Notat

VIBORG KOMMUNE

Oversvømmelsesrisiko for broer og vejanlæg omkring Hjarbæk Fjord

22. august 2016
Projekt nr. 225759
Version 2
Dokument nr. 1220760754
Udarbejdet af LLF/BJP/ERI
Kontrolleret af CMR
Godkendt af BJP

1 INDLEDNING OG BAGGRUND

Viborg Kommune har bedt NIRAS om at udarbejde en vurdering af risikoen for, at der kan ske oversvømmelse af broer og vejanlæg i forbindelse med å-udløbene til Hjarbæk Fjord. Der er specifikt udpeget 4 broer (Figur 1).



Figur 1. De fire vejbroer som der udarbejdes risiko vurdering for.

Når vandet står højt i Lovns Bredning vil sluserne ved Virksunddæmningen være lukket. Vandstanden i Hjarbæk Fjord vil derfor, ved højvande i Lovns Bredning i hovedsagen være påvirket af, hvor meget vand der strømmer til fra oplandet samt den nedbør, der direkte tilføres fjorden i samme periode.

NIRAS A/S
Sortemosevej 19
3450 Allerød

CVR-nr. 37295728
Tilsluttet FRI
www.niras.dk

T: +45 4810 4200
F: +45 4810 4300
E: niras@niras.dk

D: 60208067
M: 60208067
E: llf@niras.dk

Stormflodshændelser med forhøjet vandstand og samtidig stor afstrømning fra oplandet er ikke direkte koblede eller relaterede hændelser. Omvendt forventes de heller ikke at være fuldstændigt uafhængige hændelser. Højvande kan i høj grad være korreleret til vejrsituationer, der samtidig giver anledning til stor nedbør.

Korrelationen belyses imidlertid ikke i denne initiale vurdering, der alene baseres på overslagsmæssige *worst case beregninger*.

2 METODE, DATAGRUNDLAG OG FORUDSÆTNINGER

2.1 Metode

På baggrund af højvandsstatistik for Lovns Bredning og Hjarbæk Fjord beregnes med udgangspunkt i regulativet (se afsnit2.2) den lukkeperiode som er længst.

På baggrund af afstrømningsstatistik fra målestationer i de større åer beregnes den maksimale tilstrømning til Hjarbæk Fjord indenfor en periode af samme længde som den længste lukkeperiode. Denne omregnes til en vandspejlsstigning i Hjarbæk fjord.

Den beregnede vandspejlsstigning må betragtes som et *worst-case scenarium*, idet der kombineres to ekstreme og sjældent forekommende hændelser, ekstrem havvandstand og ekstrem afstrømning. Begrundelsen herfor er, at yderligere og langt mere omfattende dynamiske beregninger kan undgås, såfremt dette indledende *worst case scenarium* ikke, eller oven i købet er langt fra, at give anledning til oversvømmelser af vejanlæg og broer.

Worst case scenariet beregnes både for de nuværende havvandstande og forventede havvandstande i år 2050, hvor alle havvandstande antages at stige med 0,50 m i forhold til i dag.

2.2 Regulering af Virksunddæmningen

Sluserne i Virksunddæmningen styres efter et regulativ / 1/. Der er en afvandingssluse og en skibsfartssluse installeret i dæmningen.

Skibsfartsslusen anvendes som gennemstrømningssluse, når vandstandsforskellen imellem Lovns Bredning og Hjarbæk Fjord er mindre end 0,15 m. Den lukkes, når vandstanden i Hjarbæk Fjord overstiger 0,4 m DNN (0,35 m DVR90). Skibsfartsslusen må i øvrigt kun åbnes, når dæmningen og broen er bemandet.

Afvandingsslusen reguleres automatisk efter følgende bestemmelser:

<u>Nordgående strøm:</u>

- Portene lukkes helt, såfremt vandstandsforskellen mellem Hjarbæk Fjord og Lovns Bredning bliver større en 0,6 m.

Sydgående strøm:

- Portene lukkes helt såfremt vandstanden i Hjarbæk Fjord bliver lig med 0,4 m DNN.

- Portene lukkes helt såfremt vandstandsforskellen bliver større end 0,3 m.

2.3 Beregning af længste lukkeperiode

2.3.1 Datagrundlag

Viborg kommune har leveret vandstandsdata fra Virksunddæmningen.

Der er modtaget 4 datasæt, 2 for hver side af Virksunddæmningen:

- Station 13.13 Lovns Bredning (døgnmiddel, 1992-2011)
- Station 13.02 Hjarbæk Fjord (døgnmiddel, 1977-2002)
- Dæmningens vandstandsmålinger på begge sider (timedata, 2005-2016) - NIRAS har omregnet dem til døgnmiddel

Målingerne for Lovns Bredning overlapper med 6 år i de to datasæt og stemmer ikke helt overens. Specielt i starten af overlappet (2005) er der stor forskel på målingerne. Dette kan skyldes den metode der er anvendt til at beregne døgnvandstande. Efter en pauseperiode i timedata (år 2006 mangler), er der acceptabel overensstemmelse mellem de to datasæt (få datapunkter med forskel på over 10cm). Det er valgt kun at benytte døgnværdierne for Lovns Bredning indtil 4/4-2005, hvor der er timedata. Derefter benyttes kun timedata omregnet til døgnmiddel.

2.3.2 Beregning af længste lukkeperiode

Beregningerne er udført i regneark (Excel). Beregningerne er udført ved at omsætte regulativets bestemmelser til matematiske logiske udsagn og derved beregne om begge sluser er lukkede eller mindst én af sluserne er åben (kun afvandingsslusen eller begge sluser). Herefter er længden af de perioder, bestående af sammenhængende døgn, hvor sluserne er lukkede beregnet og endelig er den længste periode i antal døgn fundet.

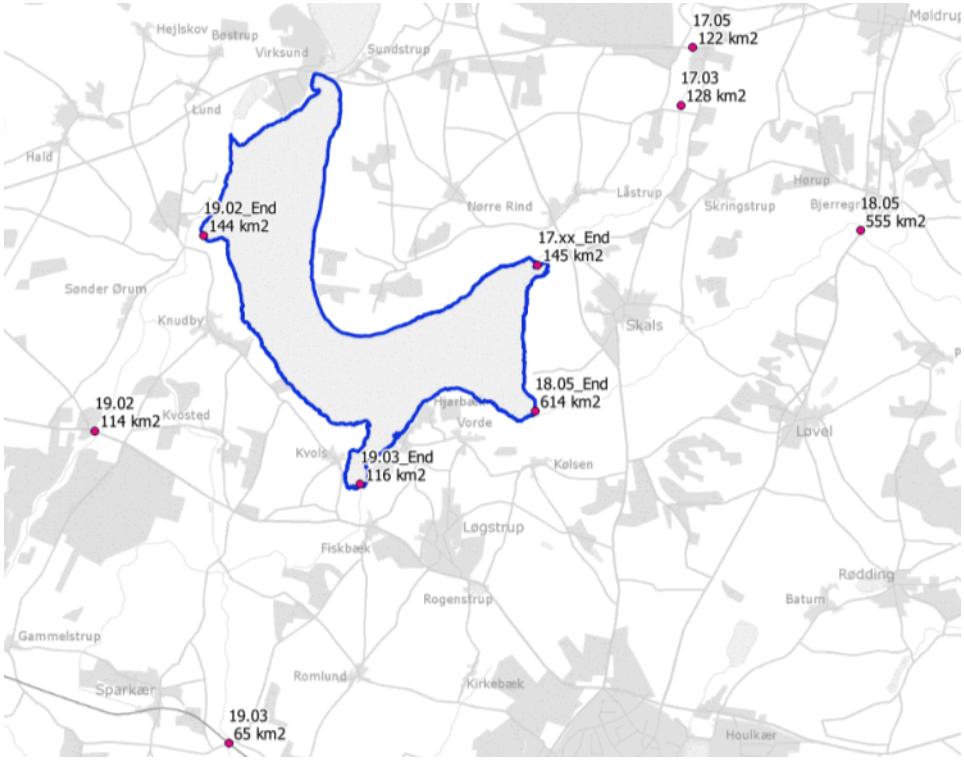
Disse beregninger er både foretaget på baggrund af de nuværende vandstande og i et fremtidigt *år 2050 worst case scenarium*, hvor vandstandene generelt er forøget med 0,50 m. Der er altså ikke ændret på bestemmelserne for åbning og lukning af sluserne.

Beregningerne er ikke helt realistiske, idet der beregningsmæssigt ændres på vandstandene i både Lovns bredning og Hjarbæk Fjord.

2.4 Beregning af vandtilførsel til Hjarbæk Fjord

2.4.1 Datagrundlag

Der er modtaget afstrømningsdata fra målestationer i oplandet til de 4 største åer med udløb i Hjarbæk Fjord. Det er Simested Å, Skals Å, Fiskebæk Å og Jordbro Å. Stationernes placering, oplandsareal og åernes areal ved udløbet på kysten fremgår af Figur 2 og Tabel 1. Der foreligger data fra alle 4 åer i perioden fra medio april 1984 til og med 31. december 2012.



Figur 2. Målestationernes beliggenhed

Tabel 1 Målestationernes opland, åernes oplandsstørrelse ved udløb på kysten samt dataperiode.

Stations ID	Navn	Areal [km^2]
19.02	Jordbro Å	114
	Jordbro Å udmunding	144
17.03	Simested Å	128
17.05	Simested Å	122
	Simested Å udmunding	145
18.05	Skals Å	555
	Skals Å udmunding	614
19.03	Fiskbæk Å	65
	Fiskbæk Å udmunding	116

2.4.2 *Beregning af vandtilførslen til Hjarbæk Fjord*

Døgnmiddelvandføringerne fra målestationerne er summeret på døgnbasis og baseret på oplandsstørrelserne omregnet til en samlet statistik over døgnmiddelafstrømningen til Hjarbæk Fjord pr. arealenhed. Det samlede opland til Hjarbæk Fjord på 1.202 km2 / 2/, der udover oplandene til de 4 åer også inkludere de resterende laterale oplande samt selve Hjarbæk Fjord, er herefter anvendt til beregning af den samlede afstrømning til fjorden.

Der er herefter beregnet en glidende sum pr. døgn for afstrømningen i de fundne længste lukkeperioder for sluserne i de to scenarier (*nuværende worst case* og *år 2050 worst case*). Ved en glidende sum forstås, at der for hvert døgn beregnes en sum af afstrømningen for det pågældende døgn og alle foregående døgn svarende til den valgte periodelængde.

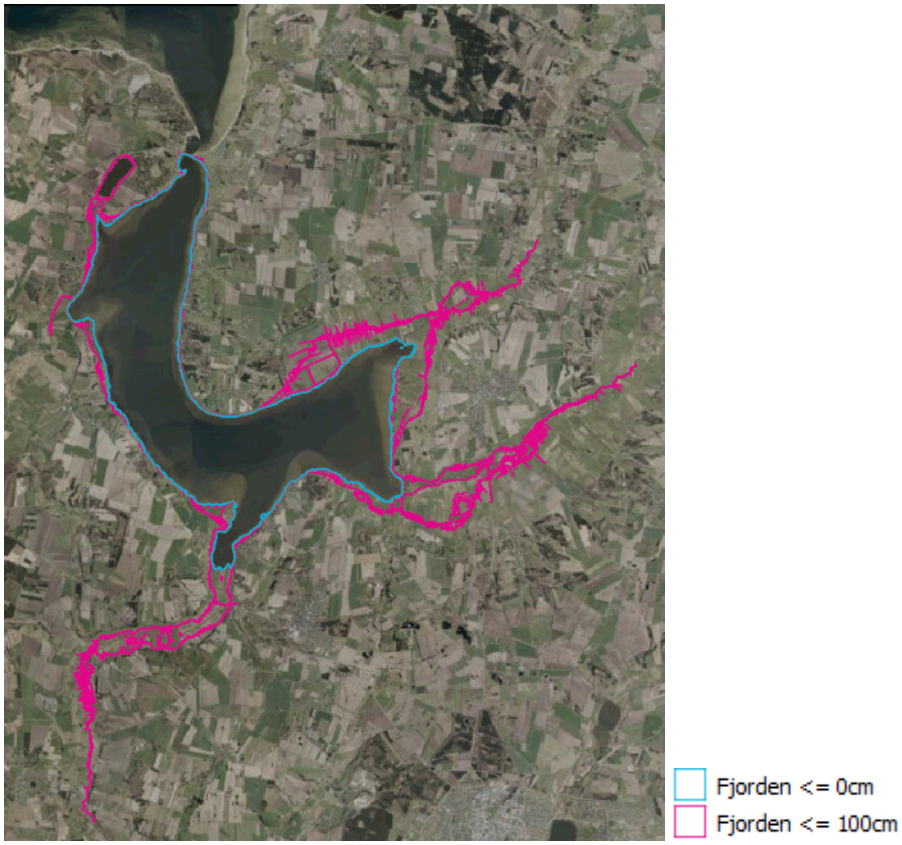
Skibsfartsslusen har en topkote på 1,75 m DNN eller 1,70 m DVR90 og et vandslug på 4-5m. Der vil således kunne løbe vand til Hjarbæk Fjord over skibsfartsslusen, hvis denne kote overskrides. Den maksimale vandstand målt i Lovns Bredning i måleperioden er 1,64 m DVR90. Alle målinger er således under topkoten af skibsfartsslusens porte. Der vil imidlertid kunne komme vand ind i fjorden ved disse vandstande ved bølgeskvulp. Der er imidlertid set bort herfra ved beregningen i vandtilførslen, hvilket begrundes i at

de maksimale vandstande ofte kun forekommer kortvarigt i forhold til længden af de perioder, hvor slusen er lukket. Denne begrundelse holder ikke helt i 2050 scenariet, hvor den permanente vandstand er forøget med 0,50 m. Det er imidlertid her forudsat at sluseportene i skibsfartsslusen er forhøjet med minimum 0,50 m i 2050 scenariet.

2.5 Beregning af vandstandsstigning i Hjarbæk Fjord

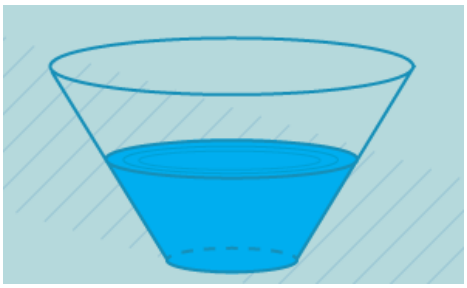
2.5.1 Arealer og voluminer i Hjarbæk Fjord

Der er på baggrund af den senest opdaterede DTM beregnet et overfladeareal i Hjarbæk Fjord ved henholdsvis kote 0,00 m og 1,00 m DVR90 (Figur 3). De tilsvarende arealer er beregnet til henholdsvis 24,7 km^2 og 35,3 km^2.



Figur 3 Overflade polygoner for Hjarbæk Fjord ved henholdsvis kote 0,00 m og 1,00 m DVR90.

Det vandvolumen, der strømmer til Hjarbæk Fjord i de to beregnede scenarier, er omregnet til en vandspejlsstigning ved at tilnærme fjordens geometri over kote 0,00 m med en omvendt keglestub fastlagt af to ovenstående vanddækkede flader (Figur 3).



Figur 4 Delvis fyldt omvendt Keglestub

Det vurderes at metoden giver et tilstrækkeligt retvisende estimat af vandstanden set i forhold til at nærværende analyse er en initial vurdering af risikoen for oversvømmelse af broerne, som anbefales op fulgt af mere avancerede risikovurderinger, såfremt resultaterne viser at der kan forekomme oversvømmelser. Hvorvidt metoden over eller underestimere vandstanden vil afhænge af landskabets detaljerede topografi.

2.6 Vindgenereret stuvning

Der vil ved vind fra vest kunne forekomme stuvning af vandet ind mod Lillevejle Bro og Skals Bro. Vinden presser vandet mod øst så vandstanden ved broerne bliver højere end middelvandstanden.

Tilsvarende vil kunne forekomme de Nybro for vind der kommer fra Nord og Strandet Bro for vinde der kommer fra øst.

Ved en vindhastighed på 10 m/s er det estimeret, at der vil være en vindstuvning på ca. 5-10 cm ved vandløbets indløb og dermed kan vandspejlet ved broen tilsvarenden øges med ca. 5-10 cm.

Til sammenligning med de andre usikkerheder der er i nærværende analyse vurderes det, at der kan ses bort fra vindgenereret stuvning.

2.7 Kritiske koter

De kritiske koter for de fire vejbroer er fundet ved anvendelse af den seneste opmålte landsdækkende digitale højdemodel (Tabel 2). Den kritisk kote er den laveste kote på broen eller vejdæmningerne på begge sider af broerne.



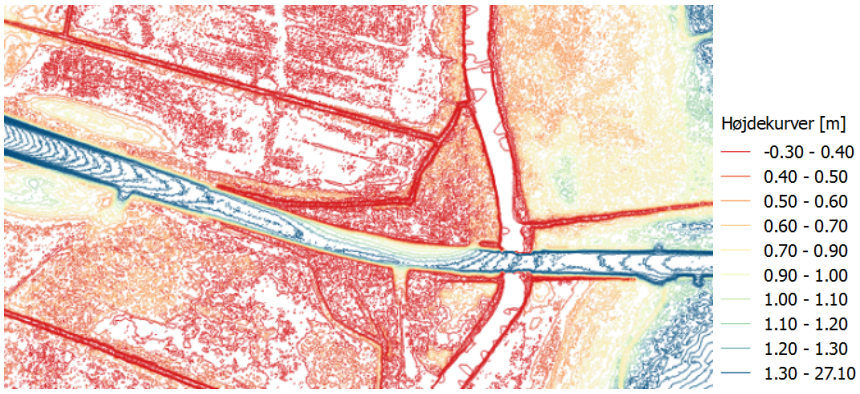
Figur 5 De fire vejbroer som er omfattet af risikovurderingen

Tabel 2 Minimumskoter på de fire broer inklusiv tilkørsler

Bronavn	Minimumskote (m DVR90)
Nybro	1,36
Skals Bro	2,51
Lillevejle Bro	1,98
Strandet Bro	2,15

2.7.1 Nybro

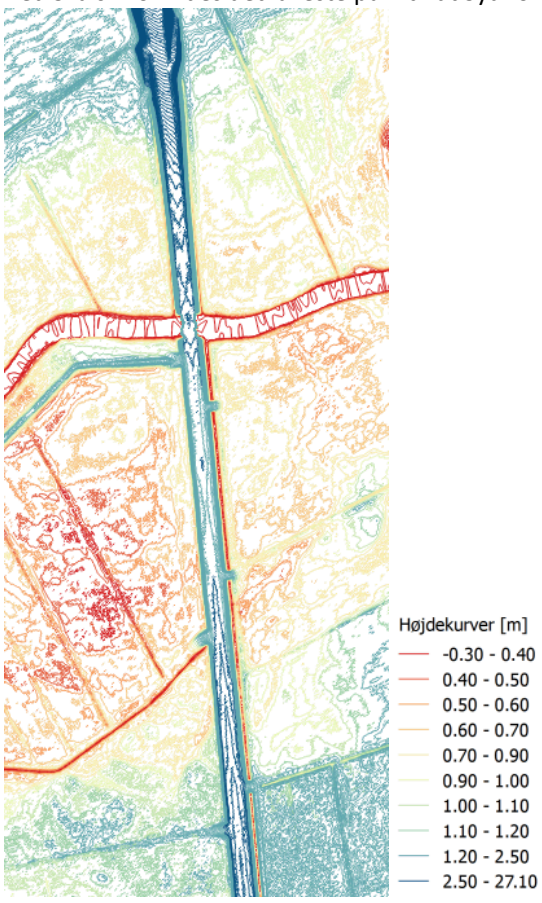
Ved Nybro findes det laveste punkt på vejen lidt vest for broen i kote 1,36 m.



Figur 6 Nybro. Kotekurverne viser, at vejen har det laveste punkt i kote 1,36 m DVR90 vest for bro

2.7.2 Skals Bro

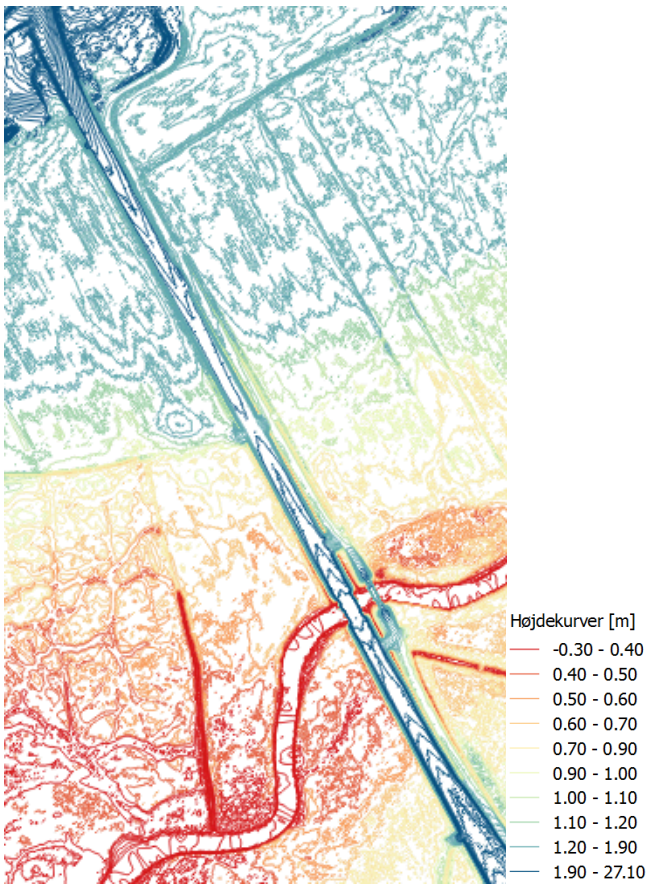
Ved Skals Bro findes det laveste punkt lidt Syd for broen.



Figur 7 Skals Bro. Kotekurverne viser, at vejen har det laveste punkt i kote 2,51 m DVR90 syd for broen.

2.7.3 *Lillevejle Bro*

Ved Lillevejle Bro er det laveste punkt beliggende i kote 1,98 DVR90 nord for broen.



Figur 8 Lillevejle Bro. Kotekurverne viser, at vejen har det laveste punkt i kote 1,98 m DVR90 nord for broen.

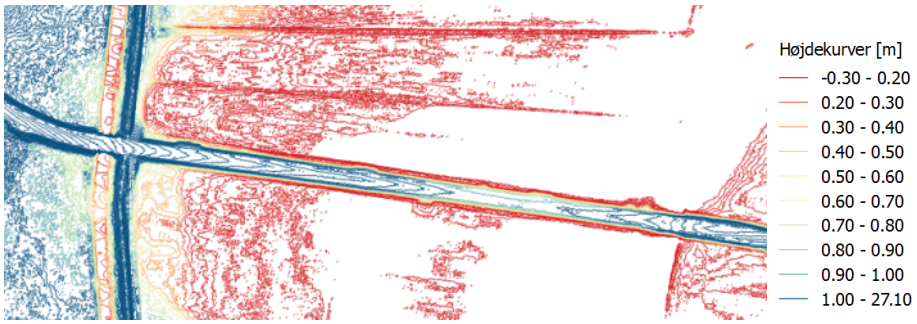
2.7.4 *Strandet Bro*

Der er et Landvindingslag øst for Jordbro Å bestående af diger langs Jordbro Å, Hjarbæk Fjord og Søgrøften inddiger et områder der afvandes med en pumpestation ved Hjarbæk Fjord. Ifølge vedtægterne for landvindingslaget har digerne en kote på 2,2 m DNN. Vejen øst for Strandet Bro er dermed sikret til en kote på 2,15 m DVR90.

Strandet Bro har en kote på 2,6 m DVR90 og vejen øst for Strandet Bro ligge højere end Strandet Bro.



Figur 9 Diger og pumper i Strandet Borup Landvindingslag.



Figur 10 Strandet Bro. Kotekurverne viser, at vejen har det laveste punkt i kote 1,02 m DVR90 øst for broen.

3 RESULTATER

3.1 *Worst Case* under nuværende forhold

Beregningerne for *worst case scenariet* for de nuværende forhold resulterede i en periode på 21 døgn med lukkede sluser. Ved den maksimale afstrømning for 21 døgn er der beregnet en vandstandsstigning på 1,47 m i Hjarbæk Fjord. Vandstanden i Hjarbæk Fjord afhænger af vandstanden ved start af stigningen. Hvis denne antages at svare til kote 0,00 m DVR90, betyder en vandstand i kote 1,47 m i Hjarbæk fjord. Nybro vil lige akkurat være oversvømmet med 0,11 m vand. Det skal imidlertid bemærkes, at der i en sådan situation kan være en bølgepåvirkning, som vil medvirke til en yderligere forværring af situationen.

Ved start af den 21 døgn lang periode den 6. januar 1993, var den aktuelle startvandstand i Hjarbæk Fjord -0,17 m DVR90. Hvis der anvendes dette udgangspunkt vil Nybro ikke blive oversvømmet, idet vandet vil stå 0,06 m under det laveste punkt. I kombination med bølger kan trafik imidlertid i praksis alligevel vanskeliggøres i den situation.

Hvis udgangspunktet i Hjarbæk Fjord er en højere vandstand vil slutvandstanden rent beregningsmæssigt blive højere. Periodens længde og vandstanden i Hjarbæk Fjord er imidlertid indbyrdes afhængige størrelser, hvor vandstanden formodes at have en tendens til at være lavere i start af de lange perioder.

3.2 Worst Case i år 2050

Beregningerne for det fremskrevne *worst case scenarium i år 2050* giver anledning til en maksimal periode med lukkede sluser på 45 døgn og en beregnet vandstand i Hjarbæk Fjord på 2,40 m, som følge af afstrømning til fjorden fra baglandet. I praksis vil vandstanden dog ikke overstige den maksimale vandstand i Lovns Bredning, der i denne situation kun er på 1,08 m DVR90. Den lange lukkeperiode skyldes her vedvarende, men kun moderat høje vandstande, og at beregningerne ikke er dynamiske, der ville betyde at Fjorden kun fyldes til samme vandstand som i Lovns Bredning.

Den næst længste lukkeperiode er på 23 dage og forekommer under lignende forhold og skyldes ligeledes beregningsmetoden, der ikke medtager de dynamiske aspekter.

Herefter følger den tredje længste lukkeperioden på 21 dage der er sammenfaldende med ovennævnte situation fra den 6. januar til den 26. januar 1993. Her vil vandtilstrømningen til Hjarbæk Fjord ligeledes kunne omregnes til en vandstandsstigning på 1,47 m. Hvis det antages at vandstandsstigningen her tager sin start i kote 0,35 m DVR90, hvilket kan være realistisk da dette er den kote hvor slusen lukker i tilfælde af sydgående strøm, opnås en vandstand på 1,82 m DVR90. Vandstanden i Lovns Bredning

vil i samme periode stige til 2,20 m DVR90 i dette scenarium. Nybro vil i dette scenarium derfor være oversvømmet med 0,46 m vand.

4 DISKUSSION OG ANBEFALINGER

Worst case beregningerne for de *nuværende forhold* viser, at der ved sammenfald af længere tids højvande og stor afstrømning kan optræde situationer med oversvømmelse af Nybro. Den lange lukkeperiode på 21 døgn, som er anledningen til oversvømmelsen i dette beregnede *worst case scenarium* er dobbelt så lang som den næst længste periode på 10 døgn. Det skal bemærkes, at perioden forekommer fra og med den 6. januar til og med den 26. januar 1993. Det er før det nuværende regulativ trådte i kraft, der er dateret 1. januar 1994. Det vurderes imidlertid ikke, at det er en evt. anderledes regulering, der er anledning til den beregnede hændelse.

Den beregnede vandstandsstigning i Hjarbæk Fjord på 1,47 m DVR90, som i scenariet er resultatet af en samtidig maksimal tilstrømning fra oplandet, kan sammenlignes med, at der under den aktuelle hændelse i 1993 blev målt en maksimal vandstand på 0,90 m DVR90 i Hjarbæk Fjord.

2050 worst case scenariet viser, at risikoen for og omfanget af oversvømmelser af Nybro vil forværres betydelig i fremtiden.

Det anbefales, at der iværksættes detaljerede og dynamiske modelberegninger af oversvømmelsesrisikoen for Nybro, hvis der ønskes et mere klart og entydigt svar på den reelle risiko, således at der kan knyttes en sandsynlighed til scenarierne.

5 REFERENCER

/ 1/ Regulativ for sluserne i Virksunddæmningen, Viborg Amt. 1994

/ 2/ Vandplan 2010-2015. Limfjorden. Hovedvandopland 1.2. Vanddistrikt Jylland og Fyn. Miljøministeriet Naturstyrelsen 2011