Kristian Sunesen Førby

# Fremtidssikring af Vesterfjord og Hobro mod oversvømmelse

**Kandidatspeciale**
**Vand og Miljø**
**Institut for Byggeri og Anlæg**
**Aalborg Universitet**
**2015**

**Aalborg Universitet**
Institut for Byggeri og Anlæg
Vand og Miljø
Sofiendalsvej 11
9000 Aalborg
Telefon 99 40 83 75
http://www.byggeri.aau.dk/sektioner/vand/

**Titel:**

Fremtidssikring af Vesterfjord og Hobro mod oversvømmelser.

**Projektperiode:**
VM10, Forårssemesteret 2015

**Projekttype:**
Afgangsspeciale

**Deltagere:**
Kristian Sunesen Førby

**Vejleder:**
Michael Robdrup Rasmussen
Jesper Ellerbæk Nielsen
Henrik Brødsgaard Pedersen

**Oplagstal:** 4

**Sidetal:** 58

**Bilagsantal:** 20 + CD

**Afsluttet:** 10-06-2015

**Synopsis:**

Der er igennem dette kandidatspeciale arbejdet med Vesterfjord, hvor der er set nærmere på oversvømmelsesproblemerne tilknyttet Vesterfjord.
Der er indledningsvist udarbejdet en analyse af, vandstandsforholdene i Vesterfjord på baggrund af en boks-model baseret på massebalance betragtninger. For at lave denne model har det samtidig været nødvendigt at lave en model af vandløbenes afstrømninger til Vesterfjord.
Vandstandsvariationerne i Vesterfjord er vha. modellen undersøgt for at vurdere effekterne på afløbssystemet og Vesterfjord samt oversvømmelserne heraf.
Ud fra disse analyser er problemets omfang fastlagt og der er slutteligt udarbejdet et løsningsforslag til at imødekomme de identificerede problemstillinger. Løsningsforslaget består af en pumpestyringsstrategi, der fremtidssikrer afløbssystemet og Vesterfjord imod oversvømmelser samt tilgodeser faunamigrationen igennem slusen.

# Forord

Denne rapport er udarbejdet af Kristian Sunesen Førby som kandidatspeciale på civilingeniøruddannelsen i Vand og Miljø ved Aalborg Universitet. Rapporten svarer til en arbejdsbelastning på 30 ECTS-point.

Projektet omfatter den foreliggende rapport samt et tilhørende bilagsappendiks. Udarbejdelse af projektets har fundet sted i tidsperiode fra den 1. februar 2015 til den 10. juni 2015. Der rettes en stor tak til Mariagerjord Kommune, Mariagerjord Vand A/S og COWI A/S for hjælp til levering af materialer.

Det er en forudsætning at læseren af rapporten har et vist kendskab til teorien indenfor vand og miljø området.

**Læsevejledning**
Der er igennem rapporten lavet kildehenvisninger, som er samlet i en kildeliste bagerst i rapporten. Der anvendes gennemgående kildehenvisning efter Harvardmetoden, således at der refereres med [Efternavn, År]. Denne henvisning leder til kildelisten, hvor bøger er angivet med forfatter, titel, udgave og forlag, mens webadresser er angivet med forfatter, titel, dato og URL-adresser. Kilder til figurer angives i figurteksten medmindre de er af egen oprindelse. Højdekortsfigurer er lavet i programmet COWI Maps.
Figurer og tabeller er nummereret i henhold til kapitel og sidetal i hovedrapporten, dvs. den første figur i kapitel 2 har nummer 2.1, den anden nummer 2.2 osv. Forklarende tekst til figurer og tabeller findes under disse.
Bagest i rapporten forefindes bilag til de forskellige kapitler. Noget materiale findes på den vedlagte CD, og det er præciseret i det enkelte bilag, hvorvidt materialet er at finde på bilags-CD'en.

Kristian Sunesen Førby

# Abstract

This project is focusing on the lake of Vesterfjord in Hobro has been analyzed. The water levels in Vesterfjord have been analyzed for its effects on flooding in Vesterfjord as well as in the drainage system in Hobro. In addition to this, the sluice placed in the stream of Onsild between Vesterfjord and the estuary of Mariagerfjord, has been analyzed.

In order to make this analysis a box model has been created for Vesterfjord. This box model is based on mass balances, where the inputs consist of runoff from the streams Onsild and Hodal as well as runoffs from the drainage system of Hobro. The runoff data from the streams another model has been created to simulate these.
The output from the model consists of water levels in Vesterfjord, but they depend on the runoff from Vesterfjord to Mariagerfjord. Mariagerfjord is the primary boundary condition for the water level in Vesterfjord. With the models in place the analysis of flooding and the sluice can take place.

First the current situation in Vesterfjord has been analyzed, in order to determine if, or how big the flooding problem currently is.
The analysis shows that there already are problems today with flooding, especially in the drainage system. In Hobro the drainage system often have capacity problems in the outlets, due to a high water level in the recipients Vesterfjord and Mariagerfjord. This will cause the drainage system in Hobro to flood in the lowest parts of the city, because of back flow of rain- and seawater in the sewer system.
There are also problems with flooding directly from the lakeside of Vesterfjord, where the parking lot at Kvickly often experience flooding. There have not been any recordings of house flooding in Hobro due to high a water level in Vesterfjord. But this is mainly due to coincident, because that the conditions of high tide, flood, heavy rain and large runoffs from the streams have not hit at the same time.

In the future, the water levels in the seas will rise due to climate changes and this will lead to a higher water level in Vesterfjord, because the water level in Vesterfjord is dependent on the water level in Mariagerfjord. This will cause the flooding problems to increase. Therefore it is necessary to do something to prevent these flooding from occurring.
Creating a solution that will keep the sluice closed more than it already is, will lead to a problem with the migration of fish trough the sluice.

Therefore a solution is created where both flooding and fish migration is taken care of. This solution is a pumping solution, where water is pumped from Vesterfjord to Mariagerfjord in situations with high water levels in Mariagerfjord in order to stop the water level from rising above the critical flooding level, but at the same time making sure that the sluice is open at least one hour a day. This way both fish migration and preventing flooding is secured.

Besides from this pumping solution a list of recommendations has been created in order to make sure that the necessary precautions are taken notice of in future planning of the development of the city of Hobro, as well as the planning of the sewer system.

# Indholdsfortegnelse


**1 Indledning** **1**

**2 Problematik** **5**
2.1 Problemstillinger omkring Vesterfjord og Hobro midtby . . . . . 5
2.2 Metode . . . . . 11
2.2.1 Slusen . . . . . 13
2.2.2 Boks-model . . . . . 14
2.2.3 Tipping point . . . . . 21
2.3 Målsætninger . . . . . 24
2.3.1 Vesterfjord og Mariagerfjord . . . . . 25
2.3.2 Vandløb . . . . . 28
2.3.3 Opsummering . . . . . 29

**3 Problemformulering** **31**

**4 Opstilling af løsningsforslag** **33**
4.1 Diskussion af løsningsforslag . . . . . 34

**5 Løsningsforslag** **39**
5.1 Regulering ift. maksimal tilladt vandstand i Vesterfjord . . . . . 39
5.2 Regulering ift. højvande i Mariagerfjord . . . . . 42
5.3 Regulering ift. vandløbsafstrømninger . . . . . 45
5.4 Sammenligning af pumpeløsninger . . . . . 46

**6 Diskussion** **51**
6.0.1 Anbefalinger . . . . . 52

**7 Konklusion** **55**

**Litteratur** **57**

**Bilag A Boks model** **59**
A.1 Teoretisk baggrund for boks-modellen . . . . . 59
A.2 Model til- og afstrømninger . . . . . 60
A.3 Vesterfjord og Mariagerfjord . . . . . 61
A.4 Kalibrering . . . . . 63
A.5 Validering af boks-model . . . . . 67
A.6 Resultat af boks-model . . . . . 70

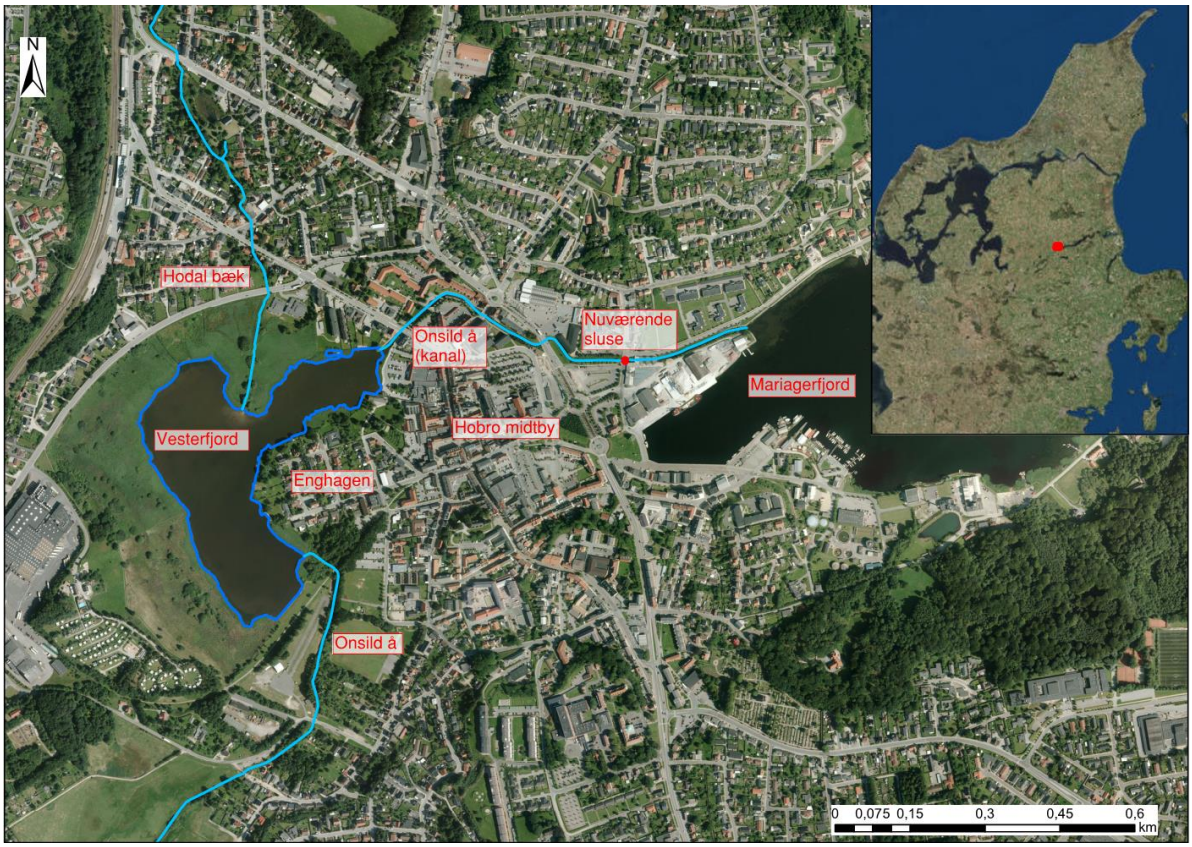
**Bilag B Lineær reservoir model** **71**
B.1 Teoretisk baggrund for lineære reservoir modeller . . . . . 72
B.2 Kalibrering af lineære reservoir modeller . . . . . 74

B.2.1 Onsild å . . . . . 74
B.2.2 Hodal bæk . . . . . 77

**Bilag C CD-bilag** **79**
C.1 Lineære resorvoir modeller . . . . . 79
C.2 Boks-model . . . . . 79
C.3 Vandstandsdata . . . . . 79
C.4 Slusedata . . . . . 79

# 1 Indledning

Hobro er en Nordjysk by beliggende i Mariagerfjord Kommune og har omtrent 12.000 indbyggere. Den centrale del af Hobro ligger imellem Vesterfjord mod vest og Mariagerfjord mod øst. Hobro er udformet således, at den centrale del af byen er meget lavtliggende, hvorimod terrænet stiger mod nord og mod syd. Hobro er rent forsyningsmæssige under Mariagerfjord Vand A/S. På figur 1.1 er Hobros placering vist.




Figur 1.1: Hobro med Mariagerfjord mod øst og Vesterfjord mod vest.

Vesterfjord er en sø, der er beliggende i den vestlige del af Hobro. Søen dækker et område på ca. 12 ha. og har en middeldybde på omkring 80 cm, men Vesterfjord har et dybt lag af dynd på op til 18 m. Vesterfjord får tilløb af vandløbene Onsild å og Hodal bæk, foruden vandløbene får Vesterfjord også tilledninger fra afløbssystemet i Hobro i form af regnvandsbetingede udløb samt fra overløbsbygværker ved overløb. Vesterfjord afvandes af Onsild å, der løber igennem Vesterfjord og fortsætter ud til Mariagerfjord i form af en kanal. På figur 1.2 kan Vesterfjord ses.

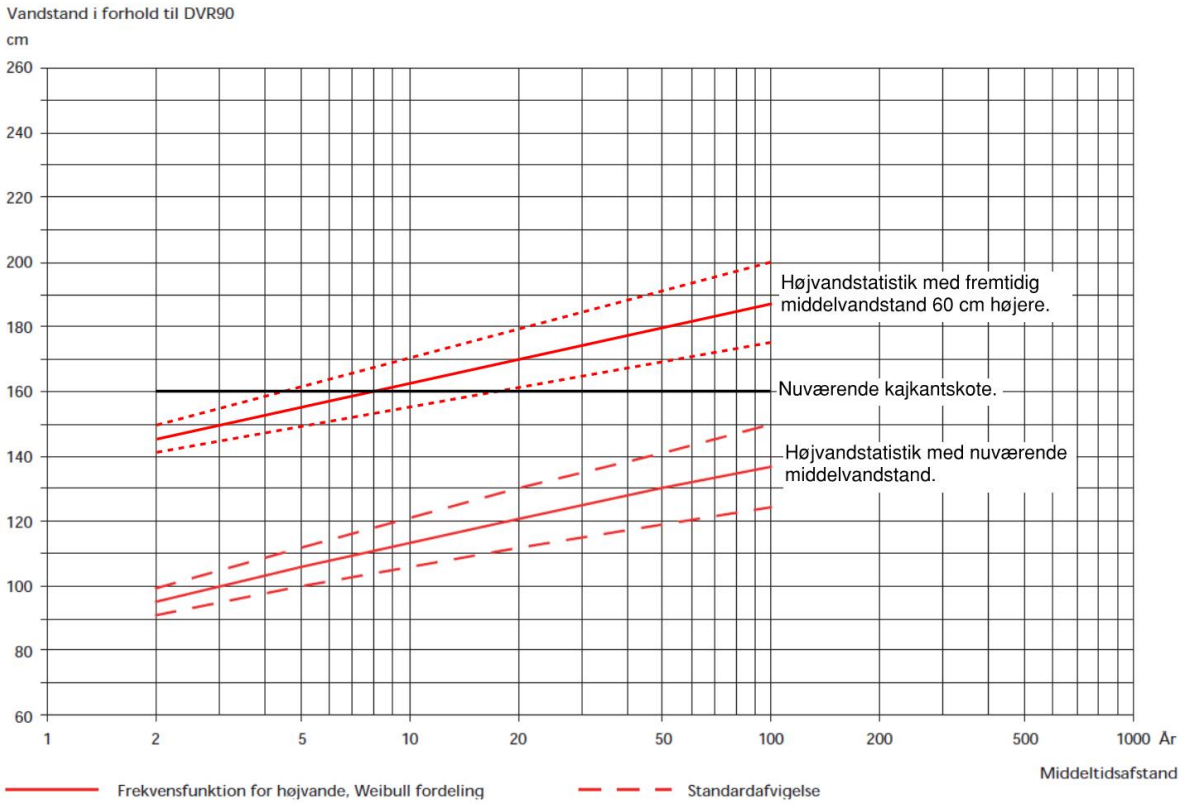
Figur 1.2: Vesterfjord set fra vest ved Hobro Camping Gattenborg.

Der er i Onsild å, imellem Vesterfjord og Mariagerfjord, placeret en højvandssluse ved Horsøvej, hvis formål er at forhindre vand fra Mariagerfjord i at løbe ind i Vesterfjord. Højvandsslusen består af to sluseporte, som er monteret i adskilte i sektioner. Slusen fungerer således, at den lukker i situationer, hvor vandstandskoten er større i Mariagerfjord end i Vesterfjord, hvormed der ikke vil ske nogen vandudveksling imellem Vesterfjord og Mariagerfjord. Højvandsslusen kan ses på figur 1.3.

Figur 1.3: Tv. ses højvandsslusen ved Horsøvej fra vestsiden. Th. ses højvandslusen fra østsiden.

Højvandsslusen skal forhindre oversvømmelser af områderne omkring Vesterfjord under f.eks. stormflodssituationer. Det er specielt det lavtliggende område Enghagen, der grænser op til Vesterfjord samt andre tilstødende områder der er kritiske ift. oversvømmelse.
Der kan opstå problemer i situationer med længerevarende højvande i Mariagerfjord, da vandløbene fortsat afstrømmer til Vesterfjord, hvormed vandet vil stuve op i Vesterfjord. Dermed kan Vesterfjord ved en stor opstuvning "gå over sine bredder", og hvis der samtidig kommer regn kan det resultere i at afløbssystemets afstrømninger accelererer opstuvningen. Hobro midtby er placeret på gammel fjordbund, og ligger derfor lavt, hvilket betyder at midtbyen er i en udsat position med potentielle oversvømmelsesproblemer fra Vesterfjord samt stormflodstrusler fra Mariagerfjord.
I fremtiden kan dette problem blive større, hvis vandstanden i havene langs Danmarks kyster stiger pga. klimaændringerne. Ifølge [DMI, 2014] vil der frem mod år 2081-2100 ske en havvandsstigning på 0,3-0,6 m med en øvre grænse for havvandstigningen på 1,2 m. Hobro ligger ud til Mariagerfjord, som er en del af den danske kyststrækning og vil derfor også blive påvirket af fremtidige havvandsstigninger.

Ifølge højvandsstatistikkerne fra år 2002 [Kystdirektoratet, 2002] vil en 50-årshændelse, i form af stormflod, skabe en vandstand i Mariagerfjord ved Hobro på 130 cm ift. DVR90. Hvis der en sker havvandsstigning på 0,6 m, vil dette medføre, at en 50-årshændelse vil være på 180 cm, hvis tallene overføres direkte. De nuværende kajkanter langs Hobro havn er på 160 cm, hvorfor det fremadrettet vil være nødvendigt at hæve kajkanterne langs Hobro. Men at hæve kajkanterne løser ikke alle problemer, da kloaksystem f.eks. ikke vil kunne aflede alt regnvandet via. gravitation, da koterne i midtbyen ligger meget lavt. På figur 1.4 kan ekstremstatistikken for en 50-årshændelse ved stormflod ses med de nuværende og fremtidige vandstande, forudsat at tallene kan overføres direkte.




Figur 1.4: Højvandsstatistikken for Hobro havn med den nuværende og fremtidige vandstande, baseret på kystdirektoratets ekstremstatistik fra år 2002 [Kystdirektoratet, 2002] .

Kanalen Onsild å, imellem Vesterfjord og Mariagerfjord, benyttes af fisk til at migrere ud og ind af de bagvedliggende vandløb Onsild å og Hodal bæk til og fra Mariagerfjord. Her virker højvandsslusen som en forhindring for denne faunamigration. Hvis der i fremtiden vil ske ændringer af åbningstiden af slusen, som følge af vandstandsændringer, kan dette have en stor betydning for de fisk, der migrerer igennem vandløbet. Vandløbene Onsild å og Hodal bæk er begge målsat højt ift. faunaklasse.

Der vil i fremtiden formentlig opstå problemer omkring hvordan højvandsslusen skal fungere. Da der er flere problemstillinger at tage hensyn til, herunder faunaen i vandløbene samt beskyttelse af ejendomme mod oversvømmelse og de deraf følgende tab af værdier.

# 2 Problematik

I dette kapitel beskrives de problemstillinger der er tilstede i området omkring Vesterfjord og Hobro midtby, herunder potentielle oversvømmelser samt naturmæssige restriktioner osv.

## 2.1 Problemstillinger omkring Vesterfjord og Hobro midtby

Problemerne omkring Vesterfjord består i, at Hobro midtby er placeret meget tæt ved kote nul. Dette giver udfordringer i forbindelse med oversvømmelser fra Vesterfjord og Mariagerfjord. Oversvømmelserne kan ske endten direkte ved oversvømmelse fra søsiden eller indirekte ved at vandet løber baglæns ind i afløbssystemet fra Mariagerfjord og Vesterfjord.
Der kan ligeledes ske opstuvninger i afløbssystemet under regn pga. kapacitetsproblemer i udløbene i forbindelse med høj vandstand i recipienterne Vesterfjord og Mariagerfjord. Onsild å(kanalen) løber imellem Vesterfjord og Mariagerfjord, hvori der er placeret en højvandssluse til at beskytte Vesterfjord og de omkringliggende områder imod højvande i Mariagerfjord og det deraf indtrængende fjordvand. I situationer med højvande i Mariagerfjord er slusen lukket, hvormed der ikke kan afledes vand fra Vesterfjord. Vandet kan dermed stuve op i Vesterfjord, som følge af fortsatte afstrømninger fra Onsild å og Hodal bæk, hvormed der vil være risiko for oversvømmelse.

Foruden oversvømmelsesproblemerne består et andet problem i, at Vesterfjord og Onsild å(kanalen) skal fungere som passage for faunaen imellem Mariagerfjord og de bagvedliggende vandløb. I kanalen er slusen placeret, hvormed denne kommer til at virke som en forhindring for fiskenes migration igennem Onsild å, i de perioder hvor denne er lukket. De fisk, der passerer slusen i dag, må nødvendigvis passere i de perioder, hvor slusen er åben.
Der er dermed tale om to modstridende interesser, da faunaen ikke vil kunne vandre igennem kanalen, når slusen er lukket, men samtidig kan der ikke sikres imod oversvømmelse, hvis slusen står åben. Interessekonflikten står dermed imellem oversvømmelsesgardering på den ene side og faunapassage på den anden side. På figur 2.1 er vandløbene Onsild å og Hodal Bæk vist.

Figur 2.1: Tv. ses Onsild å mod syd(opstrøms retning) fra gangbroen tæt ved udløbet til Vesterfjord. Th. ses Hodal bæk mod syd(nedstrøms retning) fra Skivevej med Vesterfjord i baggrunden.

### Højvandsslusen

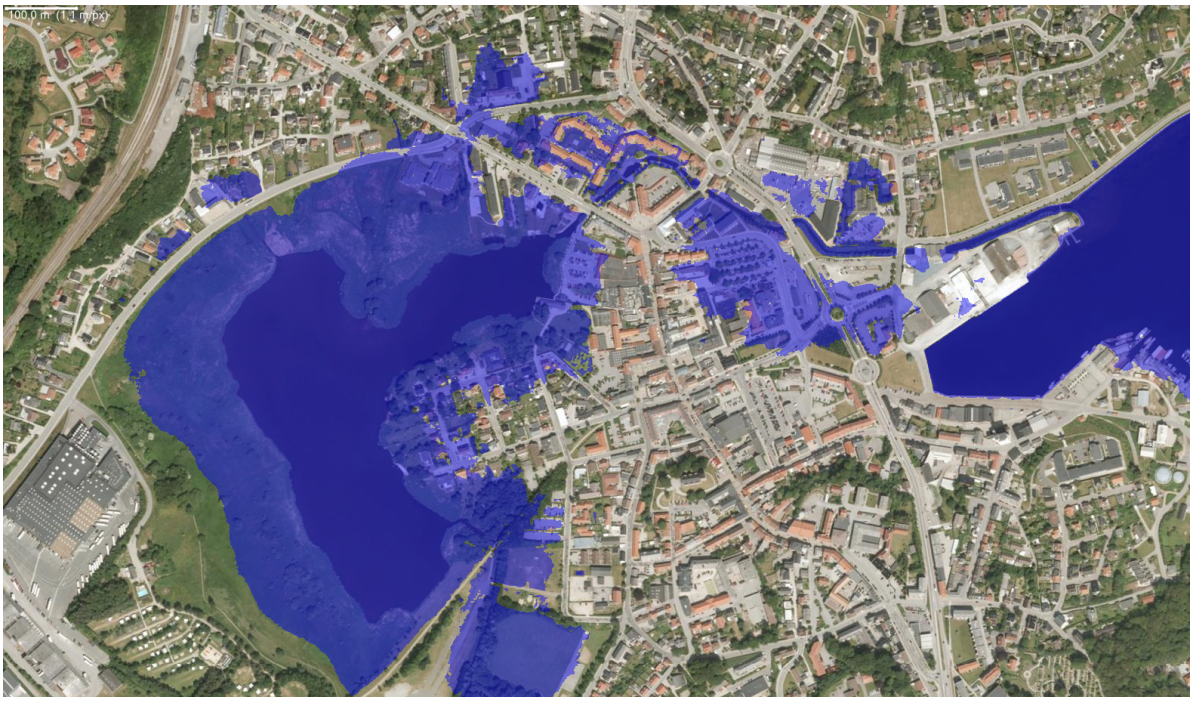
Højvandsslusen fungerer på nuværende tidspunkt således, at den lukker i ved indadgående pres fra Mariagerfjord dvs. i situationer, hvor vandstanden er højere i Mariagerfjord end i Vesterfjord. Hvorimod slusen åbner ved udadgående pres fra Vesterfjord, hvor vandstanden er højere i Vesterfjord end i Mariagerfjord. Slusen er ikke mekanisk styret, men er styret ud fra trykforskellen på hver side af slusen. Der er således ikke nogen konkret styringsstrategi af slusen. Ligeledes er der heller ingen backup plan i tilfælde af, at stigportene sætter sig fast.

### Oversvømmelse

Vandstandsmålinger i Mariagerfjord ved Hobro havn i perioden fra den 28-12-2011 til den 22-04-2015 viser, at den højeste målte vandstand er 138 cm over DVR90. Dette niveau er ikke nok til at gå over kajkanterne i Hobro, da kajkanternes topkote er 160 cm. Højvandstatistikken fra år 2002 for Hobro havn angiver at middeltidsvandstanden for en 50-årshændelse er 130 cm med en spredning på 13 cm. Hvorfor Hobro med de nuværende kajkanters niveau vil kunne tilbageholde vand fra stormflodshændelser med gentagelsesperioder på minimum 50 år. Hvis middelvandstanden stiger med 0,60 m, må det formodes at stormflodshændelser stiger i minimum samme omfang, således vil en 50-årshændelse være på 180 cm, hvormed de nuværende kajkanter ikke er tilstrækkelige høje.

Det vil derfor være nødvendigt at hæve kajkanterne i Hobro langs Mariagerfjord som sikring imod stigende havvandstand. Det vil samtidig være en nødvendighed, at sikre imod opstuvende regnvand i kloakken samt sikre mod tilbageløbende vand fra Mariagerfjord ind i afløbssystemet, de steder hvor udløbene ikke er lavet med kontraklapper.
I afløbssystemet samles det meste af regnvandet i Hobro midtby og udledes efterfølgende til Mariagerfjord. Der vil hurtigt opstå kapacitetsproblemer, hvis ikke vandet kan afledes til Mariagerfjord, hvormed der vil ske oversvømmelser i Hobro. Det er i de lavestliggende

områder, at opstuvende regnvand fra afløbssystemet vil samle sig. På figur 2.2 er områder omkring Vesterfjord som ligger under kote 1,2 m vist.

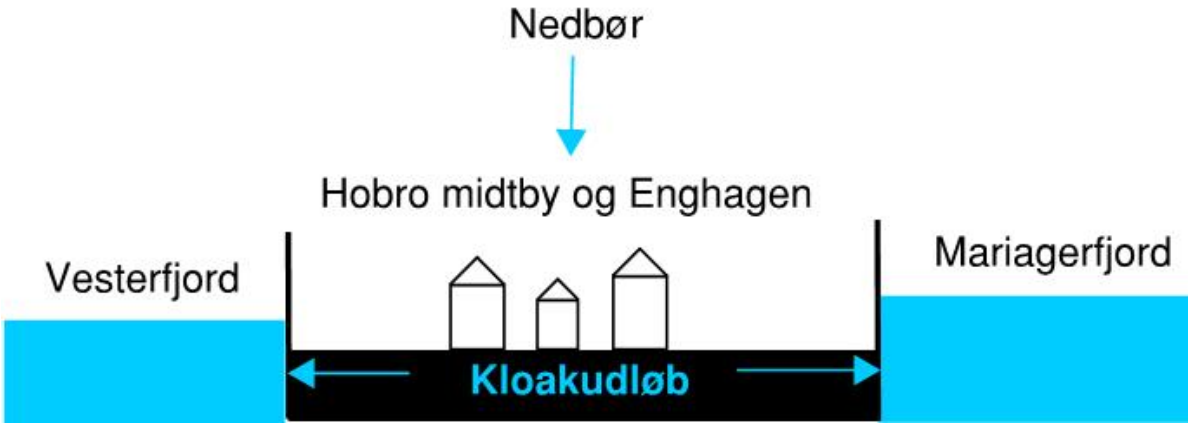


Figur 2.2: Områder i Hobro midtby som ligger under kote 1,2 m, markeret med blåt.

Det kan på figur 2.2 ses, at områderne omkring Onsild å også ligger lavt. Disse områder er illustreret nærmere på figur 2.3.

Figur 2.3: Områder omkring Onsild å som ligger under kote 1,2 m, markeret med blåt.

Områderne markeret med blåt på figurerne 2.2 og 2.3 viser områder, som er i stor risiko for at blive oversvømmet, hvis vandstanden er høj i Vesterfjord.
Under længerevarende højvande stuver vandet op i Vesterfjord, hvormed der opstår et såkaldt "New Orleans tilfælde", hvor Hobro midtby og Enghagen kommer til virke som et hul med vand på begge sider. Dette er illustreret på figur 2.4.




Figur 2.4: Principskitse af problemet med Hobro midtby og Enghagens lave terrænkoter og de deraf afledte problemer for afløbssystemet.

Hvis middelvandstanden i Mariagerfjord stiger som følge af klimaændringerne, vil middelvandstanden ligeledes stige i Vesterfjord. Dette medfører en mere permanent situation, hvor enten bydele i Hobro eller afløbssystemet vil være under middelvandstanden i Vesterfjord og Mariagerfjord. Det kan derfor blive nødvendigt at pumpe regnvand væk fra lavtliggende områder i Hobro.

Oversvømmelsesproblemer i Vesterfjord kan opstå i de situationer hvor der er højvande i Mariagerfjord. Grunden hertil er, at vandet ikke vil kunne afstrømme til Mariagerfjord pga. den høje vandstand. Men Vesterfjord vil fortsat blive presset bagfra i form af afstrømninger fra vandløbene Onsild å og Hodal bæk. Derudover kan der i situationer med regn ske afstrømninger til Vesterfjord fra afløbssystemet via overløbsbygværker og regnvandsudledninger. Men selv i tørvejrssituationer vil der kunne opstå problemer.
Der er til Vesterfjord såvel som til Mariagerfjord regnvandsbetingede udløb, og disse udløb er afhængige af en lav vandstandskote.
Der kan opstå kapacitetsproblemer under regnvejr i de dele af afløbssystemet, der er afhængige af lave udløbskoter. Omkring Vesterfjord er det specielt Enghagen der er udsat, pga. områdets lave terrænkoter.

Stiger middelvandstanden i Vesterfjord må det også betyde, at der vil ske en opstuvning opstrøms i vandløbene, der løber til Vesterfjord. Det er i afsnit 2.3.2 beskrevet, at Hodal bæk har en forholdsvis stor hældning, hvorfor det formodes, at vandstanden i Vesterfjord ikke giver problemer opstrøms i Hodal bæk. For Onsild å er sagen derimod en anden, da Onsild å har en lav hældning, specielt på den sidste del af vandløbet, hvilket vil kunne resultere i tilbagestuvende vand pga. den højere vandstand i Vesterfjord. Dette er også illustreret på figur 2.3, hvor områder under kote 1,2 m er vist.

Onsild å løber igennem Onsild ådal, som er et stort vådområde omkring Fyrkat, hvor Fyrkat Engsø er placeret. Fyrkat Ensø er en stor lavvandet sø på ca. 30 ha., hvortil der er våde enge med et areal på ca. 40 ha.
I dette område vil en opstuvning i Onsild å betyde en stigende vandstand, hvorfor det ikke nødvendigvis kun er omkring Vesterfjord, at en stigning i middelvandstanden kan have konsekvenser. Ligeledes vil områder omkring Onsild å også være udsatte i forbindelse med en stigende vandstand heri.

Det er i projektet valgt, primært at fokusere på områderne omkring Vesterfjord samt den sidste del af Onsild å, da der ikke foreligger nogle data omkring Fyrkat Engsø.

Som udgangspunkt formodes situationen på nuværende tidspunkt ikke at være så kritisk mht. oversvømmelse fra Vesterfjord, da der fra Mariagerfjord Kommunes side ikke er lavet nogle registreringer af oversvømmelser omkring Vesterfjord eller Hobro midtby. Der er heller ikke registreret nogle anmeldelser fra boligejere omkring oversvømmelser til hussoklen, i kommunens levetid.
De problemer, der på nuværende tidspunkt oftest opstår, skyldes at kloakken ikke kan aflede regnvand til Vesterfjord, som følge af forhøjet vandstand, hvorfor vandet stuver op i kloakken og dermed forårsager oversvømmelser, som følge af regn. [Bek, 2015]
I efteråret 2014 skete der, som følge af skybrud, oversvømmelse omkring Hodal bæk under Skivevej, da bækken løb over sine bredder. Denne oversvømmelse skyldtes dog ikke vandstanden i Vesterfjord, men at Hodal bæk ikke havde kapacitet til at lede vandet væk. [Bek, 2015]
Ud fra denne observation må højvandsslusen indtil nu have været effektiv til at tilbageholde vand fra Mariagerfjord i højvands- og stormflodssituationer. Hvilket kan skyldes at Vesterfjord fungerer, som en god buffer med magasineringskapacitet i forbindelse med oversvømmelser.

Isoleret set er der flere faktorer der kan give anledning til problemer. I denne forbindelse kan nævnes højvande, tidevand, stormflod, skybrud og vandløbsafstrømninger, men betragtet enkeltvist er det overkommelige problemer. Dog kan en situation hvor alle disse faktorer rammer samtidig give oversvømmelsesproblemer.
Sådanne situationer er forbundet med en stor risiko for oversvømmelse, da samtidighedsfaktoren kan betyde at hvis kombinationen af alle disse faktorer rammer samtidig vil disse kunne forårsage en stor opstuvning i Vesterfjord og dermed udgøre en stor oversvømmelsestrussel. Det kan derfor være tilfældigt at Hobro ikke har været ramt af større oversvømmelser, da alle disse faktorer muligvis ikke har ramt samtidig.

Det er ud fra disse observationer yderst tvivlsomt hvorvidt den nuværende sluse vil være tilstrækkelig til at undgå oversvømmelse ved fremtidige vandstande og stormflodssituationer, da slusen kun kan tilbageholde vand fra Mariagerfjord.
Mariagerfjord Kommune har i klimaplanen [Mariagerfjord Kommune, 2011a] selv påpeget de stormflodsproblemer, der potentielt kan opstå i fremtiden. Men der er i klimaplanen ikke taget stilling til truslen bagfra i form af opstuvning i Vesterfjord, hvorfor det er væsentligt, at undersøge denne problemstilling.

Der arbejdes på nuværende tidspunkt på en løsning, hvor der etableres en ny højvandssluse til erstatning for den nuværende. Denne sluse skal placeres ved udmundingen til Mariagerfjord. Dertil etableres en pumpestation med to pumper med en ydelse på 1,5 $m^3/s$ placeret ved højvandsslusen til at hjælpe med at pumpe regnvand væk fra midtbyen i situationer med kraftig regn, som er dimensioneret med ekstra reservekapacitet. Derudover er således planlagt at disse senere kan kobles sammen med slusen, så vandstanden i Vesterfjord kan reguleres, hvis dette skønnes nødvendigt. [Søren Eriksen, 2015]

### Faunapassage

Det antages, at slusen er den primære forhindring for fiskenes passage mellem vandløbene og Mariagerfjord. Fiskene skal ligeledes svømme igennem Vesterfjord inden de når til vandløbet, hvilket også kan være forbundet med nogle forhindringer i form af f.eks. rovfisk. Det er valgt at se bort fra Vesterfjord som en forhindring for fiskenes migration i dette projekt.
Hvis faunapassagen afhænger af slusens åbningstid, kan denne ligeledes blive påvirket, hvis der ændres på slusen eller hvordan den skal operere. Det kan i en tænkt situation, hvor det vælges at fastholde vandstanden i Vesterfjord kunstig lav ifm. oversvømmelsessikring betyde, at slusen vil blive lukket. Der kan dermed opstå modstridende interesser med faunapassagen på ene side og oversvømmelsesbeskyttelse på den anden side.

## 2.2 Metode

For at kunne vurdere problemernes omfang i Vesterfjord, laves der en model til at simulere vandstande i Vesterfjord. Det er en nødvendighed, at kende vandstandene i Vesterfjord for at kunne lave en konkretisering af oversvømmelsesproblemerne. Men da der ikke foreligger vandstandsdata for Vesterfjord er det nødvendigt, at modellere vandstandene ud fra randbetingelser. Randbetingelserne består bl.a. af vandstanden i Mariagerfjord, der er afgørende for hvornår vandet løber fra Vesterfjord til Mariagerfjord. Derudover afhænger vandstanden i Vesterfjord også af afstrømningerne fra vandløbene og afløbssystemet.
Men da der ikke foreligger nogle afstrømningsmålinger for hhv. Onsild å og Hodal bæk vil det ligeledes være nødvendigt, at modellere disse afstrømninger. Afstrømningerne fra vandløbene er modelleret ud fra en lineær reservoir model, hvor input til modellen består af nedbørsdata. Den lineære reservoir model er beskrevet i bilag B.

Med den lineære reservoir model på plads kan de modellerede afstrømninger anvendes som input til boks-modellen, hvormed vandstandene i Vesterfjord kan modelleres. Ud fra boks-modellen kan der opstilles forskellige scenarier for de nutidige samt fremtidige vandstande. Slusens åbningstider kan ud fra vandstandene i hhv. Vesterfjord og Mariagerfjord beregnes, hvormed effekterne af forskellige vandstandsscenarier kan modelleres.
Det vil ligeledes være muligt at modellere forskellige løsningsscenarier med boks-modellen. Boks-modellen er beskrevet i bilag A.

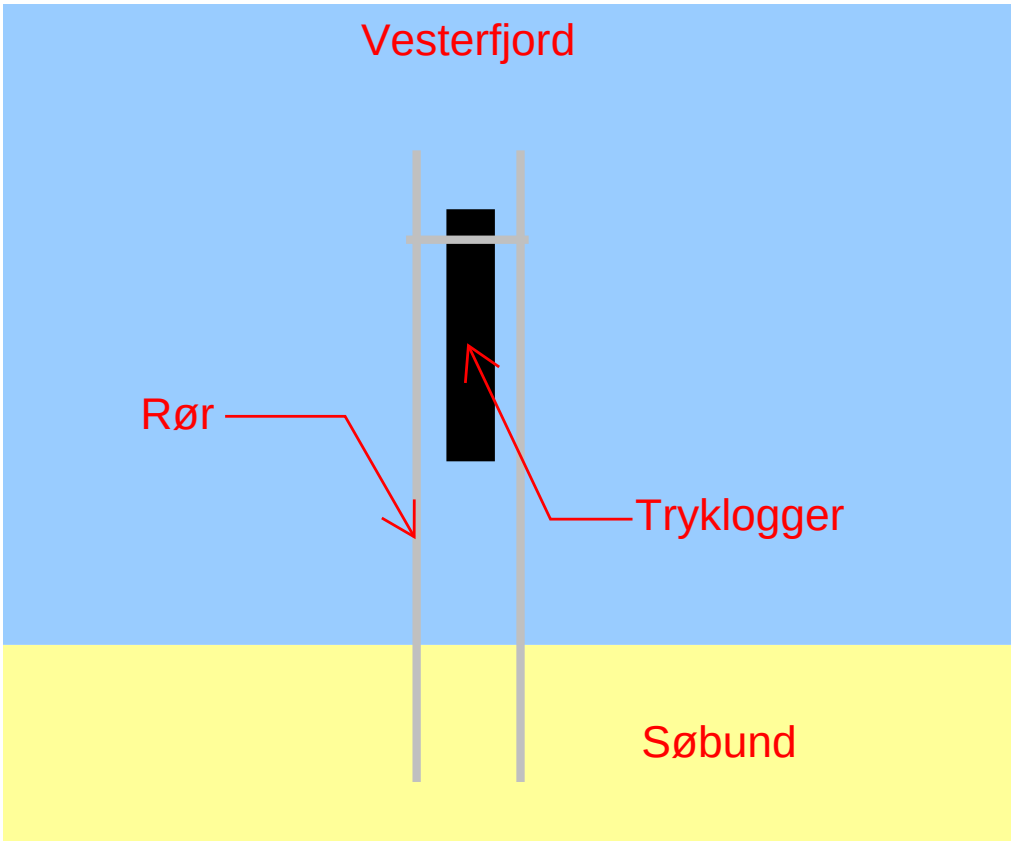
### Dataindsamling

Da der ikke foreligger nogle vandstandsdata for Vesterfjord, er der således heller ikke nogle data at holde modellen op imod. Det har derfor været nødvendigt selv at etablere en målestation i Vesterfjord til opsamling af vandstandsdata. Disse vandstandsdata danner grundlaget for den senere kalibrering af modellen, hvorfor disse data er helt essentielle for at kan sikre, at modellen regner rigtigt. Derudover er det de eneste data der kan sammenlignes direkte med hvad modellen beregner. Modellens troværdighed er derfor afhængig af at have disse vandstandsdata, som kalibrerings grundlag.
Det er valgt, at placere en tryklogger i Vesterfjord samt en tryklogger ovenvande

tæt ved Vesterfjord. Det er nødvendigt med to trykloggere, da disse måler absolut tryk, hvormed loggeren der er placeret i Vesterfjord både måler vandtrykket samt lufttrykket. Det er nødvendigt med en logger der måler lufttryk, således at vandtrykket kan beregnes ved at fraregne lufttrykket. Vandtrykket omregnes efterfølgende til en vandstand. På figur 2.5 kan trykloggeren samt røret, hvori denne er placeret i Vesterfjord, ses. Vandstandsmålingerne er vedlagt på CD-bilag C.3

Figur 2.5: Tv. Tryklogger med dertilhørende rør, hvori denne er placeret. Th. tryklogger på tæt hold.

På figur 2.6 er en principskitse af målestationsopstillingen vist.




Figur 2.6: Principskitse af målestationsopstillingen i Vesterfjord.

For at kunne fastlægge hvilken kote den beregnede vandstand er i, aflæses vandstanden på en skalapæl, placeret i Onsild å tæt ved udløbet til Vesterfjord, som er fastsat efter en bestemt kote. På figur 2.7 kan placeringen af vandstandsloggeren i Vesterfjord samt skalapælen i Onsild å ses.

Figur 2.7: Placeringen af vandstandsloggeren i Vesterfjord samt placeringen af skalapælen i Onsild å.

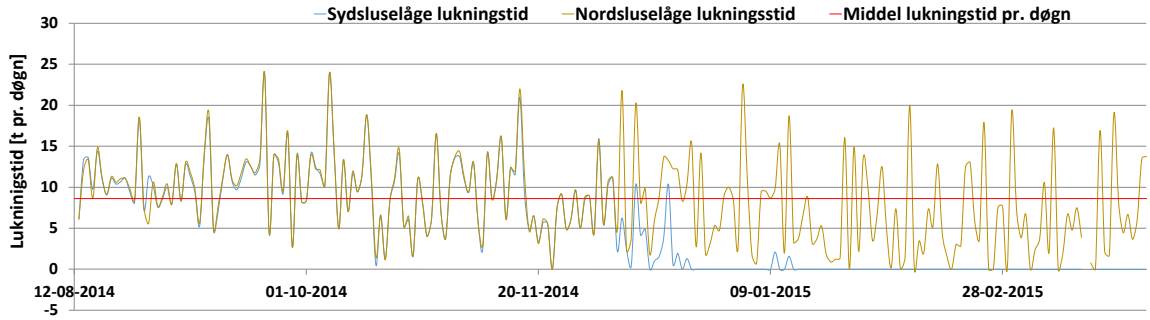
Vandstanden ved skalapælen og vandstandloggeren er forskud en smule ift. hinanden pga. af afstanden imellem, hvorfor der justeres for dette.

Målestationen er etableret den 26-03-2015 og er aflæst den hhv. den 16-04-2015 og den 04-05-2015. Det er derfor valgt at lave kalibreringen af modellen ud fra den første måleperiode og valideringen af modellen ud fra den næste måleperioden.

### 2.2.1 Slusen

For at give en vurdering af slusens virkning på nuværende tidspunkt, anvendes målte data for lukketiden. De målte data strækker sig fra den 13-08-2014 til den 15-04-2015, hvilket er en forholdsvis kort tidsserie af data ift. en ønsket tidsserie med flere års data,

men pga. at der ikke foreligger andre data, anvendes disse til kalibrering og validering af modellen. På figur 2.8 er vist hvor mange timer om dagen slusen har været lukket i perioden 13-08-2014 til 15-04-2015.



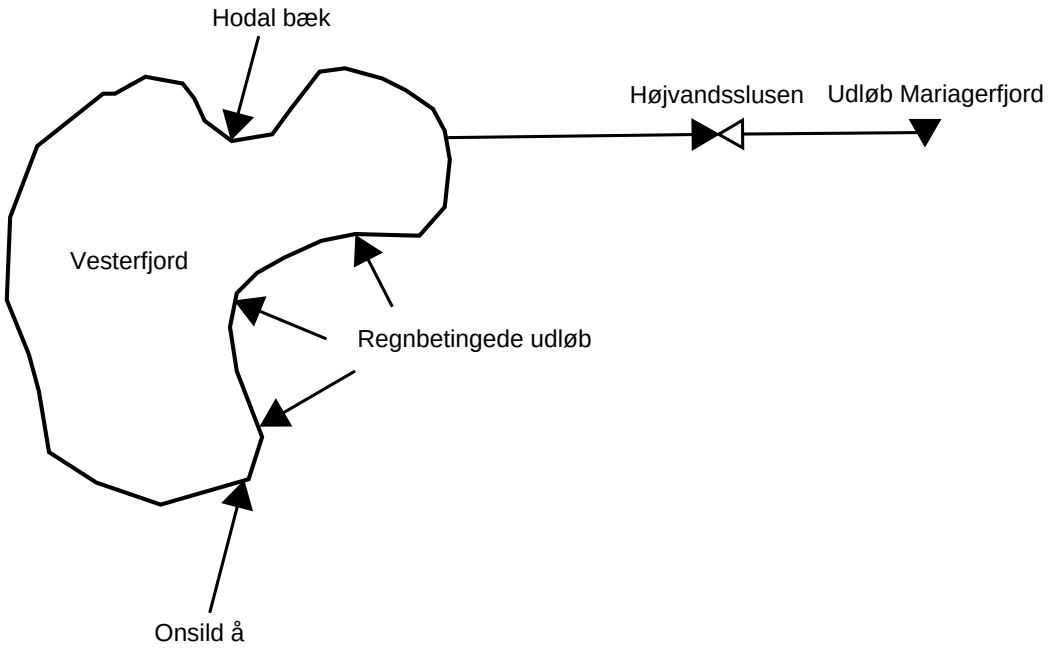

Figur 2.8: Slusens lukningstid for begge stigporte samt middellukningstiden pr. døgn.

Det fremgår af figur 2.8 at begge stigporte fungerer i sammenhæng, da kurverne for åbningstiderne ligger oveni hinanden. Det kan ligeledes ses, at der fra omkring den 24-12-2014 er udfald på dataloggeren for sydporten i slusen. Hvis ikke det er tilfældet, så må porten have sat sig fast siden da, men det formodes at være loggeren der er problemer med.
Der har i perioden været to døgn, hvor slusen har været lukket hele døgnet og seks døgn, hvor slusen har været lukket mere end 20 timer. Der har været lukket i længere tid end tidevandscyklussen på ca. 12,5 time, hvormed der i denne periode har været lavt tidevand. Tidevandsudsvinget har i denne periode dermed ikke været stort nok til at sikre at vandstanden i Mariagerfjord blev lavere end vandstanden i Vesterfjord, hvilket formentlig kan skyldes ekstraordinært højvande i Mariagerfjord.
Det kan ud fra figur 2.8 også ses, at det er sjædent, at slusen er åben hele døgnet, og at slusen er lukket i en periode næsten dagligt. Gennemsnitligt har slusen været lukket i 8,6 timer i døgnet, hvilket giver en overordnet lukningstid på 35%. Slusen har i gennemsnit lukket 1,5 gang pr. døgn for hele måleperioden.
Det kan ud fra denne korte tidsserie ses, at der fra den 13-08-2014 til den 01-11-2014 er en højere lukningstid på gennemsnitligt 10,4 timer pr. døgn, hvorimod der fra den 01-11-2014 til den 15-04-2015 er en gennemsnitlig lukningstid på 7,4 timer pr. døgn. Denne observation passer således med, at der er større vandløbsafstrømninger og mere nedbør i vinterhalvåret end i sommerhalvåret, hvilket også giver udslag i slusen generelle lukningstid.
Det vurderes på baggrund af disse informationer, at slusen på nuværende tidspunkt virker efter hensigten med at tilbageholde vand fra Mariagerfjord effektivt. Den beregnede lukningstid af slusen kan senere anvendes som en indikator for om beregningerne heraf er korrekte. Slusedata er vedlagt på CD-bilag C.4.

### 2.2.2 Boks-model

Det er valgt at lave en model til simulere vandstande i Vesterfjord som tidligere beskrevet, da der ikke foreligger tilstrækkeligt med data til at kunne analysere problemstillingen uden. Det vælges, at lave en boks-model, da denne modeltype er

god til at simulere vandstande ud fra massebalance betragtninger. Det vil derfor være overflødigt, at lave en detaljeret strømningsmodel for Vesterfjord til denne problemstilling.
Boks-modellen tager udgangspunkt i de vandmængder der løber til og fra Vesterfjord, da vandstanden i Vesterfjord afhænger heraf. Vandstanden afhænger dermed i høj grad af tilløbene fra Onsild å, Hodal bæk samt de regnvandsbetingede udløb til Vesterfjord. Foruden tilløbene afhænger vandstanden i Vesterfjord også af vandstanden i Mariagerfjord. På figur 2.9 er en principskitse af boks-modellen illustreret. Boks-modellen er yderligere beskrevet i bilag A.




Figur 2.9: Principskitse af boks-modellen, hvor tilledninger samt afstrømninger er illustreret.

### Lineær reservoir modeller

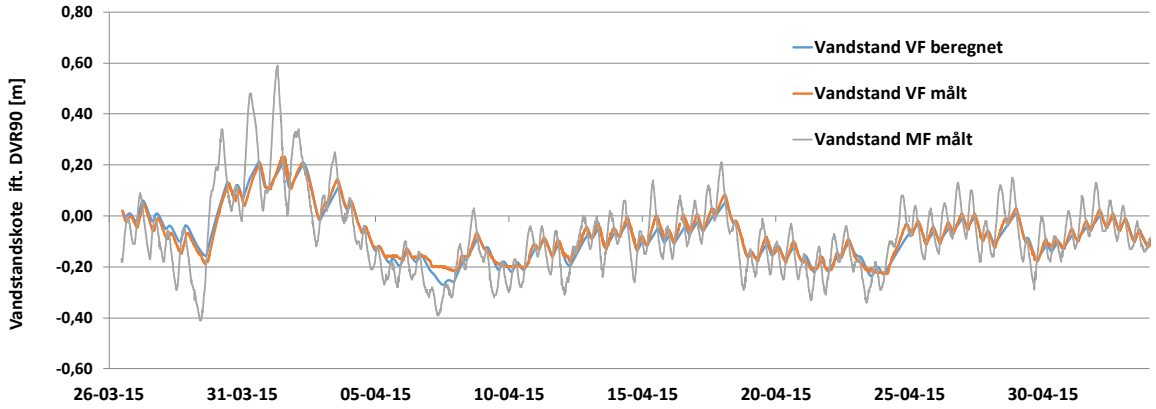
Det er valgt at lave lineære reservoir modeller for vandløbene, således at vandløbenes afstrømninger kan modelleres. Denne modeltype er valgt, da den er god til at lave simuleringer af vandløbsafstrømninger ud fra nedbørsdata.
Modellerne er lavet, da der ikke foreligger nyere data for vandløbenes afstrømning, hvormed der ikke er nogle gode input data til boks-modellen.
Modellerne er kalibreret ud fra vandføringsmålinger for hhv. Onsild å og Hodal bæk. For Onsild å anvendes perioden 2004 til og med 2007 og for Hodal bæk anvendes år 2011, disse er valgt på baggrund af mangel på nyere data. Modellerne kan derefter anvendes på nye regnvejrsdata til at modellere nutidige og fremtidige vandløbsafstrømninger. Vandløbsmodellerne er beskrevet i bilag B.

Modelberegningerne er lavet for perioden fra den 07-08-2013 til den 15-04-2015, da der er i denne periode, er gode regndata tilgængelig for Hobro området. For Onsild å

anvendes de modellerede afstrømninger, mens der for Hodal bæk anvendes en fast værdi for afstrømningen, som beskrevet i bilag B.2.2.

### Resultater af boks-modellen

Modelberegningerne i boks-modellen er ligeledes lavet for perioden fra den 07-08-2013 til den 15-04-2015. Boks-modellen er kalibreret ud fra vandstandene målt i Vesterfjord i perioden fra den 26-03-2015 til 16-04-2015 samt data for slusens lukningstid.
Valideringen af boks-modellen er sket ud fra vandstandsmålinger i Vesterfjord målt i perioden fra den 16-04-2015 til den 03-05-2015, hvormed der er en kalibrerings- og en valideringsperiode for boks-modellen. På figur 2.10 er vist de modellerede og målte vandstande i Vesterfjord samt de målte vandstande i Mariagerfjord for hele måleperioden i Vesterfjord fra den 26-03-2015 til den 03-05-2015.




Figur 2.10: Den beregnede og målte vandstand i Vesterfjord(VF) samt den målte vandstand i Mariagerfjord(MF).

Det kan på figur 2.10 ses at vandstanden i Vesterfjord følger vandstanden i Mariagerfjord. Dette skyldes at vandstanden i Mariagerfjord er den helt afgørende randbetingelse for vandstanden i Vesterfjord. Det kan ses at vandstandsændringen i Vesterfjord skifter retning, når vandstandene krydser hinanden.
Det kan på figur 2.10 yderligere ses, at tidevandssvingningerne ikke slår ligeså kraftigt igennem i Vesterfjord som i Mariagerfjord. Dette skyldes at afstrømningen fra Vesterfjord afhænger af gradienten imellem Vesterfjord og Mariagerfjord. Der skal derfor først være en højdeforskel, før at der sker en vandudveksling imellem Vesterfjord og Mariagerfjord. Kanalen imellem kan komme til at virke som en begrænsning for vandudvekslingen. Derudover er der fortsat tilstrømning til Vesterfjord.
I perioder med slusen lukket er der ingen vandudvekling, hvorfor vandstanden i Vesterfjord i disse perioder afhænger af tilstrømninger hertil.
Slusen er for hele simuleringsperioden beregnet til at have en lukningstid på 20% af tiden. De øvrige resultater af boks-modellen er vist i tabel 2.1.

| | Vesterfjord | Mariagerfjord |
|---|---|---|
| Mid. vandstand ift. DVR90 [cm] | 8,0 | 0,0 |
| Min. vandstand ift. DVR90 [cm] | -27 | -55 |
| Maks. vandstand ift. DVR90 [cm] | 69 | 133 |

Tabel 2.1: Middel-, maks. og min. vandstande i Vesterfjord og Mariagerfjord for perioden fra den 07-08-2013 til den 15-04-2015.

Det kan ud fra tabel 2.1 ses, at middelvandstanden i Vesterfjord ligger højere end middelvandstanden i Mariagerfjord, tilgengæld er svingningerne i Mariagerfjord større end i Vesterfjord. Middelvandstanden i Vesterfjord skal også være højere end i Mariagerfjord, da slusen ellers ville være lukket stort set hele tiden, da det er vandstandsforskellene der får vandet til at løbe fra Vesterfjord til Mariagerfjord.

### Vandbalance

Vandbalancen for Vesterfjord er undersøgt for at se, hvilke tilstrømninger der har størst betydning for vandstanden i Vesterfjord. Vandbalancen er opstillet efter kalibreringen er foretaget, således at de ændringer der er foretaget ifm. kalibreringen, er medtaget i vandbalancen.
Tilstrømningerne fra afløbssystemet er akkumuleret løbende og er beregnet ud fra størrelserne på oplandsarealerne, hvor nedbøren ganges ud på oplandsarealerne, der tilleder til hhv. Vesterfjord. Afstrømningerne fra Onsild å er ligeledes akkumuleret løbende via den lineære reservoir model herfor.
Afstrømningerne, der løber via bassiner, fastsættes til 1 l/s pr. ureduceret hektar, som angivet i spildevandsplanen [Mariagerfjord Kommune, 2011b]. Bassinvolumenet antages, at være dimensioneret efter spildevandskomiteens skrift 27 med en gentagelsesperiode på 5 år og sikkerhedsfaktorer som angivet i spildevandsplanen for Marigerfjord Kommune. Dette resulterer i et bassinvolumen på ca. 26000 $m^3$. [Spildevandskomiteen, 2005]
De seperate regnvandsudledninger uden forsinkelse beregnes således, at disse løber direkte i Vesterfjord i tidsskridtet efter nedbøren er faldet. Afstrømningerne fra overløbsbygværkerne antages kun at indtræffe i situationer med regnintensiteter større end 1 mm pr. 10 minutter. De regnbetingede afstrømninger er beskrevet yderligere i bilag A.2. Den gennemsnitlige vandbalance er kvantificeret i tabel 2.2.

| Tilløb | Andel af samlet afstrømning [%] |
|---|---|
| Uforsinket regnvand | 2,2 |
| Forsinket regnvand | 4,4 |
| Overløbsbygværker | 0,02 |
| Hodal bæk | 25,5 |
| Onsild å | 59,7 |

Tabel 2.2: Vandbalancen for tilstrømningen til Vesterfjord.

Det kan ud fra tabel 2.2 ses, at det er vandløbene Onsild å og Hodal bæk, der er den afgørende faktor for tilledningerne til Vesterfjord. Mængderne fra overløbsbygværkerne er gennemsnitligt forsvindende lille ift til de andre tilstrømninger. Det vurderes, derfor at usikkerhederne omkring overløbsmængdernes størrelse kan negligeres.
Den samlede afstrømning fra Vesterfjord for hele den beregnede periode fra den 07-08-2013 til den 15-04-2015, svarer til en afstrømning på 42% af den samlede mængde nedbør på 1488 mm i hele det 50,6 $km^2$ store opland.

Da regnen ikke kommer som en fast afstrømning, er det svært at vurdere regnens påvirkning ud fra disse gennemsnitlige betragtninger. Det vælges derfor at se på hvordan vandbalancen ser ud henover et døgn ved en kasseregn med en gentagelsesperiode på 1 år og en varighed på 30 minutter, hvilket giver en regnintensitet på 5,4 $\mu$m/s. Der ses her på både et sommer- og vinterscenarie, hvor afstrømningen fra Onsild å fastsat til hhv. 0,2 $m^3/s$ i sommersituationen og 0,7 $m^3/s$ i vintersituationen. Vandbalancerne for disse to situationen er kvantificeret i tabel 2.3.

| Tilløb | Afstrømning(sommer) [%] | Afstrømning(vinter) [%] |
|---|---|---|
| Uforsinket regnvand | 10,5 | 5,3 |
| Forsinket regnvand | 20,5 | 10,4 |
| Overløbsbygværker | 0,7 | 0,4 |
| Hodal bæk | 29,2 | 14,8 |
| Onsild å | 39,0 | 69,0 |

Tabel 2.3: Vandbalancefordelingen over et døgn ved en 1-års kasseregn af 30 minutters varighed, angivet som procentdel af den samlede afstrømning.

Det kan ud fra tabel 2.3 ses, at de regnvandsbetingede udløb på kort sigt udgør en større andel af tilstrømningen til Vesterfjord. Udledningerne fra afløbssystemet kan have stor betydning for hvor hurtigt vandstanden i Vesterfjord stiger ved kraftige regnhændelser. Vand fra afløbssystemet afstrømmer til Vesterfjord meget hurtigt, hvorimod nedbør i vandløbenes oplande først når Vesterfjord efter noget tid. Det skyldes at afstrømningerne til vandløbene har en væsentlig længere koncentrationstid end nedbør, der lander på urbane overflader og derfor ender i afløbssystemet og efterfølgende Vesterfjord.
Dette forhold kan både være en fordel og en ulempe ifm. oversvømmelsessikring, da afstrømningerne fra afløbssystemet hurtigt når Vesterfjord, disse vandmængder kan dermed løbe videre til Mariagerfjord inden de kraftige afstrømninger fra vandløbene når Vesterfjord, forudsat at slusen er åben.
Modsat kan det også være en ulempe, da afstrømninger fra afløbssystemet giver en meget kort responstid til at gøre noget aktivt ifm. oversvømmelsessikring. Forholdene omkring responstid er undersøgt nærmere i afsnit 2.2.3.

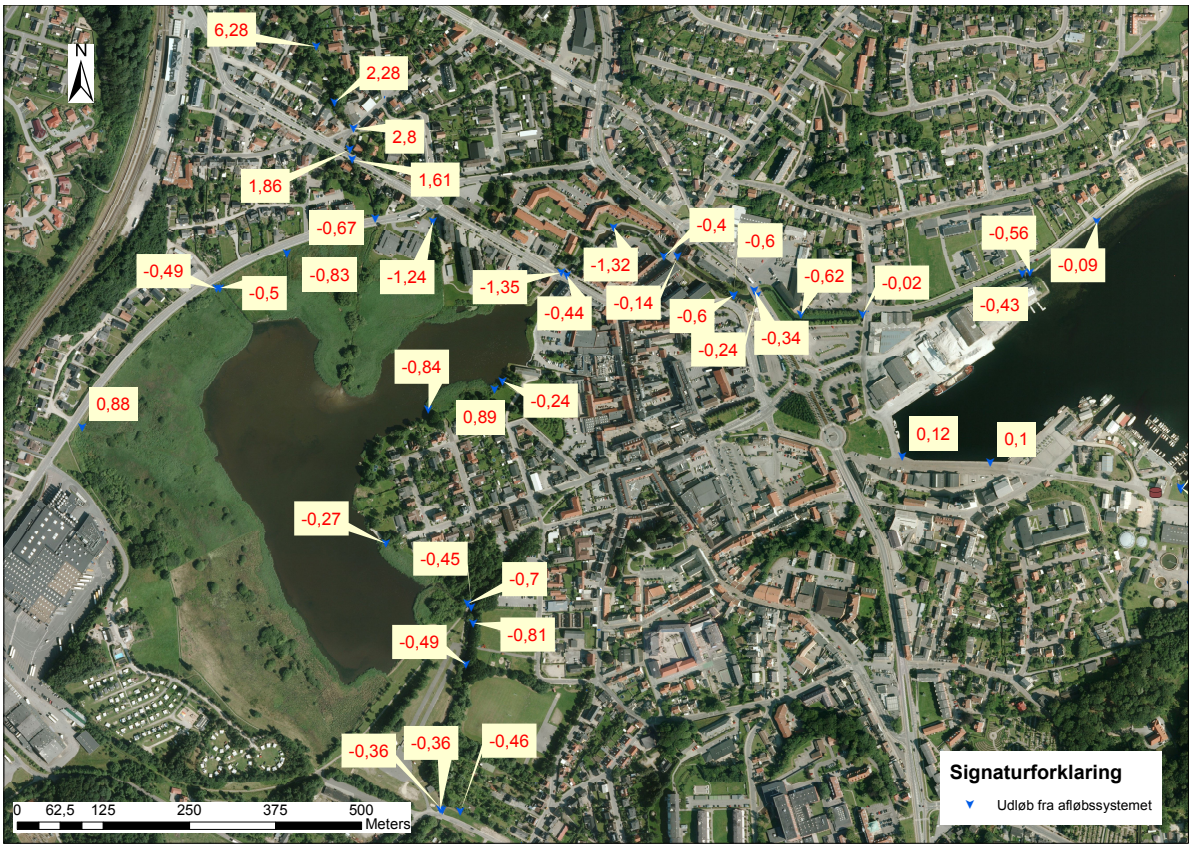
For at kunne vurdere afløbssystemets konkrete indvirkning på Vesterfjord, er der set på hvor stort en vandstandsstigning de uforsinkede regnvandsmængder bidrager med ved en kasseregn med en gentagelsesperiode på 5 år. I tabel 2.4 kan forskellige regnintensiteter og varigheder for en 5-års regn ses, sammen med den vandstandsstigning disse vil forårsage, hvis Vesterfjord befinder sig i kote 0,08 m.

| Intensitet [$\mu$m/s] | Regnvarighed [min] | Vandstandsstigning [cm] |
|---|---|---|
| 26 | 5 | 6 |
| 19 | 10 | 8 |
| 12,8 | 20 | 11 |
| 9,4 | 30 | 13 |
| 5,6 | 60 | 15 |
| 3,3 | 120 | 18 |

Tabel 2.4: Kasseregn med gentagelsesperioder på 5 år med den deraf følgende vandstandsstigning i Vesterfjord.

Foruden vandstandsstigningen forårsaget af de direkte afstrømninger vil der også være maksimale afstrømninger fra forsinkelsesbassinerne ift. den tilladte afstrømning i perioden, efter nedbøren er faldet, som vil forstærke vandstandsstigningen.
Det kan ud fra tabel 2.4 ses, at afløbssystemet har en betydning for vandstanden i Vesterfjord ved kraftige regnskyl, men at stigningerne i vandstandsstigningen forårsaget af afløbssystemet alene ikke er nok til at skabe oversvømmelser. Afløbssystemets afstrømninger kan i kombination med højvande i Mariagerfjord og kraftige afstrømninger fra vandløbene, komme til at være betydende for om der opstår oversvømmelse i Vesterfjord.
Regnes der med en regn af samme størrelsesorden, som den kraftige oktoberregn der ramte i Vendsyssel i oktober 2014 vil vandstanden i Vesterfjord under denne hændelse stige med ca. 95 cm, hvis der tages udgangspunkt i middelvandstanden i kote 0,08 m.

Afløbssystemets indvirkning på vandstanden i Vesterfjord er dermed begrænset isoleret set. Modsat har vandstanden i Vesterfjord stor betydning for oversvømmelser i afløbssystemet. Dette skyldes, at afløbssystemets udløbsniveauer, i en del tilfælde ligger lavt, hvormed der ofte vil være situationer, hvor der ikke er frit udløb til recipienterne. Dette kan give kapacitetsproblemer i afløbssystemet, da udløbene kan komme til at virke begrænsende.
På figur 2.11 er vist et udtræk af en Mike Urban model for Hobro med angivede udløbsniveauer udleveret af Mariagerfjord Vand [Mariagerfjord Vand, 2015].

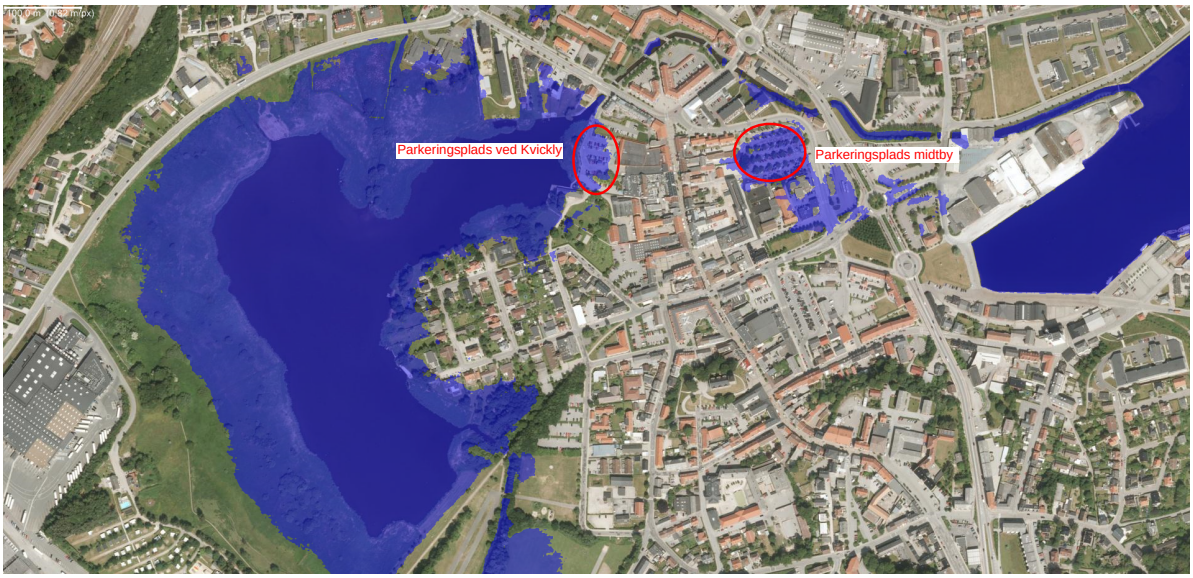



Figur 2.11: Udløbskoter for bunden af udløbet fra afløbssystemet omkring Vesterfjord.

Det kan af figur 2.11 ses, at udløbskoterne ligger lavt ift. middelvandstanden i hhv. Vesterfjord og Mariagerfjord. Udløbene til Vesterfjord og Onsild å ligger med en gennemsnitlig bundkote på -46 cm. Dette kan, som tidligere påpeget, give opstuvnings- og oversvømmelsesproblemer i Hobro midtby samt i Enghagen i regnvejrssituationer. Vandstanden i Vesterfjord samt Mariagerfjord er afgørende for hvor hurtigt afløbssystemet kan aflede vand hertil samt om vandet løber baglæns ind i afløbssystemet, hvis ikke der er installeret kontraklapper. Denne problemstilling er, som tidligere beskrevet, på nuværende tidspunkt også den hyppigst forekommende ifølge [Bek, 2015].

### Nuværende problemers omfang

For perioden fra den 07-08-2013 til den 03-05-2015 er den højest beregnede vandstand i Vesterfjord på 0,69 m over DVR90. Denne vandstand er beregnet til at være sket den 13-01-2015, hvilket svarer til at denne vandstand er opnået 3 dage efter stormene Bodil og Egon i januar 2015. Ved denne vandstand vil søens udbredelse se ud som vist på figur 2.12.

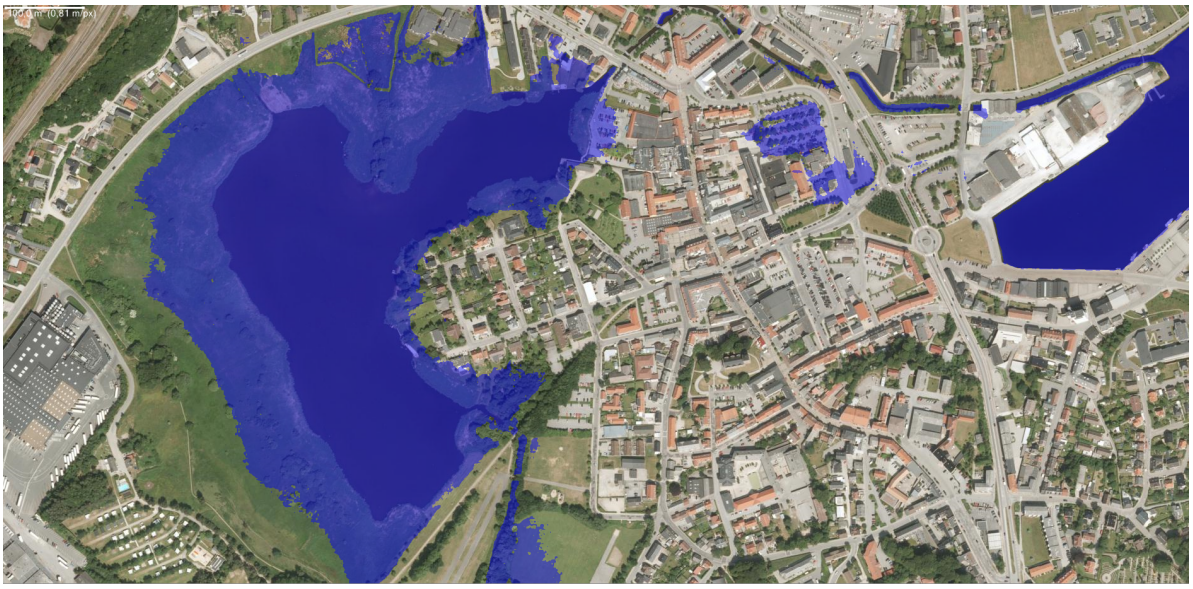



Figur 2.12: Søens beregnede udbredelse den 13-01-2015 ved en vandstandskote på 0,69. De røde cirkler viser områder hvor der, ifølge lokale borgere, ofte er oversvømmelse.

Det kan på figur 2.12 ses, at det den 13-01-2015 har været en vandstandskote på 0,69 m i Vesterfjord, hvilket resulterer i at vandstanden vil oersvømme haver i Enghagen. Yderligere kan det ses, at der vil stå vand på parkeringspladsen ved Kvickly samt på midtbyens parkeringsplads.
Da kommunen eller forsyningen ikke har kunnet bekræfte, hvorvidt der har været vand eller ej på de pågældende lokaliteter, er der adspurgt lokale borgere, som har bekræftet, at der på de beskrevne lokaliteter er oversvømmelse med jævne mellemrum [Borgere, 2015]. Ligeledes er det blevet bekræftet af lokale borgere, at parkeringspladsen ved Kvickly var oversvømmet i starten af 2015, hvilket stemmer overens med at modellen viser oversvømmelse heraf den 13-01-2015.
Denne høje vandstand skyldtes en højere vandstand i Mariagerfjord i dagene omkring stormene og de efterfølgende dage, men da vandstanden i Mariagerfjord begyndte at falde var der er stor tilstrømning fra Onsild å pga. kraftig regn i dagene forinden. Hvorfor vandstanden i Vesterfjord fortsatte med at stige lidt endnu.

### 2.2.3 Tipping point

For at undersøge hvornår vandstandsniveauet i Vesterfjord for alvor bliver kritisk, er der anvendt højdemodeller til at se på hvilken vandstand, der er den højest tilladelige. Det er ud fra disse højdemodeller vurderet, at det kritiske niveau i Vesterfjord ligger omkring kote 0,50-0,60 m over DVR90, hvilket også er bekræftet af [Søren Eriksen, 2015]. For at få et konkret tal på det kritiske niveau fastsættes dette til 0,60 m over DVR90, da det ikke vurderes som værende kritisk at f.eks. parkeringspladsen ved Kvickly bliver oversvømmet. Denne vandstand er valgt på baggrund af, at en vandstand over dette niveau vil forårsage oversvømmelser af de første ejendomme i Enghagen samt i områder omkring Onsild å. Derudover vil Vesterfjords udbredelse i den nordlige del af søen nå et omfang, som er tæt på at oversvømme Skivevej og områder tæt herved. På figur 2.13 er Vesterfjords udbredelse vist ved et niveau på 0,60 m over DVR90.



Figur 2.13: Vesterfjords beregnede udbredelse ved en vandstandskote på 0,60 ud fra højdemodel, markeret med blåt.

Det kritiske niveau er ifølge de beregnede vandstande for tidsserien allerede nået, da der er beregnet en maks. vandstand på 0,69 m over DVR90, se figur 2.12. Det kan diskuteres, om det kritiske niveau allerede er nået, da der her er tale om en enktelt situation. En længere tidsserie vil kunne vise, hvor ofte disse situationer opstår, men der er kun data for denne korte tidsserie. Det er dog en politisk beslutning, hvor ofte man vil tillade oversvømmelse af ejendom.
Det vurderes at det kritiske niveau for havvandstandsstigningen er nået eller er tæt ved. Vandstande i Vesterfjord omkring kote 0,60 m bliver kun blive hyppigere i fremtiden, som følge af vandstandsstigninger. Der vil med dette in mente ikke være "lang tid", inden der skal gøres noget ved problemet forudsat. Der er på nuværende tidspunkt ingen sikkerhed mod oversvømmelser i Vesterfjord, hvorfor det er overladt til tilfældighederne om der vil ske oversvømmelser.

For afløbssystemet vurderes, det kritiske niveau i Vesterfjord at være væsentlig lavere, da afløbssystemet er afhængigt af lav en vandstand i Vesterfjord, som følge af lave udløbskoter. Der er også allerede konstanteret oversvømmelser i Hobro, som følge af opstuvende regnvand og tilbagestuvende sø- og fjordvand i afløbssystemet [Bek, 2015].

Tages der udgangspunkt i tidsserie fra 07-08-2013 til den 15-04-2015, hvorefter denne fremskrives ved at parallelforskyde vandstanden i Mariagerfjord opad med 0,60 m, vil den samme tidsserie give vandstandsværdier, som angivet i tabel 2.5.

| | Vesterfjord | Mariagerfjord |
|---|---|---|
| Mid. vandstand ift. DVR90 [cm] | 0,57 | 0,60 |
| Min. vandstand ift. DVR90 [cm] | 0,0 | 0,05 |
| Maks. vandstand ift. DVR90 [cm] | 120 | 215 |

Tabel 2.5: Middel-, maks. og min. vandstande i Vesterfjord og Mariagerfjord for den fremskrevne periode fra den 07-08-2013 til den 15-04-2015, hvor middelvandstanden i Mariagerfjord er 0,60 meter højere.

Ifølge tabel 2.5 vil den kritiske kote omkring kote 0,60 ligge tæt på middelvandstanden, hvormed der er stor mulighed for at denne overskrides hyppigt ved en vandstandsstigning på 0,60 m.

### Opfyldningstid

For at kunne give et bud på hvor lang tid, det i dag tager at fylde Vesterfjord op til det kritiske niveau i kote 0,60 m, er det valgt at se på nogle forskellige situationer for opfyldning af Vesterfjord. Der tages udgangspunkt i gennemsnitsvandstanden i Vesterfjord i kote 8 cm og det antages, at der er højvande i Mariagerfjord, således at Vesterfjord ikke kan aflede vand til Mariagerfjord. Der regnes forskellige scenarier igennem, herunder med og uden nedbør og høj-, middel- og lav afstrømning fra vandløbene. Der anvendes en 5-års kasseregn af 60 minutters varighed i scenarierne med regn. Opfyldningstiderne er kvantificeret i tabel 2.6.

| Vandløbsafstrømning | Opfyldningstid med regn [t] | Opfyldningstid uden regn [t] |
|---|---|---|
| Lav (0,30 $m^3/s$) | 34 | 49 |
| Middel (0,50 $m^3/s$) | 26 | 41 |
| Høj (0,75 $m^3/s$) | 19 | 31 |

Tabel 2.6: Vesterfjords opfyldningstid til kote 0,60 m fra kote 0,08 m for forskellige scenarier.

Opfyldningstiden til vandstandsniveauet 0,60 m er den responstid, hvori der kan gøres noget aktivt for at forhindre eventuelle oversvømmelser. Et varslingssystem kan etableres vha. af vandstandsloggere, vandføringsstationer og regnmålere.

Da det ikke er sikkert, at vandstanden ligger i kote 0,08 m, vælges det derfor at se på hvad responstiderne vil være i en situation, hvor en stor del af Vesterfjords magasineringskapacitet allerede er opbrugt på at holde holde Mariagerfjord tilbage. Det vælges derfor, at se på en situation med en vandstand i Vesterfjord i kote 0,30 m, hvor de arbejdes videre med de samme antagelser som før. Responstiderne er kvantificeret i tabel 2.7.

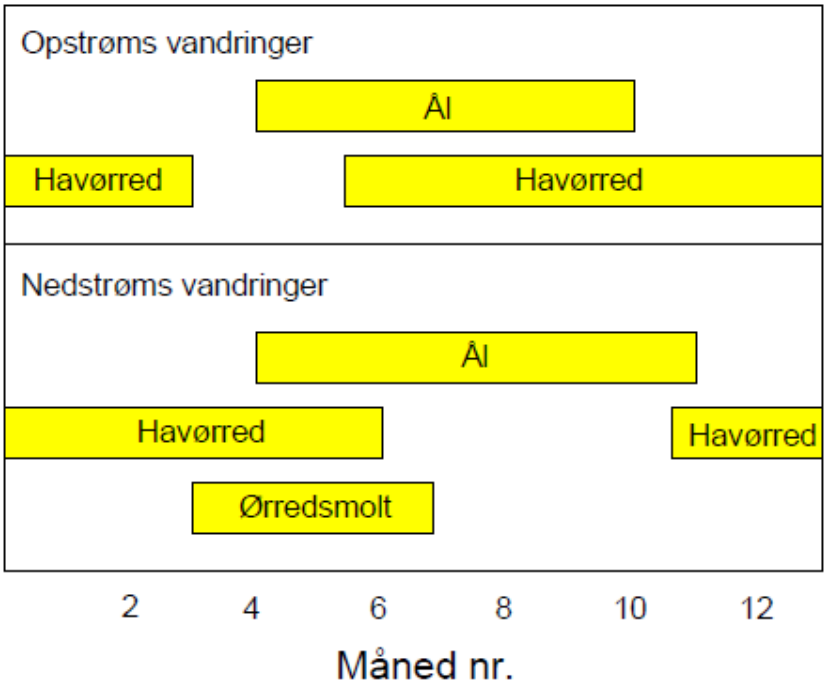
| Vandløbsafstrømning | Opfyldningstid med regn [t] | Opfyldningstid uden regn [t] |
|---|---|---|
| Lav (0,30 $m^3/s$) | 17 | 37 |
| Middel (0,50 $m^3/s$) | 12 | 28 |
| Høj (0,75 $m^3/s$) | 9 | 19 |

Tabel 2.7: Vesterfjords opfyldningstid til kote 0,60 m fra kote 0,30 m for forskellige scenarier.

Det kan ud fra tabel 2.7 ses, at responstiden bliver en del mindre i situationer, hvor vandstanden i Vesterfjord i forvejen er højere end middelvandstanden. Denne situation vil ikke være utænkelig i fremtiden, hvis havvandstanden i Mariagerfjord stiger.
Står vandstanden i Vesterfjord højere end i kote 0,30 m fra start, vil det betyde en endnu lavere responstid og dermed kortere tid til at reagere på potentielle oversvømmelser.

## 2.3 Målsætninger

I fremtiden vil der foruden oversvømmelsesproblemerne også være en række naturmæssige hensyn at tage højde for. Et aspekt der skal undersøges er muligheden for migration igennem kanalen imellem Mariagerfjord og Vesterfjord. Denne passage er blokeret i perioder, hvor slusen er lukket. På nuværende tidspunkt er slusen lukket i 35% af tiden, dette er baseret på en tidsserie i perioden fra den 07-08-2013 til den 15-04-2015. På figur 2.14 er vist en overordnet betragtning over de perioder, hvor havørreder, ørredsmolt samt ål de vandrer i danske vandløb.




Figur 2.14: Havørreden, ørredsmolten samt ålens op- og nedstrøms vandringsperioder i løbet af året [biolog Jan Nielsen, 2004].

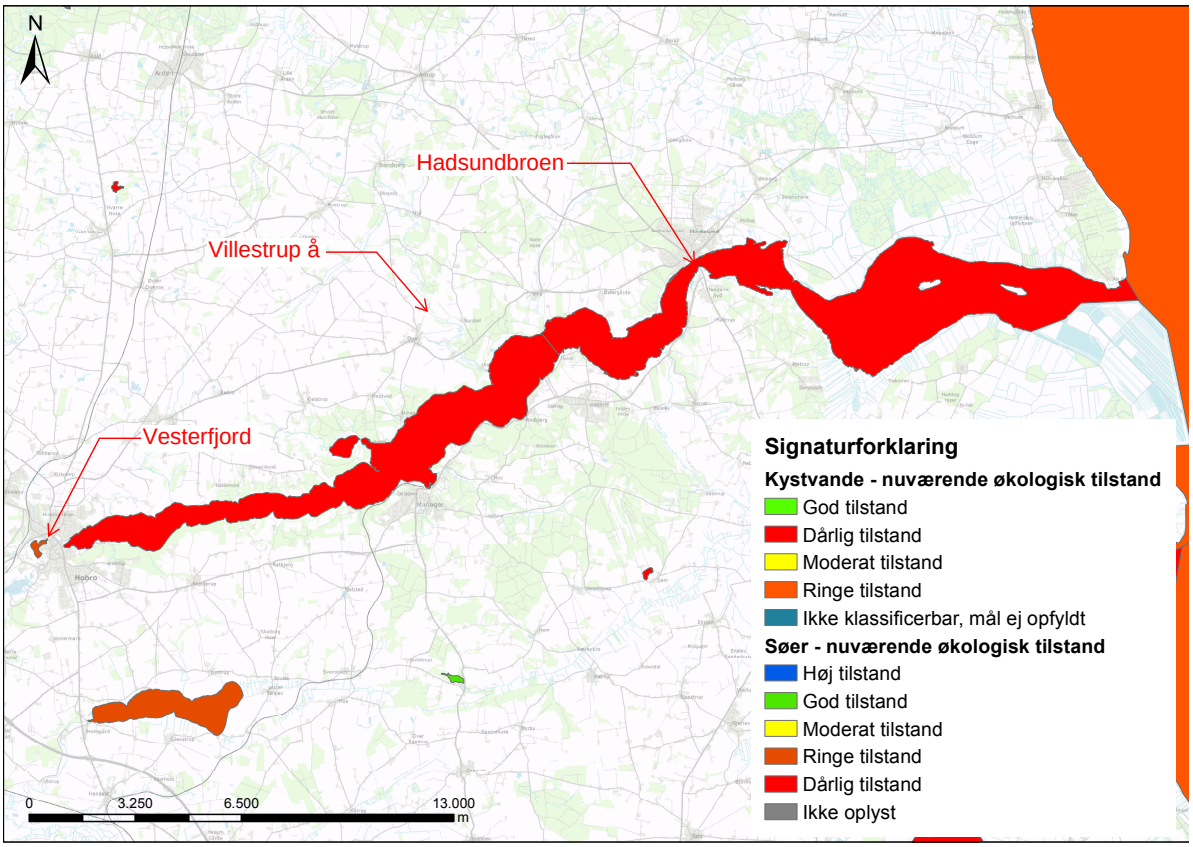
I perioden juli til november, som er den største optræksperiode for havørreder [fiskehandlere, 2014], har slusen haft en gennemsnitlig lukningstid på 42% af tiden. Hvormed den samlede lukningstid har været større end for hele perioden, juli måned er dog ikke medregnet her, da der ikke foreligger data herfor.
For hele perioden har slusen i gennemsnit lukket 1,5 gange pr. døgn, det samme er gældende for den største optræksperioden fra august til og med november. Problemet kan derfor være begrænset, da slusen i gennemsnit åbner og lukker mere end én gang dagligt. Hvorfor der i løbet af døgnet vil være muligheder, for fiskene til at trække op forbi slusen. Fiskenes vil måske endda have lettere ved at finde vandløbet, da fiskene finder vandløbet ved at fornemme fersksafstrømningen fra vandløbet [Keefer og Caudill, 2013]. Afstrømningen fra Vesterfjord vil være mere fersk end hvis slusen ikke havde været der, da slusen forhindrer at der trækker saltvand ind i Vesterfjord.
Der kan ligeledes sættes spørgsmålstegn ved om det ville have gjort nogen forskel for fiskenes optræk, hvis slusen ikke havde været der, da fiskene formentlig ikke ville have kunnet fornemme sig frem til vandløbet når strømretningen var indadgående fra Mariagerfjord til Vesterfjord. Dette skyldes, at der i så fald ikke ville have været nogen ferskvandsafstrømningen eller at denne ville have været meget begrænset.

Hvis der skal foretages præventive ændringer omkring Vesterfjord, som gardering mod oversvømmelser, er det væsentligt også at se på hvilke målsætninger, der fortsat skal være opfyldt. Der ses derfor nærmere på, hvilke målsætninger, restriktioner og naturbeskyttelse, der findes i området omkring Vesterfjord, Mariagerfjord samt vandløbene.

### 2.3.1 Vesterfjord og Mariagerfjord

Vesterfjord og Mariagerfjord er omfattet af naturbeskyttelse, hvilket kan være med til at give nogle begrænsninger i området omkring Vesterfjord ift. fremtidige ændringer. Vesterfjord samt den inderste del af Mariagerfjord udgør et vildtreservat.

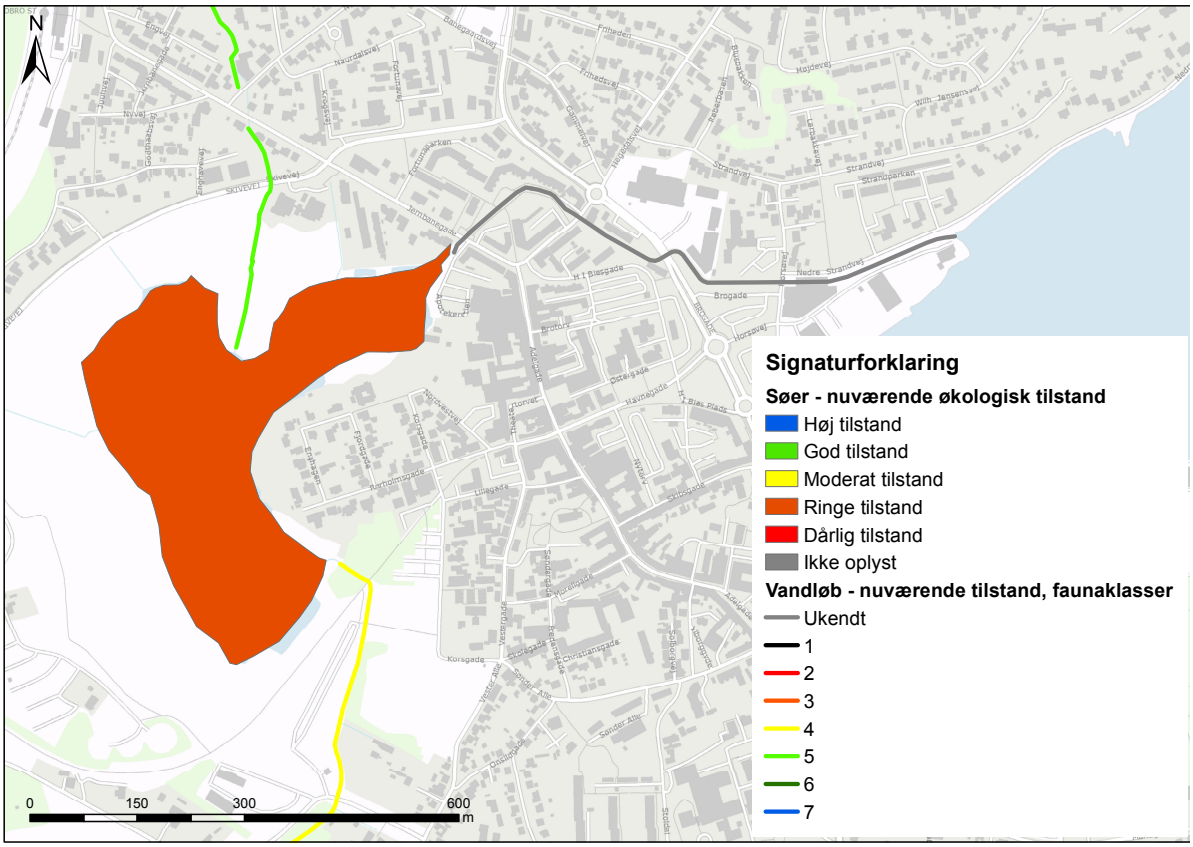
Mariagerfjord er målsat til god økologisk tilstand, men har på nuværende tidspunkt dårlig økologisk tilstand [Geodatastyrelsen, 2011]. Det forventes ikke, at Mariagerfjord opfylder sin målsætning i denne planperiode.
Den yderste del af Mariagerfjord er ligeledes omfattet af Natura 2000-områder fra Kattegat og indtil Hadsundbroen. Ligeledes er der er flere steder langs Mariagerfjord, hvor tilløbsvandløbene er udpeget som Natura 2000 område, som f.eks. Villestrup Ådal. Mariagerfjords økologiske tilstand, hvilket kan ses på figur 2.15.




Figur 2.15: Den økologiske tilstand i Mariagerfjord [Geodatastyrelsen, 2011].

I Mariagerfjord er der ligeledes udpeget en række bilag II+V arter, herunder flodlampret og havlampret. Disse arter kræver meget streng beskyttelse, hvorfor der ikke må foretages indgreb der forringer artens udbredelse og bevaringsstatus. [Naturbasen, 2015]

Vesterfjord og de omkringliggende brinker er samtidig af omfattet af naturbeskyttelseslovens(NBL) §3 og er udpeget som hhv. sø, mose og overdrev.
Vesterfjord har tilstanden ringe økologisk tilstand, men er målsat god økologisk tilstand. Fosforbelastningen af Vesterfjord skal jf. vandplanen reduceres, da søen er stærkt forurenet med specielt fosfor. Ifølge vandplanen forventes målsætningen ikke opfyldt i denne planperiode.[Naturstyrelsen, 2014] Figur 2.16 viser miljøtilstanden i Vesterfjord.




Figur 2.16: Den økologiske tilstand i Vesterfjord [Geodatastyrelsen, 2011].

Slusen imellem Mariagerfjord og Vesterfjord forhindrer saltvand i at trænge ind i Vesterfjord, hvorfor søen må formodes at være bestående af ferskvand. Hvis slusen ikke havde været tilstede ville der trænge saltvand ind i Vesterfjord. Det er derfor stærkt tvivlsomt om søen vil kunne opnå sin målsætning om god økologisk tilstand, da søen i så fald ville blive til en permanent brakvandssø som følge af det indtrængende saltvand. Salt har en evne til få partikler til at koagulere og dermed sedimentere, dette vil i Vesterfjord forværre tilstanden, da det vil være medvirkende til at tilstrømmende næringssalte fra vandløbene vil sedimentere yderligere i søen. Søen er i forvejen kraftigt belastet af næringssalte, hvorfor yderligere belastning heraf vil være meget kritisk for søens økologiske tilstand. Slusen har dermed også den funktion, at den er med til at sikre at Vesterfjord ikke bliver en brakvandssø.

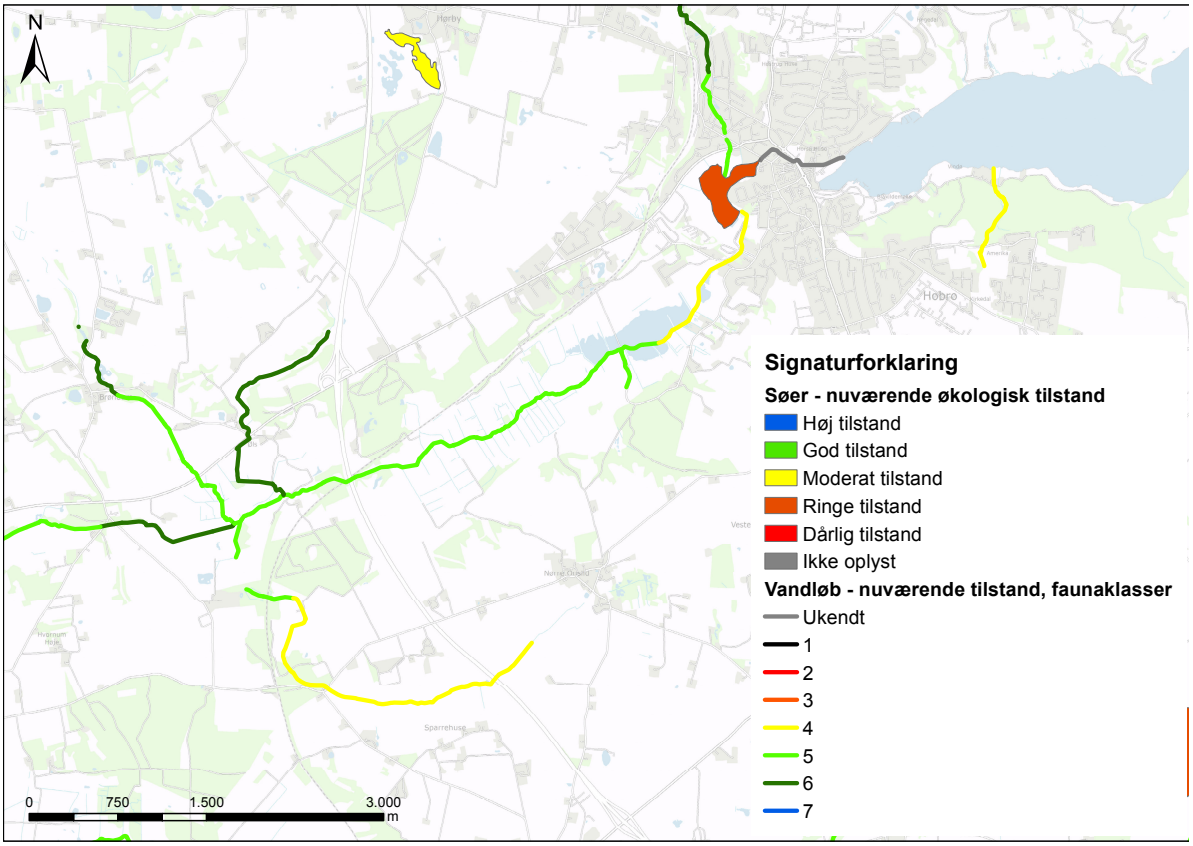
I Vandplan 1.3 for Mariagerfjord under Myndighedernes administration af miljølovgivningen punkt 3 fremgår der følgende: *"Tilstanden i vandløb, søer, grundvandsforekomster og kystvande skal leve op til de fastlagte miljømål, som de fremgår af WebGIS. Vandområder, der ikke fremgår af WebGIS, administreres efter miljølovgivningen i øvrigt. Det bør således sikres, at der ikke meddeles tilladelser og godkendelser, der måtte være til hinder for, at disse områder opnår god tilstand. Det bør tilsigtes, at tilladelser, godkendelser mv. til aktiviteter, som understøtter klimatilpasningsindsatser, får høj prioritet."*[Naturstyrelsen, 2014]

Hvis der foretages tiltag omkring Vesterfjord, må disse således ikke føre til dårligere forhold i hverken Vesterfjord, Onsild å, Hodal bæk eller Mariagerfjord. Men samtidig

fastslås det, at klimatilpasningsindsatser får høj prioritet.

### 2.3.2 Vandløb

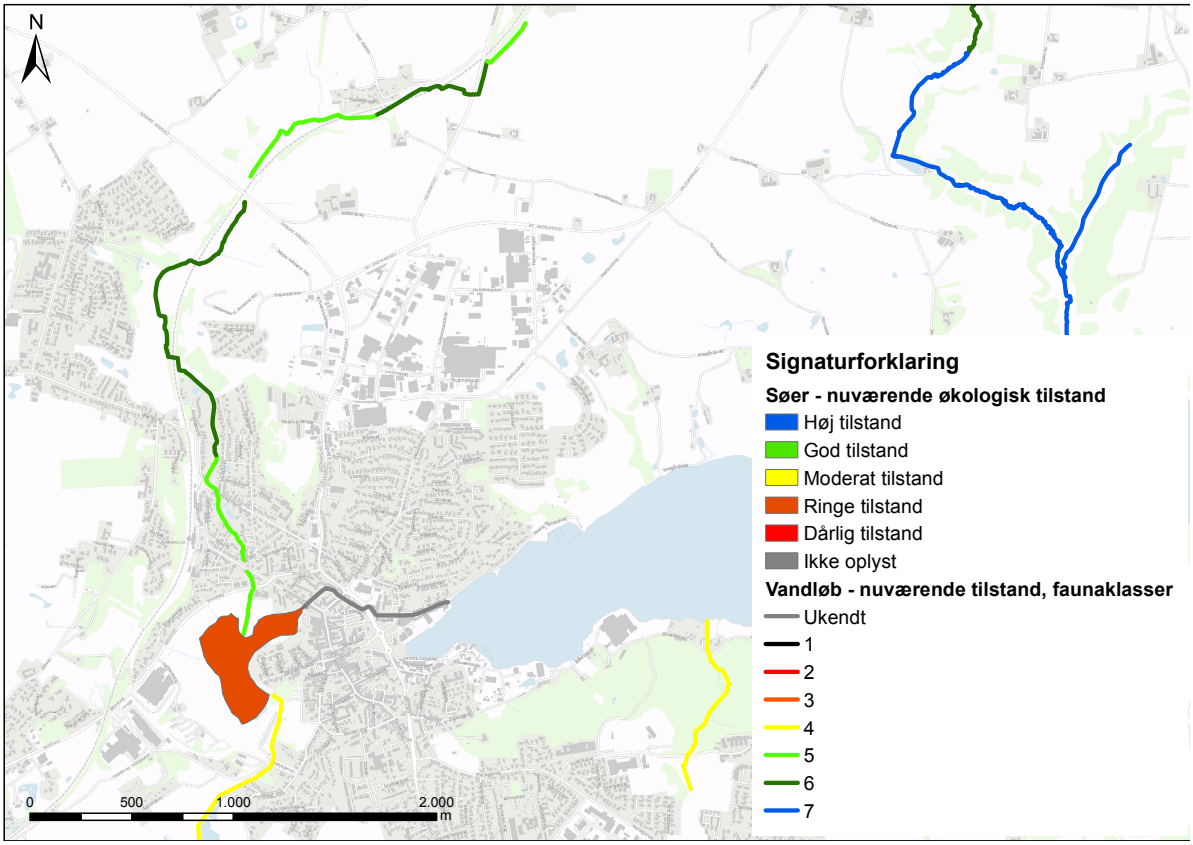
Vandløbene Onsild å og Hodal bæk har som beskrevet udløb til Vesterfjord og derfra videre til Mariagerfjord. Onsild å er omgivet af NBL §3-områder op til krydsningen af E45 med både eng, mose og overdrev. Hodal bæk er også omgivet af overdrev og eng langs store dele vandløbet og dermed NBL §3-områder.
Ifølge vandløbsregulativet er Onsild å 7096 meter lang. Onsild å har en lille hældning på hele den nederste del af vandløbet med et gennemsnitligt fald på 0,27 ‰ op til st. 5.377. Herover er et styrt med et gennemsnitligt fald på 3,3 ‰. Disse fald er beregnet ud fra bundkoten af vandløbet og dermed ikke vandspejlet.
Onsild å har generelt en god tilstand og der er således kun to strækninger i vandløbet, hvor målsætningen ikke er opfyldt. Det er delstrækningen fra udløbet til Vesterfjord og et stykke opstrøms forbi Ålykkevej. Tilstanden er på nuværende tidspunkt ifølge DVFI på FK4, men er målsat til FK5. Målet forventes ikke opfyldt i år 2015. Den anden delstrækning drejer sig om det sydlige tilløb til åen, hvor tilstanden ligeledes er FK4, men målsat til FK5 og FK6. På strækningen imellem Vesterfjord og Mariagerfjord er tilstanden ukendt. På figur 2.17 kan den nuværende tilstand i Onsild å ses.




Figur 2.17: Tilstanden i Onsild å ud fra faunaklassificering [Geodatastyrelsen, 2011].

Hodal bæk er ifølge vandløbsregulativet herfor 1.504 meter lang. Hodal bæk er, modsat Onsild å, meget stejl og har et gennemsnitligt fald på 11,4 ‰ ud fra bundhældningen. Tilstanden i Hodal bæk er på nuværende tidspunkt FK5 og FK6 og er målsat til samme

faunaklasse, hvorfor målsætningen er opfyldt. Der er kun et kort stykke hvor tilstanden er ukendt, hvilket formentlig skyldes at vandløbet her er rørlagt. På figur 2.18 kan tilstanden i Hodal bæk ses.




Figur 2.18: Tilstanden i Hodal bæk ud fra faunaklassificering [Geodatastyrelsen, 2011].

I Vandplan 1.3 for Mariagerfjord står der under miljømål for vandløb følgende: *"Opnåelse af mindst god økologisk tilstand forudsætter også, at der er sammenhæng(kontinuitet) i vandløbenes forløb, så faunaen frit kan vandre og sprede sig."* [Naturstyrelsen, 2014]

For opnåelse af god økologisk tilstand i Onsild å er kontinuitet igennem vandløbet dermed som minimum er et krav. Det kan dog diskuteres, hvorvidt slusen blokerer for kontinuitet igennem vandløbet.

### 2.3.3 Opsummering

Der er i naturplan 1.3 opstillet økologiske krav til området omkring Vesterfjord, vandløbene samt Mariagerfjord [Naturstyrelsen, 2014]. Disse krav omfatter vandkvalitet, krav til faunaklasse, naturbeskyttelse osv., men ingen af disse stiller krav til fiskenes muligheder for passage igennem vandløbene, med undtagelse af en lille notits i naturplan 1.3 for Mariagerfjord omkring kontinuitet i vandløbene.
Ligeledes er ingen af kravene baseret på antallet af fisk i hverken vandløb eller Vesterfjord. Vandløbene som er den primære lokation for fiskene, er baseret på faunaklasserne, som vurderes ud fra DVFI-indekset baseret på invertebratere.
Faunaklassen i vandløbene afhænger af flere ting herunder overløbsbelastninger, iltning

og blokeringer, hvorfor hydraulikken i vandløbene kun udgør en del af disse faktorer. Men fiskene er ikke en del af faunaklassebeskrivelsen. Dette skyldes, at faunaklasserne kun beskriver om forholdene er gode for fiskene, men ikke siger noget om, at der reelt er fisk i vandløbene.

En ændring af slusens åbningstid og dertil fiskenes muligheder for at passere, vil derfor ikke have nogen direkte indvirkning på vandløbenes faunaklasser. Men en reduktion i åbningstiden vil formentlig betyde, at migrationen igennem slusen mindskes. Hvis migrationen, mindskes vil det på sigt give et færre antal fisk i vandløbene og dermed reducere biodiversiteten i vandløbene.
Vandkvaliteten i Vesterfjord og Mariagerfjord afhænger også af andre ting, specielt stofbelastninger og iltningsforhold. Der kan også være forhold, som f.eks. saltvandindtrængen i Vesterfjord, som gør det svært at opnå de ønskede økologiske målsætninger, da disse er fastsat for ferskvandssøer. Slusen har derfor afgørende betydning for Vesterfjords økologiske tilstand, da den forhindrer saltvandsindtrængen.

Der er tale om et komplekst problem, hvor det er disse økologiske målsætninger, som officielt skal opfyldes. Dette tiltrods er det fiskenes migration, der er selve problemet. Fiskenes migration er ikke noget officielt krav.
Problemet består også i, at slusen blokerer vandløbssystemerne Onsild å og Hodal bæk allernederst i systemet, hvilket er det kritiske sted at blokere for fiskene. Men selvom det ikke fremgår af de officielle krav, så er der stadig stor interesse for ikke at blokere for fiskenes passage.

Det vil ikke være hensigtsmæssigt at vurdere slusens påvirkninger, på faunapassagen, ved se på kravene formuleret i form af faunaklasser osv., da disse måler på forholdene i sø og vandløb, men ikke på selve fiskene. I stedet bør fiskenes muligheder vurderes ud fra elfiskninger samt slusens åbningstid, hvor det dog kun er muligt at gøre sidstnævnte i dette projekt.
Men selvom ændringer i slusens åbningstid ikke har nogen direkte indvirkning på faunaklasser osv., er det dog væsentligt at vide hvordan systemet ser ud nu, hvis der foretages ændringer heraf fremadrettet. Da tiltag i og omkring Vesterfjord ikke må føre til dårligere forhold i hverken vandløbene, Vesterfjord eller Mariagerfjord.

# 3 Problemformulering

Det overordnede problem er, at der skal opfyldes økologiske målsætninger i Vesterfjord i form af en god vandkvalitet og deraf et stort vandskifte. Ligeledes skal der være mulighed for fri passage for fisk, der skal igennem Onsild å hvori slusen er placeret. Men på den anden side ønskes der samtidigt en gardering imod oversvømmelser i Hobro midtby samt området omkring Vesterfjord. Der er således tale om en balancegang imellem hvad der skal prioriteres højest natur eller kultur.

Der arbejdes i dette projekt med hvordan oversvømmelser i Vesterfjord kan undgås, samtidig med at der tages højde for to andre aspekter: at sikre mulighed for faunamigration igennem Onsild å samt at sikre de nuværende økologiske tilstande i Vesterfjord ikke forringes. Der vil som udgangspunkt derfor ikke laves tiltag, der forringer den økologiske tilstand i hhv. Vesterfjord og vandløbene eller blokerer for fiskemigrationen.
Det søges således at skabe sikring mod oversvømmelser samtidig med at der opnås så stor en økologisk værdi som muligt for hhv. Vesterfjord samt fiskenes migrationsmuligheder. Det primære fokus er på at sikre områder omkring Vesterfjord imod oversvømmelse, men samtidig vil problemstillingen omkring faunamigration blive belyst. Udformet som et spørgsmål lyder problemformuleringen som følger:

*Kan oversvømmelser i Vesterfjord undgås i fremtiden og hvad skal der i givet fald gøres for at forhindre dette samtidig med at de økologiske tilstande i Vesterfjord ikke forringes og der sikres mulighed for fiskemigration igennem Onsild å?*

Problemformuleringen danner grundlaget for den videre opbygning af rapporten, hvor der søges at give svar på herpå.

# 4 Opstilling af løsningsforslag

I dette kapitel skitseres en række løsningsforlag til at imødekomme de problemer, som er beskrevet i kapitel 2.
Løsningsforslagene vil omfatte forskellige scenarier og vil blive skitseret og vurderet ud fra en række overordnede betragtninger. Disse betragtnigner omfatter bl.a. overordnede omkostninger, påvirkning på slusens åbningstid samt de hydrauliske effekter på oversvømmelse. Der vil efterfølgende blive arbejdet videre med det løsningsforslag der findes mest optimal. Det antages, at det nuværende system med slusen er bibeholdt i skitseforslagene. Løsningsforslagene der skitseres i dette kapitel omfatter følgende:

- *Lade stå til* - I dette løsningsforslag tages der udgangspunkt i den nuværende situation, hvor der ses på, hvad der vil ske med området omkring Vesterfjortd, hvis ikke der gøres noget for at modvirke effekterne af stigende havvandstand.
- *Opkøbsløsning* - I dette løsningsforslag ønskes en passiv løsning, hvor der fremadrettet opkøbes ejendomme, som vil blive udsat for hyppige oversvømmelser. Løsningsforslaget tager udgangspunkt i, at der ikke gøres noget aktivt for forhindre oversvømmelser, men istedet opkøbes udsatte ejendomme præventivt.
- *Omlægning af vandløb* - I dette løsningsforslag ses der på, om det er muligt at omlægge vandløbene, således disse løber direkte til Mariagerfjord. Fiskene vil således ikke længere skal svømme igennem højvandsslusen for at nå de bagvedliggende vandløb. Der er hermed tale om en løsning, der primært tilgodeser faunamigrationen.
- *Inddæmnings- og pumpeløsning* - Inddæmningsløsningen laves i kombination med en pumpeløsning, da Hobros lave beliggenhed vil gøre, at der opstår problemer for afløbssystemets afstrømninger til recipienterne Vesterfjord og Mariagerfjord. Det vil derfor være nødvendigt at pumpe regnvand ud af den inddæmmede by, i situationer med kraftig regn og høj vandstand. Dette er nødvendigt for at modvirke opstuvende regnvand i Hobro by, som vil medføre oversvømmelser forårsaget af regnvand.
- *Pumpestyringsløsning* - I pumpestyringsløsningen ses der på, hvorledes der kan laves en effektiv styring af vandstanden og slusen i Vesterfjord vha. pumper, hvormed at der kan undgås fremtidige oversvømmelser fra søsiden. Det søges at lave en strategisk pumpeløsning, der forhindrer oversvømmelser, men som samtidig tilgodeser faunamigrationen igennem Onsild å. Det kan i dette løsningsforslag også være nødvendigt at pumpe regnvand fra midtbyen pga. Hobros lave placering, ligesom i løsningsforslaget omkring inddæmning.

## 4.1 Diskussion af løsningsforslag

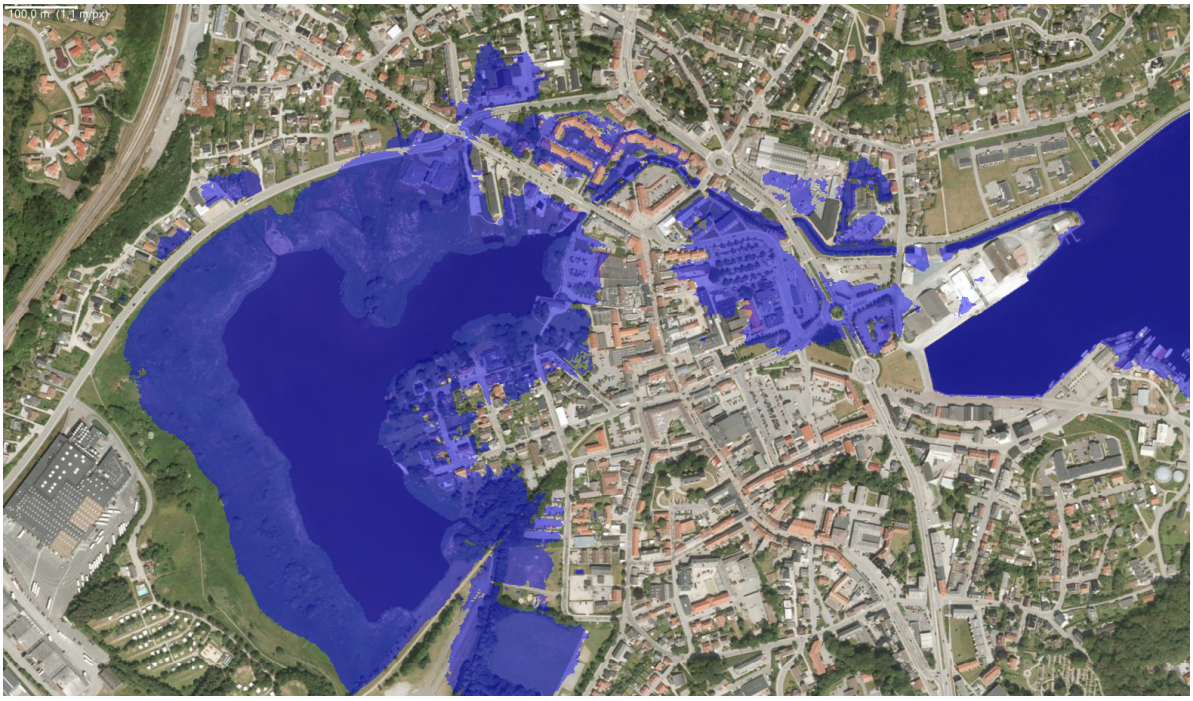
De forskellige løsningsforslag spænder over en bred vifte af muligheder, hvorfor det vælges at se nærmere på, hvilken løsning der vurderes at være den mest optimale. Løsningsforslagene vil blive vurderet overordnet ud fra kriterierne: konsekvenser ved oversvømmelse, passiv sikkerhed, anlægøkonomi, driftsøkonomi samt mulighederne for faunamigration. De overordnede vurderinger er vist i tabel 4.1.
Løsningsforslagene er inddelt i to hovedkategorier, passive og aktive løsninger. De passive løsninger består af tiltag, hvor der enten etableres anlæg af forskellig type til sikring imod oversvømmelse eller hvor der ikke laves nogle tiltag. Disse anlæg kaldes passive, da der ikke skal gøres noget aktivt under hændelserne efter etableringen af disse.
De aktive løsninger kræver derimod at der er en aktiv styring og en aktiv handling ved hver enkelt hændelse, der kan give anledning til problemer. De aktive løsninger skal sikre imod oversvømmelse ved at gøre noget aktivt løbende når hændelserne opstår.

### Passive løsninger

Tages der udgangspunkt i den nuværende lovgivningen, så kan kommunen med hjemmel i kystbeskyttelseslovgivningen pålægge grundejere at betale til kystsikring, hvis de har direkte eller indirekte gavn heraf [Teknologirådet, 2014]. Denne løsningsmodel overlader problemerne til de grundejere, som er i fare for at få oversvømmet deres ejendom. Men der her tale om et komplekst problem, hvor Mariagerfjord Kommune ikke er interesseret i at lade store dele af byen oversvømme hyppigt, samtidig er Mariagerfjord Forsyning interesseret i fortsat at kunne aflede deres regnvand til recipienterne Vesterfjord og Mariagerfjord.

Det første løsningsforslag er et principielt forslag, hvor løsningen består i ikke at gøre noget og dermed køre videre med det nuværende system. Oversvømmelsesproblemerne vil derfor være overladt til de berørte borgere. Det rejser spørgsmålet om Mariagerfjord Kommune og specielt Mariagerfjord Forsyning kan tillade sig ikke at gøre noget. Forsyningen er forpligtet til at håndtere regnvand, der falder på de urbane overflader, hvilket kan blive problematisk uden at skulle pumpe regnvand, hvis vandstanden i recipienterne er høj.
Det vil uden tvivl være en billig løsning for kommunen, da der ikke er nogle anlægsomkostninger forbundet hermed, men det kan blive dyrt for de berørte beboere. Ligeledes vil der heller ikke være driftsomkostninger forbundet med en sådan løsning set fra kommunens side, da der højest kan være tale om begrænset oprydning i oversvømmelsessituationer, som kan overlades til forsikringsselskaberne. Derudover vil mulighederne for faunamigrationen ikke mindskes væsentligt, da det nuværende system fastholdes.
Men ved ikke at foretage sig noget opnås der heller ingen sikkerhed imod oversvømmelse i Hobro, hvormed oversvømmelser ofte vil forekomme. Dette vil medføre høje forsikringspræmier for husejerne, og vil på sigt medføre, at det ikke er ønskeligt at bo i områderne, hvormed disse områder vil gå tabt som byområder. Det er derfor stærkt tvivlsomt om, det her en løsnings som borgere og politikere kan stå inde for. Hvis den generelle vandstand i Mariagerfjord var 0,60 m højere ville højvandssituationen den 13-01-2015 have givet en vandstand i Vesterfjord i kote 1,20. Denne situation kan blive aktuel, hvis ikke der gøres noget til at imødekomme denne udvikling. På figur 4.1 er

denne situation vist.



Figur 4.1: Områder i Hobro, som ville have været oversvømmet den 13-01-2015 ved en vandstand i kote 1,20 m.

Det næste løsningsforslag om at opkøbe udsatte ejendomme hænger sammen med løsningsforslaget om ikke at gøre noget.
Det er i princippet det samme løsningsforslag, der er her blot tale om en økonomisk kompensation til de udsatte ejendomsejere. Dette løsningsforslag giver dermed heller ingen sikkerhed imod oversvømmelse, se figur 4.1, men det forsøges i stedet at opkøbe ejendomme når de kommer i farezonen for at blive oversvømmet med en politisk fastsat hyppighed. Denne løsning vil være dyrere for kommunen end ikke at gøre noget, men vil på den anden side måske være mere politisk realistik. Men det er ligeledes stærkt tvivlsomt om man er rede til at nedlægge store dele af Hobro by for at undgå at gøre noget aktivt og bevare det nuværende system.

Det tredje løsningsforslag handler om at omlægge vandløbene Onsild å og Hodal bæk, således at disse løber udenom Vesterfjord. Med en omlægning af disse vandløb vil faunaen ikke skulle migrere igennem Vesterfjord og efterfølgende slusen, men kan derimod svømme direkte ud i Mariagerfjord og omvendt når migrationen går ind i vandløbene. En anden fordel vil være, at det er lettere at kontrollere og regulere vandstanden i Vesterfjord, hvormed det vil være lettere at undgå oversvømmelser fra søsiden. Dog vil det samtidig betyde, at gennemstrømningen af Vesterfjord mere eller mindre vil forsvinde, hvormed søen vil blive meget stillestående, hvilket ikke er godt for en sø, som er kraftigt forurenet af næringssalte. Dette kan betyde at iltningen af søen vil blive væsentlig mindre, hvilket vil have økologiske konsekvenser i form af iltmangel og stor algevækst.
Det kan ligeledes diskuteres, hvorvidt det løser problemet med slusen, da det kan blive nødvendigt med en højvandssluse i den omlagte Onsild å, til gardering imod

oversvømmelser fra åen. Da Onsild å har et lavt fald vil havvand kunne trække op i vandløbet under højvande.
Derudover vil det, rent anlægsmæssigt, beløbe sig op i store summer at omlægge vandløbene, hvorfor der er tale om en meget dyr løsning. Det vurderes, derfor ud fra disse betragtninger, at det vil være for omfattende, om overhovedet muligt, et projekt at omlægge vandløbene, hvorfor dette løsningsforslag vurderes ikke være at indenfor en hypotetisk omkostningsramme.

### Aktive løsninger

De aktive løsninger, består af pumpeløsninger, hvor der i det første løsningsforslag, betragtes en situation, hvor Hobro midtby inddæmmes og regnvandet pumpes til recipienterne i situationer, hvor det ikke kan løbe via gravitation. Det er her tænkt, at inddæmning af de lavtliggende dele af Hobro kan sikre byen imod oversvømmelse fra søsiden. Vandstanden i Vesterfjord kan således stige i takt med havvandstanden så det undgås at skabe situationer, hvor slusen er lukket for stor en del af tiden eller situationer, hvor det er nødvendigt at pumpe vand fra Vesterfjord. Men det vil fortsat være nødvendigt at skulle pumpe regnvand væk fra de lavtliggende områder.
På lang sigt vil det derfor være hensigtsmæssigt, ifm. saneringer og omlægninger af afløbssystemet, at sikre at regnvand fra højereliggende bydele i Hobro ikke samler sig i de lavestliggende dele af afløbssystemet. Ved at lave en sådan decentralisering af de regnvandsbetingede udløb vil regnvandsmængderne, der skal pumpes væk fra Hobro midtby, mindskes.

Den anden pumpeløsning består i at regulere vandstanden i Vesterfjord, hvormed det forsøges at modvirke effekterne af højvande og kraftige afstrømninger. Dette kan gøres ved at forsøge at forudse højvande i Mariagerfjord eller kraftig nedbør og deraf kraftige afstrømninger. Ved at forudse disse hændelser kan der tages forbehold for dette, ved f.eks. at lukke slusen og nedpumpe vandstanden i Vesterfjord, hvormed der opnås en større magasineringskapacitet i Vesterfjord. Ved at have en større magasineringskapacitet fås også en længere responstid for hvornår vandstanden i Vesterfjord når kote 0,60 m. Vandstanden i Mariagerfjord kan måske nå at falde i mellemtiden, hvormed vandet kan afstrømme fra Vesterfjord.
En anden mulighed kunne være at etablere pumper store nok til at håndtere afstrømningerne fra vandløbene samt mere til. På denne måde vil det ikke være nødvendigt, at pumpe forud for ekstremhændelser, da pumperne vil kunne håndtere de store vandmængder.
Det vil formentlig ikke løse problemerne ift. oversvømmelse i midtbyen som følge af opstuvning i afløbssystemet, at regulere vandstanden i Vesterfjord. Medmindre vandstanden reguleres til et så lavt niveau, at der vil være frit udløb for afløbssystemet, hvormed der ikke vil være begrænsninger på afløbssystemets udløb. Det kan derfor blive nødvendigt med to pumpesystemer, et til at regulere vandstanden i Vesterfjord samt et til at pumpe regnvand væk fra midtbyen.
Med en aktiv pumpeløsning med regulering af vandstanden i Vesterfjord vil der også være mulighed for at lave en strategisk pumpning. Det kan således forsøges at undgå at have slusen lukket i kritiske perioder på året eller sikre at slusen som minimum åbner en gang i døgnet. På den måde vil det være muligt at styre slusen og pumperne, således at der sikres gode muligheder for faunapassage i bestemte perioder på året.

Den første pumpeløsning vil være dyrere end den anden grundet anlægsudgifter i forbindelse med etableringen af diger langs Vesterfjord. Den anden pumpeløsning vil derimod være dyrere i drift, da der vil være større mængder vand der skal flyttes. Men pumpen til regulering af vandstanden i Vesterfjord er kun tiltænkt at skulle anvendes i perioder med spidsbelastninger, hvormed at det vurderes at disse omkostninger ikke vil kunne beløbe sig til anlægssummen for digerne. Det vil i begge pumpeløsninger også være nødvendigt med en plan B, i tilfælde af at pumperne går i stå eller at der laves reparationer her på, sådan at der er et ekstra pumpesystem, der kan træde i kraft i sådanne tilfælde.

### Samlet Vurdering

Ud fra betragtningerne beskrevet i dette afsnit er der i tabel 4.1 opstillet en simpel sammenligning af de forskellige løsningsforslag på baggrund af nogle overordnede betragtninger.

| Løsninger | Pris | Drift | Passiv sikkerhed | Plan B nødvendig | Konsekvenser af oversvømmelse | Fauna-passage |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Lade stå til | + | + | - | + | - | (+) |
| Opkøbsløsning | - | + | + | + | - | (+) |
| Vandløbsomlægning | - | + | + | + | - | + |
| Inddæmning/pumpe | - | - | - | - | + | (+) |
| Pumperegulering | + | - | - | - | + | (+) |

Tabel 4.1: Overordnet vurdering af løsningsforslag, hvor ,+, er positivt og ,-, er negativt ift. løsningen. Parenteserne ved faunapassage skyldes, at denne kun får gavn af løsningen i et vist omfang.

Det kan ud fra tabel 4.1 ses, at der er fordele og ulemper ved alle løsningsforslagene. Det vælges at prioritere økonomi og konsekvenserne ved oversvømmelse højest, da alle løsningsforslagene i et vist omfang tilgodeser faunapassagen. Ud fra denne prioritering vælges det at gå videre med løsningsforslaget omkring pumperegulering.

Denne løsning vurderes at give flest muligheder ift. at sikre Hobro imod oversvømmelse fra Vesterfjord. Derudover kan der vha. af pumpe- og sluseregulering tilgodeses, at slusens åbningstider i bestemte perioder tilpasses faunapassagen og på andre tidspunkter tilpasses oversvømmelsessikring. Der vil i afsnit 5 opstilles forskellige scenarier for pumpeløsninger, hvor der tages udgangspunkt i at regulere slusen og vandstanden i Vesterfjord. Hvormed effekterne samt virkningen heraf kan vurderes.

# 5 Løsningsforslag

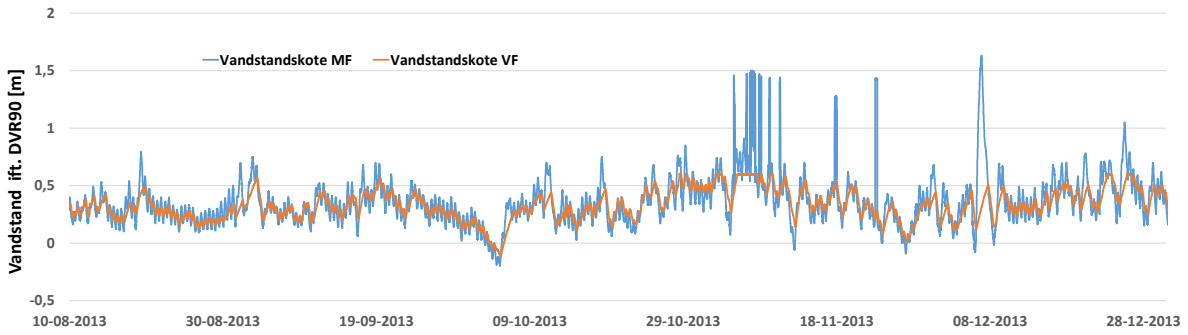
Der vil igennem dette kapital arbejdes med at opstille løsningsscenarier for den pumpeløsning, det er valgt at arbejde videre med i kapitel 4. Det søges at finde det bedste kompromis mellem at undgå oversvømmelse og sikre mulighed for faunapassage. Der tages i alle løsningsscenarierne udgangspunkt i den beregnede tidsserie for perioden fra den 07-08-2013 til den 03-05-2015, hvor vandstanden i Mariagerfjord forskydes med hhv. 0,30 og 0,60 m for at simulere en fremtidig vandstandsstigning.

Pumperne dimensioneres efter at skal kunne fastholde vandstanden i et stabilt niveau under de kraftigste regnhændelser, som den regnhændelse der fandt sted i Vendsyssel i oktober 2014. Pumpeydelsen er fastlagt til 3 $m^3/s$, hvormed pumperne vil være i stand til at fastholde vandstanden i Vesterfjord i niveauet 0,60 m igennem en regnhændelse af denne størrelseorden.
Pumperne forventes placeret omkring den nuværende sluse ved Horsøvej. Det antages at der både installeres et primært sæt pumper samt et sekundært sæt til at agere backup i tilfælde af svigt på det primære sæt eller i forbindelse med vedligehold heraf.

Alle løsningsscenarierne bygger på at der pumpes vand fra Vesterfjord til Mariagerfjord. Det vil dog samtidig kræve, at der pumpes regnvand væk fra de lavtliggende områder i Hobro, da vandstandskoten i hhv. Vesterfjord og Mariagerfjord ikke tillader at vandet kan løbe til recipienterne via gravitation.
Der tages udgangspunkt i at pumpestationen til at håndtere regnvand dimensioneres med en pumpeydelse, som den pumpestation der er under opførelse nu, som beskrevet i afsnit 2.1. Der vil derfor ikke blive gået yderligere i dybden med dimensioneringen af denne pumpestation igennem løsningsscenarierne. Det konstateres blot, at denne er en nødvendighed ifm. med disse løsningsscenarier. Det antages, at det vil være nødvendigt at pumpe regnvand fra Hobro i situationer, hvor det regner samtidig med at vandstanden i Vesterfjord er over kote 0,20 m.
Alle løsningsscenarierne er sammenlignet i afsnit 5.4.

## 5.1 Regulering ift. maksimal tilladt vandstand i Vesterfjord

Løsningsscenarie 1.1 består i at bibeholde slusen som i dag samt sikre vha. pumperegulering at vandstanden i Vesterfjord ikke overstiger kote 0,60 m.
Hvis pumpesystemerne programmeres til kun at sikre dette, så vil vandstanden i Vesterfjord følge et udsvingsmønster, som der er vist et udsnit af på figur 5.1 ved en vandstandsstigning på 0,30 m.



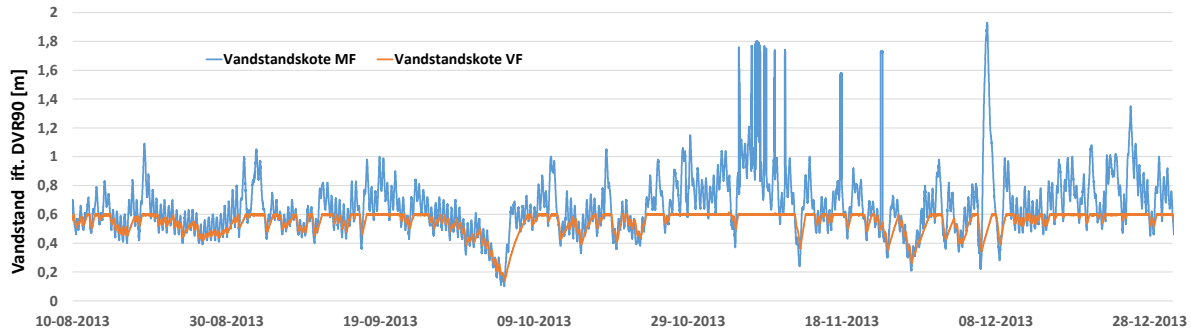

Figur 5.1: Vandstande for en fremskrivning af perioden 10-08-2013 til den 31-12-2013 i hhv. Mariagerfjord(blå) og Vesterfjord(orange) ved en vandstandsstigning på 0,3 m med løsningsscenarie 1.1.

Løsningsscenarie 1.1 giver en samlet pumpetid på 0,7% af tiden samt en åbningstid af slusen på 61,5%, hvilket ikke giver anledning til større problemer. Slusens åbningstid er reduceret med 19% med denne vandstandsstigning og pumpestrategi. Derudover vil det i 76% af regnhændelserne være nødvendigt at pumpe regnvand væk fra midtbyen.
En vandstandsstigning på 0,30 m, vil kunne håndteres uden væsentlige problemer vha. pumper til at begrænse vandstandsstigningen i Vesterfjord samt pumper til at pumpe regnvand væk fra midtbyen. Resultaterne for løsningsscenarie 1.1 er samlet i tabel 5.1.

| Løsnings-scenarie | Slusens-åbningstid [%] | Pumpetid Vesterfjord [%] | Pumpetid regnvand [%] |
|---|---|---|---|
| Scenarie 1.1(30cm) | 61,5 | 0,7 | 76 |

Tabel 5.1: Resultater for løsningsscenarie 1.1.

Løsningsscenarie 1.2 er lavet med de samme forudsætninger, som scenarie 1.1, men tager i stedet udgangspunkt i en vandstandsstigning på 0,60 m i Mariagerfjord. Hvormed situationen vil se ud som på figur 5.2.



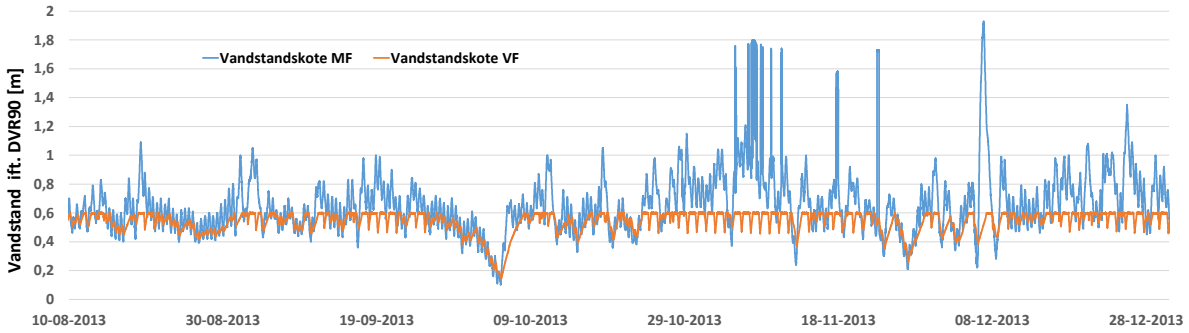

Figur 5.2: Vandstande for en fremskrivning af perioden 10-08-2013 til den 31-12-2013 i hhv. Mariagerfjord(blå) og Vesterfjord(orange) ved en vandstandsstigning på 0,60 m, med løsningsscenarie 1.2.

Det kan af figur 5.2 ses at vandstanden i Vesterfjord fastholdes under kote 0,60 m, hvormed der ikke vil være oversvømmelsesproblemer fra søsiden. Men det vil give problemer for afløbssystemet ifm. regnhændelser, hvorfor det vil være nødvendigt at pumpe regnvand under næsten alle regnhændelser. Der pumpes i gennemsnit 7,3% af tiden på Vesterfjord for at fastholde vandstanden under kote 0,60 m. Det kan af figur 5.2 umiddelbart fremstå som at der pumpes i en væsentlig større del af tiden. Dette forhold skyldes at udsvingene i vandstanden er for små til at kan ses.
Slusen vil have en gennemsnitlig åbningstid på 39,3%, hvilket i princippet ikke giver anledning til problemer, hvis blot slusen er åben mindst en gang i døgnet. Men det kan af figur 5.2 ses at der er perioder, hvor slusen er lukket i op til 5-6 dage ad gangen. Dette er tilfældet fra den 04-11-2013 til den 09-11-2013, hvilket vil gøre det umuligt for faunaen at migrere igennem vandløbet i denne periode.
Det vil ikke være muligt at lade slusen stå åben i situationer, hvor vandstande i Mariagerfjord højere end kote 0,60 m, hvis ikke det ønskes, at lade havvand løbe fra Mariagerfjord til Vesterfjord. Dette skyldes at vandstanden i Vesterfjord ikke må overstige kote 0,60 m pga. oversvømmelse, hvormed der kun vil ske vandudveksling, hvis vandet løber fra Mariagerfjord til Vesterfjord.
Det vil formentlig ikke være acceptabelt, at have perioder på 5-6 dage med slusen lukket, hvorfor det muligvis kan blive aktuelt at lade vand strømme ind i Vesterfjord fra Mariagerfjord. Resultaterne for løsningsscenarie 1.2 er samlet i tabel 5.2.

| Løsnings-scenarie | Slusens-åbningstid [%] | Pumpetid Vesterfjord [%] | Pumpetid regnvand [%] |
|---|---|---|---|
| Scenarie 1.2(60cm) | 39,3 | 7,3 | 99,5 |

Tabel 5.2: Resultater for løsningsscenarie 1.2.

Et forslag til at imødekomme problemstillingen omkring lange perioder med lukket sluse kunne være, at vandstanden i Vesterfjord pumpes længere ned end kote 0,60 m i situationer med en forhøjet vandstand igennem længere tid. Hvormed slusen kan åbnes mekanisk og lade vandet løbe ind fra Mariagerfjord til Vesterfjord indtil kote 0,60 m nås i Vesterfjord. Denne manøvre kan foretages igen efterfølgende, og kan gentages så ofte som slusen ønskes åbnet.
Denne løsningsmodel vil være dyrere i driftsomkostninger, da der skal pumpes store mængder vand, for efterfølgende at vandet blot løber tilbage igen. Der kæmpes med andre ord således imod tyngdekraften.
For at begrænse energitabet kan slusens åbning begrænses således at slusen f.eks. kun er halvt åben, hvormed der vil gå længere tid inden Vesterfjord er fyldt op igen. Ligeledes kan tidsrummet, hvor slusen skal være åben, begrænses til en time i døgnet, hvilket betyder at denne manøvre ikke skulle udføres så ofte.
I løsningsscenarie 1.3 indføres netop denne praksis, hvormed der pumpes i 8,0% af tiden. Det er forudsat at slusen kun er delvist åben samt, at vandstanden i Vesterfjord fortsat fastholdes under kote 0,60 m. På figur 5.3 er vist et udsnit af udsvingsmønsteret for Vesterfjord og Mariagerfjord med løsningsscenarie 1.3, hvor der er antaget en vandstandsstigning på 0,60 m i Mariagerfjord.




Figur 5.3: Vandstande for en fremskrivning af perioden 10-08-2013 til den 31-12-2013 i hhv. Mariagerfjord(blå) og Vesterfjord(orange) ved en vandstandsstigning på 0,60 m og med løsningsscenarie 1.3.

Det kan ud fra figur 5.3 ses, at vandstanden i Vesterfjord vil blive mere svingende. Det vil selvfølgelig øge pumpeomkostningerne, men samtidig vil løsningsscenarie 1.3 medføre, at slusen vil være åben i sammenlagt 39,2% af tiden, hvoraf de 1,1% er mekanisk åbning af slusen for at sikre, at slusen som minimum er åben en time i døgnet. Det prioriteres dermed, at sikre slusens åbnes dagligt fremfor at holde pumpningen på et minimum.
Hvorvidt faunaen vil benytte sig af muligheden for at migrere igennem slusen en gang dagligt er uvist, da der er usikkerhedsmomenter forbundet hermed. Usikkerhedsmomenterne består bl.a. i om faunaen vil kunne fornemme sig frem til Onsild å, når strømningen er indadgående fra Mariagerfjord til Vesterfjord, hvormed der ikke strømmer ferskvand ud i Mariagerfjord. Derudover vil åbningen af slusen være mindsket fra de oprindelige 5,5 m til 2 m, men dette vurderes ikke at have nogen indvirkning på hvorvidt faunaen vil svømme igennem. Resultaterne for løsningsscenarie 1.3 er samlet i tabel 5.3.

| Løsnings-scenarie | Slusens-åbningstid [%] | Mekanisk-åbningstid [%] | Pumpetid Vesterfjord [%] | Pumpetid regnvand [%] |
|---|---|---|---|---|
| Scenarie 1.3(60cm) | 39,2 | 1,1 | 8,0 | 99,8 |

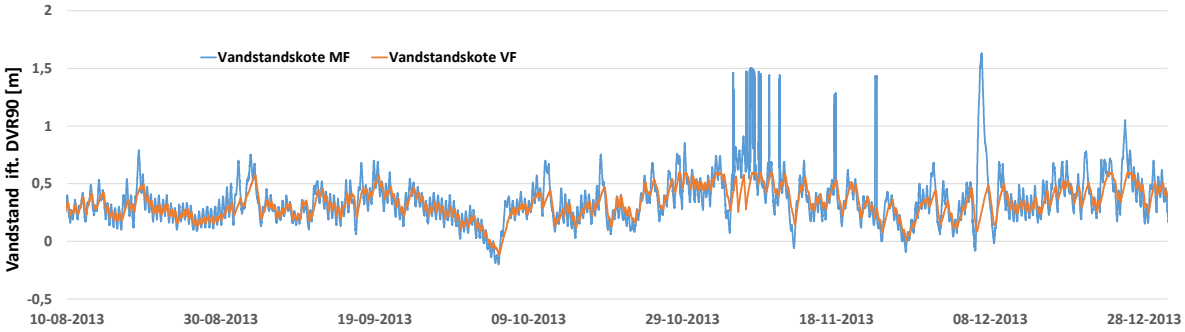
Tabel 5.3: Resultater for løsningsscenarie 1.3.

Det kan af tabel 5.3 ses, at der er tale om et løsningsscenarie, der giver en lidt lavere samlet åbningstid af slusen, men tilgengæld sikrer mulig faunapassage hver dag. Foruden disse observationer kan det ses, at det vil være nødvendgt at pumpe på Vesterfjord i en større del af tiden ift. til løsningsscenarie 1.2.

## 5.2 Regulering ift. højvande i Mariagerfjord

Løsningsscenarierne 2.1 og 2.2 fungerer ligeledes ved at regulere vandstanden i Vesterfjord vha. pumper. Disse scenarier skiller sig ud ved at pumpe forud ifm. højvande i Mariagerfjord, hvormed der opnås en stor magasineringskapacitet i Vesterfjord. Vandstanden i Mariagerfjord kan af [DMI, 2015] forudses ret præcist 3 dage ud i

fremtiden.
Det er her tænkt, at vandstanden i Vesterfjord skal pumpes ned når vandstanden i Mariagerfjord overstiger kote 0,85 m, som et gennemsnit over det næste døgn. Der opnås dermed en magasineringskapacitet, som skal være med til at sikre, at afstrømningerne fra vandløbene ikke forårsager oversvømmelser fra søsiden. Derudover skal en del af magasineringskapaciteten bruges til at opmagasinere fjordvand som løber ind i Vesterfjord.
Fjordvandet vil løbe ind i Vesterfjord når slusen åbnes mekanisk ifm. at sikre en minimum åbningtid.
Udover at pumpe forud for højvande i Mariagerfjord, pumpes der ligeledes på Vesterfjord i situationer, hvor vandstanden når kote 0,59 m, således at vandstanden ikke overstiger kote 0,60 m. Det er forudsat, at slusen kun er delvist åben i situationer, hvor vandet løber fra Mariagerfjord til Vesterfjord. På figur 5.4 kan et udsnit af løsningsscenarie 2.1 indvirkning på Vesterfjord ved en vandstandsstigning på 0,30 m ses sammen med vandstanden for Mariagerfjord.



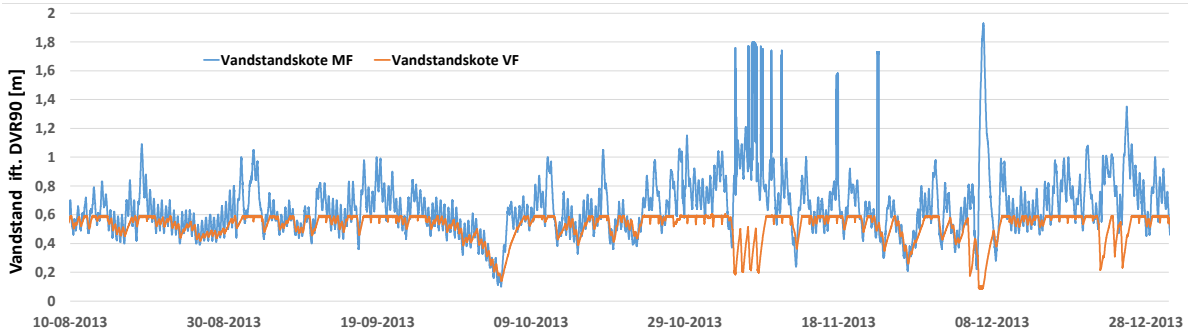

Figur 5.4: Vandstande for en fremskrivning af perioden 10-08-2013 til den 31-12-2013 i hhv. Mariagerfjord(blå) og Vesterfjord(orange) med en vandstandsstigning i Mariagerfjord på 0,30 m med løsningsscenarie 2.1.

Anvendes løsningsscenarie 2.1 vil det være nødvendigt at pumpe på Vesterfjord i 1,0% af tiden, men det vil være nødvendigt at pumpe regnvand fra Hobro midtby i 74,8% af regnhændelserne. Denne pumpestyringsstrategi vil resultere i en gennemsnitlig åbningstid af slusen på 61,4% af tiden, hvor 0,2% af tiden skyldes mekaniske åbninger af slusen for at sikre at den er åben mindst en time i døgnet.
Denne styringsstrategi giver dermed ikke store lukningstider for slusen, det kan i enkelte situationer blive nødvendigt at pumpe vandstanden i Vesterfjord ned og efterfølgende åbne slusen. Som udgangspunkt vurderes lukningstiderne af slusen ikke at forårsage store problemer for faunamigrationen, da det sikres, at slusen som minimum åbner en time i døgnet samt at slusen er åben i 61,4% af tiden.
Pumperne der håndterer regnvandet fra Hobro midtby skal nødvendigvis pumpe i 74,8% af regnhændelser ud fra de fastsatte kriterier, hvilket reducerer gevinsten ved ikke at skulle pumpe så meget på Vesterfjord.
Ud fra afløbssystemets udløbskoter vil det være svært at undgå at skulle pumpe regnvand, medmindre Vesterfjord pumpes en stor del af tiden, således at der kan fastholdes en konstant lav vandstand i Vesterfjord. Resultaterne for løsningsscenarie 2.1 er samlet i tabel 5.4.

| Løsnings-scenarie | Slusens-åbningstid [%] | Mekanisk-åbningstid [%] | Pumpetid Vesterfjord [%] | Pumpetid regnvand [%] |
|---|---|---|---|---|
| Scenarie 2.1(30cm) | 61,4 | 0,2 | 1,0 | 74,8 |

Tabel 5.4: Resultater for løsningsscenarie 2.1.

På figur 5.5 kan et udsnit af vandstanden i Vesterfjord samt Mariagerfjord ses ved en fremtidig situation med en vandstandsstigning på 0,60 m i Mariagerfjord, hvor løsningsscenarie 2.2 er implementeret.




Figur 5.5: Vandstande for en fremskrivning af perioden 10-08-2013 til den 31-12-2013 i hhv. Mariagerfjord(blå) og Vesterfjord(orange) med en generel vandstandsstigning i Mariagerfjord på 0,60 m med løsningsscenarie 2.2.

Implementeres denne pumpestyring, vil der pumpes i 8,0% af tiden på Vesterfjord og pumpes regnvand under tæt ved samtlige regnhændelser. Derudover fås en samlet åbningstid af slusen på 33,4% af tiden, hvoraf de 1,1% er tid hvor slusen er mekanisk åbnet. Der er hermed tale om en styringsstrategi, der giver en mindre åbningstid af slusen end scenarie 1.3. Derudover er pumpetiden ikke reduceret ift. til de forrige løsningsscenarier. Resultaterne for løsningsscenarie 2.2 er samlet i tabel 5.5.

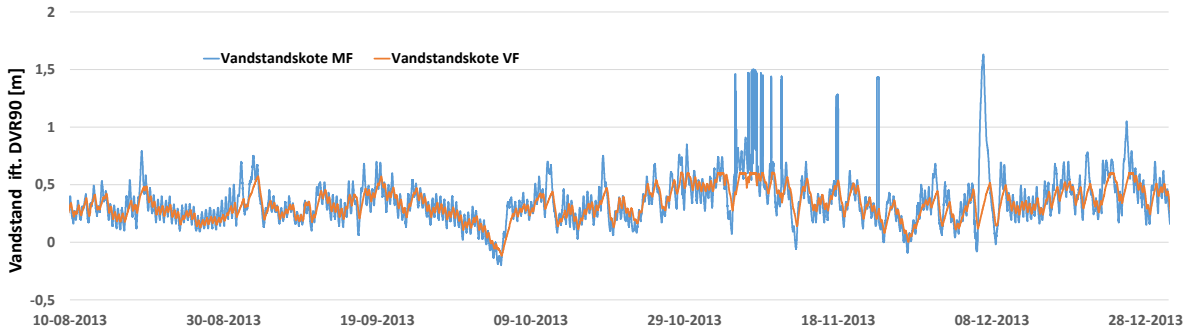
| Løsnings-scenarie | Slusens-åbningstid [%] | Mekanisk-åbningstid [%] | Pumpetid Vesterfjord [%] | Pumpetid regnvand [%] |
|---|---|---|---|---|
| Scenarie 2.2(60cm) | 33,4 | 1,1 | 8,0 | 99,8 |

Tabel 5.5: Resultater for løsningsscenarie 2.2.

Det er muligt, at installere en pumpe med mindre pumpekapacitet ved at pumpe forud for højvandshændelser, da der er længere tid til at tømme Vesterfjord. Men det vil fortsat være de samme vandmængder, der skal pumpes, hvorfor det ikke vurderes at give en mærkbar besparelse at neddrosle pumpeydelsen.
Derudover øges risikoen for oversvømmelse, ved at have en mindre pumpekapacitet til rådighed. Det vurderes derfor at besparelsen ved at installere mindre pumper bliver opvejet af en længere pumpetid samt en forøget oversvømmelsesrisiko.

## 5.3 Regulering ift. vandløbsafstrømninger

I løsningsscenarierne 3.1 og 3.2 ses, der på effekterne af at pumpe på Vesterfjord ud fra fremtidige afstrømningerne fra vandløbene. Der ses et døgn frem i tiden hvilket vurderes at være en tidsramme, som vandløbsafstrømningerne kan estimeres ret præcist indenfor. Ideen med at pumpe forud for store vandløbsafstrømninger, er at der således opnås et magasineringsvolumen i Vesterfjord inden afstrømninger finder sted. Dermed kan disse vandmængder opmagasineres i Vesterfjord uden, at forårsage oversvømmelser i Hobro. Der undersøges derfor om det har en bedre effekt at pumpe forud for store afstrømninger, fremfor at pumpe forud for højvande i Mariagerfjord eller blot pumpe ud fra en bestemt vandstandskote i Vesterfjord.
Det vælges at pumpe på Vesterfjord i situationer, hvor afstrømninger fra vandløbene i gennemsnit overstiger 0,75 $m^3/s$ et døgn frem i tiden. Denne værdi er valgt ud fra en skønsmæssig vurdering. Der opereres fortsat med at slusen er åben mindst en time i døgnet og at slusen kun åbner delvist i disse situationer. For løsningsscenariet 3.1 anvendes en vandstandsstigning på 0,30 m. Resultaterne af løsningsscenarie 3.1 kan ses på figur 5.6.



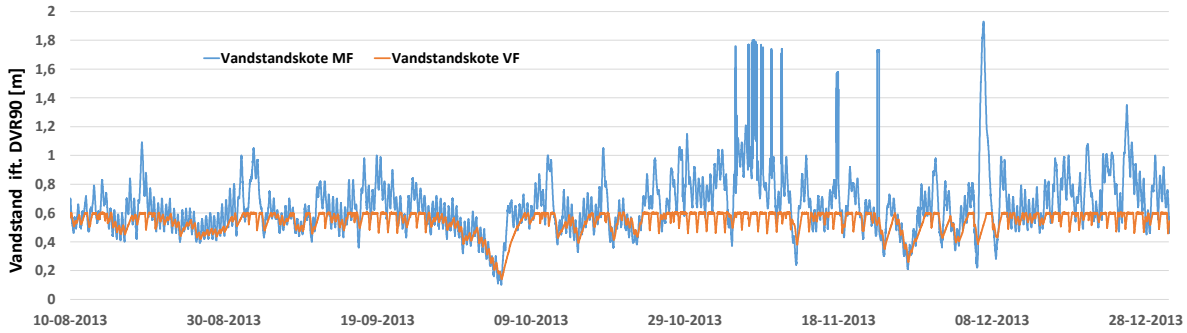

Figur 5.6: Vandstande for en fremskrivning af perioden 10-08-2013 til den 31-12-2013 i hhv. Mariagerfjord(blå) og Vesterfjord(orange) med en generel vandstandsstigning i Mariagerfjord på 0,30 m, hvor der anvendes løsningsscenarie 3.1.

Løsningsscenarie 3.1 giver en åbningstid af slusen på 54,6% af tiden, hvoraf 0,5% skyldes at slusen åbnes for at sikre en minimums åbningstid på en time i døgnet. Derudover vil det være nødvendigt at pumpe på Vesterfjord i 4,0% af tiden, samtidig vil der pumpes regnvand fra Hobro midtby i 69,4% af alle regnhændelserne.
Dette løsningsscenarier skiller sig dermed ikke væsentligt ud fra de forrige, da der også her sikres en forholdsvis høj åbningstid af slusen, men det er dog nødvendigt at pumpe i 4,0% af tiden. Det er ligeledes nødvendigt i alle løsningsscenarier at pumpe regnvandet i midtbyen i størstedelen af regnhændelserne. Resultaterne for løsningsscenarie 3.1 er samlet i tabel 5.6.

| Løsnings-scenarie | Slusens-åbningstid [%] | Mekanisk-åbningstid [%] | Pumpetid Vesterfjord [%] | Pumpetid regnvand [%] |
|---|---|---|---|---|
| Scenarie 3.1(30cm) | 54,6 | 0,5 | 4,0 | 69,4 |

Tabel 5.6: Resultater for løsningsscenarie 3.1.

På figur 5.5 kan et udsnit af vandstanden i Vesterfjord samt Mariagerfjord ses ved en fremtidig situation med en vandstandsstigning på 0,60 m i Mariagerfjord, hvor løsningsscenarie 3.2 er implementeret.




Figur 5.7: Vandstande for en fremskrivning af perioden 10-08-2013 til den 31-12-2013 i hhv. Mariagerfjord(blå) og Vesterfjord(orange) med en generel vandstandsstigning i Mariagerfjord på 0,60 m, hvor der anvendes løsningsscenarie 3.2.

I dette scenarie fås en åbningstid af slusen på 33,5% af tiden, hvoraf 1,2% af tiden sker som følge af mekanisk åbningstid. Derudover vil der blive pumpet vand fra Vesterfjord i 8,0% af tiden samt pumpet regnvand under samtlige regnhændelser. Dette løsningsscenarie er meget lig de forrige, som giver nogenlunde de samme resultater for hhv. slusens åbningstid samt tiden der skal pumpes. Resultaterne for løsningsscenarie 3.2 er samlet i tabel 5.7.

| Løsnings-scenarie | Slusens-åbningstid [%] | Mekanisk-åbningstid [%] | Pumpetid Vesterfjord [%] | Pumpetid regnvand [%] |
|---|---|---|---|---|
| Scenare 3.2(60cm) | 33,5 | 1,2 | 8,0 | 98,6 |

Tabel 5.7: Resultater for løsningssceanrie 3.2.

Der er ikke nogen af løsningsscenarierne, som skiller sig markant ud, hvilket kan skyldes, at den afgørende faktor her er vandstanden i Mariagerfjord, hvilket forstås som at jo mere vandstanden stiger, jo mere skal der pumpes og jo mindre er slusen åben. Ved at lave en pumpestyringsstrategi kan oversvømmelser omkring Vesterfjord forhindres samtidig med, at der sikres mulighed for faunapassage igennem slusen. I afsnit 5.4 er der lavet en sammenligning af løsningsscenarierne.

## 5.4 Sammenligning af pumpeløsninger

Det er i dette afsnit valgt at lave en sammenligning af pumpeløsningsscenarierne, hvor løsningsscenarierne er målt på følgende parametre: *slusens åbningstid, den mekaniske åbningstid, pumpetiden samt i hvor høj grad det er nødvendigt at pumpe regnvandet væk fra Hobro under regnhændelserne.* I tabel 5.8 er løsningsscenarierne kvantificeret.

| Løsningsscenarier | Slusens åbningstid [%] | Mekanisk åbning pga. min. åbningstid [%] | Pumpetid på Vesterfjord [%] | Regnvands-pumpning [%] | Maks. vandstand i simuleringsperioden [cm] |
|---|---|---|---|---|---|
| Nuværende situation (0,0) | 79,8 | - | - | - | 69 |
| Fremtidig situation uden reg. (0,30) | 63,0 | - | - | - | 94 |
| Scenarie 1.1 (0,30) | 61,5 | - | 0,7 | 76,0 | 61 |
| Scenarie 2.1 (0,30) | 61,4 | 0,2 | 1,0 | 74,8 | 60 |
| Scenarie 3.1 (0,30) | 54,6 | 0,5 | 4,0 | 69,4 | 61 |
| Fremtidig situation uden reg. (0,60) | 49,6 | - | - | - | 120 |
| Scenarie 1.2 (0,60) | 39,3 | - | 7,3 | 99,5 | 61 |
| Scenarie 1.3 (0,60) | 39,2 | 1,1 | 8,0 | 99,8 | 61 |
| Scenarie 2.2 (0,60) | 33,4 | 1,1 | 8,0 | 99,8 | 61 |
| Scenarie 3.2 (0,60) | 33,5 | 1,2 | 8,0 | 98,6 | 61 |

Tabel 5.8: Sammenligning af pumpeløsningsscenarier og situationer uden pumperegulering.

Det kan i tabel 5.8 ses, at alle løsningsscenarierne sikrer Vesterfjords tilstødende områder imod oversvømmelse. Løsningsscenarierne giver dog ikke en lavere åbningstid ift. den nuværende situation, men det er muligt vha. reguleringen at opretholde åbningstider svarende nogenlunde til hvis ikke der havde været nogen pumperegulering.
Grunden til at den generelle åbningstid for slusen er lavere med en højere vandstand skyldes, at kanalen imellem Vesterfjord og Mariagerfjord kan tømme Vesterfjord hurtigere end vandløbene kan fylde den op. Dette er ensbetydende med at vandstanden i Vesterfjord falder hurtigere end den stiger. Hvilket bliver yderligere forstærket ved en højere vandstand, da volumen pr. meter bliver større, jo højere vandstanden er.

Det fremgår af tabel 5.8, at det i alle løsningsforslagene vil være nødvendigt at pumpe regnvand fra de lavtliggende dele af Hobro. Pumpningen af regnvand vil forøges ved en større havvandsstigningen, men ved en vandstandstigning på 0,60 m vil alt regnvand i praksis skulle pumpes.
Det vil være omkostningsfuldt at fastholde vandstanden i kote 0,20 m og dermed sikre at afløbssystemet altid kan aflede til recipienterne. Det vil i så fald vil være nødvendigt at pumpe på Vesterfjord i hhv. 13,8% og 18,5% af tiden ved vandstandsstigninger på hhv. 0,30 og 0,60 m. Derudover vil slusens åbningstid begrænse sig til hhv. 28,9% og 7,3% af tiden, hvorfor denne løsning vurderes at være for dyr i drift samtidig med at åbningstiden af slusen er uacceptabel lav. Desuden vil regnvandsmængderne, der skal pumpes fra de lavtliggende områder af Hobro, være væsentlig mindre end vandmængderne, der skal pumpes fra Vesterfjord for at fastholde denne i kote 0,20 m.

Det fremgår ligeledes af tabel 5.8, at der i alle løsningsscenarierne sikres en forholdsvis høj åbningsstid af slusen samt en minimum åbningstid i døgnet. Løsningsscenarierne 3.1 og 3.2 giver de laveste åbningstider af slusen. Omvendt giver de øvrige løsningsscenarier en lidt højere åbningstid. Det er løsningsscenarierne 1.1 og 1.3, der giver den marginalt højeste åbningstid af slusen.
Ses der derimod på hvor stor en del af tiden, det er nødvendigt at pumperegulere vandstanden i Vesterfjord, så er der ikke nogen forskel på løsningsscenarierne. Ses der tilgengæld på tiden, hvor det er nødvendigt at åbne slusen mekanisk, så giver løsningsscenarierne 2.1 og 2.2 de laveste mekaniske åbningstider af slusen.
Der er således tale om en situation, der i det ene tilfælde giver en højere åbningstid, men en større indstrømning af saltvand fra Mariagerfjord. Konsekvenserne kan være negative for den økologiske tilstand, men der sikres tilgengæld en høj åbningstid af slusen. Det kan derfor blive nødvendigt, at prioritere imellem indtrængende saltvand og slusens åbningstid. Men der er her tale om en begrænset indstrømning af saltvand.

Af tabel 5.8 kan det ligeledes ses, at det ikke vil være muligt at sikre en lige så høj åbningstid af slusen, som der er i dag. Hvis dette skulle ske i praksis, ville det betyde en tilladelse af en højere vandstand i Vesterfjord samtidig med at f.eks. kanalen imellem Vesterfjord og Mariagerfjord gøres smallere således at det vil tage længere tid for vandet at afstrømme fra Vesterfjord.
Den afgørende randbetingelse for disse løsningsscenarier er vandstandsstigningen i Mariagerfjord. Vandstandsstigningen i Mariagerfjord er afgørende for hvor stor en del af tiden, det er nødvendigt at pumperegulere vandstanden i Vesterfjord. Vandstandsstigningen i Mariagerfjord kan dermed nå et niveau, hvor det ikke længere er økonomisk forsvarligt at pumperegulere, men i stedet vil det være mere fordelagtigt

at inddæmme områder langs Vesterfjord og Onsild å, hvormed der kan tillades en højere vandstand i Vesterfjord.

Ud fra disse betragtninger vurderes løsningsscenarierne 2.1 og 2.2, hvor der pumperegu-leres ift. højvandssituationer i Mariagerfjord, som værende den mest optimale styrings-trategi ud fra en samlet vurdering på baggrund af slusens åbningstid samt pumpetiden. Det vurderes ligeledes som værende strengt nødvendigt at etablere pumper til at hånd-tere regnvand i de lavtliggende områder af Hobro.
Ydermere vurderes det, at det vil være nødvendigt, ud fra en økonomiske betragtning, at anlægge diger langs Vesterfjord og Onsild, hvis havvandstanden stiger mere end 0,60 m. Rent økonomisk vil det være for omkostningsfyldt at pumpe en stadig større mængde vand fra Vesterfjord til Mariagerfjord.

Styringsstrategien fra scenarie 2.1 og 2.2 vil være en effektiv metode til undgå oversvømmelser i Vesterfjord frem til en vandstandstigning i Mariagerfjord på 0,30 m. Situationen er mere kompliceret, når vandstandsstigningen overstiger 0,30 m. Dette skyldes at effekten af denne styringsstrategi mindskes og rentabiliteten heri forringes samtidig med, at slusens åbningstid mindskes. Styringsstrategien vil fortsat kunne anvendes frem til en vandstandsstigning på 0,60 m, men med øgede omkostninger og lavere åbningstid til følge. Større vandstandsstigninger vil kræve yderligere tiltag end pumperegulering.

Løsningsscenarierne 2.1 og 2.2 vil ikke forringe vandkvaliteten i Vesterfjord, da der fortsat vil være gennemstrømning fra vandløbene. Således undgås at vandet i Vesterfjord bliver stillestående. Hvorvidt vandet løber via gravitation eller pumpes, gør ikke nogen forskel for vandkvaliteten i Vesterfjord hvorfor disse løsningsscenarier vurderes til ikke at have nogen indvirkning på vandkvaliteten.

# 6 Diskussion

De valgte løsningsscenarier i afsnit 5.4 giver en løsning på oversvømmelsesproblemerne i Vesterfjord, hvor der vha. aktiv pumperegulering sikres at vandstanden ikke overstiger kote 0,60 m. Derudover sikres det at slusen som minimum er åben en time i døgnet. Frekvensen kan dog sættes op, hvis det ønskes at have slusen åben f.eks. en time for hver 12. time, hvilket selvfølgelig vil resultere i øgede pumpetider.
Denne pumperegulering fungerer bedst ved en vandstandsstigning i Mariagerfjord på op til 0,30 m, hvorefter rentabiliteten falder, som følge af øgede pumpetider, som beskrevet i afsnit 5.4.

Det vil også være en absolut nødvendigt at pumpe regnvand fra de lavtliggende dele af Hobro. Dette er tilfældet allerede i dag, hvor der med jævne mellemrum opstår situationer med oversvømmede kloakker. Afløbssystemet kan derfor med fordel på lang sigt omlægges ifm. sanering og separatkloakering heraf, således at alt regnvand ikke nødvendigvis samles i de laveste områder af afløbssystemet. Regnvand fra højereliggende dele Hobro bør derfor udledes til recipienterne decentralt og i så høj en udløbskote, som muligt. På den måde vil der på lang sigt blive mindre regnvand, der skal pumpes væk fra Hobro midtby, hvormed det kun vil være regnvand fra de lavestliggende områder der skal pumpes.
Derudover bør alle udløb sikres imod tilbagestuvning i afløbssystemet med kontraklapper. Ligeledes bør det sikres, at regnvandet i afløbssystemet kan løbe til pumpestationen, hvis der er kapacitetsproblemer i udløbet. Dette kan sikres med interne overløb i afløbssystemet, således at vandet løber til pumpestationen fremfor at stuve op i afløbssystemet.

Styringsstrategien fra løsningsscenarie 2.1 og 2.2 bør implementeres i en nær fremtid, da der som beskrevet i afsnit 2.2.2 på nuværende tidspunkt ingen sikkerhed er mod oversvømmelser.
Det kan meget vel kan være tilfældigt, at Hobro ikke har været udsat for oversvømmelse. Hvilket skyldes, at der endnu ikke har været en situation, hvor tidevand, stormflod, kraftig regn og store vandløbsafstrømninger har ramt samtidig.
Den manglende sikkerhed udgør således en stor trussel mod oversvømmelse, da en oversvømmelsessituation principielt vil overlade Hobro til elementernes rasen. Der vil således opnås en øjeblikkelig større sikkerhed imod oversvømmelse ved at implemetere denne pumpestyringsstrategi.

Betragtes pumperegleringen ift. slusen kan det af tabel 5.8 ses, at der op til en vandstandsstigning på 0,30 m kan opnås en samlet åbningstid på 61,5%, hvis det ønskes at holde Vesterfjord fersk. Hvis derimod det ønskes at sikre slusen åbner mindst en time i døgnet kan der opnås tilsvarende åbningstider. Dette vil dog resultere i indtrængende saltvand fra Mariagerfjord i 0,2% af tiden samt øge pumpetiden med 0,3%. Det vil således være en prioriteringssag, hvad der findes bedst, da det ikke vil være muligt både at sikre en daglig minimums åbningstid samt at forholde Vesterfjord fersk.

Situationen for slusen er væsentligt mere kompleks ved en vandstandstigning på 0,60 m,

da det her ikke ligger lige for at pege på en god løsning. Her kan der sikres en åbningstid af slusen på 39,3%, hvis det ønskes at holde Vesterfjord fersk samt en tilsvarende åbningstid på, hvis der sikres en minimum åbningstid på en time dagligt. Der vil her trænge saltvand ind i Vesterfjord i 1,1% af tiden. Det vil her være nødvendigt, at pumpe i 0,7% mere af tiden.
Det dermed igen et prioriteringsspørgsmål, men hvor konsekvenserne heraf blot er skaleret op. Saltprocenten i det indtrængende vand kan dog være reduceret, da det delvist vil være det samme vand, som pumpes ud, der løber ind igen.

Det kan i situationer med indtrængende vand i Vesterfjord blive svært for faunaen at finde vandløbet ifm. optræk til vandløbene. Det skyldes, at strømmen her er indadgående og faunaen, der kommer fra Mariagerfjord, således vil have svært ved at fornemme det ferske vand fra Vesterfjord og vandløbene.
Men omvendt vil det være ferskvand, der pumpes ud fra Vesterfjord til Mariagerfjord, hvormed faunaen vil kunne fornemme sig frem til vandløbet så længe der pumpes.
I situationer, hvor faunaen migrerer fra vandløbene til Mariagerfjord, vil der være gode muligheder for faunaen at lokalisere udløbet til Mariagerfjord pga. det indstrømmende saltvand.

### 6.0.1 Anbefalinger

Det valgt at sammenfatte nogle konkrete anbefalinger i prioriteret rækkefølge til en adabtiv fremtidssikring til Mariagerfjord Kommune og Mariagerfjord Vand på baggrund af det valgte løsningsscenarie.

- *Etabler pumpestation* - Installer en pumpestation til at håndtere regnvand fra midtbyen samt en til at pumperegulere vandstanden i Vesterfjord.
  Implementer en styringsstrategi til pumpestationen for Vesterfjord, som kan fungere fremadrettet. Der kan her vælges styringsstrategien, som anvendes i løsningsscenarie 2.1 og 2.2. Der vil hermed fås en løsning, som fungerer godt frem til en vandstandsstigning på 0,30 m og rimeligt frem til en vandstandsstigning på 0,60 m. Det kan her vælges, at gøre status for hvordan strategien fungerer når vandstandsstigningen når 0,30 m.

- *Tilpas afløbssystemet* - Begynd allerede nu ifm. med saneringer at forberede afløbssystemet i Hobro på de stigende vandstande.
  Sørg i den forbindelse for at regnvand fra højereliggende dele af Hobro ikke nødvendigvis samles i bunden afløbssystemet, men i stedet udledes decentralt og i så høj en kote det er muligt. Sørg yderligere for at alle udløb fra afløbssystemet er lavet med kontraklapper.
  Lav i samme forbindelse interne overløb i afløbssystemet der leder regnvandet til pumpestationen, hvis ikke vandet kan afledes til recipienten.

- *Planlægning* - Foretag fremadrettede planlægningsbeslutninger som tilgodeser muligheden for at hæve vandstanden i Vesterfjord. Dette kunne f.eks. være at afskrive arealer omkring Vesterfjord og Onsild å, der er meget udsatte samt sørge for ikke at tillade nybyggeri i lavtliggende områder heromkring. Dette er særlig vigtigt, hvis det vælges at prioritere faunamigration eller en fersk Vesterfjord højt.

Tag forholdsregler for hvad der skal ske, hvis vandstanden stiger mere end 0,30 m. Hvordan skal en sådan situation håndteres, er pumpestyring stadig aktuelt eller skal der i stedet søges alternativer.

Tages disse anbefalinger til efterretning under beslutningsprocesserne i Mariagerfjord Kommune og Mariagerfjord Vand, vil problemernes omfang i fremtiden kunne mindskes. Det også vil være billigere på lang sigt at forberede Hobro på de problemer, som vil opstå allerede nu ifm. løbende saneringer, i stedet for først at tage hånd om problemerne senere.

# 7 Konklusion

I dette projekt er problemstillingen omkring oversvømmelser i Vesterfjord samt faunapassagen forbi slusen i Onsild å undersøgt. Der er lavet en analyse af vandstandsforholdene i Vesterfjord for at kvantificere oversvømmelsesproblemerne samt mulighederne for faunamigration igennem slusen.
For at lave analysen er der opstillet en boks-model for Vesterfjord systemet til netop dette formål. Modellen er verificeret vha. vandstandsmålinger fra Vesterfjord målt i løbet af projektet. Det er ligeledes været nødvendigt at lave en vandløbsmodel for at få input data til boks-modellen.

Der er i analysen fundet frem til, at der i dag er en række udfordringer, som i fremtiden vil forværres, hvis ikke der gøres noget. Der er således allerede nu problemer med afløbssystemet ifm. opstuvning af regnvand samt indtrængende vand fra recipienterne. Derudover er der en forestående trussel mod oversvømmelse fra Vesterfjord, da der på nuværende tidspunkt ikke er nogen sikkerhed imod kraftig opstuvning i Vesterfjord. I fremtiden vil disse problemer forværres samtidig med, at muligheden for faunamigration igennem Onsild å vil forværres.

Analysen har udmøntet sig i en problemformulering, som der efterfølgende er søgt at give svar på. Det er således undersøgt om det er muligt at sikre områderne omkring Vesterfjord imod oversvømmelse samtidig med at der sikres mulighed for faunamigration samt at vandkvaliteten i Vesterfjord ikke forringes.

Det konkluderes, at det er muligt at sikre Vesterfjord og Hobro mod oversvømmelse vha. en pumpestyringsstrategi, som pumper ifm. højvande i Mariagerfjord samt en maksimal vandstandskote i Vesterfjord på 0,60 m. Det konkluderes samtidig at en sådan styringsstrategi kan sikre muligheder for faunapassage ved holde slusen åben i minimum en time i døgnet. Det sikres ligeledes at vandkvaliteten i Vesterfjord ikke forringes, som følge af denne pumpestyring, da der ikke sker nogen ændring af vandudvekslingen imellem Vesterfjord og Mariagerfjord.

Det konkluderes yderligere, at der er fremsat en række adaptive anbefalinger til sikring mod oversvømmelse i hhv. Vesterfjord og afløbssystemet samt sikring af mulighederne for fremtidig faunamigration.

# Litteratur


**Bek**, **2015**. Søren Bek. *Biolog, Natur og Miljø - Natur og Grundvand, Mariagerfjord Kommune*. Mail korrespondance 28-04-2015, 2015.

**Jan Nielsen**, **2004**. Rådgivende biolog Jan Nielsen. *Fiskene i Gudenåens vandløb Statusrapport 2004, Gudenåkomiteens rapport nr. 23*, 2004.

**Borgere**, **2015**. Hobro Borgere. *Øjenvidne beretning*. Interview med borgere, 2015.

**Danmarks Meteorologiske Institut**, **2015**. DMI Danmarks Meteorologiske Institut. *Novana Climate Grid*. , 2015. Downloadet 23.04.2015.

**DMI**, **2014**. Danmark Meteorologiske Institut DMI. *Fremtidens klima i Danmark*. http://www.dmi.dk/klima/fremtidens-klima/danmark/, 2014. Downloadet 01.03.2015.

**DMI**, **2015**. Danmark Meteorologiske Institut DMI. *Vandstand*. http://www.dmi.dk/hav/maalinger/vandstand/, 2015. Downloadet 26.05.2015.

**fiskehandlere**, **2014**. Danmarks fiskehandlere. *Havørred*. http://www.fiskehandlerne.dk/raavarer/havorred, 2014. Downloadet 26.05.2015.

**Geodatastyrelsen**, **2011**. Miljøminsteriet Geodatastyrelsen. *MiljøGis*. `http://miljoegis.mim.dk/cbkort?profile=miljoegis_vandrammedirektiv2011`, 2011. Downloadet 12.03.2015.

**Keefer og Caudill**, **2013**. Matthew L. Keefer og Christopher C. Caudill. *Homing and straying by anadromous salmonids: a review of mechanisms and rates*, 2013.

**Kystdirektoratet**, **2002**. Trafikministeriet Kystdirektoratet. *Højvandsstatistikker 2002*, 2002.

**Mariagerfjord Kommune**, **2011a**. Mariagerfjord Kommune. *Statusrapport for klimaændringer og tilspasning*, 2011a.

**Mariagerfjord Kommune**, **2012**. Mariagerfjord Kommune. *Regulativ for Onsild å*, 2012.

**Mariagerfjord Kommune**, **2011b**. Mariagerfjord Kommune. *Spildevandsplan 2011-2021*, 2011b.

**Mariagerfjord Vand**, **2015**. Mariagerfjord Vand. *Mike Urban model for Hobro og Arden*, 2015.

**Naturbasen**, **2015**. Naturbasen. *EF-Habitatområde nr. 14*. `http://www.habitatarter.dk/udpegningsomraader.asp?id=14`, 2015. Downloadet 18.03.2015.

**Naturstyrelsen**, **2014**. Miljøministeriet Naturstyrelsen. *Vandplan Mariager Fjord, Hovedopland 1.3*, 2014.

**Novana, Danmarks Miljø Undersøgelser**, **2009**. Aarhus Universitet Novana, Danmarks Miljø Undersøgelser. *Vandløb 2007*, 2009.

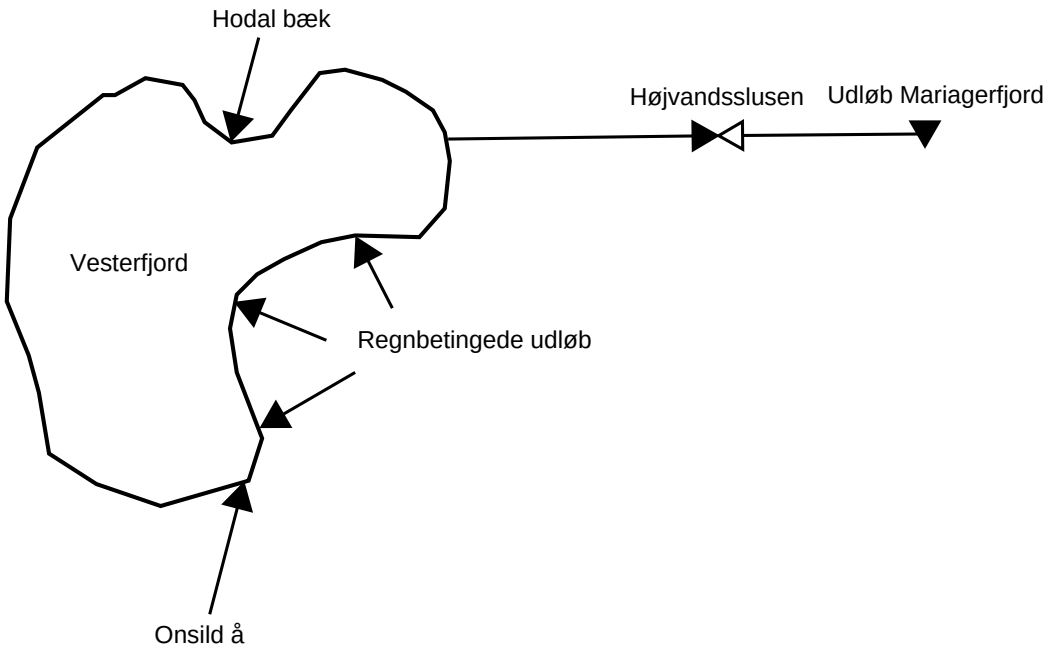
**Spildevandskomiteen**, **2005**. Ingeniørforeningen i Danmark Spildevandskomiteen. *Funktionspraksis for afløbssystemer under regn*, 2005.

**Søren Eriksen**, **2015**. *Direktør i Mariagerfjord Vand Søren Eriksen.* Samtale med Søren Eriksen, 2015.

**Teknologirådet**, **2014**. Fonden Teknologirådet. *Sikring mod stormflod*, 2014.

# A Boks model

Der er opstillet en boks-model for Vesterfjord for at undersøge, hvorledes vandmasserne påvirker stuvningsniveauerne i Vesterfjord samt påvirkningen på højvandsslusen. Boks-modellen er baseret på massebalance betragtninger, og er lavet numerisk med tidsskridt på 10 minutter og er beregnet stationært. På figur A.1 kan ses en forsimplet principskitse af opstillingen til boks modellen.




Figur A.1: Forsimplet principskitse af boks-modellen.

På figur A.1 er vist tilløb til Vesterfjord, herunder Hodal bæk, Onsild å samt regnvandsbetingede udløb. Disse tilløb udgør randbetingelserne for tilledninger til boks-modellen. Vesterfjord afvandes af det videre forløb af Onsild å, som løber via en kanal igennem Hobro midtby med udløb i Mariagerfjord. Højvandsslusen er placeret i kanalen imellem Vesterfjord og Mariagerfjord og er styret af vandstandsforskellene her imellem hhv. Vesterfjord og Mariagerfjord. Mariagerfjord fungerer som en randbetingelse for udløbet fra Vesterfjord. Boks-modellen er vedlagt på CD-bilag C.2.

## A.1 Teoretisk baggrund for boks-modellen

Boks-modellen er baseret på kontinuitetsligningen, hvor følgende princip er gældende:

$$A_{VF} \cdot \frac{dy}{dt} = Q_{vandløb} + Q_{udløb} - Q_{afstrømning} \tag{A.1}$$

hvor

| | | |
|---|---|---|
| $A_{VF}$ | Tværsnitsarealet af Vesterfjord | [m$^2$] |
| $y$ | Vandstandsdybden af Vesterfjord | [m] |
| $t$ | Tid | [s] |
| $Q_{vandløb}$ | Vandløbsafstrømningen til Vesterfjord | [m$^3$ s$^{-1}$] |
| $Q_{udløb}$ | Udløbsvandføringen til Vesterfjord | [m$^3$ s$^{-1}$] |
| $Q_{afstrømning}$ | Afstrømningen fra Vesterfjord | [m$^3$ s$^{-1}$] |

Approximeres differentialleddet i ligning A.1 skrives dette således:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{y_{n+1} - y_n}{\Delta t} \tag{A.2}$$

hvor

$n$ | tidsskridt [ - ]

Sættes ligning A.2 ind i ligning A.1 fås nu det numeriske udtryk for kontinuitetligningen:

$$A_{VF,n} \cdot \frac{y_{n+1} - y_n}{\Delta t} = Q_{vandløb,n} + Q_{udløb,n} - Q_{afstrømning,n} \tag{A.3}$$

Vanddybden kan nu fastlægges i næste tidsskridt ved at isolere netop denne:

$$y_{n+1} = \frac{A_{VF,n} \cdot y_n - Q_{afstrømning,n} \cdot \Delta t + Q_{udløb,n} \cdot \Delta t + Q_{vandløb,n} \cdot \Delta t}{A_{opland}} \tag{A.4}$$

Vandstanden i Vesterfjord kan nu fastlægges ud fra til- og afstrømningerne fra Vesterfjord. Afstrømninger til og fra Vesterfjord er beskrevet i afsnit A.2.

## A.2 Model til- og afstrømninger

Afstrømningerne fra tilløbene Onsild å og Hodal bæk er modelleret ud fra regnen i de lineære reservoir model beskrevet i bilag B. Foruden vandløbene tilledes Vesterfjord også af en række regnvandsbetingede udløb.
Der arbejdes i boks-modellen som udgangspunkt ud fra plansituationen 2021, hvor der ifølge vandplanen [Mariagerfjord Kommune, 2011b] er oplande på 163 red. ha. der udleder til hhv. Vesterfjord, Hodal bæk og Onsild å. Af de 163 red. ha. er de 94 red. ha. via regnvandsbassiner. De resterende ca. 70 red. ha. udledes uforsinket via overløbsbygværker fra det fælleskloakerede afløbssystem eller ved separate regnvandsudledninger. De regnvandsbetingede udledninger akkumuleres løbende og beregnes ud fra oplandsarealerne for afløbssystemet. Derudover påregnes der også 12 ha., som løber direkte i Vesterfjord, som følge af søens eget areal.

Der udledes således til Hodal bæk, Onsild å og Vesterfjord, vand fra 94 red. ha. via bassiner, disse udledningerne sættes til 257 l/s, da det ureducerede opland er på ca. 257 ha. og der må ifølge spildevandsplanen [Mariagerfjord Kommune, 2011b] kun udledes 1 l/s pr. ureducerede hektar.
Bassinvolumenet af disse bassiner antages at være dimensioneret efter spildevandskomiteen skrift 27 [Spildevandskomiteen, 2005] med en gentagelsesperiode på 5 år og med dimensioneringsparametre, som angivet i spildevandsplanen [Mariagerfjord Kommune, 2011b]. Dermed anvendes en hydrologisk reduktionsfaktor på 0,8 og en sikkerhedsfaktor på 1,1, hvormed der fås et samlet bassinvolumen på ca. 26000 $m^3$.

Derudover er der separate regnvandsudledninger uden forsinkelse fra et opland på 36 red. ha., hvorfor disse beregnes, som direkte tilledninger. Foruden disse udledninger, afstrømmer der også vand fra overløbsbygværker med et oplandsareal på 33 red. ha. Det vides ikke, hvor stor en del af det fælleskloakerede system der går i overløb ej heller hvor meget, der løber til renseanlægget. Der vælges derfor at lave nogle antagelser omkring denne overløbsmængde, således at der kun sker overløb, når regnen overstiger en intensitet på 1 mm pr. 10 minutter. Overløbene har ud fra disse antagelser, overordnet set ingen betydning rent mængdemæssigt, som beskrevet i afsnit 2.2.2.

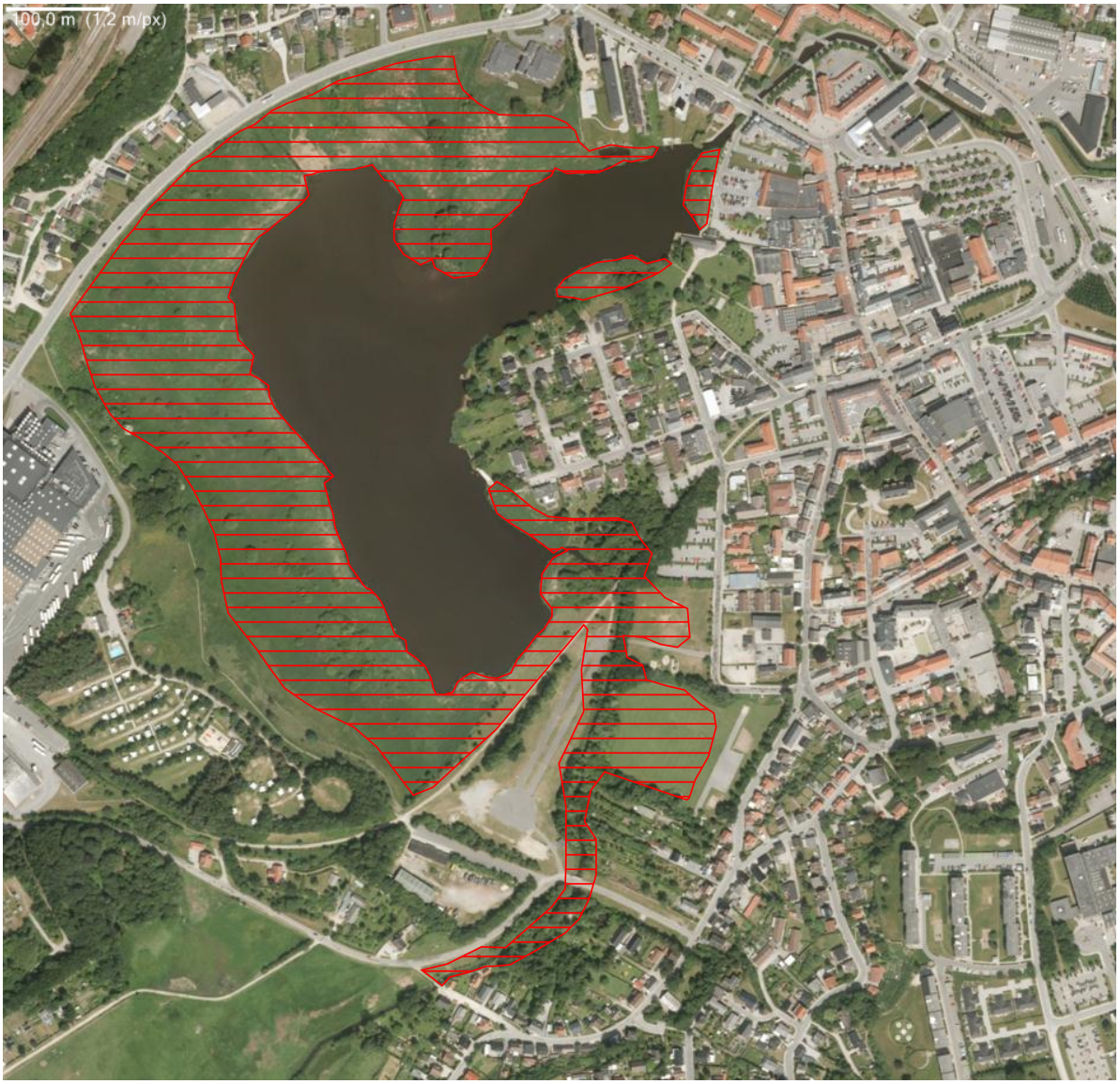
Afstrømningen fra Vesterfjord er beregnet vha. Manningformlen ud fra forskellene i vandstandene imellem Vesterfjord og Mariagerfjord. Der er her regnet med et manningtal på 30, som angivet i vandløbsregulativet for Onsild å [Mariagerfjord Kommune, 2012].

Højvandsslusen er i modellen antaget at være helt åben i situationer, hvor vandstanden er højere i Vesterfjord end i Mariagerfjord. Ligeledes er slusen antaget at være helt lukket i situationer, hvor vandstanden er højere i Mariagerfjord end i Vesterfjord. Der vil derfor som udgangspunkt ikke tages højde for om slusen evt. kun står halvt åben.
Det antages ud fra dette at der ikke kan løbe vand fra Mariagerfjord til Vesterfjord, da slusen lukker, når vandstanden er højere i Mariagerfjord end i Vesterfjord. Der vil også blive set bort fra om slusen vil være længere tid om at åbne og lukke, da der i boks-modellen kun arbejdes med hvorvidt slusen er åben eller lukket.

## A.3 Vesterfjord og Mariagerfjord

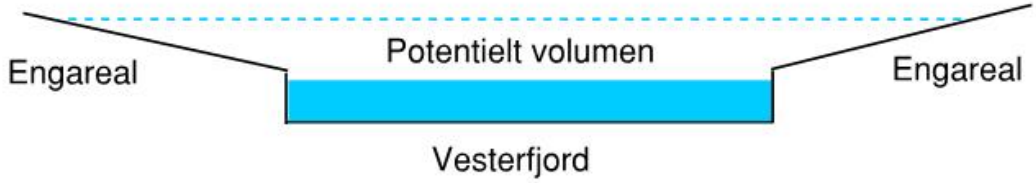
Udformningen af arealet omkring Vesterfjord ovenfor vandoverfladen er lavet på baggrund af kortopmålinger. Dette areal vil blive en del af søen såfremt vandstanden her i stiger.
Udformningen af Vesterfjord under vandoverfladen er lavet som en firkantet kasse med en dybde på 0,8 m og et tværsnitsareal på 12 ha. Denne antagelse vurderes som værende det bedste bud på baggrund af en personlig iagttagelse samt, at der ikke foreligger data for Vesterfjords udformning under overfladen. Da eneste tilgængelige data omkring Vesterfjord er, at middelvandstanden er 0,8 m og at tværsnitsarealet udgør 12 ha. Desuden er det ligeledes arealet ovenfor det nuværende niveau, som er interessant at se nærmere på i forbindelse med dette projekt.
Opmålingen af arealet omkring Vesterfjord og dermed søens mulige areal er foretaget ud fra højdeforskelle i terræn sammenholdt med dertilhørende arealer. Nuværende boligarealer omkring søen er dog ikke medtaget i disse opmålinger. På figur A.2 ses engarealer omkring Vesterfjord, som påtænkes at kunne udgøre en del af søen ved en

højere vandstand.



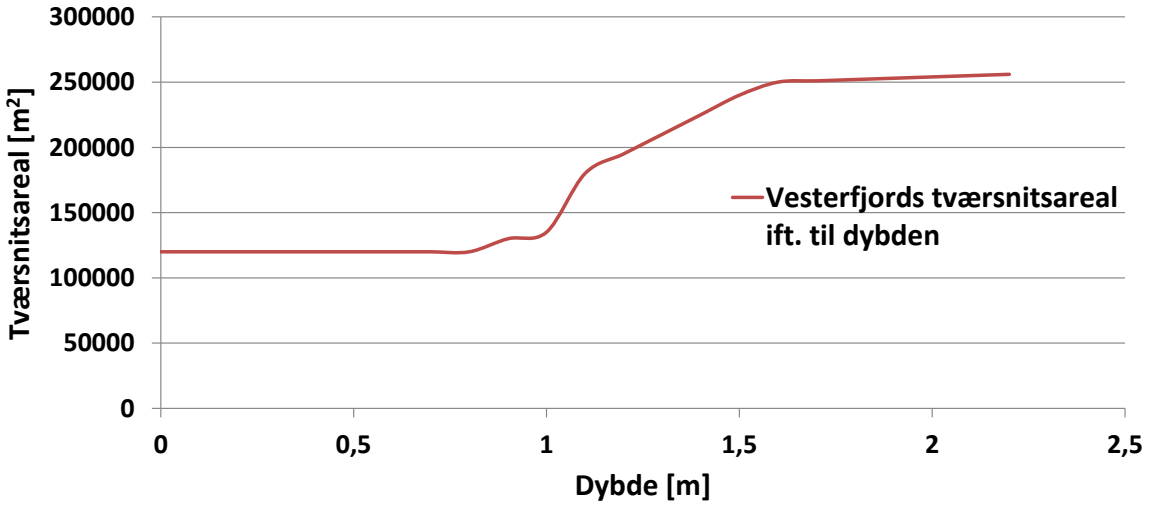

Figur A.2: Engarealer(skraveret med rødt) der påtænkes, at kunne indgå, som en del af søens areal ved en stigning i vandstanden.

Ud fra disse betragtninger vil en skitsetegning af Vesterfjord, se ud som på figur A.3.




Figur A.3: Principskitse af Vesterfjords udformning under og over det nuværende niveau.

Der her blot tale om en principskitse, da volumenet ovenfor det nuværende vandstandsniveau ikke vil være lineært. Tværsnitsarealet af Vesterfjord ift. vanddybden kan ses på figur A.4.




Figur A.4: Tværsnitsarealet af Vesterfjord ift. vanddybden.

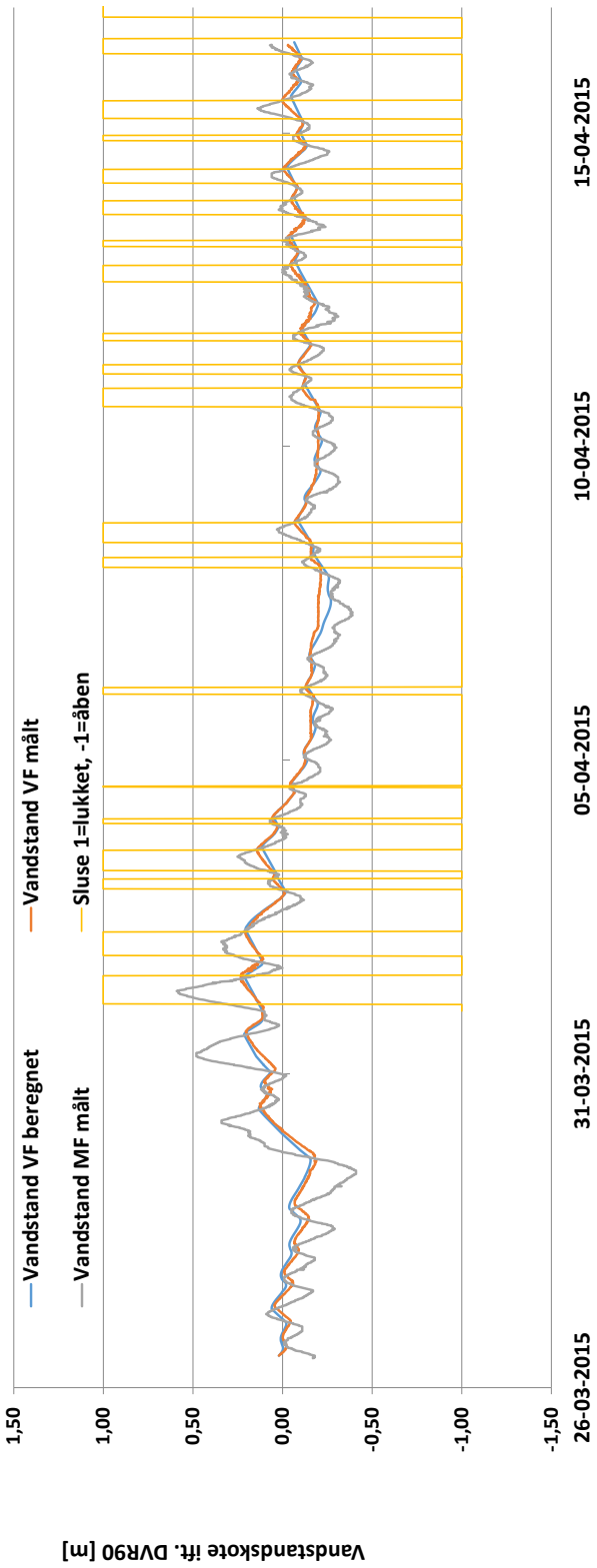
## A.4 Kalibrering

Kalibreringen af boks-modellen er foretaget ud fra to typer af observationer. Den første er slusens åbningstid, som i perioden fra den 13-08-2014 til den 15-04-2015 er målt til at have været lukket i 35% af tiden. Den beregnede lukningstid for slusen skal derfor passe med denne observation.
Den anden observation består af vandstandsmålinger i Vesterfjord i perioden fra den 26-03-2015 til den 16-04-2015. Det er med udgangspunkt i disse to observationer, at kalibreringen laves, da det er de eneste kendte data fra Vesterfjord, der kan anvendes hertil.
Slusens åbningstid er en overordnet kalibrerings faktor, hvorimod vandstandsobservationer er mere specifik kalibrerings faktor.

Selve kalibreringen sker ved, at justere på forskellige parametre i boks-modellen, herunder manningtallet for kanalen imellem Vesterfjord og Mariagerfjord, volumenet af Vesterfjord samt tilstrømningen.
Tilstrømningen ændres ved at justere på den konstante tilledning fra Hodal bæk. Det vælges ikke at justere på overløbsbygværkernes tilledninger, da disse er forsvindende lille ift. vandløbenes afstrømninger.
Det har i kalibreringen været nødvendigt at: justere manningtallet fra 30 til 25, mindske søens volumen samt øge tilledningerne fra Hodal bæk med 0,075 $m^3s^{-1}$. Den samlede afstrømning for hele oplandet svarer dermed til en afstrømning på 42% af det samlede nedbør, dette er inklusiv den regn, som er faldet i urbane områder i Hobro.

Lukningstiden af slusen er efter kalibreringen beregnet til 20% af tiden for perioden 13-08-2014 til den 15-04-2015, hvormed denne er lavere end den målte på 35%. Dette skyldes, at den konstante tilstrømning fra Hodal bæk er skruet op fra de nuværende

0,074 $m^3s^{-1}$ til 0,15$m^3s^{-1}$ for at få kalibreringen til at passe ift. den målte vandstand i Vesterfjord.
Afstrømningerne fra Hodal bæk er der dog gennemsnitligt fortsat under det halve af tilstrømningen fra Onsild å. Hvis afstrømningerne fra Hodal bæk fastholdes på den oprindelige tilstrømning, fås i stedet en lukningstid af slusen på 26%, hvilket ligger nærmere de målte værdier. Denne forskel skyldes formentlig, at slusen i praksis ikke helt fungerer, som beskrevet i modellen. Slusens åbning afhænger af trykket på hver side af slusen, hvorimod modellen regner slusen værende enten helt åben eller lukket.
Det vælges at prioritere kalibreringen ift. vandstanden for perioden fra den 26-03-2015 til den 16-04-2015, hvorfor den ekstra afstrømning fra Hodal bæk bibeholdes. På figur A.5 er den vandstandsspecifikke kalibrering vist for perioden fra den 26-03-2015 til den 16-04-2015, ligeledes er det vist i hvilke perioder, at slusen er hhv. åben og lukket.




Figur A.5: Kalibreringen af boks-modellen ift. målt vandstand i Vesterfjord.

Det kan ud fra figur A.5 ses at den målte og beregnede vandstand i Vesterfjord følger hinanden med ganske få undtagelser. Det kan ses, at slusens luknings- og åbningstider stemmer godt overens med de beregnede, men at der er perioder, hvor vandstanden i

Vesterfjord stiger, selvom slusen ikke er lukket. Dette kan skyldes den måde, som slusen fungerer på, hvor der kan være situationer, som tidligere beskrevet, hvor slusen ikke har været helt lukket, men kun delvist lukket, hvormed der har været begrænsning på afstrømningen fra Vesterfjord.
Dette forklarer også, hvorfor slusens beregnede åbningstid fra 01-04-2015 til og med den 15-04-2015 er på 42%, hvorimod den målte er på 26%. Dette kan skyldes, at slusen i praksis ikke lukker ligeså hurtigt som i modellen, hvormed der vil kunne trænge vand ind fra Mariagerfjord til Vesterfjord, hvilket der ikke tages højde for i modellen.

Det fremgår af figur A.5, at når vandstanden i Vesterfjord når niveauet omkring kote -0,20 m, så stopper vandstanden med at falde. Dette er tilfældet omkring den 6-7 april. Hvilket kan skyldes, at vandstandsloggeren i dette niveau bliver tørlagt. Der er ifølge loggerdata stadig vand 15-20 cm over loggeren i Vesterfjord. Grunden hertil kan skyldes, at der kan være situationer, hvor vandstanden udenfor røret, hvori loggeren er placeret, bliver lavere end vandstanden indeni røret. Dette er tilfældet hvis vandstanden bliver lavere end niveauet for rørets huller, hvormed der ikke er nogen vandudveksling imellem rør og sø. Den seneste nedbør op til den 6. april er faldet den 3. april, hvorfor det ikke skyldes en stor tilstrømning.
Det kan i bagklogskabens klare lys siges, at der burde have været to vandstandsloggere i søen, så lokale forskelle i vandstanden vil kunne udelukkes, men grundet tilgængeligheden af udstyr, har der kun været anvendt en vandstandslogger. Det kan, som beskrevet, ligne at vandstandsloggeren er blevet tørlagt eller at loggeren har målt på vandstanden inde i røret, som har været højere end vandstanden rundt om røret.

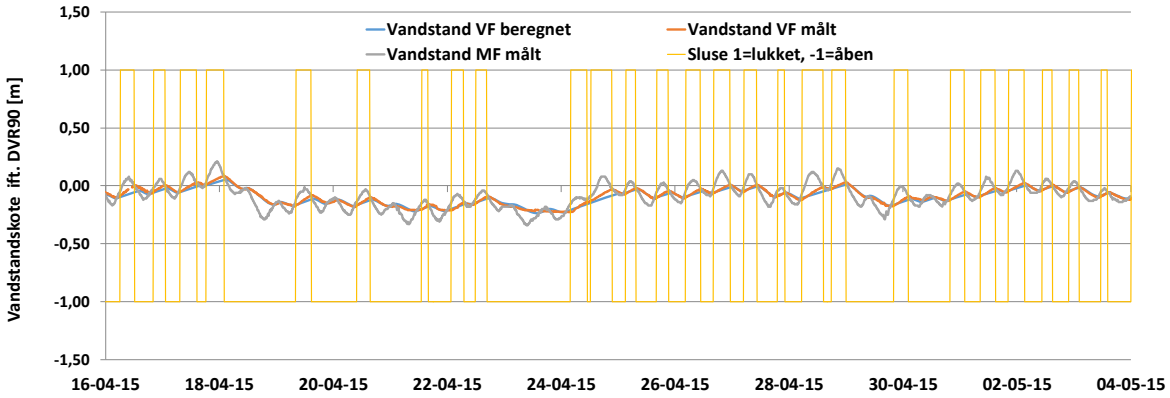
En anden usikkerhed ifm. kalibreringen er de målte vandstandsdatas interval, som for hele perioden svinger i intervallet omkring kote -0,20 m til kote 0,25 m. Det kan derfor være svært at vurdere om modellen er ligeså nøjagtig ved vandstande, der ligger udenfor kalibreringsintervallet. Dette taget i betragtning, er det svært at vurdere, om det opmålte volumenet af Vesterfjord ved vandstande højere end kote 0,25 m passer med det faktiske volumen.
Et usikkerhedsmoment er her Fyrkat Engsø, som bidrager med et ekstra volumen når vandstanden i Vesterfjord når kote 0,3-0,4 m. Volumenet af Fyrkat Engsø er ikke medregnet i modellen. På figur A.6 kan Fyrkat Engsø ses.

Figur A.6: Fyrkat Engsø der ligger opstrøms Vesterfjord via Onsild å.

Denne usikkerhed ændrer dog ikke ved selve problemstillingen med stigende havvandstand i Mariagerfjord. Det er denne randbetingelse, der er den afgørende for vandstanden i Vesterfjord, da en vandstandsstigning i Mariagerfjord vil parallelforskyde en vandstandsstigning ind i Vesterfjord.
Der hvor denne usikkerhed vil kunne have en indvirkning, er i ifm. responstiden ift. Vesterfjords opfyldningstid, da et størrere volumen vil give en længere responstid.

## A.5 Validering af boks-model

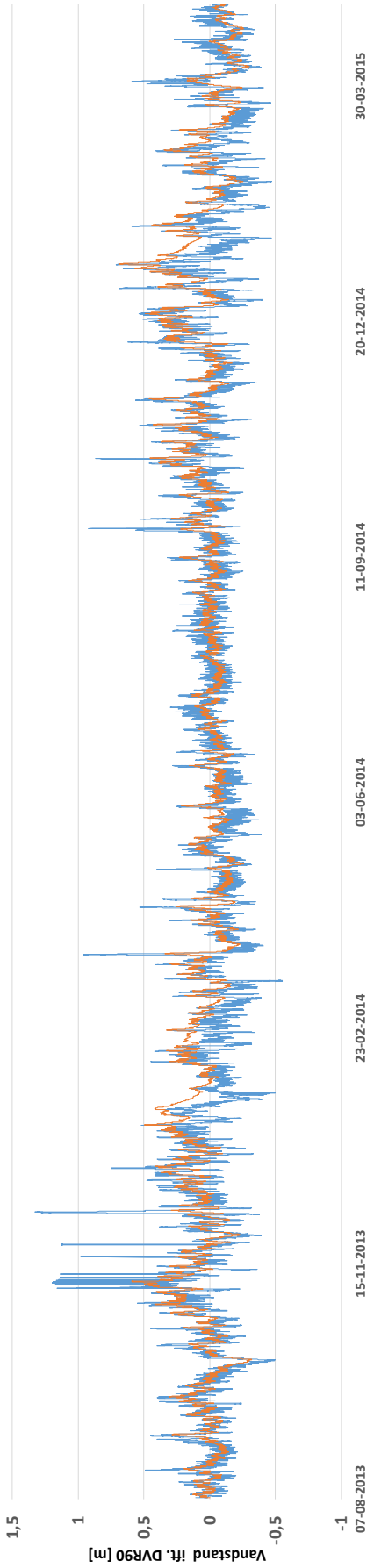
Valideringen af boks-modellen laves efter kalibreringen ved at beregne vandstanden i Vesterfjord for perioden fra den 17-04-2015 til den 03-05-2015 og sammenholde disse med målte vandstande fra Vesterfjord. Valideringen af boks-modellen kan ses på figur A.7.




Figur A.7: Valideringen af boks-modellen for perioden fra den 17-04-2015 til den 03-05-2015 ud fra den beregnede og målte vandstand i Vesterfjord.

Ud fra valideringen af boks-modellen på figur A.7, synes modellen at være effektiv til at simulere vandstande samt lukningstider for slusen, dog med en mindre lukningstid end målt.
Dette kan skyldes måden hvorpå loggerstationen, som registrerer hvorvidt slusen er åben eller ej, laver registreringerne. Hvis f.eks. slusen registreres som værende åben i situationer, hvor slusen kun er lidt åben. Hvorimod modellen altid regner med at slusen enten er helt åben eller lukket. Dette kan give en usikkerhed på slusens lukningstid ift. den registrerede lukningstid. Det kan dog ses på figur A.7 at slusens åbningstider passer meget godt ift. Der er ligeledes usikkerheder forbundet med udformningen af Vesterfjord i modellen, da denne er baseret på opmålinger vha. højdekort ovenfor den nuværende normalvandstand. Disse opmålinger vil ikke være helt præcise, men er det bedste bud på Vesterfjords volumen. Derudover er der lavet en afgrænsning, således at området omkring Fyrkat Engsø ikke er medregnet, da der ikke foreligger nogle data omkring området.
Der er en usikkerhed forbundet med vandstandsberegninger udenfor kalibrerings- og valideringsintervallet, da der ikke foreligger nogle vandstandsmålinger, der kan be- eller afkræfte vandstandsberegninger udenfor dette interval. Dette skyldes, at der i måleperioden ikke har været store udsving i vandstanden. En længere tidsserie af vandstandsmålinger ville kunne have fjernet denne usikkerhed.
Tiltrods for disse usikkerheder, vurderes modellen at være et effektivt værktøj til at beregne vandstande i Vesterfjord og deraf lukningstider for slusen.

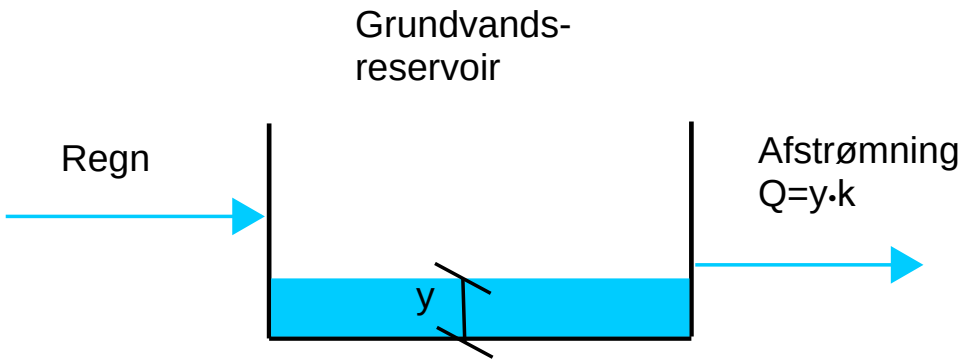
## A.6 Resultat af boks-model




Figur A.8: Den beregnede vandstand i Vesterfjord samt den målte vandstand i Mariagerfjord for perioden fra den 07-08-2013 til 15-04-2015.

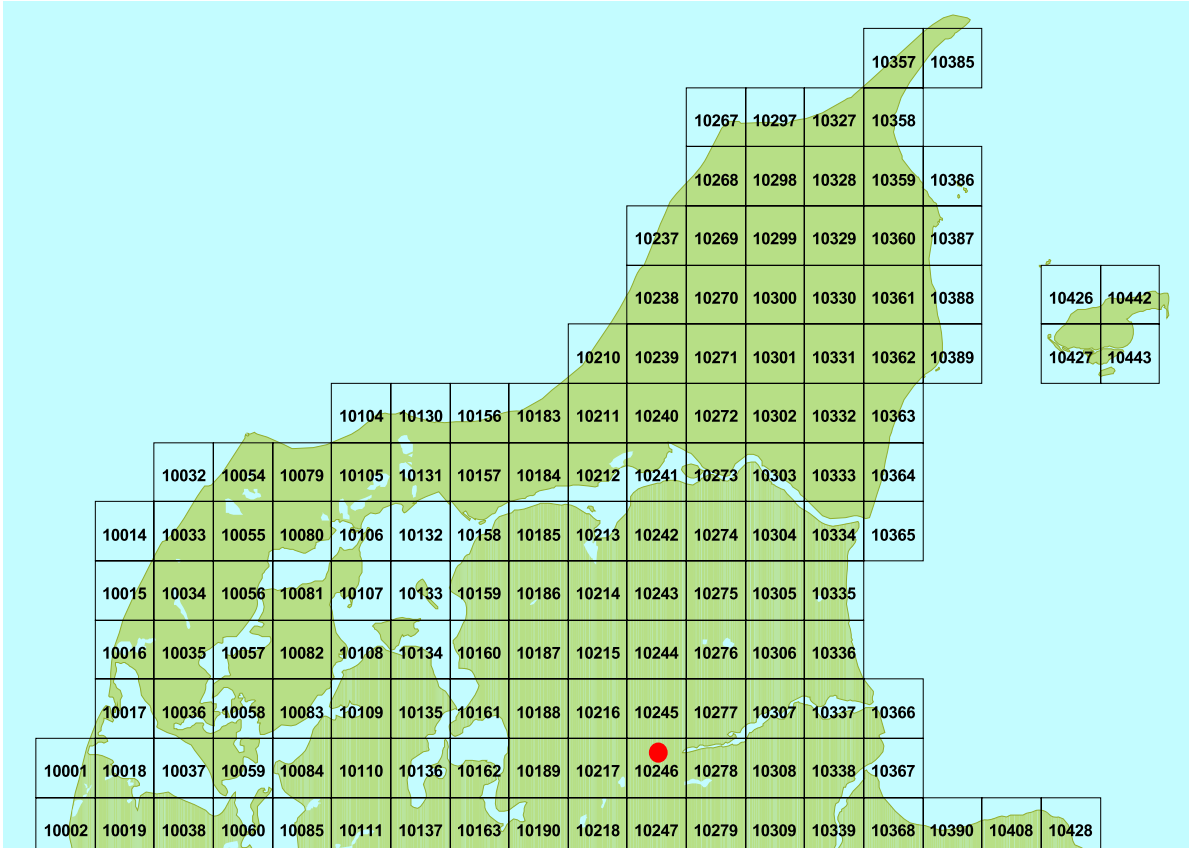
# B Lineær reservoir model

Det er valgt at lave en model for hhv. vandløbene Onsild å og Hodal bæk. Disse modeller skal simulere afstrømninger i vandløbene ud fra regndata, da der ikke foreligger afstrømningsmålinger for vandløbene af nyere dato. Det er derfor nødvendigt, at modellere disse afstrømninger fra vandløbene for at have nogle input data til boks-modellen. Det vælges at anvende lineære reservoir modeller til at estimere afstrømningerne fra vandløbene, da denne modeltype er velegenet til at estimere vandløbsafstrømninger til dette formål.
Modellerne laves ud fra et reservoir, deraf navnet, hvor input udgøres af nedbør og output udgøres af vandføringer, som er lineære propertionelle med vandstanden i reservoiret. Reservoiret kan betragtes som et grundvandsreservoir, men er i modellen udført som et kasse-magasin. Modellerne regnes numerisk og stationært. På figur B.1 er vist en principskitse over de lineære reservoir modeller. De lineære reservoir modeller er vedlagt på CD-bilag C.1.




Figur B.1: Forsimplet principskitse af vandløbsmodellen.

De hydrologiske oplande for hhv. Onsild å og Hodal bæk er jf. [Novana, 2009] opgjort til hhv. 31,8 $km^2$ og 18,8 $km^2$. Oplandene anvendes til at omregne nedbørsdata til volumener. De anvendte nedbørsdata er tilvejebragt af [Danmarks Meteorologiske Institut, 2015], hvor disse er genereret ved interpolering af nedbørsdata målt i området omkring et 10x10 km grid omkring Hobro(grid 10246), se figur B.2. Nedbørsdata er interpoleret til midtpunktet for det anvendte grid.




Figur B.2: 10x10 km gridkort over interpolationsceller for regnvejrdata, hvor den røde prik markerer det anvendte grid [Danmarks Meteorologiske Institut, 2015].

Denne type nedbørsdata er selvfølgelig behæftet med en usikkerhed, da disse er interpoleret udover et 10x10 km$^2$ stort område, hvorfor de største og mindste peaks vil blive tilpasset til midtpunktet af griddet via interpolation. Dette resulterer således i et gennemsnit af nedbøren i griddet.
Dette giver selvfølgelig nogle usikkerheder, men da vandløbenes oplande strækker sig over store områder, kan det være med til at mindske usikkerheden. Tilgengæld vil usikkerheder, som f.eks. sne- vindpåvirkninger af regnmålere blive mindsket, da der anvendes mere end én regnmåler.
Usikkerheden omkring interpolationen vil blive størst i modellen for Hodal bæk, da Hodal bæks opland ligger i udkanten af griddet, hvorimod Onsild å ligger mere eller mindre i midten af griddet.

## B.1 Teoretisk baggrund for lineære reservoir modeller

Der tages udgangspunkt i kontinuitetsligningen, som for en lineær reservoir model skrives således:

$$A_{opland} \cdot \frac{dy}{dt} = (P - E) \cdot A_{opland} - Q_{afstrømning} \tag{B.1}$$

hvor

| | | |
|---|---|---|
| $A_{opland}$ | Oplandsarealet | [$m^2$] |
| $y$ | Vandstandsdybde | [m] |
| $t$ | Tid | [s] |
| $P$ | Nedbør | [m $s^{-1}$] |
| $E$ | Fordampning | [m $s^{-1}$] |
| $Q_{afstrømning}$ | Afstrømningsvandføring | [$m^3 s^{-1}$] |

Fordampningen er som udgangspunkt konstant, men det er valgt at sætte denne højere i sommermånederne juli og august og lavere i januar, februar samt først halvdel af marts. Fordampningen dækker over alt det vand, som ikke afstrømmer i modellen, herunder fordampning, initial tab, vandsboringer osv.

Differentialleddet approximeres efterfølgende, hvormed differentialleddet kommer se ud som beskrevet i ligning B.2.

$$\frac{dy}{dt} = \frac{y_{n+1} - y_n}{\Delta t} \tag{B.2}$$

hvor

| | | |
|---|---|---|
| $n$ | tidsskridt | [ - ] |

Kombineres ligning B.1 og B.2 fås kontinuitetsligningen opskrevet numerisk.

$$A_{opland} \cdot \frac{y_{n+1} - y_n}{\Delta t} = (P_n - E_n) \cdot A_{opland} - Q_{afstrømning,n} \tag{B.3}$$

Den lineære reservoir model er baseret på antagelsen, at der er en lineær propertionalitet mellem afstrømningsvandføringen og vanddybden i reservoiret. Indføres denne antagelse fås afstrømningsvandføringen udtrykt, som reservoirdybden ganget med en lineær propertionalitetskonstant:

$$Q_{afstrømning} = k \cdot y_n \tag{B.4}$$

hvor

| | | |
|---|---|---|
| $k$ | Lineær propertionalitetskonstant | [$m^2 s^{-1}$] |

Kombineres ligning B.3 og B.4 kan vanddybden i reservoiret beskrives som vist i ligning B.5.

$$y_{n+1} = \frac{A_{opland} \cdot (P_n - E_n) \cdot \Delta t - k \cdot \Delta t \cdot y_n + A_{opland} \cdot y_n}{A_{opland}} \tag{B.5}$$

Ligningerne for den lineære reservoir model er nu opskrevet og kombineres disse fås følgende udtryk for afstrømningsvandføringen:

$$Q_{afstrømning,n+1} = k \cdot (\frac{A_{opland} \cdot (P_n - E_n) \cdot \Delta t - k \cdot \Delta t \cdot y_n + A_{opland} \cdot y_n}{A_{opland}}) \quad \text{(B.6)}$$

De lineære reservoir modeller er lavet ud fra disse ligninger.

## B.2 Kalibrering af lineære reservoir modeller

Kalibreringen af de lineære reservoir modeller gøres ved at tilpasse de beregnede afstrømninger til målte tidsserier for afstrømningen. Onsild å kalibreres efter afstrømningsmålinger i perioden 2004 til og med 2007 målt ved Ålykkevej, hvorfor der selvfølgelig anvendes regndata fra den samme periode. Hodal bæk kalibreres på samme måde, men her anvendes afstrømningsmålinger for år 2011 målt tæt ved udløbet til Vesterfjord. De anvendte tidsserier i kalibreringen, er valgt på baggrund af tilgængeligheden af afstrømningsdata.

Afstrømningsmålingerne er angivet som middelvandføringer pr. døgn, ligeledes er de tilgængelige regndata også angivet i nedbør pr. døgn. Det er derfor valgt, at midle værdierne ud over døgnet således, at værdierne er angivet i 10 minutters intervaller. Resultaterne af modellerne er dermed kompatible med boks-modellen, som er lavet med tidsskridt på 10 minutter, da der foreligger nyere regndata tilgængelig med finere tidsintervaller.
Selve kalibreringen foretages ved at justere på bundarealet af reservoiret samt den lineære propertionalitetskonstant. Det skal samtidig sikres, at der er sammenhæng i vandbalancen, således at den faldne mængde nedbør, minus fordampningen, stemmer overens med den afstrømmede vandmængde.

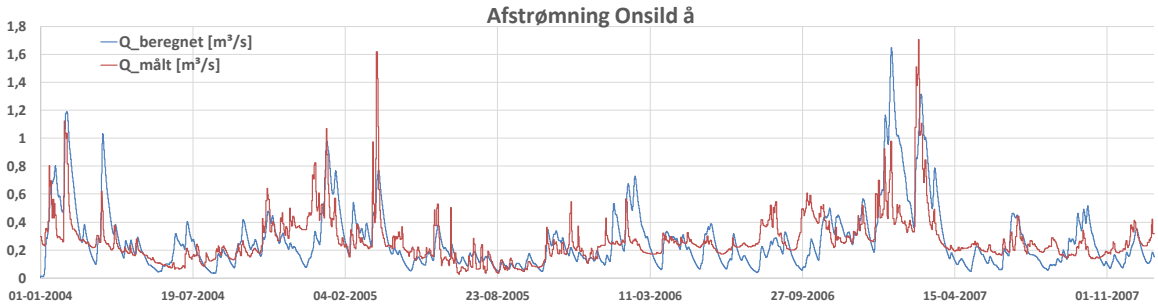
### B.2.1 Onsild å

For Onsild å er regnen anvendt som et glidende gennemsnit, dette er gjort da det ikke kan forventes at nedbøren afstrømmer samme dag, som den falder. Der anvendes et glidende gennemsnit for nedbøren over de seneste 2 døgn. Der laves dermed en tidsforskydning af nedbøren, således at nedbøren først afstrømmer 48 timer efter at den faldet. Det korte gennemsnit er valgt for ikke at forskyde afstrømningskurven for meget frem i tiden. De justerede parametre og de anvendte værdier for Onsild å efter kalibreringen er listet i tabel B.1.

| Parameter | Værdi | Enhed |
|---|---|---|
| Bundareal af reservoir | $2{,}5 \cdot 10^6$ | [$m^2$] |
| Lineær propertionalitetskonstant | 28 | [$m^2 s^-1$] |
| Fordampning (jan., feb., mar.) | 20 | [%] |
| Fordampning (jul., aug.) | 85 | [%] |
| Fordampning (Resterende måneder) | 70 | [%] |

Tabel B.1: Justerede parametre og anvendte værdier for den lineære reservoir model for Onsild å.

Det kan ud fra tabel B.1 ses, at de anvendte fordampninger er forholdsvis høje med undtagelse af månederne januar, februar og første halvdel af marts. Dette skyldes, at det har været nødvendigt, at justere fordampningen ned i denne periode for få kalibreringen til at passe. Ligeledes er fordampningen sat yderligere op for juli og august.
Bundarealet af reservoiret er sat ned fra oprindeligt at have haft samme størrelse som oplandetsarealet. Dette er valgt for at få afstrømning til at falde og stige hurtigere ift. nedbøren. På figur B.3 er den beregnede afstrømning sammen med den målte afstrømning for Onsild å plottet efter kalibreringen.




Figur B.3: Beregnet afstrømning plottet sammen med den målte afstrømning, hvor den blå linie viser den beregnede afstrømning og den røde linie viser den målte.

På figur B.3 kan det ses at den beregnede og målte afstrømningen ikke stemmer helt overens. Denne forskel kan skyldes flere faktorer, herunder måden hvorpå regndataene er fremskaffet på, som beskrevet tidligere. Derudover giver antagelsen omkring linearitet mellem regnen og afstrømningen også en usikkerhed, da det må forventes at denne linearitet ikke altid er helt gældende.
Ligeledes kan der være en usikkerhed i form af regnvandsbetingede udløb, der er tre af disse opstrøms Ålykkevej, hvor målingerne er foretaget, men denne mængde vand indgår dermed i målingerne. Men modellen kan ikke tage højde for vand der ikke afstrømmer ligesom resten af vandløbets opland.

Antagelsen omkring fordampningen er ligeledes en kilde til usikkerhed, da fordampningen varierer væsentlig mere over året, end der er taget højde for i modellen. Fordampningen kunne i stedet have været lavet som en funktion af temperaturen og lysinstrålingen, men det er valgt ikke at gå yderligere i detajler med fordampningen, da det ikke vurderes at gøre nogen nævneværdig forskel i boks-modellen.
Ligeledes kan der være usikkerheder forbundet med måden, hvorpå afstrømningsmålingerne er fremskaffet på. Disse er fremskaffet via en QH-station kombineret med månedlige målinger til kalibrering af målte vandstande. QH-stationen er placeret 357 m opstrøms udløbet til Vesterfjord med en højdeforskel i bundkoten på blot 7 cm, hvorfor en eventuel tidevandspåvirkning på Vesterfjord også kan tænkes at have en påvirkning på vandstanden ved Ålykkevej. Vandføringsmålingerne er angivet på dagsbasis, hvorfor det ikke er muligt at undersøge om der er en tidevandspåvirkning af målingerne.

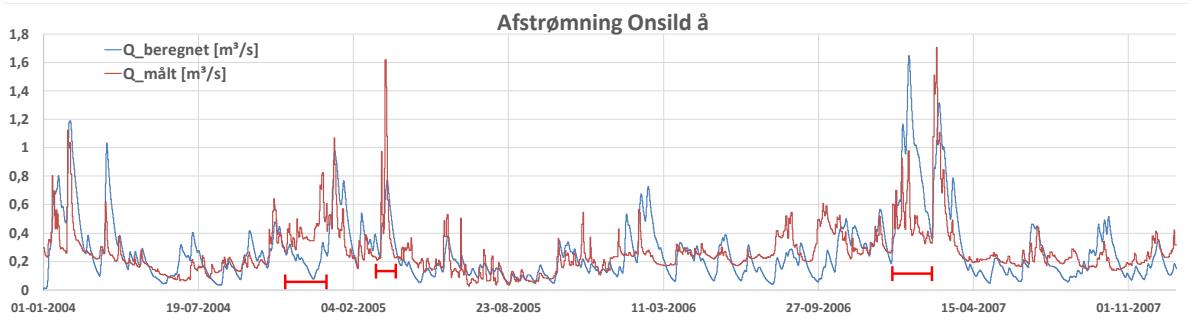
En anden usikkerhedsfaktor kan være grødeskæringer i vandløbet. Disse vil kunne give anledning til en større afstrømning umiddelbart efter at de er foretaget, men tilgengæld vil grøden give en mindre og stabil mere afstrømningen.
Dette kan være en del af forklaringen på, hvorfor afstrømningerne i situationer i

sommermånederne tømmes hurtigere end hvad målingerne angiver, da der ikke foretaget grødeskæring på daværende tidspunkt. De målte afstrømningsmålinger er mere stabile, hvilket kan skyldes at grøden bevirker, at afstrømningen blive mere langstrakte. Ifølge regulativet for Onsild å [Mariagerfjord Kommune, 2012], har grødeskæringen i perioden fra år 2000 til år 2008 været på to gange årligt med terminer i perioderne fra 10. juni til 1. juli og 1. september til 1. oktober.

En usikkerhedsfaktor, der er svær at tage hensyn til, er mængden af nedbør faldet som sne, da denne snemængde i smelteperioder kan give en kraftig stigning i afstrømningen, men er i modellen afstrømmet umiddelbart efter nedbøren er kommet.

Tiltrods for disse usikkerheder vurderes kvaliteten af hhv. de anvendte data samt modellen at være gode nok til at kunne modellere afstrømningen for Onsild å. Denne vurdering tager udgangspunkt i figur B.3, da det her kan ses, at den beregnede og den målte afstrømning stemmer godt overens, dog med nogle enkelte undtagelser. Overordnet set passer den beregnede og den målte afstrømning, rent mængdemæssigt, godt sammen, da den beregnede afstrømningen for perioden svarer til en nedbør på 444 mm og den målte afstrømning til en nedbør på 423 mm.

For at give et estimat på usikkerhederne, er det valgt at se på forskellen i de afstrømmede vandmængder i de perioder, hvor modellen ikke stemmer overens med afstrømningsmålingerne. Der ses på tre perioder, hvor de to er peak situationer, da det er disse som har den største indvirkning i boks-modellen. Disse situationer er vist på figur B.4.




Figur B.4: Beregnet afstrømning plottet sammen med den målte afstrømning. Markerede situationer er undersøgt for hvor stor mængdeforskellen er.

De tre situationer er vist på figur B.4 og er kvantificeret i tabel B.2 sammen med hele den perioden anvendt under kalibreringen.

| Periode | Forskel ift. målt afstrømning [%] | Antal dage i perioden |
|---|---|---|
| (1) 16-11-04 til 14-01-05 | -55,5 | 46 |
| (2) 10-03-05 til 06-04-05 | -10,4 | 28 |
| (3) 29-12-06 til 15-02-07 | 71,3 | 49 |
| (4) 01-01-04 til 31-12-07 | 5,0 | 1461 |

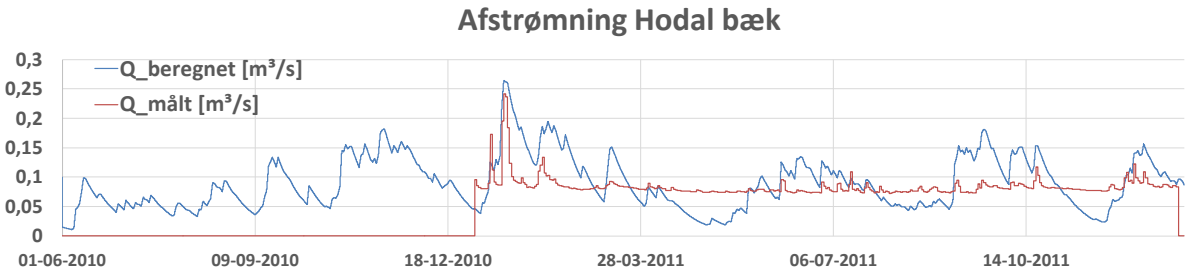
Tabel B.2: Værdier for situationer, hvor modellen ikke passer med de målte afstrømninger.

Ud fra tabel B.2 kan det ses, at der i situationerne 1 og 3 er en ret stor forskel imellem målte og beregnede værdier. I situation 1 genererer modellen ikke nok vand og i den 3. situation genererer modellen for meget vand. I situation 2 er mængdeforskellen så lille, at den vurderes som værende uden nævneværdig betydning.
Den første situation er kritisk, fordi afstrømningen er for lille i en periode på 46 dage, hvorfor det kan gå hen og få en betydning for vandstanden i Vesterfjord, der i dette tilfælde vil blive for lav. Modsat i situation 3 genererer modellen en for stor afstrømning, hvilket kan have den omvendte effekt på modellen, hvor vandstanden i Vesterfjord kan blive for høj.

Ud fra disse betragtninger kan der være modelusikkerheder, men overordnet set rammer modellen rigtigt og der er tale om ganske få peaks, hvor modellen rammer helt ved siden af. Det vurderes derfor, at modellen er god nok til at kunne anvendes, som input til boks-modellen.
Boks-modellen er styret af flere randbetingelser end blot tilledningen fra Onsild å, hvorfor usikkerheder herfra ikke alene vil være den afgørende faktor. I boks-modellen er den afgørende randbetingelse vandstanden i Mariagerfjord, hvilket betyder at fejl i den lineære reservoir model får mindre betydning.

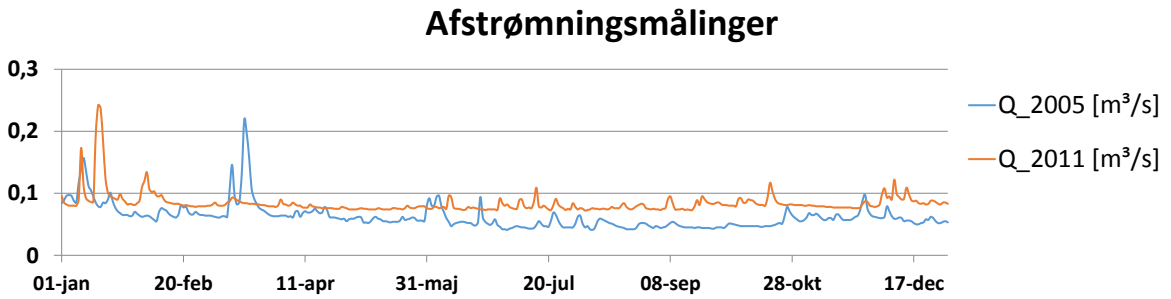
### B.2.2 Hodal bæk

Der er for Hodal bæk også lavet en lineær reservoir model, som er lavet ud fra de samme antagelser og betragtninger som Onsild å. Der er i den lineære reservoir model for Hodal bæk ikke anvendt glidende gennemsnit, da dette forringer kalibreringen af modellen. På figur B.5 er den beregnede og den målte afstrømning plottet efter kalibreringen.




Figur B.5: Beregnet afstrømning plottet sammen med den målte afstrømning, hvor den blå linie markere den beregnede afstrømning og den røde den målte.

Det kan ud fra figur B.5 ses, at de beregnede afstrømninger ikke stemmer særlig godt overens med de målte. Det fremgår at vandføringerne forbliver mere eller mindre konstante lige med undtagelse af par peaks i starten. Det vælges derfor at undersøge vandføringsmålinger fra et andet år, da det er ret usædvanligt, at et vandløb kan have en så konstant vandføring. På figur B.6 kan vandføringsmålinger for Hodal bæk for år 2005 og 2011 ses.




Figur B.6: Målt afstrømning plottet for år 2005(blå) og 2011(orange).

Det kan på figur B.6 ses, at samme afstrømningsmønster er gældende for år 2005. Ud fra disse betragtninger vurderes det, at det vil give misvisende resultater at anvende den lineære reservoir model for Hodal bæk, hvorfor der i stedet anvendes en konstant afstrømningsværdi. Afstrømningen vælges derfor som et gennemsnit af afstrømningen for årene 2005 og 2011, da disse er de eneste data tilgængelige for vandløbet. Dette vurderes, at være en rimelig antagelse, da vandløbets afstrømningen er tæt på at være konstant. Gennemsnitsafstrømningen for Hodal bæk for de to år på 0,074 $m^3/s$.
Ved at have en fast afstrømning fra Hodal bæk, fås der en basisafstrømning for vandløbene, således at afstrømningerne aldrig går i nul.

# C CD-bilag

Bilags-cd'en indeholder følgende elektroniske bilag:

## C.1 Lineære resorvoir modeller

## C.2 Boks-model

## C.3 Vandstandsdata

## C.4 Slusedata