

# Hydraulisk model for Rødby Fjord oplandet



## Kortfattet beskrivelse

Version 4

Februar 2014

## Indholdsfortegnelse

1 Baggrund.....	3
2 Rødby Fjord.....	3
3 Regn og afstrømning.....	5
4 Rødby Fjord modellen.....	7
5 Kritiske forhold.....	8
6 Statistiske analyser.....	8
7 Grødens betydning.....	12
8 Afstrømning fra byer.....	14
9 Hummingen.....	15
10 Fjernelse af styrt.....	15
11 Kanal breddens betydning.....	16
12 Dræn.....	16
13 Kramnitse pumpestations betydning .....	17
14 Klima.....	17
15 Referencer.....	19

## 1 Baggrund

I august 2011 faldt der 120 mm nedbør over en periode på 7 dage i Rødby Fjord, hvilket gav anledning til oversvømmelser af landbrugsområder og sommerhusgrunde. Oversvømmelsen var særlig kritisk, fordi den fandt sted om sommeren, medens der stod afgrøder på markerne, og dermed betød økonomiske tab for de ramte landmænd.



*Figur 1: Luftfoto af oversvømmelse i august 2011 ved Kirkenorsløbet med Rødby i baggrunden.*

Oversvømmelsen gav anledning til en række spørgsmål fra områdets landmænd og beboere. Kunne oversvømmelsen have været undgået, hvis pumperne havde haft større kapacitet, hvis hovedkanalene havde været bredere, hvis grøden havde været skåret yderligere, hvilken betydningen havde de styrt, som findes i systemet, og hvor ofte skal vi forvente lignende oversvømmelser?

For at besvare disse og andre spørgsmål, og for at bidrage til den generelle forståelse af de hydrologiske forhold for Rødby Fjord, igangsatte Lolland Kommune i samarbejde med områdets interessenter i 2012 et projekt. I projektet, som er afsluttet i januar 2014, er alle data med relevans for områdets hydrologi samlet, organiseret, og analyseret. Der er opstillet en integreret numerisk model for oplandets marker og vandløb. Der er etableret loggere, som løbende registrerer vandstande fire steder i vandløbene. De målte vandstande er anvendt til kalibrering og validering af den opstillede model. Loggerne fortsætter deres målinger også efter projektets afslutning, og vil dermed bidrage til yderligere viden om områdets hydrologiske forhold. Detaljer om data, model og modelresultater er beskrevet i projektrapporten (ref.1). Nærværende notat er en kort beskrivelse af områdets hydrologiske forhold, samt resultater og konklusioner fra modelberegningerne.

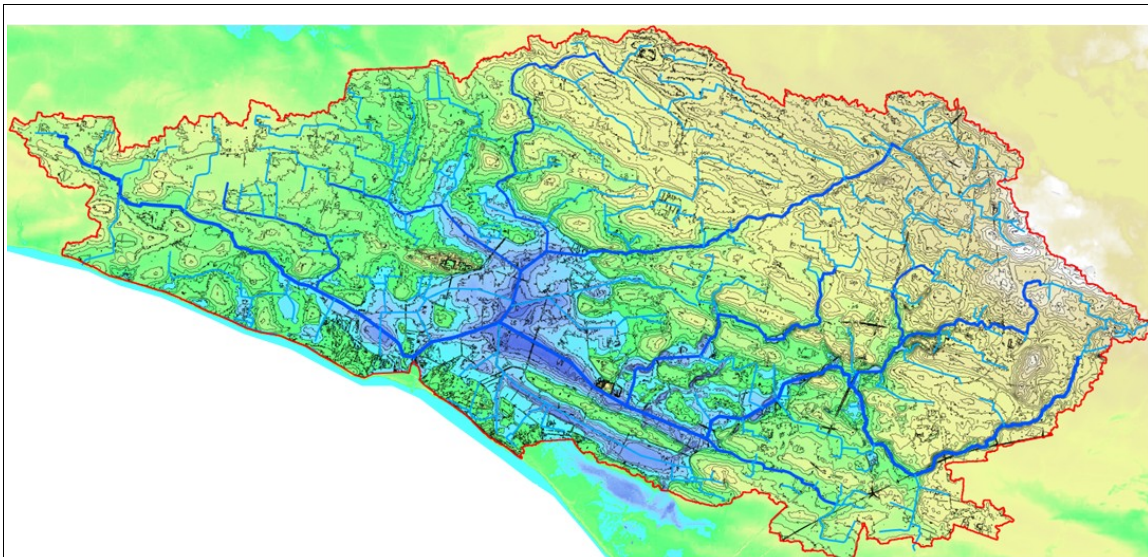
## 2 Rødby Fjord

Rødby fjord var oprindelig en fjord, der forbandt købstaden Rødby med Femern Bælt. I dag er Rødby Fjord tørlagt, og udnyttes til intensiv landbrugsproduktion. Afstrømningen fra området ledes via et kanalsystem til Kramnitse pumpestation, hvor vandet pumpes ud i Femern bælt.



Figur 2: Kanalsystemet i oplandet til Kramnitse pumpestation. Hovedkanaler markeret med mørkeblå, andre kanaler med lyseblå.

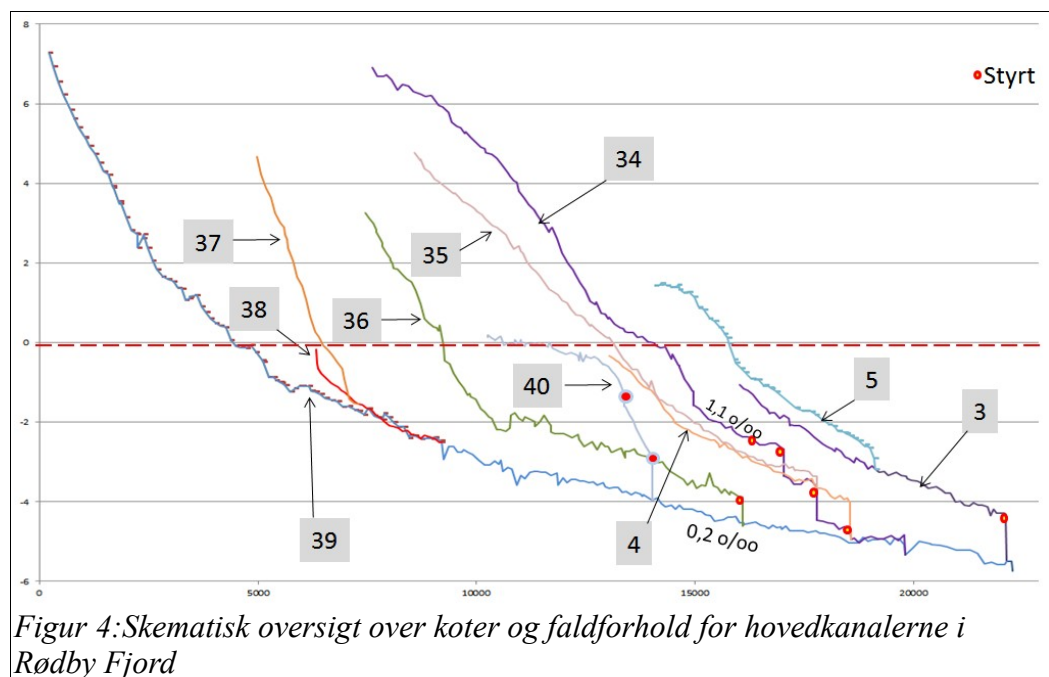
Oplandet til Kramnitse pumpestation er cirka 200 km<sup>2</sup>. Den samlede længde af hovedkanalerne (vist med mørkeblå på figur 2) er 86 km. Hovedkanaler og pumper er dimensioneret til en afstrømning på omkring 100 l/s/km<sup>2</sup>, hvilket svarer til 9 mm/døgn eller 20 m<sup>3</sup>/s ved indløb til pumpestationen. Løftehøjden ved pumpestationen varierer omkring fire meter. Området er generelt fladt med terrænkoter ned til ca. minus 2,5 meter (se figur 3 )



Figur 3: Topografi for oplandet til Rødby Fjord. De blå områder har terrænkoter under nul.

Der findes i kanalsystemet 9 styrt, hvor vandet løber over en betonkant og danner et lille vandfald på nedstrømsiden. Faldhøjderne for disse styrt varierer fra 45 cm til 113 cm.

Vandløbene har generelt svage hældninger, typisk under 0,5 promille i den nedre del af systemet, med Rødby Kanal (39) som den fladeste med cirka 0,2 promille på strækningen fra Rødby til Kramnitse. (se figur 4)



88% af oplandet er opdyrket, 5% skov, 6% bebyggelse og 1% søer og vandløb. Af de opdyrkede områder udgør vårbyg 28%, vinterhvede/byg 35% og roer 23%. De bebyggede områder udgøres af Rødby, Holeby, Dannemare og sommerhusområderne Kramnitse og Hummingen. Det anslås, at 20% af de bymæssige områder er befæstet, altså veje, parkeringspladser, hustage, terrasser osv., medens de resterende 80% er ubefæstede bevoksede områder. Arealer for befæstede områder, søer og vandløb udgør dermed omkring 2% af oplandet, medens de resterende 98% er bevoksede områder.

### 3 Regn og afstrømning

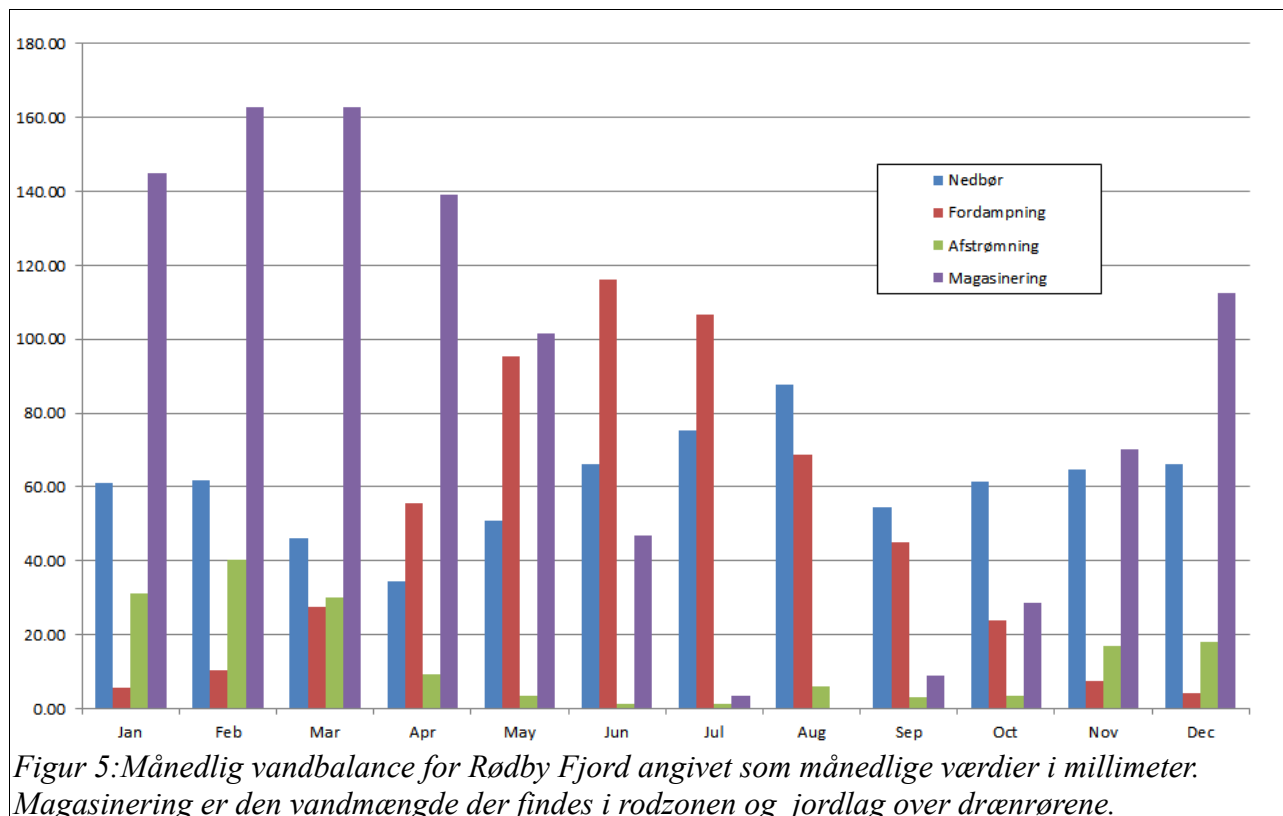
Hovedkanalerne er dimensioneret til en kapacitet på omkring 100 l/s/km<sup>2</sup>, hvilket svarer til 9 mm/døgn. Det kan synes som en lille kapacitet, da det jo ikke er usædvanlig med dage med mere end 9 mm regn.

Men som tidligere nævnt udgør de ikke befæstede områder 98% af oplandet og regn, som falder på disse områder, vil infiltrere og opmagasinere i rodzonen. Fra rodzonen sker der fordampning, hovedsageligt via planterne, som trækker vand op gennem rødderne, men også i mindre grad som direkte fordampning fra jordskorpen. Falder der mere regn, end der kan fordampes, vil rodzonen gradvist blive mættet. Fortsætter regnen, vil vandindholdet i rodzonen på et tidspunkt nå et niveau (markkapacitet), hvor de kapillære kræfter i rodzone ikke længere kan tilbageholde vandet, og den overskydende vandmængde infiltrerer dybere ned. Når der opstår mættede forhold omkring drænrørene, ledes vandet via disse til vandløbene. Det betyder altså, at rodzonen og jordlagene over drænrørene udgør et vigtigt magasin, som kan tilbageholde og forsinke kraftige nedbørshændelser. Dette er også forklaringen på, at der normalt ikke opstår oversvømmelse, selvom der falder mere

end 9 mm regn på et døgn.

Fordampningen er meget mindre om vinteren end om sommeren. Det betyder, at vandindholdet i rodzonen om vinteren ofte vil være tæt på markkapacitet, og selv mindre nedbørshændelser kan give anledning til tilstrømning til vandløbene. Derimod vil der om sommeren typisk være et lille vandindhold i rodzonen, og denne har dermed en stor magasineringskapacitet ledig til at optage vand fra kraftige nedbørshændelser. Der skal altså være vedvarende kraftig regn over flere dage om sommeren, for at det giver anledning til kraftig tilstrømning til vandløbene og dermed risiko for oversvømmelser.

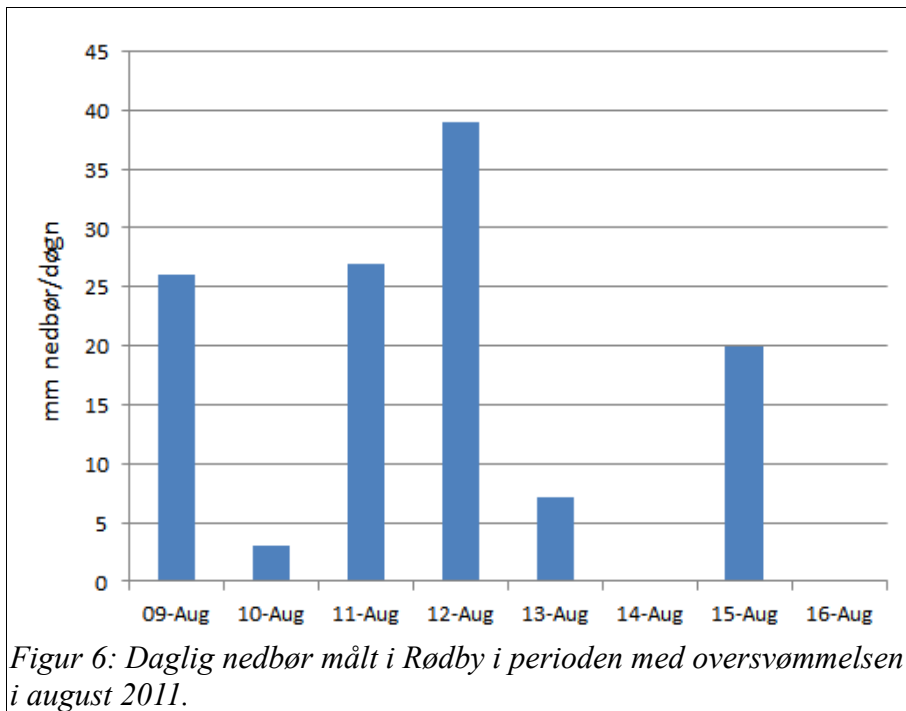
Disse forhold er demonstreret på figur 5 nedenfor. Figuren viser den gennemsnitlige månedlige vandbalance for perioden fra 2001 til 2011 beregnet med Rødby Fjord modellen.



Figur 5: Månedlig vandbalance for Rødby Fjord angivet som månedlige værdier i millimeter. Magasinerings er den vandmængde der findes i rodzonen og jordlag over drænrørerne.

Den vedvarende kraftige nedbør som området oplevede i august 2011, og som gav anledning til oversvømmelse, er vist på figur 6. I løbet af 7 dage faldt der 120 mm regn.

Magasineringskapaciteten af rodzone og jordlagene over drænerne blev opbrugt, hvilket gav anledning til kraftig afstrømning til kanalerne og oversvømmelse af disse.



## 4 Rødby Fjord modellen

Rødby Fjord modellen er en sammenkobling af rodzone og plantevækst modellen Daisy og vandløbsmodellen HEC-RAS. Daisy modellen, som er udviklet af Landbohøjskolen, beskriver de hydrologiske processer, som sker i jordlagene over drænene. Daisy beregner den tidslige variation af infiltration af nedbør, fordampning fra planter og jordoverflade, snesmeltning, og tilstrømning til dræn på baggrund af klimatiske inputdata (bl.a. nedbør og temperatur) og den stedlige variation af afgrødetyper. Daisy leverer dermed tilstrømning fra landområderne til vandløbsmodellen HEC-RAS. HEC-RAS er en amerikansk model udviklet af USACE. Modellen er en fuld dynamisk, endimensional, fysisk baseret, distribueret model, og ligner i forhold til metoder og anvendelser meget den danske Mike 11 model.

Daisy modellen er for Rødby Fjord oplandet baseret på fordelingen af afgrødetyper, befæstelsesgrader og jordtyper, samt klimatiske data. HEC-RAS modellen er sat op for hovedvandløbene i Rødby Fjord (de navngivne vandløb på figur 2). Den detaljerede vandløbsgeometri er defineret ud fra Hedeselskabets opmåling fra 1989, hvor over 1100 tværsnit er opmålt. Oplandsarealer er beregnet på basis af den digitale højdemodel for området.

Det samlede modelsystem, som udgøres af Daisy, HEC-RAS og de data, som danner input til disse, kalder vi Rødby Fjord modellen.

Rødby Fjord modellen er kalibreret mod de målte udpumpninger samt målte vandstande fra de fire opsatte vandstandsloggere. Der skelnes mellem vækstperioden og vinterperioden, idet der i vækstperioden er mere grøde i vandløbene i forhold til vinterperioden, og dermed også større hydraulisk modstand i vækstperioden i forhold til vinterperioden.

Rødby Fjord modellen er valideret i forhold til de udbredelser af oversvømmelser, som er registreret ud fra flyfoto optaget under oversvømmelsen i august 2011. Der er god overensstemmelse mellem

observationer og simuleringer.

## 5 Kritiske forhold

Oversvømmelsen i august 2011 og de oversvømmelser, som området har oplevet i forbindelse med tøbrud, har alle begrænset sig til landområder og sommerhusgrunde. De økonomiske tab, som oversvømmelserne giver anledning til, hidrører dermed hovedsageligt fra tab af afgrøder i form af et mindre høstudbytte. Tabet vil dermed afhænge af om oversvømmelsen finder sted i vækstperioden eller om vinteren. Yderligere vil tabet afhænge af hvor længe markerne er oversvømmede. I projektets interessentgruppe er det bestemt, at oversvømmelser i vækstperioden med en varighed på tre eller flere dage betegnes som kritisk. Der er naturligvis her tale om en forenkling, da der vil være flere faktorer, som afgør størrelsen af tab af høstudbytte efter en oversvømmelse. Men det lidt hårde kriterium gør det muligt at lave statistiske analyser for gentagelsesperioder, og lave en kvantitativ vurdering af resultater fra modelscenarier, og dermed bringe mere klarhed over de store datamængder.

En optimal plantevækst fordrer, at der er veldrænedede forhold på markerne. En forudsætning for god dræning er, at vandstanden i de vandløb og kanaler, som markernes dræn leder vand til, er tilstrækkelig lav til at drænvandet kan strømme. Kriteriet for kritiske forhold er her defineret ved, at vandstanden i vandløbet ikke må overstige koten på dræn i umiddelbar nærhed af vandløbet.

Under projektet har grundejerforeningen Hummingen Strand arbejdet med løsninger på afvandringsforholdene for området, og det var på det tidspunkt opfattelsen, at der ville blive etableret en pumpe, hvilket ville have afkoblet problemstillingen i fjorden fra sommerhusområdet. Disse områder indgår derfor ikke direkte i analyserne af det overordnede system (se også afsnit 9)

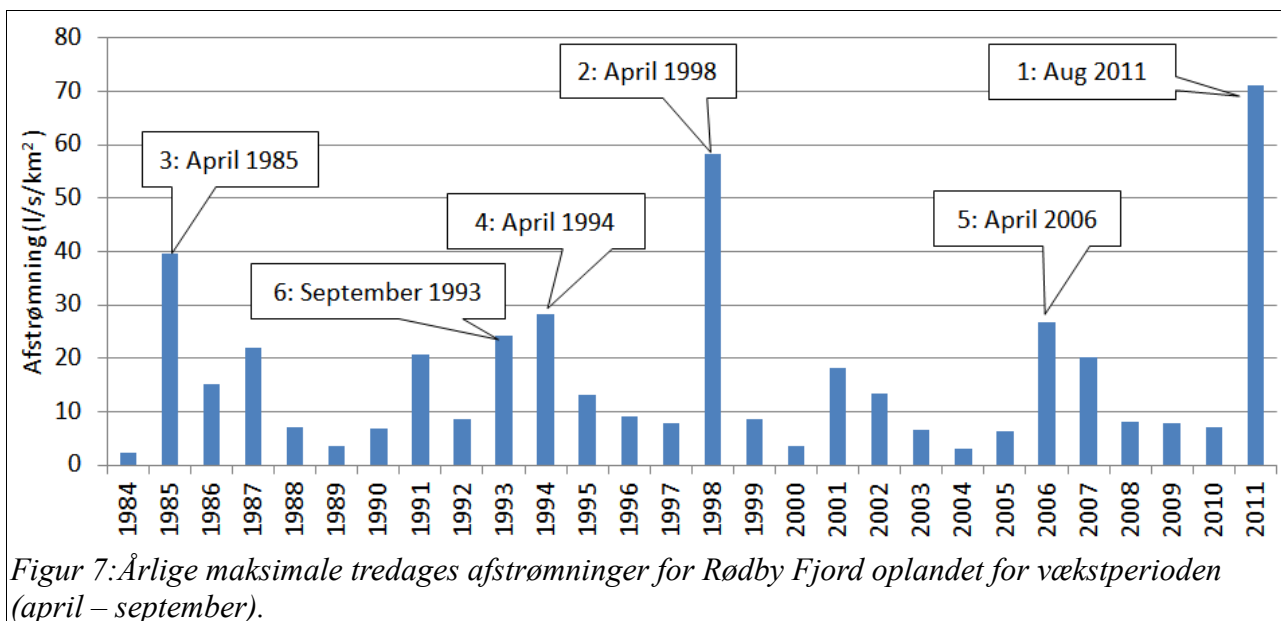
## 6 Statistiske analyser

Der er over de seneste 30 år registreret daglige værdier for udpumpningen fra Kramnitse pumpestation. Idet vandet tilnærmelsesvis udpumpes i samme takt som det tilstrømmer pumpestationen, giver disse udpumpningsrater et mål for den daglige afstrømning fra området.

Som tidligere nævnt var et af kriterierne for en kritisk hændelse, at varigheden af vand på terræn på landbrugsområder var tre eller flere følgende dage i vækstperioden. For at udnytte de målte daglige udpumpninger til at sige noget om hyppigheden for netop denne type hændelse er disse data bearbejdet ved først at udtage alle værdier, som falder i vækstperioden (april – september), dernæst gennem hele dataserien, at udtage alle tredages perioder (tre på hinanden følgende dage) og finde den mindste udpumpningsrate for hver periode, for så endelig ud fra disse at beregne de årlige maksimum værdier. Resultatet af denne bearbejdning er vist på figur 7.

Figuren illustrerer hvor usædvanlig august 2011 hændelsen var. Afstrømningen i august 2011 er den højeste sommerafstrømning inden for måleperioden (30 år). Det er også bemærkelsesværdigt, at de høje afstrømninger typisk finder sted i foråret. Om foråret er der mindre grøde i vandløbene i forhold til sensommeren. Derfor er høje afstrømninger i foråret mindre kritiske i forhold til høje afstrømninger i sensommeren.

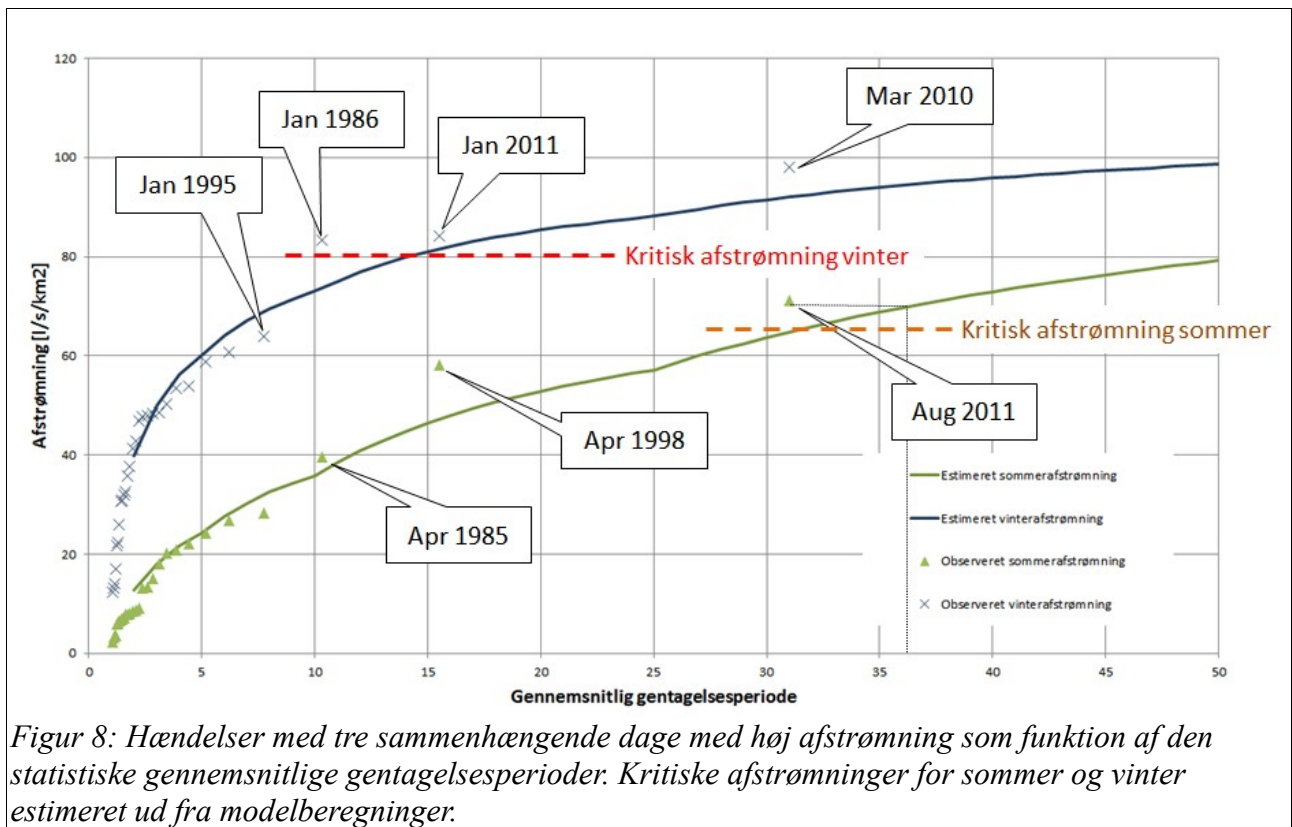




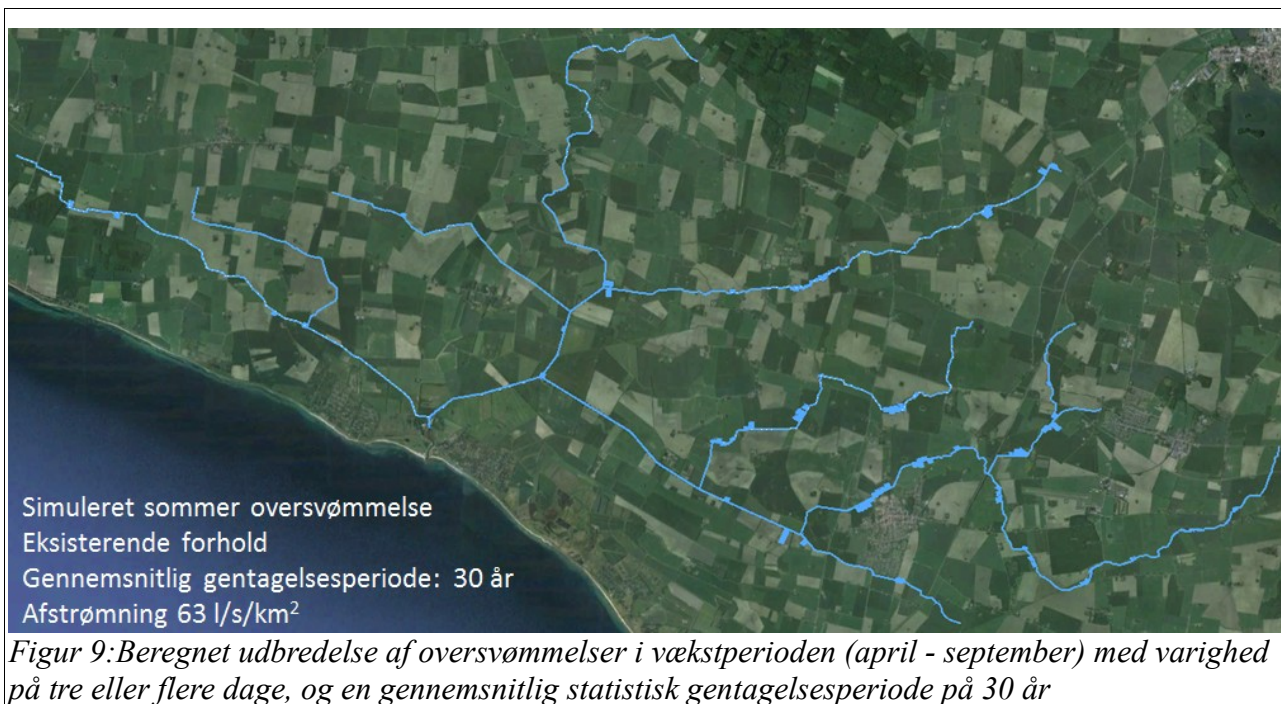
På basis af de målte udpumpninger er der gennemført en ekstremværdianalyse. Analysen giver et estimat på sammenhængen mellem gennemsnitlige gentagelsesperiode og afstrømninger der forekommer med minimum tre dages varighed. Analysen er lavet både for sommer og vinter og vist på figur 8.

Analysen viser, at den afstrømning, som gav anledning til oversvømmelsen i august 2011, har en statistisk gentagelsesperiode på omkring 37 år, hvilket svarer til en årlig sandsynlighed på 2,7%.

Der er gennemført modelberegninger med gradvist stigende afstrømninger for en vintersituation og en sommersituation. På baggrund af resultaterne fra disse beregninger estimeres, at en afstrømning omkring 80 l/s/km<sup>2</sup> om vinteren, hvor der ikke er grødevækst, vil give anledning til oversvømmelser langs den nedre del af Rødby Kanal og andre mindre områder. Samme type oversvømmelse vil opstå om sommeren, hvor der vil være grødevækst, ved en afstrømning på omkring 65 l/s/km<sup>2</sup>. Dette svarer til, at der i gennemsnit vil opstå oversvømmelser med mere end tre dages varighed hvert 14. år om vinteren og hvert 32. år om sommeren. (figur 8)



Rødby fjord modellen er anvendt til at beregne udbredelser af oversvømmelser i forskellige situationer. På figur 9 og 10 er vist beregnede udbredelser af oversvømmelser for situationer med sommer grødevækst, svarende til nuværende praksis med sommergrødeskæring, for afstrømninger med gentagelsesperioder på henholdsvis 30 og 50 år.



Figur 9 og 10 viser oversvømmelser for ekstreme afstrømninger. Nogle vandløb og specielt Kirkenorsløbet udsættes for mindre oversvømmelser med få års mellemrum. Kigger man nærmere på hvilke områder sådanne mindre oversvømmelser dækker, viser det sig, at der i alt overvejende grad er tale om områder, som er udlagt som brak eller skovdækkede moseområder. Altså ikke områder,

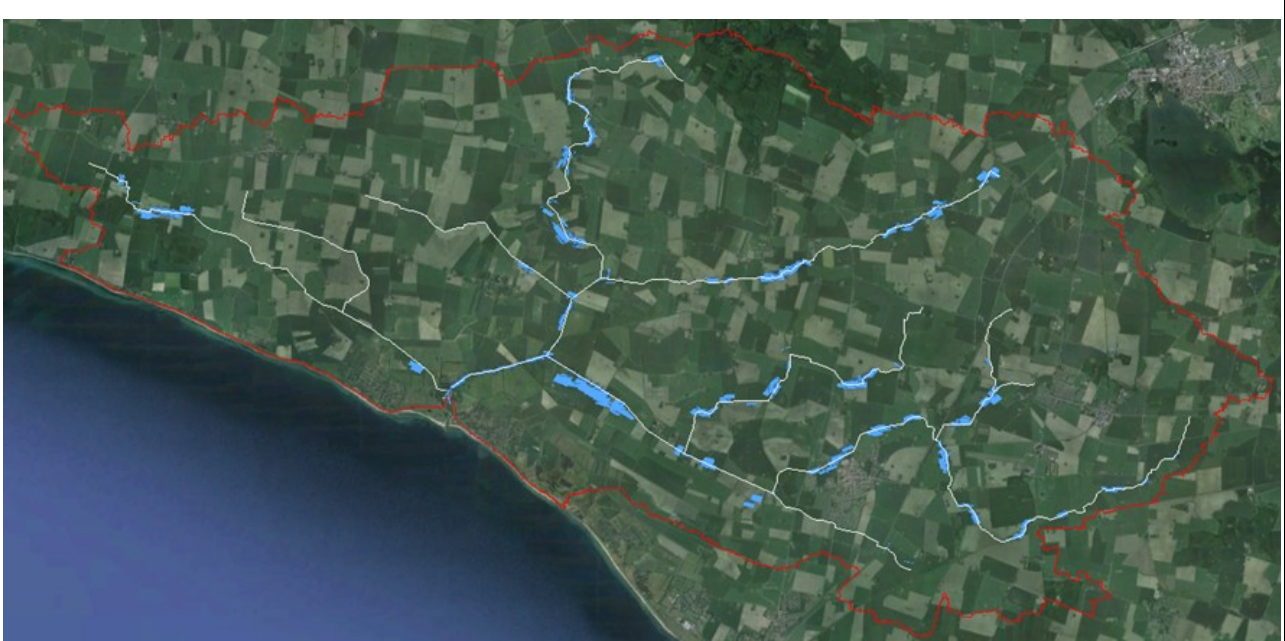
som er sårbare overfor oversvømmelser. Det landbrugsområde, som er mest udsat for oversvømmelse, er området langs Rødby Kanal på strækningen fra indløb fra Næsbæk til Rødby Kanals indløb i hovedkanalen.

## **7 Grødens betydning**

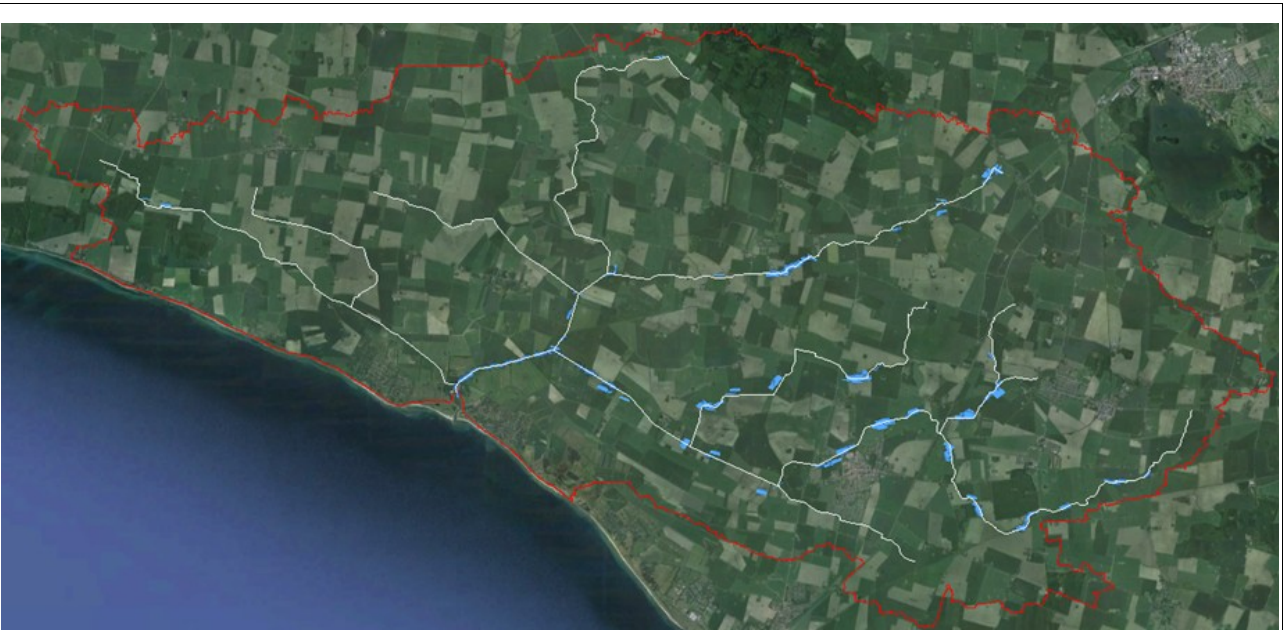
Oversvømmelsen i august 2011 fandt sted umiddelbart inden efterårsskæringen af grøde i vandløbene, så vandløbene havde betydelig grødevækst, da den langvarige regn faldt. I 2011 var der ingen grødeskæring i vandløbene om sommeren, bortset fra de dybe kanaler i den oprindelige Rødby Fjord. Efter 2011 er der indført grødeskæring af hovedvandløbene én gang i sommerperioden. Et oplagt spørgsmål er, hvor stor betydning den kraftige grødevækst havde for udbredelse af oversvømmelsen, og om oversvømmelsen kunne have været helt eller delvist undgået, hvis man allerede inden 2011 havde indført grødeskæring af hovedvandløbene om sommeren.

For at undersøge dette er Rødby Fjord modellen anvendt til at simulere oversvømmelsens udbredelse, både med den grødevækst, som var tilstede i august 2011, og for en situation med sommer grødevækst, svarende til den nuværende praksis, hvor grøden i hovedvandløbene skæres én gang i sommerperioden.

Resultaterne fra simuleringerne er vist på figur 11 og 12. Den kraftige grødevækst giver anledning til større udbredelser af oversvømmede områder. Men som det ses af figur 12, ville oversvømmelsen ikke kunnet været helt udgået, selvom der havde været foretaget sommergrødeskæring.



*Figur 11: Simulerede udbredelser af oversvømmelse, med en afstrømning på 80 l/s/km<sup>2</sup>, svarende til den maksimale afstrømning under august 2011 oversvømmelsen og med kraftig grødevækst.*



*Figur 12: Simulerede udbredelser af oversvømmelse, med en afstrømning på 80 l/s/km<sup>2</sup>, svarende til den maksimale afstrømning under august 2011 oversvømmelsen og med sommer grødevækst, svarende til, at grøden skæres midt på sommeren.*

En anden måde at betragte effekten af ekstra grødeskæring om sommeren er at beregne gentagelsesperioder for kritiske forhold, hvilket her defineres som mere end tre sammenhængende dage med vand på dyrkede områder.

Beregninger med Rødby Fjord modellen viser, at der om sommeren med sommergrødeskæring vil opstå kritiske forhold hvis afstrømningen overstiger 65 l/s/km<sup>2</sup>, medens kritiske forhold vil opstå

ved afstrømninger over 50 l/s/km<sup>2</sup> ved kraftig grødevækst. Ud fra den statistiske analyse af udpumpningsraterne (figur 8) kan der aflæses, at disse afstrømninger vil opstå i gennemsnit hvert 32. og 17. år. Det betyder altså, at sommer-grødeskæring vil reducere hyppigheden af kritiske forhold om sommeren fra at optræde hvert 17. år, til at optræde hvert 32. år.

## 8 Afstrømning fra byer

Højintense kortvarige nedbørshændelser kan give anledning til høje vandstande i de vandløb som byernes afløbssystemer udleder regnvand til. Et eksempel kan være afstrømning under og efter tordenbyger. Som tidligere nævnt er Rødby Fjord oplandet sårbart overfor de meget langvarige nedbørshændelser, altså et helt andet nedbørsmønster i forhold til det, som kan give problemer i byområder. Yderligere udgør det samlede befæstede areal i Rødby Fjord oplandet kun 2% af det totale areal, så det er ikke forventelig, at afstrømning fra byer vil give anledning til udbredte oversvømmelser langs hovedkanalerne. Endvidere vil eventuelle høje tilstrømninger fra byområder være kortvarige (under et døgn) og oversvømmelserne langs vandløb og kanaler vil være begrænsede til områder uden bebyggelse.

For at undersøge konsekvensen af bymæssig tilledning, er der gennemført en modelberegning baseret på en estimering af overløbsmængderne, hvor der gøres en række antagelser, som sikrer, at de estimerede udløb er større end, hvad man vil forvente i virkeligheden. Altså et worst-case estimat.

Der modelleres samtidig overløb fra den nordlige og den sydlige del af Rødby samt Holeby. Byområderne påtrykkes en 30 minutters regn med en gennemsnitlig gentagelsesperiode på 10 år (CDS Regn) svarende til 20 mm nedbør på en halv time.

Lolland forsyning har oplyst, at der findes forsinkelsesbassiner, men vi kender ikke til detaljer om disse. I nedenstående analyse (worst-case) indregnes der ikke forsinkelsesbassiner.

For at kunne estimere den effekt den bymæssige tilledning har på vandstanden i vandløbene, skal der antages en basis afstrømning i vandløbene. Basisafstrømningen er den afstrømning, som vandløbene har som følge af afstrømning fra det åbne land uden bytilledningen. Der er ikke nødvendigvis nogen sammenhæng mellem høj bymæssig tilledning og høj basis afstrømning, idet basisafstrømningen bestemmes af nedbøren over en længere periode, mens den højintense bymæssige tilledning vil stamme fra en kortvarig nedbørshændelse, som f.eks. en tordenbyge. Men for at følge tilgangen med at finde et ekstremt tilfælde regnes med en høj basisafstrømning i vandløbene, svarende til maksimum median værdier for henholdsvis sommer og vinter.

Maksimum median afstrømning vinter for Rødby Fjord er 55 l/s/km<sup>2</sup>

Maksimum median afstrømning sommer Rødby Fjord 20 l/s/km<sup>2</sup>

Maksimum værdierne svarer til den største værdi, der i gennemsnit vil optræde hvert andet år, altså en to-års hændelse.

Modelresultaterne viser, at for sommer-situationen giver maksimum median afstrømningen alene ikke anledning til oversvømmelse. Når den kraftige byudstrømning tilledes, opstår der vand på terræn få steder. Oversvømmelsen sker langs vandløb 39L på uopdyrkede områder, mens der ved vandløb 38L er en mindre oversvømmelse på en lavtliggende mark.

For vintersituationen giver maksimum median afstrømningen alene anledning til vand på terræn på steder, som i forvejen er vandlidende og hovedsageligt ikke dyrkede områder.

Når bytilledningen påføres opstår der få nye oversvømmede områder i forhold til basis scenariet. Efter sammenløb mellem vandløb 39L og 40L opstår der et mindre område på marken med oversvømmelse. Øvrige oversvømmede områder vokser moderat i forhold til basis scenariet. I stor udstrækning opstår oversvømmelserne i områder, som ikke er dyrkede, fordi de er lavtliggende og i forvejen vandlidende.

I forhold til den skadevirkning, som en oversvømmelse fra de bymæssige områder giver anledning til, er det interessant at se på varigheden af oversvømmelsen. Modelberegningerne viser, at vandstandene hurtigt stiger, og i løbet af 6 timer faldet til næsten normal vandstand igen. Efter omkring 20 timer er vandstanden helt tilbage på startværdien.

## 9 Hummingen

Sommerhusområdet Hummingen Strand har periodevis problemer med vandmættede forhold på grundene med svuppene jord, oversvømmelser og bygningsskader på de værst ramte grunde.

Under oversvømmelsen i august 2011, måtte beredskabet tilkaldes for at pumpe vand væk fra området. Problemerne skyldes utilstrækkelig dræning i området. Yderligere er der ved høje vandstande i Lilleholm kanal problemer med udledning af drænvandet til denne.

For at imødegå dette planlægges det at etablere nyt drænsystem og øge afstrømningen fra området ved pumpning af drænvand via kommunevandløb 60 (KVL60), som udløber i Lilleholm Kanal (3L). Udpumpningen begrænses til maksimalt 1 l/s/ha, svarende til 38 l/s for Hummingen Strand, som er på ca 38 ha.

For at undersøge konsekvenserne af en sådan udpumpning i forhold til vandstande i Lilleholm kanal er der lavet modelberegninger med Rødby Fjord modellen for situationer, hvor den generelle afstrømning fra oplandet til Lilleholm Kanal svarer til maksimum median afstrømninger for henholdsvis vinter og sommer. Modelberegningerne viser, at den øgede tilstrømning fra hele Hummingen på ca. 135 ha. i disse situationer vil give en maksimal vandstandsstigning i Lilleholm Kanal på 9 cm og 4 cm for henholdsvis sommer- og vintersituation. I begge tilfælde stigninger, som ikke giver anledning til oversvømmelse langs kanalen.

## 10 Fjernelse af styrt

Der findes på hovedkanalerne i Rødby fjord 9 styrt. Det er en nærliggende tanke, at disse styrt vil bidrage til en forhøjet vandstand opstrøms disse, og at fjernelse af nogle eller alle styrt vil kunne bidrage til at afhjælpe problemer med oversvømmelse og høje vandstande. For at undersøge dette er HEC-RAS modellen anvendt til at sammenligne vandstande i vandløb 34L, med de fire eksisterende styrt og hvor disse er fjernet.

For beregningerne uden styrt er der udover fjernelse af styrt også ændret på vandløbsbunden opstrøms disse. Hvis selve den betonkonstruktion, som udgør styrtene, fjernes vil vandløbsbunden blive eroderet ned til et jævnt faldende forløb. Så for at få en realistisk simulering af situationen uden styrt er bunden i modellen tilrettet til det niveau den skønnes at ville indtage efter fjernelse af styrtene. Der er lavet sammenligninger af vandstande for vandføringer svarende til vintermiddel afstrømning (8.6 l/s/km<sup>2</sup>), vinter maksimumsværdi (58 l/s/km<sup>2</sup>) og afstrømning svarende til den som oplevedes under august 2011 oversvømmelsen (80 l/s/km<sup>2</sup>). For de to første simuleringer, som er vinterhændelser, anvendes Manningtal 20 m<sup>1/3</sup>/s, svarende til lille modstand fra grøde, medens der

for august hændelsen anvendes Manningtal 12  $m^{1/3}/s$ , som svarer til en kanal med grødevækst.

Beregningerne viser, at fjernelse af styrtene giver et vandspejlsfald umiddelbart opstrøms styrtene. Men allerede 1000m opstrøms styrtene er der kun meget ringe forskel på situationen med og uden styrt. Fjernelse af styrt vil dermed kun have ringe gavnlige virkning på oversvømmelsesproblematikken.

## 11 Kanal breddens betydning.

Hvis en kanal gøres bredere eller dybere vil arealet af det tværsnit, som vandet kan strømme i, blive større. Kanalen kan dermed lede den samme afstrømning ved en lavere hastighed, hvilket giver mindre energitab og dermed mindre stuvning. En udvidet kanalstrækning vil dermed betyde en lavere vandstand på den udvidet strækning og over en strækning opstrøms udvidelsen. Udvidelsen vil imidlertid ikke have nogen effekt på vandstanden nedstrøms.

Der er derfor en oplagt tanke at løse problemer med høje vandstande ved at gøre kanalerne dybere eller bredere. For at undersøge effekten af en sådan udvidelse er der lavet modelberegninger for en situation, hvor Rødby Kanal er udvidet med 20% i bredden på strækningen fra Rødby kanals indløb i hovedkanalen og to kilometer opstrøms. Denne strækning er netop der, hvor der under august 2011 oversvømmelsen oplevedes de største oversvømmelser af landbrugsområder.

Beregninger med Rødby Fjord modellen viser, at en sådan udvidelse vil hæve den kritiske afstrømning fra 65  $l/s/km^2$  til 70  $l/s/km^2$  om sommeren og fra 80  $l/s/km^2$  til 90  $l/s/km^2$  om vinteren. Dermed vil den gennemsnitlige gentagelsesperiode for kritiske forhold blive forlænget fra 32 år til 37 år om sommeren og fra 14 år til 27 år om vinteren. Anlægsomkostningen for at udvide kanalstrækningen anslås til 1,1 million kroner.

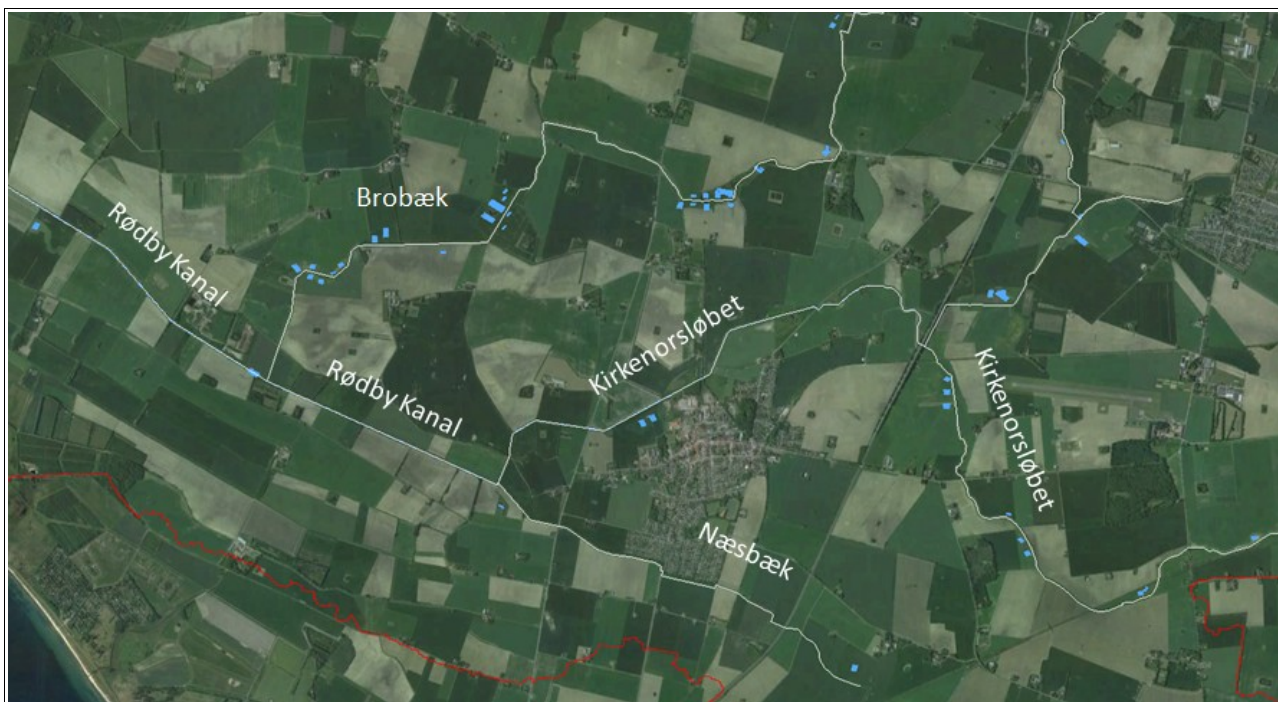
Beregninger viser også, at udvidelsen kun vil have en signifikant effekt på den strækning hvor udvidelsen sker, og altså ikke løse problemer andre steder i systemet.

## 12 Dræn

En optimal plantevækst fordrer, at der er veldrænede forhold på markerne. En forudsætning for god dræning er, at vandstanden i de vandløb og kanaler, som markernes dræn leder vand til, er tilstrækkelig lav til at drænvandet kan strømme.

Rødby Fjord modellen er anvendt til at estimere den afstrømning, som kan give anledning til vandstande i vandløbene, som er over drænkoterne. På figur 13 nedenfor er udbredelsen af områder hvor koter for dræn ligger lavere end den simulerede vandstand i vandløbene ved en afstrømning på 10  $l/s/km^2$  om sommeren, vist. Langs Brobæk og Kirkenorsløbet er det i hovedsagen brakområder og skovområder, der ikke kan dræne, medens der langs Rødby kanal og helt opstrøms Næsbæk er landbrugsområder, som har problematiske dræningsforhold.





Figur 13: Udbredelse af områder nær hovedvandløbene hvor drænkoter er lavere end vandstanden i nærmeste vandløb ved en afstrømning på 10 l/s/km<sup>2</sup> om sommeren.

Der er i gennemsnit mindre end 7 dage i løbet af sommeren, hvor afstrømninger overstiger 10 l/s/km<sup>2</sup>. Det betyder altså, at der i færre end 7 dage i vækstperioden, hvor situationer som vist på figur 13 opstår. Det er dog vigtigt at understrege, at de små vandløb ikke er medtaget i Rødby Fjord modellen. Afdræning i forhold til disse er dermed ikke vist på figur 13.

## 13 Kramnitse pumpestations betydning

De oversvømmelser som området har oplevet, og de scenarier for oversvømmelser, som er undersøgt med Rødby Fjord modellen, har ikke været forårsaget af manglende pumpekapacitet. Det er kanalsystemet og dermed tilstrømningen frem til pumpen, som sætter begrænsningen. I de tredive år, hvor der findes data med udpumpninger og vandstande umiddelbart opstrøms pumpestationen, har der kun været få situationer, hvor pumpen kortvarigt ikke har kunnet opretholde den opstrøms vandstand. Dette bekræftes også af modelberegninger med Rødby Fjord modellen, som viser, at en forøget pumpekapacitet blot vil give en lavere vandstand umiddelbart opstrøms pumpestationen og ingen effekt længere opstrøms.

## 14 Klima

For et område som Rødby Fjord hvor 20 % af arealet ligger under kote nul, og hvor alt afstrømning skal pumpes fra kote minus fire ud i Femern Bælt, vil udsigten til klimaændringer naturligvis kunne give anledning til bekymring.

Den generelle antagelse i forhold til den fremtidige nedbør er, at der vil komme mere nedbør om vinteren, sommeren vil blive tørrere, og hyppigheden og intensiteten af de ekstreme

nedbørshændelser vil øges.

Særlig de kraftige kortvarige nedbørshændelser har haft stor opmærksomhed i klimadebatten, fordi det er denne type regn, som i byområder kan være årsag til store ødelæggelser af huse og bygninger. Men Rødby Fjord, hvor 98% af arealet er ubefæstet landområde, er ikke specielt sårbar overfor enkelte ekstreme nedbørshændelser.

Som tidligere nævnt udgør rodzonen og jorden over drænene et stort magasin, som kan tilbageholde store mængder vand. Der hvor problemerne opstår i Rødby Fjord, er situationer, hvor der gennem længere tid har været vedvarende nedbør, og jordens magasineringsskapacitet er opbrugt forud for en kraftig nedbørshændelse. Det er altså snarere mønsteret i nedbøren end den enkelte nedbørshændelse, som er vigtig.

En tør sommer med enkeltstående kortvarige kraftige nedbørshændelser vil altså ikke give anledning til kritiske situationer, fordi rodzonen bliver afdrænet og udtørret mellem de kraftige nedbørshændelser. Om vinteren derimod vil antagelsen om, at der kommer generelt mere nedbør, kunne give anledning til en øget hyppighed af kritiske situationer, fordi der vil være længere perioder, hvor magasineringsskapaciteten i rodzonen er opbrugt og kraftige nedbørshændelser dermed vil give anledning til stor afstrømning.

Til design af spildevandssystemer anbefales det i dag at multiplicere den nuværende ekstremnedbør med en faktor mellem 1,2 og 1,4. For byområder giver sådanne anbefalinger god mening, da en parkeringsplads i Holbæk vil reagere på nogenlunde samme måde som en parkeringsplads i Århus på en given regn. Anderledes forholder det sig når det handler om afstrømning fra landområder. Den måde et landområde reagerer på en nedbørshændelse afhænger af lang række parametre, som jordtype, grundvandsspejl, vegetation o.s.v. og i høj grad af hvor meget regn, der er faldet i perioden op til regnhændelsen. Der er altså svært at overføre viden for et landområde til et andet.

Under anvendelse af klimamodeller kan man lave et bud på en mulig 100 års vejrudsigt, med daglige værdier for bl.a. nedbør og temperatur. Sådanne værdier kan anvendes som input til Rødby Fjord modellen, og derved lave en fremtidsudsigt på afstrømninger og vandstande i Rødby Fjord. Dette er gjort ved anvendelse af data, som GEUS har dannet på baggrund af forskellige klimamodeller. Der er på denne måde lavet beregninger for tre forskellige klimamodeller, som repræsenterer den variation, som der generelt findes mellem klimamodeller. Resultatet peger på, at kritiske situationer vil opstå hyppigere om vinteren, men i forhold til sommersituationer peger resultaterne både mod en forværring og en forbedring. Der er meget stor usikkerhed på estimater for klimaets påvirkning i forhold til oversvømmelser for Rødby Fjord.

Der er ikke nogen entydig indikation for, at klimaændringer vil give anledning til forværrede forhold for Rødby Fjord og dermed ikke grundlag for at skride til store investeringer i klimatilpasning i forhold til hovedkanaler og pumpestationen på nuværende tidspunkt.

I forhold til sommerhusområderne Hummingen og Kramnitse samt specifikke landbrugsområder, som oplever problemer med afdræning ved høje vandstande i hovedkanalerne, kan etablering af lokale drænpumper, som løfter drænvandet op i kanalerne være en god løsning.

Som et forsøg er der imidlertid lavet en analyse hvor en klimafaktor på 1,2 er anvendt. Hvis man ganger alle de observerede årlige maksimum værdier for afstrømning i Rødby Fjord med denne faktor og gentager den statistiske analyse som er beskrevet i afsnit 6, vil den statistiske gentagelsesperiode for kritiske forhold for henholdsvis sommer og vinter være 20 år og 7 år. Altså hyppigere end for nuværende forhold hvor de tilsvarende værdier var er år 32 og 14 år.

## **15 Referencer**

/1/ Hydraulisk model for Rødby Fjord oplandet. Lolland Kommune 2011.