



PARTIKELVANDRING TIL GRUNDEVANDET.

Christa R. Bækkel

Vejleder: Gry Lyngsie

Bivejleder: Erik Rasmussen

Studie nr.: 63706

Antal anslag: 149.186

Specialeafhandling i Geografi.

The logo for Roskilde University (RUC), consisting of the letters 'RUC' in a bold, white, sans-serif font on a black rectangular background.

Roskilde Universitet

Indholdsfortegnelse

1. Indledning	4
1.1 Pesticider i Danmark.....	5
1.2 Fund af pesticider i gammelt grundvand.	9
2 Problemformulering	10
2.1 Arbejdsspørgsmål.....	10
2.2 Afgrænsning	10
2.3 Projektdesign	11
3. Genstandsfelt	12
3.1 DPC – Desphenyl chloridazon	12
3.2 Punktkilde eller fladekilde forurening?.....	15
3.3 Caseområde Råbylille vandværk	16
3.4 Lovgivningens rammer	17
4. Teori	18
4.1 Indvindingsopland og grundvandsdannede opland	18
4.1.1 Vandbalance ligning.....	19
4.2 Geologiske jordtyper.....	20
4.2.1 Jordlagenes dannelse	20
4.2.2 Jordtyper	22
4.2.3 Lerjord og sandjord aflejringer	22
4.2.5 Skrivekridt aflejringer	23
4.3 Grundvandet.....	24
4.3.1 Umættet og mættet zone.....	24
4.3.2 Grundvandsmagasiner.....	24
4.4 Hydrologisk strømnings potentiale	25
4.4.1 Porøsitet	25
4.4.2 Permeabilitet	26
4.4.3 Hydrauliske ledningsevne.....	27
4.4.4 Transmissiviteten.....	28
4.4.5 Tryk i grundvandsmagasinet.....	29
4.4.6 Darcys lov.....	29
4.5 Opsummering	30
5. Metode	30
5.1 Jupiterdatabase XL	30
5.2 FOHM.....	32
5.2.1 Jordlag klassificering.....	33
5.3 MIKE SHE	35
5.3.1 Opsætning af modellen	36
5.4 ArcGIS Pro.....	39
5.5 Miljøstyrelsen sammentolkning af histogrammer.	44

5.6 Region Sjællands kortlagte V2 jordforurening område.....	44
5.7 Opsummering	45
6. Resultater.....	46
6.1 Indvindingsopland	46
6.2 Partikelvandring	52
6.3 Tværsnit af jordlag og partikler.....	56
6.4 Boringernes tværsnit.....	67
6.4.1 Geologisk vindue.....	69
6.5 Forventet tid for udvaskning af DPC.....	70
6.6 Delkonklusion	74
7. Diskussion	75
7.1 Validitet af model og kortlægning af geologiske jordlag.....	75
7.2 Pesticid i gammelt grundvand problematik.....	80
7.3 Grænseværdier og afspejling af modelsimulering.....	86
7.4 Skal vi anvende avanceret vandbehandling?	88
7.5 Hvad kan modellen og hvad er fremtiden?	90
8. Konklusion.....	92
Litteraturliste	93

Forord

Specialet er blevet skrevet i forbindelse med en specialekontrakt med Vordingborg kommune, som har stillet deres data, MIKE SHE-modellen samt ArcGIS Pro til rådighed.

Samtidig har de stillet deres tid til rådighed, givet råd og vejledning i forbindelse med specialet.

En særlig tak til vand-teamet i Vordingborg kommune. Herunder Erik Rasmussen, Hanne Jørgensen og Jane Morgenstjerne Andersen.

Derudover vil jeg gerne takke Paul Thorn og Annette Rosenbum, Rambøll, for kyndig rådgivning i brugen af MIKE SHE og gode overvejelser i forbindelse med at skulle bruge modellen.

Abstract

A pesticide problem has been reported in a waterworks borehole located on Møn, in Vordingborg municipality.

This problem gives rise to investigating when it can be expected that the decomposing substance, DPC, can be assessed as having been extracted from the groundwater after a complete leaching from the soil layers. Of this, MIKE SHE is used as the hydrological model, as a particle migration will be carried out.

This study must help form a foundation, like a screening to the matter.

This screening seeks to try to be able to create the possibility of better, and faster, planning in the municipalities and waterworks. This must be seen in relation to the municipalities, which approve the analyzes from the waterworks, and which must react when a limit value is passed.

In the results section, findings have been made that there is a risk that there is a point source that discharges DPC into waterworks boreholes. In addition, it is also assessed that a significant factor within hydrological models deals with the mapping of the geological soil layers.

1. Indledning

Dette speciale vil omhandle udvaskning af pesticidet: Desphenyl Chloridazon (DPC). DPC blev benyttet mellem 1980-1996 i Danmark, som beskyttelsesmiddel til roer samt løg. I dag findes pesticidet i flere vandværksboringer over grænseværdier (Roost & Lenschow, Desphenyl-chloridazon (DPC) - Punktkilde eller fladekilde, 2021, s. 8-9), heraf drikkevand, og udgør en stor problematik for kommuner og vandværker.

Denne problematik giver anledning til at undersøge, hvornår det kan forventes, at DPC kan vurderes, som være udvundet fra grundvandet efter en fuld udvaskning fra jordlagene. Heraf benyttes MIKE SHE, som den hydrologiske model, da der vil foretages en partikelvandring.

Denne undersøgelse skal medvirke til at danne et fundament, som en screening.

Denne screening skal kunne skabe mulighed for bedre, og hurtigere, at kunne udforme en planlægning i kommunerne og vandværker. Dette skal ses i forhold til kommunerne, som godkender analyserne fra vandværkerne, og som skal reagere når en grænseværdi passeres.

Opgaven tager afsæt i en rapport udarbejdet af DMR for Region Sjælland, om et jordforurenings område nærliggende vandværksboringerne, tilhørende Råbylille vandværk på Møn.

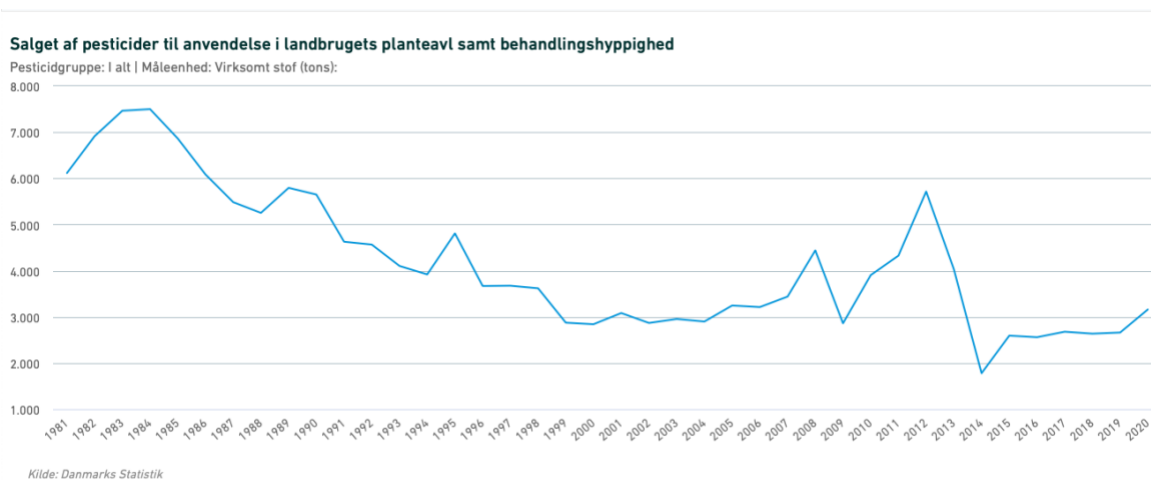
Der vil i det næste afsnit tages afsæt i brugen af pesticid i Danmark, samt hvornår der blev sat fokus på de skadelige eftervirkninger. Der vil blive sat fokus på den ene lovgivning, der har rammesat en grænseværdi for pesticider der analyseres for. Slutvis vil der blive perspektiveret til et vandværk beliggende på Møn, som har indgået i en rapport vedrørende aldersdatering på grundvandet. På baggrund af dette vil der blive fremlagt en problemformulering, samt en afgrænsning.

1.1 Pesticider i Danmark

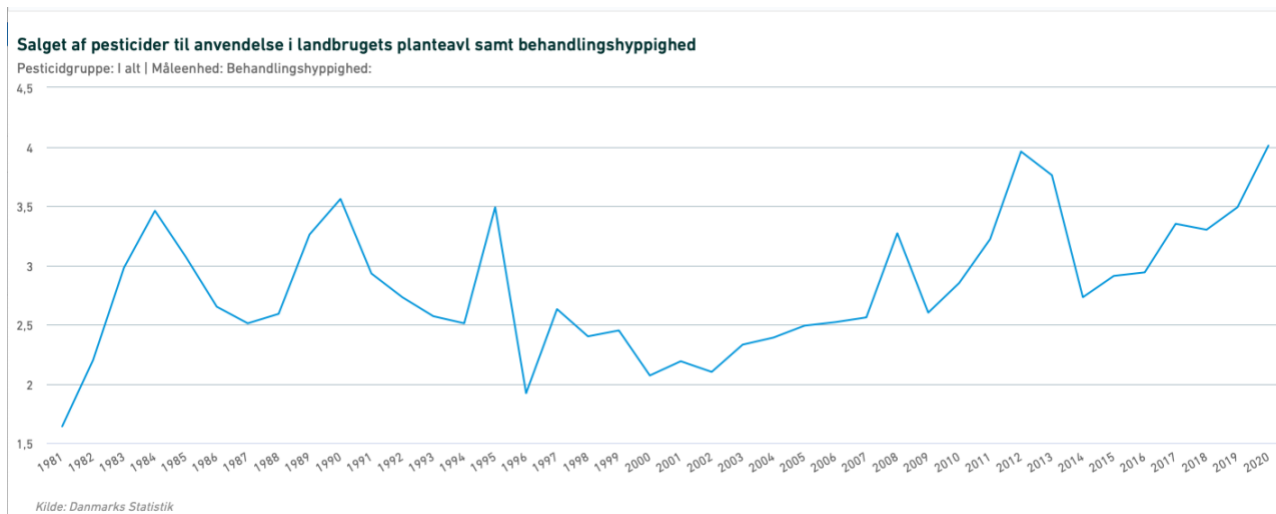
Brugen af pesticider blev implementeret i Danmark i begyndelse af 1900, men særligt efter 2. Verdenskrig, hvor brugen af pesticider først blev benyttet med henblik på skadedyrsbekæmpelse og senere, hvor blev der udviklet andre kemiske forbindelser, som kunne modvirke svampesygdomme mv. (Walter-Jørgensen, 2000, s. 7). Denne udvikling af kemiske bekæmpelse medvirkede til, at den maskinelle samt manuelle bekæmpelse af ukrudt blev udfaset, og dette resulterede i øget forbrug af den kemiske bekæmpelse midler (Walter-Jørgensen, 2000, s. 7).

Hypigheden af pesticidbrugen påbegyndtes i begyndelse af 50'erne, hvoraf der skete en markant stigning af brugen frem til midt 80'erne, dog med et mindre fald i midt 70'erne, hvor det er estimeret til, at der blev benyttet 7,5 mio. kg aktivt stof (Walter-Jørgensen, 2000, s. 7). Derefter blev forbruget halveret, idet der igennem en handlingsplan i 1986, blev der indsat en målsætning om at forbruge mindre, og dette viste sig i 1998 hvor det blev estimeret til at der blev benyttet 3,6 mio. kg aktivt stof (Walter-Jørgensen, 2000, s. 7).

Tabel 1 (Danmarks statistik, Hentet 2023)



Tabel 2, (Danmarks statistik, Hentet 2023), Behandlingshyppighed i de enkelte afgrøder og på bedrifter som helhed



I 1932 udkom første lovgivning, som skulle medvirke til regulering af stoffer, der ansås for at virke i bekæmpelse af diverse plantesygdomme, dyr samt ukrudt, som havde en negativ effekt på produktiviteten af havebrug, skovbrug samt landbrug. Imidlertid blev der på gældende tidspunkt ikke taget afsæt i, om midlet ville have en miljøskadelig eller sundhedsskadelig effekt, men blot dokumentation på, at midlet havde virkning mod uønsket ydre påvirkning af afgrøder mm. (Miljøets fodspor, 2019, s. 15). I 1954 blev der foretaget en regulering af loven, hvori pesticider blev opdelt i 4 fareklassificeringer for mennesker samt dyr. Denne ordning blev vedtaget af giftnævnet, som lå under landbrugsministeriet (Miljøets fodspor, 2019, s. 15). Allerede i 1961 blev loven endnu engang revideret, hvorved at giftnævnet ved en godkendelse af et pesticid skulle fastsætte en række vilkår for, hvordan produktet skulle anvendes. Herunder hvilket formål, steder samt hvor det ikke måtte anvendes. Derudover blev der også fastsat frister for, hvilken tidsperiode før høst produktet måtte anvendes (Miljøets fodspor, 2019, s. 15).

I 1970 blev det taget til politisk diskussion om bekæmpelsesmiddelovgivningen skulle tilføjes en række regler, der overvejede pesticidernes negative effekt på flora samt fauna – og andre uønskede effekter på naturen. Det blev dog fremsat, at der allerede lå en række regler for dette under vandforsyningsloven i forhold til forbud mod grundvandsforureningen; vandløbslovens forbud mod tilføjelse af stoffer, samt jagtlovens forbud i forhold til udlægning af giftstoffer til dyr, og det regelsæt der var til for beskyttelse af bier (Miljøets fodspor, 2019, s. 15).

I 1971 blev der oprettet *Ministeriet for forureningsbekæmpelse*, som udgav rapporten ”Pesticider”, vedrørende skadevirkningerne af pesticider i Danmark gennem 50erne og 60erne (Miljøets fodspor, 2019, s. 4). Ministeriet blev allerede omlagt til miljøministeriet i 1973, hvoraf miljøstyrelsen blev oprettet i 1972 (Miljøministeriet, set 2023).

Først i 1979 blev der vedtaget en ny lovgivning vedrørende kemiske stoffer samt produkter. Denne lov fastsatte, at en ansøgning til godkendelser af disse fremadrettet skulle indeholde informationer om stof, samt produkts anvendelsesformål. Dernæst sammensætningen og de forventelige virkninger disse ville have på sundhed og miljø (Miljøets fodspor, 2019, s. 16). Denne lov omhandlede imidlertid kun pesticider, der ikke var tilladt på pågældende tidspunkt. Derfor opstod der et dilemma, da der var behov for, at de tidligere pesticider skulle gennemgå en revurdering, set i forhold til den nyeste viden om de skadevirkninger, som de kunne omfatte (Miljøets fodspor, 2019, s. 16).

I begyndelsen af 80’erne påbegyndte diskussionerne om forurening af grundvandet, som udsprang fra en erkendelse af, at der viste sig forureningen af grundvandet. Dog var dette mest vægtet på forurening med næringsstoffer fra landbruget, samt andre forureningsstoffer fra industrier og servicevirksomheder. Deraf blev der indført en grundvandsovervågning, som blev iværksat som følge af NPO-forskningsprogrammet, som figurerede fra 1985-1990 (Miljøstyrelsen, 2000, s. 50, afsnit 6.2).

Det landsdækkende grundvandsovervågningsprogram (GRUMO) blev iværksat i 1980’erne, hvor det var besluttet, at det var amtskommunerne, der skulle overvåge forureningen af miljøet (Miljøets fodspor, 2019, s. 13). Da den første rapportering blev udgivet, blev der anslået, at der var fund af 8 forskellige pesticider, hvoraf højeste koncentrationer lå på >20 ug/l og primært var fra dichlorprop samt atrazin (Miljøets fodspor, 2019, s. 13).

I Vandmiljøplanens bilag fra 1987 blev der beskrevet, at grundvandsovervågningen skulle bestå af en lokal overvågning, der blev udarbejdet som drikkevandstilsyn samt overvågning af kemikaliedepoter og landbrugsoplande (LOOP) (Miljøstyrelsen, 2000, s. 51).

I kemikalieloven fra 1987 blev det desuden fastsat, at der skulle forelægge revurderinger hvert 4 år for meget giftige og giftige midler, hvorimod de resterende midler kun skulle revurderes hvert 8 år (Miljøets fodspor, 2019, s. 16).

Fra 1989 blev der indført en boringskontrol af vandindvindingsboringerne, som skulle analyseres jævnligt og derved indgå i grundvandsovervågningen. Kendskab til kvaliteten af grundvandet på daværende tidspunkt var begrænset, dog var der fokus på forurening med organiske opløsningsmidler samt klorerede kulbrinter og få tilfælde af pesticider (Miljøstyrelsen, 2000, s. 51).

Dernæst skete der en reformering, da der i 1992-1995 idet pesticider skulle revurderes efter kemikalieloven. Derfor var der flere, der udgik fra marked, dels grundet manglende ansøgning samt, at de ikke kunne godkendes. Imidlertid var der også vedtaget et direktiv fra EF, som skulle implementeres i den danske lovgivning vedrørende markedsføring af plantebeskyttelsesmidler.

Disse krav medvirkede, at de aktivstofferne skulle klassificeres i forhold til, om de ansås for værende kræftfremkaldende, og om de havde skadelige arveanlæg set i forhold de to farligste kategorier – hvorfor de derfor ikke kunne godkendes (Miljøets fodspor, 2019, s. 16). Dog opstod der nogle udfordringer med nogle af midlerne, som ikke blev godkendt, idet producenten påklagede afgørelsen fra miljøstyrelsen. Hvorpå de forsat kunne benytte midlerne alt imens, at klagen blev håndteret, hvilket på daværende tidspunkt kunne vare flere år (Miljøets fodspor, 2019, s. 16).

I 1994 blev der optaget de første 7 pesticider, der endte på den vedtagne forbudslov. Dernæst blev listen opdateret med 36 midler i 2006, dog blev den formindsket til 27 midler, som følge af EU-godkendelsesordningen i 2009 (Miljøets fodspor, 2019, s. 17).

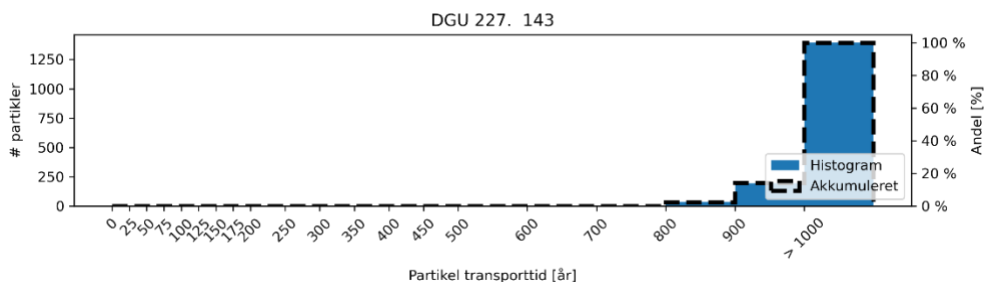
Før reguleringen var det ikke atypisk at dumpe affald i moser, vandhuller eller mergelgrave, hvilket i dag fremleder forurening derfra (Sillesen, §3-losseplads må ikke renses, 2020).

Der er i de efterfølgende år indskrevet en liste over en række pesticider og deres nedbrydningsprodukter i ”*Bekendtgørelse om Vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg*” (Miljøministeriet, 2023). Heraf kræves det, at der bliver taget regelmæssige analyser af disse. Der er endvidere afsat grænseværdier for, hvor store mængder af pesticider grundvand med afgang fra vandværker må indeholde. Dette bliver regelmæssigt opdateret i lovgivningen under bilag 1d, *BEK om Vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg* (Miljøministeriet, 2023). Den seneste opdatering er udgivet den 14/5-2023, med ikrafttrædelse fra 22/5-2023.

1.2 Fund af pesticider i gammelt grundvand.

I en rapport, udarbejdet af miljøstyrelsen vedrørende vandværker og borer i Vordingborg kommune, er der blevet udarbejdet en aldersdatering på grundvandet tilhørende borerne.

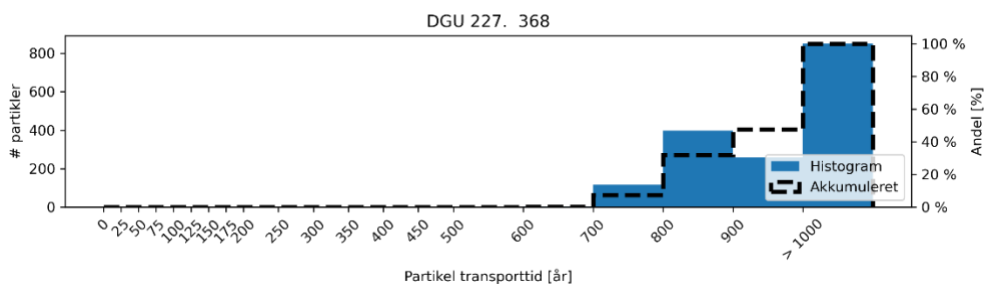
I en undersøgelse for Råbylille vandværk blev det konstateret, at ifølge partikelvandring blev vandet estimeret til at være gammelt grundvand.



Figur 1, Bilag 1 - Sammentolkning kemi Vordingborg kommune.

Som det fremgår af figur 1, som er fra en rapport udarbejdet af miljøstyrelsen, indikere histogrammet at vandets alder, for den pågældende vandværksboring DGU 227.143, at være mellem 800 - 1000 år gammelt. Dog er der fund af pesticid i større mængder, hvilket indikerer at der tilføres yngre vand (Bilag 1, s 12).

Det samme gør sig gældende for DGU 227.368 som ses på figur 2



Figur 2, Bilag 1 Sammentolkning kemi, Vordingborg kommune

På figur 2, ses der ligeledes et histogram, der viser, som følge af den foretaget partikelvandring af vandoplandet til boringen DGU 227.368, at der findes gammelt vand – men der er registreret større mængder af pesticid i boringen, hvilket giver anledning til vurdere, at der bliver tilført yngre vand, som også gør sig gældende for boringen DGU 227.143. Der vil forelægge en kort opsummering i afsnit 5.5.

2 Problemformulering

Hvordan kan en hydrologiske model indgå som værktøj i det kommunale regi, i forhold til at kortlægge en mulig forureningskilde ved Råbylille vandværk?

Dette speciale vil udforme en screening i MIKE SHE, baseret på Råbylille vandværk og de tilhørende boringer, for at klarlægge, en partikelvandring til grundvandet ved, at undersøge en mulig forureningskilde, samt hvilken tidshorisont der kan sættes i forbindelse med, at estimeres en udvaskning fra grundvandet.

2.1 Arbejdsspørgsmål

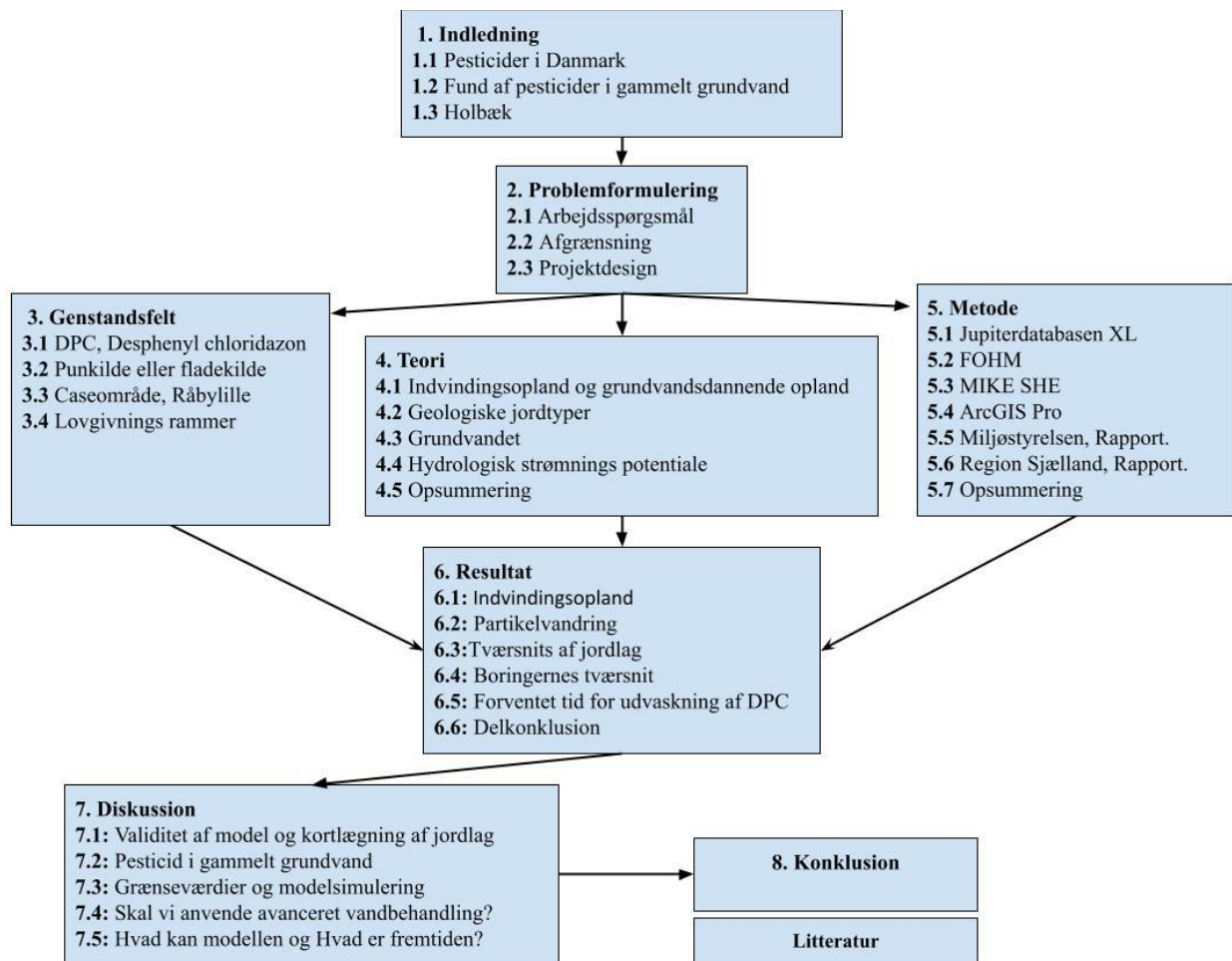
- Hvad er Chloridazon og hvilket tidsestimat er der på nedbrydningen til DPC?
- Hvilken teorier om vandets nedsivning i jordlag, gør sig gældende for MIKE SHE?
- Hvilket resultat giver MIKE SHE i forbindelse med partikelvandring?
- Hvor valid er MIKE SHE modellen/hydrologiske modeller, med afsæt i, at det skal fremgå som en screening?
- Hvilke fremtidige overvejelser står de hydrologiske modeller overfor?

2.2 Afgrænsning

Dette speciale tager afsæt i grundvandet, som bliver indvundet af Råbylille vandværk. Der tages ikke afsæt i forarbejdningen, som foregår på værket, men udelukkende omhandlende råvandet der tages analyser fra. Der vurderes kun jordlagstyper baseret på FOHM modellen.

Der tages afsæt i brugen af MIKE SHE, og derfor modelleres der ikke i andre modeller. Der redegøres for Chloridazon og nedbrydningsprocessen til DPC, men der er ikke fokuseret på den dybereliggende kemiske omsætning og dette medtages ej hellere til modelleringsfasen. Der er pointere et større politiske perspektiv, men der bliver ikke redegjort yderligere for dette.

2.3 Projektdesign



Igennem det overstået projektdesign, illustrere den, hvordan indholdet er blevet struktureret.

Igennem indledningen, bliver der præsenteret et indblik i problemstillingen, omhandlende pesticid i grundvandet. Den vil danne grundlag for udformningen af problemformuleringen. Heraf bliver der præsenteret et genstandsfelt, teori-afsnit, samt metode-afsnit, som vil fremlægge de grundelementerne der bliver inkluderet i resultat-afsnittet, og som har en afgørende indvirkning på, ikke mindst forståelsen, men også brugen af modellen. På baggrund af de førnævnte afsnit, vil der diskuteres en validitet, men der vil også diskuteres en fremtidsanskuelse for, hvad der vil kunne forventes for brugen af de hydrologiske modeller, i det kommunale regi. Endeligt vil der dannes en konklusion, som vil pointere de væsentligste elementer, baseret på de opnåede resultater, og de uafklarede spørgsmål der er opstillet i diskussionen.

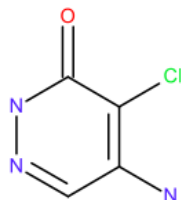
3. Genstandsfelt

Genstandsfeltet vil introducere til arbejdets kerneområde. Der vil blive præsenteret elementer omhandlende det pesticidstof, der tages afsæt fra, samt case området der arbejdes med. Der er inkluderet det pågældende opland, der skal medvirke i undersøgelsen. Slutvis vil der inkluderes en kort introduktion til den lovgivning der arbejdes med indenfor feltet.

3.1 DPC – Desphenyl chloridazon

Metabolitter:

Metabolit B (5-amin-4-chlorpyridazin-3(2H)-on) (desphenyl-chloridazon)
CAS 6339-19-1



Figur 3, (Miljøstyrelsen, 2017) – Kemiske opbygning af DPC.

DPC er et nedbrydningsstof af Chloridazon, som er et herbicid (Roost & Lenschow, Desphenyl-chloridazon (DPC) - Punktkilde eller fladekilde, 2021, s. 59). Chloridazon blev fundet i fem forskellige produkter, der blev benyttet til beskyttelse af spiseløg, blomsterløg, beder samt roer (Roost & Lenschow, Desphenyl-chloridazon (DPC) - Punktkilde eller fladekilde, 2021, s. 5). Chloridazon har været under benyttelse på marked fra ca. 1964 (Lewis, Tzilivakis, Warner, & Green, 2023) til 1996, hvor det blev udfaset (Roost & Lenschow, Desphenyl-chloridazon (DPC) - Punktkilde eller fladekilde, 2021, s. 59).

Der blev fra 2012 indført et besiddelsesforbud for Chloridazon (Roost & Lenschow, Desphenyl-chloridazon (DPC) - Punktkilde eller fladekilde, 2021, s. 59).

På tabel 3 er der angivet en oversigt over produkter, der indeholder Chloridazon. Deraf er der to af produkterne, som aldrig har været godkendt på det danske marked, men har været benyttet til forsøg.

Den seneste udløb af godkendelse, figurerer som værende i 1996, af Pyramin DF, derfor antages det, at Chloridazon ikke har været benyttet siden produktets udløbet af godkendelsen pr 31/12 1996 (SEGES Innovation, set 2023).

Det må dog pointeres, at det i EU har været lovligt at benyttet Chloridazon frem til 2018, hvor det herefter har været under udfasning frem til 2020. Danske gartnerier har importeret løg samt stiklinger i den pågældende periode, hvoraf der kan være sket en forsæt udledningen af stoffet herved (Sillesen, Stammer problempesticid mon slet ikke fra landbruget?, 2021).

Tabel 3 Oversigt over produkter der indeholder Chloridazon (SEGES Innovation, set 2023)

Middel	Aktivt indholdsstof af chloridazon.	Behandlingsindeks	Anvendelse	Godkendelse	Angivet på forbud listen.
Alicep	205 g/kg	-	Spiseløg og blomsterløg	1/1 1980 – 1/11 1990	14/6-2011-31/12-2099
DLG Pyramin FL	430 g/l	6,05 l/ha	Roer	Aldrig været godkendt	Benyttet som forsøg.
Expander	240 g/l	3,86 l/ha	Roer	Aldrig været godkendt	Benyttet som forsøg
Pyramin DF	650 g/kg	4 kg/ha	Roer	1/8 1980-31/12 1996	14/6 2011-31/12 2099
Pyramin FI	350 g/l	7,43 l/ha	Roer	1/1 1980 – 1/11 1990	14/6 2012 – 31/12 2099

Chloridazons nedbrydning sker mikrobiologisk, hvoraf nedbrydningen giver Desphenyl Chloridazon (Roost & Lenschow, Desphenyl- chloridazon (DPC) - Punktkilde eller fladekilde, 2021, s. 59).

Dette sker ved at Benzenringen på ringstrukturen på Chloridazon bliver nedbrudt. Dette forekommer, idet det er vurderet at benzen bliver udnyttet som kulstof i den mikrobielle nedbrydning. Det er desuden vurderet til, at der forekommer en hurtigere omsætning af Chloridazon

ved aerobe forhold efter en lagfase på 20 dage (Roost & Lenschow, Desphenyl- chloridazon (DPC) - Punktkilde eller fladekilde, 2021, s. 60). Den kemiske opbygning af DPC fremgår på figur 3.

Ifølge GUS-index er der en risiko for en mulig udvaskning af chloridazon. Der er ligeledes vurderet en risiko for, at der er en sandsynlig udvaskning af metabolit B (DPC), som følge af GUS-indexet. Der bliver argumenteret for, at DPC er persistente under de aerobe forhold (Roost & Lenschow, Desphenyl- chloridazon (DPC) - Punktkilde eller fladekilde, 2021, s. 61).

Ifølge en rapport fra EFSA fra august 2007, blev der fundet, i en lysimeterundersøgelse af Chloridazon, moderate koncentrationer i siltholdige muldjord i en dybde på 10-20 cm, 0,099 µg/g, samt i sandjord med muld i en dybde på 20-30 cm, 0,065 µg/g (EFSA, 2007, s. 21). Heraf fandt en anden lysimeterundersøgelse potentiale for at metabolit B (DPC) ville kunne udvaskes med koncentrationer >0,1 µg/L med maksimal årlige gennemsnitlige koncentrationer ved perkolat 4,1 / 12,2 µg/L (EFSA, 2007, s. 21).

Miljøstyrelsen har ligeledes udgivet en rapport vedrørende nedbrydning, og fareklassifikation af chloridazon og nedbrydningsstofferne, heriblandt DPC (Miljøstyrelsen, 2017).

De vurderer, at nedbrydningstiden for DPC er estimeret til at være:

”Metabolit B: Ifølge DAR (Bayer, H. 2003 e: BASF DocID 2003/1005450) er stoffet ikke let nedbrydeligt. I fire forskellige jorde var mineraliseringen mellem 1,1 % - 5,4 % over 121 dage og den tilsvarende primære nedbrydning varierede mellem 48 % - 63 %.”
(Miljøstyrelsen, 2017, s. Punkt 3.1)

De vurderer, at DPC ikke er let nedbrydeligt. Det samme gør sig gældende for Chloridanzon.

”...på to forskellige jordtyper varierede den primære aerobe nedbrydning over 30 dage mellem 4 – 14%, mens mineraliseringen var mellem 0,8-1,8 %” (Miljøstyrelsen, 2017, s. Punkt 3.1)

Forståelse af kemisk nedbrydning af chloridazon til desphenyl-chloridazon er vigtig for at bevare miljøet, og sikre grundvandskvaliteten. For at gøre dette skal der implementeres effektive metoder til at overvåge koncentrationen af chloridazon, og dets nedbrydningsprodukter i jord og grundvand.

3.2 Punktkilde eller fladekilde forurening?

Forurening af boringer med pesticid kan opstå ved enten punktkilde eller fladekilde.

En punktkilde skal forstås som et område, hvor der har været opbevaret eller håndteret det forurenende stof (Roost, et al., 2022, s. 7). Dette kan også gælde for et område, som har ageret som vaskeplads for sprøjter eller andet, der har været i kontakt med stoffet. Dette udleder store mængder af det forurenede stof til nedsivning (Roost, et al., 2022, s. 7).

Det er vigtigt at påpege, at før vaskeplads standarden blev indført ved lov, var det ikke atypisk, at det blev udledt til naturen ved enten at hælde stoffet ud over møddingen, eller blot på jord eller til afløb mm (Sillesen, §3-losseplads må ikke renses, 2020).

Fladekilder bliver defineret ved, at de oftest ses med lave koncentrationer over større arealer.

I forbindelse med pesticid forureninger vil fladekilder hyppigst ses ved f.eks. landbrugsarealer, hvor koncentrationen er lav – men over en større overflade – f.eks. landbrugsjorden. Dette ses idet pesticidet bliver spredt i en fortyndet version over de større arealer. Dette bærer præg af, at der ses et bredt felt, hvoraf der kan måles aftagende koncentrationer i dybden (Tuxen, et al., 2014, s. 6).

Derimod giver punktkilde forurening høje koncentrationer over små arealer, hvoraf disse hovedsagelig opstår ved spild af pesticid eller tidligere vaskepladser, hvor der herved også kan være sket en bortskaffelse af produktet. En spredning fra en punktkilde kan udvides til større arealer ved hjælp af brønde eller drænsystemer. Oftest vil en punktkilde være karakteriseret som værende smal, og indeholde en høj koncentration ved prøvetagning (Tuxen, et al., 2014, s. 6).

I forbindelse med at skulle karakterisere hvilke typer kilder der udledes på baggrund af koncentrationerne, kan dette være udfordrende, da der kan være en kombination af forureningen, som vil besværliggøre vurderingen (Tuxen, et al., 2014, s. 6).

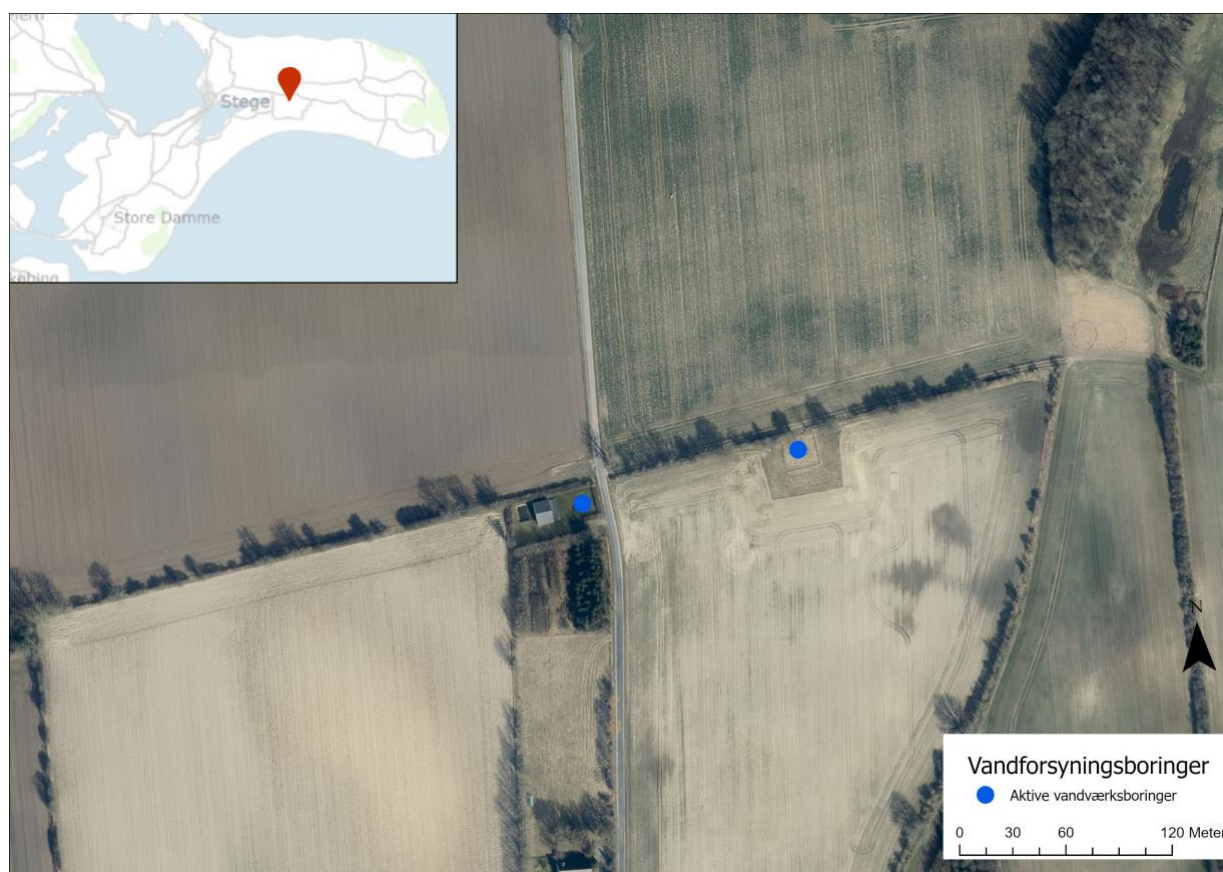
3.3 Caseområde Råbylille vandværk

Råbylille vandværk er placeret på midt møn og har en historik med forhøjet niveau af DPC.

Der blev i 2022 indsendt en ansøgning fra Råbylille vandværk, hvorpå de ansøgte om tilladelse om at etablere avanceret vandbehandling på vandværket (Bestyrelsen i Råbylille vandværk, 1, 2022).

Dette fik de ikke tilladelse til fra kommunens side og afsøgte derfor muligheden om, at etablere en ny boring (Bestyrelsen i Råbylille vandværk, 1, 2022, s. 2).

Efterfølgende blev der foretaget en opfølgning på det pågældende vandværk som Råbylille henviste til i sin ansøgning (se bilag 6). Der blev heraf vurderet, at det etablerede anlæg havde en tilstrækkelig påvirkning på DPC. Dog fremgik på enkelte analyser, at DPC lå over grænseværdien (se bilag 6).



Figur 4, Råbylille vandværks boringer.

Råbylille vandværk har på nuværende tidspunkt 3 boringer tilknyttet som vandforsyningsboringer (se tabel 4). To af dem indgår til vandforsyningen. Den tredje skal på sigt også have dette formål, men gennemgår på nuværende tidspunkt en prøve pumpning, samt analyser, for at se om der er

samme problematik med indhold af pesticid over grænseværdien. Hvoraf der på nuværende tidspunkt ikke er fundet spor af pesticid (Bestyrelsen i Råbylille vandværk, 2, 2023, s. 2).

Råbylille vandværk modtager vand fra hjertebjerg vandværk for at fortynde vandet således, at pesticidindholdet faldet til under grænseværdien (Bestyrelsen i Råbylille vandværk, 1, 2022).

Tabel 4, Oplysninger om boringer hentet fra GEUS - Jupiterdatabasen, interaktivt kort.

DGU nr:	Etablerings år	Dybde	Anvendelse
227.143	21/2-1978	50 m	Vandværksboring (VV)
227.368	28/9-2018	45,5 m	Vandværksboring (VV)
233.634	19/9-2022	48 m	Vandboring (V)

Der er fra Råbylille vandværk kun fundet DPC værdier imellem 0,052 og 0,43 ug/l, hvoraf der findes højeste værdier for boringen DGU 227.368 (JUPITER, 1, Set 2023), (JUPITER, 2, 2023; JUPITER, 3, 2023).

3.4 Lovgivningens rammer

I kommunerne arbejdes der med en række lovgivninger indenfor beskyttelse af grundvand og drikkevand. Heriblandt er særligt ”lov om vandforsyning og tilsyn”, ”Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg” som danner ramme for hvordan kommunerne skal føre tilsyn med vandværker og boringer der forsyner borgere – herved til kommercielle formål. Der findes en række grænseværdier for en længere liste over stoffer mm. som drikkevand må indeholde førend at der skal indsættes en række tiltag for at levere vandet.

4. Teori

Dette teori-afsnit vil gennemgå teori som danner grundlag for hvorledes resultatet af undersøgelsen samt den producerede viden er sat sammen af flere kontekster. Der vil først blive gennemgået den basale teori, og herefter hvorledes den er benyttet i specialet. Indhold i teori-afsnittet danner grundlag for hvorledes Mike SHE modellen indeholde disse elementer.

4.1 Indvindingsopland og grundvandsdannede opland

For at kunne sikre grundvandet for nedsivning af stoffer, der potentielt kunne forurene det grundvand der skal oppumpes, er det vigtig at kortlægge det grundvandsdannede opland (GDO), samt indvindings opland (IOL) (Karlsen, et al., 2014, s. 277).

GDO er betegnelsen for det landområde, hvor det oppumpede vand tidligere faldt som nedbør på. IOL er et område, hvor den pågældende nedbør efter nedsivningen strømmer hen til boringen, for derefter at blive indvundet til vandværket (Karlsen, et al., 2014, s. 278).

For at kunne beregne oplandsarealet til grundvandsoplandet beskrives det som, at GDO er proportionalt med oppumpningen og eller proportionalt med infiltrationen. Beregningen kan forsimples, hvis det antages, at infiltrationen er ensartet over hele arealet, hvoraf ligningen kan udformes baseret på at (Karlsen, et al., 2014, s. 279);

$$\text{Oplandsareal (m}^2\text{)} = \frac{\text{Årlig oppumpning (m}^3\text{)}}{\text{Årlig infiltration (m)}}$$

I det udregnede ville der skulle tages i betragtning, at der skal overvejes både mængde af nedbør, fordampning samt afvandingsforhold, der vil finde sted (Karlsen, et al., 2014, s. 279). Hvilket inkluderer vandbalanceligningen, som der kort vil blive redegjort i næste afsnit.

4.1.1 Vandbalance ligning

Vandbalanceligningen er bestemt ved ligningen ” $N=E+A_0+A_u+Q+\Delta R$ ”, hvor den benyttes til at beskrive vandtilførslen i forhold til det, der bliver tilført eller de ændringer, der sker i vandmagasineringen (Holden, 2018, s. 466).

Vandbalancetegn	Beskrivelse af tegn i vandbalanceligningen.
N	Nedbør (Regn, sne, mm.). Værdien angives i mm(vandhøjde)/år pr. arealenhed. For omregning til vandvolumen, gælder det således at der ganges med vandhøjden i m med arealet i m^2 hvorefter resultatet vil give værdien i l/m^2 . (Karlsen, et al., 2014, s. 38)
E	Evapotranspiration. Fordampningen der sker over et år. Værdier er angivet i mm/år pr. arealenhed. Omregning til vandvolumen er samme fremgangsmetode som for nedbør (Karlsen, et al., 2014, s. 39).
A_0	Vandmængde afstrømning fra området i enten vandløb eller dræn. Værdien angives i l/s pr km^2 , men kan omregnes til $m^3/år$ pr km^2 (Karlsen, et al., 2014, s. 40).
A_u	Grundvands afstrømning. Vurderes at være en ukendt størrelse da den angiver grundvand der netto strømmer ud af området igennem permeable jordlag. Værdien angives i m^3 pr. år. (Karlsen, et al., 2014, s. 41)
Q	Mængde grundvand der oppumpes fra indvindingerne. Værdier angivet i m^3 pr. år. (Karlsen, et al., 2014, s. 41)
ΔR	Ændringer der antages at ske i området indhold af jordens vandindhold indenfor et antaget tidsrum. (Værdien sættes oftest til 0 hvis der beregnes et gennemsnit over x antal år.) (Karlsen, et al., 2014, s. 42)

4.2 Geologiske jordtyper

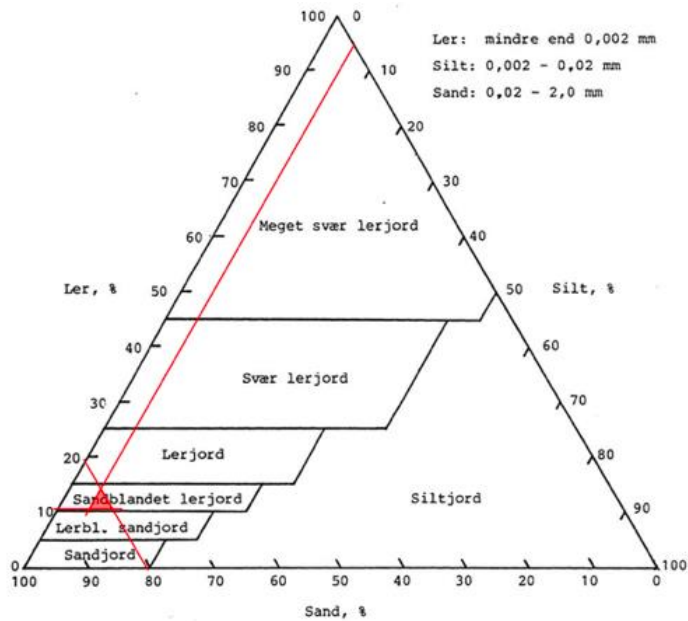
Vandets nedsvivning samt strømning udformes igennem de forskellige geologiske lagserier hvoraf det er grundlæggende at forstå, hvornår og hvordan de forskellige aflejringer er fundet sted. Der vil blive redegjort for udvalgte jordtyper, som er vigtig i forståelse af MIKE SHE modellen der bliver præsenteret i afsnit 5.3 og i afsnit 6.

4.2.1 Jordlagenes dannelse

De geologiske jordlag er et resultatet af adskillige istider samt perioder med smeltende is. Under disse istider blev forskellige jordarter deponeret og skabte mangfoldigheden af jordarter, som findes i landet i dag (Holden, 2018, s. 108).

Under de mange smeltevandsperioder mellem istiderne blev der dannet store mængder af sand, grus og sten, som blev transporteret og aflejret af smeltevandet (Houmark-Nielsen & Larsen, Istiden og dens landskab, 2020, s. 7-9). Disse processer skabte både sandede jordarter og smeltevandsbund, som ofte findes sammen med morænejord (Houmark-Nielsen & Larsen, Istiden og dens landskab, 2020, s. 7-9).

I områder, hvor der har været begrænset vandgennemstrømning, har leret haft mulighed for at blive aflejret og danne store flader af lerjord. Dette er et resultat af smeltevandet fra gletsjeren, hvoraf det fine og lette materiale bliver aflejret længere væk, og ler som er tungere bliver aflejret tættere på gletsjeren (Houmark-Nielsen & Larsen, Istiden og dens landskab, 2020, s. 7).



Figur 5, (Støvring, set 2023) Teksturklasser

Møn er særligt præget af istiderne, da området har en karakteristisk af særlige skrivekridtaflejringer, som herved også danner Møns klint (Møns turistbureau, set 2023).

De jordtyper, som tages afsæt i, er sand, lerjord samt skrivekridt, som MIKE-SHE-modellen inkluderer (se afsnit 5.3.1).

Jordtyperne er opdelt i 8 kategorier som spænder over sand, ler, silt, humus til evt. anden speciel jordtype (figur 6) (Støvring, set 2023). Figur 5 visualisere, hvordan jordtyperne defineres baseret på, hvor stort et indhold af ler, sand samt silt det indeholder. Området hvor linjerne krydser og danner en trekant, er jordtypen der gør sig gældende (Holden, 2018, s. 442).

Jordtype	Teksturdefinition for jordtype	Symbol	JB-nr.	Vægtprocent				
				Ler under 2 µm	Silt 2-20 µm	Finsand 20-200 µm	Sand, ialt 20-2000 µm	Humus 58.7% C
1	Grovsandet jord	GR.S.	1	0-5	0-20	0-50	75-100	Under 10
2	Finsandet jord	F.S.	2			50-100		
3	Grov lerblandet sandjord	GR.L.S.	3	5-10	0-25	0-40	65-95	
	Fin lerblandet sandjord	F.L.S.	4			40-95		
4	Grov sandblandet lerjord	GR.S.L.	5	10-15	0-30	0-40	55-90	
	Fin sandblandet lerjord	F.S.L.	6			40-90		
5	Lerjord	L.	7	15-25	0-35		40-85	
6	Svær lerjord	SV.L.	8	25-45	0-45		10-75	
	Meget svær lerjord	M.SV.L.	9	45-100	0-50		0-55	
	Siltjord	Sl.	10	0-50	20-100		0-80	
7	Humus	HU.	11					Over 10
8	Speciel jordtype	SPEC.	12					

Figur 6, (Støvring, set 2023) Jordklasser.

4.2.2 Jordtyper

Jord er et komplekst og dynamisk system,

der spiller en vigtig faktor i mange processer på jorden (Holden, 2018, s. 429).

Jord er en sammensætning af en blanding af mineralske partikler, organisk materiale, luft og vand (Holden, 2018, s. 430). Disse elementer kan variere i sammensætning og forhold fra sted til sted, og kan danne forskellige jordtyper og jordlag (Holden, 2018, s. 430).

Sandjord består af store og grove partikler, mens lerjord består af meget fine partikler. Leret sandjord, og siltet sandjord er en blanding af de tre hovedtyper (Holden, 2018, s. 440).

Jordlagene kan variere i tykkelse og sammensætning og kan give oplysninger om de geologiske processer og klimatiske forhold i området. Som regel består det øverste jordlag af organisk materiale, mens de underliggende jordlag kan indeholde mere mineralsk materiale (Holden, 2018, s. 430-431).

Der er normalt tre hovedlag af jord: topsoil, subsoil og undergrund. Topsoil er det øverste jordlag, hvor de fleste planter og træer har deres rødder. Det indeholder også det meste af det organisk materiale i jorden (Holden, 2018, s. 433). Subsoil ligger lige under topsoil og indeholder typisk mindre organisk materiale og mere mineralsk materiale. Undergrunden er normalt meget dybere og består af solidt fjeld- eller stenmateriale (Holden, 2018, s. 433).

4.2.3 Lerjord og sandjord aflejringer

Lerjord dannes primært af nedbrydningen af mineralsk materiale. Dette betyder, at mineralerne nedbrydes af vand, luft og organismer i jorden. De mindre partikler fra mineralerne bevæger sig gennem jorden og samles sammen til at danne lerpartikler (Holden, 2018, s. 430).

Jordens porøsitet spiller også en vigtig rolle i dannelsen af lerjord. Jo mere porøs jorden er, desto mere vand og luft kan bevæge sig gennem jorden (Holden, 2018, s. 444).

Der er også to typer af lerjord, kaolinitler og montmorillonitler. Kaolinitler er i deres partikler arrangeret i en flad struktur, og er mindre tætte end montmorillonitler. Montmorillonitler er mere tætte og kompakte, og de tillader ikke luft og vand at bevæge sig så frit (Nazdracheva, Morozov, Yavna, & Kochur, 2021, s. 7).

Afslutningsvis er lerjord en jordtype, der har en god funktion til at indeholde vandpartikler.

Hvorimod sandjord indeholder en stor andel af sandpartikler, ofte imellem 75-100% (Støvring, set 2023) (se figur 6), og mindre mængder af ler og organisk materiale. Højere sandindhold medvirker

til større dræningsevne i jorden (Holden, 2018, s. 442). På figur 7 fremgår det ligeledes, at sand har en stor dræningseffekt, hvorimod ler har det modsat.

Property/behaviour	Sand	Silt	Clay
Water holding capacity	Low	Medium	High
Aeration	Good	Medium	Poor
Drainage rate	High	Slow to medium	Slow
Organic matter decomposition	Rapid	Medium	Slow
Compaction	Resists	Easily compacted	Easily compacted
Susceptibility to water erosion	Low	High	Low
Ability to hold nutrients	Poor	Medium to high	High
Leaching of pollutants	Allows	Moderately retards	Retards

Figur 7, (Holden, 2018, s. 442) Specifikationer til sand, silt og ler jorde.

4.2.5 Skrivekridt aflejringer

Skrivekridt er en type sediment, der primært består af let hærdnet kalkslams og fine kalkpartikler som også kaldes for kokkolitter, som er mikroskopiske kalkplader fra encellede alger (Naturstyrelsen, set 2023, s. 16). I Danmark findes der adskillige aflejringer af skrivekridt, som daterer sig tilbage til den sene kridttid for omkring 65-100 millioner år siden (Thomsen, set 2023, s. 36). Disse aflejringer er tegn på den geologiske historie og de ændringer, der har fundet sted i Danmarks landskab og klima igennem tiden (Frykman, 2006).

Skrivekridtaflejringerne i Danmark kan primært findes i den centrale og østlige del af landet, herunder på øerne Fyn, Lolland, Falster og Møn samt på det østlige Sjælland (Naturstyrelsen, set 2023, s. 15). Aflejringerne varierer i tykkelse fra et par meter til over 2000 meter og dækker over et stort område, der strækker sig ud over Danmarks grænser (Frykman, 2006).

Skrivekridtaflejringerne blev dannet under den sene kridttid. Havet indeholdt et stort antal organismer, men over tid døde disse organismer og sank til havbunden. Her blev de omdannet til skrivekridt gennem en proces, der involverede ophobning, kompostering og cementering af de organiske materialer (Frykman, 2006).

De danske skrivekridtaflejringer har haft en betydelig indflydelse på landskabet og dets udvikling. Skrivekridtets bløde og porøse natur betyder, at det let kan eroderes og heraf opløses i vand (Frykman, 2006). På Møn gør det sig gældende, at mange af deres vandværksboringer indvinder vand fra kalken (Frykman, 2006).

4.3 Grundvandet

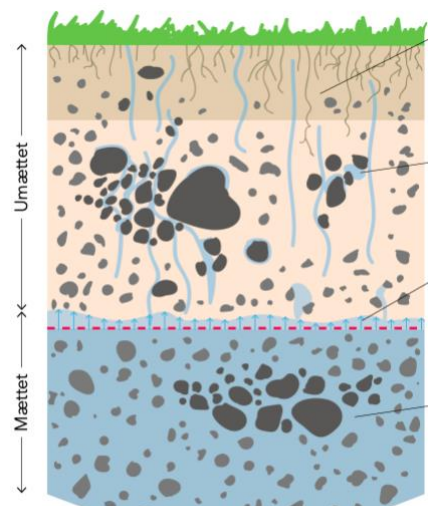
Vand der er i den mættede zone og er i bevægelse, og bliver udskiftet over en årrække defineres som grundvand. Under grundvandet findes der stagnationsvand, som ikke udskiftes og slutvis residualvand som, er rester af vand der opstod fra aflejringer af jordlagene (Karlsen, et al., 2014, s. 35).

4.3.1 Umættet og mættet zone

Når vandet nedsiver igennem jorden, vil en del af vandet blive optaget i rodzonen, hvoraf det optages af beplantningens rødder og herefter fordampes igennem bladene. En anden del af vandet vil blive bundet til det organiske materiale og blive i det øverste jordlag. Vandet der nedsiver herfra vil nedsive imellem jordpartikler og mineral korn, hvor det vil nedsive til en øvre mættet zone, som klassificeres som kapillarzonen (Auken, et al., 2019). I kapillarzonen vil noget af vandet der nedsiver, blive påvirket af de kapillærkræfter, der træder i kraft hvis mellemrummene i porrerummene bliver smalle, hvor vandet vil opstige. I lerjorde er kapillarzonen langt tykkere end i sandjorde, hvilket skyldes porøsiteten (Auken, et al., 2019). Den mættede zone er kategoriseret efter, hvornår det kan estimeres, at porerummene i jordpartiklerne er mættet med vand. Den umættede zone er således kategoriseret ved, at der stadig er luft porrerummene i jordpartiklerne (Auken, et al., 2019). Den mættede zone beskrives som begyndelse af grundvandsmagasinet, idet vandmassen skaber et magasin, samt har tendens til at kunne strømme i flere retninger. Når der igen nedsiver mere vand, vil dette skabe et tryk, og presse vandet i den mættede zone videre (Auken, et al., 2019).

4.3.2 Grundvandsmagasiner

I den mættede zone, som også beskrives som grundvandsmagasinet, findes grundvandsspejlet, som i høj grad formes af terrænet. Afhængigt af hvor dybt magasinet er beliggende, vil det blive kategoriseret som enten terrænnært grundvandsmagasin eller dybt grundvandsmagasin, som er disse der indvindes fra (Auken, et al., 2019, s. 4). På figur 8, bliver der visualiseret grundvandets zoner. Den øvre del i den umættede zone er rodzonen, som beskrevet i afsnit 4.3.1. I den umættede zone, overgår rodzonen til kapillarzonen ligeledes beskrevet i afsnit 4.3.1. Ved den røde linje, (figur 8) i den mættede zone, begynder vandspejlet og herunder bliver området defineret som grundvand (Auken, et al., 2019, s. 5).



Figur 8, Grundvandets zoner, (Auken, et al., 2019, s. 5)

4.4 Hydrologisk strømnings potentiale

Den hydrauliske ledningsevne afhænger af hvilken type jordlag, der er gældende for området, der arbejdes med. Heraf er der en forbindelse med ledningsevne og transmissiviteten, som udtrykkes som vandføringsevnen.

Heraf indgår både porøsiteten af jorden, der fastsætter procent hulrum af det totale volumen i jorden (Karlsen, et al., 2014, s. 49). Samtidig gør permeabiliteten sig også gældende, da den fastsætter porevolumen i jordarten – den fastsætter det indre overfladeareal (Karlsen, et al., 2014, s. 50).

4.4.1 Porøsitet

Porøsitet refererer til procentdelen af hulrum, porer eller tomme rum i et materiale. Forholdet mellem disse hulrum og det samlede volumen af materialet indikerer materialets porøsitet. Derfor er den vandmængde, som grundvandsmagasinet kan have i kornmellemmrummene samt sprækker, vil give udtryk for magasinet porøsitet. Heraf bliver det angivet i procent af hulrummet af den totale volumen (Karlsen, et al., 2014, s. 49).

Derudover er der forskellige faktorer, bidrager til porøsiteten af et materiale, heriblandt materialesammensætningen.

Porøsiteten af et fast materiale afhænger af dets sammensætning, såsom typen og arrangementet af dets partikler eller korn (Karlsen, et al., 2014, s. 49)

Det er estimeret at sand oftest har en porøsitet på mellem 25%-40 % (Karlsen, et al., 2014, s. 49), hvorimod ler og silt oftest har en porøsitet på mellem 35%-65% (Karlsen, et al., 2014, s. 50).

Det bør noteres at ler og silt kan indeholde større vandmængder end sand og grus. Ler og silt har en reduceret mulighed for vandet, at strømme idet porerummene ofte er isoleret fra hinanden, samtidig med at de er små (Karlsen, et al., 2014, s. 49).

Effektiv porøsitet beskrives som værende porevolumens sammenhængenhed i magasinet (Karlsen, et al., 2014, s. 49). (Karlsen, et al., 2014)

4.4.2 Permeabilitet

Grundvandsdannelse sker, når nedbør siver ned i jorden og infiltrerer vandlagene i jorden.

Permeabilitet har en stor indvirkning i denne proces, da den bestemmer, hvor let vandet kan nedtrænge i jorden og nå grundvandsmagasinet (Karlsen, et al., 2014, s. 50). Jo højere permeabilitet, desto hurtigere vil vandet kunne infiltrere ned i jorden og danne grundvand.

Derudover kan forskellige jordtyper og materialer have meget forskellig permeabilitet, hvilket også påvirker dannelsen af grundvand (Karlsen, et al., 2014, s. 50).

Permeabiliteten skal betragtes, som det indre overfladeareal af de forbundne porerum (Karlsen, et al., 2014, s. 50).

Forskellige jordtyper og materialer kan have stor indflydelse på jordens permeabilitet, hvilket igen påvirker dannelsen af grundvand. For eksempel har jorde med et højt lerindhold en tendens til at have en lav permeabilitet, mens jorde med et højt sandindhold har en tendens til at have en højere permeabilitet (Karlsen, et al., 2014, s. 50).

På samme måde kan bjergarter med forskellige sammensætninger og strukturer også i høj grad påvirke vands evne til at infiltrere og danne grundvand (Karlsen, et al., 2014, s. 50). At forstå disse egenskaber er afgørende for forvaltning af grundvandsressourcer og beskyttelse af vores vandforsyning.

Geologiske faktorer, som sten og jordformationer, kan have en betydelig indvirkning på grundvandsressourcernes bæredygtighed.

For eksempel gør jord med lav permeabilitet det sværere for vand at infiltrere og genoplade grundvandsmagasiner, mens jord med høj permeabilitet tillader vand hurtigt at infiltrere og genoplade grundvandsmagasiner (Madsen, set 2023, s. 173).

Derudover kan sammensætningen og strukturen af bjergarter også påvirke bevægelsen og lagringen af grundvand (GEUS, 7, set 2023). Forståelse af disse faktorer er afgørende for bæredygtig grundvandsforvaltning.

4.4.3 Hydrauliske ledningsevne

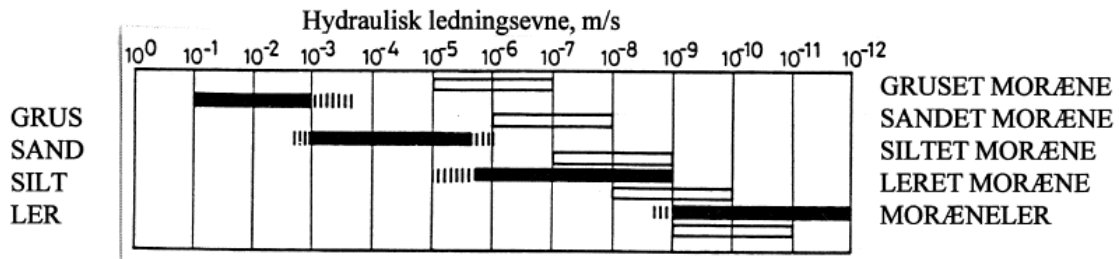


Fig. 2.1. Den hydrauliske ledningsevnes størrelse og variation for forskellige sorterede aflejringer og moræneaflejringer (Efter Carlsson og Gustafson 1984).

Figur 9, Hydraulisk ledningsevne inddeling, (Madsen, set 2023, s. 173)

Hydraulisk ledningsevne er en vigtig egenskab af jorden, der styrer vandets evne til at bevæge sig gennem jorden. Ledningsevnen afhænger af jordens porestruktur, porøsitet, og vandets viskositet. Jo større porøsiteten er, desto større bliver styringen af vandets bevægelsestid gennem jorden (Karlsen, et al., 2014, s. 51).

Den hydrauliske ledningsevne bliver defineres for hver jordart eller for et grundvandsmagasin (se figur 7). Den omhandler hastigheden af en given væske eller gas gennem jordarten. Den hydrauliske ledningsevne forholder sig ikke kun til permeabiliteten af jordarten, men herved også egenskaben for den pågældende væske der strømmer gennem jorden. Hydraulisk ledningsevne afhænger af mange faktorer som jordens mineral- og organisk indhold, jordens tæthed, porøsitet af partiklerne, og vandets viskositet (Karlsen, et al., 2014, s. 51). Alt efter hvilken type jordmateriale, kan den hydrauliske ledningsevne variere fra meget lav til meget høj. For eksempel vil lerjord have en lav hydraulisk ledningsevne, mens sandjord har højere hydraulisk ledningsevne (Karlsen, et al., 2014, s. 51).

Ligningen som benyttes til beregningen af den hydrauliske ledningsevne, beror på:

$$K = k \cdot p \cdot g / u$$

Hvor "K" er defineret af permeabiliteten, "p" er densiteten på væsken, "g" defineres af tyngdeaccelerationen og "u" er viskositeten af væsken der ligeledes er temperatur afhængig (Karlsen, et al., 2014, s. 226).

K har dimensionen L^2 og bliver herved angivet i cm^2 (Madsen, set 2023, s. 173).

Som det fremgår på figur 7 visualisere den hydrauliske ledningsevne, i forskellige jordlagstyper. Hydraulisk ledningsevne spiller en kritisk rolle for at forstå vandbevægelsen i jorden, som igen influerer andre jordbaserede processer som infiltration, grundvandsdannelse, og jorderosion.

4.4.4 Transmissivitet

Transmissivitet refererer til processen, hvor overfladevand infiltrerer igennem jordoverfladen og bliver til grundvand. Transmissivitet, eller hydrologisk konduktivitet, omhandler i forbindelse med grundvandsmagasiner, vandets bevægelse og udveksling mellem det usammenhængende porevand og grundvandet (Karlsen, et al., 2014, s. 226).

Det er defineret, som produktet af den hydrauliske konduktivitet (K) og lagtykkelsen (b) i den pågældende geologiske enhed. Matematisk udtrykkes transmissivitet under homogene forhold som:

$$T = K*b$$

eller

$$S = S_s*b$$

Hvor T er transmissiviteten, K er den hydrauliske konduktivitet og b er lagtykkelsen

Eller den anden ligning hvor S er det specifikke magasin, b er lagtykkelsen (Madsen, set 2023, s. 177).

Transmissivitet er en vigtig faktor i grundvandsdannelse, da den bestemmer, hvor let vand kan bevæge sig gennem jord- eller bjergarterne. Høj transmissivitet betyder, at vand let kan passere gennem jorden og dermed danne grundvand. Materialer med lav transmissivitet, som ler og skifer, kan begrænse grundvandsdannelsen, mens materialer med høj transmissivitet, som sand og grus, fremmer den (Karlsen, et al., 2014, s. 227).

Generelt vil større transmissivitet medføre større mængder af grundvand, der kan opbevares og transporteres i det vandførende lag (Karlsen, et al., 2014, s. 227).

Høj transmissivitet i et vandførende lag/grundvandsmagasin indikerer en god kapacitet for vandoverførsel, da vandet lettere kan infiltrere igennem jorden og ind i magasinet.

Omvendt kan lav transmissivitet begrænse grundvandsdannelsen og grundvandsmagasinet evne til at genopfylde fra overfladevand (Karlsen, et al., 2014, s. 227).

4.4.5 Tryk i grundvandsmagasinet

I nogle tilfælde er vandet i et grundvandsmagasin under tryk, hvilket også kaldes et artesisk magasin (Auken, et al., 2019, s. 11). Der er dog også potentielle ulemper ved et grundvandsmagasin under tryk. Hvis der udvindes for meget vand fra grundvandsmagasinet, kan trykket falde, hvilket kan føre til en række komplikationer, såsom mindre vand i vandløb og søer (Miljøministeriet, 2021, s. 12). Derudover er der fund af en sammenhæng mellem overpumpning og trykfald, som vil medføre at forurenede stoffer hurtigere vil infiltrere i magasinet (Smith, Knight, & Fendorf, 2018).

4.4.6 Darcys lov

Darcy's lov er ofte anvendt i geologiske undersøgelser, for at analysere hydraulisk ledningsevne af vand i porøse jordarter, og medvirker til at forudsige strømningshastigheder af de underjordiske vandledninger (Karlsen, et al., 2014, s. 224). Ifølge Darcy's lov er den specifikke afledning af en væske strømning proportional med den negative gradient af en hydraulisk potentiel. Hydraulisk potentiale er en kombination af en trykgradient og en potentiel energiforskel. Dette betyder, at når en væske bevæger sig gennem et porøst jordlag, vil den strømme i retning af det lavere hydrauliske potentiale (Karlsen, et al., 2014, s. 224-225). Darcys lov beskriver sammenhængen mellem vandmængde heraf "Q" hvoraf denne kan blive transporteret til "A" som er et givet tværsnit – i forbindelse med jordtypen ved et trykfald, heraf "h" på en strækning som defineres som "l" (Madsen, set 2023, s. 172). Derfor bliver ligningen:

$$V=Q/A=-K \times h/l$$

"K" er defineret som en proportionalitetsfaktor, og definerer den hydrauliske ledningsevne og har en dimension, som er "(L/T)" i form af tid og hastighed, som bliver angivet i m/sek (Madsen, set 2023, s. 172). V defineres af volumenstrømme, hvoraf denne udtrykkes som en hastighed, deraf bliver det en differential form:

$$V=-K \times dh/dl$$

"Dh/dl" defineres den hydrauliske gradient. Denne form omskrives herefter til:

$$Q= -K I_o A$$

"I_o" definerer den hydrauliske gradient (Madsen, set 2023, s. 172).

Hvor Q angiver den totale væskestrøm igennem mediet over tid, K er en konstant, der afhænger af mediets porøsitet og permeabilitet, A er tværsnitsarealet af mediet, og (dh/dl) angiver gradienten af hydraulisk potentiale (Madsen, set 2023, s. 172).

4.5 Opsummering

Særligt de matematiske ligninger danner grundlag for det kommende metodeafsnit. De forskellige afsnit i dette teoriafsnit skal medvirke til at have en forståelse for hvilke processer modellen, der benyttes for at udforme en partikelvandring, indebærer. Ikke alle elementer er nævnt i dette afsnit, men de mest væsentlige forhold, som gør sig gældende er nævnt. Teoriafsnittet kan opsummeres til at vandet strømning igennem jordlagene bliver påvirket af forskellige jordlag og de forskellige porøsiteter, permeabilitet mv. For at udarbejde en idé om den hydrauliske ledningsevne, er det nødvendigt at kende nogle af de andre parametre. Herved benyttes særligt Darcy's lov, til at afsøge jordens ledningsevne og strømningshastigheder, af de underjordiske vandledninger.

5. Metode

Der vil i dette metodeafsnit blive afklaret, hvilke metoder der er blevet benyttet i specialet, samt i hvilken kontekst de indgår. Afsnittene gennemgår først den tekniske del for metoden. Derefter vil det blive formuleret, hvorledes de er kombineret med specialets kontekst i forbindelse med den hydrauliske ledningsevne, pesticid samt grundvand.

5.1 Jupiterdatabase XL

Jupiter databasen er udviklet af GEUS og danner grundlaget for en samlet database indenfor grundvand, drikkevand, råstof, miljø samt geotekniske data. Databasen er offentlig tilgængelig hvoraf den indeholder op mod 418.000 boringer med tilhørende data om analyser, boretekniske oplysninger, geologiske beskrivelse, pejlinger mv. (GEUS, set, 2023). Fra databasen er der blevet benyttet disse tabeller som fremgår i "Dokumentation af tabeller og kodelister" (GEUS, set, 2023), så dette kan oversættes for den individuelle.

De benyttede kan ses i tabel 5. Disse er blevet joinet i ArcGIS Pro. Procesdiagram over join af tabeller, som der er beliggende i JupiterDatabasen XL. Der tages afsæt i tabel 5, som illustrerer, hvilke tabeller der er inkluderet samt hvilke elementer fra tabellerne der er behov for.

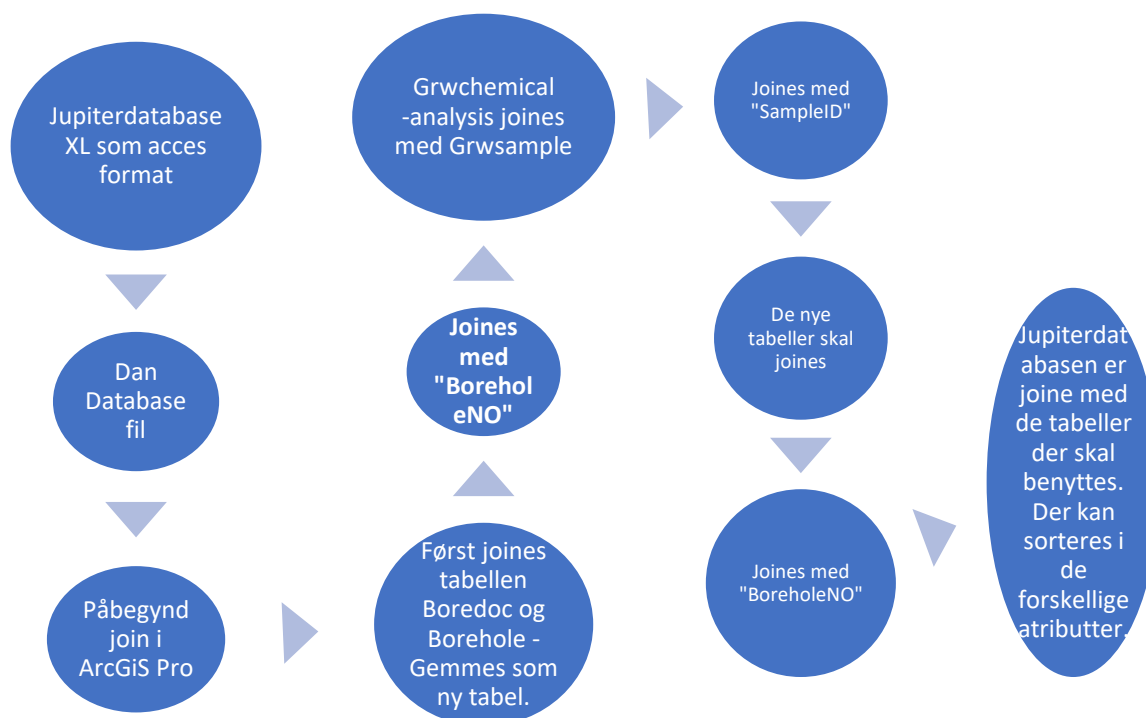
Tabel 5, Benyttet tabeller fra Jupiter databasen XL

Table navn	Benyttet felter	Beskrivelse	Kodeliste
BOREDOC	¹ BoreholeID	Unikt ID-nummer for boringen.	
BOREHOLE	BoreholeID	Unikt ID-nummer for boringen.	
	² XUTM /YUTM / ZDVR90	X, Y og Z koordinater for boringens placering.	
	Use	Brugen af boringen.	
	Driller depth	Dybden af boringen.	
GRWCHEMANALYSIS	Borehole ID	Unikt ID-nummer for boringen.	
	Reportet CompoundNO	Rapporteret måleenhed for analyseresultatet.	Desphenyl chloridazon: 1448, 1513
	Reported unit	Måleenhed	Ug/l: 20
	Reported amount	Rapporteret mængde der er fundet i analysen.	>0,01
	³ SampleID	Unikt prøve-ID, som genereres af databasen. Reference til prøvetabellen	
GRWSAMPLE	SampleID	Unikt prøve-ID, som genereres af databasen. Reference til prøvetabellen	

¹ Bliver benyttet til Join af tabellerne gældende for BOREHOLEDOC, BOREHOLE og slutvis når de joinede tabeller GRWCHEMANALYSIS og GRWSAMPLE skal joines med den nye tabel for BOREHOLEDOC og BOREHOLE.

² Bliver benyttet i forbindelse med geocode, så tabellerne kan kortlægges i ArcGIS Pro.

³ SampleID bliver benyttet i forhold til join imellem GRWCHEMANALYSIS og GRWSAMPLE.



Figur 10, Egen produceret diagram over process.

På figur 10 fremgår det, hvordan udarbejdelsen af join har foregået i ArcGIS Pro. Det har primært omhandlet at få jointet fælles lagene først, og slutvis foretaget en fuld join af alle tabeller.

5.2 FOHM

FOHM står for ”Fælles Offentlig Hydrostratigrafisk Model” (GEUS, 2, Set 2023). Modellen blev oprettet tilbage ved amternes tid, som var før kommunalreformen blev indført i 1/1-2007 (Indenrigs og sundhedsministeriet, set 2023), og blev senere udarbejdet som følge den stats finansierede grundvandskortlægning.

Denne model danner grundlag for udformningen af miljøstyrelsens vandplanlægning og grundvandskortlægning samt grundlaget hos GEUS’S DK-model. Den er et resultat af en samling af de lokale modeller og tre større regionale modeller (GEUS, 2, Set 2023).

Modellen er udformet således, at der kan udarbejdes et tværsnit, hvoraf jordlagenes tykkelse samt typer er angivet.

Dette kan medvirke til at beregne, hvilken hydrauliske ledningsevne jorden har, idet hver jordtype har estimeret til en værdi, som der forekommer i MIKE SHE (se afsnit 5.3.1).

Modellen er udformet som en lag på lag model. Hvilket betyder, at lagene er afgrænset efter jordtype som et enkelt stående lag, men inkludere værdier, som kan omformateres til voxel data.

Voxel data er baseret på at være multidimensionel, som bedre kan visualiseres i 3D. Voxel laget repræsenteret tre forskellige dimensioner, som heraf udgøres af X, Y samt Z og T. Der vil hovsagligt tages afsæt i X, Y samt Z, som udgør de geografiske koordinater (ESRI, set 2023).

Voxel data, kan ligesom FOHM udgøre en værdisætning, som kan medvirke til beregning af den hydrologiske ledningsevne for den pågældende jord i området.

Voxel er opdelt som raster lag, og kan derfor sættes lavere i sin struktur (ESRI, set 2023). I denne forbindelse bliver FOHM om formateret i ArcGIS, hvori den gennemgår en række processer (se afsnit 5.4).

5.2.1 Jordlag klassificering.

I forbindelse med jordklassificering er dette en forlængelse af afsnit 5.2.

Figur 11 beskriver de lagklasser der findes i FOHM (Stisen, Ondracek, Troldborg, Schneider, & John van Til , 2019, s. 21). Figur 11 er som følge af modeludarbejdelsen af FOHM udviklet specielt til Sjælland, Møn, Lolland og Falster.

De er inddelt i 14 forskellige lag, som hver især skal bearbejdes, førend der kan udarbejdet en tværsnitsprofil som vil indgå som del af resultatafsnittet 6.3. I forbindelse med udformningen af tværsnitteneprofilerne, vil der benyttes samme navnene, som ligeledes fremgår på figur 1. Denne figur er derfor essentiel for forståelse af resultatafsnittets tværsnitsprofiler.

Tabel 2. Oversigt over de hydrostratigrafiske – og beregningslag for Sjælland, Lolland, Falster og Møn.

Beregningsslag	Navn	Topflade	Bundflade	Beskrivelse
1	Top2m	dkms_topo	dkms_top2m	Det øvre toplag. Strækker sig fra terræn 2 meter ned. Laget er opdelt i sand, ler og tørv, defineret på basis af jordartskortet.
2	KL1	dkms_top2m	dkms_ks1t	Øvre kvartære ler enhed, strækker sig fra bund af Top2m og ned til top af sand 1 (ks1t).
3	KS1	dkms_ks1t	dkms_ks1b	Det øverste sandlag/linser, udgør mindre højtliggende magasiner, der ofte ikke er sammenhængende.
4	KL2	dkms_ks1b	dkms_ks2t	Kvartært ler, ofte af regional udbredelse, adskiller KS1 og KS2.
5	KS2	dkms_ks2t	dkms_ks2b	Dybereliggende magasin, ofte regional udbredelse.
6	KL3	dkms_ks2b	dkms_ks3t	Kvartært ler, ofte af regional udbredelse, adskiller KS2 og KS3.
7	KS3	dkms_ks3t	dkms_ks3b	Dybereliggende magasin, ofte regional udbredelse. Generelt det nederste kvartære magasin, med undtagelse af områder med dybe formationer, ofte dale.
8	KL4	dkms_ks3b	dkms_ks4t	Kvartært ler, ofte af regional udbredelse, adskiller KS3 og KS4.
9	KS4	dkms_ks4t	dkms_ks4b	Dybe sandforekomster, ofte i dybe dale. Kan være i hydraulisk kontakt med prækvartæret.
10	KL5 (*)	dkms_ks4b	dkms_preq	Kvartært ler, adskiller KS4 og prækvartæret.
10	PL1 (*)	dkms_preq	dkms_pl1b	Prækvartært ler. Laget genfindes primært fra Midt-sjælland og mod vest.
11	BK1	dkms_pl1b (dkms_kalk)	dkms_bk1b	Grønsandskalk aflejringer. Laget er ikke tolket overalt i området. (**)
11	DK1	dkms_bk1b	dkms_dk1b	Danien kalk aflejringer. Laget er ikke tolket overalt i området. (**)
11	SK1	dkms_dk1b	dkms_bund	Skrivekridt aflejringer. Laget er ikke tolket overalt i området. (**)

(*) Laget er i beregningsmodellen slået sammen.
(**) Laget i beregningsmodellen indeholder alle kalkaflejringer (BK1+DK1+SK1). De hydrauliske egenskaber for det samlede kalklag i DK-modellen er initialt distribueret ud fra estimater af transmissivitet baseret på Jupiterdata. Bunden af kalklaget i DK-modellen (dkms_bund) er sat til 50m under toppen af kalken (dkms_pl1b).

Figur 11, (Stisen, Ondracek, Troldborg, Schneider, & John van Til, 2019, s. 21), Oversigt over jordlag

5.3 MIKE SHE

MIKE SHE er en integreret hydrologisk model udviklet af DHI, for at simulere og analysere vandets strøm og bevægelse i et naturligt vandsystem (DHI Group, Set 2023).

MIKE SHE-modelsystemet er baseret på en kombination af forskellige processer såsom infiltration, præcipation, evapotranspiration, grundvandsstrømning, overfladevandstrøm og kanalstrøm (DHI Group, Set 2023). Modellen repræsenterer disse processer ved hjælp af matematiske ligninger, som definerer sammenhængen mellem vandets strømning og tilgængelige hydrologiske data (DHI Group, Set 2023). Modellen anvendes til vandressourceplanlægning, afstrømningsforudsigelse, vandkvalitetsvurdering, økosystemmodellering og klimaændringspåvirkningsstudier (DHI Group, Set 2023).

Overfladevandsstrømmen beregnes ved hjælp af diffusionsbølgetilnærmelser og routingmetoder, der tager højde for topografien og de hydrauliske egenskaber på overfladen (DHI, MIKE SHE, 2023, s. 53-54).

Grundvandsstrømning beregnes ved hjælp af den tredimensionale grundvandsstrømningsligning og numeriske metoder såsom finit elementmetode. Derved tages der hensyn til geologiske og hydrogeologiske egenskaber i det undersøgte område (DHI, MIKE SHE, 2023, s. 64-67).

Denne komponent beregner vandets bevægelse i den unsaturerede zone. Modellen beskriver infiltration, præcipation og evapotranspiration ved hjælp af Richard's ligning (DHI, MIKE SHE, 2023, s. 567).

Der er inkluderet en plante- og jordkomponent til at repræsentere vegetation og jordbundens betydning for evapotranspiration, infiltration og præcipation (DHI, MIKE SHE, 2023, s. 49-50).

De forskellige hydrologiske processer kan ændres således at der kan beregnes på forskellige scenarier (DHI Group, Set 2023).

Der i denne forbindelse taget afsæt i en allerede opsat model af COWI, som er blevet udviklet til Vordingborg kommune. Der vil på forhånd allerede være indlagt en kalibrering på de geologiske faktorer. Der ændres derfor ikke i transmissiviteten, jordlagenes værdi, porøsitet eller opbygning mm..

Der ændres i hvor mange partikler, der afsættes i et bestemt område, baseret på punktkilder – der arbejdes med, at der afsættes 10 partikler i hvert grid. Samtidig er der foretaget en opdatering af aktive og sløjfede boringer i nærområdet, således at det bedst mulig, vil kunne afspejle de nuværende værdier.

Simuleringsperiode for partikelsimulering samt hvilket flowresultater, der skal bruges under partikel-simuleringen, skal defineres.

Derudover kan det vælges at bruge en specifik tidsperiode, som herefter bliver gentaget i f.eks. 500 år, eller der kan vælges at bruge en specifik dato med et konstant flow-mønster.

Programmet vil herefter beregne partikelvandring, baseret på en række matematiske ligninger mm. der er blevet estimeret for de forskellige jordlag, magasinet rummelighed sammenholdt med oppumpning fra Råbylille vandværk.

Datasættet, som er blevet simuleret i MIKE SHE, er blevet hentet som shapefile med attributter. Disse attributter omfatter tidsserie af nedsivning og dybde – foruden koordinater, hvorfra de nedsiver hen.

5.3.1 Opsætning af modellen

Dette afsnit belyser hvorledes MIKE SHE modellen er opsat samt hvilke værdier, der er estimeret og som benyttes under simuleringsprocessen.

Først indsættes afgrænsningen af modelområdet, i denne forbindelse er det en polygon, som er formet som Møn.

Denne afgrænsning er af hele Møn i X, Y og Z værdier. Disse geografiske afgrænsninger medfølger ved udtræk af data efter kørt simulering. Samtidig er der indsat borerne for hele Møn, som er indsat med de Geo reference til ETRS89 UTM 32, i de pågældende X,Y og Z værdier.

Dernæst er der afgrænset topografien, som grid data. Der er tilføjet regnmåler data i modellen, som er baseret på den årlige nedbør for området. Yderligere er der en beregnet evapotranspiration baseret på de meteorologiske data. Andre inkluderede faktorer er solindstråling og lufttemperatur i forhold til ved snefald f.eks., som er baseret på stationsdata kilder for området.

I forhold til afstrømningsfordeling og flodstrømning smat vandstandsberregning, er der anvendt en deloplandsafgrænsning samt flodmorfologi.

For også at afspejle vegetationen samt befæstet arealer, benyttes der en arealanvendelsesfordeling også baseret på en afstrømningsberregning. Dette samme gør sig gældende for jordfordelingen, hvor der tages højde for infiltrationen og afstrømning for området. Herefter er der indsat grid data, som opdeler jordlagene, hvoraf dette indgår i beregningen af grundvandsstrømningen.

Samlet er parametrene de mest basale input data til modellen (se bilag 3, for visualisering af parametrene).

I forhold til den generelle opsætning af MIKE SHE-modellen, med henblik på partikelvandringen, består det næste modul af, at der gives en densitet for en partikel, som herved udgør 100g pr. partikel.

Derudover tilvælges, at modellen må vælge random, hvordan partiklerne sættes i cellerne i ”*initial particle location*” samt at ”*Particle registration*” er defineret af zonerne i lagene (se bilag 3).

Næste del af opsætningen er *PT Simulation period*, hvor der bliver bestemt hvor lang en tidsperiode simuleringen skal kører. I dette tilfælde er der taget afsæt i 50 år, idet der arbejdes med pesticid stof, som blev benyttet imellem 60-80’erne og op til midt 90’er.

Deraf er det relevant at afsætte denne tidsperiode, da de første fund af DPC allerede blev gjort i 2018, efter kravet blev indført. Denne setting ændres, når der skal udregnes, hvornår det kan forventes, at alle partiklerne er udvasket – den bliver sat til 400 år, men der bliver foretaget en beregning op til 500 år.

Før modellen tilrettes nærmere er det essentielt, at der skal sikres, at de rette indvindingsmængder for borerne er opsat korrekt. Dette gøres i ”*pumping wells*” modulet, hvor der ligeledes også kan tilføjes nye borer, eller fjerne sløjfede borer. Der bliver ikke gået i nærmere i dybden med dette modul, da dette er en teknisk foranstaltning.

I modulet *Saturated Zone*, som indeholder væsentlige elementer for modellen, her i blandt, de forskellige jordlag og deres hydrauliske ledningsevne mv. Dette er overordnet de geologiske faktorer, som på forhånd er sat i modellen. I forhold til de *computational layers*, i denne opsætning kan der bestemmes, hvordan partiklerne sættes, samt i hvilket lag. Det er også her der sættes en afgrænsning for partiklerne – heraf hvilket område, at de skal sættes. I denne opsætning, vælges hvilke jordlag, som modellen skal tages afsæt i.

Samtidig er det også væsentligt at der afkrydses i ”*Include pumping wells*” og ”*Include subsurface drainage*”.

Samtidig skal der også sørge for, at der er indsat hvilken porøsitet og konduktivitet der er angivet til de forskellige jordtyper (se figur 12).

The screenshot shows the 'Geological units' table in the MIKE SHE software. The table lists 12 different soil types with their respective codes and physical properties. The project tree on the left shows the model's structure, including 'Geological units' and 'Computational Layers'.

	Soil name	Soil code	Horizontal conductivity	Vertical conductivity	Specific yield	Specific storage	Porosity
1	Hav	5	0.0001	0.0001	0.15	0.0001	0.15
2	Toerv	10	5e-005	5e-006	0.2	0.0001	0.2
3	Marint sand	20	1.3e-005	1.3e-006	0.2	0.0001	0.2
4	Sand1	30	3.78e-006	3.78e-007	0.2	0.0001	0.2
5	Ler1	40	9.7e-007	9.7e-008	0.05	0.0001	0.05
6	Sand2	50	0.000957	9.57e-005	0.2	0.0001	0.2
7	Kalk_Sand_F	60	0.000739	7.39e-005	0.2	0.0001	0.2
8	Ler2	70	9.1e-007	4.05e-008	0.05	0.0001	0.05
9	Sand3	80	0.00023	2.3e-005	0.2	0.0001	0.2
10	Opsp_Kalk	90	1.54e-005	1.54e-006	0.2	0.001	0.2
11	Opsp_Kalk	95	2.65e-005	6.84e-009	0.2	0.001	0.2
12	Kalk	100	2.71e-006	8.77e-007	0.2	0.0001	0.2

Figur 12, Værdisætning af jordtyper – MIKE SHE op sætning.

Det er disse værdier, som bliver benyttet under proces kørsel af modellen. Disse værdier for porøsitet samt konduktivitet vil kunne reguleres på i modellen, men selv små udsving af værdier vil give andre strømningsretninger, nedslivnings hastigheder mm. Derfor er der ikke taget afsæt i at regulere værdierne, da formålet med denne opgave er, at opsætte en screeningsmodel for punktkilde forurening af det nærliggende område til Råbylille vandværk, uden at regulere på de opsatte og beregnede værdier, modellen er kalibreret med.

Når alle parametre er fastsat, køres først Post processing (PP), derefter en Water movement (WM) og slutvis en WQ (Water quality).

PP bliver kørt, da det benyttes til at foretage en fejlsøgning i tilfælde af, at der er parametre, der mangler eller ikke er sat op, så modellen kan køres.

WM, bliver udført for, at modellen kan beregne hvor meget borerne oppumper, og hvilken indvirkning dette har på vandområderne. Dette bliver også kombineret med den hydrologiske teori, som er den bagvedliggende matematiske proces (se afsnit 4).

Derefter bevirker WQ proceskørslen, at der foretages en matematisk beregning baseret på Dacys lov, samt de relevante værdier i forhold til den hydrauliske ledningsevne og hydrologiske strømningspotentiale, porøsitet mv. (se afsnit 4) for de indplacerede partikler. Disse partikler visualiserer hvilken retning det forventes, at vandet strømmer i jordlagene baseret på den teoretiske del fra afsnit 4.

Når alle processer er kørt, kan der derefter udtrækkes dataresultaterne ud, som tekstfiler. Disse tekstfiler indeholder data på hvor partiklerne er startet og sluttet, efter det antal år det er blevet simuleret efter. Ligeledes indeholder det data, om den pågældende partikel er blevet vurderet, til at blive oppumpet af en boring eller forsat er i magasinet. Disse data, som tekstfiler, bliver først omdannet til i Acces hvor de her bliver omdannet til en database fil. Denne database fil kan herefter bearbejdes i et GIS program. I denne forbindelse er den udtrukne data blevet bearbejdet i ArcGIS Pro.

5.4 ArcGIS Pro

ArcGIS pro er udviklet af ESRI, og er et geoinformation system som, kan bearbejde rummelige data. Herved kan data blive visualiseret og bearbejdet til en kontekst, hvor der kan udvindes viden på.

GIS er et system, som kan benyttes til at modellere, analysere samt præsentere geografiske geodata. GIS skal anses som værende til værktøj, der kan medvirke til at producere geografiske kort samt at kunne analysere information baseret på spatiale rumlige datasæt (Geoinfo, Set 2023).

Lagene består af henholdsvis et baggrundskort, som medvirker til et bedre forståelse af, hvor i verden, arbejdsområdet er gældende. Herefter kan der på baggrund af koordinater dannes grundlag for opbygning af datasæt. Datasæt består oftest af information, som er tilhørende det pågældende punkt (point), Linje (line) eller flade (shapefile).

Kortlag	Beskrivelse	Arbejdsprocesser.
Baggrundskort	Forvaltning kort, indeholder strømningsretninger mv. tilfalder Vordingborg kommune.	Funktion er som baggrund.
MIKE she model	Partikelvandring - Indvindingsoplande for Råbylille boringerne	<p>Først er partiklerne, baseret på deres X,Y og Z bliver kortlagt. Dette igennem at blive indtrukket som database og benyttet funktionen ” Define projection”</p> <hr/> <p>Der er foretaget en ”Point to line” af deres koordinat værdier.</p> <hr/> <p>Der er foretaget en sortering, således det blev visualiseret de partikler der nåede over 30 m i kote.</p> <hr/> <p>Der er foretaget en filtrering således at der kun bliver visualiseret de partikler der bliver fjernet af boringen.</p>
	Partikelvandring – 50 år, område nær Råbylille vandværk og kortlagt V2 jordforurening område	<p>Partiklernes X,Y og Z bliver kortlagt.</p> <p>Dette sker igennem at derblivet indtrukket som database og benyttet funktionen ” Define projection”</p> <hr/>

		<p>Der er foretaget en "Point to line" af deres koordinat værdier.</p> <hr/> <p>Der er foretaget en sortering, således det blev visualiseret de partikler der nåede over 30 m i kote.</p> <hr/> <p>Der er foretaget en filtrering således at der kun bliver visualiseret de partikler der bliver fjernet af boringen.</p>
	<p>Partikelvandring - 500 år, gentagelse af samme område nær Råbylille vandværk og kortlagt V2 jordforureningsområde</p>	<p>Først er partiklerne, baseret på deres X,Y og Z bliver kortlagt. Dette igennem at blive indtrukket som database og benyttet funktionen " Define projection"</p> <hr/> <p>Der er foretaget en "Point to line" af deres koordinat værdier.</p> <hr/> <p>Der er foretaget en sortering, således det blev visualiseret de partikler der nåede over 30 m i kote.</p> <hr/> <p>Der er foretaget en filtrering således at der kun bliver</p>

		visualiseret de partikler der bliver fjernet af boringen.
Jupiterdata	Boringernes placering og dybde mv.	Baseret på afsnit 5.1, bliver de joinede tabeller visualiseret på kortet. Der trækkes data fra deres kemiske analyser ud, ved brug af CompoundNO, reported amount, reported unit og BoreholeID
FOHM	Jordlagstyper i rasterdata.	Lagene bliver defineret ved "Define projection" i X,Y og Z.
		Alle lag bliver "Interpolate" med tværsnitstregnene så der kan udtrækkes data for linjerne som alle bliver sat til en værdi af 50 m i buffer.
		Lagene som repræsenterer hver linjer bliver "Merge" så der dannes et sammenhængende lag.
		Slutvis bliver der udtrukket en "Profile graph", baseret på bufferen på 50 m og de enkelte optrukket linjer som skal medvirke til at illustrer en tværsnitsprofil.

Datasættet der downloades; FOHM, er hentet fra GEUS. Formatet er i xyz fil, hvilket omformateres til en tiff fil, i raster format. Der foretages en interpolate, dernæst bliver der foretaget en merge imellem de forskellige jordlag, hvorfra der kan udtrækkes en profilegraph, som visualiserer jordlagenes Z værdier, hvilket danner grundlag for tværsnit profilen.

Define projection (X,Y, Z) værktøjet bliver benyttet for at tildele laget det samme koordinatsystem som baggrundskortet (ESRI, 2, set 2023). Værktøjet er en kortprojektion, hvor værktøjet giver mulighed for at definere datum således, at det kan bearbejdes videre i interpolate. Særligt Z værdien er vigtig i denne forbindelse, idet det er tværsnitprofilerne, som er slutproduktet. Hvis ikke Z værdien er angivet for laget, vil dette betyde, at der ikke er nogen dybde for laget og derfor ville alle lag være beliggende i samme dybde.

Interpolate værktøjet er blevet benyttet i forhold til at kombinere tværsnitlinjerne med jordlagene i det pågældende område. Derfor bliver det tværsnitlinjen, der modtager datainputet fra FOHM, som indeholder værdierne for jordlagene. Normalvis benyttes interpolate til at forudsige overflader, f.eks baseret på et punkt og datakilden. Derefter vurderes værktøjet værdien den til nærmeste nabo, som igen også har en målsatværdi (ESRI, 3, set 2023). Dette er også kaldet den deterministiske metode. Der er dog flere metoder til, hvordan overfladen kan forudsiges, og skal tilpasses den enkelte modelopstilling (ESRI, 3, set 2023). I denne forbindelse er der benyttet den geostatistiske metode, hvoraf den er baseret på statistiske modeller, som benytter sig af det statistiske forhold imellem de afmålte punkter. Dette giver en sikkerhed i at kunne forudsige overfladen med større nøjagtighed (ESRI, 3, set 2023).

Merge værktøjet er en flettefunktion, som kan benyttes til at flette rumlige rasterdata på tværs af hinanden (ESRI, 4, set 2023). Dette betyder, at hvis inputdaten indeholder flere dimensioner og variabler, vil disse blive indgået i output datasættet (ESRI, 4, set 2023).

Det betyder derfor at da der blev foretaget en merge, blev alle input fra interpolate modellen inkluderet. Det muliggør derfor, at der kan trækkes en profil graph, på baggrund af det datasæt der lå i datasættet fra FOHM.

Profile graph værktøjet, medvirker til at visualisere højdeændringerne over en bestemt afstand (ESRI, 5, set 2023). Dette bevirker, at der i dette tilfælde kan udformes en tværsnitprofil for FOHM jordlagene – baseret på deres Z værdi. Dette giver et indblik i den komplekse jordopdeling, der figurerer på Møn.

5.5 Miljøstyrelsen sammentolkning af histogrammer.

Miljøstyrelsen sammentolkning viser, at grundvandsalderen for begge boringer DGU 227.143 og DGU 227.368 er på mellem 700-1000 år (se bilag 1). Der er dog fund af pesticid i boringerne, hvilket indikerer at der er et område, som får påvirkning fra overfladevand. Deres konklusion bliver derfor, at partikelvandring indikerer gammelt vand, men på baggrund af grundvandskemien er der tegn på, at det bliver påvirket af overfladevand (se bilag 1).

I deres sammentolkning påpeges der, at boring DGU 227.368 kun har haft værdier over grænseværdien siden 2021. Dette er ikke korrekt, da DGU 227.368 (GEUS, Set 2023), er en overboring af 227.144 og bør derfor noteres tilbage til 2017, hvor først prøve for DPC blev foretaget (GEUS, 5, set 2023).

5.6 Region Sjællands kortlagte V2 jordforurening område.

Region Sjælland er bekendt med et V2 jordforureningsområde nærliggende vandværksboringerne. De var, som udgangspunkt klassificeret som mergelgrave, men overgik senere hen som lossepladser men var aktiv i perioden 1954 og frem til 1968 (se bilag 2). I en større rapport har regionen undersøgt de pågældende områder, med miljøtekniske boringer, hvor der samtidig er vurderet, at indvindingsboringerne ligger velbeskyttet. Dette er baseret på, at der er en antagelse om, at der befinder sig et jordlag af ler af ca. 29-32 m i volumen (se bilag 2).

V2 området, som ligger tættest på indvindingsboringerne (Råbylille I), hvor der er fundet de højeste værdier af diverse stoffer, har arealet 16*21 m. Ligeledes er der vurderet, at den er ca. 3,6 m i dybden. Det andet V2 område, som ligger nordligst (Råbylille II), har arealet 14*34 m og måler 2,4 m i dybden. *I forbindelse med udarbejdelse af denne opgave, tages der afsæt i det V2 område (Råbylille I), som er tættest beliggende indvindingsboringerne.*

Ved undersøgelse af V2 området tættest på indvindingsboringerne (Råbylille I) er der fundet tegn på diverse affald, alt fra deponeret forurenet jord, dagrenovation, byggeaffald, industriaffald, plastik mm. (se bilag 2). Der er truffet terrænnært grundvand fra 2,0 m under terræn, dog er det primære magasin i skrivekridtet og der er vurderet et spændt vandspejl fra ca. 8 m under terræn (se bilag 2)

V2 områderne er vurderet til ikke at ville have en indvirkning på vandværksboringerne til Råbylille vandværk. Det påpeges, at det er fladekilder, som er årsagen til forureningen af DPC i boringerne, da det vurderes, at der er tale om relativt lave værdier for pesticid i boringerne.

Derfor vurderes det som faldekilder, da punktkilde forureningen vil medføre værdier på over ca. 1,0 ug/l (se bilag 2).

5.7 Opsummering

Jupiterdatabasen XL og indholdet i tabellerne om boringernes koordinater, samt kemiske indehold af DPC. Hvoraf FOHM medvirker til at danne en visualisering af, hvordan jordlagene er kortlagt i for det pågældende område for caseområdet. Dernæst bliver der præsenteret MIKE SHE modellen. Generelt omhandlet afsnittet om hvad modellen kan, og hvordan den virker, men slutvis bliver der præsenteret hvorledes modellen er opsat, som ydermere danner grobund for resultatafsnittet, afsnit 6. Der er pointeret væsentlige faktorer, som vil medvirke til andre resultater hvis disse ændres. Yderligere bliver der i ArcGIS Pro afsnittet sammenholdt hvorledes dataene er samlet og visualiseret ved at benytte en række værktøjer. Der bliver redegjort for de mest væsentlige rapporter, som har dannet grundlag for at undersøge området omkring Råbylille vandværk. Der er stor fokus på området fra miljøstyrelsen, som pointerer i deres rapport, at der er estimeres gammelt grundvand. Dog er der fund af pesticid i boringerne, som indikerer, at der er tegn på forurening fra overfladevand. Region Sjælland har kortlagt området nær Råbylille vandværk som værende V2 områder grundet forurening fra tidligere mergelgrave, som sidenhen blev benyttet som lossepladser. De vurderer dog, at forureningen med DPC nedstammer fra fladekilder – heraf landbrug og udelukker derfor, at det skulle være punktkilde forurening.

6. Resultater

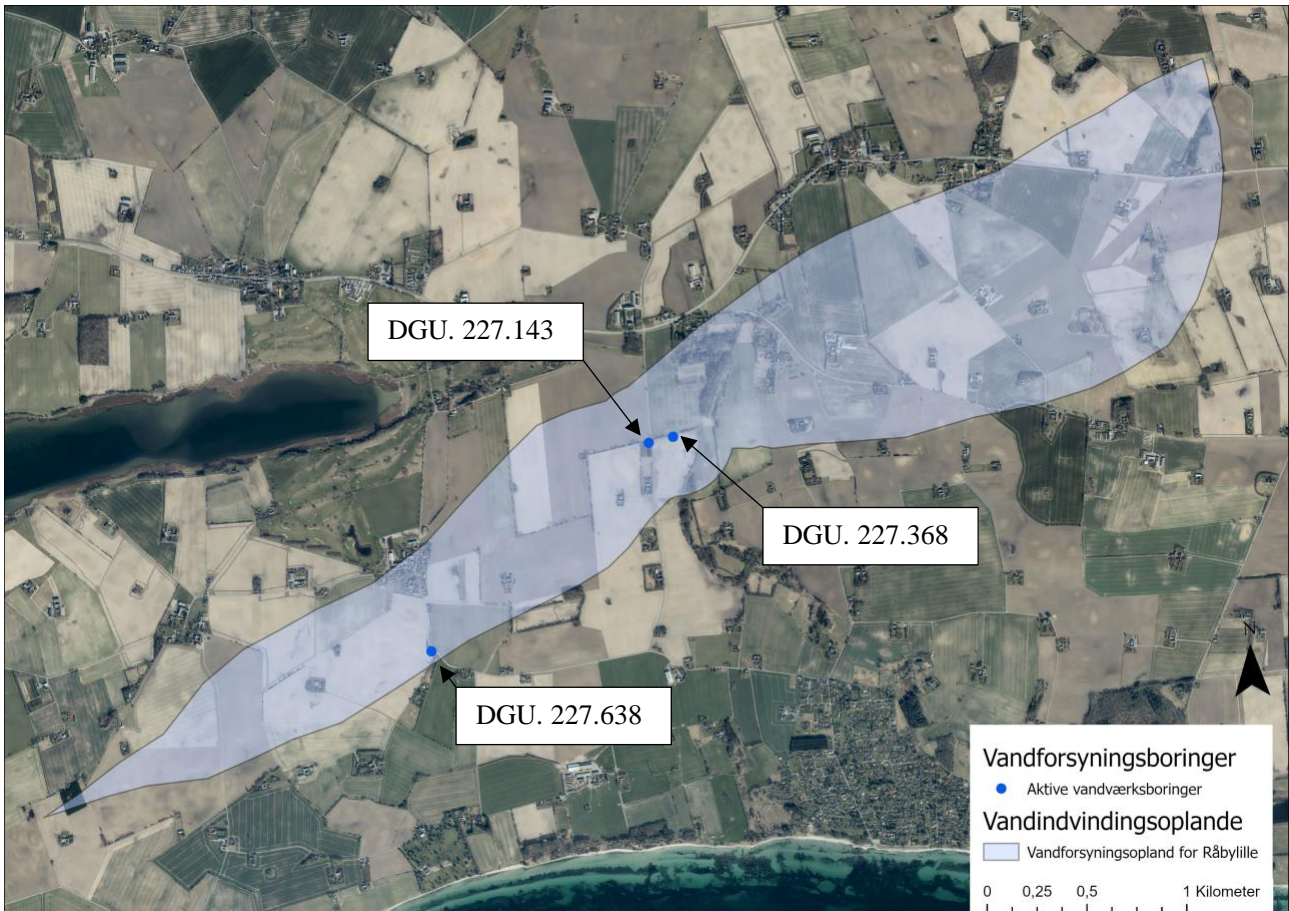
I dette afsnit vil der blive redegjort for de resultater, der er fundet ved en modelkørsel i MIKE SHE. Der vil blive lagt vægt på partikelvandringen samt de geologiske forhold, der er givet ved FOHM samt boringsanalyserne. Der vil blive præsenteret indvindingsoplandet og partiklerne heri. Dernæst vil der blive visualiseret partiklerne sammenholdt med deres nedsivningstid, samt hvilken kote de er estimeret til at nå. Slutvis vil der i en opsamling blive vurderet, hvor stort et tidsestimat der er, førend partiklerne er nedsivet og derefter oppumpet af boringen.

6.1 Indvindingsopland

Det beregnede indvindingsopland for Råbylille vandværk, bliver visualiseret på figur 13

Indvindingsoplandet er udarbejdet af miljøstyrelsen, men med høring af Vordingborg kommune.

På figur 13 ses boringerne som tilhører Råbylille vandværk i indvindingsoplandet. Den nye boring, der er foretaget i 2022, og endnu ikke ibrugtaget, fremgår også på kortet. Boringen DGU 227.638's grundvandsanalyser viser, at der ikke findes nogen forurening af DPC.



Figur 13, Indvindingsopland, udgivet af miljøstyrelsen.

Der er foretaget en WM og WQ af indvindingsoplandet inden for 50 år i MIKE SHE, for de ibrugtagne boringer, DGU 227.143 samt DGU 227.368 (tidl. DGU 227.144).

Deres oppumpningsmængder er værdisat til 21.600 m³/år pr. boring.

Indvindingsoplandet, som er beregnet i MIKE SHE, er langt mindre end det samlede indvindingsopland fra miljøstyrelsen, da de udførte den for en 200års hændelse (se bilag 1).

Årsagen er, at denne indvinding i MIKE SHE kun er foretaget indenfor en bestemt årrække på 50 år.

I nærområde er der klassificeret en V2 jordforurening, som er en tidligere losseplads (og merlegrav), som Region Sjælland har undersøgt og fører opsyn med (se afsnit 5.6).

Området var først benyttet som en merlegrav, og blev senere hen benyttet som losseplads, i perioden fra 1954 og frem til 1968.

På figur 14, bliver der visualiseret indvindingsopland indenfor 50 år til borerne DGU 227.143 og DGU 227.368. Hvoraf der på kortet, kun tages afsæt i de partikler, som vil blive oppumpet af borerne til indvinding. Derfor er det ikke partikler, der forsat vil medvirke til at danne grundvandsmagasinet. *Modellen benytter teorien, som kort bliver beskrevet i afsnit 4.1, vedrørende beregning af IOL.*

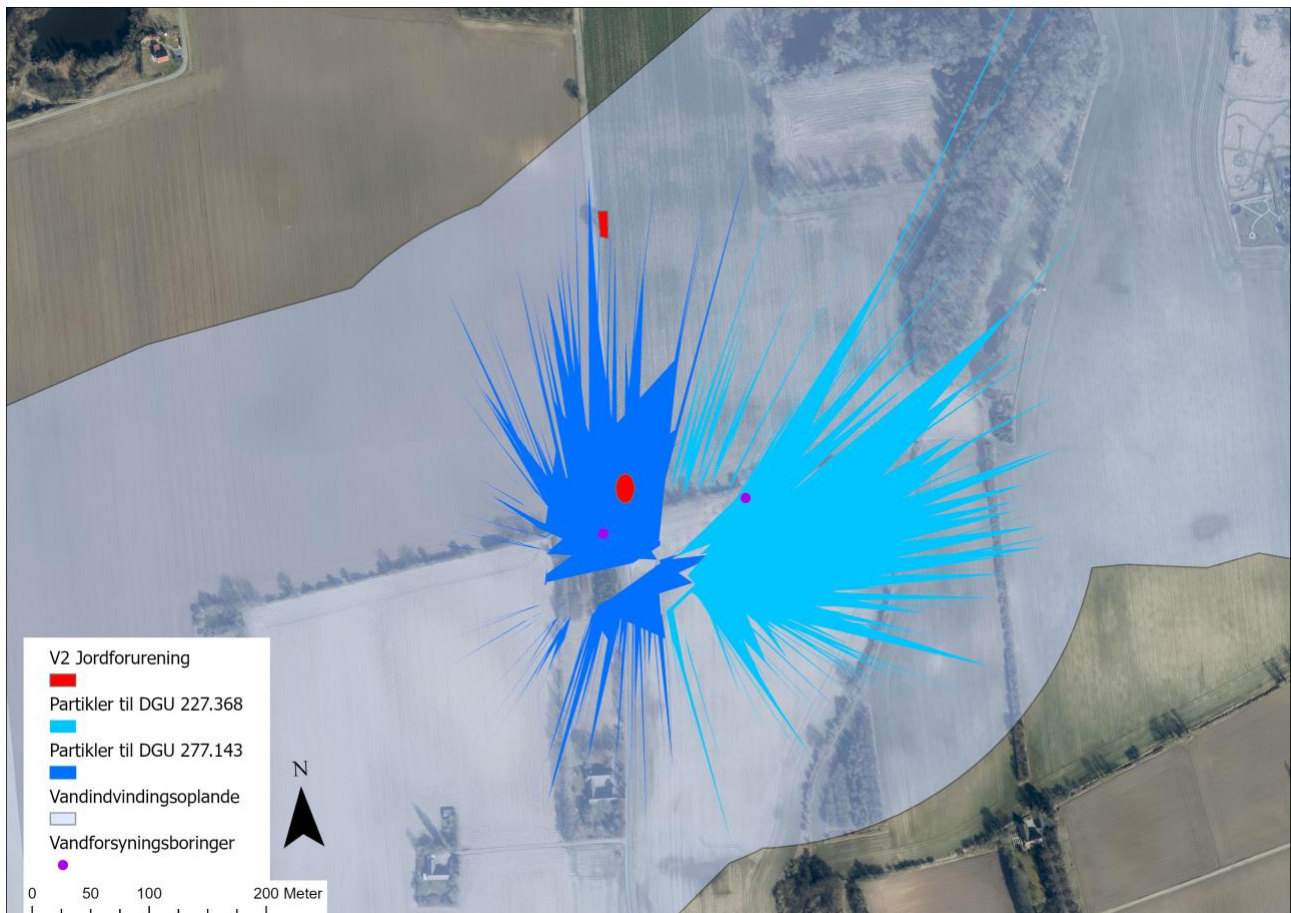
Årsagen til, at det er vigtigt at få kortlagt de partikler, der bliver fjernet i øjeblikket, er sammenhængende med, at grundvandet er i bevægelse i jordlagene, hvor magasinet befinder sig. Derfor undersøges der kun de partikler, der nedsiver til området og forventes fjernes af boringen ved oppumpningen.

Interessen for hvilke partikler der bliver fjernet af borerne, består sig i, at ikke alt vand indvindes, men de partikler, der bliver indvundet, har særlig interesse. Da der er fund af pesticider, heraf DPC i borerne og derfor modelleres der efter de partikler, der estimeres til at ende i indvindingen.

På figur 14, fremgår det, at partiklerne til DGU 227.143 nedsiver tværs igennem et V2 jordforureningsområde. V2 jordforureningsområdet er kortlagt af Region Sjælland (se afsnit 5.6).

Det er vurderet af modellen, at nedsivningen af disse partikler når en kote mellem -30,20 m til -99,60 m i kote. Disse partikler involverer både dem der bliver i magasinet, og dem der bliver fjernet af boringen.

For DGU 227.368, tidligere 227.144, gør det sig gældende, at indvindingsoplandet for 50 år, ligger udenfor V2 områderne, og strækker sig derimod markerne og skovarealet øst for boringen (se figur 14).



Figur 14, Sammenhold af indvindings opland og V2 område, samt partikler der oppumpes af borerne.

På figur 14, bliver det synliggjort, hvordan partiklerne indvindes i indvindingsoplandet. Begge V2 områderne er i det beregnede store indvindingsopland fra Miljøstyrelsen. Hvoraf det ene V2 område er i direkte beliggenhed af det beregnede indvindingsoplandet indenfor 50 år for DGU 227.143, men lige i nærområdet for DGU 227.368.

Dybderne for indvindingsoplandet på 50 år estimerer, at de partikler der nedsiver dybest, er beliggende på mellem kote -25 m til -86 m (se bilag 4).

For DGU 227.368 er det givet, at den dybeste indvundet partikel er indvundet fra kote -42 m, hvorimod den laveste dybde er fra kote -33 m. Dette betyder at der er en forskel på -9 m i kote i forhold til hvor dybt partiklerne når.

Partikler fra DGU. 227.143, der bliver fjernet i det sidste lag, som også bliver kategoriseret, som værende slutlaget, når dyben -86 m i kote af en "travel time" på 50 år.

Partiklen der nedsiver til den mindste dybde på -43 m i kote, benytter 43 år (se bilag 4).

For DGU 227.143 gør det sig imidlertid gældende, at der også bliver fjernet relativt dybe partikler af boreriger i slutlaget.

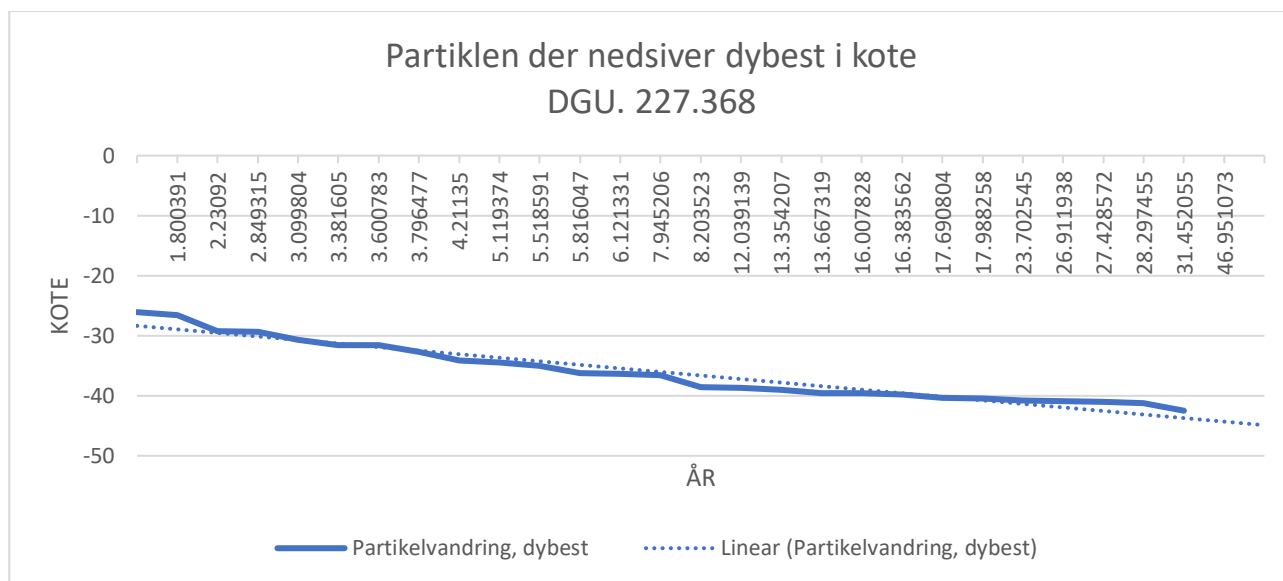
Det gør sig gældende, at den umiddelbare dybeste nedsivning, der bliver fjernet af boringen DGU 227.143 er i en dybde af -42 m i kote, og har en "travel time" på 31 år (se figur 15).

Imidlertid er den længste "travel time" er på 45,9 år og nedsiver til en kote -37 m (se bilag 4).

De mindste dybder er ikke inkluderet, da der kun tages afsæt i de dybeste.

Der ses en tendens til, at der er en stor variation på "travel time" for de indvundne partikler, men at de nedsiver relativt hurtigt til de dybere liggende lag (se bilag 4).

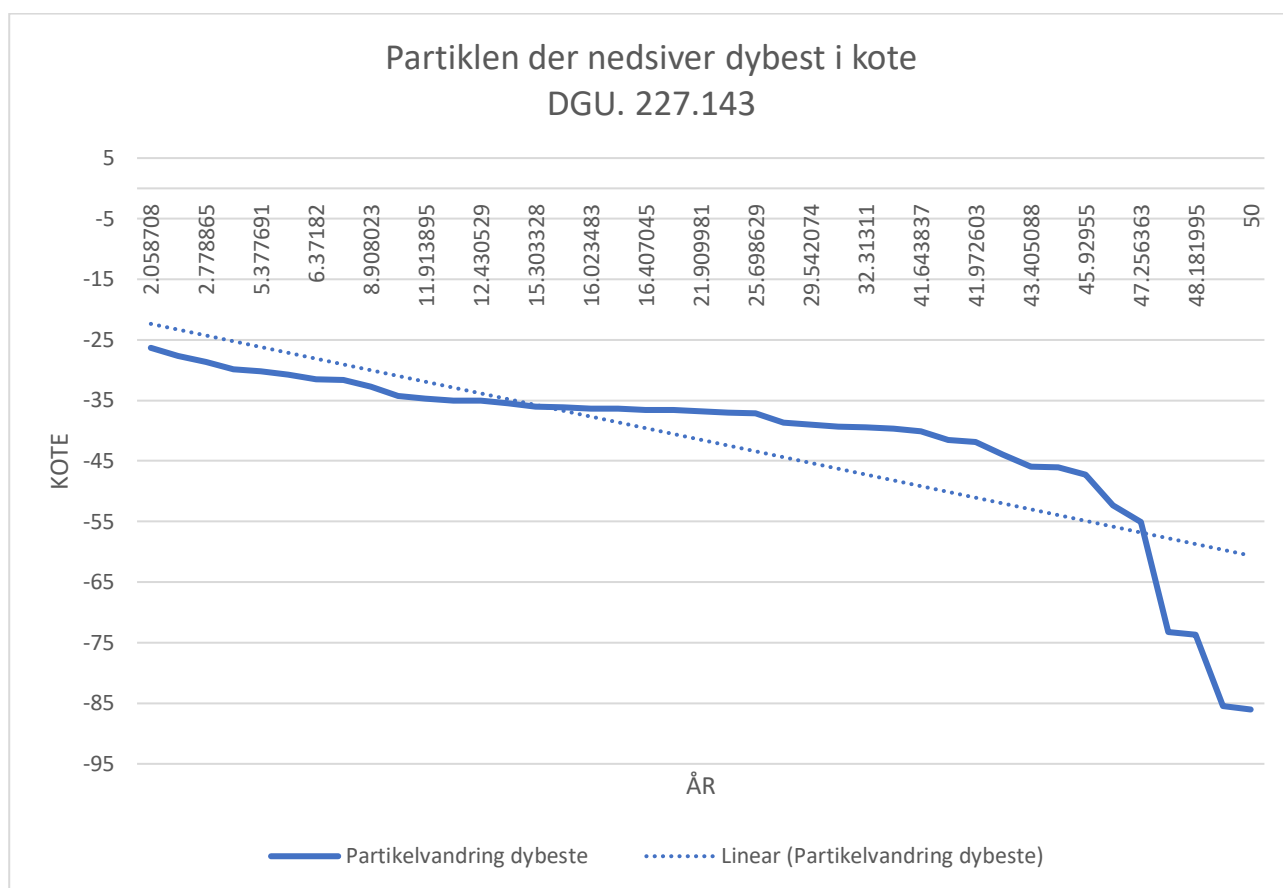
Hvis vi tager afsæt i de partikler der nedsiver dybest, fremgår det, at der er en variation af nedsivningshastighed. Dette kan vurderes at være årsagssammenhængende med, at de nedsiver ind i forskellige jordlag, som bliver påvirket af de forskellige hydrologiske strømningshastigheder. Disse bliver reguleret af jordens porøsitet, hvor en høj porøsitet vil medvirke til langsommere nedsivning. Dels vil det blive reguleret af permeabiliteten, hvor en lav værdi vil betyde en lav hastighed. Slutvis vil den overordnet hydrauliske ledningsevne også have en indvirkning – hvoraf en høj evne vil betyde overvejende sandjord og visa versa i forhold til lerjord.



Figur 15, Dybeste nedsivning af partikel ved DGU 227.368

Overstående graf er et indblik i en enkelt partikel, hvoraf der tages afsæt i den, der nedsiver dybest. Dette er vurderet af MIKE SHE modellen.

Som det fremgår på figur 15, nedsiver den dybeste partikel til omkring 42 m i kote. Denne nedsivning sker over 45,9 år og er gældende for DGU 227.368 (se datagrundlag i bilag 4). Den blå linje visualiserer, hvordan partiklen falder i dybden. Dette illustrerer ikke hvilken vej den nedsiver. Nedsivningen virker meget lineær i forhold til hastighed, og der ses umiddelbart ikke nogen generel afvigelse.



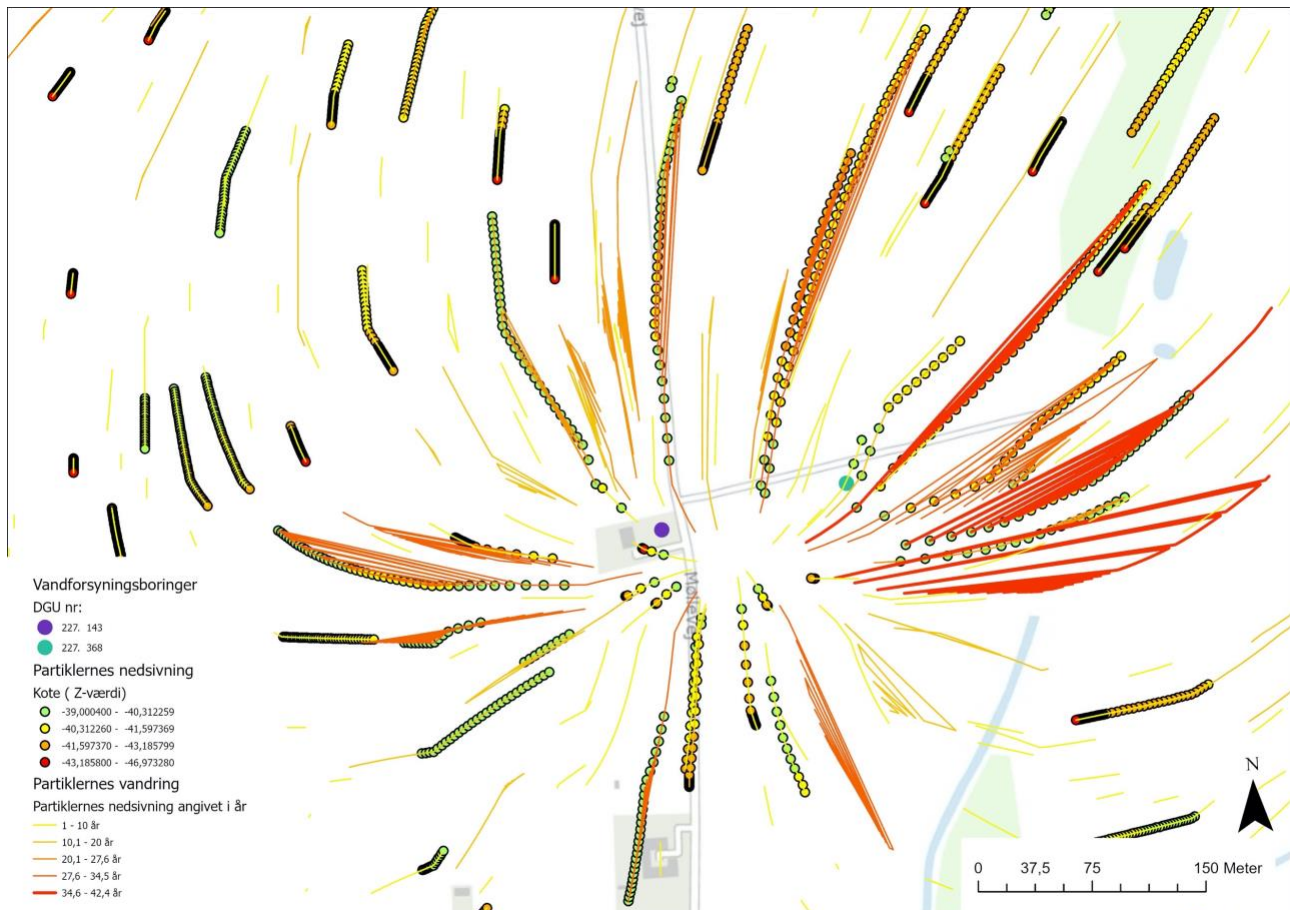
Figur 16, Dybeste nedsivning af Partikel, DGU. 227.143

Som det ses på overstående figur 16, nedsiver den dybeste partikel til omkring -86 m i kote. Denne nedsivning sker over 50 år og er gældende for DGU 227.143 (se datagrundlag bilag 4). Den blå linje visualiserer, hvordan partiklen falder i dybden. Dette illustrerer ikke hvilken vej den nedsiver.

Imidlertid ses der et noget drastisk fald i kote fra omkring -55 m til -86 m. Dette fald sker på omkring 10 år. Dette vurderes som særligt interessant, i forhold til fundet af DPC i borerne ved Råbylille vandværk.

6.2 Partikelvandring

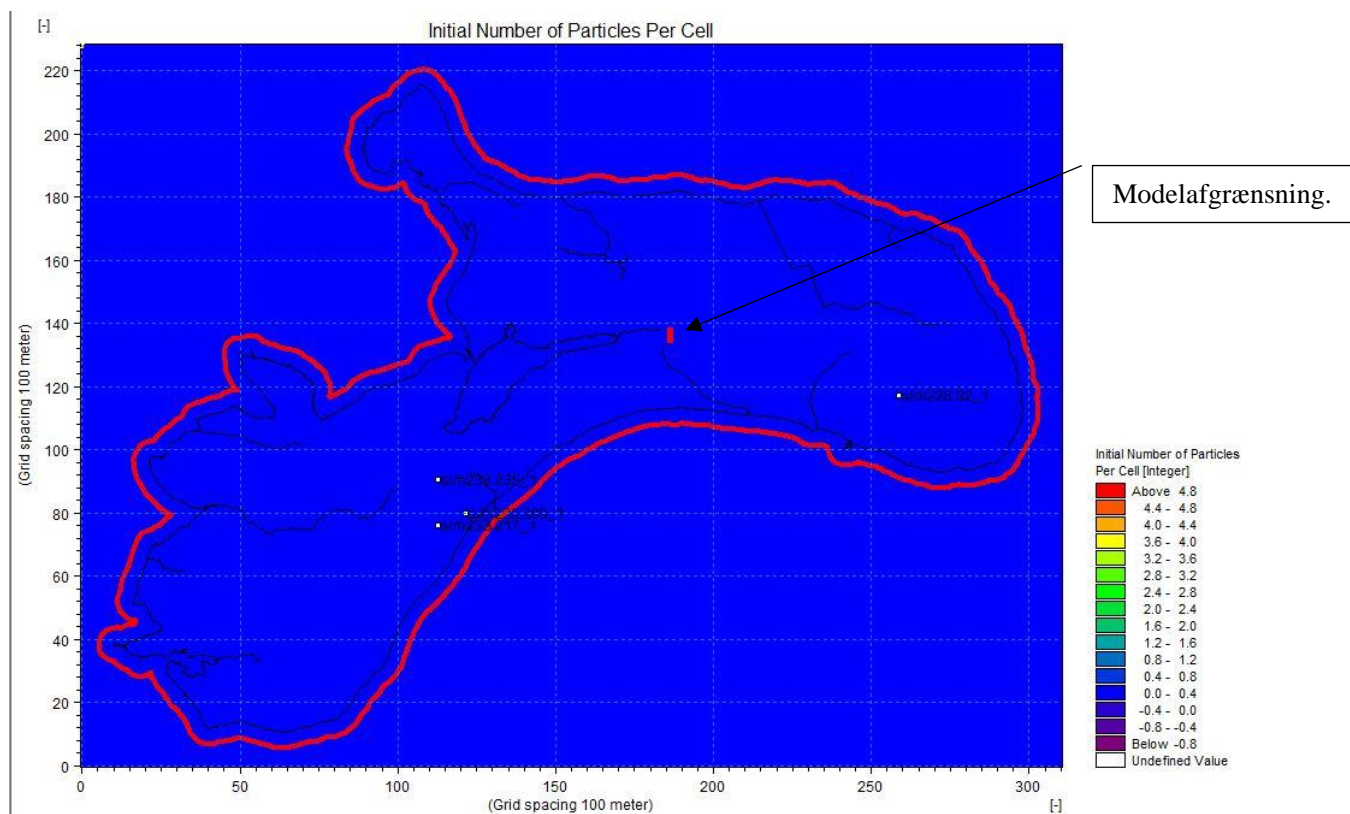
Der bliver i MIKE SHE udformet en partikelvandring på 50 år. På figur 17, bliver der visualiseret to vandforsyningsboringer, lilla farveprík er DGU 227.143, Turkis farveprík er DGU 227.368.



Figur 17, Kort over partiklernes nedsivning angivet i kote og deres vandring angivet i årsinterval

De resterne der fremgår på kortet, er partikler der nedsiver i jordlagene. Disse partikler er sorteret og der er krævet, at der kun bliver fremvist de partikler, der er i en kote dybde af mindst -39 m, hvoraf den dybeste beliggende partikel er vurderet til at befinde sig i en kote af -46,9 m for det pågældende område. Der er ligeledes påsat linjer på kortet. Disse linjer er medvirkende til at visualisere, om det er indenfor en bestemt tidsperiode, at de er nedsivet til en bestemt kote værdi. De gule linjer er gældende for 1-10 år, de gulorange 10-20 år, orange er for 20-27,6 år, rødorange er gældende for 27,6 – 34,5 år, og den røde er gældende for 27,6 - 42,4 år. De grønne partikler er nedsivet til en kote dybde imellem 39-40 m, de gule er nedsivet til en kote dybde imellem 40-41 m, de orange er nedsivet til en kote dybde imellem 41-43 m og de røde er nedsivet til en kote dybde imellem 43-46 m.

Årsagen til at der ikke gælder de samme nedsvivninger som ved indvindingsoplandet, er fordi området er blevet bestemt ved at markere et udvalgt område. Partikelstrømmen bestemmes af MIKE SHE modellen baseret på opsætningen i forhold til afgrænsningen, som er markeret med rødt på figur 18.



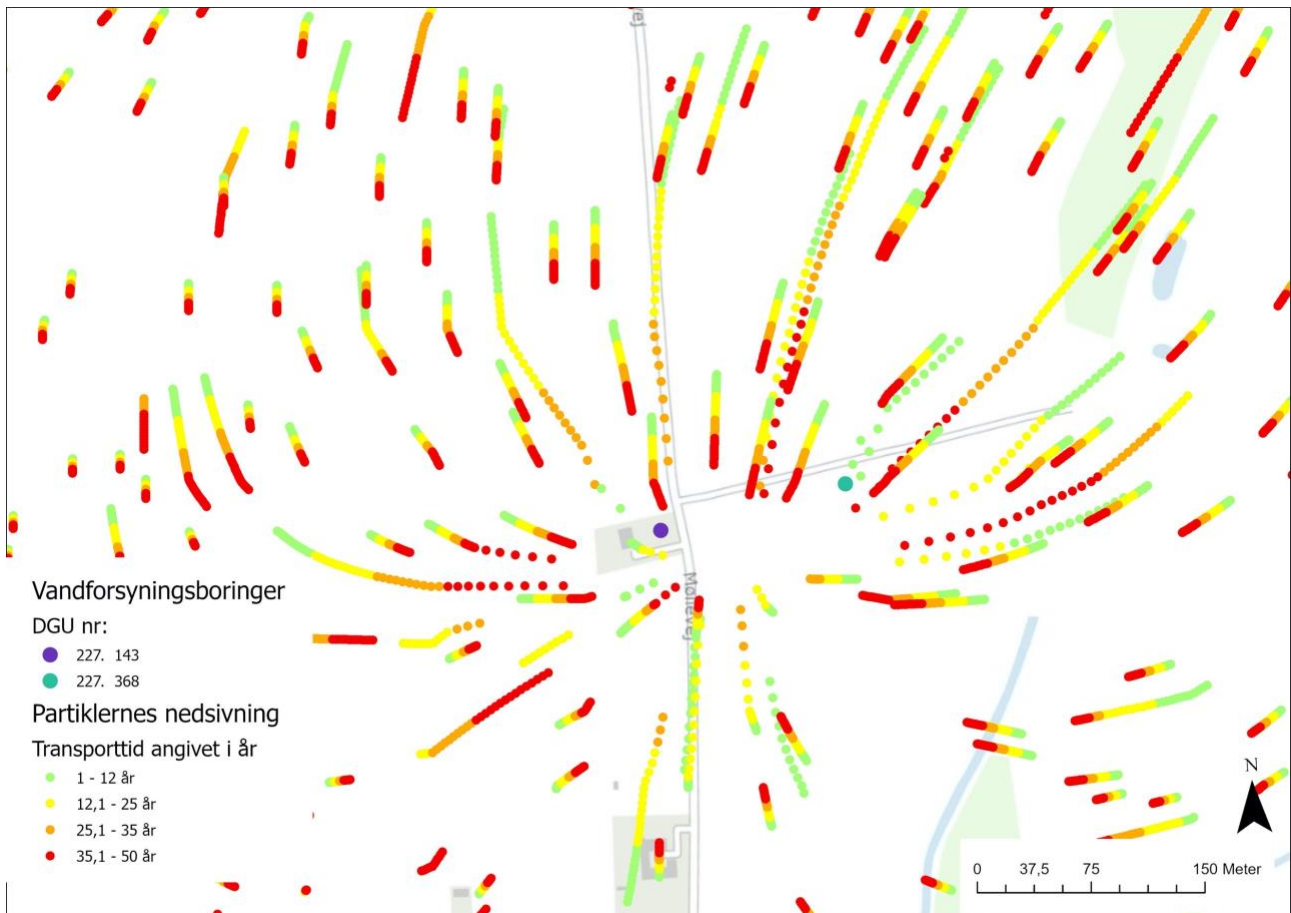
Figur 18 , Modelafgrænsning af partikelvandring

Derfor gælder de samme værdier for indvindingsoplandet ikke. Dette er grundet, at der nødvendigvis ikke er lagt de samme partikler for partikelvandringen, som for indvindingsoplandet. Derfor vil der blive set forskellighed af værdier for indvindingsoplandet og partikelvandringen.



Figur 19 Partikler sorteret efter kote - 39 m. Modellen er baseret på 50 årshændelse.

På figur 19, bliver der visualiseret partikler der nedsiver mere end til kote -39 m. Partiklerne i denne dybde er særligt spændende for det pågældende område, idet det er der borerne indvinder fra. Der ses en tendens til, at der nogle af partiklerne kommer fra dybereliggende vandpartikler, som bliver oppumpet fra boringen. Med undtagelse af den lille farveprik, som visualiserede DGU. 227.143, hvor der ved siden af ses en rød partikel, som visualiserer en kote dybde i mellem -43 til -46.



Figur 20, Kort af transporttid af partiklerne. Er baseret på partikler der minimum når -30 m i kote.

På figur 20, viser kortet partiklernes transporttid angivet efter år. Der fremgår en tendens på kortet, hvor partiklerne starter fra 1 år og slutter på 50 år. Dette er et interessant kort at studere, da det viser at partiklerne strømmer mod de to boringer. Men hvis vi ser nærmere på figur 19, viser kortet at nogle af partiklerne allerede er nedsivet langt dybere, men muligvis indvundet til boringer grundet oppumpningerne og derfor stiger i koten.

Som følge af resultatet af partikelvandringen foretaget i MIKE SHE, viser resultatet, at der findes en række partikelvandring, som ligger indenfor IOL, men krydser V2. Det fremgår af modellen og resultaterne, at der er en givet mulighed for hurtig nedsivning i det pågældende område ved at de når en kote, hvor boringerne indvinder fra. Ligeledes ses der, at transporttiden til disse dybder, ikke vurderes som værende umulige, idet at de fremgår af modellens beregninger.

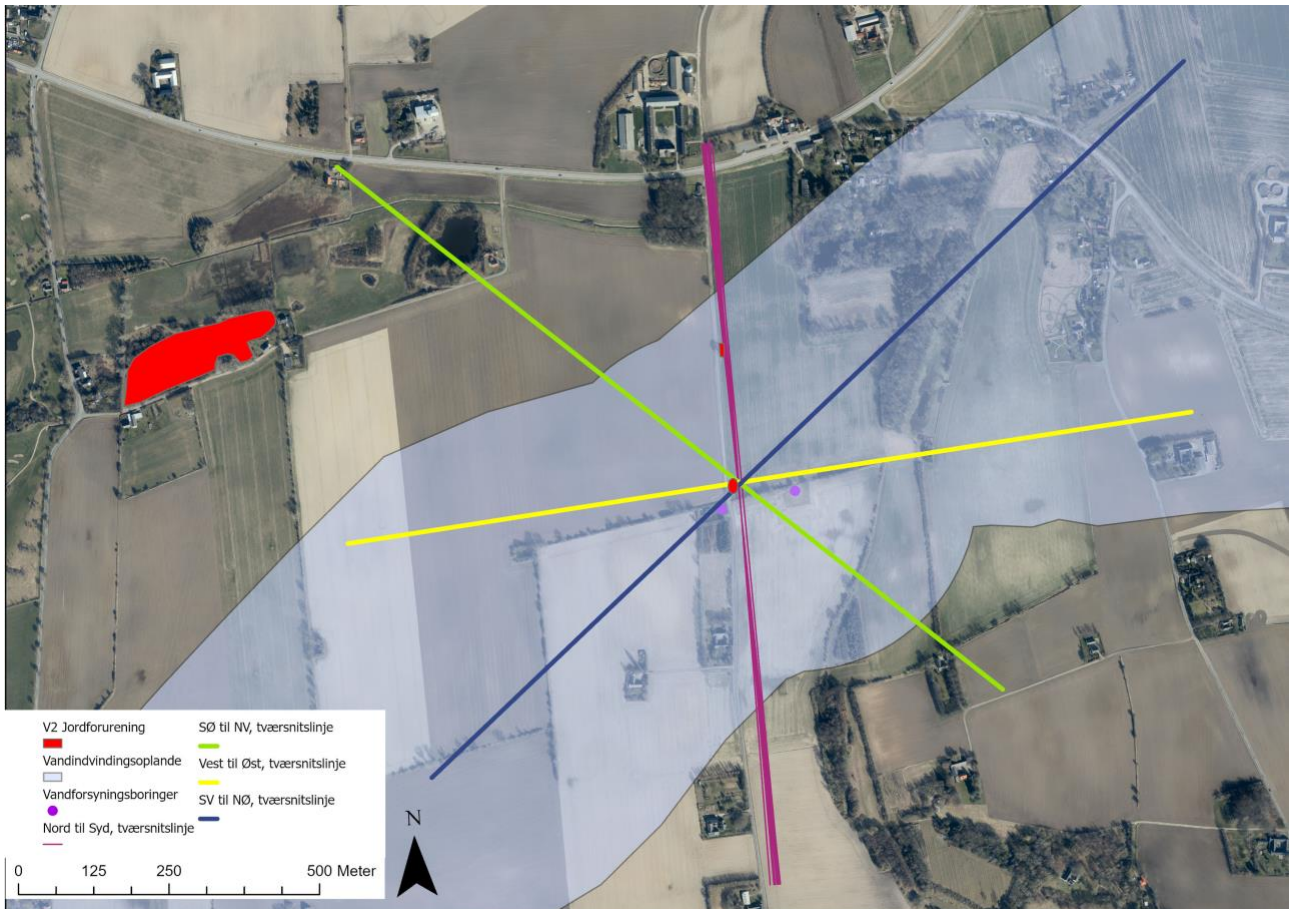
6.3 Tværsnit af jordlag og partikler.

For at danne grundlag for tværsnittet, bliver der benyttet datasættet, FOHM, som er hentet fra GEUS – Nationale boringsdata (GEUS, 6, set 2023).

Lagene er defineret fra bunden af laget over, til toppen af laget nedenfor det angivet lag.

Dette betyder, at bunden af toplaget, som er defineret til at være de første 2 meter, vil overgå i bunden til kvartær lerlag 1. Dette lag er defineret til at strække sig til toppen af det underliggende kvartær sandlag 1 mv. (Stisen, Ondracek, Troldborg, Schneider, & John van Til, 2019, s. 21)

Heraf bliver der defineret de forskellige kortlagte jordlag. Disse bliver visualiseret som en profile graph i ArcGIS pro. På disse profiler ses der en ændring i lagtykkelsen. I disse ses der nogle geologiske lag, hvorpå det kunne antages, at disse er kortlagt efter en estimering af jordtype. Dette kan derfor give anledning til at overveje, om det kan være indskudte lag af skrivekridt baseret på istiden, og måden hvorpå den blev trukket frem og tilbage på over Møn. Derudover kan nogle af lagene være overestimeret, og derfor kan dette give anledning til at overveje, om det kunne være større sandlag i det pågældende område.



Figur 21, Tværslitslinjer, bufferzone på 50 meter.

På figur 21, bliver det illustreret hvordan tværslitslinjerne er trukket over området med boringer og V2 jordforurenings området. Linjerne har en buffer zone på 50 meter, og er trukket over det kortlagte indvindingsoplande. Linjerne er trukket som angivet i legenden og derefter merget i ArcGIS pro med rasterlagene af de kortlagte jordlag, som er udtrukket fra GEUS FOHM kort. Jordkortslagene er udtrukket som raster, hvoraf der i ArcGIS pro er foretaget en "define projection", som muliggør at benyttes Z faktoren. Dernæst er der foretaget en "interpolate", hvorfra lagene derefter er blevet "merget". Efter denne databearbejdelse er der udtrukket en "profile graph" som gør brug af de optrukne linjer og jordlagstyperne, som befinder sig indenfor en radius af 50 m. I udarbejdelsen af "profile graph", er der taget afsæt i lavest Z værdi. X akse på graferne angiver længden i meter på linjerne, hvor Y angiver dybden af jordlagene i kote, (DVR90).

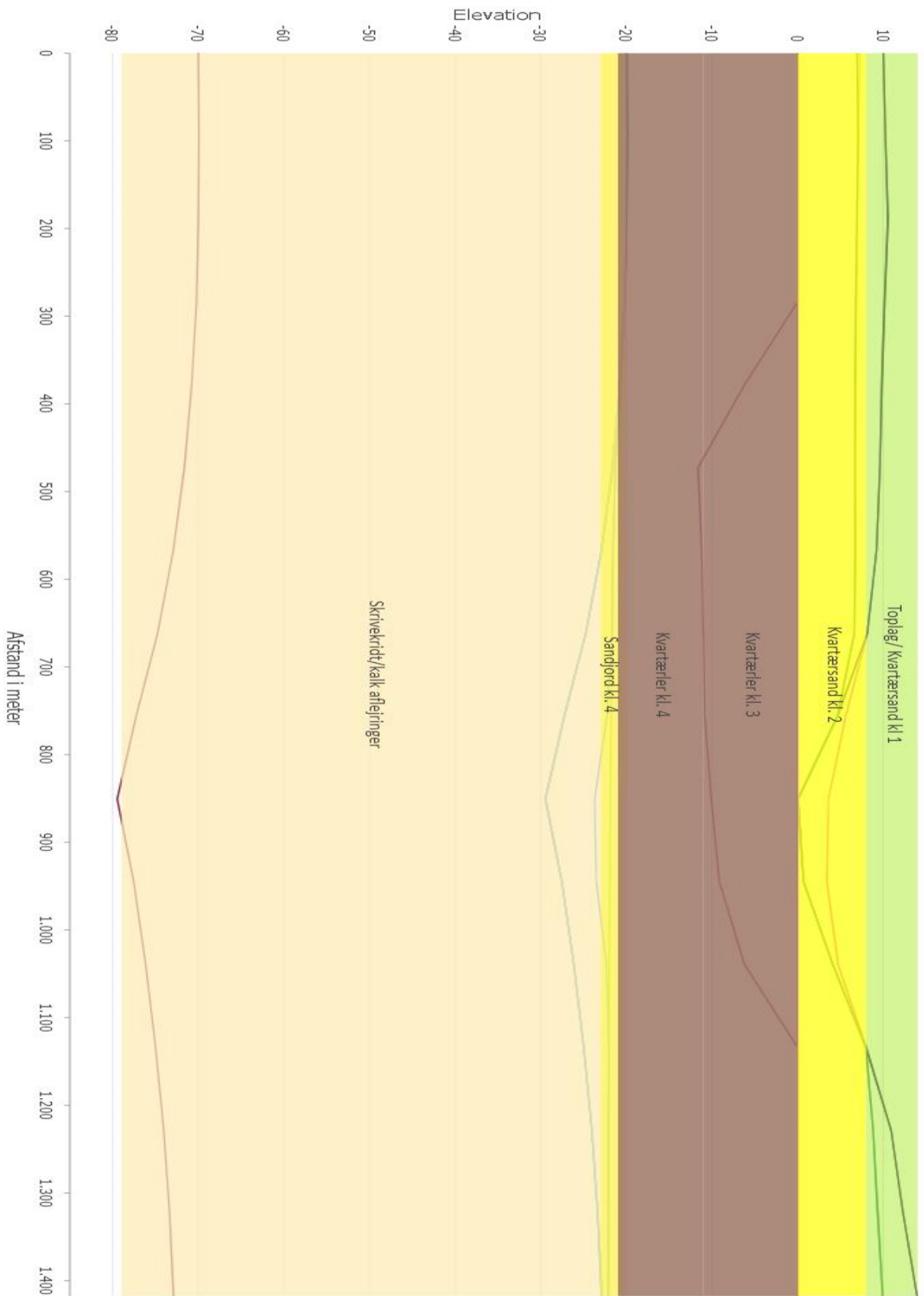
Ordforklaring til tværsnitgraf

Tabel 6

JORDKLASSIFICERING	KATEGORI (se afsnit 5.2.1)
Kvartærler kl (1,2,3,4,5)	KL (1,2,3,4,5)
Kvartærsand/sandjord kl (1,2,3,4)	KS (1,2,3,4)
Kalkaflejring	PK
Skrivekridt	SK

På de tværsnitgraferne er der beskrevet, hvilken type jordlag tværsnittet indeholder på den udvalgte strækning. Hovedprincippet er at se udbredelsen af lerjorde, der gør sig gældende da de anses for at være beskyttende for grundvandet der indvindes fra. Der kan ses en yderligere forklaring til de forskellige jordlag i afsnit 5.2.1, figur 11. På tabel 6, bliver der kort opridset hvad der er gældende for beskrivelserne på tværsnitgraferne.

Tværsnit, Vest til Øst



Tværsnitgraf 1, Tværsnit af jordlagene, set fra vest til øst.

Tværsnitgraf 1, skal læses at 0 m er starten i vest, som trækkes videre, hvor den slutter ved 1400 m i øst. Tværsnitslinje fremgår på figur 21.

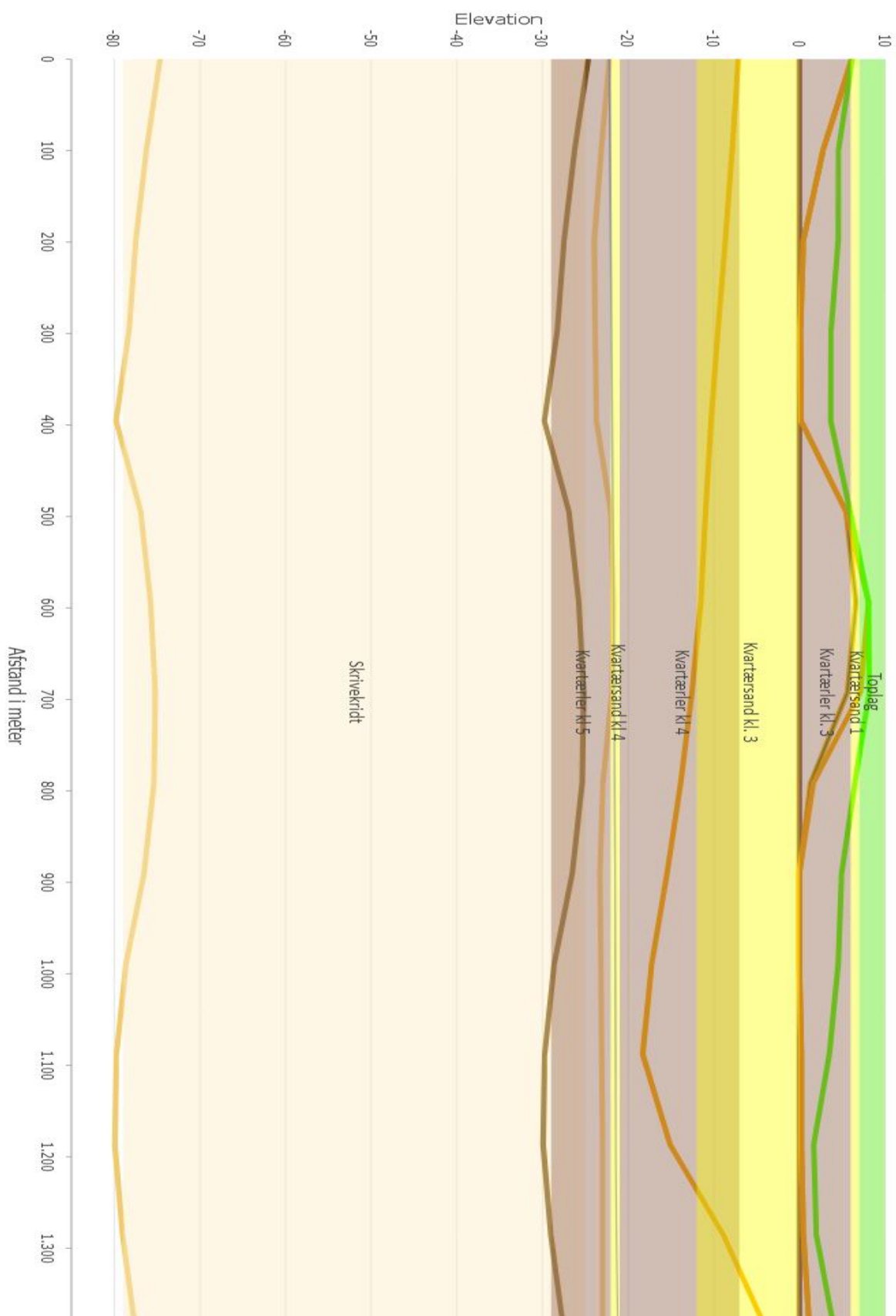
På tværsnit graf 1, ses der, at der er kortlagt et 20 m omfangsrigt kl. 3 og 4, som er udtryk for kvartærler og medvirker til god grundvandbeskyttelse. Overordnet vurderes det, at området på den strækning er godt beskyttet, set i henhold til sandjord.

Linjerne der fremgår, er bunden af det overstående lag. Skrivekridt og kalkaflejringer overgår til kvartærsand kl 4 ved -23 m i kote, hvoraf kvartærler kl 4 begynder ved -21 og fremtil 0. Dog med undtagelse imellem afstanden 300 m til 1100 m, hvor der er vurderet at der befinder sig et kvartærler kl 3 jordlag.

Der ses en estimeret sandjord, som er beliggende imellem skrivekridt/kalkaflejringerne og kl 4 kvartærler.

Dette jordlag af sand, trækker dog tilbøjeligvis længere ned imellem afstand 500 m og 1200 m. Hvilket kan indikere en sandlomme, i det pågældende område. Hvis der måles ind på kortet, figur 20, kan det formodes, at sandlommen ligger overvejende tæt på boringerne.

Tværsnit, SØ til NV



Tværsnitgraf 2, Tværsnit af jordlagene, set fra Sydøst til Nordvest.

På tværsnitgrafen 2, som er trukket fra sydøst, som starter i 0 m til nordvest, hvor den slutter ved 1300 m.

Tværsnitlinjen kan ses på figur 21. Der ses en sænkning i de øverste lag på afstanden mellem 100m og 500m, som visualisere søen, som ses på figur 21.

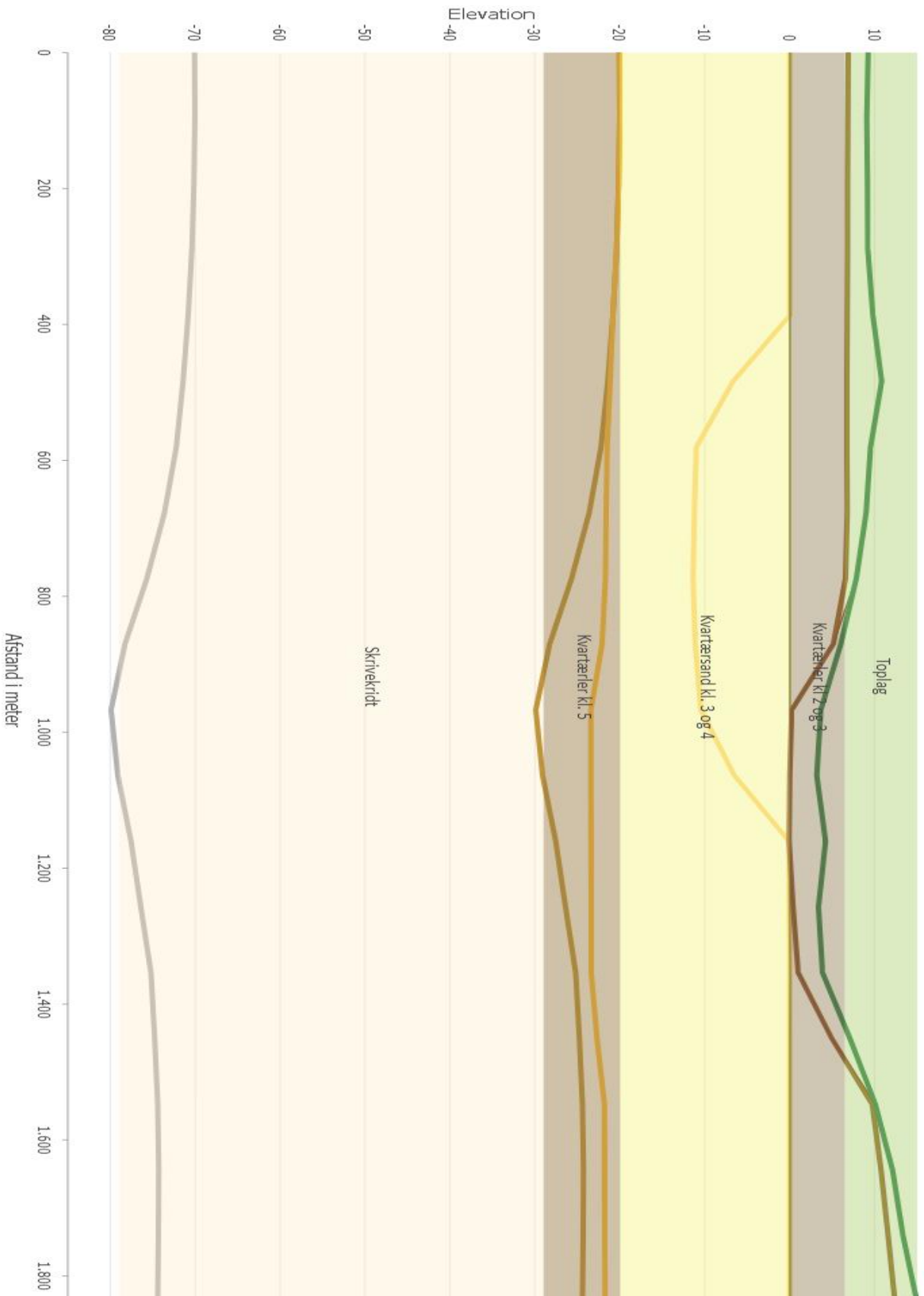
Der ses en større differentiering af jordlagene. Der er en bred udbredelse af kvartærsand - et dybereliggende magasin af kl. 3, som gør sig gældende for området.

Dybden, af kvartærler kl 4, er imellem afstanden 800 m og 1200 m, hvor den falder og bliver heraf et spørgsmål, om det er overestimeret og burde overgå som sandlag

Dette tværsnits jordlag visualiserer det bølgende landskab, som er skabt på baggrund af istiden (se afsnit 4.2.1).

Dette medvirker også at der kan formodes, at jordlagene ligger meget komplekst i det pågældende område for tværsnitlinjen. Hvoraf resultatet viser, at jordlagene ligger noget komprimeret, og at der kan være en tilbøjelighed til, at lerjorden kan muligvis være indskudte i sandlagene.

Tværsnit SV til NØ.



Tværsnitgraf 3, Tværsnit af jordlagene, set fra Sydvest til Nordøst.

På tværsnitgraf 3, begynder grafen i SV ved 0 m og slutter i NØ ved 1800 m. hvoraf tværsnitlinjen fremgår på figur 21.

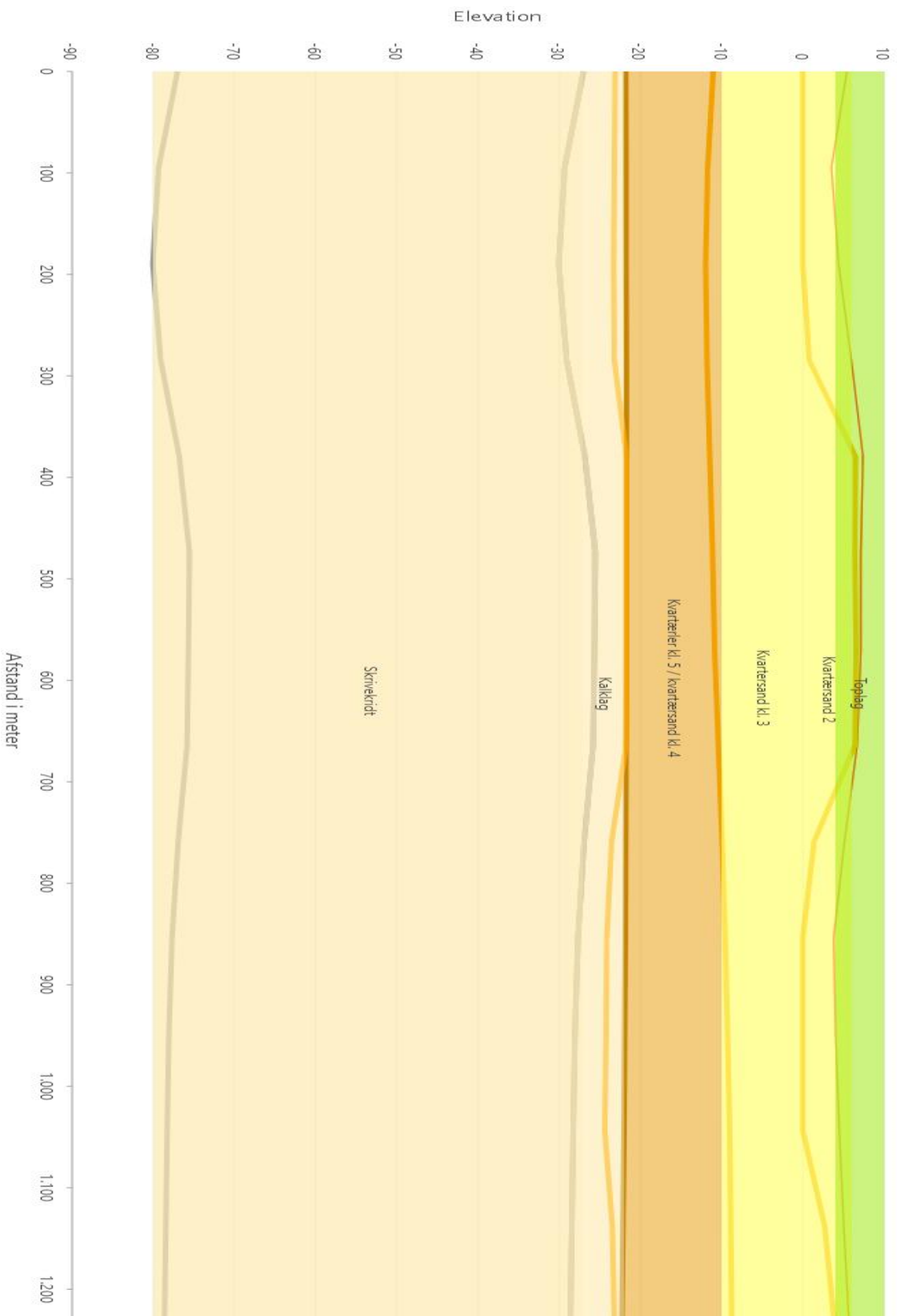
Tværsnitgraf 3, visualisere ligeledes områder med et sandholdigt magasin, som udgør i omegnen af 20 meter i dybde. Hvorimod der ses et kvartærler af kl 5, på kun 10 meter på sit dybeste, og 5 meter på det mindste.

Der vil igen kunne overvejes om de i omegnen af 5 meter i dybden er blevet overestimeret og kan overgå til sandjord, eller opsprækket kalklag.

Der ses desuden, at ved afstanden 800 m til 1400 m, at toplaget helt eller delvist eliminerer det pågældende kvartærler lag af kl 2 og kl 3.

Hvilket leder frem til, at der skabes en passage direkte til et dybereliggende sandmagasin, hvoraf at det beskyttende lerlag kun udgør 10m i dybden, i det pågældende område.

Tværsnit, Nord til Syd



Tværsnitgraf 4, Tværsnit af jordlagene, set fra Nord til Syd

Tværsnitgraf 4, er trukket fra nord, som er ved 0 m og slutter i syd, som er ved 1200 m.

Tværsnitslinjen fremgår på figur 21.

På tværsnitgraf 4, ses der et overvejende sandjordslag fra ca. 5 m til -10 m i kote. Imellem -10 m og -20 m i kote er der fund af en blanding af både sand og lerjord. Hvilket kan henledes til, at der muligvis forelægger 25 m sandjord i det pågældende område.

Dette betyder, at der vil opstå en hurtigere nedsivning af vandpartikler, idet sandjord da det har en lav porøsitet, men en høj hydraulisk ledningsevne. Området herved, kan forventes at udvaske pesticid hurtigere.

Samtidig ligger kalken/skrivekridtaflejringerne lige knapt 10 m højere oppe i kote, end det der er gældende for de andre tværsnits grafer.

Som det fremgår på de overstående Tværsnitsprofiler over jordlagene i det pågældende område ses der, at der er estimeret er der en differential forskel i jordlagene og deres estimeret dybde.

Der ses en blanding af kvartærler kl 3 og et magasin, sandjord kl 4, i dybden af -10, som spænder op til et kalklag, dybden -20, før skrivekridt laget i dybden -25.

Dette kan også medvirke til, at der ses en hurtigere nedsivning, end modellen foreskriver, for det pågældende område. Samtidig bør der overvejes om værdien, for den hydrauliske ledningsevne i blandede jordlag, kan udformes helt optimalt efter, hvad der gældende i de naturligske processer i jordlaget.

6.4 Boringernes tværsnit.

Råbylille boringerne er analyseret for de forskellige jordlag, der er fundet ved analyserne af jordtype ved deres etablering. På figur 22 frem går en rødlinje samt borer DGU 227.143 og 227.368. Linjen er en tværsnitlinje, som kommer til udtryk af tværsnitsprofilen af borerne på figur 23 og 24.

Under den rødoptrukken linje på figur 22, er der en pil. Pilen markerer hvilken retning som linje er trukket fra, samt hvordan de forskellige jordlag er kortlagt på det pågældende område for Råbylille borerne.

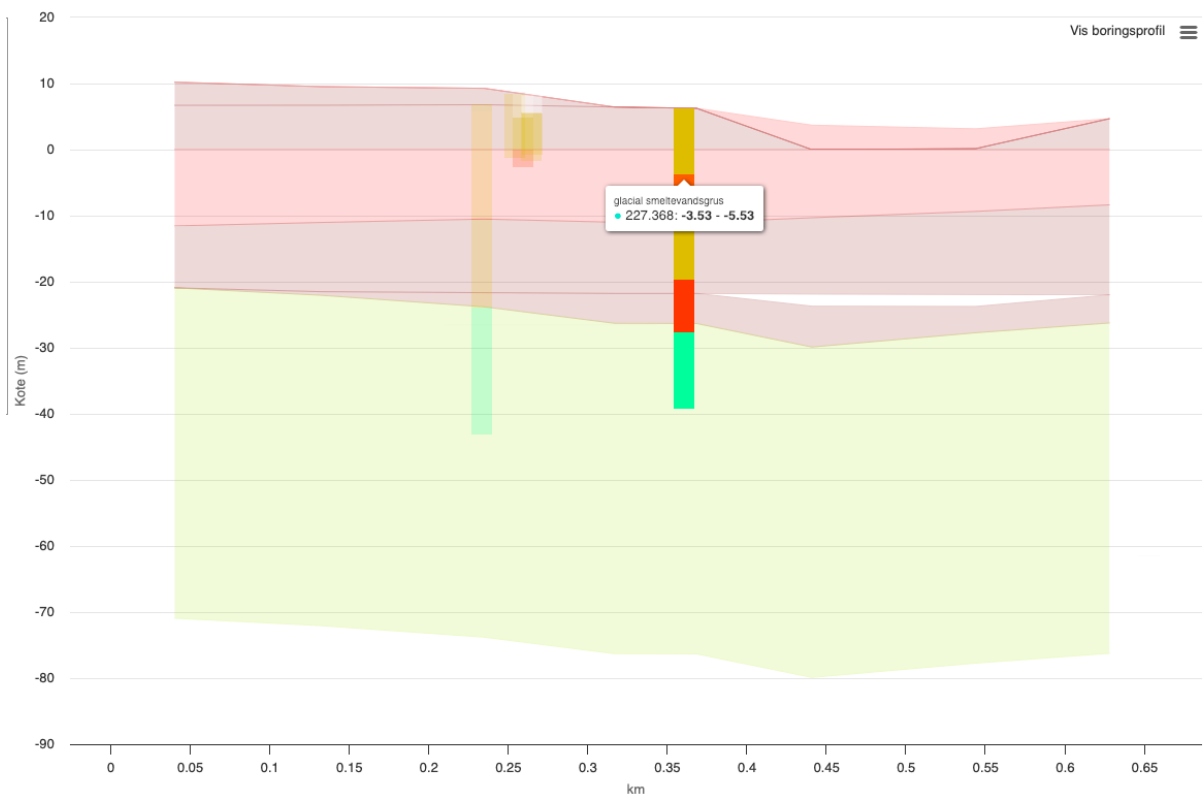


Figur 22, Tværsnitlinje for borerne tværsnit

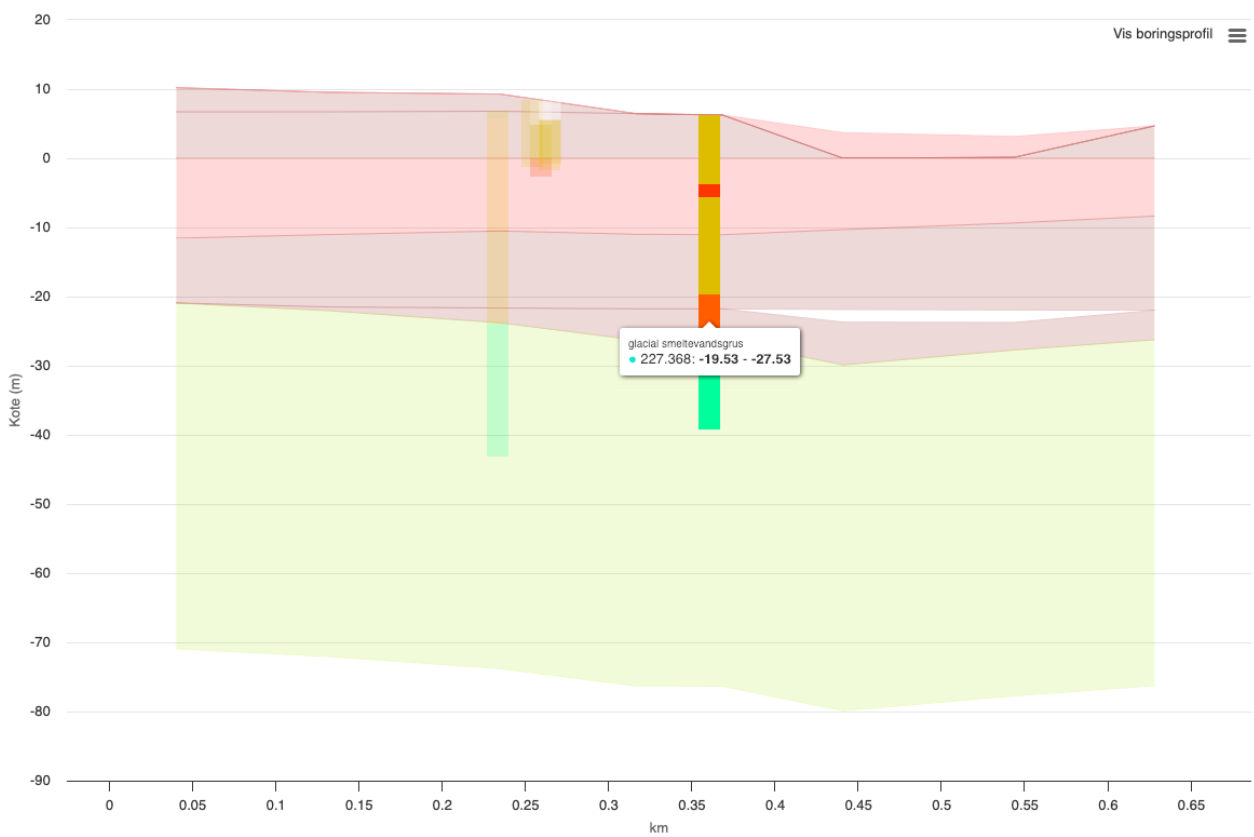
DGU: 227.143		DGU: 227.368	
JORDTYPE	DYBDE I DVR90	JORDTYPE	DYBDE I DVR90
Ler	7-5,9	Moræneler	6,47- -3,53
Smeltevandsler	5,9-0,1	Smeltevandsgrus	-3,53 - -5,53
Moræneler	0,1- -10,3	Moræneler	-5,53 - -19,53
Smeltevandssand	-10,3 - -10,5	Smeltevandsgrus	-19,53 - -27,53
Moræneler	-10,5 - -23,8	Skrivekridt	-27,53 - -39,03
Skrivekridt	-23,8 - -43		

Tabel 7, Jordlagsdybder, (GEUS, 3, Set 2023) (GEUS, 4, Set 2023).

I tabel 12, ses en redegørelse af jordlagenes dybde for borerne, som er afmålt under etableringen af dem. Der ses en væsentlig faktor for nedsivning, hvilket er smeltevandsgrus, som er beliggende i DGU 227.368. Dette ses ligeledes på tværsnitsprofil på figur 23, hvor der her visualiseres smeltevandsgruset for den øvre del.



Figur 23, Tværsnit af DGU 227.368, smeltevandsgrus øvre lag, hentet fra GEUS.



Figur 24, Tværsnit af DGU 227.368, smeltevandsgrus nedre lag.

I boring DGU 227.368, er der en væsentlig forskel fra den kortlagte geologi og den kortlagte geologiske analyser over jordtyper i det pågældende område. Allerede fra -3,53 til -5,53, (se figur 23) er den udtagne prøve fra boringen vurderet til at være smeltevandsgrus, hvorimod jordlaget er vurderet til at være kvartærsand kl. 3.

Imellem -19,53 til -27,53, (se figur 24) i den pågældende boring, fremgik det af jordprøverne fra boringen, at der var fund af smeltevandsgrus, men i det geologiske kortlagte jordlag er det estimeret til at være kvartærler af kl. 5. Der er en væsentlig forskel i den hydrauliske ledningsevne og en mulighed for et såkaldt geologisk vindue, som vil medvirke til, at pesticider mm. vil kunne nedsive hurtigere.

DGU 227.143 har umiddelbart samme geologi, som det estimeret kortlagte jordlag, men en væsentlig faktor, som ikke bliver indregnet i forbindelse med Region Sjælland vurdering (se afsnit 5.6), som viser DPC over grænseværdien, må erkendes at det er beliggende i samme indvindingsområde som DGU 227.368 og dermed i samme risikoområde, idet det må erkendes at der må være et geologisk vindue, som muliggør at nedsivningen sker hurtigere på baggrund af fund af smeltevandsgrus.

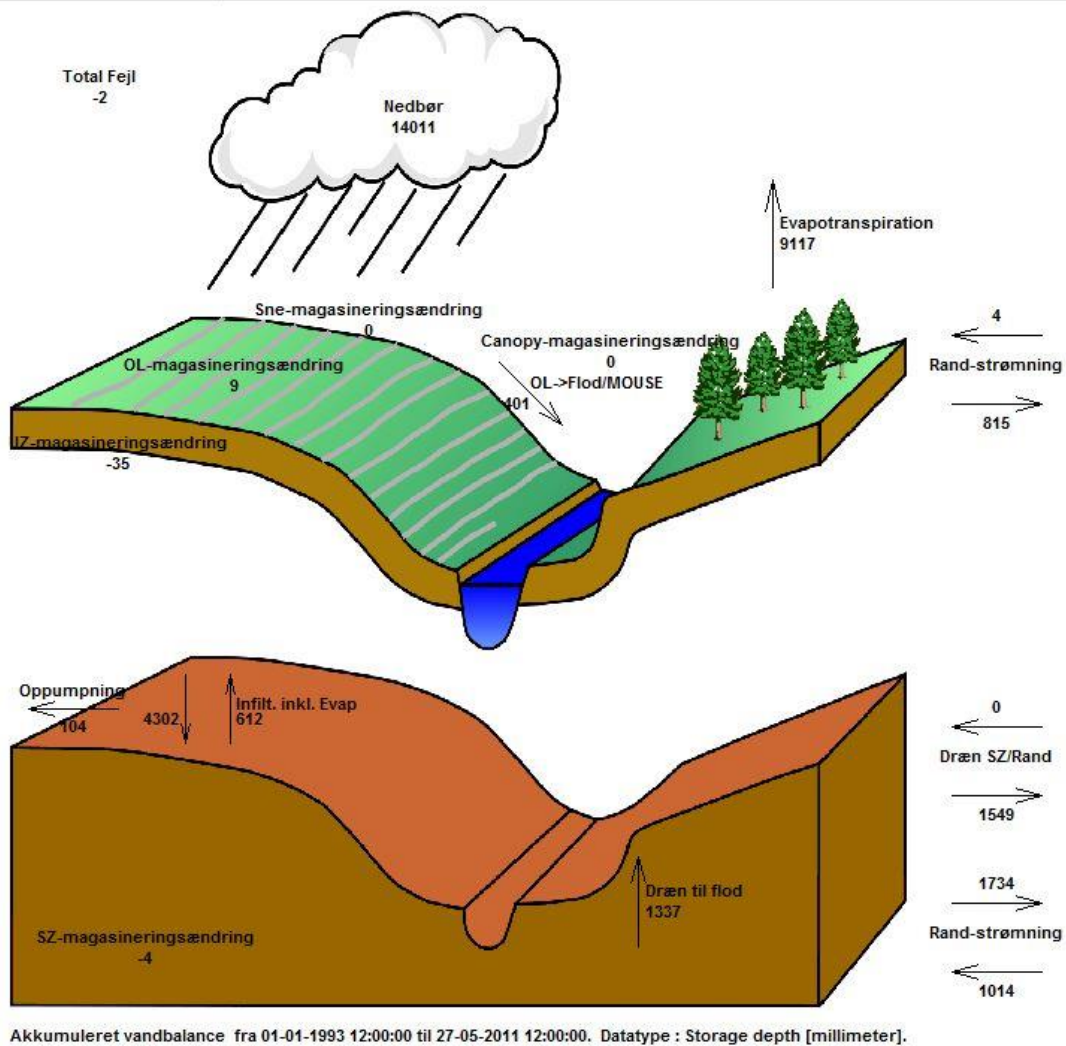
6.4.1 Geologisk vindue.

Baseret på de kortlagte jordklassificeringer og boringernes klassificeringer ses der, at der findes små geologiske vinduer, heraf sandmagasiner, i det pågældende område. Der er viden om, at der findes opsprækket kalkflader i området, hvilket også har en indvirkning på nedsivning. Det kan tilskrives, at set i sammenhold med den kemiske historik af fund af pesticider i gammelt vand i boringerne, må den oplagte mulighed til fund af pesticid bestå i, at nedsivningen sker langt hurtigere, grundet den meget fragmenterede jordlagsopdeling som blev udformet tilbage i istiden.

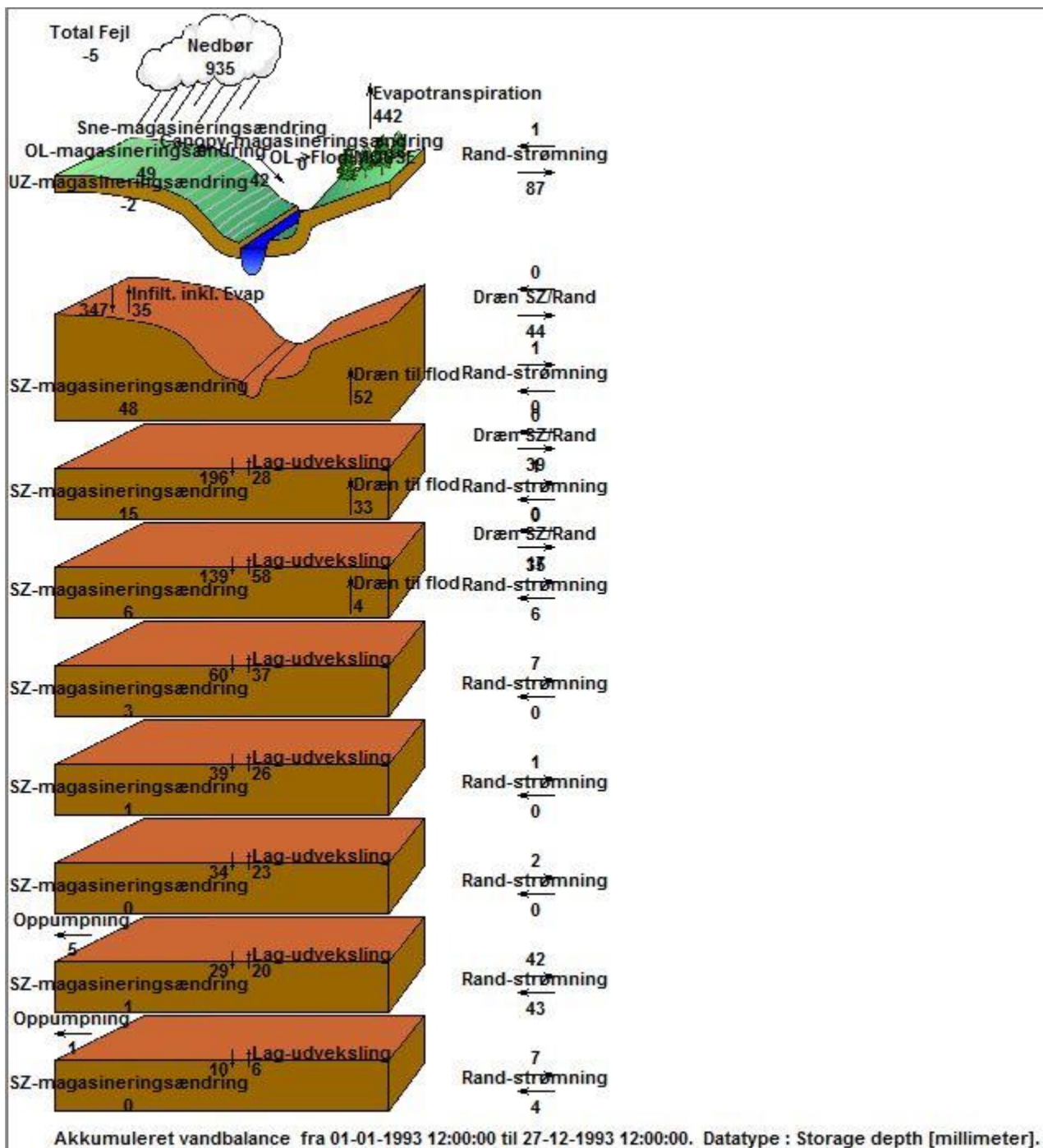
6.5 Forventet tid for udvaskning af DPC.

Med afsæt i en vandbalance, der er udtrukket fra MIKE SHE modellen (se figur 25). Det fremgår af modellen, at der er estimeret 14.011 mm/m² af nedbør i perioden 1/1-1993 til 27/05-2011.

Dette er gældende for hel Møn. Samtidig vurderes der, at der vil nedsive 4302 mm/m² for den samlede årrække. 1 mm regn, er svarende til 1 liter regn pr m² (Hansen, 2015). Møn er 218 km², hvilket er svarende til 218.000.000 m² (Winter, 2017). Dette giver 9.37.836.000 m³ vand, for den samlede årrækken. Vandindvindingsoplandet, som er vurderet af Miljøstyrelsen, er estimeret til at være 4,86 km³ – hvilket omregnet til m² er 4.860.000 m². Hvilket betyder, at der nedsiver ca. 20.898.000 m³ regn indenfor indvindingsoplandet, til jordlagene i løbet af 18 år. Det må dog pointeres, at noget af det vand der nedsiver, også bliver drænet til vandløb og søer mm.



Figur 25, Egen produktion, udtrukket fra MIKE SHE modellen.



Figur 26, Lag for lag vandbalance, estimation for et år.

På figur 26 fremgår det, hvordan hvert lag får tilført x antal mm vand pr år.

Modellen udregner, at der falder i omegnen af 935 mm/m² årligt. Hvor det er estimeret til, at der nedsiver 347 mm/m² årligt til jordlagene.

Dette kan videre beregnes til, at hvis vandindvindingsoplandet er 4.860.000 m², vil der nedsive 4.544.100 m³ vand årligt for området, baseret på en tilførsel af 935 mm/m² årligt.

Hvorimod jordlagene modtager 347 l/m^2 , hvilket er $1.686.420.000 \text{ l}$ for området. Dette giver at der optages $1.686.420 \text{ m}^3/\text{årligt}$ til jordlagene.

Imidlertid er det ikke alt vand der når grundvandsdybden, og de interessante lag er de to sidste lag, hvoraf det på figur 26, er vurderet at modtage henholdsvis 29 mm/m^2 og 10 mm/m^2 , som tilsammen udgør 39 mm/m^2 , svarende til 39 l/m^2 .

Dette er beregnet til $189.540.000 \text{ l}$ for området, som svarer til 189.540 m^3 vand til de to sidste jordlag. Disse jordlag er defineret, som skrivekridt og lerjord, der vil medvirke til dannelse af grundvandet.

Der indvindes 21.600 m^3 pr. boring i Råbylille vandværk, dette giver 43.200 m^3 årligt for borerne DGU 227.143 og DGU 227.368. Hvilket betyder at borerne udnytter $22,79 \%$ af den årlige tilførte vandkapacitet for magasinet.

I forhold til en partikelvandring af 400 år, bliver der i modellens start proces udlagt 4100 partikler (se bilag 5).

Efter 100 år er der 3700 partikler tilbage, hvilket betyder, at der er fjernet 400 partikler.
(4 i gennemsnit)

Efter 200 år er der 3644 partikler tilbage, der er fjernet 456 partikler.
(2,28 i gennemsnit)

Efter 300 år er der 3604 partikler tilbage, der er fjernet 496 partikler.
(1,6 i gennemsnit)

Efter 400 år er der 3583 partikler tilbage, der er fjernet 517 partikler.
(1,3 i gennemsnit)

Der bliver i gennemsnit fjernet $2,27$ partikler årligt, hvis der tages gennemsnittet for hvert 100 år.

Der ses en tendens til at fjernelsen af partiklerne bliver sænket efter 300 år, hvor det går mere langsomt. Gennemsnittet for de sidste 200 år kan beregnes til at der i gennemsnit bliver fjernet 1,5 partikler pr. år.

Hvis der tages afsæt i at der kun bliver fjernet 1,5 partikel pr. år - vil dette betyde, at der efter 500 år vil være fjernet 775,5 partikler. Dette betyder at der forsat mangler 3.324,5 partikler.

Dette kan beregnes til, at hvis alle partikler skal fjernes kræver dette imidlertid, baseret på modellen, 2.733 år at fjerne alle 4100 partikler, teoretisk set.

Hvis alle 4100 partikler skulle have været fjernet i det pågældende område ved Råbylille vandværk, baseret på MIKE SHE modellen, skulle der gennemsnit pr. år fjernes 8,2 partikler igennem 500 år.

Hvis vi derimod sænker formodningen af partikler - med afsæt i, at der i gennemsnit bliver fjernet 1,5 partikel pr. år og nedsætter dette til 1000 partikler, vil det tage i omegnen af 666,6 år før det er fjernet fra grundvandet ved Råbylille vandværk.

Der er imidlertid ikke taget hensyn til den kemiske omsætningstid for Chloridazon til DPC i modellen, og derfor er det udelukkende baseret på, hvor hurtigt en nedsivning partiklerne har.

Baseret på overstående beregninger kan det vurderes, at der indvindes 22,79 % af magasinet beregnede kapacitet, hvoraf der teoretisk bliver tilført samme mængde vand årligt af 189.540 m³. Sidste partikel, der forventes oppumpet fra magasinet er efter 2.733 år, hvor alle 4100 partikler vil være fjernet. Eller hvis der tages afsæt i 1000 partikler, vil det tage i omegnen af 666,6 år.

Det viser derfor, at en udvaskningsproces imidlertid er meget kompleks. Når først forureningen er påbegyndt nedsivningen og infiltrationen i magasinet, vil det tage mange år førend stoffet ikke vil kunne findes i magasinet længere. Der tages dog ikke udgangspunkt i, hvor stor en mængde der vil kunne oppumpes årligt af DPC, da den kemiske omsætning afhænger af de mikro og makroelle processer ikke er medindregnet for DPC.

Men ikke desto mindre, må det forventes, at der er lange udsigter til pesticidfrit grundvand, som afhænger af de geologiske jordlag og deres vandføring.

6.6 Delkonklusion

Igennem dette afsnit er der blevet kortlagt indvindingsoplande for borerne DGU 227.143 og DGU 227.368. Disse fremviser, at der er mulighed for, at de indvinder partikler, som er nedsivet igennem et V2 jordforureningsområde, som er kortlagt af Region Sjælland. Samtidig viser partikelvandringen, at der er reelt muligheder for, at nogle af partiklerne kan nedsive til en dybde imellem -42 m og -86 m i kote. Tværsnitsgraferne af jordlagene sammenholdt med boringernes tværnsnit identificerer, at der er områder, som er kortlagt med anden jordklassifikation. Dette giver mulighed for at overveje de ”geologiske vinduer”, som medvirker til en hurtigere udvaskning end først antaget. Der ses samtidig igennem en beregning af vandbalance modellen i MIKE SHE, at der bliver tilført store mængder vand til magasinet, men samtidig viser partikelvandring på 500 år at der er endnu længere udsigter til, at forureningen med DPC kan forventes færdigudvasket fra jordlagene og oppumpet fra magasinet.

7. Diskussion

Der er mange diskussioner, som i dag påvirker det daglige arbejde i kommunalt regi, omhandlende håndtering og beskyttelsen af vores grundvandsmagasiner.

Heriblandt vandværker, som kontakter kommunen, eller kommunen kontakter vandværkerne, med henblik på der er fund af pesticider i vandværket, som overskrider grænseværdien.

Nok er der flere mulige løsninger på rensning med avanceret vandbehandling af råvandet, der oppumpes fra magasinerne. Kravet, før avanceret vandbehandling tillades, er at der først bores efter nye mulige steder, hvor det ikke antages at være fund af pesticider.

I forbindelse med dette kan de hydrologiske modeller benyttes, som en screening i forhold til vurdering af, hvor en ny boring kan etableres, eller hvor længe det må forventes, at den påvirkede boring vil indvinde pesticidet.

Partikelvandring igennem en model er derfor et oplagt valg, når der skal udpeges nye områder.

Dog med den væsentlige faktor, at der kan være risiko for, at området ikke er tilstrækkeligt kortlagt geologisk, men blot er baseret på antagelser af jordens forskellige lagtyper.

Kortlægningen af de geologiske lag, har en række afgørende faktorer for, hvor hurtigt det pågældende pesticid kan antages at nedsive til boringen, som har kontakt til grundvandsmagasinet.

7.1 Validitet af model og kortlægning af geologiske jordlag.

Hydrogeologiske modeller er væsentlige værktøjer, som medvirker til at forstå nedsivning af vand og kan medvirke til en forbedret forvaltning af grundvandet (Müller-Wohlfeil, Højberg, & Møller, 2014, s. 58).

De simulerer de komplekse vekselvirkninger mellem geologiske, hydrologiske og menneskeskabte faktorer, der påvirker grundvandets strømning, kvalitet og tilgængelighed (Müller-Wohlfeil, Højberg, & Møller, 2014, s. 57).

Efterhånden som vandknaphed, og efterspørgsel, fortsætter med at vokse, kan betydningen af nøjagtige samt effektive hydrologiske modeller i vandressourceforvaltningen, ikke overvurderes (Udenrigsministeriet, Miljøministeriet & Erhvervsministeriet, 2020, s. 4).

Hydrogeologiske modeller gør det muligt for forskere og vandforvaltere, at estimere hvor meget der kan indvindes fra magasinet, dette er styret af den hydraulisk ledningsevne, transmissivitet og lagringskoefficient, som er kritiske for at forstå grundvandsstrømning og tilgængeligheden (Mielby, Ditlefsen, & Olesen, 2009, s. 2).

Ved at simulere både naturlige (f.eks. nedbør, evapotranspiration) og menneskeskabte (f.eks. grundvandspumpning, ændringer i arealanvendelse) processer hjælper modellen med at kvantificere komponenterne i en vandbalance, samtidig også potentialet for magasinet. Det hjælper beslutningstagere med at skabe bæredygtige vandforvaltningsstrategier (Mielby, Ditlefsen, & Olesen, 2009, s. 15-17).

Når der arbejdes med modeller, særligt indenfor hydrologi, er det vigtigt at notere sig, at de er en forsimpning af de naturlige forhold. Der vil altid være forhold, som der ikke har kunne tages højde for (Müller-Wohlfeil, Højberg, & Møller, 2014, s. 59).

Derfor er nogle af delene i MIKE SHE modelopstillingen der er indstillet efter forsimpninger, samt antagelser, som vil påvirke resultatet (Müller-Wohlfeil, Højberg, & Møller, 2014, s. 59).

F.eks. vil vandets strømningshastighed blive estimeret, baseret på viden om den hydrauliske ledningsevne, men denne parametre kan nødvendigvis ikke estimeres præcis indenfor området. Derfor er det nødvendigt at kalibrere denne faktor undervejs (Müller-Wohlfeil, Højberg, & Møller, 2014, s. 59).

Samtidig kan det også anses for værende en udfordring at få de geologiske modeller til at passe overens med de hydrologiske modeller, idet de er opbygget af celler – rasterdata med værdier. Dette problematiserer det, da det kræver meget data, før de geologiske modeller kan knyttes hertil og ofte er resultatet, at der i stedet sker en udjævning af de naturgivet forhold (Müller-Wohlfeil, Højberg, & Møller, 2014, s. 59). Derfor er det af afgørende betydning, at kalibreringen indeholder flest mulige observationstyper, herunder data fra prøvepumpninger, pejlinger samt vandføringen (Müller-Wohlfeil, Højberg, & Møller, 2014, s. 60).

Imidlertid er der også en række usikkerheder fra den geologiske model. Kortlægningen af de geologiske lag kan have en række fejl eller mangler, hvor der derimod er indsat antagelse, som vil medvirke til en anden virkelighed. Samtidig kan modelområdets størrelse også have en indvirkning

på usikkerheden, idet der kan mangle ind og udstrømninger, som vil have en større betydning af vandbalancen generelt (Müller-Wohlfeil, Højberg, & Møller, 2014, s. 60).

Grundlæggende set vil modellerne vil altid kunne benyttes, som en screening. Modeller kan simulere potentielle forureningskilder, deres veje og deres indvirkning på sårbare grundvandsressourcer.

Hydrogeologiske modeller kan medvirke til at simulering af forskellige forvaltningsscenarier for at udforske konsekvenserne af politiske beslutninger, heriblandt vandtildeling, grænser for grundvandsudvinding og antagelse af brugen med overfladevand.

Dette betyder dog ikke, at de er ufejlbarlige og deres resultater bør overvejes og køres flere gange med kalibrerede værdier afhængig af fund (Müller-Wohlfeil, Højberg, & Møller, 2014, s. 60).

Hydrogeologiske modellers pålidelighed afhænger i høj grad af tilgængeligheden og nøjagtigheden af inputdata, såsom geologisk information, hydrologiske data og de menneskeskabte faktorer (Müller-Wohlfeil, Højberg, & Møller, 2014, s. 60).

Derfor skal der overvejes datahuller samt unøjagtigheder, som kan føre til modelusikkerhed og reduceret pålidelighed i forudsigtelse af grundvandsreaktioner.

Valget af passende modelkompleksitet må erkendes at være en fin balance. Alt for forsimplede modeller fanger muligvis ikke kritiske processer eller interaktioner, mens alt for komplekse modeller kan lide under usikkerheder og beregningsintensive beregninger (Müller-Wohlfeil, Højberg, & Møller, 2014, s. 60).

Det bør overvejes, at de hydrogeologiske modeller kan udvikles på flere rumlige og tidsmæssige skalaer (Pietrzak, 2021, s. 10), hvilket kan give problemer med at finde repræsentative parametre og kombinere data fra forskellige kilder (Müller-Wohlfeil, Højberg, & Møller, 2014, s. 59-60).

I forbindelse med den teknologiske udvikling indenfor geologisk kortlægning, vil denne kunne forbedre dataindsamlingsmetoderne, heriblandt med TTEM (Kallesøe, et al., 2018, s. 87). Dette burde kunne medvirke til at kunne, i nogle tilfælde, styrke modellernes pålidelighed og nøjagtighed.

I Danmark er geologien meget komplekst opbygget og giver derfor en række store udfordringer (Kallesøe, et al., 2018). Det vurderes, at den metoden TTEM, vil agere som et afgørende værktøj for at kunne kortlægge ned til 50 m i lagserien, hvorefter der vil kunne gives en mere detaljeret tolkning af geologien (Kallesøe, et al., 2018). Ligeledes er der SkyTEM, som er en metode, der vil være i stand til at kortlægge de 500 m af det øverste lag af jorden, heraf i 3 dimensioner (SkyTEM, set 2023). Fremtidens kortlægning afhænger af teknologien der bliver udviklet – og den afhænger af, hvem der betaler for kortlægningen den geologiske lagserie.

Det må pointeres at alle modeller, er i sig selv i naturen, forenklinger af virkeligheden og indeholder usikkerheder relateret til inputdata, modelstruktur og parametre. Det er generelt udfordrende at opnå pålidelige værdier af parametre, fordi modelforudsigelser hovedsageligt afhænger af kvaliteten og usikkerheden af inputdataene. Derfor er det nødvendigt at kombinere laboratorie- og modelleringsdata for at verificere rigtigheden af de modtagne transportparametre (Pietrzak, 2021, s. 10).

Dog pointerer (Enemark, Peeters, Mallants, & Batelaan, 2018), som har skrevet om de hydrogeologiske konceptuelle modelbygninger samt afprøvninger. *"Hydrogeological conceptual model building and testing: A review"*, hvori de påpeges to væsentlige tilgange til, hvordan konceptuelle modeller bliver anvendt, heraf konsensusmodeltilgangen og multimodeltilgangen (Enemark, Peeters, Mallants, & Batelaan, 2018, s. 310).

De fremlægger, at ved en konsensusmodel vil alle observation og viden heraf, som er tilgængeligt, integreres i modellen, hvorefter de mener, at dette giver en tillid (Enemark, Peeters, Mallants, & Batelaan, 2018, s. 310). De henviser til, at der er taget højde for modelusikkerheden i tilgangen, fordi kompleksiteten af modellen er øget og mener derfor, at en øget kompleksitet, medvirker til en effektiv konceptuel modelusikker der omformes til parameterusikkerhed, da der inkluderes i flere processer til modellen, som kan medvirke til en øgning af opløsningen i tid og rum (Enemark, Peeters, Mallants, & Batelaan, 2018, s. 311). Der påpeges herefter, at den største fordel må erkendes at være at modellen bliver fyldestgørende og den konkretiserer den konceptuelle problemstilling i modellen. Hvorimod den klare ulempe bliver, at modellen kan blive vanskelig og tilmed for beregningskrævende til at kunne udføre nogen form for parameterinferens (Enemark, Peeters, Mallants, & Batelaan, 2018, s. 311). Den anden tilgang der henvises til, omhandler multimodel tilgangen, som er en samling af de forskellige konceptualiseringer, som overvejes mere

parallelt end sektionsofbygget, igennem en modelproces (Enemark, Peeters, Mallants, & Batelaan, 2018, s. 311).

I multimodellen er formålet ikke at skulle finde den bedste model, men derimod at opbygge modeller der er tilpasset de enkeltstående problemstillinger, hvilket foregår som en iterativ proces (Enemark, Peeters, Mallants, & Batelaan, 2018, s. 311). Der bliver opsat fordele og ulemper ved begge modelfremstillinger, men slutvis bliver det anerkendt, at multimodel tilgangen må vurderes, som værende overlegen i forhold til gennemsigtigheden, og i den begrebsmæssige usikkerhed der skal forefindes. Dog påpeger de, at der forsat ses en række udfordringer med hensyn til udvikling samt afprøvninger af alternative modeller (Enemark, Peeters, Mallants, & Batelaan, 2018, s. 321).

Generelt kan det argumenteres at hydrogeologiske modeller kan have en afgørende rolle i forvaltningen af grundvandsressourcer, hvis de bliver kalibreret undervejs, og herved gennemgår en iterativ proces.

(Enemark, Peeters, Mallants, & Batelaan, 2018), argumentere for dette ved at pointere, at formålet ikke består i at skulle finde den bedste model, men derimod, at skulle opbygge en model, der er tilpasset de enkeltstående problemstillinger, hvilket foregår som en iterativ proces.

MIKE SHE, afhænger af den kalibrering der er foretaget for modellen. Den er stadig en forsimpning af virkeligheden.

Resultatet der er fremkommet af modelopstillingen og partikelvandringen for området, giver anledning til at igangsætte en yderligere undersøgelse af det pågældende område.

Der er tegn på, at forureningen kan ske fra en punktkilde eller ligefrem en kombination mellem en punktkilde og fladekilde.

Dette vurderes på baggrund af, at V2 jordforureningen områderne var tidligere lossepladser og deraf bør det overvejes hvilke mængder, der er blevet deponeret der.

Der er mulighed for, at det på forhånd har været opblandet materiale og deraf kan haft en mindre koncentration.

Spørgsmålet om de nuværende hydrologiske modeller er kalibreret tilstrækkeligt, bevæger svaret sig over mod et overvejende nej. Er der derimod mulighed for at kalibrere modellen tilstrækkeligt – er svaret ja, der er masser af plads til forbedringer på den front.

Vordingborg kommunes egen MIKE SHE model er primært kalibreret til deres kommuneområde, men grundlæggende set, skal der forsat være en kritisk tilgang til forståelsen af dens resultater. Derfor skal det vurderes som netop en screening. Modellen indeholder mange funktioner og meget af dataen er indhentet fra større datasæt, som afspejlinger målinger for området. Imidlertid er kortlægningen af jordlagene vurderet som værende det, som halter efter.

På trods af de hydrologisk modellers iboende begrænsninger giver modellerne en værdifuld indsigt i komplekse grundvandssystemer, og potentielle virkninger af forvaltningshandling.

Fremtidige fremskridt inden for dataindsamling, modelleringsteknikker og kvantificering af usikkerhed kan øge effektiviteten af disse modeller for at understøtte en bæredygtig vandressourceforvaltning. Men der bør fremhæves, at der bør udformes en usikkerhedsanalyse, samt effektiv kommunikation af de usikkerheder der kan forelægge, til de beslutningstagere der modtager resultatet.

7.2 Pesticid i gammelt grundvand problematik.

Forurening med pesticid i gammelt grundvand er en alvorlig problematik, som gør sig gældende i flere dele af verden, da det kan have langvarige og skadelige konsekvenser for menneskers sundhed og miljøet generelt.

Hastigheden på udvaskning til grundvandsmagasinet afhænger af jordlagets type, da det f.eks. er kendt, at sandjord er mere vandførende end lerjord (se afsnit 4.2.2).

Derfor bekymrer myndighederne sig mindre områder, hvor der er kategoriseret dybe lerjorde (se bilag 2).

Kendsgerninger er, at dette nødvendigvis ikke er en selvfølge for, at magasinet er beskyttet tilstrækkeligt. Jordlagene er sjældent ensartet, da den grundet istiden, er blevet blandet med forskellige fragmenter (se afsnit 4.2.1).

Dette muliggør, at der findes ”geologiske vinduer”, i det pågældende områder, hvor vandet hurtigere kan nedsive. De ”geologiske vinduer”, kan beskrives som værende indskudte kalk, sand eller grus aflejringer, som ikke er blevet kortlagt. Termen er af en nærmere intern term for områder, hvor geologien forventes at være af anden jordtype som sand eller grus.

Oppumpningsmetode af grundvand fra vandindvinding kan muligvis bidrage til problemerne med fund af pesticider i magasinet. Ifølge en artikel skriver Smith, Knight og Fendorf, at de finder en sammenhæng mellem overpumpning af grundvandsmagasinet og indhold af arsen (Smith, Knight, & Fendorf, 2018).

”Subsidence due to groundwater pumping is caused by a pore pressure drop in aquifer materials, which increases the effective stress, σ_e , defined as $\sigma_e = \sigma_T - P_p$, where σ_T is the total stress and P_p is the pore pressure” (Smith, Knight, & Fendorf, 2018)

Vel og mærke er undersøgelsen foretaget på et område i Californien, og samtidig er det i sammenhæng med arsen forurening. Men teoretisk burde der være en sammenhæng imellem, da vandet vil blive trukket ud af porerne, idet der dannes et trykfald når der overpumpes fra borerne.

”Importantly, decreasing pumping below the threshold of inelastic aquifer compression will decrease arsenic concentrations and the aquifers can recover to normal levels if overpumping is halted.” (Smith, Knight, & Fendorf, 2018).

Arsen kan være af naturlig forekomst, men dette ændrer ikke umiddelbart på at det indtrænger hurtigere til grundvandet ved overpumpning. Dette må teoretisk også være gældende for vandopløste pesticider. Amterne anbefalede, før kommunesammenlægningerne, at der blev udført en balanceret vandindvinding, som stadig prøves, at blive implementeret i dag (se bilag 7). Der beskrives herved, at ved overindvinding fra borerne, at det er kendt, at der nedtrækkes nitratholdigt overfladevand (se bilag 7). Dette må teoretisk også være gældende for pesticid, som nedsiver med overfladevandet.

Når store mængder vand oppumpes fra jorden, kan dette skabe et trykfald, hvor der kan trækkes vand, som er forurenede vand, ind i de dybere lag af grundvandsmagasinet (Smith, Knight, & Fendorf, 2018).

Dette kan medføre en øget spredning, samt koncentrationen af pesticidforureningen i grundvandet, og dermed forværre problemet over tid.

Hvor lang tid det tager, før det forurenede vand bliver oppumpet fra vandindvinding, kan variere afhængigt af flere faktorer, heriblandt geologien, grundvandsdybde og strømningshastighed i jordlagene (se afsnit 4.4.3).

På baggrund af partikelscenariet i resultatafsnittet 6.5 vurderes det, at det kan tage årtier eller århundreder, før det forurenede vand når et oppumpningssted og oppumpes.

I andre tilfælde må det vurderes, at det kan tage kortere tid, afhængig af jordlagene, særligt hvis det hovedsagligt er bestående af sandjord, i det pågældende område.

Overordnet set er forurening med pesticider i gammelt grundvand en kompleks og problematisk problemstilling. Det vurderes, at det kræver en koordineret samt langsigtet planlægning med en handlingsplan fra både myndigheder og de involverede aktører.

Beskyttelse af vores grundvandsressourcer er en af afgørende betydning for at sikre både menneskers sundhed og de miljømæssige værdier, som et rent grundvandsmagasin repræsenterer.

I denne case med Råbylille som ikke er et enestående eksempel, ses der en rapport fra Region Sjælland, hvor de mistænker, at det er fladekilder der er årsag til forureningen. Derimod er der som følge af resultatet (se afsnit 6) tegn på, at der er en mulig åbning for, at det er punktkilde forurening. Dette skal ses i forbindelse med den tidligere losseplads, som er kategoriseret som en V2 jordforurening (se afsnit 5.5).

Baseret på modelresultatet fra MIKE SHE sammenholdt med rapporten fra miljøstyrelsen vurdering (samentolkning af histogrammer), må det erkendes, at der findes en ukendt faktor i nærområdet, som medvirker til, at DPC hurtigere kan nedsive til indvindingsoplandet til borerne tilhørende Råbylille vandværk.

Dette er særligt interessant, baseret på, at Regionen umiddelbart har afsluttet sagen om V2 jordforureningen fra lossepladserne.

Imidlertid har Vordingborg kommune bedt om en ny revurdering af området, baseret på de fund, der er fundet igennem modelleringen i MIKE SHE i dette resultat afsnit (se afsnit 6).

Området har været benyttet til at dumpe affald af flere kategorier. Dette kan betyde, at der i dette tilfælde ikke nødvendigvis har været fyldte dunke – eller fyldte poser med Chloridazon, men bundsjatter, som ikke ville kunne benyttes til en fuld sprøjtning.

Umiddelbart er det en problematik, at der er vurderet på baggrund af en undersøgelse fra miljøstyrelsen om grundvandsaldersdateringen (se afsnit 5.6) for de pågældende boringer, at grundvandet er estimeret til at være + 700 år. Modellen, som er blevet udarbejdet i MIKE SHE viser, at der indvindes vand, som er i alderen til ca. 3-50 år gammelt.

Dette grundvand burde derfor kategoriseret, som overvejende ældre grundvand, med tilførsel af yngre overfladevand. Der kan i denne henseende sættes spørgsmålstegn ved, hvilken hydraulisk ledningsevne jordlagene er givet i den anden model, da de nødvendigvis ikke er ensartet opsat.

Ikke desto mindre kan dette medvirke til en årssagssammenhængende, med at råvandet fra boringerne fra Råbylille vandværk, indeholder rest og nedbrydningsprodukter af pesticider, heriblandt DPC. Grundet påvirkninger fra overfladevand.

Sammenfattet har den geologiske opbygning, der er estimeret i området nær boringerne, i højere grad en større hydraulisk ledningsevne. Derfor burde det overvejes, om området har en række geologiske vinduer, som ikke er kortlagt endnu. Møen er generelt kendt for sin store fragmentering af jordlagene, og har indskudte kalkflager, som følge af de tidligere istider.

Baseret på rapporten, som er udarbejdet af miljøstyrelsen, ”Sammentolkning af kemi histogrammer” (se afsnit 5.6), erkender de at der er fund af pesticid i grundvand der er estimeret til at være mere end 1000 år gammelt.

Imidlertid kan det antages at langt størstedelen af partiklerne har brugt i omegnen af 1000 år på at nå boringen, men at dette kolliderer med fund af pesticid, som har været benyttet imellem 1964-1996.

Begge boringer har der været fund af pesticid siden påbegyndelsen af analyserne for pesticidet tilbage i 2017.

Styrelsen udmelder dog, at der først er fund af stoffet fra 2021. Dette er dog imidlertid ikke korrekt aflæst, idet boringen DGU 227.368 er en overboring af DGU 227.144.

En af årsager til at boringen blev overboret var for at udelukke at pesticidet DPC havde mulighed for at nedsive på siden af boringen.

Ligeledes henviser styrelsen, at Råbylille boringen DGU 227.143, viser, at grundet stigende indhold af sulfat betyder dette, at vandet bliver påvirket af pyritoxidazon, hvilket betyder, at det er i en sårbar position over for overfladepåvirkning (se bilag 2).

Derudover kan indvindingsmetoden også have en medvirkende rolle, i forbindelse med hvis der har været kørt en overpumpning, som har medvirket til at danne et andet tryk og herved sat processerne op for grundvandsdannelse.

Amterne, der var myndighed før kommunesammenlægning, var tilhængere af at der blev indvundet bæredygtigt. Hvilket betød at der blev indvundet skånsomt, heraf 5-10 m³/t, over 20 timer. Hvilket medvirkede til at der var en kontinuerligt flow. Denne praksis er indskrevet Vordingborg kommune nye indvindingstilladelser – således vandværkerne bliver tvunget til den nye, eller rettere gamle praksis, hvor der sker en konstant flow fra magasinet (se bilag 7).

Det kan være svært at bestemme alder på baggrund af

”Er geologien mere kompleks, må man forvente, en større opblanding af vand af forskellige aldre og oprindelse, hvilket vanskeliggør tolkningen af resultaterne, selv ved dybdespecifik prøve- tagning. Aldersspredningen i drikkevandsboringer øges endvidere af at vandindvindingen trækker vand til boringen fra flere retninger, i modsætning til f.eks. en monitoringsboring, som sjældent er aktiv.” (Albers, et al., 2020, s. 50)

Denne artikel beskriver, hvor stor en indvirkning de forskellige jordlag har af indvirkning på aldersdateringen.

Desuden må det endvidere påpeges miljøstyrelsen vurdering af, hvordan der karakteriseres hvilke typer af forureningskilder, der er årsagen til forurening med pesticid. Om det er punkt eller faldekilde forureningen, beskriver de selv som værende udfordrende, idet der kan være sket en kombination, som vil medvirke til en besværlig vurdering (Tuxen, et al., 2014, s. 6).

Der ses samtidig i resultatafsnittet, at der er partikler der formår at nedsive til hvad der må forventes at være grundvandsmagasinet, og heraf blive fjernet af borerne (se afsnit 6.1 og 6.2). Det er netop disse partikler, uanset om det muligvis er en overestimering, der viser, at der kan være afvigelse.

Det er disse afvigelser, som argumenterer for, at der er en risiko for, at der udledes DPC fra V2 området, Råbylille I, hvad der må klassificeres som værende en punktkilde. Det gør sig samtidig gældende, at der er omkringliggende marker nær borerne. Det er ikke umuligt, at markerne har haft en medvirkende faktor, da det ikke kan benægtes, at der har været dyrket afgrøder der har modtaget Chloridazon.

Imidlertid er det tankevækkende at DMR som udarbejdede rapporten for Region Sjælland (se afsnit 5.6), afskriver Råbylille I, som værende en mulig forureningskilde, i og med at der er fund af DPC i deres jordprøver (se bilag 2). En yderligere betragtning der kan tages i forhold til forureningskilderne må bestå i at der er udført adskillige miljøtekniske borer i området. Imidlertid er disse ikke særlig dybe, 5-15 m i kote (se bilag 2). Kan disse have medvirket til at lede forureningen ned? Og i så fald, hvorfor er der ikke foretaget dybere borer? Det er vel væsentligt at få afklaret hvor dybt forureningen af DPC er, i og med at der ikke er foretaget nogen form for oprensning (se bilag 2).

Samtidig viser sammentolkningen af histogrammer fra miljøstyrelsen (se afsnit 5.5), at de finder igennem deres egen partikelvandring, at partiklerne benytter mellem 700-1000 år – imidlertid er der fund af pesticid i borerne for Råbylille. Dette må erkendes at sætte spørgsmålstegn ved kalibreringen af modellen, og den geologiske kortlægning af jordlagene, i forhold til modellens validitet. Bevares, er skal være plads til at få kalibreret modellen, men dette burde gøres i sammenhold med deres fund.

I stedet bliver det Vordingborg kommunes problem at skulle håndtere pesticidforureningen, men de kan i det mindste konkludere, at Råbylille vandværk har gammelt vand i grundvandsmagasinet – med et strejf af pesticid.

Partikelvandringens resultat er klart, der er partikler, der vandrer igennem V2 områderne og infiltrerer borerne indvindingsopland. På baggrund af tværsnittene i resultatafsnittet, er der nogle estimater, der ikke er overens med borerne jordprøver.

Derfor må det overvejes, at næstkommende kalibrering af modellen bør foretages baseret på, at der jordlag der har anden værdi i porøsitet, og dermed også den hydrauliske ledningsevne.

7.3 Grænseværdier og afspejling af modelsimulering.

MIKE SHE modellen viser, at den sidste partikel er udvasket efter en beregning på enten 2.733 år ved 4100 partikler, eller 666,6 år (se afsnit 6.5). Dette bevirker at grundvandsmagasinet teoretisk set burde være rent for pesticidet. Der er i midlertidig ikke taget afsæt i hvordan DPC vil binde sig til jordpartiklerne ej hellere omsætningstiden.

I modellen er der kørt en ligelig fordeling mellem borerne af oppumpning af grundvand, men der kunne have været udformet og afprøvet en anden fordeling af vand fra borerne. Dette aspekt kunne have haft medvirket til, om der havde været en hurtigere udvaskning af pesticidet, hvis den ene af boring DGU 227.143, som havde indvindingsoplandet inde i V2 jordforureningen, havde haft en større oppumpning. Eller om hvordan oplandet var blevet udformet ved en højere mængde i indvindingen.

I forbindelse med tidsperspektivet, som Chloridazon benytter i forbindelse med den kemiske omsætning til DPC, har miljøstyrelse udgivet en rapport om Chloridazon og nedbrydningsprodukterne.

Nedbrydningstiden for Chloridazon blev der beregnet, at den aerobe nedbrydning varede over 30 dage til mellem 4 – 14%, mens mineraliseringen blev fastsat til mellem 0,8-1,8 %” (Miljøstyrelsen, 2017, s. Punkt 3.1). Denne faktor er ikke indregnet i modellen og kunne med fordel have været inkluderet i partiklernes ”values settings”. Imidlertid ville der have været en markant forskel i, hvilken type jord dette gjorde sig gældende for, da undersøgelsen fra Miljøstyrelsen kun omhandle to forskellige jorde (Miljøstyrelsen, 2017, s. Punkt 3.1). For at kunne foretages en kalibrering af den kemiske omsætningstid, ville dette have krævet et nærmere feltstudie eller laboratoriestudie af pesticidet.

Miljøstyrelsen foretog yderligere en undersøgelse af, hvor stor en mængde af stoffet DPC, der skulle indtages førend, at det var giftigt for mennesket (Miljøstyrelsen, 2017, s. Punkt 4.4).

Grænseværdien for nedbrydningsproduktet DPC er sat til 0,1 ug/l – mikrogram, som følge af lovgivningen, BEK nr. 504 af 14/05/2023, Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg (Miljøministeriet, 2023, s. Bilag 1d).

Ifølge en rapport fra miljøstyrelsen, ”Fastsættelse af kvalitetskriterier for vandmiljøet; Chloridazon” (Miljøstyrelsen, 2017), påpeger de, at giftigheden over for mennesker er vurderet til at være:

”Ifølge DAR er $ADI = 0,1 \text{ mg/kg lgv pr. dag}$ ”
(Miljøstyrelsen, 2017, s. Punkt 4.4).

Hvis der tages afsæt i spædbørn der gives flaske, ville der skulle indtages:

$$0,1\text{mg} \cdot 4\text{kg} = 0,4 \text{ mg/dag}$$

Imidlertid er grænseværdier for drikkevand $0,1 \text{ ug/l}$, hvilket omregnet til mg er 400 ug . Dette ville betyde, at et spædbarn skulle indtage 400 liter vand pr. dag, baseret på, at indholdet af DPC ikke oversteg $0,1 \text{ ug/l}$.

Modsat en voksen af 75 kg .

$$0,1 \cdot 75 = 7,5 \text{ mg/dag}$$

Omregnet er dette 7500 ug .

Dette ville betyde at en voksen på 75 kg , ville skulle indtage mindst 7500 liter vand pr. dag, hvis det blev estimeret til, at der var et indhold af DPC på $7,5 \text{ mg/l}$, baseret på at indholdet af DPC ikke oversteg $0,1 \text{ ug/l}$.

Disse mængder forekommer umiddelbart ikke for de pågældende boringer i Råbylille (se afsnit 3.2). Derudover er der ikke nogen vurdering, fra miljøstyrelsens rapport, (Miljøstyrelsen, 2017), der afklarer hvilke indvirkninger dette måtte have på gravides fostre, men kun er afklaret for det generelle menneske.

Som beskrevet i afsnit 3.1, er DPC ikke et let nedbrydeligt produkt, men de mængder som er vurderet som giftige for mennesker af $0,1 \text{ mg/kg lgv.}$, forekommer ikke i boringerne. Der kan stilles spørgsmål til, om der burde foretages en revurdering af om grænseværdierne er sat for lavt og

kunne sættes op i sammenhold med sundhedsfaglig vurdering? Eller skal vi rense vandet, når der ikke kan findes mere rent vand, baseret på fortidens synder?

Der opleves, i praksis, flere vandværker, der kæmper med problematikken. Mange er nødsaget til at hæve taksterne, således, at de kan bore efter nye borer, som herefter skal have indlagt nye ledninger. Alt sammen udgifter der bliver fordelt til forbrugerne.

I midlertidig er dette ikke nogen udfordring, hvis de har en boring der kan levere rent vand, men ikke kan levere den fulde mængde der er behov for, for at kunne forsynes forbrugerne.

Derfor vælger vandværker oftest at opblende vand fra den forurenede boring, med vand fra den rene, og derved opnå en værdi der ligger under grænseværdien.

Rent teoretisk vil dette medvirke til, at vandværket overholder lovgivningen, men dette betyder stadig, at der leveres vand med pesticid i – blot under en fastsat grænseværdi. Juridisk er dette lovligt, men hvilke følgevirkninger ville dette have i fremtiden? Vil fremtidens vand leveres med pesticider, blot under grænseværdien fordi det er vurderet, at dette ikke bør have en effekt på mennesket? Eller skal der overvejes nye metoder for vandbehandling, men hvilke følgevirkninger vil dette have for fremtidens samfund?

7.4 Skal vi anvende avanceret vandbehandling?

Avanceret vandbehandling, Udvidet vandbehandling eller Videregående vandbehandling, kært barn har mange navne, men omhandler det samme aspekt – Skal vi rense vores vand for pesticider?

Dette er et emne der bredere sig mere, og mere iblandt vandværker (Johnsen, 2003).

Johnsen, argumentere for at indføre avanceret vandbehandling muliggøre vi, at der er mulighed for at undgå at indtage de farlige kemikalier, og samtidig kan der arbejdes med at arbejde imod forurening af grundvandet. Johnsen pointerer, at det vand der oppumpes, er vand der blevet forurenede af stoffer fra en anden tid, hvor der ikke var samme lovgivninger, der regulerede for dem (Johnsen, 2003).

Hvorimod Münster argumenterer imod, grundet at det ikke må blive en undskyldning for, hvorfor vi skal være forsigtige med brugen af kemi på vores jorde (Münster, 2022). Hun sidestiller det med, at

det kan benyttes, som et argument til hvorfor der forsat kan benyttes pesticider, selvom vi finder flere nye stoffer end aldrig før (Münster, 2022).

En anden overvejelse der burde tages i betragtning er, hvem er det, som forvalter vandværkerne? De små og mellemstore vandværker, er ifølge egen oplevelse i det kommunale regi – overordnet pensionere borgere, som yder deres bedste. De sætter en ære i, at sørge for at vandværket sender rent vand ud til deres medborgere. Problematikken opstår netop ved deres alder, og ofte også uddannelse. Det er ikke alle der har en kemisk uddannelsesbaggrund, og dette kan være udfordrende i området, hvor kemien er af afgørende betydning. Dette er selvfølgelig ikke gældende for alle vandværker, men for nogle vandværker kan dette betyde, at de alligevel ikke får udsendt rent vand i hanerne. Men det opfølgende spørgsmål, som lurer, ”Kan de så ikke ansætte nogen til at håndtere dette?”

Der er god mulighed for at ansætte en virksomhed til at føre opsyn med værket, særligt efter vandværkerne er blevet mere teknologiske anlægte. Men dette vil også udlede en ekstra omkostning for vandværket, og dermed også borgerne.

Dette er særligt gældende for Råbylille vandværk, som tilbage i 2022 ansøgte om avanceret vandbehandling (Bestyrelsen i Råbylille vandværk, 1, 2022, s. 2).

Dette blev et afslag fra Vordingborg kommune (Bestyrelsen i Råbylille vandværk, 1, 2022, s. 2), som i stedet oplyste, at de hellere fandt, at der blev boret efter en ny boring, og dette gav heldigvis, på nuværende tidspunkt held (Bestyrelsen i Råbylille vandværk, 2, 2023, s. 2).

Der blev efterfølgende foretaget en opfølgning på det vandværk der i Morsø kommune havde fået en midlertidig tilladelse, til at etablere et kulfilter samt UV-lys, i deres vandværk. Opfølgningen medgav, at der rigtig nok var fund af DPC før kulfilter, men imellem kulfilter og UV-lys var der intet fund (se bilag 6).

Fordele ved avanceret vandbehandling, med brug af enten aktivt kul eller resin, beror på, at de kan fjerne de fleste pesticidstoffer, der ender i vores drikkevand (Musovic, 2022).

Ulemperne er at; hvad er vores viden om udfaldet? Selvom stofferne ikke kan måles, medvirker dette så til andre nye stoffer, som vi ikke måler for endnu? Samtidig er det der økonomiske aspekt. Har de små vandværker plads, og ikke mindst, mulighed for at etablere et sådant system? Og er de i stand til selv at håndtere det? Eller skal der hyres eksperter til at føre overvågning med dette?

7.5 Hvad kan modellen og hvad er fremtiden?

I de seneste årtier har interesse for og anvendelse af hydrologiske modeller og grundvandsbeskyttelse været stigende, som følge af øget behov for bæredygtig forvaltning af vandressourcer (DHI Group, 2012).

Hydrologiske modeller er medvirkende værktøjer til forståelse, og ikke mindst forudsigelse af forskellige vandstrømme, og grundvandsdynamikker (Henriksen, et al., 2017, s. 11).

MIKE SHE modellen kan benyttes, som et screeningværktøj, baseret på den nuværende indstilling. Men på baggrund af manglende viden, og undersøgelser af de forskellige jordlag, må det erkendes, at der ikke kan fremlægges en fuldstændig sikker analyse for en partikelvandring.

Jordlagene på Møn er meget fragmenteret, og dette udfordrer den teoretisk baseret modelopstilling.

Det er forsat et godt redskab, der kan gøres brug af i både kommuner eller regioner mm. Det danner et godt arbejdsgrundlag, hvoraf der kan iværksættes større fokus på områder, hvor der er tilknyttet boringer, som lider under pesticid forurening. Men der vil være områder, hvor det enten vil overestimere eller underestimere partikelvandringen.

Dette skal forstås som, at den enten vil vise partikler der nedsiver meget hurtigt til dybde dybder, eller ikke nedsiver hurtigt nok.

Dette vil medføre potentielle forkerte resultater, men som vil kunne afhjælpes ved, at kalibrere modellen yderligere. Ikke blot på en ny kortlægning af jordlag, men ligeledes baseret på den matematiske modelopstilling, som involverer de forskellige ligninger, og tendenser fra viden om de hydrologiske strømningspotentialer mv.

Heldigvis ses der en kommende fremtid, hvor de videnskabelige og teknologiske fremskridt uden tvivl føre til mere avancerede hydrologiske modeller (Singh, 2018).

Dette ville kunne formodes omfatter brugen af f.eks SkyTEM, og andre mere præcise data om jordens overflade og bedre modeller for præcipation og temperatur.

Eller her i blandt droner, som vil medvirke til at indhente oplysninger om de rumlige data (Singh, 2018). Disse forbedringer vil gøre det muligt at kunne træffe bedre beslutninger om grundvandsbeskyttelse og vandforvaltning.

Som en umiddelbar vurdering, må det være til stor gavn at investere i en hydrologisk model i det kommunale regi, i og med at de ellers skal ud og købe det fra konsulenter.

Dette vil gøre det muligt for f.eks. sagsbehandlerne, nemt at tilgå og analysere modelresultater, hvilket vil føre til mere informerede og effektive beslutninger om grundvandsbeskyttelse, økosystemgenopretning og vandressourceforvaltning (Singh, 2018).

Denne integration vil også gøre det lettere at opdatere modelinput med nye data, så modellerne forbliver præcise og relevante for det pågældende område (Singh, 2018).

Derfor bør der, i takt med at grundvandsbeskyttelse og vandressourceforvaltning bliver mere komplekse og globalt fokuserede, have en afgørende betydning, at implementere hydrologiske modeller da erfaring, viden og udvikling, vil kunne blive delt på tværs af de forskellige sektorer og lande.

Denne type samarbejde vil sikre, at alle parter har adgang til de mest avancerede værktøjer og metoder til grundvandsbeskyttelse, og at regionale og globale vandressourcer bliver beskyttet og forvaltet på en effektiv og bæredygtig måde.

Sammenfattende vil fremtidsperspektiverne inden for benyttelse af hydrologiske modeller og grundvandsbeskyttelse indebære en række teknologiske og strategiske fremskridt, der vil forbedre vores evne til at forstå, forudsige, og beskytte vores vigtigste vandressourcer (Singh, 2018).

Ved at omfavne disse fremskridt, og arbejde sammen på tværs af sektorer og landegrænser kan vi sikre en fremtid med rent og bæredygtigt grundvand for de kommende generationer.

8. Konklusion

På baggrund af casen området, Råbylille vandværk, er der blevet fremlagt deres udfordringer med nedbrydningsstoffet fra Chloridazon, Desphenyl chloridazon (DPC). I denne kontekst er der blevet fremlagt en række teorier, som omhandler de geologiske jordtyper, og deres evne til at lede vand ned til grundvandsmagasinet. Dernæst er der blevet fremlagt de anvendte metoder, der er medvirkende til at belyse, hvorledes der er udformet en partikelvandring i MIKE SHE. Dette bærer præg af en geologiske kortlægning, som bliver visualiseret i en tværsnitsgraf af de kortlagte jordtyper, der findes i FOHM modellen.

Samtidig bliver der taget afsæt i to rapporter. Den ene er baseret på miljøstyrelsen sammenfatning af histogrammer, hvorpå Råbylille vandværk indgår i denne. Denne sammentolkning vurderer, at der er fund af gammelt grundvand, men ligeledes ses der en forurening af overfladevand med pesticid.

Region Sjælland har fået udarbejdet en rapport over en tidligere losseplads, som er nærliggende Råbylille vandværk. Heri bliver det vurderet, at selvom der er fund af nedbrydningsproduktet, DPC, vurderes dette ikke til at være forureningskilden til vandværksboringer, tilhørende Råbylille vandværk.

Det kan konkluderes, at der igennem MIKE SHE-modellen, blev foretaget en screening af oplandet til Råbylille vandværks boringer. Denne screening kan benyttes, som en antagelse af, hvor nedbrydningsstoffet DPC, muligvis kunne udspringe fra.

Med afsæt i en forståelse af, at der er en risiko for at der ikke kortlagt de geologiske vinduer ved Råbylille boringerne, da der er fund af jordtyper, som ikke stemmer overens, i forhold til FOHM og tværsnitsprofilerne af boringerne.

Dette henleder til, at der er risiko for, at der sker en hurtigere udvaskning fra nærområdet.

Som det fremgår af partikelvandringens resultater, er dette en bekræftelse på, at der reelt mulighed for, at partiklerne kan nedsive til en dybde af mindst -30 m og max 86 m i kote, inden 50 år.

Ydermere fastslår partikelvandringen på 400 år, at når først der er udledt pesticid, ville dette være flere hundrede år om at blive oppumpet fra magasinet igen.

Fremtidsperspektivet for fund af pesticider over grænseværdier, bør imidlertid sættes højere på dagsorden, rent politisk, for fundene af pesticid bliver ikke mindre. De hydrologiske modeller er kommet for at blive. De bliver langsomt, men sikkert videre udviklet således, at de afspejler de mest naturlige processer.

Litteraturliste

- Auken, E., Kidmose, J., Pedersen, J. B., Hinsby, K., Troldborg, L., Olesen, M., . . . Aamand, J. (2019). *Grundvand i en ny klimatid*. Geviden.
- Albers, C. N., Jakobsen, R., Aamand, J., Hinsby, K., Kidmose, J., & Van der keur, P. (2. Maj 2020). Datering af grundvand og grundvands- forurening. *Vand og jord*, s. 47-50.
- Bestyrelsen i Råbylille vandværk, 1. (4. Juni 2022). *Referat af generalforsamling i Råbylille vandværk a.m.b.a.* Hentet fra Råbylille vandværk:
https://usercontent.one/wp/www.raabylille-vand.dk/wp-content/uploads/2022/11/Referat_ord._GF_04.06.2022.183.pdf
- Bestyrelsen i Råbylille vandværk, 2. (29. April 2023). *Referat af generelforsamling i Råbylille vandværk a.m.b.a.* Hentet fra Råbylille vandværk:
<https://usercontent.one/wp/www.raabylille-vand.dk/wp-content/uploads/2023/05/Referat-GF-29.-april-2023.183.pdf>
- Danmarks statistik. (20. Marts Hentet 2023). *PEST1: Salget af pesticider til anvendelse i landbrugets planteavl samt behandlingshyppighed efter pesticidgruppe og måleenhed*. Hentet fra Danmarks statistik:
<https://www.statistikbanken.dk/statbank5a/selectvarval/define.asp?PLanguage=0&subword=tabel&MainTable=PEST1&PXSId=147700&tablestyle=&ST=SD&buttons=0>
- DHI Group. (4. April 2012). *HYDROCAST PROJEKTINFORMATION OG PHD-OPSLAG*. Hentet fra DHI:
<https://worldwide.dhigroup.com/presences/emea/denmark/news/2012/4/4/hydrocastprojektinformationogphdopslag>
- DHI Group. (23. Januar Set 2023). *Why MIKE SHE?* Hentet fra MIKE - powered by DHI:
<https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-she>
- DHI, MIKE SHE. (2023). *MIKE SHE - User guide and reference manual*. DHI, MIKE SHE.
- EFSA. (2007). *Conclusion regarding the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance chloridazon*. EFSA.
- Enemark, T., Peeters, L. J., Mallants, D., & Batelaan, O. (17. December 2018). Hydrogeological conceptual model building and testing: A review. *Journal of Hydrology*.
- ESRI. (April set 2023). *What is a voxel layer?* Hentet fra ArcGIS Pro: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/mapping/layer-properties/what-is-a-voxel-layer-.htm>

- ESRI, 2. (Maj set 2023). *Define Projection (Data Management)*. Hentet fra ArcGIS Pro:
<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/data-management/define-projection.htm>
- ESRI, 3. (Maj set 2023). *An overview of the Interpolation toolset*. Hentet fra ArcGIS Pro:
<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/an-overview-of-the-interpolation-tools.htm>
- ESRI, 4. (Maj set 2023). *Merge*. Hentet fra ArcGIS Pro: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/arcpy/image-analyst/merge.htm>
- ESRI, 5. (Maj set 2023). *Profile graph*. Hentet fra ArcGIS Pro: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/geoprocessing/charts/profile-graph.htm>
- Frykman, P. (August 2006). *KALK-FAMILIEN OG DENS EGENSKABER*. Hentet fra Researchgate:
https://www.researchgate.net/publication/237711478_KALK-FAMILIEN_OG_DENS_EGENSKABER
- Geoinfo. (24. Januar Set 2023). *Hvad er GIS?* Hentet fra Geoinfo: <https://www.geoinfo.dk/hvad-er-gis>
- GEUS. (27. Maj Set 2023). *DGUNr 227. 144*. Hentet fra GEUS:
<https://data.geus.dk/JupiterWWW/borerapport.jsp?borid=193378>
- GEUS. (23. Januar set, 2023). *National boringsdatabase (Jupiter)*. Hentet fra GEUS - De nationale geologiske undersøgelser for Danmark og Grønland: <https://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliteter/data-og-kort/national-boringsdatabase-jupiter>
- GEUS, 2. (23. Januar Set 2023). *Det fælles geologiske/hydrostratigrafiske grundlag i Grundvandskortlægningen (FOHM)*. Hentet fra De nationale geologiske undersøgelser for Danmark og Grønland: <https://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliteter/data-og-kort/grundvandskort-og-data/fohm>
- GEUS, 3. (10. Maj Set 2023). *Borerapport, DGUNr. 227.368*. Hentet fra GEUS:
<https://data.geus.dk/JupiterWWW/borerapport.jsp?borid=639557>
- GEUS, 4. (10. Maj Set 2023). *Borerapport, DGUNr. 227.143*. Hentet fra GEUS:
<https://data.geus.dk/JupiterWWW/borerapport.jsp?borid=193377>
- GEUS, 5. (27. Maj set 2023). *Grundvandskemi for boring, DGU 227.114*. Hentet fra GEUS:
<https://data.geus.dk/JupiterWWW/proeve.jsp?borid=193378&indtagsid=1>

GEUS, 6. (Maj set 2023). *Grundvandskort og -data*. Hentet fra GEUS:

<https://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliteter/data-og-kort/grundvandskort-og-data>

GEUS, 7. (Maj set 2023). *Porøsitet og permeabilitet*. Hentet fra Geologi - GEUS:

<https://www.geologi.dk/oliegas/e3/e32/e322/d3222.htm>

Hansen, N. (4. Maj 2015). <https://www.dmi.dk/nyheder/2015/12-milliard-ton-vand-til-danmark/>.

Hentet fra DMI: <https://www.dmi.dk/nyheder/2015/12-milliard-ton-vand-til-danmark/>

Henriksen, H., Troldborg, L., Sonnenborg, T., Højberg, A. L., Stisen, S., Kidmose, J. B., & Refsgaard, J. (2017). *Hydrologisk geovejledning God praksis i hydrologisk modellering*. Hentet fra

GEUS: <https://www.geovejledning.dk/xpdf/Geovejledning1-2017-Hydrologisk-Geovejledning.pdf>

Holden, J. (2018). *An Introduction to Physical Geography and the Environment*. Pearson Education.

Houmark-Nielsen, M., & Larsen, N. K. (2020). *Istiden og dens landskab*. Junior geologerne.

Houmark-Nielsen, M., Krüger, J., & Kjær, K. H. (2005). De seneste 150.000 år i Danmark

Istidslandskabet og naturens udvikling. *Geoviden - Geologi og geografi, ISSN 1604-8172(2)*.

Indenrigs og sundhedsministeriet. (Maj set 2023). *Kommunalreformen i 2007*. Hentet fra Indenrigs

og sundhedsministeriet: [https://im.dk/arbejdsomraader/kommunal-og-](https://im.dk/arbejdsomraader/kommunal-og-regionaloekonomi/kommunale-opgaver-og-struktur/kommunalreformen-i-2007)

[regionaloekonomi/kommunale-opgaver-og-struktur/kommunalreformen-i-2007](https://im.dk/arbejdsomraader/kommunal-og-regionaloekonomi/kommunale-opgaver-og-struktur/kommunalreformen-i-2007)

Johansen, K. (24. Oktober 2003). *Hvorfor må vi ikke rense med aktivt kul?* Hentet fra Ingeniøren:

<https://ing.dk/artikel/hvorfor-maa-vi-ikke-rense-med-aktivt-kul>

JUPITER, 1. (Maj Set 2023). *DGU 227.368*. Hentet fra GEUS:

<https://data.geus.dk/JupiterWWW/proeve.jsp?borid=639557&indtagsid=1>

JUPITER, 2. (Maj 2023). *DGU 227.144*. Hentet fra GEUS:

<https://data.geus.dk/JupiterWWW/proeve.jsp?borid=193378&indtagsid=1>

JUPITER, 3. (Maj 2023). *DGU 227.143*. Hentet fra GEUS:

<https://data.geus.dk/JupiterWWW/proeve.jsp?borid=193377&indtagsid=1>

Kallesøe, A. J., Pedersen, B. J., Sandersen, P., Høyer, A., Jørgensen, F., Christiansen, A. V., . . .

Hansen, B. (2. Maj 2018). Ny geofysisk metode inviterer til detaljeret geologisk kortlægning. *Vand og Jord*, s. 84-87.

- Karlsen, E., Karlby, H., Jørgensen, M., Roslev, P., Sørensen, I., Nielsen, J. O., . . . Ramsay, L. (2014). *Vandforsyning* (Årg. 3). (T. Rump, Red.) København K: Nyt teknisk forlag.
- Lewis, K., Tzilivakis, J., Warner, D., & Green, A. (18. Januar 2023). *PPDB: Pesticide Properties DataBase, Chloridazon*. Hentet fra An international database for pesticide risk assessments and management.: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/141.htm>
- Madsen, B. (Maj set 2023). *Grundvandsstrømning og stoftransport*. Hentet fra AU: https://geo.au.dk/fileadmin/www.geo.au.dk/02_Forskning/Publikationer/Aarhus_Geokompendier/DanmarksGeologi_kap9.pdf
- Møns turistbureau. (14. Maj set 2023). *Møns geologi*. Hentet fra Fredninger.dk: https://www.fredninger.dk/wp-content/uploads/2016/11/Moens_Geologi.pdf
- Müller-Wohlfeil, D.-i., Højberg, A. L., & Møller, K. (2. Maj 2014). Hydrologiske modeller og grundvandskortlægning. *Vand og Jord*, s. 57-60.
- Münster, S. (7. April 2022). *Danske Vandværker: Rensning af grundvandet må ikke blive en sovepude. Vi er nødt til at tænke langsigtet*. Hentet fra Altinget: <https://www.alinget.dk/miljoe/artikel/danske-vandvaerker-rensning-af-grundvandet-maa-ikke-blive-en-sovepude-vi-er-noedt-til-at-taenke-langsigtet>
- Mielby, S., Ditlefsen, C., & Olesen, H. (2009). *Potentialekortlægning Vejledning i udarbejdelse af potentialekort*. Hentet fra GEUS: http://gk.geus.info/xpdf/geo-vejledning_4_potentialekortlaegning.pdf
- Miljøets fodspor. (2019). *Pesticider*. Miljøstyrelsen.
- Miljøministeriet. (14. Maj 2023). *Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg*. Hentet fra Retsinformation: <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2023/504#id61d5a8f9-0a93-4cf6-8573-2605feb13024>
- Miljøministeriet. (28. marts set 2023). *Miljøets fodspor*. Hentet fra Miljøministeriet: <https://mst.dk/service/om-miljoestyrelsen/miljoets-fodspor/>
- Miljøministeriet, 2. (December 2021). *Miljørapport for vandområdeplanerne 2021-2027*. Hentet fra Miljøministeriet: <https://mim.dk/media/225713/miljoerapport-for-vandomraadeplanerne-2021-2027.pdf>

- Miljøstyrelsen. (2000). *NOVA-2003 - Programbeskrivelse for det nationale program for overvågning af vandmiljøet i Danmark, 1998-2003*. Miljøstyrelsen.
- Miljøstyrelsen. (Oktober 2017). *Fastsættelse af kvalitetskriterier for vandmiljøet; Chloridazon*. Hentet fra Miljø-og fødevarerstyrelsen: <https://mst.dk/media/196483/chloridazon-1698-60-8.pdf>
- Musovic, S. (29. Marts 2022). *Nu skal pesticid-rester fjernes direkte ved grundvandsboringer*. Hentet fra Teknologisk: <https://www.teknologisk.dk/ydelser/nu-skal-pesticid-rester-fjernes-direkte-ved-grundvandsboringer/43932>
- Naturstyrelsen. (Maj set 2023). *3. Stevns Klint*. Hentet fra Naturstyrelsen: https://naturstyrelsen.dk/media/nst/Attachments/Geologiske_interesser_Stevns_3.pdf
- Nazdracheva, T., Morozov, A., Yavna, V., & Kochur, A. (5. November 2021). Study of hydration of kaolinite and montmorillonite mixture by IR spectroscopy. *Journal of Molecular Structure*.
- Pietrzak, D. (21. Juli 2021). Modeling migration of organic pollutants in groundwater — Review of available software. *Environmental Modelling and Software*.
- Roost, S., & Lenschow, S. R. (2021). *Desphenyl- chloridazon (DPC) - Punktkilde eller fladekilde*. Miljøstyrelsen.
- Roost, S., Tsitonaki, K., Nielsen, A. K., Bjerg, P. L., Mosthaf, K., Fjordbøge, A. S., . . . Thorling, L. (2022). *Skelnen mellem pesticidkilder*. Hentet fra Miljøstyrelsen: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2022/03/978-87-7038-401-8.pdf>
- SEGES Innovation. (23. Januar set 2023). *Chloridazon*. Hentet fra Middeldatabasen: <https://middeldatabasen.dk/Middelvalg.asp?oko=false>
- Sillesen, J. (11. Maj 2020). *§3-losseplads må ikke renses*. Hentet fra Bæredygtigt landbrug: <https://blb.dk/2020/05/§3-losseplads-maa-ikke-rensens/>
- Sillesen, J. (17. December 2021). *Stammer problempesticid mon slet ikke fra landbruget?* Hentet fra Bæredygtigt landbrug: <https://baeredygtigtlandbrug.dk/2021/12/stammer-problempesticid-mon-slet-ikke-fra-landbruget/>
- Singh, V. P. (28. Maj 2018). *Hydrologic modeling: progress and future directions*. Hentet fra Springer open: <https://geoscienceletters.springeropen.com/articles/10.1186/s40562-018-0113-z>

- SkyTEM. (5. Maj set 2023). *Mapping Water – Special Challenges*. Hentet fra SkyTEM:
<https://skytem.com/water-mapping/>
- Smith, R., Knight, R., & Fendorf, S. (5. Juni 2018). *Overpumping leads to California groundwater arsenic threat*. Hentet fra Nature Communications:
<https://www.nature.com/articles/s41467-018-04475-3>
- Støvring, J. L. (14. Marts set 2023). *Beskrivelse af jord*. Hentet fra KU:
<https://ign.ku.dk/partnerlandskab/god-vaekstjord/beskrivelse-af-jord/>
- Stisen, S., Ondracek, M., Troldborg, L., Schneider, R. J., & John van Til, M. (2019). *National Vandressource Model; Modelopstilling og kalibrering af DK-model 2019*. Hentet fra GEUS:
https://vandmodel.dk/media/8096/geusrapport2019_31_dkmodel2019_web-1.pdf
- Thomsen, E. (Maj set 2023). *Kalk og kridt i den danske undergrund*. Hentet fra Geologisk institut, Aarhus universitet:
https://geo.au.dk/fileadmin/www.geo.au.dk/02_Forskning/Publikationer/Aarhus_Geokompendier/DanmarksGeologi_kap4.pdf
- Tuxen, N., Roost, S., Lund Laurbjerg Kofoed, J., Aisopou, A., J. Binning, P., Chambon, J., . . . Esbensen, K. (2014). *Skelnen mellem pesticidkilder - Fund i grundvand – flade- eller punktkilde?* Miljøstyrelsen.
- Udenrigsministeriet, Miljøministeriet & Erhvervsministeriet. (28. Oktober 2020). *Eksport strategi for vand*. Hentet fra Udenrigsministeriet:
https://mim.dk/media/224330/eksportstrategivand_2020-10-28-final-a.pdf
- Walter-Jørgensen, A. (2000). Landbruget og pesticiderne – en faktuel og historisk oversigt. *SAMFUNDSØKONOMEN NR. 1 – 2000(1)*, s. 5-9.
- Winter, J. (2. Maj 2017). *Møn*. Hentet fra Den store danske: <https://denstoredanske.lex.dk/Møn>