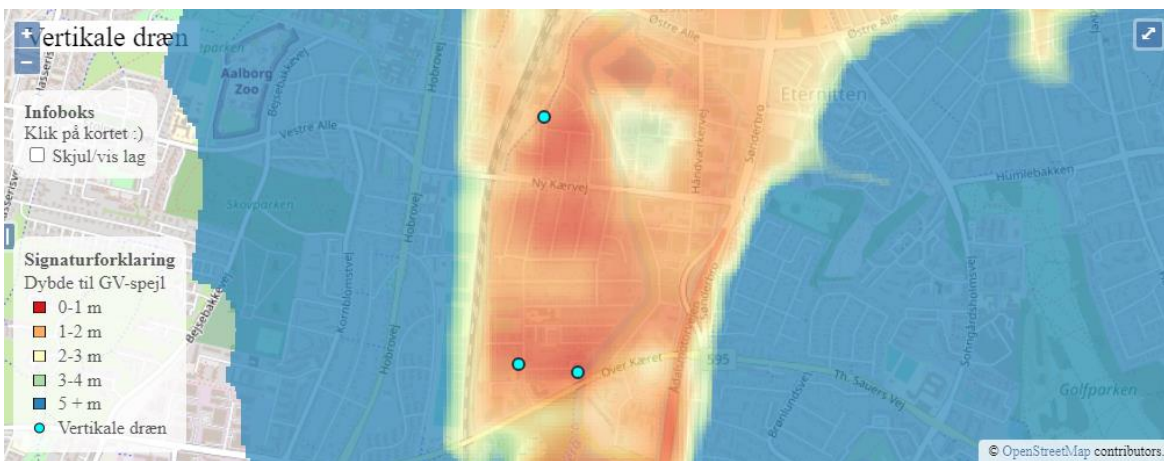
Figur 5.40: Illustration af modelscenariet med de vertikale drænledninger, hvor der pumpes grundvand fra en dybde på 5 meter under terræn. Der er regnet med en oppumpningsmængde på $150 \text{ m}^3/\text{dag}$.

I modelscenariet er tre lokationer udvalgt til oppumpningen af grundvand. Lokationerne er udvalgt med fokus på områder med højtstående grundvandspejl og nærhed til recipienter, hvor det oppumpede grundvand ledes til. I scenariet er boringerne etableret i en dybde på 5 meter under terræn og med en oppumpningsmængde på $150 \text{ m}^3/\text{dag}$.

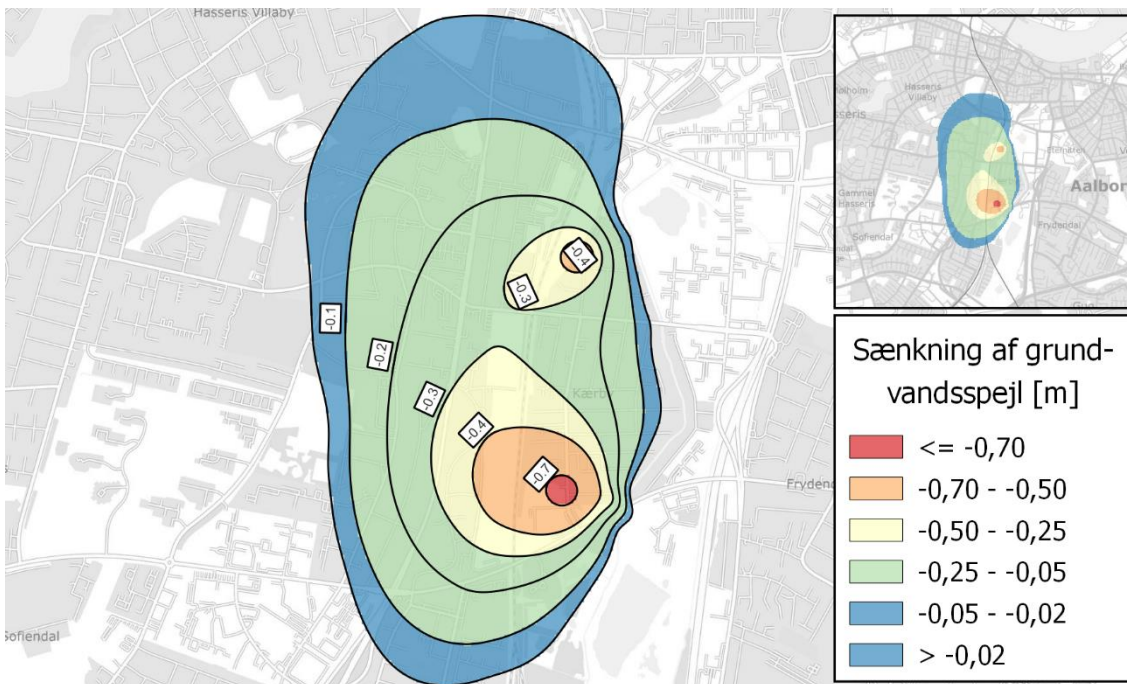
Simuleringsresultaterne på Figur 5.41, Figur 5.42 og Figur 5.43 viser, at de vertikale dræn er i stand til at sænke grundvandsstanden betydeligt i lokale områder omkring drænet. Simuleringerne med oppumpning af grundvand viser desuden, at der enten skal oppumpes store mængder grundvand eller, så skal der placeres mange boringer jævnt fordelt i området gennem Kærby. Det vil i praksis være vanskeligt at få etableret et netværk af vertikale boringer til at sænke grundvandsstanden i hele Kærby. Derudover vil det rent praktisk også være meget besværligt at aflede vandet fra vertikale dræn, hvor afstanden til vandområder er mere end et par hundrede meter.



Figur 5.41: Simulering af dybden til grundvandsspejlet fra terræn for modelscenariet med vertikale drænelledninger og klimascenariet "nær-fremtid".



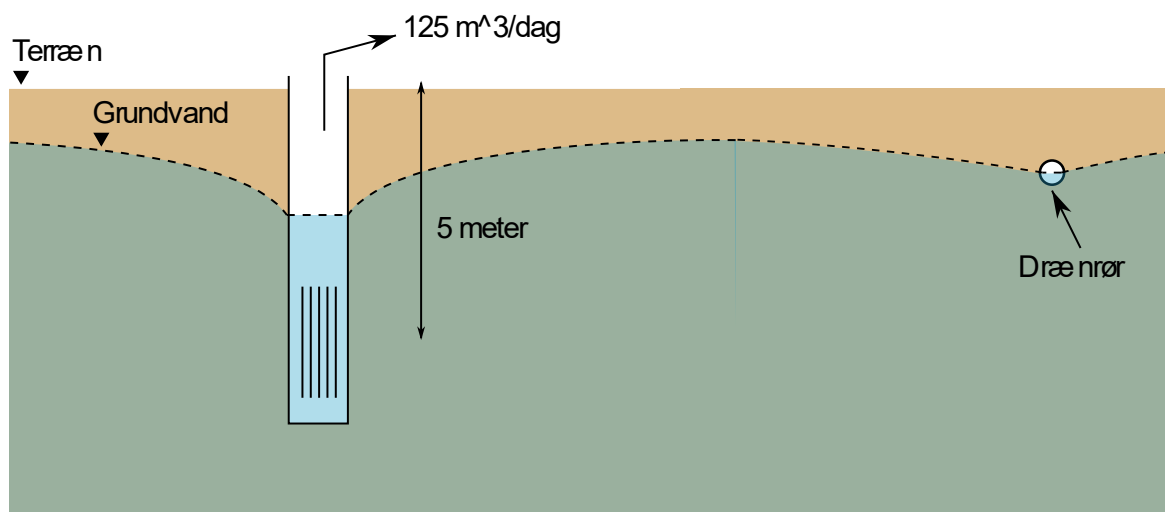
Figur 5. 42: Simulering af dybden til grundvandsspejlet fra terræn for modelscenariet med vertikale drænelledninger og klimascenariet "fjern-fremtid".



Figur 5.43: Konturlinjer for sænkningen af grundvandspejlet for modelscenariet med vertikale drænløsnin-
ger og klimascenariet "nær-fremtid".

Kombination af horisontale og vertikale dræn:

I dette løsningsforslag undersøges, hvorvidt en kombination af horisontale og vertikale dræn er en bedre løsning, se illustration på Figur 5.44. Simuleringer viser, at horisontale dræn generelt er den bedste løsning. Horisontale dræn kan dog rent praktisk begrænses til områder, hvor de tidligere fælleskloakerede ledninger er placeret. Dette skyldes at omkostninger for opgravning er betydeligt lavere, hvis drænløsnin-
gerne etableres samtidigt og i samme trace som separatsystemet. I nogle områder uden horisontale dræn vil man således kunne etablere vertikale dræn som løsning.



Figur 5.44: Illustration af modelscenariet med en kombination af horisontale og vertikale dræn. De vertikale dræn pumper $125 \text{ m}^3/\text{dag}$ grundvand fra 5 meters dybde.

Løsningsforslaget tager udgangspunkt i løsningen med de horisontale dræn og videreudvikles så med vertikale dræn i specielt udsatte områder. Simuleringsresultaterne på Figurerne 5.45, 5.46 og 5.47 viser, at de vertikale dræn er gode til at aflaste specielt udsatte områder, som ikke er mulige at dræne optimalt med horisontale dræn. Den kombinerede løsning kræver i tilfældet for Kærby tre vertikale dræn med en pumperate på ca. 125 m³/dag for at holde dybden til grundvandsstanden i Kærby over 50 centimeter.

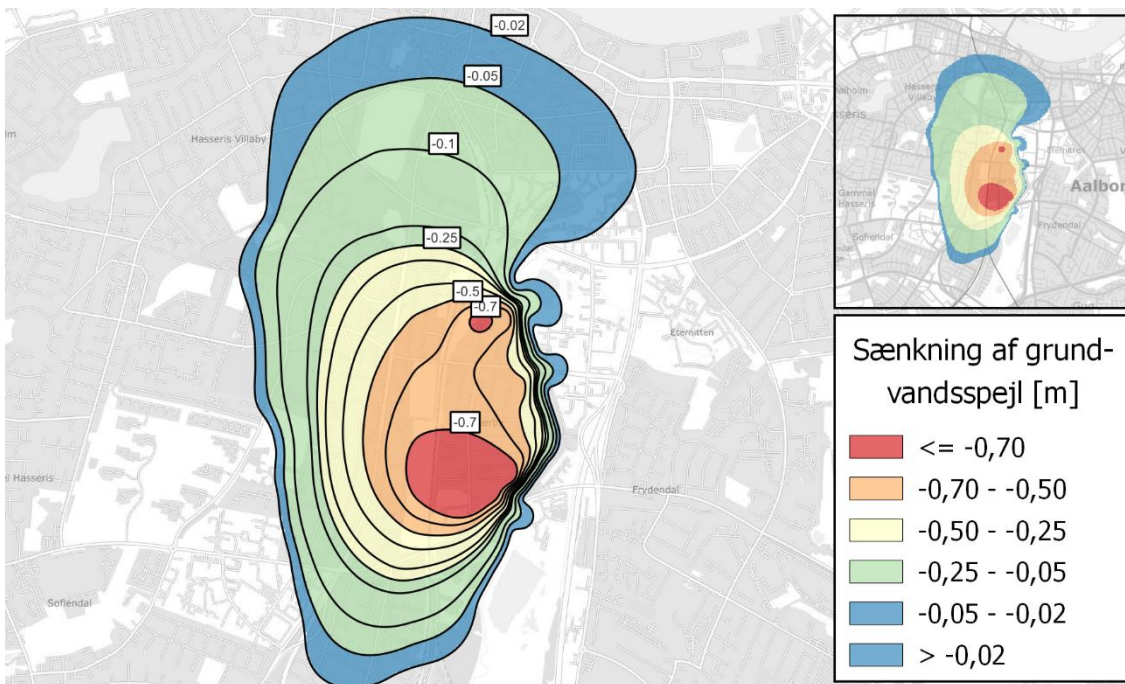
En oppumpningsmængde på 125 m³/dag er dog en ret betydelig mængde vand, der skal transporteres videre i systemet. Der er dog store usikkerheder ved simuleringerne, hvorfor prøvoforsøg vil være nødvendige for at estimere den nøjagtige pumperate. Endvidere bør det også undersøges, om der vil være større gevinst ved at pumpe grundvandet fra dybere jordlag for så at forøge nedsivningen i stedet. Målekampagnen og modelsimuleringer viser dog et sammenhængende grundvandsreservoir mellem det terrænnære grundvand og grundvandet i op til ca. 15 meters dybde fra terræn, hvilket kan bruges som et argument mod at pumpe fra dybere jordlag.



Figur 5.45: Simulering af dybden til grundvandsspejlet fra terræn for modelscenariet med horisontale og vertikale dræn og klimascenariet "nær-fremtid".



Figur 5.46: Simulering af dybden til grundvandsspejlet fra terræn for modelscenariet med horisontale og vertikale dræn og klimascenariet "fjern-fremtid".



Figur 5.47: Konturlinjer for sænkningen af grundvandsspejlet for modelscenariet med horisontale og vertikale dræn og klimascenariet "nær-fremtid".

Opsummering

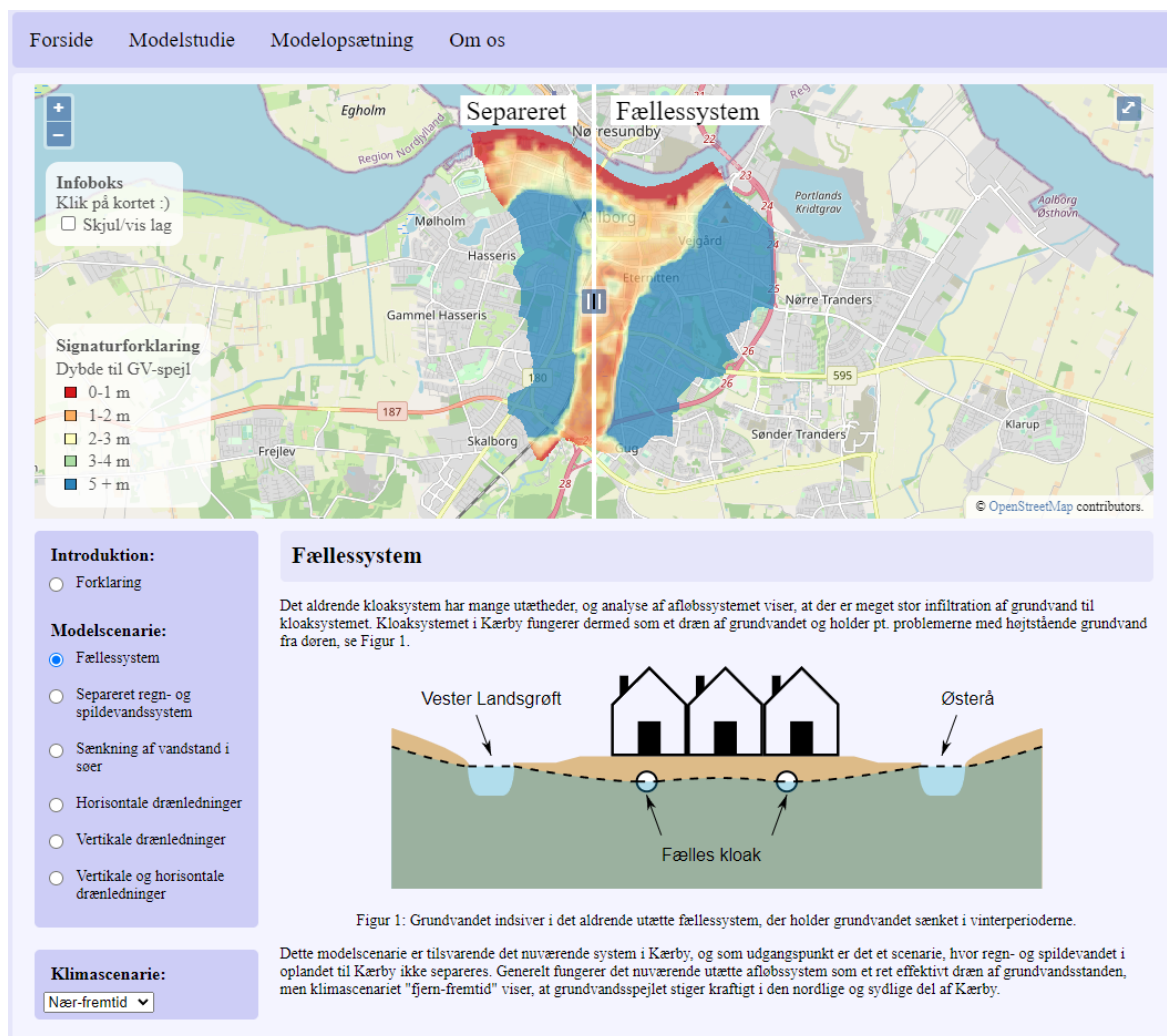
De detaljerede simuleringer af både nuværende og fremtidige grundvandstande i vintersituationer har vist, at der på grund af klimaændringerne, vil ske en generel stigning i grundvandsspejlet pga. øget nedbør og havvandspejlsstigning. Under antagelse af at afløbssystemet dræner til samme niveau som i dag, vil klimaændringerne dog ikke have så stor effekt på selve Kærby. Der er dog ingen tvivl om, at grundvandsstanden kommer til at stige signifikant, hvis det nuværende system saneres og der etableres et nyt og tæt separatesystem. Disse stigninger vil lokalt medføre et grundvandsspejl tæt på terræn, større risiko for indsvivning af vand til kældre samt frit vand på terræn i perioder af året. Det er også sandsynligt, at der på grund af klimaændringerne, vil forekomme større variation i grundvandsspejlet over året. Da der i klimascenarierne forudsiges længere tørkeperioder om sommeren og mere regnfulde vintre, vil forskellen mellem sommer og vinter derfor stige. Ændringer i grundvandsspejlet over året kan medføre større risiko for sætningskader på huse.

Scenariesimuleringerne viser at stigningen i grundvandsspejlet om vinteren kan afværges ved etablering af drænløsninger. Etablering af en tredje ledning sammen med spildevands- og regnvandsledning kan holde grundvandsstanden på det nuværende niveau lokalt, og en løsning med både horisontale dræn (den tredje ledning) samt vertikale drænboringer viser muligheder for i højere grad at kunne regulere grundvandsspejlets placering. Det er dog vigtigt at bemærke, at store sænkninger af grundvandet også vil medføre øget risiko for sætninger i jorden – både i Kærby og i de omkringliggende områder.

Rent teknisk findes der på baggrund af ovenstående simuleringer løsninger til at kunne afværge grundvandsstigninger og dermed nedsætte risiko for oversvømmelser, indsvivning af vand til kældre, våde haver, mv. Løsningerne kan dog være mere eller mindre svære at implementere i praksis i den nuværende vandforvaltningslovgivning.

5.10 Interaktiv modelportal

Som en del af GRAVA-projektet er der udviklet en offentlig tilgængelig interaktiv modelportal på hjemmesiden <http://grava.dk/>. Modelportalen har som formål at visualisere modelsimuleringerne og anskueliggøre modelleringsprocessen for borgerne i Kærby, vandbranchen og for andre parter. Den er ligeledes tænkt til at skulle fungere som et slags løsningskatalog over mulige løsninger til afværgelse af højtstående grundvand. Modelportalen fokuserer på modelstudiet, hvor de forskellige modelscenarier er forklaret og modelsimuleringerne visualiseret. Modelportalen viser interaktive GIS-kort, hvor modelscenarierne kan sammenlignes for forskellige klimascenarier, se Figur 5.48. Der er på siden indbygget en slider-funktion så to scenarier kan sammenlignes samtidigt.



Figur 5.48: Skærbillede af modelportalen <http://grava.dk/>.

Modelportalen er blevet præsenteret for borgerne i Kærby ved det afsluttende borgermøde, hvorefter borgerne har haft fri adgang til modelportalen. Opsætningen af grundvandsmodellen er gennemgået for andre parter, der kunne have interesse i at udvikle grundvandsmodeller til lignende projekter. Modelportalen er en permanent hjemmeside, der lever videre efter GRAVA-projektet. Selvom hjemmesiden er opbygget med fokus på

projektlokaliteten i Kærby, er det et håb fra projektgruppens side, at det præsenterede løsningskatalog kan tjene som generel inspiration til vandbranchen.

5.11 Konklusion

Set fra projektpartnerens synsvinkel har GRAVA-projektet været en stor succes. Borgernes overvældende interesse for deltagelse i indsamling af data har bidraget til en forståelse af, hvordan grundvandsstanden varierer både tidsligt og rumligt i Kærby, samtidig med at projektet har vist, at borgerdata er en mulighed ift. at supplere den automatiske dataindsamling.

Derudover har projektet vist, at inddragelse af borgerne i klimarelaterede problemstillinger ifm. håndtering af grundvand, spildevand og regnvand er i stand til at øge borgernes bevidsthed på området. GRAVA-projektet har bidraget til at kvaliteten af informationsudvekslingen mellem kommune, forsyning og borgere i Aalborg er højnet, og generelt er dialogen med borgerne og deres forståelse for nødvendige tiltag blevet forbedret.

Projektets analyser og resultater har bidraget til en forståelse af, hvordan vandløb, eksisterende afløbssystem og grundvand interagerer med hinanden. Desuden har de modelbaserede scenariosimuleringer vist hvilke områder, der i fremtiden vil blive udfordret af højtstående grundvand, enten på grund af klimaændringer eller på grund af omlægning af det nuværende afløbssystem med eller uden afværgeløsninger.

Scenariosimuleringerne har vist, at grundvandsstanden i de nuværende fælleskloakerede områder i Kærby kan stige med op til 50 cm som følge af klimaforandringerne. Etableres der separatkloak i Kærby uden at der samtidig etableres en afværgeløsning, så viser simuleringerne, at grundvandsstanden vil nærme sig terræn i den nord- og sydlige del af Kærby, med en gennemsnitlig dybde på ca. 50 cm under terræn. I begge scenarier vil grundvandet stige i takt med klimaforandringerne, hvis der ikke samtidig etableres afværgeforanstaltninger.

Scenariosimuleringerne har belyst potentialet af fire forskellige afværgeløsninger ift. at sænke grundvandsstanden. Her har flere af løsningerne mere lokale effekter, hvor sænkningen er størst lige omkring den implementerede løsning, bl.a. sænkning af vandstand i søer og vertikale dræn. Kombinationen af horisontale drænledninger og vertikale dræn har den bedste virkning ift. at sænke grundvandsstanden i hele Kærby, mens løsningen med de horisontale drænledninger (etableret i samme trace og dybde som afløbssystemet samt i samme omgang) anses som den løsning, der er mest gennemførlig.

Metodikkerne anvendt i VUDP-projektet GRAVA vil kunne anvendes hos andre forsyninger, som står med lignende problemstillinger, hvor flere dele af vandkredsløbet f.eks. påvirker et by-område og hvor man ønsker at konsekvensberegne på forskellige løsningsscenarier. Det vil være muligt at bruge lignende opsætning af konceptet for overvågning af vandkredsløbet, med både inddragelse af borgere til at aflæse grundvandsstand og vandstand i vandløb, samt automatiske loggere jf. beskrivelsen i kapitel 5.4 og 5.5. Der kan desuden henvises til kapitel 5.7, hvor der er lavet en erfaringsopsamling vedr. de udfordringer vi oplevede med CS-stationerne. Selve modelopstilling findes i bilag A og på grava.dk, andre forsyninger kan med fordel tage udgangspunkt i dette materiale, til at opsætte en model for et område, som skal inkludere flere dele af vandkredsløbet, samt konsekvensberegne på forskellige løsningsscenarier.

5.12 anbefalinger

Baseret på erfaringerne og resultaterne opnået i projektet, kan følgende anbefalinger opstilles ift. borgerinddragelse samt screening og analyse vha. modelsimuleringer:

Anvendelse af borgerdata – potentiale og anbefalinger:

Ift. at opnå en kvalitet og kvantitet af data, der kan anvendes ifm. modelleringer, er der enkelte ting man bør være opmærksom på:

- CS-stationerne skal være velplacerede.
- Aflæsning af data skal være simpelt/intuitivt.
- Indberetningssystemet skal være simpelt/intuitivt.
- Borgerne skal holdes motiverede (over en lang periode).
- Aktiv kommunikation med borgerne forud for særlige hændelser (skybrud, høj vandstand i vandløb) med opfordring om at foretage pejlinger før, under og efter hændelsen indtræffer kan være nyttig.

For yderligere uddybning af erfaringer og resultater med borgerinddragelse henvises til Bilag C.

Model – potentiale og anbefalinger:

Mange grundvandsmodeller har til formål at kunne modellere vandressourcer på større skala, men for at kunne modellere det terrænnære grundvands variation i byområder er der behov for højere opløsning i tid og sted. Ud fra erfaringerne i GRAVA-projektet anbefales følgende:

- Høj opløsning på geologisk model (især pga. geologisk heterogenitet i byområder).
- Gode pejledata (af terrænnært grundvand).
- Inddragelse af dræn, afløbssystem og vandløb i grundvandsmodel.
- Inddragelse af interaktioner med vandløb.

Det er klart, at jo flere data og jo bedre model, jo mere præcis vil kortlægningen og scenariesimuleringerne være. Modellen, der er anvendt i GRAVA-projektet vil ikke kunne anvendes for andre steder end Kærby, men følges vejledningen til opsætning af modellen (se Bilag A) vil en lignende model kunne opstilles for andre områder.

6 Litteraturliste

Aalborg Kommune (2021) Aalborg Kommunes Spildevandsplan, 2021-2023. <https://aalborgkommune.viewer.dkplan.niras.dk/plan/33#/110448>.

Henriksen HJ, Kragh SJ, Gotfredsen J, Ondracek M, van Til M, Jakobsen A, Schneider RJM, Koch J, Troldborg L, Rasmussen P, Pasten-Zapata E, Stisen S (2020) Sammenfatningsrapport vedr. modelleverancer til Hydrologisk Informations- og Prognosesystem, GEUS https://sdfi.dk/Media/637558092689251964/5majHIP4Plus_sammenfatningsrapport_v23Feb.pdf

Nielsen, Emil (2017) Prædiktiv realtidsstyring af danske afløbssystemer. Kandidatspeciale i Vand og Miljø Aalborg Universitet.

Region Midtjylland (2021) Inspirationskatalog – Sænkning af det terrænnære grundvand. https://www.c2ccc.eu/siteassets/c2ccc/produkter/inspirationskatalog-sankning-af-det-terrannare-grundvand_web.pdf

Stisen, S., Ondracek, M., Troldborg, L., Raphael J. M. Schneider & Michael John van Til: National Vandressource Model. Modelopstilling og kalibrering af DK-model 2019. GEUS rapport 2019/31.

Thorndahl, SL, Nielsen, R, Westergaard, M & Ziegler, AS (2022), Borgerindsamling af grundvandsdata og scenariemodellering af interaktion mellem grundvand, afløbssystem og vandløb i bydelen Kærby i Aalborg, EVA: Erfaringsudveksling i vandmiljøteknikken, bind 35, nr. 3, s. 32-35. http://www.evanet.dk/wp-content/uploads/2022/10/2022_03_EVA_blad.pdf