

Bilag B: Litteraturstudie - afværgeløsninger

Rasmus Nielsen og Søren Thorndahl
Aalborg Universitet, Institut for By, Byggeri og Miljø
Projekt: GRAVA
Oprindeligt udarbejdet 10. marts 2021

Litteraturstudie af afværgeløsninger til udfordringer med højtstående grundvand, vandløb og samspil med afløbssystem i byer.

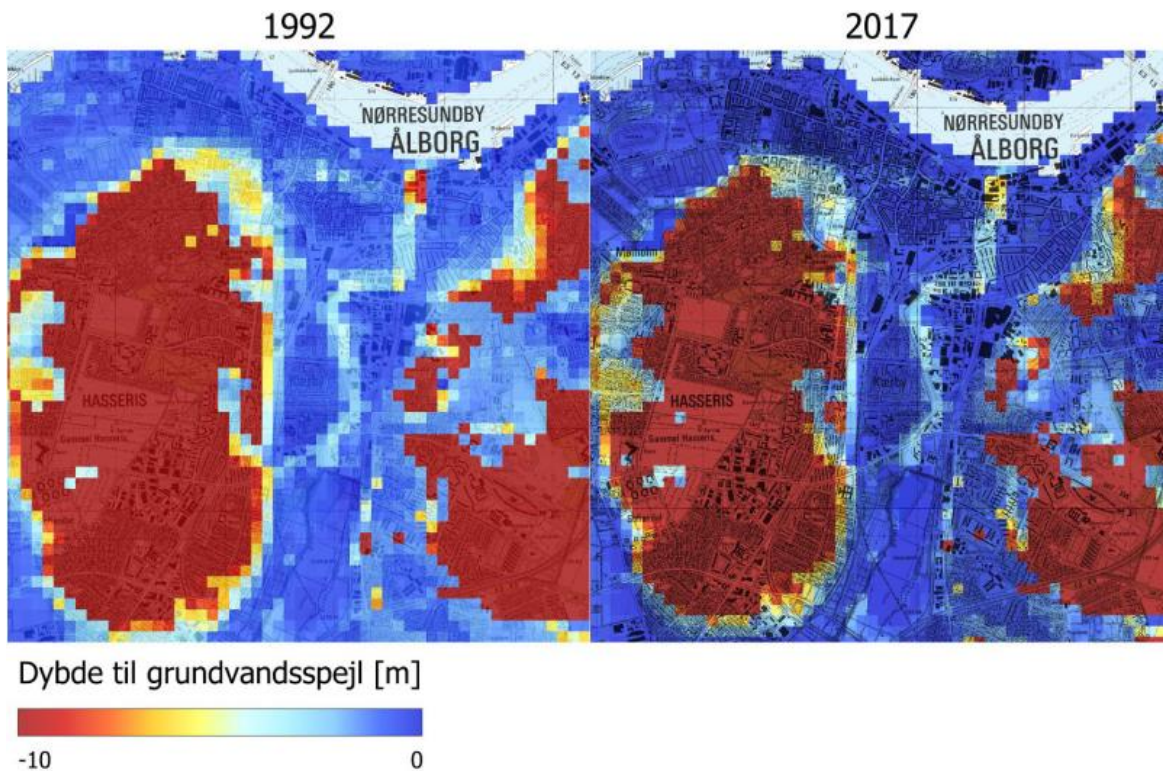
Indledning

I GRAVA-projektet undersøges samspillet mellem grundvand, afløbssystem og vandløb ift. risiko for oversvømmelse og problemer relateret til høj grundvandsstand med udgangspunkt i projektlokaliteten Kærby i Aalborg. Dette notat er gennemført med udgangspunkt i projektlokaliteten, men kan også tjene et mere generelt formål ift. lokaliteter med lignende udfordringer.

Formålet med notatet er at undersøge og prioritere mulige afværgeløsninger fundet i dansk og international litteratur. Prioriteringen anvendes til at udpege de løsninger og scenarier, der modelleres og simuleres i GRAVA-projektet. Afværgeløsningerne er prioriteret efter teknisk kunnen og realiserbarhed, mens juridiske og myndighedsmæssige aspekter i forhold til vandhåndtering er negligeret. Denne beslutning er efter en forudsætning om, at et katalog af afværgeløsninger måske kan være med til at påvirke den fremtidige lovgivning til fordel for nye og innovative løsninger.

Kærby i Aalborg

Kærby er karakteriseret som et lavtliggende område med et højt grundvandspejl beliggende 0-2 meter under terræn, se Figur B1. Naturligt er grundvandspejlets placering primært styret af Østerå, Vestre- og Østre Landgrøfter samt af vandstanden i Limfjorden. På grund af opdæmning af Østerå er der en lille risiko for direkte oversvømmelse fra Østerå, mens der er flere eksempler på regnbetingede oversvømmelse fra Østre Landgrøft til Håndværkerkvarteret øst for Kærby. I dag pumpes langt størstedelen af alt spildevand og regnvand fra Kærby. I tørvejr pumpes spildevand til Renseanlæg Vest, men under regn pumpes overløbsvand fra fællessystemet til Vestre Landgrøft. Oversvømmelsesrisikoen i selve Kærby udgøres derfor primært af stigende grundvand og manglende kapacitet af afløbssystemet og pumper under regn.



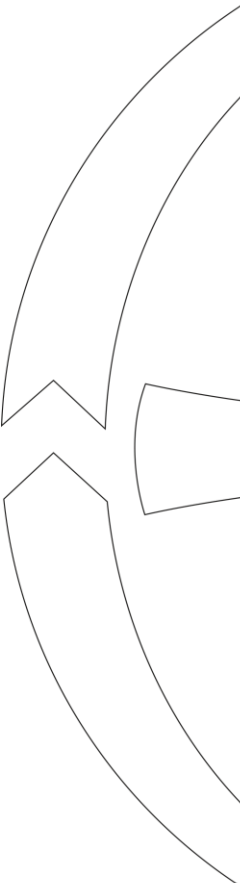
Figur B1: Modellsimuleringer af dybden til grundvandsspejlet i Kærby-området i 1992 og 2017 fra HIP-data.dk [1]

I og omkring Kærby er der i de senere år påbegyndt separering af spildevand og regnvand i to ledningssystemer. De ældre fælleskloakerede afløbssystemer har en drænende effekt på grundvandet, hvilket lokalt kan regulere grundvandsstanden. Infiltration gennem utætte ledninger samt bidrag fra koblede omfangsdræn vurderes at være 4-5 gange større end spildevandsbidragene i området. På grund af afløbssystemernes drænende effekt og tilstedeværelsen af omfangsdræn kan stigende grundvand som resultat af klimaforandringerne være skjult. I takt med sanering og separatkloakering af fællessystemerne kan der være risiko for et stigende grundvandsspejl, som medfører vand i kældrene hos borgerne.

I forbindelse med afholdelse af borgermøde i foråret 2020 har flere borgere udtrykt bekymring for kommende separatkloakering og et potentielt stigende grundvandsspejl som resultat af separatkloakeringen samt klimaændringer. Den nuværende lovgivning sætter ansvaret for det terrænnære grundvand på grundejeren, hvor forsyningen og kommunen ikke har pligt til at påtage sig ansvaret for regulering af grundvandsspejlet. I det åbne land er det terrænnære grundvand reguleret med vandløbsloven, der giver grundejeren ret til at lede terrænnært grundvand væk fra egen jord.

I byområder gælder vandløbsloven også, men det er besværliggjort af, at reguleringen af grundvand på egen grund kræver samarbejde mellem flere grundejere og eventuelt forsyningsvirksomheden og kommunen. Der er også stor risiko for, at løsninger på private ejendomme i byer kan give problemer andre steder.

Et stigende og varierende grundvandsspejl kan potentielt give geotekniske problemer i forhold til fundering af bebyggelse i Kærby. Det er sandsynligt, at der kan opstå sætnings-skader på huse, dels hvis grundvandet stiger eller falder, men også hvis

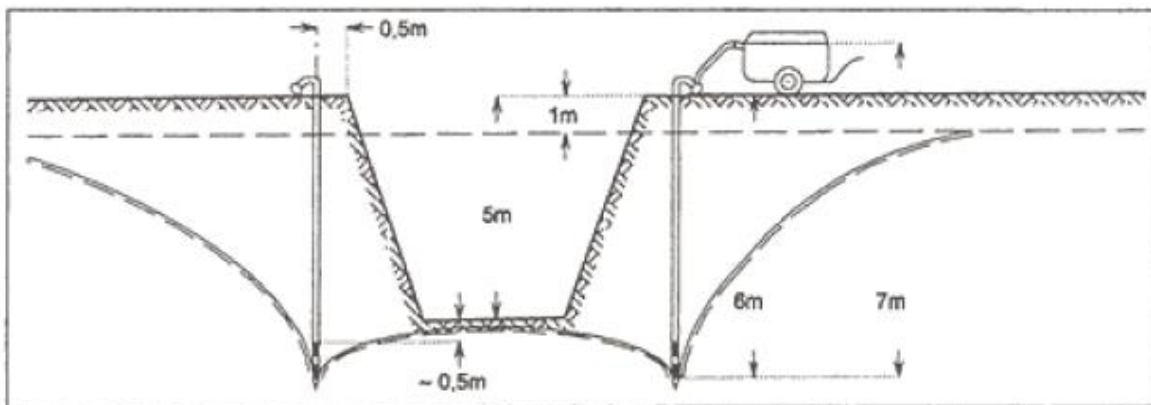


grundvandsstanden varierer over året. Eksempelvis har borgere i forbindelse med en meget tør sommer i 2018 observeret sætningskader på deres huse.

Klimaforandringerne vil give øget nedbør i primært vinter, forår og efterår, mens der forventes en konstant eller reduceret mængde nedbør i sommermånederne. Det betyder derfor længere tørkeperioder i sommermånederne (med faldende grundvandsstand) samt stigende grundvandsstand resten af året. Pga. klimaændringerne forventes der i fremtiden derfor både en øget oversvømmelsesrisiko pga. stigende grundvand, men også øget risiko for et mere varierende grundvandsspejl som kan medføre sætningsproblemer.

Katalog med afværgeløsninger

Grundvandssænkning er almindeligt for entreprenører i forbindelse med bygge- og anlægsarbejde. Grundvandet sænkes midlertidigt eller permanent under konstruktions- eller udgravningsniveau ved etablering af et antal boringer eller sugespidsler, hvorfra grundvandet oppumpes [3], se Figur B2.



Figur B2: Nedsænkning af grundvand omkring en udgravning [4].

I [2, 3, 4, 5] er der beskrevet metoder til lokal grundvandssænkning ved bygge- og anlægsarbejde i op til flere meter, såsom i forskellige dræn og pumplingsløsninger. Fælles for løsningerne er, at de alle er implementeret med henblik på en lokal nedsænkning i og omkring udgravningsarbejdet.

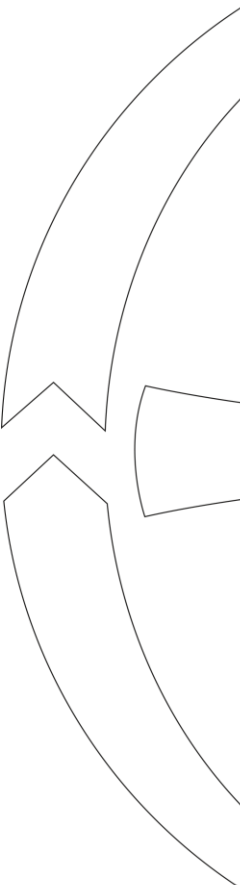
Der er generelt følgende metoder til regulering af grundvand i byer:

- Begrænsning af nedsivning af regnvand fra overfladen
- Nedgravning af dræn til at holde grundvandet under et kritisk niveau
- Nedsænkning af grundvand via oppumpning

I afsnittet herunder er et katalog af forskellige løsninger, der er forskellige måder at implementere de overstående løsningsmetoder.

Begrænsning af nedsivning til grundvand

Nedsivningen fra grønne områder reduceres ved omlægning af arealbrug. Skove har et bedre potentiale for at fordampe og transpirere nedbør end f.eks. græs eller marker [8]. For Danmark er det i [8] f.eks. fundet, at nedsivningen på en sandjord fra skov reduceres med hhv. 10 – 22 % afhængigt af skovtype sammenlignet med landbrugsjord.



I [9] er nedsivningen til grundvandet målt i 8 danske skove, hvor nedsivningen svarer til mellem 22 – 45 % af nedbøren. I [10] er et review af 27 studier (2 model og 25 eksperimentelle) med grundvandsdannelse i tropiske og subtropiske områder, hvor det er konkluderet, at nedsivningen til grundvandet er mellem 6 og 12 % af nedbøren over skovområder. Dette kunne betyde, at klimaforandringer kunne forårsage et bedre potentiale for at reducere nedsivning til grundvandet i skovområder i fremtiden.

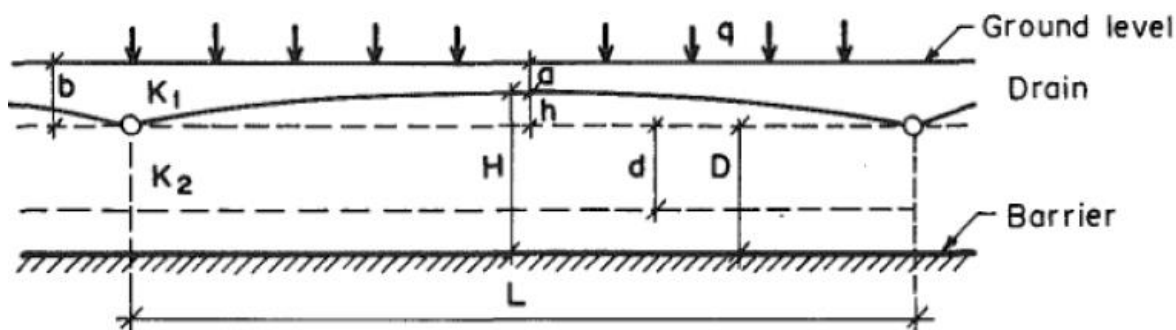
Tilbageholdelse af vand i Østerådalen kan forsinke afstrømningen til Østerå og derved reducere vandstanden i Østerå. Den hydrauliske kontakt mellem Østerå og det terrænnære grundvand er stor i Kærby-området, hvilket kan observeres på målestationer til grundvandet nær Østerå. Derfor vil tilbageholdelse af vand i Østerådalen opstrøms Kærby i perioder med kortvarig høj vandstand i Østerå (typisk sommerhalvåret) kunne afværge situationer med høj grundvandsstand.

I litteraturen findes der ikke direkte undersøgelser eller målinger af sammenhæng mellem tilbageholdelse af vand i ådals-systemer og påvirkningen af grundvandet nedstrøms. Derfor er der også potentiale for, at GRAVA kan bidrage med ny viden på dette område. Vandet i Østerådalen kan tilbageholdes ved kontrollerede oversvømmelse af arealer, hvor der kan opmagasinere vand i perioder, hvormed afstrømningen til Østerå forsinkes.

Drænløsninger og oppumpning af grundvand

Horizontale dræningsledninger (ofte kaldt for markdræn eller blot dræn) er meget anvendt inden for landbruget, hvor terrænnært grundvand drænes fra markerne for at skabe optimale vækstforhold for afgrøder. Selvom design og udførelse af markdræn er veldokumenteret og trivielt at implementere, så er der mindre litteratur omkring design af urbane dræningsledninger. Urbane dræningsledninger skal ud over kravene til markdræn også sikre, at grundvandsspejlet ikke falder under et niveau, så jorden ikke sætter sig under fundamenter eller veje og fortove.

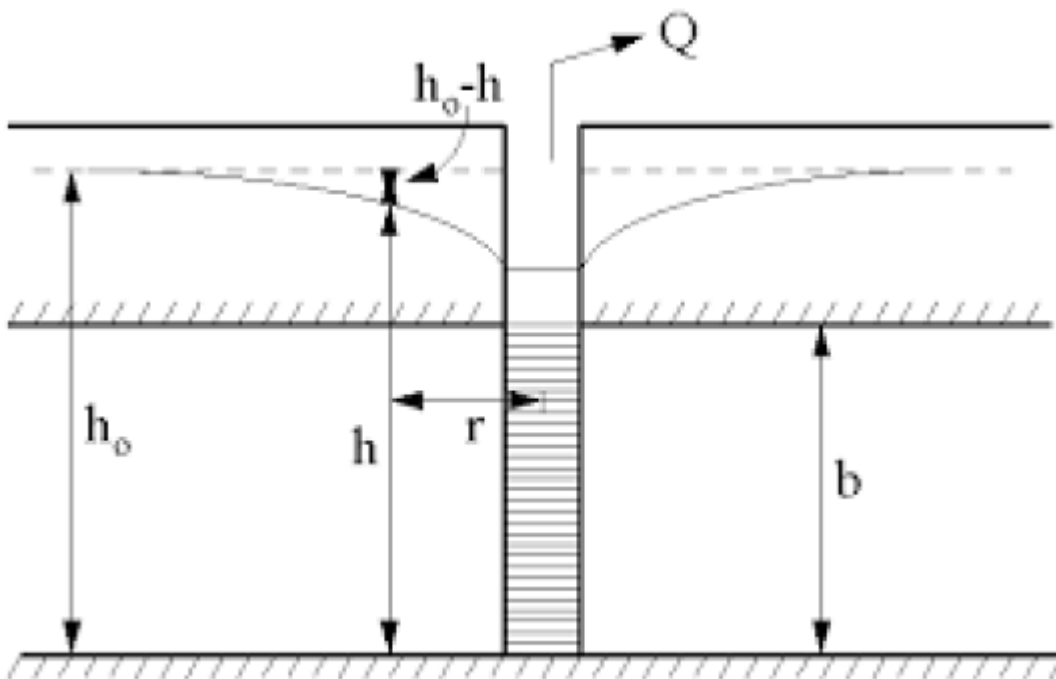
Sætninger i jorden kan være meget kritisk i urbane områder, hvorfor drænene skal placeres i en maksimumsdybde, b , og med en individuel afstand, L , der tillader en acceptabel minimumsdybde, a , til grundvandsspejlet, se Figur B3. Her vil det rent designmæssigt handle om at bestemme minimumsdybden ud fra overvejelser om skaderisiko på underjordiske konstruktioner forårsaget af grundvand og konstruktionsomkostninger af drænet. I den internationale litteratur er der givet nogle designvejledninger til horisontale dræn i [6] og [7].



Figur B3: Horisontale dræn dræner de øverste 1-2 meters jordlag, så grundvandsspejlet fikseres i et acceptabelt niveau [6].

Omfangsdræn er ofte anvendelige til at holde bygningskonstruktioner (såsom kældergulv og -vægge) tørre ved at lede vandet omkring bygningskonstruktionen videre til den offentlige kloak [11]. Omfangsdræn er anvendt ved et permanent grundvandsspejl under den drænedes dybde, der periodevis stiger op til eller over dræningsdybde eller ved jorde med lav permeabilitet, hvor ovenfrakommende vand har problemer med at infiltrere. Udførelsen af omfangsdræn kan være ret bekosteligt for grundejeren, hvor prisen typisk varierer mellem 5.000 til 10.000 kr. pr. meter alt efter forhold.

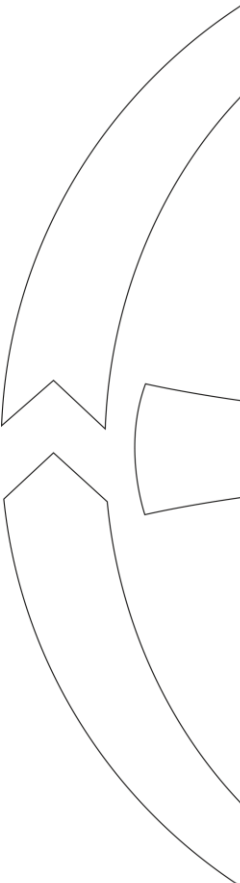
Nedsænkning af grundvandsspejlet kan foregå ved oppumpning af grundvand via en boring (ofte kaldt for vertikale dræn i international litteratur). Filteret i boringen er typisk sat i dybere jordlag end de horisontale dræn (typisk 8 – 30 meters dybde under terræn). Den højere drændybde forudsætter, at dræningen af de dybere jordlag tillader, at der kan infiltrere mere vand fra de terrænliggende jordlag. Se illustration af konceptet på Figur B4.



Figur B4: Nedsænkningen af grundvandet ved oppumpning af grundvand. Sænkningstragtens påvirkning af grundvandsspejlet aftager med distancen fra boringen ligesom ved de horisontale dræn [6].

Lokal sænkning af grundvandsspejlet foregår allerede i området ved afværgeanlægget ved Sønderbro 53, hvor der oppumpes 170 m³/time for at undgå indsvivning af grundvand i kældre. Oppumpningen ved Sønderbro 53 sænker grundvandsspejlet med ca. 60 cm. Sænkningstragten nær boringen kan være ret stejl, og derfor kan det skabe problemer med sætningen i jorden nær boringen. I den videnskabelige litteratur er der i [6] og [7] effekten af vertikale dræn diskuteret, og begge studier konkluderer, at vertikale dræn er mere problematiske at få implementeret. I [7] fandt man dog 4 år efter implementeringen, at grundvandsspejlet var sænket med 3-5 meter.

Nord og syd for Kærby er Kjærs Møllesø og Lergraven i Østerådal. Søerne er i direkte kontakt med grundvandet, hvorfor vandstanden i søerne er en god indikator for niveauet af grundvandsspejlet. Dermed vil en regulering af vandspejlet i søerne også have en kraftig effekt på grundvandsspejlet. Vandstanden i søerne kan reguleres via pumpning af vand i vinterperioderne, hvormed en ukendt nedsænkning af grundvandsspejlet vil forekomme.



Effekten afhænger meget af, om, der er god hydraulisk kontakt mellem Kærby-området og tilstrømningen til søerne. Tilstrømningen til søerne kommer sandsynligvis fra både det terrænnære og det dybere grundvand. Regulering af vandstanden i søerne giver en alternativ mulighed for at etablere en løsning, hvor grundvandsinfiltrationen i de øvre lag kan forsøges samtidigt med, at infiltrationskapaciteten fra det øvre lag mod de dybere lag forøges.

Fordele og ulemper for valg af afværgeløsninger

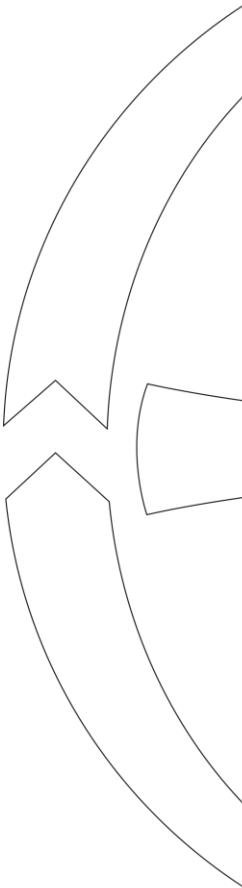
Afværgeløsningernes potentiale er undersøgt for Kærby-området. Fordele og ulemper, geoteknisk risiko, potentiale, konstruktions- og driftsomkostninger er vurderet. På baggrund af førnævnte parametre laves en prioritering af løsninger, der skal undersøges nærmere i GRAVA-projektet. Afværgeløsningerne og deres vurdering er opsummeret i Tabel B1.

De horisontale og vertikale drænløsninger har størst potentiale, men også de største risici for sætninger i jorden. Konstruktionsomkostningerne er også meget afhængige af flere usikre parametre, såsom jordforhold. Derfor vil de kræve en god planlægning og mere komplekse analyse-redskaber for at undersøge deres fulde potentiale og påvirkning af jordstyrken. Drænløsningerne kan give signifikante lokale sænkning af grundvandsspejl, men der skal regnes mere specifikt på, hvor stor udbredelse en sænkning vil have lokalt. Hermed kan der gives et estimat på hvor og hvor mange dræn, der skal etableres og om det er realistisk ift. ejerforhold, arealanvendelse, mv. Vil horisontale dræn etableret som en 3. ledning i forbindelse med separatkloakering kunne reducere grundvandsspejlet i tilstrækkelig grad for også at holde grundvandsstanden nede i hele Kærby generelt?

Forurening af dybereliggende grundvand er en potentiel fare ved den vertikale dræningsløsning, hvor boringer eventuelt giver en direkte transportvej for uønskede stoffer, vira og bakterier. Den horisontale dræningsløsning har en ringe effekt i lav-permeable jordlag, som f.eks. ler, og derfor er der risiko for, at der er strækninger, hvor potentialet er meget lille.

Skovrejsning, omfangsdræn, og tilbageholdelse af vand i Østerådalen har et medium til lille potentiale. De geotekniske risici er små til moderate og deres potentiale er bedre beskrevet i litteraturen. Konstruktions- og driftsomkostningerne for omfangsdræn er ret dyre for grundejeren, hvorimod tilbageholdelse af vand i Østerådalen kan være mindre eller mere dyrt alt efter implementeringsstrategi. Omfangsdræn er en dårlig løsning, når grundvandet står over det ønskede dræningsområde (f.eks. kælder), og det er meget realistisk, at mange af grundejeren ikke vil nå den ønskede effekt ved denne løsning. Skovrejsningens reduktion af nedsivningen til grundvandet (via øget fordampning og forsinkelse af afstrømning) er meget afhængig af tilgængeligheden af store arealer, men har til gengæld synergi med beskyttelse af grundvandet.

Regulering af vandstanden i Kjærs Møllesø og Lergraven i Østerådalen har et ukendt potentiale, der kan være både lille og stort. Det er relativt let at simulere forskellige strategier, og det er også relativt let at foretage eksperimenter til at bestemme potentialet. Der er få til ingen risici indblandet ved at oppumpe vand fra søerne. Konstruktionsomkostningerne og driftsomkostninger er relativt begrænset til pumpe-systemer og rørledninger.



Tabel B1: Sammenligning af potentielle afværgeløsninger.

* Med grundvandsmodel menes der en integreret grundvands-, vandløbs- og urban afløbsmodel.

** Mere kompleks analyse er nødvendigt for at afdække det fuldstændigt.

Afværgeløsning	Potentiale	Geoteknisk risiko	Konstruktions- og driftsomkostninger	Potentielle problemer	Modellering	Påvirkning af vandbalance	Synergieffekt
Horisontale dræn	Højt	Sætninger i jord	Moderat til høj afhængig af jordforhold. Periodisk gennemspuling.	Ringe effekt i lav-permeable jordlag. Vil primært kunne placeres i veje	Kombineret analytisk og empirisk metode eller grundvandsmodel*	Grundvand og til dels vandløb	Kan eventuelt kombineres med lokale LAR-løsninger såsom regnbede
Vertikale dræn	Højt	Store sætninger omkring boring	Moderat til høj afhængig af jordforhold	Forurening af dybere grundvand. Vil primært kunne placeres offentlige arealer eller under veje	Analytisk eller grundvandsmodel*	Grundvand og til dels vandløb	
Horisontale + vertikale dræn	Højt	Begge overstående risici	Moderat til høj afhængig af jordforhold	Forurening af dybere grundvand	Kombineret analytisk og empirisk metode eller grundvandsmodel*	Grundvand og til dels vandløb	
Omfangsdræn	Lille	Relativt lille risiko for grundejeren	Bekosteligt i etablering og drift for grundejeren	Hvis grundvandet er for højt, så har det ingen effekt	Simpel vandbalance model + grundvandsmodel*	Infiltration til grundvand	
Skovrejsning	Højt, men på længere sigt	Ingen	Billigt	Kræver områder til beplantning	Simpel vandbalance model grundvandsmodel*	Infiltration til grundvand	Nye naturområder
Tilbageholdelse af vand i Østerådalen	Lille	Sandsynligvis moderat til lille**	Meget afhængig af løsningsforslag	Påvirkning langs Naturområder	Grundvandsmodel*	Primært vandløb og til dels grundvand	Kan reducere oversvømmelse i sommerperioder
Regulering af vandstand i søer	Ukendt	Sætninger i jord	Billigt	Påvirkning af dyre- og planteliv	Grundvandsmodel*	Primært horisontale og vertikale grundvandsstrømninger	

Konklusion og prioritering af løsninger der skal arbejdes videre med i GRAVA

Ud fra foregående analyse og diskussion udvælges dræns scenarier med kombinationer af horisontale og vertikale dræn samt regulering af vandstanden i Kjærs Møllesø og Lergraven i Østerådalen. Valget af drænløsningerne er foretaget eftersom deres potentiale er højt og der er behov for at fjerne store mængder grundvand i Kærby-området. Risici for sætninger i jord og dermed potentielt skade på konstruktioner kræver, at der foretages en dybdegående analyse af jord- og vandforholdene i Kærby.

Reguleringen af vandstanden i Kjærs Møllesø og Lergraven er en alternativ løsning, der måske kan have en positiv synergieffekt i kombination med drænløsningerne. Effekten af en regulering af vandstanden i søerne er ukendt, men kan potentielt være stor.

På længere sigt er det nødvendigt at reducere nedsivningen til grundvandet i oplandet til strømmende Østerå. Ændring af arealbrug, såsom skovrejsning, er et redskab, der på sigt kan være med til at sikre, at grundvandsdannelsen i oplandet ikke stiger u hensigtsmæssigt i fremtiden. Derfor undersøges forskellige scenarier med skovrejsning for at formindske grundvandsdannelsen i oplandet til Østerå.

En grundvandsmodel for Kærby-oplandet anvendes til at vurdere hvilke løsninger, der har den fornødne evne til at holde grundvandsspejlet i Kærby ude af kælderbygningerne. Langtidsprognoser af udviklingen i nedbør og fordampning anvendes til at undersøge løsningernes robusthed mod klimaforandringer.

Potentialet af løsningerne analyseres statistisk på baggrund af 30 års data for forskellige belastningstilfælde for at undersøge, om der kan være gavnlige effekter i hverdags- og ekstremtilfælde.

Referenceliste

- [1] Henriksen HJ, Kragh SJ, Gotfredsen J, Ondracek M, van Til M, Jakobsen A, Schneider RJM, Koch J, Troldborg L, Rasmussen P, Pasten-Zapata E og Stisen S, 2020, Dokumentationsrapport vedr. modelleverancer til Hydrologisk Informations- og Prognosesystem, De Nationale Geologiske undersøgelser for Danmark og Grønland, https://sdfe.dk/media/2920242/hip4plus_dokumentationsrapport31jan2021.pdf
- [2] Driscoll, F.G. Groundwater and Wells. Johnson Division. 1986 (second edition).
- [3] Powers, J.P. Construction Dewatering. John Wiley & Sons, Inc. 1992 (second edition).
- [4] Hansen, A. Grundvandssænkning. Fundering. Teknisk Forlag, 1960.
- [5] Bach, J., Rikskov, U., Gravesen, P. (2001). Udvidet geologi og grundvand. Udvidet geologi og grundvand. URL: <https://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2001/87-7944-826-7/html/kap02.htm>
- [6] Abu-Rizaiza, O. S., Sarikaya, H. Z., & Ali Khan, M. Z. (1989). Urban groundwater rise control: Case study. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 115(4), 588-607. doi:10.1061/(ASCE)0733-9437(1989)115:4(588)
- [7] Al-Rashed, M. F., & Sherif, M. M. (2001). Hydrogeological aspects of groundwater drainage of the urban areas in kuwait city. *Hydrological Processes*, 15(5), 777-795. doi:10.1002/hyp.179
- [8] Raulund-Rasmussen, K. & Hansen, K. (eds.). Grundvand fra skove - muligheder og problemer. Skovbrugsserien nr. 34, Skov & Landskab, Hørsholm, 2003. 122 s. ill.
- [9] Ladekarl, U. L., Beier, C., & Dellwik, E. (2005). Fordampning fra landbrug og skov. *Vand & Jord*, 12(2), 44-47.
- [10] Owuor, S. O., Butterbach-Bahl, K., Guzha, A. C., Rufino, M. C., Pelster, D. E., Díaz-Pinés, E., & Breuer, L. (2016). Groundwater recharge rates and surface runoff response to land use and land cover changes in semi-arid environments. *Ecological Processes*, 5(1) doi:10.1186/s13717-016-0060-6
- [11] Sode, T. R. (2019). Hold huset tørt med et omfangsdræn. <https://www.bolius.dk/hold-huset-toert-med-et-omfangsdraen-18880#:~:text=Hvad%20koster%20et%20omfangsdr%C3%A6n%3F,til%2010.000%20kr.>

