



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Optimering af risiko- og miljøvurderingerne ved etablering af LAR- løsninger i urbane miljøer **ORMUM**

MUDP rapport

Januar 2021

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Søren Erbs Poulsen, Via University College
Theis Raaschou Andersen, Via University College
Anna Bondo Medhus, Via University College
Morten Bak, Aarhus Kommune
Nikolaj Kruse Christensen, Aarhus Kommune
Peter Thomsen, Rambøll
Jørn-Ole Andreasen, Aarhus Vand
Anne Laustsen, Aarhus Vand
Tom Birch Hansen, Region Midt
Thomas Ljungberg, Region Midt

ISBN: 978-87-7038-266-3

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse

Indhold

1.	Forord	6
2.	Opsummering	7
3.	Introduktion	9
4.	AP2: State of the art	10
4.1	Lovmæssigt grundlag	10
4.2	Nedsivning af regnvand	10
4.3	Jordforurening	11
4.3.1	Eksisterende anbefalinger for nedsivningsløsninger i relation til forurennet jord	11
4.3.2	Praksis i forbindelse med tilladelser og etablering af nedsivningsløsninger	13
5.	AP3: Historisk udvikling af arealanvendelsen	15
6.	AP4: Hydrogeologiske modeller	16
a.	Forundersøgelser og datagrundlag	16
b.	Datagrundlag regional model	17
c.	Tolkningsstrategi manuelle modeller	17
d.	Autogenererede modeller	17
e.	Sammenligning af manuelle og autogenererede modeller for Tulip	20
f.	Evaluering og anbefaling ang. modeller	22
7.	AP 5: Udvikling af programmet til FEFLOW og stoftransportmodeller	24
a.	Grundvandsmodel	24
8.	AP 6: Best Practice	25
9.	Tulip-grunden	26
a.	Planer for Tulip-grunden	26
b.	Historisk gennemgang for Tulip grunden	26
c.	Datagrundlag Tulip	28
i.	Boringsdata Tulip-grunden	28
ii.	Geofysiske data	29
1.	Eksisterende Gerda data ved Tulip-grunden	29
2.	ERT data Tulip-grunden	29
3.	DualEM data Tulip-grunden	31
4.	El-log Tulip-grunden	33
iii.	Evaluering af datagrundlag på Tulip-grunden	35
d.	Hydrogeologisk model Tulip	35
i.	Modelområde	35
ii.	Hydrogeologi	36
iii.	Manuel model og automatiske modeller	36
e.	Hydrologisk modellering ved Tulip-grunden.	38
i.	Hydrologisk parametrisering	38
ii.	Randbetingelser	38

iii.	Ensemble-modellering	39
iv.	Resultater	39
1.	Opstigende grundvand til kældre	39
2.	Potentiel mobilisering af de nærtliggende V1 og V2-forureninger	41
f.	Opsummering og konklusion for Tulip	44
10.	SPARKgrunden	45
a.	Planer for SPARK	45
b.	Historisk gennemgang for SPARK	46
c.	Datagrundlag SPARK	48
i.	Boringer SPARK grunden	48
ii.	Geofysiske data SPARK	48
1.	ERT data SPARK	49
2.	DualEM data SPARK	50
3.	Ellog SPARK	50
d.	Evaluerings af datagrundlag for hydrogeologiske modeller for SPARK	51
e.	Hydrogeologisk model SPARK	51
i.	Modelområde	51
ii.	Hydrogeologi	52
iii.	Manuel hydrogeologisk model	53
f.	Hydrologisk modellering ved SPARK	53
i.	Parametrisering	53
ii.	Trykniveau SPARK	54
iii.	Rand- og udgangsbetingelser	54
iv.	Modelkalibrering	56
v.	Resultater	56
1.	Kalibrering	56
2.	Vurdering af LAR	57
g.	Opsummering SPARK	60
11.	AP 7: Formidling	61
12.	Eksport og erhvervspotentiale	62
13.	Referencer	63
Bilag 1.	Best practice for nedsivningsanlæg i byer	66
6.1	GRUNDVANDSRESSOURCENS SÅRBARHED	72
6.2	AFSTANDSKRAV	72
7.1	FORURENING I REGNVAND	73
7.2	JORDFORURENING, TYPER OG DATAINDSAMLING	74
10.1	GEOLOGI	85
Tilladelse af Type 2:	Tilladelse med ekstra vilkår og udvidet dokumentation (SPARK)	107
ANSØGNING OM NEDSIVNINGTILLADELSE – MARSELIS- BORGCENTRET, SPARK		112
1.	BAGGRUND	112
2.	BELIGGENHED	112
3.	STATUS	114
4.	PLAN	116
Der er arbejdet med afkobling af tag- og vejvand fra fællessystemet, således at mest muligt regnvand håndteres i et internt		

afvandingssystem med forsin- kelse, rensning og nedsivning i projektområdet.	116
5 EKSTREMREGN	124
Filtermuld126	
Filtermuld anvendes som det øverste jordlag i nedsivningsanlæg til regnvand. Filtermulden bruges overvejende i nedsivningsanlæg til regnvand fra veje og parkeringsarealer, men kan også benyttes i anlæg til håndtering af regnvand fra andre overflader, hvor det skønnes nødvendigt med både en god rensning og god nedsivning.	126
Tilladelse af Type 3: Tilladelse med ekstra vilkår og udvidet dokumentation (TULIP)	128
Bilag 2.Lokal Afledning af Regnvand Screeningsværktøj (LARS)	151
Bilag 2.1 Nomenklatur	152
Bilag 2.2 Indledning og formål	153
Bilag 2.3 Metode	153
Bilag 2.4 Validering	153
Bilag 2.5 Anvendelse i praksis	154
Bilag 2.6 Eksempel 1: SPARK-grunden	154
Bilag 2.7 Eksempel 2: Infiltration i et tykt sandlag	155
Bilag 2.8 Litteratur	157
Bilag 3.Minecraft	158

1. Forord

Denne rapport præsenterer undersøgelser udført under MUDP-projektet: **Optimering af risiko- og miljøvurderingerne ved etablering af LAR-løsninger i urbane miljøer (ORMUM)** som løb fra 2018-2020 og blev udført i et samarbejde imellem:

- Aarhus kommune
- Rambøll
- Aarhus vand
- Region midt
- VIA

Projektet har været finansieret med midler fra Miljøstyrelsens Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP)

Projektet har været fulgt af en følgegruppe med deltagere fra:

- Horsens kommune
- NIRAS
- Region midt
- Miljøministeriet
- Århus kommune

Projektgruppen retter tak til GEO som har leveret dataudtræk fra geoatlas <https://data.geo.dk/geoatlas-live/> for de to caseområder og til Pia Lisbeth Nielsen, som har kvalitetssikret og tilrettet afsnit vedrørende jura.

2. Opsummering

Projektet: "Optimering af risiko- og miljøvurderingerne ved etablering af LAR-løsninger i urbane miljøer (ORMUM)" havde til formål at udvikle og teste en procedure til risikovurdering i forhold til reaktivering af eksisterende forureninger i undergrunden ved etablering af LAR-anlæg i urbane områder. Projektets primære leverance er en "best practice" som myndighederne kan anvende som procedure ved vurdering af risikoen for reaktivering af forureninger. Proceduren er udviklet og testet på to case områder: "Tulip" og "SPARK" grundene i Århus.

Den "best practice" som er udviklet i projektet udgør en del af nærværende rapport og er vedhæftet som bilag 1. Heri præsenteres den anbefalede arbejdsgang ved tildeling af nedsivningstilladelser i byområder, hvor der ofte er forurenede grunde i nærheden. Der leveres anbefalinger til forundersøgelser samt beskrivelse af hvornår de er relevante og hvornår de kan undlades.

Rapporten dokumenterer desuden resultatet af litteraturstudier og undersøgelser i de to case områder. Case studierne har været værdifulde i forbindelse med udarbejdelsen af "best practice". Dels i forhold til forståelsen af behov for data-dækning, dels ved at vende vores opmærksomhed imod de væsentlige spørgsmål som skal besvares i forbindelse med et sådant forløb.

Projektet har med succes kunnet evaluere risikoen for forureningsspredning i de to case-områder. Begge steder har det vist sig at højtstående grundvand i nærheden af bebyggelse og anlæg umiddelbart er den største risiko. For SPARK-grunden ser det således ikke ud til at der vil forekomme en stigning af grundvandsstanden på de forurenede lokaliteter, som heldigvis ligger udenfor det område der påvirkes af den ekstra nedsivning. Tilgængæld kan kældre i området trues af lokale grundvandsstigninger. I den forbindelse konstateres det at test for problemer med højtstående grundvand også kan adresseres ved anvendelse af den udarbejdede "best practice" ved at erstatte spørgsmålet om forureninger nås af stigende grundvand med spørgsmålet om bygninger/anlæg nås af det stigende grundvand.

På Tulip-grunden findes det at LAR-anlægget resulterer i grundvandsstigning på nordsiden af banelegemet. Afhængig af dettes forureningstilstand og permeabilitet kan der forekomme aktivering af forurening herfra lokalt. V1 og V2 forureninger i nærheden af LAR-anlægget oplever en meget lille forventet stigning i grundvandsstanden forårsaget af LAR-anlægget ca. 5 cm for de nærmeste. Denne stigning er lille både i forhold til betydningen af den forventeligt øgede nedbørsmængde som følge af klimaforandringerne og den påkrævede sikkerhedsmargin på 1-2m som er det range der kræves i forskellige sammenhænge i lovgrundlaget, eks. skal fyldjord med byggeaffald være 2m over grundvandsspejlet imens det ved nedsivningsløsninger kræves at bunden af faskinen er min. 1m over grundvandsspejlet.

Et delmål i projektet om at undersøge den tidlige infiltration på asfalt blev stoppet efter litteraturstudiet, som afslørede:

- Der er intet i lovgrundlaget som tilsiger at forureninger skal tildækkes for at hindre nedsivning. Tildækning kræves alene for at undgå kontaktrisiko for mennesker og dyr
- Der er ikke en defineret asfalt type til afdækning over et område. Variationen i asfalttyper er meget omfattende og en analyse af infiltration over tid kunne vanskeligt defineres. Det var ikke muligt at identificere repræsentative lokaliteter for undersøgelsen.

I projektet blev det tydeligt at vi manglede et værktøj som simpelt kunne estimere den afstand fra et LAR-anlæg indenfor hvilken en forurening forventeligt vil blive påvirket af nedsivningen. En testversion af et sådant værktøj er derfor udviklet i projektet. Værktøjet tager som input den forventede vandmængde, dimensionerne af faskinen og tykkelsen af det lag som skal føre vandet bort sammen med dette lags hydrauliske konduktivitet. Alle værdier man vil være bekendt med når man planlægger et LAR-anlæg. Værktøjet kan dels anvendes af kommuner der risikoscreener forud for tildeling af en nedsivningstilladelse, desuden kan det være anvendeligt for rådgivere på LAR-projekter. Såfremt der ikke findes målinger af hydraulisk konduktivitet, vil denne kunne estimeres ud fra jordbundsforholdene.

Der er udviklet software som letter import af geologiske modeller til det hydrologiske modelleringsværktøj FEFLOW. Desuden er de geologiske modeller for begge case-områder integreret i formidlingsplatformen Minecraft.

Samlet set er det således lykkedes at gennemføre projektet selvom formidlingsfasen har været forhindret i afslutningsfasen pga. den omfattende coronanedlukning.

Den viden som er opsamlet i projektet og videreformidles med udbredelsen af den producerede "Best Practice" giver rådgivere mulighed for at basere rådgivning på et bedre vidensgrundlag. Den viden giver en konkurrencefordel nationalt og internationalt i forhold til andre rådgivere. Kommuner og regioner kan ved at følge "Best Practice" bedre sikre at forureninger ikke utilsigtet reaktiveres ved etablering af LAR-anlæg.

3. Introduktion

Der er en generel forventning om at klimaforandringerne vil føre til højere vandstande, mere vinternedbør og flere skybrud i Danmark, (OPCC, 2014). De seneste års mange oversvømmelseshændelser, med materielle skader og store forsikringskrav som følge af skybrud, har affødt en stor interesse for lokal afledning af regnvand (LAR). LAR er et begreb, som omfatter en række tekniske løsninger. Løsningerne har det fælles formål at regnvand ikke udledes til kloak men i stedet håndteres på egen grund, enten ved nedsivning til undergrunden eller udledning til en overfladerecipient, eks. et vandløb.

LAR-løsninger er populære hos kommunerne. Det skyldes primært besparelserne i forhold til den dyrere løsning at opdimensionere kloaker og spildevandsanlæg. Samtidig har lokal nedsivning af regnvand været set som en miljøvenlig løsning. Regnvandet blev indledningsvist betragtet som rent vand, der kunne bidrage til øget grundvandsdannelse og reduktion af udledningen af ubehandlet spildevand i forbindelse med skybrudshændelser betyder at LAR-løsninger kan være et middel til forbedring af vandmiljøet. Desuden kan et smukt udført byggeri med rekreative områder som erstatning for et forladt industriområde forøge værdien af et byområde betragteligt, (Dixon, Raco, Catney, & Lerner, 2007).

Samtidig er der dog en klar erkendelse af behovet for udbygning af viden om LAR-løsninger. Flere rapporter nævner den øgede risiko for udvaskning fra forureningskilder til grundvandet hvis grundvandsstanden stiger pga. vinternedbør, skybrud og LAR-løsninger (Danish ministry of the environment, environmental protection agency and State of green, 2014), (Naturstyrelsen, 2016), (Region Sjælland, 2014) og (Ingeniørforeningen, IDA, 2012). I Skotland og England er man meget opmærksom på kontaktrisiko hvis forurening aktiveres ved overfladen. Således beskriver (Scottish Environment Protection Agency, 2003) løsninger til opsamling og forsinkelse af overfladevand som specielt vigtige i områder med forureninger for at undgå at forureningen reaktiveres og spredes over større områder ved skybrudshændelser og ved oversvømmelser.

De større byer vokser og behovet for boligarealer er stigende. Byerne vokser ud over tidligere industriområder hvor der ofte kan være forureninger i nærheden. Ved anlæg af nye boligområder er det blevet almindeligt at indtænke håndtering af regnvand. I flere kommuner er det endda et krav at regnvand håndteres på egen grund med mindre det er en beviselig umulighed. Kombinationen af potentielle forureninger i undergrunden og ønsket om LAR-løsninger er en udfordring. Dette studie forholder sig til nedsivningsløsninger i områder med jordforurening.

Der er hverken klare retningslinjer for hvilke forureningsniveauer der er problematiske i forbindelse med nedsivningsanlæg eller hvor langt fra forureninger nedsivning vil være et problem. Sker der en generel stigning i grundvandsspejlet vil det afstedkomme et behov for revurdering af talrige kortlagte forureninger, hvor disse har været betragtet som mindre akut farlige pga. beliggenhed i den umættede zone.

Målet med dette projekt er at bidrage med viden om lateral påvirkning af grundvandsstanden ved nedsivning af regn til grundvandet. Til projektet er udvalgt to eksempelområder hvor LAR løsninger ønskes anvendt i byzone. Det ene, Tulip, er en gammel industrigrund, der skal omdannes til boligareal og hvor regnvand skal håndteres lokalt, afsnit 9. Den anden, SPARK, er et område, som har haft problemer med regnvand i kældre og hvor det relativt store offentlige areal skal klimasikres ved renovering og oprettelse af forsinkelses og nedsivningsbassiner med faskiner se afsnit 10.

De to områder anvendes som testlokaliteter for den arbejdsgang, som anbefales i den udgivne "Best practice". Erfaringerne fra testlokaliteterne har bidraget til tilpasning af den anbefalede arbejdsgang således at der er taget højde for realiteterne. Dermed er beslutninger som har været nødvendige at tage i de to cases inkluderet med tilhørende anbefalinger i den udarbejdede "Best Practise" der også er tilpasset til den realistiske arbejdsgang.

4. AP2: State of the art

De følgende afsnit beskriver aktuel status på lovmæssigt grundlag, anbefalinger og praksis for LAR løsninger i urbane områder. Litteraturstudiet fokuserer på hvordan nedsivningsløsninger skal forholde sig til eksisterende forureninger i undergrunden, samt krav til impermeabel belægning over sådanne eksisterende forureninger.

Konklusionen på afsnittene herunder og dermed AP2 er at lovgrundlaget for nedsivningsløsninger primært er beskrevet på et overordnet niveau. Der er aktuelt et stort fokus på miljøfremmede stoffer i regnvandet imens der i højere grad mangler anbefalinger vedrørende eksisterende forureninger i undergrunden hvis vertikale placering og udbredelse ofte er begrænset kendt.

I forhold til impermeabel belægning over forureninger er det ikke noget der stilles eksplicit krav til med mindre der er risiko for kontakt med mennesker eller dyr.

4.1 Lovmæssigt grundlag

Retningslinjer og tilladelser, som gives af kommunerne tager udgangspunkt i fortolkninger af gældende love. I det følgende opsummeres det lovmæssige grundlag af relevans for LAR-løsninger hvor der findes forureninger i undergrunden.

4.2 Nedsivning af regnvand

Det fremgår tydeligt af rapporten "Redegørelse vedrørende klimasikring i grundejerens afløbssystem" (Truelsen, 2009) at ønsket har været at maksimere brugen af LAR-løsninger. Fokus i rapporten er på hvordan kommuner kan motivere grundejere til at nedsive regnvand på egen grund. Her beskrives bl.a. kommunernes mulighed for at kræve nedsivning ved nybyggerier, som det i dag er praksis i flere kommuner eks. (RAMBØLL, 2011). I rapporten betragtes tagvand som uproblematisk vand jf. den på det tidspunkt gældende spildevandslovgivning. Der er dog en generel bevidsthed om at der arbejdes med udgangspunkt i et utilstrækkeligt vidensgrundlag indenfor LAR-løsningsområdet. Der er prioriteret en stor indsats i undersøgelser og udvikling på området.

Miljøbeskyttelseslovens § 19 er selve hjemmelsgrundlaget for kommunernes afgørelse om nedsivning, hvad enten der er tale om spildevand fra bebyggelse eller regnvand. Hertil er der i Spildevandsbekendtgørelsens kapitel 15 fastsat nærmere regler for i hvilke tilfælde og med hvilke vilkår, der kan meddeles tilladelse. I 2016 indføres derudover Spildevandsbekendtgørelsens § 43, der giver Gentofte, Gladsaxe og Viborg Kommuner mulighed for, på forsøgsbasis i deres respektive spildevandsplaner, at udlægge områder, hvor nedsivning kan ske uden tilladelse efter MBL § 19, hvis området er egnet hertil, og ikke indeholder jordforureninger, som kan medføre forurening af jord og grundvand, herunder bl.a. nedsivning af tagvand når taget eller tagrender indeholder bly, zink eller kobber, der kan resultere i at der genereres en lokal tungmetalforurening. Der optræder ikke krav om tilbagetrækning af eksisterende tilladelser for tilfælde hvor tag eller tagrender risikerer at udlede tungmetaller. Kravet er ikke beskrevet som en del af den generelle bekendtgørelse, men det må antages at der er en forventning om at kommunerne forholder sig til evt. tungmetaller i regnvandet fra disse flader ved meddelelse af tilladelser.

Vedrørende forurenede grunde står der intet specifikt i spildevandslovgivningen. Området dækkes af den generelle formulering om at leve op til krav i miljøbeskyttelseslovens § 19 som siger at:

"Stoffer, produkter og materialer, der kan forurene grundvand, jord og undergrund, må ikke uden tilladelse

1. nedgraves i jorden
2. udledes eller oplægges på jorden eller
3. afledes til undergrunden ”

For udledning af forurenede eller lettere forurenede vand kræves en beregning af stofkoncentrationer i udledningspunkter. Der er forskellige kriterier for tilladte stofmængder ved udledning til forskellige recipienter, eks. grundvand eller forskellige typer af overfladevand (Bekendtgørelse om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4 1), 2017). Disse beregnes eller monitoreres i udledningspunkter ved recipienterne. Det må være disse kriterier der vil gøre sig gældende i tilfælde hvor man erfarer at en nedsivning transporterer forureningsstoffer.

Det fremgår generelt ikke hvem der er ansvarlig i tilfælde hvor det opdages at et eksisterende nedsivningsanlæg reaktiverer eksisterende forureninger i undergrunden. Det vurderes imidlertid, at kommunen vil være ansvarlig herfor, da de er ansvarlig for miljømæssig korrekt planlægning, bl.a. spildevandsplaner, som sidenhen skal udmøntes i konkrete tilladelser til nedsivning. Der findes dog ikke retspraksis på ovenstående område.

4.3 Jordforurening

Af jordforureningsloven (Bekendtgørelse af lov om forurenede jord, 2017) fremgår kriterier for at klassificere et areal som V1 (Vidensniveau 1) og V2 (Vidensniveau 2) kortlagt. Niveau 1 baseres på viden om historisk arealanvendelse, som kan have ledt til forurening. De kortlægninger, som føres videre til vidensniveau 2 bestemmes ud fra en risikovurdering hvor anvendelse og beliggenhed af arealet er væsentlige jf. § 5 og § 6. Således vil kortlægning prioriteres ved områder med grundvandsinteresser og ved beboelse, særligt hvis der er tale om institutioner.

Litteratur om forurenede jord og behandlingspraksis beskriver hvordan kortlægningsprocessen tager tid. Den kan evt. efterlades som V1 kortlagt afhængig af risikovurderingen. Efter evt. kortlægning til V2 placeres en forurenede grund på en prioriteringsliste og vil efter tur kunne oprensnes eller afværges.

I tiden fra mistanke til handling ligger det berørte område uforandret hen. Jf. jordforureningslovens § 9 Stk. 2 kan ejer af en forurenede grund blive pålagt at foretage afværgeforanstaltninger. Her nævnes indhegning eller fliselægning for at undgå kontaktrisiko. Denne paragraf anvendes primært ved offentlige arealer hvor mange mennesker er i risiko for kontakt med jorden. Af miljøstyrelsens vejledning: "Rådgivning af beboere i lettere forurenede områder" (Miljøstyrelsen, 2000) fremgår at belægning til hindring af kontaktrisiko kan være næsten alt tænkeligt så længe der er tale om lettere forurenede jord.

I Danmark har vi forskellig klassificering af jord. Generelt beskrives al jord i byer pr. definition som lettere forurenede jf. § 50 a i jordforureningsloven. Af (Bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter, jord og sorteret bygge- og anlægsaffald, 2016) fremgår det at lettere forurenede jord (kategori 2 og 3) kan anvendes som fyld på andre grunde hvor der er 30m til områder med krav om drikkevandskvalitet. Der udlægges markeringsnet og jorden placeres over højeste grundvandsspejl. Ved byggeaffald skal det placeres min. 2m over grundvandsspejlet.

4.3.1 Eksisterende anbefalinger for nedsivningsløsninger i relation til forurenede jord

I tilfælde hvor lovgrundlaget er formuleret i brede generelle vendinger vil mere detaljerede kommunale retningslinjer tage udgangspunkt i det vidensgrundlag medarbejderne tilegner sig andendets fra.

I flere rapporter nævnes problematikken med at nedsivning kan hæve grundvandsstanden og derved risikere at mobilisere en ellers passiv forurening i nærheden af en nedsivningslokalitet bl.a. (Naturstyrelsen, 2016).

Der er i litteraturen enighed om at man ikke kan tillade nedsivning af regnvand igennem forurenede jord. En sådan nedsivning vil risikere at sprede forureningen til dybere lag og grundvandet se eks. (Ballard, et al., 2015), (Region Sjælland, 2014) og (Ingeniørforeningen, IDA, 2012). (Scottish Environment Protection Agency, 2003) minder desuden om at undgå traditionelle dræningssystemer, der også kan fungere som migrationsvej for forureninger.

I England indikerer litteraturen at nedsivning fra terræn betragtes som et naturligt udgangspunkt man gerne vil stræbe efter (Dixon, Raco, Catney, & Lerner, 2007). Ved kraftigere forureninger anbefales dog impermeabel membran eller i det mindste at undgå permeabel belægning (Ballard, et al., 2015) og (Reeves, 2007), (AECOM: Lead Local Flood Authorities of the South East of England, 2013).

Der gives ikke direkte retningslinjer for hvornår jord er for forurennet til at nedsivning kan tillades. Således må man forholde sig til de generelle regler listet i miljøbeskyttelsesloven. I flere rapporter anbefales dog belægning som hindrer nedsivning. Eks. (Ingeniørforeningen, IDA, 2012) og (Ballard, et al., 2015).

Hvilken afstand til forureningen der er at betragte som sikker for nedsivning er ikke debatteret. Her kræves enkeltsagsbehandling som vurderer geologi, hydrologi, forureningstype og nedsivningsløsning samlet. Generelt henviser diverse guidelines til eksperter hvis et område er forurennet.

I kap. 8 i "The SUDs manual" (Ballard, et al., 2015) beskrives at man kan tillade nedsivning igennem et vindue i den forurenede jord. Vinduet oprettes ved bortgravning af forurennet jord, som erstattes med ren jord til at nedsive igennem. Der stilles krav til at forureningen i området befinder sig mindst 1m over grundvandet. Der angives at radius af det bortgravede materiale skal bestemmes fra en konkret risikovurdering. Det anføres at man kan dække det rene område af fra forureningen ved tilføjelse af en impermeabel geomembran til siderne.

Det forudsættes at der til selve nedsivningsløsningen anvendes ren jord ved anvendelse af løsninger med filterjord. Sædvanligvis anvendes lokal jord ved opblanding til filterjord. Da skal denne jord være ren, men hvor ren den skal være er ikke udspecificeret. Specifikt i forhold til pesticider har Miljøstyrelsen de seneste år udført en række undersøgelser vedrørende binding af disse samt udvaskning heraf fra jordmatricen, bl.a. (Miljøstyrelsen, 2012; Miljøstyrelsen, 2017). Heraf fremgår det, at en del af det anvendte pesticid akkumuleres i jordmatricen, fordi pesticiderne soberer ind i små revner og sprækker, der kan blive op til 10 meter dybe. Pesticiderne frigives kun meget langsomt herfra. De vil derfor blive flyttet sammen med eventuel overskudsjord. Sandsynligheden for at pesticider bliver nedbrudt varierer med dybden under terræn:

- Rodzonen – En del af pesticiderne kan blive nedbrudt af bakterier i rodzonen – ca. den øverste meter fra terræn.
- Den iltholdige zone – Typisk ned til 3-5 meter under terræn. I denne zone kan der ske en vis nedbrydning, men nedbrydningen er meget langsom. På baggrund af Miljøstyrelsens kortlægning, vurderes det, at de væsentligste mængder af pesticider i denne zone er udvasket og/eller nedbrudt efter 7-10 år. Det vurderes derfor, at jorden kan anvendes som filterjord hvis der ikke er anvendt pesticider i mindst 7 år.
- Den iltfrie zone – Når pesticiderne er nået ned til typisk 3-5 meter under terræn, er der iltfrie forhold og nedbrydningen af pesticider er fraværende eller begrænset. Jord fra den iltfrie zone kan forventes at indeholde pesticider, selv efter årtier. Derfor bør jord fra den iltfrie zone i områder der har været sprøjtet med pesticider ikke benyttes som filterjord.

4.3.2 Praksis i forbindelse med tilladelser og etablering af nedsivningsløsninger

I praksis bestemmes forekomsten af LAR-løsninger og omfanget af forundersøgelser primært af økonomiske incitamenter, lovgrundlag, kendskab og praktiske forhold.

Ønsket om nedsivning af regnvand hos grundejere udspringer oftest af en lovmæssig eller økonomisk motivation herunder sikring imod et opstået problem eks. relateret til den øgede forekomst af skybrud. Grundejer kan være pålagt at nedsive eller kan ønske at blive fritaget for tilslutningsafgift. Samtidig er kommunens incitament at undgå at skulle opdimensionere kloaksystemet og at undgå overstrømning og dermed udledning af urensset spildevand ved kraftige eller hyppige nedbørshændelser. Desuden at sikre privat ejendom, som trues af vand relateret til klimaforandringerne. Dette er i princippet grundejers eget ansvar, men kommunen vil ofte være involveret i problemløsningen.

Hvad grundejeren forholder sig til ved sin ansøgning afhænger af den pågældende kommunes retningslinjer og i særdeleshed felterne på ansøgningsskemaet. Jf. guidelines til ansøgninger, som gives på kommunernes hjemmesider er det generelle krav at der foretages en nedsivningstest. Det undersøges hvor hurtigt vand strømmer væk fra et hul man graver i jorden. Desuden skal det sikres at matriklen ikke er V1 eller V2 kortlagt og lovkrav om afstand til bebyggelse mm. skal overholdes. Kravene til ansøgningen forholder sig for privatpersoner udelukkende til ejers egen matrikel. Det fremgår ikke hvad kommunerne evt. selv efterfølgende undersøger før tilladelse gives.

Kommunale retningslinjer for byudvikling er ikke tilsvarende ensartede eller lettilgængelige. De største kommuner har udgivet egne retningslinjer. Ålborg udspecificerer at der er udvidede krav til ansøgninger for tilfælde hvor det tagareal der ønskes at nedsive fra overstiger 500m². Desuden at den umættede zone under en faskine skal være min. 1m. Forurennet jord inddeles i kategorier efter koncentrationen og typen af forurenende stoffer, (Miljøstyrelsen, 2000).

Nogle områdetyper er pr. definition klassificeret som forurenede uden forudgående undersøgelser. Det drejer sig eks. om offentlige vejarealer. Byzone er ligeledes klassificeret som lettere forurennet, (Bekendtgørelse af lov om forurennet jord, 2017). Aarhus kommune udspecificerer i deres guideline at det er muligt at få nedsivningstilladelse i byzone hvor jorden klassificeres som lettere forurennet når klassifikationen alene skyldes at der er tale om byzone (RAMBØLL, 2011). Det fremgår af retningslinjen at nedsivning ikke er tilladt ved forureninger og heller ikke over sårbare områder. I områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD) må der kun nedsives fra terræn. Aarhus kommune har desuden en vejledning der angiver dokumentations for tilfælde hvor et krav om nedsivning i en lokalplan ikke kan honoreres. I sådanne tilfælde kræves en historisk gennemgang af lokaliteten som også skal undersøges med elektromagnetiske metoder, geoteknisk(e) boring(er) og pejlinger foruden nedsivningstests, (RAMBØLL, 2011).

Københavns kommune kræver en historisk gennemgang og information om evt. olietanke. Det udspecificeres her specielt at kunstgræsbaner betragtes som problematiske i forhold til nedsivning af regnvand.

Som det fremgår er de kommunale vejledninger forskellige. I en powerpoint fra et "Vand i byer"-møde: "Vand i byer: IP10 Regn med kvalitet" (Ingvertsen, 2013) er forskellige vilkår i forbindelse med nedsivningstilladelser gennemgået. Her fremgår det at formuleringerne kan variere meget fra specifikke forbud til anbefalinger både i forhold til ageren i områder med nedsivning og i forhold til monitoring. Variationen i håndtering og opfattelse vedrører også håndtering af lettere forurennet jord, hvor man i på Sjælland generelt forholder sig direkte til jordforureningsloven imens man Jylland og på Fyn har tradition for i tillæg til denne at forholde sig til miljøstyrelsens bekendtgørelse. https://mst.dk/media/150779/liste-over-jordkvalitetskriterier-juni-2018_.pdf

Der er forventeligt en opfattelse af at der anvendes total forbud for nedsivning i forbindelse med forureninger, men idet der hverken er retningslinjer for hvilken afstand man skal kigge på eller hvad der betragtes som så forurennet at der ikke kan nedsives kan det være vanskeligt at afgøre hvor forsigtige kommunerne er på dette område.

Ligeledes findes der ikke entydige regelsæt som tilsiger at forureninger uden kontaktrisiko og som ikke umiddelbart udgør en trussel imod drikkevandet skal sikres imod reaktivering. Generelt vil man ved kraftig forurening foretage en oprensning efter en prioriteringsliste. Imens undersøgelser pågår og arbejde planlægges vil grunden oftest stå uændret hen. Der etableres således ikke midlertidige dækker. Kun i tilfælde med kontaktrisiko for personer eller dyr vil ejer modtage en anbefaling om at overdække med fliser eller græs for at reducere risikoen for kontakt.

I forhold til lokaliteter med lettere forurenede jord vil man typisk lægge asfalt, fliser eller S-F sten for at reducere nedsivningen igennem den forurenede jord. Plasticmembran anvendes hvor ingen nedsivning er tilladt. Her må forureningen dog ikke være af en type som afgasser. I sådanne tilfælde skal der sikres udluftning så gasserne ikke migrerer og spreder forureningen over et større område (pers. Comm. Mette Christoffersen, Rambøll)

I de kommuner som i deres guidelines for nedsivningsanlæg forholder sig til den umættede zone kræves at grundvandet ved årlig maksimumhøjde står mindst 1m under terræn for at undgå problemer med vand på overfladen. Af jordforureningsloven fremgår det at oplægning af lettere forurenede jord kræver en sikkerhedszone på 2m til grundvandet, (Bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter, jord og sorteret bygge- og anlægsaffald. , 2016). Det fremgår ikke eksplicit hvilket kriterie der gælder for størrelsen af en umættet zone under en forurening i nærheden af nedsivningsområder.

I forbindelse med etablering af nedsivningsanlæg anvendes ofte filterjord som rensemekanisme i anlægget. Her anvendes generelt jord fra lokaliteten til opblanding. Det skal naturligvis i denne sammenhæng sikres at den opblandede jord ikke er forurenede.

5. AP3: Historisk udvikling af arealanvendelsen

Når LAR anlæg planlægges i byområder er det relevant at forholde sig til forekomsten af forureninger, som kan påvirkes af ændringer i grundvandsstanden. Til dette formål betragtes den samlede forventede ændring i infiltrationen. Derfor er foretaget en gennemgang af den historiske udvikling i de to caseområder.

Jf. erfaringerne fra AP2 udelades test af tidslig infiltration på asfalt. I stedet estimeres overordnede infiltrationsværdier i resten af projektet.

Ændringer i grundvandsstanden kan opstå pga. af ændret infiltrationsmængde via en faskine eller ændret belægningsgrad, desuden forventes klimaforandringerne mange steder at resultere i højere grundvandsstand. Lokale ændringer ved omfordeling af vand indenfor området kan forekomme som resultat af den nye infiltrationsfordeling eller som følge af ændret strømning i undergrunden pga. nye antropogene strukturer. Derfor er det relevant at undersøge de samlede ændringer i områder hvor LAR-anlæg planlægges.

Der er i projektet foretaget en historisk gennemgang af caseområderne, se afsnit 9.b og 10.b, for at opnå kendskab til forskelle i belægningsgrad, ændringer i forekomst af kældre mv. For den historiske gennemgang er anvendt flyfotos og orthofotos fra hhv. <http://geomidt.flyfotoarkivet.dk/> og <https://arealinformation.miljoportal.dk/html5/index.html?viewer=distribution>.

6. AP4: Hydrogeologiske modeller

I projektet er udarbejdet en regional geologisk model som er afleveret særskilt til Miljøstyrelsen og derfor ikke inkluderet i denne rapport. Desuden er tolket to manuelle lokale hydrogeologiske modeller en for hvert af de to caseområder. For det ene område hvor datagrundlaget tillader det er desuden kørt 50 uafhængige autogenererede modeller. Dette afsnit beskriver dataindsamling og modeller og leverer en evaluering og sammenligning af manuelle og automatiske modeller.

I projekter hvor en indledende risikoscreening viser at forureninger kan reaktiveres som følge af etablering af nedsivningsanlæg skal forholdene undersøges nærmere. Hertil kræves et kendskab til undergrunden, placeringen af vandførende lag, grundvandsstand og infiltrationsmængder. For at nå hertil kræves en geologisk forståelse, som kan opnås ved opstilling af en hydrogeologisk model. I en sådan model tolkes lag efter deres hydrologiske signifikans. Eks. vil et samtidigt lag indeholdende sand i en barriereø og organisk ler fra en bagvedliggende lagune skulle inddeles i to lag med forskellige hydrauliske egenskaber hhv. sand og ler. Modellerne som genereres er voxelmodeller. Voxelmodeller opbygges af kasser (voxler). Kasserne indbygges i et regulært 3D grid og alle kasserne i et grid har samme cellestørrelse. De følgende afsnit beskriver den anvendte tolkningsstrategi og metode.

Idet der til dette projekt er valgt to caseområder hvor en indledende screening viser at der foreligger en sådan risiko for reaktivering af forureninger er der oprettet hydrogeologiske modeller for områderne, se i det følgende afsnit 9 for Tulip og afsnit 10 for SPARK. For Tulipområdet er datatætheden stor nok til at automatisk tolkning af data til en hydrogeologisk model har været mulig, afsnit c.

a. Forundersøgelser og datagrundlag

LAR-anlæg er ofte en del af et større projekt, som også kan omfatte byudvikling, transformation eller renovering af et område. For større projekter har den arkitektoniske værdi og brugen af området stor betydning. Dermed er der mange emner at forholde sig til og vægtningen og rækkefølgen af disse bliver bestemmende for hvilke undersøgelser der foretages.

Dette projekt fokuserer på risikoen for reaktivering af forureninger i forbindelse med etablering af LAR-anlæg. Dvs. stigningen i grundvandsspejlet, som resulterer ved nedsivning af regnvand i en faskine frem for afledning til kloak. Når der som følge af en identificeret risiko er behov for at kende de hydrogeologiske forhold er der brug for data. De data som anvendes til udarbejdelse af hydrogeologiske modeller er bekostelige at indsamle, men nogle vil skulle indsamles under alle omstændigheder til andre formål. Eks. skal boringer etableres og evt. geofysik indsamles forud for byggeri mhp. fundering og forureningsundersøgelser. Nedsivningstests skal foretages for at kende muligheden for etablering af nedsivningsanlæg. Grundvandsstanden skal kendes også i forhold til risiko for problemer med terrænnært grundvand. Rækkefølgen kan være interessant for at optimere udnyttelsen af de indsamlede data. Indsamles data forud for projektering kan der være penge at spare ved at tilpasse projekteringen til undergrundsforholdene både mht. jordens styrke og dens evne til at bortlede regnvand.

Indsamles geofysik eks. forud for en boringskampagne kan denne anvendes til at placere nye boringer hvor de bedst vil besvare relevante spørgsmål om undergrunden. Dermed reduceres risikoen for at fejlagtige antagelser om en homogen undergrund med gode hydrauliske egenskaber giver problemer senere i projektet. Om geofysik bør indsamles afhænger af områdestørrelse og forventet geologisk kompleksitet som beskrevet i Best Practice afsnit 11, Bilag 1.

b. Datagrundlag regional model

Til opstilling af den regionale model er anvendt data tilgængelige fra Jupiter, Region Midts Geogisdatabase, Gerda og projekter i området eks. prøvepumpninger. Til de lokale modeller anvendes desuden data indsamlet i forbindelse med det nærværende projekt samt korte typisk geotekniske borerer stillet til rådighed af GEO, der har leveret dataudtræk fra geoatlas <https://data.geo.dk/geoatlas-live/> for de to caseområder. Det gav ekstra data for Tulipområdet. For informationer om datagrundlaget for de to caseområder se afsnit 9.c og 10.c.

c. Tolkingsstrategi manuelle modeller

Kortlægning af småskalastrukturer er altid udfordret af datatæthed og opløsning. I dette projekt ligger det primære fokus på de øverste 5-10 m i forhold til nedsivningspotentiale. Imens dybere geologi har relevans i forhold til grundvandets strømningsforhold.

Når der tolkes skal det overvejes hvilket spørgsmål der besvares samt om der ønskes et konservativt eller optimistisk resultat. Herefter tilpasses tolkningen til det ønskede valg. I dette projekt tolkes en hydrogeologisk model mhp. modellering af grundvandsstrømning og scenarieberegninger ved tilføjelse af faskiner og ændring af nedsivningsmængder. Dermed er det vigtigste kriterium at differentiere modellen efter om et område er hydraulisk ledende (eks. sand eller grus) eller vandstandsende (eks. ler eller tørv). Fyldmaterialer kan være meget inhomogene og indeholde almindelige sedimenttyper men også forskellige typer affald, byggematerialer mm. Således har fyld i de aktuelle modeller fået sin egen kategori. I de to caseområder er således tolket 3 lithologier: sand, ler og fyld.

Modellerne i de to cases er tolket i modelsoftwaren GeoScene3D <https://geoscene3d.com/> Indledningsvist er boringsdata og geofysiske data i de to områder gennemset for at opnå en forståelse af den typiske geologiske situation. På baggrund af denne er valgt et antal lag for hvert af de to områder, der tolkes som gennemgående lag. Lagene genereres fra punkt-tolkninger som griddes. I processen tilføjes støttepunkter for at hjælpe med at styre gridningen. Der tolkes bund af lag. Når et lag ikke findes tolkes dets bund over det ovenliggende lag og justeres ved tilpasning således at det kommer til at ligge oven i tolkningen for det ovenliggende lag. Derved bliver lagtykkelsen 0m. Når lagene er tolket for hele modellen oprettes en voxelmodel på baggrund af de tolkede lag. Derpå gennemgås borerer og geofysik igen. Denne gang i forhold til voxelmodellen. Hvor der forekommer uoverensstemmelser imellem data og model, eks. pga. tynde lag i nogle borerer der ikke har en udstrækning som godtgør oprettelsen af et lag, indtolkes den observerede lithologi som en lokal forekomst direkte i voxelmodellen, se afsnit c.

d. Autogenererede modeller

Det er i stigende grad anerkendt, at både hydrologiske prædiktioner og deres tilknyttede usikkerheder skal kvantificeres. Det illustreres eksempelvis ved overvejelserne i den manuelle model om hvorvidt en bestemt tolkningsstrategi af flere mulige er konservativ eller optimistisk. En metode til at håndtere og kvantificere usikkerheden af de hydrologiske prædiktioner er ved at konstruere flere lige sandsynlige modelrealisationer.

Traditionelt konstrueres geologiske modeller fra boringsinformationer og geofysiske data ved manuel samtolkning af data. Typisk konstrueres der kun én geologisk realisation fordi den manuelle tilgang er meget ressourcekrævende (arbejdstimer og økonomi). Usikkerheden forbundet med subjektive valg i tolkningsarbejdet er typisk hverken kvantificeret eller dokumenteret (Trolborg, Refsgaard, Jensen, & Engesgaard, 2007)

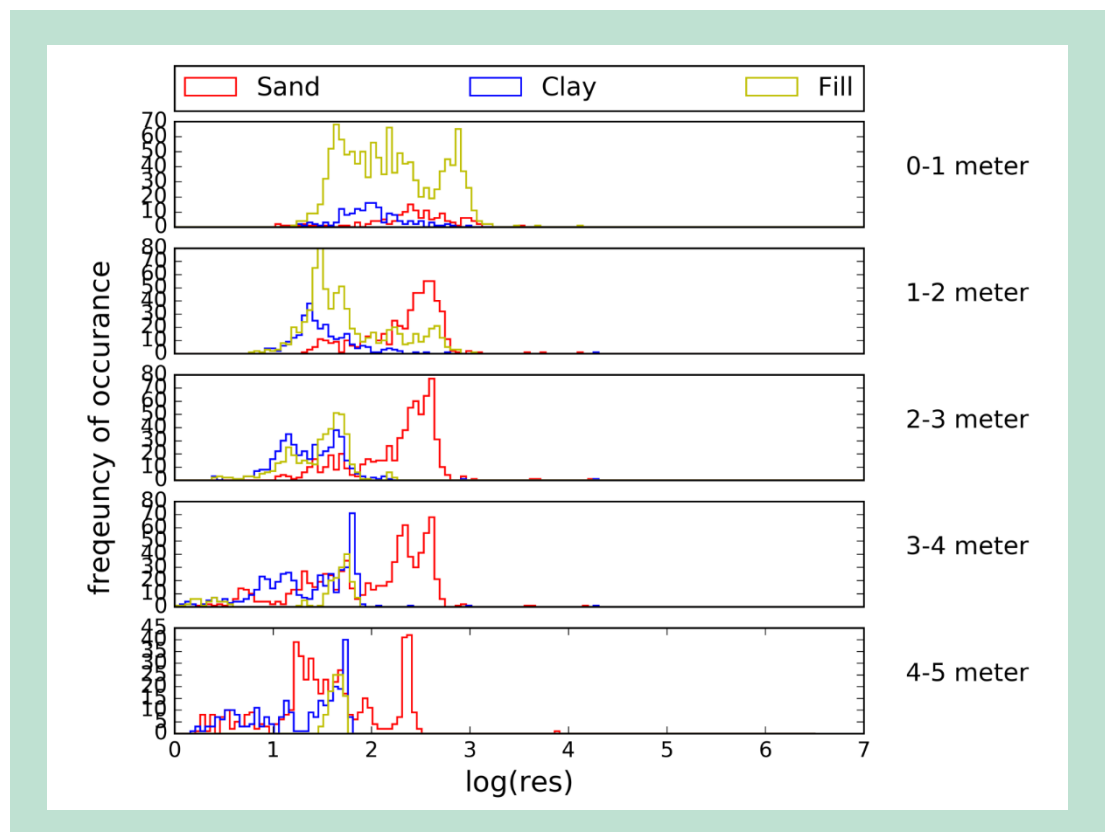
Alternativt kan konstruktion af 3D geologiske modeller foretages med geostatistiske og stokastiske metoder (Strebelle, 2002; Gunnink & Siemon, 2014; Barfod, et al., 2018). Resultatet er flere, lige sandsynlige, versioner af den ukendte undergrund, som alle er i overensstemmelse med observationsdata. De geologiske modeller, der konstrueres med geostatistiske metoder, er alle reproducerbare, veldokumenterede og (semi-) automatiske. De er objektive i den forstand at der som to forskellige personer anvender samme parametre og metode for et område vil modellerne blive tæt på ens. Indenfor den variation sandsynlighedsfordelingen tillader.

Med blandt andet HYGEM projektet er der blevet udviklet værktøjer til at konstruere geologiske og hydrologiske modeller automatisk ved direkte udtræk af de offentlige tilgængelige databaser (Barfod, et al., 2018; Vilhelmsen, et al., 2019).

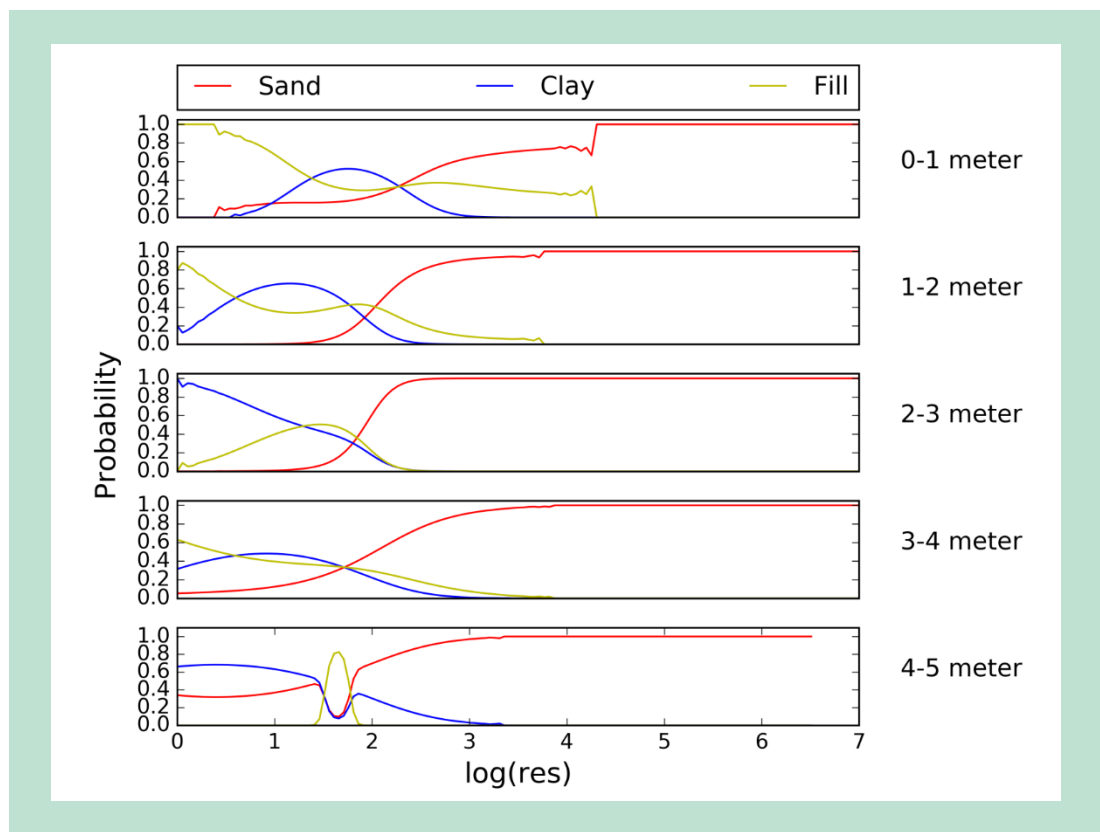
I dette projekt er der for TULIP-grunden konstrueret et ensemble på 50 hydrogeologiske model realisationer ved anvendelse af en stokastisk metode kaldt *sekventiel indikator simulering* (SIS) (Deutsch, 2006) med anvendelse af både boringer og geofysisk information har Tulip-grunden har det bedste datagrundlag til formålet, se afsnit 9.c. Her beregnes den mest sandsynlige sammenhæng imellem lithologi og geofysiske resistivitetsdata (Gunnink & Siemon, 2014) med udgangspunkt i sammenholdte værdier af resistivitet fra geofysiske målinger, dybde og lithologi tolket fra boringer. Boringerne betragtes i denne sammenhæng som sandheden. På baggrund heraf tildeles hver voxel en lithologi således at et område repræsenteres med forskellige lithologier i overensstemmelse med de beregnede sammenhænge for sandsynlig forekomst.

For at kunne beregne sandsynligheden for en bestemt lithologi som funktion af geofysiske data og dybder anvendes boringer til korrelation. Boringerne diskretiseres. I dette projekt inddeles de i lag af 1m tykkelse. Lithologien i en boring angives som enten sand, ler eller fyld baseret på hvad der er mest af i hvert lag af 1m tykkelse, uafhængig af faktiske laggrænser. Herefter sammenholdes denne tolkning med resistiviteter fra DualEM opmålinger. FIGUR 1 viser hyppigheden af forekomsten af forskellige lithologier i forhold til logaritmen til resistiviteten. Hyppighederne er angivet særskilt for hvert 1m lag i modellen. På baggrund af disse er kurver beregnet som angiver sandsynligheden for en bestemt lithologi som funktion af dybde og resistivitet, se FIGUR 2.

Det skal bemærkes at metoden i sin nuværende form kun omfatter EM-data og boringsdata. Den inkluderer således ikke ERT-data.

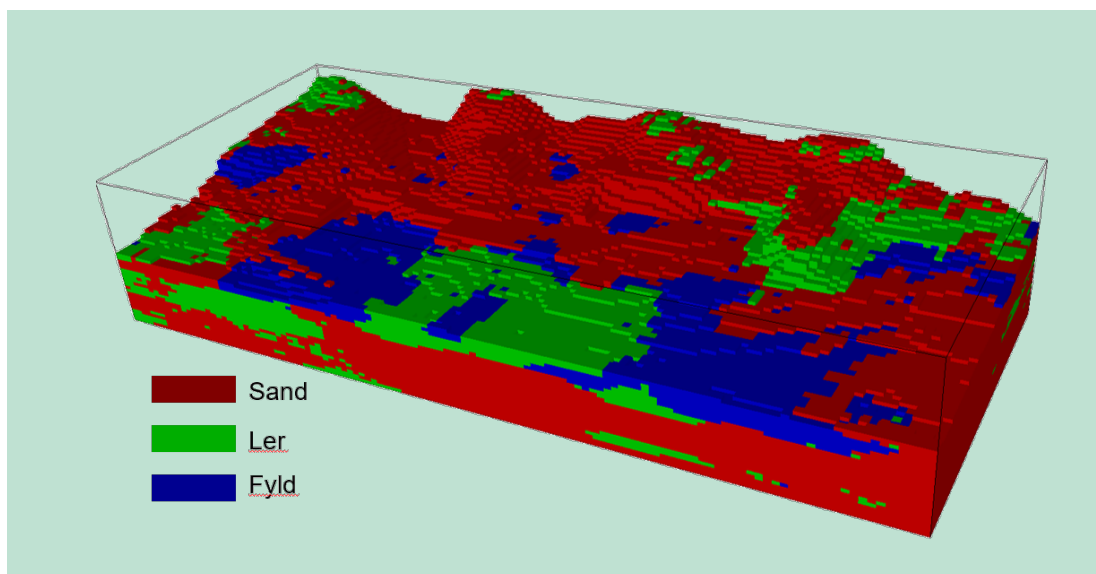


FIGUR 1. Hyppighed af lithologier i 1m dybdeintervaller for forskellige værdier af logaritmen til resistiviteten

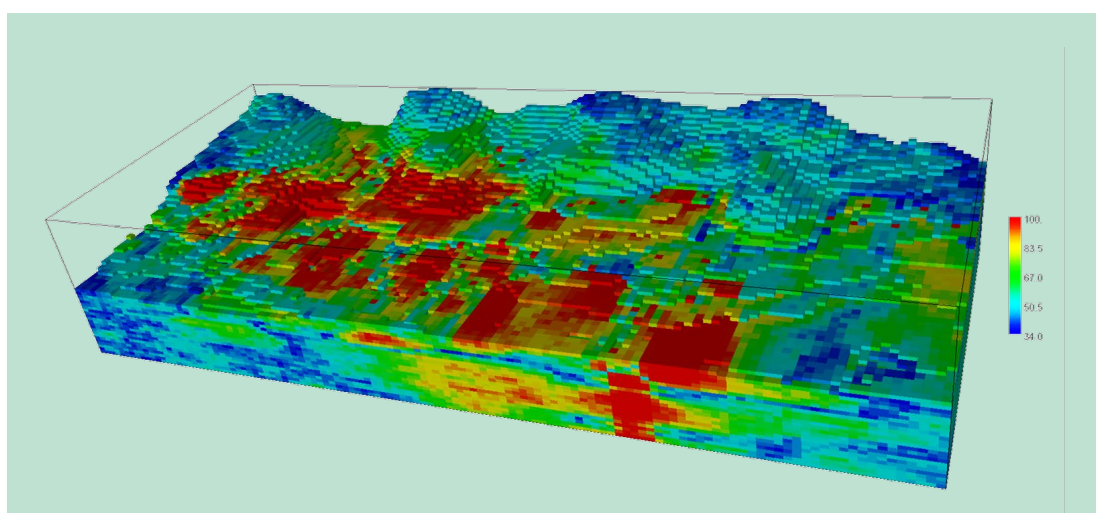


FIGUR 2. Sandsynlighedsfunktion for forskellige lithologier som funktion af logaritmen til resistiviteten i forskellige dybdeintervaller.

FIGUR 3 viser "mode" modellen, den mest sandsynlige model, for Tulip-grunden som den fremkommer ved 50 realisationer af autogenererede modeller. Med denne model følger et troværdighedsmål, se FIGUR 4. De røde prikker i enkelt voxler som viser 100% tillid til tolkningen i det pågældende punkt skyldes at der i punktet findes en boring. Boringerne tolkes som sandheden. I et punkt hvor der findes en boring skal tolkningen derfor være identisk med boringen. Det er årsagen til at der angives 100% tillid til modellen i de pågældende punkter. Forekomsten af geofysiske data øger ligeledes tilliden til en tolkning.



FIGUR 3. Mest sandsynlige hydrogeologiske model (mode-model) baseret på 50 realisationer ved Tulip-grunden



FIGUR 4. Tilliden til mode-modellen angivet som sandsynligheden for at en voxelcelle vil være i overensstemmelse med en boring på lokaliteten.

e. Sammenligning af manuelle og autogenererede modeller for Tulip

Med en autogenereret model følger kvantificerede usikkerheder, som primært defineres i forhold til datagrundlaget i et punkt. I de manuelle modeller vil man sædvanligvis ikke tolke variationer i lag, der ikke er dokumenteret i data hvorimod autogenererede modeller vil have en større intern variation i lagpakker svarende til den generelle variation i modellen.

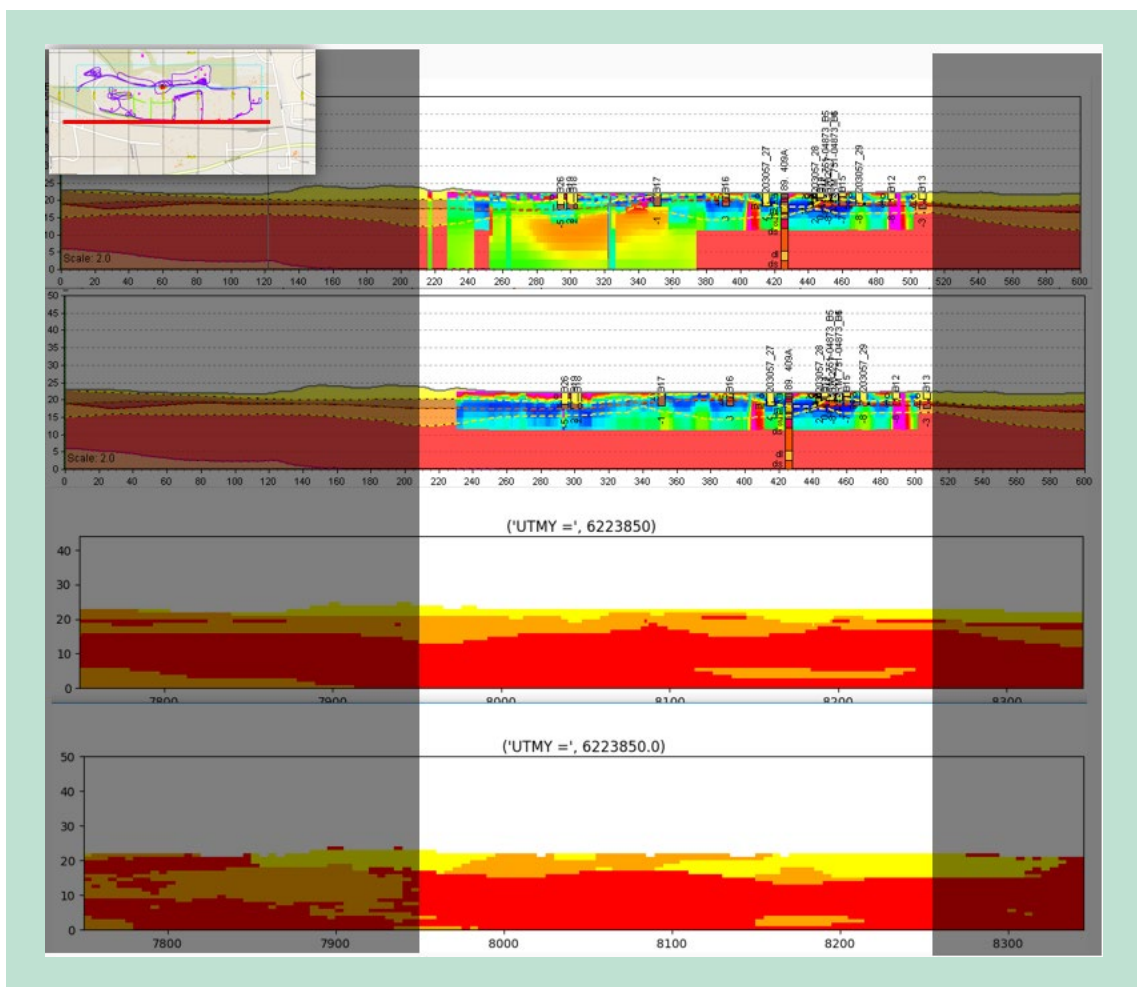
Herunder ses eksempler på resultater langs samme profil fra de to modeller. De to øverste profiler illustrerer datadækningen langs et profil for hver af de to metoder. Den geostatistiske model er således baseret på boringer og DualEM data (næstøverste profil) imens den manuelle model også inkluderer ERT data (øverste profil). De mørke områder er datatomme områder. Som baggrund for datagrundlaget ses den initialt tolkede manuelle lagmodel. Det næstnederste profil er fra den manuelle model. Her fremgår det relativt tydeligt at der er tolket i lag, særligt i de datatomme områder.

Det ses at der er justeret i voxel-modellen således at et lerlag med begrænset udstrækning er tilføjet hvor dette er fundet i en boring. Det nederste profil viser den geostatistiske model. I det område hvor der forefindes data ses en god overensstemmelse i dybden til sandlaget (rød). Fordelingen af fyld og ler derimod er forskellig i de to modeller. Det skyldes at den geostatistiske model primært evaluerer en sandsynlighed for fyld baseret på en resistivitet hvor fyld-observationer i borerne gives en meget lille korrelationsafstand (Den afstand fra en boring hvor en lithologi i samme vertikale niveau er bundet til tolkningen i boringen). Når det forskelligartede fyldmateriale har varierende resistivitet vil det derfor nogle gange falde i sand og andre gange i lerkategorien. I den manuelle model er fyldlaget i høj grad baseret på interpolation støttet af geofysisk information imellem borerne. Det favoriserer knapt så abrupte overgange.

I datatomme områder er der stor forskel på de to modeller. Den manuelle model er baseret på interpolation over lange afstande imellem borerne i fokusområdet og udenfor dette. Den geostatistiske model baseres på sandsynligheden for at finde sand hhv. ler i den givne dybde og leverer et væsentligt mindre lagdelt udtryk.

Opsummeret ses altså:

- Høj datatæthed: God overensstemmelse imellem manuel og autogenereret model
- Datatomme områder: Lagdelt udtryk i manuelmodel i modsætning til inhomogent udtryk i autogenereret model
- Inkonsistent sammenhæng imellem geofysik og lithologisk definition: Her stemmer modellerne ikke overens. Fyldlaget kan ikke defineres i den autogenererede model fordi sammensætningen og dermed resistiviteten varierer for meget og dækker flere kategorier.



FIGUR 5. Eksempel på tolkning af forskellige modeller og deres datagrundlag. Rød = sand, gul = fyld og orange = ler. Mørkeområder er datatomme.

Rød linje på oversigtskort viser profilbeliggenhed. Øverst: Datagrundlaget manuel model: ERT, DualEM og boringsdata. Næstøverst: Datagrundlag autogenererede modeller. To øverste baggrund: Manuelt tolket lagmodel. Laggrænser med stiplede linjer. Næstnederst: Manuelt tolket voxelmodel. Nederst: Mode-modellen af de 50 autogenererede voxelmodeller.

f. Evaluering og anbefaling ang. modeller

Det erkendes at man med autogenererede modeller kan spare rigtig meget tid. De autogenererede modeller kan fremstilles på mindre end 1/10 af den tid det tager at oprette en manuel model. Modellerne er ret ens i områder hvor datatætheden er stor. Imens de kan være ret forskellige i datatomme områder.

TABEL 1. Sammenligning af autogenereret og manuel model

Modeltype	Manuel model	Autogenereret model
Produktionstid	Måneder	Dage-uger
Påkrævet opmærksomhed i produktionsperioden	100%	5-10%
Opdateringstid	Uger-Måneder	Timer-Dage
Mulighed for ajourføringer	Svært og dyrt	Nemt og billigt
Håndtering af datatomme områder	Geologisk forståelse	Sandsynlighedsfordeling
Reproducerbarhed	Lille	Stor
Subjektivitet	Stor	Lille
Udvikling af geologisk forståelse hos modellør	Ja	Nej

Fordele ved de geostatistiske metoder:

- De er hurtige og dermed billige
- Reproducerbare med veldokumenterede arbejdsgange. Subjektiviteten er fjernet.
- Løbende ajourføring er mulig

Fordele ved manuelle modeller:

- Lokalt geologisk kendskab kan indarbejdes i de geologiske modeller (Jørgensen 2013).
- Den som udarbejder modellen får opbygget den geologiske forståelse som ligger ud over modellen i forhold til at forstå hvad der sker i området.

Der ses en forskel på manuelle og autogenererede modeller i områder med fyld. Pga. variationen i resistiviteten i fyld vil noget tolkes som ler andet som sand i den automatiske tolkning. Det er anderledes end den manuelle løsning hvor fyldlaget er væsentligt bedre defineret. Spørgsmålet er om det er en fordel at fyld er identificeret som fyld eller om det er de hydrauliske egenskaber beskrevet ved resistiviteten der er vigtigst. Her skal man tage en beslutning om hvorvidt man ønsker at have fyldkategorien eller om man vil lade den inddele i andre lithologier. Vælger man at have fyldkategorien skal denne tolkes manuelt.

Til hydrogeologiske modeller anbefales en kombination af autogenereret og manuel model når mere end 2/3 af et område har god datadækning. God datadækning defineres i denne sammenhæng som tilfælde hvor boringer og geofysik tilsammen giver information nok til at simpel interpolation imellem informationspunkterne leverer en fornuftig forståelse for geologien i området. Se evt. "Best Practice" afsnit 10.1. Der kan spares megen tid ved at starte med en autogenereret model som efterfølgende tilpasses manuelt. Det konstateres at i områder med god datadækning vil modellerne være ret ens. Disse kan derfor autotolkes. Den geologiske forståelse kan efterfølgende anvendes til kvalitetssikring af især datatomme områder. Det bør altid være op til en geolog med lokalkendskab at kvalitetssikre de autogenererede modeller.

7. AP 5: Udvikling af programmet til FEFLOW og stoftransportmodeller

I projektet er udviklet programmer til import af hydrogeologiske modeller til FEFLOW. Dels fra xyz / csv format som kan eksporteres fra GeoScene3D, dels for MUDFLOW format. Dette afsnit beskriver metoden for den hydrologiske modellering og stoftransportberegningerne

En beslutningstager som træffer afgørelser uden at kende usikkerheden på den tilgrundliggende information risikerer enten at løbe uvidende ind i en katastrofe eller at kræve unødige sikkerhedsforanstaltninger. At kvantificere usikkerheden forbundet med beslutninger er en forudsætning for god økonomi og sikkerhed. Risikoen for reaktivering af forureningerne vurderes baseret på stoftransportberegninger for en suite af mulige hydrologiske modeller.

Resultaterne af den hydrologiske modellering og stoftransportmodellerne viser at der ikke er risiko for reaktivering af forureninger ved SPARK-grunden. Terrænnært grundvand derimod ser ud til at kunne være et problem. For Tulip-grunden forventes forureningerne syd for grunden allerede at være aktiverede. Det planlagte nedsivningsanlæg bidrager ikke signifikant til stigninger af vandspejlet ved de kendte forureninger. Der kan være noget i forhold til banelegemet, hvor vandet kommer til at stå højere på den nordlige side, afhængig af dettes lithologiske sammensætning.

a. Grundvandsmodel

På baggrund af de højopløste geologiske voxelmodeller, er det muligt at vurdere de grundvandsmæssige konsekvenser ved lokal afledning af regnvand (LAR) på henholdsvis SPARK- og Tulip-grunden ved anvendelse af grundvandsmodellering. Til beregning af det hydrauliske trykniveau anvendes den numeriske Finite Element model FEFLOW, der løser den styrende differentiaalligning for mættet, tidsafhængig grundvandsstrømning og opløst transport i tre dimensioner (Diersch, 2014):

$$S_s \frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{q} = Q \quad (1)$$

$$\mathbf{q} = -\mathbf{K} \nabla h \quad (2)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \nabla \cdot [\mathbf{D} \nabla C] - \nabla \cdot [\mathbf{q} C] + A \quad (3)$$

S_s er det specifikke magasintal (1/m); h er det hydrauliske trykniveau (m); t er tid (s); $\mathbf{q}$ er Darcy hastighedsvektoren (m/s); Q er et kildeled (1/s); $\mathbf{K}$ er den hydrauliske ledningsevnetensor (m/s); C er koncentrationen (kg/m³); $\mathbf{D}$ er den mekaniske dispersionstensor (m²/s) og A er et kildeled (kg/m³/s).

I kalibreringen af SPARK-modellen beregnes den stationære strømning i stedet af hensyn til beregningstider. Her sættes det første led i Ligning 1 lig nul. Opløst transport undersøges heller ikke for SPARK-modellen idet det allerede ved den hydrologiske modellering konstateres at der ikke er risiko for reaktivering af forureningerne. I ensemble-modelleringen af Tulip-grunden betragtes stationær opløst transport, hvorfor venstresiden af Ligning 3 sættes lig 0. Der tages ikke eksplicit hensyn til overfladestrømning i modelberegningerne.

Inputparametre og modellering er dokumenteret for hver af de to cases i afsnittene 9.e.i og 9.e.ii samt 10.f.i til 10.f.iii.

8. AP 6: Best Practice

I projektet er udarbejdet en best practice som skal hjælpe den kommunale medarbejder med at sikre at vedkommende ikke overser en risiko for reaktivering af forureninger når der gives tilladelse til etablering af nedsivningsanlæg.

Den udarbejdede best practice er vedhæftet denne rapport som bilag 1

En best practice er udarbejdet baseret på eksisterende viden kombineret med erfaringer fra de to caseområder. Best practice er vedlagt denne rapport som bilag 1

Under udarbejdelsen af best practice blev det klart at det ikke var veldefineret i hvor stor afstand fra en forurening man bør være bekymret for at etablere et LAR-anlæg. For at besvare dette spørgsmål blev derfor i projektet udviklet programmel til beregning af både et konservativt og et optimistisk estimat. Det kan således anvendes til at evaluere hvor langt man skal kigge når man bekymrer sig om forureninger i nærheden af et LAR-anlæg.

Idet superpositionsprincippet er gældende kan man se bort fra variationer i det eksisterende trykniveau i undergrunden og alene se på ændringen i trykniveau som følger af den planlagte nedsivning. Det antages i programmet at det lag der nedsives til er homogent, har konstant tykkelse og transmissivitet. En antagelse som naturligvis virker bedre jo mindre afstand fra nedsivningslokaliteten man betragter. For dokumentation af programmet se Bilag 2.

9. Tulip-grunden

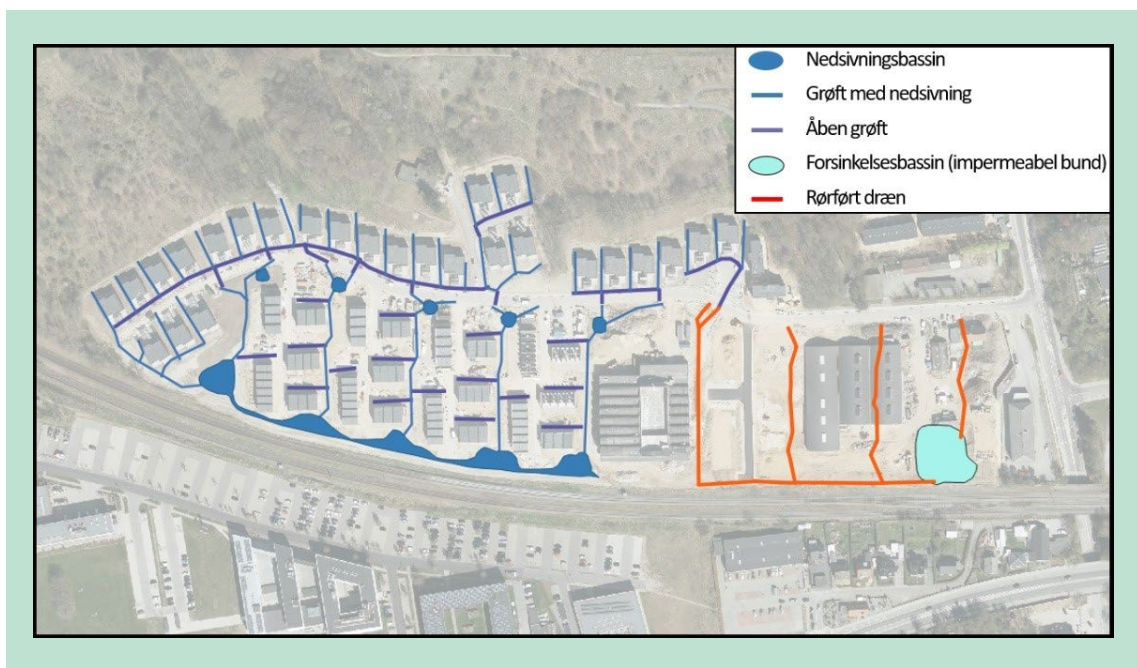
De følgende afsnit samler undersøgelser for Tulip-grunden fra de forskellige arbejds pakker.

a. Planer for Tulip-grunden

Tulip-grunden er i gang med at blive omdannet fra industri til boligareal. De fleste af de tidligere fabriksbygninger er revet ned og boliger er under opførelse. Det er hensigten at håndtere regnvand dels ved nedsivning af vand fra grundens vestlige del, dels ved forsinkelse på grundens østlige del.

Ved projektopstart er arbejdet med nedrivning og etablering af beboelsesejendomme allerede iværksat. Denne proces er fortsat men ikke afsluttet i projektets løbetid. FIGUR 6 viser Tulip-grunden med den aktuelle bebyggelse ved projektets afslutning, med illustration af det endnu ikke etablerede men planlagte LAR-system.

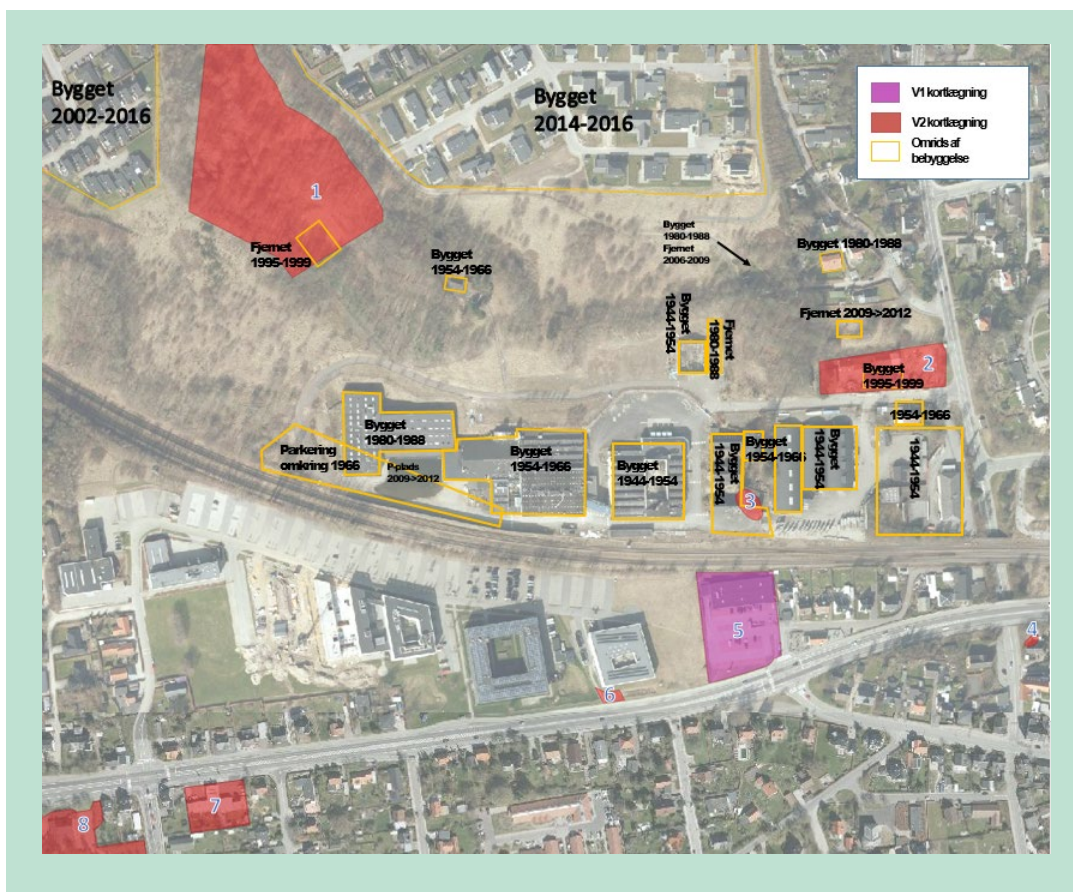
Den oprindelige bebyggelse ved projektstart fremgår af FIGUR 7.



FIGUR 6. Oversigt over planer på Tulip-grunden

b. Historisk gennemgang for Tulip grunden

Hensigten i nærværende projekt er at undersøge risikoen for aktivering af forureninger ved etablering af det planlagte LAR-anlæg. For at få overblik over udviklingen på Tulip-grunden dels i forhold til ændring i belægningsforhold og dermed nedsivningsmængder dels i forhold til potentielle forureninger er flyfotos og orthofotos fra hhv. <http://geomidt.flyfotoarkivet.dk/> og <https://arealinformation.miljoportal.dk/html5/index.html?viewer=distribution> gennemgået. FIGUR 7 viser udviklingen i bebyggelse på grunden samt nabogrunde siden 1944, hvorfra de første oversigtsfotos stammer. V1 og V2 kortlægninger er nummereret således at der i det følgende kan henvises til disse.



FIGUR 7. Historisk overblik over bebyggelse på Tulip-grunden samt V1 og V2 kortlægninger

I 1944 var grunden ubebygget. På nabogrunden i nordvest lå en enkelt gård. Den til gården hørende grund er V2 kortlagt (nr. 1) med tungmetaller og tungere oliestoffer i jorden efter produkthandel og funktion som skrotplads. Gården er senere fjernet.

Bebyggelser på den sydlige halvdel af grunden er tilkommet gradvist med udvidelser af det slagteri som havde til huse deri. Høiriisgaard Invest A/S har fået foretaget en forureningskortlægning på grunden, (NIRAS, 2008). Ved en overjordisk tank var konstateret læk med udslip af tung Fuelolie, som resulterede i en V2 forureningsklassifikation op til 5m fra tanken (nr. 3). Desuden er fundet terrænnære forureninger rundt på grunden i relation til vejarealer, vaskeplads, autovægt mm. Disse forureninger samt nr. 3 er opgravet og kørt bort i forbindelse med transformation af grunden til boligområde.

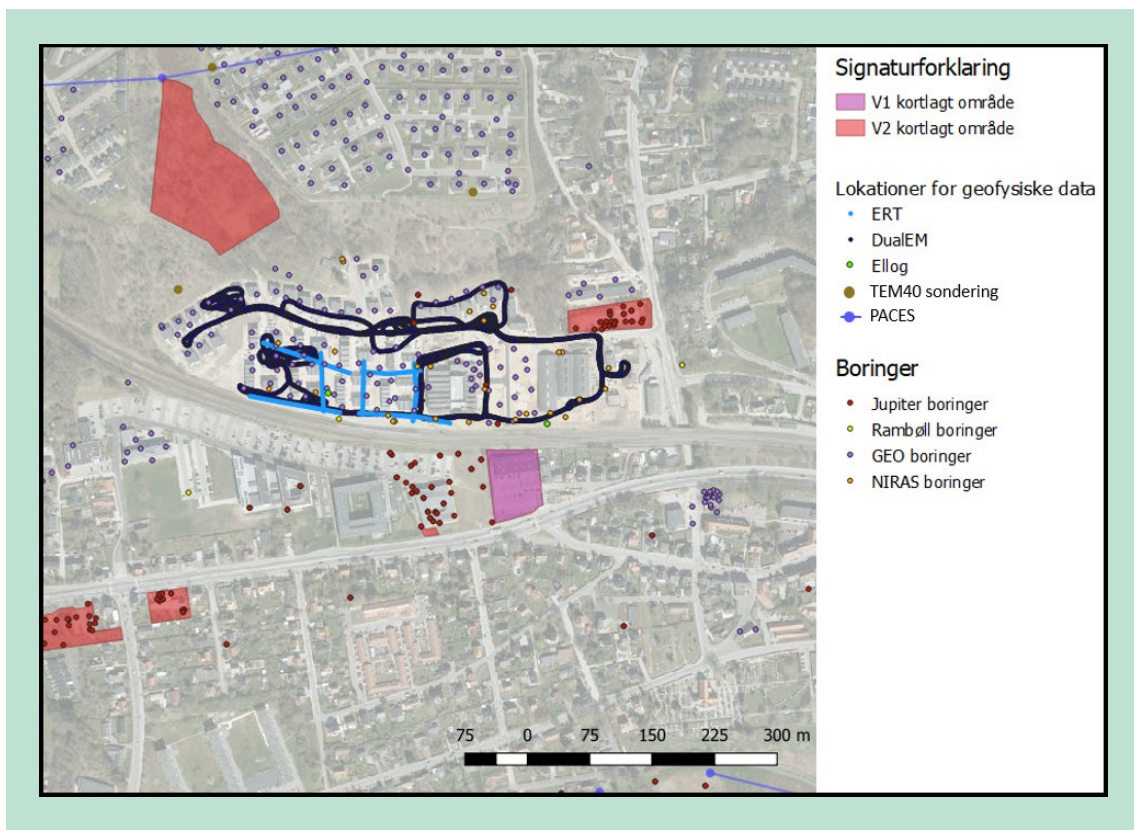
Den nordlige halvdel af grunden udgøres af en skrænt med kun enkelte små bygninger. Som det fremgår er flere af de bygninger, der har ligget på skrænten, fjernet igen. Nordøst for grunden findes endnu en V2 kortlægning (nr. 2) hvor PAH'er er konstateret i oplagret jord på grunden. Syd for grunden ses dels en V2 kortlagt forurening som repræsenterer jordforurening med totalkulbrinter op til 14.000 mg/kg TS stammende fra en trælast/træimprægnering (nr. 6). Desuden er der en V1 kortlægning, under mistanke for forurening pga. funktion som autoværksted og servicestation (nr. 5). Den eventuelle forurening på denne lokalitet er dog ikke kortlagt. Imod sydøst har spild fra en fyringsolietank resulteret i jordforurening med totalkulbrinter op til 12.000 mg/kg TS (nr. 4).

Samtidig bemærkes tilstedeværelsen af banelegemet langs Tulip-grundens sydlige grænse. Banelegemer må generelt betragtes som en linjekildeforurening pga. pesticider anvendt til renhold af banelegemet og phenoler og PAH'er der kan være afgivet fra de trykimprægnerede jernbanesveller.

Imod sydvest ses to V2 kortlægninger. Nr. 7 hvor der tidligere har ligget en tank-/servicestation, som har resulteret i jordforurening med dieselolie og benzin i koncentrationer op til 3.600 mg/kg TS og grundvandsforurening med 150 µg/l total-kulbrinter. Nr. 8 hvor et gasværk, tjæretanke og olietanke har resulteret i forurening med PAH'er og BTEX.

c. Datagrundlag Tulip

På Tulip-grunden anvendes foruden data tilgængelige fra nationale databaser også data indsamlet som en del af modnings og analyseprogrammet for det generelle byggeprojekt. Desuden er indsamlet geofysiske data som en del af nærværende projekt. Herunder beskrives datagrundlaget med hensyn til dækning, kvalitet og overensstemmelse. FIGUR 8 viser et samlet overblik over data tilgængelige i projektområdet. De forskellige datatyper beskrives i de følgende afsnit.



FIGUR 8. Oversigt over tilgængelige data til hydrogeologisk modellering for Tulip-grunden.

i. Boringsdata Tulip-grunden

For Tulip-grunden findes en begrænset mængde boringer i Jupiterdatabasen. Regionen har nogle boringsinformationer syd for selve grunden. GEO har en større mængde korte geotekniske boringer på Tulip-grunden og nord for grunden hvor der for nylig er opført et parcelhuskvarter. Disse boringer er venligst stillet til rådighed for projektet.

På Tulip-grunden findes 3 dybe boringer i Jupiter på hhv. 52, 53,5 og 70m dybde.

De er ikke geologbedømte, og angiver alene kategorierne sand og ler, men de er anvendelige til opstilling af en hydrogeologisk model.

Syd for Tulip-grunden samt i dens nordvestlige hjørne ses en større mængde Jupiterboringer. Disse boringer ikke indrapporteret med geologiske beskrivelser til Jupiter på tidspunktet for oprettelse af modellen. Størstedelen tilhører regionen og er dermed tilgængelige fra Regionens GeoGIS database.

Desuden har Niras 27 relativt korte boringer rundt på grunden bl.a. udført i forbindelse med forureningsundersøgelser.

Mange borer er kun 3m dybe og næsten alle er kortere end 8m. Boringerne viser varierende fyldmængde underlejret af senglaciale ferskvandsaflejringer, smeltevandssand eller moræner. Af boringerne fremgår det at der er mange tynde lag, tyndere end 1m, tilstede i boringerne som man ikke vil tolke ind i en geologisk model og som heller ikke vil kunne identificeres i de geofysiske data.

Det ses at der i størstedelen af området findes ferskvandsaflejringer under et fylddække af varierende tykkelse. Ferskvandsaflejringerne er ikke tolket i den geologiske model, det skyldes igen at lagene i boringerne er mere detaljerede end det giver mening at tolke på baggrund af spredte punktinformationer desuden er der rodet en del rundt i området. Bygninger er revet ned og fundamenter fjernet, herved må det forventes at der er sket en opblanding af de øverste jordlag i de områder, som tidligere var bebygget. Således indgår ferskvandsaflejringerne forventeligt i et nuværende blandet fyldlag.

ii. Geofysiske data

1. Eksisterende Gerda data ved Tulip-grunden

Der var ingen geofysiske data til rådighed fra Tulip-grunden inden kortlægningen foretaget i nærværende projekt. Indenfor en 1 km buffer fra projektgrunden findes 6 stk. TEM40 sonderinger imod nord. Desuden enkelte PACES linjer, der dog ikke betragtes som pålidelig information.

2. ERT data Tulip-grunden

I projektet indsamledes ERT data med et LS terrameter samt 4 kableruller af 21 udtag med en elektrodeafstand på 2m. Det var ingen steder muligt at udlægge hele kabellængden på 160m. Det skyldtes geometri (opfyldning, nedrivning og bygninger) samt tilstedeværelse og kørsel med maskiner på grunden.

Ved ERT metoden sendes strøm imellem to elektroder (strømelektroder) imens den resulterende spændingsforskel registreres imellem andre elektrodepar (potentialeelektroder). Det registrerede spændingsfald i forhold til geometrien (konfigurationen) af par af to strømelektroder og to registrerende potentialeelektroder giver information om hvor godt eller dårligt jorden leder strøm. Stigende afstand imellem elektroder giver information som omfatter et stadig større jordvolumen.

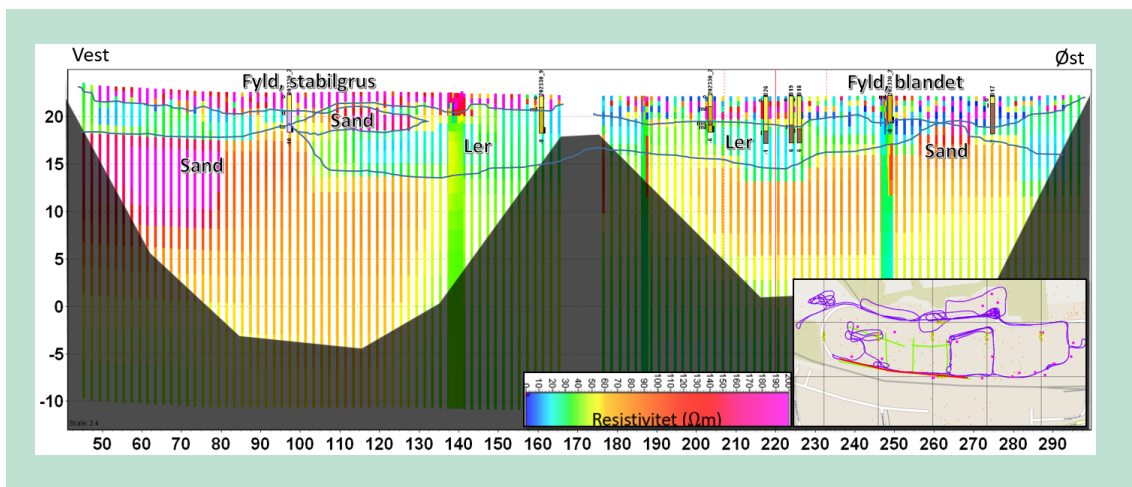
Når man har indsamlet mange målinger for forskellige elektrodekonfigurationer kan registreringer med forskellig følsomhed for forskellige områder langs et profil inverteres hvorved der genereres en mulig model for modstanden (resistiviteten) i jorden. Høje resistiviteter svarer til mere sandede aflejringer imens lavere resistiviteter svarer til mere lerede aflejringer. Med de anvendte profil længder kan der opnås information om de øverste 10-20m af jorden.

ERT profilerne er indsamlet af to omgange p.g.a. varierende tilgængelighed i forskellige dele af området. Første indsamlingsheat foregik i marts måned 2018 hvor 3 linjer blev indsamlet på grundens vestligste del. Indsamlingen foregik i blidende kulde og blæst og jorden var meget våd, flere steder stod der vand på terræn. Der var meget blødt og leret og flere steder var der strøet grus eller lecagrus på overfladen for at undgå nedsynkning. Anden indsamling foregik efter nedrivning af næste bygning i juni i stegende hedebølge som allerede da havde varet længe. Jorden var helt tør overfladenært, lokalt med tørspækker.

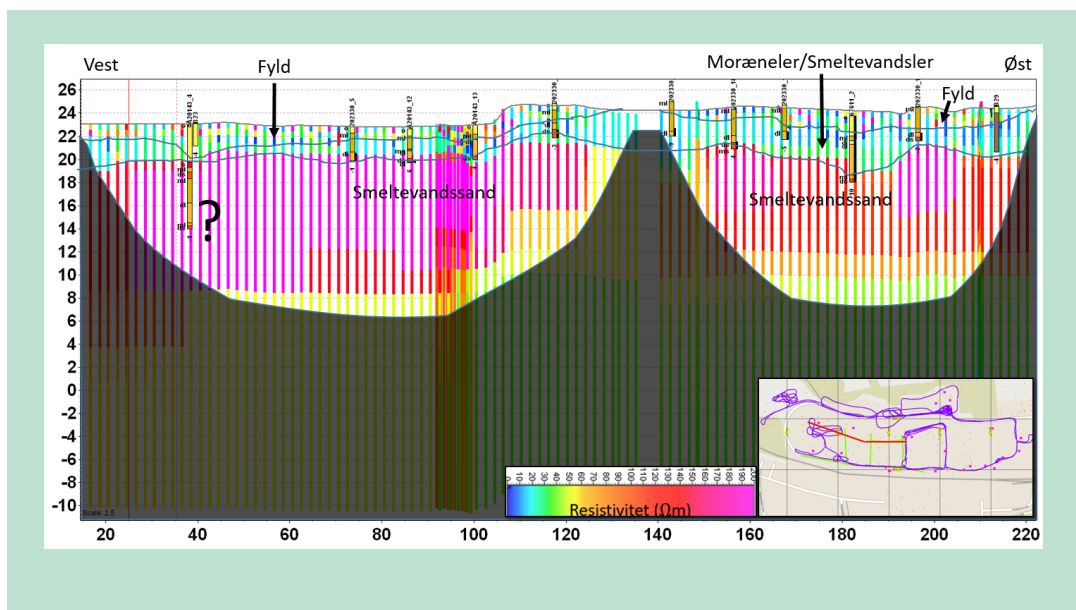
De øverste dele af jordlaget var opgravet og omlejret som følge af nedrivningsarbejdet, der også omfattede fjernelse af kælder og pælefundering. Terræn var formentlig ændret i forhold til det som fremgår af kortforsyningens data. Ændringen fremstod dog meget begrænset ved sammenligning af terrænmodel og punkter indmålt med GPS under dataindsamlingen. For nemheds skyld besluttedes det derfor at anvende terrænmodellen fra kortforsyningen ved tilskrivning af koter til elektroder.

Der indsamledes i alt 7 profiler, 4 vest-øst orienterede og 3 nord-syd orienterede profiler. Overlap af profilerne et stykke inde tilstræbtes af hensyn til korrelation således at der forventes opløselighed til en rimelig dybde ved overlappositionerne.

ERT profilerne viser et højresistivt lag sydligt på grunden imod vestenden af kortlægningen til ca. 5m dybde, FIGUR 9. Dette tolkes som repræsenterende sand og grus, der på opmålingstidspunktet var fint revet ud til en plan jordoverflade. Over resten af området ses springende resistiviteter i et lag på 2-5m tykkelse øverst i profilerne. Dette lag tolkes som repræsenterende fyldlaget. De springende resistiviteter tolkes som forårsaget af den opblanding der forventeligt har fundet sted i forbindelse med det umiddelbart afsluttede nedrivningsarbejde, som bl.a. inkluderede opgravning af 6m lange fundamenter og efterfølgende udjævning af de deraf resulterende terrænforskelle. Langs det nordlige profil findes lave resistiviteter med springende værdier terrænnært til kote ca. 20m DVR90, FIGUR 10. Resistiviteterne er lavere end typisk for moræneler og ved første opmåling oplevede en feltmedarbejder at synke ca. 1m i et vandmættet hul. Det kunne tyde på at de lave resistiviteter repræsenterer en ukonsolideret senglacial ferskvandsler eller silt. I den sydlige del har det lavresistive lag et mere ondulerende udtryk. Både den øvre og den nedre grænse bølger op og ned. Lagets tykkelse varierer fra 0m til knapt 5m og bunden findes imellem kote 14 og kote 18. Herunder findes i nord 10m med høje resistiviteter, der kan tolkes som repræsenterende et sandlag, formentlig smeltevandssand. Laget kiler ud eller dykker imod syd.



FIGUR 9. Sydligt ERT profil. Rød linje på oversigtsbilledet i nederste højre hjørne viser placeringen af profilet. Sortmarkering skygger for data der ikke er pålidelige pga. for lav datadækning. Lilla og røde farver indikerer tilstedeværelsen af sandede/grusede aflejringer. Blå til grøn indikerer tilstedeværelsen af ler.



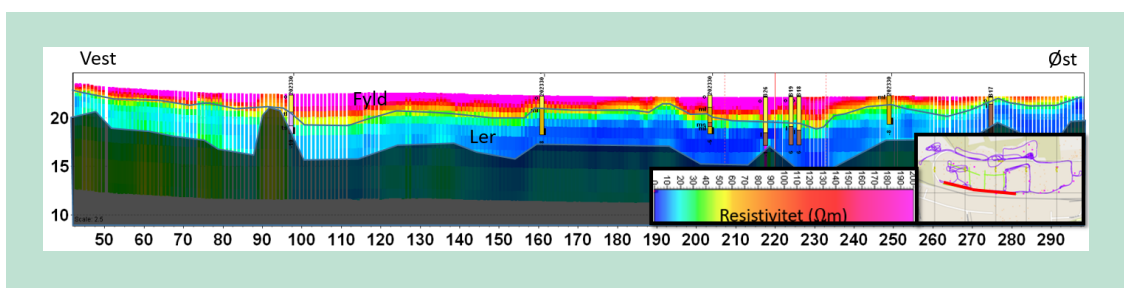
FIGUR 10. Nordlige ERT profil. Rød linje på oversigtsbilledet i nederste højre hjørne viser placeringen af profilet. Sort-markering skygger for data der ikke er pålidelige pga. for lav datadækning. Lilla og røde farver indikerer tilstedeværelsen af sandede/grusede aflejringer. Blå til grøn indikerer tilstedeværelsen af ler.

3. DualEM data Tulip-grunden

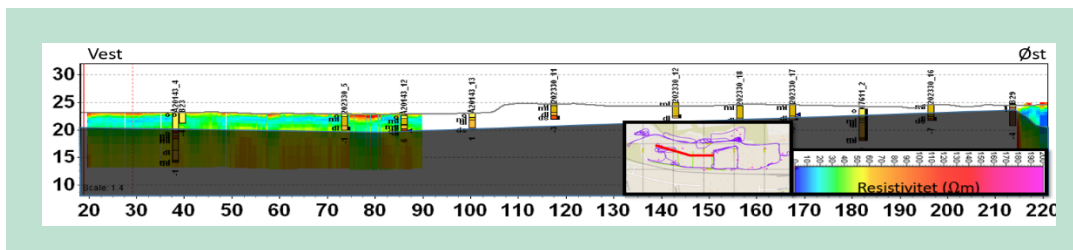
DualEM er en elektromagnetisk metode hvor et magnetfelt genereres fra en senderspole. Ændring i dette magnetfelt inducerer strøm i jorden som har sit eget magnetfelt (det sekundære magnetfelt). Dette sekundære magnetfelt registreres i 6 spoler med forskellige placeringer. 3 horisontale og 3 vertikale spoler hvilket svarer til 6 forskellige dybder. Styrken af det sekundære magnetfelt som registreres i spolerne afhænger af ledningsevnen i jorden og kan dermed oversættes til de viste profiler med modstandsfordeling (resistivitet) i ca. 5-10m dybde. I dette område kan DualEM opløse strukturer til ca. 5m dybde.

DualEM-data indsamledes inden ERT-data og før nedrivning af en del af de bygninger som var væk da ERT-data indsamledes. Det er muligt, at der kan være forskelle i terræn, som der ikke er korrigeret for. DualEM er kørt over et større område end ERT profilerne og er derfor værdifulde for modeltolkningen i forhold til tykkelsen af det øverste lag. Boringer er dog nødvendige for at afgøre hvor der skiftes fra fyld til intakt lagpakke.

Der findes generelt et højresistivt lag i toppen underlejret af et lag med lav resistivitet som ser ud til at repræsentere fyld-aflejringer særligt i den sydlige del af området, FIGUR 11. Fyldlaget forventes tyndere imod nord, FIGUR 12, hvor der primært er ændret i undergrunden ved anlæg af en byggevej.

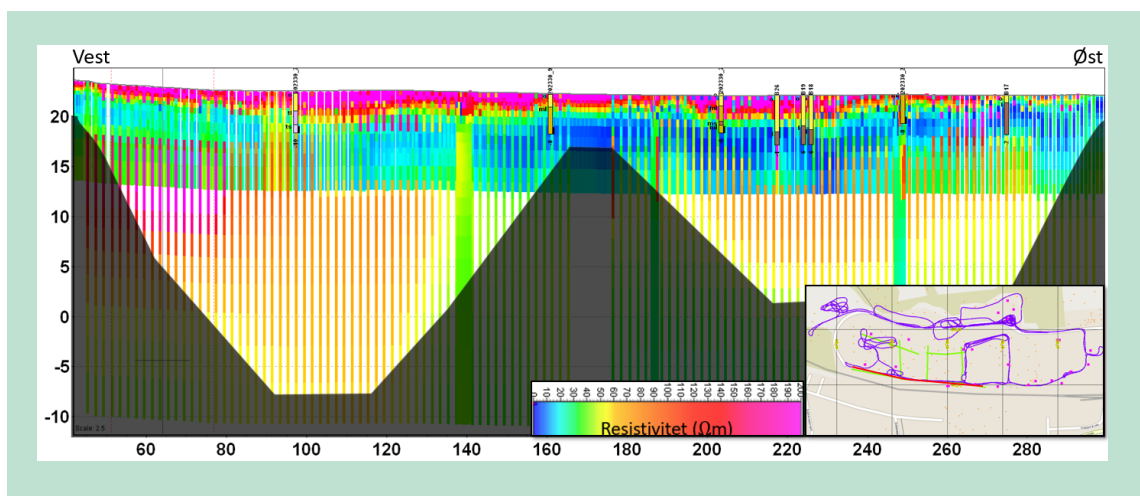


FIGUR 11. DualEM linje langs samme sydlige profil som ERT-data FIGUR 9. Rød linje på oversigtskort nederste højre hjørne viser placeringen. Rød-lilla farver i toppen korrelerer med formentlig overvejende sandet fyld svarende til en vej som fandtes hvor linjen indsamledes.

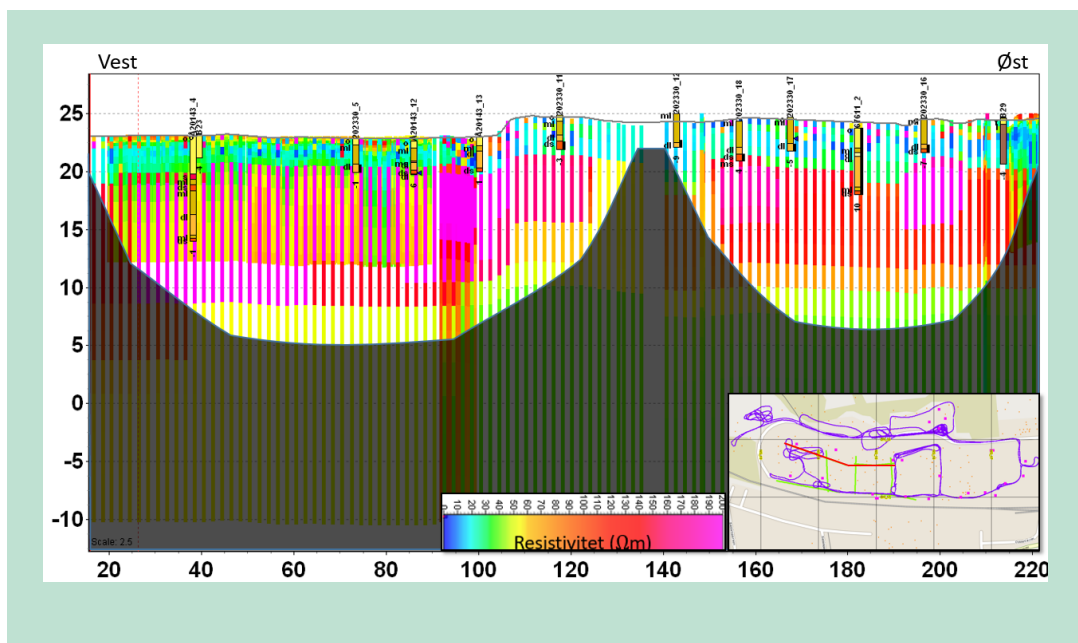


FIGUR 12. DualEM-data langs det nordlige ERT-profil.

ERT-data er plottet over DualEM-data i FIGUR 13 og FIGUR 14 og der ses generelt en god overensstemmelse imellem de to profiler. Fejlen i den vertikale placering som følge af nedrivningsarbejdet vurderes derfor overvejende insignifikant.



FIGUR 13. Samlet visning af ERT, borer og DualEM data langs sydligt profil (rød linje på oversigtsfigur i nederste højre hjørne).



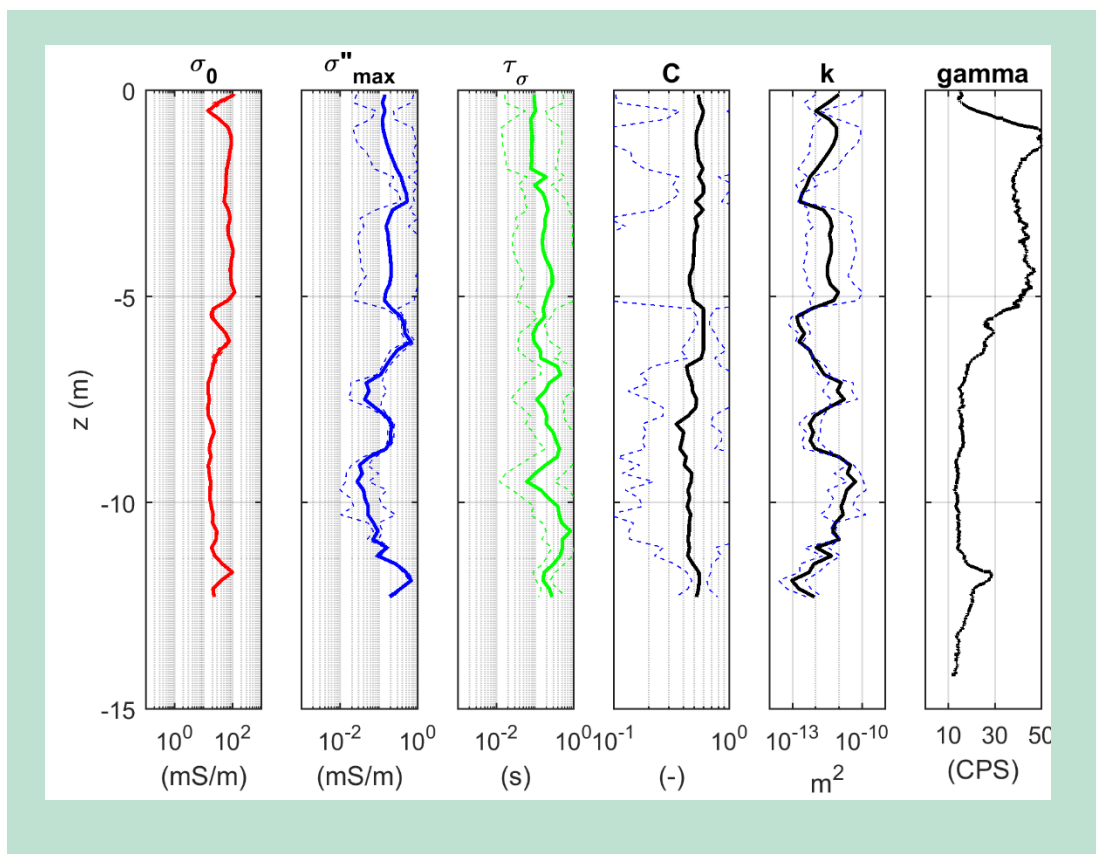
FIGUR 14. Samlet visning af ERT, boringer og DualEM data langs nordligt profil (rød linje på oversigtsfigur i nederste højre hjørne).

4. El-log Tulip-grunden

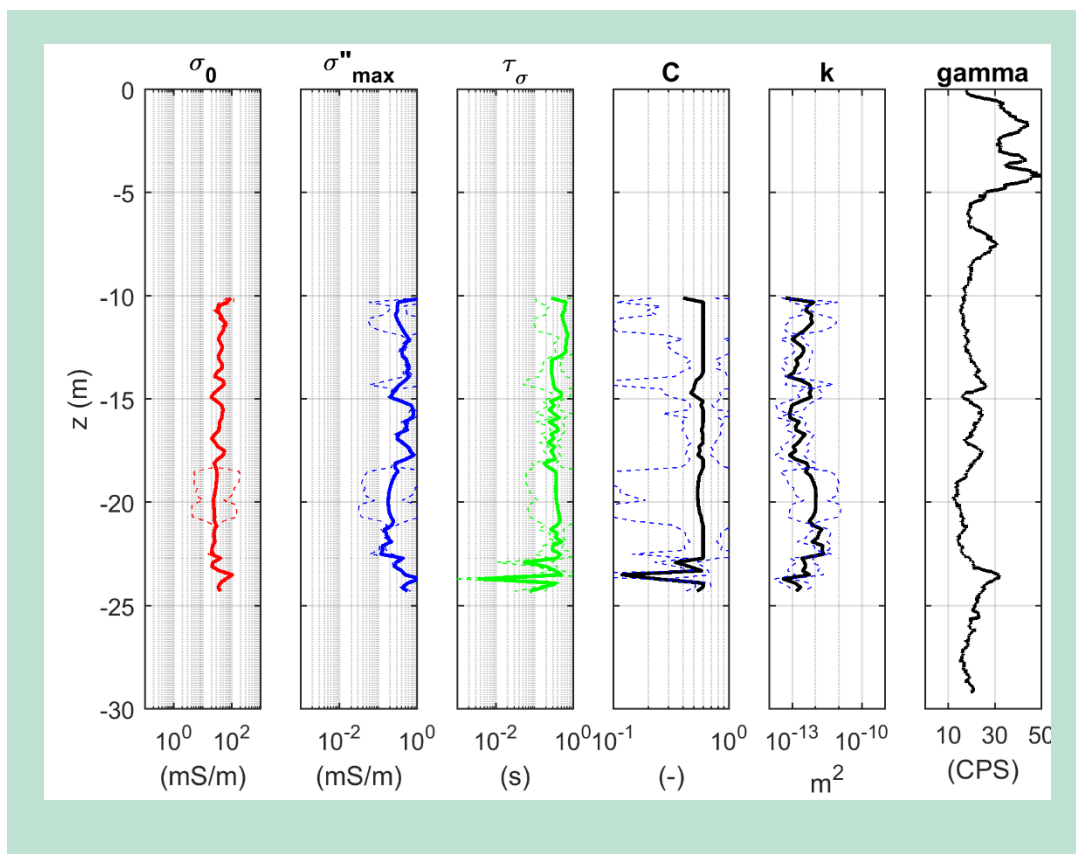
I to positioner på Tulip-grunden har Aarhus universitet indsamlet el-log data, FIGUR 15 og FIGUR 16. Begge positioner viser et lerlag til ca. 5m under terræn. Derefter bliver sedimenterne mere sandede, med tyndere indslag af mere lerede aflejringer

TABEL 2. El-log boringer Tulip

Boringsnavn	UTMX	UTMY	Boringsdybde [m]
Tulip 1	567972	6223882	14.5
Tulip 2	568235	6223845	29.5



FIGUR 15. Inversionsresultater Tulip 1 el-log. Stiplede linjer angiver konfidensintervaller svarende til 1 standardafvigelse



FIGUR 16. Inversionsresultater Tulip 2 el-log. Stiplede linjer angiver konfidensintervaller svarende til en standardafvigelse.

iii. Evaluering af datagrundlag på Tulip-grunden

Som det fremgår af ovennævnte gennemgang findes en relativt stor datadækning lokalt på Tulip-grunden, således vurderes datadækningen af være rigtig god til 3-5m dybde. Herunder tynder det ud i datatætheden, men der findes data til ca. 20m dybde primært i det område hvor der muligvis ønskes nedsivning. Boringerne har som forventet en opløsning, der ikke meningsfuldt kan honoreres af modellen for området. De leverer dog helt uundværlig information til korrelation med geofysikken.

Det er således muligt at beskrive en lokal model for området helt inde på grunden. Ønsker man at strække den lokale model udenfor grunden skal man gå yderligere på kompromis med opløsningen pga. den faldende datatæthed.

Indenfor Tulipmatriklen er datatætheden høj i mere end 2/3 af området (høj boringstæthed og DualEM data). Samtidig befinder DualEM-data sig tæt på boringer mange steder. Dermed er det meningsfuldt at generere automatiske modeller for dette område. Udenfor matriklen er datadækningen ikke tilstrækkelig til at automatiske modeller vil være meningsfulde.

d. Hydrogeologisk model Tulip

For Tulipområdet er der både oprettet en manuel og 50 autogeneratede modeller

i. Modelområde

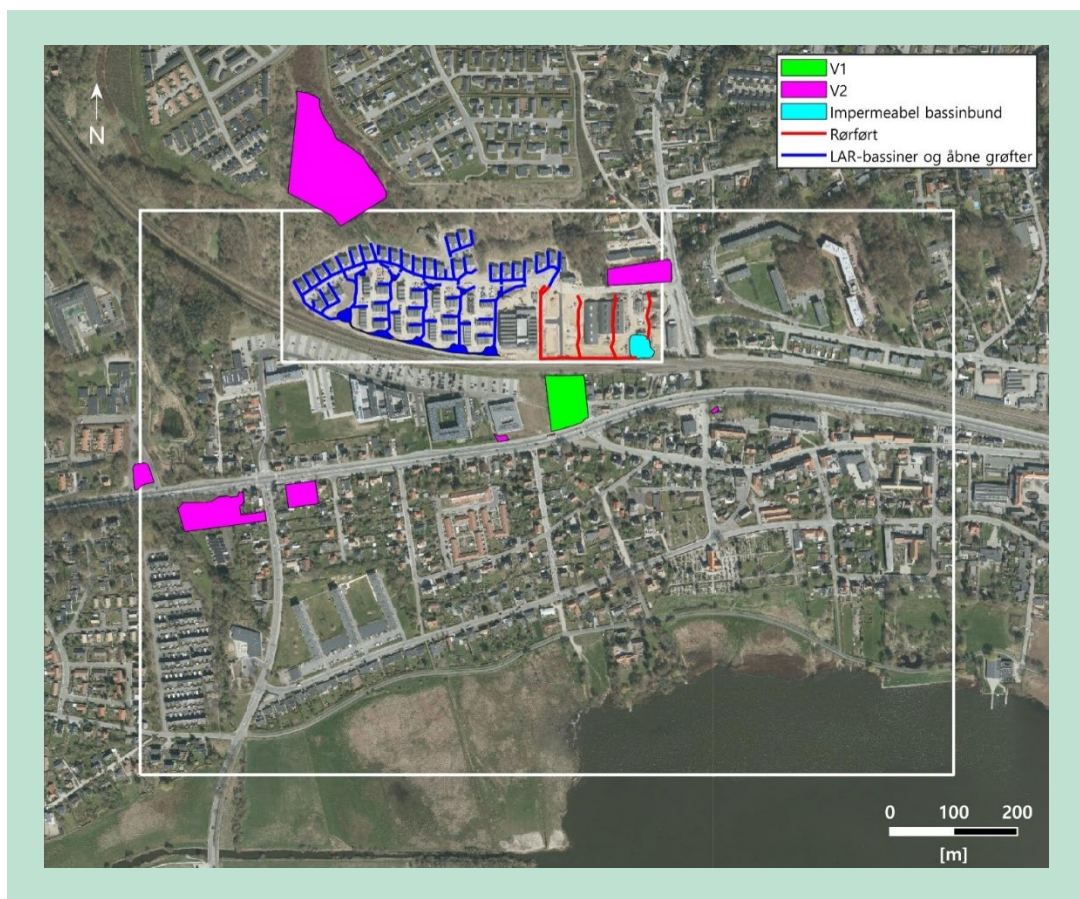
Modelområdet med LAR-anlæg og kendte V1 og V2 forureninger er illustreret, FIGUR 17.

Som det fremgår er der to modelområder. Det store modelområde er dækket af en enkelt manuel model. Det lille område har både en manuel model og 50 autogenererede modeller.

Årsagen til at de autogenererede modeller kun findes i det lille område er at dette område har en tilstrækkelig god data-dækning til at de betragtes som anvendelige uden manuel justering.

Dvs. det forventes at den registrerede variation i lithologi med dybden i datapunkter betragtes som repræsentativ for det modelområde der er inkluderet den automatiske modellering.

Pointen med at undlade manuelle justeringer af automatiske modeller er at det dermed er muligt at vurdere sandsynligheden for en vandstandsændring baseret på 51 mulige modeller for området.



FIGUR 17. Udstrækning af modelområder, hvide rektangler. Der er to modelområder som repræsenterer modeller med forskellige diskretisering.

ii. Hydrogeologi

Geologisk set er Tulip-grunden præget af forholdsvis tykke glaciale aflejringer, der veksler mellem glaciofluvialt velsorteret fin- til mellemkornet sand og ler med varierende sandindhold samt tillaflejringer. Sandaflejringerne udgør den primære transportvej for grundvandet i området, der i al væsentlighed afstrømmer i en sydøstlig retning til Braband sø. De store og rimeligvis gennemgående, lerede aflejringer virker standsende på grundvandets vertikale bevægelse, hvorfor der er artesiske forhold i de dybest-liggende sandlag i modellen, ned imod Brabrand sø.

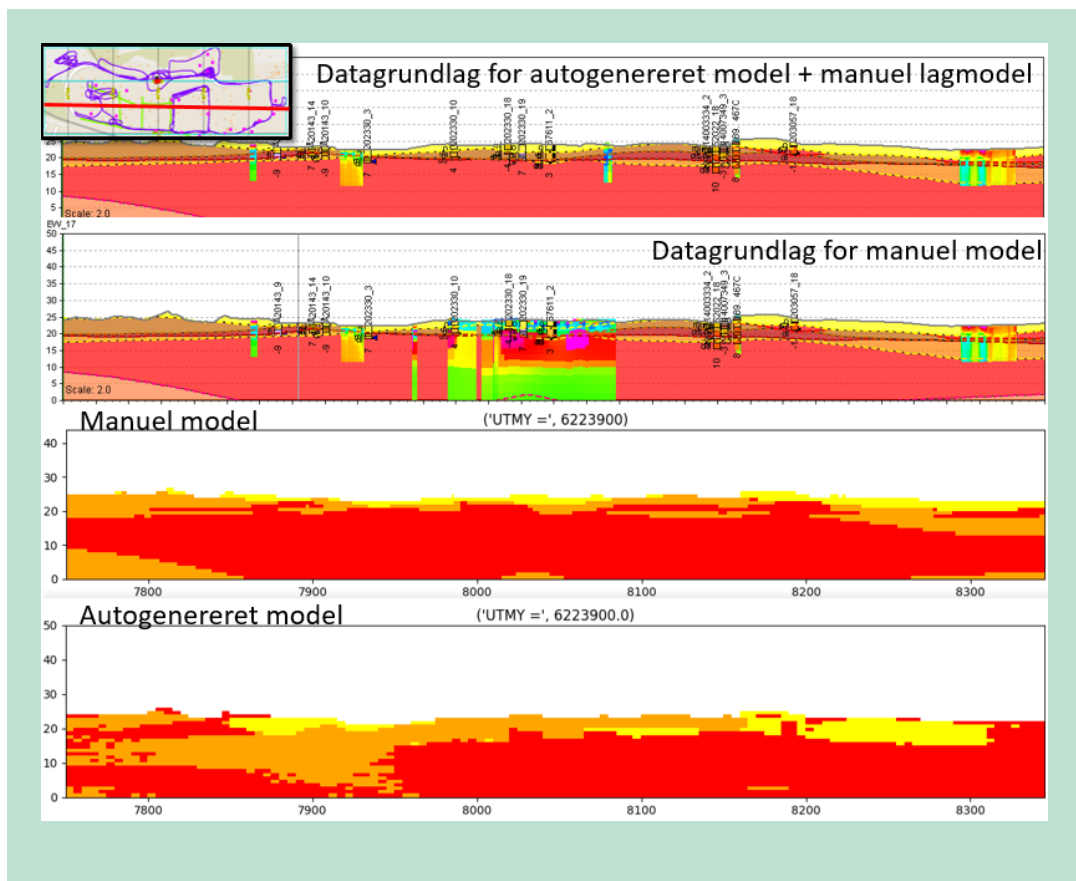
iii. Manuel model og automatiske modeller

Den manuelt tolkede model er oprettet som beskrevet i afsnit 6.c med voxelstørrelser på 5x5x1m. Indledningsvist var modellen oprettet med 1x1x0.5m voxler, det viste sig dog at være meget tungt at køre med i den hydrologiske modellering. Idet det kun var kældrene som kunne forsvare en opløsning på dette niveau vedtoges det at resample til 5x5x1m.

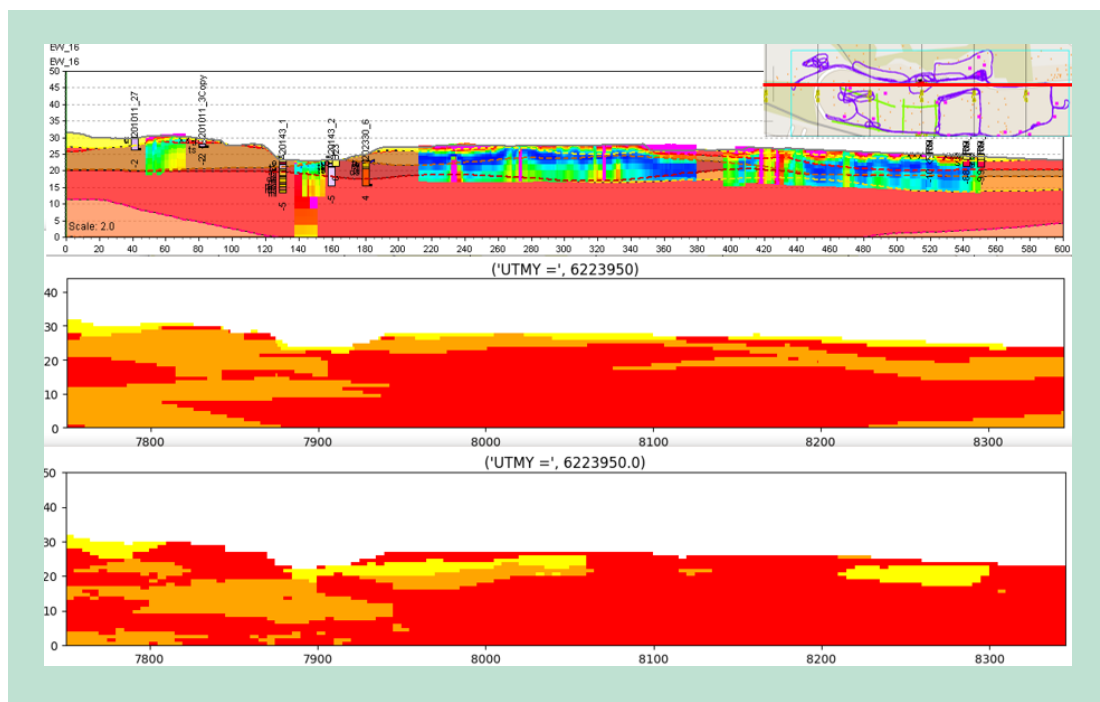
De autogeneratede modeller er oprettet som beskrevet i afsnit 6.d med voxelstørrelse på 5x5x1m.

Profilerne FIGUR 5, FIGUR 18 og FIGUR 19 viser datagrundlag og modeller for tre profiler på Tulip-grunden hvoraf det fremgår at bestemmelsen af udbredelsen af sandforekomster er relativt ensartet i manuelle og automatiske modeller imens ler og fyld forekomster er blandet sammen i den automatiske tolkning. Der er større uoverensstemmelse imellem modellerne jo færre data der er til rådighed. Det er også hvad man ville forvente af to manuelle modeller tolket af forskellige personer.

Generelt konstateres det at der er relativt meget sand imellem kote 0 og kote 20 på Tulip-grunden.



FIGUR 18. Profil fra geologisk model centralt på Tulip-grunden. Eksempel på tolkning af forskellige modeller og deres datagrundlag. Rød indikerer forekomsten af sand, gul af fyld og orange ler. Rød linje på oversigtskortet øverst venstre hjørne viser profilplacering. Øverst: Datagrundlag automatisk tolket model: DualEM og boringsdata. Næstøverst: Datagrundlag manuel model. To øverst: Baggrund: Manuelt tolket lagmodel. Laggrænser er stiplede linjer. Næstnederst: Manuelt tolket voxelmodel. Nederst: "Mode"-model 50 autogeneratede voxelmodeller.



FIGUR 19. Profil fra geologisk model centralt på Tulip-grunden. Eksempel på tolkning af forskellige modeller og deres datagrundlag. Rød indikerer forekomsten af sand, gul af fyld og orange ler. Rød linje på oversigtskortet øverst venstre hjørne viser profilplacering. Øverst: Datagrundlag automatisk og manuel model: DualEM og boringsdata. Baggrund: Manuelt tolket lagmodel. Laggrænser er stiplede linjer. Næstnederst: Manuelt tolket voxelmodel. Nederst: "Mode"-model 50 autogenererede voxelmodeller.

e. Hydrologisk modellering ved Tulip-grunden.

På Tulip-grunden planlægges etablering af et nedsivningsanlæg på grundens sydvestlige del. Dette frygtes at kunne påvirke grundvandsstanden og udvaskningen af eksisterende forureninger i undergrunden syd for matriklen. Derfor undersøges scenarier med og uden LAR-anlæg samt for klimascenarier med øget infiltration vha. hydrologisk modellering og stoftransportberegninger.

i. Hydrologisk parametrisering

Parametriseringen af modellen, der er anført i TABEL 3, er baseret på eksisterende litteratur, (Schwartz & Zhang, 2002). Der antages et forhold mellem den horisontale og vertikale hydrauliske ledningsevne på 10 for alle aflejringer.

TABEL 3. Hydraulisk ledningsevne for de tre lithologier anvendt i Tulipområdet

Lithologisk enhed	Hydraulisk ledningsevne [m/s]
Fyld (delvist antropogent)	10^{-4}
Fedt moræneler	10^{-8}
Sand	10^{-4}

ii. Randbetingelser

Alle vertikale rande defineres med specificeret trykniveau, der er kontureret ud fra pejlinger i de overfladenære aflejringer i området. Vandspejlet i Brabrand Sø fastholdes i kote 0,5 m. Infiltrationen sker vertikalt i de øverste aktive beregnings-elementer og sættes til 325 mm/år udenfor oplandene til LAR-bassinerne. Der er defineret en vandskelsbetingelse i bunden af modellen.

Oplandsinfiltrationen sættes til nul på nær i LAR-bassinerne. De befæstede arealer indenfor oplandene (i alt ca. 22.725 m²) bidrager med 90% af totalnedbøren (totalnedbør = 750 mm/år) imens de øvrige områder på i alt ca. 25.275 m², bidrager med henholdsvis 325 mm/år uden for bassinområderne og 200 mm/år for de åbne bassiner pga. større fordampning fra sidstnævnte.

iii. Ensemble-modellering

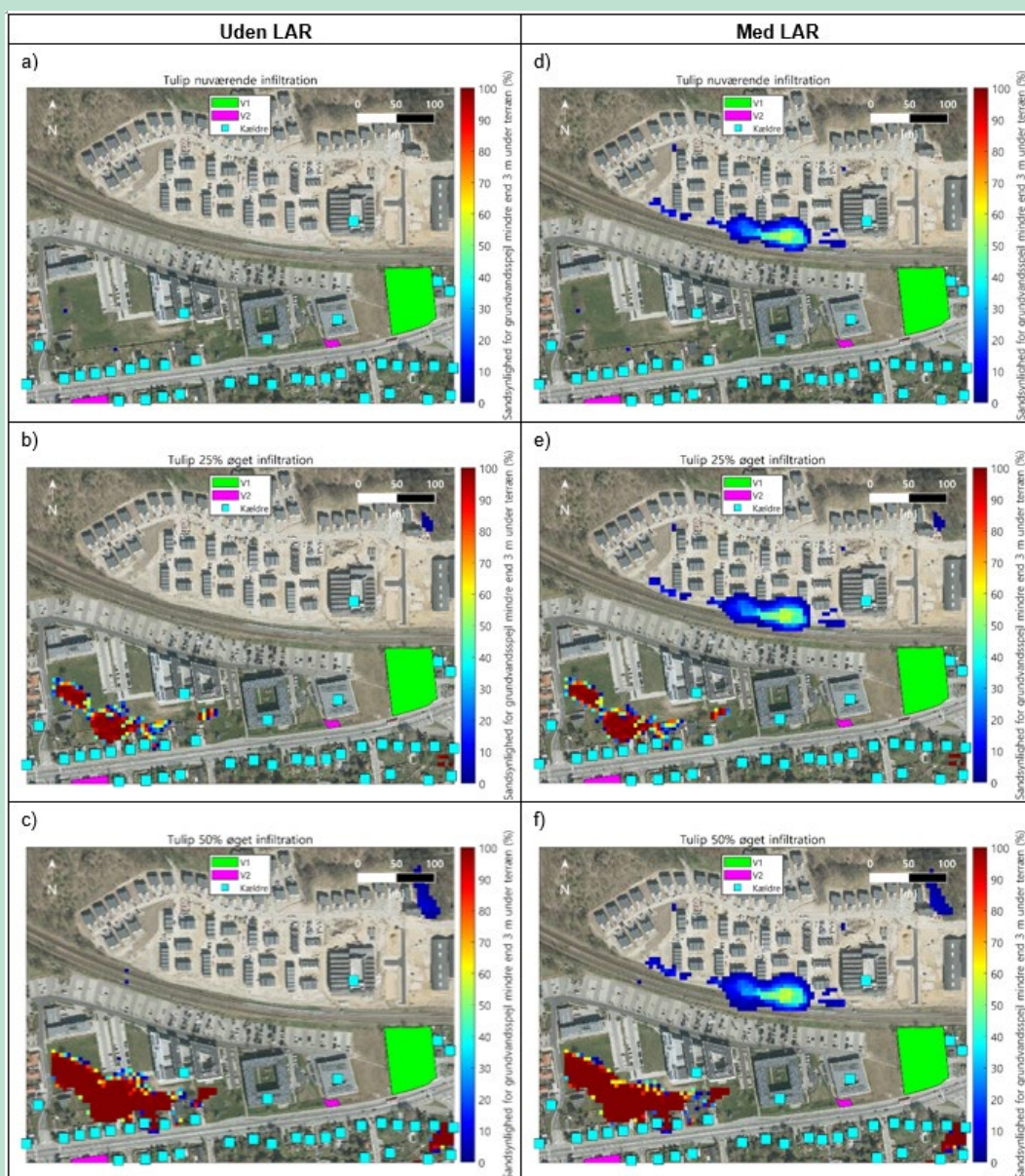
Der er i projektet blevet oprettet 50 autogenererede tolkninger af hydrogeologien i nærområdet ved LAR-bassinerne i tillæg til den manuelt tolkede hydrogeologiske model. Nærområdet er markeret med det lille hvide rektangel i FIGUR 17. Tolkningerne anvendes i ensemble-modellering af grundvandsforholdene i umiddelbar nærhed af LAR-bassinerne og danner grundlag for en vurdering af sandsynligheden for opstigende grundvand syd for området. Påvirkningen af de nærtliggende V1- og V2-forureninger undersøges med stationære beregninger af forureningsfanerne. Her sammenlignes de nuværende (beregnete) forureningsfaner med beregninger af forureningsudbredelsen efter etablering af LAR-bassinerne. Slutteligt kontureres det beregnede grundvandsspejl i V1 og V2- forureningen der gør det muligt at afgøre, hvorvidt disse forureninger befinder sig over eller under grundvandsspejlet. Dette spørgsmål besvares ikke her men kan afgøres af en anden part, der har kendskab til den vertikale udbredelse af forureningerne.

De 50 tolkninger er oprindeligt oprettet til grundvandsmodellen MODFLOW og det har derfor været nødvendigt at oversætte de tilhørende modeller med henblik på import i FEFLOW. Til dette formål anvendes Python til indlæsning af MODFLOW-filer med efterfølgende automatisk parametrisering af FEM-modellen med FEFLOWs API. Der foretages tre ensemble-kørsler, hvor infiltrationsmængden og den generelle nedbør øges med henholdsvis 25% og 50%.

iv. Resultater

1. Opstigende grundvand til kældre

For at undersøge problematikken vedrørende mulig opstigning af grundvand til kældre, er der udarbejdet kort, der viser hvor det beregnede vandspejl står mindre end 3 meter under terræn i nærområdet omkring LAR-bassinerne FIGUR 20. De 3m er valgt som sikkerhedsmargin idet der regnes stationært og eks. årstidsvariationer derfor ikke er inkluderet i modellen.



FIGUR 20. Sandsynligheden for grundvand mindre end 3 meter under terræn ved a) og d) den nuværende infiltrationsmængde, b) og e) 25% øget infiltration og c) og f) 50% øget infiltration. Kvadrater markeret med cyan identificerer huse med kælder.

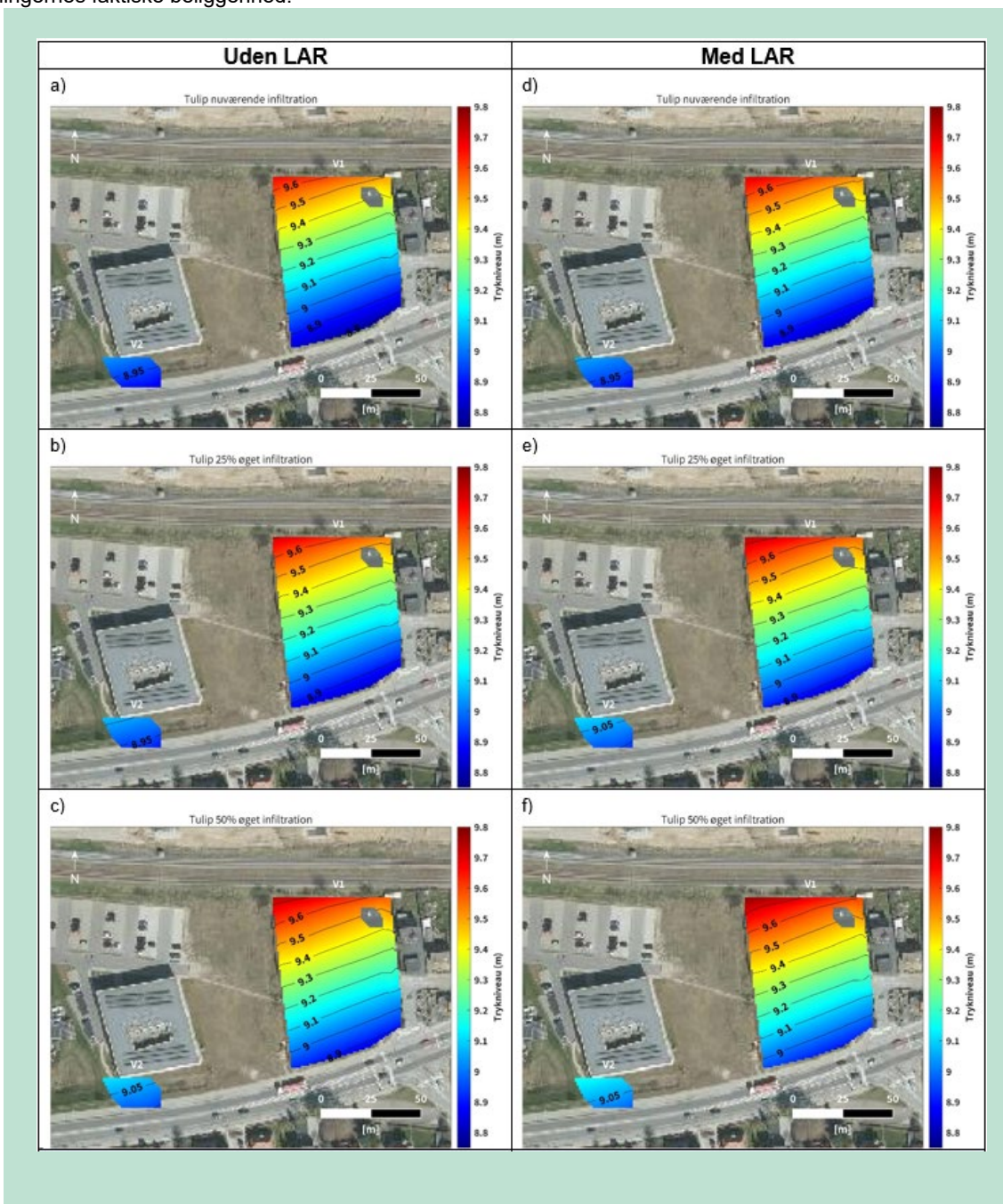
Modelkørslerne viser at, der ved en gennemsnitsbetragtning henover året, udelukkende dannes højtstående grundvand og overfladevand i umiddelbar nærhed af LAR-bassinerne ved nuværende infiltrationsrater (FIGUR 20a). Ved en 25% forøgelse af infiltration, øges udbredelsen af opstigende grundvand og overfladevand, yderligere sydpå mod/henover togbanelegemet og muligvis også i et område nordøst for det nybyggede boligområde (FIGUR 20b). Det er ligeledes meget sandsynligt at grundvandsspejlet hæves til over de kritiske 3 meter under terræn sydvest for LAR-bassinerne.

Dette tilskrives ikke infiltrationen af overfladevand i LAR-bassinerne men snarere en generel hævnning af grundvandspejlet som følge af klimaforandringer med øget nedbør som det kan ses på FIGUR 20a,b og c hvor infiltrationen i LAR-

bassinerne er fraværende, men hvor klimascenarierne viser samme problemer som med LAR-bassinerne. Der er potentielt risiko for de huse med kældre, der ligger på nordsiden af Silkeborgvej beliggende i sydvest men dette skyldes alene klimaforandringer og ikke infiltration af vand i LAR-bassinerne. Øges nedbøren med 50% breder det opstigende grundvand sig yderligere i umiddelbar nærhed af LAR-bassinerne samt i området imod sydvest og nordøst for det nye boligområde.

2. Potentiel mobilisering af de nærtliggende V1 og V2-forureninger

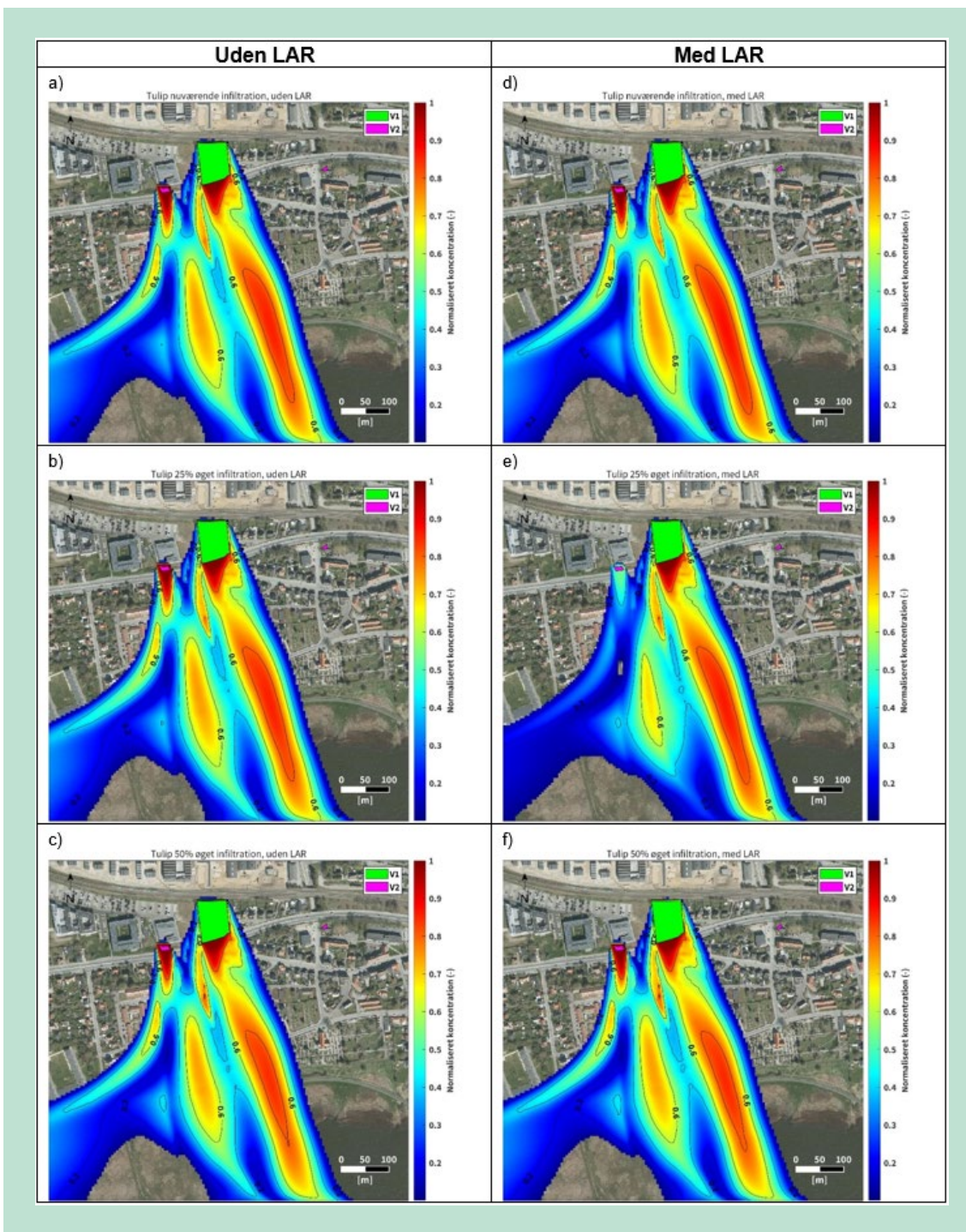
For at afgøre om der sker/vil ske en mobilisering af de to nærmeste forureningskilder, optegnes det beregnede grundvandsspejl i V1 og V2-forureningen syd for Tulip-grunden med og uden LAR FIGUR 21. Disse kan sammenholdes med forureningernes faktiske beliggenhed.



FIGUR 21. Ensemble-modelleret vandspejl/trykniveau i V1- og V2-forureningerne umiddelbart syd for LAR-bassinerne. a) og d) med nuværende infiltration, b) og e) med 25% øget infiltration og c) og f) med 50% øget infiltration.

På baggrund af de angivne koter kan det vurderes om forureningen er eller kommer i kontakt med grundvandet ved en hævnning af grundvandsspejlet som følge af infiltration i LAR-bassinerne og/eller klimaforandringer.

Modellerne viser at vandspejlet kun er påvirket i meget begrænset omfang af infiltrationen af vand i LAR-bassinerne. Stigningskeglen fra infiltration i LAR-bassinerne er i omegnen af 5 cm i begge forureninger. Det er dermed usandsynligt at LAR-løsningen alene kan mobilisere V1 og V2-forureningerne, såfremt de ikke allerede er i kontakt med grundvandet. Det virker sandsynligt at forureningerne er i kontakt med grundvandet og at der er forureningsfaner syd for begge kilder. Der er derfor tegnet kort over de beregnede faner fra V1 og V2-forureningerne umiddelbart syd for LAR-bassinerne for den aktuelle situation og efter etablering af LAR-bassinerne ved nuværende nedbørsforhold samt ved en 25% og 50% forøgelse nedbøren (FIGUR 22).



FIGUR 22. Forureningsfanerne fra V1 og V2 forureningen i umiddelbar nærhed af LAR-bassinerne under henholdsvis nuværende forhold (til venstre) og efter etablering af LAR-bassiner (til højre) samt ved nuværende nedbørsforhold a) og d), ved en 25% forøgelse b) og e) og ved 50% forøgelse c) og f) af infiltrationen.

De beregnede forureningsfaner i FIGUR 22 er stort set identiske. Det betyder at infiltrationen i LAR-bassinerne ikke forventes at have nævneværdig indflydelse på beliggenheden af fanerne fra V1 og V2-forureningen, såfremt disse allerede er etablerede.

f. Opsummering og konklusion for Tulip

På Tulip-grunden er foretaget en historisk gennemgang, der viser en ændring i belægningsgrad som følge af konvertering af området fra industriområde til boligområde. Det ville medføre afledning af en øget mængde regnvand til kloak såfremt der ikke var indtænkt en LAR-løsning.

Samtidig konstateres det at der er flere forurenede grunde i nærheden af det planlagte LAR-anlæg.

For at evaluere risikoen for at nogle af disse forureninger kunne blive remobiliserede er hydrogeologien på grunden kortlagt med geofysiske metoder (DualEM og ERT) i tillæg til de indsamlede borer fra området. På baggrund heraf er opstillet en manuel hydrogeologisk model samt 50 autogenererede modeller for området.

På baggrund af disse er foretaget hydrologisk modellering for at undersøge ændringer i grundvandsstanden og dermed risikoen for reaktivering af forureningerne. Desuden er der foretaget stoftransportberegninger for to forureninger syd for grunden der formentlig er aktive i grundvandet og hvor det er undersøgt om de forventede faner flytter sig ved etablering af LAR-anlægget. Heraf vurderes det at der sandsynligvis dannes opstigende grundvand ganske lokalt omkring LAR-bassinerne ved banelegemet samt i et område i sydvest og nordøst for grunden. Hævningen af grundvandsspejlet udenfor LAR-området sker som følge af klimaforandringer. Det forekommer sandsynligt at huse med kældre på nordsiden af Silkeborgvej i områdets sydvestlige del får problemer med opstigende grundvand i fremtiden som følge af øgede nedbørmængder, men ikke som følge af infiltration i LAR-bassinerne.

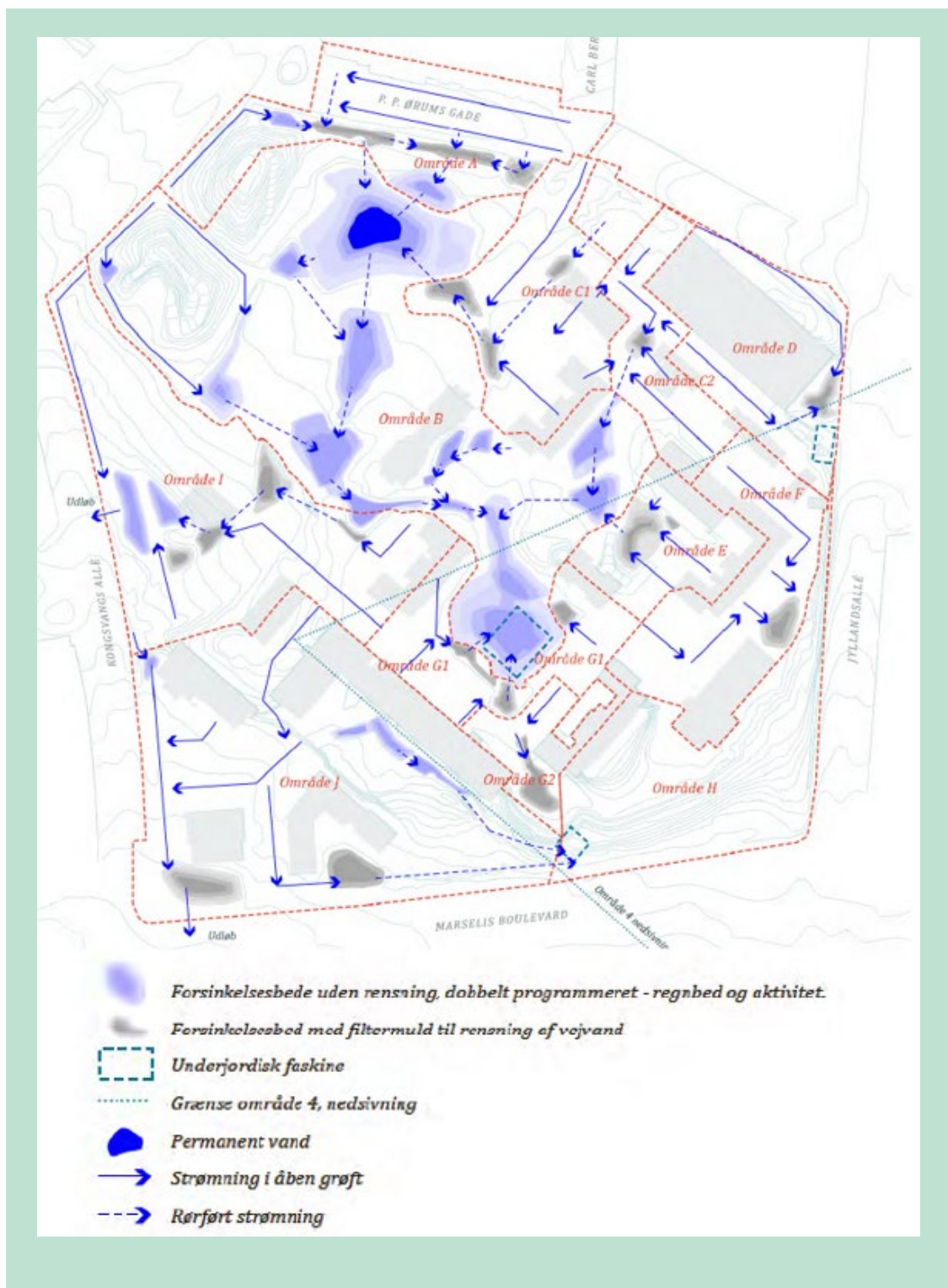
10.SPARKgrunden

De følgende afsnit samler undersøgelser for SPARKgrunden fra de forskellige arbejdspakker.

a. Planer for SPARK

Ved SPARK skal bygningerne, som huser et rehabiliteringscenter i det store hele blive hvor de er. Ændringerne i dette område har til formål at klimasikre på en måde hvor løsninger er til gavn for de mange forskellige brugere og som gør området fleksibelt og indbydende.

Planen for regnvand på SPARK-grunden er jf. tegningerne, FIGUR 23, at lavereliggende områder I og J primært skal aflede til kommunal regnvandshåndtering, dog med forudgående forsinkelse og rensning. For de øvrige områder planlægges rensebede og forsinkelsesbede med endelig nedsivning via faskiner på grunden.

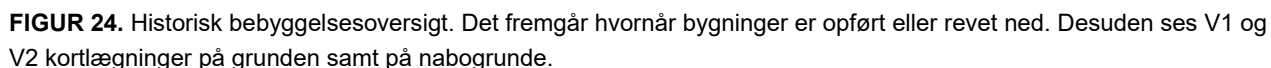


FIGUR 23. Planen for det kommende park anlæg på SPARKgrunden som fremgår af <http://www.marselisborgcentret.dk/siteassets/SPARK/tekstfiler/3.-vand.pdf>

b. Historisk gennemgang for SPARK

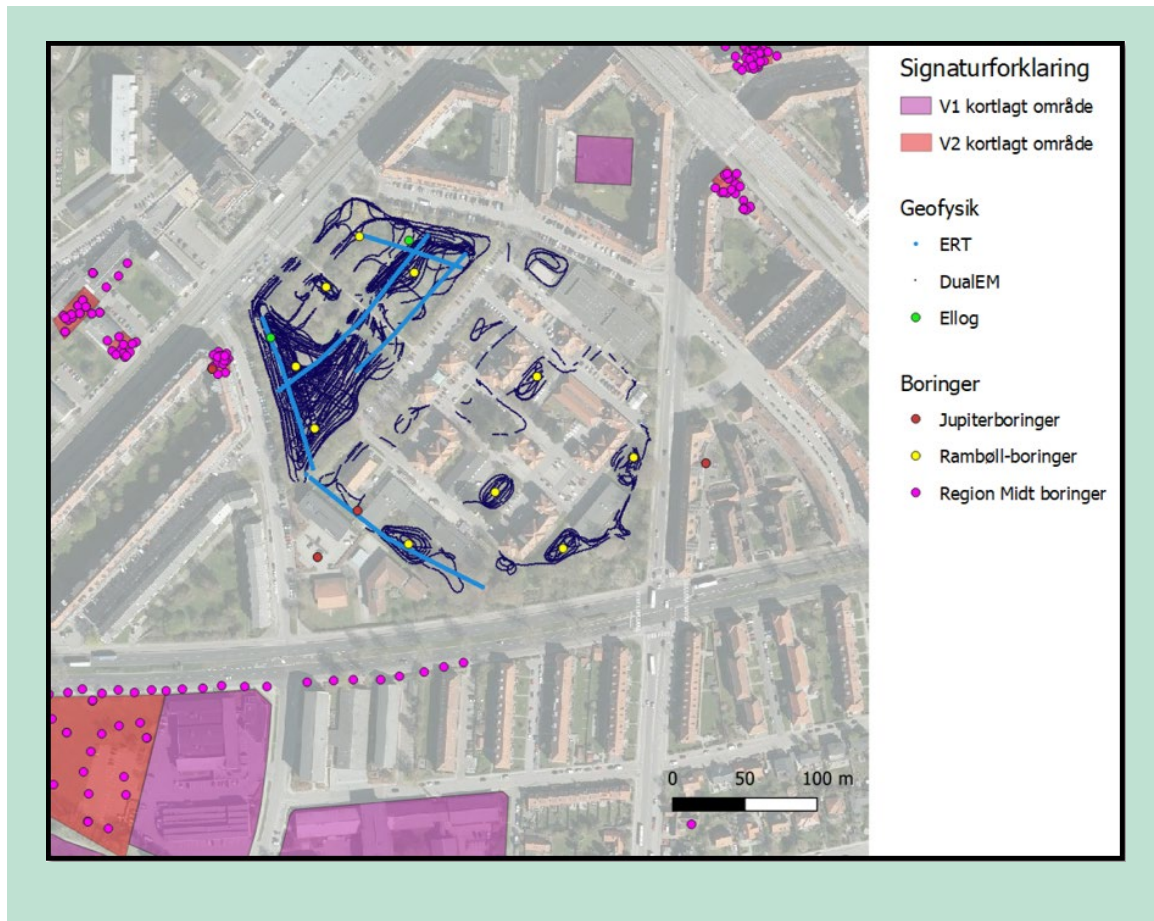
På SPARKgrunden og nabogrundene har de fleste bygninger stået der fra før 1944, FIGUR 24. Siden da er bebyggelsesprocenten kun øget ved tilbygning på frie arealer primært imod sydvest. Således konstateres altså at der på SPARK

Der er ingen kortlagte forureninger på grunden, men nogle nabogrunde har V1 og V2 kortlægninger. Disse er nummeregnet mhp. beskrivelsen heraf i FIGUR 24. Imod nordøst findes tre V2 kortlagte grunde (nr. 3) hvor der i poreluft under gulvet er påvist PCE (op til 4900 microg/m3), TCE (op til 230 microg/m3) og freon (op til 1000 microg/m3) stammende fra et renseri. I sydvest ligger en gammel losseplads. Nr. 4 hvor der er målt indhold af tetrachlorethylen i poreluften under gulvet op til 25.000 µg/m3 og trichlorethylen 420 µg/m3 fra et renseri. Nr. 5 hvor der er truffet slaggelag 40-60 cm u. terræn. Indhold af kulbrinter 6.400 mg/kg TS. Endvidere indhold af nikkel og PAH'er fra et slagge og flyvaskedepot. I nordvest ses en V1 kortlægning (nr.6) hvor der menes at have været en oplagsplads, materialegård eller servicestation. Desuden en V2 kortlagt grund (nr. 7) hvor der i poreluft er fundet PCE op til 80.000 µg/m3, TCE op til 880 µg/m3, benzen op til 2,5 µg/m3 og freonforbindelser op til 9,2 µg/m3. Sydøst for grunden ses en V2 kortlægning (nr. 2) der har fungeret som losseplads og hvor en olieforurening fra en læk tank er efterladt. På nabogrunden, som har tilhørt teknologisk institut, er registreret en V1 kortlægning (nr. 1). Området med nr. 8 er udgået inden kortlægning.



c. Datagrundlag SPARK

Ved SPARK var der meget begrænset information om undergrundsforhold og der er i tillæg til eksisterende data anvendt information indsamlet i projektet. Bl.a. nedsivningstests, boreprofiler og geofysiske data. Herunder beskrives datagrundlaget med hensyn til dækning, kvalitet og overensstemmelse.



FIGUR 25. Eksisterende og nyindsamlet information om undergrunden på og omkring SPARK grunden

i. Boringer SPARK grunden

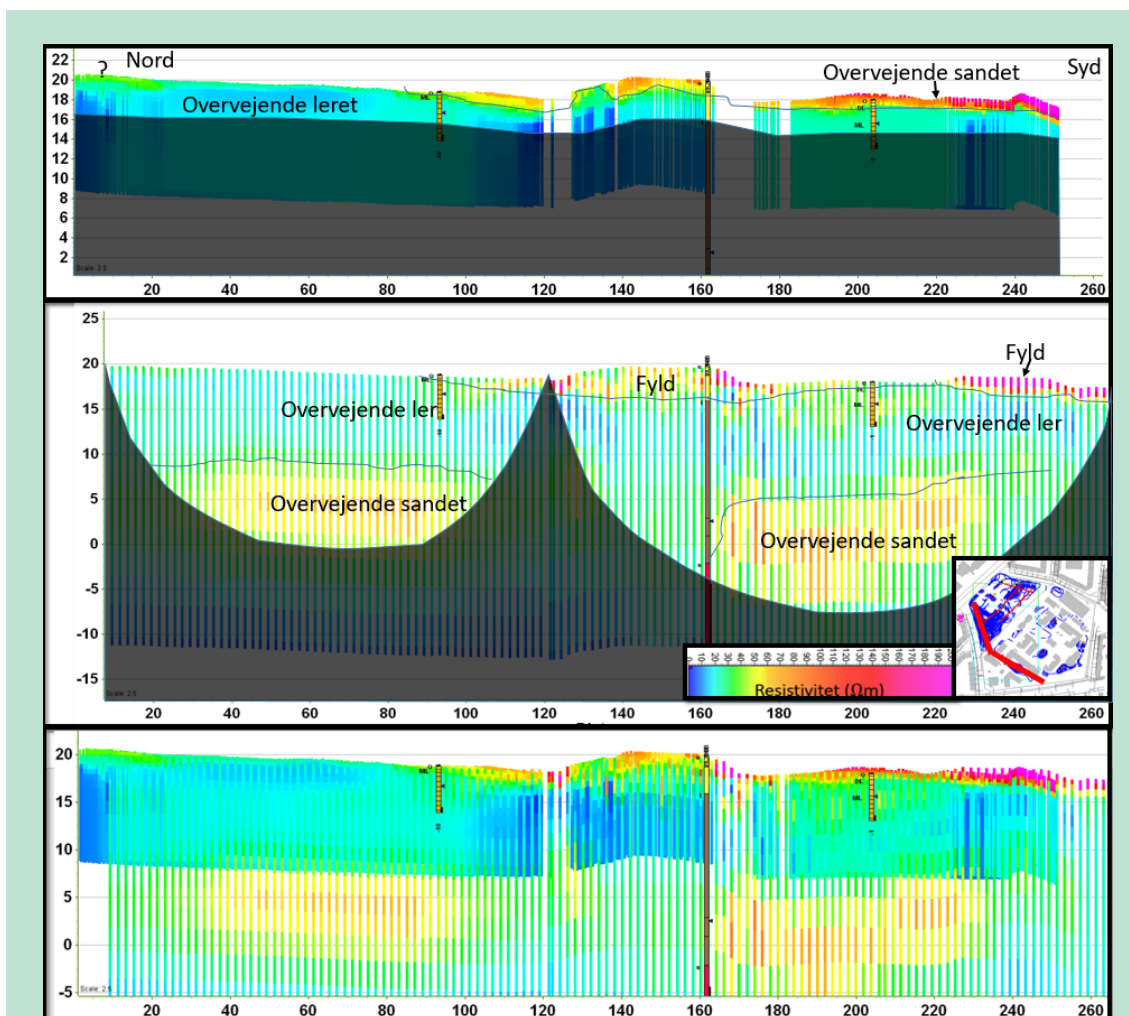
FIGUR 25 viser at der på SPARK grunden kun var to tilgængelige boringer i den nationale boringsdatabase Jupiter. Der var ingen boringer tilgængelige fra regionens database. Omkring selve grunden findes lokalt dækning med geotekniske boringer tilgængelige i regionens database (mangenta prikker) imens det er få boringer i Jupiterdatabasen (røde prikker).

I forbindelse med SPARK-projektet hvor LAR-løsningen planlægges har Rambøll indsamlet information fra 10 stk. 5m dybe boringer på grunden (gule prikker).

ii. Geofysiske data SPARK

Der var ikke geofysiske målinger tilgængelige fra den nationale geofysikdatabase GERDA.

FIGUR 25 viser placeringen af DualEM og ERT profiler indsamlet som en del af dette projekt. Desuden indsamledes data fra to el-log boringer hvis positioner ligeledes fremgår af FIGUR 25. I det følgende præsenteres den indsamlede geofysik.



FIGUR 26. Geofysisk profil på SPARK. Vises fra nord imod syd. De mørkefarvede områder markerer områder der ikke betragtes som pålidelige Øverst: DualEM. Midterst: ERT. Nederst: begge datatyper på samme profil. Tyk rød linje på oversigtsfiguren viser profilpositionen.

1. ERT data SPARK

Indsamlingen af ERT data på SPARK grunden var kompliceret af den høje belægningsgrad. Store dele af området er bebygget eller anvendt som parkeringsareal. Mindre grønne områder på parkeringspladsen er for små til dataindsamling.

I den sydlige og vestlige del af området er datadækningen begrænset

Det længste profil er indsamlet langs grundens vestlige del. Det er forsøgt at holde størst mulig afstand til bygninger og parkeringsplads hvor el-kabler til belysning kan risikere at forstyrre målingerne. Derudover er indsamlet data langs tre kortere profiler i grundens nordlige del, der er udlagt som parkareal. Disse måtte både krydse oplyste stier, begravede kabler og undgå alt for meget krat. Således forringes datakvaliteten væsentligt idet der centralt i parken fra nordvest til sydøst løber en oplyst sti. Umiddelbart ved siden af denne er et strømkabel begravet. Således er den centrale del af vest-øst profiler forstyrret af koblinger.

FIGUR 26 viser det profil på SPARK grunden som har flest borer og mest geofysik. Den midterste figur viser de områder i ERT data der betragtes som pålidelige. Den viste linje præsenterer også tilgængelige borer indenfor en 10m buffer fra linjen. Som det fremgår er der fornuftig overensstemmelse med disse.

Profilen viser sandede fyldeflejringer centralt og imod syd med tykkelse op til 4m. I den nordlige del af grunden ses ler fra terræn til kote ca. 10m hvorunder sedimenterne bliver mere sandede. Imod syd ses ligeledes lerede aflejringer under fyldmaterialet til kote ca. 5m. Dette mere sandede materiale ser ud til at kunne være afgrænset.

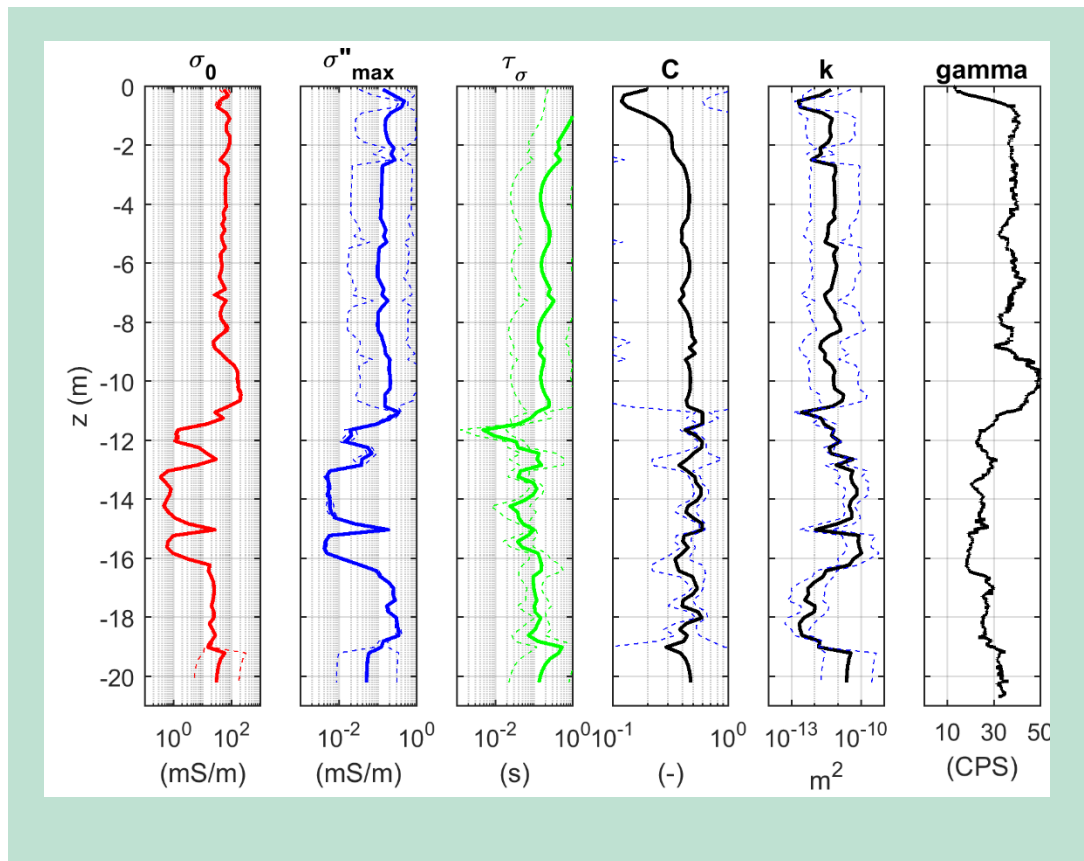
2. DualEM data SPARK

DualEM data er indsamlet før ERT data og dækker et større område. Dels fordi data kan indsamles hurtigere, dels fordi der ikke kræves plads til et langt udlæg for at indsamle DualEM data.

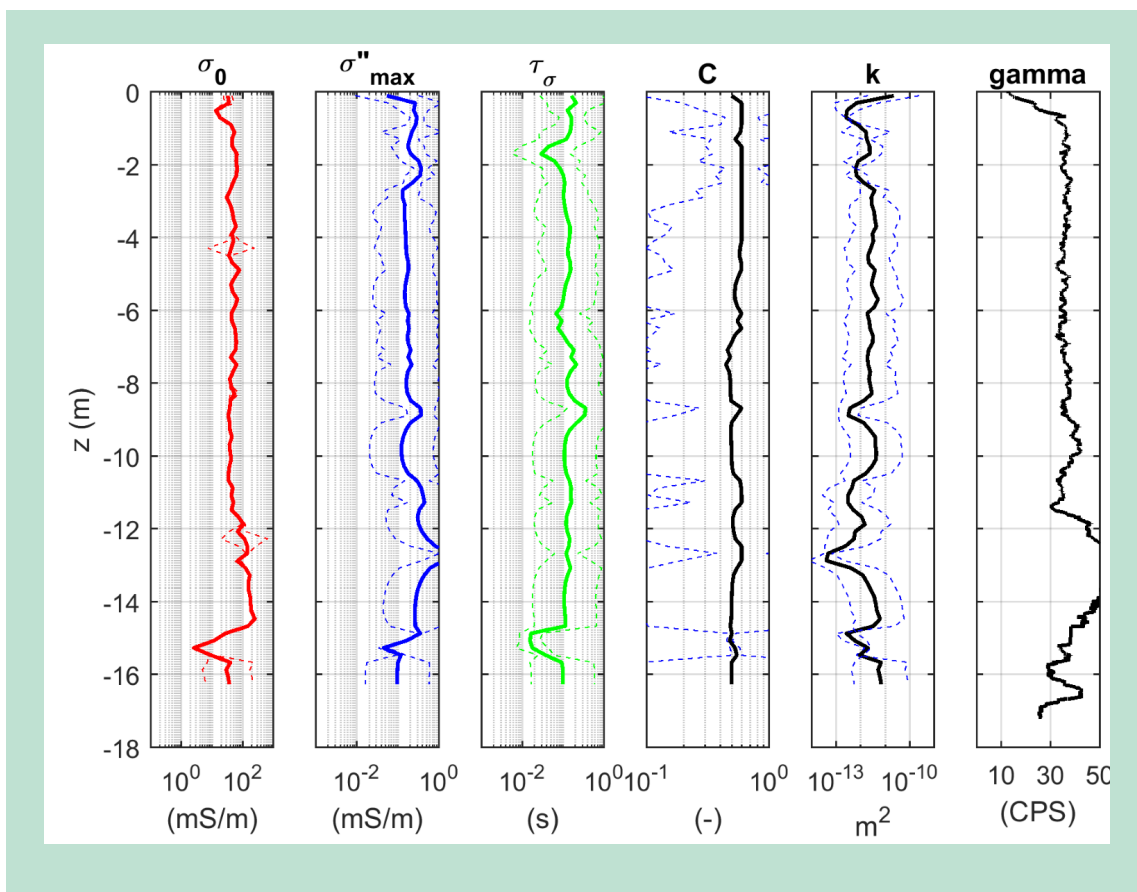
FIGUR 26 viser DualEM data øverst med maskering af upålidelige områder. Ved sammenligning med ERT data ses at DualEM finder tyndere og mere kontinuerte lag end ERT data gør nær jordoverfladen. DualEM data stemmer godt overens med de to korte borer i mens der ikke findes fyld til samme dybde som angives i den dybe boring.

3. Ellog SPARK

Ellog data er indsamlet af Aarhus universitet på to lokaliteter, FIGUR 25. SPARK 1, FIGUR 27, i grundens nordvestlige del hvor der findes ler til ca. 12m dybde (ca. kote 7). Herefter sand til ca. 19m dybde (ca. kote 0). Det er helt i overensstemmelse med ERT data. SPARK 2, FIGUR 28, i grundens nordøstlige del viser ler i hele boringens længde (ca. 17m) muligvis med en indikation af mere sandede aflejringer i bunden.



FIGUR 27. Inversionsresultat SPARK 1. Stiplede linjer angiver konfidensintervallet svarende til en standardafvigelse.



FIGUR 28. SPARK 2 ellog boring. inversionsresultater. Stiplede linjer angiver konfidensintervaller svarende til en standardafvigelse.

d. Evaluering af datagrundlag for hydrogeologiske modeller for SPARK

Datadækningen er god i den nordvestlige del af modelområdet hvor græsarealer har tilladt indsamling af geofysiske data. Dog med de huller som skyldes begravede kabler der forstyrrer data. Imod syd og vest er datagrundlaget meget begrænset pga. bebyggelse i området.

Der er få borer i SPARKområdet og datadækningen er meget ulige fordelt. Det betyder at der ikke er tilstrækkeligt datagrundlag til at opstille en autogenereret model. Den autogenererede model kræver en større mængde borer til korrelation med geofysikken således at der kan beregnes sandsynlighedsfordelinger til anvendelse for autotolkningen. Autotolkningen ville have et bias imod områder med bedre datadækning.

Den manuelle model er ligeledes begrænset af en dårligere datadækning og i den sydlige og vestlige del af området vil der være en tendens til mindre kompleksitet i den hydrologiske model som følge af interpolation over større afstanden og det at der ikke indtolkes kompleksitet der ikke er synlig i dag. Dvs. jo færre data i et område des mindre kompleksitet i området.

e. Hydrogeologisk model SPARK

For sparkgrunden er der pga. den skæve datadækning med få datapunkter i syd og øst kun udarbejdet en manuel model.

i. Modelområde

Modelområdet med topografi og projektets borer er vist indikeret med et hvidt rektangel i FIGUR 29.

Som det fremgår er der kun et modelområde, som er dækket af en enkelt manuel model.

At modellen har kunnet begrænses til det viste omfang skyldes at den hydrauliske gradient i området primært er vertikal. Pga. begrænset hydraulisk konduktivitet sker en del af afstrømningen i området dog langs overfladen.

Den manuelle model er oprettet med voxelcellestørrelser på 1x1x0.5m og indeholder kældre og rør fra området.



FIGUR 29. Modelområdet på SPARK-grunden, markeret med hvidt rektangel. Boringerne Bor1-Bor9, hvor trykniveauet er pejlet i moræneleret, er markeret med hvide krydser. Røde konturlinjer indikerer terrænfladens højde over havniveau.

ii. Hydrogeologi

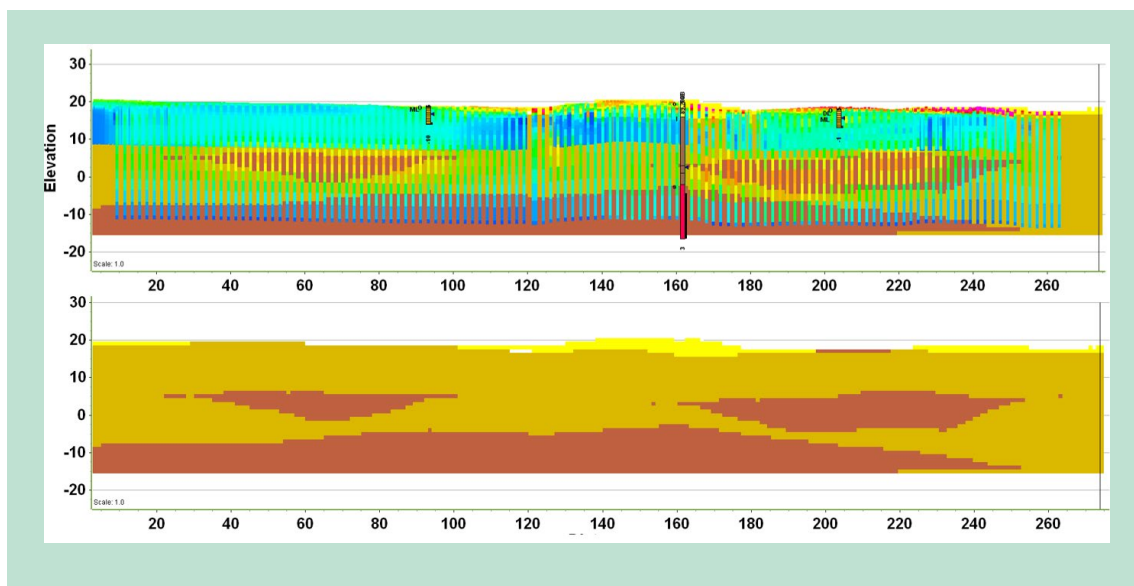
SPARK-grunden er karakteriseret ved overfladenært, antropogent fyld op til 4m tykkelse i den sydlige halvdel af området samt et forholdsvis tyndt sandlag, ca. 1 m tykt, der overlejrer et ganske tykt lag af moræneler, varierende imellem 20 og 30 m i tykkelse. Under moræneleret findes et gennemgående sandlag af flere meters tykkelse, der formentlig er et regionalt grundvandsmagasin. Den geologiske og geofysiske information fra området er sparsom og den geologiske model er

derfor forbundet med nogen usikkerhed. Der ses lokale forekomster af smeltevandssand i moræneleren. Terrænnære variationer er i overensstemmelse med beboerbeskrivelser idet der er anlagt cirkulære bede med en diameter på ca. 3m relativt tæt på hinanden. To nabocirklér fremstod meget forskellige. Den ene ville ikke dræne og stod vandfyldt efter hvert regnskyl imens den anden var et rigtig godt bed hvor regnvand siver hurtigere ned.

iii. Manuel hydrogeologisk model

Et profil fra den hydrogeologiske model er vist, FIGUR 30. Som det fremgår er de sandede områder i moræneleren tolket fra geofysikken. Boringer og geofysik i området indikerer at der forekommer sandede områder i moræneleren, idet disse områder kun er tolket hvor de ses i data er det sandsynligt at sådanne sandede områder kunne have større hyppighed eller udstrækning end det er tolket i den endelige model. Særligt i dybder større end 5-10m hvor datamængden er sparsom.

At sandede områder muligvis er underrepræsenterede betragtes som det mest konservative bud på en model i forhold til vurderingen af om det er muligt at nedsive regnvand.



FIGUR 30. Profil af hydrogeologisk model. Øverste figur viser tilgængeligt datagrundlag langs profilet.

f. Hydrologisk modellering ved SPARK

Terrænet indenfor projektområdet er svagt hældende mod syd. Pga. de betragtelige mængtigheder af fyld i den sydlige del, falder terrænet brat 3-4 m syd og øst for området, mod hhv. Marselis Boulevard og Jyllands Allé. Dermed er der sandsynligvis en forholdsvis hurtig afstrømning af infiltrerende regnvand i det overfladenære fyld og sand, der mod syd og øst kan finde vej til vejkanterne under disse store veje.

i. Parametrisering

I beregningsmodellerne for henholdsvis SPARK-grunden anvendes voxler med en længde og bredde på 1 m og en højde på 0.5m, der således størrelsesmæssigt er i stand til at opløse de kortlagte antropogene og geologiske strukturer, tilnærmelsesvist inden for den usikkerhed, der er på kortlægningsmetoderne. Der er givetvis mindre strukturer men disse kan ikke sted- eller størrelsesbestemmes med de anvendte kortlægningsmetoder. Den endelige voxelmodel indeholder derfor både geologiske og antropogene strukturer såsom rør, kældre og fyldlag og eksporteres fra GeoScene3D til FE-FLOW med GS2FF Python-værktøjet, der er udviklet i projektet. Voxler giver ligeledes mulighed for geostatistisk parametrisering af de litologiske enheder, der tager hensyn til laterale og/eller vertikale variationer i de hydrauliske parametre.

De hydrauliske ledningsevner, der anvendes i grundvandsmodellen for SPARK-grunden er taget fra litteraturen (Schwartz & Zhang, 2002) TABEL 4.

TABEL 4. Hydrauliske ledningsevner anvendt i SPARK-modellen

Enhed	Hydraulisk ledningsevne [m/s]
Vej / ledning / tracé (antropogent)	$5 \cdot 10^{-4}$
Fyld (delvist antropogent)	$5 \cdot 10^{-5}$
Fedt moræneler	10^{-9}
Bygninger / kældre	Impermeabelt
Sand	$2,5 \cdot 10^{-5}$

Modellen tager ikke beregningsmæssigt hensyn til det frie vandspejl i området. Der er derfor gjort følgende overvejelser om det specifikke magasintal i forhold til det frie vandspejl i moræneleret, der også potentielt når de øvre sand- og fyldlag. Magasinkoefficienten S i et frit grundvandsmagasin kan med rimelighed approksimeres med den specifikke ydelse S_y .

$$S \cong S_y \quad (1)$$

Tilsvarende defineres magasinkoefficienten for et spændt grundvandsmagasin som:

$$S = b \cdot S_s \quad (2)$$

S_s er det specifikke magasintal (1/m) og b (m) er tykkelsen af grundvandsmagasinet.

For at simulere den større træghed i udbredelsen af trykniveauændringer i frie magasiner gøres følgende antagelse ved at sætte Ligning 1 lig Ligning 2:

$$S_s = \frac{S_y}{b} \quad (3)$$

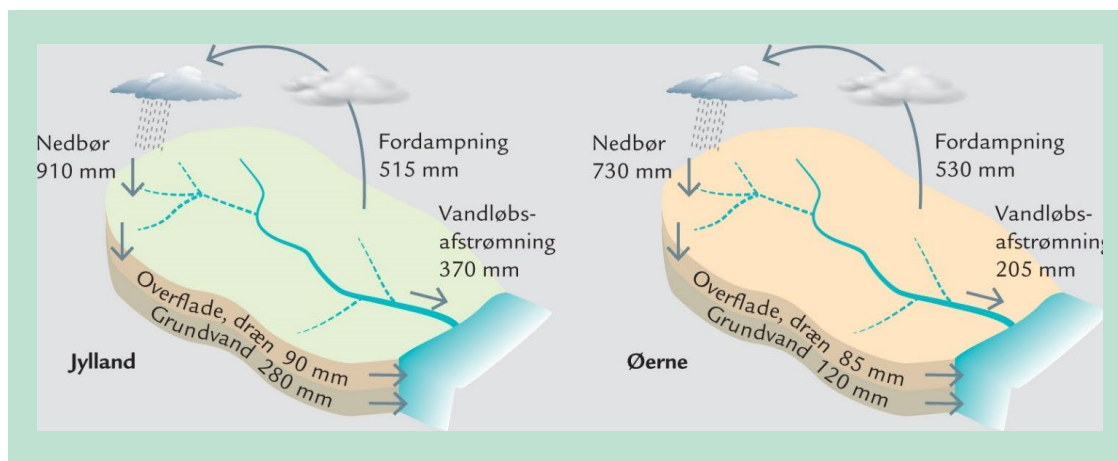
Den gennemsnitlige samlede mægtighed b af de vandførende lag i modellen er vurderet til at være godt 35 m. Den specifikke ydelse for sand (fyld) og moræneler vurderes at være henholdsvis 32% og 6%, eller gennemsnitligt 19% (Morris & Johnson, 1967). Ved indsættelse i ligningen ovenfor bestemmes S_s da til at være ca. $0,005 \text{ m}^{-1}$, hvorfor denne værdi anvendes i beregningerne.

ii. Trykniveau SPARK

Trykniveauet i moræneleret er pejlet i 10 overfladenære borer, der alle er filtersat 5 meter under terræn. I moræneleret findes et sekundært vandspejl beliggende mellem 15 og 20 m.o.h., svarende til 1,5 til 4,3 m u.t. Ved opslag i GeoAtlas live vurderes vandspejlet i det dybe, regionale grundvandsmagasin til at befinde sig omkring kote 0-2.5 m.o.h. svarende til ca. 17-20 m.u.t (GEO, 2002), hentet 24 april 2020. Der er således en ganske betydelig hydraulisk gradient imellem den øvre del af moræneleret og det dybereliggende, regionale grundvandsmagasin, hvilket antyder nedadrettet vandbevægelse. Beskaffenheden af det fede moræneler er dog således at det formentlig er ganske ubetydeligt i forhold til den horisontale vandtransport i de øvre permeable fyld- og sandlag.

iii. Rand- og udgangsbetingelser

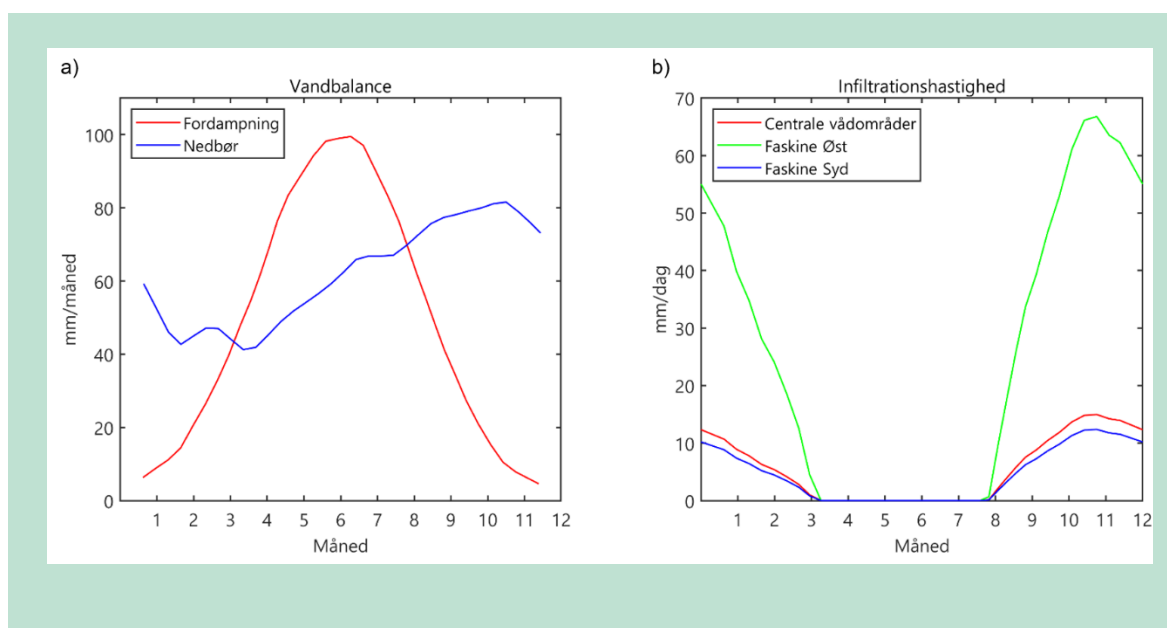
Der er ingen information om vandbalancen for SPARK-området, og derfor tages der udgangspunkt i generelle betragtninger for nedbør, fordampning og overfladevandsstrømning i Jylland FIGUR 31.



FIGUR 31. Generel vandbalance for hhv. Jylland og øerne, kilde: (Jensen, 2020)

Vandbalancens elementer er størrelsesmæssigt nedskaleret til forholdene i Aarhus. Årsnedbøren antages, således at være 750 mm/år, hvoraf fordampning og evapotranspiration udgør 425 mm/år. Infiltrationen og overfladestrømning antages at være 325 mm/år, der dog kalibreres i dette tilfælde. Overfladestrømning er ikke indarbejdet i modellen men indtages som grundvandsstrømning i de øverste jordlag.

Til vurdering af den tidlige variation i infiltrationen og overfladevandsstrømning anvendes ligeledes en generel sammenhæng som er indikeret i FIGUR 31.



FIGUR 32. a) Generel tidlig variation i fordampning og nedbør i Danmark i perioden 1961-1990 efter (Gregersen, Gabriel, Brix, & Faldager, 2003). b) Tilsvarende infiltrationshastigheder i de planlagte faskiner.

De store, centrale vådområder bortleder i princippet overfladevand til den centrale faskine. Ved simulering af samlet infiltration til den centrale faskine opnås her et trykniveau, der ligger godt 10 meter over terræn i vinterhalvåret med en væsentlig påvirkning af vandspejlet i området omkring Marseilles Boulevard. Det forekommer derfor urealistisk at infiltrere alt overfladevand i den centrale faskine fra de tilhørende oplande. Derimod vil infiltrationen fordele sig over de centralt

beliggende vådområder pga. opstuvning opstrøms faskinen. Således antages det beregningsmæssigt at infiltrationen fordeler sig jævnt ud i de centrale vådområder.

Den tidslige variation i infiltrationshastigheden (højre, FIGUR 32) i de tre faskiner bestemmes ud fra nedbørsoverskuddet efter fordampning (venstre, FIGUR 32). Således integrerer kurverne i FIGUR 32 (højre) til den kalibrerede årlige infiltration i faskinernes oplande, der er beregnet under stationære betingelser som tidligere beskrevet. Den primære, relativt hurtige vandbevægelse i de øvre fyld- og sandlag må nødvendigvis inddrages vha. randbetingelser, der kan lede vandet ud af modellen.

Der hvor vejkkasserne skærer modelrandene defineres fastholdte trykniveauer, der svarer til middelkoten af vejkkasserne. Det kan naturligvis diskuteres, hvorvidt hypotesen om afstrømning til vejkkasserne er korrekt eller ej. I og med at området ikke i al almindelighed er oversvømmet, så må det det infiltrerende regnvand bortledes naturligt og her virker det sandsynligt at afstrømningen styres mod højpermeable strukturer i undergrunden såsom eksempelvis vejkkasserne under de store veje.

Trykniveauet i det dybere, regionale grundvandsmagasin fastholdes på 0,125 m langs modelranden i henhold til den eksisterende viden om de grundvandsmæssige forhold i det regionale, dybereliggende grundvandsmagasin. Der anvendes en vandskelsbetingelse ($\nabla h = 0$) for de øvrige modelrande.

Som udgangsbetingelse for den tidsafhængige beregning anvendes det kalibrerede, stationære trykniveau. Dette gælder både for de nuværende og fremtidige nedbørsforhold (henholdsvis Scenarie 2 og 3), hvor der for sidstnævnte genberegnes et stationært trykniveau med en 10% forøgelse af infiltrationen i området.

iv. Modelkalibrering

Den laterale variation i den gennemsnitlige, årlige infiltration i modelområdet estimeres ved modelkalibrering til i alt ti observerede trykniveauer i moræneleret ved anvendelse af inversionssoftwaren PEST (Doherty, 2015). Pejlingerne er foretaget af Rambøll og er beskrevet i (Rambøll, 2017). I modelkalibreringen anvendes gennemsnittet af Rambølls pejlinger. Modellen beregner den stationære strømning i modelkalibreringen. Kalibreringen af den gennemsnitlige, årlige infiltration danner grundlag for at foretage en transient modelkørsel, der inddrager de sæsonbetingede variationer i infiltrationsmængden til faskinerne. Det er væsentligt at den estimerede infiltration ikke afviger væsentligt fra den, der er vurderet ud fra vandbalancen, som er beskrevet i forrige afsnit. Det er derfor vigtigt at vælge et sæt af hydrauliske ledningsevner, der begrænser den kalibrerede infiltration til realistiske værdier.

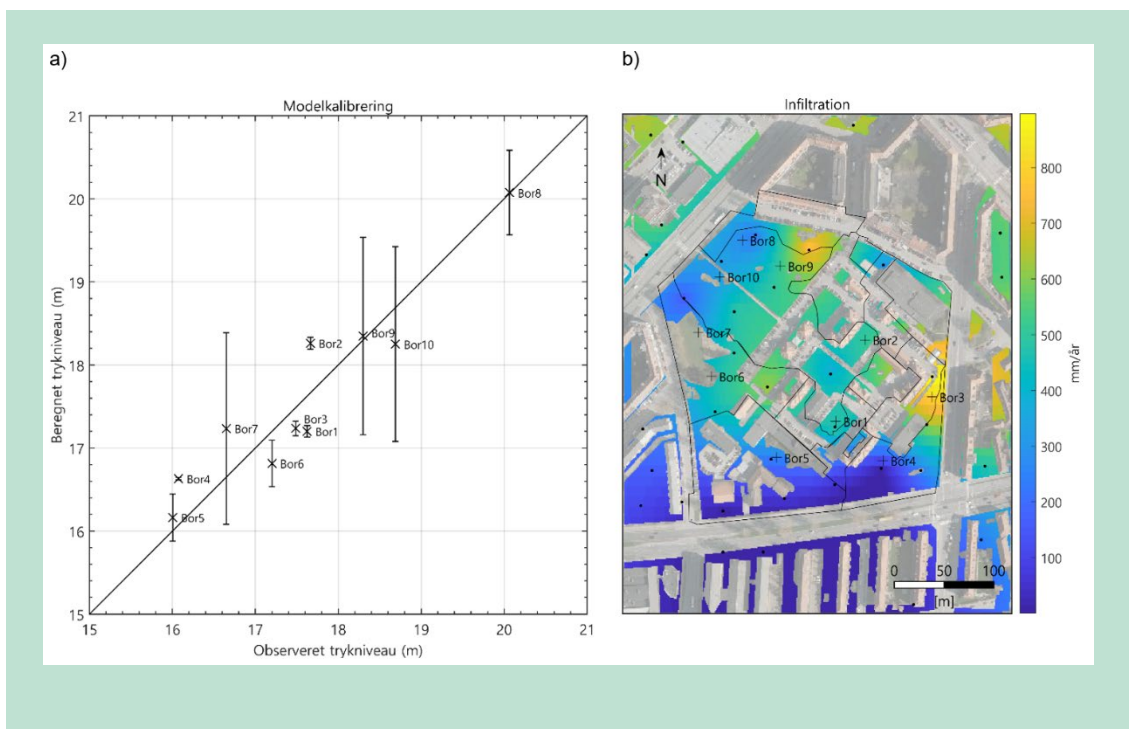
Kalibreringen er foretaget ved anvendelse af i alt 36 "pilot points" eller direkte oversat pilotpunkter, hvori infiltrationen estimeres og derefter fladeinterpoleres til det øvrige modelområde. Pilotpunkterne ses i FIGUR 33. Interpolationen foretages med radiære, multikvadratiske, basisfunktioner med $\varepsilon = 40.3094$. SPARK-modellen inverteres på klassisk vis med Levenberg–Marquardt metoden, hvor kvadratet på afvigelsen mellem de beregnede og observerede trykniveauer minimeres uden brug af matematisk regularisering.

v. Resultater

Indledningsvis præsenteres kalibreringen af SPARK-modellen. Herefter vurderes konsekvenserne af den foreslåede LAR-løsning for grundvandsforholdene på SPARK-grunden.

1. Kalibrering

Kalibreringen af modellen viser en rimelig fornuftig tilpasning af de beregnede trykniveauer til pejlingerne af det sekundære vandspejl i området FIGUR 33



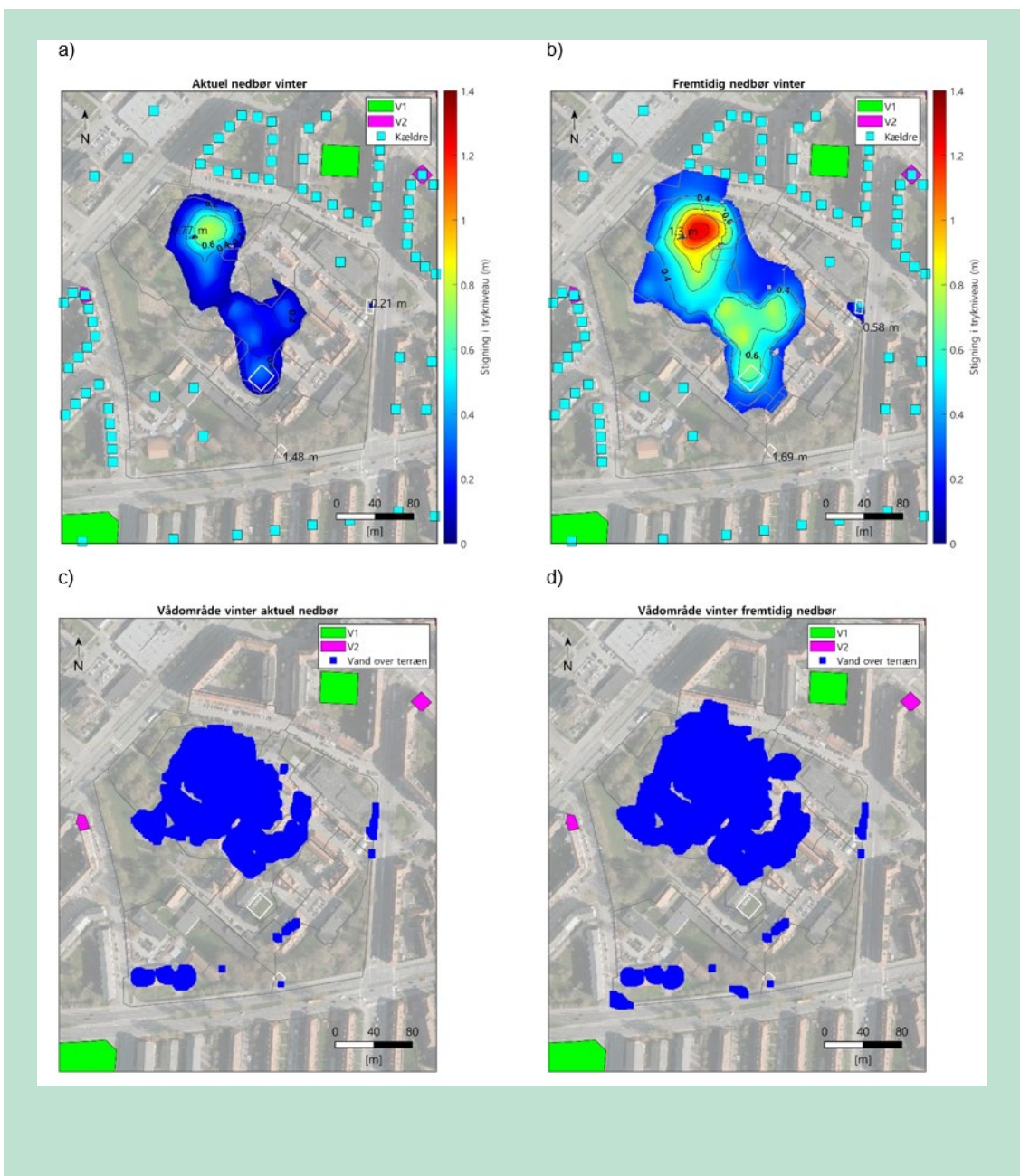
FIGUR 33. a) Spredningsplot af observerede og beregnede trykniveauer. De vertikale barer indikerer den naturlige variation i trykniveauet henover året. b) Den kalibrerede infiltration, der andrager gennemsnitligt 335 mm/år i SPARK-området. Pilotpunkterne er markeret med sorte prikker.

De beregnede trykniveauer i Bor1-Bor4 ligger uden for den naturlige variation i de tilsvarende pejlinger. Tykkelsen af de overfladenære aflejringer har stor betydning for de beregnede trykniveauer og dermed er det sandsynligt at en finere vertikal diskretisering i den øverste del af modellen vil kunne forbedre modellens beregnede trykniveauer, såfremt der er geologiske og geofysiske data til at kvalificere en sådan forfining af beregningsnettet.

Den kalibrerede, stationære infiltration varierer ganske betydeligt indenfor modelområdet (FIGUR 33b) og er generelt størst på de topografiske plateauer.

2. Vurdering af LAR

Til at illustrere konsekvenserne ved anvendelse af den foreslåede LAR-løsning, beregnes trykniveauet herved i vintersituationen, hvor den største mængde nedbør og infiltration finder sted (november). Der er således udarbejdet et kort af stigningskeglen omkring og under vådområderne med udgangspunkt i henholdsvis den aktuelle og fremtidige nedbør (FIGUR 34a & b). I tillæg vurderes det, hvor grundvandsspejlet tilsvarende, potentielt bevæger sig op over terræn (FIGUR 34c & d).



FIGUR 34. Den beregnede stigning i det hydrauliske trykniveau i vinterhalvåret (november) under aktuelle og fremtidige (+10%) nedbørsforhold. Nederst er den tilsvarende potentielle udbredelse af overfladevand i vinterhalvåret (november).

For de nuværende nedbørsforhold hæves trykniveauet med 77 cm over det normale grundvandsspejl i november, hvor det i forvejen står højt. Det er sandsynligt at der dannes områder med overfladevand i vinterhalvåret som følge af LAR-løsningen (FIGUR 34c). Områderne med risiko for stigning af grundvand til terræn indbefatter eksisterende bygninger, hvilket kan indikere potentielle, fremtidige problemer med opstigende grundvand omkring de tilhørende kældre eksempelvis nord for det planlagte bassinområde. Overfladevand dannes formentlig også nær den østlige og sydlige faskine samt i det sydvestlige hjørne, hvor der i forvejen er problemer med højtstående grundvand omkring kældre (Rambøll, 2017).

Den fremtidige påvirkning af det overfladenære grundvand ved anvendelse af LAR-løsningen forøges sandsynligvis ganske betragteligt i takt med stigende nedbør som følge af klimaforandringer. Ved en forøgelse af nedbøren på 10%, stiger

vandspejlet centralt i SPARK-området med op til 1,3 m – eller godt 69% i forhold til en LAR-løsning der afleder vand under de nuværende nedbørsforhold (FIGUR 34b). Som følge heraf vil en større del af området potentielt opleve stigende grundvand, der kan danne vådområder som det er skitseret FIGUR 34d. En ganske betydelig del af de eksisterende bygninger med kældre i Marselis-centret vil kunne opleve problemer med opstigende grundvand.

g. Opsummering SPARK

Formålet med grundvandsmodelleringen i denne rapport, er at illustrere brugen af højopløste numeriske modeller til detaljerede vurderinger af de ændrede grundvandsforhold nær terræn efter etablering af nedsivningsbassiner. Dette er særligt relevant for vurderinger af potentialet for reaktivering af eksisterende forureninger over grundvandsspejlet samt risikoen for opstigende grundvand i kældre. I de foregående afsnit er der foretaget indledende undersøgelser af de ændrede grundvandsforhold som følge af etablering af LAR-løsninger på henholdsvis SPARK-grunden i Aarhus.

Beregningsmodellerne viser at der er en ganske stor sandsynlighed for at der centralt dannes et større, permanent vådområde sådan som det også er tiltænkt. Udbredelsen af dette vådområde er størst hen imod årets afslutning og modellerne viser i tillæg at dannelsen af overfladevand er ganske følsom overfor klimaforandringer med øget nedbør (se FIGUR 34c & d). Dette skyldes i væsentlig grad at de øverste, tynde, permeable aflejringer har en begrænset transmissivitet/kapacitet for at bortlede overfladevandet, der derfor stuves oven på det lavpermeable moræneler. Det forekommer sandsynligt, at der vil opstå problemer med opstigende grundvand til kældre på SPARK-grunden. Modellerne viser at, der ikke sker yderligere mobilisering af eksisterende jordforureninger i området.

11.AP 7: Formidling

Formidling af projektets resultater er essentielle for at projektet har og får værdi.

Projektet har været præsenteret på en konference i Canada (Andersen & Poulsen, 2018).

Uheldigvis har formidling af projektet i foråret hvor resultater og den udarbejdede "Best Practice" er blevet færdig været forhindret af Coronapandemibestemt nedlukning mange steder.

Projektet har som planlagt afholdt projektmøder og følgegruppemøde dog i en online udgave.

På disse møder er der truffet aftaler om anvendelse af projektresultater og udpeget ansvarlige for forskellige formidlingsaktiviteter som iværksættes når forsamling igen er muligt.

Nærværende rapport vil være tilgængelig via Miljøstyrelsen hjemmeside.

Best practice og generelle projektresultater formidles:

- Ved Grundvands-erfa møde afholdt af regionen. Hermed sikres det at den når ud til kommuner i Jylland. Vi søger samtidig et lignende arrangement for sjællandske kommuner. (Thomas ved reg. midt er ansvarlig)
- Artikel i "Jord og vand" som tidligere har publiceret "best practice" lignende artikler (VIA og Aarhus kommune er ansvarlige)
- Envina. Et kursus for kommunalt ansatte hvor Aarhus kommune vil foreslå den som tema. (Aarhus kommune er ansvarlig)
- Teknologisk institut har bedt om at få den endelige udgave tilsendt. (VIA er ansvarlig)
- Artikel er under udarbejdelse planlægges submitted til "Environmental Earth Sciences" som udgives af Springer (VIA er ansvarlig)
- Der er indsendt abstract til ATV-møde (VIA ansvarlig)
- Der holdes oplæg i regi af "Det Nationale Netværk for Klimatilpasning (DNKN)" 6-7 jan. 2021 (Aarhus Kommune er ansvarlig)

Minecraftmodeller er oprettet hvor de geologiske modeller kan ses.

Der er udtrykt interesse for adgang til disse fra:

- Teknologisk institut til undervisningsbrug
- Miljøstyrelsen til formidling af geologiske modeller.

Adgang til modellerne: <https://www.ucviden.dk/da/projects/optimering-af-risiko-og-milj%C3%B8vurderingerne-ved-etablering-af-lar->

12. Eksport og erhvervspotentiale

En forøgelse af jobs som følge af vejledningen kan ikke opgøres kvantitativt idet det er vanskeligt at redegøre hvor meget tid der specifikt er lagt i projekter præcis pga. vejledningen, samt hvilke projekter der specifikt er vundet på baggrund af kompetencer udviklet i relation til projektet. Kvalitativt kan den udarbejdede "Best practice" samt værktøjer udviklet i projektet dog anvendes og resultere i større sikkerhed, bedre forundersøgelser og bedre løsninger hvor nedsivningsløsninger planlægges. Stærkere kompetencer giver en konkurrencefordel.

På trods af vanskelige formidlingsvilkår under corona er der interesse for vejledningen og vi har således modtaget forespørgsel på præsentation heraf fra "Det nationale Netværk for klimatilpasning" hvor Aarhus kommune vil stå for præsentationen (primo januar). VIA har på vegne af projektgruppen budt ind med en præsentation af vejledningen til ATV-møde (medio marts). Derudover er en artikel under udarbejdelse som planlægges indsendt til "Environmental Earth Sciences".

I projektet er udviklet værktøjer, som kan anvendes til at lette arbejdet med at bringe geologiske modeller ind i FEFLOW hvor hydrologisk modellering kan foretages. Desuden er udviklet et simpelt værktøj til at levere et første estimat på påvirkningsradius ved nedsivning af regnvand til undergrunden. Projektet har ikke givet anledning til patenter eller patentansøgninger, men den udarbejdede "Best practice", værktøjer og modeller udviklet i projektet er frit tilgængelige til brug for branchen og kan anvendes globalt. Link til værktøjer: <https://www.ucviden.dk/da/projects/optimering-af-risiko-og-milj%C3%B8vurderingerne-ved-etablering-af-lar->

Værdien af øget eller ny eksport kan ligeledes ikke opgøres kvalitativt. VIA arbejder dog videre med løsningerne bl.a. i forhold til samarbejdet med VIAs venskabsuniversitet: Chengdu University of Technology i Kina.

Rambøll har gennem de globale divisioner, Climate Adaptation & Landscape, Management og Water Resource Management et stort netværk i især Østeuropa, USA og i Asien. Rambøll arbejder på større og mindre klimatilpasningsløsninger, hvor mobiliseringen af forureninger i forbindelse med etablering af LAR-løsninger har fokus. Den udarbejdede "Best practice" vil også her kunne indgå, som et værdifuldt arbejdsredskab, der sikrer at alle aspekter kommer til at indgå i bæredygtige løsninger, med minimering af risiko for mobilisering af forurenede stoffer. Rambølls projektgruppe omkring ORMUM vil formidle "Best practice" internt til projektledere indenfor den globale division ved deling af artikler og ved interne webinarer.

13. Referencer

- AECOM: Lead Local Flood Authorities of the South East of England. (2013). Designing SUDS to respond to common site conditions. *Water. People. Places. A guide for master planning sustainable drainage into developments*, pp. 14-21.
- Andersen, T. R., & Poulsen, S. E. (2018). Detailed geological modelling to support urban planning in Aarhus, Denmark. *abstract*. Vancouver, Canada: RFG- Resources for Future Generations. Premier conference on Energy - Minerals - Water - The Earth.
- Ballard, B. W., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., & Kellagher, R. (2015). *The SUDS Manual*. London: CIRIA.
- Barfod, A. A., Møller, I., Christiansen, A. V., Høyer, A.-S., Hoffmann, J., Straubhaar, J., & Caers, J. (2018). Hydrostratigraphic modeling using multiple-point statistics and airborne transient electromagnetic methods. *Hydrology and Earth System Sciences*, 6(22), pp. 3351-3373. doi:<https://doi.org/10.5194/hess-22-3351-2018>
- Bekendtgørelse af lov om forurennet jord, LBK nr 282 (03 27, 2017).
- Bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter, jord og sorteret bygge- og anlægsaffald. , BEK nr 1672 (Miljø- og Fødevareministeriet 12 15, 2016).
- Bekendtgørelse om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4 1), BEK nr 1469 (12 12, 2017).
- Bekendtgørelse om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4, BEK nr 1448 (12 11, 2007).
- Bekendtgørelse om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4, BEK nr 46 (01 12, 2016).
- Baaner, L. (2014). Klimatilpasning: udledning af regnvand fra veje og befæstede arealer. *Nordisk Miljörättslig Tidskrift/Nordic Environmental Law Journal*, pp. 43-59.
- Danish ministry of the environment, environmental protection agency and State of green. (2014). *The Danish solution: A blueprint for clean soil. An introduction to the Danish soil remediation solution*. Danish ministry of the environment, environmental protection agency and State of green.
- Deutsch, C. V. (2006). A sequential indicator simulation program for categorical variables with point and block data: BlockSIS. *Computers and Geosciences*, 10(32), pp. 1669-1681. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2006.03.005>
- Dixon, T., Raco, M., Catney, P., & Lerner, D. N. (2007). *Sustainable brownfield regeneration. Livable places from problem spaces*. Blackwell publishing.
- Doherty, J. (2015). Calibration and Uncertainty Analysis for Complex Environmental Models. PEST: complete theory and what it means for modeling the real world. *Watermark Numerical Computing*.
- GEO. (2002). *GeoAtlas Live*. Retrieved from <https://www.geo.dk/specialer/geodata-subsurface-models/geoatlas-live/>.
- Gregersen, P., Gabriel, S., Brix, H., & Faldager, I. (2003). *Etablering af pileanlæg - Baggrundsrapport*. Miljøstyrelsen.

- Gunnink, J. L., & Siemon, B. (2014). Applying airborne electromagnetics in 3D stochastic geohydrological modelling for determining groundwater protection. *Near Surface Geophysics*, 1(13), pp. 45-60.
doi:<https://doi.org/10.3997/1873-0604.2014044>
- Ingeniørforeningen, IDA. (2012). *KLIMATILPASNING AF DANMARK - IDAS KLIMATILPASNINGSSSTRATEGI*. Ingeniørforeningen IDA.
- Ingvertsen, S. T. (2013). Vand i Byer: IP10 Regn med kvalitet.
- Jensen, K. S. (2020). *Vandbevægelser og vandmængder i Naturen i Danmark*. Gyldendal.
- Miljøstyrelsen. (2000). *Rådgivning af beboere i lettere forurenede områder. Vejledning fra miljøstyrelsen Nr. 7*. miljøstyrelsen.
- Miljøstyrelsen. (2012). En pesticidforurening - 15 år efter. Spredning, nedbrydning og akkumulation i jordsøjlen. *Bekæmpelsesmiddelforskning fra Miljøstyrelsen nr. 130*.
- Miljøstyrelsen. (2017). *Dybe bioporers forekomst og betydning for pesticidudvaskning i moræneler*. Miljøstyrelsen.
- Morris, D. A., & Johnson, A. I. (1967). Summary of hydrologic and physical properties of rock and soil materials as analyzed by the Hydrologic Laboratory of the U.S. Geological Survey. *U.S. Geological Survey Water-supply Paper 1839-D*, 42.
- Naturstyrelsen. (2016). *Kategorisering af klimarobuste risikovurderinger af jordforureninger. Forprojekt*. København Ø: Naturstyrelsen.
- NIRAS. (2008). *Høiriisgårdsvej 3, 5, 6 og 8, Brabrand. Orienterende forureningsundersøgelse*. Høiriisgaard Invest A/S.
- OPCC. (2014). *Climate Change 2014; Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (R. K. Pachauri, & L. A. Meyer, Eds.) Geneva, Schweiz: IPCC.
- RAMBØLL. (2011). *Arbejdsprocedure: Dokumentation for fravælgelse af LAR-metoden nedsivning*. Århus: Aarhus Kommune, Center for Miljø og Energi, Teknik og Miljø.
- Rambøll. (2017). *SPARK Kortlægning af nedsivningspotentialer*.
- Reeves, M. (2007). Modelling of Sustainable Solutions in a Rejuvenated Brownfield Site. Wallingford software.
- Region Sjælland. (2014). *Klimarændringer, Forurenede jord- og grundvand*. Miljø og Ressourcer Region Sjælland.
- Schwartz, F. W., & Zhang, H. (2002). *Fundamentals of Ground Water*.
- Scottish Environment Protection Agency. (2003). SUDS advice note Brownfield sites. SUDSWP (Sustainable Urban Drainage Scottish Working Party).
- Strebelle, S. (2002). Conditional Simulation of Complex Geological Structures Using Multiple-Point Statistics. *Mathematical geology*(34), pp. 1-21. doi:<https://doi.org/10.1023/A:1014009426274>

Troldborg, L., Refsgaard, J. C., Jensen, K. H., & Engesgaard, P. (2007). The importance of alternative conceptual models for simulation og concentrations in a multi-aquier system. *Hydrogeology journal*, 15, pp. 843-860. doi:<https://doi.org/10.1007/s10040-007-0192-y>

Truelsen, P. A. (2009). *Redegørelse vedrørende klimasikring i grundejerens afløbssystem*. Århus: Energy og Miljø advokatfirma.

Vilhelmsen, T., Marker, P., Foged, N., Wernberg, T., Auken, E., Christiansen, A. V., . . . Christensen, A.-S. H. (2019). A Regional Scale Hydrostratigraphy Generatedfrom Geophysical Data of Varying Age,. *Water Resources Management*, pp. 539-553. doi:A Regional Scale Hydrostratigraphy Generatedfrom Geophysical Data of Varying Age,

Bilag 1. Best practice for nedsivningsanlæg i byer

1 INDHOLD

2	Introduktion	
3	Flowdiagram.....	
4	Forundersøgelser	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
5	Nedsivning ikke mulig	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
6	Sårbarhed	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
6.1	Grundvandsressourcens sårbarhed	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
6.2	Afstandskrav	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
7	Forureningskilder	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
7.1	Forurening i regnvand.....	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
7.2	Jordforurening, Typer og dataindsamling	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
7.3	Forureningskomponenter	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
8	Krav til filterjord ved nedsivningsanlæg	
8.1	Anbefalet administrationspraksis for filterjord	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
8.1.1	Pesticider	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
9	Spredningsveje	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
9.1	Terrænnært grundvand	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
9.2	Simpelt estimat for påvirket afstand ved nedsivning ...	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
9.3	Simpel screening af stoftransport, risiko for forureningsspredning ..	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
10	Dataindsamling, angående spredningsveje	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
10.1	Geologi.....	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
10.2	Antropogene strukturer	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
11	Kortlægningsstrategi	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
11.1	Geofysisk kortlægning.....	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
11.2	Nedsivningstests	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
11.3	Pejlinger	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.

12	Hydrologiske modeller.....	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
13	Lovgivning.....	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
13.1.1	Hvem har ansvaret for en forureningsudspredelse.....	
13.1.2	Forhold til anden lovgivning.....	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
14	Forslag til hvornår tilladelser trækkes tilbage fordi grundvandet er steget ind i sikkerhedszonen.	
15	Eksempler, illustration af anvendelse af best practice i forskellige situationer.	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
15.1	Case 1: Spildevandskloakeret område fra spildevandsplan, standardtilladelse	
15.2	Case 2 – Forureninger på nabogrunde, byområde, SPARK-grunden. Tilladelse med ekstra vilkår og udvidet dokumentation	
15.3	Case 3 – Omdannelse af industrigrund, Tulipgrunden. Tilladelse med ekstra vilkår og udvidet dokumentation.....	
16	Eksempler på tilladelser jf. Flowdiagram i denne "Best practice"	
16.1	Tilladelse af Type 1: Standard tilladelse.....	
16.2	Tilladelse af Type 2: Tilladelse med ekstra vilkår og udvidet dokumentation	
16.3	Tilladelse af Type 3: Tilladelse med ekstra vilkår og udvidet dokumentation	
17	Bibliografi	

2 INTRODUKTION

Denne best practice henvender sig til sagsbehandlere i kommunerne. Derudover fungerer den som vejledning for den bygherre, der ønsker at etablere LAR-anlæg som en del af regnvandshåndteringen.

Målet er at levere en anbefaling til en fremgangsmåde, der kan reducere risikoen for udvaskning og spredning af forureninger, som følge af etablering af LAR-løsninger. I den sammenhæng er den primære risiko relateret til nedsivningsanlæg.

Her leveres et flowdiagram med henvisninger til uddybende afsnit, som beskriver de oplysninger og undersøgelser, der er nødvendige for at give tilladelse til nedsivning i et område.

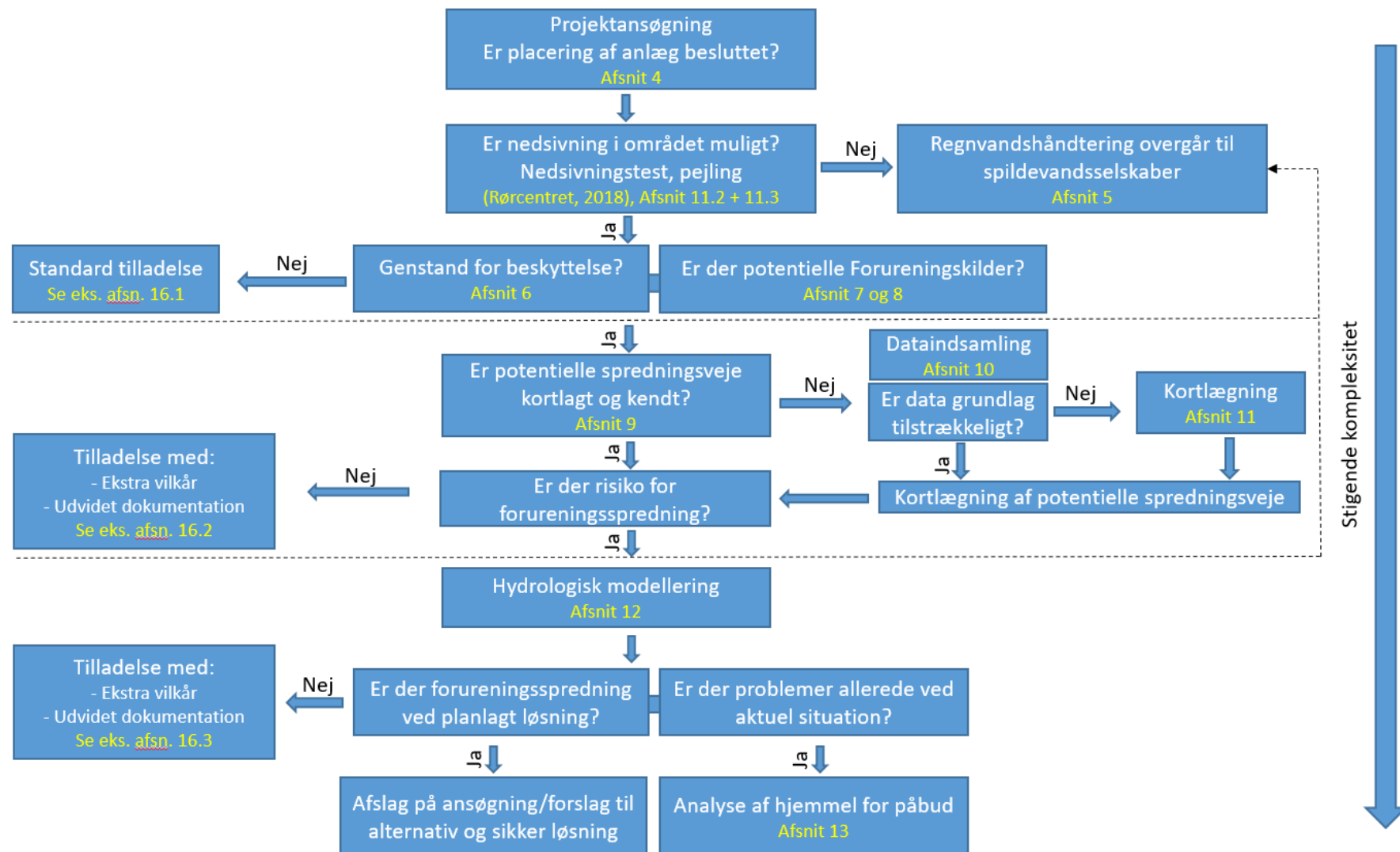
Mange af overvejelserne i denne best practice kan også anvendes i forbindelse med tilladelser til grundvandssænkning i områder med jordforurening. Metoden anvendes til evaluering af risikoen for at terrænnært grundvand bliver et problem for bebyggelse/anlæg, da skal "forureninger" blot erstattes af "bygninger/anlæg" igennem diagrammet. Ligeledes vil samme forundersøgelser kunne anvendes til at evaluere klimascenarier med stigende grundvandsspejl.

3 FLOWDIAGRAM

Herunder ses det flowdiagram, der bør følges i forbindelse med behandling af ansøgninger om nedsivnings-tilladelser samt udarbejdelse af regnvandshåndtering i forbindelse med lokalplanlægning og spildevands-planlægning. Flowdiagrammet kan desuden betragtes som en læsevejledning til denne "Best practice".

Hvert punkt i flowdiagrammet henviser til et afsnit. Dermed skal det være muligt ved at følge flowdiagram-met for at opnå et overblik over de nødvendige oplysninger og undersøgelser, der skal foreligge for at redu-cere risikoen for forureningsspredning ved etablering af nedsivningsanlæg.

Eksemplerne sidst i denne "Best practice" viser hvordan flowdiagrammet kan følges samt hvordan tilladel-ser af forskellig type kan se ud.



Figur 1 Flowdiagram som bør følges ved behandling af ansøgninger om LAR anlæg. Primært nedsivningsanlæg. De to stiplede linjer repræsenterer niveauer som oftest er afgørende. Den øverste linje krydses sjældent af private pga. udgiftsniveauet. Den anden linje krydses kun meget sjældent, typisk ved store eller vigtige byggerier. Opgives nedsivningen frem for at krydse en stiplede linje overgår regnvandshåndteringen til spildevandsselskaberne.

4 FORUNDERSØGELSER

Når perspektivarealer og større områder udstykkes eller områder omdannes fra erhvervsområder til boligområder, kan bygherre eller kommune have et ønske om etablering af LAR-anlæg allerede forud for projekteringen.

For at sikre, at der ikke opstår komplikationer efterfølgende, bør kommunerne indsamle den nødvendige viden om grundvandsstand, strømningsforhold, potentielt påvirkelige jordforureninger mv. i forbindelse med lokalplanlægningen af de pågældende områder samt i forbindelse med udarbejdelse af nye spildevandsplaner. Herved afdækkes eventuelle problemer med førnævnte emner, inden byggetilladelser, nedsivningstilladelser mv. søges.

Kendskab til områdets undergrund kan samtidig reducere etableringsomkostninger for både regnvandshåndtering og byggeprocessen efterfølgende og give mulighed for at vælge det bedste løsningsforslag i forhold til undergrundens beskaffenhed. I forbindelse med lokalplanlægning kan kommunen stille krav om ovenstående kortlægning fra bygherre i henhold til betalingslovens § 7 (Betalingsloven., 2020) :

”Kommunalbestyrelsen kan bestemme, hvorledes udgifterne til undersøgelser, der er nødvendige for en vurdering af, om nedsivningsanlæg kan etableres, skal fordeles på de pågældende ejendomme.”

Kortlægningen heraf bør ligeledes tage udgangspunkt i Figur 1.

Se evt. afsnit 11 om dataindsamling. Det er både relevant i forhold til forureningsspredning og fundering.

Kendskab til undergrunden før projektering reducerer risikoen for uforudsete udgifter senere i projektet.

5 NEDSIVNING IKKE MULIG

Såfremt det ikke er muligt at nedsive i et område, enten grundet højtstående grundvand, undergrundens beskaffenhed eller tilstedeværelsen af påvirkelige jordforureninger skal der, i forbindelse med udarbejdelsen af lokalplanen for området samtidig ske en korrektion af spildevandsplanen hvori der, stilles krav til spildevandsforsyningen omkring regnvandshåndteringen.

Såfremt projektet foregår i et eksisterende lokalplanområde og der ikke kan leves op til retningslinjerne i denne omkring regnvandshåndteringen, grundet førnævnte problematikker, bør lokalplanen og spildevandsplanerne for området revideres, så planerne ikke indeholder miljømæssigt uforvarlige krav. Se evt. mere om ansvar under afsnit 13.

Spildevandsplanen skal således indeholde en tydelig beskrivelse af krav til spildevandsforsyningen omkring dennes opgave i lokalplanområder, herunder en klar beskrivelse af det serviceniveau, der forventes af spildevandsforsyningen samt en beskrivelse af scenariet, som servicemålet er sat efter. Lokalplaner skal om muligt alene citere spildevandsplanens regulering.

6 SÅRBARHED

Ved evaluering af risici forbundet med etablering af nedsivningsanlæg adresseres to hovedspørgsmål: Hvad skal beskyttes og hvad skal der beskyttes imod.

Det som ønskes sikret kan være:

- Grundvand / Overfladevand
- Mennesker (kontaktrisiko hvis forurening opblandes i overfladevand)
- Fredede områder
- Bygninger/anlæg
- Ren jord (undgå forureningsspredning)

I denne best practice er hovedfokus på risici forbundet med eksisterende forurening i jorden.

For at vurdere forekomsten af emner som i særlig grad skal beskyttes anbefales det at betragte Danmarks miljøportal: <https://arealinformation.miljoportal.dk/html5/index.html?viewer=distribution>

Her kan områder med drikkevandsinteresser: OSD, indvindingsoplande og særligt følsomme områder samt fredede områder, beskyttet natur mv. betragtes.

Vandplaner, Natura2000 m.m. kan findes som temaer via Miljøgis her: <https://mst.dk/service/miljoegis/>

I forhold til disse emner findes allerede beskyttelseszoner som der må tages hensyn til.

6.1 GRUNDVANDSRESSOURCENS SÅRBARHED

Grundvandsressourcens sårbarhed i forhold til nedsivning vurderes på baggrund af Miljøstyrelsens områdeudpegninger fra grundvandskortlægningen <https://mst.dk/media/203497/nitratsaarbarhed-udkast-20201002.pdf> samt beskyttelses-zoner i henhold til Miljøbeskyttelseslovens § 19.

Grundvandsressourcens sårbarhed i forhold til nedsivning vurderes ud fra GIS-kort på baggrund af følgende områdeudpegninger:

- Stor sårbarhed - Inden for følsomme indvindingsområder (for både nitrat og sprøjtemidler) samt inden for 300 meter beskyttelseszone til almene vandforsyningsboringer.
- Nogen sårbarhed - Inden for områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD) samt indvindingsoplande til almene vandforsyninger, der ligger uden for OSD.
- Lille sårbarhed – Områder uden for OSD og indvindingsoplande til almene vandforsyninger.

Nedsivning af regnvand må som udgangspunkt ikke føre til negativ påvirkning af grundvandskvaliteten.

Grundvandet betragtes generelt som dårligt beskyttet hvis det totale overliggende lerlag er mindre end 15m tykt.

6.2 AFSTANDSKRAV

Det bemærkes at afstand til dræn og ledninger skal evalueres for at kende strømningsvejen, idet vand eks. kan strømme langs eller i drænrør i en ellers lerdomineret lithologi. Bemærk at der omkring større rør bør være etableret lerspærre med jævne mellemrum for at forhindre strømning langs rørene, men at denne kan mangle, særligt ved ældre rør.

Det er væsentligt at pointere, at nedenstående afstandskrav er minimumsafstande. Det pågældende nedsivningsanlæg skal fortsat leve op til spildevandsbekendtgørelsens §§ 38 og 40.

For afstandskrav henvises også til (Rørcentret, 2018), Bygningsreglementet, DS 440 og SBI 185

Afstand til	Påkrævet minimumsafstand	Kilde
Søer, vandløb (og dræn), hav	25m	Spildevandsbek. §38 (af 04/12/2019)
Indvindingsanlæg eller anlæg med krav om drikkevandskvalitet	25m*	Spildevandsbek. §38 (af 04/12/2019)
Andre nedsivningsanlæg til regnvand	2m***	Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 2 1999. Nedsivningsanlæg op til 30PE
Bolig	5m	Bygningsreglement**, DS 440 og SBI 185
Skel	2m (5m****)	Bygningsreglement**, DS 440 og SBI 185
Store træer og anden bevoksning	3-6 m***	Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 2 1999. Nedsivningsanlæg op til 30PE

*Omfatter ikke nedsivning af spildevand (i så fald er afstandskrav 300m), udelukkende nedsivning af regnvand.

**Afstande fra bygningsreglementet er erfaringsbaserede, og kan derfor fraviges, hvis den pågældende situation godtgøres.

***Ikke et krav for nedsivning af regnvand, men afstanden bør tages i betragtning, for at sikre funktionen af nedsivningsanlægget.

****5m er ikke et lovmæssigt krav. Loven kræver 2m til skel. Praxis anbefaler dog 5m

7 FORURENINGSKILDER

I forhold til risikoen for forurening eller forureningsspredning skal det undersøges hvilke potentielle forureningskilder der findes i området, se afsnit 9.2 for estimat på søgeradius. Forurening kan stamme fra forurennet regnvand (forurening fra luften eller de overflader regnvandet strømmer over) samt fra eksisterende forureningskilder i undergrunden. Forureningskilder i undergrunden kan være af typen punktkilde hvor forureningskilden er veldefineret, eks. en olietank, eller en udledning fra en industrigrund. Det kan være en linjekilde som eks. en jernbane eller en vej. Der kan også være tale om diffus forurening som f.eks. pesticider, der er spredt ensartet over et større område.

Hvis en potentiel forureningskilde identificeres i nærheden af et planlagt nedsivningsanlæg, er det væsentligt at forholde sig til følgende:

- Forureningskilde – typer, stoffer, koncentrationsniveauer, aktuel udbredelse
- Geologiske/hydrologiske forhold – vurdering af mulige spredningsveje, infiltrationsmængde, strømningsretning og nærmeste recipienter
- Vurdering af transport og udvaskning af stofferne, herunder sorbtion, nedbrydning mv.

Heraf kan man nå frem til en risikovurdering i forhold til overfladevand og grundvand.

7.1 FORURENING I REGNVAND

I forbindelse med ansøgning om nedsivning af regnvand, skal det vurderes om de befæstelsestyper der ansøges om nedsivning fra afsmitter med forureningskomponenter. Det skal vurderes i forhold til jord, overfladevand og grundvand.

Overfladevand fra f.eks. veje og parkeringspladser kan være problematisk pga. indhold af forurenende stoffer. Tilsvarende vil vand fra kirkegårde og kunstgræsbaner forventes at indeholde stoffer, som kan skade grundvandet. Regnvand fra tage betragtes indledningsvist som uproblematisk at nedsive, men viden på området vokser og dermed også kendskabet til forureningskilder fra tage. Tagvand fra tage/tagrender med/af kobber, zink eller bly kan resultere i en punktkilde forurening med tungmetaller ved nedsivningsanlægget. I tillæg til tagmaterialer og ophobet forurening derpå er der en begyndende erkendelse af at afsmittning fra byggematerialer ligeledes kan være problematisk eks. (Hjelmar, Hougaard, Jette, Hyks, & Trap, 2019; Petersen, et al., 2013; Vollertsen, et al., 2017).

Forureningskilder relateret til regnvand i form af diffus forurening samt strømning over forurenede flader er analyseret og beskrevet i forbindelse med projektet: "Vandkvalitet fra A til Åen" under "Vand i byer". Resultater herfra findes her: [Regnvandskvalitet-abc.teknologisk.dk](https://regnvandskvalitet-abc.teknologisk.dk).

Det skal undgås, at der anvendes pesticider, vaskes bil og lignende forurenende aktiviteter på vej mod afløb til nedsivningsanlæg.

Der skal altid foretages en individuel vurdering af risikoen for forurening af grundvandet. Hvis vandet indeholder forurenende stoffer i et niveau, som kan skade grundvandet, vil en renseløsning muligvis kunne afhjælpe problemet. Renseløsninger kan f.eks. være at lede vandet igennem filterjord. I enkelte tilfælde kan der også anvendes adsorptionsanlæg.

7.2 JORDFORURENING, TYPER OG DATAINDSAMLING

Hvor der i nogen udstrækning findes regler for nedsivning i relation til renheden af regnvand forholder lovgivningen sig ikke i samme grad til forureninger i jorden.

Afhængig af topografiske og hydrologiske forhold er det relevant at betragte forureninger i et større område også udenfor den ansøgte matrikel idet forureningsspredning ikke begrænses af matrikelgrænser.

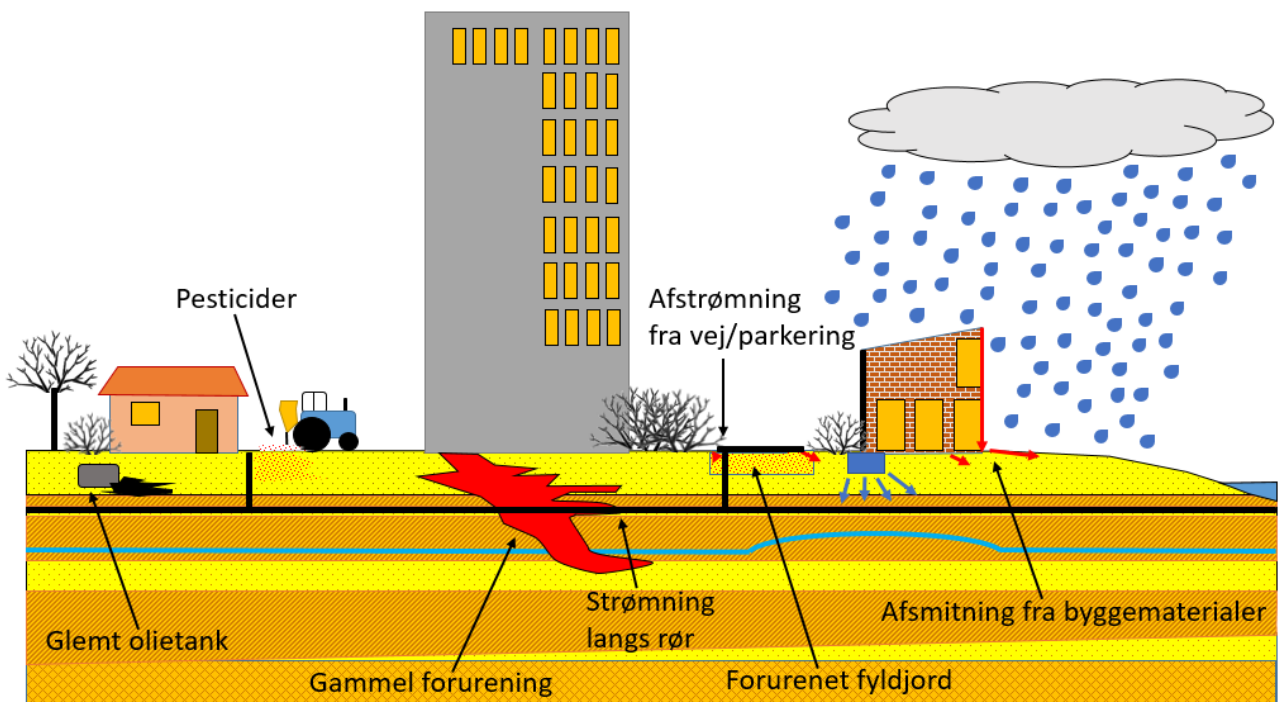
I forhold til jordforurening bør nedenstående informationskilder afsøges:

- Kortlagte forureninger, **V1, V2 og områdeklassifikationer** søges på Danmarks Miljøportal <https://arealinformation.miljoportal.dk/html5/index.html?viewer=distribution>.
- Lokalteter, der er **udgået af kortlægning** skaffes ved forespørgsel til regionen. Her skal det undersøges med hvilken begrundelse området er udgået af kortlægning idet forudsætningerne kan ændres ved tilføjelse af nedsivningsanlæg. Eksempler herpå kan være hvis forureningen er udgået fordi den regnes som immobil pga. afstand til grundvandsspejlet.
- Mulige **olietanke** nær den planlagte nedsivning søges i BBR og regionens e-arkiv, <https://earkiv.miljoportal.dk/>. Samtidig skal områdets historik tages i betragtning. Såfremt boligen er ældre end tidspunktet for etablering af fjernvarme/naturgas forventes det at der er eller har været en olietank. Inaktive gamle olietanke mangler ofte i registrene. Olietanke, der betegnes sløjfet skal ligeledes evalueres. Er den sløjfet ved tømning og opfyldning med sand viser erfaringen at tømningen ofte har været utilstrækkelig. Forefindes en olietank skal denne opgraves og evt. oprensning foretages inden nedsivning kan tillades.

- **Pesticider:** Ved nye udstykninger på tidligere landbrugsjord er det relevant at betragte driftskort for at vide om jorden forventes forurennet med pesticider. I tilfælde hvor der har været anvendt pesticider indenfor de seneste 7 år kan in-situ jord ikke anvendes til opblanding i forbindelse med etablering af nedsivningsanlæg, se også 8.1.1. (Miljøstyrelsen, 2012; Miljøstyrelsen, 2017). Man bør være opmærksom på tilstedeværelsen af vaskepladser hvor der kan være punktkildeforurening af pesticider fra påfyldning og afvaskning af sprøjter.
- **Forurennet fyldjord:** I Danmark er der forskellig klassifikation af jord. Generelt beskrives al jord i byer pr. definition som lettere forurennet jf. § 50 a i jordforureningsloven. Håndtering af lettere forurennet jord er forskellig på Sjælland i forhold til resten af Danmark. På Sjælland forholder man sig direkte til bekendtgørelsen: (Bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter, jord og sorteret bygge- og anlægsaffald, , 2016). Hvoraf det fremgår at lettere forurennet jord (kategori 2 og 3) kan anvendes som fyld på andre grunde hvor der er 30m til områder med krav om drikkevandskvalitet. I så fald udlægges markeringsnet og jorden placeres over højeste grundvandsspejl. Ved byggeaffald skal det placeres min. 2m over grundvandsspejlet. I resten af Danmark forholder man sig desuden til miljøstyrelsens liste over kvalitetskriterier i relation til forurennet jord. [https://mst.dk/media/150779/liste-over-jordkvalitetskriterier-juni-2018 .pdf](https://mst.dk/media/150779/liste-over-jordkvalitetskriterier-juni-2018.pdf). Denne indeholder bl.a. en omfattende liste over forskellige stoffers max. koncentrationer som kvalitetskriterier i forhold til eks. alm. jord, afskæringskriterium i forhold til anvendelse ved boliger, institutioner og legepladser, grundvandskriterier og afdampningskriterier. Det er relevant at undersøge om der forekommer fyldjord nær et planlagt nedsivningsanlæg. I så fald at identificere dennes type.
- **Afsmitning fra byggematerialer:** Der er en stigende opmærksomhed på, at byggematerialer kan indeholde biocider bl.a. (Hjelmar, Hougaard, Jette, Hyks, & Trap, 2019; Petersen, et al., 2013; Vollertsen, et al., 2017). På sigt kan det derfor blive aktuelt at vurdere, om der skal stilles differentierede krav til forskellige byggematerialer, ift. at forhindre nedsivning af udvaskede biocider.

Typiske forureningskilder findes:

- **V1, V2 kortlægninger samt lokaliteter udgået af kortlægning:** <https://arealin-formation.miljoportal.dk/html5/index.html?viewer=distribution>
- **Olietanke** <https://earkiv.miljoportal.dk/> , BBR samt ejendomme ældre end naturgas/fjernvarmeetablering
- **Pesticider** [Driftskort. Eks. ved nyudstyknings. Obs. på vaskepladser.](#)
- **Forurennet fyldjord**
- **Afsmitning fra byggematerialer** Ved nybyggeri
- **Hvilke overflader passerer vandet på vej til faskinen?**



Figur 2 Illustration af forskellige forureningskilder

7.3 FORURENINGSKOMPONENTER

Når en forurening er erkendt er forureningstypen vigtig. Dels for at evaluere risikoen for reaktivering af forureningen, dels for at evaluere risikoen for at forureningen allerede dækker et større område i forhold til hvor den oprindeligt er erkendt. Forureningskomponenten er vigtigere end klassifikations og kortlægningsniveauet.

Der findes et meget stort antal forurenende stoffer, men de hyppigst forekommende forureninger er oliekomponenter (kulbrinter), chlorerede opløsningsmidler, PAH'er, PFAS'er og tungmetaller. Andre forureningskomponenter kan være cyanid, phenoler, pesticider og polære opløsningsmidler. De forskellige stoffer kan have meget forskellige fysisk/kemiske egenskaber, hvilket kan være afgørende for stoffernes mobilitet. Eksempelvis er chlorerede opløsningsmidler meget mobile, da de kan opløses i vand, og kan være sundhedsskadelige selv ved meget lave koncentrationer. Nogle oliekomponenter kan være meget mobile, mens andre er immobile. PAH'er og tungmetaller betragtes generelt som værende immobile ved normale jordbundsforhold. Ved lav pH vil mobiliteten af metallerne dog typisk forøges. Enkelte metaller – eksempelvis arsen og krom – anses dog for at være relativt mobile.

Tabel 1 leverer et generaliseret overblik over opførslen af forskellige forureningstyper samt hvordan man umiddelbart skal forholde sig til deres tilstedeværelse i nærheden af nedsivningsanlæg.

Tabel 1 Generaliseret beskrivelse af forskellige stoftypers opførsel i forhold til LAR-løsninger. Dersom det antages at pågældende forureningsstoffer findes i jorden i nærheden af en planlagt nedsivningsanlæg

Stofgruppe	Typiske kilder	Karakteristik	Mobilitet	Nedsivningsanlæg i nærheden	Bemærkning
Chlorerede opløsningsmidler (eks. TCE, PCE og vinylklorid)	Renseri Metalforarbejdning Elværker Plastvirksomheder Autolakerier Autoværksteder	Varierende opløselighed Svært nedbrydelige	Høj mobilitet Medfører ofte forureningsfaner	Nedsivning problematisk	
Tungmetaller	Træimpregnering Metalforarbejdning Autoværksteder Jern- og metalstøberier Produkthandler mv. Plastvirksomheder Elværker Korn- og foderstovirksomheder	Lav opløselighed	Begrænset mobilitet ved typisk pH	Oftest uproblematisk	Opmærksomhed på arsen, som kan være mobilt ved typisk pH (6-8) og chrom (IV), som kan være mobilt i sandjorde Opmærksomhed ved lavere pH
BTEX og Kulbrinter og MTBE	Tankstationer Olietanke Autolakerier Autoværksteder Metalforarbejdning Plastvirksomheder Produkthandler mv. Renseri Varmeværker	Gammel forurening: - mobile stoffer nedbrudt - lav opløselighed Ny forurening: - høj koncentration af mobile stoffer - højere opløselighed - herunder BTEX	Lav mobilitet Høj mobilitet Medfører ofte forureningsfaner	Kan være problematisk afhængig af forureningsalder/nedbrydning og komposition. Nedsivning problematisk	Tjek analyseresultater for forureningen. Mængden af BTEX og de mindre kulbrinter, siger typisk noget om forureningens alder og mobilitet

PAH	Gasværker Stjelepladser Tjæreimprægning Autoværksteder Produkthandlere mv. Varmeværker	Generelt lav opløselighed Mindre PAH'er har større opløselighed. Stor sorption	De mindste PAH'er er mobile. De tungeste er immobile	Kan være problematisk afhængig af forurenin- gens sammensætning	Opmærksomhed på naphthalen og de mindre PAH'er. Sorption afhænger af jordtype og tilstedeværelse af andre forureningsstoffer
Cyanid	Gasværker Saltoplag Metaliseringsvirksomheder	Findes typisk som jerncyanider Kinetisk betinget frigivelse til vandfasen	Afhænger af speciering.	Kan være problematisk. Bør ikke nedsives direkte i hotspot område	
Phenoler	Gasværker Træimprægning Asfaltfabrikker Metalforarbejdning Plastvirksomheder Jern- og metalstøberier	Høj opløselighed Nedbrydelige under aerobe forhold	Høj mobilitet Sorption afhænger af organisk stof i jorden	Nedsivning problematisk	
Pesticider	Maskinstationer Vaskepladser Korn- og foderstovirksomheder	Høj opløselighed Varierende nedbrydelig	Varierende mobilitet og sorption	Nedsivning problematisk	
PFAS	Brandøvelsespladser Metalindustri Gummi og plast industri Tekstil og læder industri	Meget stor stofgruppe Høj vandopløselighed Generelt svært nedbrydelige	Generelt lav mobilitet Enkelte stoffer er højmobile	Nedsivning problematisk	Meget kompleks gruppe af stoffer, med forskellige kemisk/fysiske egenskaber
Polære opløsningsmidler	Trykkerier Farmaceutisk industri Farve og lak industri Autolakerier Plastvirksomheder	Høj opløselighed Nedbrydelige	Høj mobilitet	Kan være problematisk. Bør ikke nedsives direkte i hotspot område	

8 KRAV TIL FILTERJORD VED NEDSIVNINGSANLÆG

Ved nedsivningsanlæg betegnes den jord som vandet nedsives igennem, filterjord. Filterjorden vælges ofte mhp. at opnå en renseeffekt (Jensen, Markussen, & Holm, 2019).

Der er i litteraturen enighed om at man ikke kan tillade nedsivning af regnvand igennem forurenede jord. En sådan nedsivning vil risikere at sprede forureningen til dybere lag og grundvandet se eks. (Ballard, et al., 2015; Region Sjælland, 2014; Ingeniørforeningen, IDA, 2012). (Scottish Environment Protection Agency, 2003) minder desuden om at undgå traditionelle dræningssystemer, der også kan fungere som migrationsvej for forureninger.

Det er dog ikke grundigt dokumenteret hvilken renhed der kræves. Afhængig af konstruktionstypen må kravet også gælde jord i nærheden af en faskine, som skal lede nedsivende vand videre.

8.1 ANBEFALET ADMINISTRATIONSPRAKSIS FOR FILTERJORD

8.1.1 Pesticider

Miljøstyrelsen har i de seneste år udført en række undersøgelser vedrørende binding af pesticider samt udvaskning af disse fra jordmatricen (Miljøstyrelsen, 2012; Miljøstyrelsen, 2017)

Af disse fremgår det, at en del af det anvendte pesticid ofte akkumuleres i jordmatricen, fordi pesticiderne sorberer ind i små revner og sprækker, der kan blive op til 10 meter dybe, (Miljøstyrelsen, 2017). Pesticiderne frigives kun meget langsomt herfra. De vil derfor blive flyttet sammen med eventuel overskudsjord.

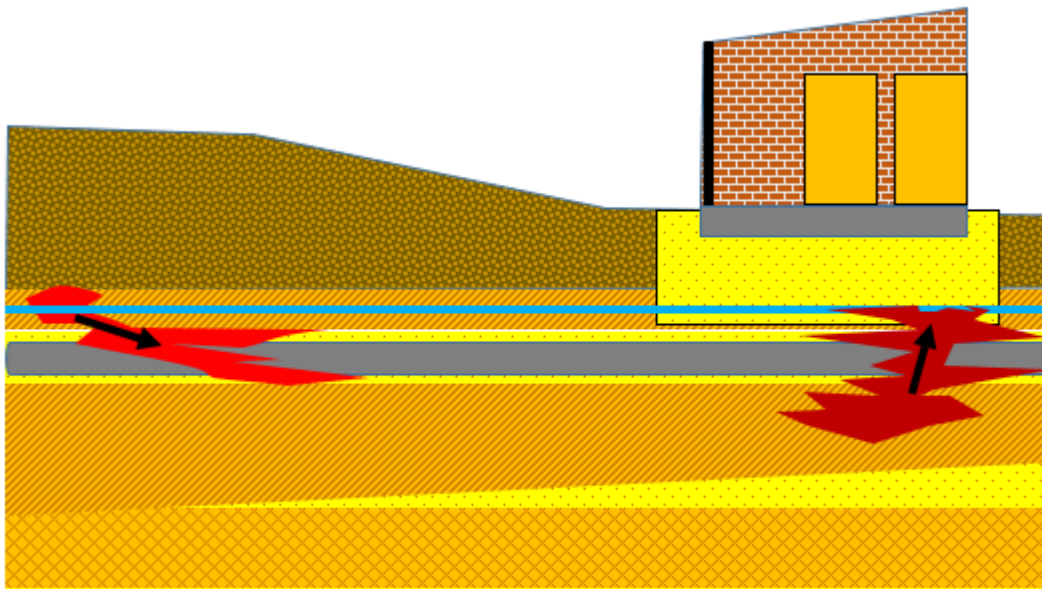
Sandsynligheden for at pesticider bliver nedbrudt varierer med dybden under terræn. I den iltholdige zone typisk ca. 3-5m under terræn nedbrydes pesticider. Til denne dybde er pesticider typisk udvasket eller nedbrudt efter 7-10 år uden brug af pesticider på jorden.

Når pesticiderne er nået ned til den iltfrie zone typisk 3-5 meter under terræn er nedbrydningen af pesticider fraværende eller begrænset. Jord fra den iltfrie zone kan forventes at indeholde pesticider, selv efter årtier. Derfor bør tidligere sprøjtet jord fra den iltfrie zone heller ikke benyttes som filterjord.

Jord fra de øverste 0-4 meter fra arealer, der har været drevet uden pesticider i mindst 7 år kan derimod godt benyttes som filterjord.

9 SPREDNINGSVEJE

Spredning af mobile forureningskomponenter kan forekomme ved strømning af vand i primært granulære materialer, figur 3. Det er den bekymring, som er relevant i forbindelse med nedsivningsanlæg.



Figur 3 Illustration af forureningsstrømning(rødt) i granulære materialer (gult). Pilene illustrerer forureningens migrationsretning.

Strømningen kan være geologisk betinget og beskrives med udgangspunkt i forekomsten af sand/gruslag tolket fra eksempelvis borer eller geofysiske data for området. Der kan også ske strømning langs antropogene strukturer i området idet der eksempelvis oftest fyldes op med granulære materialer omkring nedlagte rør. Fundamenter placeres typisk på en sandpude. Denne kan indeholde omfangsdræn såfremt der kan forventes problemer med terrænnært grundvand, eller begrænset naturlig dræning af jorden.

Er geologien og de antropogene strukturer kendt kan risikoen for forureningsspredning evalueres. Eks. om materialer med relativt høj hydraulisk ledningsevne (Typisk sand eller grus evt. i form af ældre røromgivelser) forbinder forurening og det planlagte nedsivningsområde.

Den aktuelle vandstand i et område er også væsentlig i forhold til evaluering af risikoen for reaktivering. Nogle forureninger er immobile når de er over grundvandsspejlet, men mobile hvis de kommer under grundvandsspejlet.

Hvis der er potentielle forureningskilder til stede og geologien er kompleks eller hvis geologien eller antropogene strukturer indikerer at der forekommer risiko for spredning kan det give mening at søge en bedre geologisk forståelse af et område. Mangler der kendskab til geologien eller er antropogene strukturer ikke tilstrækkeligt kendt, se afsnit 10 om dataindsamling.

Risiko for reaktivering af forurening defineres hvor et af nedenstående er opfyldt:

- Nedsivningsområdet er ikke afskærmet fra forureninger i jorden af lerlag. (se afsn. 10.1)
- Der er forbindelse imellem forurening og nedsivningsområde langs rør i undergrunden (se afsn. 10.2)
- Det terrænnære grundvand er mindre end 2m under en forurening (se tabel 2)
- Husk at kontrollere om der er gamle rør i området hvor renovering vil medføre risiko for stigende grundvand

9.1 TERRÆNNÆRT GRUNDVAND

I forhold til spredningsrisikoen er det relevant at betragte den aktuelle vandstand i området hvor nedsivning planlægges. Se pejlinger i boringer fra Jupiter databasen (<http://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliter/data-og-kort/national-boringsdatabase-jupiter/adgang-til-data/>) og andre tilgængelige kilder, eks. regionernes GeoGIS databaser.

Man skal da huske at overveje om der sker dræning via utætte kloakledninger således at vandspejlet risikerer at stige yderligere i forhold til nedsivningsmængden når/hvis kloarken renoveres.

Ligeledes skal klimaforandringernes påvirkning af den forventede grundvandsstand i et område tages i betragtning.

Hvor det terrænnære grundvand står højt bør eksisterende forureningers mobilitet være evalueret i forhold til det høje grundvandsspejl. Et nedsivningsanlæg vil dog fortsat kunne hæve det lokale vandspejl. I tilfælde med terrænnært grundvand forventes det at der er større risiko for at vandspejlet befinder sig tæt på eventuelle forureninger. Således er det relevant at evaluere forekomsten af terrænnært grundvand.

Dels vil reaktivering af forurening til terrænnært grundvand potentielt resultere i kontaktrisiko for mennesker eller dyr. Desuden kan nedsivning, hvor grundvandet står højt, resultere i oversvømmelse af bygninger og anlæg.

De største rådgivere og specialister inden for klimatilpasningsområdet har udviklet eller anvender værktøjer til at evaluere risikoen for terrænnært grundvand. Der sker megen udvikling i visualiseringen på dette område i øjeblikket. Der er stor forskel på tilgangen og datakvalitet og gennemskueligheden i de forskellige løsninger varierer meget. Der er forskel på om der tages højde for eks. årstidsvariationen og om man kan spore tilbage hvilke data der er årsag til en bestemt værdi. Nedenstående leverer et overblik over tilgængelige værktøjer april 2020 som projektpartnerne er bekendt med:

NIRAS har genereret en potentialeflade for terrænnært grundvand baseret på pejlinger hvor disse er angivet i boringer kombineret med registrering af overfladevand. Det er en enkel metode og det kan visualiseres i værktøjet hvilke punkter der leverer input til griddet. På nuværende tidspunkt er boringsmængden mange steder sparsom og potentialekortet i høj grad bundet op på søer, hav og vandløb. Tilgængeligt på forespørgsel, ikke til konkurrenter.

GEO har udviklet en machine learning algoritme hvor risikoen for terrænnært grundvand evalueres baseret på mange forskellige datatyper: geologi (boringsdata, jordartskort, geomorfologi) satellitdata, topografi og pejlinger. Terrænnært grundvand tolkes hvor der er vandførende lag med top ≤ 4 m.u.t. og vandspejlet findes ≤ 2 m.u.t. Det kan ikke afgøres hvilken information der er afgørende i forskellige punkter, ligesom der ikke angives usikkerhed på informationerne. Derfor bør kortet alene anvendes til screeningsformål på større skala og sammenholdes med observationer fra boringer. Tilgængeligt for abonnenter.

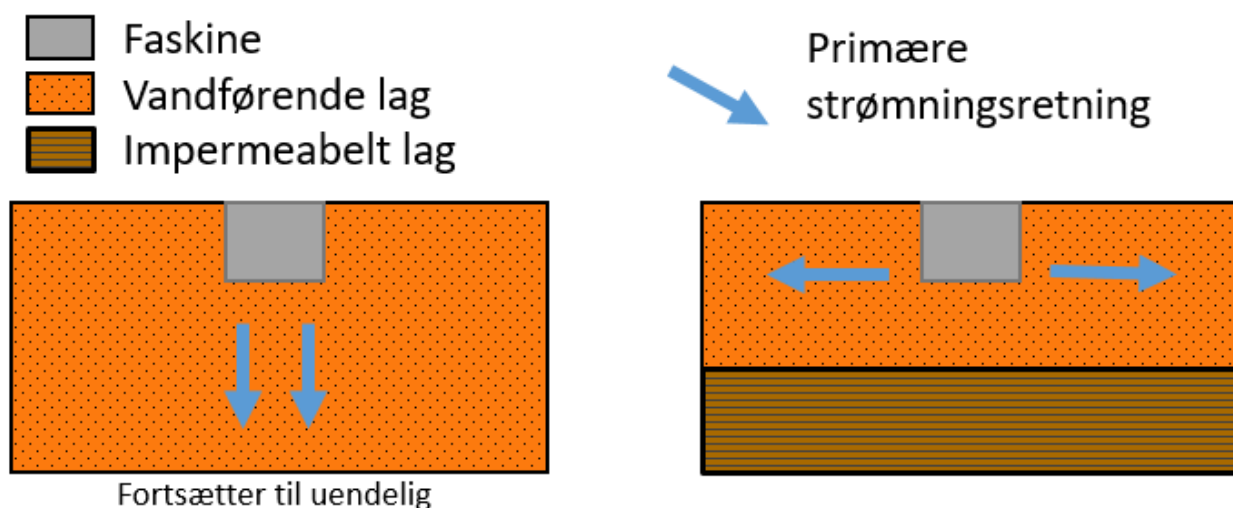
SCALGO har i samarbejde med COWI og GEUS på baggrund af en større mængde forskellige inputtyper udviklet en machine learning algoritme til evaluering af terrænnært grundvand. Resultatet præsenteres som en estimeret dybde til det mest terrænnære grundvand. Der angives forventeligt højeste grundvandsspejl over året (Regnhændelser ikke inkluderet). Kortet er endnu kun genereret for region midt og ikke tilgængeligt for offentligheden. Metode og data er beskrevet grundigt i dokumentationen ligesom det angives at information alene kan anvendes til screeningsformål og ikke betragtes som pålideligt på projekteringsniveau.

Problemer med grundvandskote forventes hvor:

- Grundvandet findes mindre end 2 m under terræn (se borer og jf. kilder afsn. 8.1)
- Grundvandet findes mindre end 2 m under en forurening (se tabel 2)
- Ældre kloaker skal renoveres. Idet det vil kunne medføre en stigning i grundvandet lokalt.

9.2 SIMPELT ESTIMAT FOR PÅVIRKET AFSTAND VED NEDSIVNING

Hvor langt fra et nedsivningsanlæg en forurening er relevant afhænger i høj grad af geologien, overfladeafstrømning mm. I nedenstående er det forsøgt at udlede relevante afstande til forskellige formål og for forskellige k-værdier. Til undersøgelsen er anvendt to forskellige metoder. En meget optimistisk hvor det antages at det vand som nedsives har uendeligt rum for vertikal nedsivning. Desuden en konservativ som antager overvejende radiær strømning se figur 4. I beregningen betragtes faskinen enten som en cylinderkilde eller en linjekilde (sene tider, radiær strømning).



Figur 4 Illustration af modeller for beregning af udbredelse af nedsivende vand fra faskine. I den første antages primært vertikal strømning. I den anden primært radiær strømning.

Under antagelse om homogen uendeligt udstrakte lag og ingen topografi opnås resultaterne i nedenstående tabel. Det mindste tal for afstand til relevante forureninger stammer fra beregning i modellen med primært vertikal strømning imens det største tal stammer fra modellen med primært radiær strømning. Her ses på potentialespejlet efter 25 år. I tilfælde hvor stigningen er meget lille for den primært vertikale strømning er denne angivet som < tallet for den primært radiære strømning.

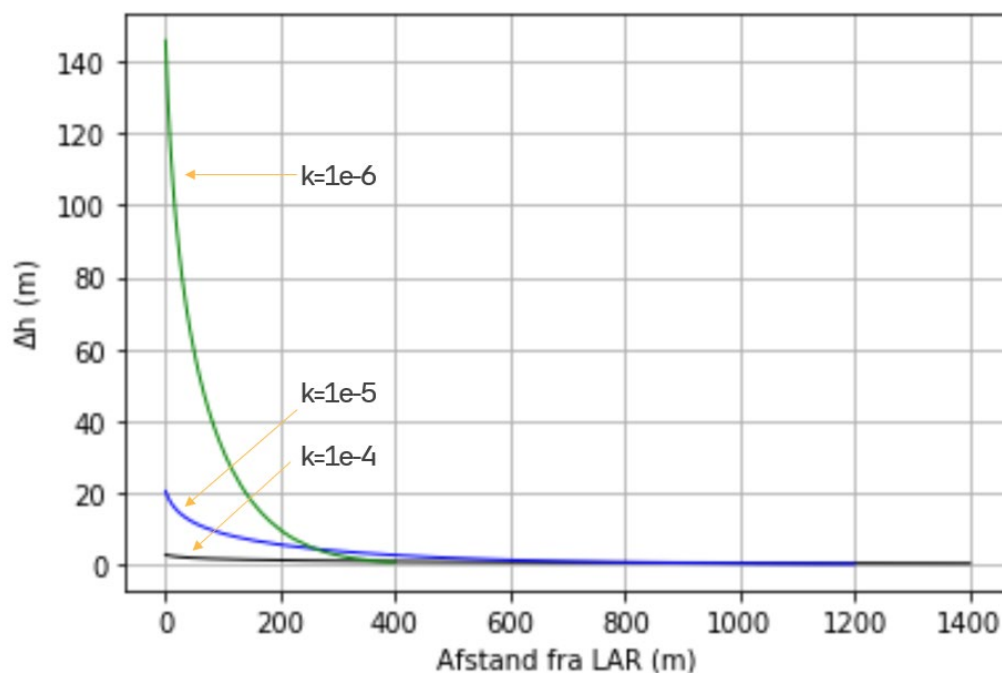
Tabellen skal kun ses som vejledende. Forfatterne tager ikke ansvar for direkte anvendelse af værdierne. De skal alene betragtes som en indikation på typisk søgeradius. Antagelsen om perfekte horisontale, homogene og uendelige lag er helt sikkert forkert og kan have stor betydning for strømningsmønsteret. Er man i tvivl kan foretages beregninger i en egentlig hydrologisk model.

Tabel 2 Eksemplerne i tabellen er præsenteret for fire niveauer: 125 m³/år som eksempel på regnvand fra ca. 200m² stort tag, årsnedbør på 700mm og fordampning på ca. 10%. 300m³/år er en afrundet udgave til at repræsentere et vejbed med vand fra ca.

500m². De 20.000 m³/år repræsenterer et større parkanlæg imens de 1.000 m³/år er valgt for at have et niveau i det ellers store spring fra 300m³/år til 20.000m³/år.

Nedsivningsmængde [m ³ /år]	K-værdi [m/s]	Afstand hvor delta h < 0.2m
125	1e-04	< 5m
	1e-05	< 5m
	1e-06	< 150m
300	1e-04	< 5m
	1e-05	< 80m
	1e-06	1-200m
1000	1e-04	< 5m
	1e-05	250-300m
	1e-06	250-300m
20000	1e-04	1400m
	1e-05	5-1200m
	1e-06	5-500m

Bemærk at ved god hydraulisk ledningsevne vil vandet fordeles over et større område, men med en mindre stigning lokalt. Det betyder at man ved et krav om meget lille stigning i grundvandsspejlet vil skulle kigge i større afstand fra en forurening for bedre hydraulisk ledningsevne, men at man med en højere værdi for afskæringskriteriet vil skulle kigge i kortere afstand, figur 5.



Figur 5 Eksempel på kurver for større parkanlæg (20.000m³/år) beregnet for tilfældet med primært radiær strømning.

9.3 SIMPEL SCREENING AF STOFTRANSPORT, RISIKO FOR FORURENINGSSPREDNING

En simpel risikovurdering i forhold til stoftransport kan foretages ved at bruge Miljøstyrelsens JAGG program, som kan beregne risikoen for forurening af grundvandet. Et nyere værktøj – GrundRisk – er under udarbejdelse. Som udgangspunkt hænger kvaliteten af risikovurderingen sammen med informationsniveauet omkring forureningen og lokaliteten, og en solid risikovurdering vil derfor kræve et godt kendskab til de hydrogeologiske forhold, samt en afgrænsning af den påviste forurening, og et estimat af kildestyrken.

JAGG: <https://mst.dk/affald-jord/jordforurening/it-vaerktoejer-til-vurdering-af-jord/jagg-programmet/>

For egentlige hydrologiske modeller, som kan håndtere ikke-horisontale lag med varierende tykkelse se afsnit 12.

10 DATAINDSAMLING, ANGÅENDE SPREDNINGSVEJE

10.1 GEOLOGI

En forståelse af geologien er vigtig for kendskabet til potentielle spredningsveje.

I en første screening af den geologiske kompleksitet anbefales det at betragte boringer, som kan søges i den nationale Jupiterdatabase: <http://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliteter/data-og-kort/national-boringsdatabase-jupiter/adgang-til-data/>

Har man adgang til databaser eks. fra regionerne eller geotekniske firmaer er disse typisk værdifulde idet de korte geotekniske boringer, som ofte findes langs veje og hvor der er bebygget, også er relevante for LAR projekter, men typisk ikke indberettes til Jupiter.

For at opnå en bedre forståelse af geologien kan desuden betragtes jordartskort, som viser geologien 1m under terræn. Det kan hentes her: <https://frisbee.geus.dk/geuswebshop/index.xhtml>. En geolog kan desuden udlede information fra historiske kort som kan findes her: <https://hkpn.gst.dk/>

For hele Danmark findes geologiske modeller. Modellerne har forskellig detaljegrad. Opløsningen er typisk ikke så stor at de kan anvendes til evaluering af terrænnære hydrologiske forhold, eller forhold på en enkelt udstykning, men de kan i mange tilfælde give en overordnet forståelse af geologien i et område. En geolog vil ud fra disse kunne angive den forventede geologiske kompleksitet i et område.

Nogle geofysiske data kan findes i GERDA databasen: <http://data.geus.dk/geusmap/?mapname=gerda>. Uheldigvis kan denne database ikke modtage alle datatyper. En af de mest relevante, DualEm (Ground conductivity meter (GCM)), kan eksempelvis ikke i skrivende stund indrapporteres til databasen og skal således søges andre steder, eksempelvis direkte hos kommuner eller hos de rådgivere der har udført kortlægningerne. Geofysiske metoder kan give værdifuld sammenhængende eller endda arealdækkende information om geologi og begravede strukturer i et område. Det er dog vigtigt at den som tolker de geofysiske data har en god forståelse af den metode der anvendes.

10.2 ANTROPOGENE STRUKTURER

Foruden geologien kan antropogene strukturer have indflydelse på strømningen i undergrunden. Særligt kendskab til ledningsforekomster i undergrunden er relevante idet større rør typisk er omgivet af granulære materialer der kan fungere som en passage for grundvandet. Derfor bør der altid sendes en forespørgsel til LER registeret <https://ler.dk/>. Bemærk at der de seneste mange år har været krav om etablering af lerspærre rundt om rør netop for at forhindre strømning langs disse.

Placering af bygninger og anlæg vil typisk være kendt. Alternativt kan de simpelt evalueres fra orthofotos som opdateres årligt men også er tilgængelige historisk. Eks. via <https://kortforsyningen.dk/>.

Afhængig af boringstætheden kan det af ovenstående informationer vurderes om der er høj risiko for forureningsspredning. Dvs. materialer med relativt høj hydraulisk ledningsevne (Typisk sand eller grus evt. i form af røromgivelser) forbinder forurening og det planlagte nedsivningsområde.

11 KORTLÆGNINGSSTRATEGI

Hvis boringer indenfor det kortlagte område viser stor kompleksitet og vandspejlsvariation er det hensigtsmæssigt at foretage en geofysisk kortlægning for at binde boringsinformationerne sammen horisontalt, se Tabel 3.

11.1 GEOFYSISK KORTLÆGNING

Kortlægningsstrategien skal passe til planlægningsstadiet.

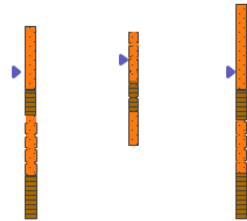
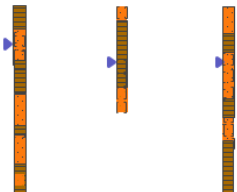
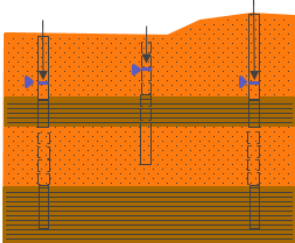
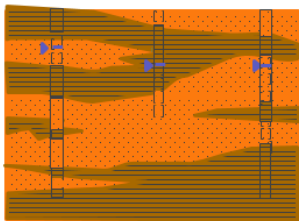
Dersom placeringen af det planlagte anlæg endnu ikke er fastlagt eller det planlagte anlæg dækker et større område giver det mening at indsamle fladedækkende geofysisk information for området. Såfremt der ikke forefindes boringsinformation for området kan herefter vælges antal og placering af boringer det er relevant at foretage til verifikation af lithologien.

Derefter kan udpeges hvor det er mest hensigtsmæssigt at placere et nedsivningsanlæg. I tillæg til information for nedsivningsanlæg opnås værdifuld viden i forhold til fundering af evt. planlagt bebyggelse. Eks. Tykkelsen af muld/fyldlag, udstrækning af blødbund og afhængig af metodevalg samt lokalitet, desuden dybden til bæredygtigt underlag.

I tilfælde hvor projektering er foretaget og den ønskede placering af et nedsivningsanlæg ligger fast er spørgsmålet om nedsivningsevnen og evt. tilladelse reduceret til et ja/nej spørgsmål. I sådanne tilfælde skal det alene afgøres om nedsivning er mulig på den ønskede lokalitet uden at resultere i forureningsspredning. Her er geofysiske undersøgelser kun relevante såfremt geologien ikke er tilstrækkelig kendt til at det kan sandsynliggøres at man har en god forståelse af hydrologien. Se Tabel 3 for illustration.

Tabel 3 Illustration af forskellen imellem en lokalitet hvor der ikke er behov for yderligere kortlægning og en lokalitet med behov for yderligere kortlægning. Bemærk at der ikke er angivet en skala. Eksemplerne skal dække et område svarende til et typisk LAR-projektområde. Antallet af boringer kan variere. 3 er absolut minimum og de skal dække områder med forventet forskellig geologi baseret på

eksisterende information og overfladens morfologi. Indsamles geofysik først kan denne afsløre hvor der kunne være behov for en boring til bestemmelse af lithologien.

	Eksempel 1	Eksempel 2
Mulige boringsobservationer fordelt over interesseområdet. Jordartskort indikerer at tilstedeværende lithologier er kortlagt		
En af flere mulige geologiske forståelsesmodeller		
Behov for yderligere kortlægning	Nej	Ja

Dersom der er behov for at foretage en geofysisk kortlægning af et område og data ikke er tilgængelige fra GERDA databasen anbefales det at indsamle DualEM (Ground Conductivity Meter) data til kortlægning af de øverste ca. 5m (op til 10m afhængig af sedimenttypen). Med DualEM metoden kan der opnås meget detaljeret kortlægning, og med afgrænsninger af områder med horisontal udbredelse på få meter. Metoden forstyrres af elektriske installationer i en afstand til 5-10 m og kan derfor også anvendes i byområder, eksempelvis på grønne arealer mellem boligenheder og i parker. Generelt giver geofysik mening i nedsivningssammenhænge hvor projektområdets størrelse minimum svarer til 3-4 parceller.

For at opnå en bedre forståelse for geologien/hydrologien kan det give mening at indsamle nogle ERT (Electrical Resistivity Tomography) profiler, enten relativt højoopløseligt ned til ca. 20 m eller større strukturer til ca. 50-70m dybde.

Alternativt kan indsamles mere fladedækkende regionale data med tTEM (towed-Transient ElectroMagnetic). tTEM har dårligere opløsning af de øverste jordlag (estimeret de øverste 3-4 m) end DualEM og giver ikke mulighed for samme horisontale detaljeringsgrad, men giver derimod information fra større dybde, ned til ca. 50-70 m under terræn. tTEM bliver dog forstyrret af elektriske installationer og ledninger i en afstand af 50-100 m, og er derfor ikke anvendelig i byområder.

På baggrund af de geofysiske data kan fordelingen af forskellige sedimenttyper tolkes i overensstemmelse med boringsinformationen.

Bemærk at opløsningen af de geofysiske metoder falder med dybden. Det er vanskeligt at foretage en kvantificeret vurdering af opløseligheden, da denne i høj grad er afhængig af de geologiske forhold.

Metode	Formål	Typisk max. dybde	Opløselighed	Bemærkninger
DualEM (GCM)	Forstå terrænnære hydrogeologiske strukturer. Stor datadækning. Ca. 40-80 km profil/dag	5-10 m	Horisontalt: Størrelsesorden meter Vertikalt: Aftager med dybden og afhængig af specifikke forhold.	Forstyrres af elkabler og lign. indenfor en afstand af 5-10 m. Jo mere leret (høj ledningsevne) des mindre indtrængningsdybde
tTEM	Forstå dybere hydrogeologiske strukturer dybere end 2m dybde Stor datadækning. Ca. 40-80 km profil/dag	70 m	Horisontalt: Størrelsesorden dekameter Vertikalt: Aftager med dybden og afhængig af specifikke forhold.	Forstyrres af elkabler og lign. indenfor en afstand af 50-100 m. Større afstand for højspænding. Jo mere leret (høj ledningsevne) des mindre indtrængningsdybde
ERT	Forstå hydrogeologiske strukturer. Ca. 2-3 km profil/dag	70 m	Horisontalt: Afhænger af konfiguration på layout Vertikalt: Aftager med dybden	Kabler med jordforbindelse og i jorden forstyrrer i en dybde svarende til afstanden til kablet

11.2 NEDSIVNINGSTESTS

Sandsynligheden for at en given mængde regnvand kan nedsives skal altid evalueres ved nedsivningstests. Der skal som minimum foretages en nedsivningstest der hvor nedsivningsanlægget planlægges etableret. Det er væsentligt at nedsivningstesten foretages i den dybde hvor bunden af faskinen er planlagt. Placeres testen for overfladenært risikerer man at kende den hydrauliske ledningsevne af et fyld- eller muldrag som ikke er relevante for faskinens effektivitet.

Nedsivningstest kan enten udføres som nedsivning i hul, ved dobbelt-ring infiltrometer metoden eller som slug test i en boring, (Rørcentret, 2018).

Sandsynligheden for at en nedsivningstest er foretaget og refereret korrekt evalueres ved sammenligning med evt. andre nedsivningstests foretaget i området. Desuden sammenholdes resultatet med den forventede geologi i området (se eks. borer, jordartskort/ geomorfologisk kort samt evt. geofysik).

Nedsivningstest skal foretages på den lokalitet og i den dybde hvor bunden af faskinen planlægges.

11.3 PEJLINGER

Forud for nedsivning i et område med forureninger bør man foretage pejlinger i området for at kende det lokale niveau for terrænnært grundvand. Her er det væsentligt at forholde sig til tidspunktet for pejlinger i

forhold til forventet årstidsvariation (grundvand står højest om vinteren) samt tidspunktet for seneste nedbørsevent. Generelt anbefales monitoring min. et år.

Der findes pt. flere værktøjer til beregningen af det terrænnære grundvandsspejl, men fælles for disse løsninger er at de ikke er sikre nok til af kunne anvendes på matrikelniveau. Herudover viser erfaringer fra monitoring af det terrænnære grundvand at årstidsvariationen kan være meget varierende over kort afstand, og at det derfor er vanskeligt at anvende generelle antagelser om variationen. Opsætning af diverse, eks. online monitoringsloggere anbefales i områder hvor den indledende screening viser at der findes terrænnært grundvand eller hvor reaktivering af forurening kan være et problem.

Monitoringsdata kan leveres online og niveauet kan direkte relateres til eks. regnhændelser.

Pejling i min. 1 år anbefales hvor:

- **Screeningsværktøjer indikerer risiko for problemer med terrænnært grundvand**
- **Risikoscreeningen viser forureninger i området, der risikerer reaktivering**
- **Boringer i nærheden viser terrænnært grundvand. Årstidsvariation og responset på regnhændelser er ukendt**

12 HYDROLOGISKE MODELLER

I tilfælde hvor der kan herske tvivl om et planlagt anlægs indflydelse på omgivelserne kan det være nødvendigt indledningsvist at foretage hydrologiske modelberegninger.

Når der erkendes et behov for en dybere hydrologisk forståelse fordi et område er særligt følsomt eller fordi der er potentielle forureningskilder i et område er det nødvendigt at have en geologisk forståelse for området.

I sådanne tilfælde må man først evaluere om datadækningen er tilstrækkelig til at geologien er godt bestemt. Afhængig af den geologiske kompleksitet i de øverste 5m kan der være behov for større eller mindre datadækning. Ved geologisk kompleksitet og behov for stor detaljeringsgrad kan en geofysisk kortlægning planlægges, se afsnit 11.1.

Dersom boringer i området er meget ensartede og det er i overensstemmelse med den forventede geologiske historie, pejlinger og resultater af nedsivningstests kan der opstilles en relativt simpel hydrologisk beregning/ model, eks. afsnit 9.2.

Vha. en egentlig hydrologisk model er det muligt at kortlægge vandets strømningsretning samt transport af forureningskomponenter. Derefter at tilføje planlagte elementer som eks. nedsivningsanlæg for at evaluere betydningen heraf i forhold til grundvandsstanden mv.

13 LOVGIVNING

For afledning af forurenede eller lettere forurenede vand kræves en beregning af stofkoncentrationer i punktet for tilførsel til et andet medie, uanset om dette er en recipient, grundvand eller jorden. For LAR anlæg betyder dette implicit at vand som nedsives heller ikke må transportere forurening. De statslige vandplaner, lov om vandplanlægning (og i sidste ende vandrammedirektivet) fastlægger hvordan kommunerne skal fastsætte vilkår i udledningstilladelser eller nedsivningstilladelser for at sikre beskyttelsen af hele vandkredsløbet.

Miljøbeskyttelseslovens (mbl) § 19 er grundlaget for kommunernes afgørelser om nedsivning, hvad enten der er tale om spildevand fra bebyggelse eller regnvand.

Mbl § 19 har følgende ordlyd:

§ 19. *Stoffer, produkter og materialer, der kan forurene grundvand, jord og undergrund, må ikke uden tilladelse*

- 1) nedgraves i jorden,*
- 2) udledes eller oplægges på jorden eller*
- 3) afledes til undergrunden.*

Stk. 2. Beholdere med de stoffer, produkter og materialer, der er nævnt i stk. 1, må heller ikke uden tilladelse være nedgravet i jorden.

Herudover er der i mbl § 19, stk. 3, indsat en særlig hjemmel for miljøministeren til at fastsætte nærmere regler for, i hvilke tilfælde og på hvilke vilkår, kommunerne kan meddele tilladelser efter bestemmelsen.

Disse regler fremgår af spildevandsbekendtgørelsens kapitel 15 om afledning af spildevand til jorden. Bekendtgørelsens § 38 omhandler nedsivning af tag- og overfladevand, som defineret i bekendtgørelsen, dvs. regnvand fra tagarealer og andre helt eller delvist befæstede arealer, såfremt regnvandet ikke har væsentlig anden sammensætning eller indeholder andre stoffer, end hvad der sædvanligt tilføres regnvand i forbindelse med afstrømning fra sådanne arealer.

Bekendtgørelsens § 38 har følgende ordlyd:

§ 38. *Tilladelse til afledning af tag- og overfladevand til nedsivningsanlæg, hvortil der ikke afledes husspildevand eller procesvand, kan meddeles, når følgende betingelser er opfyldt:*

- 1) Afstanden til anlæg til indvinding af vand, hvortil der stilles krav til drikkevandskvalitet, er mindst 25 meter.*
- 2) Nedsivningsanlægget dimensioneres, placeres og udføres således, at der ikke opstår overfladisk afstrømning, overfladegener eller gener i øvrigt.*
- 3) Afstanden fra nedsivningsanlægget til vandløb, søer og havet er mindst 25 meter.*
- 4) Tag- og overfladevand kommer ikke fra offentlige veje, jernbaner eller befæstede arealer, der anvendes til parkering for mere end 20 biler.*

Endelig tager bekendtgørelsens § 40 stilling til, at der kan være visse tilfælde hvor nedsivning af regnvand (eller spildevand) kan være miljømæssigt forsvarligt, selvom betingelserne i § 38 ikke er opfyldt.

§ 40 i bekendtgørelsen har følgende ordlyd:

§ 40. Er betingelserne i §§ 37-38 ikke opfyldt, kan tilladelse dog meddeles, når følgende betingelser er opfyldt:

- 1) Tilladelsen er ikke i strid med områdets vandforsynings-, spildevands- og kommuneplaner og med bekendtgørelse om miljømål for overfladevandområder og grundvandsforekomster og bekendtgørelse om indsatsprogrammer for vandområdedistrikter.
- 2) De hydrogeologiske forhold sandsynliggør, at nedsivningen vil kunne ske uden risiko for forurening af anlæg til indvinding af vand.
- 3) Nedsivningen vil ikke medføre forurening af grundvandsressourcer, der er anvendelige til vandforsyningsformål.
- 4) Nedsivningen er ikke til hinder for, at de miljømål for kvaliteten af grundvand, vandløb, søer og havet, der er fastsat for vandområdet i bekendtgørelse om miljømål udstedt i medfør af lov om vandplanlægning, kan opfyldes.
- 5) Afstanden til vandløb, søer og havet er mindst 25 meter.

§ 40 i spildevandsbekendtgørelsen lister minimumskrav, der bør undersøges og bekræftes, førend en kommune kan meddele tilladelse til nedsivning. Herved sikres at man fortsat lever op til miljøbeskyttelseslovens § 19.

§ 40 beskriver de helt fundamentale vilkår for en nedsivningstilladelse, som implicit også skal undersøges af kommunen, selv ved en tilladelse efter § 38, selvom de ikke fremgår som specifikke krav heri.

13.1.1 Hvem har ansvaret for en forureningsudspredelse

Bemærk:

Kommunen vil som planlægger og tilladelsesgiver have ansvaret for en potentiel forureningsspredning relateret til et nedsivningsanlæg.

Kommunerne har ansvaret for at udarbejde en spildevandsplan, der bl.a. skal sikre at regnvandshåndteringen sker miljømæssigt forsvarligt både i de eksisterende bebyggede områder men også i fremtiden, så regnvandsafledning ikke medfører forurening af grundvandsressourcer eller forhindrer opfyldelse af miljømål for kvaliteten af grundvand, vandløb, søer og havet.

I områder, hvor en kommune planlægger regnvandshåndtering ved nedsivning i spildevandsplanen, skal kommunen forud for planlægningen sikre at dette er realiserbart. Det vil sige, at kommunen skal have foretaget en stor del af de undersøgelser, der fremgår af flowchartet afsnit 3, så det sikres at nedsivning er muligt. Alternativt planlægges at regnvand skal håndteres af forsyningen.

Selvom det fremgår af spildevandsbekendtgørelsens regler om spildevandsplaner, at en spildevandsplan ikke må stride mod en lokalplan, så er virkeligheden normalt sådan, at lokalplaner ændres hyppigere end spildevandsplaner og allerede forekommende kloakering eller planlægning herfor. Det bør således være spildevandsplanen og de undersøgelser, der ligger til grund for denne plan, der er afgørende for om en lokalplan overhovedet kan planlægge lokal nedsivning. Dette fremgår også af bemærkninger til ændringen af planloven fra 2013, hvor kommunerne fik mulighed for at udforme temalokalplaner af hensyn til klimatilpasning.

Hvis ikke en kommune baserer sin spildevandsplan, og dermed ønsker til regnvandshåndtering i form af nedsivning på evidensbåret viden om forureningsforhold i området, geologi og grundvand, så kan kommunen ende med at udforme planer, der ikke kan realiseres, hvor udførelse medfører en forureningsspredning eller gener for omkringboende. Det er kommunen, der er ansvarlig for en miljømæssig korrekt planlægning, der skal være udarbejdet på fuldt oplyst grundlag.

Hertil kommer, at spildevandsplanen (som ikke er bindende for borgerne) skal udmøntes i konkrete tilladelser. Hvis forundersøgelser er undladt kan kommunen således støde på det problem, at den ikke kan meddele en tilladelse efter mbl. § 19, jf. §38 eller § 40, fordi nedsivningen ville kunne medføre gener for omkringboende eller uacceptabel forureningsspredning.

Der findes ikke retspraksis på området.

Kommunen er ansvarlig både for at udforme en miljømæssig forsvarlig planlægning og for afgørelser om nedsivning i henhold til mbl § 19 og spildevandsbekendtgørelsen. Derfor må kommunen også være ansvarlig i situationer, hvor der efter meddelelse af tilladelse til grundejere, vejlaug eller lignende opstår forurenings-skader eller gener for omkringboende.

Dette understøttes af at kommunerne har andre redskaber for planlægning og i tvivlstilfælde kan vælge at regnvandskloakere et område. Kommunen kan vælge at stille skærpede dokumentationskrav til bygherrer, der ønsker at bebygge et område, inden nedsivningstilladelsen for et sådant område meddeles. Viser dokumentationen at nedsivning ikke er muligt, skal spildevandsplanen ændres for det pågældende område, for at sikre at området kan bebygges forsvarligt, herunder i relation til afledning af regnvand fra arealerne.

Det vurderes, at private bygherrer kun i sjældne tilfælde vil kunne blive erstatningsansvarlige for forureningsudspredning i forbindelse med nedsivning, hvis bygherren har opnået en tilladelse hertil fra kommunen.

Det kunne f.eks. være tilfældet, hvis bygherren undlader at gøre kommunen opmærksom på fundet af en forurening og bygherren samtidig fortsætter med at etablere nedsivning på ejendommen. Bygherrens forsømmelse i dette tilfælde må antages at være groft uagtsom eller forsætlig og derfor ansvarspådragende.

13.1.2 Forhold til anden lovgivning

Vurdering af om projektet skal anmeldes efter VVM-bekendtgørelsen, (VVM screening), med mulighed for krav om miljøkonsekvensrapport.

Kan projektet rummes indenfor gældende lokalplaner og anden lovgivning?

VVM bekendtgørelsen kan ses på www.retsinformation.dk.

14 FORSLAG TIL HVORNÅR TILLADELSER TRÆKKES TILBAGE FORDI GRUNDVANDET ER STEGET IND I SIKKERHEDSZONEN.

Såfremt der er mistanke om at et eksisterende anlæg tilladt af kommunen resulterer i forureningsudledning eller spredning vil undersøgelserne og bevisbyrden være kommunens ansvar.

Jf. Miljøbeskyttelseslovens § 30 gælder det at:

” Hvis et spildevandsanlæg ikke fungerer miljømæssigt forsvarligt, herunder ikke opfylder eller tilgodeser de krav, der er fastsat efter § 28 og § 29, samt forudsætninger fastsat efter § 32, stk. 4, kan tilsynsmyndigheden påbyde, at der foretages den nødvendige forbedring eller fornyelse af anlægget. Tilsynsmyndigheden kan endvidere ændre vilkår fastsat i en tilladelse efter § 28, hvis de tidligere fastsatte vilkår må anses for utilstrækkelige eller uhensigtsmæssige.”

Og under stk. 2. udspecificeres at:

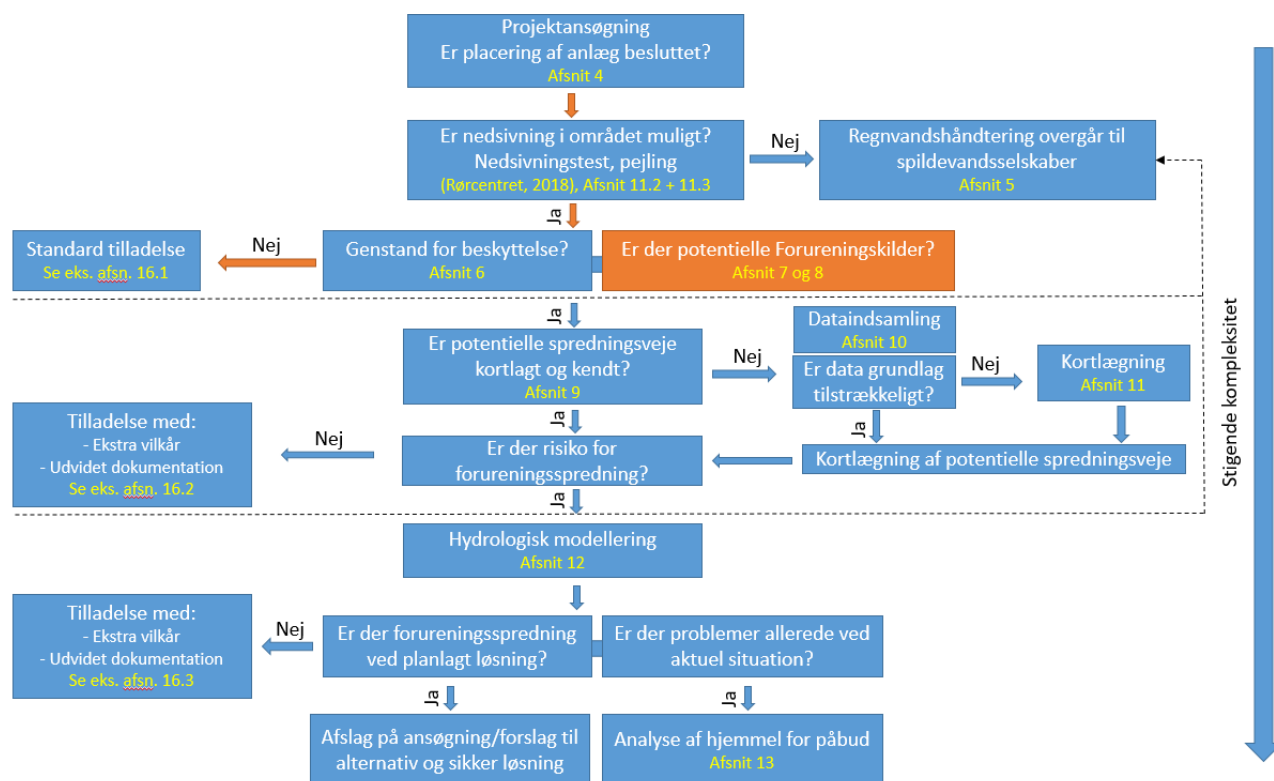
”Kan forureningen ikke afhjælpes, kan tilsynsmyndigheden nedlægge forbud imod fortsat drift af anlægget.”

15 EKSEMPLER, ILLUSTRATION AF ANVENDELSE AF BEST PRACTICE I FORSKELLIGE SITUATIONER.

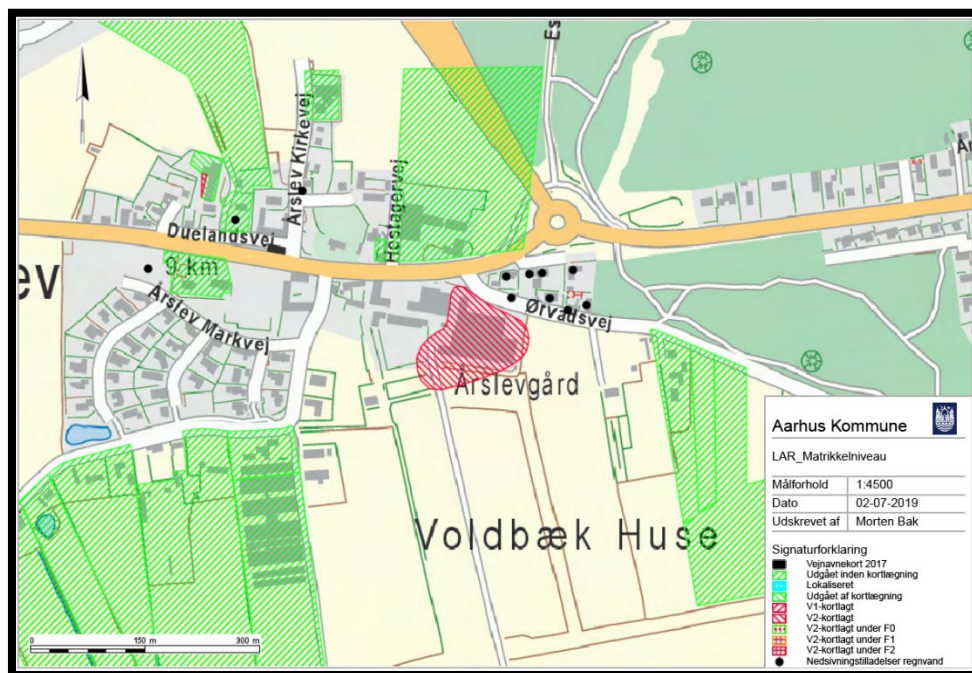
15.1 CASE 1: SPILDEVANDSKLOAKERET OMRÅDE FRA SPILDEVANDSPLAN, STANDARDTILLADELSE

I denne case ønskes nedsivningsløsninger i et boligkvarter, figur 7. Nedsivningstests viser at dette er muligt.

Umiddelbart sydøst for området ses en kortlagt forurennet grund. Den kan udgøre en trussel afhængig af forureningstype og skal derfor undersøges. Det viser sig at V2 kortlægningen skyldes anvendelse af flyveaske som bærelag under et staldgulv. Flyveaske er forurennet med tungmetaller, men forventes ikke at kunne mobiliseres af det nedsivende vand fra boligområdet. Dermed udfyldes en standard tilladelse til etablering af nedsivningsanlæg jf. flowdiagrammet figur 6.



Figur 6 Flowdiagram for spildevandsplan case



Figur 7 På kortet ses de kendte jordforureninger i et område, hvorfra der nedsives vand fra tage. Det pågældende område er spildevandskloakeret i henhold til en ældre spildevandsplan

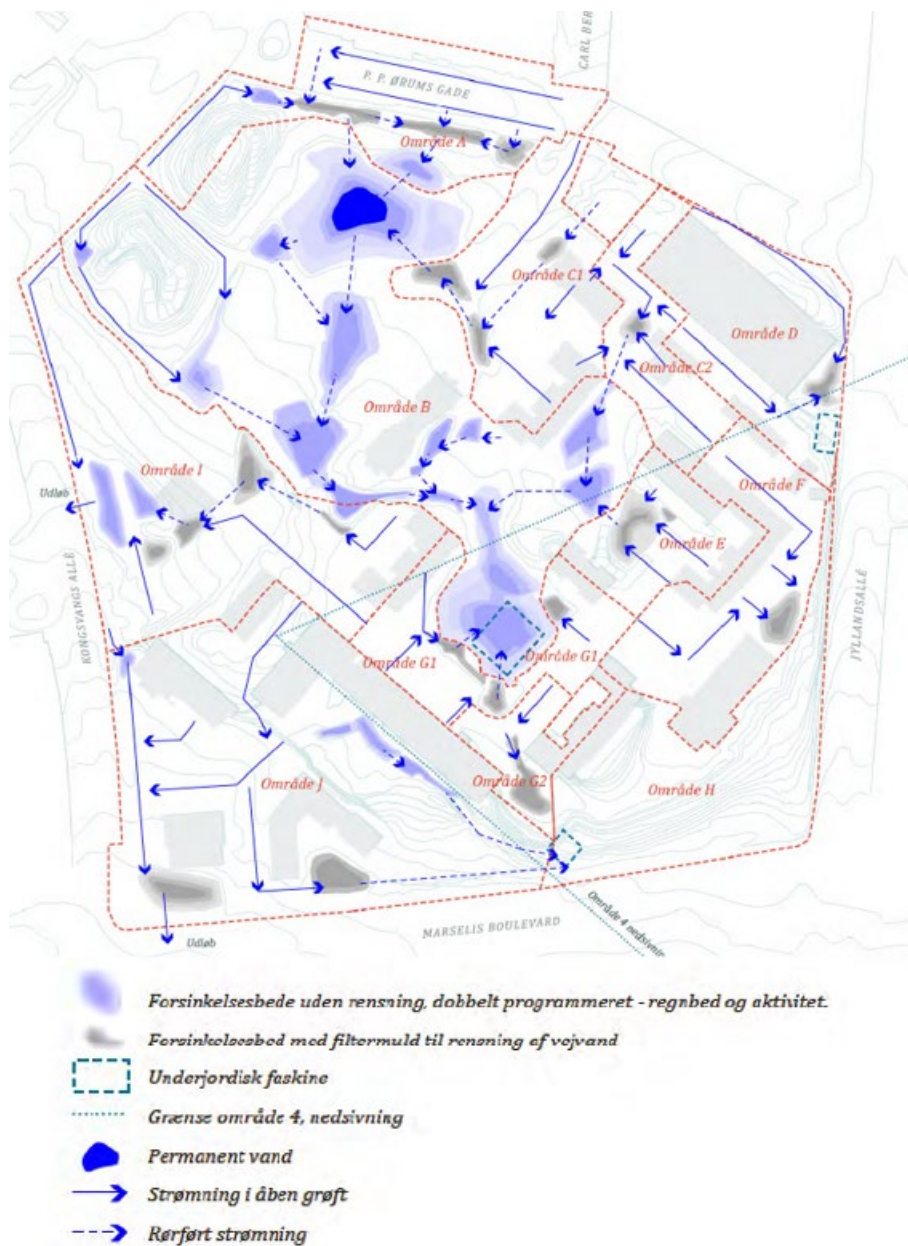
15.2 CASE 2 – FORURENINGER PÅ NABOGRUNDE, BYOMRÅDE, SPARK-GRUNDEN. TILLADELSE MED EKSTRA VILKÅR OG UDVIDET DOKUMENTATION

Ved denne case beskrives processen omkring eksemplet SPARK-grunden i Århus ihht. flowdiagrammet fra denne best practice.

SPARK-grunden udgøres af det gamle Marselisborg Hospital. Her skal bygningerne huse et rehabiliteringscenter, og der ændres derfor ikke på bebyggelsen i området. I forbindelse med udviklingen, vil arealet blive klimasikret på en måde, hvor løsningerne skal gøre området fleksibelt og indbydende, til gavn for de mange forskellige brugere.

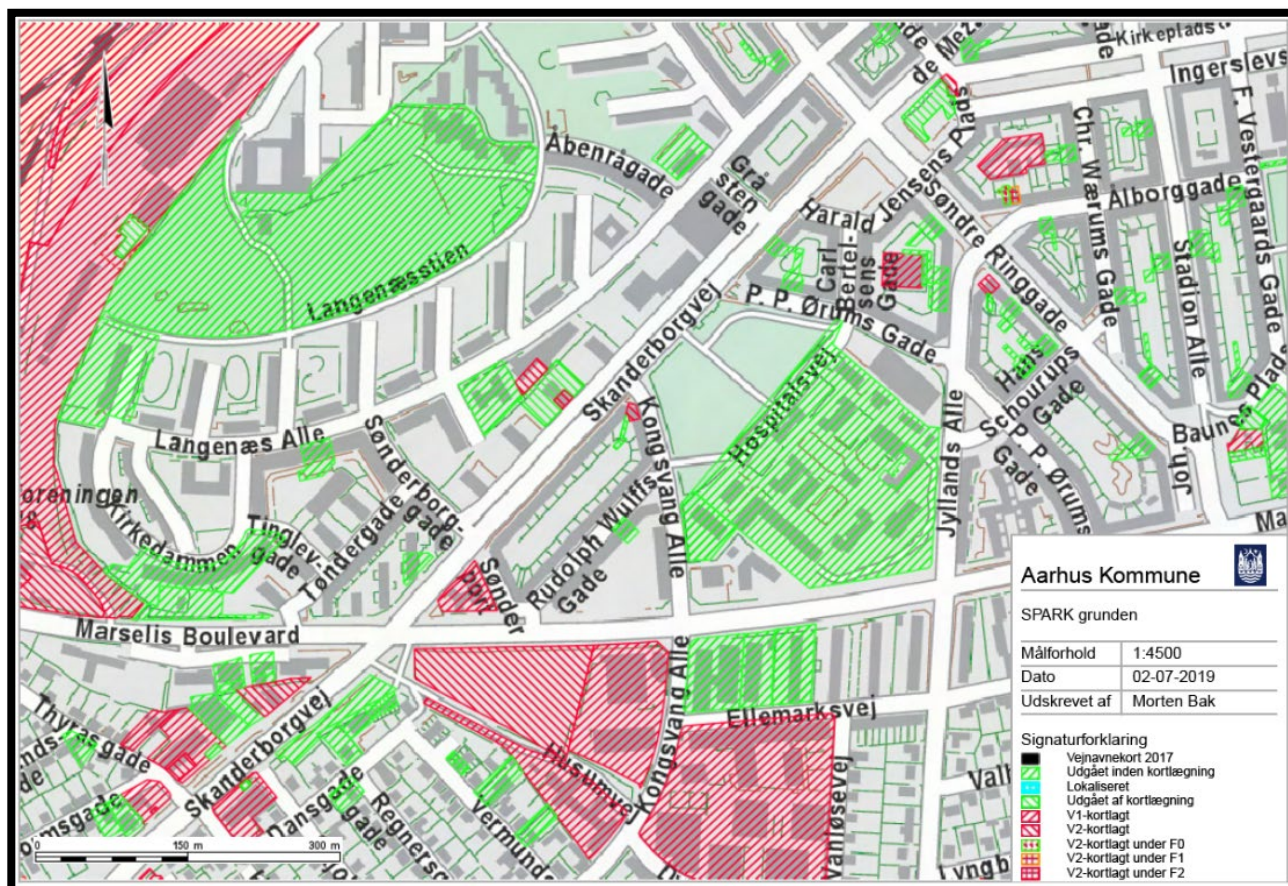
Planen for regnvand på SPARK grunden er, jf. figur 8, at regnvand i de lavereliggende områder I og J primært afledes til kommunal regnvandshåndtering, dog med forudgående forsinkelse og rensning. For de øvrige områder planlægges rensebede og forsinkelsesbede med endelig nedsivning via faskiner på grunden.

10 stk. 5m dybe borer blev udført for at opnå viden om geologien, idet den planlagte nedsivning omfattede en stor vandmængde. Indledende undersøgelser af infiltrationsevnen så fornuftige ud i terrænnære aflejringer i den sydlige del af området, og ikke helt håbløse i den morænelersdominerede nordlige del. Dog er det et opmærksomhedspunkt at der allerede er problemer med vand i kældre i området. Derfor planlægges i tillæg til nedsivningen et større netværk af forsinkelsesbassiner.



Figur 8 Oversigt over regnvandshåndteringen på SPARK grunden. Regnvand fra område I og J afledes, efter forsinkelse og rensning, til kommunal regnvandshåndtering. Fra de resterende områder planlægges etablering af regnbede og forsinkelsesbede, med nedsivning fra faskiner.

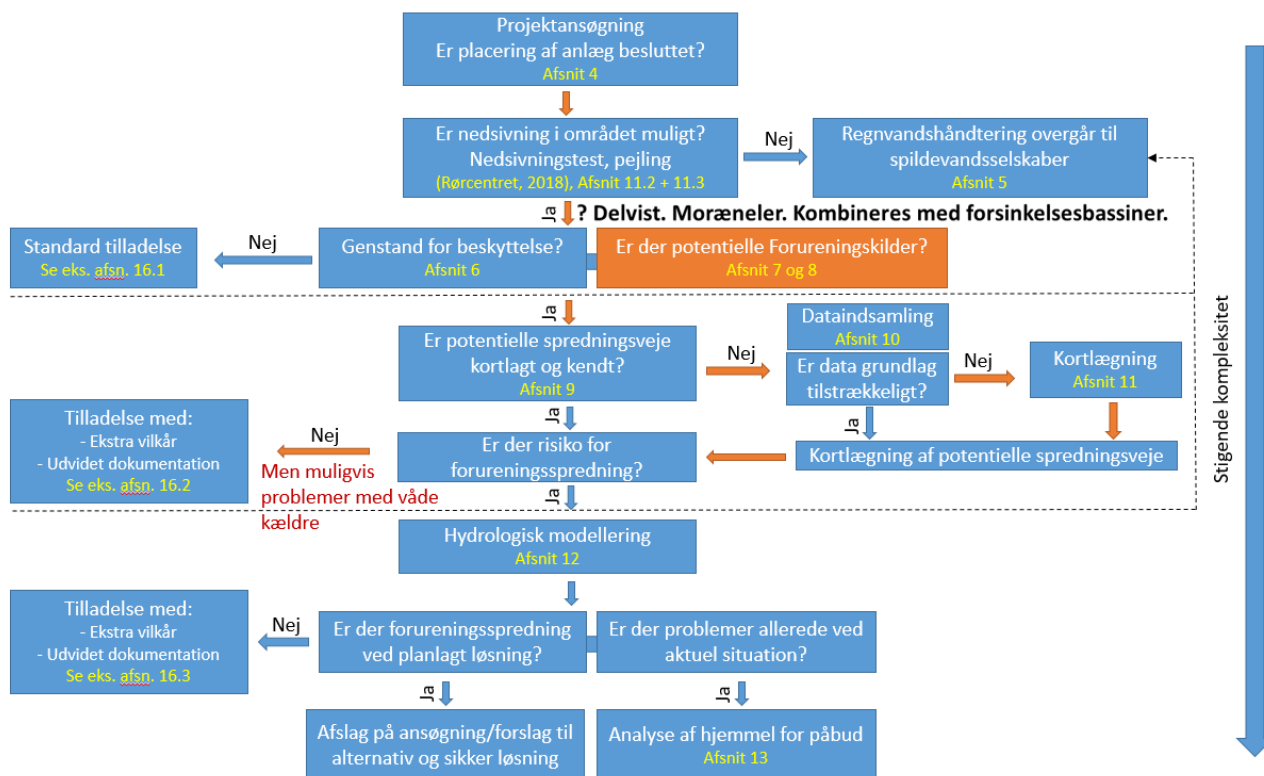
Herefter skal risikoen for forureningsspredning evalueres. I det grønne område, hvor der etableres LAR løsninger, er der ikke lokaliseret jordforureninger. Umiddelbart udenfor dette areal er der imidlertid kendskab til flere kortlagte lokaliteter, se figur 9, eks. hvor der tidligere har været renserier. På disse lokaliteter er der fundet forureninger med bl.a. TCE, PCE, freonforbindelser samt benzen.



Figur 9 På kortet ses de kendte jordforureninger i området omkring SPARK grunden.

Kendskabet til områdets geologi og dermed spredningsvejene er begrænset, men eksisterende information indikerer moræneler med indslag af smeltevandssand terrænnært overlejret af et muldlag som bliver tyndere nordpå. Idet anlægsområdet er modificeret til et mindre hældende terræn end det naturlige findes i området sydlige del et fyldlag hvis tykkelse stiger imod syd. For at opnå en bedre forståelse af området indsamledes i tillæg til borerne geofysik i form af Dual-EM kortlægning de steder hvor en ATV kunne køre samt nogle ERT-profiler i de grønne områder.

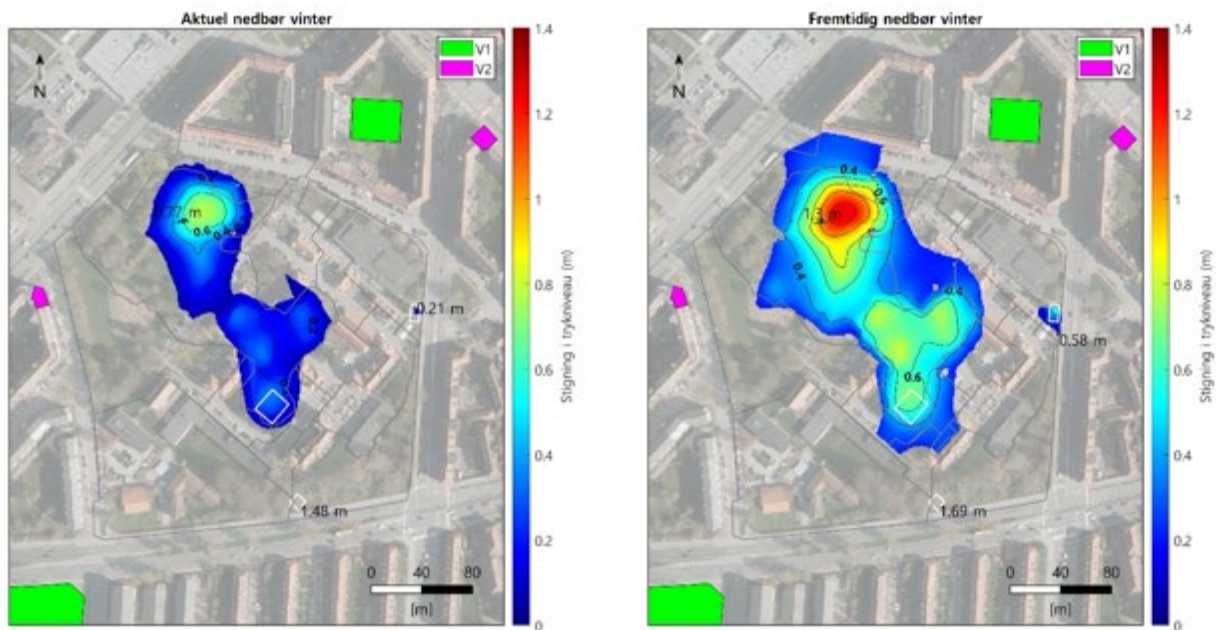
Strømningsretningen forventes primært at være vertikal i området, dog hindret af relativt lerede aflejringer. På dette tidspunkt var der en stigende bekymring for den hydrauliske situation i forhold til den lavereliggende Marselis boulevard syd for området. Derfor gik projektet videre til hydrologisk modellering. Følges flowdiagrammet var det dog ikke forureningsspredning som ledte til den videre undersøgelse og derfor peger pilen over i en niveau 2 tilladelse med ekstra vilkår og udvidet dokumentation.



Figur 1035 Oversigt over regnvandshåndteringen på SPARK grunden. Regnvand fra område I og J afledes, efter forsinkelse og rensning, til kommunal regnvandshåndtering. Fra de resterende områder planlægges etablering af regnbede og forsinkelsesbæde, med nedsivning fra faskiner.

Vha. den hydrologiske modellering konstateredes det at den observerede grundvandsstand sammenholdt med hydrologiske egenskaber for de geologiske enheder alene kunne tilpasses under antagelse af overfladeafstrømning. Det forventes at en del af vandet fra området i dag strømmer af og ender i vejassen ved Marselis Boulevard.

Den hydrologiske modellering viser at faskinen ikke er så stor at vandet kan være deri. Som det også er planen opstuvendes vandet derfor opad i systemet. Scenarieregninger for vintersituationen og et klimascenarie viser at der må forventes en øget mængde vand på terræn i den nordlige del, som kan give problemer med bebyggelsen. Figur 11 viser stigningen i trykniveauet som følge af etableringen af den planlagte LAR-løsning. Som det fremgår påvirker vandspejlsstigningen som forventet ikke de omkringliggende forureninger i dette tilfælde.

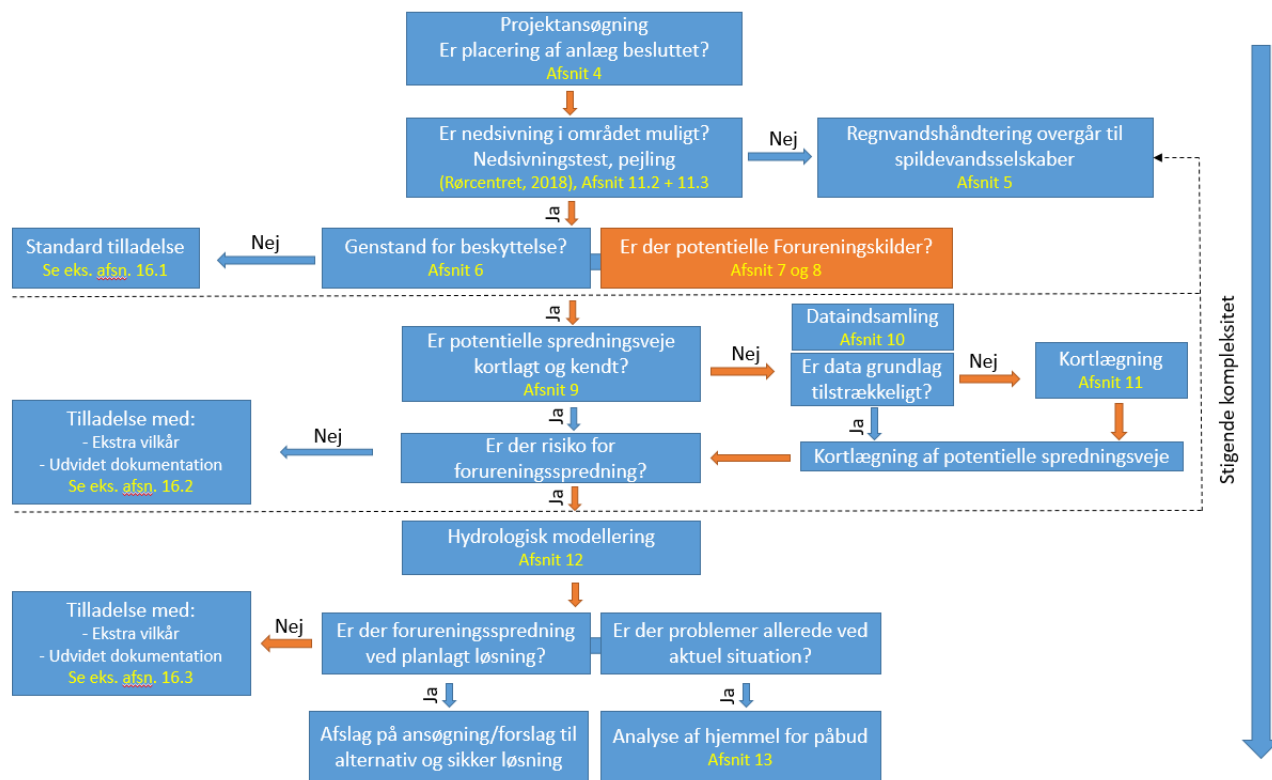


Figur 11 Stigningen i trykniveau i hhv. vinterhalvåret hvor grundvandsstanden er højest (tv.) og hvor der er tilføjet effekten af forventede klimaforandringer (h). Kendte forureninger vises hhv. grøn for V1 og magenta for V2.

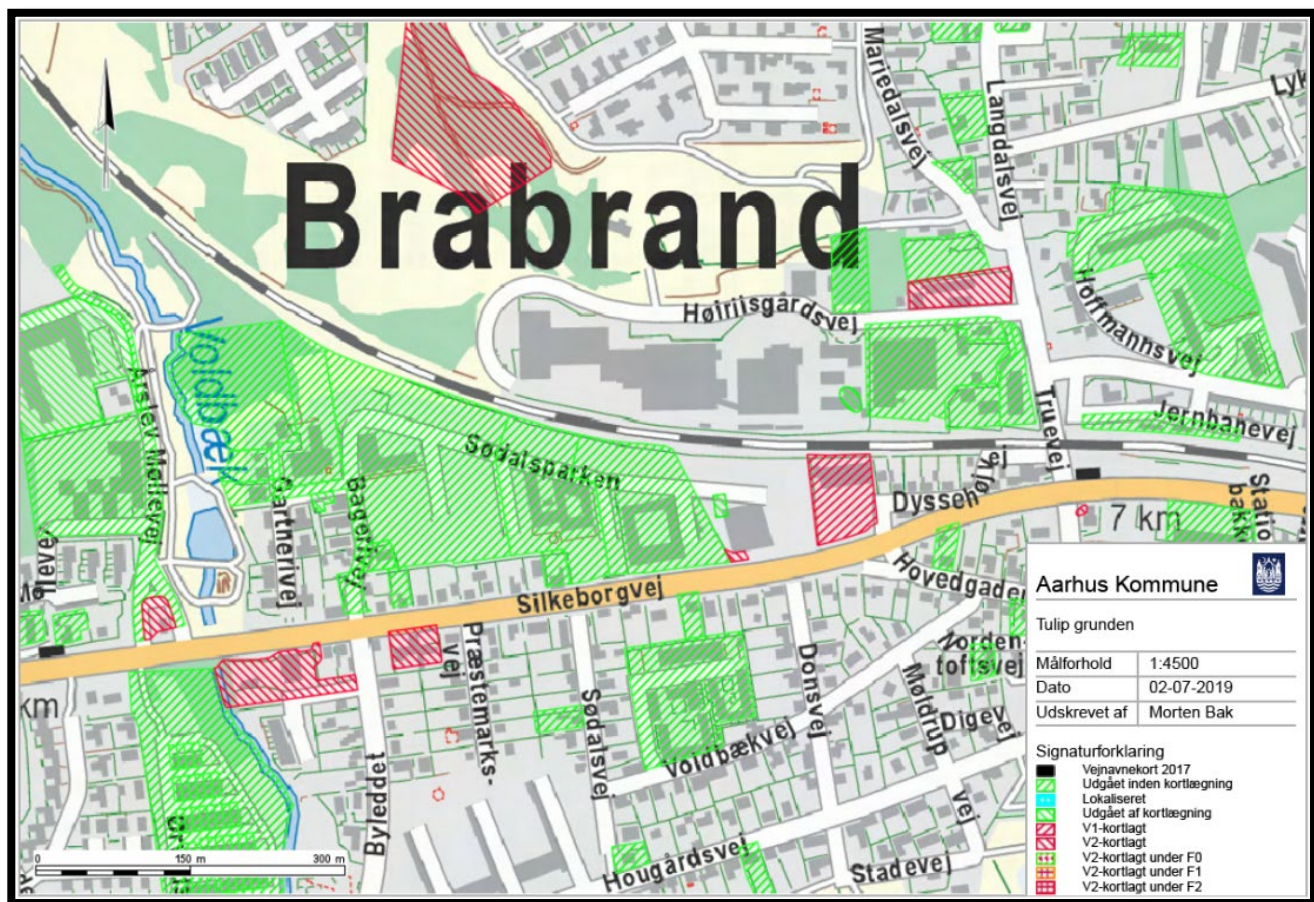
15.3 CASE 3 – OMDANNELSE AF INDUSTRIGRUND, TULIPGRUNDEN. TILLADELSE MED EKSTRA VILKÅR OG UDVIDET DOKUMENTATION

Tulipgrunden er en gammel industrigrund, der skal omdannes til boligareal hvor regnvand håndteres lokalt, dels ved nedsivning af vand fra de vestlige arealer, dels ved forsinkelse på de østlige arealer, se figur 14. De fleste af de tidligere fabriksbygninger er revet ned og de første beboere er flyttet ind i etape 1 af byggeriet.

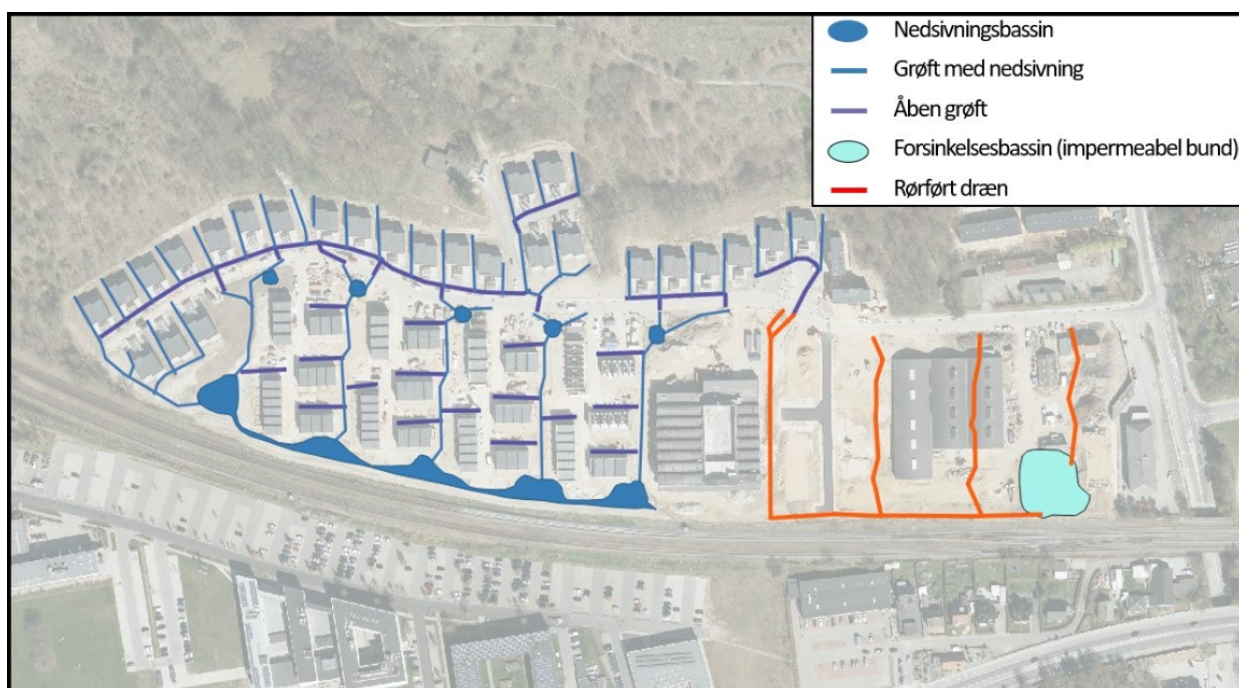
Der var tidligere en V2-kortlagt forurening på grunden, men denne er opgravet og kørt bort i forbindelse med byomdannelsen. Omkring området er der lokaliseret flere jordforureninger, se figur 13. Langt størstedelen af disse er olieforureninger, PAH, BTEX mv.



Figur 12 Flowdiagram for Tulip-grunden



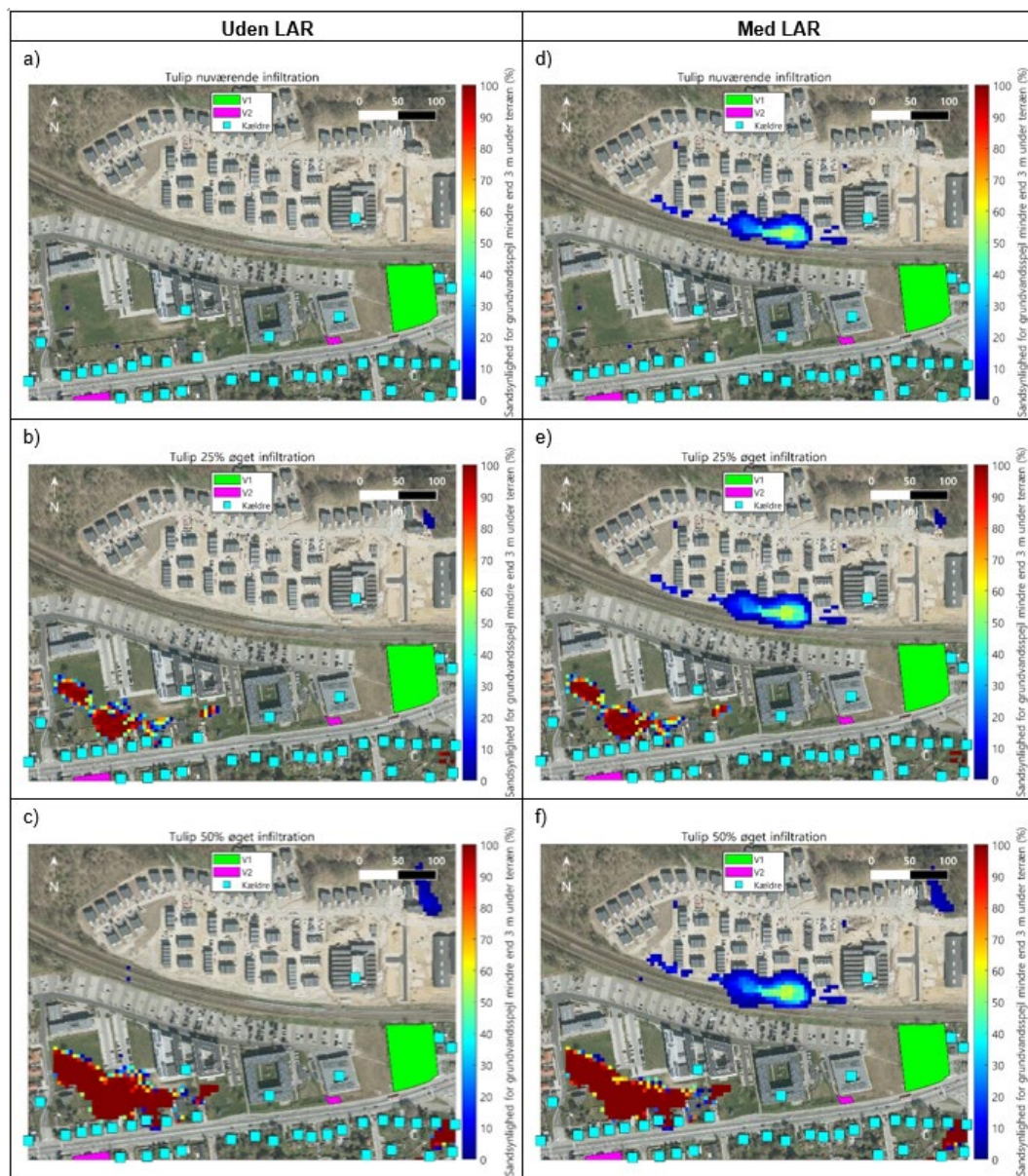
Figur 13 På kortet ses de kendte jordforureninger i området omkring Tulip grunden. Desuden områder som er udgået af kortlægning.



Figur 14 Planlagt LAR-løsning på Tulipgrunden

Geologien i området er kompleks hvorfor der er indsamlet geofysik til beskrivelse af de forskellige lithologiske enheders udstrækning. På baggrund af de eksisterende og indsamlede data er tolket en 3D voxelmodel som viser fordelingen af forskellige lithologier i området.

Strømningsretningen på Tulip-grunden er primært imod syd-sydøst. Idet der forefindes en kortlagt grund umiddelbart syd for området er det relevant at undersøge forureningstypen samt påvirkningen af den planlagte nedsivning.

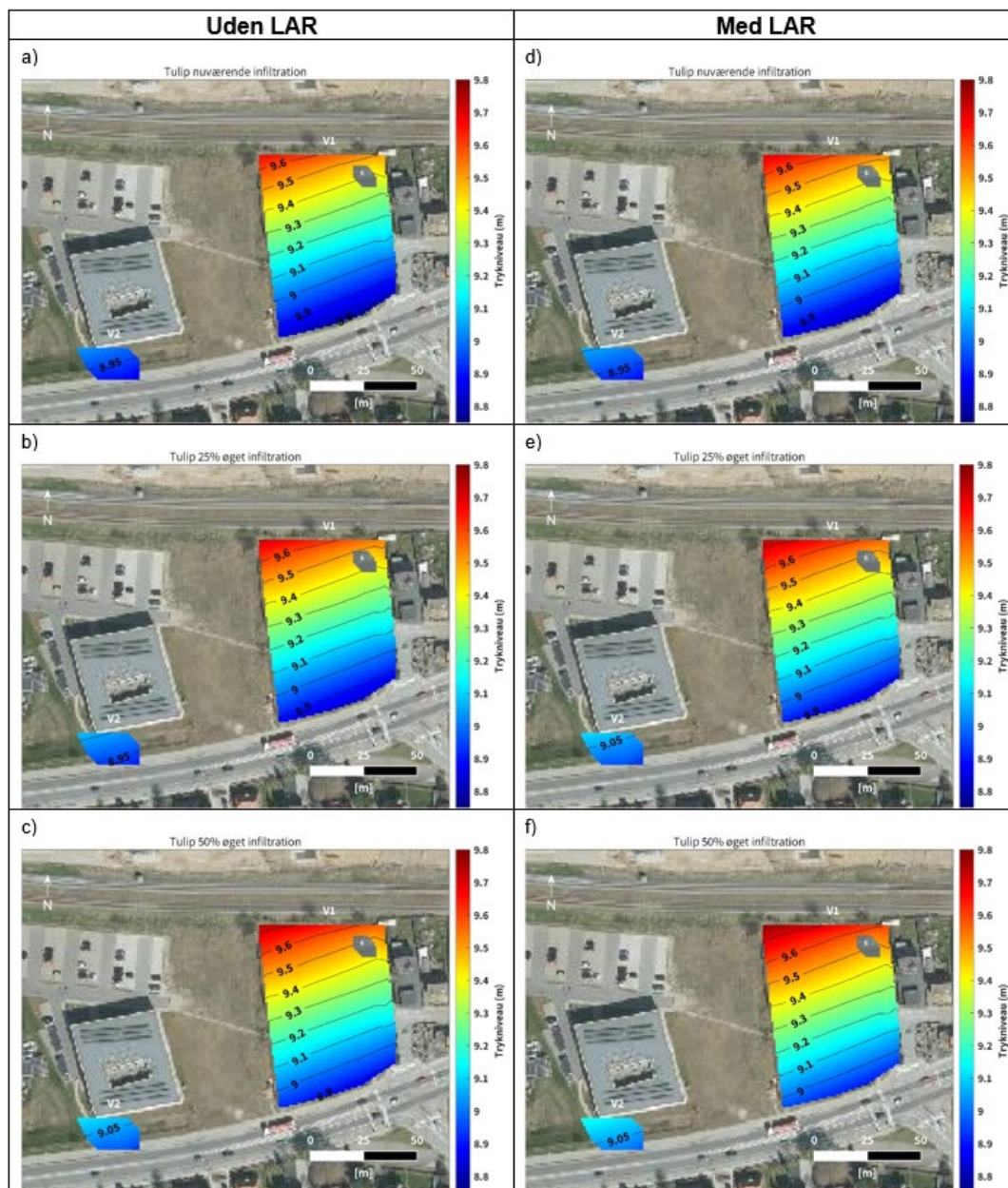


Figur 15 Sandsynligheden for grundvand mindre end 3 meter under terræn ved a) og d) den nuværende infiltrationsmængde, b) og e) 25% øget infiltration og c) og f) 50% øget infiltration. Kvadrater markeret med cyan identificerer huse med kældere.

Figur 15 viser hvor grundvandet forventes beliggende mindre end 3m under terræn som årsgennemsnit for tilfældet med og uden LAR ved forskellige klimascenarier. Konklusionen heraf er at LAR-løsningen primært påvirker grundvandsstanden indenfor Tulip-grunden. Det kan være relevant at evaluere risikoen for aktivering af forurening fra banelegemet.

Konkret for de nærmest beliggende forureninger i forhold til LAR-anlægget betragtes den forventede stigning i grundvandsstanden, figur 16. Det konstateres at ændringen som forårsages af LAR-løsningen er størrelsesordenen 5 cm, hvilket betragtes som insignifikant.

Idet der er en vis sandsynlighed for at forureningerne allerede er aktive er desuden foretaget stoftransport-modellering for at undersøge om LAR-løsningen ændrer strømningsmønstret og dermed beliggenheden af forureningsfaner fra de to grunde. Som forventet var der heller ingen signifikant ændring at spore i stoftransporten.



Figur 16 Ensemble-modelleret vandspejl/trykkniveau i V1- og V2-forureningerne umiddelbart syd for LAR-bassinene. a) og d) med nuværende infiltration, b) og e) med 25% øget infiltration og c) og f) med 50% øget infiltration.

For yderligere information om undersøgelsen henvises til projektrapporten udgivet af Miljøministeriet: "Optimering af risiko- og miljøvurderingerne ved etablering af LAR-løsninger i urbane miljøer, 2020"

16 EKSEMPLER PÅ TILLADELSER JF. FLOWDIAGRAM I DENNE "BEST PRACTICE"

16.1 TILLADELSE AF TYPE 1: STANDARD TILLADELSE

SKABELON FRA AARHUS KOMMUNE TIL NEDSIVNING IHT. SPILDEVANDSBEK § 38

Tilladelse til nedsivning af overfladevand fra ejendommen Adresse

1. Ansøgning

Aarhus Kommune, Teknik og Miljø har den dato modtaget ansøgning om tilladelse til nedsivning af overfladevand. Ansøgningen er fremsendt af navn, der søger på vegne af Bygherre navn.

Projektbeskrivelse

Ansøgningen omhandler nedsivning af regnvand fra beskrivelse af anlæg. (beskriv type af vand, arealstørrelser, materialer og evt. renseforanstaltninger for anlægget)

Den hydrauliske ledningsevne er angivet til k-værdi m/s.

Anlæggets placering fremgår af bilag 1.

2. Bemærkninger i forbindelse med tilladelsen

Dimensionering

Da nedsivningsanlægget er dimensioneret til en 10 års regnhændelse vurderes det, at nedsivningen under normale nedbørsforhold kan ske uden at der opstår overfladiske gener. Ved normale nedbørsforhold forstås her nedbør, der statistisk set forekommer op til hvert 10. år, jf. Spildevandskomiteens rekommandation i vejledningen til Dimensionering af LAR-anlæg.

Jordforurening

Da tagrender og nedløbsrør er af navn, er der risiko for, at der med tiden kommer forhøjede værdier af navn i jorden rundt faskinerne/nedsivningsanlægget.

(Over 200 m² tagflade med kobber eller zink tagrender og nedløbsrør)

Der er ikke registreret jordforurening på ejendommen på nuværende tidspunkt, men ved udledning af overfladevand fra navn tage/ tagrender og nedløbsrør, bliver det registreret, at der nedsives tungmetaltholdigt regnvand: (Eller hvad gør vi???)

(tilføj evt. afsnit om grundvand, jordforurening, natur osv. hvis nødvendigt)

3. Tilladelse

Aarhus Kommune, Teknik og Miljø meddeler hermed tilladelse til nedsivning af overfladevand fra tagareal via anlægstype på adressen adresse, matr.nr. matr. nr og ejerlav. Tilladelsen er betinget af de **vilkår**, der er angivet under **punkt 4**.

Tilladelsen meddeles i henhold til miljøbeskyttelseslovens¹ § 19 samt spildevandsbekendtgørelsens² § 38.

Nærværende afgørelse kan ikke påklages til anden administrativ myndighed, jf. § 42 i spildevandsbekendtgørelsen, men afgørelsen kan prøves ved domstolene inden 6 måneder efter, at afgørelsen er meddelt jf. miljøbeskyttelseslovens § 101.

4. Vilkår

1. Der må kun afledes overfladevand til nedsivningsanlægget.
2. Brug af pesticider, mosbekæmpelsesmidler og lignende må ikke anvendes på tagflader og arealer, der afvander til nedsivningsanlægget. (punktet skal kun med, hvis det er OSD)
3. Da ejendommen ligger i oplandstype rød gul/oplandstype rød gul, må der her kun nedsives fra jordoverfladen gennem muldjord.
4. Nedsivningsanlægget skal dimensioneres, placeres og udføres således, at der ikke under normale nedbørsforhold opstår overfladisk afstrømning, overfladegener, eller gener i øvrigt på grunden eller nabogrunde. Det skal ligeledes konstrueres således, at der ved regnhændelser ud over en 10-års hændelse ikke sker overløb til naboen.
5. Tagnedløb tilsluttet nedsivningsanlægget skal være forsynet med sandfang, der skal oprenses efter behov.
6. Bunden af faskinen skal placeres således, at den ligger min. 1 meter over højeste grundvandsniveau, så der ikke sker indsivning af grundvand i faskinen. Højeste grundvandsstand optræder normalt i løbet af vinteren/foråret. (Ved faskiner)
7. Nedsivningsanlægget skal placeres på egen grund, minimum 5 meter fra beboelsesbygninger og bygninger med kælder, og minimum 2 meter fra øvrige bygninger og vej/skel. (Afstandskravene kan lempes, hvis der er stort fald væk fra bygningerne eller skel)
8. Nedsivningsanlægget skal placeres mindst 25 meter fra vandindvindingsboringer, samt vandløb, grøfter, drænrør, søer og havet.
9. Tagvand og vejvand må ikke tilkobles et evt. drænsystem i området.
10. Der må ikke etableres dræn under anlægstype.
11. Nærværende tilladelse skal være udnyttet senest 12 måneder efter, at denne tilladelse er meddelt, i modsat fald bortfalder den.

5. Øvrige

I henhold til Miljøbeskyttelseslovens § 20 kan denne tilladelse til enhver tid og uden erstatning ændres eller tilbagekaldes af hensyn til:

1. fare for forurening af vandforsyningsanlæg

¹ Bekendtgørelse af lov om miljøbeskyttelse. LBK nr 1218 af 25/11/2019

² Bekendtgørelse om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4. BEK nr 1317 af 04/12/2019

2. gennemførelsen af en ændret spildevandsafledning i overensstemmelse med en spildevandsplan efter § 32 eller
3. miljøbeskyttelsen i øvrigt.

I forbindelse med gravearbejder henledes opmærksomheden på Museumslovens §§ 25-27, som vedlægges. Eventuelle spørgsmål kan rettes til Moesgård Museum på tlf. 8739 4000.

Undersøg om anlægget ligger indenfor en 100 m zone af gravhøje eller på kulturarvsarealer, hvis ja, skal Moesgaard Museum have en kopi af tilladelsen.

Bilag:

1. Kort over placering af anlægget
2. Museumslovens §§ 25-27

Kopi sendt til:

Aarhus Kommune, Byggeri: byggesag@mtm.aarhus.dk

Kloakmester (hvis han er ansøger og anlægget ikke allerede er anlagt)

Moesgård Museum. moesgaard@moesmus.dk (når nødvendigt)

Tilladelse af Type 2: Tilladelse med ekstra vilkår og udvidet dokumentation (SPARK)



Region Midtjylland MarselisborgCenteret

P.P. Ørums Gade 11
8000 Aarhus C

1. april 2019
Side 1 af 5

Tilladelse til nedsivning af overfladevand fra Marselisborgcenteret, Projekt SPARK

Aarhus Kommune, Teknik og Miljø har den 7. januar 2019 modtaget ansøgning om tilladelse til nedsivning af overfladevand. Ansøgningen er fremsendt af Niras V/ Peter Schäfer Kjærgaard, der søger på vegne af grundejerne Region Midtjylland - MarselisborgCenteret, NRG Net A/S, CRECEA (BST Århus).

Tilladelse til nedsivning

Aarhus Kommune, Teknik og Miljø meddeler hermed tilladelse til nedsivning af overfladevand fra tag- og vejarealer som ansøgt via render, lavninger og faskiner i forbindelse med projekt SPARK ved MarselisborgCenteret matr.nr. 597a, 597q, 597r, 597s, 597t, 597u, 597v Marselisborg, Århus. Tilladelsen er betinget af de **vilkår**, der er angivet under **punkt 4**.

Tilladelsen meddeles i henhold til miljøbeskyttelseslovens¹ § 19 samt spildevandsbekendtgørelsens² § 40.

1. Projektbeskrivelse

Ansøgningen omhandler håndtering/separering af overfladevand fra hele MarselisborgCenteret samt vejarealer inde på ejendommen, og af spildevandstekniske årsager også en lille del af P.P. Ørums Gade.

Området inddeles i 15 hovedoplunde (A-O), som afleder til forskellige anlæg inden for oplandet. I hvert opland er det muligt at håndtere en 10-års regnhændelse til forsinkelse med rensefunktion, uden at systemet går i overløb til Aarhus Vands regnvandssystem. Fordelingen af vandet sker vha. ledningsanlæg, render og lavninger. Lavningerne er desuden etableret, så regnvandet fra et givet regnskyl nedsiver indenfor 24 timer.

Der er i alt 2.554 m³ forsinkelse til rådighed i området i de åbne volumener. Denne forsinkelse svarer ca. til en håndtering af en 38-års regnhændelse.

Der etableres ca. 30 større og mindre lavninger og ét vådt regnvandsbassin i projektområdet. Det hele forbindes med render eller ledninger. I de lavninger der modtager urensset regnvand anlægges lavningerne med rensefunktion

TEKNIK OG MILJØ

Plan og Miljø Aarhus Kommune

Grundvand og Spildevand
Karen Blixens Boulevard 7
8220 Brabrand

Telefon: 89 40 22 13
Direkte telefon: 89 40 49 68

Direkte e-mail:
kitla@aarhus.dk

Sag: 19/001736-3
Sagsbehandler:
Kit Dyhr Laursen

¹ Bekendtgørelse af lov om miljøbeskyttelse. LBK nr 241 af 13/03/2019

² Bekendtgørelse om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4. BEK nr 1469 af 12/12/2017



(filtermuld), og de render og lavninger der ikke har rensefunktion, modtager regnvand der har været gennem en rensefunktion tidligere i systemet. For placering er sø, render, lavninger samt faskine se bilag 1.

1. april 2019
Side 2 af 5

Af ansøgningen fremgår det, at der er enkelte oplande, der ikke nedsiver regnvandet. Det drejer sig om opland D, der leder til Aarhus Vands regnvandssystem, opland L leder regnvandet til lavning i opland J, og i opland J ledes regnvandet fra befæstede arealer allerede til separat regnvandssystem sammen med regnvand fra bygning 8. Der er ingen befæstede arealer i opland H og derfor opsamles der ingen regnvand.

En nærmere beskrivelse af anlægget sammenhænge kan ses i ansøgningen (bilag 2).

2. Planforhold m.m.

Ejendommen er beliggende i byzone. Ejendommen ligger inden for kloakopland O023A, der i spildevandsplanen er udlagt som planlagt separatkloakeret.

3. Bemærkninger i forbindelse med godkendelsen

Grundvand

14. Nedsivningslokaliteten er beliggende i et indvindingsområde udenfor OSD. Det ligger i oplandet til Stautrupværket, men da værket ligger ca. 5 km fra MarselisborgCenteret og regnvandet renses i forbindelse med nedsivningen, vurderes det, at nedsivningen kan ske uden at medføre forurening af grund- vandet.

Jordforurening

15. Ejendommen er omfattet af Aarhus Kommunes områdeklassificering og ligger i et analysepligtigt område, hvor fyldjorden som udgangspunkt er klassificeret som let forurenet. Der er derfor krav til jordhåndtering på ejendommen. I analysepligtige områder skal der udtages repræsentative prøver af jorden inden bortskaffelse. Forud for en eventuel jordflytning, skal jorden anmeldes i Aarhus Kommunes jordflytningssystem Flytjord.dk.

Dimensionering

16. Da nedsivningsanlægget er dimensioneret til mere end en 10-års regnhændelse, vurderes det, at nedsivningen under normale nedbørforhold kan ske uden at der opstår overfladiske gener.

Rensefunktion i lavninger og render

17. For at få den bedste renseeffekt i render og lavninger, skal der benyttes en ren filtermuld med de rette egenskaber. Grundet områdeklassificeringen vurderes det, at muldjorden fra depot ikke umiddelbart kan benyttes, uden analyse af jorden. Viser analysen at jorden er ren, kan den benyttes i frem-

stillingen af filtermuld. I bilag 3 ses en opskrift på, hvordan filtermulden skal sammensættes, og hvornår den skal udskiftes.

1. april 2019
Side 3 af 5

4. Vilkår

- 4.1. Der må kun afledes overfladevand fra tagarealer og det planlagte vejvand til nedsivningsanlægget.
- 4.2. Nedsivningsanlægget skal dimensioneres, placeres og udføres således, at der som ikke under normale nedbørsforhold opstår overfladisk afstrømning, overfladegener, eller gener i øvrigt på grunden eller nabogrunde. Ved normale nedbørsforhold forstås nedbør, der statistisk set forekommer op til hvert 10. år.
- 4.3. Hvor tagnedløb er tilsluttet rørføring der leder til nedsivningsanlægget, skal nedløbene være forsynet med sandfang, der skal oprenses efter behov.
- 4.4. Render og lavninger der har rensefunktion, skal etableres med min. 0,3 m ren filtermuld. Sammensætningen af jord til filtermuld ses i bilag 3.
- 4.5. Filtermulden i render og lavninger skal skiftes, når jorden kan klassificeres som letforurenet. Der skal tages en prøve til analyse, hvert 10. år. Analyseresultaterne skal sendes til Aarhus Kommune, Vand og Natur.
- 4.6. Nedsivningsanlægget skal placeres på egen grund, minimum 5 meter fra beboelsesbygninger og bygninger med kælder, og minimum 2 meter fra øvrige bygninger og vej/skel.
- 4.7. Nedsivningsanlægget skal placeres mindst 25 m fra vandindvindingsboringer, samt vandløb, drænrør, søer og havet.
- 4.8. Tag- og vejvand i drænsystemet under render og lavninger må ikke tilsluttes Aarhus Kommunes kloaksystem.
- 4.9. Nærværende tilladelse skal være udnyttet senest den 1. april 2020. I modsat fald bortfalder denne

Henstillinger og anbefalinger

Det henstilles, at overløb ved regnhændelser ud over en 10-års hændelse holdes på egen grund, således at der ikke sker overløb til naboejendomme.

5. Øvrige forhold

I henhold til Miljøbeskyttelseslovens § 20 kan denne tilladelse til enhver tid og uden erstatning ændres eller tilbagekaldes af hensyn til:

1. fare for forurening af vandforsyningsanlæg



2. gennemførelsen af en ændret spildevandsafledning i overensstemmelse med en spildevandsplan efter § 32 eller
3. miljøbeskyttelsen i øvrigt.

1. april 2019
Side 4 af 5

I forbindelse med gravearbejder henledes opmærksomheden på Museumslovens §§ 25-27, som vedlægges. Eventuelle spørgsmål kan rettes til Moesgård Museum på tlf. 8739 4000.

6. Klagevejledning

Denne afgørelse kan i henhold til miljøbeskyttelseslovens § 91 påklages til Miljø- og Fødevareklagenævnet af: Ansøger, Sundhedsstyrelsen samt enhver, der har en individuel, væsentlig interesse i sagens udfald, jf. miljøbeskyttelseslovens § 98. Afgørelsen kan endvidere påklages af landsdækkende foreninger og organisationer, jf. miljøbeskyttelseslovens § 99 og § 100, samt lokale foreninger og organisationer, der har beskyttelse af natur og miljø eller rekreative interesser som formål, og som har meddelt, at de ønsker underretning om afgørelsen, jf. lovens § 100.

En eventuel klage skal sendes elektronisk til Teknik og Miljø, Karen Blixens Boulevard 7, 8220 Brabrand, via Klageportalen på www.borger.dk eller www.virk.dk senest den 29. april 2019, jf. miljøbeskyttelseslovens § 93.

Klagegebyr og oplysninger om Klageportalen kan findes på Miljø- og Fødevareklagenævnets hjemmeside (www.naevneneshus.dk), herunder undtagelsesreglerne for ikke at benytte Klageportalen.

Såfremt der modtages klager inden for klagefristen, får ansøger straks besked, hvorefter Teknik & Miljø vurderer, om afgørelsen skal fastholdes, eller om sagen skal genoptages. Såfremt sagen genoptages, informeres sagens parter herom.

Hvis afgørelsen fastholdes, fremsender Teknik og Miljø klagen til Miljø- og Fødevareklagenævnet senest 3 uger efter klagefristens udløb, sammen med en udtalelse til sagen og de anførte klagepunkter. Udtalelsen sendes samtidig i kopi til de involverede parter, der har mulighed for at afgive yderligere bemærkninger til Miljø- og Fødevareklagenævnet senest 3 uger efter at de har modtaget udtalelsen fra myndigheden, jf. miljøbeskyttelseslovens § 94.

En klage over tilladelsen har ikke opsættende virkning på retten til at udnytte tilladelsen, medmindre Miljø- og Fødevareklagenævnet bestemmer andet, jf. miljøbeskyttelseslovens § 96. Dette giver dog ingen begrænsninger i Miljø- og Fødevareklagenævnets adgang til at ændre eller ophæve den påklagede tilladelse.

1. april 2019
Side 5 af 5

Søgsmål

Et eventuelt søgsmål i forhold til tilladelsen skal anlægges ved domstolene senest den 1. oktober 2019, jf. miljøbeskyttelseslovens § 101.

Med venlig hilsen



Kit Laursen
Biolog



Mette Schrøder Hansen
Sagsbehandler

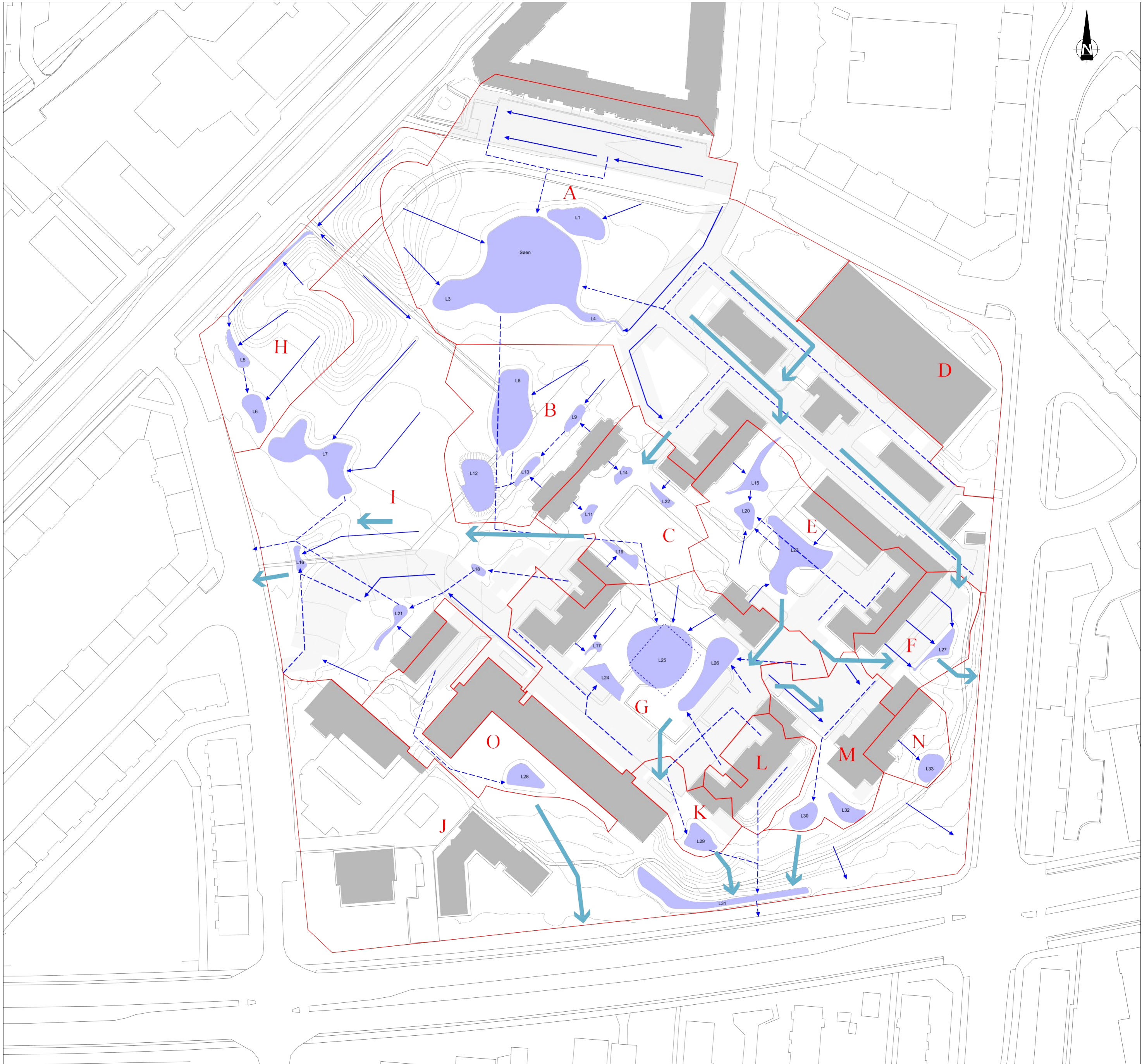
Bilag:

1. Kort over placering af anlægget
2. Ansøgning om nedsivning
3. Filtermuld
4. Museumslovens §§ 25-27

Kopi sendt til:

Følgende er underrettet om afgørelsen ud over ansøger (afgørelsens adressat):

- Niras A/S, Ceres Allé 3, 8000 Aarhus C. CVR: 37295728
- CRECEA, Kongsvang Allé 25, 8000 Aarhus C. CVR: 62357711
- Konstant Net A/S, Dusager 22, 8200 Aarhus N. CVR: 32285759
- Naturstyrelsen, Haraldsgade 53, 2100 København Ø, CVR-nr: 33157274
- Sundhedsstyrelsen, Embedslægeinstitutionen Nord, Langelandsgade 8, 8940 Randers, CVR-nr 12070918.



NOTE:

- Markering af lavninger symboliserer den maksimale opstilling i de enkelte lavninger. I oplandene vil vandet kunne stave yderligere op inden der sker overløb til næste opland/ud af området.
- Ledningsanlæg er p.t. dimensioneret til en gentagelsesperiode på 5 år. Man bør specielt i opland A overveje om det ikke skal opdimensioneres, således det samlede volumen i regnvandsbassinet udnyttes bedre. Her vil størrelse på riste mv. også have en naturlig begrænsning på vandføringen i ledningerne. Det betyder også at dette vil have en meromkostning for projektet.
- I henhold til Aarhus Kommunes retningslinjer for dimensionering af regnvandsbassiner, skal der som minimum være et permanent vandvolumen på 200 m³/red. ha, for at opnå tilfredsstillende rensning. For regnvandsbassinet Søen er der 362 m³/red. ha.

REGNVAND I L SERVICELEVEL:

At tabellen fremgår tilgængeligt opmagasineringsvolumen i det pågældende opland, samt nedbørsmængder for henholdsvis en 5- og en 10-års regnhændelse. Der gøres opmærksom på, at L8, L12 og L25 ikke indgår i det oplyste opmagasineringsvolumen for regn til serviceniveau, da lavningerne anskes anvendt til ophold og aktivitet. Volumener angivet med rødt betyder, at det tilgængelige opmagasineringsvolumen ikke er tilstrækkeligt, ift. nedbørsmængden for den pågældende regnhændelse.

Opland	Tilgængeligt volumen	Nedbørsmængde, 5-års hændelse	Nedbørsmængde, 10-års hændelse
A	1105 m³	295 m³	349 m³
B	38 m³	7 m³	9 m³
C	25 m³	16 m³	18 m³
D	-	-	-
E	137 m³	57 m³	68 m³
F	39 m³	31 m³	37 m³
G	136 m³	104 m³	123 m³
H	30 m³	-	-
I	211 m³	84 m³	100 m³
J	164 m³	0 m³	0 m³
K	30 m³	14 m³	16 m³
L	0 m³	23 m³	27 m³
M	50 m³	42 m³	50 m³
N	23 m³	8 m³	9 m³
O	36 m³	14 m³	17 m³

Opland H afledes regnvand direkte til AÅrs system.
* Opland H har ingen befæstede flader i oplandet, hvorfor der ikke opmagasineres noget regnvand til serviceniveau.
** Løslagt arealer der ikke regner, da befæstede flader ved bygning 8, 12, 13, samt CRECA og NRGi fortsat afleder regnvand til separat regnvandsystem.
*** Opland L forføres til lavning i opland I.

KUMAVAND

I hele projektområdet er der totalt 2554 m³ opmagasineringsvolumen tilgængeligt. Samlet set kan der tilbageholdes en 45 års regnhændelse.

HERVISNINGER

Se tegninger fra landskabsarkitekt for målsætning og kotering terræn. Se tegning LA.1.50.01 for projekteret kloak.

- SIGNATURER**
- Strømning på terræn
 - > Rørført strømning
 - Skybrudsve
 - Permanent vandspejl
 - Lavning
 - Faskine
 - Oplandsgrænse

Ansøgning MarselisborgCenteret Bilag 2

Aarhus Kommune (Center for Miljø og Energi)

Att.:

Grøndalsvej 1C

8260 Viby J

ANSØGNING OM NEDSIVNINGTILLADELSE – MARSELIS- BORGCENTRET, SPARK

På vegne af Region Midtjylland ansøger NIRAS hermed om tilladelse til ned- sivning af overfladevand fra vej- og tagarealer i forbindelse med projektet SPARK ved MarselisborgCentret.

Der ansøges i hht. Miljøbeskyttelseslovens §19, jf. §31 i spildevandsbekendt- gørelsen bek. Nr. 1448 om spildevandstilladelser m.v. efter Miljøbeskyttelses- lovens kapitel 3 og 4.

1. BAGGRUND

Projektet SPARK gennemføres af Region Midtjylland og Aarhus Kommune, med støtte fra Aarhus Vand, Realdania og A.P. Møller Fonden. SPARK står for Sundhed – Park – Aktiviteter – Rehabilitering – Klimatilpasning.

Realiseringen af klimatilpasningsdelen i dette projekt indebærer etableringen af et afvandingssystem indenfor projektområdet, som skal håndtere regnvand lokalt i ledningsanlæg og lavninger op til en 5-års regnhændelse.

Det samme system skal i videst muligt omfang tilbageholde klimavand under ekstreme regnhændelser.

2. BELIGGENHED

MarselisborgCentret er placeret i Aarhus og er afgrænset af Skanderborgvej, Marselis Boulevard og Jyllands Allé. Området er på i alt 7,3 ha. Af Figur 1 fremgår projektområdets placering i Aarhus, samt matriklerne som ligger in- denfor projektområdet.

T: +45 8732 3232 D:

www.niras.dk

E:

CVR-nr. 37295728

Tilsluttet FRI

Figur 1: Til venstre ses Marse-
lisborgCentrets placering i År-
hus, mens man til højre kan se projektets
afgrænsning, og ma-
trikler som
ligger inden for pro-
jektgrænserne.



Af Tabel 1 fremgår ejerforholdene for matriklerne, som ligger inden for pro-
jektområdet.

Tabel 1: Af tabellen fremgår
ejerforhold for de matrikler som,
som ligger inden for projektom-
rådet.

597r	Aarhus Kommune
597t	Region Midtjylland
597a	Region Midtjylland
597v	Region Midtjylland
597q	Region Midtjylland
597s	NRGI NET A/S
597u	BST Århus (CRECEA)

3. STATUS

Størstedelen af bygningerne i projektområdet er på nuværende tidspunkt fæl-
leskloakeret og afløder til AAV's fællessystem i Jyllands Allé.

De eksisterende afløbsforhold er kortlagt på grunden ved en gennemgang af bygge-
sagsarkivet og en fysisk besigtigelse af forholdene på lokaliteten. Dette er suppleret
med en digital registrering af afløbsforholdene i og omkring byg-
ning 3, 7, 10, 11 og 14, se Figur 2, som Per Aarsleff har udført i 2009-2010 i forbindelse med en sanering ved
strømpeforing af enkelte af hovedlednin-
gerne ved disse bygninger.

På Figur 2 er bygninger som forventes at være fælleskloakerede markeret med grøn,
mens bygninger som forventes at være separerede (i et vist om-
fang), er markeret med blå. Bygninger markeret med rød rives ned ifm. pro-
jektets udførelse.

Det er vigtigt at fastslå, at denne registrering primært er en skrivebordsun-
dersøgelse og hviler på byggesagsarkivets tegninger, der daterer sig tilbage til starten af 1900 tallet
og frem til i dag, hvorfor der kan være fejl i det op-
tegnede system.

Figur 2: Det ses hvordan de forventede afløbsforhold er for bygningerne i projektområdet. Separatkloakerede bygninger er markeret med blå, fælleskloakerede bygninger er markeret med grøn, men en enkelt bygning markeret med rød skal revideres ned ifm. projektet.



Af Tabel 2, fremgår også en oversigt over afløbsforhold for de forskellige bygninger i projektområdet.

Tabel 2: Oversigt over afløbsforhold for de enkelte bygninger i området, inklusiv om bygningen er udført med kældere og om der er etableret omfangsdræn.

Bygningsnummer	Kloakeringsform	Kælder	Omfangsdræn
1A og B	Fælles	Ja	Ja, dræn til fællessystem, muligvis via pumpe
2	Fælles	Ja, delvist i sydøstlige hjørne	Drænet, delvist i sydøstlige hjørne til kloak
3	Fælles	Ja	Ja, dræn til kloak syd for bygn. Ligner at den løber på fællesledning under bygningen
4	Fælles	Nej	
5	Fælles	Nej	
6	Separat	Delvist	Ja, delvist til regn- og fællessystem på begge sider af bygningen
7	Fælles	Ja	Ja, muligvis via pumpebrønd syd for bygning og til regnvandssystem
8	Fælles	Ja	Ja, dræn til fællessystem via drænpumpe

Bygningsnummer	Kloakeringsform	Kælder	Omfangsdræn
10	Fælles	Ja	Ja, dræn til fællessystem syd/vest lidt hjørne af bygningen
11	Fælles	Ja. OBS: Handikaprampe til kælder.	Ja, dræn til fællessystem - kobles på fællessystem 2 forskellige steder
12	Separat	Ja	Ja, dræn til regnvandssystem
13	Separat	Ja	Ja, dræn til regnvandssystem
14 (inkl. 14D)	Fælles	Ja	Ja, dræn til kloak syd for bygning på selvstændig drænledn.
15	Fælles	Ja.	
16	Separat	Ja, delvist	Omfangsdræn på regnvand
20	Separat	Nej	Omfangsdræn på regnvand
Kongsvangs Allé 25 (CRE-CEA)	Separat	Nej	Omfangsdræn på regnvand via pumpe
Kongsvangs Allé 27 (NRGI)	Separat	Nej	

Der er planlagt en gennemførelse af en digital registrering af afløbsforholdene på hele grunden ved opmåling af brønde og tv-inspektion for at fastslå de helt rigtige systemsammenhænge.

4. PLAN

Ved projektets gennemførelse ønskes det at separere så meget af det eksisterende fællessystem som muligt. Dette indebærer en separering af fælleskloakerede bygninger, således der bliver et nyt regnvandssystem og det eksisterende fællessystem vil overgå til spildevand.

Det tilstræbes i videst muligt omfang, at få håndteret regnvand på terræn. For en optimal udnyttelse af anlæggets totale kapacitet, ledes regnvand undtagelsesvist til lavninger via rør, der hvor topografien ikke tillader strømning på terræn.

4.1 PRINCIPPER FOR AFLEDNING AF REGNVAND

Der er arbejdet med afkobling af tag- og vejvand fra fællessystemet, således at mest muligt regnvand håndteres i et internt afvandingssystem med forsinkelse, rensning og nedsivning i projektområdet.

Bygninger, der skal separeres for overfladevand, vil i videst mulig omfang få afledt tagvand via terræn til det nye åbne regnvandssystem. De steder, hvor dette ikke er muligt, vil der blive etableret nye regnvandsledninger.

Overfladevandet, der håndteres internt på matriklerne, ledes til 3 typer anlæg, som er listet her:

1. Forsinkelsesbede med rensefunktion modtager primært tag- og vejvand.

2. Forsinkelsesbede uden rensefunktion modtager tagvand og rensset vejvand, samt klimavand.
3. Traditionelt regnvandsbassin med permanent vådt volumen.

Der etableres i alt ca. 30 større og mindre lavninger samt et vådt regnvandsbassin "Søen" i projektområdet.

Jf. figur 3 er det i delområde 2,3 og 4 muligt at nedsive regnvand direkte igennem lavningerne, mens regnvand i lavninger i Parken, delområde 1 figur 3, opsamles i et drænsystem, hvorfra det afledes til nedsivning i faskine i område 2.

For et enkelt område er der droslet afløb til Aarhus Vands regnvandssystem, idet de lokale nedsivningsforhold er dårlige, og fordi vandet pga. topografien ikke kan gravitere til områder med gode nedsivningsforhold.

Projektområdet er opdelt i 15 hovedoplande, som afleder til forskellige anlæg inden for oplandet (uddybes i afsnit "4.3 OPLANDS- OG LAVNINGSPLAN"). På baggrund af dette er det muligt at håndtere en 10-års regnhændelse i samt-lige hovedoplande i forsinkelsesbede med rensefunktion. Dette sker ved hjælp af ledningsanlæg, render og lavninger, uden at systemet går i overløb til Aarhus Vands regnvandssystem, og indebærer desuden, at lavninger kan nedsive regnvand indenfor 24 timer.

Der er i alt 2554 m³ forsinkelse til rådighed i området i de åbne volumener. Denne forsinkelse svarer ca. til en håndtering af en 38 års hændelse inkl. sikkerhedsfaktor.

4.2 UNDERSØGELSE AF NEDSIVNINGSEVNE

Rambøll udarbejdede i 2016 en rapport, hvor nedsivningspotentialer i området blev kortlagt. Undersøgelsen er baseret på en fladedækkende geofysisk kortlægning af området med DualEM-metoden, samt med 10 boringer og 5 infiltrationstests.

På baggrund af undersøgelserne er projektområdet inddelt i fire underområder karakteriseret ved forskellig hydrologisk beskaffenhed. Figur 3 og følgende beskrivelse af underområderne er en sammenfatning af resultatet fra Rambølls rapport (for uddybende forklaringer henvises der til [Bilag 1](#)).

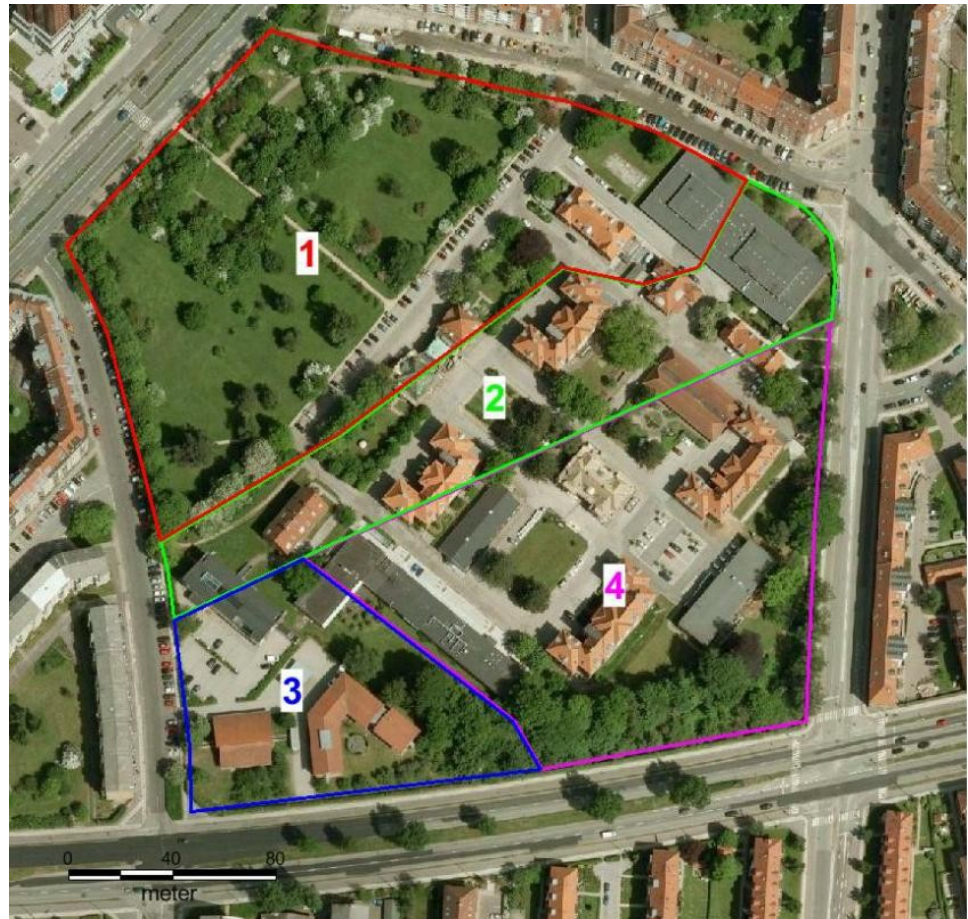
Område 1: Karakteriseret ved muld/fyld de øverste 30-40 cm, efterfulgt af moræner, ret fedt med en lille hydraulisk ledningsevne. Efter nedbørshændelser har vandet vanskeligt ved at infiltrere, og der er d. 6. juli iagttaget stående vand på græsplænen i området omkring Bor09. Tykkelsen af den umættede zone varierer fra ca. 1,5 m til 3,8 m.

Område 2: Forventes at være karakteriseret ved tilstedeværelsen af større mægtighed af fyld, sandsynligvis varierende sandet og leret, underlejret af moræner. Ved Bor02 er der således 1,8 m til det intakte fede moræner.

Område 3: Er et lavt beliggende område og er karakteriseret ved under 1 m fyld, over intakte aflejringer bestående af glacialt smeltevandssler. Grundvandsspejlet forventes at stå relativt højt i området og er ved Bor05 pejlet til 1,7 m u.t.

Område 4: Er det delområde, hvor der er sket størst opfyldning forud for opførelsen af Marselisborg Hospital i 1913. Bor01 og Bor03 er beskrevet ved ca. 1,5 m sandet fyld, mens der ved Bor04 er beskrevet næsten 3 m sandet fyld. I alle tre borer er der under fylde beskrevet intakte sandede aflejringer bestående af glacialt smeltevandssand. I DGU 89.200B, der er placeret i den vestligste del af område 4, er der beskrevet 4 m fyld. De beregnede K-værdier er relativt høje i området, og tykkelsen af den umættede zone varierer fra 2,7 m u.t. til 4,3 m u.t. ved Bor04.

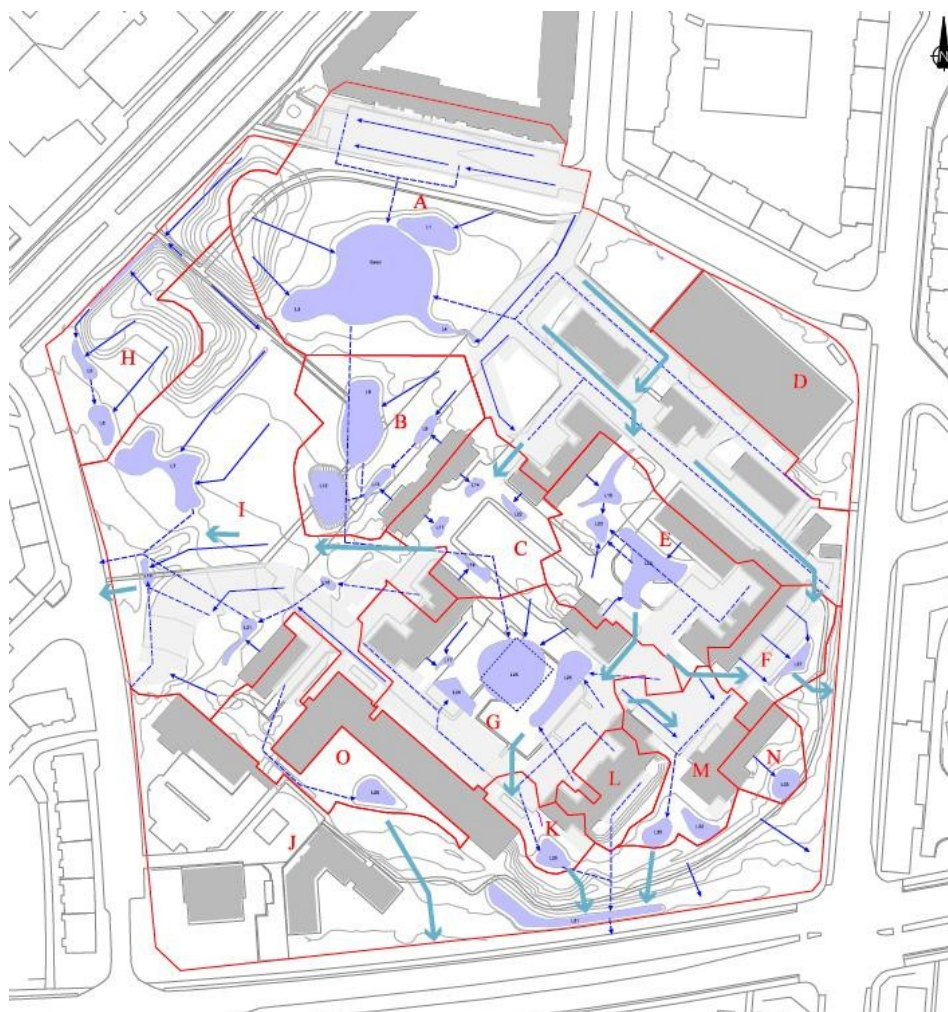
Figur 3: På figuren ses hvordan området overordnet er inddelt i fire områder karakteriseret ved forskellig hydrologisk beskaffenhed, kortlagt vha. DualEM- metoden, udførte borer og infiltrationstests.



4.3 OPLANDS- OG LAVNINGSPLAN

I området etableres der i alt ca. 30 lavninger, som fungerer som forsinkelsesvolumen, og som samtidigt skal rense regnvandet, inden det nedsives i området eller udledes til AAV's regnvandssystem. De ca. 30 lavninger er yderligere inddelt i 15 hovedoplande, afhængigt af topografi, anlægsløsning, rensemetode og afledningsmetode. Oplande og lavninger fremgår af Figur 4.

Figur 4: Plan med fremtidig ind- deling af området i mindre ho- vedop- lande, inklusiv placering af fremti- dige lavninger til op- magasinering og rensning.



Særligt gælder der for lavning L8, L12, og L25, at de skal anvendes som op- holds- og aktivitetsområder for MarselisborgCentrets brugere. Systemet er designet, så disse lavninger ikke er i funktion indenfor serviceniveau, og der- ved friholdes for urensset regn- vand fra vej- og tagarealer under regnhændel- ser mindre end en 10-års hændelse. Lavning L5 og L6 er ligeledes heller ikke i funktion under serviceniveau, idet der ikke er nogle befæstede flader i hovedopland H. Til gengæld er alle lavninger i området i funktion under en skybrudssituation. Her vil van- det via

Af tabel 3 fremgår en oversigt med hovedoplande og lavninger, samt regn- vandskarak- ter, rensemetode og afledningsmetode for det pågældende hoved- opland. Vejvand fra parkeringsarealer karakteriseres også som vejvand.

Ho- ved- opland	Lavninger	Regnvandskarakter	Rense- og afledningsmetode
A	Søen, L1, L3, L4	Tagvand og vej- vand (inkl. vejvand fra P.P. Ørums Gade)	Rensning gennem vådt regnvandsbassin "Søen". Afledes via vandbremse fra Søen til nedsivning i faskine under L25.

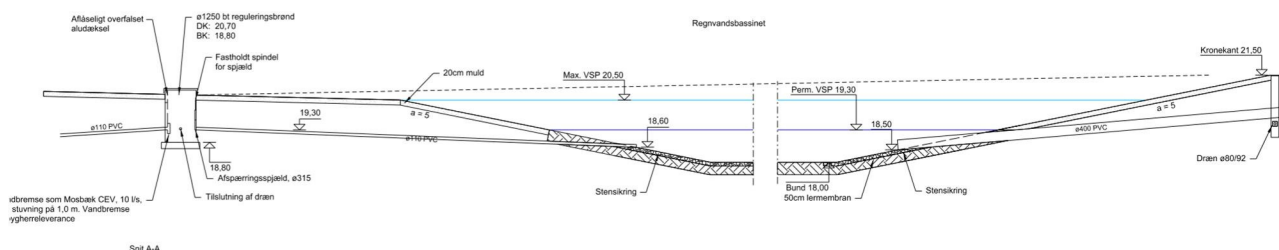
B	L8, L9, L12, L13	Tagvand og vejvand	Rensning gennem filtermuld til dræn. Ledes til nedsivning i faskine under L25.
C	L11, L14, L19, L22	Tagvand og vejvand	Rensning gennem filtermuld, direkte til undergrund.
D	-	Tagvand	Urenset vand afledes direkte til AAV's regnvandssystem i Jyllands Alle
E	L15, L20, L23	Tagvand og vejvand	Rensning gennem filtermuld, direkte til undergrund.
F	L27	Tagvand og vejvand	Rensning gennem filtermuld, direkte til undergrund.
G	L17, L24, L25, L26	Tagvand og vejvand	Rensning gennem filtermuld, direkte til undergrund.
H	L5, L6	-	Ingen befæstede flader i opland, hvorfor lavninger ikke er i funktion under serviceniveau
I	L7, L16, L18, L21	Tagvand og vejvand	Rensning gennem filtermuld til dræn. Ledes neddroglet til AAV's regnvandssystem i Kongsvang Allé.
J		Tagvand og vejvand	Ikke en del af projektet. Er stort set separatkloakeret.
K	L29	Tagvand og vejvand	Rensning gennem filtermuld, direkte til undergrund.
L	L31	Tagvand	Rensning gennem filtermuld, direkte til undergrund.
M	L30, L32	Tagvand og vejvand	Rensning gennem filtermuld, direkte til undergrund.
N	L33	Tagvand	Rensning gennem filtermuld, direkte til undergrund.
O	L28	Tagvand og vejvand	Rensning gennem filtermuld, direkte til undergrund.

Tabel 3: Oversigt over projektområdets hovedoplande og lavninger, samt informationer omkring regnvandets karakter, samt lokale rense og afledningsmetoder for de pågældende hovedoplande

4.4 RENSNINGSMETODE

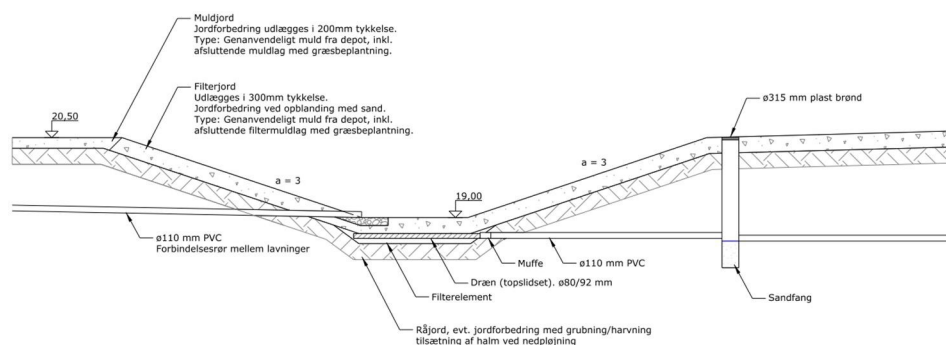
Rensning af tag- og vejvand sker grundlæggende efter to principper. I hovedopland A renses opsamlet regnvand i det våde regnvandsbassin Søen (princip fremgår af snittegning på Figur 5).

Figur 5: Principsnit for vådt regnvandsbassin Søen. Foruden at fungere som opmagasineringsvolumen for hovedopland A, bidrager regnvandsbassinet med rensning af regnvandet inden det afledes neddroglet til faskine under L25 i den sydlige ende af projektområdet.



I hovedoplande B, C, E, F, G, I, K, L, M, N og O renses opsamlet regnvand ved nedsivning igennem filtermuld i bunden af lavningerne, til drænsystem eller undergrund (princip fremgår af snittegning på Figur 6). Filtermulden lægges i en tykkelse på 300 mm og består af genanvendt muld fra depot, som jordforbedres ved opblandning med sand. Derudover lægges et afsluttende filtermuldlag med græsbeplantning.

Figur 6: Principsnit for lavning med rensefunktion, hvis funktion både er at opmagasinere og forsinke regnvand, samt at rense det gennem nedsivning til undergrund eller drænsystem.



4.5 DIMENSIONERING AF REGNVANDBASSIN

For regnvandsbassinet Søen, som ligger i hovedopland A, gælder der, at den skal kunne opmagasinere regnvand svarende til en 10-års regnhændelse. Dimensioneringsgrundlaget for dette er fastlagt af Orbicon i 2015 (se Bilag 2), hvor dybden af opsamlet regnvand fra befæstede flader svarer til 28,6 mm. Dertil ganges med en klimafaktor på 1,2.

Det tilgængelige opmagasineringsvolumen er 1105 m³, mens nedbørsmængden for hovedopland A for en 10-års regnhændelse er 349 m³.

Med hensyn til at sikre en tilstrækkelig rensning af regnvandet, skal den permanente våde del af bassinet, jf. "Regnvandsbassiner, design of d, være på mindst 200 m³/red. ha. For regnvandsbassinet Søen, er der et 1270 m³/red.ha.

4.6 DIMENSIONERING AF LAVNINGER

Lavningerne i området skal opfylde to kriterier ift. opmagasineringsvolumen og lokal nedsivningsevne. Først og fremmest kontrolleres lavninger, som skal opmagasinere regnvand til serviceniveau, om de har tilstrækkelig volumen (10-års hændelse). Dernæst kontrolleres lavninger, som også nedsiver regnvand til undergrund, at den lokale undergrund har tilstrækkelig nedsivningssevne til at kunne nedsive inden for 24 timer (5-års hændelse).

Det tilgængelige opmagasineringsvolumen i det pågældende hovedopland skal som minimum modsvare nedbørsmængden for en 10-års regnhændelse, som opsamles fra befæstede flader. Dimensioneringsgrundlaget for dette er ligeledes fastlagt af Orbicon i 2015. For beregninger henvises til Bilag 2.

Tilgængeligt opmagasineringsvolumen og nedbørsmængder ved en 10-års regnhændelse fremgår af Tabel 3.

Tabel 3: Opgørelse over tilgængeligt opmagasineringsvolumen for de enkelte hovedoplande, samt akkumuleret nedbørsmængde ved en 10-års hændelse. Lavningen er stort nok, hvis det tilgængelige volumen, er større end nedbørsmængden.

Hovedopland	Tilgængeligt opmagasineringsvolumen	Nedbørsmængde, 10-års hændelse
A	1105 m ³	349 m ³
B	38 m ³	9 m ³
C	25 m ³	19 m ³

Hovedopland	Tilgængeligt opmagasineringsvolumen	Nedbørsmængde, 10-års hændelse
D*	-	-
E	137 m ³	66 m ³
F	39 m ³	37 m ³
G	136 m ³	123 m ³
H**	30 m ³	-
I	211 m ³	100 m ³
J***	164 m ³	0 m ³
K	30 m ³	16 m ³
L****	0 m ³	27 m ³
M	48 m ³	38 m ³
N	23 m ³	9 m ³
O	36 m ³	17 m ³

* Opland D afleder regnvand direkte til AAV's system.

** Opland H har ingen befæstede flader i oplandet, hvorfor der ikke opsamles noget regnvand i serviceniveau.

*** I opland J opsamles kun lidt regnvand til nedsivning i L28, da befæstede flader ved bygning 8, 12, 13 samt CRECEA og NRGi fortsat afleder regnvand til separat regnvandssystem.

**** Opland L rørføres til lavning i opland J

For lavningerne er det et krav, at alt opsamlet regnvand for en 5-års regn- hændelse er nedsivet til undergrund eller drænsystem inden for 24 timer, idet det er u hensigtsmæssigt at have urensset regnvand ved overfladen i længere tid end dette.

Til vurdering af dette er de lokale nedsivningsforhold i undergrunden for hvert delopland estimeret på baggrund af Rambølls undersøgelse af de lokale ned- sivningsforhold. Dernæst er den nødvendige lokale nedsivningsevne for hvert hovedopland be- regnet, under forudsætning af at lavningen nedsiver over 24 timer, samt at nedsivningsarealet svarer til overfladearealet ved lavningens halve højde. Det er yderligere forudsat, at jord- matricen i filtermulden har den nødvendige ned- sivningsevne.

Af Tabel 4 fremgår vurderede lokale nedsivningsforhold, sammenholdt med nødven- dige lokale nedsivningsevne for de hovedoplande, hvor der nedsives direkte til under- grunden.

Tabel 4: Opgørelse over vurderede lokale nedslivningsforhold, samt nødvendig nedslivningssevne, hvis en 5-års hændelse skal kunne nedslive indenfor 24 timer.

Hovedopland	Vurderet nedslivningssevne, K-værdi	Nødvendig nedslivningsevne, K-værdi
C	$\sim 5,0 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$
E	$\sim 5,0 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$
F	$\sim 5,0 \cdot 10^{-5}$	$8,8 \cdot 10^{-6}$
G	$\sim 1,0 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$
J	$\sim 1,0 \cdot 10^{-5}$	$7,3 \cdot 10^{-6}$
K	$\sim 1,0 \cdot 10^{-4}$	$4,7 \cdot 10^{-6}$
L	$\sim 1,0 \cdot 10^{-4}$	$8,2 \cdot 10^{-6}$
M	$\sim 1,0 \cdot 10^{-4}$	$7,3 \cdot 10^{-6}$
N	$\sim 1,0 \cdot 10^{-4}$	$4,5 \cdot 10^{-6}$
O	$\sim 1,0 \cdot 10^{-4}$	$7,2 \cdot 10^{-6}$

4.8 DIMENSIONERING AF FASKINE

Faskinen som graves ned under lavning L25, modtager renset regnvand fra regnvandsbassin i hovedopland A, og fra lavninger i hovedopland B gennem drænsystem.

Faskinen er dimensioneret til en 5-års regnhændelse, således at nedslivningen i faskinen sker med en hastighed svarende ca. til den samlede hastighed, som lavninger og regnvandsbassin i hovedopland A og B vil lede vand til faskinen med.

I alt opsamles der 1300 m³ regnvand i hovedopland A og B, ved en 5-års regnhændelse. Afledes det til faskinen i løbet af 24 timer, svarer dette til en hastighed på 3,8 l/s. Indregnes en sikkerhedsfaktor på 1,5, fås en dimensionsgivende tilledning af vand fra hovedopland A og B, på 5,7 l/s.

Der etableres to faskiner, med følgende dimensioner: H: 2,0 m

B: 0,5 m

L: 15,0 m

Det forudsættes at nedslivningsarealet i hver faskine svarer til vådt areal, når faskinen er halvt fyldt, eksklusiv bundareal, svarende til i alt 62 m². Den vurderede nedslivningssevne i jordmatricen ved faskinens placering under L25, i hovedopland G, svarer til 10⁻⁴ m/s², se Tabel 4. Samlet nedslivningsevne for de to faskiner svarer til 6,2 l/s, og det samlede opmagasineringsvolumen er 28,5 m³.

5 EKSTREMREGN

Der er på nuværende tidspunkt ingen udefrakommende strømningsveje, som løber ind igennem projektområdet. Dette ses på Figur 7, som er et udtræk fra SCALGO Live. Koteringen langs områdets ydre grænse bevares således, at udefrakommende strømningsveje fortsat ikke vil trænge ind på projektområdet efter udførsel. Dette gælder heller ikke for hovedopland A, som i service- niveau modtager opsamlet regnvand fra dele af P.P. Ørums Gade.

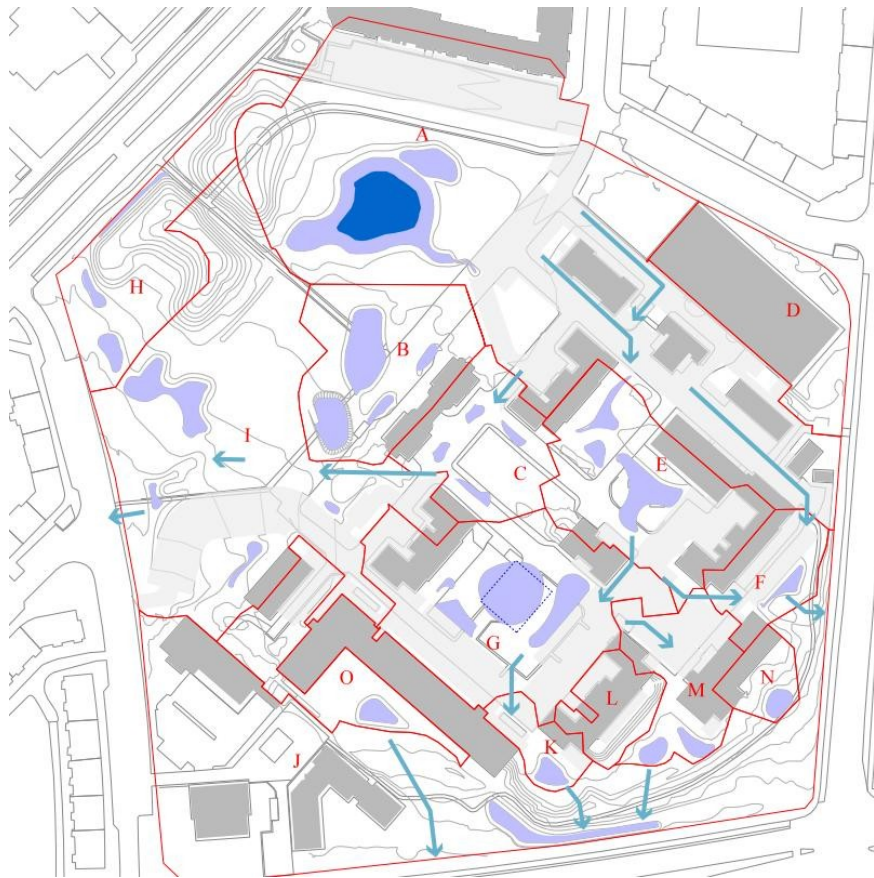
Figur 7: Strømningsveje i og omkring området, som det ser ud i en statussituation. Der er ingen udefrakommende strømningsveje, som infiltrerer området, og idet koteringen bevares langs projektområdets grænse, vil dette fortsat være tilfældet.



Af Figur 8 ses de overordnede strømningspile internt på matriklen i en ekstremregnsituation, efter projektet er udført. Strømningspilene viser, hvordan regnvand bryder vandskel mellem hovedoplandene, når kapaciteten i det pågældende hovedoplands ledningsanlæg og lavninger er overskredet. Ligeledes ses det, hvordan regnvand under ekstremregn vil forlade matriklen og strømme ud på offentlige vejarealer. Det tilstræbes, at lavninger og topografi indenfor projektområdet udføres således, at alt tilgængeligt opmagasiningsvolumen er udnyttet.

Udnyttes det totale opmagasiningsvolumen på i alt 2.554 m³, svarer dette til en 38-års regnhændelse, hvori en klimafaktor på 1,2 er indregnet. Regnhændelsen, som systemet har kapacitet til i en ekstremsituation, er bestemt ved interpolation af de dimensionsgivende regnhændelser, som fremgår af **Bi-lag 2**.

Figur 8: Af figuren fremgår overordnede strømningspile for området, og illustrerer hvordan regnvand vil bryde vandskel mellem hovedoplande når kapaciteten i det pågældende hovedoplunds ledningsanlæg og lavninger er overskredet. Det ses også hvordan vand under en ekstremregn vil forlade marken og strømme ud på offentlige vejarealer.



Med venlig hilsen
NIRAS A/S
Peter Schäfer Kjærgaard

Filtermuld

Filtermuld anvendes som det øverste jordlag i nedsivningsanlæg til regnvand. Filtermulden bruges overvejende i nedsivningsanlæg til regnvand fra veje og parkeringsarealer, men kan også benyttes i anlæg til håndtering af regnvand fra andre overflader, hvor det skønnes nødvendigt med både en god rensning og god nedsivning.

For at få den bedste rensning af regnvandet inden det nedsiver stiller Aarhus Kommune, Teknik og Miljø krav til sammensætningen af filtermulden og til hvilke analyser, der skal foretages af filtermulden både inden filtermulden udlægges og i nedsivningsanlæggets levetid. Filtermulden bør lægges i 30-50 cm tykkelse alt efter behov for rensning og ønsker til plantevækst. Ved anlæg til regnvand fra vejarealer vil Aarhus Kommune typisk stille krav til 50 cm filtermuld.

Sammensætning af filtermuld:

Filtermulden skal være ren i udgangspunktet. Det gælder også, at der ikke må være høje mængder fosfor, som let kan udvaskes med regnvandet.

Filtermulden skal være homogent blandet. Den kan købes færdigblandet hos flere producenter eller blandes på stedet.

Det samlede indhold af ler (<0,002 mm) og silt (<0,063 mm) bør ligge mellem 5 og 10 % (vægtprocent).

Indholdet af organisk materiale bør omkring 3 % (vægtprocent) og af så stabil karakter som muligt.

Den store sandfraktion (ca. 85-90 %) bør så vidt muligt sammensættes ud fra en jævn kornkurve spændende over både fin- (0,063 – 0,20 mm) og groft sand (0,20 – 2,0 mm).

Filtermuldens pH bør være mellem 6,5 og 8, men helst i den lave ende af spektret.

Filtermulden skal placeres ved overfladen i nedsivningsanlægget og skal være vegetationsdækket.

Filtermuldens hydrauliske ledningsevne bør ikke være lavere end 10^{-5} m/s ved anlæggelse (afhænger af jordens tekstur og kompakthed), men heller ikke højere end 10^{-4} m/s. Justeres ved iblanding af sand.

En større bindingskapacitet og længere levetid kan opnås ved at iblande stærke »sorbenter« som eksempelvis aluminiumoxider (ALCOsand).

Jordanalyser:

Inden filtermulden lægges ud i anlægget skal der tages prøver, der sendes til analyse. Resultatet af analyserne sendes til Teknik og Miljø, Vand og Natur. Aarhus Kommune vil typisk stille vilkår om frekvens og tæthed af analyseprøver, der skal analyseres afhænger af anlægget.

Der analyseres for:

Total- kulbrinter i fraktionerne: - C6-C10 - C10-C15 - C15-C20 - C20-C35	Tungmetallerne: - cadmium 4. kobber 5. bly 6. zink 7. nikkel 8. krom (undtaget krom VI)
PAH, indhold af følgende enkeltkomponenter: - bens(a)pyren - dibenz(a,h)anthracen - SUM PAH	pH

Bekendtgørelse af museumsloven.

LBK nr 358 af 08/04/2014

§ 25. Bygherren eller den, for hvis regning et jordarbejde skal udføres på landjorden, kan forud for igangsætning af arbejdet anmode vedkommende kulturhistoriske museum om en udtalelse.

Stk. 2. Når museet har modtaget en anmodning, skal det fremkomme med en udtalelse med stillingtagen til, hvorvidt det arbejde, som anmodningen vedrører, indebærer en risiko for ødelæggelse af væsentlige fortidsminder. Såfremt museet vurderer, at en sådan risiko foreligger, skal sagen forelægges kulturministeren. Den nævnte udtalelse skal endvidere tilkendegive, hvorvidt det i givet fald vil være nødvendigt at gennemføre en arkæologisk undersøgelse m.v., jf. § 27, stk. 3-10.

Stk. 3. Museet fremsender sin udtalelse til bygherren eller den, for hvis regning et jordarbejde skal udføres, senest 4 uger efter, at anmodningen er modtaget. Såfremt det på grund af jordarbejdets omfang er nødvendigt at gennemføre større forundersøgelser, jf. § 26, stk. 2, kan museets svarfrist forlænges til 6 uger.

§ 26. Det kulturhistoriske museum afholder udgiften til arkivalisk kontrol og en eventuel mindre forundersøgelse, der er nødvendig som grundlag for museets udtalelse, jf. § 25.

Stk. 2. Ved gennemførelse af en større forundersøgelse afholdes udgiften af den, for hvis regning et jordarbejde skal udføres. Arbejdet kan først iværksættes efter samtykke fra den pågældende. Kulturministeren kan i særlige tilfælde yde tilskud til en sådan forundersøgelse. Såfremt årsagen til forundersøgelsen er jordarbejde i forbindelse med erosion eller jordarbejde udført som led i dyrkning af almindelige landbrugsafgrøder eller som led i almindelig skovdrift, afholdes udgiften til forundersøgelsen af kulturministeren. For så vidt angår tilfælde, hvor driften forestås af en statslig eller kommunal myndighed, afholdes udgiften dog af vedkommende myndighed.

Stk. 3. Kulturministeren kan fastsætte nærmere regler om de forundersøgelser, som museerne gennemfører efter stk. 1 og 2.

§ 27. Den arkæologiske kulturarv omfatter spor af menneskelig virksomhed, der er efterladt fra tidligere tider, dvs. strukturer, konstruktioner, bygningsgrupper, bopladser, grave og gravpladser, flytbare genstande og monumenter og den sammenhæng, hvori disse spor er anbragt.

Stk. 2. Findes der under jordarbejde spor af fortidsminder, skal arbejdet standses, i det omfang det berører fortidsmindet. Fortidsmindet skal straks anmeldes til kulturministeren eller det nærmeste statslige eller statsanerkendte kulturhistoriske museum. Fundne genstande, der ikke er danefæ, jf. § 30, stk. 1, skal efter anmodning fra kulturministeren eller det pågældende kulturhistoriske museum afleveres til vedkommende statslige eller statsanerkendte museum, således at det indgår i museets samling.

Stk. 3. Kulturministeren beslutter snarest, om arbejdet kan fortsætte, eller om det skal indstilles, indtil der er foretaget en arkæologisk undersøgelse, eller indtil spørgsmålet om erhvervelse efter stk. 8 er afgjort. Senest 1 år efter, at anmeldelsen er modtaget, kan arbejdet genoptages, medmindre kulturministeren har afgivet indstilling om erhvervelse af fortidsmindet efter stk. 8.

Stk. 4. Udgiften til den arkæologiske undersøgelse afholdes af den, for hvis regning jordarbejdet skal udføres.

Stk. 5. Udgiften afholdes dog af kulturministeren, såfremt

1. årsagen til undersøgelsen er erosion eller jordarbejde i forbindelse hermed eller jordarbejde udført som led i dyrkning af almindelige landbrugsafgrøder eller som led i almindelig skovdrift, medmindre driften forestås af en statslig eller kommunal myndighed, i hvilke tilfælde udgiften afholdes af vedkommende myndighed,
2. det kulturhistoriske museum i udtalelsen efter § 25 har oplyst, at jordarbejdet ikke vil indebære en risiko for ødelæggelse af væsentlige fortidsminder, eller
3. fortidsmindet fredes efter lov om naturbeskyttelse eller erhverves med henblik på bevaring på stedet efter stk. 8.

Stk. 6. Kulturministeren kan i særlige tilfælde yde tilskud til udgifter til arkæologiske undersøgelser, der gennemføres efter stk. 3, jf. stk. 4.

Stk. 7. Private grundejeres tab ved ikke at kunne fortsætte den hidtidige drift, mens undersøgelsen foretages, eller indtil spørgsmålet om erhvervelse efter stk. 8 er endeligt afgjort, erstattes af kulturministeren. Kan der ikke opnås enighed om erstatningen, fastsættes denne af den taksationskommission, der er nævnt i naturbeskyttelsesloven.

Stk. 8. Finder kulturministeren, at det pågældende fortidsminde bør bevares på stedet for eftertiden, kan kulturministeren erhverve fortidsmindet og eventuelt omkringliggende areal. Erhvervelsen kan ske ved ekspropriation efter reglerne i lov om fremgangsmåden ved ekspropriation vedrørende fast ejendom.

Stk. 9. Kulturministeren eller den, kulturministeren bemyndiger hertil, har til enhver tid uden retskendelse adgang til steder, hvor der foretages jordarbejder, og hvor der fremkommer fund eller under arbejder kan formodes at fremkomme fund som nævnt i stk. 1. Legitimation skal forevises på forlangende. Politiet yder nødvendig bistand til at udnytte adgangsretten.

Stk. 10. Kulturministeren kan fastsætte nærmere regler om den arkæologiske undersøgelsesvirksomhed efter stk. 3 og om gennemførelse af bestemmelserne i stk. 4-6.

Tilladelse af Type 3: Tilladelse med ekstra vilkår og udvidet dokumentation (TULIP)

Aarhus Vand A/S Aarhus Vand A/S Gunnar
Clausens Vej 34 8260
Viby
Att.: Att: Esben Bro
esb@aarhusvand.dk
aarhusvand@aarhusvand.dk

08. Februar 2019
Side 1 af 20

Tilladelse til nedsivning af overfladevand og udledning af overfladevand til Brabrand Sø fra udløb MU18 i forbindelse med lokalplan 1029

Der meddeles i medfør af miljøbeskyttelseslovens¹ §§ 19 og 28 samt spildevandsbekendtgørelsens² kapitel 9 og 15 tilladelse til.

- Nedsivning af overfladevand fra Tulip, etape 1 og 2, med overløb til MU18:
- Udledning af overfladevand fra Tulip etape 3, med udløb i MU18

Tilladelsen er betinget af de **vilkår**, der er angivet under **punkt 1**.

Med venlig hilsen



Nikolaj Kruse Christensen
Hydrogeolog



Annemette Sørensen
Biolog

TEKNIK OG MILJØ

Center for Miljø og Energi Aarhus
Kommune

Vandmiljø og landbrug Grøndalsvej 1C, Postboks 4049 8260 Viby J

Telefon: 89 40 22 13
Direkte telefon: 41 87 22 89

E-mail: miljoeogenergi@aarhus.dk
Direkte e-mail: nikc@aarhus.dk
www.aarhus.dk

Sag: 18/033703-1
Sagsbehandler:
Nikolaj Kruse Christensen

Bilag til afgørelsen:

- Bilag 1: Kloakplan - Regn og spildevandsplan
- Bilag 2: Jordbundsforhold
- Bilag 3: Tværsnit stikgrøft
- Bilag 4: Ind og udløb og ved stikgrøft
- Bilag 5: Principtværsnit af grøft
- Bilag 6: Princip længdesnit af grøft Bi-
- Bilag 7: Tværsnit af Nedsivningsbassin
- Bilag 8: Princip af stuvning
- Bilag 9: Dimensionering- og projekteringsforudsætninger
- Bilag 10: RBU – Skema
- Bilag 11: Drift – fordeling af opgaver
- Bilag 12: Monitoringsprogram
- Bilag 13: Dimensionering af bassin etape 3
- Bilag 14: Prøvetagning af filtermuld

Annonceres fredag den 08-02-2019 Klagefristen udløber de 11-03-2019. Søgsmålsfristen udløber den 12-08-2019

1 Vilkår for tilladelse til nedsivning og udledning af overfladevand

08. Februar 2019
Side 2 af 20

1.1 Udløb og regnvandsbassin

Udledning til Brabrand Sø via udløb MU18

- 1.1.1 For etape 3 skal der etableres et vådt regnvandsbassin, som an-søgt, til forsinkelse af overfladevandet. Det våde regnvandsbassin etableres, med et vådt volumen på 370 m³, svarende til 200 m³/ha.red. og med forsinkelsesvolumen på 656 m³ og et fast afløb (tømningsflow) på 17/s., svarende til 5 l/s/ha.
- 1.1.2 Overløb bassinet skal ske gennem et kontrolleret overløb i afløbsbygværket.
- 1.1.3 Det skal under anlægsarbejdet sikres, at der ikke sker udskylning af ler, sand eller grus til Brabrand Sø via udløb MU18. Om nødvendigt skal etableres et midlertidigt sedimentationsbassin.

Bassiner

- 1.1.4 Bassin B045 (etape 3) skal udformes som et vådt bassin med permanent vandspejl med en vanddybde mellem 1-1,5 m.
- 1.1.5 Bassin B045 skal dimensioneres, således at der ikke sker overløb hyppigere end hvert 10 år ($n < 0,1$).
- 1.1.6 Der er anvendt et skråningsanlæg på 1:2 mod parkeringspladsen (vest) og banen (syd) samt anlæg 1:5 mod boligerne mod nord og øst. Den del af bassinet der etableres med anlæg 1:2 skal sikres med hegn eller beplantning i cirka 1 meters højde for at sikre mod uvedkomme adgang.
- 1.1.7 Tilløb og afløb skal placeres, så der skabes længst mulig strømningsvej i bassinet.
- 1.1.8 Ved tilløb til bassinet skal der etableres et sandfang. Tilløbet til bassinet skal etableres som dykket afløb eller med afspærringsspjæld.
- 1.1.9 Tilløb og udløb i bassin skal være sikret mod erosion af sider og bund.
- 1.1.10 Afløbet fra bassinet skal etableres som dykket afløb, afløbsregulator og afspærringsspjæld.
- 1.1.11 Strømningshastighed ind og ud af bassinet må ikke overstige 0,3 m/s, for at undgå ophvirvling af bundfældet materiale.

- 1.1.12 Bassin B045, skal fortløbende oprensnes og vedligeholdes, således at bassinets rette funktion til stadighed opretholdes. Hovedbassinet skal oprensnes senest når 20-25% af volumen er fyldt med sediment. Status for sedimentopbygningen kontrolleres mindst hvert 5 år. Frekvensen kan justeres efter aftale med Aarhus Kommune.
- 1.1.13 Der skal etableres køreadgang for tømning og renholdelse af sandfang, indløb, udløb og reguleringsbrønd.

1.2 LAR-elementerne - design

- 1.2.1 LAR-elementerne – wadier og regnbede – er baseret på rensning, forsinkelse og fordampning. Funktionen af disse skal til stadighed opretholdes, for at det nødvendige volumen er til stede i regnbede og wadier, samt at dræn i bunden af de forskellige elementer fungerer.
- 1.2.2 Grøfterne skal placeres og udføres således, at der ikke under normale nedbørsforhold opstår overfladisk afstrømning, overfladegener, eller gener i øvrigt på grunden eller nabogrunde. Ved normale nedbørsforhold forstås nedbør, der statistisk set forekommer op til hvert 5. år.
- 1.2.3 Overfladevandet skal nedsives fra terræn, gennem filtermuld eller tilsvarende.
- 1.2.4 Nedsivningsanlægget skal placeres mindst 25 meter fra vandindvindingsboringer, samt vandløb, grøfter, drænrør, søer og havet.
- 1.2.5 Nedsivningen fra det nyanlagte anlæg skal placeres på egen grund, minimum 5 meter fra beboelsesbygninger og bygninger med kælder, og minimum 2 meter fra øvrige bygninger.
- 1.2.6 Grøfterne/nedsivningsanlæg skal anlægges med mindst 30-50 cm filtermuld/god muldjord.
- 1.2.7 Filtermuld eller god muldjord, uanset valg, skal have min. neutral pH, og ikke under 6,5 pH. Hvis pH er mindre end 6,5 tilsættes f.eks. jordbrugs kalk til mindst pH 7,5.
- 1.2.8 Filtermulden skal opbygges med, 1-3 % organisk stof og et lerindhold på 3-10 %
- 1.2.9 Filtermuldens hydrauliske ledningsevne skal være mellem 10^{-5} - 10^{-4} m/s.
- 1.2.10 Filtermulden skal beplantes med plantevækst der har trevlerødder.

1.3 LAR – elementerne

08. Februar 2019
Side 4 af 20

- 1.3.1 Før filtermuld/muldjord lægges ud i grøfterne skal der gennemføres en undersøgelse/vurdering af nedsivningsmaterialets forureningsgrad.
- 1.3.2 Den udlagte filtermuld skal ved i brugtagning og hvert 10 år analyseres for prøverne i Tabel 1. Overskrides værdierne skal filtermuldent skiftes.

Stof	Øvre grænse for lettere forurennet jord (mg/Kg tørstof)
Bly	400
Cadmium	5
Chrom (ikke Cr-VI)	1000
kobber	1000
Zink	1000
Nikkel	30
Total PAH	40
Kulbrinte-fraktion C ₂₀ -C ₃₅	300
Di-Benz(a,h) anthracen	3
Benz (a) pyren	3

Tabel 1

- 1.3.3 Prøverne skal tages i 2 forskellige dybder (10 og 30 cm). På hvert sted udtages 5 stikprøver i hhv. 10 og 30 cm dybde. De 5 stikprøver fra hver sin dybde blandes til 1 blandeprøve, således man får 2 prøver til analyse fra hvert prøvetagningssted. Prøvetagningensstederne er angivet i bilag 14.
- 1.3.4 Oversigtskort og koordinater fra prøvetagningssteder, samt analyseresultater sendes til Teknik og Miljø, Vandmiljø og Landbrug med reference til sagsnummer **18/033703**.
- 1.3.5 Da området er beliggende i OSD og i indvindingsoplandet til Stav- trup kilderplads, skal der gennemføres en monitoring af det nedsivende overfladevand. Der skal monitoreres for indhold af bl.a. olieprodukter, BTEX, tungmetaller og PAH-forbindelser i overensstemmelse med monitoringsprogrammet, bilag 12. Monitoring af det nedsivende overfladevand forgår som en del af et pilotprojekt. Resultaterne herfra fremsendes til Aarhus kommune med reference til sagsnummer **17/028029**.

LAR-elementerne – drift

- 1.3.6 Aarhus Vand drifter bassin og LAR-elementer så deres funktion som bassin og LAR-elementer stedse opretholdes.

Klipning af græs og øvrig drift af beplantningen varetages af grundejerforening. Fordelingen af vedligeholdelsesforpligtigelser fastlægges i deklaration som bliver tinglyst på arealet. Se figur 2 og bilag 11 for fordeling af drifts og ansvar.

08. Februar 2019
Side 5 af 20

- 1.3.7 Hvert 10. år efter ibrugtagning af LAR-anlægget, skal der udtages jordprøver, der analyseres for de samme stoffer som angivet i Tabel 1. Prøveudtagningen foregår på samme måde som beskrevet i afsnit 1.3.3.
- 1.3.8 Filtermulden skal skiftes, når koncentrationen af miljøfremmede stoffer i 30 cm dybde overskrider Jordkvalitetskriteriet, se Tabel 1. Jorden må ved inspektion ikke syne forurenet eller afgive lugt som følge af forureningen.
- 1.3.9 Før udskiftning af filtermuld skal oplysninger om metode for udskiftning og type af filtermuld accepteres af Aarhus Kommune, Teknik og Miljø, Vand og Natur.

Generelt – jordflyt

- 1.3.10 Hvis der ønskes terrænregulering inden for området, skal der anvendes jord, som ikke er påvirket af miljøfremmede stoffer, som kan udgøre en risiko for grundvandet, herunder pesticider. Se Aarhus Kommunes bemærkninger i afsnit 6.4

- 1.3.11 Såfremt et regnvandsanlæg skal betjene flere forskellige grundejere på privat grund, skal berørte bolig- og grundejere oprette et fælles privat spildevandslav, der varetager anlæggets drift og vedligeholdelse. Der skal udarbejdes et udkast til lavets regler og vedtægter, som skal fremsendes til Aarhus Kommune, Teknik og Miljø til accept. De endelige vedtægter skal tinglyses på de berørte ejendomme, når fælles private spildevandsanlæg er optaget i spildevandsplanen.
- 1.3.12 Der må ikke afledes andet end overfladevand (f.eks. ikke husspildevand eller processpildevand) til nedsivningsanlægget
- 1.3.13 Hvis der skal anvendes tagrens eller andre bekæmpelsesmidler, skal tagvandet afkobles LAR-anlægget og behandlingsmidlet skal opsamles.
- 1.3.14 Brug af pesticider, mosbekæmpelsesmidler og lignende må ikke anvendes på arealer der afvander til nedsivningsanlægget.
- 1.3.15 Der må ikke nedsives overfladevand fra tage eller facader, der er pudse- eller malede. Andelen af zink og tagpap samt malede og pudseflader må ikke øges i forhold til det projekterede.
- 1.3.16 Der må ikke anvendes vejsalt til glatføre bekæmpelse. Alternativt kan der f.eks. anvendes grus eller CMA (Calcium Magnesium Acetat).
- 1.3.17 Ansøger skal selv skaffe sig ret til at etablere, benytte og vedligeholde dele af regnvandssystemet, som etableres på anden mands grund.
- 1.3.18 Der fastsættes ikke grænseværdier for indholdet af forurenende stoffer i de regnbetingede udledninger til vådområder (Brabrand Sø). Derimod skal oplysningerne i U-skemaet for regnbetingede udledninger om bassinvolumen, fast afløb og overløbsfrekvens opfattes som funktionskrav.
- 1.3.19 I henhold til Miljøbeskyttelseslovens § 20 kan denne tilladelse (nedsivningsdelen) til enhver tid og uden erstatning ændres eller tilbagekaldes af hensyn til; fare for forurening af vandforsyningsanlæg; gennemførelsen af en ændret spildevandsafledning i overensstemmelse med en spildevandsplan efter § 32; eller miljøbeskyttelsen i øvrigt.

1.3.20 Efter projektets gennemførelse underrettes Vand og Natur via vand-miljo@mtm.aarhus.dk, hvorefter der foretages en besigtigelse af de etablerede anlæg og at de er udført efter tilladelsens krav og vilkår.

08. Februar 2019
Side 7 af 20

2 Henstillinger

Hvor andet ikke er anført i denne tilladelse, fx i ovennævnte vilkår, henstilles det generelt, at forsinkelsesbassinet udformes efter retningslinjerne i "Regnvandsbassiner design og dimensionering, Aarhus Kommune og Aarhus Vand A/S, december 2017", som kan ses som pdf-fil på linket:

<http://www.aarhus.dk/~media/Dokumenter/Teknik-og-Miljoe/Natur-og-Miljoe/Vand/Spildevand/Andet/Regnvandsbassiner-12-2016.pdf>

3 Forhold til anden lovgivning

3.1 Vurdering af projektets påvirkning af Natura 2000-områder Nærmeste Natura 2000-område er Brabrand Sø, nr. 233. Udløbet MU18 er beliggende i Natura-2000 området, hvor vandet afledes til Brabrand Sø. Det vurderes, at det ansøgte projekt ikke vil give anledning til en negativ påvirkning af Natura 2000-området og ikke vil indebære forringelse af områdets naturtyper og levestederne for arterne. Projektet vurderes heller ikke at medføre forstyrrelser, der har betydelige konsekvenser for de arter området er udpeget for, da alt overfladevand der afledes til Brabrand Sø renses og forsinkes inden udledning.

3.2 Internationalt beskyttede arter efter habitatdirektivets bilag IV:

Der er registreret Odder langs Brabrand Sø, Aarhus Å og tilstødende vand-systemer.

Den ansøgte udledning vurderes ikke at påvirke nogen bilag IV arter i området, og er heller ikke til hindring for en fremtidig udbredelse af bilag IV arter i området, da der etableres rensetiltag for regnvandet i området.

3.3 Øvrig lovgivning

Nærværende tilladelse omfatter alene tilladelse efter miljøbeskyttelsesloven. Der er ved denne tilladelse ikke taget stilling til eventuelle øvrige tilladelser, der skal indhentes for at gennemføre projektet, f.eks. efter byggeloven og vejloven. Øvrige tilladelser skal derfor indhentes særskilt.

4 Projekt oplysninger

4.1 Ansøgning

Aarhus Kommune, Teknik og Miljø har den 20 februar 2018 modtaget ansøgning om tilladelse til udledning og nedsivning af overfladevand fra Høj-

rissgardsvej - "TULIP grunden". Ansøgningen er fremsendt af Rådgiver NIRAS A/S på vegne af Bygherre Aarhus Vand A/S.

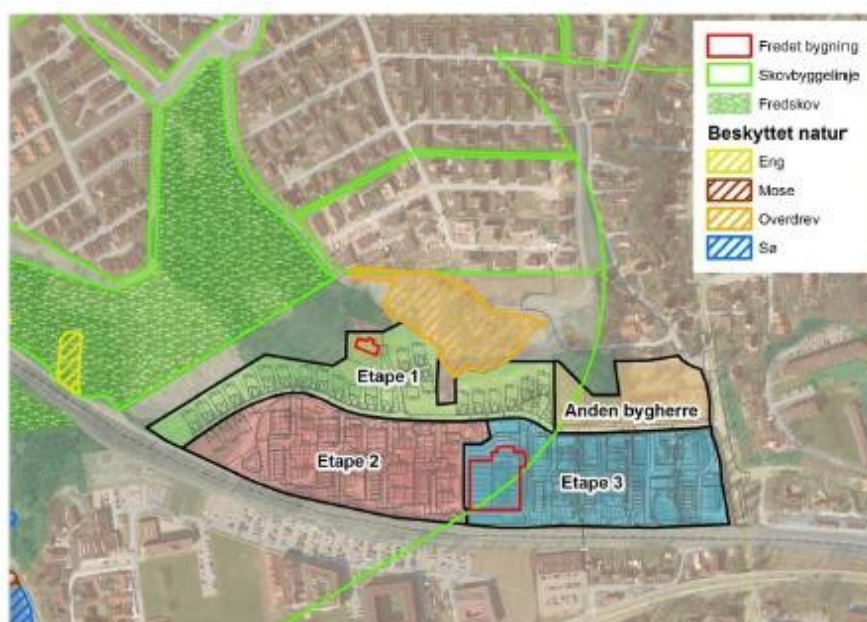
08. Februar 2019
Side 8 af 20

4.2 Baggrund

Der ansøges om udledningstilladelse og nedsivningstilladelse for et byomdannelsesprojekt på Højriisgårdsvej "Tulipgrunden" i Brabrand. Området omfatter det tidligere Tulip-slagteri samt tilstødende erhverv og har matrikelnumre 6ab, 6cl, 6ad, 6æ, 6cd, 6am, 6aa, 6ø og 6s. Området skal omdannes til byområde, bestående af forskellige boligtyper samt en institution eller lignende.

4.3 Eksisterende forhold

Området har et samlet areal på 13 ha. inkl. det fredede område mod nord og et samlet reduceret areal på 5,5 ha. Området er afgrænset af §3 beskyttet natur og fredsskov mod nord samt jernbane mod syd.



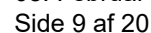
Figur 1. Illustration af naturbeskyttelse i området i eller omkring Tulipgrunden samt fredede bygninger.

Området ligger i et område med drikkevandsinteresser. I hele området er der krav om analyser i forhold til jordforurening. Derudover er der to små områder, hvor der er registreret jordforurening på vidensniveau V2. Disse områder er ikke vist på ovenstående figur, da de fjernes af de nuværende matrikelejere. Det ene område er beliggende i etape 3 og det andet i området ejet af "anden bygherre". Områderne har et overfladeareal på hhv. ca. 350 m² og 3.040 m².

08. Februar 2019
Side 9 af 20

Side 9 af 20

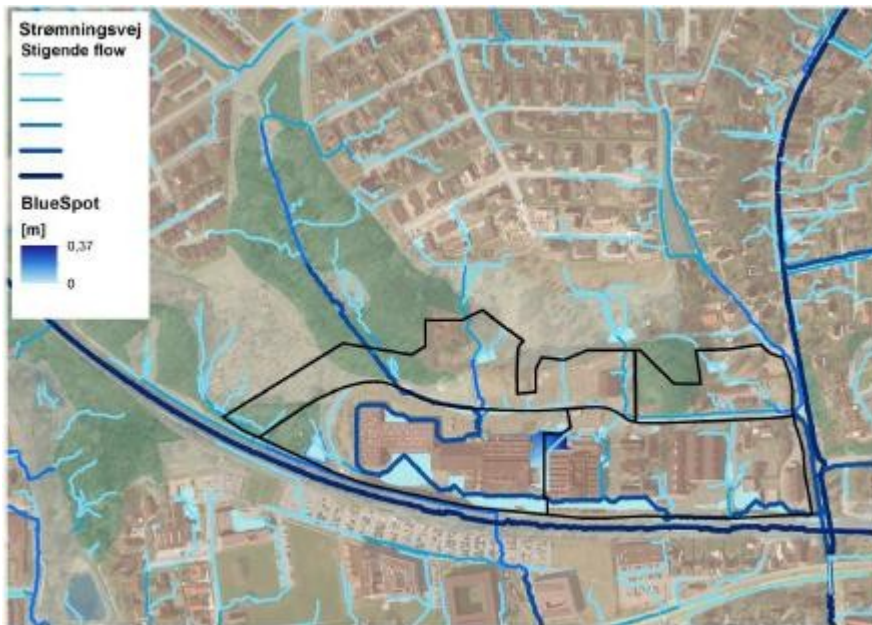
Side 9 af 20



Side 9 af 20

Side 9 af 20

Side 9 af 20



Figur 3. Strømningsveje for eksisterende bebyggelse

Som det fremgår af Figur 3 er der 3-4 større strømningsveje, der strømmer til Tulipgrunden fra det omkringliggende terræn. For at disse ikke skal give anledning til oversvømmelse på Tulipgrunden, etableres der et dige på ud-satte område. Disse leder vandet til de projekterede klimaveje, og dermed udenom bygningerne. Derudover er der en stor strømningsvej fra vest mod øst langs baneskellet som leder vandet til viadukten i Truevej. Denne strømningsvej opstår kun under ekstremhændelser.

Området er opdelt i tre etaper. Alt overfladevand håndteres på overfladen i åbne render, dog vil vandet ved krydsning af stamvejen og fortov håndteres i rør eller linjedræn, da der ikke ønskes vand på vejen i en normal regnsituation. I de åbne render håndteres både normal regn og skybrudsregn. De åbne render etableres som grønne render, dvs. de opbygges i filtermuld med græs, så der er fri passage for vandet. Der vil i etape 1 og 2 ske nedsivning af overfladevand, mens overfladevandet i etape 3 ledes via åbne render til et vådt forsinkelsesbassin, hvor der sker en rensning inden udledning til Brand Sø.



Figur 4. Illustration af åbne systemer til håndtering af overfladevand på Tulipgrunden.

4.5 Etape 1 & 2 – Nedsivning

Overfladevandet i etape 1 og 2 vil nedsive, hvor de transporterende vandveje er dimensioneret til en 5 års hændelse, mens nedsivningsbassinerne er dimensioneret til 10 års hændelse. Der vil som udgangspunkt ikke ske en udledning fra etape 1 og 2 til recipient, men der etableres en plan B, som kan sættes i drift, hvis målinger viser, at renseevnen og vandkvaliteten af det nedsivende overfladevand ikke overholder de opstillede kriterier af Aarhus Kommune eller hvis nedsivningsevnen ikke er tilstrækkelig. Plan B indeholder etablering af en afskærende drænledning under nedsivningsanlæggene langs jernbanen, hvor ledningen kobles på eksisterende regnvandsledning med udløb (MU18) i Brabrand Sø.



Figur 5. Illustration af modelopbygning for de fem koblede bassiner i etape 2, samt det opstrømsbeliggende opland.

4.6 Etape 3 - udledning

I etape 3 ledes overfladevand til vådt forsinkelsesbassin dimensioneret til 10 års hændelse, hvorfra det rensede vand ledes til Brabrand Sø.



Figur 6. Oplandet til bassin i etape 3 og for delområde 2. se også bilag 1 for signaturforklaring og befæstelsesgrader.

Ansøgningen om udledningstilladelse indeholder en samlet udledning på 5 l/s/ha for hele området inkl. plan B. Udledningen fra etape 3 er 17 l/s svarende til 5 l/s/ha. I det tilfælde, at plan B realiseres vil der være en ekstra udledning på 40 l/s svarende til 8 ha, hvilket giver en samlet udledning på 57 l/s.

5 års-hændelse i grøfter og nedsivningsbassiner:

I dimensioneringen er der anvendt en årsmiddelnedbør på 706 mm og et klimatilleg på 1,2. For at opnå en tilstrækkelig rensning etableres wadien, alle hovedgrøfter og nedsivningsbassiner i etape 1 og 2 med 30-50 cm filter-jord i bunden samt opad siderne, som dækker en 5 års regnhændelse. Nedsivningsbassiner langs banen er dimensioneret til min. en 10 års hændelse.

10-års hændelse i bassin:

Dimensioneringen er baseret på en årsmiddelnedbør på 706 mm og et klimatilleg på 1,2. Det våde forsinkelsesbassin i etape 3 overholder de gængse krav til vådvolumen for at sikre opholdstid og optimal rensgrad inden det afledes til Brabrand Sø. Forsinkelsesbassin i etape 3 etableres som et vådt forsinkelsesbassin på et samlet volumen på cirka 1026 m³, heraf et vådt volumen på 370 m³ svarende til 200 m³/red ha og et opstuvningsvolumen på ca. 656 m³.

5 Partshøring

Udkast er sendt til høring hos:

- Aarhus Vand A/S (ansøger) ved Esben Bro, Gunnar Clausens Vej 34 - DK-8260 Viby J, aarhusvand@aarhusvand.dk
- NIRAS (rådgiver) ved Stefen Bloch Frandsen
- NIRAS (rådgiver) ved Sara B. Ploug

08. Februar 2019

Side 14 af 20

Stefen Bloch Frandsen, NIRAS, har indsendt rettelser i forbindelse med drift og vedligehold af LAR-anlæggende, beplantning, skåningsanlæg samt hydraulisk kapacitet af eksisterende ledninger og overløb.

Teknik og Miljø har ikke modtaget yderlige bemærkninger i høringen.

6 Aarhus Kommune, Miljø og Energis bemærkninger

6.1 Recipienter

Vandet fra regnvandsbassinet ledes via udløb MU18 til en grøft med tilløb til Brabrand Sø, som vist på bilag 4. Udlødningspunktet er placeret ca. 70 meter opstrøms for søbredden, og er således beliggende indenfor søbeskyttelseslinien. Grøften er ikke målsat, mens Brabrand Sø er målsat "god økologisk tilstand" jf. statens vandområdeplaner.

Brabrand Sø er også udpeget som beskyttet natur jf. Naturbeskyttelseslovens § 3, og er endvidere udpeget som internationalt beskyttelsesområde: Årslev Engsø/Brabrand Sø, der er udpeget som habitatområde.

I Aarhus Kommunes Spildevandsplan er det et centralt punkt, at få skabt en forbedret vandkvalitet i Brabrand Sø, som understøtning og forbedring af de natur- og rekreative værdier, der er i området. Forbedringerne består bl.a. i bedre rensning af spildevand fra ejendomme i det åbne land, fjernelse af overløb fra fællessystemer og etablering regnvandsbassiner.

6.2 Opfyldelse af målsætningen

Grøften, ved MU18, leder til et internationalt beskyttelsesområde: Årslev Engsø / Brabrand Sø, der er udpeget som habitatområde.

Den ansøgte udledning vurderes ikke at forhindre målopfyldelse af recipienten, da alt overfladevand renses og forsinkes i et vådt regnvandsbassin. Endvidere vurderes det tilladelsen ikke at indebære forringelse af områdets naturtyper.

6.3 Hydraulisk kapacitet i vandløb m.v.

Overfladevand afledes til Brabrand Sø, der afvander til Aarhus Bugten via Århus Å. Det vurderes, at Brabrand Sø og Aarhus Å har den fornødne hydrauliske kapacitet til at modtage et vandflow på 17 l/s, der er omfattet af tilladelsen uden at der opstår stuvning til gene for de vandløbsnære arealer og brinker af Brabrand Sø. Vandflowet kan med *myndigheds accept* sættes op til 57 l/s, såfremt at nedsivningsanlægget ikke er effektivt og underliggende drænelser tages i brug.

6.4 Grundvandsbeskyttelse

Tulipgrunden er beliggende i sårbart område i OSD og i indvindingsoplandene til flere vandværker, herunder Stautrup Værket. Hele området er områdeklassificeret, og der er også kortlagt flere jordforureninger.

Glatførebekæmpelse:

Hvis vandet fra veje og parkeringspladser nedsives i stedet for at ledes til kloakken, stiller Aarhus kommune det krav at man ikke må salte på disse arealer. Dette skyldes, at det endnu er ukendt, hvorvidt saltning kan skade vores grundvand, og indtil det bliver afklaret.

Man må derfor søge alternative løsninger til at glatførebekæmpe hvis man ønsker at nedsive vandet fra parkeringspladser, veje og andre større befæstede arealer. Et alternativ kunne være grus, CMA (Calcium Magnesium Acetate) eller en kombination af grusning og saltning.

Jordflyt:

Jordtippe skal i henhold til Forslag om Kommuneplan 2017 som udgangspunkt etableres uden for sårbare områder og 300 meter zoner omkring vandværkernes boringer.

Hvis der ønskes terrænregulering inden for sårbare områder, skal der anvendes jord, som ikke er påvirket af miljøfremmede stoffer, der kan udgøre en risiko for grundvandet, herunder pesticider.

Hvis det kan dokumenteres, at jorden ikke indeholder pesticider, f.eks. ved at der ikke har været anvendt pesticider eller på anden måde håndteret miljøfremmede stoffer indenfor de seneste 10 år, vil det være tilstrækkeligt. Så må man gerne håndtere jordflytningen internt.

Alternativt kan man opfylde kravet om at jorden ikke indeholder pesticider, ved at anvende overskudsjord fra Aarhus Vands egne arealer eller offentlige jorde, hvor der ikke har været potentielt forurenende aktivitet eller anvendt pesticider i en årrække, fx 10 år. Det kan eksempelvis også være arealer, hvor overjorden (den øverste meter) har været gravet af i længere tid og der

ikke har været anvendt sprøjtemidler i en årrække. Det skal dog dokumenteres, at der ikke har været anvendt sprøjtemidler.

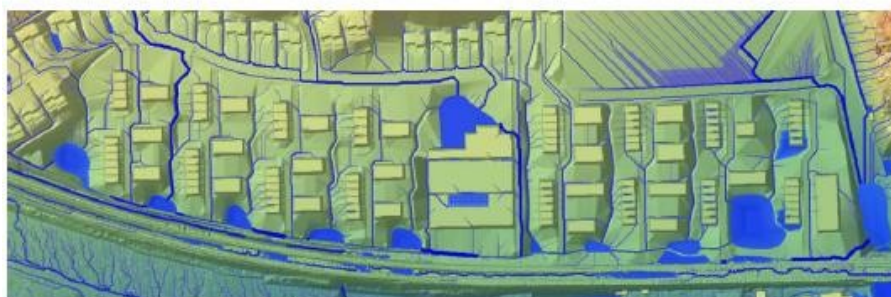
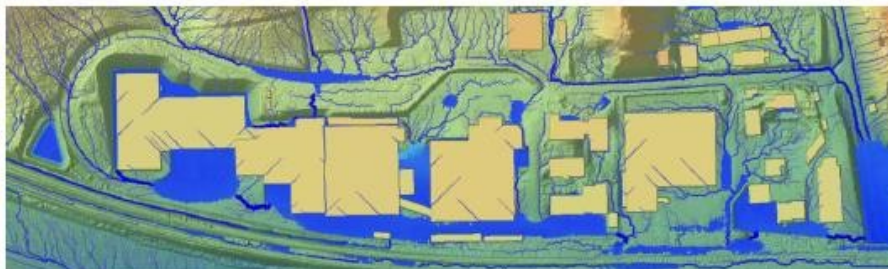
08. Februar 2019
Side 16 af 20

Dokumentationen kan være ved fremvisning af aftaler om pesticidfri drift, oplysninger om arealanvendelse, hvor der ikke har været brugt pesticider eller tilsvarende. Der er således ikke krav om analyseprøver.

Projektområdet er beliggende i et særligt sårbart område i forhold til grundvandsbeskyttelse, hvor der normalt ikke tillades nedsivning af overfladevand. Samtidig er der i Aarhus kommune en opmærksomhed på at opnå tilstrækkelig grundvandsdannelse inden for kommunegrænsen også i sårbare områder. Nedsivningen i projektområdet er derfor udlagt som et pilotprojekt, hvor der er opstillet et monitoringsprogram til dokumentering af renseevnen gennem nedsivningsanlæggene og sker i et samarbejde mellem Aarhus Kommune og Aarhus Vand.

6.5 Specifikke forhold – ekstremregn

Som det fremgår af Figur 7 afledes overfladevandet, efter etablering af det nye anlæg, via de projekterede regnvandsbassiner samt opstuvningsområder mellem bassinerne langs det sydlige skel mod togbanen. Der er altså opstuvning på arealerne der er udlagt til netop at håndtere skybrudsvandet under ekstremhændelser. Det vurderes ud fra ovenstående, at det fremtidige terræn ikke vil forværre risikoen for oversvømmelser ved Tulipgrunden i forhold til forholdene som de er i dag. Derimod bliver oversvømmelserne håndteret mere kontrolleret via bassinerne samt terrænregulering. Beregninger fra SCALGO Live illustrerer ligeledes, at togbanen ikke modtager overfladevand fra Tulipgrundens arealer under kraftige regnhændelser med en gentagelsesperiode op til 100 år.



Figur 7. Strømningsveje og oversvømmelse langs togbanen på Tulip-grunden før og efter byomdannelsen. Beregningen er foretaget med en 100 års hændelse.

6.6 Generelt

Der fastsættes ikke grænseværdier for indholdet af forurenende stoffer i de regnbetingede udledninger. Derimod skal oplysningerne i RBU-skemaet for regnbetingede udledninger om bassinvolumen, fast afløb og overløbsfrekvens opfattes som funktionskrav.

6.7 Afgørelsens adressat

I henhold til Aarhus Kommunes Spildevandsplan 2017-2020 skal området offentlig kloakeres efter separatsystemet. Det forudsættes derfor, at Aarhus Vand A/S er ansvarlig for driften af hovedkloaksystemet i området. Aarhus Vand A/S er derfor adressat for nærværende afgørelse.

7 Klagevejledning

08. Februar 2019
Side 18 af 20

Denne afgørelse kan i henhold til miljøbeskyttelseslovens § 91 påklages til Miljø- og Fødevareklagenævnet af: Ansøger, Sundhedsstyrelsen samt enhver, der har en individuel, væsentlig interesse i sagens udfald, jf. miljøbeskyttelseslovens § 98. Afgørelsen kan endvidere påklages af landsdækkende foreninger og organisationer, jf. miljøbeskyttelseslovens § 99 og § 100, samt lokale foreninger og organisationer, der har beskyttelse af natur og miljø eller rekreative interesser som formål, og som har meddelt, at de ønsker underretning om afgørelsen, jf. lovens § 100.

En eventuel klage skal sendes elektronisk til Center for Miljø og Energi, Grøndalsvej 1, Postboks 4049, 8260 Viby J, via Klageportalen på www.borger.dk eller www.virk.dk senest **4 uger efter tilladelsesdato**, eller bekendtgørelsesdato, hvis afgørelsen er offentlig bekendtgjort, jf. miljøbeskyttelseslovens § 93. Ved indgivelse af klagen skal der indbetales et gebyr på hhv. kr. 900 (privatpersoner) eller kr. 1.800 (virksomheder og organisationer) til Miljø- og Fødevareklagenævnet. **Klagefristen er angivet i tilladelses side 1.**

Oplysning om Klageportalen kan findes på Miljø- og Fødevareklagenævnets hjemmeside (www.naevneneshus.dk), herunder undtagelsesreglerne for ikke at benytte Klageportalen.

Såfremt der modtages klager inden for klagefristen, får ansøger straks besked, hvorefter Center for Miljø og Energi vurderer, om afgørelsen skal fastholdes, eller om sagen skal genoptages. Såfremt sagen genoptages informeres sagens parter herom.

Hvis afgørelsen fastholdes, fremsender Center for Miljø og Energi klagen til Miljø- og Fødevareklagenævnet senest 3 uger efter klagefristens udløb, sammen med en udtalelse til sagen og de anførte klagepunkter. Udtalelsen sendes samtidig i kopi til de involverede parter, der har mulighed for at afgive yderligere bemærkninger til Miljø- og Fødevareklagenævnet senest 3 uger efter at de har modtaget udtalelsen fra myndigheden, jf. miljøbeskyttelseslovens § 94.

En klage over tilladelsen har ikke opsættende virkning på retten til at udnytte tilladelsen, medmindre Miljø- og Fødevareklagenævnet bestemmer andet, jf. miljøbeskyttelseslovens § 96. Dette giver dog ingen begrænsninger i Miljø- og Fødevareklagenævnets adgang til at ændre eller ophæve den påklagede tilladelse. Et eventuelt søgsmål i forhold til tilladelsen skal anlægges ved domstolene senest **6 måneder efter tilladelsesdato**, jf. miljøbeskyttelseslovens § 101. **Søgsmålsfristen er angivet i tilladelses side 1.**

8 Underretning om afgørelsen

Afgørelsen offentliggøres på Aarhus Kommunes hjemmeside:

www.aarhus.dk/annoncer

08. Februar 2019

Side 19 af 20

Ansøger og Rådgiver:

Navn	Att:	Adresse	kontakt
Aarhus Vand A/S	Esben Bro	Gunnar Clausens Vej 34, 8260 Viby	aarhusvand@aarhusvand.dk esb@aarhusvand.dk
NIRAS A/S	Sara Bugge Ploug	Ceres Allé 3 8000 Aarhus C Danmark	SBP@NIRAS.DK
NIRAS A/S	Steffen Reestorff Frandsen	Ceres Allé 3 8000 Aarhus C Danmark	sbf@niras.dk

Følgende er underrettet om afgørelsen ud over ansøger (afgørelsens adresse):

Navn	Adresse	kontakt	CVR-nr:
Miljø og Fødevarestyrelsen	Haraldsgade 52, 2100 København Ø	mst@mst.dk	33157274
Sundhedsstyrelsen, bed- slægeinstitutionen Nord	Em- Langelandsgade 8, 8940 Randers	senord@sst.dk	12070918
Danmarks Fiskeriforening	Nordensvej 3, Taulov, 7000 Fredericia	mail@dkfisk.dk	45812510
Ferskvandsfiskeriforening- gen for Danmark, att. Kon- torhjelpen v/ Gitte Under- bjerg	NP Danmarksvej 79, 8732 Hovedgård	nb@ferskvandsfiskeriforening.dk	25145615
Danmarks Sportsfiskerfor- bund Hovedkontor	Skyttevej 4, Vingsted, 7182 Bred- sten	post@sportsfiskerforbundet.dk	37099015
Danmarks Naturfrednings- forening	Masnedøgade 20, 2100 Kø- benhavn Ø	dn@dn.dk	60804214
Friluftsrådet	Scandiagade 13, 2450 Kø- benhavn SV	fr@friluftsradet.dk	56230718
Dansk Ornitologisk For- ening		natur@dof.dk , aar- hus@dof.dk	54752415

9 Sagens akter

08. Februar 2019
Side 20 af 20

<u>Dokumentnr.</u>	<u>Titel</u>	<u>Kategori</u>	<u>Status</u>
18/033703-24	SV: Høring - Udkast - Tilladelse til Nedsivning og udledning af overfladevand i forbindelse med realiseringen af LP1029	Udgående d...	Endelig
18/033703-23	RE: Høring - Udkast - Tilladelse til Nedsivning og udledning af overfladevand i forbindelse med realiseringen af LP1029	Indgående ...	Endelig
18/033703-22	Høring - Udkast - Tilladelse til Nedsivning og udledning af overfladevand i forbindelse med realiseringen af LP1029	Udgående d...	Endelig
18/033703-21	SV: Tulipgrunden - Udformning af regnvandsbassin for etape 3	Udgående d...	Endelig
18/033703-20	Tulipgrunden - Opdateret bassinberegning for Etape 3	Indgående ...	Endelig
18/033703-19	Placering af Privat og offentlige kloakledninger C4_DE_E3_1_002_FT_20181105.pdf	Indgående ...	Endelig
18/033703-18	Tulipgrunden - Prøvetagning af filterjord	Indgående ...	Endelig
18/033703-17	RE: 18/033703-1 - Udkast - Tilladelse til Nedsivning og udledning af overfladevand i forbindelse med realiseringen af LP1029	Indgående ...	Endelig
18/033703-16	VS: Tulipgrunden - Mariendalsvej	Indgående ...	Endelig
18/033703-15	Tulip grunden: RBU skema	Indgående ...	Endelig
18/033703-14	RE: 18/033703-1 - Udkast - Tilladelse til Nedsivning og udledning af overfladevand i forbindelse med realiseringen af LP1029	Indgående ...	Endelig
18/033703-13	Bemærkninger til: - Tilladelse til Nedsivning og udledning af overfladevand i forbindelse med realiseringen af LP1029	Udgående d...	Endelig
18/033703-12	Tulipgrunden - Opfølgning på ansøgning og Planer for delområde 7	Indgående ...	Endelig
18/033703-11	Tulipgrunden - Monitoringsprogram på regnvandskvaliteten	Indgående ...	Endelig
18/033703-10	SV: Tulipgrunden - etablering af stibroer ved nedsivningsanlæg	Udgående d...	Endelig
18/033703-9	Tulipgrunden - etablering af stibroer ved nedsivningsanlæg	Indgående ...	Endelig
18/033703-8	SV: Tulip: Opfølgning på aktionspunkter	Indgående ...	Endelig
18/033703-7	SV: Tulip: Vedtægter - udtræk fra nedsivningstilladelse	Udgående d...	Endelig
18/033703-6	Tulip: Vedtægter - udtræk fra nedsivningstilladelse	Indgående ...	Endelig
18/033703-5	Opdateret regnvandshåndteringsplan - RE: Tulip: nedsivningstilladelse	Indgående ...	Endelig
18/033703-4	Tulip-grunden: Revideret Ansøgning om udlednings- og nedsivningstilladelse	Indgående ...	Endelig
18/033703-3	RE: Nedsivning tæt på husene og vej	Indgående ...	Endelig
18/033703-2	Ansøgning om udlednings- og nedsivningstilladelse på Tulipgrunden	Indgående ...	Endelig
18/033703-1	Udkast - Tilladelse til Nedsivning og udledning af overfladevand i forbindelse med realiseringen af LP1029	Udgående d...	Godkendt

17 BIBLIOGRAFI

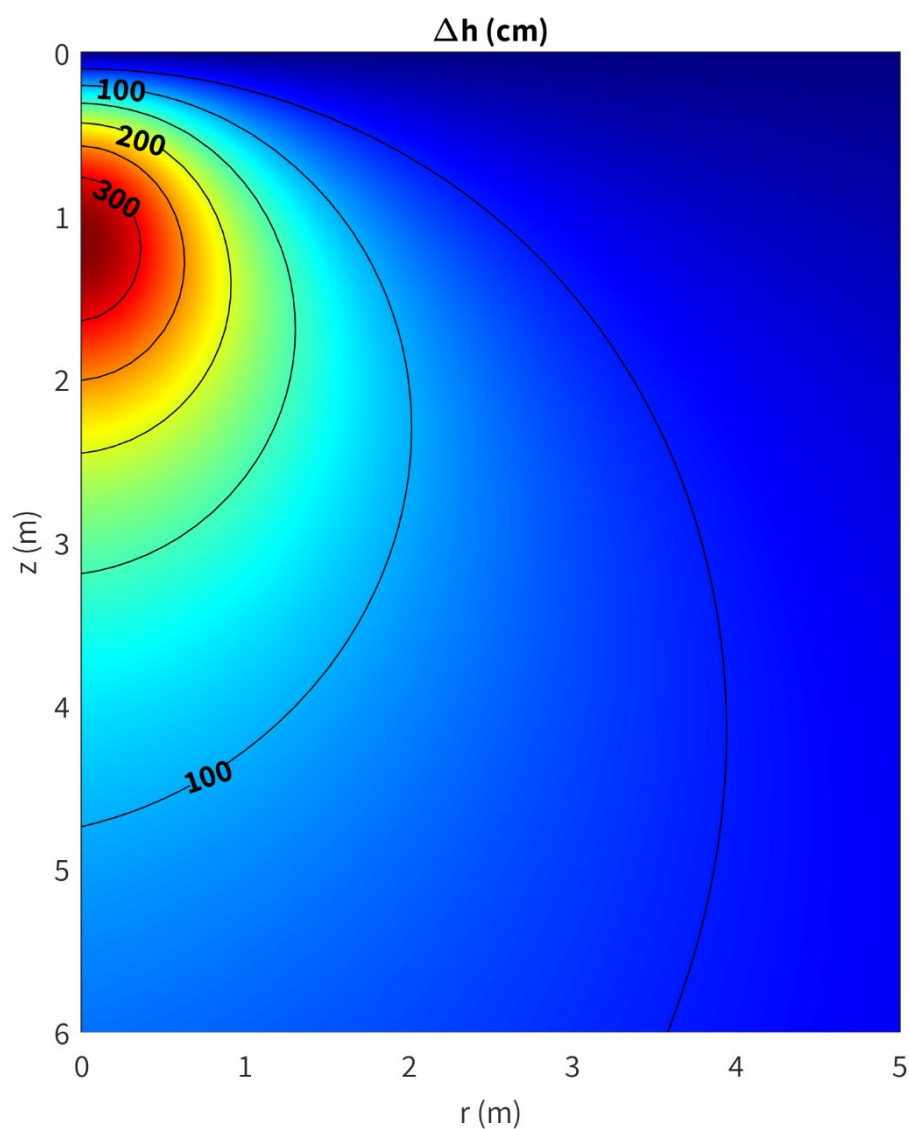
- Ballard, B. W., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., & Kellagher, R. (2015). *The SUDS Manual*. London: CIRIA.
- Bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter, jord og sorteret bygge- og anlægsaffald. , BEK nr 1672 (Miljø- og Fødevareministeriet 15. 12 2016).
- Bekendtgørelse om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4 1), BEK nr 1469 (12. 12 2017).
- Bekendtgørelse om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4, BEK nr 1448 (11. 12 2007).
- Bekendtgørelse om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4, BEK nr 46 (12. 01 2016).
- Betalingsloven*. (2020). Hentet fra LBK nr. 533 af 24/04/2020:
<https://www.retsinformation.dk/eli/lt/2020/553>
- Baaner, L. (2014). Klimatilpasning: udledning af regnvand fra veje og befæstede arealer. *Nordisk Miljörättslig Tidskrift/Nordic Environmental Law Journal*, s. 43-59.
- Fødevareministeriet, M. o. (2019).
<https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=210019#idbcc2eaac-3c78-4a82-a6d3-52c84d42f4dd>. Retsinformation.
- Hjelmar, O., Hougaard, T., Jette, H. B., Hyks, J., & Trap, N. (2019). *Identifikation af problematiske stoffer i overfladebehandlet tegl og beton, herunder eternitplader, fiberarmeret beton, klinker og sanitet*. Miljø og fødevareministeriet, miljøstyrelsen.
- Ingeniørforeningen, IDA. (2012). *KLIMATILPASNING AF DANMARK - IDAS KLIMATILPASNINGSSSTRATEGI*. Ingeniørforeningen IDA.
- Jensen, M. B., Markussen, H., & Holm, P. E. (2019). *Filterjord - erfaringer og status i DK 2019*. Københavns Universitet, Institut for geovidenskab og naturforvaltning.
- Miljøstyrelsen. (2012). En pesticidforurening - 15 år efter. Spredning, nedbrydning og akkumulation i jordsøjlen. *Bekæmpelsesmiddelforskning fra Miljøstyrelsen nr. 130*.
- Miljøstyrelsen. (2017). *Dybe bioporers forekomst og betydning for pesticidudvaskning i moræner*. Miljøstyrelsen.
- Petersen, M. F., Clausen, L., Sølling, J., Vezzaro, L., Eriksson, E., & Mikkelsen, P. S. (2013). *Afstrømning fra tagflader og befæstede arealer- Vurdering af forureningsrisici for grundvand*. Naturstyrelsen.
- Region Sjælland. (2014). *Klimarændringer, Forurenet jord- og grundvand*. Miljø og Ressourcer Region Sjælland.

Rørcentret. (2018). *Rørcenter-anvisning 026: LAR-ANLÆG Vejledning i projektering, dimensionering, udførelse og drift af LAR-anlæg*. Teknologisk Institut.

Scottish Environment Protection Agency. (2003). SUDS advise note Brownfield sites. SUDSWP (Sustainable Urban Drainage Scottish Working Party).

Vollertsen, J., Bester, K., Rudelle, E. A., Bollmann, U., Minelgaite, G., Stephansen, D. A., . . . Pedersen, M. L. (2017). *Biocider i urbane småsøer*. Miljø og fødevareministeriet, Miljøstyrelsen.

Bilag 2. Lokal Afledning af Regnvand Screeningsværktøj (LARS)



Søren Erbs Poulsen, Docent, Ph.d., VIA University College

LARS er udviklet i regi af ORMUM-projektet med støtte fra MUDP-fonden.

Bilag 2.1 Nomenklatur

a = hydraulisk diffusivitet [m^2/s]

r = radius [m]

b = mættet tykkelse af grundvandsmagasin [m]

r_0 = radius af LAR-bassin [m]

z = dybde [m]

t = tid [s]

Q = volumetrisk infiltrationsrate [m^3/s]

q = volumetrisk infiltrationsrate per meter dybde af LAR-bassin [m^2/s]

K = hydraulisk ledningsevne [m/s]

T = transmissivitet [m^2/s]

S_s = specifikt magasintal [1/m]

S = magasintal [-]

u = dimensionsløs integrationsvariabel [-]

J_0 = 1. Bessel-funktion af orden 0 [-]

J_1 = 1. Bessel-funktion af orden 1 [-]

Y_0 = 2. Bessel-funktion af orden 0 [-]

Y_1 = 2. Bessel-funktion af orden 1 [-]

I_0 = 1. Modificerede Bessel-funktion af orden 0 [-]

Link til program:

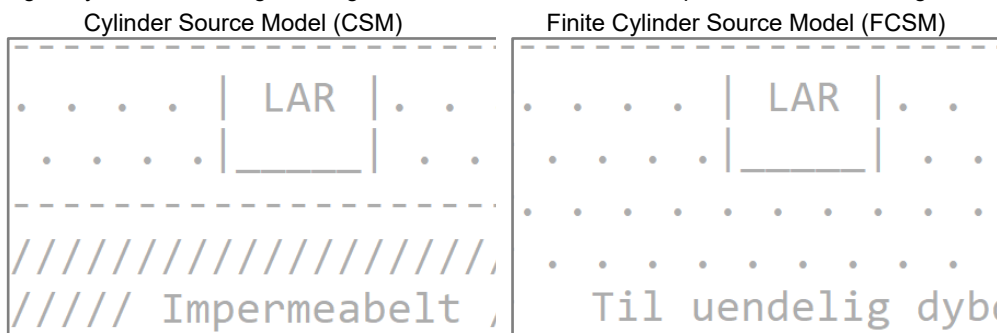
<https://www.ucviden.dk/da/projects/optimering-af-risiko-og-milj%C3%B8vurderingerne-ved-etablering-af-lar->

Bilag 2.2 Indledning og formål

LARS (Lokal Afledning af Regnvand Screeningværktøj) er et praktisk anvendeligt men samtidig fysisk baseret screeningsværktøj til vurdering af ændringer i det hydrauliske trykniveau i nærheden af LAR-bassiner. Hensigten er at gøre brugeren i stand til at foretage en hurtig og foreløbig vurdering af problematikkerne omkring mobilisering af eksisterende forureninger samt opstigende grundvand til kældre i forbindelse med etablering af LAR-bassiner.

Bilag 2.3 Metode

Screeningsværktøjet approssimerer LAR-bassinet med en cylinder, hvis tværsnitsareal svarer til LAR-bassinet horisontale udbredelse og hvorfra vandet infiltrerer horisontalt eller både horisontalt og vertikalt afhængig af, hvilken beregningsmodel man vælger. Værktøjet indeholder foreløbigt to analytiske beregningsmetoder, henholdsvis CSM og FCSM-modellen, til beregning af trykniveauændringen i omgivelserne over tid. Modelkoncepterne er skitseret i Figur 50.



Figur 36. Konceptuelle skitser af Cylinder Source Model (CSM, uendelig cylinderkilde-model) og Finite Cylinder Source Model (FCSM, endelig cylinderkildemodel).

De analytiske løsninger af Ingersoll et al. 1955 (CSM) og til det ækvivalente varmeledningsproblem af Bandos et al. 2014 (FCSM) er som følger:

Cylinder Source Model (CSM):

$$\Delta h(r, t) = \frac{q}{\pi^2 K} \int_0^\infty \left(e^{-\frac{u^2 a}{r^2}} - 1 \right) \frac{J_0\left(\frac{r}{r_0} u\right) Y_1(u) - Y_0\left(\frac{r}{r_0} u\right) J_1(u)}{u^2 [J_1^2(u) + Y_1^2(u)]} du \quad (1)$$

Finite Cylinder Source Model (FCSM):

$$\Delta h(r, z, t) = \frac{q}{4\pi K} \int_{-\frac{r}{\sqrt{4at}}}^{\frac{r}{\sqrt{4at}}} \frac{1}{u} \left[2 \operatorname{erf}\left(\frac{z}{r} u\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{b+z}{r} u\right) + \operatorname{erf}\left(\frac{b-z}{r} u\right) \right] I_0\left(\frac{2r_0}{r} u^2\right) \left[e^{-u^2(1+r_0^2/r^2)} \right] du \quad (2)$$

Når følgende betingelse er opfyldt anvendes linjekildemodellen i stedet for CSM-modellen (Theis, 1935):

$$\frac{at}{r^2} > 0.2 \quad (3)$$

Såfremt kriteriet er opfyldt, er forskellen imellem trykniveauer beregnet med henholdsvis CSM og linjekildemodellen ubetydelig, hvorfor sidstnævnte anvendes da denne er væsentligt lettere at beregne end CSM-modellen. Dette er illustreret senere i valideringen af modellen samt i beregningseksemplet for den østlige faskine på SPARK-grunden. Theis' linjekildemodel er:

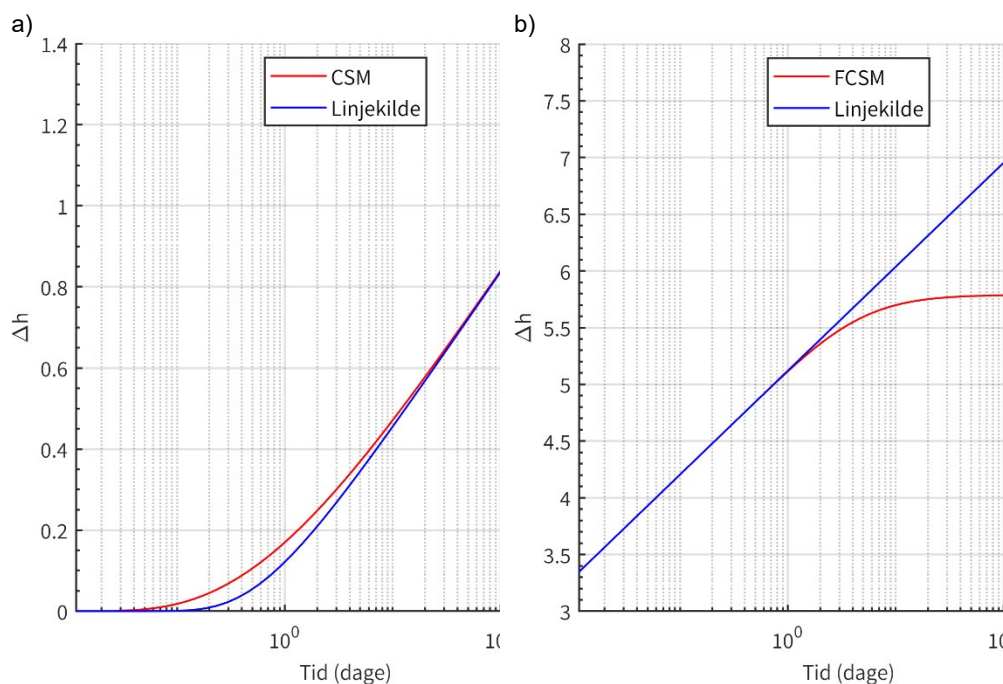
$$\Delta h(r, t) = \frac{Q}{4\pi T} \int_{\frac{r^2}{4at}}^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \quad (4)$$

CSM-modellen tager ikke højde for tilstedeværelsen af et frit grundvandsspejl omkring LAR-bassinet og den tilhørende ændring i transmissiviteten. Dermed overvurderes den hydrauliske påvirkning af omgivelserne med CSM-modellen.

De to integraler i ligning 1 og 2 integreres numerisk. Screeningsværktøjet er foreløbigt implementeret i Python. Der gives eksempler på anvendelse af modellerne i senere afsnit.

Bilag 2.4 Validering

CSM-modellen konvergerer over tid mod den klassiske linjekildeløsning som det er vist i Figur 51a.



Figur 37. Beregningseksempler med a) CSM og B) FCSM-modellen sammenlignet den velkendte linjekildeløsning (Theis, 1935).

FCSM-modellens beregnede trykniveauer følger linjekilde-løsningen til tidlig tid, hvorefter de stabiliserer sig som følge af vertikal strømning. Dette er også tilfældet som det kan se i Figur 51b.

Bilag 2.5 Anvendelse i praksis

I praksis er det geologien under LAR-bassinet, der er afgørende for, om man skal vælge CSM eller FCSM-modellen. Er der tynde, permeable lag umiddelbart under terræn, der underlejres af tykke vandstandsende lag, som det eksempelvis er tilfældet på SPARK-grunden, bør man vælge CSM-modellen og sætte dybden af LAR-bassinet til tykkelsen af de permeable aflejringer. I områder med tykke, permeable aflejringer umiddelbart under terræn bør man vælge FCSM-modellen, der tager højde for vertikal nedsivning.

Bilag 2.6 Eksempel 1: SPARK-grunden

I dette beregningseksempel undersøges påvirkningen af det omkringliggende grundvandsspejl fra infiltration af overfladevand i den tiltænkte, østlige faskine på SPARK-grunden i Aarhus. Faskinen har en horisontal udbredelse på 96 m² og der afledes 1260 m³/år. Tidshorisonten er 10 år. Modelinputtet ser ud som vist i Figur 52.

```
##### Input LAR-bassin #####
projekt navn = 'SPARK - faskine øest';
A = 96;          # Areal af LAR-bassin (m2)
H = 3;          # Dybde af bassin (m)
Q = 1260;       # Afledt vandmængde per år (m3/år)
K = 0.5e-4;     # Hydraulisk ledningsevne (m/s)
Ss = 0.005;     # Specifikt magasintal (1/m)
t = 10;         # Beregningstidspunkt (år)
r1 = 0;         # Beregningsafstand tættest på LAR (m)
rs = 5;         # Afstand mellem afstandspunkter (m)
r2 = 400;       # Beregningsafstand fjernest fra LAR (m)
z = 0.75;       # Beregningsdybde (m) - kun FCSM
##### Input LAR-bassin #####
```

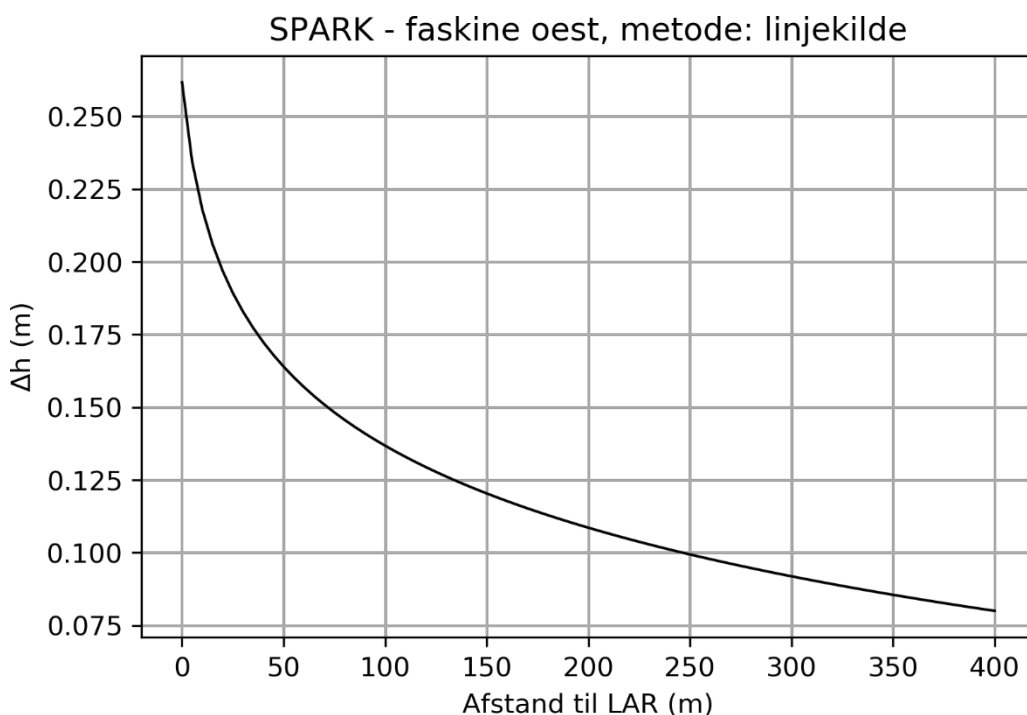
Figur 38. Input til screeningsværktøjet for den østlige faskine.

Efterfølgende vælges modellen, der i dette tilfælde er CSM-modellen da de øverste få meter med permeable sedimenter underlejres af et ganske tykt lag af vandstandsende moræneler (Figur 53).

```
##### Vælg model #####
# CSM: Sæt CSMB = True. FCSM: Sæt CSMB = False.
CSMB = True;
##### Vælg model #####
```

Figur 39. Valg af CSM-modellen i screeningsværktøjet.

Screeningsværktøjet eksekveres nu i en Python-platform (eksempelvis Spyder eller lignende) og tager kun ganske få sekunder. Der dannes nu et plot, der viser ændringen i trykniveauet som funktion af afstanden til LAR-bassinet (Figur 54).



Figur 40. Figuren der dannes ved kørsel af screeningsværktøjet for den østlige faskine på SPARK-grunden med anvendelse af linjekildemodellen.

Plottet gemmes i en .tif-fil i det bibliotek, hvor Python-scriptet (screeningsværktøjet) er placeret. Som det kan ses i Figur 54, så vælger screeningsværktøjet automatisk linjekildeløsningen da kriteriet i ligning 3 er opfyldt. Afstrømningen fra faskinen har en forholdsvis ringe indflydelse på det lokale grundvandsspejl og i en afstand af 250 m er forøgelsen af trykniveauet kun godt 10 cm.

Bilag 2.7 Eksempel 2: Infiltration i et tykt sandlag

Dette eksempel er hypotetisk og skal illustrere brugen af FCSM-modellen. Med inspiration fra den centrale faskine på SPARK-grunden antages der et LAR-bassin på 357 m² og at der skal afledes 20.000 m³ vand per år. I stedet for nær impermeabelt moræneler forestiller vi os i stedet at faskinen ligger i et lag af fin- til mellemkornet sand, med stor mægtighed (beregningmæssigt uendeligt nedefter).

Inputtet til eksempel 2 er vist i Figur 55.

```
##### Input LAR-bassin #####
projekt navn = 'Eksempel 2';
A = 357;           # Areal af LAR-bassin (m2)
H = 1.5;           # Dybde af bassin (m)
Q = 20000;         # Afledt vandmængde per år (m3/år)
K = 0.5e-4;        # Hydraulisk ledningsevne (m/s)
Ss = 0.005;        # Specifikt magasintal (1/m)
t = 10;            # Beregningstidspunkt (år)
r1 = 0;            # Beregningsafstand tættest på LAR (m)
rs = 0.01;         # Afstand mellem afstandspunkter (m)
r2 = 20;           # Beregningsafstand fjernest fra LAR (m)
z = 1;            # Beregningsdybde (m) - kun FCSM
##### Input LAR-bassin #####
```

Figur 41. Input til screeningsværktøjet for eksempel 2.

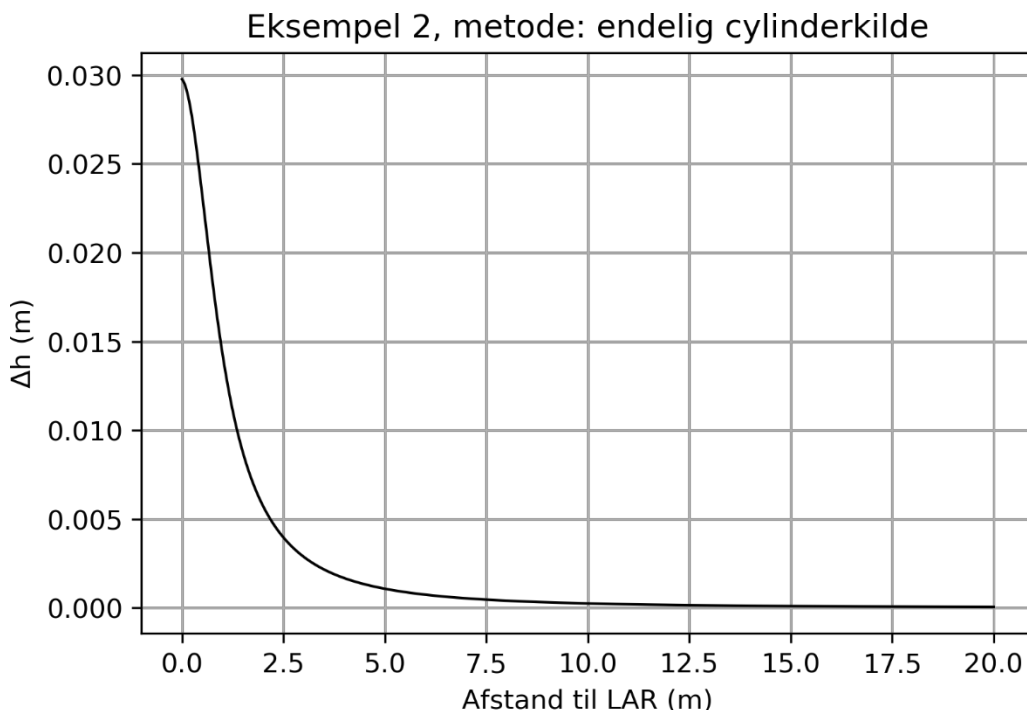
Læg mærke til at trykniveauet beregnes i 1 m dybde sådan som det er angivet i nederste linje i inputtet (Figur 55).

FCSM-modellen vælges som det er vist i Figur 56.

```
##### Vælg model #####
# CSM: CSMB = True. FCSM: CSMB = False.
CSMB = False;
##### Vælg model #####
```

Figur 42. Valg af FCSM-modellen i screeningsværktøjet.

Nu eksekveres screeningsværktøjet endnu en gang og følgende plot dannes (Figur 57).



Figur 43. Figuren der dannes ved kørsel af screeningsværktøjet for eksempel 2 med anvendelse af FCSM-modellen.

I dette eksempel er faskine-bassinet placeret i et tykt, permeabelt sandlag, hvor vandet rimeligvis frit kan afstrømme vertikalt. Derfor er den horisontale påvirkning af grundvandsspejlet ganske lille – nærmest ubetydelig. I en afstand af ca. 10 meter ser man stort set ingen påvirkning af det oprindelige grundvandsspejl.

Bilag 2.8 Litteratur

Bandos, T. V., Campos-Celador, A., López-González, L. M., Sala-Lizarraga, J. M., 2014. Finite cylinder-source model for energy pile heat exchangers: Effects of thermal storage and vertical temperature variations, *Energy*, Volume 78, Pages 639-648, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.10.053>.

Ingersoll, L. R. et al., 1955. *Heat conduction with engineering, geological, and other applications*, 3. udgave, 325 sider, New York, McGraw-Hill.

Theis, C.V., 1935. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage, *Am. Geophys. Union Trans.*, vol. 16, pp. 519-524.

Bilag 3. Minecraft

Minecraft-modellerne for Tulip og SPARK kombinerer den officielle danske Minecraft-model med de tilhørende geologiske modeller, der er udviklet i projektet. De kan downloades på følgende link:

<https://www.ucviden.dk/da/projects/optimering-af-risiko-og-milj%C3%B8vurderingerne-ved-etablering-af-lar->

Modellerne åbnes fra Java-versionen af Minecraft. Kopier modellerne over i biblioteket:

`C:\Users\<brugernavn>\AppData\Roaming\.minecraft\saves`

Brugernavn refererer til dit Windows login. Såfremt din Windows brugerdata ikke ligger på c:\drevet så skal du anføre drevet tilsvarende.

Når du har åbnet en af modellerne skal du teleportere dig selv til områderne. Tast `t` og skriv følgende kommando:

For SPARK:

`/teleport -26200 100 -22400`

For Tulip:

`/teleport -32000 100 -24000`

For at omregne fra UTM til Minecraft-koordinater anvendes følgende udtryk:

`Minecraft-X = UTMX - 600000`

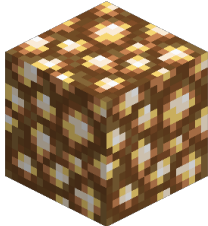
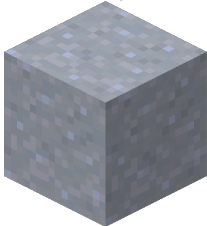
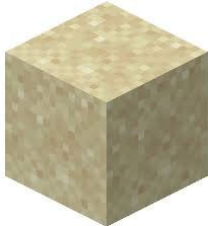
`Minecraft-Y = 6200000 - UTM Y`

Den vertikale Minecraft-koordinat beregnes på følgende måde ud fra koten:

`Minecraft-Z = 20 + kote`

Tabel 8 viser de litologiske enheder og de tilhørende Minecraft-blokke der er anvendt i SPARK- og Tulip-modellerne.

Tabel 5. Litologiske enheder og tilhørende Minecraft-blokke i SPARK- og Tulip-modellerne.

Fyldmateriale (antropo- gent)	Ler	Sand
Glowstone 	Clay 	Sand 

Optimering af risiko- og miljøvurderingerne ved etablering af LAR-løsninger i urbane miljøer – ORMUM

Projektet: "Optimering af risiko- og miljøvurderingerne ved etablering af LAR-løsninger i urbane miljøer (ORMUM)" havde til formål at udvikle og teste en procedure til risikovurdering i forhold til reaktivering af eksisterende forureninger i undergrunden ved etablering af LAR-anlæg i urbane områder. Projektets primære leverance er en "best practice" som myndighederne kan anvende som procedure ved vurdering af risikoen for reaktivering af forureninger. Proceduren er udviklet og testet på to case områder: "Tulip" og "SPARK" grundene i Århus. Projektet har med succes kunnet evaluere risikoen for forureningsspredning i de to case-områder. Begge steder har det vist sig at højtstående grundvand i nærheden af bebyggelse og anlæg umiddelbart er den største risiko.



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk