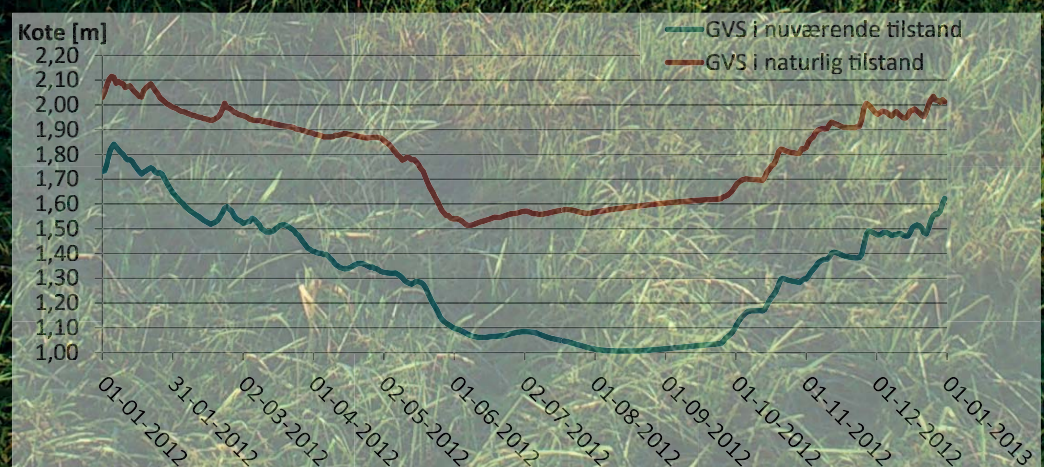
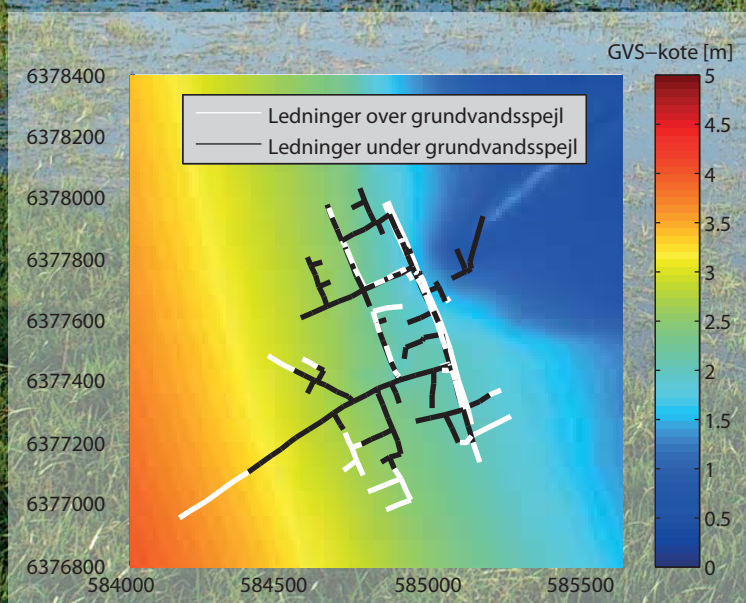
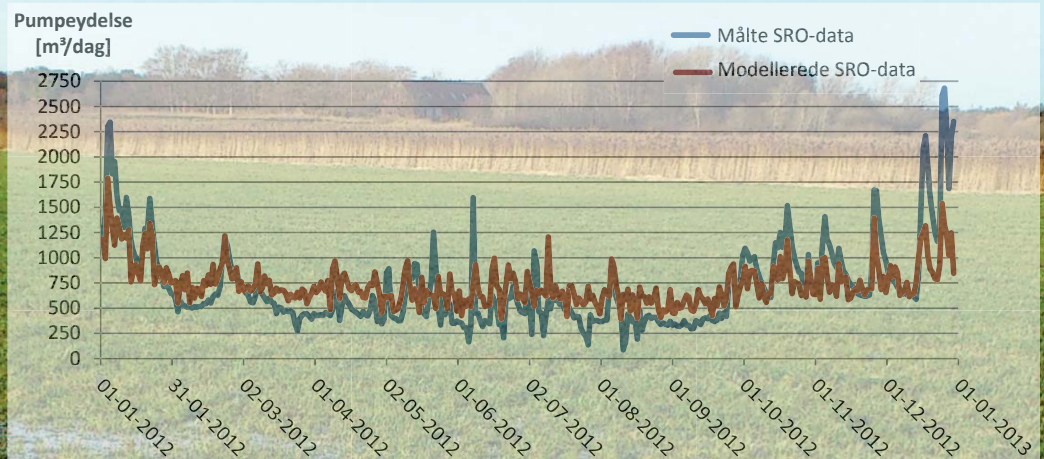


# Konsekvenserne af grundvandsindsivning til afløbssystemet nu og i fremtiden

En analyse af, hvilke konsekvenser utætte kloakledninger har på spildevandsmængden og grundvandsspejlet, i området nord for Frederikshavn, i dag og i fremtiden som følge af klimaændringerne.



AALBORG UNIVERSITET  
STUDENTERRAPPORT

Afgangsprojekt af:  
Jonas Dueholm Balling  
Uffe Bay Bøgh Larsen  
9. - 10. semester  
Vand & Miljø  
Aalborg Universitet





**Titel:**

Konsekvenserne af grundvands-  
indsivning til afløbssystemet  
nu og i fremtiden

**Synopsis:**

**Projektperiode:**

Efterårssemesteret 2013 og  
Forårssemesteret 2014

**Omfang:**

45 ECTS

**Deltagere:**

Jonas Dueholm Balling  
Uffe Bay Bøgh Larsen

**Vejleder:**

Søren Liedtke Thorndahl

**Sparingspartner:**

Rambøll v.  
Morten Severinsen

**Samarbejdspartner:**

Frederikshavn Forsyning v.  
Halfdan Bøgh  
Hans Peter Strange  
Peter Berg

Oplagstal: 4

Sidetal rapport: 100

Sidetal appendiks: 14

Bilags antal: 1

Afsluttet den: 10. juni 2014

På grund af klimaændringer er der en konstant stigning af grundvandsspejlet, der, kombineret med separering af regn- og spildevand samt lokale afledning af regnvand, vil give yderligere grundvandsstigninger de næste år. Det kan medføre, at utætheder i spildevandsnettet leder store mængder grundvand til rensningsanlægget. Samtidig fungerer spildevandsledningerne som dræn for grundvandet, hvorved der vil være en lokal sænkning af grundvandsspejlet. Derfor bestemmes det, i et område nord for Frederikshavn, hvor store mængder grundvand der siver ind i kloaknettet i dag. Til bestemmelsen af indsivningsmængden opbygges en kobling af MIKE URBAN og MIKE SHE. Koblelsen anvendes yderligere til at vurdere fremtidige ændringer i grundvandsspejlets placering og hvilke konsekvenser et ændret grundvandsspejl har på indsivningen til kloaknettet. Resultaterne fra koblingen viser, at der er en signifikant indsivning af grundvand til ledningssystemet, og herved også en signifikant sænkning af grundvandsspejlet. Til gengæld har det ved modellering af fremtidsscenerierne vist sig, at stigningen af grundvandsspejlet, og dermed indsivningsmængden, er relativ lille som funktion af klimaændringerne.

*Rapportens indhold er frit tilgængeligt, men offentliggørelse (med kildeangivelse) må kun ske efter aftale med forfatterne.*



# Forord

Projektet *Konsekvenserne af grundvandsindsivning til afløbssystemet nu og i fremtiden* er skrevet af studerene på 9. – 10. semester på Vand og Miljø linjen under studienævn for Byggeri og Anlæg på Aalborg Universitet. Projektet er lavet i samarbejde med Frederikshavn Forsyning og med Rambøll som sparringspartner, hvor Frederikshavn Forsyning har udleveret data, og Rambøll har assisteret med teknisk support samt licenser til diverse programmer. Derfor takkes Morten Severinsen fra Rambøll og Halldan Bøgh, Hans Peter Strange og Peter Berg fra Frederikshavns Forsyning.

Yderligere takkes Ole Munch Johansen fra Niras for at have været en stor hjælp i forhold til opsætning af grundvandsmodellen i MIKE SHE.

En tak skal også gå til Maria Roldin og Morten Rungø fra DHI for at have været en stor hjælp i forhold til koblingen af MIKE URBAN og MIKE SHE modellerne.

Endelige skal en tak også gå til DMI for at have leveret klimadata til projektet.

Projektet er påbegyndt den 1. september 2013 og afsluttet den 10. juni 2014.

I projektforløbet har følgende studerende deltaget:

---

Jonas Dueholm Balling

---

Uffe Bay Bøgh Larsen



# Abstract

According to Henriksen et al. [2012] the global warming will affect the weather and the sea level in Denmark. The precipitation volume will increase and events occur more often in the winter, spring and autumn. In the summer, the precipitation intensity will increase as well, but the dry periods in-between will be longer. This means that the groundwater recharge increases and the groundwater table will rise. Furthermore the rising temperature will increase the melting of glaciers and icecaps which causes the sea level to rise.

At the same time, the objective in many municipalities is to separate rain- and wastewater, so the wastewater treatment will be more efficient and the rainwater drained locally. To reach this objective most efficiently, it is important that the sewage pipes in the wastewater system are watertight. If this is not the case, the groundwater will infiltrate if the groundwater table is above the pipes. For areas where the groundwater is close to the terrain the volume of infiltrated groundwater can be high and there can be a lot "clean" water in the sewage system.

In order to determine the amount of clean water treated in the wastewater treatment plant, the part of clean water compared to wastewater in a sewer system is calculated. To compare the values, it is tested if a coupling of a groundwater model in MIKE SHE and an urban sewer system model in MIKE URBAN is able to model the infiltration of groundwater to the sewer system.

To calculate the infiltration of groundwater into the sewer system, an area north of Fredrikshavn is analyzed. Except for a small area with a combined sewer system, the entire area is a wastewater system. It also contains rainwater pipes, but these are directed to streams and ditches. Therefore the amount of water that is unauthorized in the wastewater sewer can be calculated with small uncertainties.

By setting up the two models and then couple and calibrate them, it is possible to calculate the leakage of groundwater to the sewage pipes. The models are therefore used to describe the situation as it is today. Afterwards the climate changes are added to the models and the future scenarios are simulated as well.

The results of the models show that infiltration of groundwater into the sewer system make up for more than half of the water volume transported to the wastewater treatment plant to day. At the same the results show that if the system is tightened, the groundwater table will rise significantly

which can cause leakage into basements or even flooding in some areas. In the future the amount of groundwater infiltrating to the sewer system will increase, but due to an increase of inhabitants of the area, the amount per person will fall. At the same time the groundwater table will rise even more, so the risk of flooding or leakage into basements is bigger. Therefore it is recommended that changes are made to the system, both to save money and to keep areas from flooding. However the necessary changes are not further analyzed.



# Indholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Indledning</b>	<b>1</b>
1.1	Formål . . . . .	2
1.2	Projektafgrænsning . . . . .	4
<b>I</b>	<b>Fokus- og modelområde</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Fokusområdets opbygning og karakteristika</b>	<b>9</b>
2.1	Landskab og geologi . . . . .	9
2.2	Kloaknettet . . . . .	12
2.3	Hydraulisk-hydrologisk sammenhæng . . . . .	14
<b>3</b>	<b>Modellering af afløbssystemet</b>	<b>19</b>
3.1	Modelopsætning . . . . .	20
3.1.1	Bassiner . . . . .	20
3.2	Oplande . . . . .	20
3.2.1	Spildevandsbelastning . . . . .	21
3.3	Resultater . . . . .	21
<b>4</b>	<b>Modellering af grundvand</b>	<b>27</b>
4.1	DK – modellen . . . . .	27
4.2	Detailmodellerne . . . . .	29
4.3	Resultater . . . . .	31
<b>5</b>	<b>Kobling af grundvandsmodel og afløbsmodel</b>	<b>33</b>
5.1	Kalibrering af vandløb og grundvand . . . . .	34
5.1.1	Validering af vandløb- og grundvandskalibreringen . . . . .	36
5.2	Kalibrering af $C_L$ til ledningsnettet i Napstjert . . . . .	40
5.3	Kalibrering af $C_L$ til ledningsnettet i Jerup . . . . .	44
5.4	Kalibrering af $C_L$ til ledningsnettet i Strandby og Elling . . . . .	46
<b>6</b>	<b>Beskrivelse af den nuværende situation</b>	<b>49</b>
6.1	Napstjert . . . . .	49

6.2	Jerup . . . . .	51
6.3	Strandby og Elling . . . . .	53
6.4	Indsivningens påvirkning af grundvandsspejlet i forhold til naturlige forhold . .	54
<b>II</b>	<b>Klimaændringer og modellering af fremtidige scenarier</b>	<b>57</b>
<b>7</b>	<b>Klimaændringer</b>	<b>59</b>
7.1	Havniveaustigninger . . . . .	61
<b>8</b>	<b>Beskrivelse af fremtidige scenarier</b>	<b>63</b>
8.1	Fremtidige scenarier i Napstjert . . . . .	64
8.2	Fremtidige scenarier i Jerup . . . . .	64
8.2.1	Ændring af grundvandsspejlet i Jerup . . . . .	64
8.2.2	Ændring af pumpeydelsen for Jerup-pumpen . . . . .	67
8.3	Fremtidige scenarier i Strandby og Elling . . . . .	68
8.3.1	Ændring af grundvandsspejlet i Strandby og Elling . . . . .	68
8.3.2	Ændring af pumpeydelsen for Elling Å-pumpen . . . . .	70
<b>III</b>	<b>Diskussion og konklusion</b>	<b>73</b>
<b>9</b>	<b>Diskussion</b>	<b>75</b>
9.1	Koblingen af MIKE SHE og MIKE URBAN. . . . .	75
9.2	Randeffekter, geologi og vegetation . . . . .	76
9.2.1	Gridstørrelse . . . . .	78
9.3	Manglende grøfter og tomme kanaler . . . . .	78
9.4	Usikkerheder på målte SRO-data . . . . .	79
9.5	Værdien af PE . . . . .	79
9.6	Dobbletregn . . . . .	79
9.7	Klimafremskrivningen . . . . .	80
9.8	Resultater . . . . .	80
9.8.1	Fremtidige scenarier . . . . .	81
9.9	Opsummering . . . . .	82
<b>10</b>	<b>Konklusion</b>	<b>83</b>
	<b>Litteratur</b>	<b>85</b>
<b>IV</b>	<b>Appendiks</b>	<b>I</b>
	<b>Appendiks A CD-bilag</b>	<b>III</b>
	<b>Appendiks B Teknisk gennemgang af koblingen af MIKE URBAN og MIKE SHE</b>	<b>V</b>

<b>Appendiks C Grundvandstværsnit</b>	<b>XI</b>
<b>Appendiks D Sammenligning af målte data til definition af potentiel fordampning.</b>	<b>XIII</b>



# 1 Indledning

---

I Danmark, der er et fladt land, vil klimaændringer og den globale opvarmning have en signifikant indflydelse på grundvandsspejlets placering. Den stigende temperatur medfører, at der kommer flere regnhændelser om vinteren, og mere ekstreme hændelser om sommeren. Den større nedbørsmængde vil øge grundvandsdannelsen, hvorved grundvandsspejlet generelt vil stige. Yderligere vil den globale opvarmning forårsage en øget afsmeltning af is ved polerne, og derved få havniveauet til at stige, hvilket kan medføre en yderligere stigning af grundvandsspejlet [Olesen et al., 2012]. Ifølge GEUS-rapport 116 fra 2012, omhandlende klimaændringernes effekter på hydrologi og grundvand, vil grundvandet i hele Danmark stige med op til 1 meter inden for 50 til 100 år [Henriksen et al., 2012]. I de kystnære områder, hvor grundvandet i forvejen ligger højt, vil en grundvandsstigning på 1 meter have store konsekvenser, da grundvandet blandt andet kan trænge ind i kældre eller oversvømme større områder. Det kan medføre store økonomiske konsekvenser for både husejere, kommunen og forsikringsselskaberne.

I Danmark er der mange steder et ønske i kommunernes spildevandsplaner om at separere regn- og spildevand. Spildevandsrensningen skal centraliseres og effektiviseres, mens regnvandet decentraliseres og afledes lokalt. Formålet med spildevandsplanerne er, at mængden af vand der løber til renseanlægget, bliver mindre samtidig med, at spildevandet bliver mere koncentreret, hvilket giver en mere effektiv rensning og lavere driftsudgifter. Yderligere er målet i mange spildevandsplaner, at de ældre utætte ledninger skal udskiftes med nye, så indsivning af grundvand i utætte ledninger reduceres. Det skyldes, at utætte spildevandsledninger virker som dræn [Gustafsson, 2000]. Herved sænkes grundvandsspejlet i forhold til det naturlige niveau. Hvis de utætte ledninger tætnes eller udskiftes med nye, vil der ikke kun være et reduceret indløb af ”rent” vand til renseanlægget, men også en betragtelig stigning af grundvandsspejlet. I enkelte områder er der observeret stigninger på op til 1 meter efter ledningsnettet er restaureret [Frederikshavn Forsyning, 2013b].

For at beskrive konsekvenserne af indsivning af grundvand til afløbssystemet, opsættes en grundvandsmodel og en afløbsmodel i henholdsvis MIKE SHE (MS) og MIKE URBAN (MU) [DHI, 2012a]. MS anvendes til at klarlægge årstidsvariationen af grundvandsspejlet, mens MU anvendes til at klarlægge mængden af regnvand, spildevand fra husstande og industri samt mængden af uvedkommende vand, der løber i afløbssystemet. Herefter laves en kobling af de to modeller. Koblingen er også udviklet af DHI, men er endnu ikke en integreret del af modellerne. Med koblingen kan den hydrologiske og hydrauliske sammenhæng kombineres, hvorved de to modeller tilsammen kan give et mere nøjagtigt billede af virkeligheden, end hver for sig. Dette ses i blandt andet i Gustafsson [2000] og Domingo et al. [2010].

I Gustafsson [2000] anvendes koblingen af MU og MS til at beskrive ledningsnettets indflydelse på grundvandsspejlets placering, og hvilke konsekvenser en tætning af systemet vil have på grundvandsspejlet. Yderligere anvendes koblingen til at bestemme placeringen af drænrør for at formindske indsivningen af grundvand til kældre og fundamenter, samt til at formindske indsivningen og derved tilledningen til renseanlægget, hvorved en mere effektiv rensning opnås.

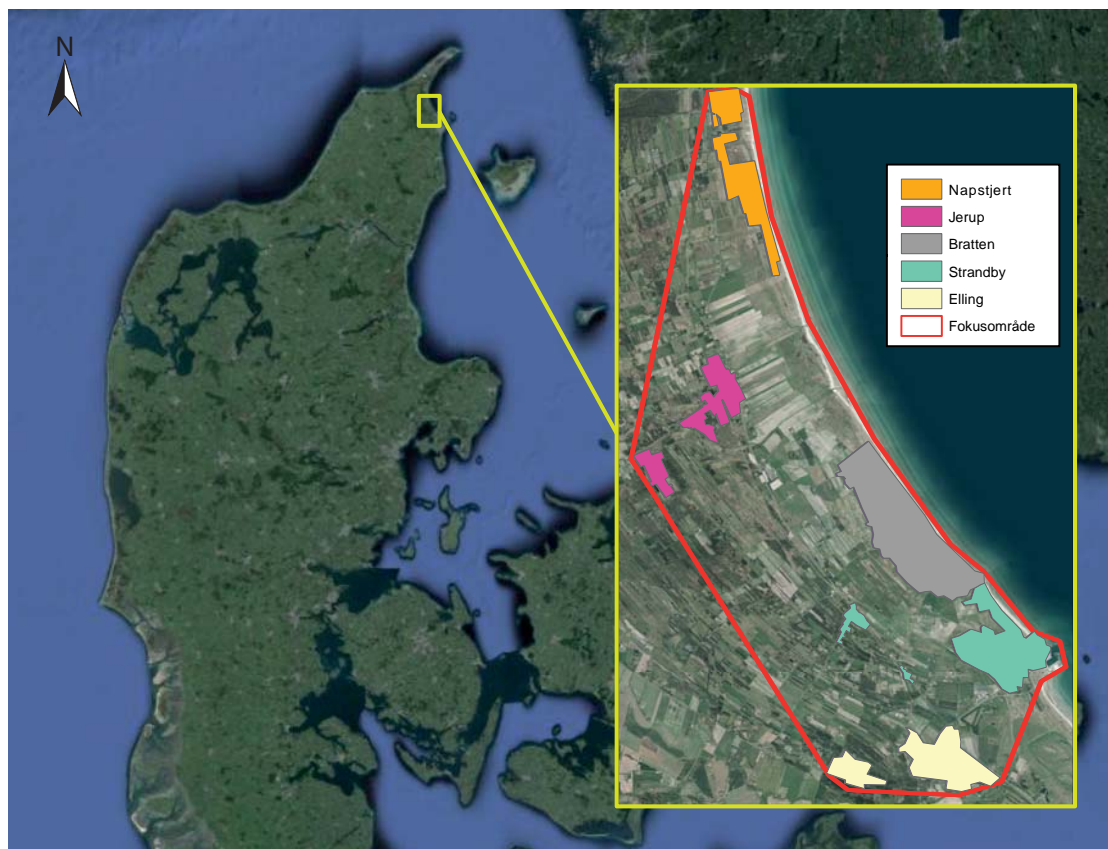
I Domingo et al. [2010] anvendes koblingen til at modellere oversvømmelseshændelser ved ekstremregn. Artiklen viser, at oversvømmelsernes udbredelse og volumen bliver mere nøjagtige for bymiljøer med koblingen af MS og MU, end hvis der anvendes en "1D rør – 2D overflade" kobling af MIKE FLOOD og MU.

Som det fremgår af begge artikler, kan koblingen af MS og MU anvendes til at modellere den hydrologiske-hydrauliske cyklus mellem grundvand og afløbssystem. Til gengæld fremgår det ikke af artiklerne hvilke konsekvenser de fremtidige scenarier, hvor systemerne skal håndtere mere vand, har.

### 1.1 Formål

Derfor er formålet at forsøge at anvende koblingen af MS og MU til at modellere indsivningen af grundvand til et afløbssystem, og til at forudsige hvilke konsekvenser, det vil have for mængden af vand i systemet og placeringen af grundvandsspejlet, som funktion af klimaændringerne. Yderligere forsøges koblingen anvendt til at beskrive hvilke konsekvenser, det vil have for mængden af vand der ledes til renseanlægget, og til at klarlægge grundvandsspejlets placering, hvis ledningerne tættes eller udskiftes. For at undersøge problemstillingen, udvælges et mindre område kaldet "Fokusområdet". Placeringen af Fokusområdet er valgt på et møde den. 2. oktober 2013 mellem de studerende, Aalborg Universitet, Rambøll og Frederikshavn Forsyning, og kan ses på figur 1.1.

Fokusområdet ligger nord for Frederikshavn i Nordjylland, hvor der i følge Olesen et al. [2012] vil være signifikante havniveaustigninger på trods af, at der i området vil være større landhævninger end i resten af Danmark. Samtidigt er Fokusområdet kystnært, og grundvandet ligger typisk mellem 0 og 1 meter under terræn [Henriksen et al., 2012]. I følge Henriksen et al. [2012] vil grundvandet i området de næste 50 – 100 år stige mellem 0 og 1 meter, hvilket betyder, at grundvandsspejlet vil ligge tæt på terræn, og derfor kan sive ind i blandt andet kældre. Med det nuværende terrænnære grundvandsspejl, og en fremtidig grundvandsstigning i området, vurderes det til at være et kritisk område, hvor klimaændringerne og tilstanden af afløbssystemet får særlig store konsekvenser, på trods af landhævningerne, beskrevet i [Olesen et al., 2012].



Figur 1.1: Fokusområdet med byerne markeret. [COWI, 2012]

I dag er der allerede observeret problemer med et terrænnært grundvandsspejl i Fokusområdet, da der især i Napstjert er en relativ stor mængde indsivning af grundvand til spildevandssystemet [Frederikshavn Forsyning, 2013b]. Dette ses blandt andet ved, at en spildevandspumpe i Napstjert kører næsten konstant døgnet rundt, hvilket den ikke burde, set i forhold til antallet af husstande [Frederikshavn Forsyning, 2013b].

Derfor modelleres den nuværende situation for at undersøge, om der er problemer med høj grundvandstand og kraftig indsivning i andre dele af Fokusområdet end Napstjert. Herefter modelleres fremtidige scenarier for år 2050 og 2100, så grundvandsspejlets placering som funktion af klimaændringer og tætning af kloaknettet kan undersøges. Dette anvendes til at klarlægge hvilke områder der i fremtiden vil have problemer med høj grundvandsstand, og hvor stor mængden af vand, der løber til renseanlægget er.

## 1.2 Projektafgrænsning

Til modelleringen anvendes en kobling af MU og MS. Da den hydraulisk-hydrologiske sammenhæng påvirker begge modeller, kalibreres modellerne samtidig. Til kalibrering af parametrene i MS sammenlignes modellerede vandføringer i Elling Å med afstrømningsmålinger foretaget i Elling Å ved Elling Kirke. Da der ikke findes afstrømningsmålinger fra senere end år 2005, anvendes denne periode til kalibreringen af MS. Da det vurderes, at den pågældende datamængde er for lille til, at modellerne kan valideres, blev det besluttet at påbegynde en pejling af grundvandsspejlet. Pejlingen begyndte den 3. april 2014, hvor der fortsat logges data. Ud af denne periode anvendes data fra 5. april til 29. april 2014 til at validere grundvandsspejlet. Pejledataene er foretaget i placeringer som angivet på figur 1.2. I perioden er der desuden lavet nedbørsmålinger i området, som senere anvendes til validering af de anvendte regnserier. Nedbørsmålingerne er også foretaget ved Jerup-pejlingen.



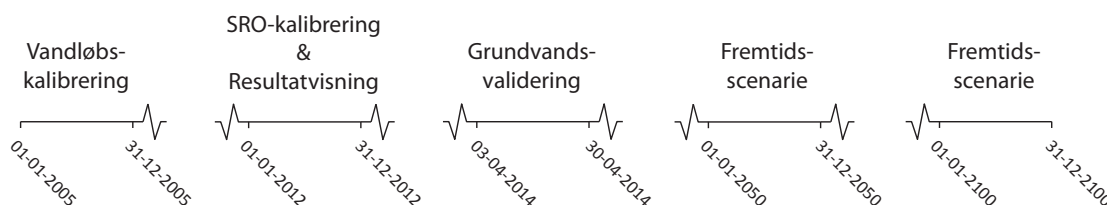


Figur 1.2: Placeringer af pejlemålinger og anvendte pumpestationer. [COWI, 2012]

Til kalibrering af udvekslingen af vand mellem MU- og MS-modellerne, anvendes målte SRO-data fra tre pumpestationer. De målte SRO-data er flowmålinger fra alle tre pumpestationer fra den 10. oktober 2011 og frem til i dag. Placeringen af de tre pumpestationer er også vist på figur 1.2.

Da formålet er at modellere klimaændringernes effekt på indsivningen varierende over året, simuleres et helt år, fremfor enkelte ekstremhændelser. Derfor anvendes data fra en regnserie fra ét helt år, hvor værdierne i regnserien fremskrives med maksimum værdier for året varierende for de fire årstider. Hvorfor der kun fremskrives med maksimumsværdier beskrives i kapitel 8. Yderligere fremskrives ændringer havniveauet, hvilket også beskrives i kapitel 8. De målte SRO-data først er tilgængelige fra den 10. oktober 2011, og derfor anvendes perioden fra 10. oktober til 31. december 2011 som opvarmningsperiode, for at give grundvandsspejlet tid til at stabilisere sig. Herefter anvendes målte og modellerede SRO-data fra 2012 til kalibrering af indsivningen af grundvand. Efter kalibreringen anvendes modellerede data fra 2012 til fremskrivning til henholdsvis 2050 og 2100. År 2012 vælges til fremskrivning, da det, inden for nedbør, vurderes at være et middelår uden flere store ekstremhændelser.

For at give et bedre overblik over de forskellige anvendte perioder, er de illustreret på figur 1.3.



Figur 1.3: Anvendte perioder til kalibrering, validering og fremskrivning.

Da der haves meget få data til at kalibrere med bliver kalibreringen grov. For at bestemme klimaændringernes betydning på indsivningen, antages det at have en minimal effekt. Det skyldes, at der i dette tilfælde udelukkende fokuseres på forskellen mellem modellering af et opstillet nutidsscenario og forskellige fremtidsscenarioer. Kalibreringen af modellerne er beskrevet i kapitel 5.

For at kunne modellere den nuværende situation beskrives de parametre der udgør opbygningen af den nuværende situation for Fokus- og modelområdet først.

## **Del I**

# **Fokus- og modelområde**

**Fokusområdet præsenteres hvorunder topografien, geologien, hydrologien og kloaknettet beskrives. Samtidig præsenteres modelopbygningerne i MU og MS samt de input der er anvendt hertil.**



# 2

## Fokusområdets opbygning og karakteristika

---

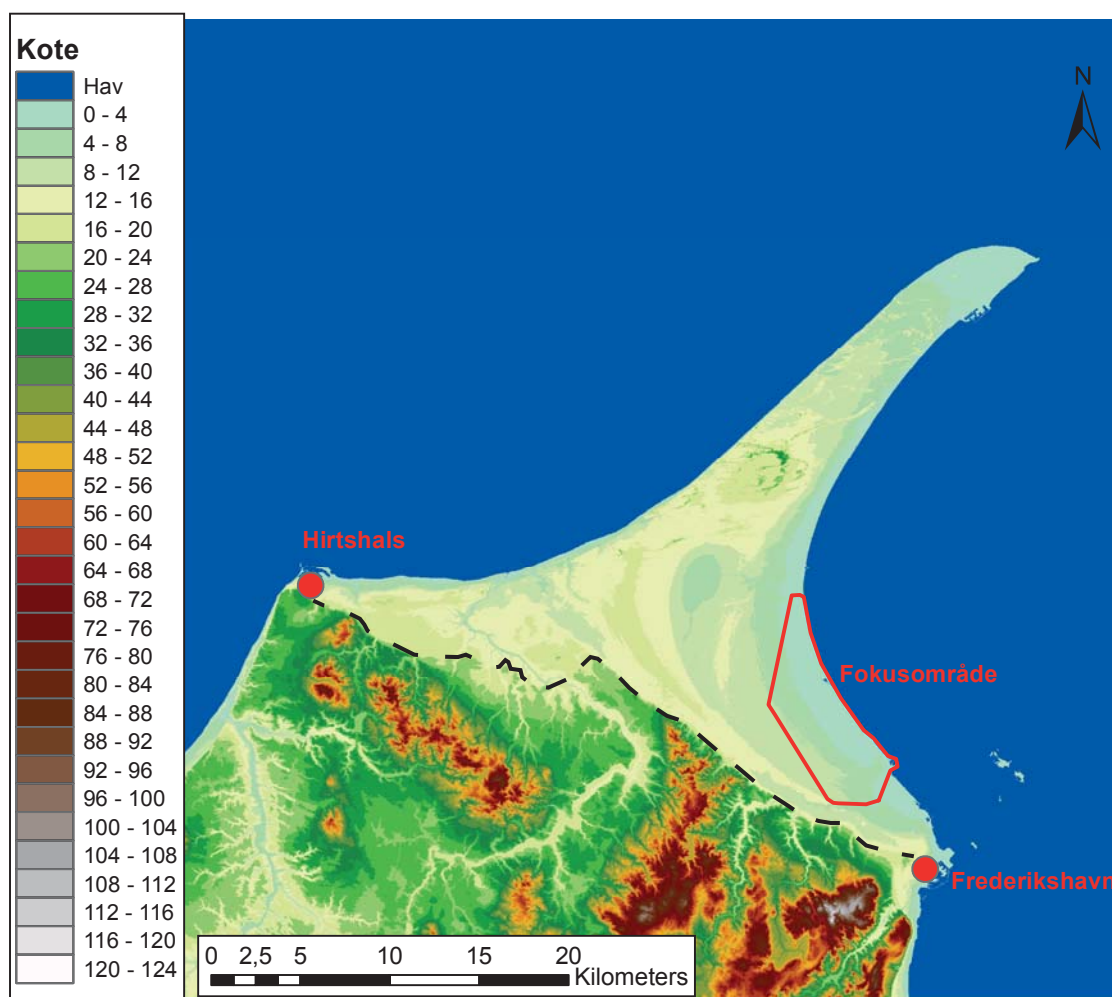
For at kunne modellere situationen i Fokusområdet i MU og MS, kræves der et bedre kendskab til landskabet, geologien, grundvandet, kloaknettet og antallet af mennesker der bor i området. I afsnit 2.1 redegøres der for geologien og arealanvendelsen i området. Det gøres både for at beskrive jordens hydrauliske ledningsevne og arealanvendelsen i området. I afsnit 2.2 beskrives kloaksystemet i Fokusområdet og antallet af personer der bor i hvert opland. I beskrivelsen medtages de ændringer og udvidelser Frederikshavn Forsyning har planlagt for kloaknettet og de tilhørende oplande. Afsnittet omhandler ledningsnettet og de tilhørende oplande, samt pumper og overløb, som alle indsættes i MU. I afsnit 2.3 beskrives den hydrologiske cyklus for grundvandet hvorunder indvindingsboringer, lokale udledninger og bassiner og vandføringer i vandløb. Afsnittet anvendes til at beskrive de input, der skal være for at kunne modellere grundvandsspejlets placering i Fokusområdet.

---

I Fokusområdet bidrager byerne Napstjert, Jerup, Nielstrup, Bannerslund Mark, Elling og Strandby, hvor sidstnævnte er den største af byerne, med spildevand til afløbssystemet. Herudover bidrager Ammonitionsarsenalet og fængslet ”Kragsskovhede lejren” også til afløbssystemet.

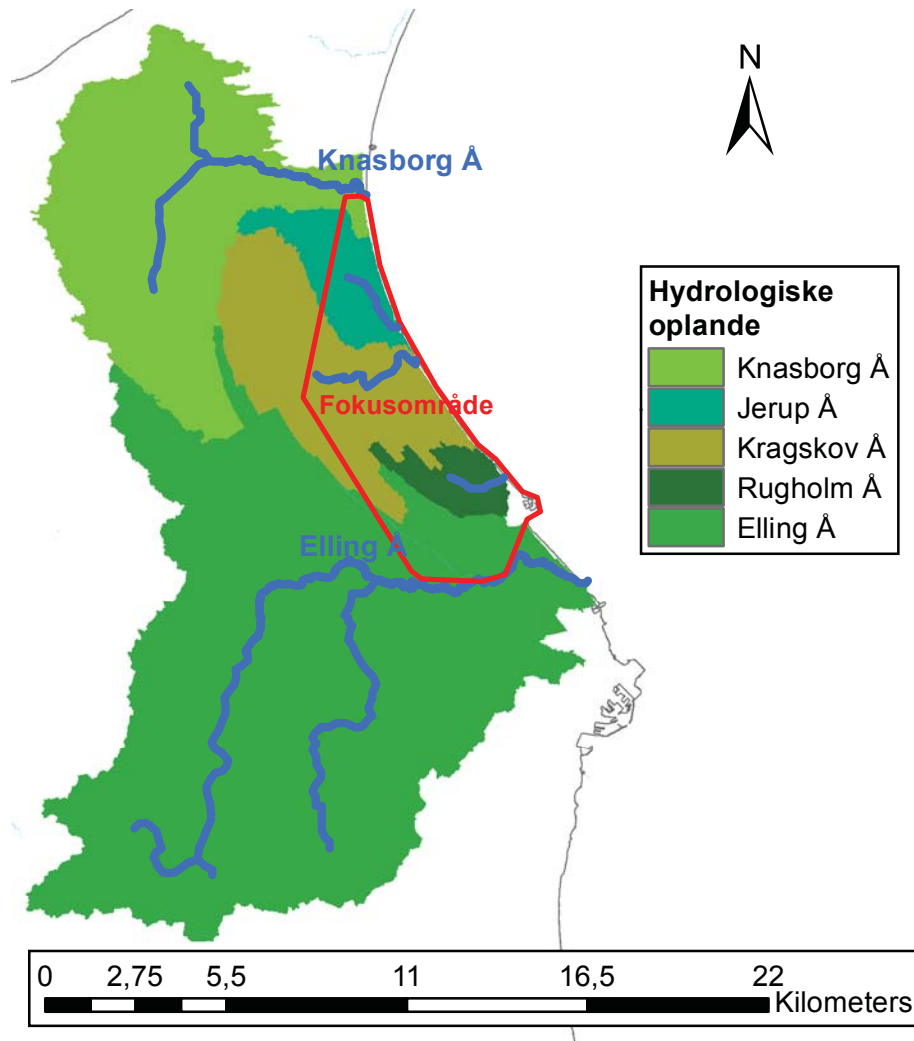
### 2.1 Landskab og geologi

Fokusområdet er placeret i den nordlige del af Vendsyssel, hvilket vil sige, at området er skabt efter isen fra sidste istid har trukket sig tilbage for ca. 10.000 år siden. Efter isens tilbagetrækken begyndte landet at hæve sig, men Fokusområdet var stadig under havets overflade. Med tiden blev der med havstrømmene transporteret sand op langs Jyllands vestkyst, som blev aflejret, og i dag skaber de øverste geologiske lag fra spidsen af Grenen ned til en topografisk linje mellem Hirtshals og Frederikshavn, se figur 2.1. Området med aflejringerne har derfor en homogen og ensformig geologi i de øverste lag, der primært består af sand. Da Fokusområdet er kystnært, og grundvandet ligger højt, vil det hovedsagligt være geologien i de øverste lag, der påvirker variationen i grundvandsspejlet. Det medfører, at det øverste geologiske lag i Fokusområdets kan defineres som sand. Udover at geologien i området er homogen og ensformig, er området fladt og lavtliggende, hvilket også er illustreret på figur 2.1.



Figur 2.1: Topografien i det nordlige Vendsyssel med Fokusområdet og topografisk linje mellem Frederikshavn og Hirtshals illustreret. Modificeret fra [Kortforsyningen, 2013].

I Fokusområdet gør det flade og kystnære terræn, at grundvandsspejlet ligger tæt på terræn i størstedelen af området. Det medfører, at jorden i det meste af området bør drænes hvis den skal anvendes til og landbrug. Da området hovedsageligt består af hede- og plantagearealer eller skov samt landbrug har området mange afvandingskanaler, som løber sammen til vandløb der udmunder i Kattegat. Udover vandløbene skabt af afvandingskanalerne i området, findes der også enkelte større naturlige vandløb. Det er Knasborg Å, der udmunder i den nordlige del af området og Elling Å der udmunder lige syd for Strandby. Dele af åerne er illustreret på figur 2.2, der yderligere illustrerer hvordan området er fordelt på de enkelte vandløbsoplande. Figuren er lavet ud fra topografiske kort, hvilket vurderes at være acceptabelt grundet den homogene sandede undergrund samt det kystnære terræn. Med grundvandsspejlet liggende tæt på terræn i en sandet undergrund er sandsynligheden for spændte grundvandsmagasiner lille, hvorfor de hydrologiske oplande typisk følger topografien.



Figur 2.2: Hydrologiske vandløbsoplande lavet ud fra topografiske kort. Modificeret fra [Kortforsyningen, 2013].

Som det fremgår af figur 2.2, er det samlede areal af vandløbsoplandene en del større end Fokusområdet, hvilket skyldes, at vandet, der under regnhændelser falder på hele oplandet, med tiden vil afstrømme til vandløbene, hvorved vandspejlet i vandløbet og derved grundvandspejlet for hele området bliver påvirket. Når grundvandsmodellen simuleres i MS, er det derfor vigtigt, at der i modellen medtages et større område end Fokusområdet. Dette gøres for at minimere randeffekter i Fokusområdet.

## 2.2 Kloaknettet

Det terrænnære grundvandspejl og den flade topografi i området gør, at spildevandet ikke kan løbe udelukkende ved hjælp af gravitation. Derfor er det nødvendigt, at pumpe spildevandet på en del strækninger. Spildevandet pumpes fra Napstjert til Jerup, hvor Kragsskovhede lejren også kobles på, og pumpes videre til Strandby. Samtidig pumpes spildevandet fra Nielstrup til Bannerslund Mark, hvorfra det løber videre til Strandby. Fra Strandby løber vandet videre mod syd, hvor kloakoplandet ved Elling kobles på, og hvor det ved ”Elling-Å pumpen” pumpes til Frederikshavn, se figur 2.3. Den gennemgående ledning, der går fra Napstjert til Elling-Å pumpen, kaldes fremover for ”Hovedledningen”. I Fokusområdet er der i alt 25 pumpestationer, og fordelingen af pumper er vist i tabel 2.1. Placeringen af pumperne er illustreret på figur 2.3.

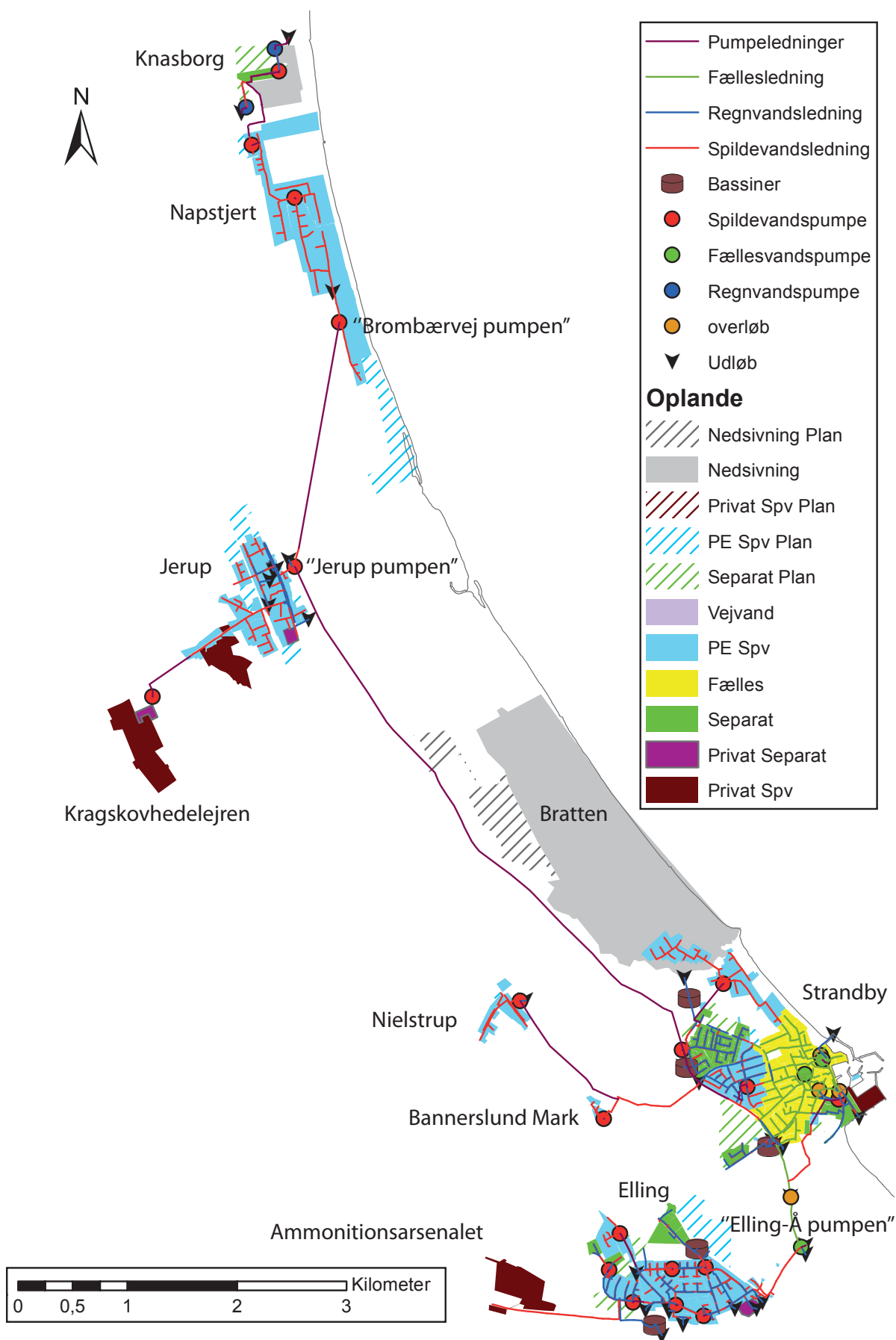
	Regnvand	Spildevand	Fællesvand	Privat	Samlet
Napstjert	2	3	0	0	5
Jerup	0	0	0	1	1
Nielstrup	0	1	0	0	1
Bannerslund Mark	0	1	0	0	1
Strandby	0	5	2	0	7
Elling	0	7	0	0	7
Hovedledningen	0	2	1	0	3
Total					25

Tabel 2.1: Fordelingen af pumper i Fokusområdet.

Som det ses på figur 2.3 er hele Jerup, Elling, Bannerslund Mark, Nielstrup og dele af Strandby og Napstjert separatkloakeret eller spildevandskloakeret, mens den indre del af Strandby er fælleskloakeret. Alt vandet fra spildevandsnettet sendes til Frederikshavn Rensningsanlæg. Herudover ligger der et sommerhusområde i Napstjert og Bratten, med ca. 500 husstande, hvor der er enten nedsivningsanlæg eller septiktanke, der tømmes jævnligt, og derfor ikke er koblet til afløbssystemet. Det samme er gældende for gårde og husstande udenfor de kloakerede byer.

For dele af Jerup og Elling, og den spildevandskloakerede del af Strandby, er der ud over spildevandsnettet også et regnvandsnet, der afleder regnvandet fra blandt andet veje, cykelstier og fortove. I de separatkloakerede områder ledes tagvand og vand fra overfladearealer på regnvandsnettet. Regnvandsledningerne for de nævnte områder leder regnvandet væk fra byerne hvor det udledes i åerne eller grøftetilløb til åerne. I resten af områderne nedsives regnvandet. Det er derfor kun overfladevandet fra den fælleskloakerede del af Strandby som videreføres til hovedledningen, hvorfra det pumpes videre til renseanlægget.





Figur 2.3: Kloaknettet i Fokusområdet. Illustreret ud fra [Frederikshavn Forsyning, 2013a].

Som det fremgår af figur 2.3 er enkelte af områderne defineret som ”plan”, hvilket betyder, at de endnu ikke er etablerede. Disse områder skal derfor ikke medtages for en simulering af den nuværende situation. Til gengæld forventes det, at områderne er etableret for fremtidsscenerierne, hvorfor de medtages i disse tilfælde.

Fra det fælleskloakerede område er der yderligere etableret overløb for at aflaste systemet under kraftige regnhændelser. Der er tre overløb i Strandby, og et på Hovedledningen inden Slutuppen. Overløbenes placeringer er også vist på figur 2.3.

Ud over overfladevandet fra Strandby føres spildevandet fra de andre byer til renseanlægget. Fra hvert delopland tilføres personækvivalenter, PE, som vist i tabel 2.2. Værdierne angivet i tabellen er angivet både for statusværdier og planværdier.

By	PE for kloakstatus			PE for kloakplan		
	Husstand	Industri	Total	Husstand	Industri	Total
Napstjert	434	0	434	744	0	461
Jerup	1083	7	1090	1224	466	1690
Kragsskovhede lejren	7	785	792	7	785	792
Nielstrup	159	10	169	167	10	177
Bannerslund Mark	60	0	60	60	0	60
Strandby	4515	1346	5861	7436	2193	9629
Ammonitionsarsenalet	0	192	192	0	192	192
Elling	2211	83	2294	2604	94	2687
Samlet	8409	2423	<b>10832</b>	11800	3719	<b>15519</b>

Tabel 2.2: Antallet af PE for henholdsvis husspildevand og industrispildevand for hvert opland. [Frederikshavn Kommune, 2012a].

Det skal bemærkes at værdierne i tabellen både er for oplande med nedsivning og kloakerede oplande. Efter aftale med Frederikshavn Forsyning sættes værdien for én PE til 110 l/person/døgn på alle oplande. [Frederikshavn Forsyning, 2013b]

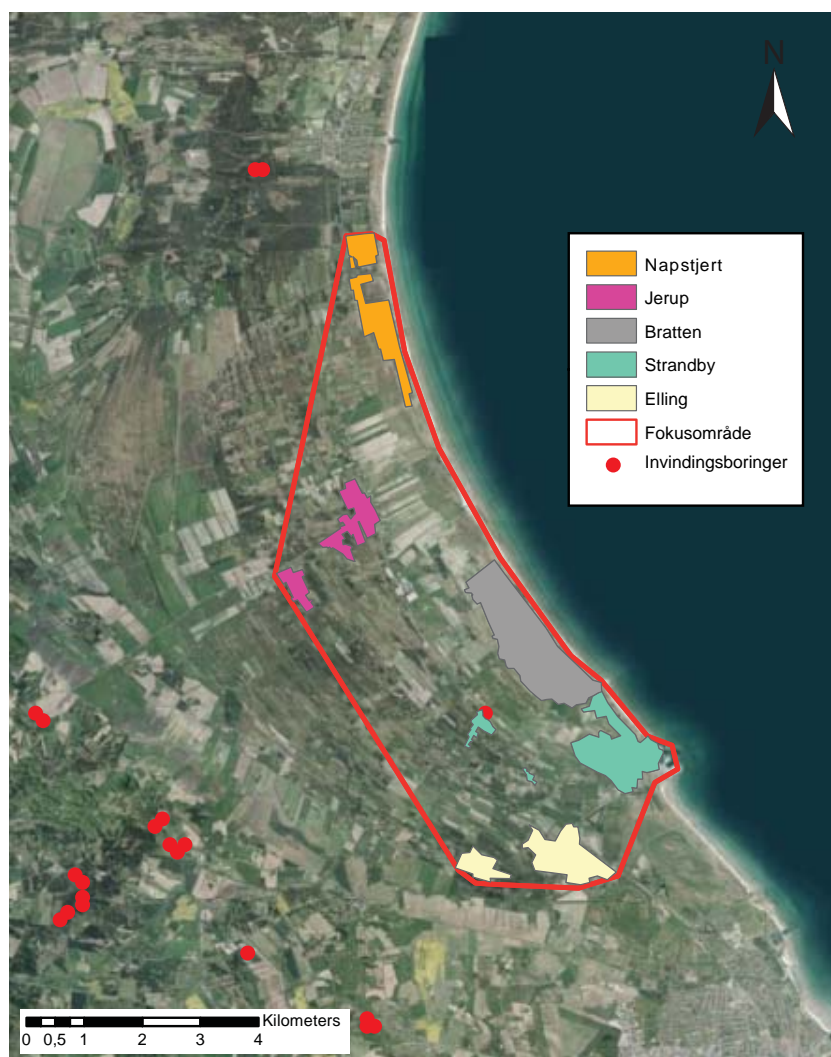
### 2.3 Hydraulisk-hydrologisk sammenhæng

Regnvandet og vandet fra fælleskloakerede overløbsbygværker udledes til vandløbene og kanalerne beskrevet i 2.1. I kanalerne er bundkoten typisk placeret lavere end grundvandsspejlet. Det gør, at grundvandsspejlet holdes kunstigt nede omkring kanalerne. Det samme gør sig gældende for forsinkelsesbassinerne i Fokusområdet, da bunden af bassinerne er placeret tæt ved eller under grundvandsspejlet. Derfor har både kanalerne og bassinerne et mere eller mindre permanent vandspejl.

Det flade og kystnære terræn, gør at grundvandet typisk ligger lige under terræn, eller som en del af både bassiner og kanaler, hvormed en tilledning af regnvand forøger grundvandsstanden.

Ved større regnhændelser vil det meste af vandet ikke nedsive, men afstrømme direkte til vandløbene og løbe ud i havet. Ved høj vandstand i Kattegat kan vandet samtidig trænge tilbage i systemet. På regnvandsoverløbet ved havnen i Strandby er der, for at sikre mod hændelser som disse, etableret en kontraklap. Placeringerne af både bassiner og udløb kan ses på figur 2.3.

Ud over vandløbene har indvindingsboringer indflydelse på grundvandsspejlets placering. Men da der kun indvindes vand til blandt andet Tolne Vandværk og Ålbæk Vandværk, antages det, at indvindingsboringerne ikke har effekt på grundvandsspejlet i Fokusområdet. Denne antagelse bygger på, at afstanden til indvindingsboringerne ved Tolne Vandværk ligger så langt fra Fokusområdet, at effekten kan negligeres. Indvindingsboringerne for Ålbæk Vandværk, der ligger tættere på Fokusområdet, er til gengæld placeret på den nordlige side af Knasborg Å, hvorved effekten igen kan negligeres. Placeringen af indvindingsboringerne kan ses på figur 2.4.



Figur 2.4: Placering af indvindingsboringer omkring Fokusområdet. [COWI, 2012]

Som det ses på figur 2.4 ligger der en indvindingsboring i Fokusområdet. Boringen har været inaktiv siden 1995, og har derfor ingen betydning for den nuværende placering af grundvandspejlet.

I Fokusområdet er der, som nævnt, flere vandløb og åer hvor Elling Å er den signifikant mest vandførende å efterfulgt af Knasborg Å. Elling Å er en grundvandsdannet å, hvilket ses i [Nordjyllands Amt, 2005], og underbygges af områdets landskab og geologi, beskrevet i afsnit 2.1.

Årsmiddelvandføringer og vandstand for Elling Å er målt ved Elling Kirke. Værdierne er angivet i tabel 2.3.

År	Årsmiddelvandføring [l/s]	Årsmiddelvandstand [cm]
1994	1748	98
1997	1025	72
2000	1907	89
2005	1198	80

Tabel 2.3: Årsmiddelvandføringer og -vandstand målt i Elling Å ved Elling Kirke. [Nordjyllands Amt, 2005]

Alle værdier og antagelser beskrevet i dette kapitel anvendes som inputparametre i opbygningen af modellerne i MU og MS, eller til kalibrering af koblingen af de to modeller.

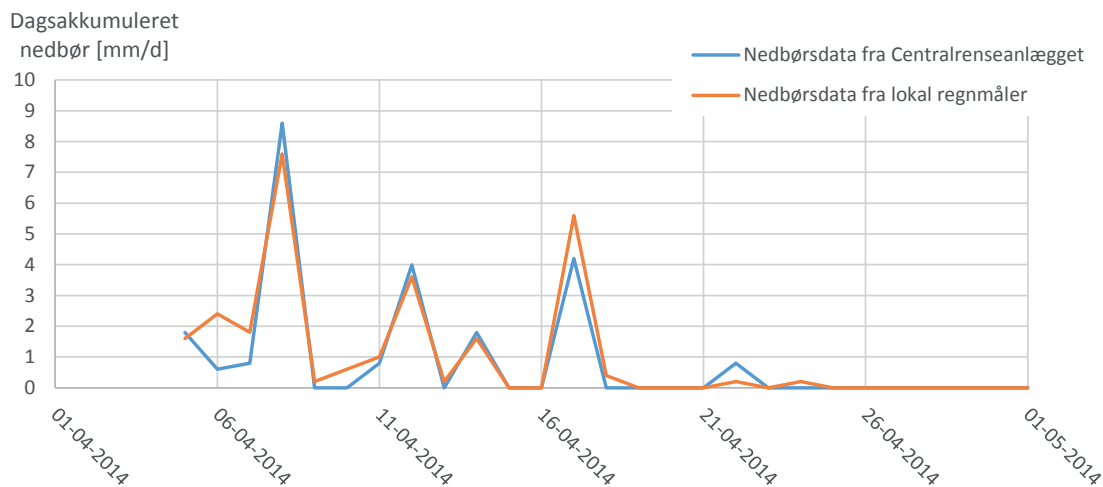


# 3

## Modellering af afløbssystemet

I kapitlet gennemgås opsætningen af afløbsmodellen, der er opbygget i MU. Opbygningen og de forskellige input i MU beskrives, og resultaterne i form af pumpeydelse fra tre pumpestationer sammenlignes med målte SRO-data. De målte og modellerede pumpeydelse sammenlignes for 2012. MU køres alene, for at undersøge om afløbsmodellen kan modellere afstrømningsforløbet i rørene. Til at modellere overfladeafstrømningen på oplandene, anvendes tid-areal-metoden, og til at modellere strømningen i rørene, anvendes en fuldt dynamisk bølgemodel. Ledningsnettet og oplandene der indgår i MU er illustreret på figur 2.3 og kan yderligere ses i bilag 1 på den vedlagte cd.

Regninputtet i MU-modellen er en regnserie fra Centralreanseanlægget i den sydøstlige del af Frederikshavn med alle regnhændelser fra 11. maj 1990 – 30. april 2014 fra [DMI, 2013]. Selvom regnserien ikke er fra en regnmåler i Fokusområdet, vurderes det at den kan anvendes. Denne vurdering er baseret på en sammenligning mellem nedbørsdataene fra Centralreanseanlægget og den midlertidige lokale nedbørmåler omtalt i kapitel 1. Sammenligningen er illustreret på figur 3.1.



Figur 3.1: Sammenligning af data fra Centralreanseanlægget og en lokal nedbørmåler.

Yderligere forventes det at forholdene i Strandby, som er det eneste sted der er fælleskloakeret, og ved Centralreanseanlægget er nogenlunde identiske, hvorfor regnserien kan anvendes.

## 3.1 Modelopsætning

Ledningsnettet i MU for modelområdet er, som beskrevet i afsnit 2.2 og 2.3, givet ved gravitationsledninger, pumpeledninger, pumper, bassiner, overløb og udløb. I modellen afkortes ledningsnettet ved pumpen, kaldet Elling Å-pumpen, på Hovedledningen nedstrøms for både Strandby og Elling. I virkeligheden pumpes vandet videre til Frederikshavn Rensningsanlæg, men i modellen pumpes vandet ”ud af systemet”. Ledningsnettet i MU er primært opbygget ud fra Frederikshavn Forsynings databaseoplysninger. Typisk er det koter i brønde, ledningstracé og placeringer af pumper, bassiner, overløb og udløb, der er importeret fra databasen. Yderligere har Frederikshavn Forsyning indsamlet data for pumper og overløbsbygværker. De steder hvor Frederikshavn Forsynings oplysninger har været mangelfulde er værdierne fundet ud fra GPS-opmålinger eller vurderet ud fra terrænkort. Vurderingen ud fra terrænkortene er kombineret med hvordan koterne og faldet er for de omkringliggende brønde og ledninger.

### 3.1.1 Bassiner

Da det ikke har været muligt at finde tekniske oplysninger for bassinerne i Fokusområdet, er bassinerne defineret ud fra terrænkort med en horisontal opløsning på 1,6 m x 1,6 m. Ud fra terrænkortet er overfladearealet af bassinerne fundet. Tværsnitsarealet er herefter vurderet ud fra de højdeforskelle, der er fra bundkote til topkote ved bassinerne. Ved våde bassiner er dybden af bassinet målt, hvorefter dette i kombination med terrænkoterne er anvendt til at beskrive de pågældende bassiners tværsnitsareal. Alle bassiner er opbygget som rektangulære bassiner, hvilket er en forsimpning af virkeligheden. Det har til gengæld lille betydning da alle bassiner er tilkoblet regnvandsnettet, og derfor ikke har effekt på pumpedataene i modellen.

## 3.2 Oplande

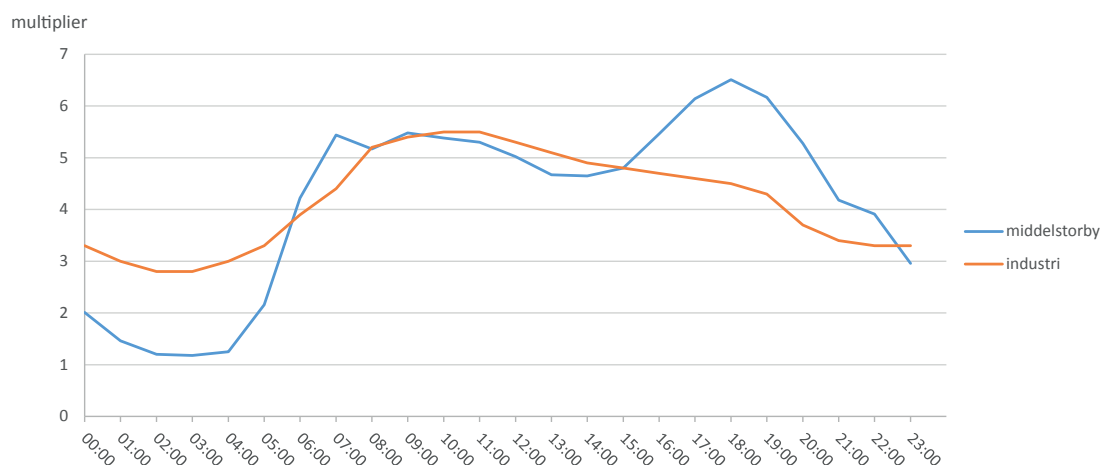
For oplande der enten er tilkoblet regnvands- eller fælleskloak har størrelsen af arealet en signifikant betydning, hvorfor disse er optegnet nøje. Optegningen af de fælles- og regnvandskloakerede oplande er lavet ud fra matrikelkort, samtidig med at inddelingen af deloplande i spildevandsplanen er overholdt. Til hver tilkoblet opland er der typisk 6-8 matrikler. Grunden til, at inddelingen ikke er lavet på matrikelbasis er igen, at effekten er negligeabel når modellerne kobles. Derfor er flere matrikler samlet i en brønd, hvorfra det ledes videre i systemet.

Befæstelsesgraderne for hvert opland defineres ud fra de angivne værdier i spildevandsplanen for det pågældende delopland. Initialtabet sættes til standardværdien 0,6 mm, og ligeledes sættes den hydrologiske reduktionsfaktor til standardværdien 0,9. Endelig sættes koncentrationstiden for oplandene til 7 min, hvilket også er en standardværdi i MU.



### 3.2.1 Spildevandsbelastning

Belastningen for spildevandsoplandene og de fælleskloakerede oplande er indsat som relativ fordeling efter størrelsen på det enkelte opland. Døgnvariationen for én personækvivalent, PE, afhænger arealanvendelsen på det enkelte opland. For parcelhuse og sommerhuse anvendes én daglig variation, og for industri anvendes en anden, som begge er illustreret på figur 3.2 [Winther et al., 2006].

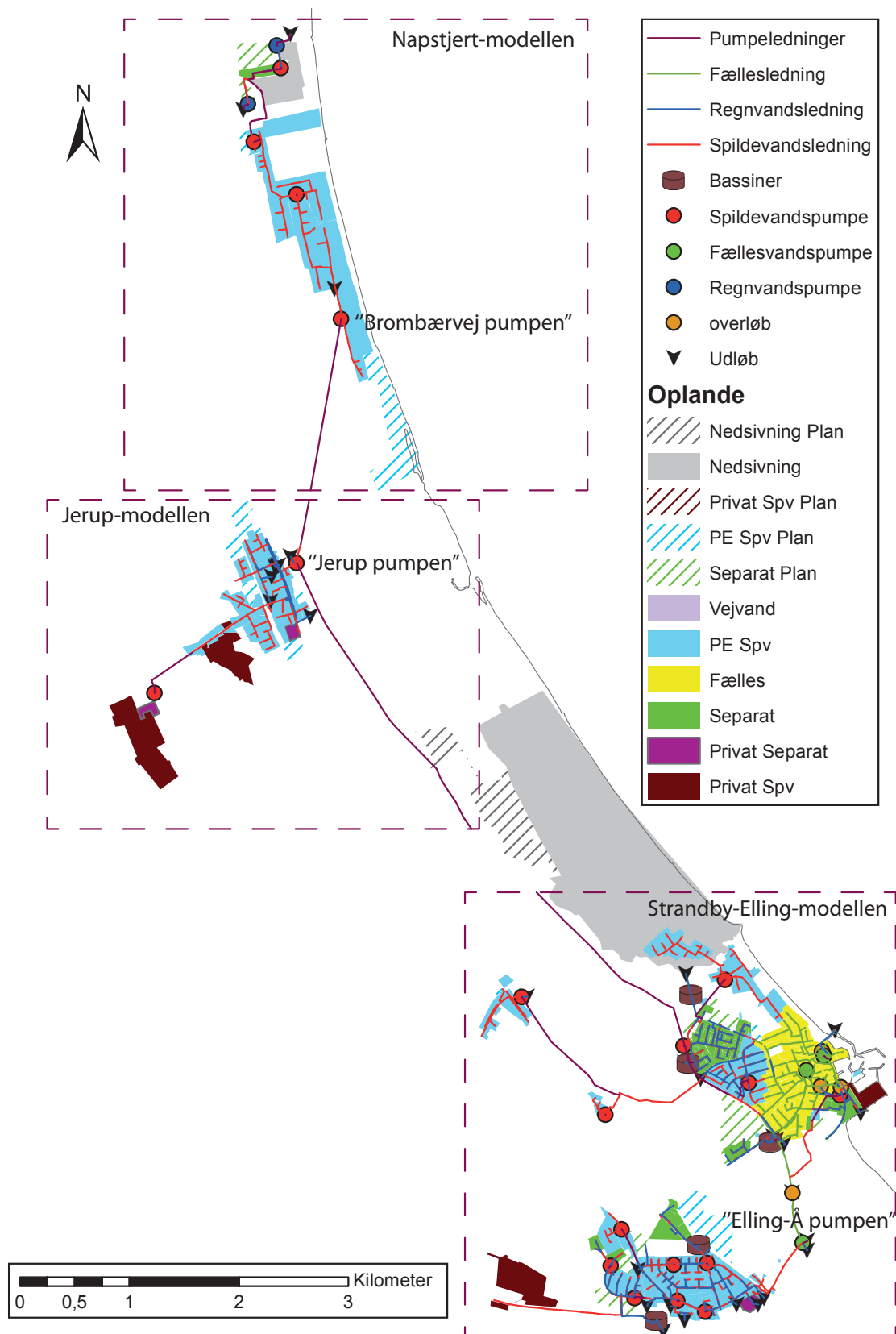


Figur 3.2: Daglig spildevandsvariation for parcelhuse og industri. [Winther et al., 2006]

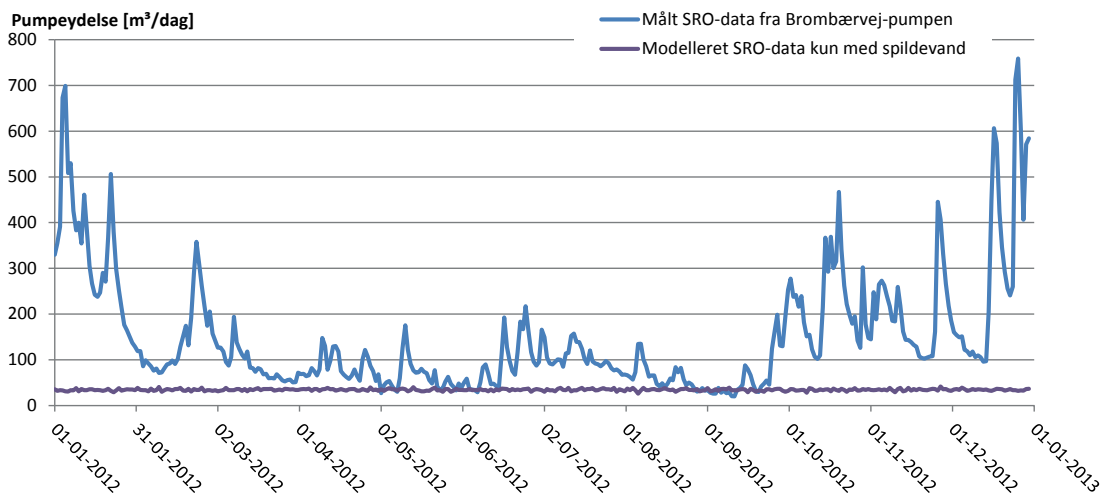
Selvom dele af kloaknettet kun er tilkoblede sommerhuse, antages det, at der ingen årstidsvariation er. Dette skyldes både, at perioderne for hvornår sommerhusene er benyttede er ukendte, og at det ikke er spildevandsmængden fra et område der udgør den primære tilledning af vand til kloaknettet. Dette beskrives senere i kapitlet. Som beskrevet i afsnit 2.2 anvendes der for alle områderne en daglig PE-værdi på 110 l/person/døgn [Frederikshavn Forsyning, 2013b].

## 3.3 Resultater

MU-modellen deles op i tre mindre modeller, kaldet Napstjert-modellen, Jerup-modellen og Strandby-Elling-modellen, hvilket illustreres på figur 3.3. Dette gøres for at få bedre resultater i form af pumpeydelse fra de tre pumper, ligeledes vist på figur 3.3. De målte SRO-data fra Brønbærvej-pumpen og Jerup-pumpen, indsættes som "network load" i henholdsvis Jerup-modellen og Strandby-Elling-modellen. Inputtet sættes i de respektive brønde, pumperne i virkeligheden pumper til. Afgrænsningen af modellerne er valgt, da hver model har en pumpe længst nedstrøms i kloaknettet. Herved kan de målte SRO-data sammenlignes med de modellerede fra de respektive pumper. Sammenligningen er illustreret på figur 3.4, 3.5 og 3.6.



Figur 3.3: Opdeling af afløbssystemet i tre mindre afløbssystemer.



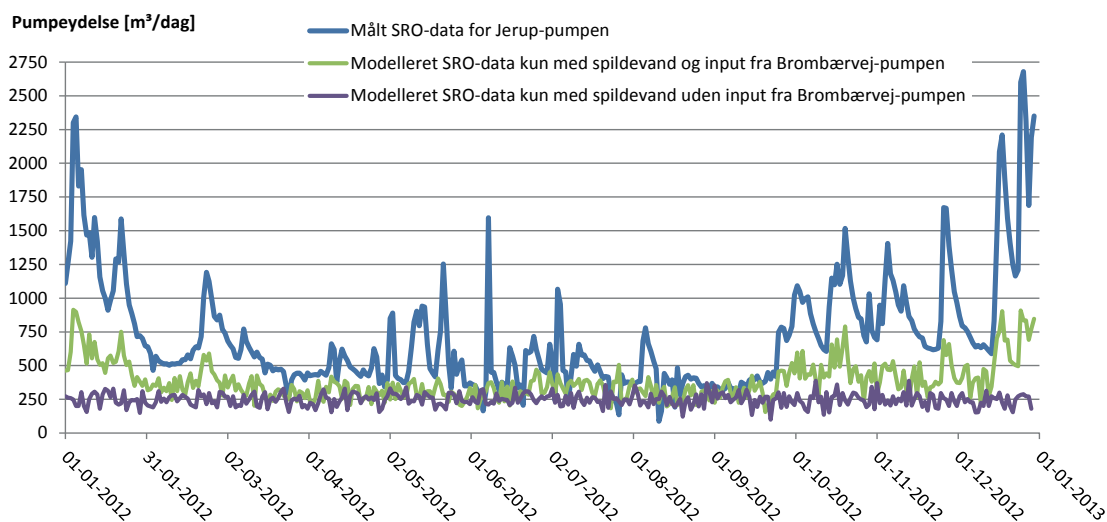
Figur 3.4: Sammenligning af målte og modellerede SRO-data for Brombærvej-pumpen for 2012.

Som figur 3.4 viser, varierer den målte pumpeydelse for Brombærvej-pumpen markant hen over året. Yderligere ses det, at den modellerede pumpeydelse tilnærmelsesvis er konstant hen over året, og signifikant lavere end den målte. Ud fra grafen kan det derfor vurderes, at en stor del af pumpeydelsen er uvedkommende vand, som blandt andet kan være indsvivning af grundvand. I tabel 3.1 ses forskellen mellem den målte og modellerede pumpeydelse.

Brombærvej-pumpen	Årlig pumpeydelse	Midlet daglig pumpeydelse	Procentdel af målt SRO-data	Størrelse af PE
Målt SRO-data	53.806 m <sup>3</sup> /år	147,4 m <sup>3</sup> /døgn	-	461 l/PE/døgn
Modelleret SRO-data (kun spildevand)	12.544 m <sup>3</sup> /år	34 m <sup>3</sup> /døgn	23,3 %	106 l/PE/døgn

Tabel 3.1: Sammenligning af målte og modellerede SRO-data for Brombærvej-pumpen for 2012.

Som det ses i tabel 3.1, udgør andelen af spildevand kun 23,3 % af den samlede pumpeydelse for Brombærvej-pumpen. Det vil sige, at hele 76,7 % af pumpeydelsen sandsynligvis er uvedkommende vand.



Figur 3.5: Sammenligning af målte og modellerede SRO-data for Jerup-pumpen for 2012.

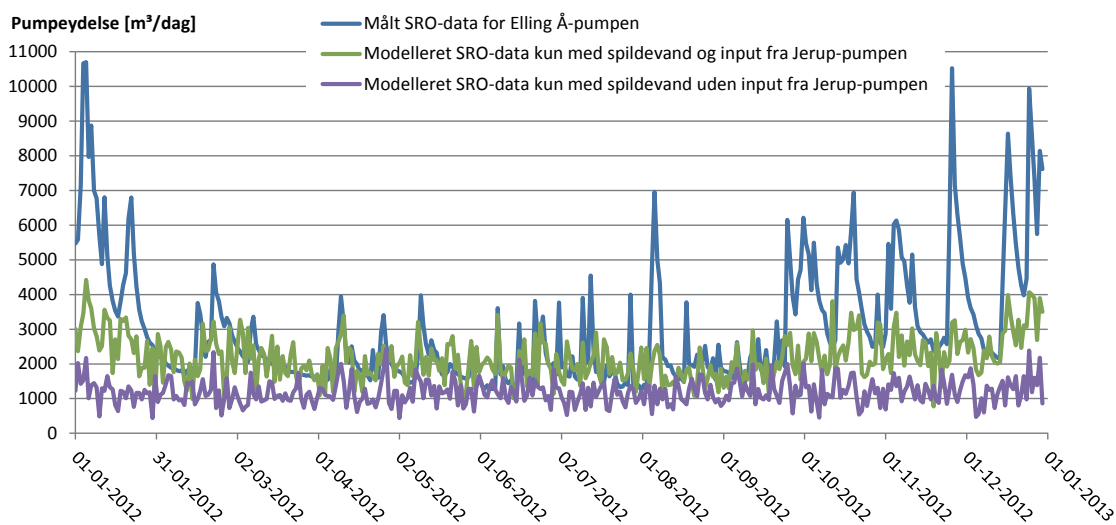
På 3.5 sammenlignes målte og modellerede SRO-data for Jerup-pumpen. Den lille kurve på figur 3.5 viser udelukkende det modellerede spildevand, der kommer fra Jerup, mens den grønne kurve viser det modellerede spildevand fra Jerup og input fra målte SRO-data fra Brombærvej-pumpen. Ud fra figur 3.5 ses det igen, at både det modellerede spildevand fra Jerup alene, og det modellerede spildevand kombineret med input fra målte SRO-data fra Brombærvej-pumpen, kun udgør en mindre del af de målte SRO-data for Jerup-pumpen. Dette kan igen skyldes indsvingning til kloaknettet. Til gengæld viser figur 3.5, at årstidsvariationen for de målte SRO-data fra Brombærvej-pumpen kombineret med spildevandet fra Jerup, tilnærmelsesvis er den samme, som de målte SRO-data fra Jerup-pumpen.

Jerup-pumpen	Årlig pumpeydelse	Midlet daglig pumpeydelse	Procentdel af målt SRO-data	Størrelse af PE
Målt SRO-data	259.401 m <sup>3</sup> /år	711 m <sup>3</sup> /døgn	-	323 l/PE/døgn
Modelleret SRO-data (spildevand fra Jerup og målt input fra Brombærvej-pumpen)	139.657 m <sup>3</sup> /år	383 m <sup>3</sup> /døgn	53,8 %	174 l/PE/døgn
Modelleret SRO-data (spildevand fra Jerup)	88.776 m <sup>3</sup> /år	243 m <sup>3</sup> /døgn	34,2 %	129 l/PE/døgn

Tabel 3.2: Sammenligning af målte og modellerede SRO-data for Jerup-pumpen for 2012.

Som det ses i tabel 3.2, udgør andelen af spildevand fra Jerup og inputtet fra Brombærvej-pumpen 53,8 % af den samlede pumpeydelse for Jerup-pumpen. Det vil sige, at de resterende 46,2 % af pumpeydelsen er uvedkommende vand. Hertil skal de huskes, at af 76,7 % af inputtet

fra Brombærvej-pumpen er uvedkommende vand, hvilket vil sige, at andelen af uvedkommende vand fra pumpeydelse for Jerup-pumpen er højere end de 46,2 %.



Figur 3.6: Sammenligning af SRO-data med simuleringsdata for Elling-Å pumpen.

På 3.6 sammenlignes målte og modellerede SRO-data for Elling Å-pumpen. På figur 3.6, er der både illustreret modellerede SRO-data med og uden input fra Jerup-pumpen. Den lille kurve viser udelukkende det modellerede spildevand og fællesvand fra Strandby-Elling-modellen, mens den grønne kurve også medtager inputtet fra Jerup-pumpen. Som det ses på figur 3.6, ligger de målte og modellerede SRO-data (blå og grøn kurve) om sommeren i samme niveau, hvilket vil sige, at der i denne periode er minimal indsvivning. Til gengæld er peak-værdierne for de modellerede SRO-data signifikant lavere end for de målte om vinteren.

Elling Å-pumpen	Årlig pumpeydelse	Midlet daglig pumpeydelse	Procentdel af målt SRO-data	Størrelse af PE
Målt SRO-data	1.093.792 m <sup>3</sup> /år	2.997 m <sup>3</sup> /døgn	-	278 l/PE/døgn
Modelleret SRO-data (spildevand og fællesvand fra Strandby og Elling og målt input fra Jerup-pumpen)	794.261 m <sup>3</sup> /år	2.176 m <sup>3</sup> /døgn	72,6 %	202 l/PE/døgn
Modelleret SRO-data (spildevand fra Strandby og Elling)	373.453 m <sup>3</sup> /år	1.023 m <sup>3</sup> /døgn	34,1 %	122 l/PE/døgn

Tabel 3.3: Sammenligning af målte og modellerede SRO-data for Elling Å-pumpen for 2012.

Som det ses i tabel 3.3, udgør andelen af spildevand og fællesvand fra Elling Å-pumpen 72,6 % af den samlede pumpeydelse. Det vil sige, at 27,4 % af pumpeydelsen er uvedkommende vand. Igen skal det huskes, at en del af inputtet fra Brombærvej-pumpen til Jerup-modellen, og Jerup-pumpen til Strandby-Elling-modellen er uvedkommende vand. Ses der udelukkende på spildevand og fællesvandsmængden fra de tre modeller udgør denne kun 48,8 % af den samlede målte pumpeydelse fra Elling Å-pumpen. Hermed udgør mængden af uvedkommende vand over halvdelen af den samlede mængde vand der pumpes fra Fokusområdet.

Som beskrevet i afsnittet udgør den tilledte spildevandsmængde kun en del af pumpeydelsen. Den resterende del af vandet antages at være uvedkommende vand, der blandt andet kan komme fra indsvivning af grundvand. Derfor opbygges en model i MS, som koblet med MU-modellen antages at kunne modellere indsvivningsmængden.

# 4 Modelling af grundvand

---

I dette kapitel gennemgås opsætningen af grundvandsmodellen, der er opbygget i MS. Opbygningen og inputtene beskrives, og resultaterne i form af placeringen af grundvandsspejlet vises. Ligesom for MU-modellen vises resultaterne for 2012. MS køres alene for at undersøge om grundvandsmodellen kan modellere en tilstrækkelig realistisk årstidsvariation af grundvandsspejlet. I MS deles den hydrologiske del af modellen op i flere moduler, som er overfladeafstrømning, søer og åer, umættet zone, fordampning og mættet zone. Der anvendes forskellige numeriske metoder til at simulere vandets bevægelser i hvert modul. Herudover indgår parametre for blandt andet geologi, regn og fordampning. Modellerne kan ses i bilag 2 på den vedlagte cd.

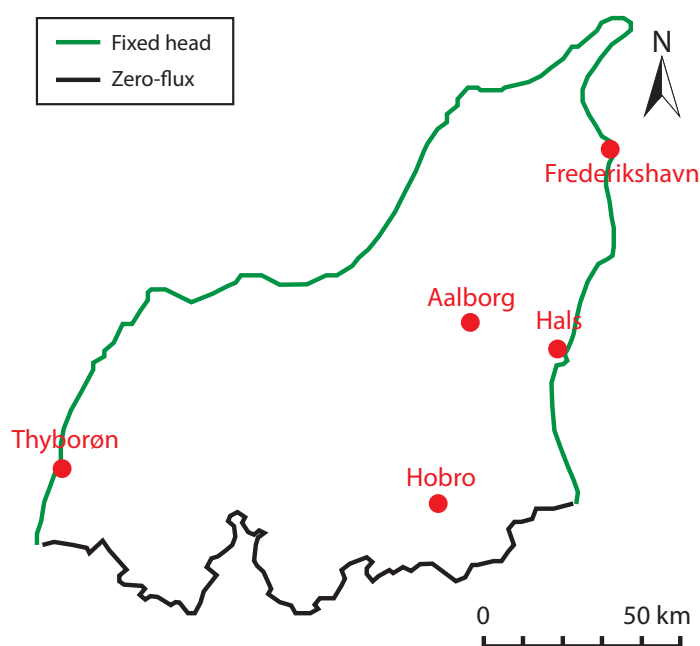
---

For at modellere grundvandsstrømningerne, opbygges en grundvandsmodel. I Danmark findes en grundvandsmodel, kaldet DK-modellen, der beskriver grundvandsstrømme og -niveauer i hele Danmark. DK-modellen er opdelt i syv delmodeller, hvor delmodellen der beskriver det nordlige Jylland anvendes. Denne delmodel har en for grov stedlig opløsning til, at den kan anvendes til en detaljeret modellering af grundvandet i Fokusområdet. Derfor opbygges en række modeller, der kaldes "Detailmodeller", hvor DK-modellen anvendes som randbetingelse. Disse Detailmodeller beskrives i afsnit 4.2.

## 4.1 DK – modellen

Som beskrevet i GEUS-rapport 116 fra 2012 kan DK-modellen både klarlægge grundvandsspejlet tydeligere i Danmark, og modellere ændringer i grundvandsspejlets placering i fremtiden, som funktion af klimaændringerne. DK-modellen blev udviklet i perioden 1996 – 2001 af GEUS, og opdateret i 2005 – 2009. [Henriksen et al., 2012]

Den del af DK-modellen der dækker det nordlige Jylland, kaldes for område 6 og er opbygget med en "nulflux" randbetingelse ved grænsen til område 5 mod syd, og en konstant trykniveau-randbetingelse lig kote 0 langs kysterne, se figur 4.1. Zero-flux-randbetingelsen mod syd er lavet ved et hydrologisk vandskel. Under fremskrivning af klimascenarierne skal havniveauændringerne medtages, så randbetingelsen ved kysten vil være større end kote 0. Begyndelsesbetingelserne for DK-modellen er defineret ud fra grundvandspotentialekort.



Figur 4.1: Randbetingelserne for DK-modellen område 6.

I DK-modellen er der indsat tidsserier for blandt andet indvindingsboringer og udløb fra renselanlæg til vandløb. Tidsserierne fra DK-modellen er fra 1990 – 2007, men til koblingsdelen af MU og MS skal simuleres fra 1990 – 2014. Derfor er disse tidsserier fremskrevet ved, at det sidste år i tidsserien er anvendt alle følgende år indtil 2014. I simuleringsperioden er hele vandbalancen modelleret, hvorved overfladeafstrømning, åer og søer, den umættede zone, fordampning, den mættede zone og indvindingsboringer medtages. Overfladeafstrømningen og den mættede zone beregnes ved finite difference metoden, mens den umættede zone beregnes som en 2-lags umættet zone. Nedbøren indsættes i DK-modellen i et klimagrid på 10 km x 10 km, og den potentielle fordampning indsættes i et klimagrid på 20 km x 20 km. Både nedbøren og den potentielle fordampning er fra historiske data.

Vegetationen og topografien indsættes begge i grid med størrelser på 500 m x 500 m. Åer og søer bestemmes i MIKE 11, der anvender de fulde Saint Venant ligninger. I DK-modellen indsættes de geologiske parametre i et 500 m x 500 m grid i en række lag med en tykkelse på 10 meter, der interpoleres til 8 beregningslag med en gridstørrelse på 100 m x 100 m. I DK-modellen er den hydrauliske ledningsevne i det øverste lag i Fokusområdet defineret til en værdi på  $2,69 \cdot 10^{-4}$  m/s for vandret retning og  $2,69 \cdot 10^{-5}$  m/s for lodret retning. Værdierne ligger ifølge Ovesen et al. [2009] mellem "ret fint sand" og "mellemkornet sand", hvilket stemmer godt overens med geologien beskrevet i afsnit 2.1. Indvindingsboringerne indsættes i DK-modellen som tidsserier lavet ud fra historiske data. Alle data medtages i beregninger i den hydrologiske model i en gridstørrelse på 500 m x 500 m.



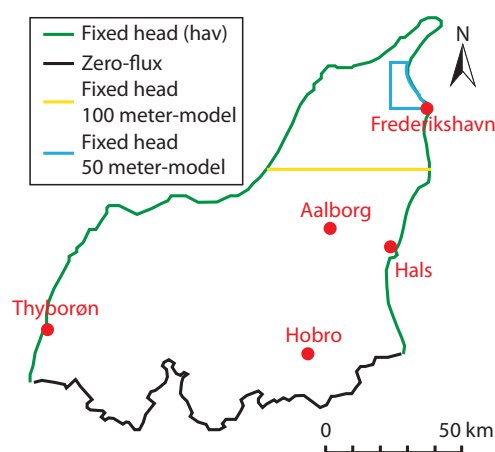
## 4.2 Detailmodellerne

For at kunne modellere grundvandsspejlet mere detaljeret i Fokusområdet, er det nødvendigt at reducere gridstørrelsen i det hydrologiske beregningsgrid. Derfor opbygges der, som nævnt, flere Detailmodeller, der gradvist får et finere og finere grid. Detailmodellernes betegnelse og gridstørrelser ses i tabel 4.1.

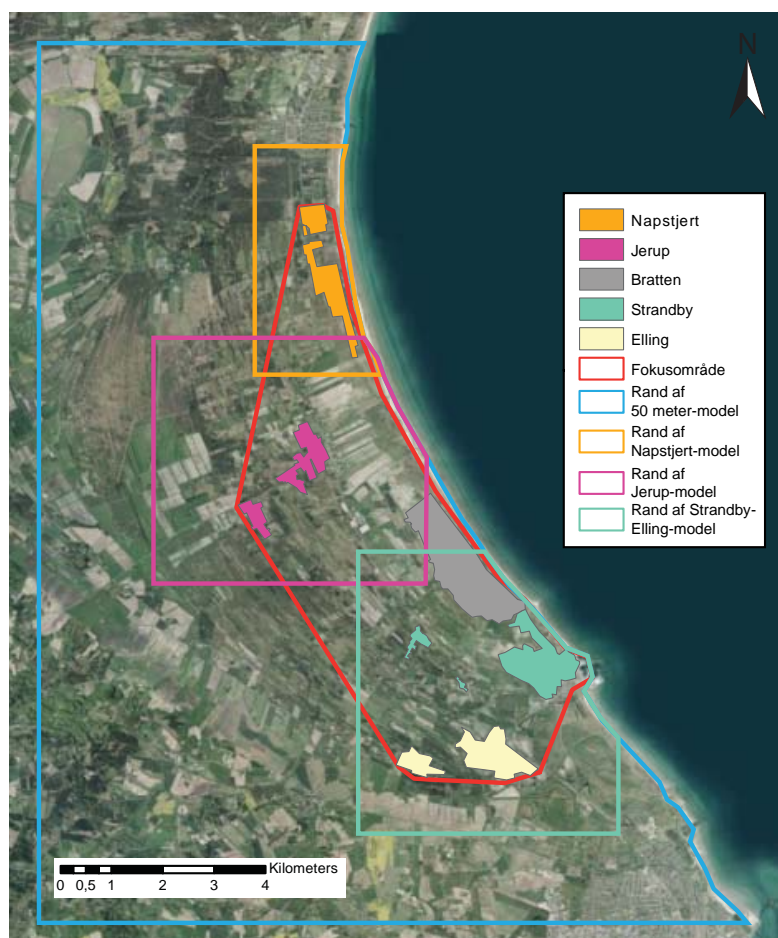
Betegnelse	Gridstørrelse
100 meter-modellen	100 m x 100 m
50 meter-modellen	50 m x 50 m
Napstjert-modellen	10 m x 10 m
Jerup-modellen	10 m x 10 m
Strandby-Elling-modellen	10 m x 10 m

Tabel 4.1: Betegnelse og gridstørrelse på Detailmodellerne.

For 100 meter-modellen anvendes DK-modellen som randbetingelse. 100 meter-modellen anvendes herefter som randbetingelse for 50 meter-modellen, der anvendes som randbetingelse for de tre 10 meter-modeller, Napstjert-modellen, Jerup-modellen og Strandby-Elling-modellen. De data hver detailmodel anvender som randbetingelse er koten af grundvandsspejlet i det øverste lag. Da der for Detailmodellerne er anvendt input fra en model med større gridstørrelse som randbetingelse, vil der ved randen være en række celler med ens værdier. Det vil sige, at der for eksempel ved randen i en 10 meter-model er 5 celler som alle anvender værdien fra én celle i 50 meter-modellen. Placeringen af randbetingelserne for Detailmodellerne er illustreret på figur 4.2 og 4.3.



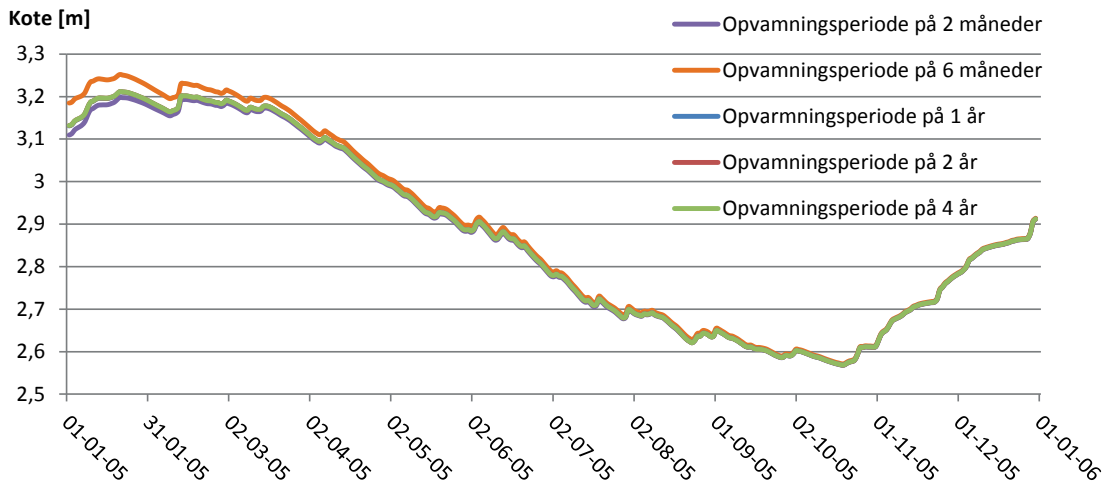
Figur 4.2: Placeringen af randen for DK-modellen, 100 meter-modellen og 50 meter-modellen.



Figur 4.3: Fokusområdet og placeringen af randen for Detailmodellerne.

Som det ses på figur 4.2 og 4.3, reduceres modelområdet gradvist, når gridstørrelse også reduceres. Gridstørrelserne er valgt ud fra kriterierne om at få en fin inddeling af området, og ikke at få en for lang simuleringstid. Randbetingelsen indsættes som en tidsvarierende fixed-head, hvor randen defineres ud fra en tidsserie med værdierne fra den model med et grovere grid. Randene af Detailmodellerne ligger i en afstand fra de områder der undersøges i de respektive modeller, der gør, at eventuelle randeffekter minimeres. Begyndelsesbetingelserne er ligeledes vandspejlskoter for den grovere model.

For at undersøge hvor lang tid det tager for grundvandsspejlet at stabilisere sig i forhold til randbetingelserne, køres en række simuleringer med varierende opvarmningsperiode. På figur 4.4 ses grundvandsspejlet i en gridcelle, hvor opvarmningsperioden varieres.



Figur 4.4: Koter for grundvandsspejlet i en gridcelle i 50 meter-modellen med opvarmningsperiode på 4 år, 2 år og 1 år, samt 6 måneder og 2 måneder.

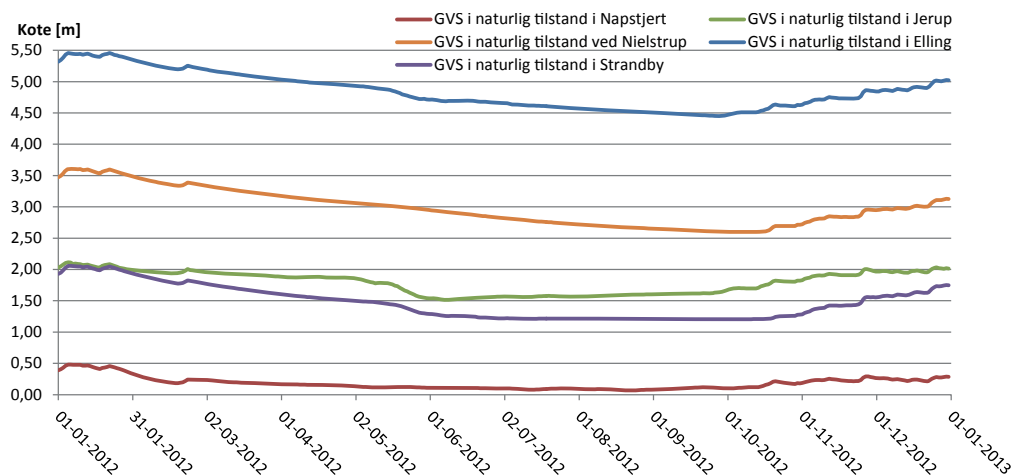
På figur 4.4 ligger kurverne for 1, 2 og 4 år oven i hinanden for hele perioden, mens kurverne for 2 og 6 måneder er forskudt i starten. Det kan derfor vurderes at en opvarmningsperiode på 1 år tilstrækkelig. Stabiliseringen af grundvandsspejlet er undersøgt i yderligere tre punkter, hvor det også viser sig, at en opvarmningsperiode på 1 år er tilstrækkelig.

Alle Detailmodellerne er opbygget med udgangspunkt i DK-modellen, hvilket vil sige, at de fleste inputparametre er de samme. Blandt andet indsættes de geologiske parametre stadig i et 500 m x 500 m grid, hvilket stadig antages at være tilstrækkelig, da geologien i de øverste lag i Fokussområdet er homogen, som beskrevet i afsnit 2.1. Fælles for alle Detailmodeller er, at topografigriddet er indsat i et 10 m x 10 m grid, fremfor 500 m x 500 m i DK-modellen. Topografigriddet i Detailmodellerne er lavet ud fra data fra [Kortforsyningen, 2013]. I 100 meter-modellen er den eneste ændring, bortset fra topografien, i forhold til DK-modellen, at det hydrologiske beregningsgrid er ændret fra en gridstørrelse på 500 m x 500 m til 100 m x 100 m. For 50 meter-modellen er griddet ændret til 50 m x 50 m, og MIKE 11-delen er taget ud, da åerne ligger uden for randen. I stedet er modellen koblet til MU, hvor blandt andet Elling Å og Knasborg Å er indsat som åbne kanaler, hvilket er beskrevet i kapitel 5. For de tre 10 meter-modeller er MIKE 11-delen ligeledes taget ud, og hver model er koblet deres respektive område i MU.

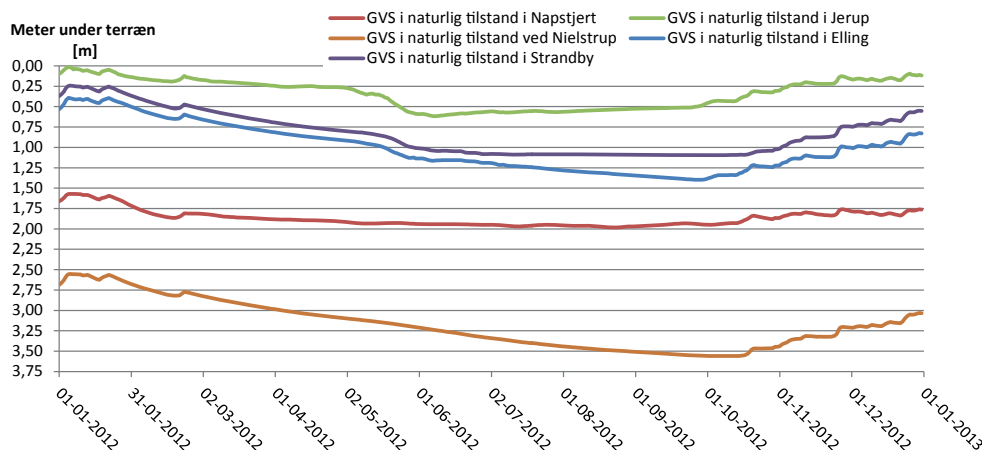
### 4.3 Resultater

Når MS køres alene, simuleres grundvandsspejlet, som det vil se ud uden indsvining til afløbssystemet, altså grundvandsspejlets naturlige niveau. Resultaterne er fra simuleringerne af de tre 10 meter-modeller, der ikke er yderligere kalibreret i forhold til DK-modellen. Grundvandsspejlet trækkes ud som en tidsserie i fem gridceller, en i Napstjert, en i Jerup, en

i Strandby, en i Elling og en gridcelle midt i Fokusområdet placeret lige nord for Nielstrup, hvor der ikke er kloakledninger i nærheden. De fem gridceller har samme placeringer som pejlemålingerne beskrevet i afsnit 1.2. Figur 4.5 viser grundvandsspejlet i de fem gridceller. Yderligere er grundvandsspejlet for alle fem gridceller vist på figur 4.6 som meter under terræn.



Figur 4.5: Grundvandsspejlet i naturlig tilstand i de fem punkter.



Figur 4.6: Grundvandsspejlet i naturlig tilstand i de fem punkter som meter under terræn.

Som det ses på figur 4.5 ligger grundvandsspejlet for de fem gridceller i forskellige niveauer, og med forskellige årstidsvariationer. Samtidig ses det på figur 4.6, at grundvandsspejlet i Jerup, Elling og Strandby ligger tæt på terræn.

For at modellere indsvivningen af grundvand til afløbssystemet kobles afløbsmodellen og grundvandsmodellen.

# 5

## Kobling af grundvandsmodel og afløbsmodel

---

I kapitlet gennemgås opsætningen af koblingen af MU og MS, hvor en mere teknisk gennemgang er beskrevet i appendiks B. Opbygningen af koblingen og ændringerne af MU- og MS-modellerne, i forhold til når de køres hver for sig, beskrives. Koblingen laves for at undersøge om pumpeydelsen for de tre pumper, beskrevet i kapitel 3, kan modelleres, så de stemmer bedre overens med de målte. Sammenligningen af målte og modellerede SRO-data laves først efter kalibreringen af indsvingningskoefficienten,  $C_L$ , se ligning (5.1). Kalibreringen af  $C_L$  laves for at få de målte og modellerede pumpeydelser for de tre pumper, beskrevet i kapitel 3, til at stemme bedst muligt overens. Ved at øge  $C_L$ , øges indsvingningen af grundvand til ledningsnettet, og derved øges mængden af vand der pumpes. Indsvingningskoefficienten til regnvandsnettet kalibreres ikke, da der ikke er tilgængelige kalibreringsdata. Værdien herfor sættes til standardværdien angivet i tabel 5.1. Da der kun forekommer indsvingning af grundvand i gravitationsledninger, ses der ikke på pumpeledninger. Koblingens effekt på grundvandsspejlet beskrives i kapitel 6.

---

Når koblingen af MU og MS laves, defineres der hvilke elementer der kobles. Modellerne kan kobles i både brønde, ledninger og kanaler. Alt efter hvilket element der kobles er der forskellige parametre der anvendes. For ledninger er det indsvingning af grundvand/udsivning af spildevand. For kanaler kan der både være indsvingning af grundvand/udsivning af åvand og afstrømning af overfladevand/oversvømmelse af marker, hvorfor begge parametre anvendes til koblingen. Da det antages, at indsvingningen af grundvand primært sker på ledningsstrækninger, er brøndene ikke medtaget. Dette vil sige, at opstuvning til terræn fra brønde simuleres som hvis MU køres alene, altså det opstuede vand løber tilbage i samme brønd.

Som beskrevet i kapitel 4 er vandløb og kanaler i området for DK-modellen indsat i MS via en integreret MIKE 11-model. Ved koblingen af en af Detailmodellerne i MS og afløbsmodellen i MU indsættes vandløb og kanaler i stedet som ”åbne kanaler” i MU-modellen, og kobles til MS ved både indsvingning af grundvand og ved overfladeafstrømning. Ved åernes udløb til havet laves et udløb i MU. Da hele strækningen af åerne ikke kan være inden for randen af de tre 10 meter-modeller kortes de af, og der indsættes et fiktivt opland, for at simulere flowet herfra. Indsvingningen til ledningsnettet sker, som nævnt, i virkeligheden gennem revner og utætte samlinger, men modelleres som et middel på hele ledningsstrækningen.

Mængden af grundvand der siver ind i ledningerne, eller spildevand der siver ud, bestemmes ud fra ligning (5.1) fra DHI [2012b].

$$Q = (\Delta H)^k \cdot C_L \cdot R \cdot L \quad (5.1)$$

Hvor

Q	er vandføringen af vand der siver ind/ud	[m <sup>3</sup> /s]
$\Delta H$	er forskel i trykniveau mellem grundvand og kloakvand	[m]
$C_L$	er indsvivningskoefficienten	[s <sup>-1</sup> ]
R	er hydraulisk radius for fuldtløbende rør	[m]
L	er længden af ledningen	[m]
k	er trykforskelseksponenten	[-]

Indsvivningskoefficienten,  $C_L$ , varierer alt efter materialet og alderen af ledningen. Standardværdier for  $C_L$  er defineret som vist i tabel 5.1.

Område	$C_L$ [s <sup>-1</sup> ]
Fællesvandsledninger	10 <sup>-6</sup>
Spildevandsledninger	10 <sup>-6</sup>
Regnvandsledninger	10 <sup>-7</sup>
Åer og kanaler	10 <sup>-6</sup>

Tabel 5.1: Værdier for  $C_L$  for forskellige ledningstyper i følge Gustafsson [2003].

Da værdierne af  $C_L$  er forskellig for de enkelte ledningsstrækninger, kalibreres værdien i flere omgange. Rækkefølgen af kalibreringen af  $C_L$  er som følger:

- Kalibrering af  $C_L$  for vandløb og kanaler.
- Kalibrering af  $C_L$  for ledningsnettet i Napstjert.
- Kalibrering af  $C_L$  for ledningsnettet i Jerup.
- Kalibrering af  $C_L$  for ledningsnettet i Strandby og Elling.

## 5.1 Kalibrering af vandløb og grundvand

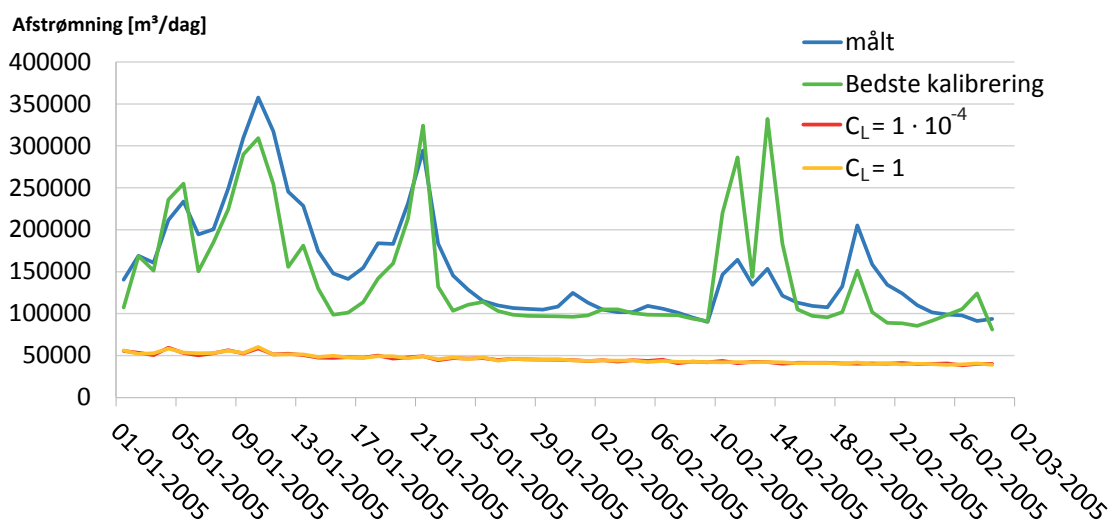
Formålet med kalibreringen af vandløbene er at kunne definere indsvivningskoefficienten,  $C_L$ , til vandløbene. Det eneste sted i området, der er lavet målinger som kan anvendes til kalibrering af vandløb, er i Elling Å. Her er der logget vandstand og vandføring i blandt andet hele 2005 ved Elling Kirke. Derfor kalibreres  $C_L$ -værdien for Elling Å for 2005, hvorefter værdien for  $C_L$  anvendes på de andre vandløb i modellerne. Kalibreringen af Elling Å laves med 50 metermodellen i MS og hele kloaknettet i MU.

For at kunne kalibrere vandføringen i Elling Å skal åerne, som tidligere beskrevet, opbygges som åbne kanaler i MU. Åens tracé er lavet ud fra en blanding af et topografisk grid på 10 m x 10 m og satellitfoto. Herved vil lange lige strækninger optræde som en kanaldel, mens snoede strækninger optræder som flere. Samtidig er bundhældningen for kanalstrækningerne beregnet ud fra det topografiske grid.

Tværsnitsarealet opbygges i moduler af 12 forskellige tværsnit, som er indsat efter målte parametre fra MIKE 11 delen af DK-modellen. Da der ikke er en fast afstand mellem de målte tværsnit, sættes tværsnittet for en kanalstrækning til at være lig det tværsnit der findes i den nærmeste måling opstrøms i systemet. Den simulerede del af Elling Å starter således med et målt tværsnit, som vil være konstant indtil det næste målte tværsnit.

Da det ikke er hele Elling Å og det tilhørende opland der simuleres i modellen, grundet simuleringsområdet størrelse i MS, vil en del af vandtilførelsen fra både grundvand og overfladeafstrømning mangle i simuleringen. For at kompensere for dette, er der tilføjet et oplandsareal længst opstrøms. Oplandet er tilkøbt samme regnserie som regnvands- og fælles oplandene for resten af MU-modellen.

Med det tilkoblede opland kan det på figur 5.1 ses, at det er muligt at modellere afstrømningen i Elling Å i MU. På figuren er det yderligere vist, hvordan afstrømningen ændres hvis  $C_L$  ændres fra  $1 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$  til  $1 \text{ s}^{-1}$ .



Figur 5.1: Kalibrering af afstrømningen i Elling Å.

Som det ses på figur 5.1 har ændringen af  $C_L$  ikke en signifikant betydning, da den gule og røde graf stort set ligger oven i hinanden. Det skyldes, at jordens hydrauliske ledningsevne er mindre end indsvingningskoefficienten til vandløbet. Jorden kan derfor ikke transportere så meget vand hen omkring åen, som  $C_L$  tillader at sive ind i ledningen. Er den hydrauliske ledningsevne

derimod større end indsvivningskoefficienten, virker indsvivningskoefficienten som en spærring. Det skal bemærkes at  $C_L$  og den hydrauliske ledningsevne for jorden ikke har samme enheder. Det skyldes, at  $C_L$  er  $m/(s \cdot m \text{ ledningsstrækning})$ , og derfor angives som  $s^{-1}$ . Da det vurderes, at der ikke er en forskel på den hydrauliske ledningsevne og indsvivningshastigheden til vandløbene sættes  $C_L$  for åerne og kanalerne lig den hydrauliske ledningsevne for jorden. Værdien er angivet i tabel 5.2.

Ud over  $C_L$  er følgende parametre kalibreret, og de bedste værdier for de respektive parametre ses i tabel 5.2.

Parameter	Værdi	Enhed
Indsvivningskoefficient til vandløb	$2,69 \cdot 10^{-4}$	$s^{-1}$
Hydraulisk ledningsevne for sand	$2,69 \cdot 10^{-4}$	$m/s^{-1}$
Begyndelsestidsskridt i MS	6	timer
Maksimalt tilladte tidsskridt for overfladeafstrømning	12	timer
Maksimalt tilladte tidsskridt for umættet zone	24	timer
Maksimalt tilladte tidsskridt for mættet zone	24	timer
Manningtal for vandløbet	25	$m^{1/3}/s$
Beregningstidsskridt i MU	5	sekunder
Manningtal for overfladeafstrømning på jorden i MS	5	$m^{1/3}/s$
Koncentrationstid på opland for åerne i MU	48	timer

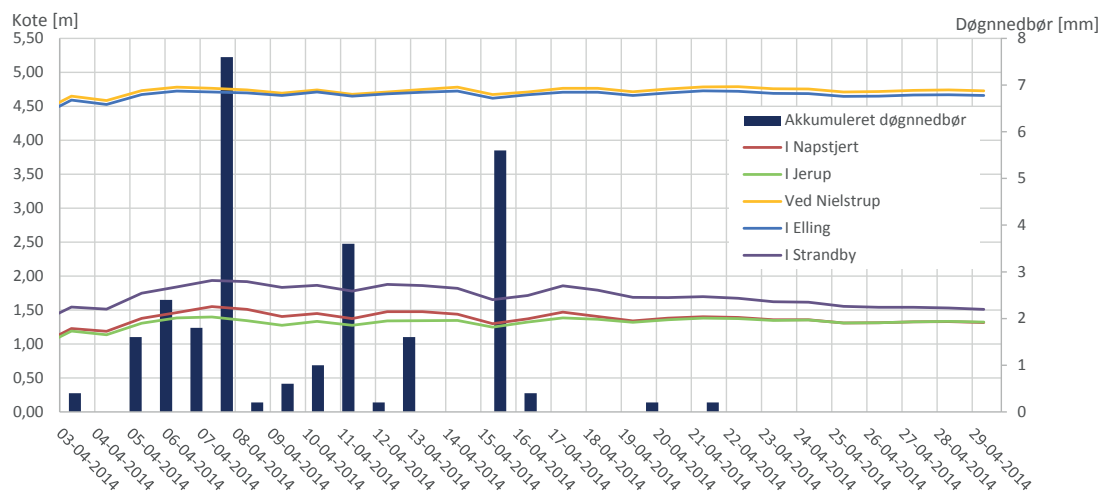
Tabel 5.2: Værdier for de forskellige kalibrerede parametre til kalibrering af vandløbet.

Tidsskridtene i MS og MU anvendes herefter i alle simuleringer, hvilket også er gældende for ruheden af overfladerne i MS. For de andre vandløb anvendes samme Manningtal som ved Elling Å.

### 5.1.1 Validering af vandløb- og grundvandskalibreringen

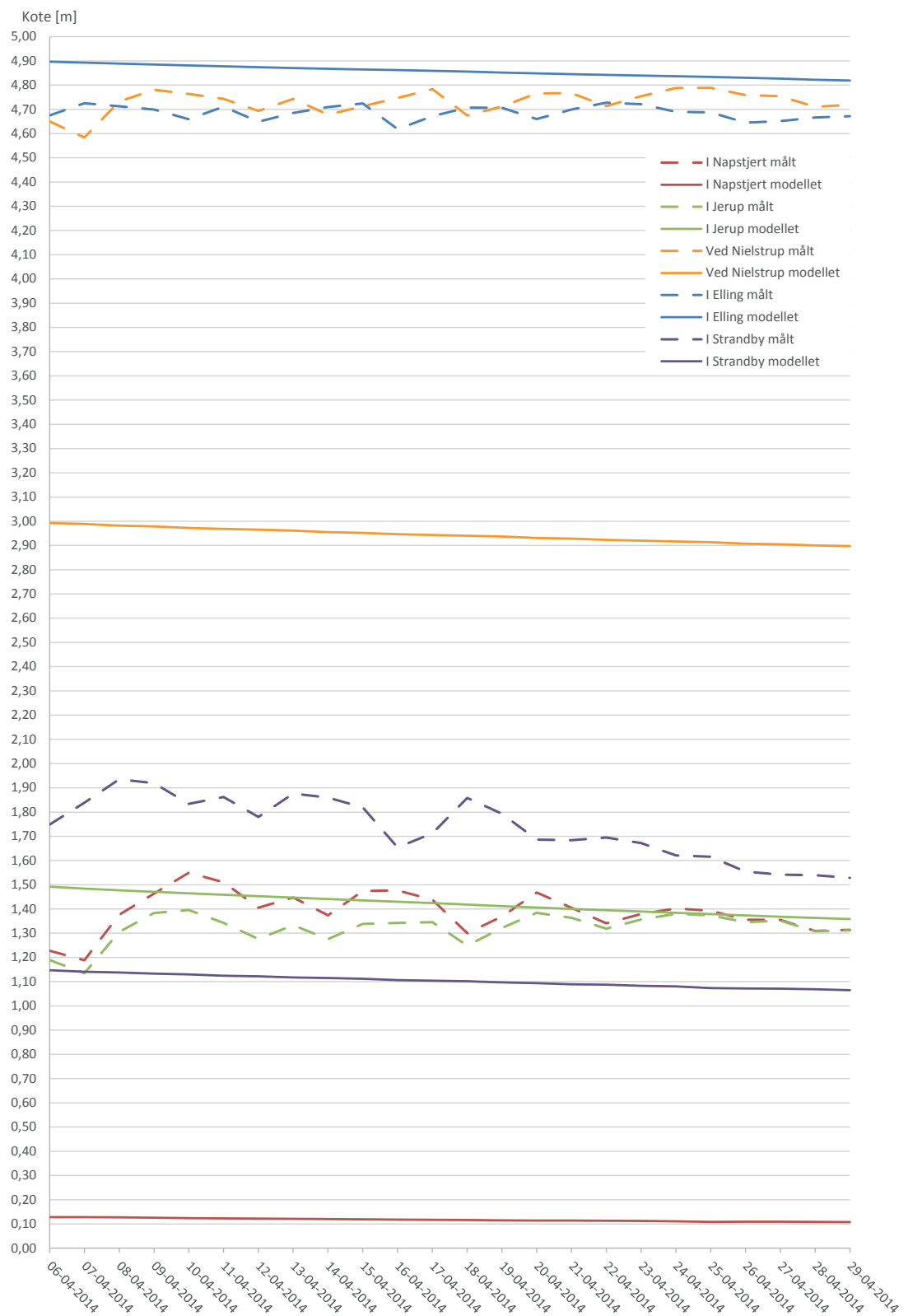
Som beskrevet i afsnit 1.2, er der, for at validere det modellerede grundvandsspejl, lavet pejlemålinger af grundvandsspejlet i april 2014. Målingerne er lavet med hjælp fra Frederikshavn Forsyning i fem forskellige steder i Fokusområdet, der alle er vist på figur 1.2 på side 5. Ved Jerup-pejlingen er der udover at pejle grundvandsspejlet også målt atmosfærisk tryk. Det atmosfæriske tryk anvendes til at beregne niveauet af grundvandsspejlet, da loggerne i jorden måler det totale tryk, altså både vandtrykket og det atmosfæriske tryk. Da vandsøjlen i pejlerøret følger det atmosfæriske tryk er der taget et gennemsnit over et døgn, for at udglatte målingerne, da atmosfæretrykket kan variere meget inden for et døgn. Resultaterne fra logge-perioden er vist på figur 5.2. På figur 5.2 er de målte regndata fra perioden yderligere illustreret.





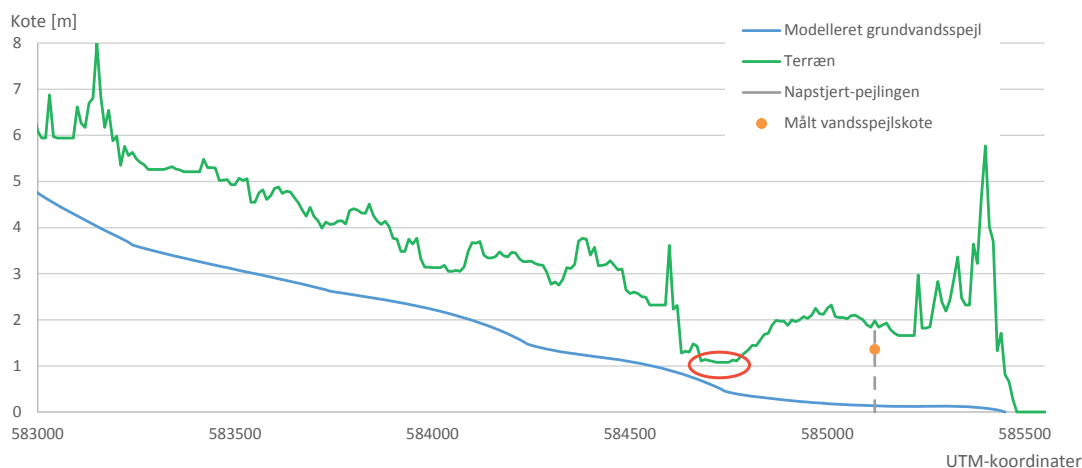
Figur 5.2: Resultater af pejlemålinger.

Som det ses på figur 5.2, er der en bred fordeling af grundvandsniveauerne i Fokusområdet. Samtidig ses det, at regnen især for det lavtliggende grundvandsspejl har stor betydning. På figur 5.3 er de målte niveauer for grundvandsspejlet sammenlignet med de modellerede. Grundvandsspejlet er modelleret i de tre 10 meter-modeller.



Figur 5.3: Sammenligning af målte og modellerede grundvandsspejl for de fem gridceller.

Som det ses på figur 5.3, stemmer de målte og modellerede grundvandsniveauer for Jerup, Strandby og Elling godt overens, mens det ikke er tilfældet i Napstjert og Nielstrup. Forskellen i Nielstrup kan skyldes, at gridcellen ligger i udkanten af grundvandsmodellen, hvorfor randen i 10 meter-modellen kan påvirke værdien, så den ikke er rigtig. Det samme kan være gældende i Napstjert. Her er det til gengæld primært randen ved havet der holder værdierne lave. Det ses også på figur 5.4, hvor det modellerede grundvandsspejl fra den 24. april 2012 er plottet i forhold til terrænniveauet. På figuren er det yderligere illustreret hvilket niveau det målte grundvandsspejl er placeret i for samme dato. Den geografiske placering af tværsnittet er vist på appendiks C.



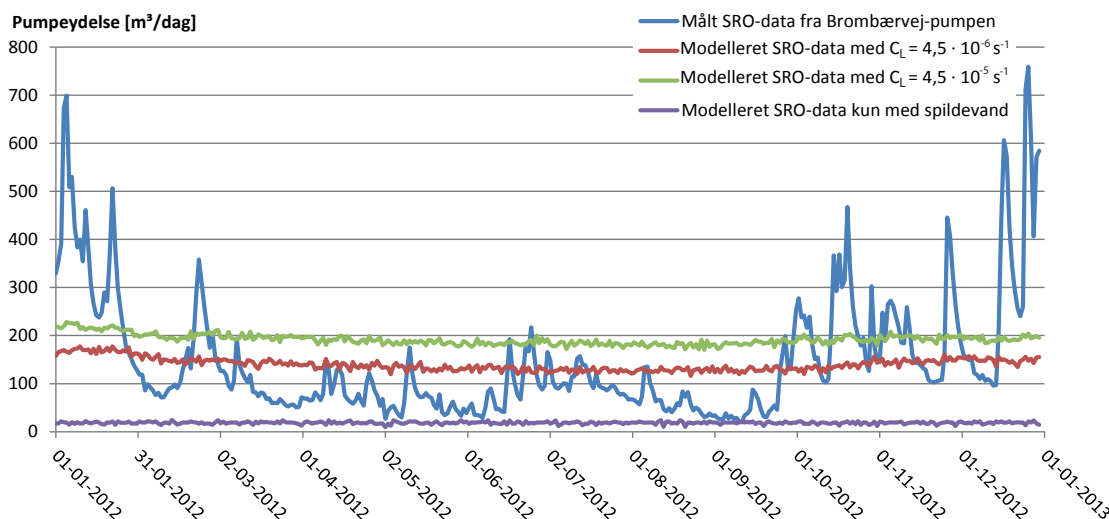
Figur 5.4: Tværsnit af terrænniveauet og det modellerede grundvandsspejl i Napstjert for den 24. april 2012.

Som det er illustreret på figur 5.4, ligger det modellerede grundvandsspejl ved pejlingen en del under det målte. Ledningsnettet for Napstjert ligger mellem UTM-kordinaterne 584700 og 585500. Yderligere er der i virkeligheden vand på terræn den pågældende dato på det flade terrænstykke mellem UTM-kordinaterne 584500 og 585000 markeret med rød på figur 5.4. Det kan derfor tyde på, at det ikke kun er i Napstjert, at randeffekterne fra havet har en effekt, men også længere ind i landet.

For Jerup, Strandby og Elling vurderes det, at de modellerede grundvandsspejlsniveauer er acceptable.

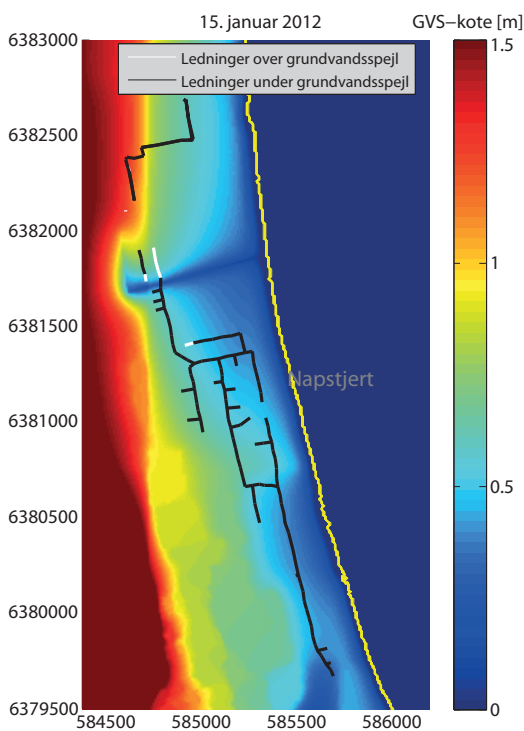
## 5.2 Kalibrering af $C_L$ til ledningsnettet i Napstjert

Efter  $C_L$  for åerne er kalibreret anvendes værdien til Knasborg Å og kanalen mellem den nordlige og sydlige del af Napstjert.  $C_L$  værdierne for Napstjert fra tabel 5.1 indsættes på ledningerne. Herefter kalibreres  $C_L$ , så den modellerede pumpeydelse stemmer bedst overens med den målte, hvilket ses på figur 5.5.

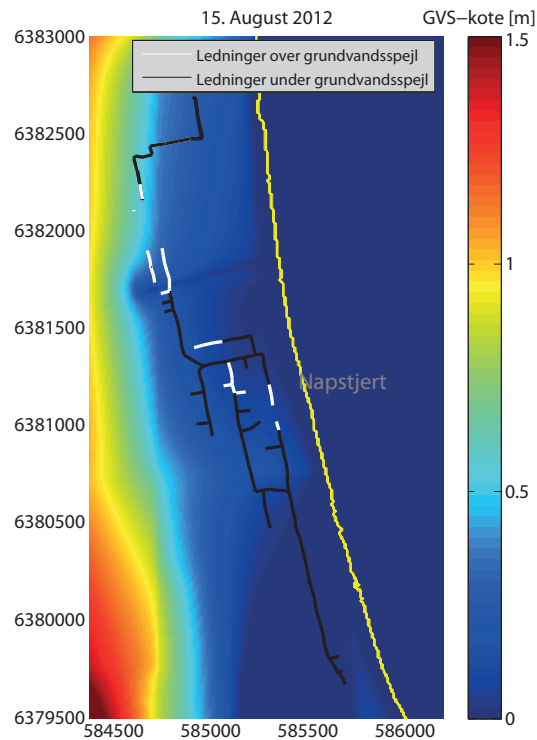


Figur 5.5: Pumpeydelse ved forskellige værdier af  $C_L$  for ledningsnettet i Napstjert.

Som det ses på figur 5.5 er årstidsvariationen af den modellerede pumpeydelse signifikant mindre end den målte. Dette gælder uanset hvilken værdi af  $C_L$  der anvendes. Som figur 5.5 yderligere viser, vil en ændring af  $C_L$  fra  $1 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  til  $4,5 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ , altså mere end en halvering, stort set kun parallelforskyde kurven op og ned, og ikke ændre på årstidsvariationen. Værdien af  $C_L$  på  $4,5 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  er den hvor pumpevolumet for de målte og modellerede SRO-data over hele året stemmer bedst overens. Hertil skal tilføjes, at der med den angivne værdi for indsivning stadig mangler en årsvariation i de modellerede pumpeydelser, hvorved der mangler en årstidsvariation i indsivningsmængden. Den manglende variation af indsivningsmængden hen over året, kan ses ud fra figur 5.6 og 5.7, der henholdsvis viser hvor mange ledninger der ligger over og under grundvandspejlet om vinteren og sommeren i Napstjert.



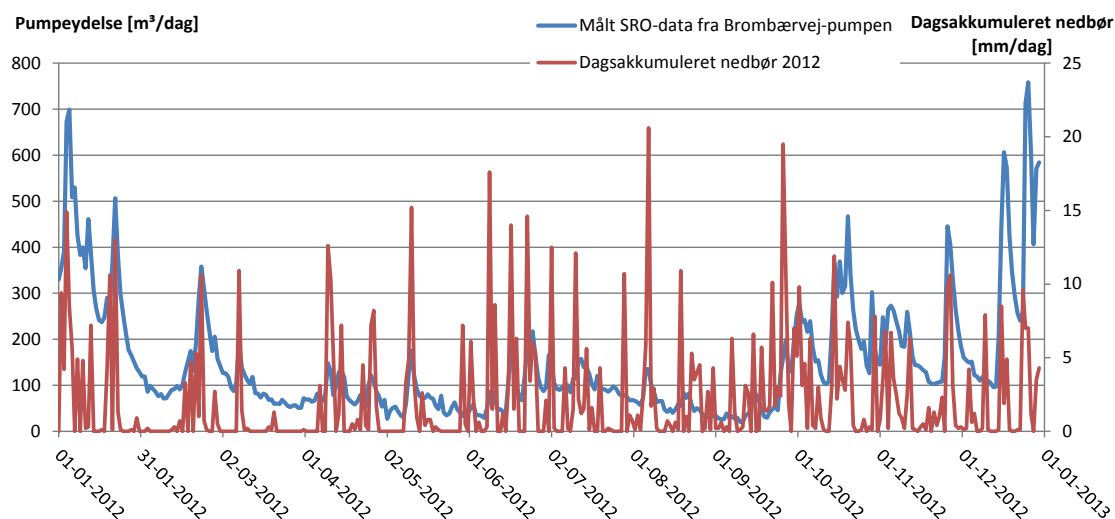
Figur 5.6: Ledningsnettet fra Napstjert med modelleret grundvandsspejl fra 15. januar 2012.



Figur 5.7: Ledningsnettet fra Napstjert med modelleret grundvandsspejl fra 15. august 2012.

Som det ses på figur 5.6 og 5.7, er antallet af ledninger der ligger under det modellerede grundvandsspejl om vinteren, næsten det samme som om sommeren. Derfor vil den modellerede indsivning være næsten konstant, hvilket også er illustreret på figur 5.5. Selvom det modellerede grundvandsspejl varierer hen over året i Napstjert, kommer niveauet, grundet havvandspejlet, aldrig under kote 0, hvilket størstedelen af ledningerne i Napstjert ligger under. Derfor vil der ved modellering af indsivningen være en lille årlig variation, og det antages derfor at årstidsvariationen af de målte SRO-data har andre kilder af uvedkommende vand, end indsivningen af grundvandet til ledningerne.

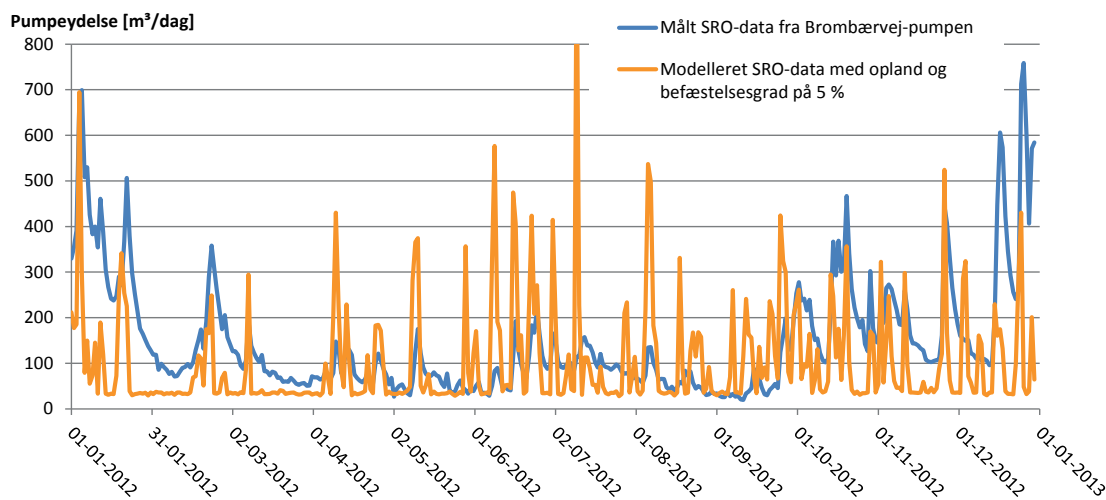
For at undersøge om den resterende mængde uvedkommende vand har sammenhæng med nedbøren, sammenlignes grafen for de målte SRO-data med nedbørsmængden. Dette ses på figur 5.8.



Figur 5.8: Målte SRO-data for Brombærvej-pumpen og dagsakkumuleret nedbør for 2012. Bemærk sekundær akse for nedbør.

Som det ses på figur 5.8, ligger peak-værdierne for de målte SRO-data i samme periode som dage med meget regn. Det tyder derfor på, at regnen tilføjer en væsentlig del af vandet, der pumpes fra Brombærvej-pumpen. Regnvandet kan komme til systemet, blandt andet ved at husejere har koblet tagvand til ledningsnettet i stedet for at nedsive det, hvilket i følge Frederikshavn Kommune [2012b] er meningen. Det kan også være, at størstedelen af indsivningen ikke sker i ledningerne, men derimod i brøndene. Hvis sidstnævnte er tilfældet, er det stadig ikke muligt at modellere indsivningen, da det modellerede grundvandsspejl ligger signifikant lavere end det målte, og årstidsvariationen er lille.

For at modellere den manglende mængde vand, der enten kommer fra tilkoblinger eller manglende indsivning, tilsluttes et befæstet areal til spildevandsnettet. Det befæstede areal har et samlet areal på 70 ha og en befæstelsesgrad på 5 %. De modellerede SRO-data fra Brombærvej-pumpen med det tilsluttede befæstede areal og de målte SRO-data Brombærvej-pumpen ses på figur 5.9.

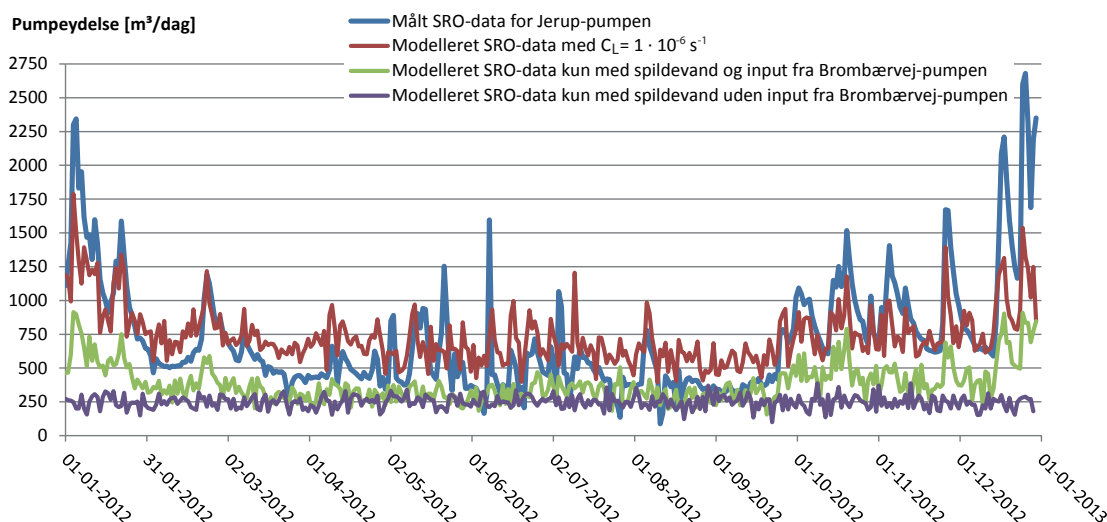


Figur 5.9: Målte og modellerede SRO-data Brombærvej-pumpen, med en befæstelsesgrad på 5 % på spildevandsoplandene.

Som vist på figur 5.9, stemmer det modellerede data bedre overens med de målte. Alligevel er peak-værdierne generelt for høje og for hurtigt aftagende. Det kan derfor tyde på, at den manglende mængde uvedkommende vand ikke skyldes fejkoblinger alene, men en væsentlig del af det stammer fra en manglende modelleret indsvinningsmængde. Da dette er den bedste overensstemmelse mellem målte og modellerede SRO-data som er mulig at modellere, og at randeffekterne fra grundvandsmodellen er for store, vurderes modellen til at være for upræcis til at den kan anvendes til at modellere indsvinningen af grundvand tilstrækkeligt.

### 5.3 Kalibrering af $C_L$ til ledningsnettet i Jerup

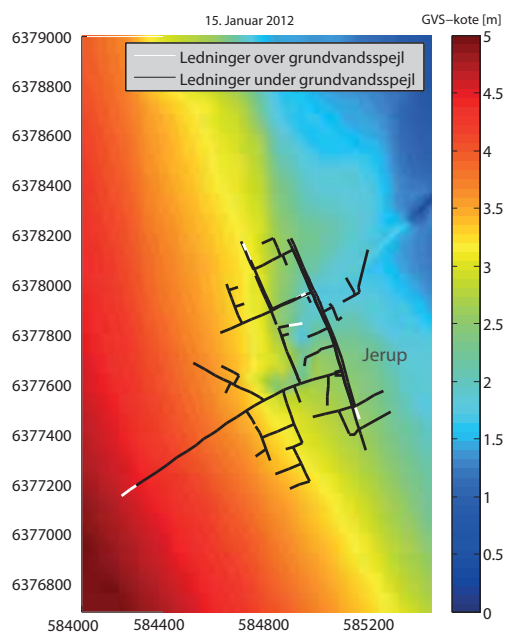
I Jerup kalibreres  $C_L$  efter inputtet fra Brombærvej-pumpen er indsat i Jerup-modellen, som beskrevet i afsnit 3.3. På samme måde som ved kalibreringen af ledningsnettet i Napstjert ændres  $C_L$ , så der fås den bedste overensstemmelse mellem målte og modellerede SRO-data. For spildevandsnettet i Jerup er den bedste værdi for  $C_L$  fundet til  $1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ , hvilket stemmer overens med den angivne værdi i 5.1. Med den angivne  $C_L$ -værdi fås en årlig modelleret vandbalance på 103 % af den målte. Sammenligningen af de målte og modellerede SRO-data for Jerup-pumpen er vist på figur 5.10.



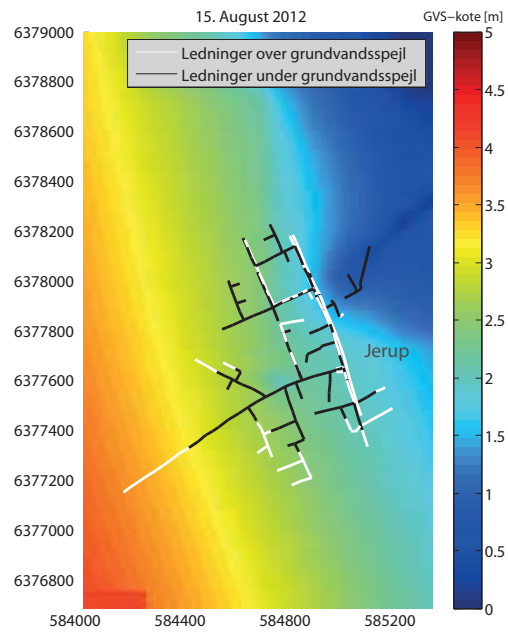
Figur 5.10: Pumpeydelse ved forskellige værdier af  $C_L$  for ledningsnettet i Jerup.

Som det ses på figur 5.10, passer de målte og de modellerede SRO-data godt sammen. Dette understøttes af, at det for Jerup er muligt at modellere grundvandsspejlet med en acceptabel usikkerhed. Samtidig har det modellerede grundvandsspejl tilpas stor variation til, at næsten hele ledningsnettet ligger under grundvandsspejlet om vinteren og store dele ligger over om sommeren, hvilket er illustreret på figur 5.11 og 5.12.





Figur 5.11: Ledningsnettet fra Jerup med modelleret grundvandsspejl fra 15. januar 2012.

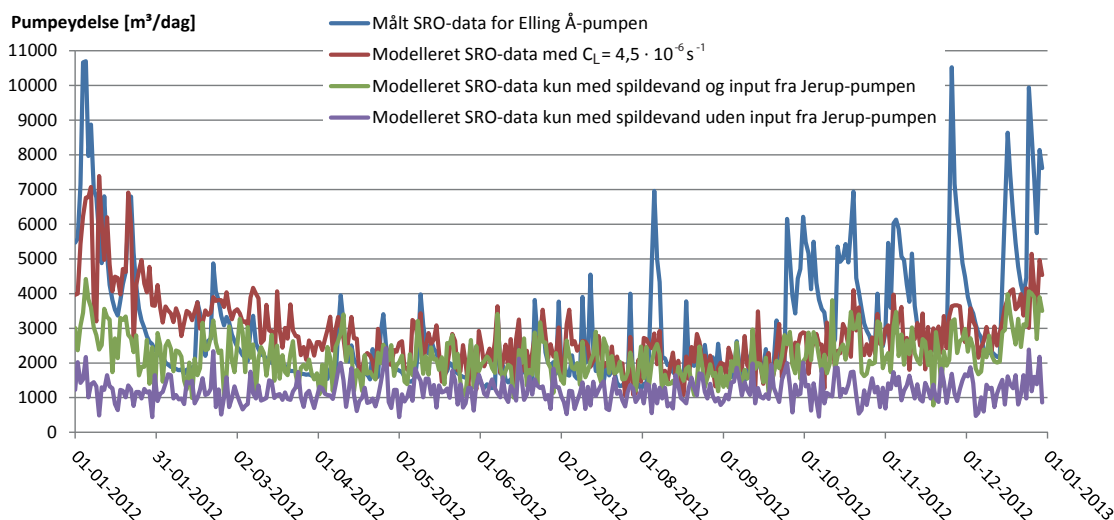


Figur 5.12: Ledningsnettet fra Jerup med modelleret grundvandsspejl fra 15. august 2012.

Da de målte og modellerede SRO-data stemmer godt overens, laves der ikke yderligere kalibreringer af Jerup-modellen.

## 5.4 Kalibrering af $C_L$ til ledningsnettet i Strandby og Elling

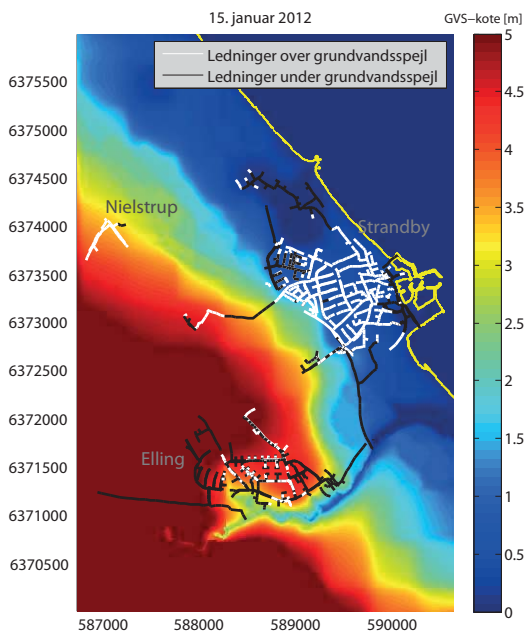
For Elling Å-pumpen kalibreres  $C_L$  efter inputtet fra Jerup-pumpen er indsat i Strandby-Elling-modellen, som beskrevet i afsnit 3.3. Modsat Napstjert- og Jerup-modellen er en del af Strandby-Elling-modellen fælleskloakeret opland, hvorfor nedbøren medtages for disse oplande. Den bedste sammenhæng mellem målte og modellerede SRO-data er for Strandby og Elling opnået ved en  $C_L$ -værdi på  $4,5 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  for spildevandsnettet. Med den angivne  $C_L$ -værdi fås en årlig vandbalance på 94 % af den målte. Sammenligningen af de målte og modellerede SRO-data ses på figur 5.13.



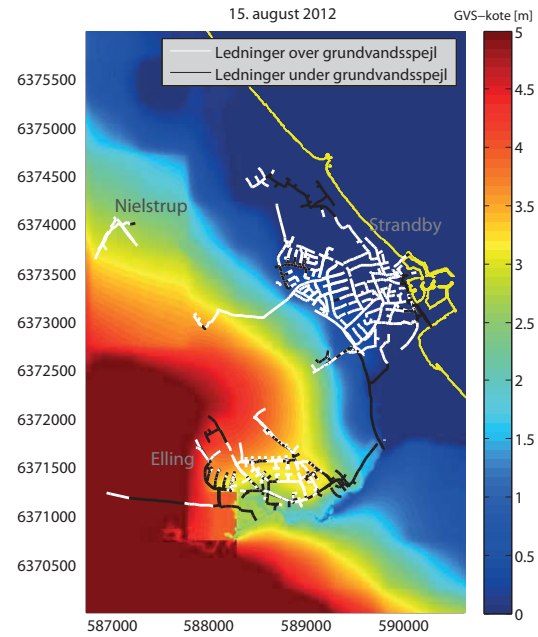
Figur 5.13: Pumpeydelse ved forskellige værdier af  $C_L$  for ledningsnettet i Strandby og Elling.

Som figur 5.13 viser, ligger den grønne og røde graf tæt på hinanden om sommeren, hvilket betyder, at indsivningen af grundvand her er lav. Ligesom i Napstjert, er peak-værdierne for de modellerede data for Elling Å-pumpen signifikant mindre end for de målte. Figur 5.13 viser en større årstidsvariation for Elling Å-pumpen, end figur 5.5 og 5.10 gør for henholdsvis Napstjert og Jerup. Den højere årstidsvariation kan forklares ud fra inputtet fra Jerup, hvilket kan ses ved at sammenligne den grønne og lilla graf. En anden grund til den højere årstidsvariation for Elling Å-pumpen er, at en del af oplandene i Strandby er fælleskloakeret, hvilket vil sige, at en del af variationen kan skyldes afstrømning af regnvand på disse oplande.

Ligesom for Jerup, ses der, især i Elling, en variation i antallet af ledninger der henholdsvis ligger over og under grundvandsspejlet om sommeren og vinteren. Variationen ses på figur 5.14 og 5.15.

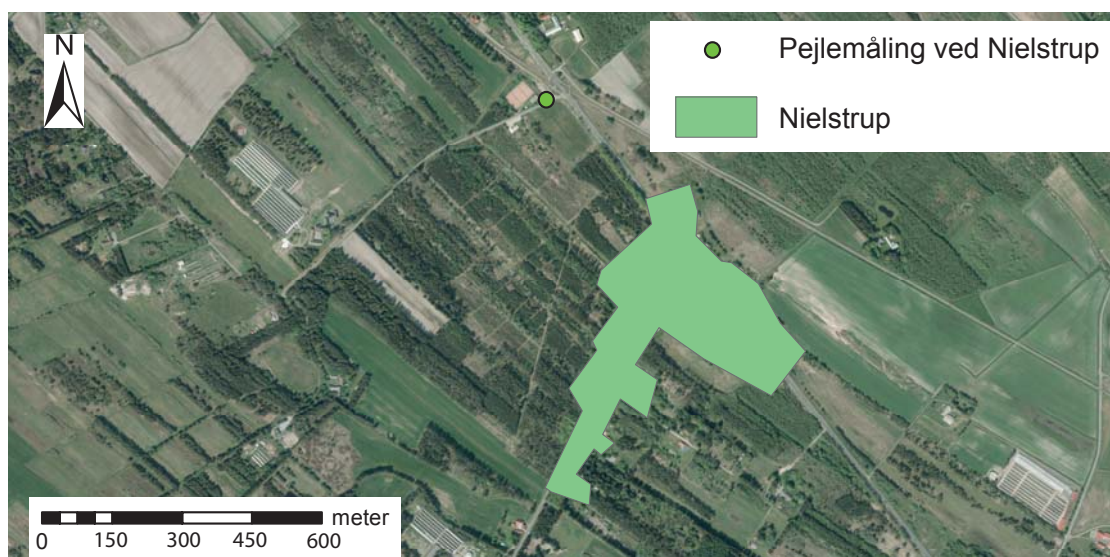


Figur 5.14: Ledningsnettet fra Strandby og Elling med modelleret grundvandsspejl fra 15. januar 2012.



Figur 5.15: Ledningsnettet fra Strandby og Elling med modelleret grundvandsspejl fra 15. august 2012.

Ud fra figur 5.14 og 5.15 er det vurderet, at dele af de manglende peak-værdier kan skyldes manglende variation i grundvandsspejlet. Blandt andet ses det ved, at ledningsnettet i Nielstrup konstant ligger over grundvandsspejlet. Som illustreret på figur 5.16 ligger pejleboringen ved Nielstrup, hvor der som illustreret på figur 5.3 er for lav modelleret grundvandsstand i forhold til den målte, og Nielstrup tæt sammen. Ved undersøgelse har det vist sig, at hvis grundvandsspejlet tvinges op i det målte niveau i Nielstrup, vil hele ledningsnettet i byen være under grundvandsspejlet, hvorved der er mulighed for indsvivning til ledningsnettet.



Figur 5.16: Placering af pejleboringen ved Nielstrup i forhold til Nielstrup. [COWI, 2012]

Alternativt kan den manglende uvedkommende vand også komme fra Elling. For, som beskrevet, er ændringen af antallet af ledninger over og under grundvandsspejlet for henholdsvis sommer og vinter her størst. Derfor kan mængden af uvedkommende vand også skyldes, at  $C_L$ -værdien i Elling bør være højere end i Strandby. Modsat kan det skyldes, at variationen af det modellerede grundvandsspejl i Strandby er for lille, så antallet af ledninger, der ligger under grundvandsspejlet om vinteren, er større i virkeligheden. Den manglende variation af grundvandsspejlet i Strandby kan skyldes, at randen for havet ligger for tæt på.

På trods af de manglende peak-værdier vurderes det, at overensstemmelsen mellem målt og modellerede SRO-data med den angivne  $C_L$ -værdi for Strandby-Elling-modellen, giver et ude-mærket billede af den nuværende situation.

Efter at MU- og MS-modellerne er koblet, og indsivningskoefficienten,  $C_L$ , er kalibreret kan den nuværende situation beskrives.

# 6

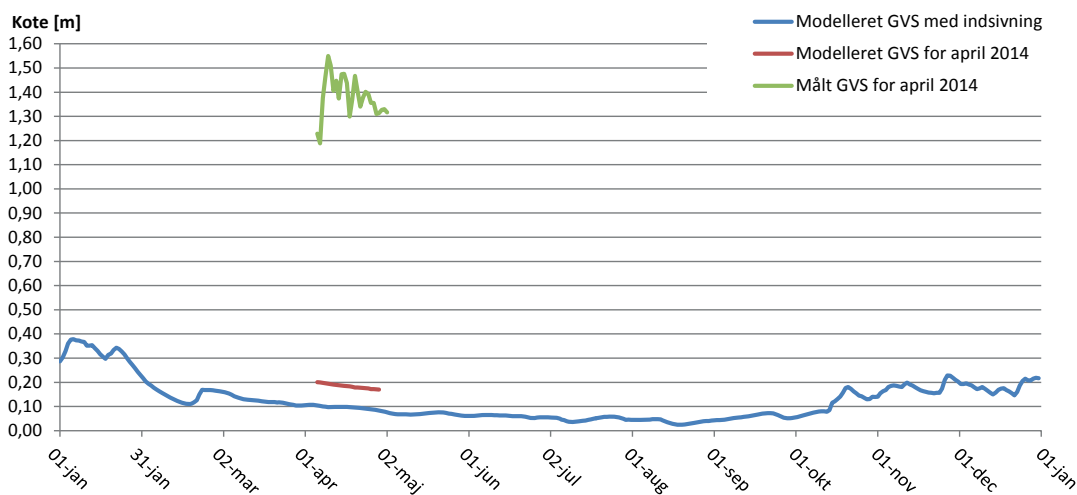
## Beskrivelse af den nuværende situation

I kapitlet beskrives den nuværende situation, som de koblede modeller viser den bedst muligt. Det modellerede grundvandsspejl sammenlignes med det målte, og det vurderes om resultaterne fra de koblede modeller er realistiske nok, til at beskrive den nuværende situation. Yderligere sammenlignes målte og modellerede SRO-data fra pumperne, for at se om de koblede modeller kan beskrive indsivningen til afløbssystemet for den nuværende situation. Endelig sammenlignes det modellerede grundvandsspejl med indsivning af grundvand til afløbssystemet og det modellerede grundvandsspejl uden indsivning til afløbssystemet. Dette gøres, for at se hvor meget grundvandsspejlet sænkes som funktion af indsivningen i forhold til de naturlige forhold. Scenariet der viser de naturlige forhold, svarer også til, at ledningsnettet er fuldstændig tæt.

Ud fra de koblede 10 meter-modeller i MS og afløbssystemet i MU, beskrevet i kapitel 3 og 4, kan den nuværende situation for henholdsvis grundvandet og kloaknettet beskrives.

### 6.1 Napstjert

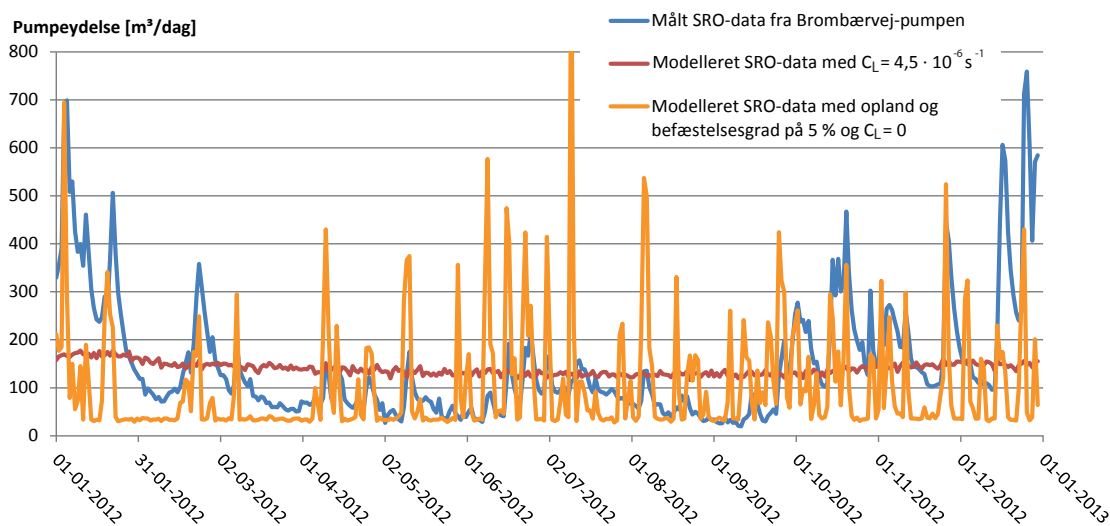
Da Napstjert ligger tæt ved kysten, hvor havniveauet er indsat i MS som randbetingelse, er det svært at modellere grundvandsspejlet korrekt. Det skyldes, at Napstjert er påvirket af randeffekter, og det vil derfor kræve en signifikant mindre gridstørrelse, for at få et mere korrekt grundvandsspejl. På figur 6.1 ses det bedste modelresultat der er opnået.



Figur 6.1: Modelleret grundvandsspejl for 2012 for Napstjert. Valideringsperioden i 2014 er yderligere illustreret.

Som figur 6.1 viser, ligger det modellerede grundvandsspejl signifikant lavere end det målte. Det skyldes sandsynligvis, at antallet af gridceller til randen er lav, og grundvandsspejlet derfor bliver trukket ned af randbetingelsen for havet. Med en gridstørrelse på 10 m vil randeffekterne derfor være for kraftige til at kunne modellere grundvandet korrekt i området. En anden grund til, at det modellerede grundvandsspejl er signifikant lavere end det målte, kan være at den hydrauliske ledningsevne er for høj, og grundvandet derfor løber for hurtigt ud i havet.

Figur 6.2 viser hvordan den nuværende situation ser ud i form af modellerede SRO-data for Brombærvej-pumpen. De målte SRO-data er indsat til sammenligning.

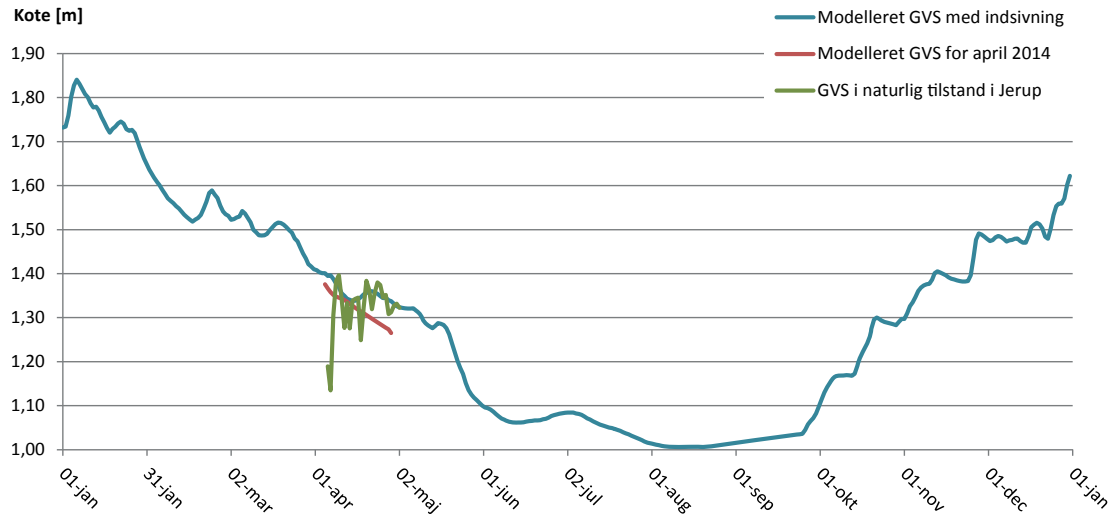


Figur 6.2: Målte SRO-data og den bedst modellerede nuværende situation for Brombærvej-pumpen.

For den orange kurve der viser de modellerede SRO-data på figur 6.2 er der, som nævnt, modelleret med en befæstelsesgrad på 5 %, i stedet for indsvivning af grundvand. Hvis der modelleres med både indsvivning og en befæstelsesgrad, vil den orange kurve på figur 6.2 stort set parallelforskydes op, uden at variationen ændres. Som det ses på figur 6.2, stemmer de modellerede data bedre overens med de målte, end hvor indsvivningen er den varierende faktor. Selvom de modellerede SRO-data for modellen med en befæstelsesgrad på 5 % stemmer bedre overens med de målte, end de modellerede SRO-data med indsvivning, vurderes det, at denne model ikke giver et realistisk billede af virkeligheden. Det skyldes blandt andet, at de modellerede peak-værdier om sommeren er signifikant højere end de målte. Modellen med indsvivning, vurderes heller ikke at give et realistisk billede af virkeligheden, da årstidsvariationen for de modellerede SRO-data er lille i forhold til de målte SRO-data. Den manglende årstidsvariation kan skyldes, at randeffekterne fra grundvandsmodellen er for store til at kunne anvende modellen til at modellere indsvivningen af grundvand korrekt. Derfor anvendes Napstjert-modellen ikke til fremskrivning i kapitel 8.

## 6.2 Jerup

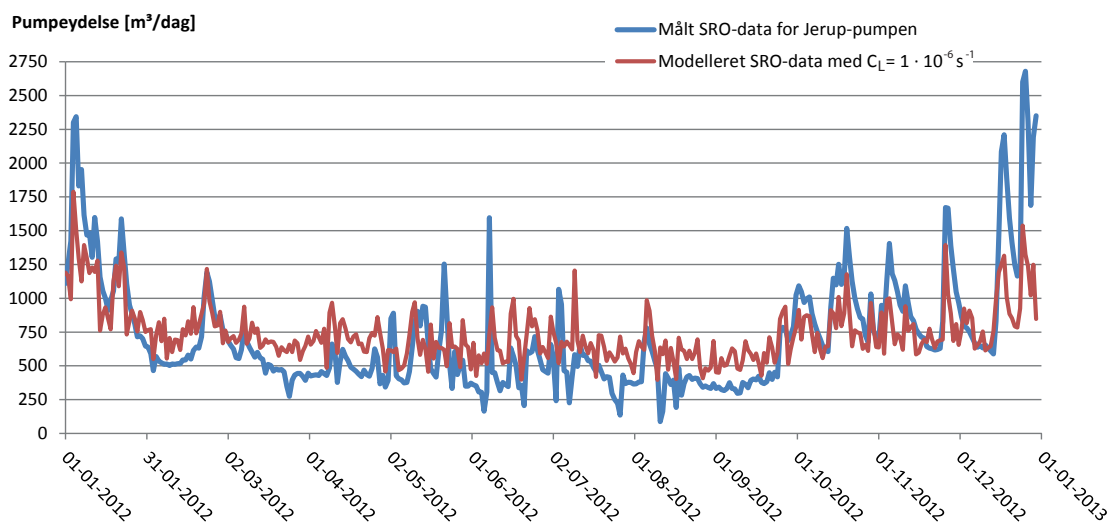
I modsætning til Napstjert kan grundvandsspejlet i Jerup modelleres tilstrækkeligt godt til at beskrive den nuværende situation, hvilket ses på figur 6.3.



Figur 6.3: Modelleret grundvandsspejl for 2012 for Jerup. Valideringsperioden i 2014 er yderligere illustreret.

Som det ses på figur 6.3, ligger det modellerede grundvandsspejl oven i det målte i valideringsperioden. Med et modelleret grundvandsspejl, der tilnærmelsesvis ligner det virkelige, er det muligt at modellere indsivningen af grundvand bedre i Jerup.

Figur 6.4 viser hvordan den nuværende situation ser ud i form af modellerede SRO-data for Jerup-pumpen. De målte SRO-data er indsat til sammenligning.



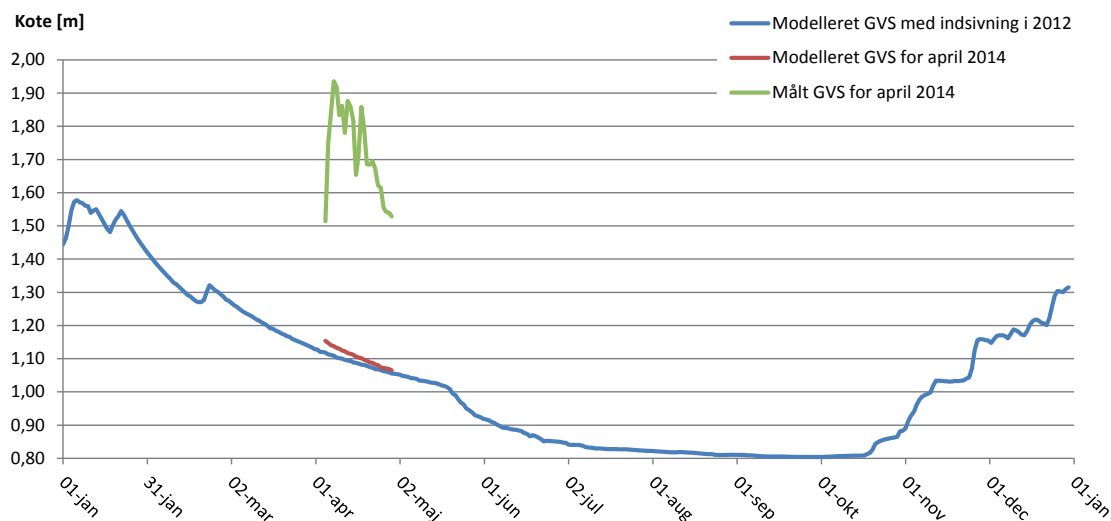
Figur 6.4: Målte SRO-data og den bedst modellerede nuværende situation for Jerup-pumpen.

Vandbalancen for de modellerede SRO-data på figur 6.4 svarer til 103,8 % og vurderes at være acceptabel. Samtidig ses det på figur 6.4, at de modellerede data stemmer godt overens med de målte. Om sommeren ligger de modellerede SRO-data generelt lidt højere end de målte, og om vinteren er peak-værdierne for de modellerede SRO-data, lavere end de målte. Årstidsvariationen for de modellerede SRO-data for Jerup-pumpen er signifikant bedre end for de modellerede SRO-data for Brombærvej-pumpen. Derfor antages det, at grundvandsmodellen for Jerup modellerer variationen af grundvandsspejlet, og dermed indsivningen, tilstrækkelig godt, se figur 6.3, til at give et realistisk billede af den nuværende situation. Derfor anvendes modellen til fremskrivning i kapitel 8.

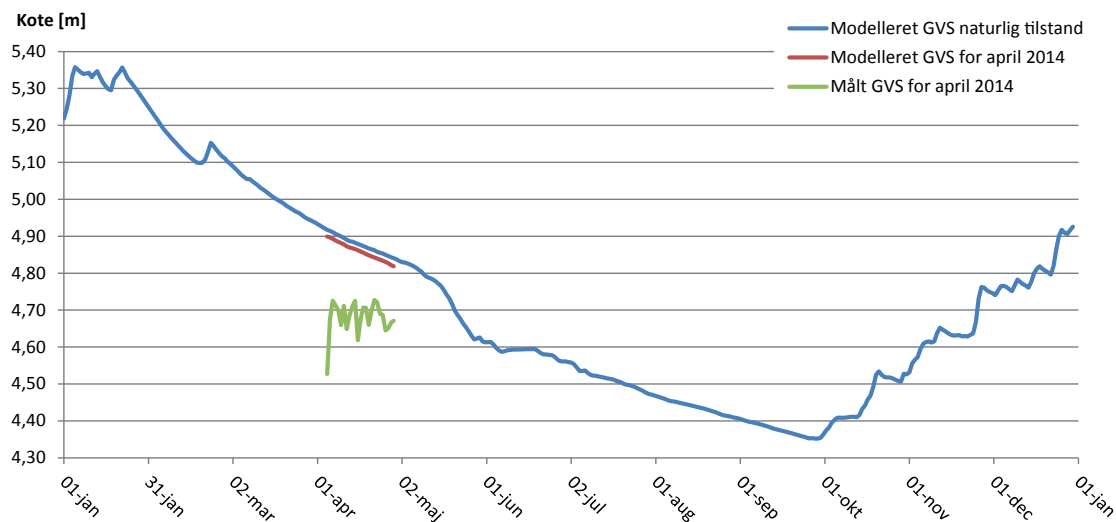


### 6.3 Strandby og Elling

Ligesom for Jerup er det for Strandby og Elling muligt at modellere et acceptabelt grundvandniveau. For Elling er forskellen ca. 20 cm i hele valideringsperioden og for Strandby er forskellen 60 cm. På figur 6.5 og 6.6 er de målte og modellerede grundvandsspejl for Strandby og Elling for 2014 illustreret. Yderligere er hele 2012 vist på figurene.

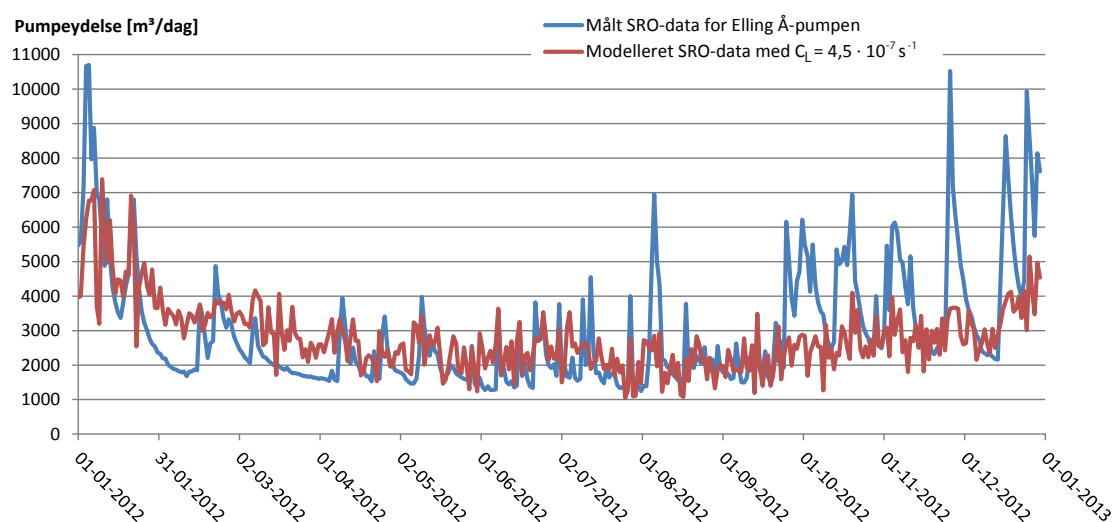


Figur 6.5: Modelleret grundvandsspejl for 2012 for Strandby. Valideringsperioden i 2014 er yderligere illustreret.



Figur 6.6: Modelleret grundvandsspejl for 2012 for Elling. Valideringsperioden i 2014 er yderligere illustreret.

Som figur 6.5 og 6.6 viser, stemmer det målte og modellerede grundvandsspejl ikke overens. For Elling ligger det modellerede grundvandsspejl højere end det målte, og for Strandby ligger det modellerede grundvandsspejl lavere end det målte. Det stemmer godt overens med, som det er beskrevet i afsnit 5.4, at værdien af  $C_L$  bør være højere i Elling end i Strandby. Det for lavt modellerede grundvandsspejl i Strandby kan også være, at randen ligger for tæt på, og grundvandsspejlet dermed bliver trukket ned, hvilket også er beskrevet i afsnit 5.4. Usikkerheden ved grundvandsspejlet ses også i modelleringen af SRO-dataene fra Elling Å-pumpen, som er vist på figur 6.7.

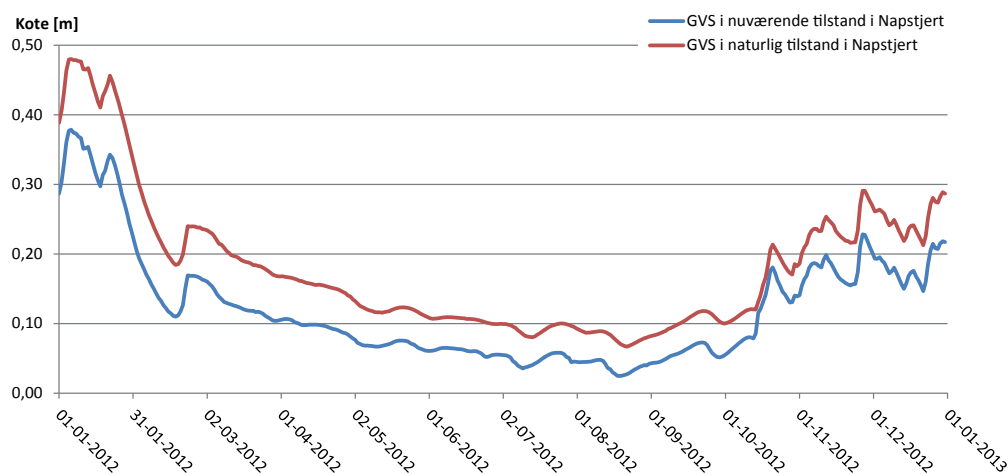


Figur 6.7: Målte SRO-data og den bedst modellerede nuværende situation for Elling Å-pumpen.

Som det ses på figur 6.7, stemmer de modellerede pumpedata for Elling Å-pumpen godt overens med de målte om foråret sommeren. Lige som for Jerup-pumpen mangler enkelte peak-værdier. Til gengæld udgør den årlige pumpeydelse for de modellerede SRO-data 94,2 % af de målte SRO-data, hvilket vurderes at være acceptabelt. Derfor anvendes modellen til fremskrivning i kapitel 8.

## 6.4 Indsivningens påvirkning af grundvandsspejlet i forhold til naturlige forhold

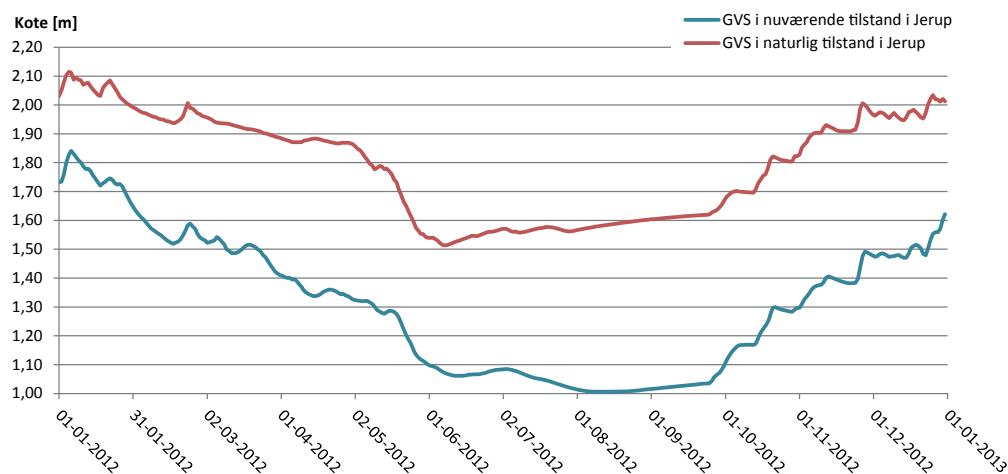
De modellerede grundvandsspejl med og uden indsivning sammenlignes. for at illustrere hvor meget indsivningen af grundvand til afløbssystemet, har sænket grundvandsspejlet i forhold til de naturlige forhold. Samtidig beskrives det, hvor meget grundvandsspejlet vil stige ved en tætning. Figur 6.8 viser forskellen i Napstjert.



Figur 6.8: Grundvandsspejlet ved naturlige forhold og med indsvivning af grundvand til afløbssystemet i Napstjert.

Som figur 6.8 viser, sænkes grundvandsspejlet i Napstjert kun med ca. 5 cm i forhold til de naturlige forhold. Som skrevet i afsnit 6.1 kan grundvandsspejlet i Napstjert ikke modelleres tilstrækkelig korrekt, da det er for tæt på randen for havet. Derfor antages det, at sænkningerne ligeledes ikke modelleres korrekt.

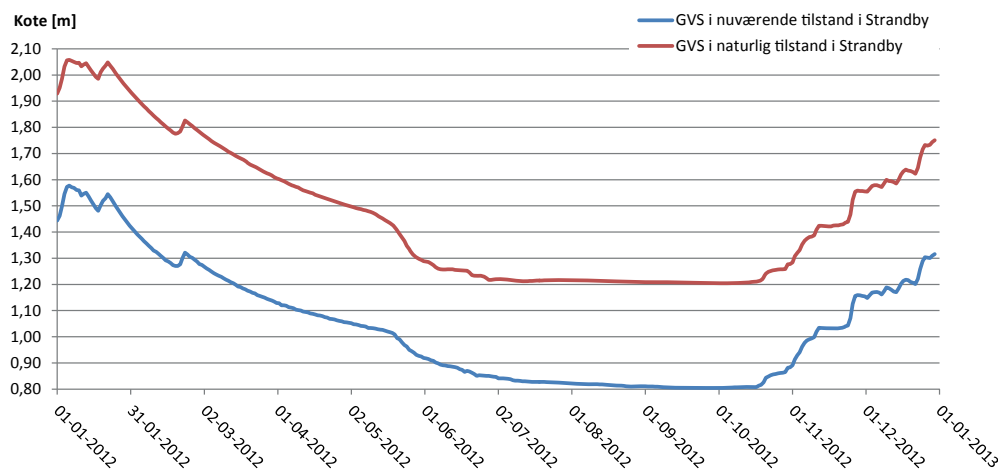
I Jerup stemmer det modellerede grundvandsspejl godt overens med det målte, som vist på figur 6.3. Derfor antages sænkningerne også at være realistiske. Figur 6.9 viser forskellen mellem grundvandsspejlet ved naturlige forhold og med indsvivning af grundvand til afløbssystemet i Jerup.



Figur 6.9: Grundvandsspejlet ved naturlige forhold og med indsvivning af grundvand til afløbssystemet i Jerup.

Som figur 6.9 viser, sænkes grundvandsspejlet i Jerup signifikant i forhold til de naturlige forhold. I sensommeren helt op til 0,5 m i forskel.

I Strandby stemmer det modellerede grundvandsspejl ikke godt overens med det målte, som vist på figur 6.5. Det antages stadig, at sænkningerne i forhold til de naturlige forhold er realistiske. Forskellen ses på figur 6.10.



Figur 6.10: Grundvandsspejlet ved naturlige forhold og med indsvivning af grundvand til afløbssystemet i Strandby.

Som figur 6.10 viser, sænkes grundvandsspejlet i Strandby signifikant i forhold til de naturlige forhold. Sænkningerne varierer mellem 0,3 m og 0,5 m henover året.

Både for Jerup og Strandby drænes grundvandet som funktion af indsvivning til ledningsnettet. For begge områder vil grundvandet om vinteren komme meget tæt på terræn, hvorfor risikoen for indsvivning til blandt andet kældre vil forøges væsentligt hvis der laves en komplet tætning af systemet.

Som vist i tabel 3.3 på side 25 pumper Elling Å-pumpen i dag mere end dobbelt så meget vand per person i forhold til den dimensionerede mængde på 110 l/person/døgn. Derfor er indsvivningsmængden allerede høj i dag. For at undersøge om problemet bliver større i fremtiden, modelleres de fremtidige scenarier, der beskrives i kapitel 8.

## **Del II**

# **Klimaændringer og modellering af fremtidige scenarier**

**En mere detaljeret gennemgang af resultaterne fra IPCC's fjerde Hovedrapport,**

**GEUS-rapporterne og artiklerne fra DMI.**



# 7 Klimaændringer

---

For at kunne modellere fremtidige scenarier, er det nødvendigt at se på klimaændringer. Disse kan blandt andet være ændringer i temperaturen, nedbøren, vinden og havniveauet. Klimaændringerne er globale, men alt efter den geografiske placering kan klimaændringerne variere, både med hensyn til hvad der ændres, og hvor kraftige ændringerne er. I kapitlet beskrives de data der fremskrives, og hvilke værdier dataene fremskrives med. For nedbøren modificeres regnserien fra Centralrenseanlægget i Frederikshavn, så denne svarer til et givent fremtidsscenario i 2050 eller 2100.

---

Ifølge Bernstein et al. [2007] kan det konkluderes, at størstedelen af den observerede globale opvarmning siden 1950 med mere end 90 % sikkerhed er menneskeskabte drivhusgasser. Derudover konkluderes det, at det er meget sandsynligt, at der i fremtiden vil være ligeså store eller større udledninger af drivhusgasser end på nuværende tidspunkt. Det vil påvirke klimaet yderligere, og det globale klimasystem vil ændres. Hvis det skal undersøges hvilke konsekvenser klimaændringerne vil have på grundvandsspejlets placering, og for mængden af indsivning af grundvand til kloaksystemet, er det derfor nødvendigt at fremskrive dataene for forskellige klimascenarier.

I IPCC arbejdes der frem mod 2100 med forskellige klimascenarier, alt efter hvor stor udledningen af drivhusgasser antages at være. Siden 2010 er det i Danmark anbefalet af DMI at bruge scenarie A1B, som er et middelscenarie, frem mod 2050. Dette skyldes at, de forskellige scenarier kun i mindre grad afviger fra hinanden. Derimod er der fra 2050 – 2100 en større spredning af de forskellige klimascenarier, da usikkerheden på udledningen af drivhusgasser er stor. [Olesen et al., 2012]

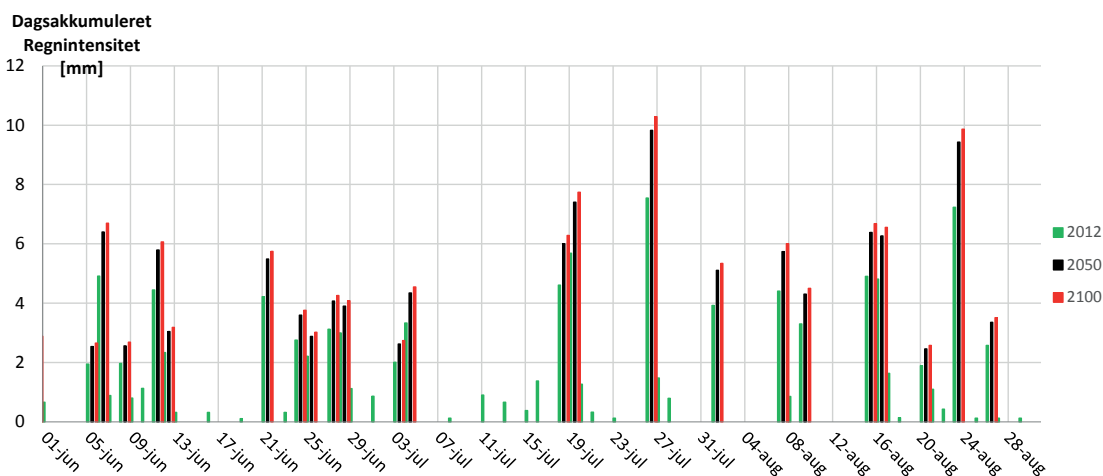
Til at fremskrive klimadata anvendes værdierne fra A1B scenariet for både 2050 og 2100. Det er klimadata i form af nedbør og potentiel fordampning, der er nødvendige at fremskrive, for at undersøge grundvandsspejlets placering og mængden af indsivning af grundvand til kloaksystemet i 2050 og 2100. Herudover skal der også tages højde for havniveaustigninger, da dette er randbetingelsen til grundvandsmodellen. Den potentielle fordampning afhænger blandt andet af temperaturen, vindhastigheden og solindstrålingen. Det har ved undersøgelse vist sig, at den potentielle fordampning afhænger signifikant mest af solindstrålingen, og da denne antages kun at ændres ubetydeligt, anvendes samme værdier til fremtidige scenarier, som ved den nuværende situation. En beskrivelse af undersøgelsen er vist i appendiks D.

For nedbørsmængden varierer fremskrivningsfaktoren alt efter årstiden, hvilket ses i tabel 7.1.

Årstid	2050	2100
Årsmiddel	+ 7% ( $\pm 3\%$ )	+14% ( $\pm 6\%$ )
Forår	+ 4% ( $\pm 3\%$ )	+14% ( $\pm 6\%$ )
Sommer	+ 4% ( $\pm 4\%$ )	+ 5% ( $\pm 8\%$ )
Efterår	+ 7% ( $\pm 3\%$ )	+ 9% ( $\pm 5\%$ )
Vinter	+11% ( $\pm 3\%$ )	+25% ( $\pm 6\%$ )

Tabel 7.1: Klimafaktorer for nedbørsmængde for A1B scenariet fra DMI [2012].

Som det ses i tabel 7.1, stiger nedbørsmængden for alle årstider i 2050 og yderligere i 2100, hvor der for begge år er den største forøgelse om vinteren. Nedbørsmængden fremskrives derfor med de respektive klimafaktorer der er angivet for henholdsvis forår, sommer, efterår og vinter. Derudover fremgår det af Olesen et al. [2012], at der om sommeren vil være længere tørkeperioder, og hændelser med høj intensitet vil blive endnu højere. Dette ses blandt andet ved, at en 100 – årshændelse i 2050 vil forekomme hvert 49. år, og en 10 – årshændelse i 2050 vil forekomme hvert 6,7 år, altså en forøgelse med henholdsvis en faktor 2 og 1,49 [Olesen et al., 2012]. For at simulere en længere tørkeperiode om sommeren, og tage højde for den højere intensitet, fjernes hændelserne de dage hvor den dagsakkumulerede regnmængde er under 2 mm. Herefter lægges den volumen til de resterende regnhændelser, efter disse er fremskrevet med klimafaktoren, hvorved de bliver endnu kraftigere.



Figur 7.1: Sommerregn fremskrevet til 2050 og 2100.



Da der ifølge IDA [2014] allerede i dag er en højere udledning af blandt andet CO<sub>2</sub> end ifølge klimascenarie A1B, vælges det udelukkende at simulere for maksimumværdierne af A1B. Derfor anvendes værdierne af klimascenarierne tillagt de maksimale usikkerheder. Den totale nedbørsmængde for 2012 og fremskrevet til 2050 og 2100 ses i tabel 7.2.

År	Total nedbørsmængde [mm]	Forøgelse i forhold til 2012 [mm]	Forøgelse i procent
2012	717	-	-
2050	785	68	9,5
2100	865	148	20,7

Tabel 7.2: Total nedbørsmængde for de forskellige år.

## 7.1 Havniveaustigninger

Alle klimamodeller er enige om, at havniveauet er stigende, men der er stor usikkerhed omkring hvor meget og hvor hurtigt havet vil stige. En middelvandstandsstigning i Danmark vil i følge [Olesen et al., 2012] være omkring 0,3 meter i 2050 og 0,8 meter i 2100. Dertil vil der i Nordjylland være landhævninger der reducerer havniveaustigningen med 0,1 m – 0,2 m frem mod 2100.

Ifølge Projekthåndbogen for kloakfornyelse fra Frederikshavn Forsyning antages havvandspejlet at stige 10 – 20 cm indtil 2050, og op mod 60 cm indtil 2100 i forhold til det nuværende niveau [Forsyningen Frederikshavn, 2010]. Værdierne fra projekthåndbogen anvendes til fremskrivning af havniveauet. Ligesom for regnfremskrivningen anvendes der for havniveaustigninger kun de maksimale forhold, så havniveauet i 2050 sættes til 20 cm højere end i 2012, og i 2100 60 cm højere end i 2012.

Med disse fremskrivninger af klimadata kan fremtidige scenarier simuleres, og konsekvenserne af klimaændringerne undersøges.



# 8

## Beskrivelse af fremtidige scenarier

---

I kapitlet beskrives de fremtidige scenarier, som de koblede modeller viser dem. De fremtidige scenarier sammenlignes med det nuværende, for at undersøge hvor meget grundvandsspejlet og pumpeydelse ændres. Der modelleres fremtidige scenarier for både 2050 og 2100.

---

De fremtidige scenarier modelleres, ligesom for den nuværende situation, i de tre 10 meter-modeller, med ændringer i blandt andet nedbør og havniveau, som beskrevet i kapitel 7. De planlagte byudbyggelser beskrevet i Frederikshavn Kommune [2012b], er medtaget i de fremtidige scenarier i form af en øget mængde spildevand. Kloakledningerne i de planlagte områder er ikke taget med i modellerne, da det ikke har været muligt at finde data om, hvor og i hvilke koter ledninger vil ligge. Herved er der ikke taget højde for indsivning til disse ledninger, men det kan antages, at ledningernes kvalitet er høj, og der derfor vil være minimal indsivning. Selvom de nuværende rør langsomt bliver mere og mere utætte, antages indsivningskoefficienten,  $C_L$ , ikke at ændres i fremtiden, da de ældste og mest utætte rør udskiftes eller tættes. På denne måde er det også muligt at isolere de modellerede effekter fra klimaændringerne. Det vil derfor udelukkende være en eventuel ændring i grundvandsspejlets niveau som udgør ændringerne i indsivningsmængden til afløbssystemet.

Når de fremtidige scenarier modelleres skal der som beskrevet i kapitel 8 anvendes havniveauet på henholdsvis kote 0,2 og 0,6 for 2050 og 2100. I virkeligheden vil dette betyde, at randen forskydes ind i landet så kystlinjen vil være ved kote 0,2 for 2050 og 0,6 for 2100 frem for kote 0, som den er i dag. Da MS ikke kan modellere dette, grundet komplikationer mellem topografien og randbetingelsen langs kysten, hæves topografien, således at koten vil være tilsvarende havniveauet. Altså hæves alle terrænværdier under 0,2 for 2050 til 0,2, mens alle værdier under 0,6 hæves til 0,6 for år 2100. Områder med koter under de nævnte værdier vil derfor få en unaturlig høj terrænværdi, mens der for de resterende områder ikke vil være ændringer. Da de lavtliggende områder alle ligger et stykke fra ledningsnettet, antages det, at effekten ikke påvirker systemet ved modelleringen af indsivningen.

Yderligere anvendes der, for de fremtidige scenarier, de samme input for Brombærvej- og Jerup-pumpen i henholdsvis Jerup- og Strandby-Elling-modellen. At værdierne ikke ændres skyldes primært, som beskrevet i afsnit 6, at der ikke modelleres fremtidsscenarier for Napstjert. Da Napstjert er den del af den samlede MU-model der ligger længst opstrøms i kloaknettet, vil dennes påvirkninger kunne ses hele vejen ned i systemet. Da mængden uvedkommende vand forøges ned gennem systemet, vurderes det, at værdien ikke kan modelleres tilstrækkeligt realistisk ved Elling Å-pumpen, hvorfor der anvendes de samme inputværdier, som for den nuværende situation. På denne måde kan ændringen af de enkelte modeller betragtes individuelt, hvormed det kan vurderes hvad ændringen af indsivning vil være i de enkelte områder.

## 8.1 Fremtidige scenarier i Napstjert

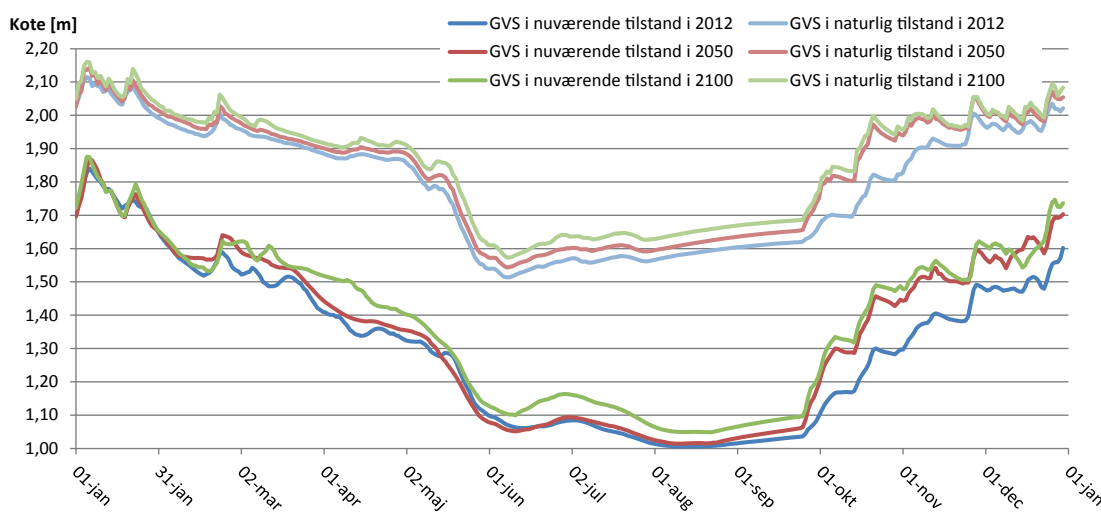
Selvom det, som beskrevet i kapitel 6, ikke er muligt at modellere situationen for Napstjert tilstrækkeligt realistisk, og derfor fremskrivningen, kan der ud fra pejlemålingerne gives et bud på hvordan grundvandsspejlet vil være i fremtiden. Da grundvandsspejlet i Napstjert ligger ca. 50 cm under terræn i april måned, og området ligger tæt på kysten, kan der i fremtiden forventes at være grundvandsspejlsstigninger. Eftersom grundvandsspejlet allerede i dag ligger tæt på terræn, antages det, at der allerede i 2050 vil være problemer med opstuvning af terræn i store dele af året.

## 8.2 Fremtidige scenarier i Jerup

I Jerup kan det nuværende grundvandsspejl modelleres tilstrækkelig godt i forhold til det målte grundvandsspejl, hvilket også er beskrevet i afsnit 6.2. Yderligere kan pumpeydelsen modelleres tilstrækkelig godt i forhold til den målte pumpeydelse for Jerup-pumpen. Derfor fremskrives data, beskrevet i kapitel 7, for Jerup-modellen for at undersøge hvilken indflydelse klimaændringerne har på grundvandsspejlet og indsivningsmængden, og derved pumpeydelsen.

### 8.2.1 Ændring af grundvandsspejlet i Jerup

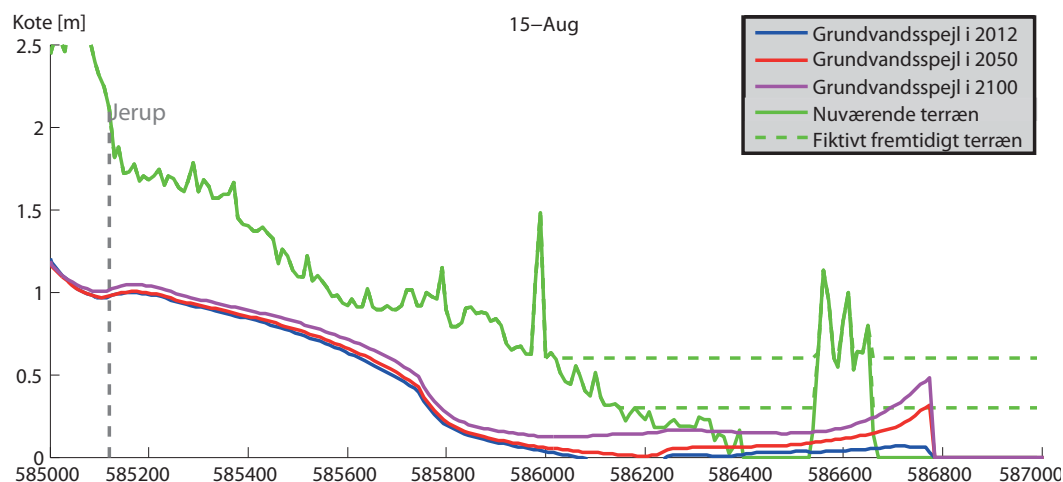
Da både havniveauet og regnmængden øges for de fremtidige scenarier undersøges det, hvor meget grundvandsspejlet ændres. Figur 8.1 viser grundvandsspejlet både med og uden indsivning til ledningsnettet, for 2012, 2050 og 2100.



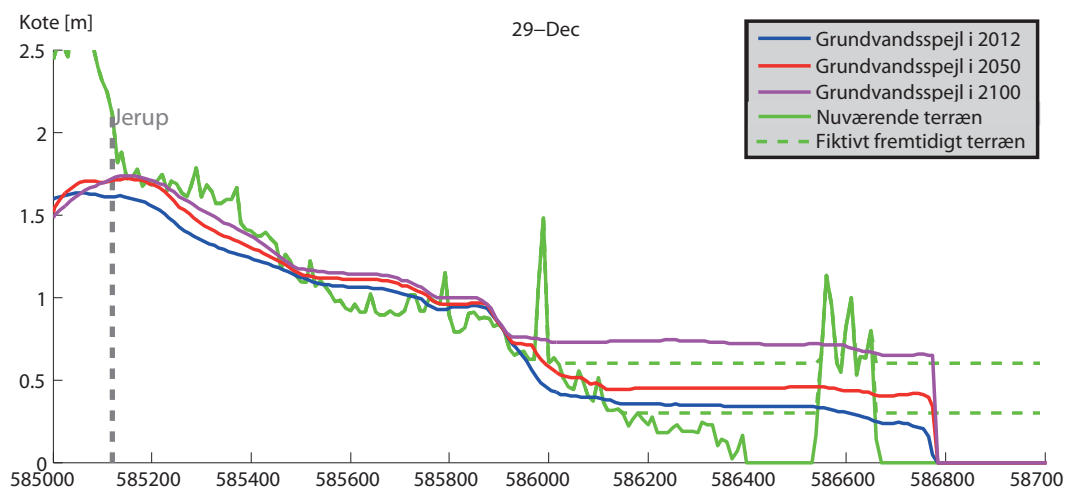
Figur 8.1: Grundvandsspejlet i Jerup både med og uden indsivning i 2012, 2050 og 2100.

Som det ses på figur 8.1, er stigningen af grundvandsspejlet, som funktion af klimaændringerne, lille uanset om der modelleres med eller uden indsivning. Det kan skyldes, at grundvandsspejlet stiger mest langs kysten i fremtidsscenerierne. På denne måde vil grundvandsspejlet flade mere

ud i fremtiden, end for det nuværende scenarie. For at beskrive situationen, er et tværsnit af grundvandsspejlet for henholdsvis 2012, 2050 og 2100 for en vinter og sommerdag vist på figur 8.2 og 8.3. Den geografiske placering af tværsnittet kan ses i appendiks C.



Figur 8.2: Tværsnit af grundvandsspejlet og terrænet ved Jerup om sommeren.

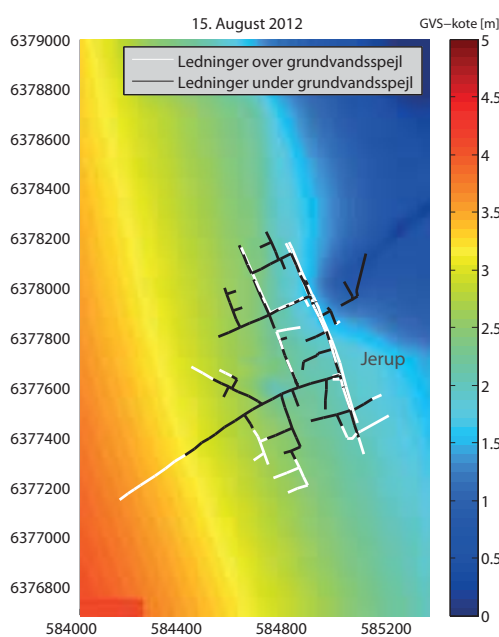


Figur 8.3: Tværsnit af grundvandsspejlet og terrænet ved Jerup om vinteren.

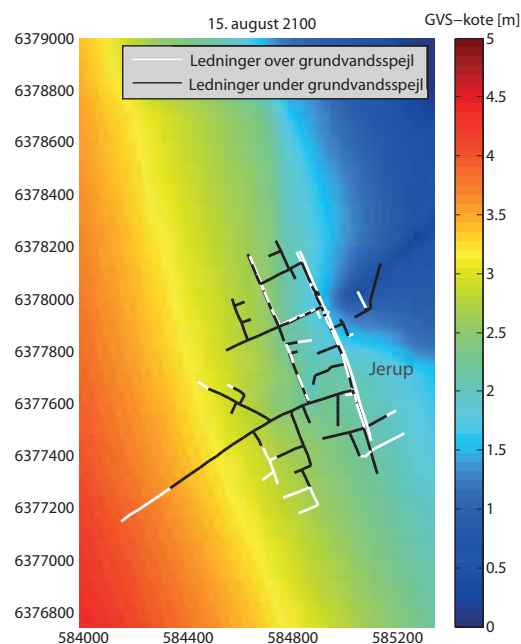
Som figur 8.2 og 8.3 viser, er forskellen på niveauet af grundvandsspejlet både om sommeren og vinteren signifikant størst i de kystnære dele af terrænet. På denne måde vil påvirkningen fra havniveauøgningen derfor være minimal ved Jerup, hvorfor den eneste varierende faktor kan tilskrives forskellen i nedbør.

Sammenlignes figur 8.2 og 8.3, kan det ses, at grundvandsspejlet ligger signifikant højere om vinteren end om sommeren. Det kan skyldes, at planternes bidrag til fordampningen er minimal om vinteren og højest om sommeren. Planternes transpiration kan samtidig forklare hvorfor grundvandsspejlet er lavere et stykke inde i landet end ved kysten, vist på figur 8.2. Det vurderes, at effekten fra den modellerede transpiration for planterne her er for høj. Det underbygges af, at den hydrauliske ledningsevne for sand er høj, hvormed vandet hurtigt vil løbe til området, så niveauet for grundvandsspejlet ikke sænkes til under kote 0. Til gengæld ligger grundvandsspejlet, som vist på figur 8.2 og 8.3, højere omkring Jerup, hvorfor effekten af planternes transpiration her, antages at være mere realistisk.

På figur 8.4 og 8.5 ses antallet af ledninger over og under grundvandsspejlet for henholdsvis 2012 og 2100.



Figur 8.4: Ledningsnettet for Jerup med modelleret grundvandsspejl fra 15. august 2012.



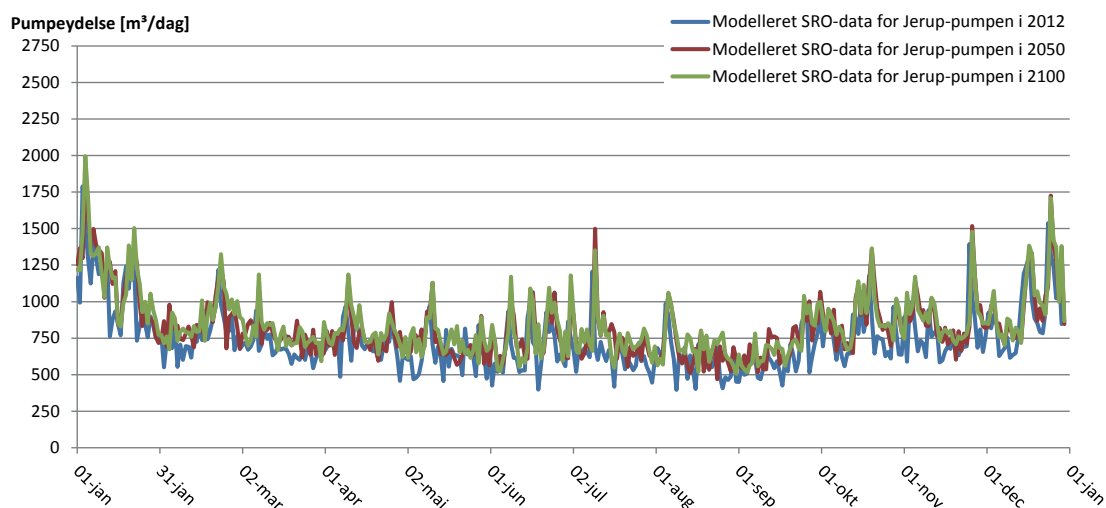
Figur 8.5: Ledningsnettet for Jerup med modelleret grundvandsspejl fra 15. august 2100.

Som det ses på figur 8.4 og 8.5, er antallet af ledninger, der ligger henholdsvis over og under grundvandsspejlet, for den modellerede situation i 2012 og 2100 næsten den samme. Det stemmer godt overens med, at grundvandsspejlet, som vist på figur 8.2, ligger i næsten samme niveau for år 2012 og 2100.

På trods af, at det modellerede grundvandsspejl ligger lavt i de kystnære områder om sommeren og forskellen mellem den nuværende situation og fremtiden er lille, vurderes det, at modellen kan anvendes til at beskrive grundvandsspejlets ændring og derved indsivningen for Jerup.

## 8.2.2 Ændring af pumpeydelsen for Jerup-pumpen

Som beskrevet i afsnit 6.2, stemmer de målte og modellerede SRO-data fra Jerup-pumpen godt overens. Derfor antages det også at være tilfældet i fremtiden. Figur 8.6 viser hvordan den nuværende situation ser ud i form af modellerede SRO-data fra 2012, og hvordan situationen vil se ud i fremtiden i form af modellerede SRO-data for henholdsvis 2050 og 2100. De modellerede værdier er vist i tabel 8.1.



Figur 8.6: Pumpeydelse for Jerup-pumpen med indsvivning i 2012, 2050 og 2100.

Jerup-pumpen	Årlig pumpeydelse	Procentdel af SRO-data fra 2012	Størrelse af PE (inkl. indsvivning)
Modelleret SRO-data fra 2012	269.330 m <sup>3</sup> /år	-	335 l/PE/døgn
Modelleret SRO-data fra 2050	300.986 m <sup>3</sup> /år	111,8 %	265 l/PE/døgn
Modelleret SRO-data fra 2100	307.945 m <sup>3</sup> /år	114,3 %	271 l/PE/døgn

Tabel 8.1: Sammenligning af modellerede SRO-data for Jerup-pumpen for 2012, 2050 og 2100.

Som det ses i tabel 8.1, er stigningen af den årlige pumpeydelse på henholdsvis 11,8 og 14,3 % for år 2050 og 2100. Som det også ses i tabellen svarer dette til et fald fra 335 l/PE/døgn til 271 l/PE/døgn. Faldet skyldes, at antallet af personækvivalenter, som bidrager til afløbssystemet, stiger med 41 %, mens pumpeydelsen kun stiger henholdsvis 11,8 % og 14,3 % for 2050 og 2100. Herved vil andelen per person blive mindre, selvom pumpeydelsen forøges. Hertil skal det huskes at indsvivningen ikke er dimensioneret for de nye områder hvor de ekstra personækvivalenter er indsat. På trods af faldet i hvad én PE svarer til stiger pumpeydelsen.

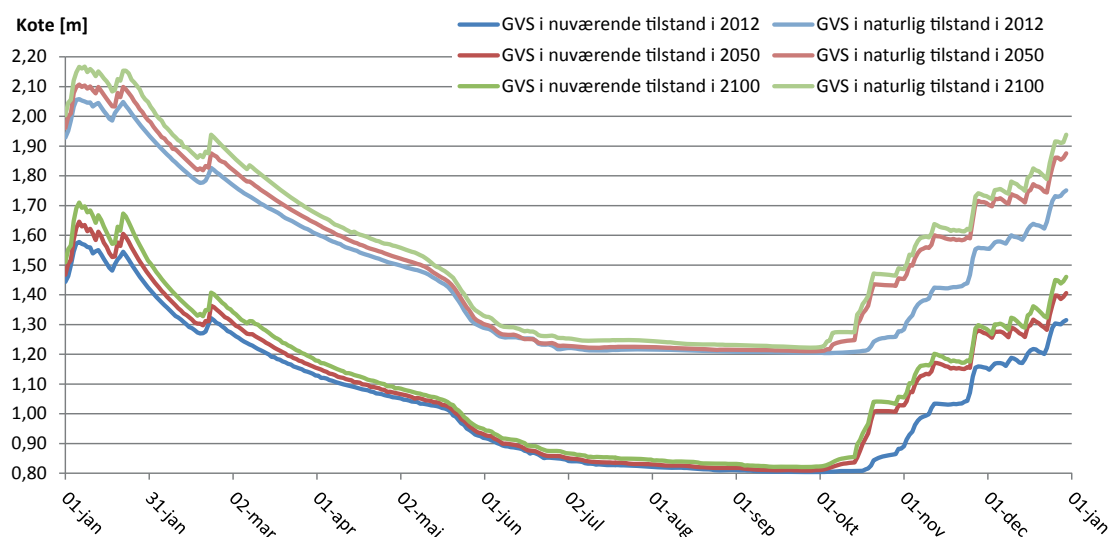
Hertil skal nævnes, at der i virkeligheden vil være endnu højere stigning, da der er en ekstra mængde uvedkommende vand som tilføres fra Brombærvej-pumpen, som ikke er modelleret. Som beskrevet i afsnit 8.2.1 kan den primære del af det ekstra vand tilskrives forøgelsen i nedbør.

### 8.3 Fremtidige scenarier i Strandby og Elling

I Strandby og Elling kan grundvandsspejlet ligeledes modelleres tilstrækkelig korrekt i forhold til det målte grundvandsspejl, hvilket er beskrevet i afsnit 6.3. Yderligere kan pumpeydelsen modelleres tilstrækkelig godt i forhold til den målte pumpeydelse for Elling Å-pumpen. Derfor fremskrives data, beskrevet i kapitel 7, for Strandby-Elling-modellen for at undersøge hvilken indflydelse klimaændringerne har på grundvandsspejlet og indsivningsmængden, og derved pumpeydelsen.

#### 8.3.1 Ændring af grundvandsspejlet i Strandby og Elling

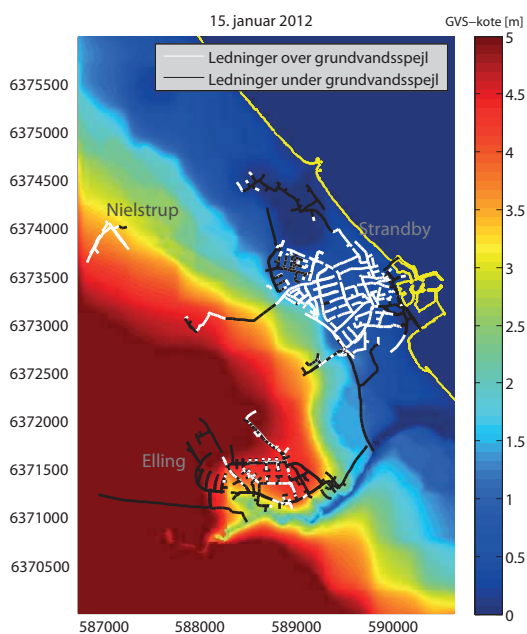
Da både havniveauet og regnmængden øges for de fremtidige scenarier undersøges det, hvor meget grundvandsspejlet ændres. Figur 8.7 viser grundvandsspejlet både med og uden indsivning til ledningsnettet, for 2012, 2050 og 2100.



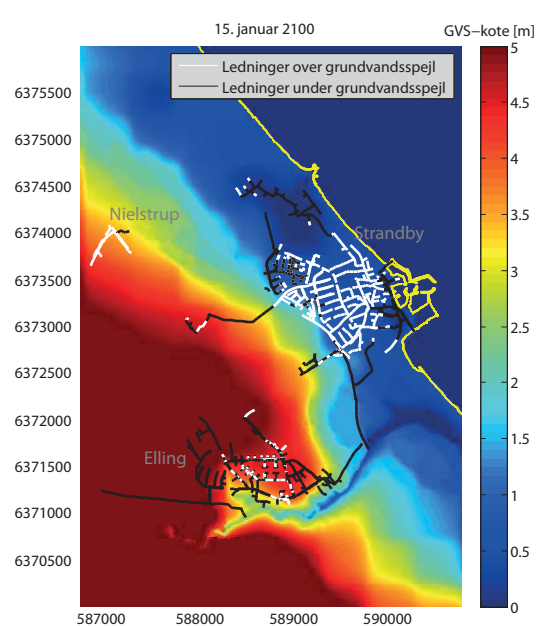
Figur 8.7: Grundvandsspejlet i Strandby både med og uden indsivning i 2012, 2050 og 2100.

Som det ses på figur 8.7, er stigningen af grundvandsspejlet som funktion af klimaændringerne, lille. Dette kan skyldes, at grundvandsstigningerne er størst langs kysten, hvorved effekterne er små for den viste gridcelle. Forskellen i antallet af ledninger der er over og under grundvandsspejlet, er vist på figur 8.8 og 8.9 for Strandby-Elling-modellen for henholdsvis år 2012 og 2100.





Figur 8.8: Ledningsnettet fra Strandby og Elling med modelleret grundvandsspejl fra 15. januar 2012.

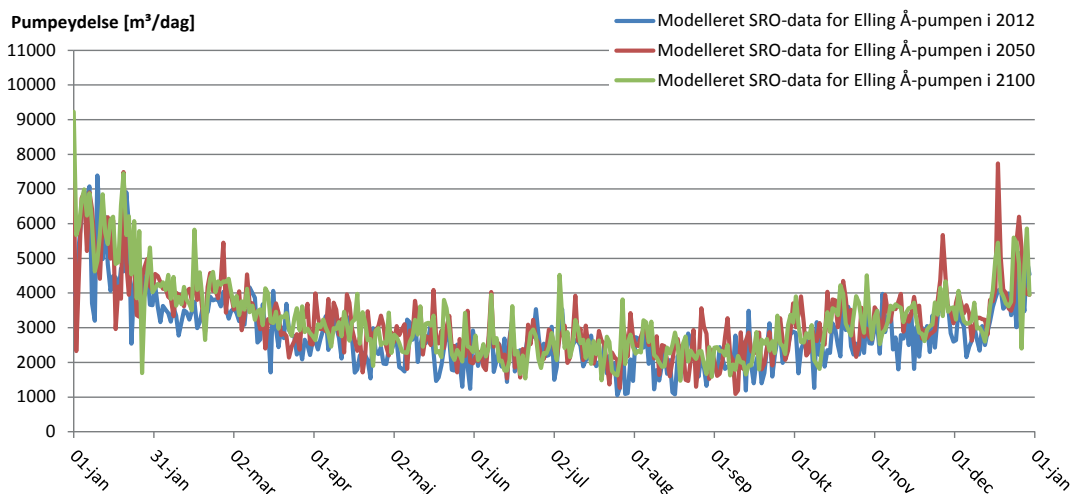


Figur 8.9: Ledningsnettet fra Strandby og Elling med modelleret grundvandsspejl fra 15. januar 2100.

Som det ses på figur 8.8 og 8.9, er antallet af ledninger som er over grundvandsspejlet næsten det samme for 2100 som for 2012. Det kan skyldes, at randeffekterne fra havet udelukkende påvirker det mest kystnære dele af modelområdet, hvorved det kun er nedbøren som har effekt længere inde i landet. Da princippet for grundvandsspejlet i Strandby er den samme som i Jerup, beskrives klimaændringernes effekt på grundvandsspejlet ikke yderligere. For Strandby antages det, at det modellerede grundvandsspejl i fremtiden er tilstrækkeligt korrekt til, at modellen kan anvendes til at beskrive indsyvningen til systemet.

### 8.3.2 Ændring af pumpeydelsen for Elling Å-pumpen

Lige som for Jerup sammenlignes de modellerede SRO-data for 2012, 2050 og 2100, hvilket er illustreret på figur 8.10. Værdierne for Elling Å-pumpen er vist i tabel 8.2.



Figur 8.10: Pumpeydelse for Elling Å-pumpen med indsivning i 2012, 2050 og 2100.

Elling Å-pumpen	Årlig pumpeydelse	Procentdel af SRO-data fra 2012	Størrelse af PE (inkl. indsivning)
Modelleret SRO-data fra 2012	1.030.879 m <sup>3</sup> /år	-	262 l/PE/døgn
Modelleret SRO-data fra 2050	1.158.936 m <sup>3</sup> /år	112,4 %	250 l/PE/døgn
Modelleret SRO-data fra 2100	1.173.593 m <sup>3</sup> /år	113,8 %	253 l/PE/døgn

Tabel 8.2: Sammenligning af modellerede SRO-data for Elling Å-pumpen for 2012, 2050 og 2100.

Som det ses på figur 8.10 og i tabel 8.2, er stigningen af pumpeydelsen lav. Igen er der et fald i størrelse af hvad én PE svarer til. Forklaring er den samme som for Jerup. Pumpeydelsen for Elling Å-pumpen stiger med ca. 12 % i 2050 og 14 % i 2100, hvilket stemmer overens med forøgelsen i Jerup. Derfor antages det, at der er en sammenhæng mellem de to modeller. Hvis denne sammenhæng også antages at gælde for Napstjert, og der regnes med en ekstra pumpeydelse for henholdsvis Brombærvej- og Jerup-pumpen fås totale pumpeydelser som vist i tabel 8.3. De viste pumpeydelser er lavet i forhold til de målte pumpeydelser fra Elling Å-pumpen fra 2012.

Elling Å-pumpen	Årlig pumpeydelse	Procentdel af SRO-data fra 2012	Størrelse af PE (inkl. indsivning)
Målte SRO-data fra 2012	1.093.792 m <sup>3</sup> /år	-	278 l/PE/døgn
Fremskrevet SRO-data fra 2050	1.225.047 m <sup>3</sup> /år	112 %	264 l/PE/døgn
Fremskrevet SRO-data fra 2100	1.246.923 m <sup>3</sup> /år	114 %	269 l/PE/døgn

Tabel 8.3: Sammenligning af målte og fremskrevne SRO-data for Elling Å-pumpen for med henholdsvis 12 og 14 % for 2050 og 2100.

Som det ses i tabel 8.3, vil den årlige pumpeydelse fra 2012 til 2100 blive forøget med 153.131 m<sup>3</sup>. Det svarer til en spildevandsbelastning fra næsten 4000 personer, hvor den egentlige forøgelse er mindre end 2000 personer.



## **Del III**

# **Diskussion og konklusion**



# 9 Diskussion

---

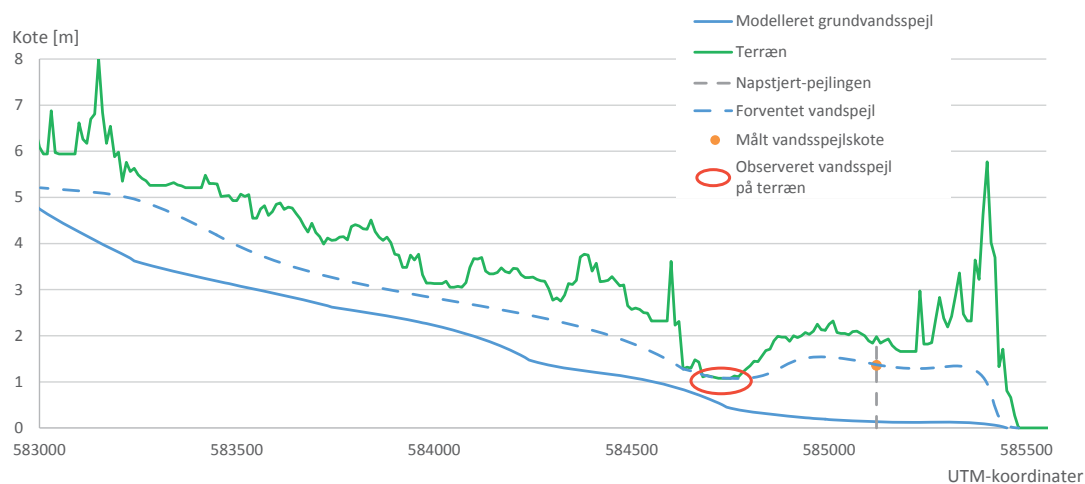
I kapitlet vurderes de opnåede resultater vist i de tidligere kapitler. Først vurderes koblingen af MU og MS, hvorunder usikkerhederne for de to modeller og de tilhørende parametre og input beskrives. Derefter vurderes resultaterne fra modellerne for den nuværende situation i Fokusområdet, herunder de parametre, som har signifikant indflydelse på de modellerede resultater. Endelig vurderes de opnåede resultater for de fremtidige scenarier, hvorunder de afgørende parametre også beskrives.

---

## 9.1 Koblingen af MIKE SHE og MIKE URBAN.

I følge DHI [2012b] er det nødvendigt at have en fungerende model i både MU og MS, som hvis muligt, skal være groft kalibrerede. I projektet anvendes de tre 10 meter-modeller i MS, som alle er lavet ud fra DK-modellen, som i forvejen er groft kalibreret ud fra afstrømningsmålinger, beskrevet i afsnit 4.1. De modellerede grundvandsspejl i de tre 10 meter-modeller er derefter valideret ud fra pejlemålinger, beskrevet i afsnit 1.2. MU-modellen er til gengæld ikke kalibreret alene. Alligevel vurderes det, at MU-modellen er anvendelig, da det ved valideringen af grundvandsspejlet, som er lavet efter MU og MS er koblet og indsivningskoefficienten er kalibreret, er vurderet at de to modeller tilsammen modellerer systemet tilnærmelsesvis korrekt.

Da valideringen af grundvandsspejlet er lavet over en kort tidsperiode, på 24 dage, og i få punkter i Fokusområdet antages det, at der er en del usikkerheder i forhold til placeringen af grundvandsspejlet. Det ses blandt andet i Napstjert, hvor det modellerede grundvandsspejl er mere end 1 meter lavere end de målte. Figur 9.1 viser et tværsnit af Napstjert med en skitse af et forventet mere realistisk grundvandsspejl sammenlignet med det modellerede. Det forventede grundvandsspejl er lavet ud fra pejlemålinger og observationer i området.



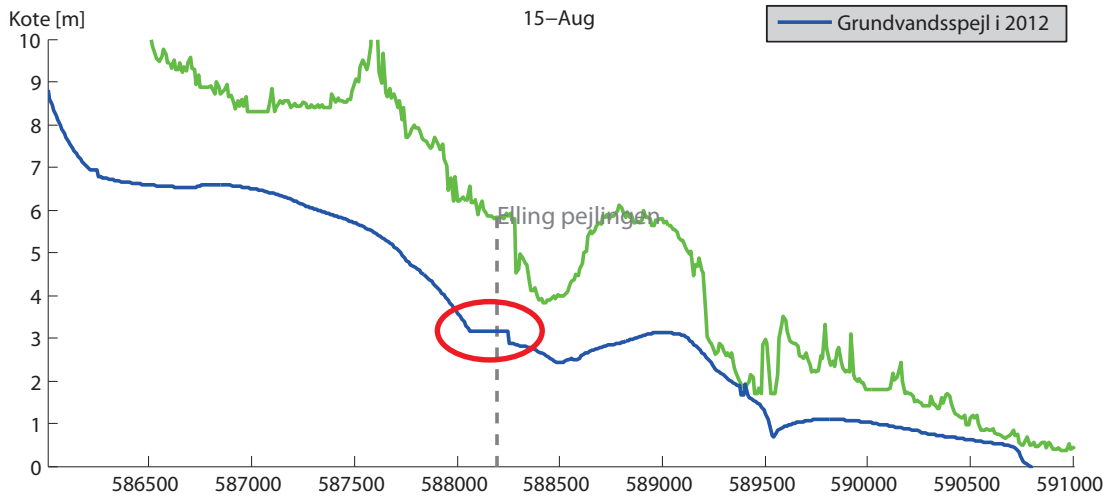
Figur 9.1: Tværsnit af Napstjert med skitse af det forventede grundvandsspejl sammenholdt med det modellerede.

Som vist på figur 9.1 er det modellerede grundvandsspejl i Napstjert lavere end det grundvandsspejl som antages at beskrive det virkelige. Forskellen kan skyldes en del parametre, som alle gennemgås i de følgende afsnit.

## 9.2 Randeffekter, geologi og vegetation

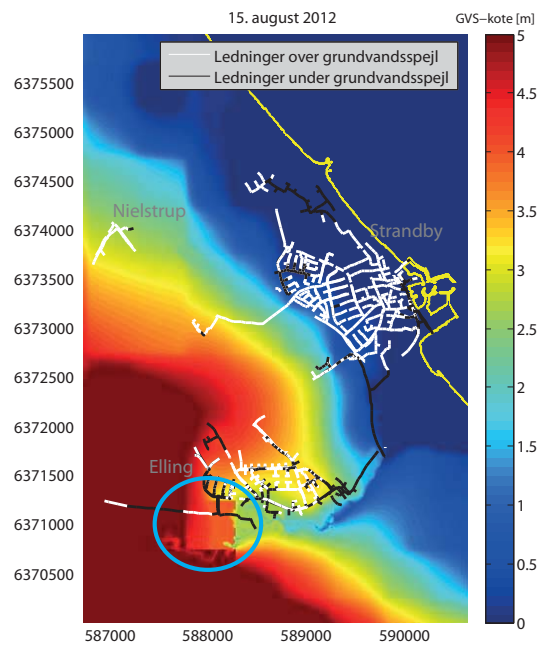
Da randbetingelsen til de tre 10 meter-modeller er vandspejlskoter fra større modeller, kan der være randeffekter herfra, der påvirker grundvandsspejlet i de tre 10 meter-modeller. Et eksempel ses markeret med rødt på figur 9.2.





Figur 9.2: Randeffect fra større model.

Som det ses på figur 9.2, er grundvandsspejlet ved markeringen fladt i forhold til hældningen på den resterende del af grundvandsspejlet. Udbredelsen af det flade område er markeret med blå på figur 9.3.



Figur 9.3: Randeffect fra større model.

På figur 9.3 ses det, at udbredelsen af det flade område er relativ stor. Ved undersøgelse viser det sig, at området er 500 m x 500 m. Det antages derfor at være en randeffekt fra DK-modellen. Effekten kan også skyldes, at griddet for vegetation og geologi er på 500 m x 500 m. Yderligere har det vist sig, at grundvandsspejlet i firkanten godt kan være højere, men ikke lavere end niveauet vist på figur 9.2. Ved undersøgelse af de tre 10 meter-modeller, viser det sig, at der er flere steder hvor der er randeffekter som denne. Til gengæld ligger de fleste i en afstand fra byerne, der gør, at det antages ikke at have signifikant indflydelse på grundvandsspejlet.

Udover randeffekter fra større modeller, kan der også være randeffekter fra blandt andet randen for havet. For de fremtidige scenarier er randbetingelsen for havet større end nul, men er placeret i samme koordinater. Det gør, at der i modellen vil være vand på terræn tæt ved kysten, hvilket MS har svært ved at modellere korrekt. Et eksempel på grundvandsspejlets forløb ses på figur 8.2 og 8.3. Her kan det om sommeren ses, at grundvandsspejlet er lavere et stykke inde i landet end randbetingelsen. En forklaring kan være, at planterne transpirerer mere vand, end der, på grund af den hydrauliske ledningsevne, kan strømme til fra randen for havet. Den mest korrekte modellering af de fremtidige scenarier vil være at flytte placeringen af randen længere ind i landet, så koten af randen ligger i samme kote som terrænet. Det er ikke gjort, da terrænet flere steder længere inde i landet, er lavere end koten for randen, og det derfor er svært at vurdere hvor randen skal placeres. Yderligere vil en flytning af randen i Napstjert- og Strandby-Elling-modellerne, ikke kunne lade sig gøre, uden at ændre på ledningsnettet, da flere af ledningerne vil ligge uden for randen af i MS.

### 9.2.1 Gridstørrelse

Nøjagtigheden af det modellerede grundvandsspejl afhænger af gridstørrelsen i det hydrologiske beregningsgrid. En mindre gridstørrelse giver en mere detaljeret modellering af grundvandsspejlet. Til gengæld øges simuleringstiden signifikant, når gridstørrelsen reduceres. Til modellering af grundvandsspejlet i den nuværende situation og i fremtiden, anvendes en gridstørrelse på 10 meter, da denne giver en relativ fin opløsning uden at simuleringstiden bliver for lang. Yderligere er det ud fra randeffekterne inde i landet vurderet, at en reduktion af gridstørrelsen har minimal effekt. Til gengæld antages det, at grundvandsspejlet kan modelleres mere realistisk i de kystnære områder.

### 9.3 Manglende grøfter og tomme kanaler

Da MIKE 11-delen i MS er fjernet i både 50 meter-modellen og 10 meter-modellerne skal modelleringen af kanaler og vandløb laves i MU. Da der i modellerne kun er oprettet kanalstrækninger i MU for de største kanaler og vandløb, vil effekten fra afvandingsgrøfter og mindre bække ikke blive medtaget i modelleringen af grundvandsspejlet. Det medfører, at grundvandsspejlet ikke drænes i de områder grøfterne ligger. Som beskrevet er der mange afvandingskanaler i området, og derfor modelleres grundvandsspejlet højere i disse områder, end det virkeligt vil være tilfældet.

Da der er flest afvandingskanaler omkring Jerup, vurderes det, at det modellerede grundvandsspejl i denne model er for højt i enkelte områder. Til gengæld har modelleringen af de medtagne vandløb vist, at disse påvirkninger af grundvandsspejlet er meget lokale. Sænkningen af grundvandsspejlet vil derfor være tæt på afvandingskanalerne, og tilnærmelsesvis ligge i samme niveau i byerne, hvor indsivningen til kloaknettet sker. Det kan skyldes, at de modellerede byer kun har naturlige vandløb i blandt kloakledningerne, mens alle afvandingskanaler sikre mod oversvømmelse på marker og lignende. Det vurderes derfor ikke, at indsivningsmængden bliver anderledes end den, som allerede er modelleret.

Det skal til gengæld nævnes, at der med de nuværende modellerede vandløb i MU er en forkert hældning på grundvandsspejlet omkring disse i enkelte perioder. Det skyldes, at koten af "udløbet" er sat til bundkoten af åen i stedet for kote 0 som er havniveauet. Herved er disse kanaler og åer i tørvejrperioder tomme for vand, og derved vil grundvandsspejlet i området, på grund af koblingen, sænkes. Hvis vandspejlet i udløbet var sat til kote 0 ville der være tilbagestuvning, og grundvandsspejlet vil ikke blive sænket. Denne situation antages at være mere realistisk.

## 9.4 Usikkerheder på målte SRO-data

I kalibreringen sammenlignes målte og modellerede SRO-data. De målte SRO-data middelværdier af pumpeydelsen over 10 minutter. Derfor er det ikke muligt at undersøge hvor stor blandt andet accelerationstiden for pumpen er. Det giver usikkerheder i forhold til præcisionen af de målte SRO-data. Yderligere er den målte pumpeydelse i enkelte perioder højere end den maksimalt angivne pumpeydelse, hvilket ikke kan lade sig gøre, medmindre den angivne maksimale pumpeydelse er forkert. På trods af, at der er usikkerheder på pumpedataene, anvendes de stadig til sammenligning med de modellerede. Det skyldes til dels, at værdierne akkumuleres for et døgn, hvorved usikkerheden minimeres, og dels, at der ikke er andre data til rådighed.

## 9.5 Værdien af PE

I MU-modellerne er spildevandsmængden sat til 110 l/PE/døgn, hvilket er beskrevet i afsnit 2.2. I følge Frederikshavn Kommune [2012b] er de målte værdier for hvad en PE svarer til derimod 60 l/PE/døgn. De 60 l/PE/døgn er regnet ud fra målte data fra vandmålere, og er for alle de nuværende oplande i spildevandsplanen. Derfor kan det diskuteres om spildevandsbelastningen i MU-modellen bør sættes ned til 60 l/PE/døgn i stedet for 110 l/PE/døgn. Reduceres værdien vil det medføre, at andelen af spildevand ud af den samlede pumpeydelse reduceres og andelen af uvedkommende vand derved øges.

## 9.6 Dobbletregn

Da der er regninput i både MU og MS, er der komplikationer når modellerne kobles. Det fælleskloakerede opland i Strandby har en befæstelsesgrad på omkring 30 %, hvorved 30 % af nedbøren afstrømmer til kloaknettet. Det vil sige, at reginputtet i det område i MS, burde

være 30 % mindre end for de andre områder, hvilket det ikke er. Derved er en del af nedbøren medregnet to gange. Til gengæld har den ekstra nedbørsmængde i det omtalte område i MS minimal indflydelse på grundvandsspejlet, og derved indsivningsmængden.

## 9.7 Klimafremskrivningen

Da der er stor usikkerhed på hvordan klimaet er i fremtiden, er fremskrivningen af klimafaktorerne vanskelig. Alligevel er det vurderet, at de opnåede værdier er realistiske. Det bygger til dels på, at det fremskrevne år er vurderet til at repræsentere den nuværende situation tilstrækkeligt, og dels at scenariet anvendt til klimafremskrivningen forventes at være det mest realistiske af de beskrevne fremskrivningsscenarier i IPCC's 4. hovedrapport. Yderligere er formålet at modellere stigningen af grundvandsspejlet, og derved indsivningsmængden, hvilket det vurderes er opnået.

Under fremskrivningen for sommerperioden er alle nuværende hændelser under 2 mm fjernet, hvilket skyldes, at der ifølge Olesen et al. [2012] vil være længere tørkeperioder om sommeren. Når sommerhændelserne under 2 mm fjernes, vurderes det, at de længere tørkeperioder simuleres.

## 9.8 Resultater

Som beskrevet i kapitel 6 afhænger nøjagtigheden, hvormed modelleringen kan beskrives, af de input der er anvendt i modellerne, samt hvor godt disse er kalibreret. Det ses i resultaterne af de koblede modeller, hvor de modellerede SRO-data fra MU stemmer godt overens med de målte, mens modelleringen er grundvandsspejlet er mindre korrekt. Til modelleringen af MU-modellen har der været tilstrækkelig data, og kun enkelte parametre er forsimplede i forhold til virkelige værdier. Modsat har der for MS-modellen fra start været få data til kalibrering. Det ses også ved, at de modellerede grundvandsspejl har en lille variation, samtidig med at værdierne i visse områder ligger langt fra de målte værdier der er brugt til at validere modellen.

Hvis systemet beskrives nord fra, er Napstjert placeret et sted, som grundvandsmæssigt er vanskeligt at modellere. Sommerhusområdet ligger i klitter mellem et lavtliggende område inde i landet og kysten til Kattegat. På denne måde ligger sommerhusområdet højere end det omkringliggende terræn, hvilket, det med de parametre som er anvendt i modellen, ikke er mulig at modellere korrekt i MS. Dette ses ved, at det målte grundvandsspejl i området ligger over den kote, som det omtalte lave område ligger i. Altså skal grundvandsspejlet have en top mellem kystlinjen og det lave område hvilket ikke er tilfældet for modellen. Niveaue for grundvandsspejlet modelleres nemlig så lavt for området, at variationen i indsivning hen over året er minimal. Da der, i de målte SRO-data, er en stor variation mellem sommer og vinter, giver det manglende variation af indsivning derfor nogle komplikationer. Disse komplikationer har vist sig at være så store, at det ikke er muligt at modellere indsivningen med koblingen med de nuværende parametre. På trods af dette, har det været muligt at undersøge hvilke parametre der har indflydelse på indsivningsmængden i området. Variationen af SRO-dataene stemmer fint overens med de målte nedbørshændelser, der er i området. Til gengæld er varigheden af nedbørshændelserne betyde-

ligt kortere end udsvingene i de målte SRO-data. For at vandmængden fra nedbøren stemmer overens med de målte SRO-data, kræves det, at vandet forsinkes, i forhold til direkte afstrømning. Det skal nævnes, at peak-værdierne i de målte SRO-data primært er om vinteren, hvilket kan skyldes, at fordampningen eller planternes transpiration er højere om sommeren. Det kan derfor antages, at indsivningen i området sker fra områder som har stor forsinkelse af regnvand. Samtidig skal der for disse områder være stor fordampning, høj vegetation eller en kombination heraf.

For Jerup har det derimod været muligt både at modellere et grundvandsspejl inden for en hvis nøjagtighed, samtidig med at de modellerede SRO-data stemmer godt overens med de målte. Geografisk ligger Jerup i forhold til Napstjert på indersiden af det lave område før klitterne langs kysten. Det kan være medvirkende til, at resultaterne for modellerne bliver mere korrekte. Det ses ved, at det for Jerup både er muligt at modellere en indsivning som giver en tilnærmelsesvis korrekt pumpeydelse, samtidig med at årsvariationen ligner den målte.

Strandby ligger, ligesom Napstjert, højere end de omkringliggende områder. Her er der til gengæld store variationer i terrænet inden for byen, som er ikke tilfældet i Napstjert. Modsat Strandby er Elling en by, der ligger et stykke inde i landet. Specielt for Elling er, at byen afgrænses af Elling Å mod syd. Elling Å er som beskrevet det største vandløb i Fokusområdet. Åens placering gør, at grundvandsspejlet her er fastholdt til vandspejlet i åen. Hertil skal det nævnes, at Elling Å er grundvandsdannet, hvorved åens vandspejl følger variationerne af grundvandsspejlet.

På trods af, at Strandby er kystnær, har det været muligt at modellere et grundvandsspejl for området inden for rimelige grænser. Dette afspejles også i modelleringen af SRO-dataene som igen ligner de målte i både årlig pumpeydelse og årsvariation.

### 9.8.1 Fremtidige scenarier

Som forventet er indsivningsmængden blevet forøget, som konsekvens af klimaændringerne. Til gengæld er forøgelsen mindre end forventet. Vurderes modellerne individuelt, ses det, at grundvandsspejlet kun er steget lidt, hvilket inde i landet hovedsageligt skyldes den forøgede mængde nedbør. Det vil sige, at det forøgede havniveau kun har en effekt i de kystnære dele af Fokusområdet.

Da indsivningsmængden til afløbssystemet afhænger af grundvandsspejlets niveau, vil en lille stigning kun medføre en lille forøgelse af indsivningen. Hvis det antages, at grundvandsspejlet ikke modelleres korrekt, og der i stedet vil være en større stigning, vil dette også kunne ses på indsivningsmængden. Det vurderes derfor, at der i fremtiden vil være en større indsivningsmængde en den modellerede.

## 9.9 Opsummering

På trods af de nævnte forsimplinger og usikkerheder i modellerne, er det vurderet, at resultaterne er anvendelige. Pumpeydelsen med og uden indsivning kan modelleres, hvorved forskellen på et tæt og et utæt ledningssystem kan sammenlignes. Yderligere, kan effekten af indsivning af grundvand samt en fjernelse heraf beskrives. Endelig kan de kritiske områder lokaliseres. Sidstnævnte kan beskrives ud fra figurerne, der viser hvilke områder som har ledningsnet over og under grundvandsspejlet. Med de beskrevne resultater og usikkerheder er det derfor muligt at lave en konklusion på de angivende formål i kapitel 1. Konklusionen beskrives i kapitel 10.

# 10 Konklusion

---

Da problemet med uvedkommende vand i afløbssystemet er stor, og samtidig koster samfundet mange penge, er det som beskrevet, forsøgt at modellere indsivningen af grundvand ved at koble en grundvandsmodel og en afløbsmodel. Koblingen anvendes yderligere til at undersøge hvor stor en del af vandet, der pumpes til rensningsanlægget, der er spildevand og hvor stor en del der er uvedkommende vand i form af grundvand. Herefter er det undersøgt hvor meget grundvandsspejlet er sænket, som funktion af indsivningen i forhold til de naturlige forhold. Placeringen af grundvandsspejlet ved de naturlige forhold er det samme som hvis ledningsnettet tættes. Sidst er det undersøgt hvilke konsekvenser klimaændringerne har på mængden af indsivning af grundvand og på placeringen af grundvandsspejlet.

Med forbehold for de usikkerheder, forsimplinger og antagelser, der er beskrevet i kapitel 9, kan det konkluderes:

- At det ved at koble grundvandsmodellen med afløbsmodellen er muligt at modellere indsivningsmængden af grundvand til afløbssystemet.
- At pumpeydelsen modelleres mere realistisk når afløbsmodellen er koblet med grundvandsmodellen, i forhold til hvis afløbsmodellen køres alene. Det vil sige når der medregnes indsivning af grundvand, fremfor at der ikke gør.
- At grundvandsspejlet modelleres på et mere realistisk niveau når modellerne er koblete, i forhold til hvis grundvandsmodellen køres alene. Det vil sige når der medregnes indsivning af grundvand, fremfor at der ikke gør.
- At klimaændringerne ikke har stor betydning for mængden af indsivning af grundvands til afløbssystemet, da grundvandsspejlet ikke stiger signifikant som funktion af klimaændringerne.
- At en tætning af afløbssystemet kan få grundvandsspejlet til at stige signifikant.
- At mængden af uvedkommende vand i dag udgør over halvdelen af den pumpede vandmængde fra Elling Å-pumpen.
- At der i Napstjert er den største andel af uvedkommende vand i forhold til mængden af spildevand.
- At der i Napstjert er størst potentiale for indsivning af grundvand på grund af ledningsnettets placering i forhold til grundvandsspejlet.





# Litteratur

- Bernstein, Bosch, Canziani, Chen, Christ, Davidson, Hare, Huq, Karoly, Kattsov, Kundzewicz, Liu, Lohmann, Manning, Matsuno, Menne, Metz, Mirza, Nicholls, Nurse, Pachauri, Palutikof, Parry, Qin, Ravindranath, Reisinger, Ren, Riahi, Rosenzweig, Rusticucci, Schneider, Sokona, Solomon, Stott, Stouffer, Sugiyama, Swart, Tirpak, Vogel, og Yohe., 2007.** Lenny Bernstein, Peter Bosch, Osvaldo Canziani, Zhenlin Chen, Renate Christ, Ogunlade Davidson, William Hare, Saleemul Huq, David Karoly, Vladimir Kattsov, Zbigniew Kundzewicz, Jian Liu, Ulrike Lohmann, Martin Manning, Taroh Matsuno, Bettina Menne, Bert Metz, Monirul Mirza, Neville Nicholls, Leonard Nurse, Rajendra Pachauri, Jean Palutikof, Martin Parry, Dahe Qin, Nijavalli Ravindranath, Andy Reisinger, Jiawen Ren, Keywan Riahi, Cynthia Rosenzweig, Matilde Rusticucci, Stephen Schneider, Youba Sokona, Susan Solomon, Peter Stott, Ronald Stouffer, Taishi Sugiyama, Rob Swart, Dennis Tirpak, Coleen Vogel, og Gary Yohe. *Climate change 2007: Synthesis Report*, 2007. URL [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf). Downloadet: 29-11-2013.
- COWI, 2012.** COWI. *Satelitkort af Danmark, fra COWI's wms-server i ArcGis*, 2012. URL [http://wms.gis-hotel.dk/proxy/wms/WmsProxyHandler.ashx?username=Aalborg\\_Universitet\\_WMS&password=eWat^Od0iyB&](http://wms.gis-hotel.dk/proxy/wms/WmsProxyHandler.ashx?username=Aalborg_Universitet_WMS&password=eWat^Od0iyB&). Downloadet: 14-10-2013.
- DHI, 2012a.** DHI. *MIKE by DHI*, 2012a. URL <http://mikebydhi.com/>.
- DHI, 2012b.** DHI. *MIKE SHE USER MANUAL VOLUME 1: USER GUIDE*, 2012b.
- DMI, 2012.** DMI. *Fremtidige klimaforandringer i Danmark*, 2012. URL <http://www.dmi.dk/fileadmin/Rapporter/DKC/dkc12-04.pdf>. Downloadet: 11-03-2014.
- DMI, 2013.** DMI. *Drift af Spildevandskomitéens Regnmålersystem*, 2013. URL [http://www.dmi.dk/fileadmin/user\\_upload/Rapporter/TR/2014/Teknisk\\_rapport\\_14\\_03\\_.pdf](http://www.dmi.dk/fileadmin/user_upload/Rapporter/TR/2014/Teknisk_rapport_14_03_.pdf).
- Domingo, Refsgaard, Mark, og Paludan, 2010.** N. D. Sto. Domingo, A. Refsgaard, O. Mark, og B. Paludan. *Flood analysis in mixed-urban areas reflecting interactions with the complete water cycle through coupled hydrologic-hydraulic modelling*, 2010.

- Forsyningen Frederikshavn, 2010.** Forsyningen Frederikshavn. *Projekthåndbog for kloakfornyelse*, 2010.
- Frederikshavn Forsyning, 2013a.** Frederikshavn Forsyning. *Kloaknettet – data*, 2013a. Data leveret af Frederikshavn Forsyning til opsætning af kloaknettet.
- Frederikshavn Forsyning, 2013b.** Frederikshavn Forsyning. *Statusmøde mellem AAU, Rambøll og Forsyningen*, 2013b. Statusmøde 25. november 2013.
- Frederikshavn Kommune, 2012a.** Frederikshavn Kommune. *Kloakoplande, Bilag B status*, 2012a. Status 31. maj 2012.
- Frederikshavn Kommune, 2012b.** Frederikshavn Kommune. *Spildevandsplan 2012 – 2015*, 2012b.
- Gustafsson, 2000.** Lars-Göran Gustafsson. *Alternative Drainage Schemes for Reduction of Inflow/Infiltration - Prediction and Follow-Up of Effects with the Aid of an Integrated Sewer/Aquifer Model*, 2000. URL [http://dhi.fi/upload/publications/mouse/Gustafsson\\_Alternative\\_Drainage.pdf](http://dhi.fi/upload/publications/mouse/Gustafsson_Alternative_Drainage.pdf). Downloadet: 14-01-2014.
- Gustafsson, 2003.** Lars-Göran Gustafsson. *MOUSE SHE – Users Guide and Comments*, 2003. Modtaget fra DHI 21. januar 2014.
- Henriksen, Højberg, Olsen, Seaby, Keur, Stisen, Troldborg, Sonnenborg, Refsgaard, og GEUS., 2012.** Hans Jørgen Henriksen, Anker Lajer Højberg, Martin Olsen, Lauren P. Seaby, Peter van der Keur, Simon Stisen, Lars Troldborg, Torben O. Sonnenborg, Jens Christian Refsgaard, og GEUS. *Klimaeffekter på hydrologi og grundvand - Klimagrundvandskort*, 2012. URL <http://www.klimatilpasning.dk/media/340310/klimagrundvandskort.pdf>. Downloadet: 05-11-2013.
- IDA, 2014.** IDA. *Alle taler om klimaforværringer - men hvad siger IPCC?*, 2014. Foredrag ved professor Eigil Kaas, om hovedpunkterne i IPCC's 5. Hovedrapport.
- Kortforsyningen, 2013.** Kortforsyningen. *DHM/Terræn 10 m grid*, 2013. URL [http://download.kortforsyningen.dk/content/geodataprodukter?field\\_korttype\\_tid\\_1=440&field\\_aktualitet\\_tid=All&field\\_datastruktur\\_tid=All&field\\_scheme\\_tid=All](http://download.kortforsyningen.dk/content/geodataprodukter?field_korttype_tid_1=440&field_aktualitet_tid=All&field_datastruktur_tid=All&field_scheme_tid=All). Downloadet: 14-10-2013.
- Nordjyllands Amt, 2005.** Nordjyllands Amt. *Afstrømningsmålinger*, 2005. Downloadet: 05-11-2013.
- Olesen, Christensen, Christensen, Madsen, Andersen, Christensen, og Jørgensen, 2012.** Martin Olesen, Tina Christensen, Ole Bøssing Christensen, Kristine Skovgaard Madsen, Katrine Krogh Andersen, Jens Hesselbjerg Christensen, og Anne Mette Jørgensen. *Fremtidige klimaforandringer i Danmark*, 2012. URL

<http://www.dmi.dk/fileadmin/Rapporter/DKC/dkc12-04.pdf>. Downloadet:  
05-11-2013.

**Ovesen, Fuglsang, og Bagge, 2009.** Niels Krebs Ovesen, Leif D. Fuglsang, og Gunnar Bagge.  
*Lærebog i GEOTEKNIK*. ISBN-10: 87-502-0961-2, 1. udgave. Polyteknisk Forlag, 2009.

**Winther, Linde, Jensen, Mathiasen, og Johansen, 2006.** Leif Winther, Jens Jørgen Linde,  
H. Thorkild Jensen, Leo Lund Mathiasen, og Niels Bent Johansen. *Afløbsteknik*. Polyteknisk  
Forlag, 2006. ISBN 87-502-0975-2.



**Del IV**

# **Appendiks**

**Diverse appendiks**



# A CD-bilag

## 1. MIKE URBAN modeller

- Hele området
- Napstjert-modellen
- Jerup-modellen
- Strandby-Elling-modellen

## 2. MIKE SHE modeller

- DK-modellen
- 100 meter-modellen
- 50 meter-modellen
- 10 meter-modeller
  - Napstjert-modellen
  - Jerup-modellen
  - Strandby-Elling-modellen

## 3. Pejledata

### 4. SRO-data

- Modellerede og målte SRO-data fra Brombærvej-pumpen (modellerede grundvandsspejl for Napstjert)
- Modellerede og målte SRO-data fra Jerup-pumpen (modellerede grundvandsspejl for Jerup)
- Modellerede og målte SRO-data fra Elling Å-pumpen (modellerede grundvandsspejl for Nielstrup, Strandby og Elling)

### 5. Filemakers (MatLab)

- Film af ledninger i forhold til grundvandsspejl
- Film af tværsnit for grundvandsspejl





# B

## Teknisk gennemgang af koblingen af MIKE URBAN og MIKE SHE

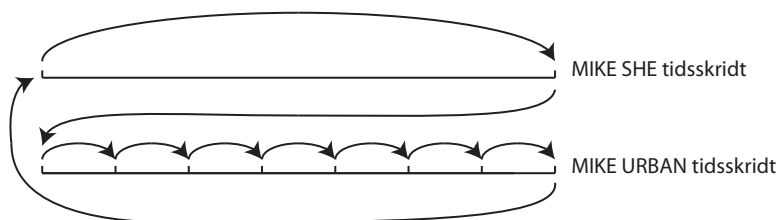
I appendikset gennemgås koblingen af MIKE URBAN og MIKE SHE. Indholdet i appendikset beskriver udelukkende fremgangsmetoden i koblingen. I appendikset beskrives blandt andet kodningen i koblingsfilerne. Kodelinjerne er markeret med grå baggrund. Gennemgangen af koblingen beskrevet i kapitlet er en supplerende til DHIs egen brugerguide hvori teorien bag også er beskrevet [DHI, 2012b].

Når MIKE URBAN og MIKE SHE skal kobles, kræves følgende:

- En fuldt brugbar MIKE URBAN model. (skal kunne køres alene)
- En fuldt brugbar MIKE SHE model. (skal kunne køres alene)
- At begge modeller simulerer samme område (med samme koordinater) og samme tidsperiode.
- En ADP-fil, der fortæller MIKE URBAN hvor den skal kobles til MIKE SHE.
- En PFS-fil, der fortæller MIKE SHE hvor den skal kobles til MIKE URBAN.

### Hvordan foregår koblingen

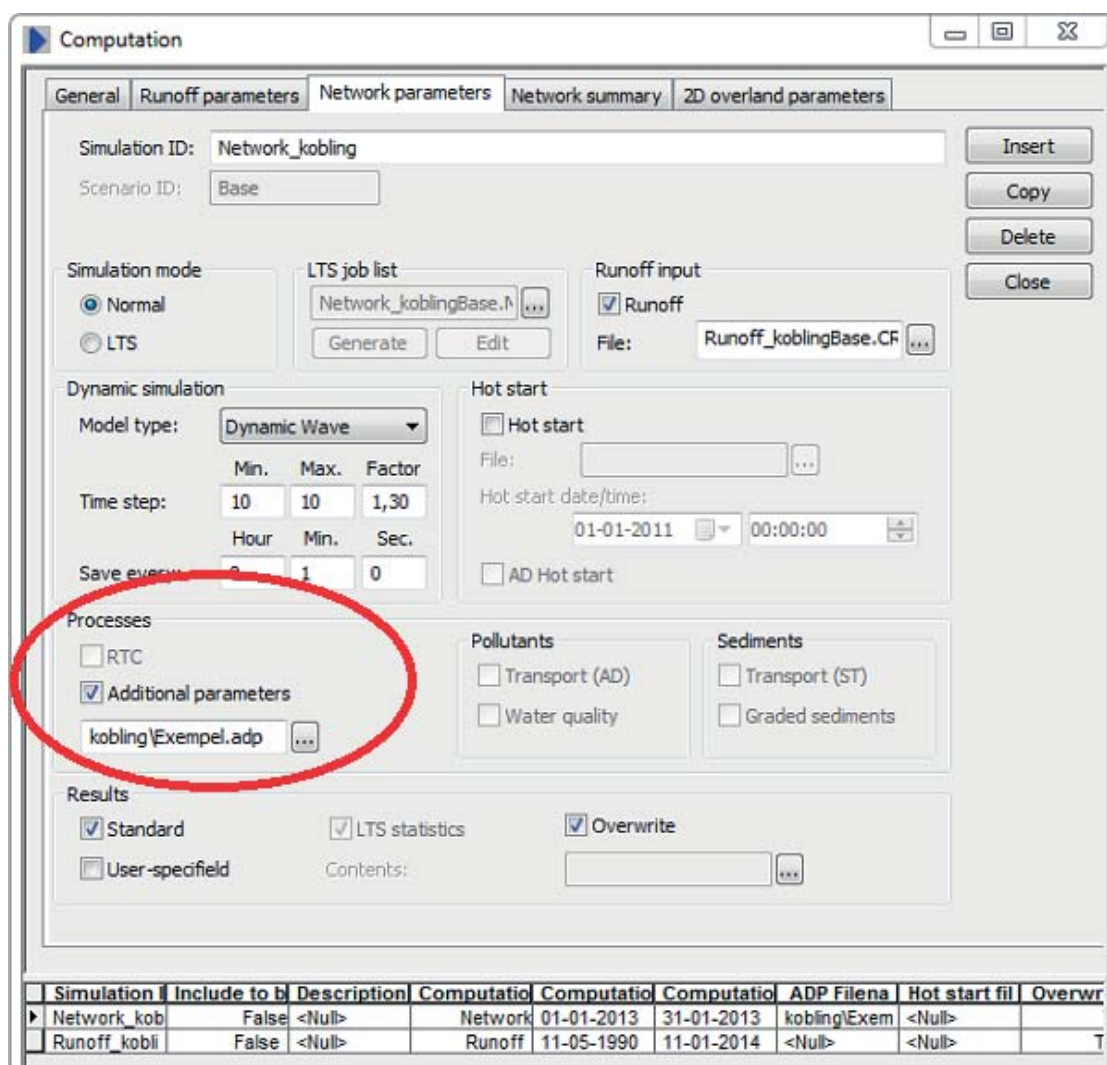
Simuleringen af de to modeller under koblingen køres fra MIKE SHE. Når simuleringen starter, beder MIKE SHE MIKE URBAN om at køre et MIKE URBAN tidsskridt. Da tidsskridtene i MIKE SHE ofte er meget større end i MIKE URBAN beder MIKE SHE MIKE URBAN om at køre endnu et tidsskridt osv, indtil MIKE SHE tidsskridtet er færdig simuleret. Herefter køres næste tidsskridt i MIKE SHE, og det hele gøres igen. Princippet er illustreret på figur B.1.



Figur B.1: Rækkefølge for simulering af MIKE SHE og MIKE URBAN.

## Hvor i programmerne sker koblingen

Som beskrevet tidligere skal der anvendes to forskellige filer for at modellerne ved, at de er koblede. For MIKE URBAN er det en ADP-filen, der kobles i modellen under Computation - Network parameters - Processes - Additional parameters. Placeringen er illustreret på figur B.2.

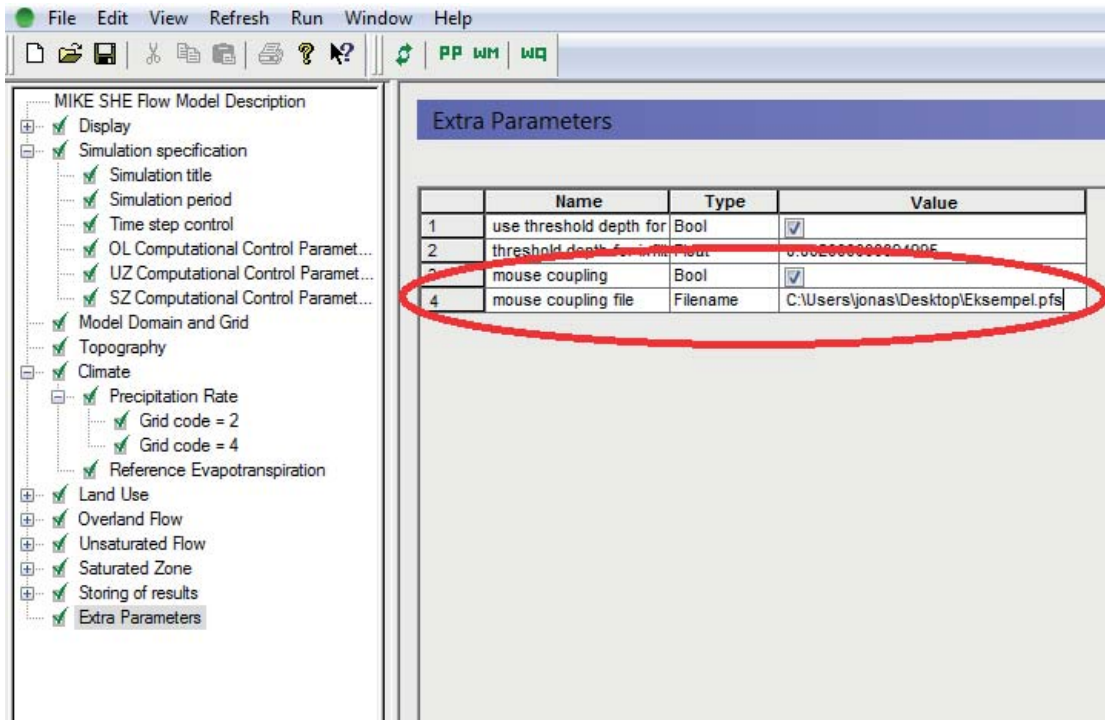


Figur B.2: ADP-fil tilkobling i MIKE URBAN.

Når MU og MS kobles skal tidsskridtet i MU være konstant, som for eksempel 10 sekunder. For MIKE SHE sker koblingen under Extra Parameters, og det er PFS-filen der skal kobles. Der tilføjes to ekstra parametre, hvor Navn, type og værdi skal være nøjagtig som følger:

Name	Type	Value
mouse coupling	Bool	<input checked="" type="checkbox"/>
mouse coupling file	Filename	"filstien" eks. C:\users\jonas\Desktop\Eksempel.pfs

Placeringen i MIKE SHE er også illustreret på figur B.3.



Figur B.3: PFS-fil tilkobling i MIKE SHE.

## ADP-filen

ADP-filen skal indeholde følgende kode:

```
[MOUSE_COUPLING]
SYNTAX_VERSION=1
UNIT_TYPE=1
CALLER='MSHE'
```

Herefter indsættes de elementer der skal kobles. Parametrene skal indsættes i angivne rækkefølge:

```
// LineHeader='ID', 'LinkType', 'OLConductivity', '
  OLConductivityExponent', 'SzLeakageCoeff'
```

Under LinkType defineres 1 for knuder og 2 for links. Et par eksempler er vist herunder.

```
COUPLINGMMSHE='Node1 ',1,0.1,1,,  
COUPLINGMMSHE='Link1 ',2,0,1,0.000001
```

til sidst afsluttes koden med:

```
EndSect
```

Det er kun link-typer af typen "CRS" og "Natural-Channel" og brønde, der har overland flow (OLConductivity), hvorfor værdien af denne for f.eks. rør skal være 0. Skal der til gengæld være mulighed for at lave overland flow, ved oversvømmelse fra åer og kanaler, skal dette tillades i dhiapp.ini-filen for MIKE URBAN, der findes på stien *C:\Program Files (x86)\DHI\2012\MIKE URBAN\Cfg\dhiapp.ini* for MIKE URBAN 2012 x64. I filen ændres følgende kode:

```
;CRS_EXTRAPOLATION=1  
;CRS_EXTRAPOLATION_ANGLE=90.0  
;CRS_EXTRAPOLATION_HEIGHT_FACTOR=1.0
```

til

```
CRS_EXTRAPOLATION=2  
CRS_EXTRAPOLATION_ANGLE=90.0  
CRS_EXTRAPOLATION_HEIGHT_FACTOR=10.0
```

Vinklen og højden kan defineres efter behov.

## PFS-filen

Som beskrevet i [DHI, 2012b] kan PFS-filen laves i pfs-editor.exe, der findes i roden af programmappen for DHI. Filen kan også laves i almindelige text/kode redigeringsprogrammer. Laves den i en af disse, skal filen indeholde følgende kode:

```
[ MIKESHE_MOUSE_Specifications ]  
  FileVersion = 2  
  Mouse_MPR_FileName = |sti til MEX-filen (beskrives senere)|  
  SZ_Coupling = 'Value'  
  OL_Coupling = 'Value'  
  Dynamic_Coupling = 'Value'  
  Drainage_To_Manholes = 'Value'  
  Smooth_SZ_Inflow = 'Value'  
  Smooth_OL_Inflow = 'Value'  
  Link_SZ_Exchange_Option = 'Value'  
  No_Of_Storing_reaches = 'Value'  
  [ Dynamic_Coupling_Specifications ]  
    Limit_Inflow = 'Value'  
    Limit_Outflow = 'Value'  
  [ Inflow_Limitations ]  
    MaxVolFac_Links = 'Value'  
    MaxVolFac_Manholes = 'Value'
```

```
EndSect // Inflow_Limitations

[ Outflow_Limitations ]
  MinVolFac_Links = 'Value'
  MinVolFac_Manholes = 'Value'
EndSect // Outflow_Limitations

EndSect // Dynamic_Coupling_Specifications

[ Storing_Reaches ]
EndSect // Storing_Reaches

EndSect // MIKESHE_MOUSE_Specifications
```

Beskrivelsen af værdierne kan findes i [DHI, 2012b].

Som det fremgår af koden, skal der anvendes en MPR-fil. Denne filtype oprettes kun for de ældre MOUSE modeller, hvorimod MIKE URBAN anvender en **MEX-fil**. MEX-filen kan også anvendes til koblingen. Denne fil bliver oprettet hver gang en MIKE URBAN simulering startes. Det er derfor vigtigt, at der ved hver ændring i MIKE URBAN køres en ny simulering med alle de rigtige parametre, herunder den rigtige tidsperiode. Det skal bemærkes at filen oprettes når simulering startes, hvorfor der ved længere simuleringer ikke er behov for at kører hele simuleringen, men den blot skal startes. Da der både bliver lavet en mex-fil for runoff og network simulering i MIKE URBAN er det vigtigt at stien til den rigtige fil vælges i koden. Filen placeres sammen med resultatfilerne for MIKE URBAN.



# C

## Grundvandstværsnit







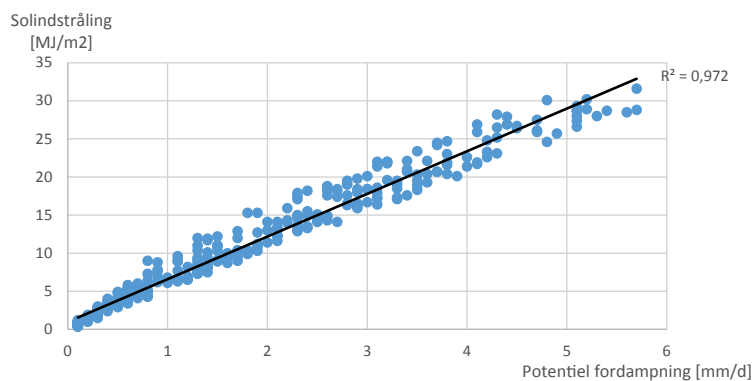
# D Sammenligning af målte data til definition af potentiel fordampning.

---

For at retfærdiggøre, at den potentielle fordampning ikke fremskrives, laves der i dette appendiks en gennemgang af de varierende faktorer som afgør hvad værdien af den potentielle fordampning er. Den potentielle fordampning sammenlignes med solindstrålingen, lufttemperaturen og vindhastighederne. Alle værdier er angivet i DMI's klimagrid. I MS anvendes udelukkende værdien af potentiel fordampning.

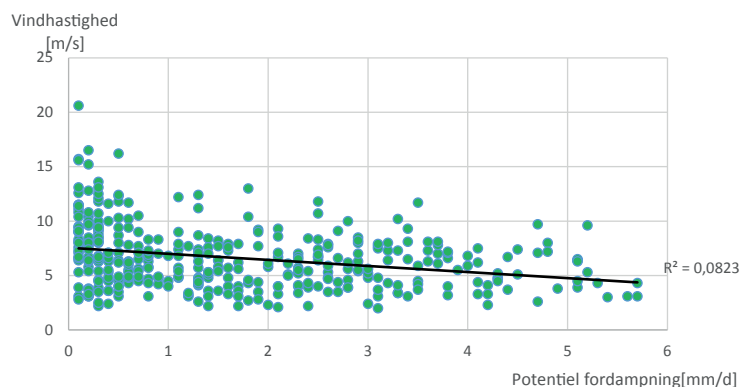
---

Da der for klimagridet er opgivet værdier for solindstrålingen, vindhastigheden og lufttemperaturen sammenlignes disse værdier med den potentielle fordampning. Det gøres for at beskrive hvilke af de tre parametre der har størst indflydelse på den potentielle fordampning. For at beskrive sammenhængen mellem den potentielle fordampning og de tre parametre er de plottet mod hinanden hvilket er illustreret på figur D.1 til D.3.



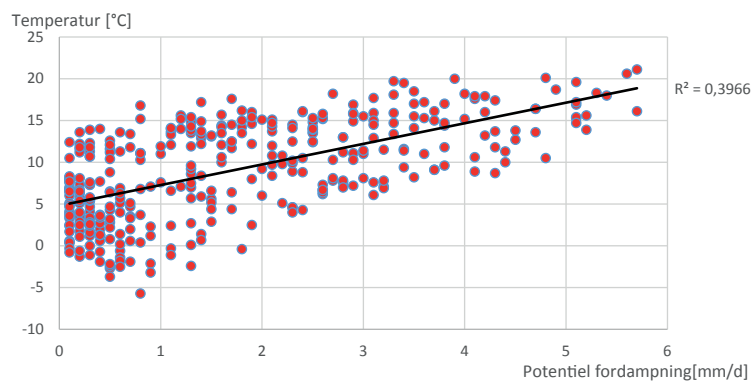
Figur D.1: Den potentielle fordampning plottet mod solindstrålingen.

Som det er vist på figur D.1 er den kvadrerede korrelationskoefficient for sammenhængen mellem potentiel fordampning og solindstråling 0,97, hvilket stemmer godt overens med den gode sammenhæng vist på figuren.



Figur D.2: Den potentielle fordampning plottet mod vindhastigheden.

Som der ses på figur D.2 er der ringe sammenhæng mellem den potentielle fordampning og vindhastigheden, hvilket også fremgår af den kvadrerede korrelationskoefficient.



Figur D.3: Den potentielle fordampning plottet mod temperaturen.

Ligesom for vinden er der ringe sammenhæng mellem den potentielle fordampning og temperaturen, som stemmer godt overens med den viste kvadrerede korrelationskoefficient.

Da sammenhængen mellem solindstråling og potentiel fordampning er den klart største, vurderes det, at solindstrålingen har størst effekt. Da parametre som skydække og vinklen til solen, der begge har indflydelse på solindstrålingen ikke antages at ændre sig i fremtiden, fremskrives værdien for solindstråling ikke. Da denne værdi ikke fremskrives, vurderes det samtidig, at det ikke er nødvendigt at fremskrive den potentielle fordampning.