

DECEMBER 2021
KOLDING KOMMUNE

HYDRAULISK OPTIMERING AF OPLANDSPROJEKTET

RAPPORT



DECEMBER 2021
KOLDING KOMMUNE

HYDRAULISK OPTIMERING AF OPLANDSPROJEKTET

RAPPORT

PROJEKTNR.

A201358

DOKUMENTNR.

A201358-020

VERSION

3.0

UDGIVELSESDATO

1. dec 2021

BESKRIVELSE

UDARBEJDET

Xin Chen, Jeppe
Sikker Jensen

KONTROLLERET

Lars Frederiksen

GODKENDT

Jeppe Sikker Jen-
sen

INDHOLD

1	Baggrund	9
2	Sammenfatning og konklusioner	11
2.1	Problemstillingen	11
2.2	Afstrømningshændelser	11
2.3	Kapacitetsanalysen	12
2.4	Mulige magasiner i oplandet	12
2.5	Magasineringsbehov	14
2.6	Resultat af scenarieberegninger	15
2.7	Konklusioner	17
3	Problemstillingen	19
4	Kolding Å systemet	22
4.1	Vandløb og oplande	22
4.2	Afstrømningsforhold	23
4.3	Karakteristiske vandføringer og ekstremstatistik	23
5	Magasineringsbehov	25
5.1	Afstrømningshændelser	25
5.2	Skalering af hændelser	27
5.3	Ekstrem afstrømning	27
5.4	Klimafaktorer på hændelser	28
5.5	Diskussion af skalering	29
5.6	Magasineringsbehov	30
6	Kapacitetsanalysen	34
6.1	Opstilling af hydraulisk model	34
6.2	Vurdering af kapaciteten ved stigende vandspejl.	42
6.3	Mulige indgreb for at forbedre kapaciteten	45

6.4	Mulige indgreb der overflødiggør magasinering i oplandet	54
7	Mulige indgreb i oplandet	56
7.1	E45 (Kolding Å)	56
7.2	E45 Jernbanedæmningen (Kolding Å)	59
7.3	Dons Søerne	61
7.4	Dons Søerne med Vester Nebel Å	72
7.5	Egtvedvej (Vester Nebel Ådal)	79
7.6	Troldhedebanen (Ferup Sø, Vester Nebel Ådal)	81
7.7	Harte Skov (Vester Nebel Ådal)	83
8	Scenarieregninger	85
8.1	Resultater	86
8.2	Sensitivitetsanalyse	90
9	Sammenhæng mellem kapacitet i oplandsprojektet og pumpe-sluseprojektet	98
9.1	Analyse af sandsynlighed for sammenfald af hændelser	98
10	Referencer	106

BILAG

Bilag A	Ekstremværdianalyse og hændelser	107
A.1	Udvælgelse af hændelser	107
A.2	Skalering af hændelser	112
Bilag B	Analyse af HIP data for afstrømning og fastsættelse af klimafaktorer for Kolding Å	113
B.1	Baggrund	113
B.2	HIP projektets resultater	113
B.3	Klimafaktorer for Kolding Å	113
B.4	Analyse af tidserier	115
B.5	Udvælgelse af hændelser	120
B.6	Opsummering	122
Bilag C	Vejledning til model	123
C.1	Beskrivelse af hændelse, med årstal, klimafaktor mm	124
C.2	Valg af aktive magasiner og reguleringer	125
C.3	Iterativ optimering af scenarie	126
C.4	Sammenligning med eksisterende forhold	127
Bilag D	Resultater af magasinberegninger	130

1 Baggrund

Kolding ligger som mange andre byer hvor vandet fra vandløb, havet og landet mødes. Det har givet mange fordele og dannet grundlaget for byens vækst og handelsliv. I takt med den stigende vandstand og klimaændringerne bliver byen truet af oversvømmelser fra havet og det bagvedliggende land, hvorfra vandet strømmer ud gennem Kolding Å til Fjorden.

Kommunen har derfor igangsat to konkrete projekter, der skal afhjælpe problemerne:

- > Pumpe og sluseprojektets primære formål er at skabe mulighed for at etablere et skybrudsbassin i Kolding Å. Som en sidegevinst kan projektet beskytte Kolding By mod oversvømmelser fra havet ved stormflod og samtidigt sikre at den normale vandføring fra åen kan ledes ud, når slusen er lukket.
- > Oplandsprojektet, skal håndtere de store afstrømninger fra oplandet ved at udjævne de store pludselige afstrømninger ved at magasinere det i ådalene.

De to projekter udgør tilsammen en omkostningseffektiv løsning set i sammenligning med traditionelle løsninger som opgradering og omlægning af afløbssystemet samt udbygning med regnvandsbassiner og pumpestationer til sikring af afløbssystemets funktion i ca. 40 ha stort område i den lavtliggende bymidte.

Der er udført indledende forundersøgelser til begge projekter, som nu er i en yderligere modningsfase.

Denne rapport omhandler oplandsprojektet, og formålet er at undersøge og beskrive de mulige magasineringsområder samt at vurdere behov for magasinering og effekten af dette. Der udføres en undersøgelse af kapaciteten af Kolding Å gennem Kolding by, da åens kapacitet er afgørende for, hvor store magasiner der skal findes. Der er derfor fokus på, at der i fremtiden kan ledes så meget vand som muligt gennem byen, uden at det medfører skader på bygninger og infrastruktur. Projektet dimensioneres for en fremtidig 100 års-hændelse i 2075 klimaet.

For at belyse sammenhængen med pumpe og sluseprojektet, samt betydningen af pumpens kapacitet, er der endvidere udført et studie af sandsynligheden for sammenfald af høj vandstand og høj afstrømning.

Rapporten bygger videre på tidligere undersøgelser omkring magasinering i ådalen ved E45 og i Harte Dons søerne (COWI 2019A). Relevant materiale er gengivet således, at denne rapport i videst muligt omfang kan stå alene og ikke kræver opslag i tidligere arbejder.

I Seest Mølleå, en sidegren til Kolding Å, arbejdes der i særskilt regi, ligeledes med at tilbageholde vand. Dette projekt er i langt mindre skala, men fungerer som en del af oplandsprojektet.

2 Sammenfatning og konklusioner

2.1 Problemstillingen

Store afstrømninger i Kolding Å, medfører oversvømmelser af den gamle del af byen. Disse afstrømninger kommer i "peaks" hvor vandføringen stiger og det er den store vandføring der giver problemer.

Ved at tilbageholde en del af afstrømningen i magasiner i ådalen, kan man reducere den maksimale afstrømning og vente med at lede vandet videre til der atter er plads i systemet. Behovet for magasinering er således både afhængig af maksimum og varighed af afstrømningen, når den er over det kritiske niveau.

Jo større magasin der etableres, jo lavere kan man holde vandføringen gennem Kolding By og dermed undgå oversvømmelser forårsaget af stor afstrømning. I takt med at vandstanden i havet stiger reduceres vandføringsevnen. Dermed øges sandsynligheden også for at der opstår kombinerede hændelser af høj afstrømning og høj vandstand i fjorden.

I denne undersøgelse vurderes effekten af en række relevante udvalgte magasiner beliggende forskellige steder i Kolding Ådal systemet. Sammenhængen i disse bliver kompleks og der er derfor opsat en regnearksbaseret model, der kan belyse effekten af sammensætningen af de enkelte magasiner.

Udgangspunktet for analyserne er, at det undersøges, hvor stort volumen der skal etableres for at kunne tilbageholde en 100 års hændelse i år 2075, hvor der ledes så meget vand gennem Kolding By, at der ikke forekommer oversvømmelser. I takt med at vandstanden i havet stiger, som følge af klimaforandringerne, begrænses vandføringsevnen i Kolding Å. Der vil derfor i fremtiden kunne opstå hyppigere behov for at lukke slusen og aktivere pumpeanlægget.

En særlig problemstilling er sandsynligheden for sammenfald af høj afstrømning og høj vandstand i fjorden. Denne problemstilling er beskrevet sidst i rapporten.

2.2 Afstrømningshændelser

Baseret på en omfattende tidsserieanalyse er der estimeret en nuværende 100 års afstrømningshændelse med en maksimal vandføring på 30 m³/s.

Der er udført en studie af klimafaktorer baseret på den nyeste viden fra det Hydrologiske Informations Projekt (HIP), som blev offentliggjort i foråret 2021. På dette grundlag er de fremtidige forventede afstrømningshændelser fastlagt ud fra det nuværende afstrømningsregime og en klimafaktor på 1,2 for år 2075. Dette giver en maksimal vandføring for en 100 års hændelse i 2075 på 36 m³/s. Det er denne værdi, der er dimensioneringsgrundlaget for projektet.

Tabel 1 Ekstrem afstrømning beregnet med Gumbel-fordelingen

Gentagelsespe- riode (år)	Alpedalen 269 km ² (l/s/km ²)	Alpedalen 269 km ² (m ³ /s)
10	83	22,3
20	92	24,7
50	103	27,7
100	112	30,1
500	132	35,5
1.000	140	37,7

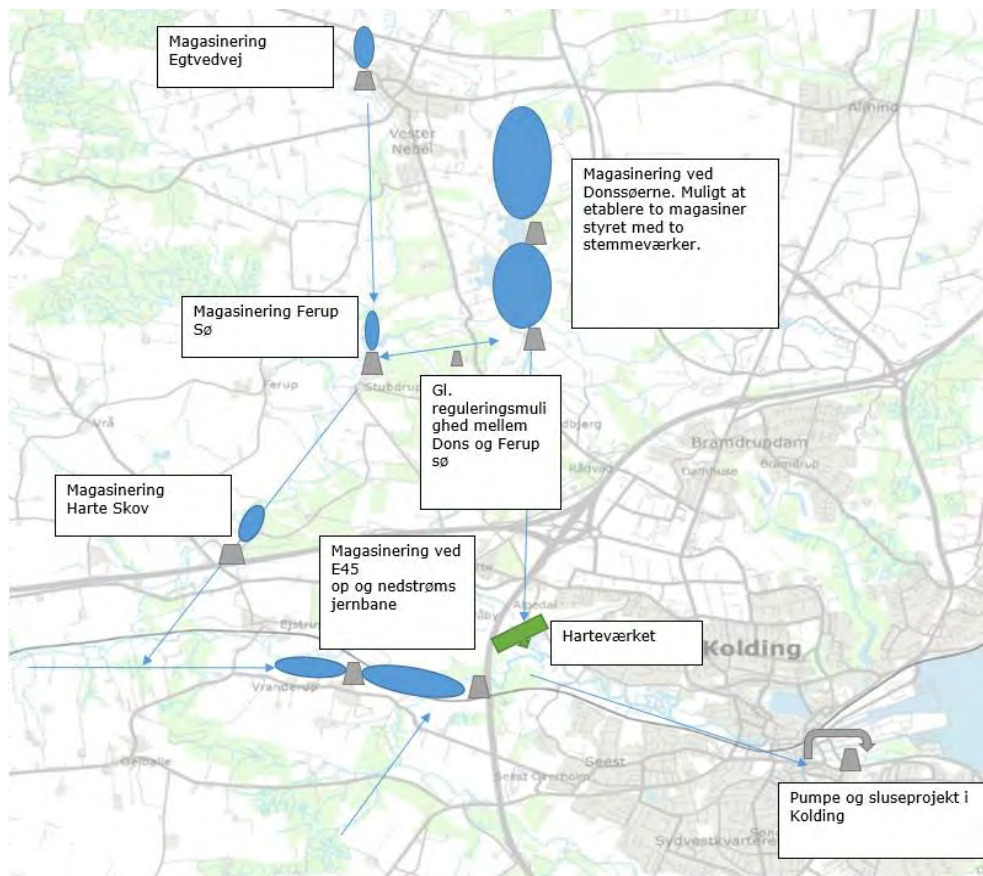
2.3 Kapacitetsanalysen

Der er udført en vurdering af den maksimale kapacitet gennem Kolding. Den stigende vandstand i havet begrænser langsomt den nuværende maksimale kapacitet på ca. 25 m³/s, hvilket vil medføre behov for indgreb for at fastholde kapaciteten gennem hele projektets levetid. Vandføringen på 25 m³/s er dels baseret på erfaring fra en konkret hændelse i februar 2020, hvor vandføringen blev bestemt til 25-28 m³/s, samt hydrauliske analyser af kapaciteten før der sker oversvømmelser langs åen. I 2020 var der skader på enkelte ejendomme. De 25 m³/s er således en absolut maksimal værdi under de nuværende forhold.

De mest oplagte indgreb er etablering af mindre støttemure og diger langs vandløbet, således at der ikke sker oversvømmelser ind over sårbare arealer i byen. Herved kan kapaciteten fastholdes.

2.4 Mulige magasiner i oplandet

Der er beskrevet en række mulige magasineringsområder i oplandet, som i forskellige kombinationer kan tilbageholde de ønskede vandmængder i oplandet.



Figur 1 Oversigtskort med markering af de undersøgte magasineringmuligheder.

Tabel 2 Oversigt over mulige magasineringsvolumener

Magasineringsområde	Volumen	Min kote* (m)	Max kote** (m)	Bemærkning
Egtvedvej	800.000	32,5	35,0	
Troldhedebanen ved Ferup Sø	470.000	26,0	29,5	
Harte Skov	270.000	13,0	17,5	Høj opstuvning
Nørresø	670.000	25,5	27,0	
Søndersø	256.000	25,5	26,0	1 mio. m ³ til kote 27
Stallerup sø og Skallebæk	190.000	25,5	26,0	750.000 m ³ til k. 27
E45 opstrøms jernbane	350.000	3,0	6,0	118.000 m ³ under kote 5,0
E45 nedstrøms jernb.	800.000	2,0	5,0	
I ALT	3.820.000			

* Minimums koten udtrykker det normale terræn i ådalen.

** Maksimums koten udtrykker den maksimale opstuvningskote der er undersøgt, og som vurderes realistisk.

2.5 Magasineringsbehov

Magasineringsbehovet afhænger af den mulige kapacitet gennem Kolding By og størrelsen på afstrømningshændelsen.

Baseret på dimensioneringsforudsætningerne om at kunne håndtere en 100 års hændelse i år 2075, inkl. forventet klimafremskrivning, kan magasineringsbehovet fastlægges til 2,3 mio. m³ ved en afstrømning gennem Kolding på 25 m³/s.

Tabel 3 Dimensionerende volumener for tilbageholdelse af en 100 års hændelse i oplandet til Kolding, ved forskellige maksimale kapaciteter gennem byen.

Afstrømning gennem Kolding	2020	2075
20 m ³ /s	2,2 mio. m ³	4,0 mio. m ³
25 m ³ /s	0,9 mio. m ³	2,3 mio. m ³
30 m ³ /s	0 m ³	1,0 mio. m ³
36 m ³ /s	0 m ³	0 m ³

Kan man i år 2075 lede 36 m³/s gennem Kolding by uden at det medfører oversvømmelser, er oplandsprojektet overflødigt. Det kræver at åens kapacitet øges med ca. 50 %, hvilket vil kræve at åen både skal gøres væsentlig bredere og dybere, hvilket vil medføre nedrivning af ejendomme og ombygning af broerne. Disse indgreb vil være væsentligt dyrere end oplandsprojektet og påvirke vandløbskvaliteten negativt.

Dette kræver derfor betydelige indgreb, da hændelsen i år 2020 på ca. 25-28 m³/s var over grænsen for den nuværende kapacitet og medførte skader på enkelte ejendomme, samt behov for beredskabsmæssig indsats.

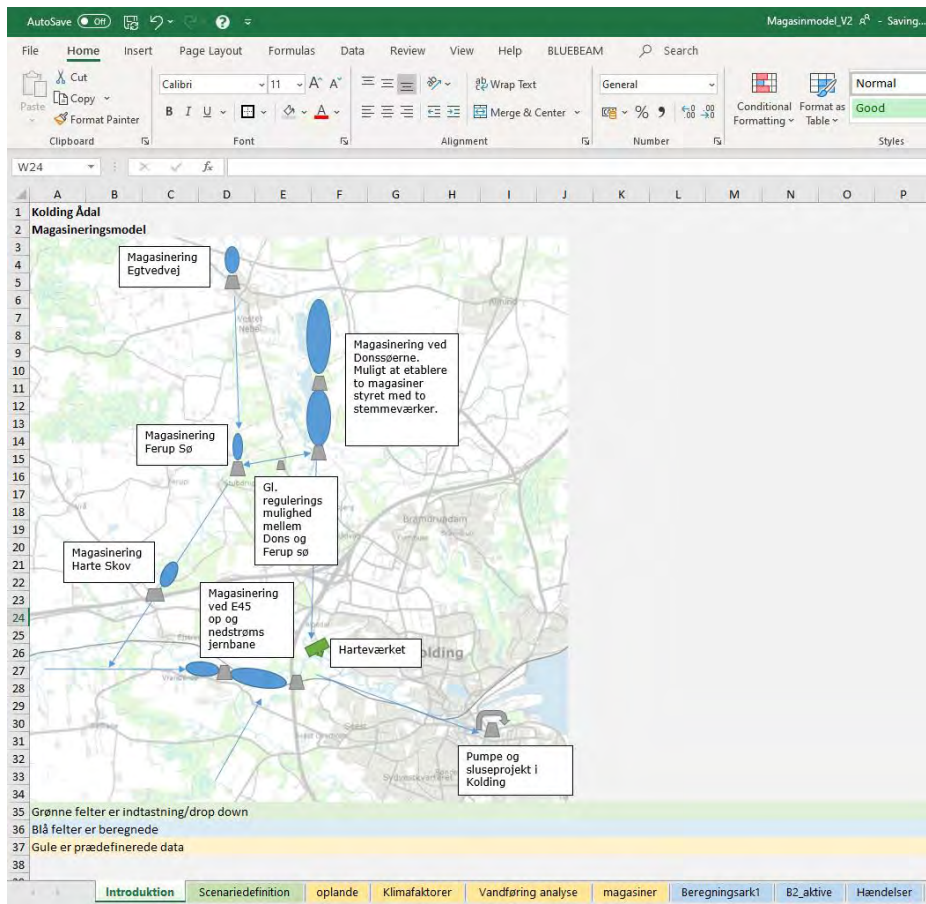
Problemstillingen er nærmere uddybet i afsnit 6.4

2.6 Resultat af scenarieberegninger

For at kunne udføre en vurdering af effekten af magasineringen i oplandet, er der opstillet en model i Excel. Modellen beskriver afstrømningen fra de enkelte deloplande til Kolding Å og beskriver afstrømningen og magasineringen ned gennem vandløbssystemet.

Med modellen er forskellige scenarier for sammenstilling af magasiner og kapaciteter gennem Kolding By analyseret.

Resultatet af de mange udførte beregninger på forskellige scenarier, viser at Scenarie 5 med udnyttelse af Donssøerne, magasinet ved Troldhedebanen og magasinet ved Egtved kan opfylde dimensioneringskriteriet for år 2075. For den nuværende situation vil det være tilstrækkeligt at udnytte magasinerne i Donssøerne og frem til år 2075, kan en 100 års hændelse håndteres ved udnyttelse af Donssøerne suppleret med magasinerne ved Troldhedebanen og Egtved.



Figur 2 Forside til model

Resultatet af scenarie 5 kan også illustreres som anført i nedenstående diagram:

Tabel 4 Illustration af dynamisk tilpasning ved udnyttelse af magasiner i prioriteret rækkefølge

	2020	2050	2075	2100	2120
Gøre ingenting	→				
Donssøerne	●	●			
Udvidelse med Egtved		●			
Udvidelse med Trolldhedebanen		●	●		
Udvidelse med Harte Skov			●	●	
Udvidelse med E45			●	●	●

Figuren viser resultatet af scenarie 5, et stop og et trin ned på figuren illustrerer behovet for at etablere endnu et magasin. Det er klart at der findes andre veje til at håndtere disse vandmængder. F.eks. vil magasinet ved E45 kunne bidrage

med den samme effekt som magasinerne ved Egtved og Trolldhedebanen i år 2020, herefter vil der så være behov for at etablere supplerende magasiner eller øge kapaciteten ned gennem Kolding.

Der er endvidere udført sensitivitetsanalyse på resultaterne for at vise deres robusthed overfor variationer i afstrømning, klimafaktorer, styring og størrelse på ekstremhændelserne.

Sandsynligheden for kombinerede hændelser er undersøgt ved en analyse af nuværende og fremtidige vandstand og afstrømningsforhold.



Figur 3 Gentagelsesperiode for overskridelse i år 2075, som funktion af vandstandskote i havet. Den lavest gentagelsesperiode er beregnet til 118 år.

2.7 Konklusioner

Analysen har vist at det samlede projekt er meget komplekst og der er mange usikkerheder. Det kan under de fastlagte forudsætninger konkluderes at:

- > Etablering af et samlet magasineringsvolumen på 2,3 mio. m³ og sikring af kapaciteten gennem Kolding på 25 m³/s vil være tilstrækkeligt til at håndtere en 100 års afstrømningshændelse i år 2075.
- > Sensitivitetsanalysen har vist at, at såfremt afstrømningen ikke er jævnt fordelt over oplandet, men varierer således at nogle deloplande bidrager med op til 25 % mere end andre (korrigeret for oplandsarealet). Så vil magasineringen i ådalen have en signifikant betydning for den maksimale afstrømning gennem Kolding by ift. situationen uden magasiner.
- > Analysen af sandsynligheden for sammenfald af høj vandstand i havet og høj afstrømning fra oplandet, har vist at sikkerheden mod oversvømmelse, mindst svarer til en 100 års hændelse i 2075. Dermed overholdes dimensioneringskriteriet for en 100 års hændelse frem til år 2075, med klimafremskrevet vandføring og vandstand.
- > En optimal styringsstrategi er nødvendig. Det er vigtigt at magasinerne i de forskellige vandløbsgrene fyldes ensartet, eller fra opstrøms ende, så der er mulighed for at tage højde for variationer senere i hændelsen. Kan der ikke

styres, så der opnås den maksimale vandføring gennem Kolding i hele perioden under opfyldning, betyder det at magasinerne fyldes for hurtigt og der vil dermed være for lidt volumen til rådighed.

- > En imødekommelse af de fundne usikkerheder i sensitivitetsanalysen kan ske ved at sikre magasinerne etableres så langt nedstrøms i systemet som muligt, da dette giver den største sikkerhed for at man kan regulere afstrømningen gennem byen.

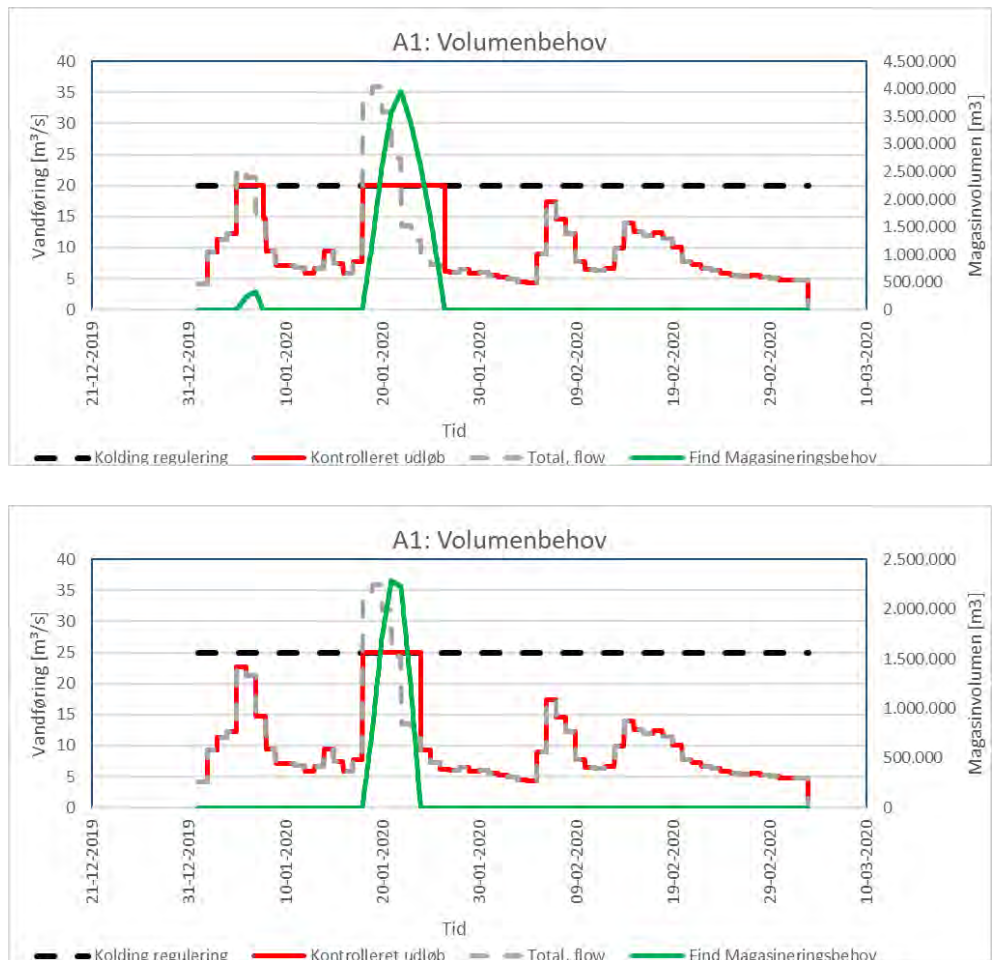
Ved design af den samlede løsning anbefales at se på robustheden af løsningerne, således at de er så robuste som muligt overfor ændringer i forudsætningerne og klimafremskrivningerne som muligt. I den forbindelse skal bemærkes at det vurderes at det er afstrømningen fra oplandet der er størst usikkerhed omkring. Her er der både en stor usikkerhed på fastsættelsen af ekstremhændelsen og i høj grad på udviklingen i afstrømningsregimet. Der er både usikkerhed på peakvandføringer og varighed. Derfor anbefales det at sikre at oplandsprojektet såvidt muligt etableres robust overfor variationer i forudsætningerne.

3 Problemstillingen

Store afstrømninger i Kolding Å, medfører oversvømmelser af den gamle del af byen. Disse afstrømninger kommer i "peaks", hvor vandføringen stiger og det er toppen af vandføringen, der giver problemer.

Ved at tilbageholde en del af afstrømningen i magasiner i ådalen kan man reducere den maksimale afstrømning og vente med at lede vandet videre, når der er plads. Behovet for magasinering er således både afhængig af maksimum og varighed af afstrømningen, når den er over det kritiske niveau, på 25 m³/s

Den bestemmende parameter for magasinbehovet er således primært den tilladte vandføring ned gennem Kolding, et eksempel er givet herunder.



Figur 4 Eksempel på beregning af magasineringsbehov beregnet for samme hændelse ved to forskellige maksimale vandføringer på hhv. 20 og 25 m³/s. Den grå linje er afstrømning fra oplandet, den sorte stiplede den maksimale ønskede vandføring, den grønne viser magasineringsbehov og den røde viser den resulterende afstrømning efter magasinering.

I det viste eksempel, beregnes et magasin volumen på 4,0 mio. m³ ved en afstrømning på 20 m³/s og 2,3 mio. m³ ved en afstrømning på 25 m³/s. Da

pumpe-sluseprojektet forventes etableret med en kapacitet på 20 m³/s, er der indledningsvist undersøgt, hvilken effekt den kapacitet har på magasineringsbehovet.

Beregningen ovenfor er baseret på, at magasinerne kan udnyttes optimalt, hvilket i praksis vil sige at de bør være placeret umiddelbart opstrøms byen. Arbejder man med magasiner på sidetilløb eller længere opstrøms i oplandet, er der kun mulighed for at regulere på en del af afstrømningen, der er således grænser for hvor stor effekt, der kan opnås. Ligger et magasin på en delstrækning, der kun udgør f.eks. 20% af oplandet, vil det kun være muligt at reducere den maksimale afstrømning med op til 20%, forudsat at afstrømningen fra det samlede opland er ligeligt fordelt. Der er derfor mindre sikkerhed i et anlæg baseret på tiltag i opstrøms deloplande, end længere nede i systemet.

I denne undersøgelse vurderes effekten af flere magasiner beliggende forskellige steder i Kolding Ådal systemet. Sammenhængen i disse bliver kompleks og der er derfor opsat en regnearksbaseret model, der kan belyse effekten af sammensætningen af de enkelte magasiner.

Udgangspunktet for analyserne er, at det undersøges, hvor stort volumen der skal etableres for at kunne tilbageholde en 100 års hændelse i år 2075, hvor der ledes så meget vand gennem Kolding By, at der ikke forekommer oversvømmelser. I takt med at vandstanden i havet stiger, begrænses vandføringsevnen i Kolding Å, derfor vil der i fremtiden kunne opstå hyppigere behov for at lukke slusen og aktivere pumpeanlægget.

I forundersøgelsen til pumpe og sluseprojektet (COWI 2019) blev der udført hydrauliske beregninger (på de regulativmæssige forhold), og der blev fundet nedstående sammenhæng mellem maksimal vandføring og vandstand i havnen.

Tabel 5 Maksimal vandføring gennem Kolding by før der opstår alvorlige oversvømmelser (COWI 2019B).

Vandføring gennem Kolding i midt-byen	Max vandstand i havnen før der opstår problemer*
20 m ³ /s	Ca. 1,0
25 m ³ /s	Ca. 0,4
28 m ³ /s	0,0

*Der vil i de angivne situationer være behov for en beredskabsmæssig indsats for helt at undgå oversvømmelser.

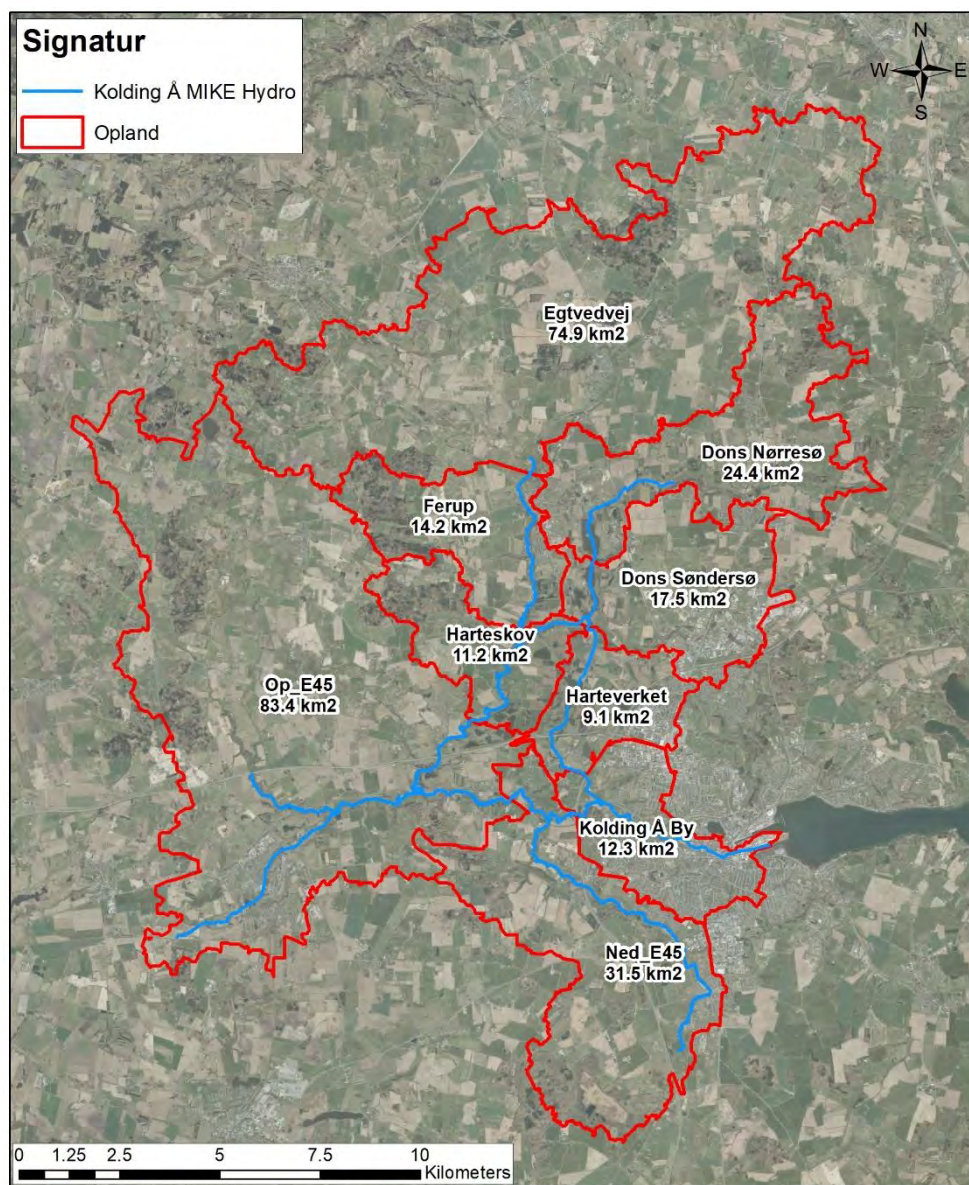
Det fremgår således, at vandstandsstigningen har stor betydning og oplandsprojektet skal således ses i sammenhæng med pumpe-sluseprojektet, i forhold til en samlet sikring af Kolding. Ved hændelsen i februar 2020 var afstrømningen omkring eller lige under 28 m³/s og vandstanden i havnen lige under 0. Her opstod

der flere oversvømmelser af ejendomme i Alpedalen, så erfaringerne herfra understøtter, at ovenstående tabelværdier er de absolut maksimale vandføringer, der kan ledes gennem byen ved en samtidig beredskabsindsats med sandsække på de mest udsatte steder gennem midtbyen. Ved højere vandføringer f.eks. 28 m³/s, vil der opstå flere oversvømmelser i Alpedalen.

4 Kolding Å systemet

4.1 Vandløb og oplande

Herunder er gengivet et oversigtskort over vandløb og deloplande i Kolding Å systemet, som de er anvendt i magasinmodellen.



Figur 5 Oplande langs Kolding Å systemet, opdelt efter de undersøgte magasineringsområder.

Kolding Å systemet består af Kolding Å, der starter ved sammenløbet af Åkær Å og Vester Nebel Å i den vestlige del af oplandet og løber ud i Kolding Fjord mod øst. Ved udløbet er det samlede opland 278,1 km².

Fra nord kommer Vester Nebel Å, som bidrager med et stort opland på samlet 115,6 km² ved sammenløbet med Kolding Å. Øst herfor ligger Harte Dons søerne, som består af Nørresø, Søndersø, Stallerup Sø og Harte Kanal, som løber

til Harteværket. Oplandet til Harteværket er samlet 51,6 km². Vandet fra Harteværket ledes til Kolding Å, umiddelbart opstrøms Kolding By.

Fra syd kommer Seest Mølle Å og bidrager med et opland på 28,9 km² ved sammenløbet med Kolding Å.

4.2 Afstrømningsforhold

Den anvendte tidsserie i denne undersøgelse er baseret på tidligere anvendt tidserie. I dette studie er flowmålinger i Kolding Å ved Alpedalen¹ benyttet til at beregne karakteristiske og ekstremer i Kolding Å. Måleperioden dækker 27 år fra januar 1989 – december 2016, ingen længere udfald er registreret i måleperioden. Oplandet til målestationen Alpedalen er 268,7 km², og alle karakteristiske vandføringer og ekstremer er korrigeret i forhold til det yderligere oplandsareal på 9,4 km² fra Alpedalen til Kolding Ås udløb. Det samlede opland er således 278,1 km².

4.3 Karakteristiske vandføringer og ekstremstatistik

I COWI2019A er udført en analyse af vandføringsmålingerne på målestationen i Alpedalen. På dette grundlag er der fastlagt en række karakteristiske vandføringer. Der er endvidere udført en Gumbel ekstremværdianalyse af tidsserien og på dette grundlag estimeret ekstreme vandføringer for oplandet. I analysen er der udelukkende taget hensyn til hændelsernes maksimale vandføringer og ikke deres varighed. Dette er diskuteret senere i rapporten.

Tabel 6 Karakteristiske vandføringer og ekstremer for Kolding Å. Oplandet til Alpedalens målestation er 268,7 km², og henholdsvis 279,1 km² til Østerbrogade i midtbyen.

Vandføring	Alpedalen (målestation) [m ³ /s]	Afstrømning [l/s/km ²]	Østerbrogade [m ³ /s]
Sommermedian maks.	6,70	24,93	6,96
Median maks.	16,12	60,0	16,74
5-års hændelse	19,72	73,4	20,48
10-års hændelse	22,25	82,8	23,11
20-års hændelse	24,66	91,8	25,62
50-års hændelse	27,78	103,4	28,86
100-års hændelse	30,12	112,1	31,28

I februar 2020 var der en afstrømningshændelse, som gav anledning til oversvømmelser i området omkring Alpedalen. Den er vurderet at have maksimale

¹ Vandføringer ved målestation Alpedalen, er baseret på målte vandføringer i Kolding Å ved Ejstrup, Seest Mølleå og Hartekanal.

vandføringer på ca. 25-28 m³/s, hvilket svarer til mellem en 20 og 50 års hændelse.

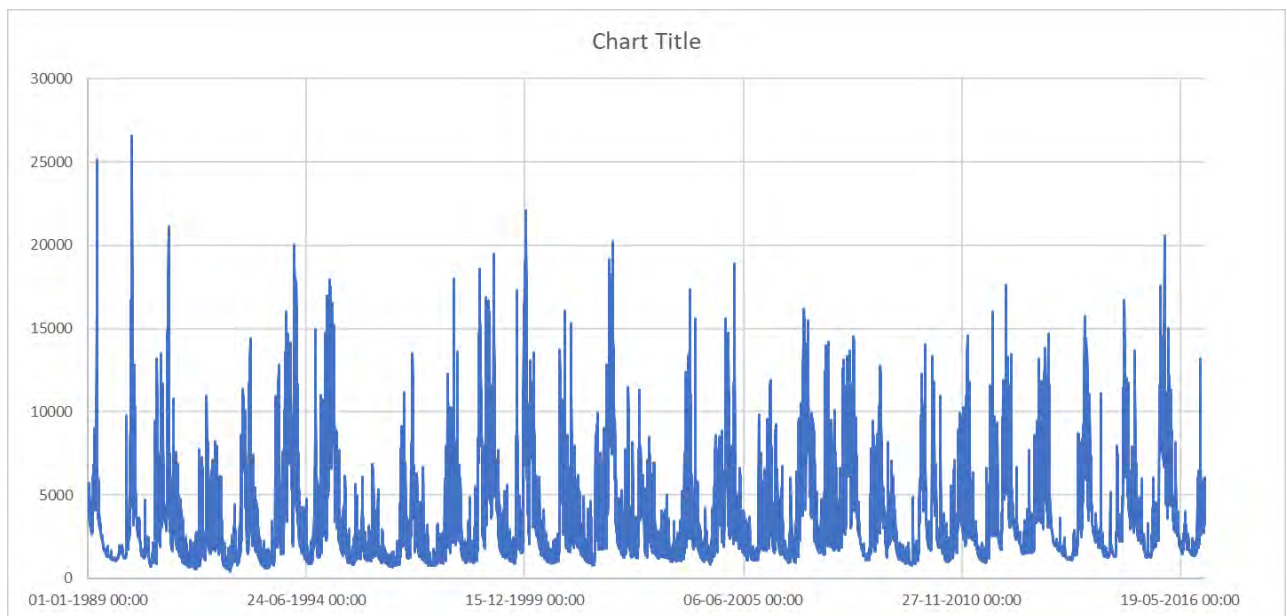
Målestationer for oplandet viser, at der er variationer mellem de enkelte deloplande, således at det varierer, hvordan de enkelte deloplade bidrager til afstrømningerne. Laves der ekstremstatistik for målestationerne for de enkelte deloplande, viser disse også højere ekstremafstrømninger end den kombinerede tidsserie, hvilket svarer til det forventede. I det videre arbejde med analyse af magasineringmuligheder udarbejdes en sensitivitetsanalyse, der belyser resultaternes robusthed ift. variationer i afstrømningen fra oplandet.

5 Magasineringsbehov

5.1 Afstrømningshændelser

Der er udvalgt 6 af de mest ekstreme hændelser med fokus på maksimal afstrømning, størst volumen i afstrømning og størst gennemsnitlige flow i afstrømningsperioden. Den anvendte tidsserie har en varighed på 28 år (1. jan 1989-31 dec. 2016). Se i øvrigt Bilag A.

Tidsserien er analyseret og for hver afstrømningshændelse med et maksimum over 15 m³/s, er der fastlagt en begyndelse og en afslutning på hændelsen. Dette er sat som en afskæring på 3 m³/s. Herved sikres det, at effekten af koblede hændelser medtages i analysen. Koblede hændelser er flere på hinanden følgende hændelser med høj afstrømning.

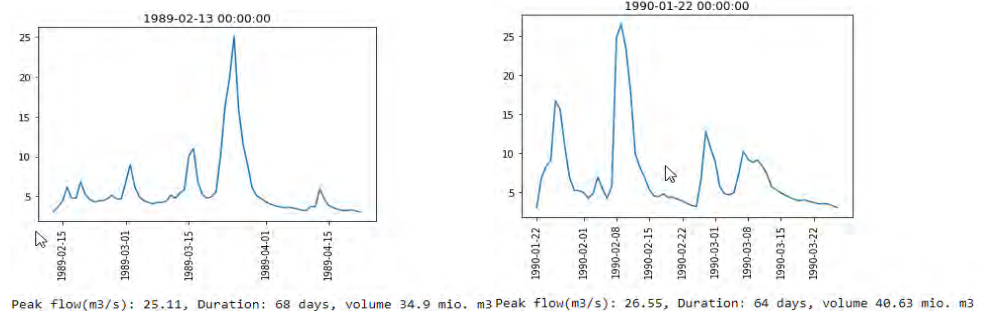


Figur 6 Tidsserie for afstrømning ved målestation Alpedalen

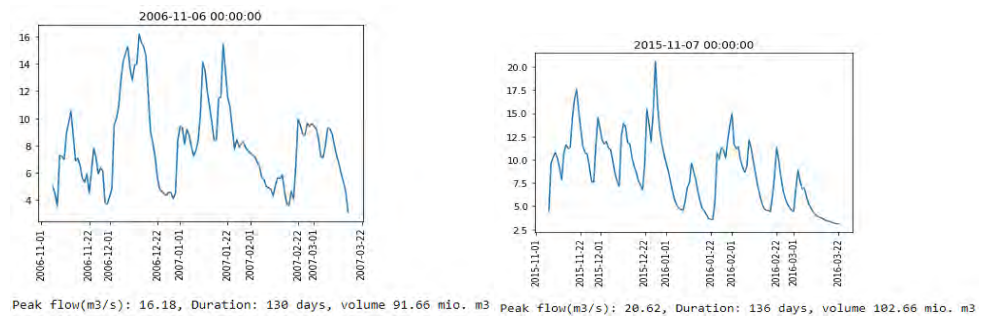
Analysen af tidsserien har resulteret i 23 hændelser, som overholder kriteriet (se bilag A). De 6 hændelser er udvalgt som de to med størst peakflow, de to med længste varighed og de to med største gennemsnitlige flow.

I modellen og i det videre forløb, omdøbes de 6 hændelser 1-6, som angivet herunder.

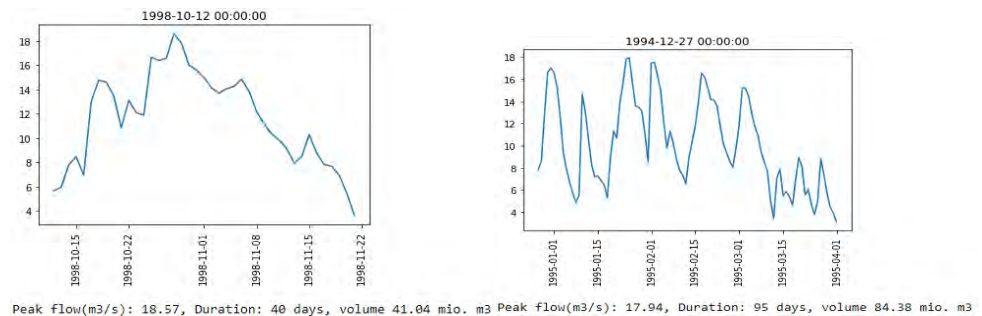
Tilsammen udtrykker disse hændelser således den store variation, der er i afstrømningen. Tidsserier for de 6 hændelser er givet herunder:



Figur 7 Hændelse 1 og 2 er de to hændelser med størst peakflow

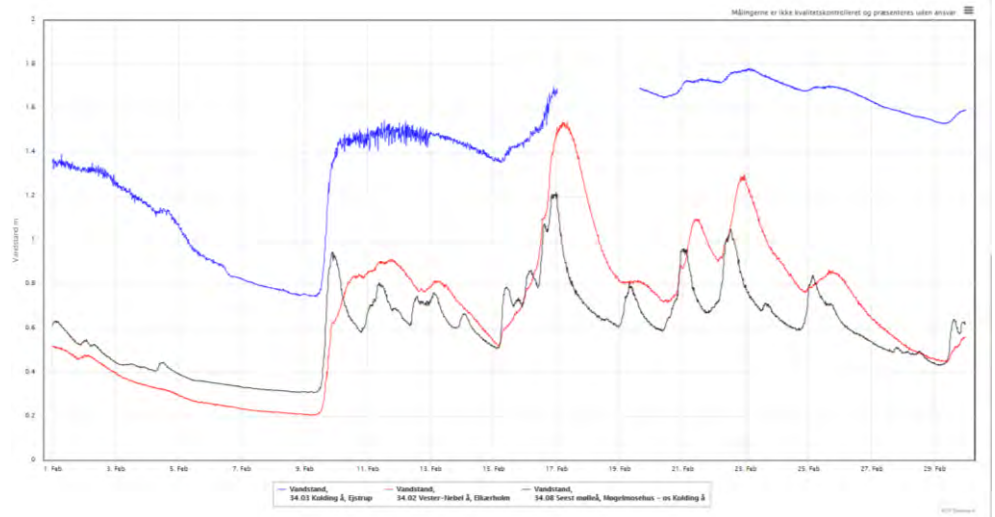


Figur 8 Hændelse 3 og 4 er de to hændelser med længst varighed



Figur 9 Hændelse 5 og hændelse 6 er de to hændelser med størst gennemsnitlige flow

Der foreligger desværre ikke pålidelige målinger af hændelsen i februar 2020, da målestationen i Alpedalen blev oversvømmet og gik ud af drift.



Figur 10 Målte vandstande for hændelsen i februar 2020.

Baseret på vandstandsdata for de tre målestationer i hhv. Kolding å, (34.03 Ejstrup), Vester Nebel Å (340130 Elkærholm) og Seest Mølleå (34.08 Møgelosehus), vurderes det at den store vandføring, som blev estimeret til 25-28 m³/s kom i et peak med en varighed på ca. 1 døgn, mens selve afstrømningshændelsen varede ca. 20 døgn med flere mindre peak afstrømninger.

5.2 Skalering af hændelser

Alle hændelser kan skaleres, så maksimum svarer til en 10, 20, 50 eller 100 års hændelse.

Hver hændelse har således en skaleringsfaktor fra det målte døgnmaksimum til den estimerede værdi for en ekstremhændelse.

5.3 Ekstrem afstrømning

Vandføringsdata for de 3 vandløbsstationer i hhv. Kolding å, (34.03 Ejstrup), Vester Nebel Å (340130 Elkærholm) og Seest Mølleå (34.08 Møgelosehus) er anvendt som grundlag for en samlet tidsserie for afstrømningen ved Alpedalen (3400019). Der er beregnet ekstrem afstrømning for den kombinerede tidsserie. Tallene er sammenfattet i Error! Reference source not found..

Tabel 7 Ekstrem afstrømning beregnet med Gumbel-fordelingen

Gentagelsesperiode (år)	Alpedalen 269 km ² (l/s/km ²)	Alpedalen 269 km ² (m ³ /s)
10	83	22,3
20	92	24,7
50	103	27,7

100	112	30,1
500	132	35,5
1.000	140	37,7

De estimerede ekstremværdier viser at hændelsen i februar 2020 på ca. 25-28 m³/s svarer til ca. en 50 års hændelse. En 100 års hændelse vil i dag være lidt større, mens de endnu mere ekstreme hændelser, som dog er mere usikkert bestemt vil give store problemer ned gennem byen med vandføringer på op til knap 38 m³/s.

5.4 Klimafaktorer på hændelser

De forventede ændringer i vandføring i vandløb er vanskelige at estimere. Det er et kompliceret samspil af temperatur og nedbør. I de nuværende forhold er mange af de ekstreme afstrømninger fra oplandet forårsaget af tøbrud. Disse hændelser vil formentlig blive færre i takt med temperaturændringerne. De stigende temperaturer vil øge fordampningen, især om sommeren. Modsat vil den øgede nedbørsmængde give anledning til en større afstrømning, især om vinteren og ved skybrud om sommeren.

GEUS (De nationale geologiske undersøgelser for Danmark og Grønland) har udført et omfattende modelarbejde på den nationale grundvandsmodel i projektet HIP, som er offentliggjort i februar 2021. På dette grundlag er der fremkommet estimater på den forventede ændring i vandføringen. Fremskrivningen er baseret på GEUS undersøgelser af klimaændringernes påvirkning af afstrømningerne for målestation 3400019 Kolding Å, Alpedalen.

Resultaterne er angivet som et højt (RCP8,5) og et lavt (RCP4,5) scenarie. Dette illustrerer, at der er stor usikkerhed om klimaændringernes betydning for ændringen i vandføringen.

Resultaterne foreligger for en lang række punkter i vandløbssystemet, herunder værdierne for målestationen ved Alpedalen, som er der at vandføringen ind igennem Kolding by fastlægges.

I Bilag B er udført en analyse af tidsserierne fra de 17 klimamodeller, der beskriver RCP 8.5 scenariet. På grundlag af denne analyse anbefales en klimafaktor på 1,2 for en 100 års hændelse i år 2075. I Tabel 8 er angivet de beregnede klimafaktorer fra HIP projektet.

For år 2050 anvendes en klimafaktor på 1,0, da HIP modellerne ikke forventer en stigning ved scenarie RCP 8.5 for Nær Fremtid.



Figur 11 Eksempel på resultater fra HIP, med angivelse af klimafaktorer pr. 500 m ned gennem Kolding Å systemet. Her for en fremtidig 100-årshændelse i et højt klimascenarie (RCP8,5)

Tabel 8 Klimafaktorer for ekstremvandføringer i Kolding Å (efter sammenløb med Harte Kanal/Udløb) fra HIP (GEUS 2021)

	Lavt scenarie RCP4.5		Højt scenarie RCP8.5	
	2041-2070	2071-2100	2041-2070	2071-2100
	5 klimamodeller (stor usikkerhed)		17 klimamodeller (mindre usikkerhed)	
10 års hændelse	1.17	1.06	1.11	1.57
20 års hændelse	1.27	0.93	1.10	1.49
50 års hændelse	1.41	0.77	1.00	1.36
100 års hændelse	1.54	0.74	0.98	1.36

5.5 Diskussion af skalering

I princippet er der med ovenstående udvælgelse defineret 6 forskellige hændelser, som alle kan skaleres til en 100 års-hændelse og analyseres. Men når der kommer en 100 års-hændelse, vil den kun optræde i en bestemt form, som kan være tæt på en af de analyserede eller en helt syvende form.

Såfremt den udvalgte løsning kan håndtere alle 6 hændelser vil det i princippet svare til en 600 års hændelse (6 forskellige 100 års hændelser), det vil derfor ikke være realistisk, at løsningen skal kunne håndtere alle disse muligheder.

I Bilag A og Bilag B er udført en analyse af de forventede fremtidige hændelser baseret på data fra det Hydrologiske Informations Projekt (HIP). Denne analyse har vist at de fremtidige hændelser har relativt kort varighed, som hændelse 1 og 2 i tidserien.

Det er også relevant at se på sammenhængen mellem maks. flow i de målte hændelser og det samlede flow. De to største hændelser skiller sig ud ved flow omkring 25 m³/s, hvilket er væsentligt højere end målt senere i perioden. Peaket har dog kun en varighed på ca. en uge. Andre hændelser, også de koblede, har tilsvarende peaks - ofte flere, der følger med kort tidsrum. Dette gælder for hændelse 3, 4 og 6. Såfremt alle disse peaks skaleres til en 100 års hændelse vurderes dette at være en overestimering, hvorimod en stigning af en enkelt af disse peaks til en 100 års hændelse vurderes mere realistisk. I den diskussion skal også medtages vurderingen af den samlede vandmængde, der afstrømmer fra oplandet ift. om skaleringen reelt mangedobler denne vandmængde. Hændelse 5 skiller sig ud fra de øvrige ved at være langvarig og ensartet. Der er ikke mange af disse hændelsestyper i tidsserien. Den har et max. flow på 18 m³/s, hvilket er ca. 30% lavere end de to største. En ukritisk skalering vurderes som for de koblede hændelser at være en voldsom korrektion.

På grundlag af ovenstående diskussion samt analysen af hændelser fra HIP projektet, vil det være hændelse 1 og 2, der anvendes som de primære hændelser, som der analyseres for. Disse skaleres til forskellige ekstremhændelser og det vurderes hvorledes effekten af forskellige magasiner kan opfylde behovet. De øvrige hændelser anvendes til supplerende analyser og indgår i vurderingen, herunder særligt med fokus på anlæggets funktion ved koblede hændelse og tømning af magasiner.

5.6 Magasineringsbehov

Magasineringsbehovet er en af de afgørende faktorer der bestemmer hvilke løsninger der er mulige i et både kort over længere perspektiv.

Dimensioneringskravet er formuleret således, at den samlede løsning skal kunne håndtere en 100 års hændelse i år 2075.

Dimensioneringskravet kan opfyldes ved en kombination af kapacitet gennem Kolding og magasinvolumen i ådalen.

Herunder er gengivet de beregnede teoretisk minimale magasineringsbehov for de 6 udvalgte hændelser, skaleret til peak værdierne for 20 og 100 års hændelser, nu og i fremtiden ved forskellige maksimale vandføringer gennem Kolding og ved anvendelse af klimafaktor på 1,0 i 2020 og 1,2 for år 2075.

Tabel 9 Beregning af teoretisk magasineringsbehov for de forskellige hændelser, skaleret til en 20 års hændelse

	Afstrømning i Kolding 20 m ³ /s		Afstrømning i Kolding 25 m ³ /s	
Hæn- delse	Volumen 2020 mio. m ³	Volumen 2075 mio. m ³	Volumen 2020 mio. m ³	Volumen 2075 mio. m ³
1	0,4	1,2	0	0,5
2	0,8	2,2	0	0,9
3	2,1	7,4	0	2,1
4	0,4	1,4	0	0,5
5	1,4	7,2	0	1,4
6	1,1	6,0	0	1,1

Tabel 10 Beregning af teoretisk magasineringsbehov for de forskellige hændelser, skaleret til en 100 års hændelse

	Afstrømning i Kolding 20 m ³ /s, målt ved Alpedalen		Afstrømning i Kolding 25 m ³ /s, målt ved Alpedalen	
Hændelse	Volumen 2020 mio. m ³	Volumen 2075 mio. m ³	Volumen 2020 mio. m ³	Volumen 2075 mio. m ³
1	1,2	2,6	0,4	1,2
2	2,2	4,0	0,9	2,3
3	7,3	13,7	2,0	7,4
4	1,4	4,0	0,4	1,3
5	6,9	16,1	1,3	6,2
6	5,8	20,7	1,1	5,6

Det fremgår af tabellerne, at det nødvendige volumen er meget afhængig af afstrømningen gennem Kolding, men i særdeleshed også af hvilke hændelse der er skaleret samt klimafaktoren, som kommer til udtryk i ændringen af årstal.

I afsnit 5.5 diskuterede vi skalering af hændelser og en evt. overestimering af vandføringen ved langvarige ekstreme hændelser. Baseret på den diskussion anbefales det at anvende hændelse 1 og 2 til vurdering af det nødvendige magasinivolumen. Det bemærkes at hændelse 4 stort set giver samme volumen som hændelse 1, hvilket skyldes at den store peak i hændelse 4 er næsten identisk med hændelse 1 og de små peaks ikke giver anledning til supplerende volumen.

Det dimensionerende volumen for en 100 års hændelse er således:

Tabel 11 Dimensionerende volumener for tilbageholdelse af en 100 års hændelse i oplandet til Kolding, ved forskellige maksimale kapaciteter gennem byen.

Afstrømning gennem Kolding, målt ved Alpedalen.	2020	2075
20 m ³ /s	2,2 mio. m ³	4,0 mio. m ³
25 m ³ /s	0,9 mio. m ³	2,3 mio. m ³
30 m ³ /s	0 m ³	1,0 mio. m ³

36 m ³ /s	0 m ³	0 m ³
----------------------	------------------	------------------

Det er således væsentligt for projektet, hvorvidt der kan ledes 20, 25 eller 30 m³/s ned gennem Kolding By. . Forøgelse af kapaciteten til f.eks. 30 m³/s vurderes vanskelig ved de fremtidige vandstandsforhold i fjorden og forøgelse af kapaciteten til 36 m³/s og dermed overflødiggørelse af oplandsprojektet vil kræve deciderede indgreb i bybilledet som ikke vurderes realistiske. Dette er nærmere beskrevet i afsnit 6.4.

Vurderet ift. den nuværende kapacitet af åen gennem Kolding og mulighederne for at lave tiltag for at opretholde denne, vurderes de 25 m³/s som et godt udgangspunkt for fastlæggelse af magasinvolumenet, som derved bliver på 2,3 mio. m³.

I praksis vil der ske en styring af afstrømningen fra det sidste magasin, på grundlag af vandstanden centrale steder i Kolding. Vandføringsevnen vil være afhængig af vandstanden i fjorden og ruheden i vandløbet og vil derved variere over året.

6 Kapacitetsanalysen

6.1 Opstilling af hydraulisk model

Der er tidligere opstillet en hydraulisk model i MIKE 11 af Kolding Å for at simulere den maksimale vandføring i åen ved forskellige hændelser. Disse simuleringer skal desuden vise, hvorvidt der er risiko for opstuvning over åens bredder under ekstreme afstrømningshændelser.

Modellen er ift. tidligere ændret således, at den er baseret på seneste opmåling fra 2018. Modellens stationering svarer til den opmålte stationering, hvilket medfører en forskydelse på ca. 35 m ift. stationeringen i regulativet fra 1988 (Se nedenstående tabel).²

Broerne over Kolding Å gennem byen er indtegnet i MIKE 11 som underføringer med et Manning tal på 25. Beskrivelserne er lavet på baggrund af tegninger modtaget af Kolding Kommune, dimensionerne er listet i Error! Reference source not found.. Bundkoterne for alle broerne er taget fra vandløbsregulativet.

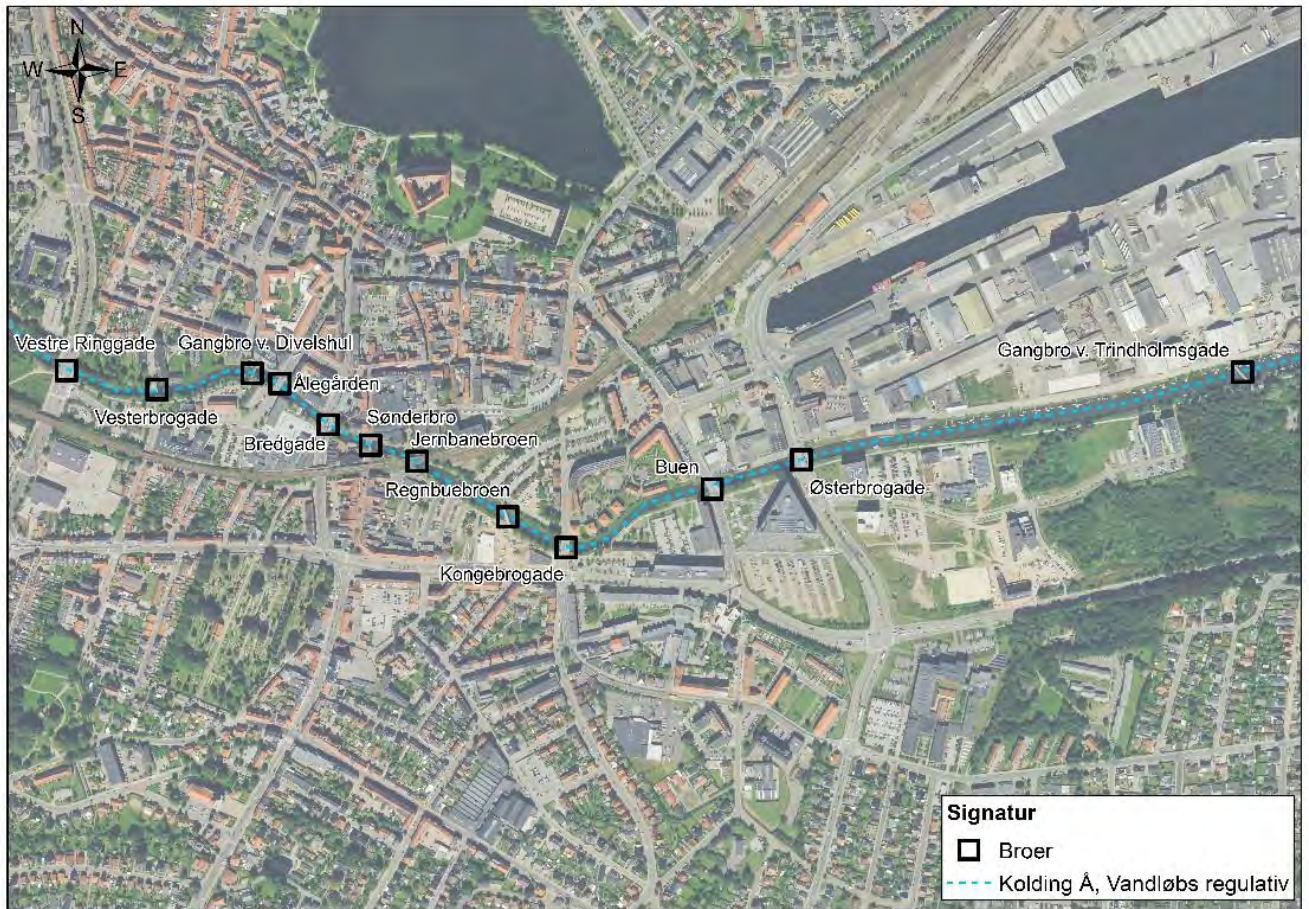
Tabel 12 Data for broer i Kolding.

Stationering Regulativ	Stationering Opmåling	Stednavn	Antal underføringer	Dimensioner (LxBxH) [m]	Bemærkning	Kilde
12100	12135	Gangbro v. Trindholmsgade	-	-	Broen antages for ikke at have en begrænsende effekt ud fra billeder i google maps.	-
11417	11459	Østerbrogade	1	15,5x27x2,85		B. Schwartzlose & H. Kofoed Rådgivende Ingeniørfirma
11285	11325	Buen	1	16,1x15,7x2,85		M. Thomsen, Raadgivende Ingeniørfirma, 1960a
11046	11074	Kongebrogade	2	6,6x12,5x1.55	Den etablerede gangbro er medregnet som 2 m indsnævring total.	Stads- og Havneingeniøren Kolding
10941	10976	Regnbuebroen	1	Vandløbs regulativet	Tværsnittet fra vandløbsregulativet, men 2 m smallere er benyttet, terrænkoten er benyttet som undersiden af broen.	Mangler tegning, ude fra Billeder fra GoogleMaps er bro pillen estimeret til at give en indsnævring på 2 m.
10793	10824	Jernbanebroen	1	12,5x16x4,09	Broen er ikke medtaget i MIKE 11, da den antages for ikke at være en begrænsende faktor for flowet.	Vandløbs regulativet
10712	10743	Sønderbro	1	Bue Bro		COWIconsult, 1985
10636	10674	Bredgade	2	Bue Bro		Stads- og Havneingeniøren, 1940
10546	10582	Ålegården	1	15,7x8.85x2,69		M. Thomsen, Raadgivende Ingeniørfirma, 1960b

² Kolding Kommune er ved at udarbejde et nyt regulativ, med indarbejdelse af de seneste års vandløbsprojekter i Kolding Å. Herved ændres stationeringen igen med ca. 100 m ift. regulativet fra 1988.

10511		Gangbro v. Divelshul	1	-	Tegninger mangler, broen er ud fra foto på Google Maps vurderet som ikke betydelig	-
10347	10384	Vesterbrogade	2	Bue Bro		Stads- og Havneingeniøren, 1923
10218	10247	Vestre Ringgade	1	13,4x11x1.26		COWIconsult, 1979

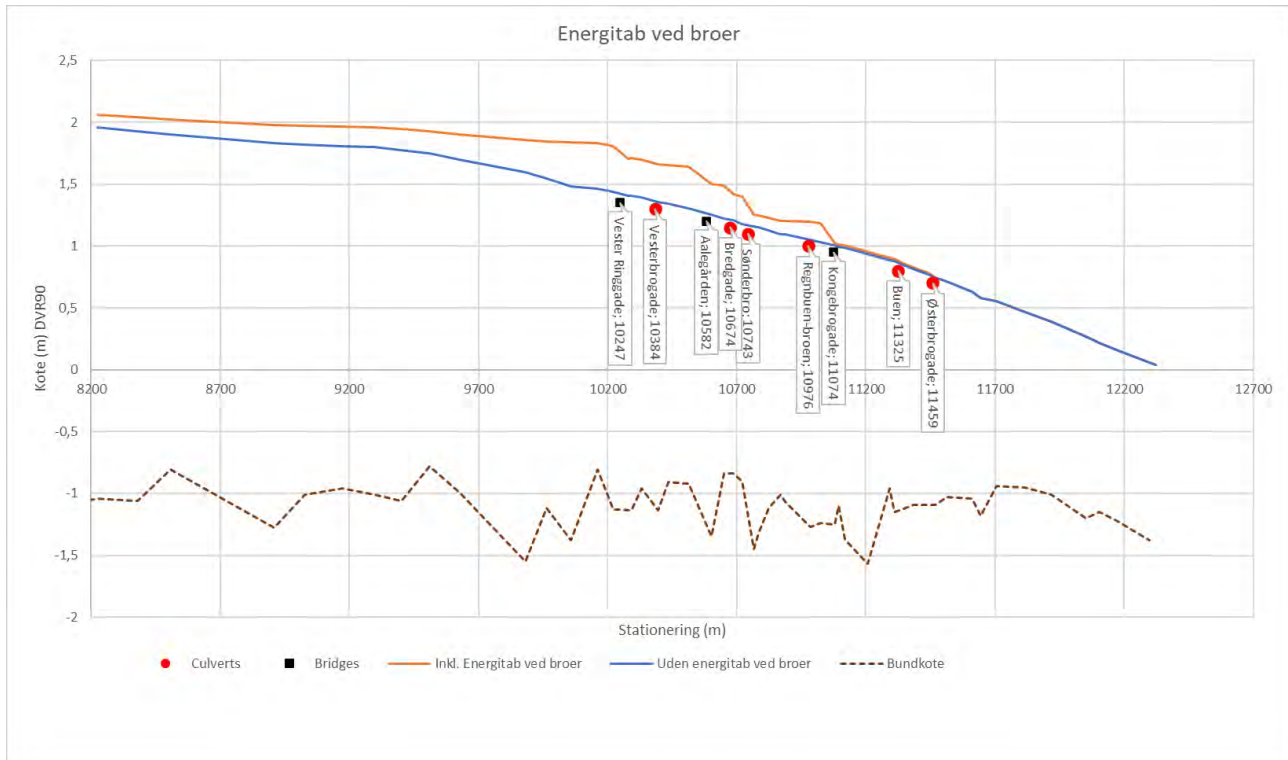
Nogle broer er vurderet ubetydelige, da det vurderes at de ikke er begrænsende for vandføringen. På Figur 12 kan man se placeringen af de 12 broer.



Figur 12 Placering af de 12 broer i Kolding by som er nævnt i Error! Reference source not found..

Opstuvningen (Enkelttabet) ved broerne beregnes i den hydrauliske model på grundlag af beskrivelsen af geometri af broen og tværsnit før og efter broen.

Der er udført en beregning med en vandføring på 27 m³/s, som ligger ca. midt i estimeret for hændelsen i februar 2020 (25-28 m³/s). Beregningen er udført med og uden energitabet ved de 9 betydelige broer, som også er angivet på figuren herunder. Formålet med beregningen er at vise betydningen af broerne på strækningen.

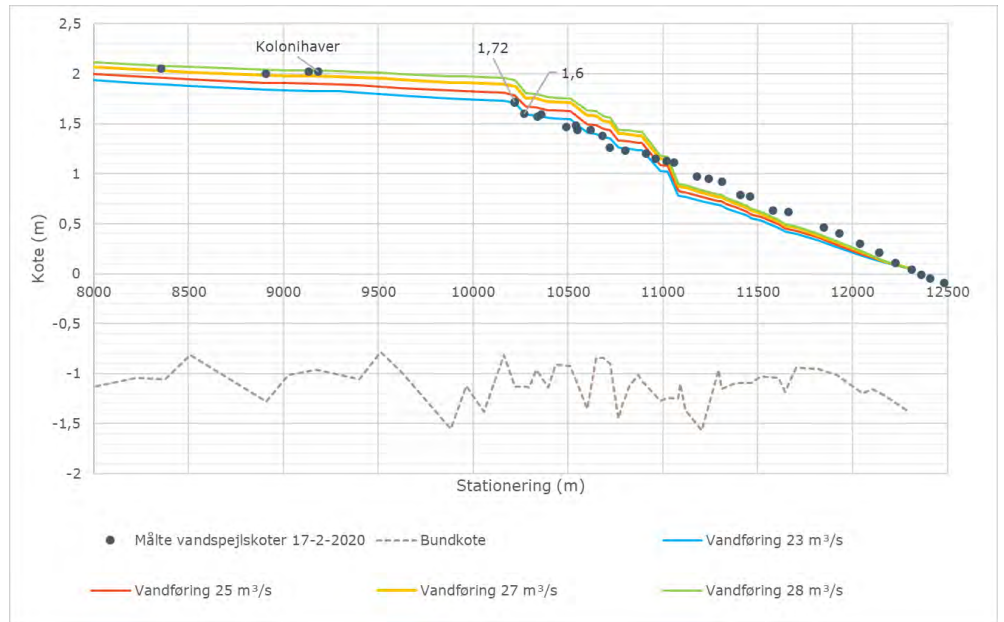


Figur 13 Vandspejlsberegning for Kolding Å, med angivelse af de 9 broer, der vurderes at have en indsnævrende effekt og derfor er medtaget i den hydrauliske model. Vandføring 27 m³/s. Stationering iht. opmåling 2018.

Beregningen viser at de enkelte broer, hver især giver op til 15 cm stuvning, hvor broerne ved Kongebrogade, Sønderbro, Ålegården og Vestre Ringgade umiddelbart er dem der bidrager mest. Den samlede effekt af broerne er ved denne vandføring op til 37 cm umiddelbart opstrøms Vestre Ringgade. Effekten aftager hurtigt opstrøms og er således under 10 cm i station 8200 ved Plovfuren.

Det fremgår af beregningerne, at der ikke er nogen betydende opstuvende effekt ved de nedstrøms broer ved Østerbrogade og Buen.

Dette underbygges af observationer under hændelsen i februar 2020. Ved hændelsen blev der udført målinger af vandspejlet op og nedstrøms for broerne ved en vandføring på ca. 25-28 m³/s (COWI 2020).



Figur 14 Beregnede og opmålte vandstande ifm. hændelsen i februar 2020. Stationering ift. opmåling 2018.

Af målingerne fremgår, at der ikke kan observeres en opstuvning ved de nedstrøms broer, men at effekten indtræder ved Kongebroen i st. 11074, hvor opstuvningen dog er målt lidt mindre end beregnet. Målingerne er som nævnt senere sket i en periode hvor vandføringen kan have ændret sig over tid, hvilket kan bidrage til denne usikkerhed. Dette gælder også ved Sønderbro i st. 10743, mens effekten er lidt større end modelleret ved Bredgade. Der er sammenlignelige vandspejlsfald på de øvrige broer, og et målt vandspejlsfald på 12 cm ved Vestre Ringgade, hvilket er det størst registrerede. Ved undersøgelsen i 2020 var det ikke muligt at tilvejebringe bedre overensstemmelse og en del af usikkerheden kan henføres til den tidsmæssige variation i afstrømningen, samt det forhold at den fysiske vandoverflade (trykhøjden) varierer med strømningshastigheden, da energilinjen vil være svagt faldende mod udløbet. Er der målt på stillestående vand ved kanten, vil dette være højere end strømmende vand midt i åen, hvor hastigheden udgør en del af energien. (På billeder taget undervejs i forløbet kan konstateres at vandspejlet undervejs har varieret med op til 5-10 cm (COWI 2020)), samt at der er en lille usikkerhed i målingerne.

Samlet må det vurderes at effekten ved at reducere opstuvningen ved broerne er begrænset, da det ikke vil være muligt at fjerne hele opstuvningen på op til 37 cm.

Den opstuvende effekt vil være mindre ved lavere vandføringer. Dette gælder på hele strækningen og vil være proportionalt med vandføringen og relativt til den beregnede effekt af opstuvning vist på Figur 13. Ved lave vandføringer vil der ikke være nogen opstuvende effekt.



Figur 15 Broen ved Kongebrogade (Google streetview)



Figur 16 Søndergade (Google Streetview), bemærk endvidere ejendommen som nærmest er integreret i broen ved sammenbyggede fundamenter.

Broen ved Søndergade er fredet og kan derfor umiddelbart ikke ændres.



Figur 17 Broen ved Bredgade (Google Streetview)

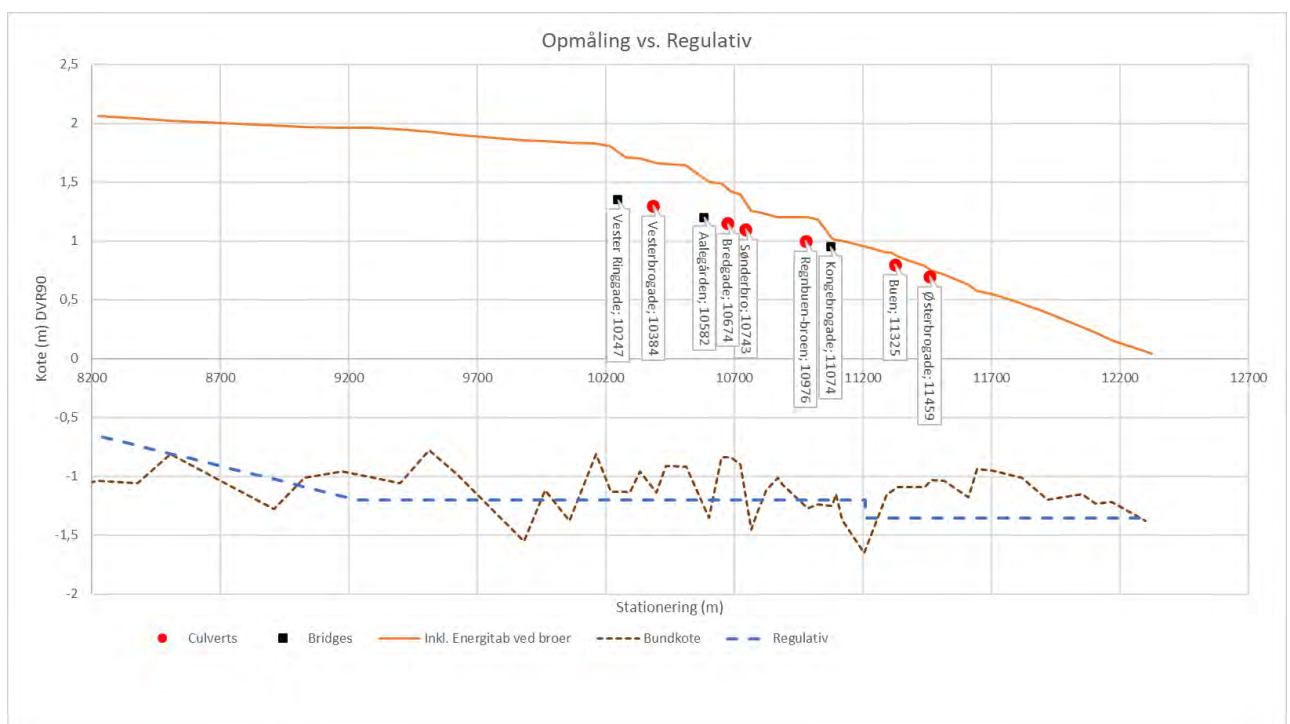
De enkelte broer bidrager således kun begrænset til opstuvningen og for at fjerne denne effekt, må der ikke være reduktioner i det tværsnitareal vandet

strømmer i, når det overgår fra åbent vandløb til strømning under broen. Det er denne indsnævring, der ved store vandføringer medfører en kontraktion (sammenpresning) af strømningen og der skabes et energitab både under broen og ved ind og udløb. Hvis denne effekt skal fjernes ved de helt store afstrømninger skal åen kunne føres igennem uden tværsnitsændringer. Derfor vil der være behov for betydelige indgreb f.eks. en omfattende ombygning eller udskiftning af broerne, for at dette kan lade sig gøre.

6.1.1 Vurdering af evt. kapacitetsbegrænsende forhold

Udover broerne kan der være særlige forhold i vandløbet, der begrænser kapaciteten. Dette kan være sedimentaflejringer i vandløbet eller støttemure der indsnævrer tværsnittet.

Nedenstående længdeprofil viser de opmålte bundkoter ifm. opmålingen i 2018, samt de regulativmæssige bundkoter.

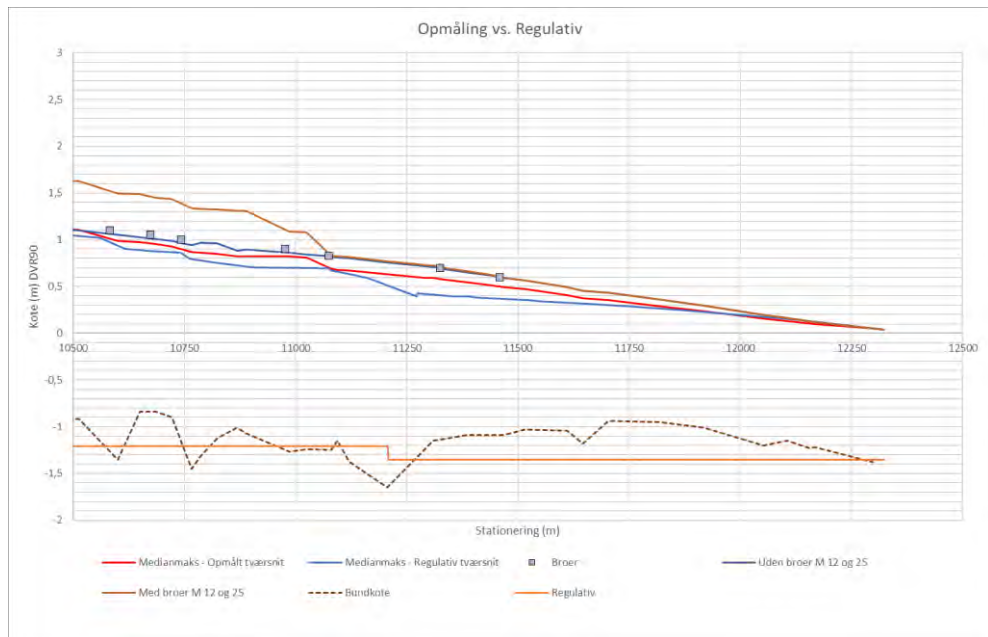


Figur 18 Sammenstilling af regulativmæssig bundkote og laveste kote i opmålte tværsnit. Stationering ift. opmåling 2018.

Figuren viser at de opmålte tværsnit på flere strækninger ligger lidt over den regulativmæssige bundkote.

I regulativet er anført følgende bestemmelser ift. vedligeholdelse på strækningen fra st. 7250-12300, Hartekanal til Kolding Fjord: "Vandløbet skal vedligeholdes således, at de i afsnit 3.2 angivne dimensioner i princippet er opfyldt, idet der dog for at opnå den fastlagte recipientkvalitet kan tillades variationer, der

ikke medfører væsentlige forringelser af vandføringsevnen ift. de forudsatte dimensioner."



Figur 19 Beregnet vandspejl ved medianmaksimum ved opmålte forhold ift. de regulativmæssige forhold. Stationering ift. opmåling 2018. Der er udført en beregning på de opmålte forhold, samt de regulativmæssige. Denne beregning viser at regulativet er overholdt ved normale afstrømninger (4 m³/s), men at der ved afstrømninger tilsvarende medianmaksimum (16 m³/s) beregnes et vandspejl der er op mod 20 cm højere end ved de regulativmæssige tværsnit på en kort strækning gennem byen, se Figur 19.

Overskridelser over 10 cm vurderes normalt som væsentlige. På denne strækning er vandstanden dog under kote 1,0 m, som er indenfor den variation normale højvandshændelser i vinterhalvåret giver anledning til. Overskridelsen sker derfor på en strækning hvor den ikke medfører problemer.

Ved høj vandstand i havnen vil der ikke være en væsentlig overskridelse da tværsnittet øges på grund af det og forskellen på regulativ og opmålt tværsnit bliver mindre. Da åen generelt er bredere end regulativet, vil der ligeledes være et supplerende tværsnitareal til rådighed op til kote 1 i de faktiske forhold ift. regulativet.

En gennemgang af tværsnittene på strækningen viser at bunden på strækningen fra ca. st. 11.300 til ca. st. 12200³ ligger højere end den regulativmæssige hvilket er årsagen til denne opstuvning. Det er uklart hvor lang tid denne sandpude har ligget der, ligesom det ikke vides om hændelsen i februar 2020 har skyllet noget af det ud i havnen. Det vurderes at det er en del af åens naturlige sedimenttransport og såfremt det oprensnes vil der løbende ske en tilførsel af nye

³ Stationering ift. opmåling 2018.

materialer. En oprensning vil ikke have væsentlig betydning, da strækningen ligger indenfor den normale højvandsvariation, jf. afsnittet ovenfor.

Gennemgangen har vist, at der under kote 1,0 m (omtrentlig kritisk kote) er et tilstrækkeligt tværsnitareal til rådighed under til at den regulativmæssige vandføringsevne er til rådighed og der derfor ikke er tale om en overskridelse af de regulativmæssige dimensioner i situationer der vil skabe problemer langs åen. Det er således kun ved lav vandstand i fjorden at der kan konstateres en forskel og der sker overskridelsen indenfor vandløbets normale profil.

Der er flere naturlige årsager til variationer i tværsnittene. Hvilket kan illustreres med foto herunder fra st. 11150, samt opmålte tværsnit fra st. 11119 opstrøms og 11206 nedstrøms (opmålt stationering).



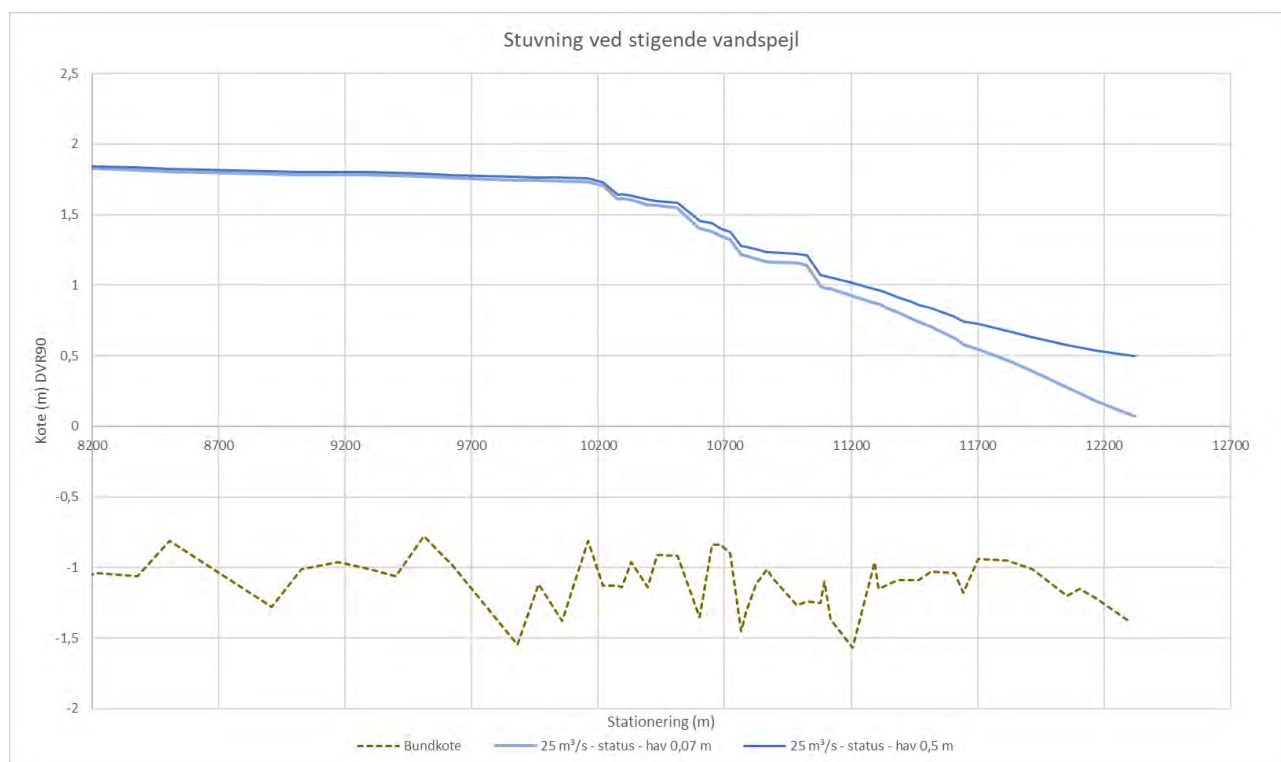
Figur 20 Sedimentpude med siv og tværsnit omkring st. 11.150. På tværprofilerne er de opmålte tværsnit vist med blå og de regulativmæssige med orange. Stationering iht. opmåling 2018.

Sedimentation i indersiden af et sving, er en naturlig proces, da hastigheden er lavest der. Tilsvarende vil vandløbet være dybere i yderkurven. Den regulativmæssige bundkote i dobbeltprofilet er -0,4/-1,2 DVR90 (-0,3/-1,1 DNN) og bredden 6,2/15,7 m. På trods af sandpuden er der her en stor overkapacitet i tværsnittet på denne delstrækning.

Det vurderes ikke at der inden for de regulativmæssige rammer findes mulighed for at øge kapaciteten i vandløbet i en væsentlig grad der vil have betydning for store afstrømninger og oversvømmelser. En fjernelse af de mindre sandaflejringer som angivet ovenfor vil ligeledes kun have begrænset betydning. I afsnit 6.4 ses på muligheden for at øge tværsnittet udover det regulativmæssige og dermed kapaciteten. En sådan udvidelse vil være en regulering af vandløbet og blandt andet kræve en tilladelse efter vandløbsloven.

6.2 Vurdering af kapaciteten ved stigende vandspejl.

For at vurdere kapaciteten gennem Kolding ved det stigende vandspejl i havet er der udført beregninger med en vandføring på 25 m³/s ved hhv. nuværende middelvandspejl i kote 0,07 m og ved et fremtidigt havvandspejl på 0,5 m, som er det der forventes i år 2075 ved klimascenarie RCP 8.5.



Figur 21 Effekten på vandstand gennem Kolding ved stigende havvandspejl. Stationering iht. opmåling 2018.

Det fremgår af Figur 21 at et stigende havvandspejl vil forplante sig tilbage til broen ved Vestre Ringgade i station 10247⁴, opstrøms herfor er effekten begrænset til 1-2 cm.

På strækningen mellem Vestre Ringgade og Kongebuebroen øges effekten af en forhøjet vandstand fra 3 cm til 8 cm. Nedstrøms herfor er vandstanden under 1,1 m og ligger ca. indenfor en normal 1 års hændelse for højvande, hvilket ikke

⁴ Stationering iht. opmåling 2018.

giver udfordringer, da forøgelsen af vandspejlet ligger indenfor den normale højvandsituation. Det må derfor forventes at de oversvømmelser der forekommer kan accepteres. Nedenstående tabel lister de enkelte delstrækninger, med angivelse af de vandstandskoter, hvor åen går over sine bredder og begynder at give problemer.

De kritiske koter i tabellen er angivet ud fra analyser af terrændata ved hjælp af SCALGOlive og fastlagt der hvor vandspejlet breder sig ud over åens naturlige afgrænsning. I bemærkning er anført om det er haver, eller ejendomme der berøres.

Tabel 13 *Oversigt over delstrækninger langs åen med angivelse af den maksimalt beregnede vandstand og vurderede kritiske koter ift. oversvømmelser..*

Lokalitet	Strækning ⁵	Kritisk kote	Vandspejlskote ved 25 m ³ /s og nuv. hav 0,07 m	Vandspejlskote ved 25 m ³ /s og fremt. hav 0,50 m	Bemærkning
Dr. Fichs Vej (haver)	10247-10384	1,00	1,61	1,64	Haver der oversvømmes ved de beregnede vandstandsforhold
Ålegården (cykelsti)	10247-10384	1,40	1,61	1,64	Vandet kan løbe ind på vejen ved kote 1,50 m. Åbning lukkes ved beredskab.
Vesterbrogade 27-31	10400	1,00	1,57	1,60	Ejendomme står på terræn omkring kote 1,0. Da de er ret nye antages det at de kan tåle påvirkning fra et vandspejl omkring de beregnede koter.
Sct. Jørgens Gade	10420-10582	1,49	1,56	1,60	Vand står op til ejendomme

⁵ Stationering iht. opmåling 2018

Nytorv	10582-10674	1,45	1,40	1,46	Vand står op til ejendomme, både nord og syd for åen
Ålegården/Divelshul	10384-10582	1,60	1,56	1,60	Vandet oversvømmer cykelsti og ejendomme syd for.
Søndertorv	10674-10743	1,44	1,34	1,41	Fremtidigt vandspejl vil være i samme niveau som kritisk kote
Brostræde, Føtex P-hus	10743-10780	1,15	1,21	1,28	Nuværende problemer bliver værre
Riberdyb	10800-11074	1,45	1,18	1,25	Områderne ved Riberdyb og Holmsminde er under udvikling og kan derfor indrettes efter mulige fremtidige forhold og projekter.
Holmsminde	10850-11074	1,26	1,16	1,23	
Ågade	11074-11325	1,00	0,97	1,06	Nuværende problemer bliver værre
Søndre Havnevej	11074-11325	1,00	0,97	1,06	Nuværende problemer bliver værre

Der er således flere steder, hvor der allerede er udfordringer ved maksimal vandføring samt hvor en relativ beskeden stigning på bare 5-8 cm vil gøre situationen værre.

På nogle lokaliteter f.eks. omkring ejendommene på Vesterbrogade 27-31 er det meget vanskeligt at lave supplerende sikring. Det må formodes at ejendommene på Vesterbrogade er sikret til at der kan stå vand op af fundamenterne uden at det skaber problemer. Ved Nytorv overskrides koten lige akkurat i den fremtidige situation, det er således lige på grænsen og det bør undersøges ved inspektion af ejendommene om de kan tåle påvirkningen. De eksisterende boardwalks

gennem byen vurderes at kunne håndtere oversvømmelser uden at det skaber problemer.

6.3 Mulige indgreb for at forbedre kapaciteten

Der er følgende mulige indgreb for at forbedre kapaciteten i Kolding Å

- > Indgreb ved broer
- > Sikring mod oversvømmelser langs åen
- > Uddybning af Åen

Disse indgreb kan i et vist omfang bruges enkeltvis til sikring af vandføringen på 25 m³/s, så den også er der ved en forhøjet vandstand i havet. Eller de kan bruges i kombination til en mindre forøgelse af vandføringsevnen.

6.3.1 Mulige indgreb, broer

For at eliminere den opstuvende effekt ved broerne skal de ændres således at der ved så store afstrømninger ikke sker en ændring af tværsnittet og dermed energitab der giver anledning til opstuvning.

For de tre broer ved Vestre Ringgade, Bredgade og Kongebrogade gælder at for at fjerne opstuvningen skal broen bygges om, hvilket i praksis vil kræve etablering af en ny bro. Sønderbro er fredet og indgår derfor ikke i vurderingen.

Herunder er angivet et indledende overslag over anlægsudgifter inkl. korrektionsstillæg på 50% dækkende uforudsete udgifter, samt rådgiverudgifter iht. Vejdirektoratets retningslinjer for indledende anlægsprojektering.

Tabel 14 Anlægsoverslag for indgreb ved broerne i Kolding.

Delpost	Bro ved Vestre Ringgade (mio. kr.)	Bro ved Bredgade (mio. kr.)	Bro ved Kongebrogade (mio. kr.)
Ny bro	15,4	11,7	7,8
Vejhævning	1,2	0,7	0,5
Trafikoplægning	1,5	0,5	0,3
De-/genmontage at stitunnel	-	-	0,8
Nedrivning	0,5	0,3	0,3

Delsum	18,6	13,2	9,7
Administrationstil- læg 15%	2,8	2,0	1,5
Korrektionsbidrag 50%	9,3	6,6	4,9
Samlet overslag	30,7	19,8	16,1

Der kræves således en investering på ca. 67 mio. kr. for at reducere vandstanden med ca. 30 cm umiddelbart opstrøms Vestre Ringgade og lidt mindre effekt ned gennem midtbyen. Det vil således kunne erstatte andre indgreb langs åen for at sikre en vandføringsevne på 25 m³/s, også ved den stigende havvandstand. Såfremt der også kunne ske indgreb ved Sønderbro kunne vandstanden reduceres med yderlige ca. 7 cm.

Hertil kan komme eventuelle supplerende omkostninger til sikring af bygninger ved broerne. Disse kan dog ikke umiddelbart prissættes på dette undersøgelsesniveau. Det vurderes dog at disse omkostninger kan være betydelige.



Figur 22 Lavtliggende ejendomme ved mellem Bredgade og Sønderbro

Det skal bemærkes at broen ved Kongebrogade er renoveret i 2019-20, herunder at stitunnellen under broen er etableret, ligesom der er lang restlevetid på broen ved Vestre Ringgade. På dette grundlag vurderes det mest hensigtsmæssigt at udskyde evt. ombygninger til der igen skal ske hovedrenovering af broerne. Dette medtages i evalueringen af de øvrige alternative indgreb. Sønderbro er fredet og er derfor ikke foreslået ændret.

6.3.2 Sikring mod oversvømmelser langs åen

Sikring mod oversvømmelser langs åen, kan udføres ved at hæve terrænet, etablere beskyttelsesmure eller diger, eller der kan etableres beredskabsløsninger med sandsække og watertubes.

Igennem byen vil der typisk være behov for mindre sikringer med en højde på op til 0,5 meter over eksisterende terræn, for at kunne fremtidssikre mod den stigende havvandstand og måske også for at kunne øge kapaciteten til f.eks. 28 eller 30 m³/s. Såfremt kapaciteten øges vil der dog også blive behov for tiltag længere opstrøms for at reducere effekten af en øget afstrømning. Dette gælder f.eks. i Alpedalen.

Der er generelt tillagt et sikkerhedsniveau på ca. 20 cm ift. kritisk kote således, at der også på strækninger hvor den beregnede vandstand er tæt ved at skabe problemer, etableres tiltag. Herved sikres at den samlede løsning er robust overfor mindre variationer i kapaciteten forårsaget af forhøjet vandstand eller variationer i ruheden i vandløbet.

Det er væsentligt at have fokus på skybrudssituationen, når der planlægges diger eller mure langs et vandløb, da skybrudsvandet skal kunne strømme af til vandløbet i de situationer hvor kloakkerne overbelastes. Der kan derfor blive behov for dyrere løsninger ved åbninger som f.eks. porte, der kan åbnes eller lukkes, enten automatisk eller som en del af beredskab ved udlægning af sand-sække.

I det følgende regnes med enhedspriser på

- > 1000 kr./m simpelt jorddige op til 0,5 m.
- > 4000 kr./m for støttemur på op til 0,5 m.
- > 8000 kr./m støttemur på 0,5-0,8 m
- > 50.000 kr./stk. for vandtæt port.
- > Der er tillagt ekstra omkostninger hvor der er behov for særligt indpasset arkitektur eller lign.

Tabel 15 Foreslåede indgreb på delstrækninger

Lokalitet	Strækning Stationering (m) ⁶	Kritisk kote (m)	Vandspejl- skote ved 25 m ³ /s og fremti- digt hav i kote 0,50 m	Bemærkning	Indgreb for at sikre kapaciteten gennem byen.
Dr. Fichs Vej (haver)	10247-10384	1,00	1,64	Haver der over- svømmes ved de beregnede	Ingen

⁶ Stationering iht. opmåling 2018

				vandstandsforhold	
Ålegården (cykelsti)	10247-10384	1,40	1,64	Vandet kan løbe ind på vejen ved kote 1,50 m. Åbning lukkes ved beredskab.	Ingen eller evt. etablering af mindre jorddige
Vesterbrogade 27-31	10400	1,00	1,60	Ejendomme står på terræn omkring kote 1,0. Da de er ret nye antages det at de kan tåle vandspejl omkring de beregnede koter.	Ingen
Sct. Jørgens Gade	10420-10582	1,49	1,60	Vand står op til ejendomme	Den kritiske kote overskrides, der foreslås etableret et jorddige omkring ejendomme 50 m.
Nytorv	10582-10674	1,45	1,46	Vand står op til ejendomme, både nord og syd for åen	Vandet når samme niveau som den kritiske kote, der foreslås etableret en 160 m støttemur, ca. 0,3 m høj.
Ålegården/Divelshul	10384-10582	1,60	1,60	Vandet oversvømmer cykelsti og ejendomme syd for.	Vandet når samme niveau som den kritiske kote, der foreslås etableret en 180 m 0,3 m høj støttemur mellem cykelsti og åen
Søndertorv	10674-10743	1,44	1,41	Fremtidigt vandspejl vil være i samme niveau som kritisk kote	Vandet når samme niveau som den kritiske kote, der foreslås etableret en beredskabsløsning

					med sandsække, watertubes eller semipermanente anlæg, såfremt der kan opnås dispensation fra fredningen til dette.
Brostræde, Føtex P-hus	10743-10780	1,15	1,28	Nuværende problemer bliver værre	Det er ved opmåling (Kolding kommune) fastlagt, at der ikke er behov for sikring på denne delstrækning.
Riberdyb	10800-11074	1,45	1,25	Områderne ved Riberdyb og Holmsminde er under udvikling og kan derfor indrettes efter mulige fremtidige forhold og projekter.	Nødvendig sikring foreslås indarbejdet i projekt for Riberdyb og Holmsminde. Indtil arealet udbygges gøres ingenting, da udfrodrningen først bliver aktuel ved det stigende vandspejl.
Holmsminde	10850-11074	1,26	1,23		
Ågade	11074-11325	1,00	1,06	Nuværende problemer bliver værre	Den kritiske kote overskrides, der foreslås etableret et en 130 m støtemur, 0,3 m høj.
Søndre Havnevej	11074-11325	1,00	1,06	Nuværende problemer bliver værre	Den kritiske kote overskrides, der foreslås etableret et en 140 m støtemur, 0,3 m høj.

De beskrevne indgreb er overslagsmæssigt prissat i nedenstående tabel.

Tabel 16 Anlægsoverslag for indgreb langs åen.

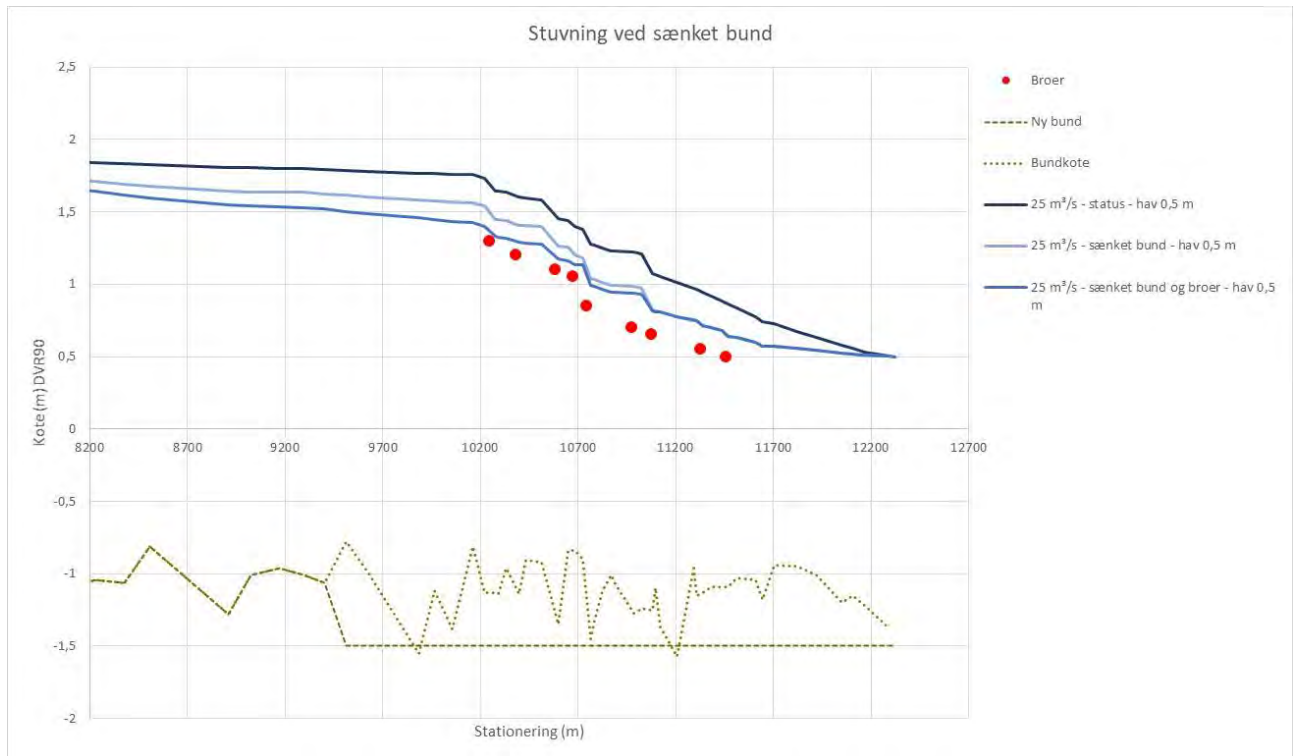
Delpost	antal	enhedspris	Delsum
---------	-------	------------	--------

			1000 kr.
Jorddige omkring ejendom på Sct. Jørgens Gade	50	1000	50
Støttemur Nytorv	160	4000	640
Støttemur Ålegården Divelshul	180	4000	720
Ågade	130	4000	520
Søndre Havnevej	140	4000	560
Lokale sikringer af ejendomme	-	-	1.000
Delsum			3.490
Administrationstil-læg 15%			520
Korrektionsbidrag			1.745
Samlet overslag 1000 DKK			5.755

Ovenstående overslag vil dels medvirke til en fremtidssikring af åen, samt eliminere behovet for ekstra pumpekapacitet udover de planlagte 20 m³/s. (se senere vedr. sandsynlighed for kombinerede hændelser)

6.3.3 Uddybning af åen

Et alternativ til indgreb langs åen eller ved broerne er at uddybe åen på strækningen fra umiddelbart opstrøms Vester Ringgade til udløbet i havnen.



Figur 23 Effekt af sænket bund ved fremtidigt vandspejl

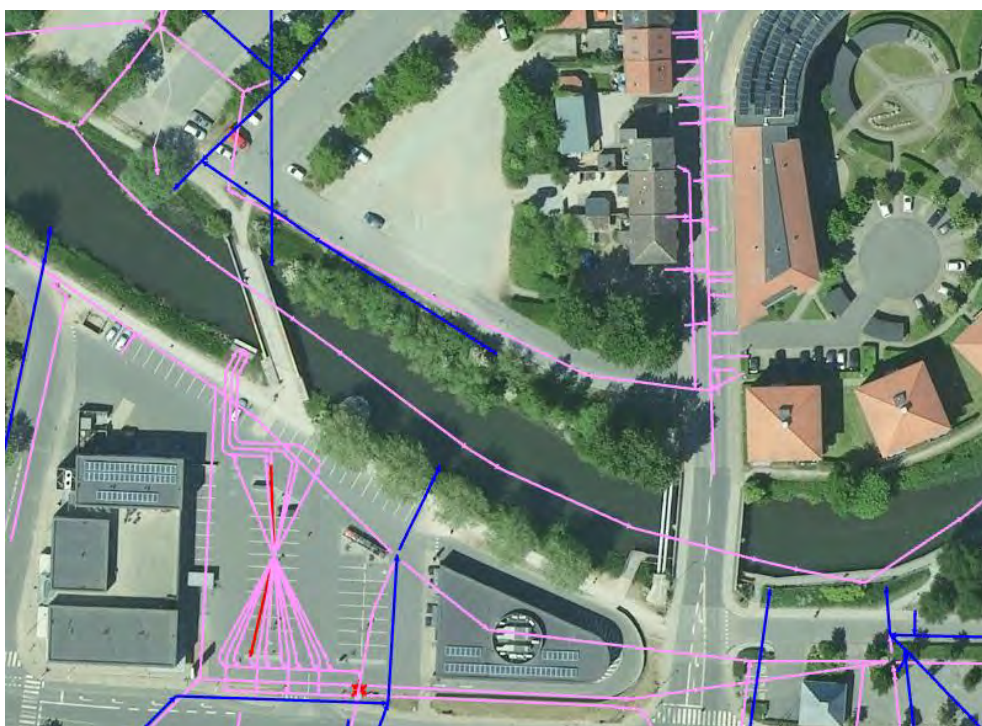
For at vurdere effekten er der udført en beregning, hvor bunden i Kolding Å er sænket fra st. 9500, hvilket er ca. 750 m opstrøms broen ved Vestre Ringgade, til udløbet i Havnen. Bunden er sænket til kote -1,5 m DVR90, beregningerne er udført både med eksisterende tværsnit under broerne og hvor bunden under broerne ligeledes er sænket til -1,5 m DVR90. Beregningen er udført ved det fremtidige havvandspejl i kote 0,5 m. Det vurderes ikke at der er reelle alternativer med delvise uddybninger der vil give en væsentlig effekt.

Det fremgår af beregningerne at vandstanden i fremtiden vil kunne holdes ca. 15 cm under det niveau der vil opleves med de nuværende bundkoter. Uddybes under broerne opnås en supplerende effekt på ca. 10 cm. En sænkning på 15 cm vil mindske behovet for supplerende foranstaltninger langs brinken, men vil ikke eliminere dette behov ved den fremtidige vandstandsstigning. Sammen med en reduktion under eksisterende broer opnås en effekt på op mod 25 cm. Herved fjernes behovet for supplerende foranstaltninger gennem byen. Indgrebet sikrer således en fremtidig vandføring på 25 m³/s ved det stigende vandspejl, men er ikke et alternativ til oplandsprojektet.

Der bemærkes dog følgende væsentlige problemstillinger:

- En fremtidig bundkote i minus 1,5 m i hele bredden vurderes som størst mulige indgreb. Det kan evt. udføres ved at bevare de nuværende koter i siderne og så uddybe lidt mere i midten. Herved vil effekten være lidt mindre end de 15-25 cm. Som beskrevet herunder er der dog flere usikkerheder der skal afklares før det kan fastslås om indgrebet er muligt.

- > Forholdende omkring stabiliteten af støttemure ved en sænkning af bunden er ikke undersøgt og bør kortlægges grundigt før udførelsen.
- > Der er ikke taget hensyn til mulige krydsende ledninger, ligesom der på den nedre strækning af åen ligger en trykledning (afløb) til renseanlægget. Det er usikkert om det overhovedet kan lade sig gøre at sænke bunden henover disse. Ledningen ligger fra st. 10500 til 11300⁷, den er dækket med en betonplade, med kote til overside 20-30 cm under den regulativmæssige bundkoter. Det fremgår af kortudsnit herunder, at ledningen forløber i begge sider af åen. Det vil således ikke være muligt at udgrave kun i den ene side af åen. En eventuel omlægning af ledningen vil være meget bekostelig i størrelsesordenen 10-20 mio. kr.



Figur 24 Udsnit der viser ledningen i åen i området omkring Kongebrogade (st. 11.046 iht opmåling 2018).

- > Sandtransporten i åen bør vurderes ift. indgrebets mulige levetid. Åen befinder sig i en form for ligevægt, hvor sand der aflejres, eroderes ved store afstrømninger og ender i havnen. Hvis åen uddybes, reduceres hastigheden betydeligt og sedimentationen øges. Dette forhold vil desuden blive værre med stigende havvandstand. Det er således ikke på forhånd givet, at indgrebet vil have en varig effekt, men det kan forventes at en uddybning bare vil fungere som et sandfang.
- > Selve oprensningen er besværligt grundet svære adgangsforhold og få muligheder for at komme af med materialerne, som skal afvandes før videre transport.

⁷ Stationering iht. opmåling 2018.

Med ovenstående forbehold kan angives følgende helt overordnede overslag, som er baseret på 500 til 1000 kr./m³ opgravet materiale (enhedsprisen indeholder alle udgifter til arbejdsplads, materiel, interimsforanstaltninger mm). Det er forudsat at max 10% af materialerne skal deponeres.

Det må forventes at der skal foretages løbende vedligeholdelse af indgrebet for at sikre at kapaciteten er tilstede og der ikke sker sedimentation i åen.

Tabel 17 *Simpelt anlægsoverslag for uddybning af åen*

Delpost	antal	Delsum ved 500 kr./m ³ Mio. dkk	Delsum ved 1000 kr./m ³ Mio. dkk
Oprensning	15.000 m ³	7,5	15
Administrationstillæg (15%)	15%	1,1	2,3
Korrektionsbidrag (50%)	50%	3,8	7,5
Samlet overslag mio. DKK		12,4	24,8
Årlig drift eller re- investering ved forventet levetid af indgreb på 20- 30 år*		Ca. 0,5 mio.	Ca. 1 mio.

* Udgifterne til årlig drift er beregnet ud fra en reinvestering ved gentagelse af indgrebet pr. 25 år. Det kan vise sig at dette ikke er tilstrækkeligt og der er behov oftere, f.eks. hvert 10 år, hvorved omkostningerne vil øges med en faktor 2,5.

6.3.4 Samlet oversigt over indgreb til forbedring af kapaciteten

Der er forelagt og diskuteret 3 mulige tiltag til at forbedre kapaciteten i åen. Disse kan hver især opretholde vandføringsevnen på 25 m³/s ved en stigende havvandstand. Herunder er de tre forslag med variationer opstillet til sammenligning.

Indgreb	Effekt	Omkostning	Bemærkning
Indgreb ved broer	Reduktion af vandspejl med op til 30 cm og her- ved sikring af vandføring	67 mio. + supplerende	Anbefales ikke

	på 25 m ³ /s ved stigende havvandstand	omkostninger ved bygninger	
Indgreb langs åen	Etablering af mindre støttemure og andre tiltag vil sikre mod oversvømmelser ved den stigende havvandstand og opretholde kapaciteten på 25 m ³ /s.	5,75 mio.	Anbefalet løsning
Uddybning af åen	Uddybning af åen kan ved samtidig uddybning under broerne opretholde kapaciteten på 25 m ³ /s ved den stigende havvandstand.	12-50 mio. kr.	Tiltag usikkert med hensyn til både effekt og økonomi.

6.4 Mulige indgreb der overflødiggør magasinering i oplandet

Såfremt kapaciteten af åen gennem Kolding skal kunne håndtere en forventet 100 års hændelse uden indgreb i oplandet, kræves der meget betydelige indgreb frem mod år 2075. Disse indgreb vil være væsentligt større end de indgreb der er beskrevet for at opretholde kapaciteten på 25 m³/s ved den stigende vandstand.

En 100 års hændelse i nutiden er estimeret til 30 m³/s og til 36 m³/s i år 2075. Middelvandstanden i Kolding Fjord er i år 2075 estimeret til +46 cm.

Hvis oplandsprojektet skal erstattes alene af indgreb i Kolding Å i forløbet gennem byen vurderes, at der er brug for en kombination af indgreb langs bredden samt uddybning af åen inkl. fjernelse af enkelttab ved broerne:

- > Indgreb langs bredden vurderes til støttemure på minimum 1 m. højde, langs hele strækningen på ca. 2 km fra lige opstrøms Vestre Ringgade til udløb i havnen.
- > Særskilte indsatser for at beskytte Alpedalen, samt flere udgifter til at beskytte bygninger langs åen.
- > Udvidelse af åens tværsnit er nødvendig – primært gennem uddybning - for at øge kapaciteten. Uddybningen vil være til kote -1,5 m DVR90 fra st. 9500 til udløbet. Uddybningen vil jf. afsnit 6.3 fungere som et sandfang og virkningen vil gradvist aftage med mindre der renses op, så tværsnittet opretholdes. Behovet for oprensning er ikke vurderet.

- > Indgreb ved broerne er nødvendige, da enkeltabene stiger med kvadratet på ændringen i vandføringen. Indgreb vil som minimum bestå af en uddybning af bunden gennem broerne, men vil forventeligt omfatte indgreb i broernes konstruktioner. Omfanget af dette er ikke fastlagt.
- > Uddybningen af åen vil betyde behov for forny- eller ombygge en række støttemure langs åen. Omfanget af dette er ikke fastlagt.
- > Bluekolding har en afskærende spildevandsledning udført som en Ø940 mm **PE gravitationsledning beliggende i et "zig-zag" forløb på langs i åen på** strækningen fra Søndergade/Bredgade til Buen/Aagaard v. Syddansk Uni. I alt 7-800 m. Ledningen er ballasteret med U formet låg 20-30 cm under regulativmæssig bund. En uddybelse af åen vil kræve omlægning af ledningen på hele strækningen.
- > Pumpe-sluseprojektet gennemføres som beskrevet med 20 m³/s, da sandsynligheden for sammenfald mellem høj afstrømning og høj vandstand i fjorden ikke ændres (Se afsnit 9).

På det nuværende vidensniveau knytter der sig en lang række usikkerheder til ovenstående, hvorfor det ikke er muligt at afgive et kvalificeret økonomisk overslag. Det vurderes dog, at anlægsomkostningerne ved ovenstående foranstaltninger vil i størrelsesordenen 125-175 mio. kr. ekskl. moms inkl. ombygning af broerne ved Vestre Ringgade, Bredgade og Kongebrogade i et omfang svarende til en ny bro. Dermed vil anlægsomkostningerne overstige oplandsprojektet med en faktor 2-3.

7 Mulige indgreb i oplandet

Følgende volumener indgår i undersøgelsen:

- > E45 (Kolding Å)
- > E45 Jernbanedæmningen (Kolding Å)
- > Dons Nørresø
- > Dons Søndersø, evt. inkl. Stallerup Sø
- > Egtvedvej (Vester Nebel Ådal)
- > Troldhedebanen (Ferup Sø, Vester Nebel Ådal)
- > Harte Skov (Vester Nebel Ådal)

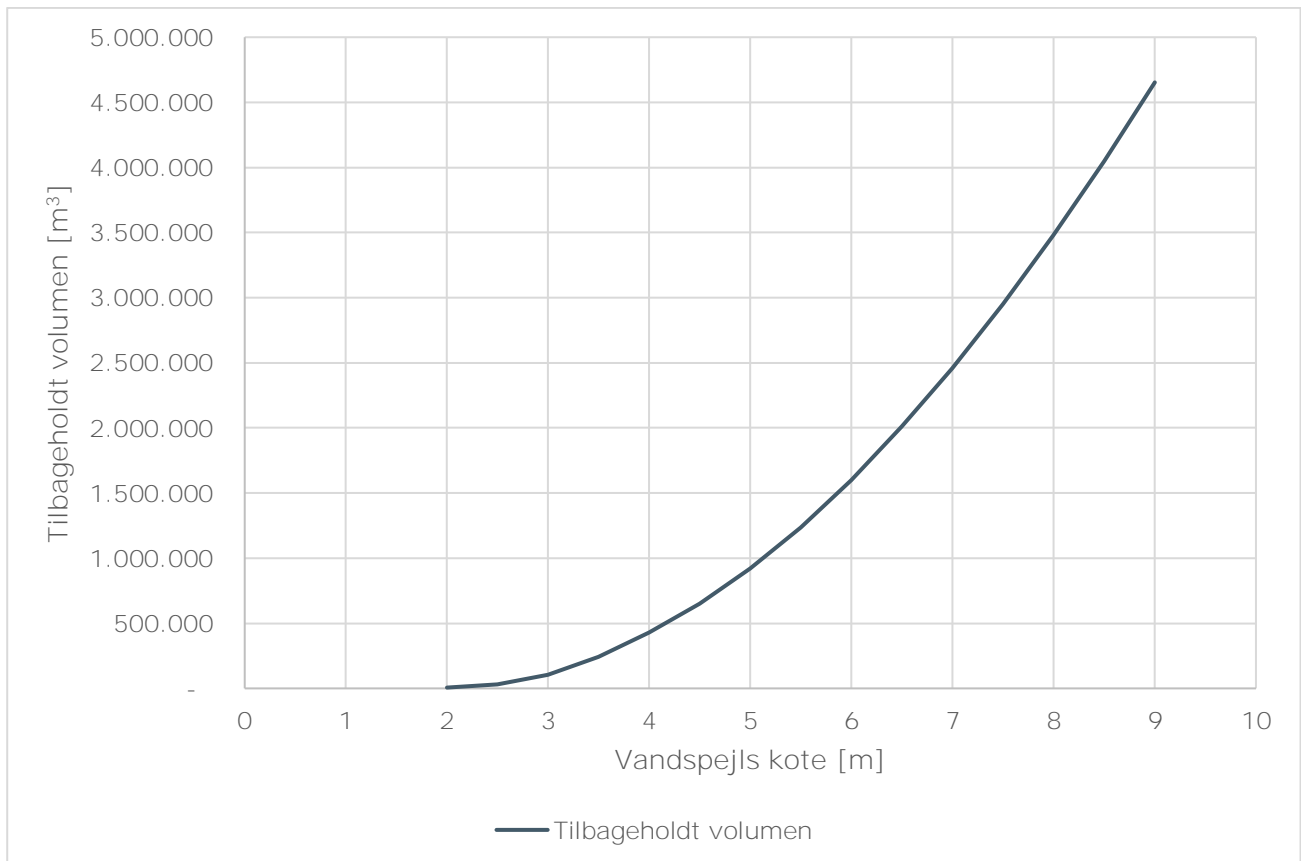
Følgende oplandsbetragtninger vil indgå i undersøgelsen:

- > Inddragelse af opland fra Vester Nebel Å i Dons magasinet
- > Aktiv anvendelse af Harteværket til styring af tømning af Dons Søerne

Mulighederne for magasinering i de enkelte magasiner er beskrevet i de følgende delafsnit.

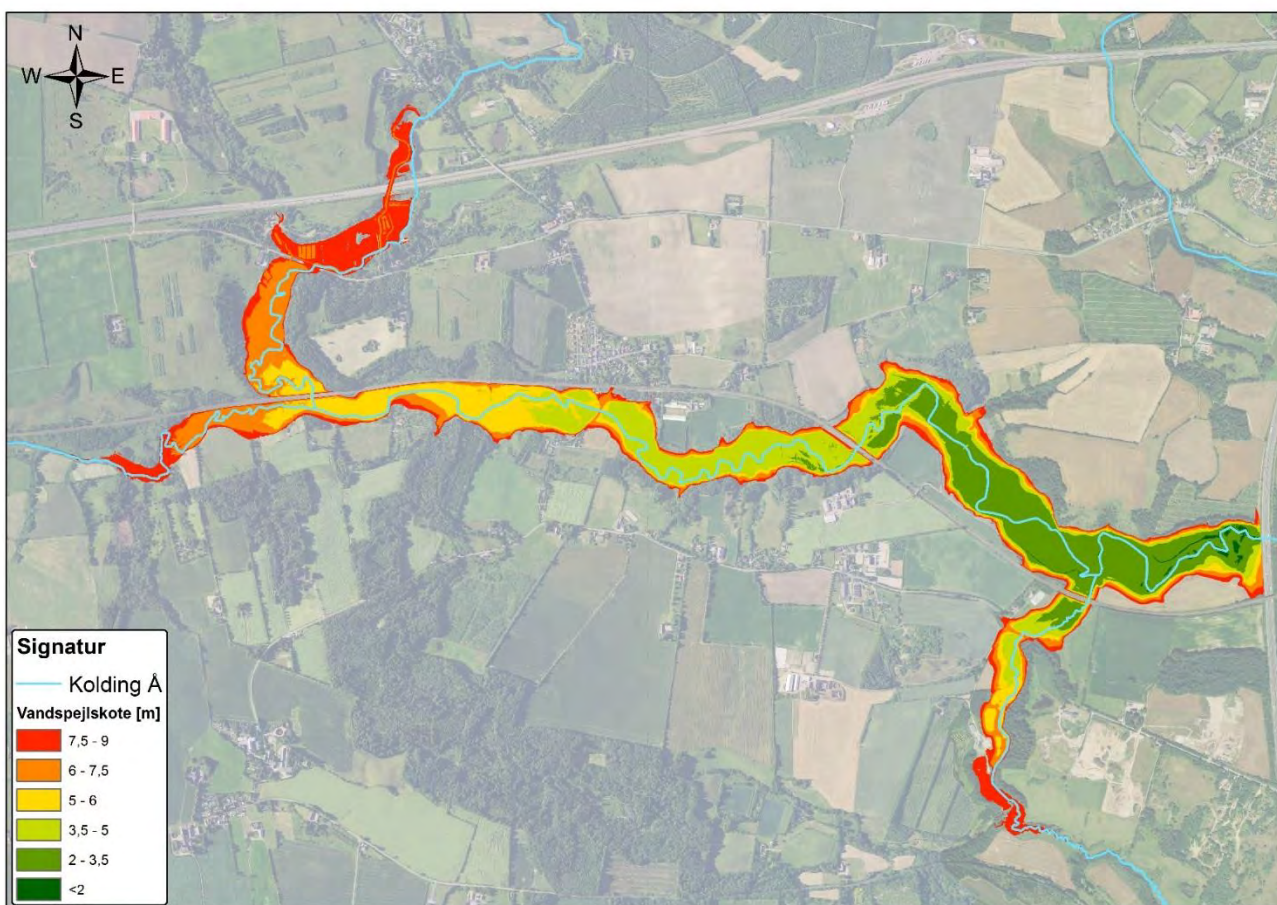
7.1 E45 (Kolding Å)

Vest for E45 langs Kolding Å kan der etableres et stort volumen, hvis der etableres en dæmning vest for motorvejen. Oplandet til Kolding Å hvor den krydser E45 er 206,9 km² og dermed er størstedelen af oplandet til Kolding By være afskåret af en terrænregulering, der vil virke som dæmning. En sluse i dæmningen kan regulere den videre vandføring således at der ledes den maksimale tilladelige vandmængde ned gennem Kolding, mens overskydende vand opmagasineres bag dæmningen. Dermed er en sådan løsning robust i forhold til at beskytte byen mod oversvømmelser ved høj vandføring. Ådalen er meget flad på denne strækning og opstuvningen vil forplante sig langt op i systemet. I forhold til jernbanen er det ikke muligt at stuve vandet højere op end kote 9 m førend det giver problemer for bane legemet. Ved en kote højere end 6 m vil det være nødvendigt at forstærke dele af banelegemet. Vranderup vej, som krydser Seest Mølleå syd for jernbanen, ligger også meget lavt og det vil være nødvendigt at forstærke den og eventuelt hæve den, hvis der ønskes at stuve vand op til højere end kote 5 – 5,5 m. I COWI2019B er et profil for Vranderupvej skitseret, hvor man kan se hvor højt vandet står ved forskellige vandstandskoter. Volumenkurven for det tilbageholdte vand som funktion af vandspejlet er vist på Figur 25.



Figur 25 Volumen kurve for mulig tilbageholdelse af vand ved at etablerer en dæmning vest for E45 ved Kolding Å.

Ved opstuvning til kote 5,0 etableres et volumen på 920.000 m³, heraf de 120.000 opstrøms jernbanen. De 120.000 kan derved ikke indregnes hvis der arbejdes med en løsning opstrøms E45 for sig.



Figur 26 Kort og opdæmmet område ved forskellige vandstandskoter ved opdæmning af Kolding Å vest for E45.

7.1.1 Anlægsoverslag

Der er benyttet skalerede erfaringstal for slusebygværkerne ift. prissætning. I overslaget er det forudsat, at der ikke kan opnås aftale om opstuvning af vand på bane- eller motorvejsdæmninger. Dette betyder, at der er indregnet den fulde udgift til at lave diger foran disse eksisterende konstruktioner. Priserne vil formentlig kunne reduceres, såfremt der kan findes en fælles løsning omkring sikring af bane/vej dæmninger (evt. sikring med impermeabel belægning langs de berørte strækninger, beklædt med græs). Forholdene og udfordringer omkring opstuvning op ad den eksisterende infrastruktur/dæmninger er beskrevet særskilt i COWI2019B.

I alle overslag er der medregnet 15 % til projektering & administration og endvidere tillagt 50 % i form af korrektionsbidrag.

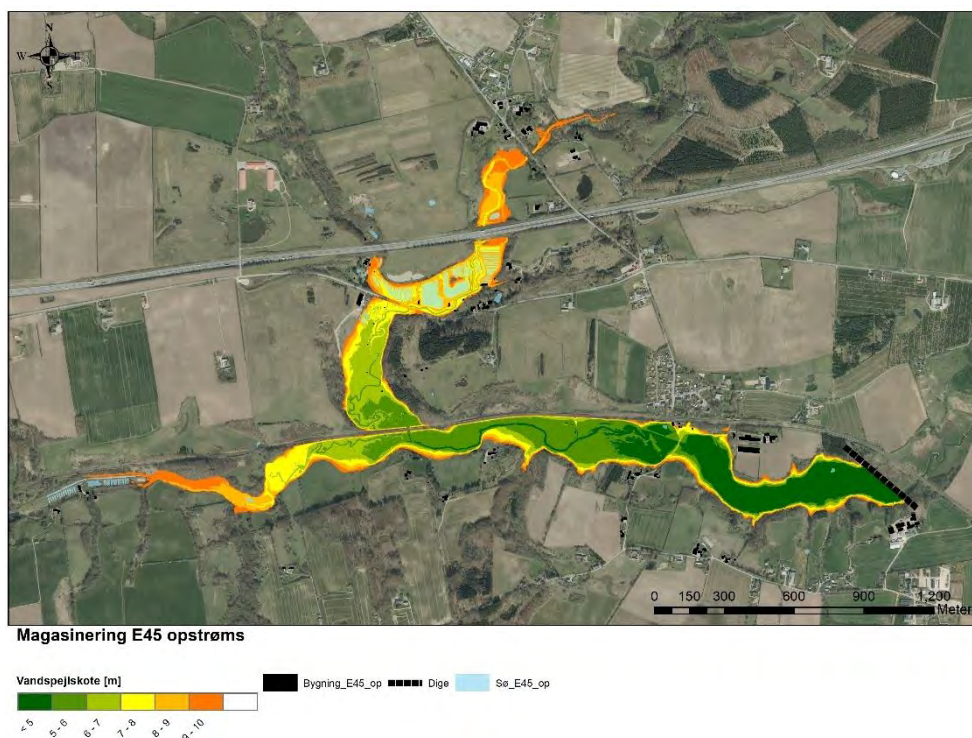
Tabel 18 Anlægsoverslag for magasinering af vand vest for E45 ved stuvning til kote +5,00 m.

Delpost	antal	enhedspris	Delsum Mio. kr.
Slusebygværk	1	11	11
Dige ved byg- værk	180 m, 3 m højt	3500	0,6
Sikring omkring jernbanen	450 m dige 1,5 m højt	1200	0,5
Sikring omkring Sees Mølleå jern- banekrydsning	300 m dige 1-2 m	1500	0,5
Sikring ejen- domme	1	1	1
Delsum anlæg			13,8
Administrations- tillæg (15%)	15%		2,1
Korrektionsbidrag (50%)	50%		7,9
Samlet over- slag mio. DKK			23,8

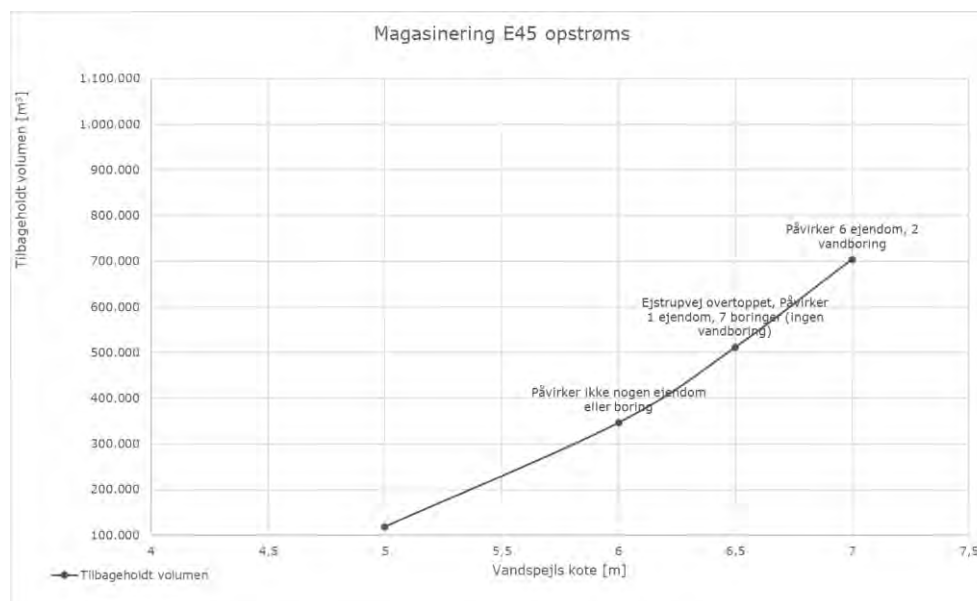
Driftsomkostningerne kan fastlægges skønsmæssigt til 1-2 % af anlægsomkostningerne svarende til 0,25-0,5 mio. kr/år.

7.2 E45 Jernbanedæmningen (Kolding Å)

Et alternativt supplement til E45 projektet er at etablere et supplerende volumen opstrøms jernbane, hvor der så kan magasineres op til kote 6 m. Her skal der dog være fokus på jernbanedæmningen, samt eksisterende boringer

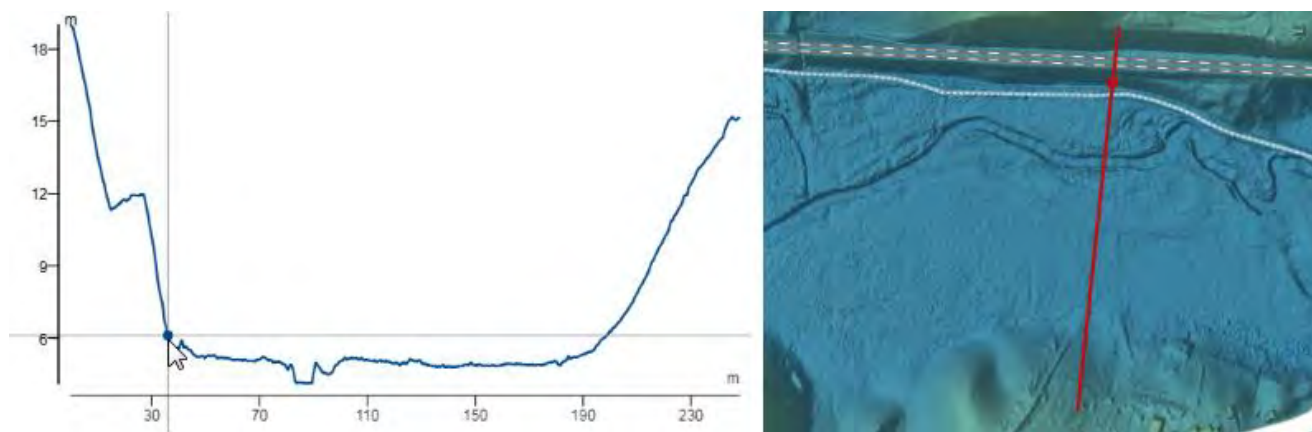


Figur 27 Magasineringsområdet ved E45 opstrøms jernbanen.



Figur 28 Volumenkurve

Ved opstuvning til kote 6,0 etableres et volumen på 350.000 m³ (heraf indgår de 120.000 m³ i E45 projektet under kote 5,0. Ved kote 6 påvirkes ingen af de i figuren beskrevne anlæg.



Figur 29 Profil af ådalen vest for Ejstrupvej hvor banelegemet har risiko for at blive påvirket af forhøjet vandspejl. Linjerne viser, hvor vandet står ved kote 6 m hvor det forventes at banelegemet skal forstærkes.

Tabel 19 Anlægsoverslag for magasinering af vand ved Jernbanen vest for E45 ved stuvning til kote +6,00 m.

Delpost	antal	enhedspris	Delsum Mio. kr.
Slusebygværk	1	8	8
Dige ved byg- værk	200 m, 2,5 m højt	3000	0,6
Sikring af bane- skråning	900 m	200	0,2
Delsum anlæg			8,8
Administrations- tillæg (15%)	15%		1,3
Korrektionsbidrag (50%)	50%		4,4
Samlet over- slag mio. DKK			14,5

Driftsomkostningerne kan fastlægges skønsmæssigt til 1-2 % af anlægsomkostningerne svarende til 0,15-0,3 mio. kr/år.

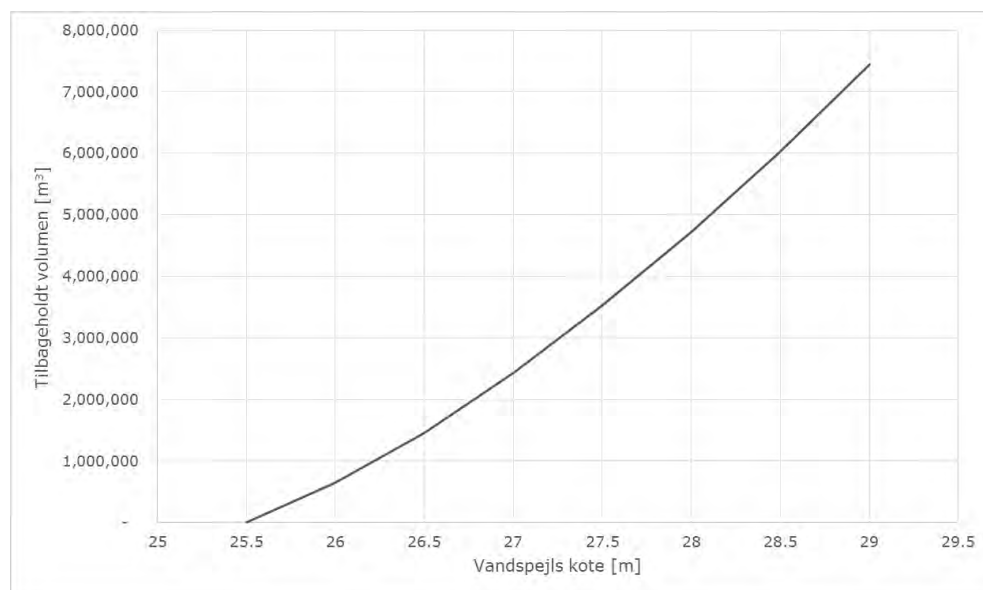
7.3 Dons Søerne

Dons søerne består af tre søer: Stallerup Sø, Søndersø og Nørresø samt et lavtliggende område mellem Stallerup Sø og Søndersø, Skallebæk. Dons søerne har et samlet opland på 49,5 km². Slusen ved Ferup Sø kan omdirigere vandet fra

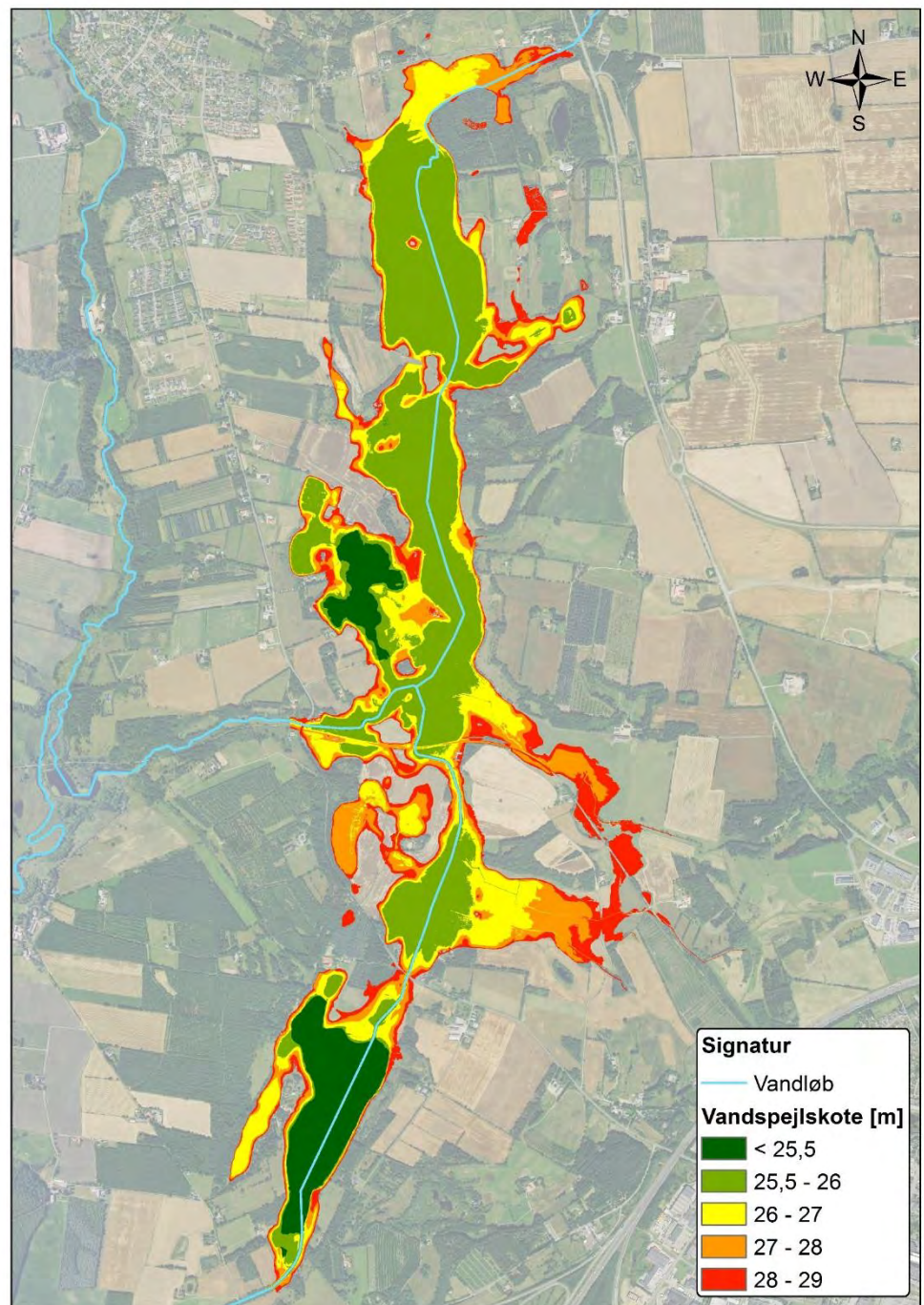
Vester Nebel Å til Dons Søerne således at oplandsarealet kan øges til 139,7 km². Denne variant er beskrevet i efterfølgende afsnit 7.4 Dons søerne med Vester Nebel Å.

Der ligger en del huse langs søerne og dermed kan vandet ikke opstaves særlig højt før det skaber problemer med oversvømmelse af ejendomme. Ved Sønder Sø kan der således kun staves 1 m op over daglig vande før man begynder at påvirke bygninger langs søbredden, og 2 m ved de andre søer samt skallebæk. Volumenkurven for det tilbageholdte vand i Dons Søerne samt den geografiske udbredelse af det opstuede vandspejl er vist nedenfor. Middelvandstanden i Stallerup sø er 25,4 m og 25,5 i Søndersø og Nørresø.

Det maksimale tilbageholdte volumen uden at oversvømme enkelte huse vil være 1,12 mio. m³ hvis der opstaves til kote 26 m ved Stallerup Sø og yderligere til kote 27 m ved Nørresø. Desuden vil der muligvis kunne tilbageholdes et større volumen hvis man sænker vandstande i søerne inden en ekstremhændelse. Det skal dog undersøges om Harteværket kan håndtere yderligere vandmængder i en længere periode. Der er derudover usikkerhed på om der vil være tilstrækkeligt varsel til at man kan nå at sænke vandstanden.



Figur 30 Volumen kurve for mulig tilbageholdelse af vand ved at etablerer en dæmning syd Stallerup Sø.



Figur 31 Kort og opdæmmet område ved forskellige vandstandskoter ved opdæmning af Dons Søerne syd for Stallerup Sø.

Der er opstillet 2 forskellige løsninger. Udnyttelsen i området kræver etablering af 2 bygværker/sluser, da der arbejdes med forskellige vandspejlskoter i området.

- > I scenarie 1 opstemmes der til kote 26 ved Stallerup Sø (inkl. Søndersø) og kote 27 ved Nørresø (samlet magasineringsvolumen på 1,2 mio. m³). Ved

scenarie 1 er det ikke nødvendigt at tilføre vand fra Vester Nebel Å (effekt påvist ved modellering og beskrevet i afsnittet "konsekvensvurdering")

- > I scenarie 2 opstemmes der også til kote 27 ved Stallerup Sø (inkl. Søndersø). Dette giver et samlet volumen på 2,4 mio. m³

7.3.1 Tiltag ift. stuvning til kote 26/27

For at kunne magasinere vandet i de to søer til hhv. kote 27 i Nørresø og kote 26 i den sydlige del (Søndersø, Stallerup sø og Skallebæk), skal der etableres følgende anlæg:

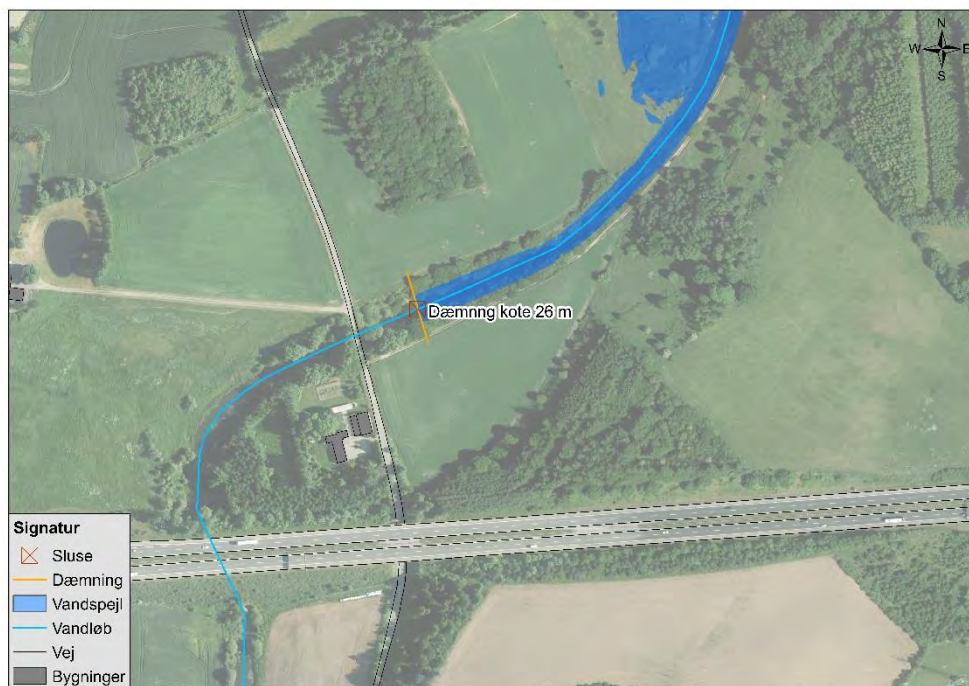
- > 2 bygværker med sluseklapper
- > Sikring af veje.

Placeringen af sluserne samt beskrivelse af lokaliteter for yderligere sikring er præciseret i de følgende afsnit:



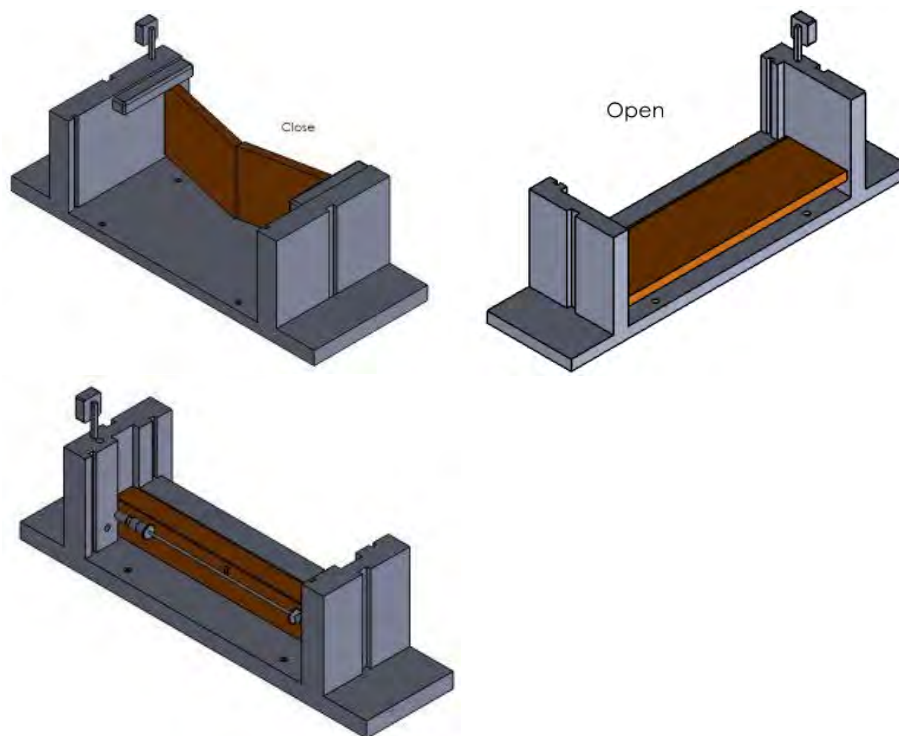
Figur 32 Oversigt over tiltag ved scenarie 1 i Dons Søerne, hvor der opstaves til kote 26/27.

Etablering af dæmning og aktiv sluse øst for Stubdrupvej
 Ved Stubdrupvej skal der etableres et slusebygværk, som kan sikre stuvning til kote +26,00 m.



Figur 33 Mulig placering af dæmning/slusebygværk i den sydligste del af projektområdet ved Stubdrupvej.

Bygværket foreslås etableret som et præfabrikeret bygværk med sidehængte klapper eller med en opskydelig væg (kip-port).



Figur 34 Eksempler på sluse med sidehængte klapper, kip-port og horisontal gate (www.wintec.dk).

Et præfabrikeret bygværk, kan anvendes når stuvningshøjden er op til ca. 2 m ift. nuværende bundkote og vandløbsbredden er op til ca. 6 m.

Sikring af Koldingvej

Magasinerings af vand betyder, at der er flere veje, hvor der vil kunne stå vand. Såfremt disse skal være farbare ved magasinering af vand i ådalen skal der etableres sikring af disse.

Det vil dog være muligt at komme til boligerne på halvøen af vejen fra nord.

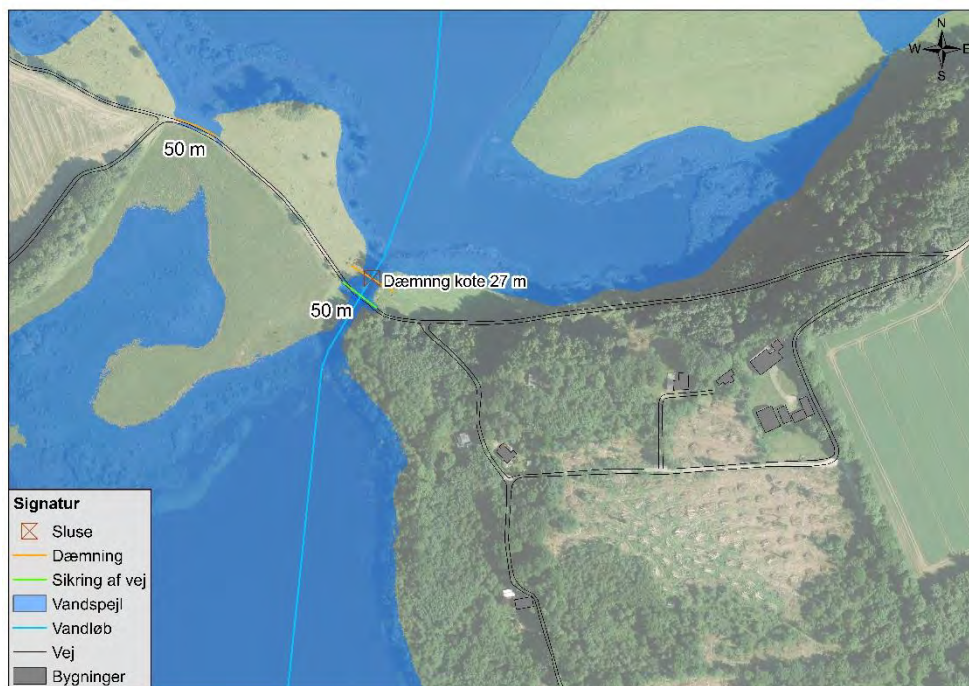


Figur 35 Skitsering af hvor Koldingvej kan have behov for sikring.

Det beror på en konkret vurdering af vejens opbygning, hvad der skal til for at sikre denne. En opstuvning, der sker sjældent f.eks. hvert 5 år, vurderes ikke at have væsentlig betydning for vejens drift og vedligehold, men sker det oftere vil bærelaget blive nedbrudt og der vil være behov for øget vedligehold. Alternativt skal der etableres afværgeforanstaltninger f.eks. i form af diger med grøfter på indersiden og pumper der kan holde vejens bærelag tørt.

Etablering af dæmning og aktiv sluse ved udløbet af Nørresø

Ved udløbet af Nørresø Skal der etableres et slusebygværk der sikrer magasineringen til kote +27,00 m.



Figur 36 Illustration af hvor slusebygværk ved udløbet af Nørresø kan placeres.

7.3.2 Tiltag ift. stuvning til kote 27

For at kunne magasinere vandet i de to søer til kote 27 i Nørresø og i den sydlige del (Søndersø, Stallerup sø og Skallebæk), skal der etableres følgende anlæg:

- > 1 bygværk med sluseklapper
- > Bygværk til at forhindre vandet i at løbe til Ferup Sø
- > Sikring af veje.
- > Mulige afværgeforanstaltninger ved ejendomme

Placeringen af sluserne samt beskrivelse af lokaliteter for yderligere sikring er præciseret i de følgende afsnit:

Placeringen af det sydlige slusebygværk er den samme som for tidligere forslag (26/27)



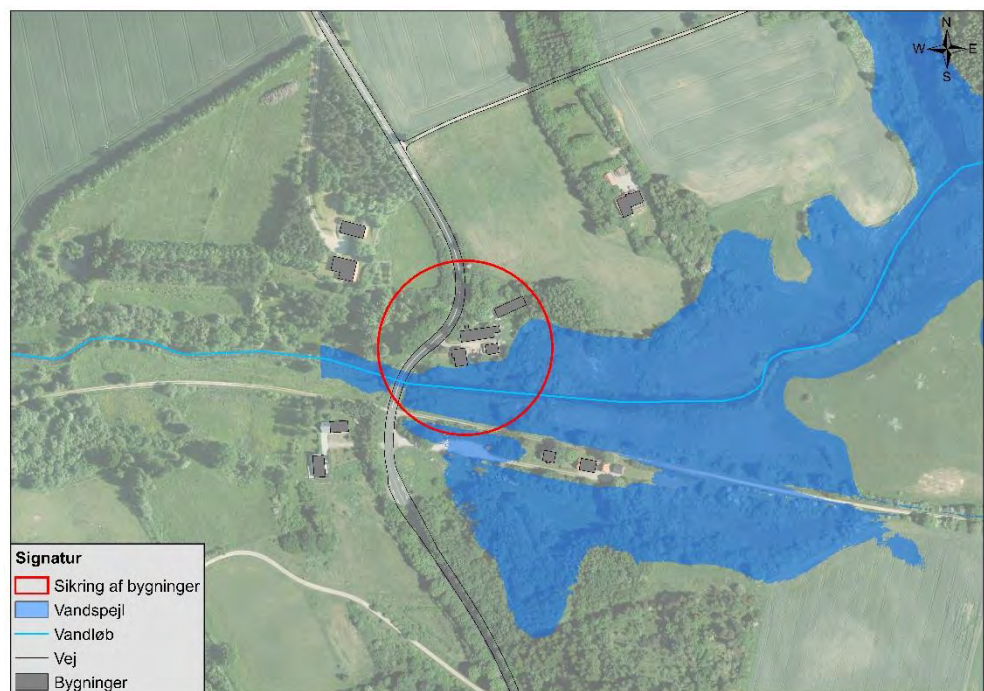
Figur 37 *Vejen langs Stallerup Sø skal sikres, såfremt den skal kunne anvendes under en magasinering situation.*

Det beror på en konkret vurdering af vejens opbygning, hvad der skal til for at sikre denne. En opstuvning der sker sjældent f.eks. hvert 5 år. Vurderes ikke at have væsentlig betydning for vejens drift og vedligehold, men sker det oftere vil bærelaget blive nedbrudt og der vil være behov for øget vedligehold. Alternativt skal der etableres afværgeforanstaltninger f.eks. i form af diger med grøfter på indersiden og pumper der kan holde vejens bærelag tørt.

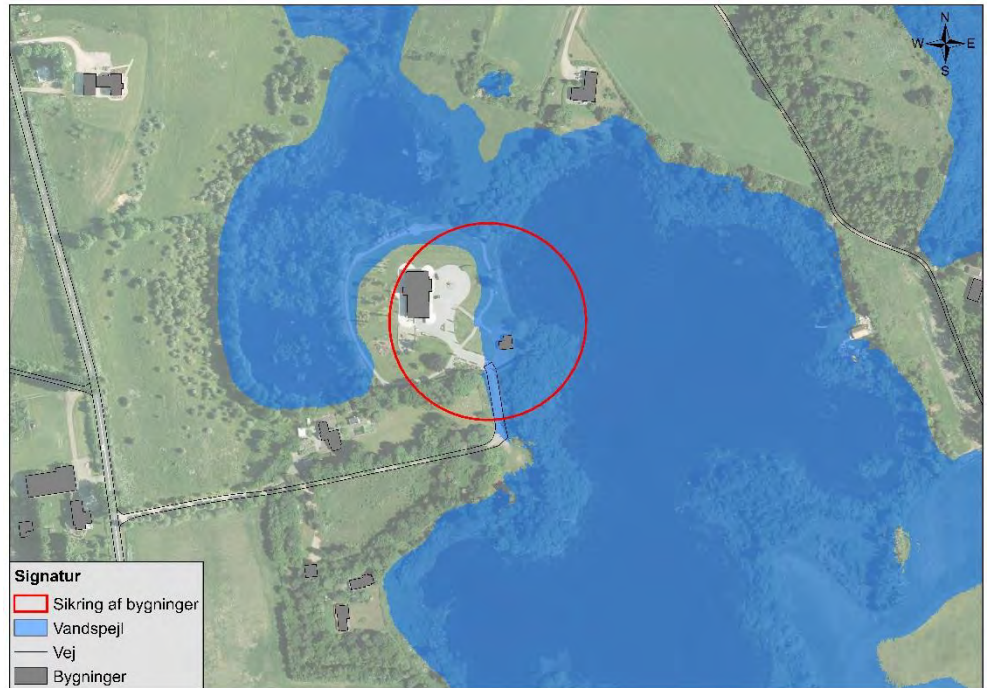


Figur 38 Der kan være behov for sikring af Koldingvej gennem den opstemmede Søndersø.

Der er enkelte ejendomme og matrikler inden for de oversvømmede arealer som bør sikres. Eksempler er vist på billederne herunder. Det konkrete sikringsbehov for hvert enkelt ejendom/matrikel kvantificeres ved senere detaljeret studie men er i nærværende rapport indregnet som en estimeret udgift i anlægsoverslagene.



Figur 39 Ved magasinering til kote 27. Eksempel på ejendom der skal sikres.



Figur 40 Ved magasinering til kote 27 i Søndersø. Eksempel på ejendom der skal sikres.

Anlægsoverslag for indgreb ved Donsøerne

Tabel 20 Anlægsoverslag for magasinering af ved Donssøerne

Delpost	Antal ved scenarie 26/27	Antal ved Scenarie 27	Delsum scenarie 26/27 Mio. kr.	Delsum Scenarie 27 m Mio. kr.
Slusebyg- værk syd	1	1	4	6
Slusebyg- værk midt	1		4	
Sikring af ejendomme og veje	Sum		1	1,9
Bygværk mellem Donssøerne og Ferup Sø		1		2
Delsum an- læg			9	9,9
Administra- tionstillæg (15%)	15%		1,3	1,5
Korrekti- onsbidrag (50%)	50%		4,5	5
Samlet overslag mio. DKK			14,8	16,4

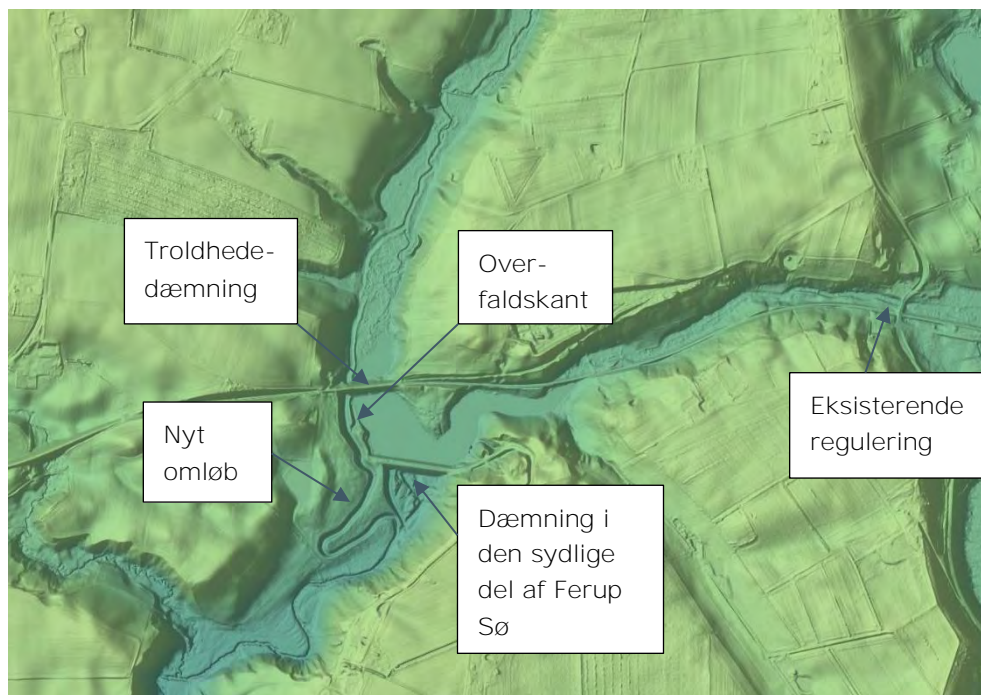
Driftsomkostningerne kan fastlægges skønsmæssigt til 1-2 % af anlægsomkostningerne svarende til 0,3-0,6 mio. kr/år.

7.4 Dons Søerne med Vester Nebel Å

I dette afsnit beskrives varianten hvor der etableres en sluse ved Ferup Sø til at omdirigere vandet fra Vester Nebel Å til Dons Søerne således at oplandsarealet øges til 139,7 km². Dermed har Dons søerne et relativt stort opland og potentialet for at tilbageholde store dele af flowet til Kolding by er stort.



Figur 41 *Oversigt over Søerne i området.*



Figur 42 Terrænforhold omkring Vester Nebel Å og Ferup Sø.

I dag løber Vester Nebel Å uhindret forbi Ferup Sø.

Opstrøms Troldhededæmningen kan der etableres et volumen på 0,12 mio. m³ ved stuvning til kote 27 og 0,67 mio. m³ ved stuvning til kote 30. Dette volumen vil dog ikke kunne fungere på afstrømning fra Dons søerne, men kun på afstrømning fra Vester Nebel Å.



Figur 43 Udbredelsen af stuvning i Vester Nebel Å for hhv. kote 27(tv) og kote 30(th).

Etablering af et volumen ved stuvning til kote 27 kan ske ved etablering af en simpel opstemning med f.eks. et Wintec bygværk, der præfabrikeres til 2 m opstemning. Dette vurderes ikke at give problemer at anvende dæmningen til en sådan stuvning, men det skal undersøges nærmere.

Etablering af et højere stuvningsniveau op til f.eks. kote 30, vil kræve etablering af 5 m høje sluseporte umiddelbart før underføringen, eller at man kan lukke underføringen helt med porte. Dette er et større indgreb. Det skal herudover

vurderes om dæmningen kan holde til det store vandtryk. Den er oprindeligt etableret som en jernbanedæmning. Herudover skal det sikres, at den underføring, der er tildækket under dæmningen kan holde til det store tryk, eller der skal etableres spuns for at lukke den 100%.

Overfaldskanten ved Ferup Sø, der tillader at vandet fra Dons søerne kan ledes til Vester Nebel Å når Harteværket ikke er i drift, har overfaldskant i kote 25,75. Dæmningen syd for Ferup sø har overkant i ca. kote 28 eller lidt over.

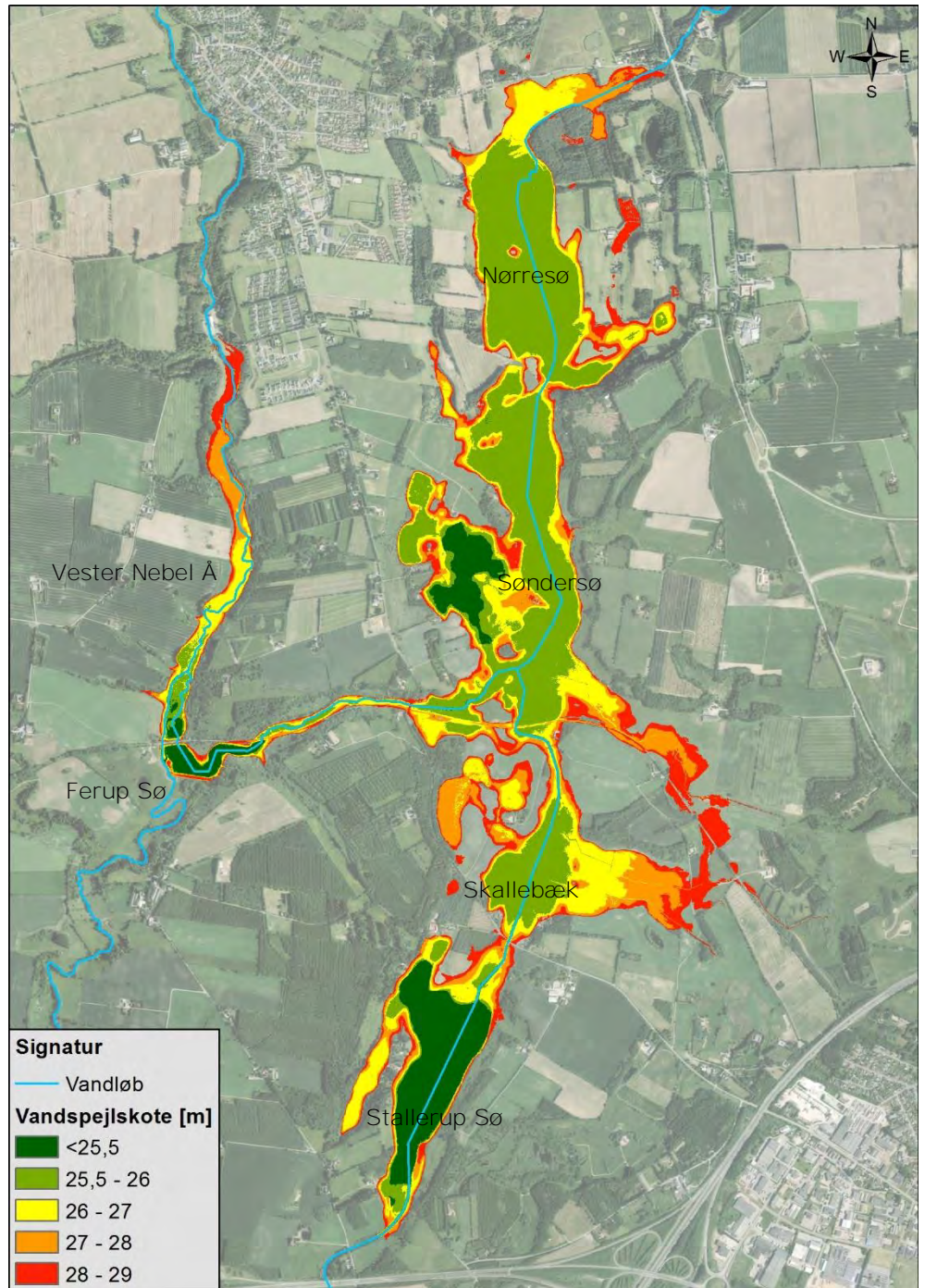
For at kunne lede vandet fra Vester Nebel Å til Harte Dons søerne, som det gjorde tidligere, skal der etableres en række tiltag. Det er vigtigt at omledningen af vandet kun sker i de perioder, hvor vandet skal magasineres i Dons Søerne så fiskepassagen ved Ferup Sø ikke påvirkes mere end højest nødvendigt. Det vurderes, at det kun er relevant at inddrage denne del af oplandet såfremt man etablerer stuvning i Harte Dons Søerne til kote 27 i den nedstrøms del. Dette skyldes, at det kun er ved etablering af et stort volumen i søerne, at man har behov for den ekstra vandmængde.

En mulig kombination af tiltag der sikrer dette er:

- > Etablering af variabelt stemmeværk på Vester Nebel Å opstrøms Troldhede-dæmning.
- > Forhøjelse af nuværende overfaldskant til med 1,5 m til kote 27,25. (herunder også en forhøjelse af digerne langs Ferup sø mod syd)
- > Genetablering af gennemløb under Troldhededæmningen.

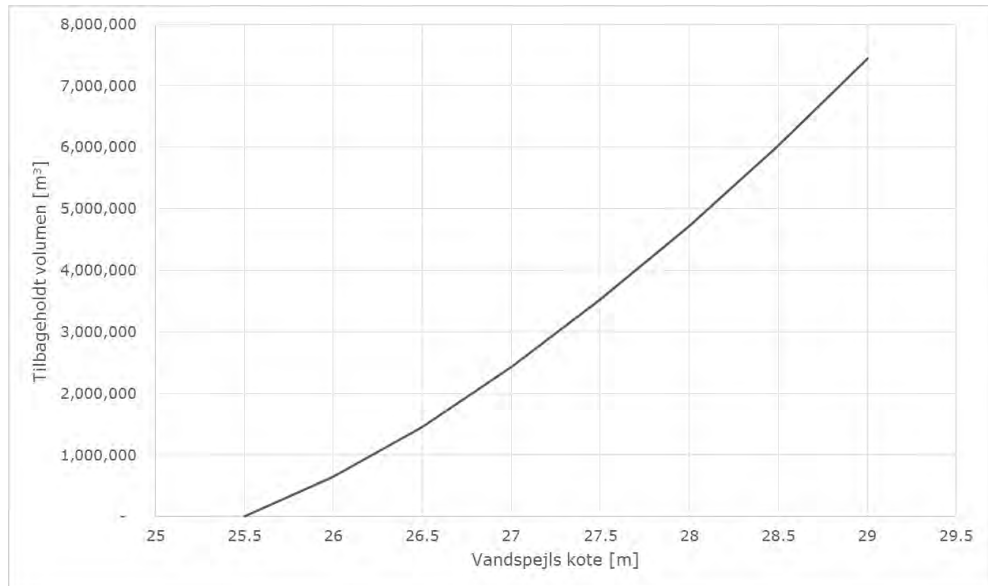
Herved kan man omdirigere vandet fra Vester Nebel Å til Dons Søerne, hvorved oplandsarealet kan øges til 139,7 km². Dermed har Dons søerne et relativt stort opland og potentialet for at tilbageholde store dele af flowet til Kolding by er stort. Det kan indrettes således at der stadig er nødoverløb ved Ferup Sø til Vester Nebel Å, således at man ikke er afhængig af at Harteværket kan håndtere alt vandet.

Højdeprofil af det samlede område kan ses på nedenstående Figur 44.



Figur 44 Terrænkoter ved magasineringsområdet ved Dons Søerne.

Nedenstående volumenkurve Figur 45 illustrerer den mulige udnyttelse af søerne og de omkringliggende områder ift. magasinering af vand under ekstrem afstrømning i Kolding Å:



Figur 45 Samlet volumenkurve for området ved Dons Søerne.

Udnyttelsen i området kræver etablering af 1 bygværker/sluser ved Stallerup Sø samt ombygning ved Ferup Sø

- > Der opstemmes der til kote 27 ved Stallerup Sø (inkl. Søndersø). Dette giver et samlet volumen på 2,4 mio. m³

7.4.1 Tiltag ift. stuvning til kote 27

For at kunne magasinere vandet i de to søer til kote 27, skal der etableres følgende anlæg:

- > 1 bygværker med sluseklapper
- > Bygværk til tilførsel af vand fra Vester Nebel Å
- > Sikring af veje.
- > Mulige afværgeforanstaltninger ved ejendomme

Afværgeforanstaltningerne for bygninger og veje vil være som beskrevet i Afsnit 7.3.

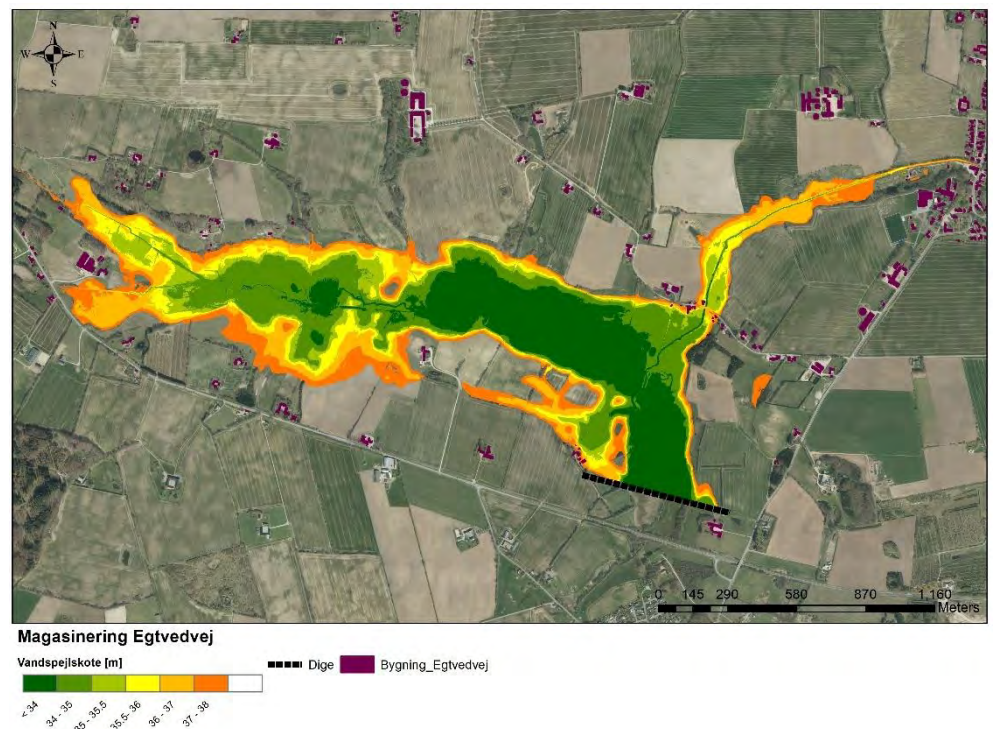
Anlægsoverslag for indgreb ved Donssøerne er gengivet herunder.

Tabel 21 Anlægsoverslag for magasinering af ved Donssøerne sammen med Vester Nebel Å.

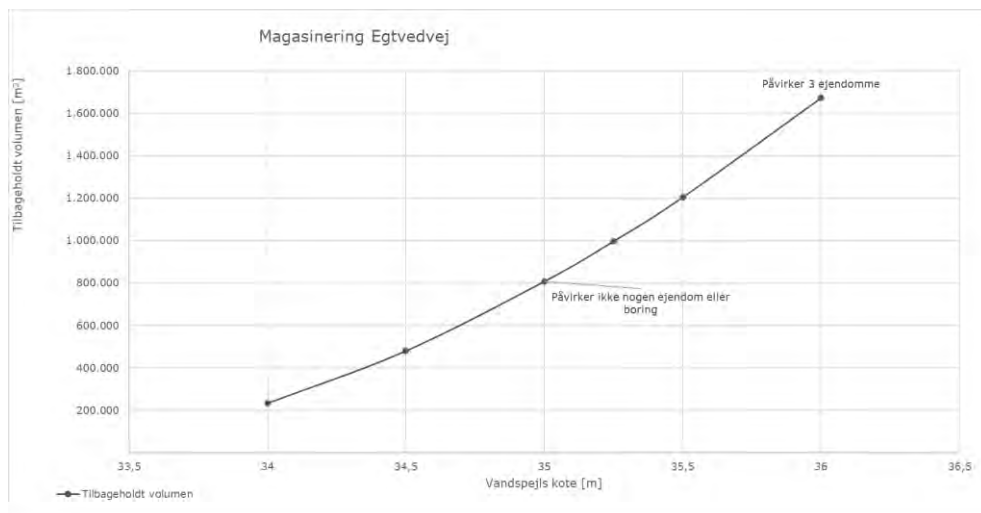
Delpost	Delsum Scenarie 27 m Mio. kr.
Slusebygværk syd	6
Sikring af ejendomme og veje	1,9
Bygværk ved Vester Nebel Å	6
Delsum anlæg	13,9
Administrationstillæg (15%)	2,1
Korrektionsbidrag (50%)	7
Samlet overslag mio. DKK	23

Driftsomkostningerne kan fastlægges skønsmæssigt til 1-2 % af anlægsomkostningerne svarende til 0,25-0,5 mio. kr/år.

7.5 Egtvedvej (Vester Nebel Ådal)



Figur 46 Terrænkoter ved magasineringsområdet ved Egtvedvej



Figur 47 Volumenkurve ved Egtvedvej.

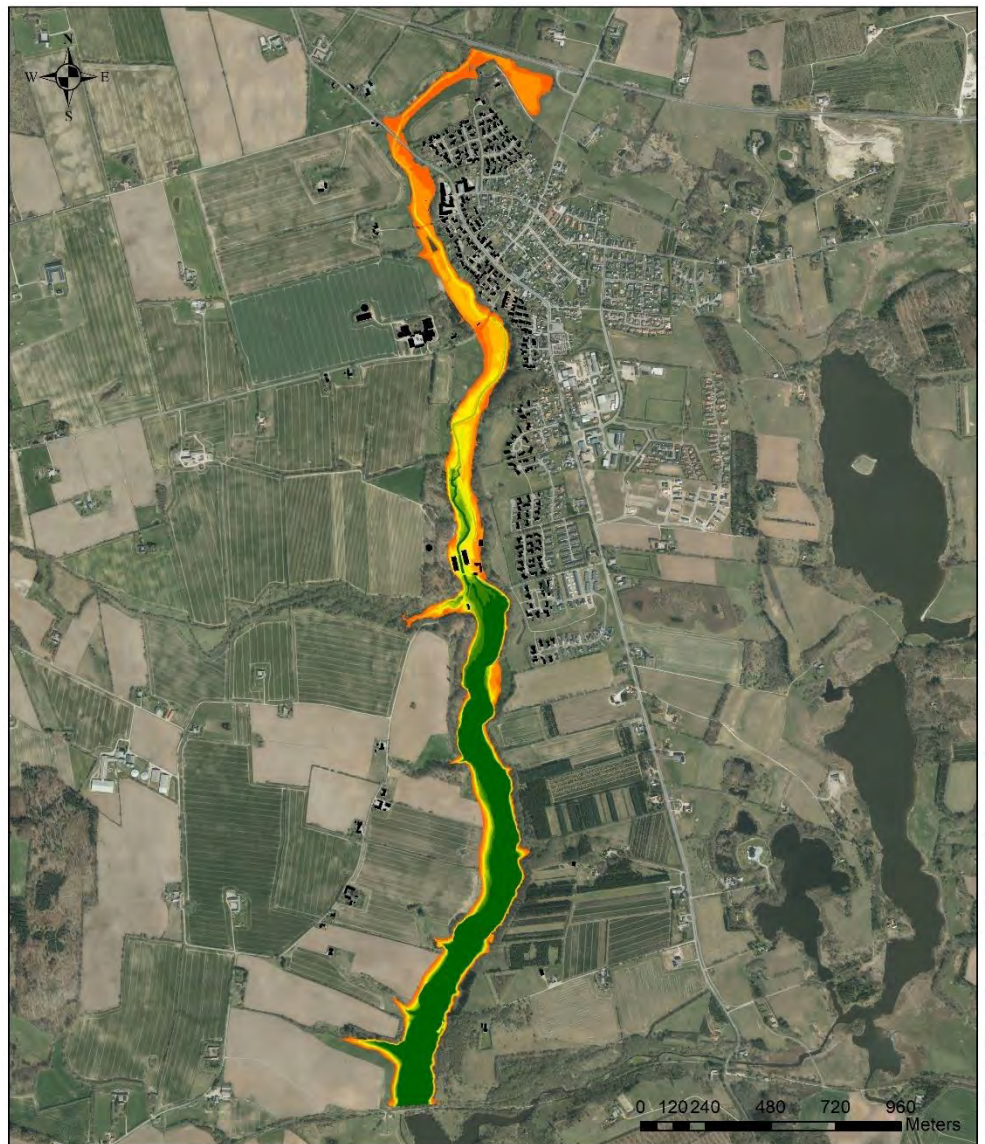
Ved opstuvning til kote 35 kan etableres et volumen på 800.000 m³.

Tabel 22 Anlægsoverslag for magasinerings af vand ved Egtvedvej

Delpost	antal	enhedspris	Delsum Mio. kr.
Slusebygværk	1	8	8
Dige ved byg- værk	200 m, 3 m højt	3500	0,7
Delsum anlæg			8,7
Administrations- tillæg (15%)	15%		1,3
Korrektionsbidrag (50%)	50%		4,4
Samlet over- slag mio. DKK			14,4

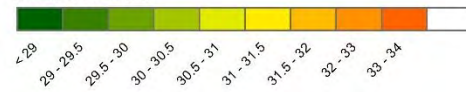
Driftsomkostningerne kan fastlægges skønsmæssigt til 1-2 % af anlægssomkostningerne svarende til 0,15-0,3 mio. kr/år.

7.6 Trolldhedebanen (Ferup Sø, Vester Nebel Ådal)



Magasinering ved Trolldhedebanen

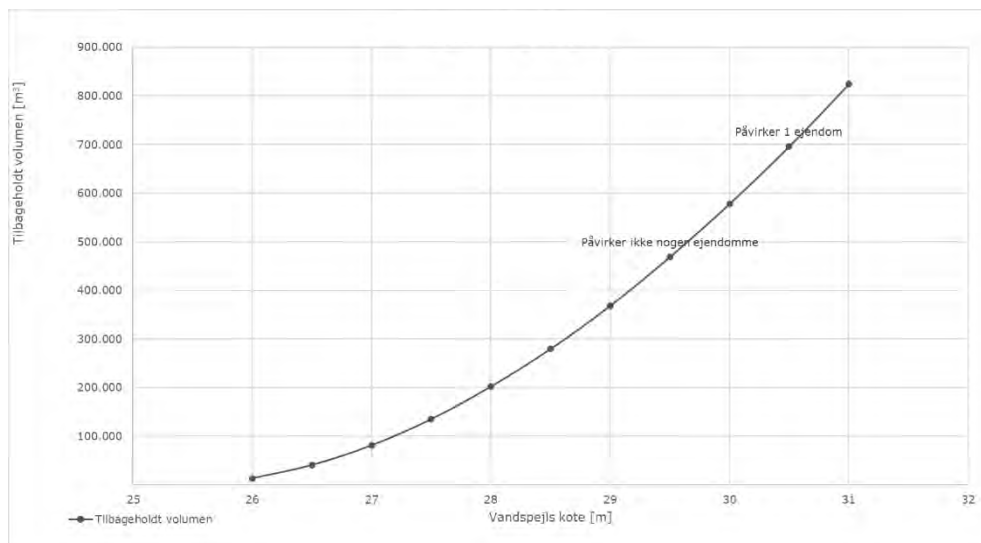
Vandspejlskote [m]



Bygning_Ferup

Figur 48

Terrænkoter ved magasineringsområdet ved Trolldhedebanen.



Figur 49 Volumenkurve Troldhedebanen

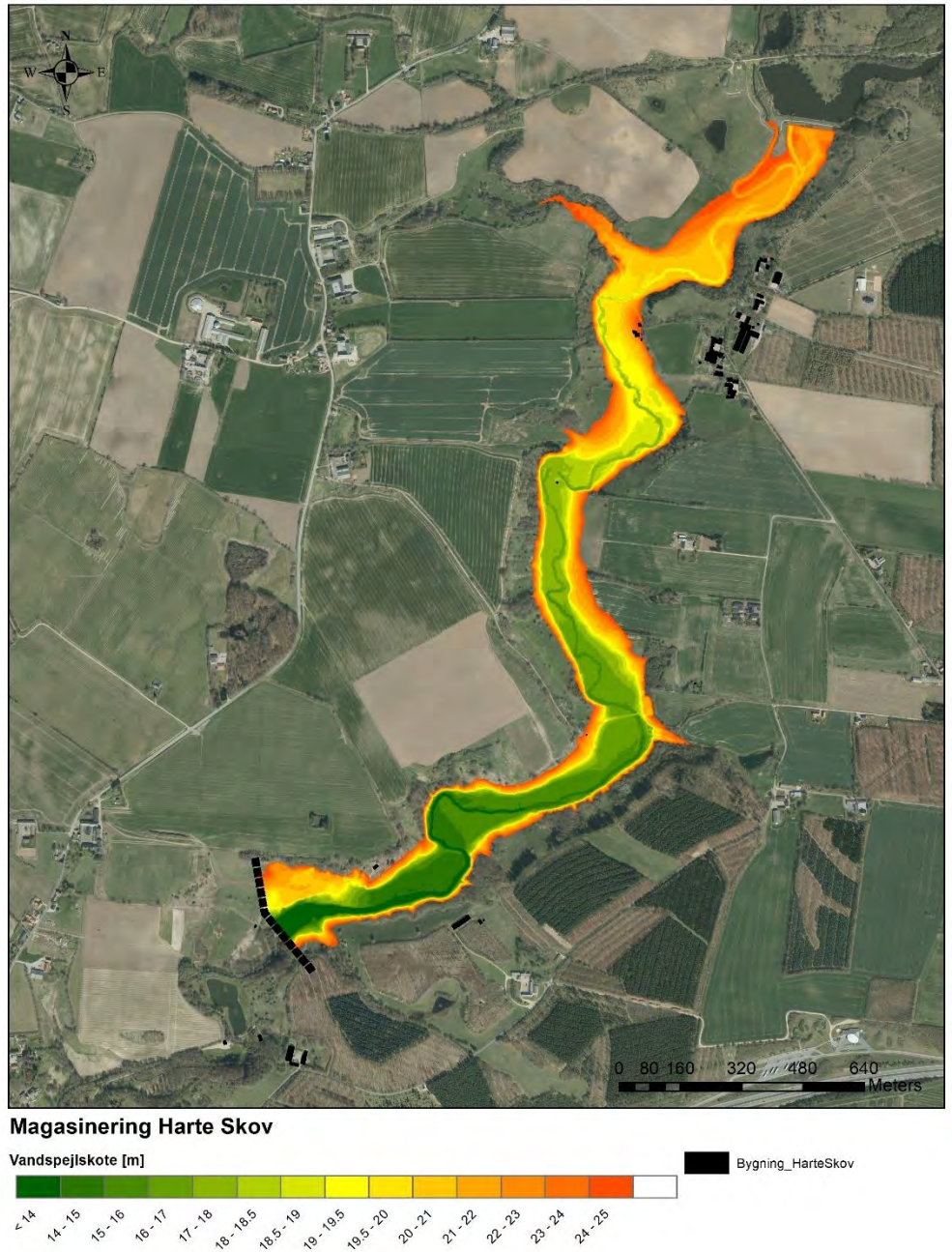
Ved opstuvning til kote 29,5 kan etableres et volumen på 470.000 m³.

Tabel 23 Anlægsoverslag for magasinering af vand ved Troldhedebanen, ved anvendelse af Troldhededæmningen

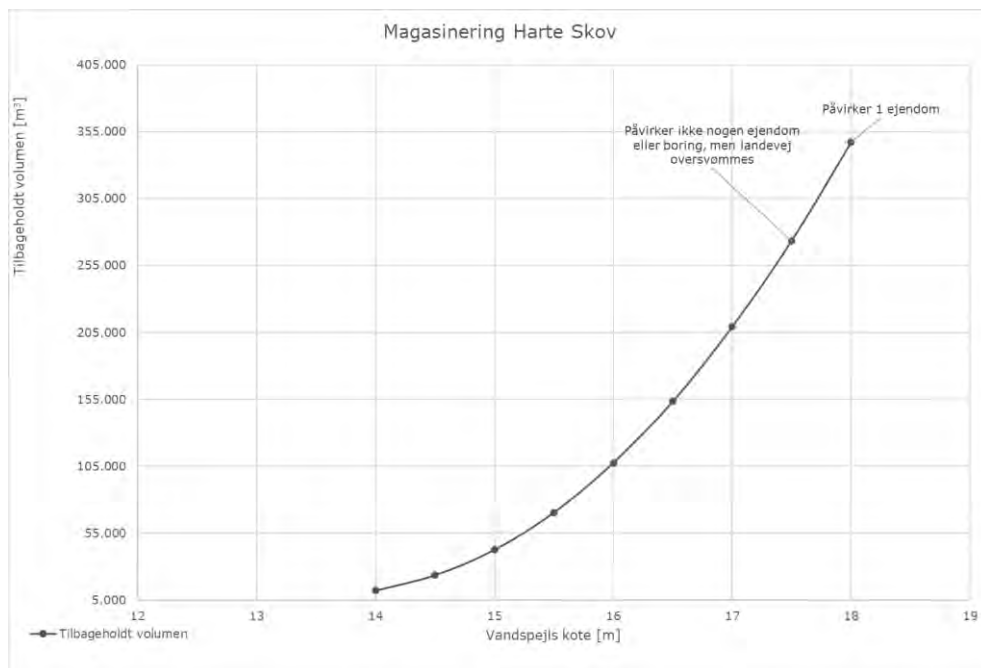
Delpost	antal	enhedspris	Delsum Mio. kr.
Slusebygværk	1	8	8
Delsum anlæg			8
Administrations- tillæg (15%)	15%		1,2
Korrektionsbidrag (50%)	50%		4
Samlet over- slag mio. DKK			13,2

Driftsomkostningerne kan fastlægges skønsmæssigt til 1-2 % af anlægssomkostningerne svarende til 0,15-0,3 mio. kr/år.

7.7 Harte Skov (Vester Nebel Ådal)



Figur 50 Terrænkoter ved magasineringsområdet ved Harte Skov



Figur 51 Volumenkurve Harte Skov

Ved opstuvning til kote 17,5 m kan etableres et volumen på 270.000 m³. Dette kræver dog ret voldsomme digeanlæg med en højde på op til 5 m.

Tabel 24 Anlægsoverslag for magasinering af vand ved Harte Skov

Delpost	antal	enhedspris	Delsum Mio. kr.
Slusebygværk	1	11	11
Dige ved byg- værk	100 m, 5 m højt	15000	1,5
Delsum anlæg			12,5
Administrations- tillæg (15%)	15%		1,9
Korrektionsbidrag (50%)	50%		6,3
Samlet over- slag mio. DKK			20,7

Driftsomkostningerne kan fastlægges skønsmæssigt til 1-2 % af anlægsomkostningerne svarende til 0,2-0,4 mio. kr/år.

8 Scenarieberegninger

Der er udført en række scenarie beregninger med magasineringsmodellen. Disse var indledningsvist sat op for at vurdere prioriteringen af indsatser i oplandet samt at vurdere muligheden for at opdele magasinet ved E45 i to magasiner adskilt ved jernbanedæmningen, samt at vurdere behovet for at inddrage oplandet opstrøms Ferup Sø i magasineringen ved Harte Dons Søerne.

De undersøgte scenarier er gengivet herunder:

Tabel 25 Oversigt over scenarier

Scenarier		E45	E45 Magasin opstrøms Jernbanedæmning	Dons Søerne	Troldebanen	Egtved	Harte skov	Opland fra Ferup kanal til Dons søerne	Max: Vandføring Kolding By
1	Prioritering af Dons med supplerende volumen i Vester Nebel Ådal	5. prioritet	-	1. prioritet	2. prioritet	3. prioritet	4. prioritet		20 m ³ /s
2	Som 1, samt Ferup Kanal	5. prioritet	-	1. prioritet	2. prioritet	3. prioritet	4. prioritet	Aktivt	20 m ³ /s
3	Som 1, inkl. Magasin opstrøms Jernbanedæmning	6. prioritet	5. prioritet	1. prioritet	2. prioritet	3. prioritet	4. prioritet		20 m ³ /s
4	Som 2, inkl. Jernbanedæmning	6. prioritet	5. prioritet	1. prioritet	2. prioritet	3. prioritet	4. prioritet	Aktivt	20 m ³ /s
5	Prioritering af Dons med supplerende volumen i Vester Nebel Ådal	5. prioritet	-	1. prioritet	2. prioritet	3. prioritet	4. prioritet		25 m ³ /s

Resultatet af beregningerne er vist for de 6 hændelser er gengivet i bilag D og kortfattet beskrevet herunder.

8.1 Resultater

Resultat af scenarier, baseret på deres evne til at tilbageholde vand for hændelse 1 og 2 skaleret til 20, 50 og 100 års hændelser for år 2020, 2050, 2075, 2100 og 2120:

Tabel 26 Nødvendige magasiner for at kunne holde afstrømningen under 20 m³/s ved scenarie 1. År 2075 som er dimensioneringskriteriet er fremhævet.

Gentagelsesperiode	2020	2050	2075	2100	2120
20 år	Donssøerne	Donssøerne Trolldhede Egtved	Donssøerne Trolldhede Egtved Harte Skov	Donssøerne Trolldhede Egtved Harte Skov E45	Donssøerne Trolldhede Egtved Harte Skov E45
50 år	Donssøerne Trolldhede Egtved	Donssøerne Trolldhede Egtved Harte Skov E45	Donssøerne Trolldhede Egtved Harte Skov E45	Volumen ikke tilstrækkeligt til at holde vandføringen under 20 m ³ /s i Kolding	Volumen ikke tilstrækkeligt til at holde vandføringen under 20 m ³ /s i Kolding
100 år	Donssøerne Trolldhede Egtved Harte Skov	Donssøerne Trolldhede Egtved Harte Skov E45	Volumen ikke tilstrækkeligt i år 2075 til at holde vandføringen under 20 m ³ /s i Kolding	Volumen ikke tilstrækkeligt til at holde vandføringen under 20 m ³ /s i Kolding	Volumen ikke tilstrækkeligt til at holde vandføringen under 20 m ³ /s i Kolding

Scenarie 2 undersøgte muligheden for at udnytte Ferup Kanalen til at flytte vandet fra Vester Nebel Å til Donssøerne og dermed få en bedre udnyttelse af dette. Resultatet giver ingen yderligere gevinst, men det gør den samlede løsning mere robust overfor variationer i afstrømningen. Effekten af dette undersøges i sensitivitetsanalysen.

Scenarie 3 undersøgte muligheden for at få en yderligere optimering af bassinet ved E45 ved at opdele det i 2 magasiner adskilt ved jernbanedæmningen. Dette gav en meget begrænset merudnyttelse af bassinet der kun i enkelte af de undersøgte tilfælde kan reducere behovet for det store bassin ved E45.

Scenarie 4 undersøgte igen muligheden for aktiv udnyttelse af Dons Søerne. Samme konklusion som for scenarie 2.

Scenarie 5 undersøgte effekten af at øge afstrømningen gennem Kolding til 25 m³/s. Resultatet er vist herunder:

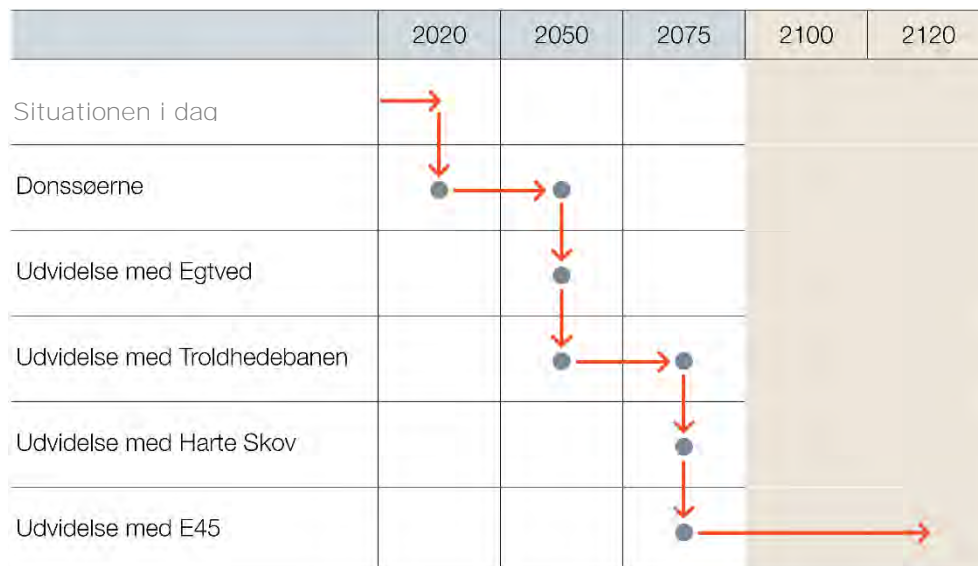
Tabel 27 Nødvendige magasiner for at kunne holde afstrømningen under 25 m³/s ved scenarie 5

Gentagelsesperiode	2020	2050	2075	2100	2120
20 år	Ingen magasin nødvendig	Donssøerne	Donssøerne	Donssøerne Troldhede	Donssøerne Troldhede Egtved
100 år	Donssøerne	Donssøerne Troldhede Egtved	Donssøerne Troldhede Egtved	Donssøerne Troldhede Egtved Harte Skov E45	Donssøerne Troldhede Egtved Harte Skov E45

Scenarie 5 kan således med udnyttelse af Donssøerne, Troldhedemagasinet og magasinet ved Egtved opfylde dimensioneringskriteriet for år 2075. Og med udnyttelse af alle volumener sikres Kolding for oversvømmelser ved en 100 års hændelse i år 2120. For den nuværende situation vil det være tilstrækkeligt at

udnytte magasinerne i Donssøerne og frem til år 2075, kan en 100 års hændelse håndteres ved udnyttelse af Donssøerne suppleret med magasinerne ved Troldhedebanen og Egtved.

Resultatet af scenarie 5 kan også illustreres som anført i nedenstående diagram:



Figur 52 Illustration af dynamisk tilpasning ved udnyttelse af magasiner i prioriteret rækkefølge

Figuren viser resultatet af scenarie 5, et stop og et trin ned på figuren illustrerer behovet for at etablere endnu et magasin. Det er klart at der findes andre veje til at håndtere disse vandmængder. F.eks. vil magasinet ved E45 kunne bidrage med den samme effekt som magasinerne ved Egtved og Troldhedebanen i år 2020, herefter vil der så være behov for at etablere supplerende magasiner eller øge kapaciteten ned gennem Kolding. Projektet forventes dog etableret som et samlet projekt indenfor de kommende år.

Diagrammet er en tilgang der kaldes Dynamic Adaptive Policy Pathways (DAPP).



Figur 53 Dynamic adaptive policy pathway (www.deltatrics.nl)

Figuren illustrerer en metode for løbende tilpasning over tid, hvor den nuværende situation er uholdbar, men der findes alternativer beskrevet som action A, B og C. Action A er i ovenstående tilfælde en løsning der rækker langt ud i fremtiden, mens action B har begrænset varighed og action C, noget længere. På sigt er action A eller at gå tilbage til action B, vejen frem, men på vejen dertil findes flere mulige veje. Det er således ikke givet, at den mest landsigtede løsning er den bedst egnede, da det kan indebære en overimplementering og dermed overinvestering i de første mange år. Det afhænger også hvor nemt det er at øge sikringen i fremtiden.

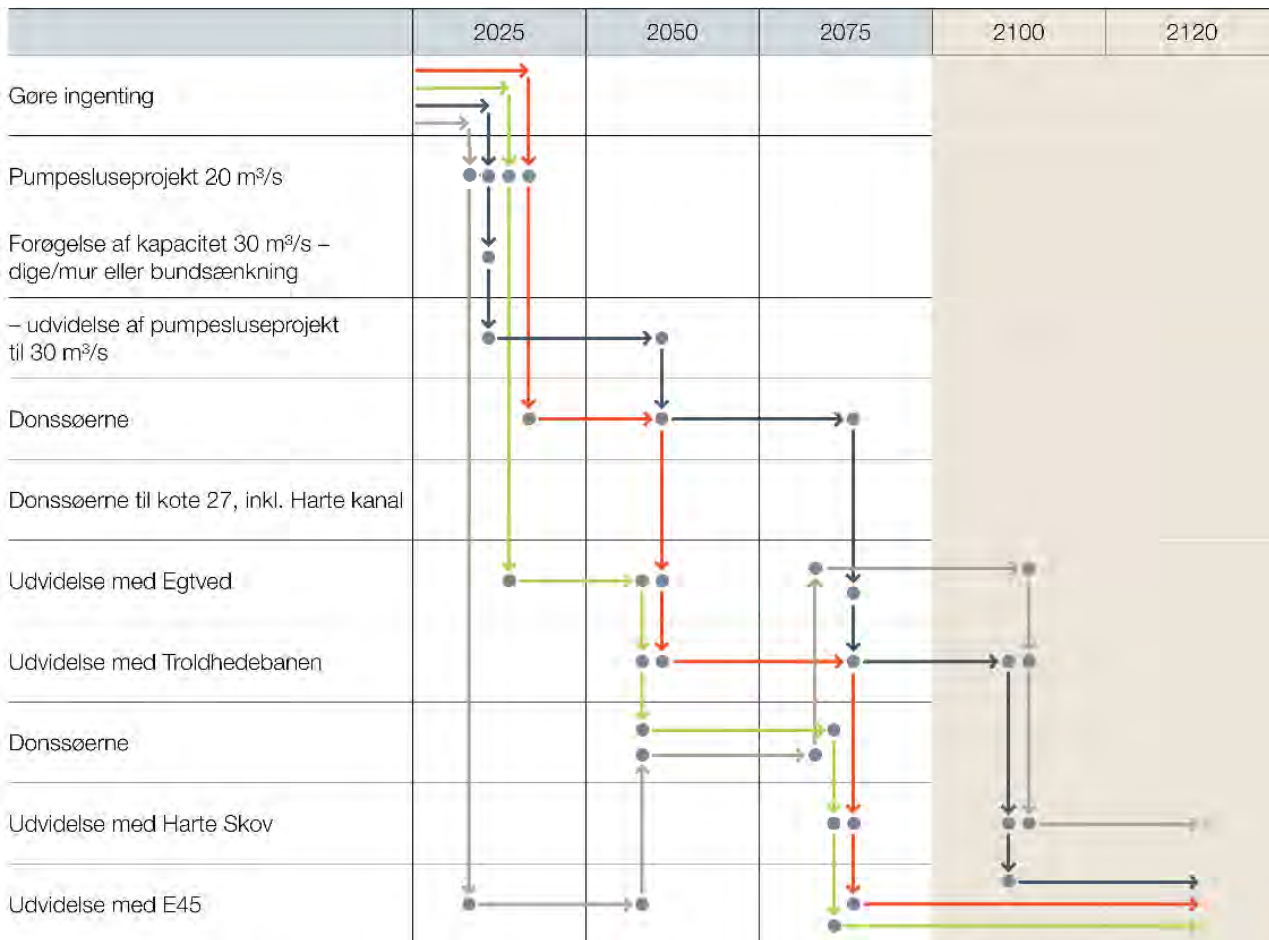
Figur 54 Faktabox: Dynamic Adaptive Policy Pathways, DAPP

På grundlag af de udførte beregninger er der udført en analyse af øvrige veje gennem DAPP diagrammet. Disse er illustreret i det efterfølgende.

De samlede veje til en sikring af Kolding mod en 100 års afstrømningshændelse, som den forventes i år 2075 kan således illustreres som følger:

- > A (rød): 25 m³/s gennem Kolding
 - > 2025: Etablering af pumpe-sluseprojekt med kapacitet på 20 m³/s
 - > 2025: Etablering af volumen i Donssøerne
 - > 2050: Udvidelse af oplandsprojektet med Egtved
 - > 2050: Udvidelse med Trolldhedebanen
- > B (grå): 25 m³/s gennem Kolding
 - > 2025: Etablering af pumpe-sluseprojekt med kapacitet på 20 m³/s
 - > 2025: Etablering af volumen ved E45
 - > 2050: Udvidelse ved donssøerne
 - > 2050: Udvidelse med Egtved
- > C (grøn): 25 m³/s gennem Kolding
 - > 2025: Etablering af pumpe-sluseprojekt med kapacitet på 20 m³/s
 - > 2025: Etablering af volumen ved Egtved
 - > 2050: Udvidelse ved donssøerne
 - > 2050: Udvidelse med E45
- > D (blå): 30 m³/s gennem Kolding
 - > 2025: Etablering af pumpe-sluseprojekt med kapacitet på 30 m³/s, samt sænkning af bunden i Kolding Å til kote -1,5 m.

2050: Udvidelse ved donssøerne, eller et andet magasin med volumen på min 1 mio. m³.



Figur 55 Mulige scenarier for sikring af Kolding mod oversvømmelser

Ved beskrivelsen af indgreb er der generelt anvendt en fremsynethed, således at indgreb iværksættes før de forventede klimaændringer indtræffer. Der er generelt anvendt en klimafaktor på 1,0 for år 2025, 1,0 for år 2050 og 1,2 for år 2075. Dvs. at indgreb kan kategoriseres i nødvendige indgreb for at opfylde kriteriet om sikring til en 100 års hændelse i dag og indgreb for at sikre mod en 100 års hændelse i år 2075. Disse indgreb er forudsat etableret senest i år 2075.

Det er forudsat at pumpe-sluseprojektet gennemføres inden 2025.

8.2 Sensitivitetsanalyse

Opstilling af mulige scenarier er, som det fremgår af analyserne en meget kompleks problemstilling, hvor både udvælgelse af hændelser, fastlæggelse af klimafaktorer og kombinationen af indgreb alle har væsentlig indflydelse på design af endeligt indgreb, samt robustheden af dette.

Det er forventeligt at der i anlæggets levetid og indenfor dimensioneringsperioden vil fremkomme ny viden om faktiske klimaændringer samt forudsigelsen af de forventede ændringer i fremtiden. Det er derfor vigtigt at det samlede anlæg er robust overfor sådanne ændringer.

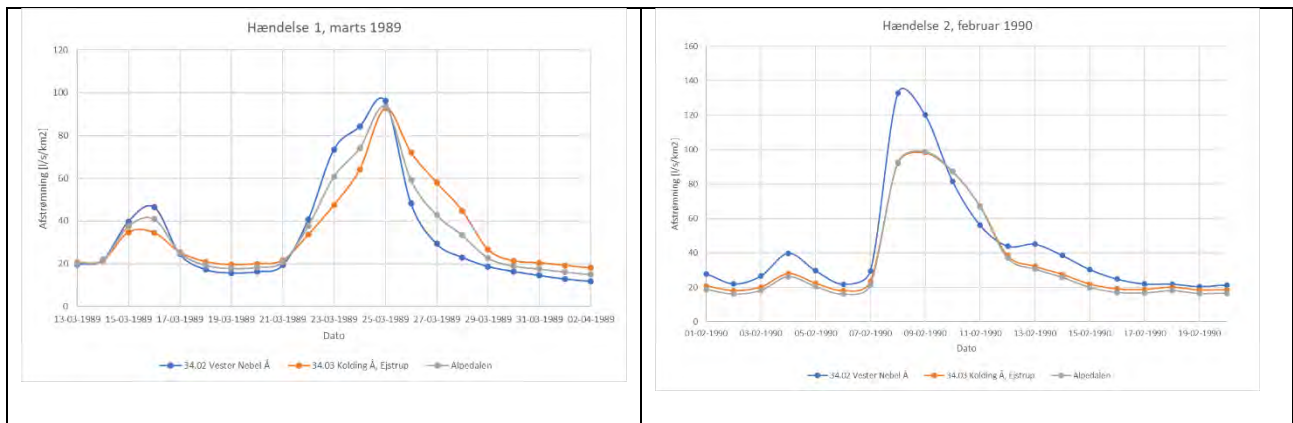
Der er udført en sensitivitetanalyse af scenarie 5's følsomhed overfor ændringer i forudsætningerne. Følgende forhold er undersøgt:

- > Fordelingen af afstrømning fra oplandet
- > Præcision af ekstremhændelser
- > Klimafaktor
- > Præcision af styring

8.2.1 Fordelingen af afstrømning fra oplandet

Beregningerne er oprindeligt udført med en 100% ensartet fordeling af afstrømningen således at hver ha. opland bidrager med samme vandmængde.

For hændelse 1 og 2 anvendt til beregningerne foreligger der historiske målinger af vandføringen for hhv. Vester Nebel Å (st. 34.02) med et opland på 80 km² (før projektet ved Ferup Sø, som har øget oplandet betydeligt), samt for Kolding Å, Ejstrup (st. 34.03) med et opland på 90 km². For disse målestationer er tidsserierne sammenlignet med den anvendte tidsserie for Alpedalen.



Figur 56 Tidsserier for historiske hændelser for st. 34.02, 34.03 og Alpedalen.

Det fremgår af Figur 53 at hændelse 1 fra 1989 havde omtrent samme afstrømning fra de 2 hovedoplande, dog med en tidlig forskydelse, således at afstrømningen fra Vester Nebel Å (34.02) har et tidligere tyngdepunkt end for Kolding Å (34.03). Dette er udjævnet for den kombinerede tidsserie i Alpedalen.

For hændelse 2 er afstrømningen fra Vester Nebel Å (34.02) væsentlig højere end målt i Kolding Å og i den kombinerede tidsserie. Peaket er ca. 35% højere. Det vides ikke hvad årsagen er til dette og hvorfor det ikke optræder i den kombinerede tidsserie for Alpedalen. Det kan skyldes overløb ved Trolldhedebanen

fra den del af oplandet der dengang blev ledt til Harteværket, således at forskellen reelt ikke har været så stor.

I forhold til den endelige disponering af magasineringsområder er det ønskeligt at finde en robust løsning, der sikrer at man kan regulere vandføringen gennem Kolding. Dette opnås bedst ved at placere så store magasiner som muligt, så langt nede i vandløbssystemet som muligt, hvorfor magasinet ved E45 er særdeles aktuelt. Er dette ikke muligt er det ønskeligt at have magasiner på flere hovedoplande. Variationer i afstrømningen fra de enkelte deloplande kan påvirke løsningens robusthed. Dette er særligt tilfældet hvis afstrømningen fra deloplandet er begrænset og der derved ikke er vand nok at tilbageholde i magasinet. Det er derfor logisk at en forøgelse af afstrømningen til enkelte magasiner ikke vil påvirke effekten da det handler om at der skal være tilstrækkeligt vand at tilbageholde.

Der er udført en analyse af effekten såfremt denne fordeling ændres med +/- 15 eller 25% for oplandene til de enkelte magasiner. De øvrige oplande reduceres tilsvarende. For hver af de undersøgte scenarier er anført om magasinering er mulig og tillige hvad den resulterende vandføring gennem Kolding vil være sammenlignet med de ønskede 25 m³/s ift. de maksimalt estimerede 36 m³/s ved en klimafaktor på 1,2.

Figur 57 Sensitivitetsanalyse på variationer i afstrømning fra oplande

Donssøerne 1.125.000 m ³ 51 km ²	Egtvedvej 807.000 m ³ 75 km ²	Troldhedebanen 470.000 m ³ 14 km ²	Resultat
Ændring i afstrømning til Donssøerne	Ændring i afstrømning til Egtvedvej	Ændring i afstrømning til Troldhedebanen	Magasinering mulig, samt angivelse af resulterende maksimalt flow, såfremt det er over 25 m ³ /s. Uden magasiner vil det være 36 m ³ /s.
-15%	uændret	uændret	Nej, afstr: ca. 26,0 m ³ /s Ja, hvis Vester Nebel Å tilføres.
uændret	-15%	uændret	Ja
uændret	uændret	-15%	Ja
-15%	+15%	uændret	Nej, afstr: ca. 26,0 m ³ /s
-15%	uændret	+15%	Nej, afstr: ca. 26,0 m ³ /s
+15%	-15%	uændret	Ja
uændret	-15%	+15%	Nej, afstr: ca. 25,8 m ³ /s
Uændret	+15%	-15%	Ja
+15%	uændret	-15%	Ja

-15%	+15	+15	Nej, afstr.: ca. 26,0 m ³ /s Ja, hvis Vester Nebel Å tilføres.
-25%	uændret	uændret	Nej, afstr.: ca. 28,8 m ³ /s Ja, hvis Vester Nebel Å tilføres
uændret	-25%	uændret	Nej, afstr.: ca. 25,9 m ³ /s
uændret	uændret	-25%	Ja
-25%	+25%	uændret	Nej, afstr.: ca. 28,9 m ³ /s
-25%	uændret	+25%	Nej, afstr.: ca. 28,8 m ³ /s
+25%	-25%	uændret	Ja
uændret	-25%	+25%	Ja
Uændret	+25%	-25%	Ja
+25%	uændret	-25%	Ja
-25%	+25	+25	Nej, afstr.: ca. 28,6 m ³ /s

Sensitivitetsanalysen viser at variationer i afstrømningen kan have betydning for muligheden for at udnytte magasinerne optimalt. Hertil skal bemærkes at modellen ikke giver mulighed for at regulere intelligent på alle magasiner samtidigt, men arbejder med fast afløb fra de opstrøms liggende magasiner og intelligent styring ift. afstrømningen på det magasin der ligger længst nedstrøms. Det er således muligt at der kan opnås bedre resultater ved intelligent styring på alle afløb. Ved endeligt valg af scenarie, bør der udføres supplerende hydrauliske beregninger, med dynamisk styring på alle magasiner for at afgrænse sensitivitetsanalysen yderligere ift. det der er muligt med denne forholdsvis simple regnearksmodel.

Ved variationer på op til 15% på deloplandene kan der optræde mindre overskridelser af vandføringen, således at der forekommer vandføringer på op til 26 m³/s. Det vurderes at dette ved optimal styring kan undgås og det derved kan konstateres at variationer i afstrømningen op til 15% mellem oplandene kan håndteres.

Det fremgår af beregningerne at såfremt afstrømningen til Donssøerne som samlet er det største magasin reduceres med 25% kan det ikke opvejes, selvom afstrømningen i hele Vester Nebel Å, som afstrømmer til Egtvedvej og Troldebanen øges med samme procentsats. Dette skyldes at afløbet fra Donssøerne som har et begrænset opland bliver for lille når de øvrige magasiner udnyttes. Den resulterende vandføring bliver ca. 29 m³/s

Samlet kan konkluderes at variationer i afstrømningen mellem oplandene har stor betydning for resultaterne og muligheden for at magasinere vandet.

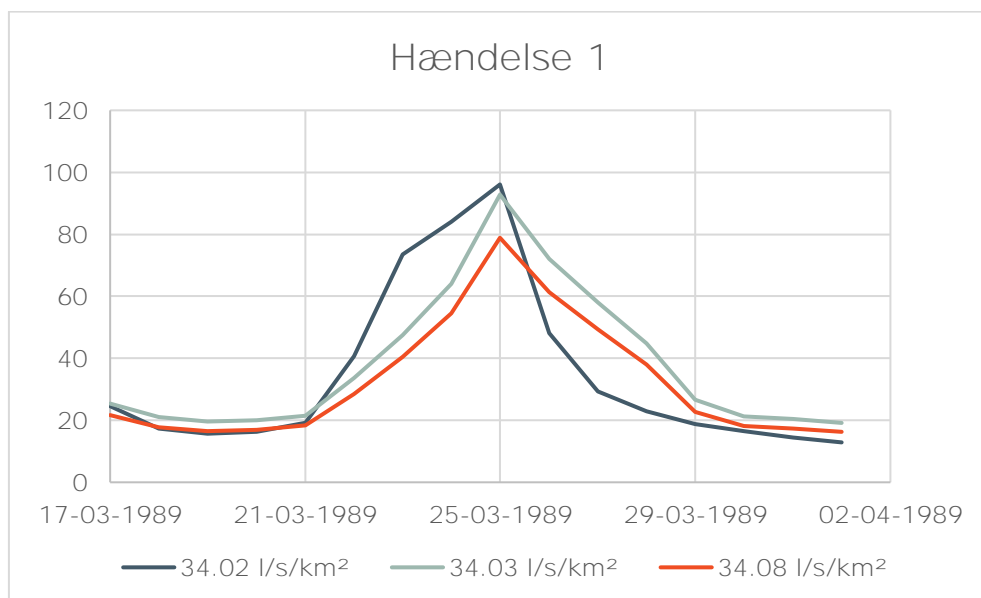
En reduktion af afstrømningen til Egtvedvej kan opvejes af en tilsvarende forøgelse til Donsøerne, men kan ikke håndteres såfremt forøgelsen sker i den nedstrøms del af vandløbssystemet, hvor der ikke er magasiner.

En reduktion af afstrømningen i det direkte opland til Trolldhedebanen, kan håndteres uanset hvor forøgelsen af afstrømningen forekommer.

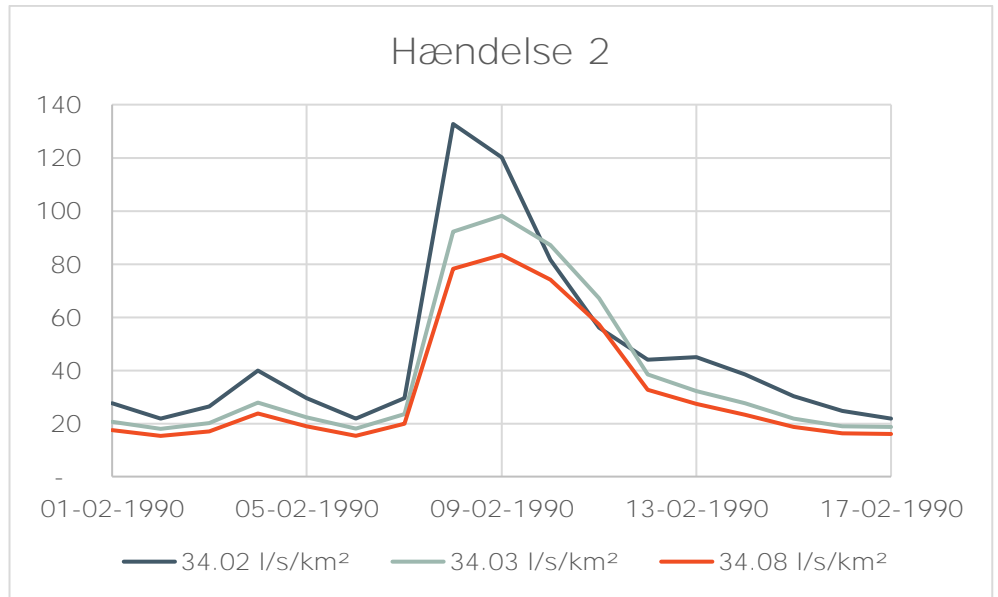
Analysen har som forventet vist at systemet er meget følsomt overfor reducere tilløb til de mest opstrøms liggende magasiner. Dette skyldes at der her bliver begrænsede vandmængder at styre på.

Det skal dog bemærkes at analysen har vist at magasinerne i alle tilfælde vil have en signifikant betydning for afstrømningen gennem Kolding og variationer på op til minus 25% i tilstrømningen til et magasin stadig kan håndteres med en betydelig reduktion af vandføringen gennem Kolding, sammenlignet med situationen uden magasiner hvor en 100 års hændelse i år 2075 forventes at give en afstrømning på 36 m³/s såfremt der ikke etableres magasiner. Der vil dog i disse tilfælde blive behov for en supplerende beredskabsmæssig indsats og der kan forekomme skader på enkelte ejendomme. Men væsentligt færre end ved situationen uden magasiner.

Nedenstående figurer illustrerer hvorledes vandføringen er målt ved hændelse 1 og 2, baseret på de 3 målestationer 34.02 (Vester Nebel Å, elkærholm 80 km²), 34.03 (Kolding Å ved Ejstrup 90 km²) og 34.08 (Seest Mølleå 28 km²)



Figur 58 Målte karakteristiske afstrømninger ved de 3 målestationer i oplandet for hændelse 1.



Figur 59 Målte karakteristiske afstrømninger ved de 3 målestationer i oplandet for hændelse 2.

8.2.2 Det fremgår af Figur 57 og 58 at der kan være stor forskel på afstrømningerne fra de enkelte deloplande og variationer på op til 25% kan forekomme (hændelse 2). For begge hændelser gælder at afstrømningen fra den nordlige del af oplandet (Vester Nebel Å) har været den største. Det er ikke givet det er tilfældet ved alle hændelser, herunder de fremtidige. Præcision af ekstremhændelser

Størrelsen af ekstremhændelsen har afgørende betydning for det krævede magasin volumen (se afsnit 5.6). Såfremt der etableres de i scenarie 5 foreslåede volumener på 2,4 mio. m³ og det krævede er 2,3 mio. m³, er der således ikke noget supplerende buffervolumen af betydning.

Er en 100 års hændelse 10% større (39 m³/s i stedet for 36 m³/s i år 2075) vil der skulle ledes den ekstra vandmængde gennem Kolding gennem hele magasineringstiden for at undgå endnu større skvulp og oversvømmelser. En større hændelse vil således betyde at der skal ledes mere vand gennem byen for at undgå at magasinerne fyldes for tidligt og hele peak-vandføringen skal ledes igennem.

I praksis bliver det en akademisk diskussion, da en oplevet hændelse altid vil måles op mod en ekstremstatistik og der skal mere end 1 hændelse til at ændre væsentligt på denne. Det vil således reelt være tale om at det er det nuværende afstrømningsmønster, der ændrer sig og dermed en klimarelateret ændring.

Effekten af større hændelser illustrerer således også konsekvensen såfremt der kommer en 500 eller 1000 års afstrømningshændelse. Her vil man få den største effekt af magasinerne hvis de ikke fyldes for tidligt, men at man formår at holde

selve peak-vandføringen tilbage. Dette stiller store krav til den fremtidige forudsigelse af afstrømningen.

8.2.3 Klimafaktor

På samme måde som for præcision af ekstremhændelsen vil systemet være utroligt sårbart overfor om klimafaktoren vil være 1,2 på en 100 års hændelse i år 2075 eller 1,1 eller 1,3. Såfremt den bliver større, f.eks. 1,3, betyder det at anlægget ikke kan håndtere en 100 års hændelse men en mindre hændelse, der optræder lidt hyppigere.

I nedenstående tabel er illustreret hvilken hændelse, der kan håndteres af de i scenarie 5 foreslåede anlæg ved forskellige klimafaktorer:

Figur 60 Effekt af forskellig klimafaktor i år 2075.

Klimafaktor	Hændelse der kan håndteres i år 2075
1,0	500 års hændelse
1,1	250 års hændelse
1,2	100 års hændelse
1,3	50 års hændelse
1,4	25 års hændelse

8.2.4 Præcision af styring

Præcisionen af styring handler om hvor god man er til at udnytte volumenerne optimalt. Jo flere magasiner der skal styres på, jo vanskeligere er dette. Særligt hvis de er på flere forskellige vandløbsstreng.

En optimal styringsstrategi handler om forudsigelse af afstrømningshændelsen. Såfremt denne estimeres til under dimensioneringsforudsætningerne (en 100 års hændelse i 2075), kan der styres efter et maksimalt afløb gennem Kolding på 25 m³/s. Det er vigtigt at magasinerne i de forskellige vandløbsgrene fyldes ensartet, så der er mulighed for at tage højde for variationer senere i hændelsen. Er der flere magasiner på samme vandløbsstreng, bør magasinerne fyldes fra opstrøms ende, således at man hele tiden har magasinvolumen til rådighed så langt nede i systemet som muligt.

Kan der ikke styres, så der opnås den maksimale vandføring gennem Kolding, betyder det at magasinerne fyldes for hurtigt og der vil dermed være for lidt volumen til rådighed. Reduceres afstrømningen grundet dårlig styring f.eks. fra 25 m³/s til 24 m³/s betyder det at der mangler 200.000 m³ volumen for at kunne håndtere en 100 års hændelse i år 2075. Er det 23 m³/s i stedet for 25 m³/s mangler der 500.000 m³, hvilket reelt betyder at man så ikke kan håndtere en 100 års hændelse for år 2075.

En imødekommelse af de fundne usikkerheder i sensitivitetsanalysen kan ske ved at sikre magasinerne etableres så langt nedstrøms i systemet som muligt, da dette giver den største sikkerhed for at man kan regulere afstrømningen gennem byen.

9 Sammenhæng mellem kapacitet i oplandsprojektet og pumpe-sluseprojektet

Ved klimasikring af Kolding kræves både sikring ift. vandmasserne fra baglandet (Kolding Å) og fra fjorden ved stigende vandstand og stormflod.

Når pumpe-sluseprojektet er etableret og i drift, kan det sikre kapaciteten gennem Kolding op til pumpernes kapacitet. Herved er oplandsprojektets funktion sikret uafhængigt af hvordan havvandstanden udvikler sig i fremtiden.

Såfremt pumpe-sluseprojektet ikke etableres med en kapacitet som er af samme størrelse som den kapacitet, der regnes med i oplandsprojektet, og derved altid kan virke til gavn, så bliver oplandsprojektets driftssikkerhed afhængig af kapaciteten gennem Kolding, som vil reduceres ved høj vandstand i fjorden. Hvorved det tilrådeværende fald gennem byen vil være afgørende.

Sandsynligheden for sammenfald mellem høj vandstand og høj afstrømning er meget lille og det er usandsynligt at oplandsprojektet skal i drift samtidigt med at slusen skal lukke af hensyn til høj vandstand, da vandstande over 1,2-1,3 meter, som forventes at være afgørende for højvandssikringen, forekommer sjældent. Til gengæld vil vandstand i havet mellem 0,7 m og den kote, hvor slusen skal lukkes af hensyn til højvande reducere kapaciteten af afstrømningen, hvorved magasinerne vil fyldes ved en hændelse med en gentagelsesperiode under de dimensionsgivende 100 år i 2075. Det bemærkes at der skelnes i mellem ved hvilken kote slusen skal lukke og hvornår den lukker. I tilfælde af varsel om høj vandstand over lukkekoten, skal slusen lukkes så tidligt så muligt og pumpen kan så anvendes til at holde vandstanden nede og herved skabe et magasin til at håndtere evt. store afstrømningerne, såfremt der er risiko for sammenfald.

Det vil således være muligt at lave andre tiltag for at sikre kapaciteten gennem Kolding og samtidigt etablere pumpe-sluseprojektet med en lavere kapacitet, men det kræver så indgreb langs åen, eller evt. uddybning af åen på sigt.

For at vurdere problematikken er der udført en analyse af sandsynlighed for sammenfald mellem høj vandstand og høj vandføring i Kolding Å. Herved undersøges hvorvidt den samlede sikkerhed af projektet modsvarer en 100 års hændelse frem til år 2075, både som enkeltstående hændelser og som kombination af høj havvandstand og høj afstrømning.

9.1 Analyse af sandsynlighed for sammenfald af hændelser

Sandsynligheden for sammenfald skal ses som sandsynligheden for at den tilrådeværende kapacitet af det kombinerede projekt overskrides.

Oplandsprojektet er dimensioneret for en afstrømning på 25 m³/s op til en vandstand i Kolding Fjord på 0,7 m (En fremtidig middelvandstand på 0,5 plus et

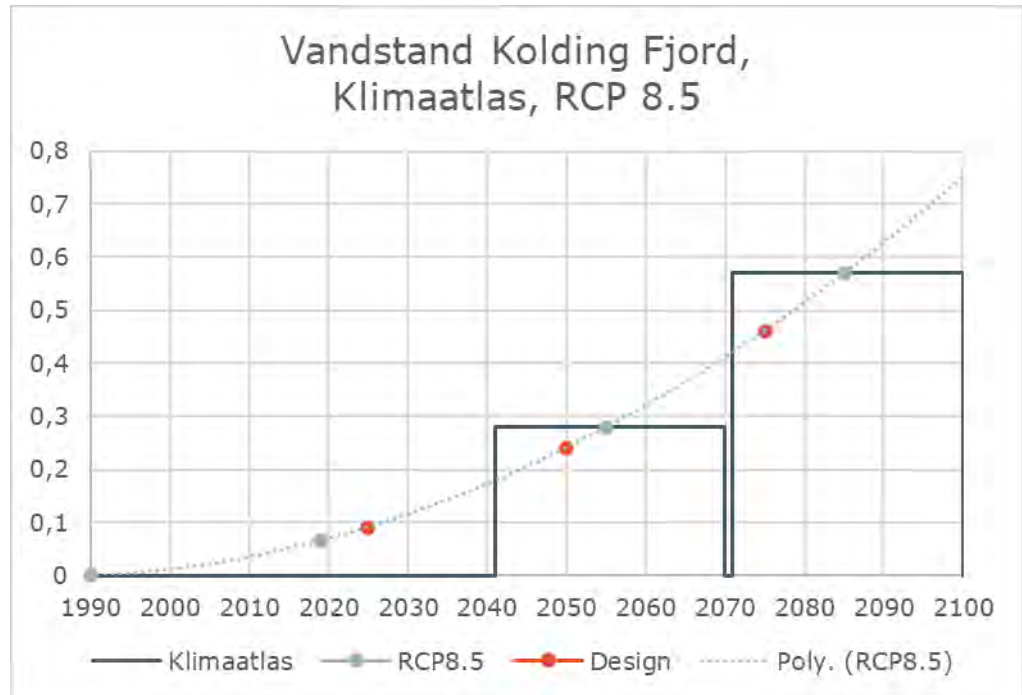
normalt tidevandstillæg på 0,2 m). Når vandstanden stiger falder kapaciteten af vandløbet. Når denne kapacitet er under pumpens kapacitet, vil slusen lukkes og pumpen kan herefter opretholde vandføringsevnen gennem byen. Herved sikres en minimums kapacitet.

Det skal således kortlægges hvad sandsynligheden er for at vandstanden er over 0,7 m samtidigt med en vandføring over 25 m³/s og tilsvarende ved højere vandstand og dermed lavere kapacitet. Ved en reduceret kapacitet vil magasinerne i oplandet udnyttes fuldt ud ved en hændelse, som optræder oftere end den dimensionsgivende hændelse. Det er således beregnet hvilken hændelse, der fylder magasinet ved vandføringer på 20-25 m³/s.

Da både afstrømning og høj vandstand varierer over året (begge er størst i vinterhalvåret) udføres vurderingen på grundlag af den forventede fordeling af de to ellers uafhængige fænomener over året. Det er i beregningerne forudsat at:

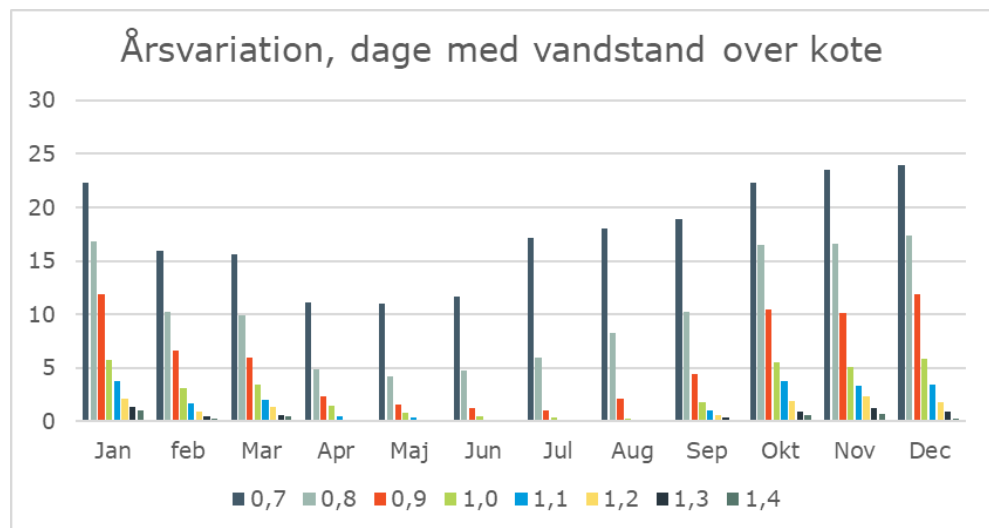
Oplandsprojektet etableres til en 100 års hændelse i år 2075, med en kapacitet gennem Kolding By på 25 m³/s. Dette giver et magasineringsvolumen på 2,3 mio. m³.

- > Pumpe sluseprojektet udføres med en pumpekapacitet på 20 m³/s.
- > Ekstremer for høj vandstand og høj vandføring er uafhængige stokastiske variable, med hver deres årstidsvariation.
- > Den nuværende årstidsvariation i afstrømning og høj vandføring vil også være gældende i fremtiden, dog med de klimafremskrevne ændringer i størrelse på ekstremer.
- > Der anvendes en klimafaktor på vandføring på 1,0 for år 2050 og 1,2 for år 2075.
- > Der anvendes en klimafremskrevet vandstand på 24 cm for år 2050 og 46 cm for år 2075, baseret på klimaatlas og RCP8,5. Vandstanden i år 2025 er estimeret til 9 cm, baseret på en nuværende middelvandstand på 6,75 cm.
- > Der etableres tiltag langs åen, der sikrer en vandføring på 25 m³/s ved en vandstand på 0,7 m i Kolding Fjord. De 0,7 m er den forventede klimafremskrivning på 46 cm til år 2075 og et tillæg for normal tidevandsvariation på 20 cm. Resultatet er afrundet til 0,7 m.
- > Der etableres et volumen i oplandet på 2,3 mio. m³, som er det beregnede nødvendige volumen for tilbageholdelse af en 100 års hændelse i år 2075, ved normal vandstand og en afstrømning på 25 m³/s.



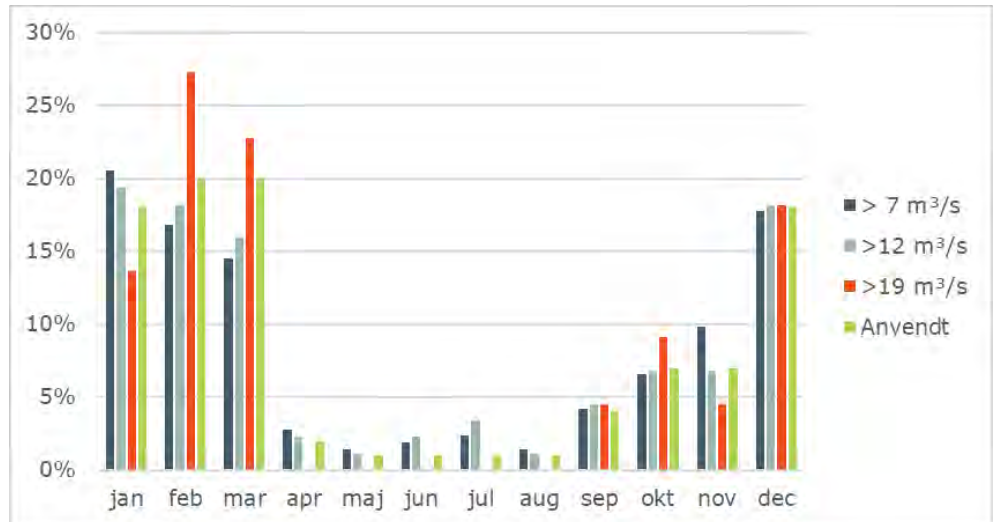
Figur 61 Anvendt stigning i middelvandstand for år 2025, 2050 og 2075 for Kolding fjord, baseret på klimaatlas.dk og RCP8.5

Nedenstående figur illustrerer antallet af døgn med vandstand over en given kote fordelt over månederne i året. Figuren er vist for år 2075 med en forventet vandstandsstigning på 46 cm.



Figur 62 Antal dage med vandstand over en give kote, fordelt over året måneder, beregnet for år 2075. Der er udført tilsvarende beregninger for år 2025 og 2050, som er en parallelforskydning af figuren ift. den forventede vandstandsstigning.

På tilsvarende måde er der udført en analyse af fordelingen af høje afstrømninger. Denne er dog baseret på færre ekstremer og der er derfor udledt en samlet årsvariation på basis af fordeling af de høje og næsthøjeste afstrømninger.



Figur 63 Fordeling af ekstreme vandføringer i Kolding Å for år 2025. Der er anvendt samme fordeling for 2050 og 2075 med de anførte klimafaktorer.

Det fremgår af analysen at fordelingen af høj vandstand er koncentreret omkring de 4 vintermåneder Okt-Jan, med de næststørste værdier i september samt Feb-Mar.

For ekstremvandføringer er billedet mere klart med de højeste afstrømninger fordelt i december til marts og de næststørste værdier i efteråret Sep-Nov.

Der er således et tidsmæssigt overlap i forekomsten af høj vandføring og høj vandstand, men bortset fra dette betragtes de to hændelser som ikke-korreleerede. Dvs. at de optræder tilfældigt i tid med ovenstående fordelinger men ellers som uafhængige variable.

9.1.1 Metode

For de forskellige forekommende vandstande fra 0,7 m og op er det i intervaller på 10 cm beregnet, hvilken kapacitet der kan forventes gennem Kolding By, med de i projektet forventede tiltag. Hvilken hændelse, der vil fylde magasinet ved denne kapacitet, og hvor mange dage om året denne vandføring vil være overskredet. Der er herefter beregnet sandsynlighed for sammenfald af den givne afstrømningshændelse, f.eks. en 33 års hændelse og at vandstanden overskrider denne kote i f.eks. 34 dage pr. år. Ved den kombinerede sandsynlighed er anvendt de årstidsvarierende sandsynlighedsfordelinger. Herved fås en samlet sandsynlighed, der er omregnet til gentagelsesperiode i år. Beregningerne er udført både for situationen i 2025, 2050 og 2075.

9.1.2 Resultat af beregning

Herunder er gengivet resultatet af de udførte analyser for år 2025, 2050 og 2075.

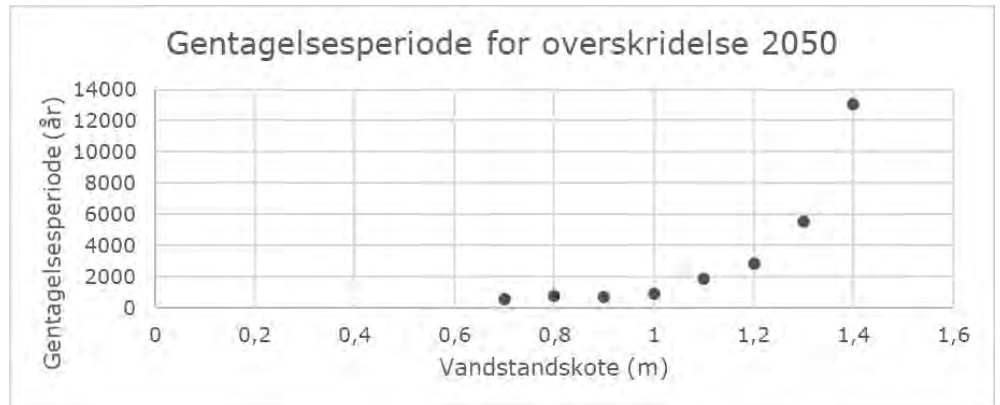


Figur 64 Gentagelsesperiode for overskridelse i år 2025, som funktion af vandstandskote i havet.

Tabel 28 Udvidede resultater for beregning gentagelsesperiode for overskridelse i år 2025.

Vandstand i Kolding Havn	Kapacitet af Kolding Å*	Kapacitet af pumpe	Anvendt vandføring	Gentagelsesperiode for hændelse der fylder magasinvolu- men i Ådalen i år 2025	Antal dage vandstand overskrides pr. år.	Gentagelsesperiode for overskridelse (år)
0,7	25	20	25	231	23	2391
0,8	23	20	23	177	14	3035
0,9	21	20	21	133	8	2282
1,0	18	20	20	108	3,7	6432
1,1	16	20	20	108	2,8	9178
1,2	12	20	20	108	1,3	18448
1,3	8	20	20	108	0,4	44144
1,4	0	20	20	108	0,3	62245

Lige efter etablering i år 2025, vil der således være en sikkerhed på minimum en 2000 års hændelse for overskridelse af designkriterierne. Dog vil en 231 års hændelse kunne fylde magasinerne og dermed overskride kapaciteten på 25 m³/s ned gennem Kolding.



Figur 65 Gentagelsesperiode for overskridelse i år 2050, som funktion af vandstandskote i havet.

Tabel 29 Udvidede resultater for beregning gentagelsesperiode for overskridelse i år 2050.

Vandstand i Kolding Havn	Kapacitet af Kolding Å*	Kapacitet af pumpe	Anvendt vandføring	Gentagelsesperiode for hændelse der fylder magasinvolu- men i Ådalen i år 2050	Antal dage vandstand overskrides pr. år.	Gentagelsesperiode for overskridelse (år)
0,7	25	20	25	136	61	542
0,8	23	20	23	97	30	774
0,9	21	20	21	56	18	716
1,0	18	20	20	40	11	892
1,1	16	20	20	40	4,8	1862
1,2	12	20	20	40	3,2	2831
1,3	8	20	20	40	1,7	5553
1,4	0	20	20	40	0,7	13082

I år 2050 vil der være en sikkerhed på minimum en 500 års hændelse for overskridelse af designkriterierne. Dog vil en 136 års hændelse kunne fylde magasinerne og dermed overskride kapaciteten på 25 m³/s ned gennem Kolding.



Figur 66 Gentagelsesperiode for overskridelse i år 2075, som funktion af vandstandskote i havet.

Tabel 30 Udvidede resultater for beregning gentagelsesperiode for overskridelse i år 2075.

Vandstand i Kolding Havn	Kapacitet af Kolding Å*	Kapacitet af pumpe	Anvendt vandføring	Gentagelsesperiode for hændelse der fylder magasinvolumen i Ådalen i år 2075	Antal dage vandstand overskrides pr. år.	Gentagelsesperiode for overskridelse (år)
0,7	25	20	25	100	211	156
0,8	23	20	23	61	126	141
0,9	21	20	21	33	69	118
1,0	18	20	20	22	34	156
1,1	16	20	20	22	20	257
1,2	12	20	20	22	11	454
1,3	8	20	20	22	6	842
1,4	0	20	20	22	3,3	1446

Beregningerne viser således at med de anvendte forudsætninger omkring klimaudvikling og design af de to projekter, så vil der i perioden frem til år 2075 være en gentagelsesperiode på mindst 100 år ift. overskridelse af designkriteriet. Den laveste værdi på 118 år, nås i år 2075 ved en vandstand i kote 0,9 m, hvor kapaciteten gennem Kolding er estimeret til 21 m³/s med de foreslåede tiltag, og det derved vil være en 33 års hændelse der fylder magasinerne.

En forøgelse af pumpekapaciteten vil sikre at der altid vil være en kapacitet i åen svarende til dimensioneringen af oplandsprojektet, uafhængigt af vandstanden i havet. Der vil stadig være en risiko for at oplandsprojektet ikke har tilstrækkelig volumen. Da dette kan håndtere en 100 års hændelse i år 2075 og sandsynligheden for sammenfaldende hændelser er fundet at have større gentagelsesperiode, vil det reelt ikke øge sikkerheden ud over en 100 års hændelse i år 2075, at øge kapaciteten af pumperne.

Ved design af den samlede løsning anbefales at se på robustheden af løsningerne, således at de er så robuste som muligt overfor ændringer i forudsætningerne og klimafremskrivningerne som muligt. I den forbindelse skal bemærkes at det vurderes at det er afstrømningen fra oplandet der er størst usikkerhed omkring. Her er der både en stor usikkerhed på fastsættelsens af ekstremhændelsen og i høj grad på udviklingen i afstrømningsregimet. Der er både usikkerhed på peakvandføringer og varighed. Derfor anbefales det at sikre at oplandsprojektet såvidt muligt etableres robust overfor variationer i forudsætningerne.

10 Referencer

COWI 2019A: Klimatilpasning af Kolding, tilbageholdelse af vand i oplandet, Kolding Kommune, februar 2019.

COWI 2019B: Klimatilpasningsprojekt Kolding Å – Pumpe og sluse, Kolding Kommune, august 2019.

COWI 2020: Vurdering af oversvømmelse i februar 2020 for Kolding Å.

GEUS 2013: Klimaekstremvandføring, Klimaeffekter på hydrologi og afstrømning. Rapport 2013/29.

Orbicon 2020: Beregninger på regulativmæssig opmåling 2018 og kontrol 2020. Længdeprofiler, tværsnit og differencetabeller.

SDFE 2021: HIP, Hydrologisk Informations og prognosesystem

Vejle Amtsråd 1988: Regulativ for Kolding Å.

Bilag A Ekstremværdianalyse og hændelser

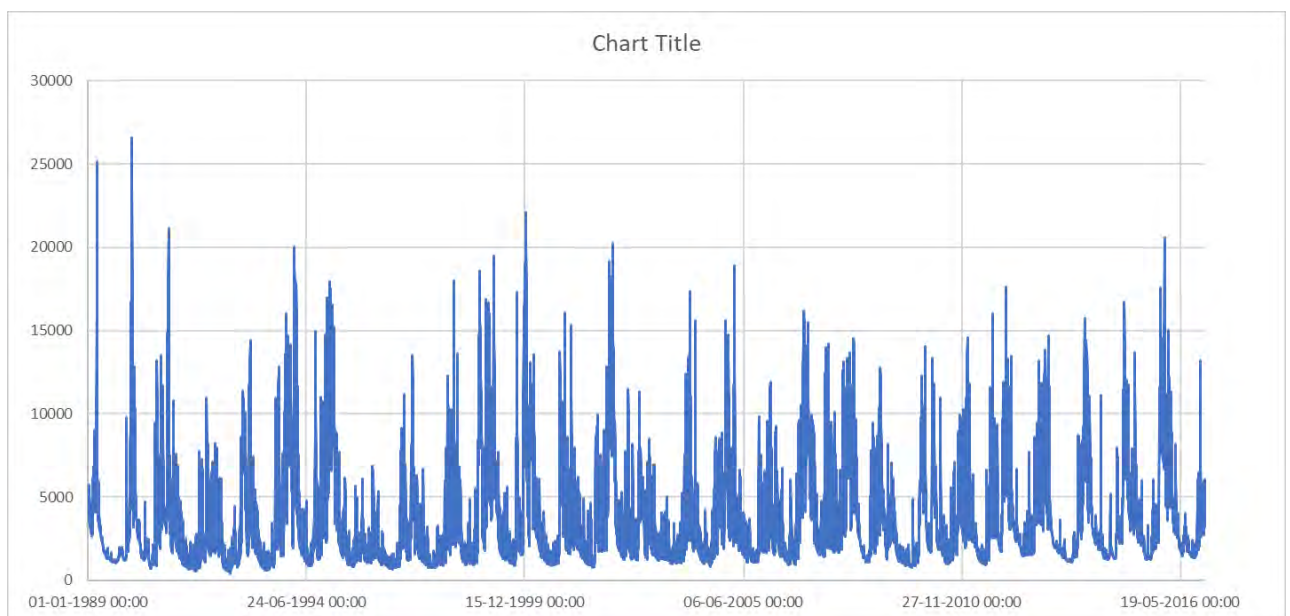
Der er udført en ekstremværdianalyse af tidsserien for afstrømning ved alpedalen. Tidserien er ifm. tidligere analyser udarbejdet som en samlet tidsserie over afstrømning fra oplandet. Den er således baseret på målinger fra øvrige stationer i oplandet.

Tidligere studier af magasineringsbehovet er primært baseret på de to største hændelser i perioden, baseret på værdien af døgnmaksimum vandføringer. Der er udført en ekstremværdianalyse på grundlag af dette og hændelserne er så skaleret til hhv. nuværende og fremtidige ekstremhændelser.

A.1 Udvalgelse af hændelser

Der er udvalgt 6 af de mest ekstreme hændelser med fokus på maksimal afstrømning, størst volumen i afstrømning og størst gennemsnitlige flow i afstrømningsperioden.

Tidsserien er analyseret og for hver afstrømningshændelse med et maksimum over 15 m³/s, er der fastlagt en begyndelse og en afslutning på hændelsen. Dette er sat som en afskæring på 3 m³/s. Herved sikres det at effekten af koblede hændelser medtages i analysen. Koblede hændelser er flere på hinanden følgende hændelser med høj afstrømning.



Figur 67 Tidsserie for afstrømning ved målestation Alpedalen

Analysen af tidsserien har resulteret i 23 hændelser, som overholder kriteriet. Disse er gengivet herunder.

Tabel 31 Bruttoliste til udvælgelse af hændelser

nr	Startdato	Varighed (dage)	Max flow (m ³ /s)	Volumen (mio. m ³)	Gennemsnitligt flow m ³ /s	kommentar
1	13-02-1989	68	25,11	35	5,9	2. maks. Flow, 2 peaks over 15 m³/s
2	22-01-1990	64	26,55	41	7,3	maks. Flow
3	21-12-1990	28	21,15	27	11,3	
4	01-12-1993	78	16,04	65	9,6	
5	28-02-1994	46	20,02	40	10,0	
6	27-12-1994	95	17,94	84	10,3	5 peaks over 15 m³/s, peak er i stort set samme niveau
7	02-03-1998	18	18	15	9,5	
8	12-10-1998	40	18,57	41	11,9	Størst gns. Flow (pr. dag)
9	13-12-1998	125	19,46	86	8,0	
10	28-09-1999	17	17,31	14	9,5	
11	29-11-1999	47	22,1	45	11,1	
12	04-12-2000	19	16,07	13	7,9	
13	06-02-2001	11	15,31	9	9,6	
14	02-01-2002	84	20,25	76	10,5	
15	26-01-2004	25	17,35	19	8,7	
16	15-03-2004	11	15,59	8	8,2	
17	13-12-2004	46	15,61	35	8,7	
18	07-03-2005	25	18,88	18	8,3	
19	06-11-2006	130	16,18	92	8,2	3 peaks over 15 m³/s
20	05-09-2011	25	16	14	6,4	

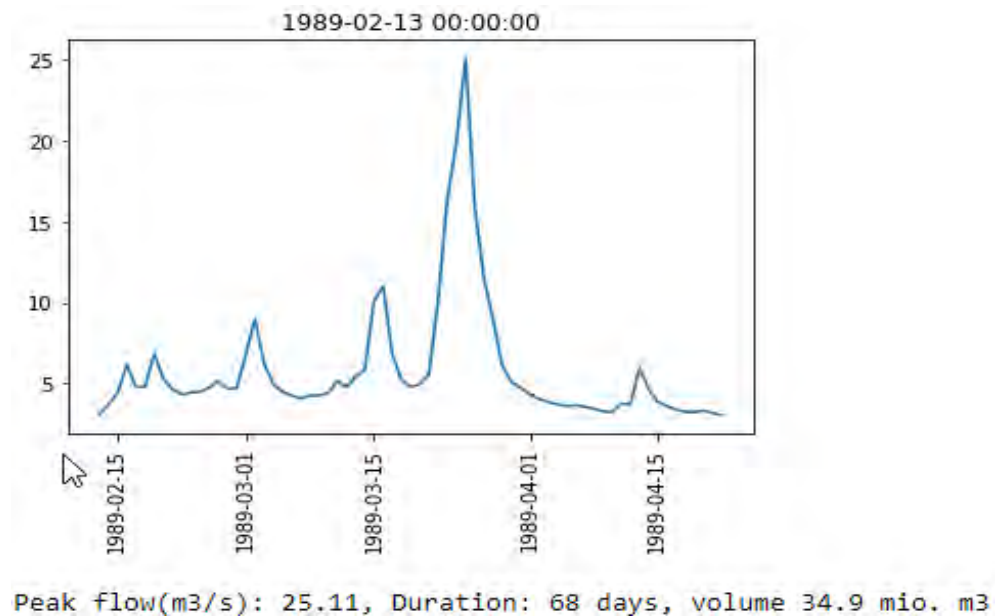
21	02-12-2011	105	17,61	62	6,8	
22	05-12-2013	95	15,76	59	7,2	
23	08-12-2014	71	16,69	50	8,1	
24	07-11-2015	136	20,62	103	8,7	2 peaks over 15 m³/s

Der er udvalgt 6 hændelser:

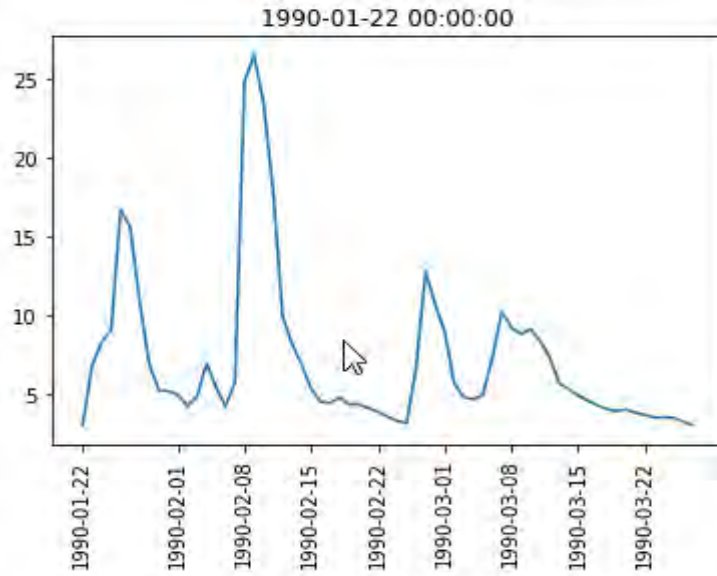
- > nr 1 og 2 for at have det størst måle flow i perioden.
- > nr 19 og 24 for længste varighed med flow over 3 m³/s
- > Nr 6 og 8 for højt gennemsnitligt flow (hændelse 8 har det højeste i perioden). Hændelse 6 er medtaget da den har 5 på hindanden følgende toppe med flow over 15 m³/s

I modellen og i det videre forløb, omdøbes de 6 hændelser 1-6, som angivet herunder.

Tilsammen udtrykke disse hændelser således den store variation der er i afstrømningen. Tidsserier for de 6 hændelser er givet herunder:

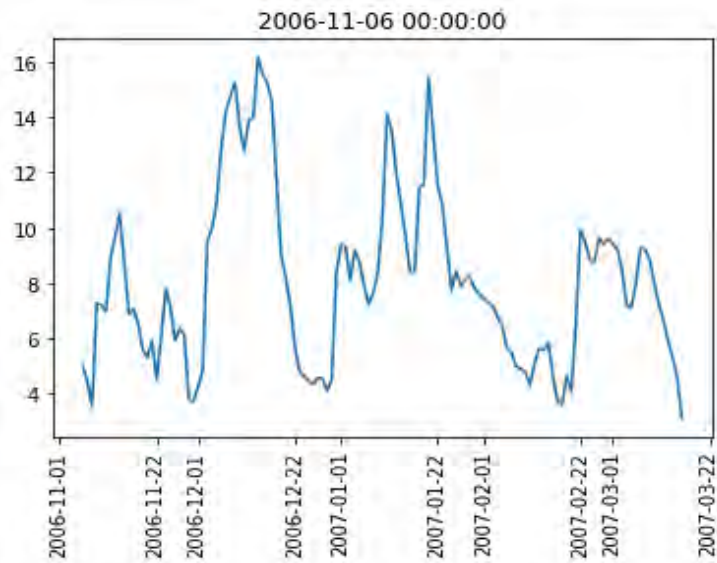


Figur 68 Hændelse 1



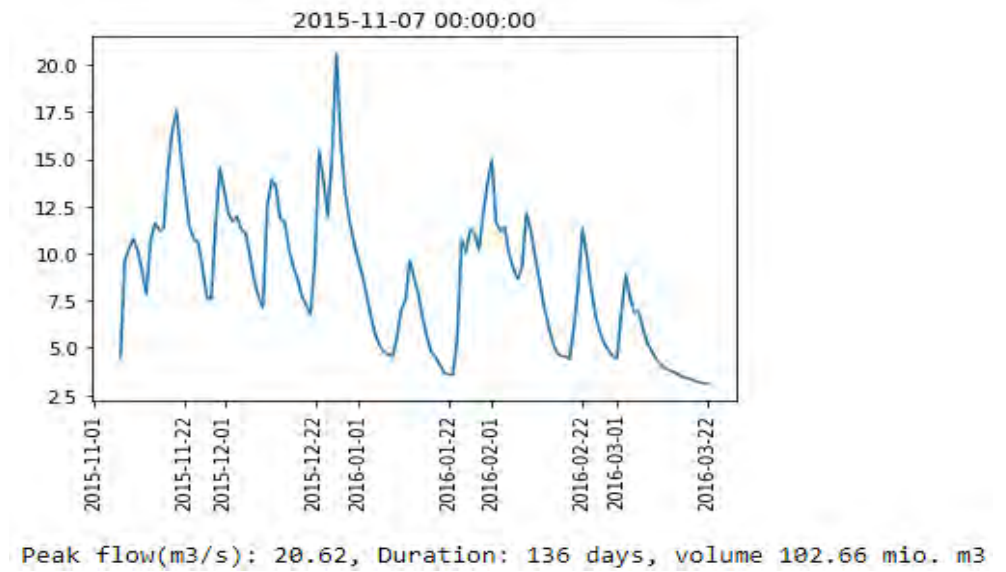
Peak flow(m3/s): 26.55, Duration: 64 days, volume 40.63 mio. m3

Figur 69 Hændelse 2

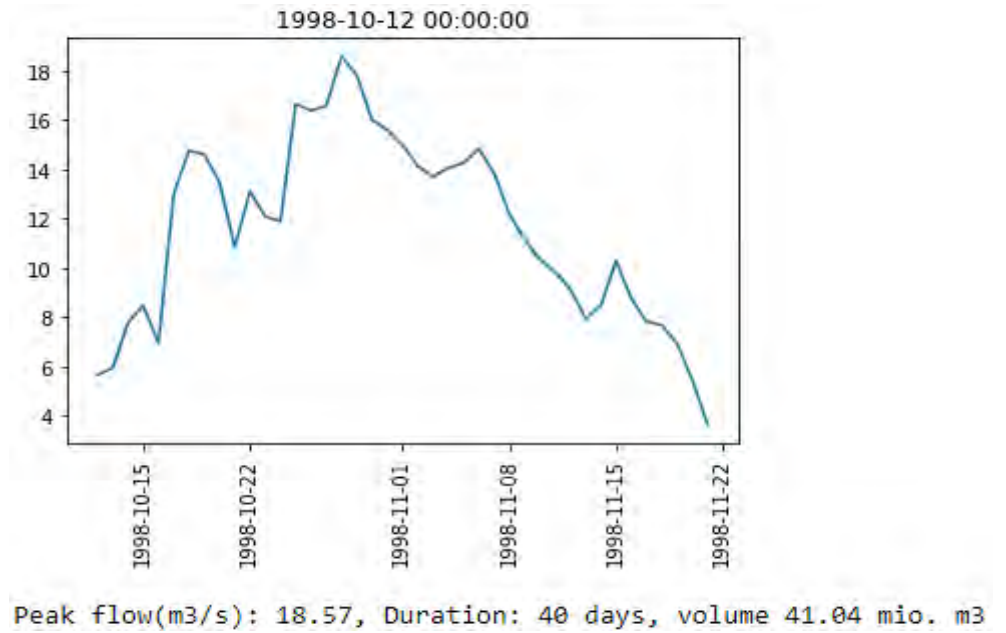


Peak flow(m3/s): 16.18, Duration: 130 days, volume 91.66 mio. m3

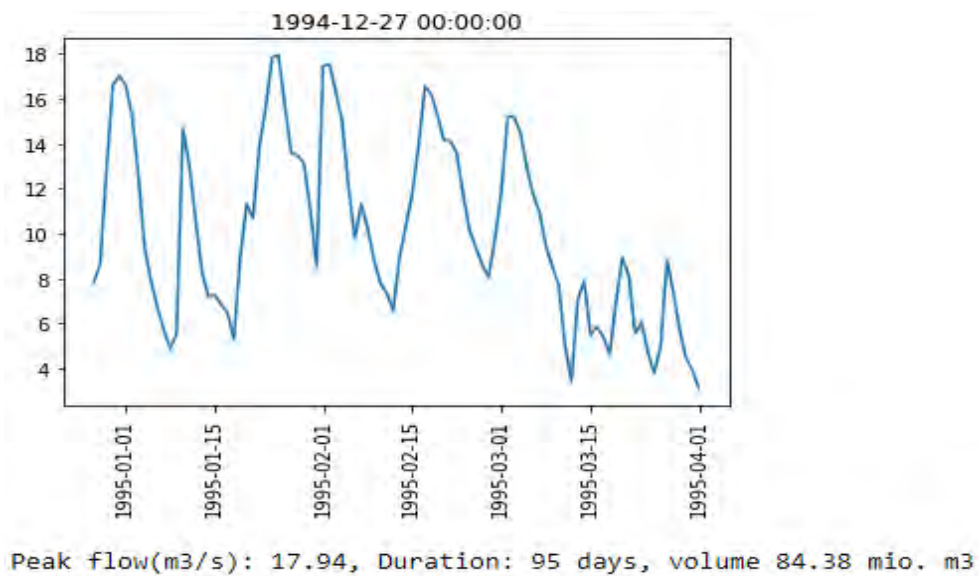
Figur 70 Hændelse 3



Figur 71 Hændelse 4



Figur 72 Hændelse 5



Figur 73 Hændelse 6

A.2 Skalering af hændelser

Alle hændelser kan skaleres så maksimum svarer til en 10, 20, 50 eller 100 års hændelse.

Hver hændelse har således en skaleringsfaktor fra den målte døgnmaksimum, til den estimerede værdi for en ekstremhændelse.

Bilag B Analyse af HIP data for afstrømning og fastsættelse af klimafaktorer for Kolding Å

B.1 Baggrund

HIP – et Hydrologisk Informations- og Prognosesystem. HIP udstiller frie offentlige hydrologiske data, modelberegninger og prognoser for fremtiden, der understøtter arbejdet med klimatilpasning, vandforvaltning og planlægning. HIP giver samlet adgang til frie offentlige data om terrænnære hydrologiske forhold for at understøtte klimatilpasning, vandforvaltning, beredskabsaktiviteter og anden planlægning, hvor vand spiller en rolle. I de kommende år skal der investeres milliarder i klimatilpasning, og det er vigtigt, at have et godt datagrundlag for at træffe gode og bæredygtige beslutninger.

HIP er en åben webbaseret brugergrænseflade, der udstiller data og modelberegninger om terrænnære hydrologiske forhold. Data hentes online fra forskellige offentlige datakilder og vises samt tilgængeliggøres gennem HIP for at give let adgang til et samlet datagrundlag, der understøtter arbejdet med klimatilpasning og vandforvaltning.

I forbindelse med frigivelse af data fra HIP projektet er der kommet nye klimafaktorer. Disse illustrerer tydeligt de usikkerheder der arbejdes med, når man arbejder med nedskalering af klimamodeller og skal forsøge at beregne afstrømninger på oplandsniveau og forudsige fremtidige ekstremhændelser.

B.2 HIP projektets resultater

HIP projektet indeholder både klimafaktorer for vandløb også beregninger af tidsserier for alle vandløb for alle 22 klimamodeller.

En skalering af de nuværende hændelser baseret på skalering af peakværdierne alene giver udfordringer ift. bestemmelse af de mulige magasineringsvolumener, da problematik ift. varighed ikke beskrives.

B.3 Klimafaktorer for Kolding Å

Ved beregning af klimafaktorer for fremtidige ekstremhændelser opstår der således to væsentlige fejlkilder:

- > Forudsigelse af ekstremværdier på grundlag af en begrænset tidsserie.
- > Indbyrdes vægtning af klimamodeller ift. estimering af den fremtidige klimafaktor.

Derudover er der en bias korrelation af inputtet til de enkelte klimamodeller, som også kan have indflydelse på resultatet.

Der foreligger med HIP projektet resultater for 22 klimamodeller, heraf 5 for RCP 4.5 scenariet og 17 for RC P8.5 scenariet.

For hver model er der beregnet fremtidige tidsserier for vandføring, heraf er beregnet ekstremstatistik og den endelige klimafaktor er fundet som medianen af de fremtidige ekstremhændelser ift. modellernes forudsigelser på det nuværende klima. Særligt for RCP4.5 bemærkes det, at der kun indgår 5 modeller og resultaterne derved er behæftet med stor usikkerhed.

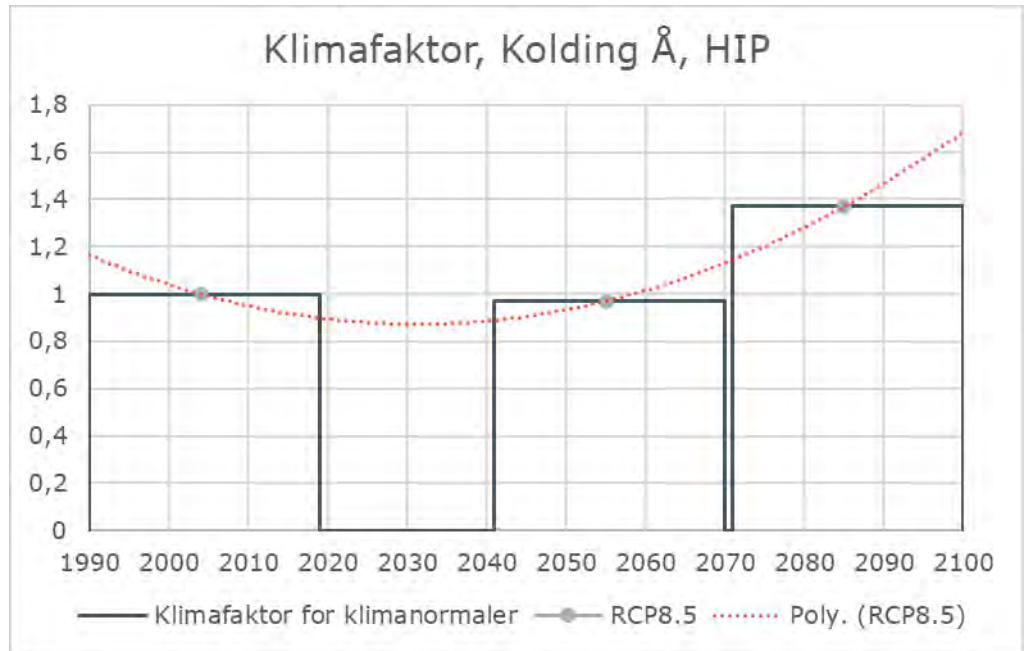
Nedenstående tabel viser resultatet for Kolding Å:

Tabel 32 *HIP projektets klimafaktorer for Kolding Å, ved målestation Q340019 Alpedalen*

STATION Q340019	Lavt scenarie RCP4.5 – 5 klimamodeller		Højt scenarie RCP8.5 – 17 klimamodeller	
	2041-2070	2071-2100	2041-2070	2071-2100
10 års hændelse	1.17 +- 0.22	1.06 +- 0.43	1.10 +- 0.19	1.58 +- 0.69
20 års hændelse	1.25 +- 0.34	0.93 +- 0.65	1.08 +- 0.25	1.50 +- 0.84
50 års hændelse	1.39 +- 0.55	0.77 +- 1.04	1.01 +- 0.34	1.38 +- 1.08
100 års hændelse	1.51 +- 0.77	0.74 +- 1.43	0.97 +- 0.43	1.34 +- 1.30

B.3.1 Pragmatisk estimering af klimafaktor for 2075

En simpel tilgang til fastlæggelse af klimafaktor for 2075, er at betragte de klimafaktorerne for de to klimanormaler, NF (Nær Fremtid) og FF (Fjern Fremtid). Disse er beregnet over en 30 årig periode, for at afspejle variationen i klimaet, men at de reelt udtrykker situationen midt i perioden. For året 2075 som er dimensioneringsgrundlaget for oplandsprojektet kan der interpoleres mellem disse.

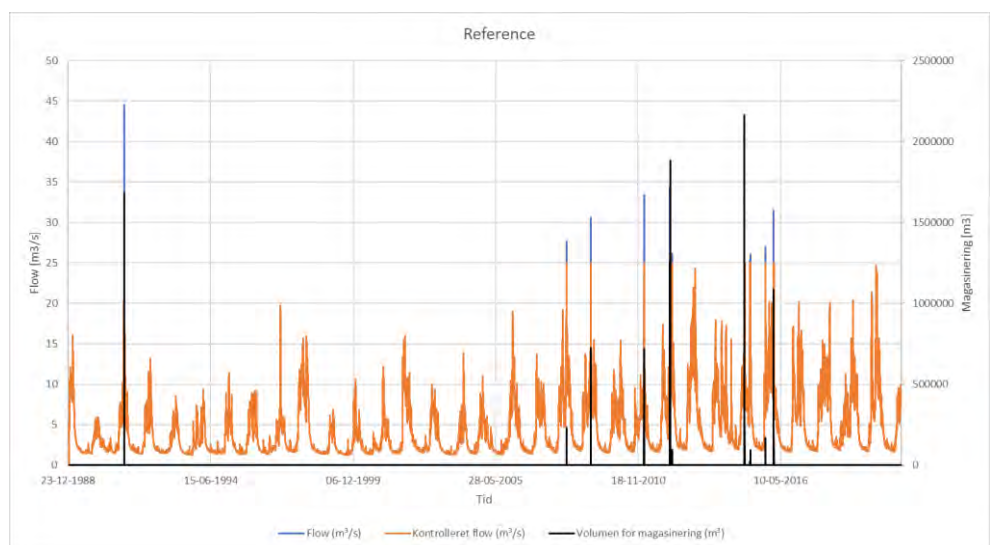


Figur 74 Illustration af klimafaktorer for RCP 8.5 og interpolation til år 2075.

Herved fås en klimafaktor for 2075 på ca. 1,2 for en 100 års hændelse.

B.4 Analyse af tidserier

For at komme nærmere en tilgang til problemstillingen med magasinering af vand i oplandsprojektet er der indhentet tidsserier for de 22 klimamodeller. Disse er analyseret i forhold til hændelser med vandføring over 25 m³/s, samt en tilhørende beregning af magasineringsvolumenet. Dette er gjort for klimamodellernes beskrivelse af referencesituationen (RF), nær fremtid (NF) og fjern fremtid (FF).



Figur 75 Eksempel på beregning for Reference situationen for klimamodel c01.

For hver af disse 66 varianter af tidsserier er der for hele tidserien beregnet størrelse af magasinvolumenen for alle hændelser over 25 m³/s.

Figur 1 viser flowet som det er modelleret i klimamodellen, samt kontrolleret flow, hvis vandføringen gennem Kolding fastholdes på max. 25 m³/s. For disse hændelser er beregnet tilsvarende magasinvolumen. Dette er tilsvarende gjort for Nær Fremtid og Fjern Fremtid.

I tabellerne herunder vises resultaterne for de 10 største hændelser for klimamodel 01. Det fremgår af tabellen at denne klimamodel generelt overestimerer magasinvolumenet sammenholdt med de målte data. På samme måde viser efterfølgende tabel med målte vandføringer af klimamodellerne for referencesituationen ligger væsentligt over den målte tidsserie.

Tabel 33 *Estimerede magasineringsvolumener i m³ for målt tidsserie og HIP modellens tidsserie for klimamodel 01.*

Rank/Scenarie	Nuv. tidsserie (27 år)	HIP Reference (30 år)	HIP Nær fremtid (30 år)	HIP Fjern fremtid (30 år)
1	133.920	2.164.593	6.201.313	8.960.754
2	9.504	1.884.648	3.671.365	4.636.496
3	-	1.685.165	2.491.798	4.203.396
4	-	1.083.959	1.942.047	4.201.791
5	-	723.159	1.427.440	3.432.386
6	-	719.874	1.350.165	3.138.692
7	-	232.936	1.348.255	2.974.224
8	-	168.624	1.155.818	2.855.283
9	-	97.330	919.011	1.575.551
10	-	94.616	890.909	1.131.556

Tabel 34 *Måle og beregnede maksimale vandføringer over 25 m³/s for målt tidsserie og HIP modellens tidsserie for klimamodel 01.*

Rank/Scenarie	Nuv. tidsserie (27 år)	HIP Reference (30 år)	HIP Nær fremtid (30 år)	HIP Fjern fremtid (30 år)
1	26,55	42,8	67,4	45,3
2	25,11	34,3	36,2	46,3
3	-	44,5	49,0	65,3
4	-	31,5	47,5	50,6

5	-	30,6	41,5	44,0
6	-	33,3	39,6	42,8
7	-	27,7	40,6	52,9
8	-	27,0	38,4	58,0
9	-	26,1	35,6	43,2
10	-	26,1	35,3	38,1

På samme måde foreligger der data for samtlige 22 klimamodeller.

I nedenstående tabeller er medianværdierne for HIP modellerne der beskriver klimascenariet RCP8.5 listet.

Tabel 35 Estimerede magasineringsvolumener i m³ for målt tidsserie og median værdi for HIP modellens tidsserier for RCP 8.5.

Rank/Scenarie	Nuv. tidserie (27 år)	Median HIP Reference (30 år)	Median HIP Nær fremtid (30 år)	Median HIP Fjern fremtid (30 år)
1	133.920	2.458.717	1.907.174	4.002.461
2	9.504	608.804	1.099.502	3.296.543
3	-	561.156	756.520	2.520.308
4	-	353.029	386.667	1.931.338
5	-	279.074	340.055	1.417.518
6	-	88.831	175.645	1.399.496
7	-	-	103.204	1.284.570
8	-	-	75.974	1.214.954
9	-	-	50.272	657.089
10	-	-	-	525.539

Det fremgår at både reference og NF og FF giver væsentligt større volumener end beregninger med den nuværende tidserie.

Forøgelsen af volumen fra reference til FF er dog begrænset og indenfor det forventede. Tilsvarende forskelle ses i vandføringer.

Der er således en "bias" (skævhed) i modellernes evne til at eftervise de målte data.

Denne "bias" kan skyldes flere ting, de mest oplagte er gengivet herunder:

- > Klimamodellernes evne til at forudsige ekstreme nedbørsforhold.
- > Omsætningen fra klimamodellernes data til DK-modellens beregninger på grundvand og afstrømning.
- > DK-modellen er primært kalibreret på årlig vandføring (Q50, samt små og store vandføringer (Q10 og Q90)). Der er således kun fokus på 90% fraktilen ift. store vandføringer, hvilke typiske vil være under medianmaksimum, og der er dermed ikke kalibreret på de egentlige ekstreme vandføringer.

I HIP projektet er anført kalibreringskrav for de forskellige parametre og ved sammenhold med målte data er det anført at 75% af stationerne skal overholde disse krav. Da der ikke er kalibreret specifikt på de maksimale afstrømninger samt at en stor del af stationerne kan ligge udenfor kravene er det forventeligt at der kan være stor variation i modellernes evne til at forudsige de maksimale afstrømninger.

HIP projektet har dog vurderet at data er af en tilstrækkelig kvalitet til at der kan laves ekstremstatistik på afstrømningerne, samt ud fra dette beregne klimafaktorer for ekstremhændelser ved sammenligning af medianværdier for modellernes beskrivelse af NF og FF ift. Reference.

Tabel 36 Måle og beregnede maksimale vandføringer over 25 m³/s for målt tidsserie og Median HIP modellens tidsserier for RCP 8.5.

Rank/Scenarie	Nuv. tidsserie (27 år)	HIP Reference (30 år)	HIP Nær fremtid (30 år)	HIP Fjern fremtid (30 år)
1	26,55	47,54	47,07	61,27
2	25,11	32,05	36,31	46,28
3	-	31,49	33,76	48,25
4	-	29,09	29,48	43,76
5	-	28,23	28,94	41,41
6	-	26,03	27,03	41,20
7	-	-	26,19	39,77
8	-	-	25,88	34,04
9	-	-	25,58	32,61
10	-	-	-	31,08

For at vurdere stigningen i volumen i HIP modellen ift. en simpel fremskrivning med en fast klimafaktor på den målte tidsserie, er der udført beregninger af magasinivolumen med klimafaktorer på 1,1; 1,2; 1,3 og 1,4.

Tabel 37 Estimerede magasineringsvolumener i m³ for målt tidsserie samt analyser ved forskellige klimafaktorer.

Rank/Scenarie	Nuv. tidserie (27 år)	KF 1.1	KF 1.2	KF 1.3	KF 1.4
1	133.920	638.116	1.285.217	1.932.319	2.590.652
2	9.504	226.454	443.405	734.288	1.123.079
3	-	-	131.017	487.996	1.023.996
4	-	-	32.521	215.231	576.444
5	-	-	-	155.926	388.714
6	-	-	-	114.143	369.982
7	-	-	-	89.096	334.074
8	-	-	-	25.860	200.033
9	-	-	-	-	193.260
10	-	-	-	-	138.482

Det fremgår af beregningerne at der er en stigning i volumenbehov for beregninger med klimafaktorer, som er af samme størrelsesorden som for HIP modellernes resultater.

I nedenstående tabel er angivet volumenbehov for nuv. forhold med en klimafaktor på 1,2 sammenholdt med HIP modellens resultater.

Tabel 38 Estimerede magasineringsvolumener i m³ for målt tidsserie og median værdi for HIP modellens tidsserie for klimamodel 01.

Rank/Scenarie	Nuv. tidsserie (27 år)	KF 1.2	Median HIP Reference (30 år)	Median HIP Nær fremtid (30 år)	Median HIP Fjern fremtid (30 år)
1	133.920	1.285.217	2.458.717	1.907.174	4.002.461
2	9.504	443.405	608.804	1.099.502	3.296.543
3	-	131.017	561.156	756.520	2.520.308
4	-	32.521	353.029	386.667	1.931.338
5	-	-	279.074	340.055	1.417.518
6	-	-	88.831	175.645	1.399.496
7	-	-	-	103.204	1.284.570
8	-	-	-	75.974	1.214.954
9	-	-	-	50.272	657.089
10	-	-	-	-	525.539

Det vurderes ikke muligt at anvende de estimerede volumener baseret på HIP projektet, da modellerne ikke modsvarer de volumener og maksimale vandføringer der fremgår og kan beregnes med den målte tidsserie.

Forøgelsen af volumen kan for den værste hændelse estimeres til 1,15 mio. m³ for fremskrivning af den nuværende tidsserie med en faktor 1,2 og på hhv. - 0,55 og 1,55 for scenarierne for NF og FF.

Da forøgelsen af volumen for et scenarie imellem FF og NF ligger i samme størrelsesorden (ca. 1 mio. m³) som en fremskrivning med en klimafaktor på 1,2, vurderes det rimeligt at vælge en klimafaktor på 1,2 for ekstremhændelser i år 2075 (som ligger lige i begyndelsen af perioden for Fjern Fremtid).

B.5 Udvælgelse af hændelser

I den opstillede model er der beskrevet i alt 6 varianter af afstrømningshændelser. De to største i den målte tidsserie er begge kortvarige, med en peak på få dage.

Det er en væsentlig forudsætning for projektet, hvordan afstrømningsregimet ændrer sig. HIP modellerne beskriver det fremtidige klima og afstrømningsmønstre og det vurderes at netop ændringer i afstrømningsregiment vil slå igennem i disse modeller.

Data er derfor analyseret for peaks over 25 m³/s og deres varighed er bestemt. Til sammenligning er der som ved volumenbetragtningerne udført en fremskrivning af den målte tidsserie.

For de to største hændelser i hver af de 17 klimamodeller der beskriver RCP 8.5 er fundet medianværdien af antal dage hvor vandføringen overskrider 25 m³/s.

Dette er ligeledes sammenholdt med en fremskrivning af den målte tidserie med de valgte klimafaktorer.

Tabel 39 Antal døgn med vandføringer over 25 m³/s for de to værste hændelser i hhv. målt tidsserie og HIP modellernes resultater.

Antal døgn med Q > 25 m ³ /s	Målt	KF 1,1	KF 1,2	KF 1,3	KF 1.4
Nuværende tidsserie	1	2	2	2,5	3
	Reference	Nær Fremtid	Fjern Fremtid		
HIP modellerne, RCP 8.5	1,75	1,5	2,5		

HIP modellernes resultater for reference giver en lidt længere varighed af de største afstrømninger. Dette kan dog skyldes at de generelt er større og dermed bliver peaket bredere, selvom det er en peakformet afstrømning. Som For volumenbetragtningerne ses et fald i HIP modellernes resultater for NF og en stigning til FF.

Stigningen på den nuværende tidserie ved en valgt klimafaktor på 1,2 er lidt større end stigningen ved HIP modellerne. De to hændelser der indgår i analysen er benævnt hændelse 1 og 2 i den opsatte regnearksmodel. Det anbefales dermed at disse to hændelser indgår som beslutningsgrundlag.

Generelt tyder det på at HIP modellerne, når der korrigeres for at peaks er højere end målt har kortere varighed på ekstremhændelser end den målte tidsserie. Det skal dog bemærkes at der er meget stor spredning på resultaterne og nogle af de 17 modellers værste hændelser har varighed op mod 2 uger og vil give et magasinivolumen på 30 mio. m³ ved en afstrømning på 25 m³/s.

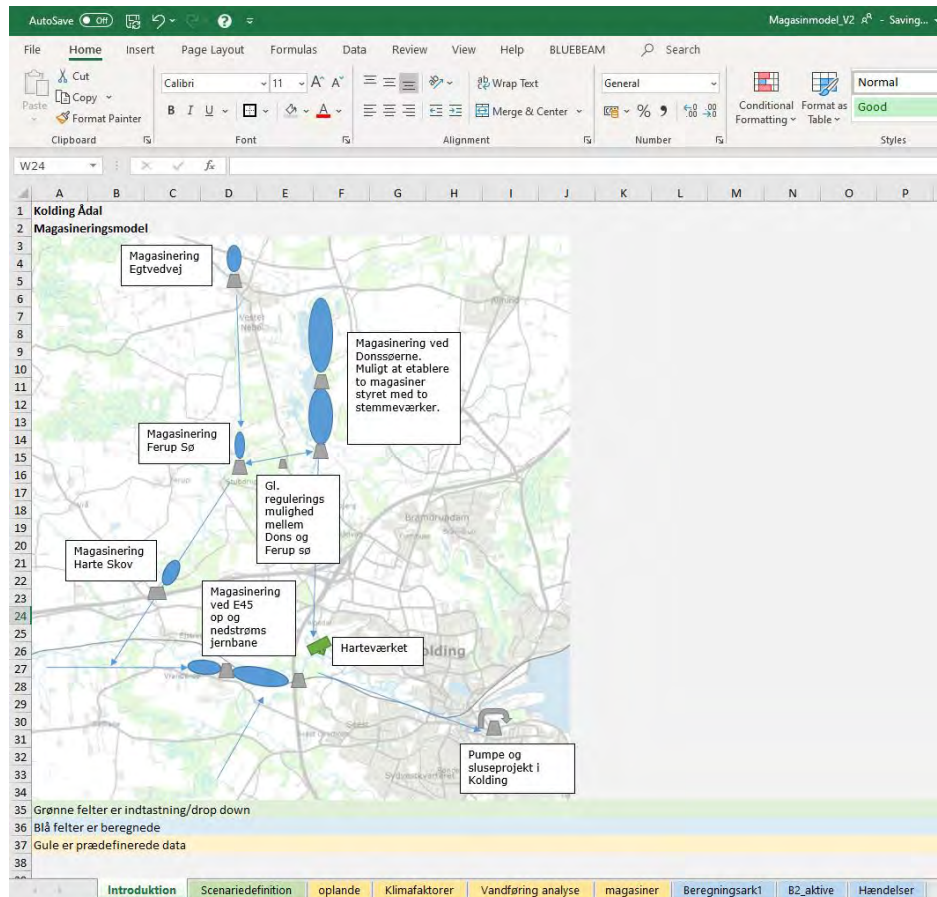
B.6 Opsummering

På grundlag af analysen af HIP modellernes resultater og sammenligning med en fremskrivning af nuværende målte tidsserie med en varierende klimafaktor, anbefales det at estimere en fremtidig 100 års hændelse for oplandsprojektet på den målte tidsserie med en klimafaktor på 1,2.

Det anbefales at anvende hændelse 1 og 2 til dimensioneringen.

Bilag C Vejledning til model

For at kunne udføre en vurdering af effekten af magasineringen i oplandet, er der opstillet en model i Excel. Modellen beskriver afstrømningen fra de enkelte deloplande og beskriver afstrømningen og magasineringen ned gennem vandløbssystemet.



Figur 76 Forside til model, inkl. farve

Modellen består af følgende primære ark (grønne):

- > Introduktion (forside)
- > Scenariedefinition

Der er følgende supplerende info ark (gule):

- > Oplande
- > Klimafaktor
- > Vandføringsanalyse
- > Magasiner

Og tre beregningsark (blå):

- > Beregningsark 1
- > B2_aktive

> Hændelser

Den almindelige bruger, vil kun have brug for at benytte arket scenariedefinition, da det både anvendes til beskrivelse af scenarier og resultatpræsentation.

Den avancerede bruger, kan arbejde med andre magasinbeskrivelser, hændelser eller klimafaktorer. Disse muligheder beskrives ikke i denne vejledning, men kræver et godt kendskab til excel og at kunne sætte sig ind i et avanceret regneark.

Modellen kan anvendes til at udføre beregninger på effekten ved at etablere oversvømmelsesområder forskellige steder i Kolding Ådal, samt til aktivt at regulere disse.

Anvendelsen af arket sker i fire trin:

- > Beskrivelse af hændelse, med årstal, klimafaktor mm.
- > Valg af aktive magasiner og reguleringer
- > Iterativ optimering af scenarie

C.1 Beskrivelse af hændelse, med årstal, klimafaktor mm

Brugeren fastlægger hvilket scenarie der skal analyseres.

- > Årstal for analysen vælges
- > Gentagelsesperioden som den aktuelle hændelse skal skaleres til vælges
- > Niveau for klimafaktor på vandføring vælges (lav, middel eller høj).

Den aktuelle klimafaktor er herefter bestemt ud fra årstal, gentagelsesperiode og valgt niveau for klimafaktor.

- > Der vælges evt. en varighedsfaktor.

Dette er en skaleringsfaktor i tid, hvor den konkrete hændelse kan gøres længere eller kortere. konkret skaleres tidsserien med den valgte faktor. 1,00 giver ingen ændring

- > Der vælges en hændelse

Hændelse vælges ud blandt de 6 der er foruddefineret (nærmere beskrevet i bilag b).

Nu er det **hydrologiske grundlag** for beregningen fastlagt.

C.1.1 Evt. detaljering af afstrømning

Det er muligt at undersøge konsekvensen såfremt afstrømningen ikke er fordelt proportionalt til størrelsen af de enkelte deloplande.

I modellen er der som udgangspunkt anvendt samme tidsserie for alle deloplande, fordelt efter deloplandets størrelse ift. det samlede opland. Dette kan justeres ved at ændre på afstrømningen fra enkelte deloplande ved at angive en procentvis forøgelse eller reduktion, modellen korrigerer afstrømningen på deloplandet nedstrøms E45. Er dette ikke muligt kommer der en fejlmeddelelse. Brugere bør kun anvende denne funktion til en følsomhedsanalyse af det valgte scenarium.

C.2 Valg af aktive magasiner og reguleringer

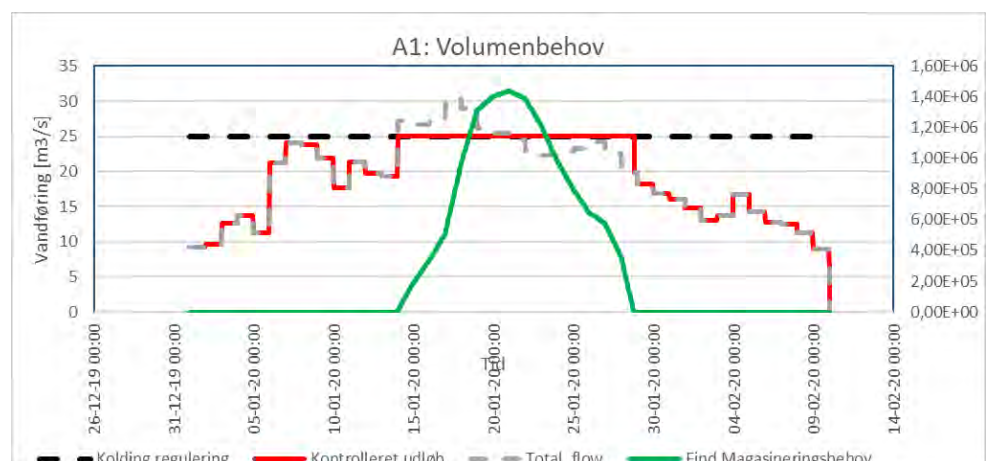
Når det hydrologiske grundlag er defineret, skal de **fysiske rammer** for scenariet der undersøges fastlægges.

Udvælgelse af aktive magasiner

Dette gøres ved at vælge hvilke magasiner, der skal være aktive. For hvert magasin kan anføres en dæmningskote, som er den maksimalt tilladelige stuvningshøjde. I kolonnen til venstre herfor er angivet indenfor hvilket interval magasinet er defineret.

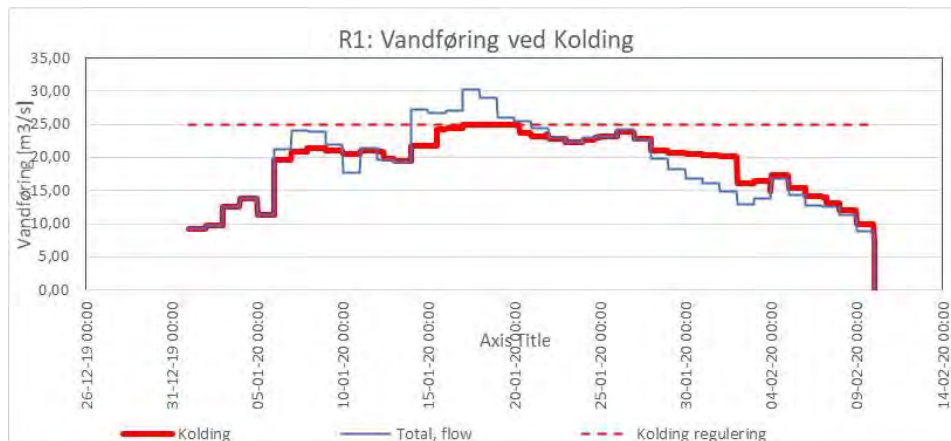
I feltet F17 angives den maksimalt tilladelige vandføring ned gennem Kolding.

Når magasinerne er valgt og den maksimalt tilladelige vandføring gennem Kolding er defineret, kan der laves en første vurdering af scenariet, da modellen i felt C19 angiver om det tilrådeværende volumen teoretisk er tilstrækkeligt til at håndtere vandet i magasinerne uden at overskride den maksimal tilladelige vandføring. Beregningen af det teoretiske volumen kan også ses grafisk i graf A1: Volumenbehov.



Figur 77 Eksempel på beregning af teoretisk volumenbehov (den grønne linje). Den grå stiplede linje viser afstrømningen fra oplandet ved den valgte hændelse. Den røde gengiver hvordan der kan opnås en maksimal afstrømning ned gennem Kolding, i dette tilfælde på 25 m³/s. Den grønne linje viser hvilket volumen der teoretisk skal opstemmes for at imødekomme dette. I dette tilfælde et behov på 1,44 mio. m³.

I grafen R1: Vandføring ved Kolding, ses den resulterende vandføring ved Kolding, ligesom den maksimale vandføring er angivet i felt F18.



Figur 78 Eksempel på beregnet resulterende vandføring ved Kolding. Den blå linje angiver den samlede afstrømning. Den røde linje angiver den resulterende afstrømning ved aktive magasinering. Den røde stiplede angiver maksimal tilladelig vandføring. I dette scenarie sat til 25 m³/s.

Opfylder scenariet ikke kravet, men scenariet teoretisk burde kunne opfylde kravet, gås videre med en Iterativ optimering af scenariet.

Indgreb i oplandet

Det er muligt at undersøge effekten af forskellige indgreb i oplandet:

- > Opland fra Ferup kanal til Donssøerne
- > Aktiv reduktion af vandstanden i Donssøerne
- > Placering af regulering ved Donssøerne

Ved at vælge ja til tilledning af oplandet fra Ferup Kanal til Donssøerne, føres al tilledning Vester Nebel Å fra magasinet ved Troldhedebanen til Dons Sønderø, når magasinet ved Sønderø (evt. sammen med Nørresø) er fuldt sker overløbet ved Ferup Sø, videre til Vester Nebel Å.

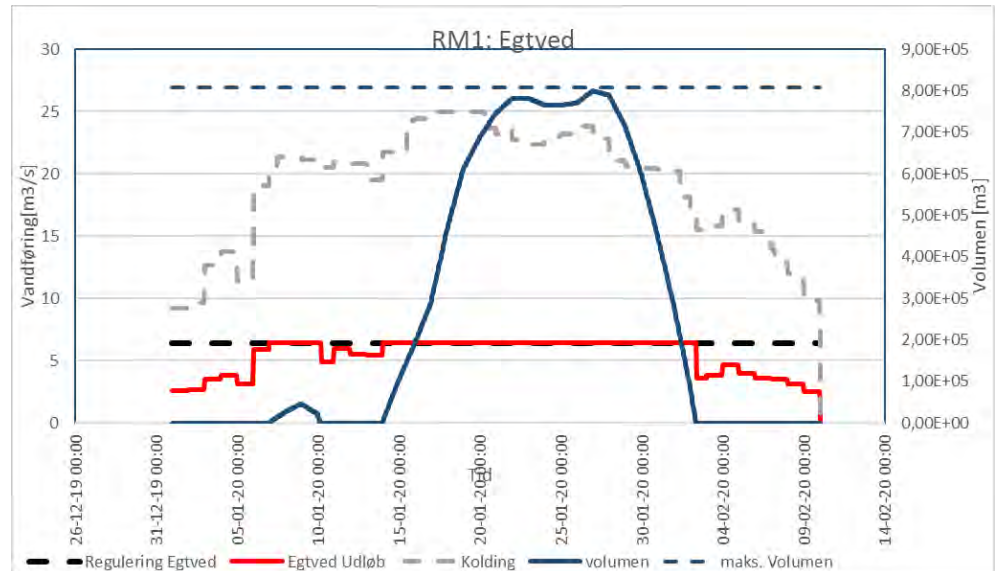
Ved at vælge aktiv reduktion af vandstanden i Donssøerne skabes 200.000 ekstra m³ magasin, under det nuværende flodemål. Dette svarer til en reduktion af vandstanden på ca. 0,5 m. Det forudsættes at dette kan ske før hændelsen kræver magasinering. Volumen vil være til rådighed gennem hele hændelsen og hvis der er mulighed for at sænke vandstanden mellem to toppe, medtages denne effekt i modellen.

Ved Dons Sønderø er det muligt at vælge placering af reguleringsmuligheden, således at Stallerup Sø og Harte Kanal, enten er med i beregningen eller ej og dermed bidrager med volumen.

C.3 Iterativ optimering af scenarie

I den iterative optimering, justeres på afstrømningen fra de enkelte magasiner.

En god rettesnor for at opnå optimal udnyttelse er at forsøge at få fyldningen af de enkelte magasiner til at følge grafen for den teoretisk optimale udnyttelse (A1: Volumenbehov). Der startes opstrøms fra og udnyttelse af den valgte magasiner kan følges i graferne RM1 til RM7.



Figur 79 Eksempel på optimal udnyttelse af magasinet ved Egtved. For samme hændelse som anført ovenfor.

Der opnås det bedste resultat såfremt magasinerne udnyttes til randen, uden at der opstår overløb til nedstrøms magasiner.

Der fortsættes iterativt ned gennem systemet og den resulterende vandføring i Kolding kan aflæses grafisk og i feltet F18.

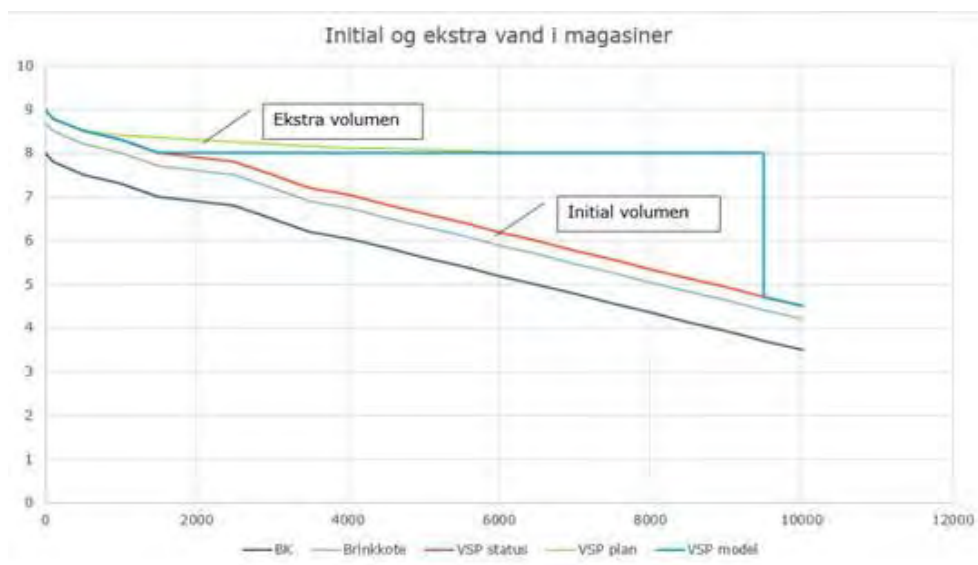
C.4 Sammenligning med eksisterende forhold

Modellens fokus har været at lave en model der på kort tid kan gennemregne en række forskellige scenarier og anvendes til en vurdering af forskellige scenarier ift. hinanden. Formålet har været at skabe grundlag for valg af scenarie, som ifm. Projektering skal eftervises ved egentlig hydrodynamisk modellering.

Modellen tager ikke hensyn til den vandmængde der er i magasinerne ved situationen uden dæmning og opmagasiner, svarende til de eksisterende forhold. Dette volumen er afhængig af ved hvilken vandføring magasineringen startes, dvs. vandføringen som ledes videre. Ved meget lave vandføringer vil der i situationen uden dæmning være begrænset volumen, mens der i analyser med høj afstrømning fra magasinet, kan være en betydelig vandmængde i magasinet. Den erfarne bruger kan indregne dette i analyserne.

På samme måde tager modellen heller ikke hensyn til det volumen der er i stuvningszonen bag magasineringen. Her vil den tilstrømmende vandmængde (som ved optimal udnyttelse af magasinet) i situationen hvor magasinet er fuldt, være lig den vandføring der ledes videre. Afhængig af de aktuelle terrænmæssige forhold er der en stuvningszone bagud, med et højere vandspejl end max koten i

magasinet. Dette volumen er ikke medtaget i beregningerne. De to volumener er angivet på nedenstående figur. Størrelsen af de to volumener er afhængig af tilløb til og afløb fra magasinerne.



Figur 80 Illustration af initial volumen og ekstra volumen i modellen.

Det er muligt at tage hensyn til initialvolumen, som særligt er relevant i de meget flade "vådområde" lignende arealer med begrænset opstuvningshøjde. Det vil sige magasinet ved Egtved. Det har mindre betydning ved de mere ådalslignende områder som E45 og stort set ingen betydning ved sømråder som Harte Dons søerne, hvor afløbet kan reguleres og vandstanden fastholdes (af Harteværket). Der kan tages hensyn ved at justere på volumen i modellen som er i de redigerbare felter. Ved tidligere beregninger på E45 oplandet i Mike hydro, er det vist at den forventede effekt kunne opnås selvom der ikke er taget specifikt hensyn til den initiale fyldning af magasinet.

Praktisk anvendelse af modellen har også vist at der kræves en vis overkapacitet for at kunne opnå den ønskede effekt at de valgte magasiner. Denne overkapacitet skyldes at der ikke kan styres fuldt dynamisk. I praksis vil dette overskydende volumen modsvare en del af eller hele initialvolumenet. Ifølge modellens formål vurderes dette rimeligt. Modellen er endvidere baseret på samme tidsserie, gældende for alle oplande, hvorved vandbalancen sikres og vandføringen gennem Kolding, som er det der styres på er korrekt. Der er således ikke en tidsforskydning i "routningen" af vandet, men da tidserierne heller ikke er forskudt til oplande opstrøms i oplandet har det ikke betydning. I virkeligheden vil afstrømningen opstrøms fra oftest forekomme tidligere (timer) og det vil være muligt at lede en højere afstrømning videre i systemet end den faste værdi der anvendes i modellen, indtil det er nødvendigt at tilbageholde vand i magasinerne. Dette vil imødekomme problemstillingen med initialt vand i modellen, da det herved kan sikres ved styring at magasinerne udnyttes optimalt.

Denne dynamik kan kun eftervises med hydrodynamisk modellering. Da data endvidere er baseret på døgnmiddelvandføringer, kan denne effekt ikke belyses fuldt ud i regnearksmodellen. På samme måde kan afstrømningen være anderledes fordelt mellem oplande, hvilket kan undersøges i modellen f.eks. som gjort ved sensitivitetsanalysen. Det er velkendt at de karakteristiske vandføringer er højere længere opstrøms i systemet, men da disse ikke forekommer samtidigt i alle oplande, er der for at sikre vandbalancen i modellen anvendt samme tidsserie overalt. Den vandmængde der skal tilbageholdes ved ekstremvandføringer skal relateres til vandføringen ved Kolding, da det er her problemet skal løses. Magasineringsbehovet som beregnes i modellen for de enkelte delområder er således korrekt, men de vandføringer der ledes videre kan være anderledes, såfremt afstrømningen fra oplandet er anderledes fordelt.

Bilag D Resultater af magasinberegninger

Tabel 40 Resultat af scenarie 1

Scenarie 1					
Scenarie 1A	T20	20 m ³ /s			
1. prioritet	Donssøerne, Søndersø ved Stallerup				
2. prioritet	Trolldhedebanen				
3. prioritet	Egtved				
4. prioritet	Harte Skov				
5. prioritet	E45				
Hændelse	2020	2050	2075	2100	2120
1	1. prioritet	2. prioritet	3. prioritet	3. prioritet	3. prioritet
2	1. prioritet	3. prioritet	4. prioritet	5. prioritet	5. prioritet
3	3. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
4	1. prioritet	3. prioritet	4. prioritet	5. prioritet	5. prioritet
5	3. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
6	3. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
Scenarie 1B					
T50	20 m ³ /s				
Hændelse	2020	2050	2075	2100	2120
1	2. prioritet	3. prioritet	3. prioritet	5. prioritet	5. prioritet
2	3. prioritet	5. prioritet	5. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig
3	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
4	2. prioritet	5. prioritet	5. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig
5	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
6	5. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
Scenarie 1C					
T100	20 m ³ /s				
Hændelse	2020	2050	2075	2100	2120
1	3. prioritet	5. prioritet	5. prioritet	5. prioritet	Ikke mulig
2	4. prioritet	5. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
3	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
4	3. prioritet	5. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
5	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
6	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig

Tabel 41 Resultat af scenarie 2

Scenarie 2					
Scenarie 2A	T20	20 m ³ /s	Ferup Kanal aktiv		
1. prioritet	Donssøerne, Søndersø ved Stallerup				
2. prioritet	Trolldhedebanen				
3. prioritet	Egtved				
4. prioritet	Harte Skov				
5. prioritet	E45				
Hændelse	2020	2050	2075	2100	2120
1	1. prioritet	2. prioritet	3. prioritet	3. prioritet	3. prioritet
2	1. prioritet	3. prioritet	4. prioritet	5. prioritet	5. prioritet
3	3. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
4	1. prioritet	3. prioritet	4. prioritet	5. prioritet	5. prioritet
5	3. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
6	3. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
Scenarie 2B	T50	20 m ³ /s			
Hændelse	2020	2050	2075	2100	2120
1	2. prioritet	3. prioritet	3. prioritet	5. prioritet	5. prioritet
2	3. prioritet	5. prioritet	5. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig
3	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
4	2. prioritet	5. prioritet	5. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig
5	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
6	5. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
Scenarie 2C	T100	20 m ³ /s			
Hændelse	2020	2050	2075	2100	2120
1	3. prioritet	5. prioritet	5. prioritet	5. prioritet	5. prioritet
2	4. prioritet	5. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
3	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
4	3. prioritet	5. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
5	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
6	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig

Tabel 42 Resultat af scenarie 3

Scenarie 3					
Scenarie 1	T20	20 m ³ /s			
1. prioritet	Dønssøerne, Søndersø ved Stallerup				
2. prioritet	Trolhedebanen				
3. prioritet	Egtved				
4. prioritet	Harte Skov				
5. prioritet	E45 jernbanedæmning				
6. prioritet	E45				
Hændelse	2020	2050	2075	2100	2120
1	1. prioritet	2. prioritet	3. prioritet	3. prioritet	3. prioritet
2	1. prioritet	3. prioritet	4. prioritet	6. prioritet	6. prioritet
3	3. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
4	1. prioritet	3. prioritet	4. prioritet	5. prioritet	6. prioritet
5	3. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
6	3. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
Scenarie 1	T50	20 m ³ /s			
Hændelse	2020	2050	2075	2100	2120
1	2. prioritet	3. prioritet	3. prioritet	5. prioritet	6. prioritet
2	3. prioritet	5. prioritet	6. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig
3	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
4	2. prioritet	5. prioritet	6. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig
5	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
6	6. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
Scenarie 1	T100	20 m ³ /s			
Hændelse	2020	2050	2075	2100	2120
1	3. prioritet	5. prioritet	6. prioritet	6. prioritet	Ikke mulig
2	4. prioritet	6. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
3	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
4	3. prioritet	6. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
5	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
6	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig

Tabel 43 Resultat af scenarie 4

Scenarie 4					
Scenarie 1	T20	20 m ³ /s	Ferup Kanal aktiv		
1. prioritet	Donssøerne, Søndersø ved Stallerup				
2. prioritet	Troldhedebanen				
3. prioritet	Egtved				
4. prioritet	Harte Skov				
5. prioritet	E45 jernbanedæmning				
6. prioritet	E45				
Hændelse	2020	2050	2075	2100	2120
1	1. prioritet	2. prioritet	3. prioritet	3. prioritet	3. prioritet
2	1. prioritet	3. prioritet	4. prioritet	6. prioritet	6. prioritet
3	3. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
4	1. prioritet	3. prioritet	4. prioritet	5. prioritet	6. prioritet
5	3. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
6	3. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
Scenarie 1	T50	20 m ³ /s			
Hændelse	2020	2050	2075	2100	2120
1	2. prioritet	3. prioritet	3. prioritet	5. prioritet	6. prioritet
2	3. prioritet	5. prioritet	6. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig
3	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
4	2. prioritet	5. prioritet	6. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig
5	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
6	6. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
Scenarie 1	T100	20 m ³ /s			
Hændelse	2020	2050	2075	2100	2120
1	3. prioritet	5. prioritet	6. prioritet	6. prioritet	Ikke mulig
2	4. prioritet	6. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
3	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
4	3. prioritet	6. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
5	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
6	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig

Tabel 44 Resultat af scenarie 5

Scenarie 5					
Scenarie 1	T20	25 m ³ /s			
1. priorite	Donssøerne, Søndersø ved Stallerup				
2. priorite	Trolldhedebanen				
3. priorite	Egtved				
4. priorite	Harte Skov				
5. priorite	E45				
Hændelse	2020	2050	2075	2100	2120
1	ingen mag.	1. prioritet	1. prioritet	2. prioritet	2. prioritet
2	ingen mag.	1. prioritet	1. prioritet	2. prioritet	3. prioritet
3	ingen mag.	1. prioritet	3. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig
4	ingen mag.	1. prioritet	1. prioritet	2. prioritet	2. prioritet
5	ingen mag.	1. prioritet	3. prioritet	5. prioritet	5. prioritet
6	ingen mag.	1. prioritet	3. prioritet	5. prioritet	5. prioritet
Scenarie 1	T100	25 m ³ /s			
Hændelse	2020	2050	2075	2100	2120
1	1. prioritet	2. prioritet	3. prioritet	3. prioritet	3. prioritet
2	1. prioritet	3. prioritet	3. prioritet	5. prioritet	5. prioritet
3	3. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
4	1. prioritet	3. prioritet	3. prioritet	5. prioritet	5. prioritet
5	3. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig
6	3. prioritet	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig	Ikke mulig