Notat

Projektnavn	C2C CC – C14 Sikring af Horsens By imod oversvømmelse
Kunde	Horsens Kommune
Projektleder	Jan H. Sørensen
Projektnummer	1331700119
Dokument ID	Horsens midtby
Til	Rasmus Rønde Møller
Udarbejdet af	Morten E. Larsen
Kvalitetssikret af	Jan H. Sørensen
Godkendt af	Louise S. Clausen
Version	1
Versionsdato	24-01-2019
Første udgivelsesdato	18-01-2019

Indhold

1. Overordnet indledning 3

2. Indledning 4

3. Forudsætninger 5

4. Konklusion og anbefalinger 5

5. Datagrundlag 9

6. Oversvømmelseskortlægning 10

7. Stormflodssikring 11

8. Serviceniveau 11

9. Følsomhedsanalyse 12

10. Samtidighedsanalyse mellem nedbør og vandstand 25

Morten Engholm Larsen
+4551629990
MOLA@orbicon.dk

Orbicon A/S
Jens Juuls Vej 16
8260 Viby J
Tlf. 87 38 61 66

CVR. nr: 21 26 55 43
Handelsbanken:
7643-0002350106

11.	**Gentagelsesperioder og klimafremskrivning**	**26**
12.	**Placering og bestykning af pumpe/sluse løsninger**	**34**
13.	**Drift og dimensionering**	**35**
14.	**Stormflodsdrift**	**40**
15.	**Strømningsveje**	**42**
16.	**Alternativt serviceniveau**	**43**
17.	**Medfinansiering**	**43**

Tegningsliste:

Tegning 1 – T003f100h4_H125
Tegning 2 – T025f100h4_H125
Tegning 3 – T1f100h4_H125
Tegning 4 – T3f100h4_H100
Tegning 5 – T5f100h4_H000
Tegning 6 – T5f100h4_H050
Tegning 7 – T5f100h4_H075
Tegning 8 – T5f100h4_H100
Tegning 9 – T10f100h4_H075
Tegning 10 – T20f100h4_H000
Tegning 11 – Sammenligning T5f100h4_H000-H100
Tegning 12 – Sce. 1 – Oversvømmelseskortlægning T5
Tegning 13 – Sce. 2 – Ingolf
Tegning 14 – Sce. 3.a – Følsomhedsanalyse
Tegning 15 – Sce. 3.b – Følsomhedsanalyse
Tegning 16 – Sce. 3.c – Følsomhedsanalyse
Tegning 17 – Sce. 4.a – Sikringsniveau 1
Tegning 18 – Sce. 4.b – Sikringsniveau 1
Tegning 19 – Sce. 4.c – Sikringsniveau 1
Tegning 20 – Sce. 5 – Sikringsniveau 2
Tegning 21 – Sce. 7 – Oversvømmelseskortlægning T100
Tegning 22 – Strømningsveje op til serviceniveau
Tegning 23 – Skybrudsveje

Bilagsliste:

Model-/beregningsforudsætninger OneNote dokument

1. Overordnet indledning

Formål med projektet Coast to Coast projektet

Coast To Coast projektet skal belyse oversvømmelsesrisikoen mht. stormflod, åvand og regnvand for Horsens Midtby i dag og i et fremtidigt klima. I projektperioden skal der udarbejdes og fastlægges overordnede principper for fremtidig vandhåndtering i Horsens By. Der skal udvikles en masterplan for vandhåndtering, samt gives forslag til de nødvendige og overordnede klimatilpasningsforanstaltninger (diger, sluser og pumper). Om muligt skal der laves et samlet anlægsprogram. Projektet omfatter tekniske analyser i tæt samarbejde med Samn Forsyning, koordinering med planer og projekter, inddragelse af interessenter samt politisk behandling og vedtagelse.

Forudsætninger

Projektet forudsætter:

- Horsens Kommunes Byråd har besluttet at Horsens By skal beskyttes mod oversvømmelse fra stormflod op til kote 2,60 meter DVR90, ifølge Horsens Fjords højvandsstatistik en 100 års hændelse i år 2110. Samtidig skal åvand og regnvand kunne håndteres uden, at det gør større skade i Horsens By
- Ringvej Syd Etape 2 og 3 er vedtaget og vil blive realiseret. Ringvej Syd skal indgå i den langsigtede beskyttelse af Horsens By mod stormflod. I projektet undersøges der ikke for en alternativ løsning i Horsens yderfjord eller andre steder på tværs af Horsens Fjord
- Ringvejen etableres som jorddiger med stormflodsbeskyttelse op til kote min. 2,6 meter og skal bidrage til havnebassin som kan udnyttes til at håndtere regnvand og åvand i, når der er høj vandstand i Horsens Fjord.
- Nordhavnen bidrager til den samlede beskyttelse af Horsens By. Her hæves kajkanter til kote 1,80 meter og tilbagetrukket fra havnepromenaden etableres en højderyg og vej op til kote 2,6 meter

I Coast To Coast projektet Sikring af Horsens By i mod oversvømmelse (C14), har Orbicon A/S i 2018 udført teknisk rådgivning og bistand i forbindelse med klargøring og hydraulisk modellering. Modelarbejdet har været meget omfattende og udgør:

- Modeltilpasning
- Avancerede hydrauliske analyser
- Klimascenarier for fremtidige oversvømmelser
- Vandhåndtering og klimatilpasning af Horsens midtby

Arbejdet er organiseret i 4 ATR'er der udarbejdes og afrapporteres hver for sig. Status for arbejdet fremgår af nedenstående Tabel 1.

Tabel 1 Status for afrapportering ATR0 til ATR3

ATR0: Klargøring af data og hydraulisk model Notater: • Model-/beregningsforudsætninger. One Note dokument • Beslutningsnotat af 18. sept. 2018 omhandlende modelændringer, årsagsanalyse, naturscreening
ATR1: Status 2018 – Omfatter modeltilpasning-/udbygning og Statusscenarier 2018 Notater: • Bygholms Sø som reservoir • Horsens Midtby. Følsomheds- og samtidighedsanalyse og statusscenarier 2018 • Tegningsliste. Oversigt over udarbejdede tegninger.
ATR2: Workshop hvor fase 1 rådgiver formidler årsagsanalyser og oversvømmelser til fase 2 rådgiver – arbejdet endnu ikke iværksat.
ATR 3: Planscenarier mhp. at understøtte C14 hovedrådgivers arbejde – arbejdet endnu ikke iværksat.

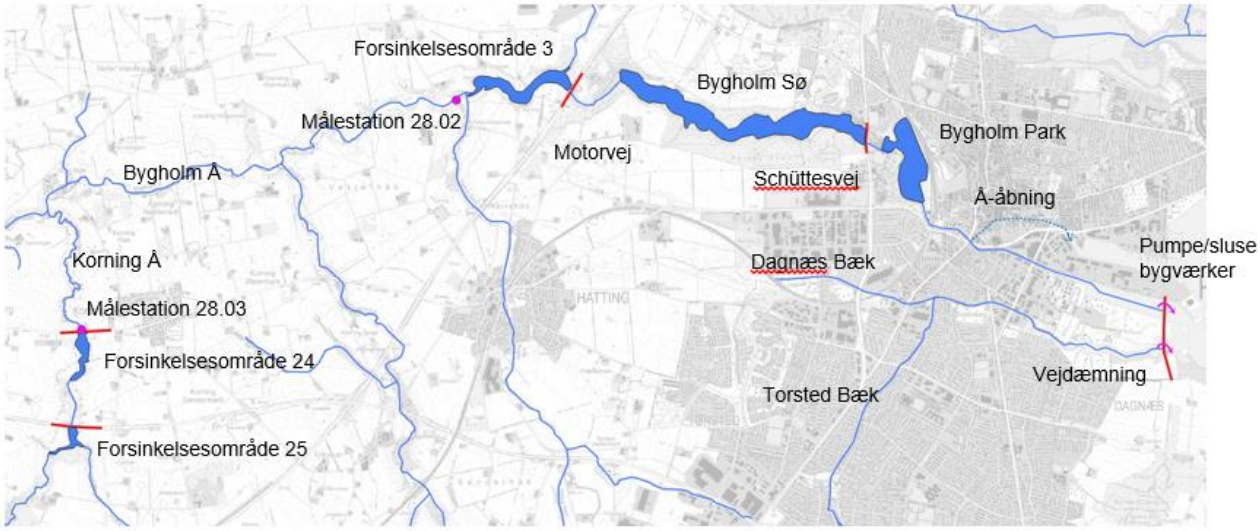
Nærværende rapport "Horsens Midtby" er nævnt under ATR1.

2. Indledning

I forbindelse med projektet ”C2C CC – C14 Sikring af Horsens By imod oversvømmelse” er mulighederne for oversvømmelsessikring af Horsens by undersøgt. Undersøgelsen omfatter både sikring mod oversvømmelserne fra vandløb, nedbør og havvand. Der er udarbejdet 2 notater, som omhandler hhv. forsinkelse af vandløbsvand ”Bygholm Sø” samt sikring af byen ved højvande og stormflod kombineret med nedbør ”Horsens midtby”.

Dette notat ”Horsens midtby” beskriver mulighederne for sikring af byen ved højvande og stormflod kombineret med nedbør.

Den centrale del af Horsens by er lavtliggende. Mod øst afgrænses byen af havnen ud mod Horsens fjord. Fra vest løber Bygholm Å og Dagnæs Bæk gennem byen mens Torsted Bæk løber til Dagnæs Bæk inde i selve byen, se Figur 1.



Figur 1 Oversigtskort, sikring af Horsens by mod oversvømmelser

En stor del af afvanding fra Horsens by foregår til Bygholm Å og Dagnæs Bæk. Derfor er vandstanden i disse vandløb betydende for funktionen af afløbssystemet og har stor påvirkning på oversvømmelsesrisikoen i dag og i fremtiden.

En fremtidig stigende vandstand i Horsens havn vil påvirke vandstanden i Bygholm Å og Dagnæs Bæk. En løsning herpå kan være en højvandssikring i havnen med den fremtidige vejdæmning for ringvej syd som dige. Diget kombineret med sluser og pumper kan sikre byen mod højvande og stormflod samtidig med, at vandstanden i vandløbene holdes nede, så byen kan afvandes. Det er med udgangspunkt heri, at det er undersøgt, hvordan byen kan sikres ved højvande og stormflod kombineret med nedbør.

3. Forudsætninger

I undersøgelsen er det forudsat, at anlæggelsen af Ringvej Syd realiseres. Det er også forudsat, at ringvejen anlægges på en vejdæmning i syd havnen med en placering som angivet på Figur 1.

I forhold til håndteringen af vand på terræn er det forudsat, at arbejdet med omlægningen af Åboulevarden med henblik på klimatilpasning og afvanding gennemføres. Det kan enten være i form af å-åbningen, som angivet på Figur 1, eller ved etableringen af en kombineret transport- og vandvej.

Efter anbefalinger fra sluse- og pumpeleverandør forudsættes det, at pumpe/sluse løsninger placeres i vejdæmningen og der er således ikke arbejdet med alternative muligheder for placeringen.

I undersøgelsen er der hovedsaligt fokuseret på den lavtliggende del af byen op til kote 4,00 m. Afstrømningen fra den højere liggende del af byen er selvfølgelig med i analyserne.

4. Konklusion og anbefalinger

I arbejdet med beskrivelsen af mulighederne for sikringen Horsens imod oversvømmelser er der taget udgangspunkt i fastlæggelsen af et fremtidigt serviceniveau for byen.

Der er opstillet 2 scenarier for det fremtidige serviceniveau:

1. Scenarie 1 svarer til de nuværende forhold.
2. Scenarie 2 svarer til, at der accepteres en forringelse af det nuværende serviceniveau med flere oversvømmelserne på terræn, men at byen samtidig indrettes til afledning af oversvømmelserne, så de ikke forårsager skader og gener for byens borger.

Af de to scenarier er det vurderet, at scenarie 2 er mest sandsynligt for fremtiden. Vurderingen er lavet ud fra en betragtning om, at det med scenarie 1 også i fremtiden vil være nødvendigt at holde vandstanden i et niveau svarende til de eksisterende forhold. Det på trods af en stigende havvandstand som følge af klimaforandringerne. I scenarie 2 vil der derimod tillades en stigning i vandstanden, som byen vil blive tilpasset til.

Ud fra en følsomhedsanalyse af oversvømmelser af veje og bygninger ved forskellige kombinationer af nedbør og vandstand er der foreslået et fremtidigt serviceniveau. Serviceniveauet er foreslået ud fra beregninger af, hvor der sker en betydelig ændring i omfanget af påvirkede veje og bygninger fra oversvømmelser. Serviceniveauet er således foreslået ud fra det niveau, hvor der ses den største effekt på oversvømmelserne i Horsens. Med det foreslåede serviceniveau vil der forekomme vand på terræn, som skal håndteres gennem byens indretning.

Effekten af pumpe/sluse løsninger er undersøgt gennem en samtidighedsanalyse af nedbør og havvandstand. Med samtidighedsanalysen er det estimeret, hvor ofte der vil forekomme kombinationer af nedbør og havvandstand, som vurderes at være kritiske for byens infrastruktur, da de ligger over det foreslåede serviceniveau.

Samtidighedsanalysen er klimafremskrevet, så den både beskriver hvor ofte de kritiske kombinationer af nedbør og vandstand vil forekomme i dag samt i år 2050 og i år 2100. Efterfølgende er samtidighedsanalysen gennemført med en forudsætning om, at der etableres pumpe/sluse løsninger, som sikrer det foreslåede serviceniveau i forhold til havvandstanden. Heraf er det beregnet, hvor ofte der vil forekomme kritiske kombinationer af nedbør og vandstand i dag samt i år 2050 og i år 2100. Effekten af

pumpe/sluse løsningerne er estimeret som forskellen i gentagelsesperioderne for kritiske hændelser med og uden pumpe/sluse løsningerne.

Ved en klimafremskrivning frem til år 2050 vil løsningen kunne reducere antallet af de kritiske hændelser, så de i stedet for at forekomme engang mellem hvert år og hvert 2. år, vil forekomme med en gentagelsesperiode på 3 år. Tilsvarende vil løsningen i år 2100 kunne reducere antallet af kritiske hændelser, så de i stedet for at forekomme 1 – 2 gange om året vil forekommer hvert 2. år.

Samtidighedsanalysen viser dermed, at pumpe/sluse løsningerne i fremtiden kan reducere antallet af kritiske hændelser men ikke kan sikre byen mod alle oversvømmelser i fremtiden. Pumpe/sluse løsningen skal altså anses som en del af en samlet klimatilpasning af byen. Pumpe/sluse løsningen sikrer kun byen mod de oversvømmelser, der skyldes vandstanden i havnen. Det gælder både i forhold til stormflodshændelser samt kritiske højvands- og nedbørshændelser.

Sikringen af byen mod oversvømmelser, som skyldes kraftig- og ekstremregn, skal ske gennem en klimatilpasning af byen i forhold til byens indretning med f.eks. skybrudsveje og udpegning af områder, hvor skybrudsvand kan tilbageholdes.

Høje vandstande og stormflodshændelser, som er forekommet uden samtidighed med nedbør fremgår ikke af samtidighedsanalysen. Ved en klimafremskrivning af de historiske vandstande til år 2050 vil vandstande svarende til niveauet for stormen Ingolf forekomme mellem hvert 2. år og 1 gang om året. Ved tilsvarende klimafremskrivning til år 2100 vil vandstande med det niveau forekomme 1 – 3 gange om året. Disse hændelser vil byen være sikret mod med pumpe/sluse løsningen, se Tabel 2.

Tabel 2 Gentagelsesperiode for påvirkning fra stormflodshændelser svarende til hændelsen ved stormen Ingolf eller større. Gentagelsesperioderne er beregnet ved klimafremskrivning af de seneste 10-års vandstandsdata med RCP-scenarierne

Gentagelsesperiode	År 2050	År 2100
Uden pumpe/sluse løsning	1 – 2 år	0,5 år
Med pumpe/sluse løsning	Ingen hændelser	Ingen hændelser

Ved vandstande og stormflodshændelser, som forekommer uden samtidighed med nedbør og store vandløbsvandføringer, kan der tillades vandstande op til kote 1,25 m. Ved en sluselukning i kote 1,00 m giver det en reaktionstid på 5 timer ved en vintermiddelvandføring før pumpen igangsættes. I Tabel 3 er de foreslåede lukke- og pumpekoter angivet

Tabel 3 Lukkekoter og pumpekoter

	Høj vandstand med nedbør eller stor afstrømning	Høj vandstand uden nedbør eller stor afstrømning
Lukkekote [m DVR90]	0,60	1,00
Pumpekote [m DVR90]	0,70	1,20

Med antagelser om en fremtidig styringsstrategi er det estimeret, om der er et pumpebehov i dag og dermed om pumperne bør etableres sammen med anlæggelsen vejdæmningen og etablering af sluserne. Ligeledes er slusernes lukketider og pumpetiderne estimeret for de nuværende klimatiske forhold samt i forhold til en klimafremskrivning til år 2050 og år 2100.

Beregningerne af pumpebehovet, pumpetiderne og lukketiderne er gennemført med en samtidighedsanalyse for vandføringen i Bygholm Å og havvandstanden samt en massebalancemodel.

Beregningerne viser, at der under de nuværende klimatiske forhold sammenlagt vil være sluse lukketider på 2 dage om året mens der vil være pumpetider på 4 - 5 timer om året. Klimafremskrevet til år 2050 vil der sammenlagt vil være lukketider 12 – 19 dage om året mens pumpen sammenlagt vil være i drift 1 – 2,5 dage om året. I år 2100 vil slusen være lukket 19 – 38 dage om året mens pumpe vil være i drift 2,5 - 5 dage om året.

Tabel 4 Resultat af beregning af lukke- og pumpetider for hhv. slusen og pumpen

	Historisk	År 2050	År 2100
Pumpetid [dage/år]	0,2	1 - 2,5	2,5 - 5
Lukketid for sluse [dage/år]	1,5	12 - 19	19 - 38

I forhold til de estimerede lukke og pumpetider skal det bemærkes, at de er summeret og der er således ikke tale om et antal sammenhængende dage eller et antal hele dage. Driften vil forekomme i kortere intervaller fordelt over året, dog primært i vinterhalvåret. Med den stigende vandstand vil intervallernes varighed forlænges. Det betyder dog ikke, at sluse vil være lukket mange dage i træk og forhindre optræk af fisk.

Beregningerne for de nuværende forhold viser, at der er et pumpebehov allerede i dag og at pumperne derfor bør etableres sammen med sluserne ved anlæggelsen af vejdæmningen. Pumperne skal sikre, at vandløbsvandføringerne og afledningen af overfladevand fra byen ikke skaber oversvømmelser bag vejdæmningerne og sluserne. For området bag Dagnæs Bæk slusen skal pumperne også sikre, at de beskyttede naturtyper ikke oversvømmes med næringsrigt vandløbs- og overfladevand fra byen.

Med udgangspunkt i beregnede vandføringer fra byen og fra vandløbene Bygholm Å og Dagnæs Bæk er det estimeret, at pumperne ved Bygholm Å slusen skal have en samlet kapacitet på 30 m^3/s. Pumperne ved Dagnæs Bæk slusen skal have en kapacitet på 15 m^3/s for at sikre, at den nødvendige vandstand ved det foreslåede serviceniveau kan opretholdes.

Ud fra oversvømmelseskortlægningen og følsomhedsanalyser er der udarbejdet forslag til, hvor vandveje til håndtering af vand på terræn ved det foreslåede serviceniveau bør placeres. Der er også udarbejdet forslag til, hvor skybrudveje og områder til magasinering af skybrudsvand kan placeres.

I forhold til medfinansieringsordningen er der lavet en vurdering af SAMN Forsynings muligheder for medfinansiering af pumpe/sluse løsningerne. Det er vurderet, at det både er muligt og attraktivt for SAMN Forsyning at medfinansiere projekterne, da traditionelle løsning for vandtilbageholdelse vurderes mindre omkostningseffektive end de alternative løsninger med pumperne og sluserne.

Konklusionen er nedenstående opsummeret på punktform:

1. Det er vurderet, at et fremtidigt serviceniveau skal udformes, så der tillades vand på terræn oftere end ved det nuværende serviceniveau. Samtidig skal byen tilpasses til at afledningen af vand på terræn kan ske uden væsentlige gener
2. På baggrund af en følsomhedsanalyse er der foreslået et fremtidigt serviceniveau, hvor beregninger har vist at effekten på oversvømmelser af veje og bygninger er størst.

3. Med det foreslåede serviceniveau vil der forekomme vand på terræn som skal håndteres gennem byens indretning i forhold vandafledning
4. Effekten af pumpe/sluse løsninger er undersøgt gennem en samtidighedsanalyse af nedbør og havvandstand. Analysen er gennemført med og uden pumpe/sluseløsningerne. Analysen viser følgende:
    a. Pumpe/sluse løsningerne kan i fremtiden kan reducere antallet af kritiske hændelser, men ikke kan sikre byen mod alle oversvømmelser
    b. Pumpe/sluse løsningen sikrer kun byen mod de oversvømmelser, der skyldes vandstanden i havnen
    c. Pumpe/sluse løsninger sikrer Horsens både i forhold til stormflodshændelser samt kritiske kombinerede højvands- og nedbørshændelser
    d. Pumpe/sluse løsningen skal altså anses som en del af en samlet klimatilpasning af Horsens
    e. Sikringen af byen mod oversvømmelser, som skyldes kraftig- og ekstremregn, skal ske gennem en klimatilpasning af byen i forhold til byens indretning med f.eks. skybrudsveje og udpegning af områder, hvor skybrudsvand kan tilbageholdes
5. Høje vandstande og stormflodshændelser, som er forekommet uden samtidighed med nedbør fremgår ikke af samtidighedsanalysen. Ved en klimafremskrivning af de historiske vandstande til år 2050 vil vandstande svarende til niveauet for stormen Ingolf forekomme mellem hvert 2. år og 1 gang om året. Ved tilsvarende klimafremskrivning til år 2100 vil vandstande med det niveau forekomme 1 – 3 gange om året. Disse hændelser vil byen være sikret mod med pumpe/sluse løsningen.
6. Med antagelser om en fremtidig styringsstrategi er sluse lukketider og pumpetider beregnet i dag og i fremtiden. Beregningerne viser at:
    a. Sluselukketiderne vil med de nuværende klimatiske forhold være sammenlagt være på 2 dage om året. Frem til år 2050 vil de forøges til 12 – 19 dage om året og i år 2100 vil de sammenlagt være på 19 – 38 dage om året
    b. Pumpetiderne vil med de nuværende klimatiske forhold være sammenlagt være på mindre end 1 dag om året. Frem til år 2050 vil de forøges til 1 – 2,5 dage om året og i år 2100 vil de sammenlagt være på 2,5 – 5 dage om året
    c. De estimerede lukke og pumpetider er summeret over året og der er således ikke tale om et antal sammenhængende dage eller et antal hele dage
    d. Driften vil forekomme i kortere intervaller fordelt over året, dog primært i vinterhalvåret
    e. Sluserne vil ikke være lukket mange dage i træk og forhindre optræk af fisk
    f. Pumperne bør etableres sammen med etableringen af sluserne i forbindelse med anlæggelsen af vejdæmningen
    g. Pumperne skal sikre, at vandløbsvandføringerne og afledningen af overfladevand fra byen ikke skaber oversvømmelser bag vejdæmningerne og sluserne samt at beskyttede naturtyper ikke oversvømmes med næringsrigt vand
7. Kapaciteten af pumperne i pumpe/sluse løsningerne er estimeret så vandstanden i det foreslåede serviceniveau kan opretholdes, hvorved:
    a. Pumpekapaciteten for pumperne ved Bygholm Å slusen skal have en kapacitet på 30 m^3/s
    b. Pumpekapaciteten for pumperne ved Dagnæs Bæk slusen skal have en kapacitet på 15 m^3/s
8. Der er udarbejdet forslag til placering af vandveje på terræn i forhold til både håndtering af oversvømmelser op til serviceniveauet og skybrudshændelser. For skybrudshændelserne er der også lavet forslag til placering af områder til magasinering af skybrudsvand

9. Det er vurderet, at det både er muligt og attraktivt for SAMN Forsyning at medfinansiere projekterne, da traditionelle løsning for vandtilbageholdelse vurderes mindre omkostningseffektive end de alternative løsninger med pumperne og sluserne

Med udgangspunkt i konklusionerne anbefales følgende:

1. Der udarbejdes et fremtidigt serviceniveau som tillader vand på terræn
2. Byen tilpasses og indrettes til håndtering af vand på terræn op til det fremtidige serviceniveau
3. Byen tilpasses og indrettes til håndtering og magasinering af vand på terræn ved skybrud
4. Ved anlæggelsen af vejdæmningen for Ringvej syd etableres både sluser og pumper for styringen af vandstanden i den indre del af Sydhavnen ved udløbet fra Bygholm Å
5. Ved anlæggelsen af vejdæmningen for Ringvej syd etableres både sluser og pumper for styringen af vandstanden i indsøen ved udløbet af Dagnæs Bæk
6. Sluserne og pumperne dimensioneres og styres så de understøtter det fremtidige serviceniveau for byen
7. Sluser og pumper etableres, så de er robuste overfor en ændret styringsstrategi med klimaforandringernes påvirkning og byens tilpasning til det fremtidige klima
8. SAMN Forsyning medfinansierer pumpe/sluse projekterne og kravene til reducering og forsinkelse af udledninger lempes eller fjernes

5. Datagrundlag

Undersøgelsen er fokuseret på mulighederne for sikring af byen ved højvande og stormflod kombineret med nedbør.

Der er anvendt både nedbørsdata, vandstandsdata i havnen og afstrømningsdata i undersøgelsen. Der er i videst muligt omfang anvendt nyeste og kvalitetssikrede data.

I forhold til nedbør er der både arbejdet med historiske nedbørsmålinger fra SVK-nedbørsmåleren på Horsens Renseanlæg og statistiske nedbørshændelser. De statistiske nedbørshændelser er estimeret efter gældende forskrifter fra Spildevandskomiteen.

Vandstandsdata fra havnen er målt med SAMN Forsynings vandstandsmåler drevet af DMI.

Afstrømningsdata for Bygholm Å er målt ved målestation 28.02 ved Kørup Bro. Målestationen ejes og drives Miljøstyrelsen Østjylland.

I undersøgelsen er der lavet oversvømmelsesberegninger i forbindelse med følsomhedsanalysen samt scenarieberegninger. Beregningerne er foretaget med udgangspunkt i SAMN Forsynings oversvømmelsesmodel. Modellen er oprindeligt opsat for oversvømmelseskortlægningen af Horsens.

For anvendelsen i dette projekt er modellen opdateret med projekter, som er gennemført efter den oprindelige modelopsætning. Herudover er modellen opdateret med planlagte projekter, som er projekteret men endnu ikke eller kun delvist er anlagt. Opdateringerne er både foretaget i forhold til MIKE Urban afløbsmodellen og i MIKE21 FM overflademodellen. En oversigt over de gennemførte opdateringer fremgår af bilaget ”Model-/beregningsforudsætninger OneNote dokument”.

I undersøgelsen er der dermed anvendt bedst tilgængelig viden og datagrundlag.

6. Oversvømmelseskortlægning

De gennemførte oversvømmelsesberegninger i forbindelse med følsomhedsanalysen og scenarieberegningerne er angivet i og med beregningsforudsætninger. Resultaterne af beregningerne fremgår af tegningsmaterialet, som der henvises til i tabellerne.

Beregningsforudsætningerne er er også beskrevet i bilaget ”Model-/beregningsforudsætninger OneNote dokument”.

Tabel 5 Oversvømmelsesberegninger gennemført i følsomhedsanalysen

Navn	Status	Hyd. red [-]	Fortætning [-]	Usikkerhed [-]	T_Nedbør [år]	Klimafaktor [-]	Vandstand [m DVR90]	Vandløbs-vandføring	Tegning
T003f100h4_H125	Status	0,8	1	1,2	0,03	1	1,25	Sommermiddel	1
T025f100h4_H000	Status	0,8	1	1,2	0,25	1	0,00	Sommermiddel	-
T025f100h4_H125	Status	0,8	1	1,2	0,25	1	1,25	Sommermiddel	2
T050f100h4_H075	Status	0,8	1	1,2	0,50	1	0,75	Sommermiddel	-
T1f100h4_H075	Status	0,8	1	1,2	1	1	0,75	Sommermiddel	-
T1f100h4_H125	Status	0,8	1	1,2	1	1	1,25	Sommermiddel	3
T2f100h4_H050	Status	0,8	1	1,2	2	1	0,50	Sommermiddel	-
T3f100h4_H000	Status	0,8	1	1,2	3	1	0,00	Sommermiddel	-
T3f100h4_H025	Status	0,8	1	1,2	3	1	0,25	Sommermiddel	-
T3f100h4_H100	Status	0,8	1	1,2	3	1	1,00	Sommermiddel	4
T4f100h4_H000	Status	0,8	1	1,2	4	1	0,00	Sommermiddel	-
T5f100h4_H000	Status	0,8	1	1,2	5	1	0,00	Sommermiddel	5
T5f100h4_H050	Status	0,8	1	1,2	5	1	0,00	Sommermiddel	6
T5f100h4_H075	Status	0,8	1	1,2	5	1	0,00	Sommermiddel	7
T5f100h4_H100	Status	0,8	1	1,2	5	1	0,00	Sommermiddel	8
T10f100h4_H000	Status	0,8	1	1,2	10	1	0,00	Sommermiddel	-
T10f100h4_H050	Status	0,8	1	1,2	10	1	0,50	Sommermiddel	-
T10f100h4_H075	Status	0,8	1	1,2	10	1	0,75	Sommermiddel	9
T20f100h4_H000	Status	0,8	1	1,2	10	1	0,00	Sommermiddel	10

*Tabel 6 Scenarieberegninger gennemført med oversvømmelsesmodellen. *Beregningen af scenarie 6 er ikke gennemført endnu*

Sce.	Navn	Status	Hyd. red [-]	Fortætning [-]	Usikkerhed [-]	T_Nedbør [år]	Klimafaktor [-]	Vandstand [m DVR90]	Vandløbs-vandføring	Tegning
1	Oversvømmelses-kortlægning T5	Plan	0,9	1,075	1,2	5	1,24	0,78	Sommer-middel	12
2	Ingolf	Status	0,8	1	1,2	Historisk	1	Historisk	Historisk	13
3.a	Følsomheds-analyse	Status	0,8	1	1,2	0,25	1	1,25	Sommer-middel	14
3.b	Følsomheds-analyse	Status	0,8	1	1,2	3	1	1,00	Sommer-middel	15
3.c	Følsomheds-analyse	Status	0,8	1	1,2	5	1	0,00	Sommer-middel	16
4.a	Sikringsniveau 1	Plan	0,9	1,075	1,2	2	1,24	Som Ingolf opjusteret til kote 1,8 m	Middel	17
4.b	Sikringsniveau 1	Plan	0,9	1,075	1,2	2	1,24	Som Ingolf opjusteret til kote 1,8 m	20 m^3/s	18
4.c	Sikringsniveau 1	Plan	0,9	1,075	1,2	5	1,24	Som Ingolf opjusteret til kote 1,8 m	Middel	19
5	Sikringsniveau 2	Plan	0,9	1,075	1,2	Ingen nedbør	-	Som Ingolf opjusteret til kote 2,6 m	Middel	20

6*	Ekstrem 2016	Status	0,8	1	1,2	ArNe	1	Historisk	Historisk	-
7	Oversvømmelses-kortlægning T100	Plan	0,9	1,075	1,2	100	1,4	0,78	Sommer-middel	21

7. Stormflodssikring

I Horsens Kommune klimatilpasningsplan er det vedtaget, at byen skal sikres mod stormflod i kote 2,60 m svarende til en 100-års hændelse i år 2100.

Det er ligeledes besluttet, at den fremtidige ringvej syd etableres på en vejdæmning i min. kote 2,60 m i Sydhavnen, se Figur 1. Herved kan en stor del af byen sikres mod højvande og stormflod med vejdæmningen som dige.

Der er ikke planer om, at vejdæmningen forlænges gennem Nordhavnen. Derfor skal sikringen af den øvrige del af byen opnås bl.a. ved at hæve vejanlæg ud mod fjorden til kote 2,60 m.

Frem til hele byen er sikret til kote 2,60 m, arbejdes der med et midlertidigt sikringsniveau i kote 1,8 m. Således er dele af Nordhavnen, tilpasset til sikringsniveau i kote 1,8 m.

For kortlægning af oversvømmelserne ved stormflodshændelser svarende de to sikringsniveauer ved byens nuværende sikringsniveau er der gennemført 4 oversvømmelsesberegninger svarende til scenarie 4.a, 4.b og 4.c samt 5, se Tabel 6 og Tegning 17 – 20. Der er også gennemført en beregning af en oplevet stormflodshændelse, Ingolf, svarende til scenarie 2, se Tabel 6 og Tegning 13.

8. Serviceniveau

Afløbssystemet i Horsens midtby består primært af separatkloaker, hvor spildevandet og overfladevandet afledes i hver sin ledning. Der er dog også områder med fælleskloaker, hvor spildevandet og overfladevandet afledes i sammen ledning.

For nye separatkloaker er serviceniveauet for vand på terræn hvert 5. år mens det for nye fælleskloaker er vand på terræn hvert 10. år.

Modelberegninger viser, at der flere steder er oversvømmelser fra kloakken oftere end hhv. hvert 5. år i de separatkloakerede områder og hvert 10. år i de fælleskloakerede områder. Det er som forventet, da det ikke er nye kloakker og dimensioneringsforudsætningerne for ledningerne har ændret sig over årene, ligesom dimensioneringspraksis også har ændret sig. Derfor er det helt som forventet, at der er manglende kapacitet i flere af de eksisterende ledninger, som har en forventet levetid på 75 år, og at serviceniveauet gældende for nye ledninger dermed ikke kan overholdes.

Med klimaforandringerne forventes øget nedbør og stigende havvandstand. Dermed vil serviceniveauet i Horsens blive udfordret yderligere i fremtiden. Den øgede vandmængde kombineret med den højere vandstand i Bygholm Å og Dagnæs Bæk vil medføre, at der i fremtiden oftere vil være oversvømmelser. Såfremt, der ikke gennemføres en sikring af byens afvanding, vil serviceniveauet løbende forringes og borgere vil oftere opleve generende og skadesforvoldende oversvømmelser.

Med den nye vejdæmning til Ringvej syd kombineret med pumpe/sluse løsninger er det muligt, at holde vandstanden i Bygholm Å og Dagnæs Bæk i et niveau, så byens afvanding i fremtiden også kan sikres. Herved kan vejdæmningen både anvendes, som højvandssikring til at beskytte byen mod stormflod samt sikring af byens afvanding i forhold til stuvningspåvirkningen fra fjorden. Vejdæmningen kan dog ikke

afhjælpe den øgede oversvømmelsesrisiko ved kraftig- og ekstremregn, som skal håndteres gennem byens indretning ved f.eks. skybrudsveje.

9. Følsomhedsanalyse

Det fremtidige serviceniveau afhænger af hvilket vandstandsniveau, der opretholdes med pumpe/sluse løsninger. Der er opsat følgende to scenarier for det fremtidige serviceniveau:

1. Scenarie 1: Afvandingen af Horsens by må ikke forringes med stigende havvandstand

2. Scenarie 2: Afvandingen må med den stigende havvandstand ikke medføre ofte forekommende gener og ødelæggelser for borgerne i Horsens men vand på terræn accepteres oftere end ved de nuværende forhold. Det er svarende til en accept af forringet afvanding af byen men kombineret med tiltag som håndtere oversvømmelserne

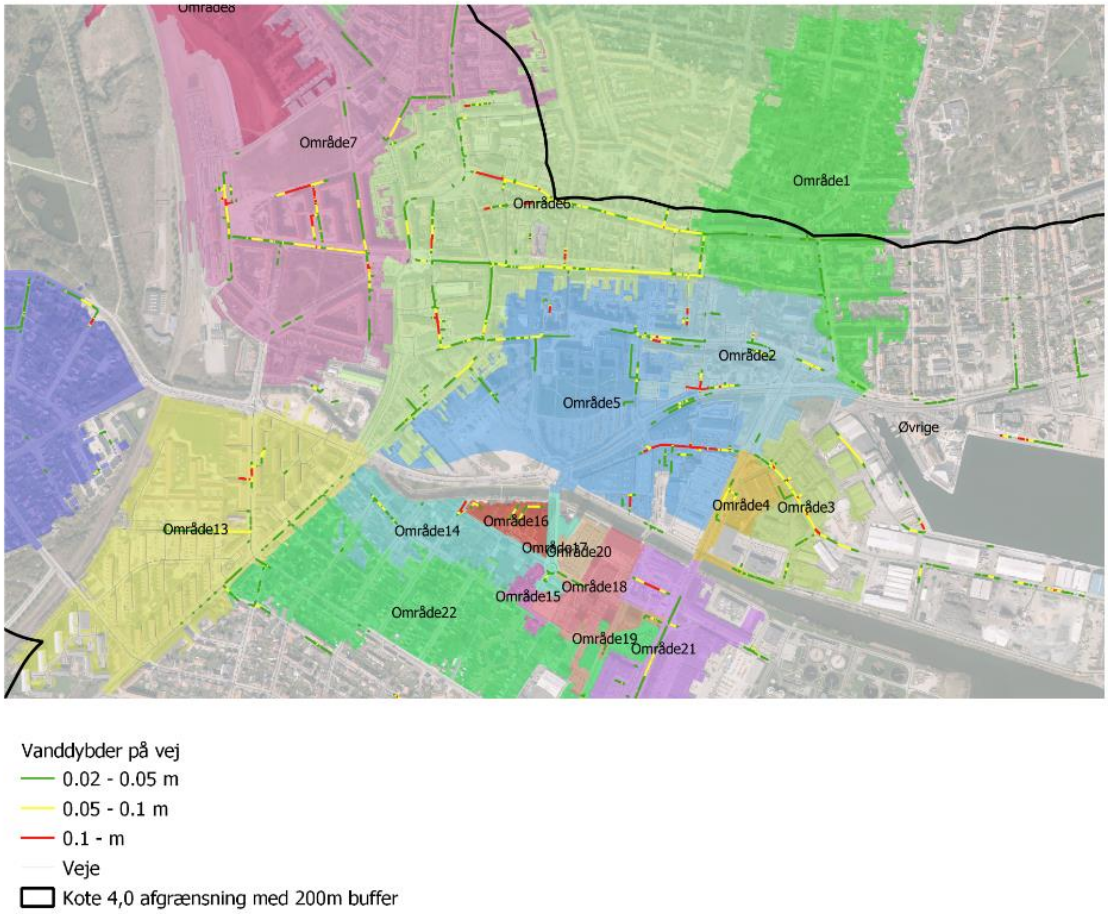
For ikke at forringe afvandingen af Horsens by, som følge af den stigende havvandstand beskrevet med Scenarie 1, er det nødvendigt, at vandstanden holdes i et niveau svarende til det eksisterende eller lidt over det eksisterende. Det vil medfører, at sluserne i fremtiden ofte vil være lukket samt at vandet både fra vandløbene og afløbssystemet ofte skal pumpes ud i havnen. Set i et drifts- og miljømæssigt perspektiv er det næppe muligt, ligesom lange lukketider vil forhindre eller reducere opgangen af fisk til vandløbene.

En accept af et lettere forringet serviceniveau kombineret med tiltag i byen som reducere oversvømmelsesgenerne, som beskrevet i scenarie 2, vil derimod tillade en større stigning i vandstandsniveauet i vandløbene. Herved vil både vandløbs- og overfladevandet ofte kunne gravitere gennem sluserne og det vil betyde, sjældnere sluselukninger og mindre drift af pumperne. Det tilgodeser også opgangen af fisk i vandløbene og vurderes som det mest sandsynlige scenarie for det fremtidige serviceniveau.

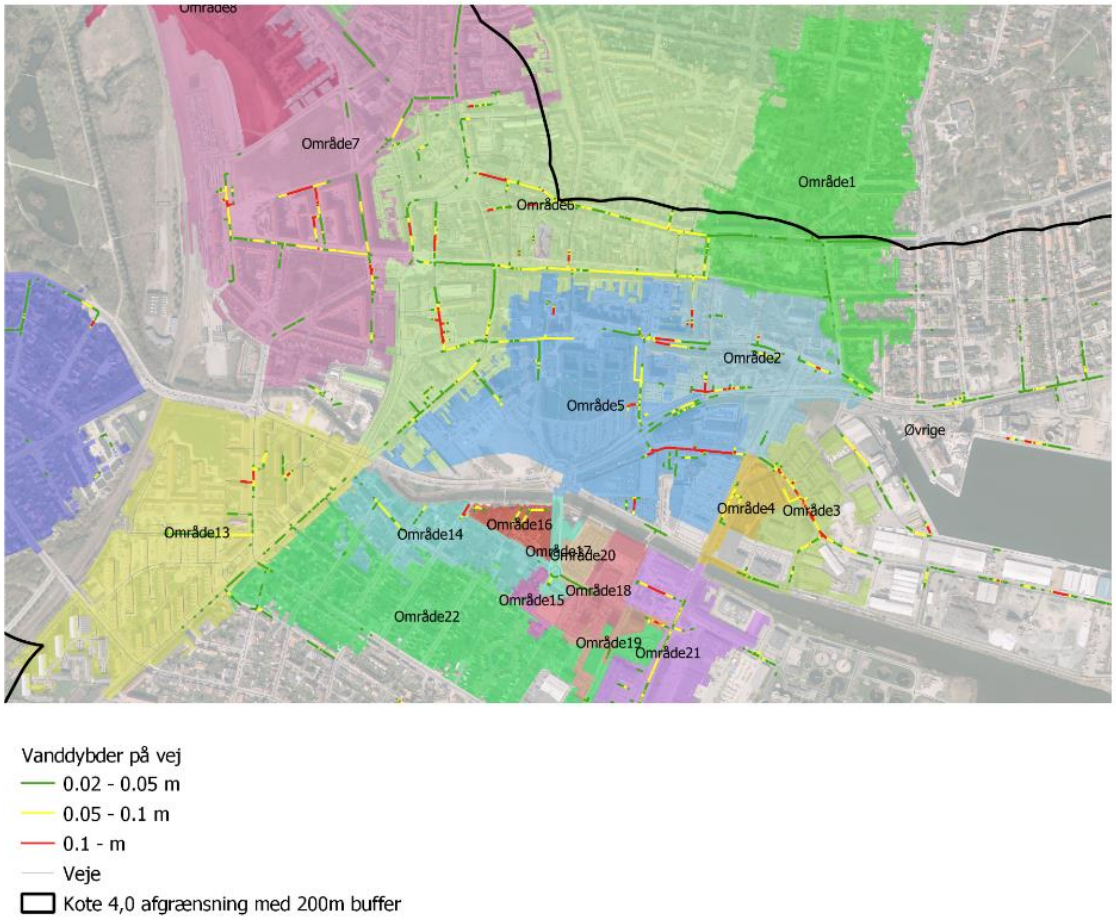
For at bestemme det fremtidige serviceniveau er der gennemført en følsomhedsanalyse, hvor konsekvenserne af en stigende havvandstand kombineret med en 5-års nedbørshændelse er vurderet i forhold til oversvømmelserne på veje og omkring bygninger.

<u>Bygholm Å</u>

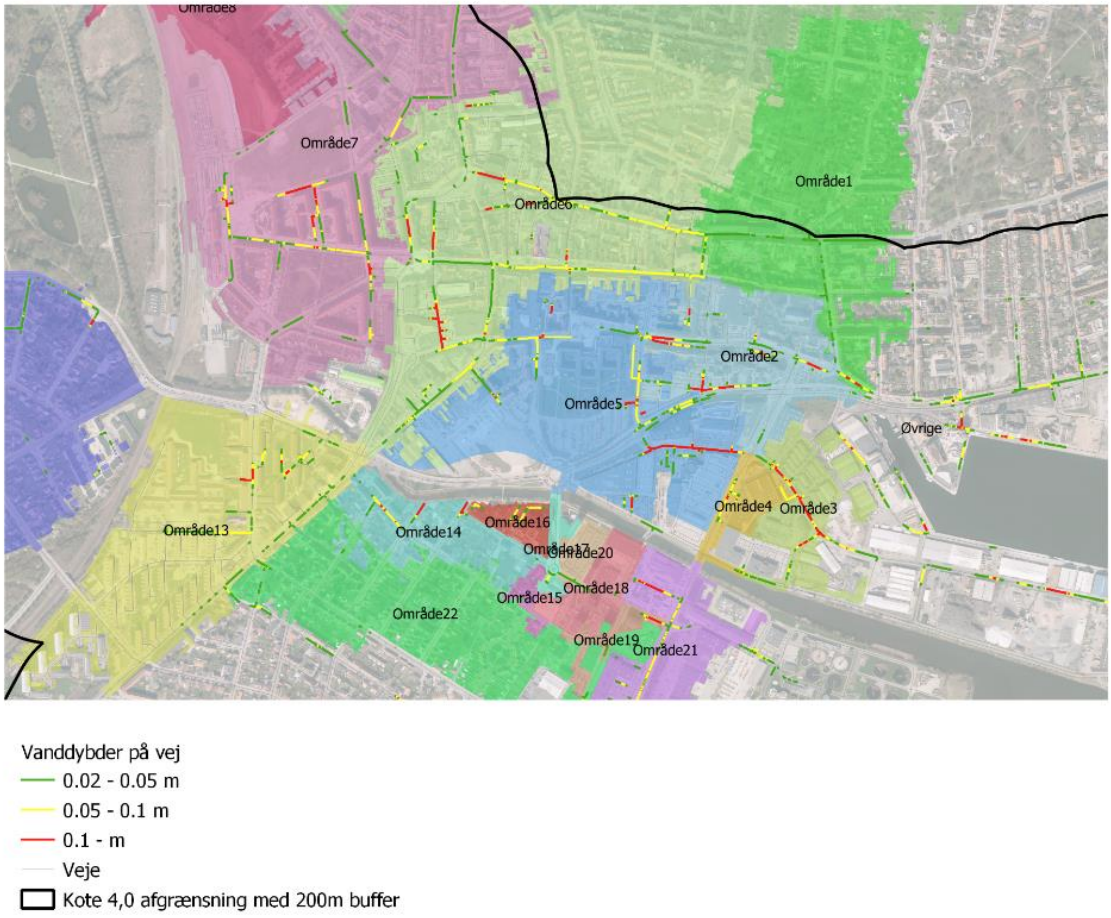
Oversvømmelserne på vejene ved forskellige havvandstande er på Figur 2 til Figur 5 kategoriseret i 3 intervaller i forhold til de maksimal beregnede vanddybder. Figurerne er nedskalerede tegninger. For et detaljeret overblik henvises til Tegning 5 - 8. På figurerne er byen opdelt i 23 områder i kloakoplandet til Bygholm Å, Nordhavnen og Sydhavnen. Områderne er defineret på baggrund af kloakoplande.



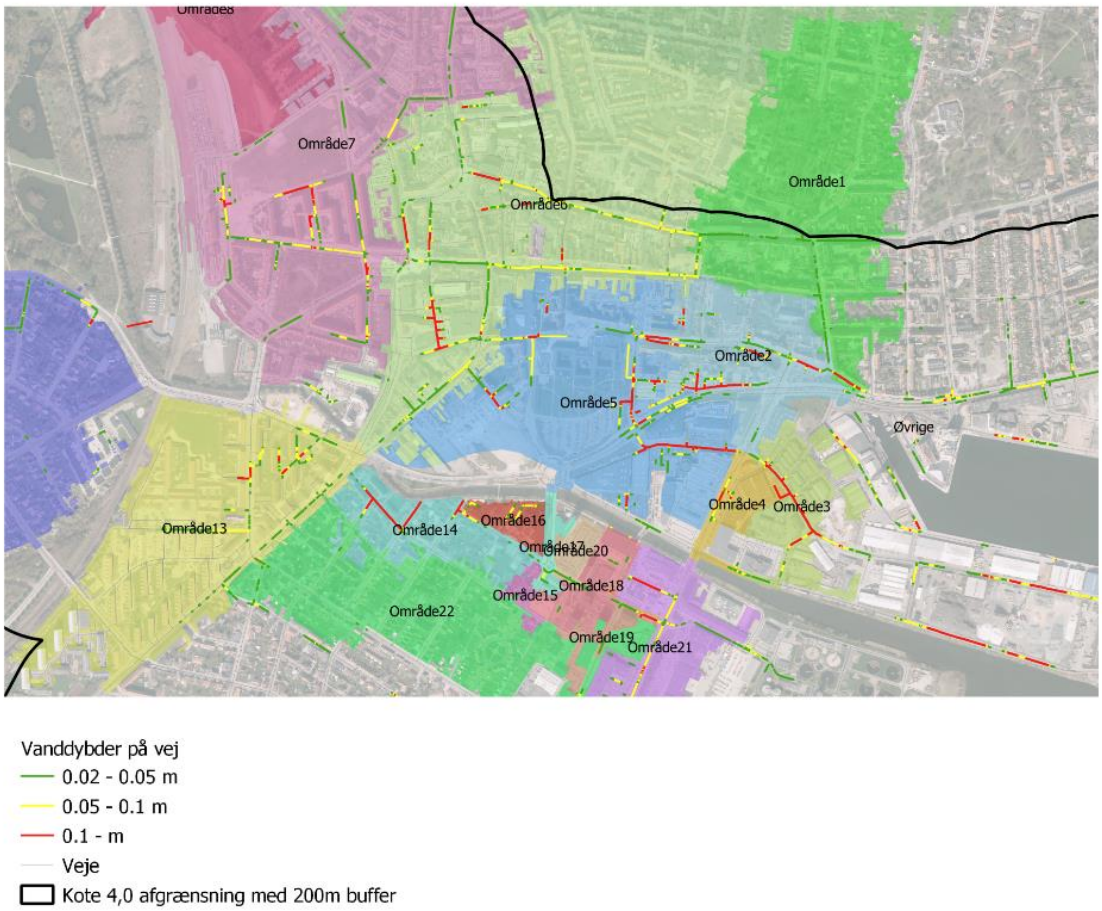
Figur 2 Maksimale beregnede oversvømmelser på veje ved en 5-års nedbørshændelse kombineret med en havvandstand i kote 0 m DVR90



Figur 3 Maksimale beregnede oversvømmelser på veje ved en 5-års nedbørshændelse kombineret med en havvandstand i kote 0,5 m DVR90

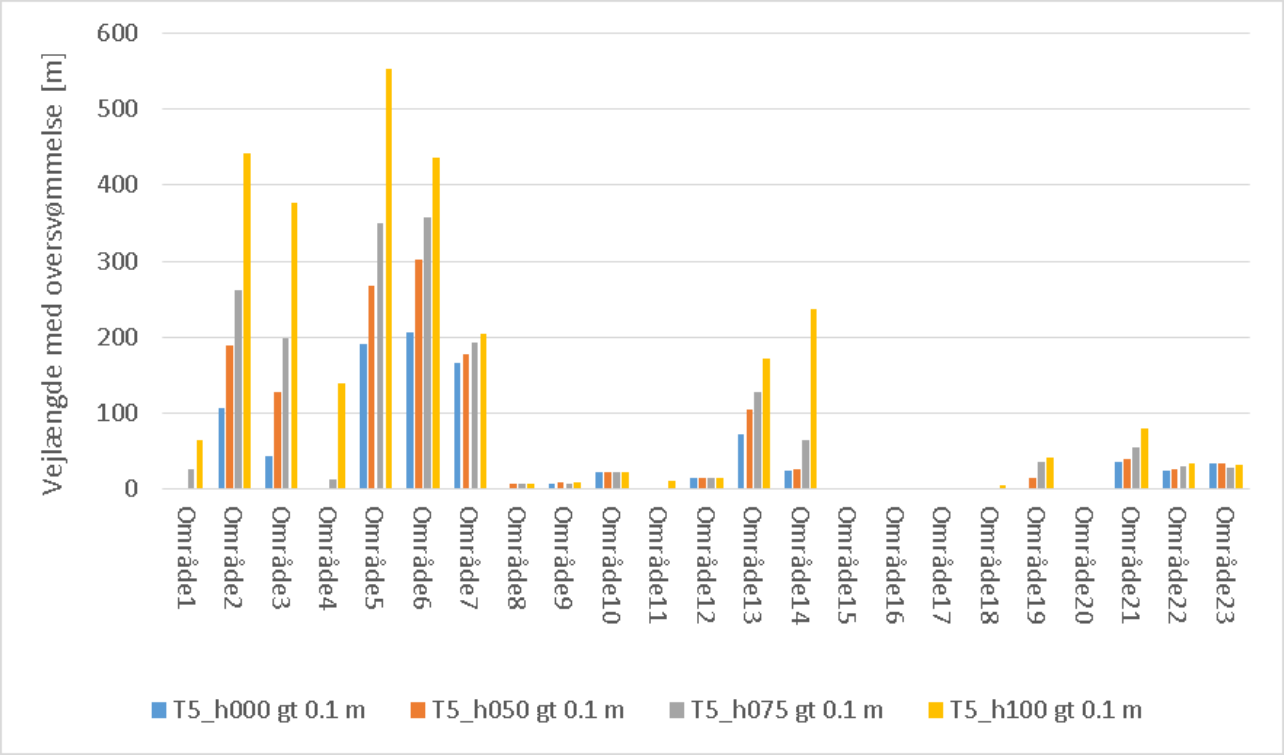


Figur 4 Maksimale beregnede oversvømmelser på veje ved en 5-års nedbørshændelse kombineret med en havvandstand i kote 0,75 m DVR90



Figur 5 Maksimale beregnede oversvømmelser på veje ved en 5-års nedbørshændelse kombineret med en havvandstand i kote 1,00 m DVR90

For vurdering af havvandsstandens påvirkning på oversvømmelsen af vejene er den samlede vejlængde med oversvømmelsesdybder større end 10 cm opgjort for hver enkelt område ved de 4 forskellige vandstande, se Figur 6. Det er valgt at lave opgørelsen i forhold til vanddybder større end 10 cm, da det vurderes, at denne dybde giver store gener i form af trafikale problemer, beredskabskørsel vanskeliggøres og bygninger kan oversvømmes op til sokkelhøjde.



Figur 6 Samlet vejlængde med oversvømmelsesdybder større end 10 cm ved nedbør med en gentagelsesperiode på 5 år. Blå søjler angiver den samlede vejlængde pr. område ved en vandstand i kote 0 m. Orange søjler angiver den samlede vejlængde pr. område ved en vandstand i kote 0,5 m. Grå søjler angiver den samlede vejlængde pr. område ved en vandstand i kote 0,75 m. Gule søjler angiver den samlede vejlængde pr. område ved en vandstand i kote 1,0 m.

Af Figur 6 ses det, at de længste samlede vejlængder med oversvømmelsesdybder større end 10 cm findes i områderne 2, 3, 5, 6, 7, 13 og 14. Det skyldes til dels, at det er de største områder med flest veje men også at områderne niveaumæssigt ligger lavt. Sammenlignes vejlængderne indenfor hvert enkelt område i forhold til vandstanden i havet ses det, at den største forholdsmæssige stigning ligger mellem vandstanden i kote 0,75 m og 1,0 m. Det gør sig gældende i områderne 2, 3, 4, 5 og 14. Det betyder, at vurderet ud fra den samlede længde af oversvømmede veje med vanddybder større end 10 cm er kloakoplandet til Bygholm Å, nordhavne og Sydhavnen mest følsomt overfor ændringen i vandstanden i dette niveau. Det er ikke overraskende, da store dele af kloakoplandet har terrænniveau i kote 1 - 2 m.

Ud fra de kortlagte oversvømmelser er det for hvert enkelt område beskrevet, hvad oversvømmelserne skyldes, se Tabel 7. Det er også vurderet, om der vil opnås en effekt ved styring af vandstanden i Sydhavnen med en pumpe/sluse løsning.

Tabel 7 Beskrivelse af årsagen til oversvømmelserne i de enkelte områder samt vurdering af, om der kan opnås en effekt på oversvømmelserne ved styring af vandstanden i Sydhavnen

Område	Beskrivelse	Effekt af styring af vandstanden i Sydhavnen
2	Oversvømmelserne i området vil ikke kunne reduceres med en styring af vandstanden i Sydhavnen, da området afvandes til nordhaven. Oversvømmelserne er primært på Åboulevarden, Parallelvejen og Emiliesplads. En åbning af Bygholm Å i Åboulevarden vil kunne reducere oversvømmelserne.	NEJ
3	Oversvømmelserne i området er primært på Grønlandsvej. Oversvømmelserne vil kunne reduceres med en styring af vandstanden i Sydhavnen.	JA
4	Oversvømmelserne i området er primært på Høgh Guldbergs Gade. Oversvømmelserne vil kunne reduceres med en styring af vandstanden i Sydhavnen.	JA
5	Oversvømmelserne i området er primært på Niels Gyldings Gade, J. Chr. Juliussens Vej, Løvenørnsgade og Sant Helenes Vej. Oversvømmelserne vil kunne reduceres med en styring af vandstanden i Sydhavnen.	JA
6	Oversvømmelserne i området er primært på Rædersgade, Gl. Jernbanegade og Levys Gade. Oversvømmelserne vil delvist kunne reduceres med en styring af vandstanden i Sydhavnen. Oversvømmelserne på Rædersgade og Levys Gade skyldes kapacitetsproblemer i kloakken. Kapacitetsproblemerne kan stamme fra manglende forsinkelse i interne private kloakledninger***)**	JA
7	Oversvømmelserne i området er primært på Andr. Steensberg Plads, Konsul Jensens Gade, Marius Holsts Gade og Kongensgade. Oversvømmelserne vil ikke kunne reduceres med en styring af vandstanden i Sydhavnen da de skyldes kapacitetsproblemer i kloakken. Kapacitetsproblemerne kan stamme fra manglende forsinkelse i interne private kloakledninger***)**.	NEJ
13	Oversvømmelserne i området er primært på Frederik Bajers Gade og Bygholm Parkvej. Oversvømmelserne på Bygholm Parkvej vil kunne reduceres med en styring af vandstanden i Sydhavnen. Oversvømmelserne på Frederik Bajers Gade skyldes kapacitetsproblemer i kloakken. Kapacitetsproblemerne kan stamme fra manglende forsinkelse i interne private kloakledninger***)**	JA
14	Oversvømmelserne i området er primært på Jyllandsgade, Falster og Christianholmsgade. Oversvømmelserne vil kunne reduceres med en styring af vandstanden i Sydhavnen. SAMN har allerede planer om etablering af en pumpestation for afvanding af området.	JA
21	Oversvømmelserne i området er primært på Holmboesgade og Høgh Guldbergs Gade. Oversvømmelserne vil kunne reduceres med en styring af vandstanden i Sydhavnen.	JA

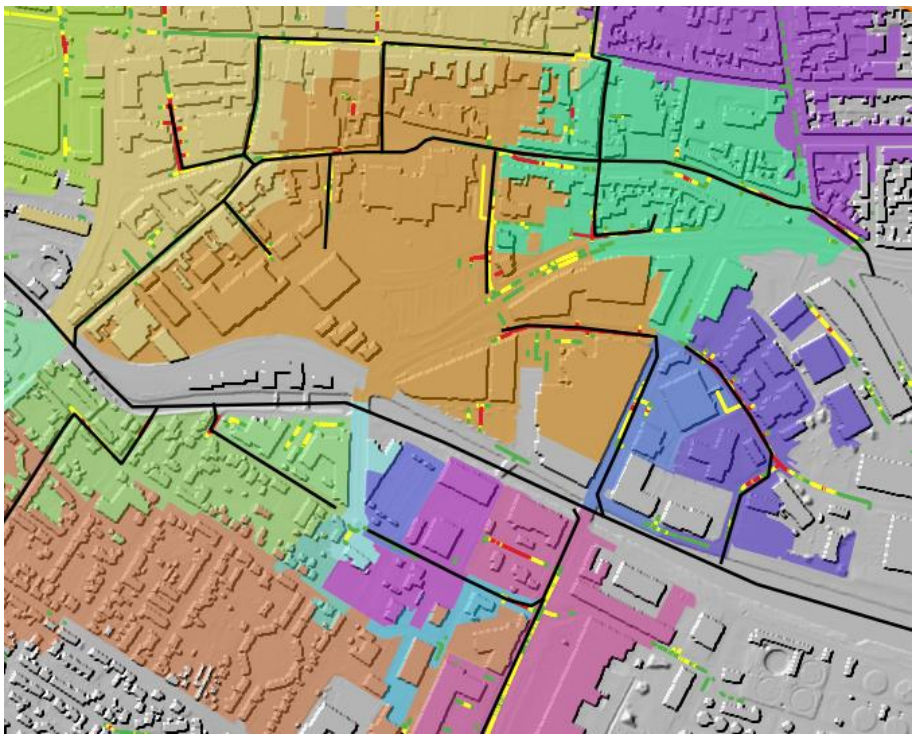
*) *Beregningsmodellen er meget detaljeret, men det er selvfølgelig langtfra alle de private ledninger, der er med. Det betyder, at det der umiddelbart ser ud til at være et kapacitetsproblem i kloakken i modellen, i et vist omfang kan stamme fra den private del af kloakanlægget.*

Som det fremgår af tabellen vurderes det, at der ikke kan opnås en reduktion af oversvømmelserne i område 2 og 7 ved styring af vandstanden i Sydhavnen. Det skyldes, at område 2 ikke afvandes til Sydhavnen men Nordhavnen og at oversvømmelserne i område 7 primært skyldes kapacitetsproblemer i kloakken, der ikke kan relateres til stuvning fra vandstanden i Sydhavnen.

Vurderet ud fra følsomhedsanalysen opnås den største effekt af en pumpe/sluse løsning ved at sikre, at vandstanden i Sydhavnen ikke overstiger kote 0,75 m ved en 5-års nedbørshændelse. Effekten vil være størst i forhold oversvømmelserne i område 3, 4, 5 og 14. Samlet set vil der for de oversvømmede veje være en reduktion på ca. 1.000 m vej ved en reduktion af vandstanden fra kote 1,0 m til 0,75 m i Sydhavnen. Det svarer til en reduktion på 40 %.

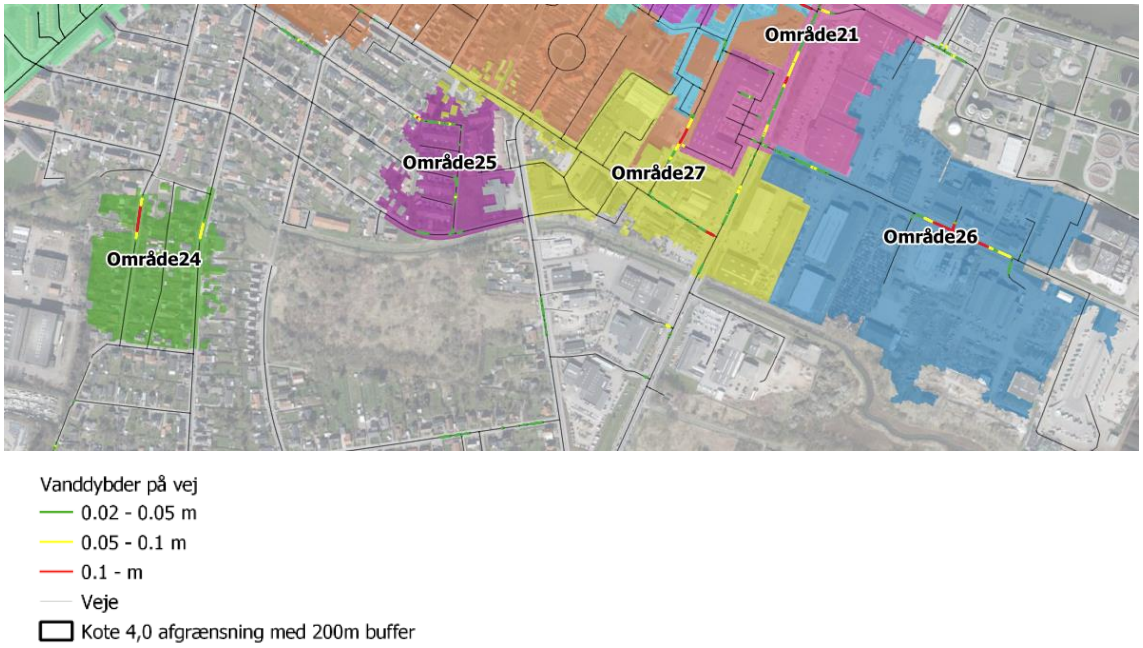
Ved en fastlæggelse af serviceniveauet svarende til en 5-års nedbørshændelse ved en vandstand i kote 0,75 m vil der forekomme oversvømmelser som angivet på Figur 4. Disse oversvømmelser skal håndteres gennem byens indretning med vandveje på terræn, så de ikke er skadesforvoldende eller giver gener for

byens borgere. Mulige vandveje til overfladeafvanding af midtbyen ved det foreslåede fremtidige serviceniveau er angivet nedenstående på Figur 7, se også Tegning 22. På figuren ses ligeledes områder og oversvømmelser af veje svarende til Figur 4.

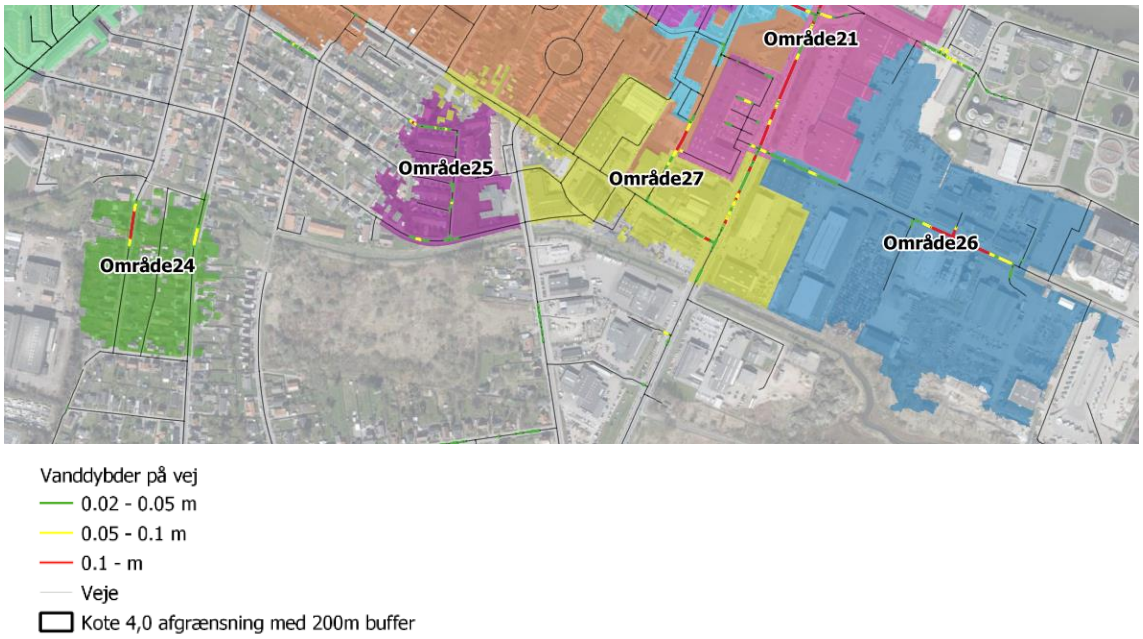


Figur 7 Mulige vandveje på terræn (sorte linjer) til overfladeafvanding af midtbyen ved det foreslåede serviceniveau

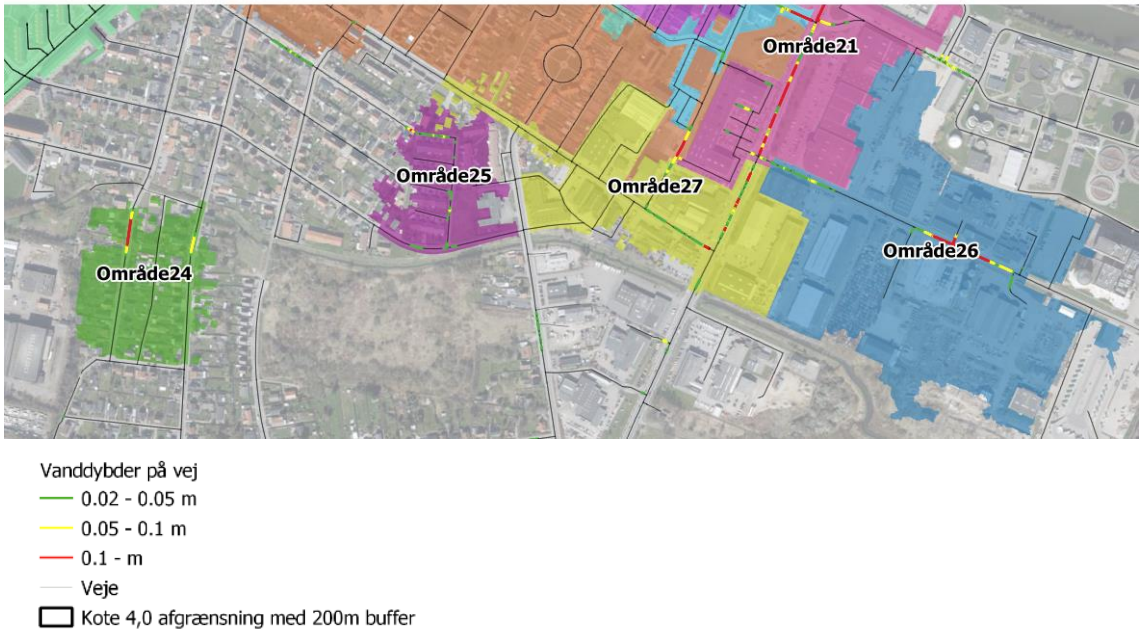
<u>Dagnæs Bæk</u>
Ligesom for oplandet til Bygholm Å er det for Dagnæs Bæk undersøgt, hvor der vil forekomme oversvømmelser på veje. Oversvømmelserne er også her kategoriseret i 3 intervaller og fremgår af Figur 8 til Figur 11. Figurerne er nedskalerede tegninger. For et detaljeret overblik henvises til Tegning 5 – 8. Oversvømmelserne på veje med en dybde på mere end 10 cm er begrænset til 4 kloakoplande. De 4 kloakoplande fremgår som område 24, 25, 26 og 27 af figurerne.



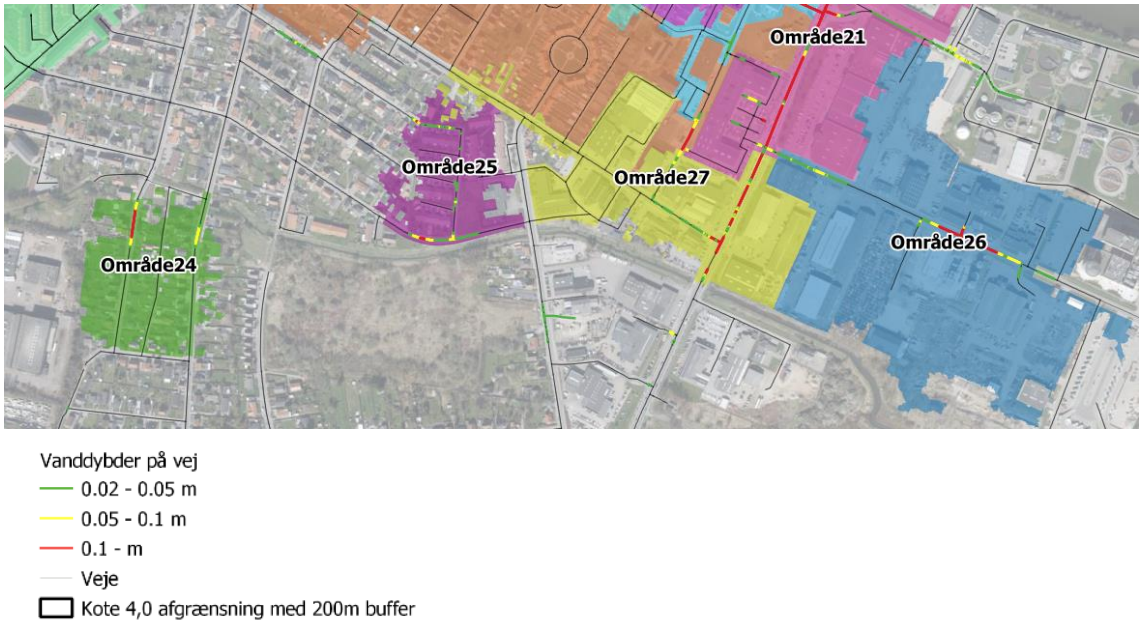
Figur 8 Maksimale beregnede oversvømmelser på veje ved en 5-års nedbørshændelse kombineret med en havvandstand i kote 0,00 m DVR90



Figur 9 Maksimale beregnede oversvømmelser på veje ved en 5-års nedbørshændelse kombineret med en havvandstand i kote 0,50 m DVR90

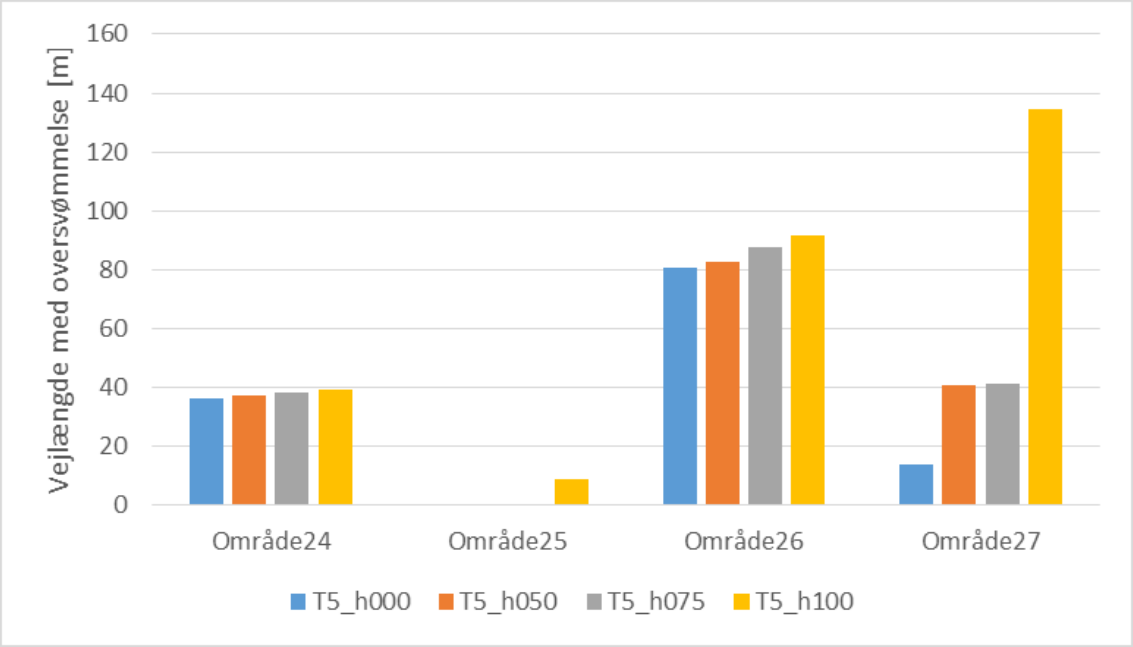


Figur 10 Maksimale beregnede oversvømmelser på veje ved en 5-års nedbørshændelse kombineret med en havvandstand i kote 0,75 m DVR90



Figur 11 Maksimale beregnede oversvømmelser på veje ved en 5-års nedbørshændelse kombineret med en havvandstand i kote 1,00 m DVR90

For vurdering af havvandsstandens påvirkning på oversvømmelsen af vejene er den samlede vejlængde med oversvømmelsesdybder større end 10 cm opgjort for hver enkelt af de 4 områder ved de 4 forskellige vandstande, se Figur 12.



Figur 12 Samlet vejlængde med oversvømmelsesdybder større end 10 cm ved nedbør med en gentagelsesperiode på 5 år. Blå søjler angiver den samlede vejlængde pr. område ved en vandstand i kote 0 m. Orange søjler angiver den samlede vejlængde pr. område ved en vandstand i kote 0,5 m. Grå søjler angiver den samlede vejlængde pr. område ved en vandstand i kote 0,75 m. Gule søjler angiver den samlede vejlængde pr. område ved en vandstand i kote 1,0 m.

Figuren viser, at der ikke ses nogen stor forskel i den samlede vejlængde mellem de 4 vandstande i område 24, 25 og 26.

For område 24 skyldes, det at området har udledning til Dagnæs Bæk i st. 3.012 m. Bundkoten på denne strækning ligger omkring kote 0,50 m. Dermed er der i Dagnæs Bæk en betydende bundhældning, som også påvirker vandspejlsgradienten. Det medfører, at den beregnede maksimale vandstand i st. 3.012 m i Dagnæs Bæk kun varierer med ca. 3 cm i følsomhedsberegningerne med en vandstand i hhv. kote 0,00 m og kote 1,00 m. Oversvømmelsesdybderne afhænger dermed af nedbøren samt kapaciteten i kloakledningerne og Dagnæs Bæk og kun i meget begrænset omfang af vandstanden i fjorden op til kote 1,00 m.

For område 25 skyldes den begrænsede påvirkning også vandspejlsgradienten i vandløbet. Område 25 udleder til st. 3.345 m i Dagnæs Bæk. I st. 3.345 m er der kun en variation på 10 cm i den maksimal vandstand ved en vandstand i hhv. kote 0,00 m og kote 1,00 m i fjorden. Oversvømmelsesdybderne afhænger dermed af nedbøren samt kapaciteten i kloakledningerne og Dagnæs Bæk og kun i meget begrænset omfang vandstanden i fjorden op til kote 1,00 m.

For område 26 skyldes den begrænsede påvirkning kapaciteten i kloakledningerne. Kapaciteten i ledningerne medfører således, at oversvømmelsesdybderne kun afhænger af nedbøren og ikke af vandstanden i fjorden.

I område 27 er der en betydelig forskel i oversvømmelsesdybderne på vejene afhængigt af vandstanden i fjorden. Figur 12 viser, at den største forholdsmæssige stigning ligger mellem vandstanden i kote 0,75 m og 1,0 m.

I Tabel 8 er årsagerne til oversvømmelserne i de 3 områder i oplandet til Dagnæs Bæk beskrevet. Herudover indeholder tabellen en vurdering af, om der kan opnås en effekt på oversvømmelserne ved styring af vandstanden i Sydhavnen op til kote 1,00 m.

Tabel 8 Beskrivelse af årsagen til oversvømmelserne i de 3 områder samt vurdering af, om der kan opnås en effekt på oversvømmelserne ved styring af vandstanden i Sydhavnen

Område	Beskrivelse	Effekt af styring af vandstanden i Sydhavnen
24	Oversvømmelserne i området er primært på Enghavevej. Oversvømmelserne skyldes kapaciteten i kloakledningerne og Dagnæs Bæk og kun i meget begrænset omfang vandstanden i fjorden op til kote 1,00 m Kapacitetsproblemerne kan stamme fra manglende forsinkelse i interne private kloakledninger***)**	NEJ
25	Oversvømmelserne i området er primært i Lollandsgade. Oversvømmelserne skyldes kapaciteten i kloakledningerne og Dagnæs Bæk og kun i meget begrænset omfang vandstanden i fjorden op til kote 1,00 m Kapacitetsproblemerne kan stamme fra manglende forsinkelse i interne private kloakledninger***)**	NEJ
26	Oversvømmelserne i området er primært på Endelavevej. Oversvømmelserne skyldes kapaciteten i kloakledningerne kun i meget begrænset omfang vandstanden i fjorden op til kote 1,00 m Kapacitetsproblemerne kan stamme fra manglende forsinkelse i interne private kloakledninger***)**	NEJ
27	Oversvømmelserne i området er primært på Høegh Guldbers Gade. Oversvømmelserne vil kunne reduceres med en styring af vandstanden	JA

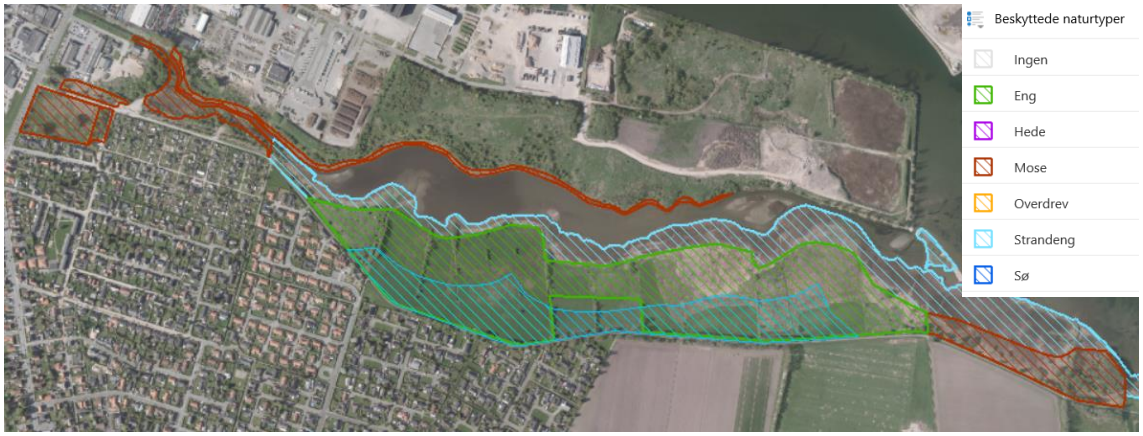
*) *Beregningsmodellen er meget detaljeret, men det er selvfølgelig langtfra alle de private ledninger, der er med. Det betyder, at det der umiddelbart ser ud til at være et kapacitetsproblem i kloakken i modellen, i et vist omfang kan stamme fra den private del af kloakanlægget.*

Vurderet ud fra følsomhedsanalysen opnås der kun en meget begrænset effekt i område 24, 25 og 26 ved en regulering af vandstande i Dagnæs Bæk med en pumpe/sluse løsning op til kote 1,00.

Følsomhedsanalysen viser også, at den største effekt i område 27 med en pumpe/sluse løsning opnås ved at sikre at vandstanden i Sydhavnen ikke overstiger kote 0,75 m ved en 5-års nedbørshændelse.

Den begrænsede samlede effekt på oversvømmelser ved en pumpe/sluse løsning til regulering af vandstande i Dagnæs Bæk op til kote 1,00 betyder ikke, at en pumpe/sluse løsning er ikke er nødvendig.

For sikring af byen mod oversvømmelser fra stormflodhændelser op til kote 2,60 m er diget og slusen i vejdæmningen fortsat nødvendig. Ligeledes vil en pumpe være nødvendig for at holde vandstanden i området indenfor vejdæmningen nede ved sluselukninger. Området indenfor vejdæmningen er fredet og indeholde beskyttede naturtyper i form strand eng og eng. Naturtypen strand eng tåler ofte forekommende oversvømmelser med saltvand, hvorimod oversvømmelser med næringsrigt vandløbsvand og overfladevand fra byen vil forringe kvaliteten af naturtypen. Det er netop næringsrigt vand, som området vil oversvømmes med ved sluselukninger og derfor er etableringen af pumpe nødvendig samtidig med etableringen af vejdæmningen og slusen. De beskyttede naturtyper i området fremgår af Figur 13.



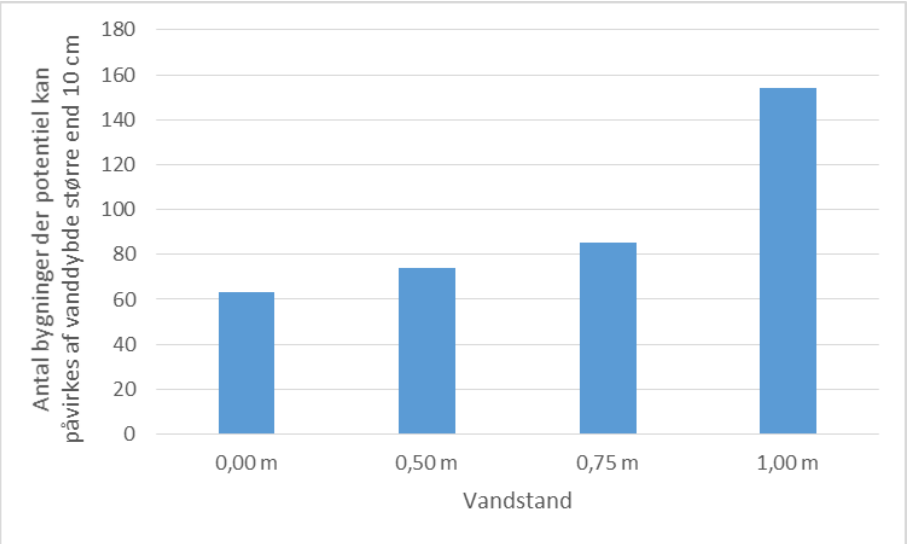
Figur 13 Beskyttede naturtyper i området omkring udløbet af Dagnæs Bæk i Horsens fjord

Som følge af den nødvendige pumpning for sikringen af den beskyttede natur samt effekten på oversvømmelserne i område 27 foreslås en fastlæggelse af serviceniveauet svarende til en 5-års nedbørshændelse ved en vandstand i kote 0,75 m. Ved dette serviceniveau vil der forekomme oversvømmelser som angivet på Figur 10. Disse oversvømmelser skal håndteres gennem byens indretning med vandveje på terræn, så de ikke er skadesforvoldende eller giver gener for byens borgere.

<u>Bygninger</u>

Det er undersøgt, hvor mange bygninger der potentielt kan påvirkes af vand på terræn. Opgørelsen omfatter det samlede opland til Bygholm Å og Dagnæs Bæk under kote 4,00 m.

Undersøgelsen er lavet ved at opgøre, hvor mange bygninger som ligger mindre 1 m fra et område med en vanddybde på mere end 10 cm. Opgørelsen er lavet ved en 5-års nedbørshændelse kombineret med vandstande i fjorden på hhv. 0,00 m, 0,50 m, 0,75 m og 1,00 m. Resultatet af undersøgelsen fremgår Figur 14.



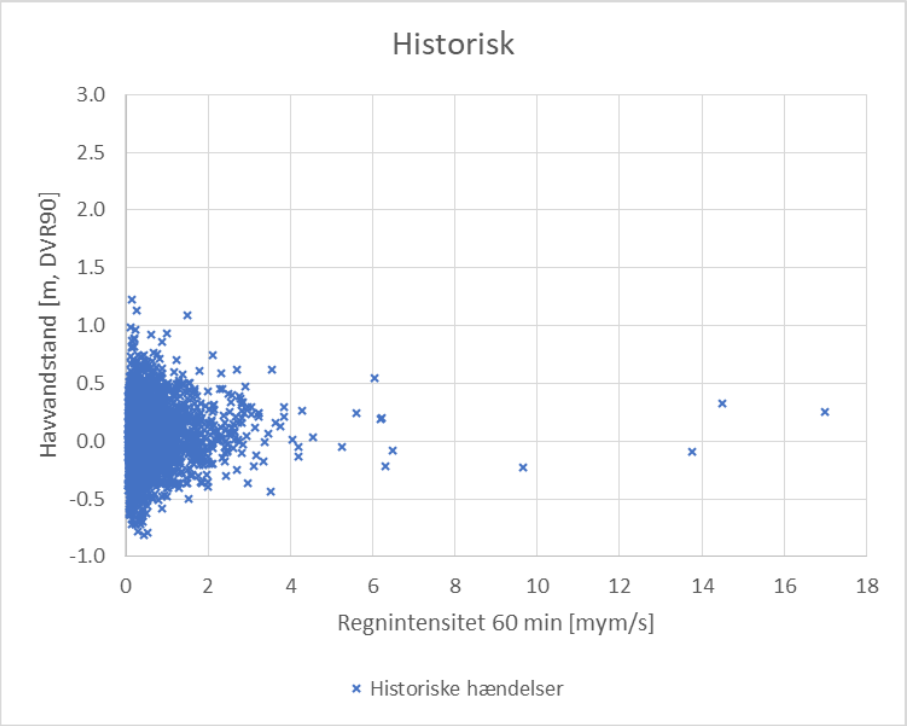
Figur 14 Antal bygninger der potentielt kan påvirkes af vanddybder større end 10 cm ved en 5-års nedbørshændelse kombineret med fjordvandstande i hhv. 0,00 m, 0,50 m 0,75 m og 1,00 m

Figuren viser, at den største effekt på antallet af bygninger, som potentielt kan påvirkes af oversvømmelser, opnås ved at sikre, at vandstanden ikke overstiger kote 0,75 m ved en 5-års nedbørshændelse. Ved at reducere vandstanden fra kote 1,00 m til 0,75 m opnås en reduktion på 50 % af bygninger, der potentielt kan påvirkes.

Følsomhedsanalysen vedrørende bygningerne understøtter således forslaget om at fastlægge det fremtidige serviceniveau svarende til en 5-års nedbørshændelse kombineret med en vandstand på 0,75 m. Med serviceniveauet vil omkring 80 bygninger dog potentielt kunne blive påvirket af oversvømmelser med dybder på større end 10 cm. Disse bygninger skal sikres ved lokale klimatilpasningstiltag.

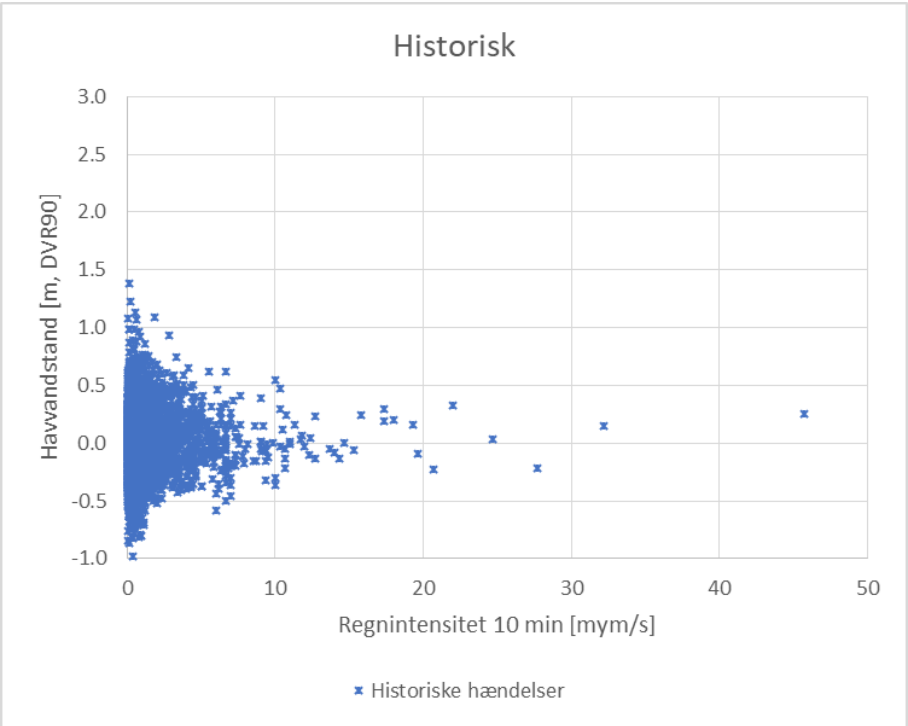
10.Samtidighedsanalyse mellem nedbør og vandstand

For at undersøge effekten af en pumpe/slusen - løsning i Sydhavnen i dag og i fremtiden er der gennemført en samtidighedsanalyse. Med samtidighedsanalysen er relationen mellem nedbør og vandstand i havnen undersøgt, se Figur 15. Samtidighedsanalyse dækker perioden fra ultimo april 1991 til medio juni 2018.



Figur 15 Samtidighedsanalyse med nedbør angivet som 60 min. intensitet og havvandstand i kote

I samtidighedsanalysen er sammenhængen mellem nedbør og vandstand angivet som et ”scatter”-plot. Nedbør er angivet med 60 minutters intensiteten på x-aksen mens vandstanden er angivet på y-aksen. Tilsvarende plot er udarbejdet med nedbøren angivet med 10 minutters intensiteten, se Figur 16.



Figur 16 Samtidighedsanalyse med nedbør angivet som 10 min. intensitet og havvandstand i kote

Både Figur 15 og Figur 16 viser, at nedbøren er normalfordelt omkring middelvandstanden. Dermed er det konkluderet, at der ikke er nogen sammenhæng mellem nedbør og havvandstand. Det er som forventet, da der ikke umiddelbart vurderes at være metrologiske hændelser, som skulle forårsage en sådan sammenhæng. Normalt er der størst risiko for skybrud i sommermånederne mens stormflod oftest forekommer om vinteren.

I det videre arbejde er samtidighedsanalysen med nedbør angivet med 60 minutters intensiteten anvendt. Det skyldes, at regn, som har en varighed på 60 min. eller mere, i langt de fleste tilfælde vil have en større nedbørsdybde end regne med en varighed på minimum 10 min. Det er således vurderet, at oversvømmelsesrisikoen er størst ved regn med store nedbørsdybde, når vandstanden er høj og kontraklapperne i kloakken er lukket. Herved fyldes kloakkerne op og giver oversvømmelser før vandtrykket åbner kontraklapperne og overfladevandet kan afledes.

11. Gentagelsesperioder og klimafremskrivning

Med det foreslåede fremtidige serviceniveau er det vurderet, at oversvømmelser svarende til en hændelse med en 5-års nedbør og vandstand i kote 1,0 m er kritisk for infrastrukturen i Horsens midtby. Det skyldes, at hændelsen overstiger det foreslåede fremtidige serviceniveau.

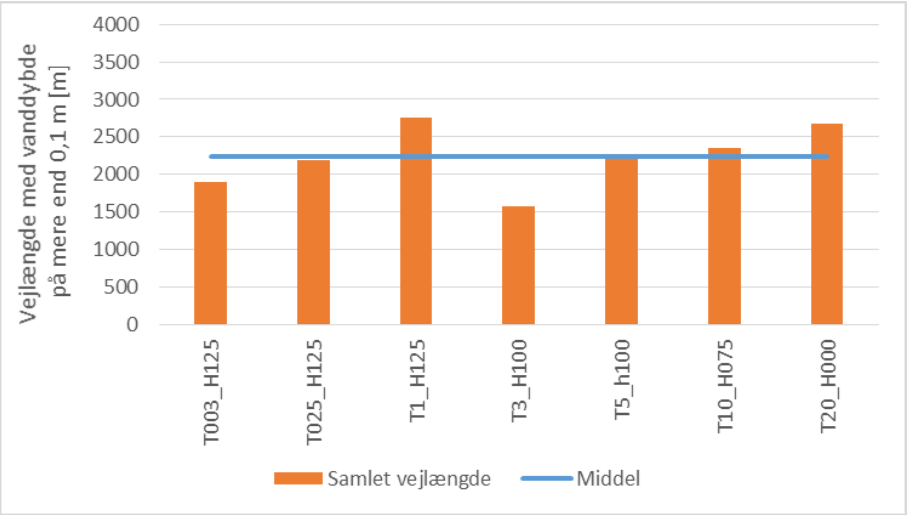
Uden en pumpe/sluse løsning vil oversvømmelser svarende til den kritiske hændelse med en 5-års nedbør og vandstand i kote 1,0 m også kunne forekomme ved mindre nedbørshændelser. Oversvømmelserne vil kunne forekomme, når vandstanden er højere end kote 1,0 m og det regner. For at undersøge hvilke kombinationer af nedbør og vandstand, der giver oversvømmelser svarende til den kritiske hændelse med en 5-års nedbør og vandstand i kote 1,0 m er følsomhedsanalysen udvidet med flere beregninger. De gennemførte beregninger med kombinerede nedbørs- og vandstandshændelser er angivet i Tabel 9, se også Tabel 6 og Tegning 1 - 10.

Tabel 9 Kombinerede nedbørs- og vandstandshændelser anvendt i følsomhedsanalysen. Grønne celler angiver at der ikke er beregnet oversvømmelser. Gule celler angiver, at der beregnet oversvømmelser som ikke er kritiske for byens infrastruktur. Røde celler angiver, at der er beregnet oversvømmelser som i deres omfang er vurderet kritiske for byens infrastruktur.

		Gentagelsesperioder for nedbør anvendt i følsomhedsanalyse [år]									
		0.03	0.25	0.5	1	2	3	4	5	10	20
Vandstand i fjorden/havnen anvendt i følsomhedsanalysen	0		x				x	x	x	x	x
	0.25						x				
	0.5					x			x	x	
	0.75			x	x				x	x	
	1						x		x		
	1.25	x	x		x						

Som fremgår af tabellen er der fastlagt en række kombinerede hændelser (røde celler), som vurderes at være kritiske, da de oversvømmelsesmæssigt svarer til den kritiske hændelse med en 5-års nedbør og en vandstand i kote 1,0 m.

For at sammenligne de kritiske hændelser er den samlede vejlængde med vanddybder større end 10 cm sammenholdt på Figur 17.



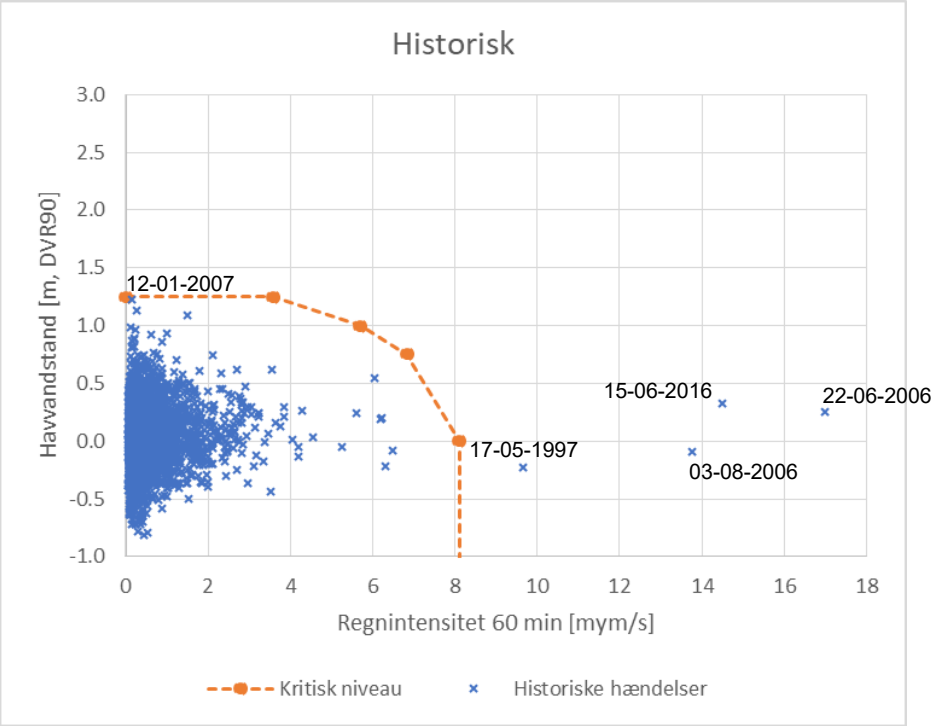
Figur 17 Samlede vejlængder med oversvømmelser større end 10 cm ved de kritiske kombinationer af nedbørs- og vandstandshændelser

Figuren viser, at der generelt er god overensstemmelse mellem de samlede vejlængder i de 7 kombinerede hændelser.

De kritiske kombinationer af hændelser er angivet sammen med samtidighedsanalyse på Figur 18. Af figuren ses det, at der historisk har været 4 hændelser, som ligger over det kritiske niveau og en enkelt som svarer til det kritiske niveau. Høje vandstande og stormflodshændelser, som er forekommet uden samtidighed med nedbør fremgår ikke af figuren.

Hændelser, som overvejende ligger til højre for kurven med det kritiske niveau, er hændelser, der giver oversvømmelser som følge af kraftig- eller ekstremregn. Hændelser, der overvejende ligger over kurven med det kritiske niveau, er hændelser, der giver oversvømmelser som følge af høj vandstand og mindre regne.

En pumpesluse/løsning vil kun afhjælpe oversvømmelser, som skyldes høj vandstand. Sikring mod oversvømmelser, som skyldes kraftig- eller ekstremregn, skal derimod gennemføres med byens indretning f.eks. med skybrudsveje. En pumpe/sluse løsning vil dermed ikke have haft en effekt på eventuelle oversvømmelser i de 4 hændelser.



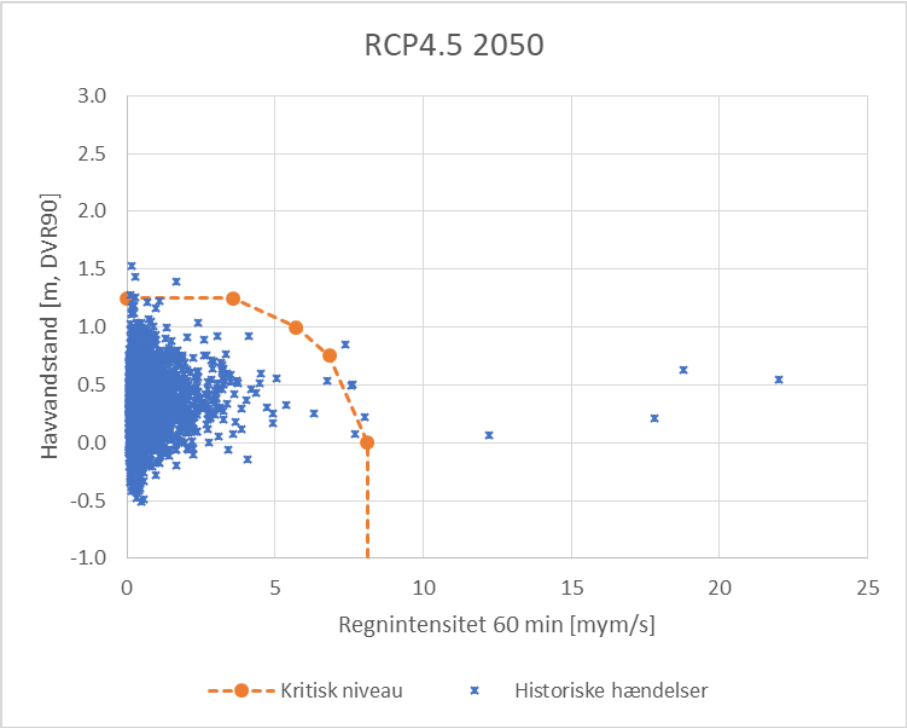
Figur 18 Samtidighedsanalyse for historiske hændelser og kritiskniveau (markeret med orange streg) af kombinerede hændelser

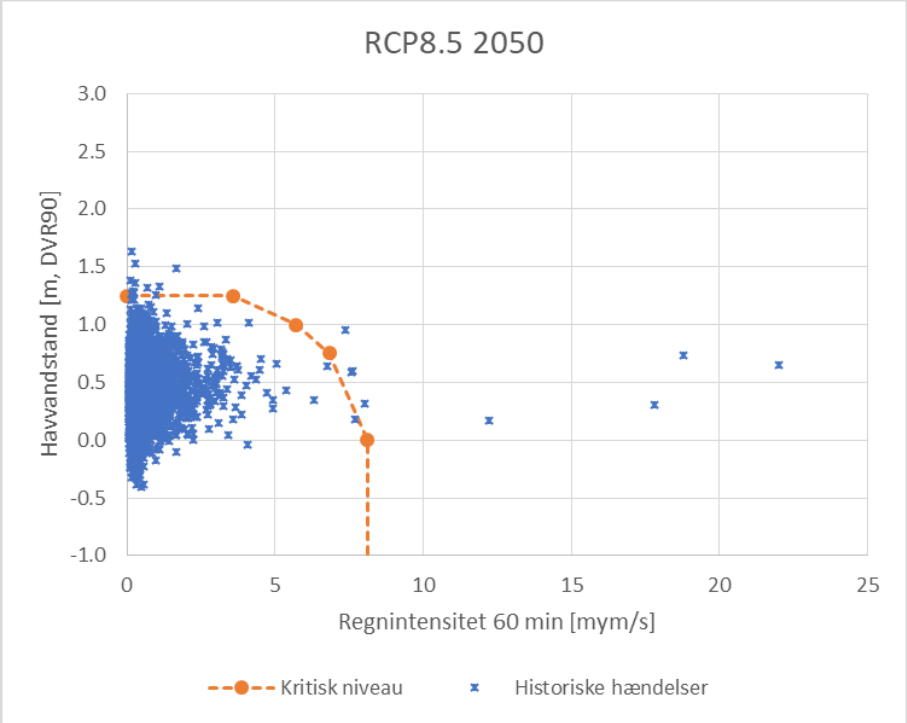
Med klimaforandringer vil både regnintensiteten og vandstanden øges. Det er indarbejdet i samtidighedsanalysen. Herved antages det, at nedbørs- og vandstandsmønstret ikke vil ændres i fremtiden men at klimaforandringerne blot vil forøge regnintensiteten og vandstanden.

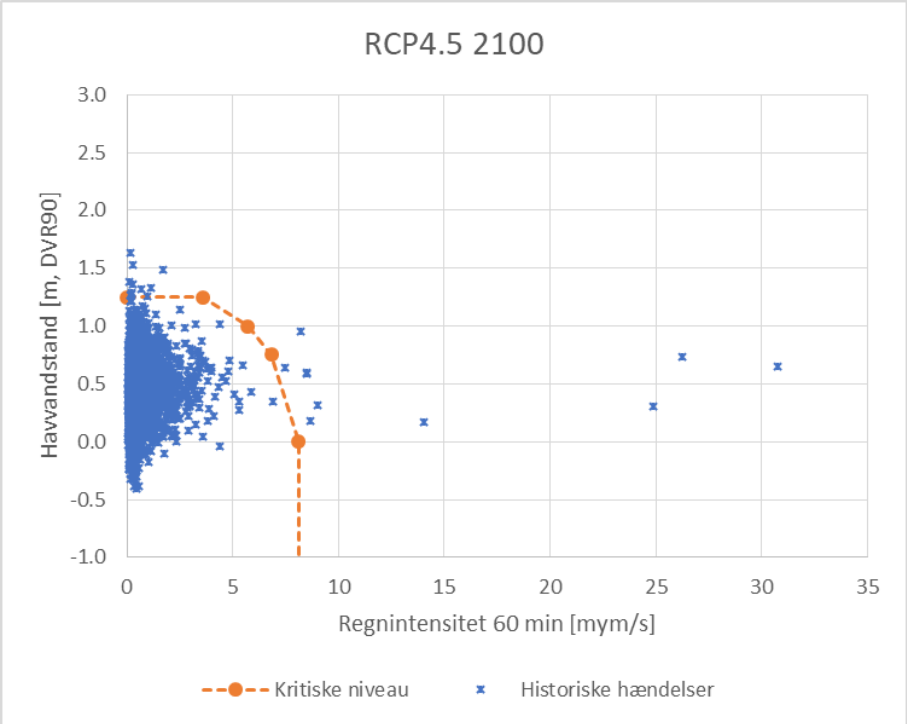
Klimaforandringerne er indarbejdet i forhold til klimascenarie RCP4.5 og RCP8.5 i hhv. år 2050 og år 2100. De klimafremskrevne samtidighedsanalyser fremgår af Figur 19 mens de anvendte klimafaktorer og forudsætningerne for klimafremskrivningen af samtidighedsanalysen fremgår af Tabel 10. Resultatet af klimafremskrivning fremgår også i tabellen ved antallet af kritiske hændelser og gentagelsesperioden for de kritiske hændelser.

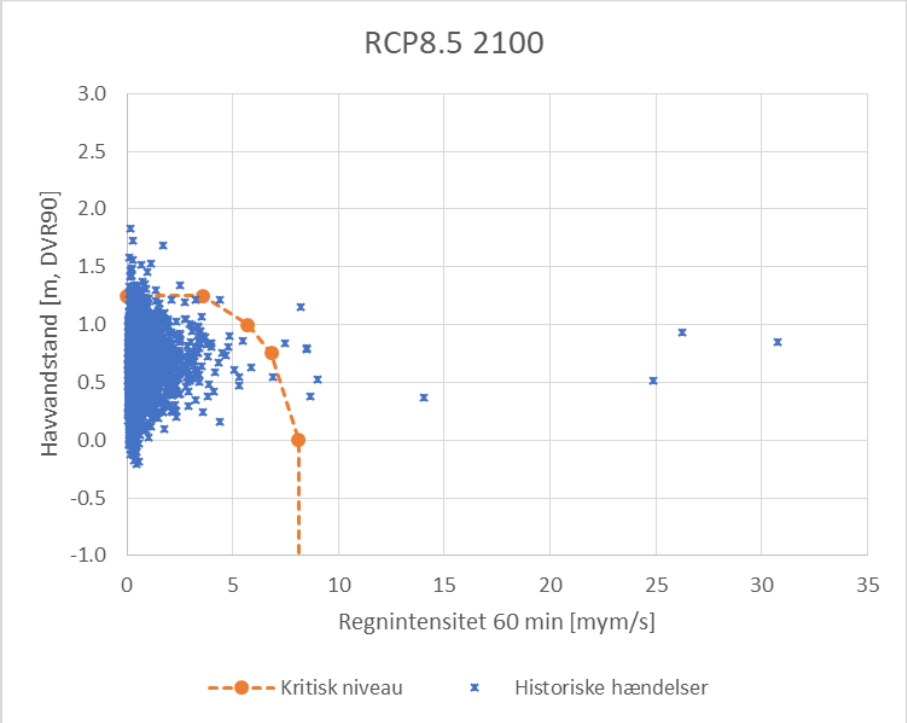
Tabel 10 Klimafaktorer og forudsætninger samt resultater af klimafremskrivningen af samtidighedsanalyse

Klimafremskrivning	RCP4.5 2050	RCP4.5 2100	RCP8.5 2050	RCP8.5 2100
Havvandstand [m DVR90]	0,3	0,4	0,4	0,6
Hyd. Red.	0,9	0,9	0,9	0,9
Modelusikkerhed	1,2	1,2	1,2	1,2
Fortætning i midtbyen	1	1	1	1
Nedbør: f(T=0 år) [-]	1	1	1	1
Nedbør: f(T=5 år) [-]	1,12	1,24	1,12	1,24
Nedbør: f(T=10 år) [-]	1,15	1,3	1,15	1,3
Nedbør: f(T=20 år) [-]	1,16	1,32	1,16	1,32
Nedbør: f(T=50 år) [-]	1,175	1,35	1,175	1,35
Nedbør: f(T=100 år) [-]	1,2	1,4	1,2	1,4
Antal kritiske hændelser [-]	13	21	19	44
Gentagelsesperiode [år]	2,1	1,3	1,4	0,6




RCP8.5 2050
Havvandstand [m, DVR90]
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
-0.5
-1.0
0
5
10
15
20
25
Regnintensitet 60 min [mym/s]
Kritisk niveau
Historiske hændelser


RCP4.5 2100
Havvandstand [m, DVR90]
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
-0.5
-1.0
0
5
10
15
20
25
30
35
Regnintensitet 60 min [mym/s]
Kritiske niveau
Historiske hændelser



Figur 19 Klimafremskrivning af samtidighedsanalyse

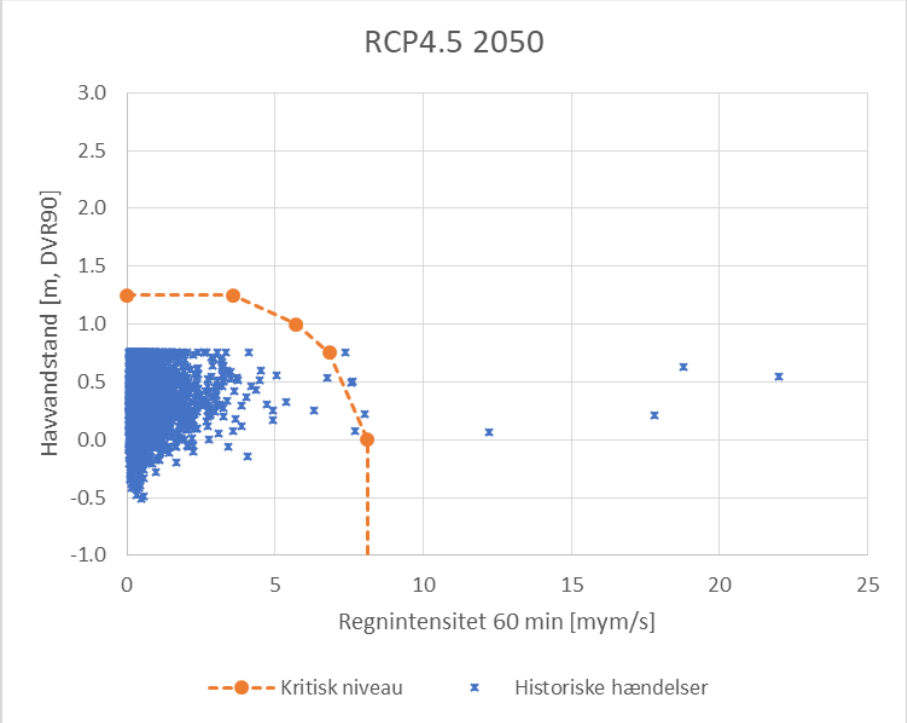
Klimafremskrivning viser, at der i forhold til RCP scenarierne vil forekomme hændelser over det kritiske niveau et sted mellem hvert år og hvert 2. år i år 2050. Tilsvarende vil der i år 2100 forekomme hændelser over det kritiske niveau 1 – 2 gange om året.

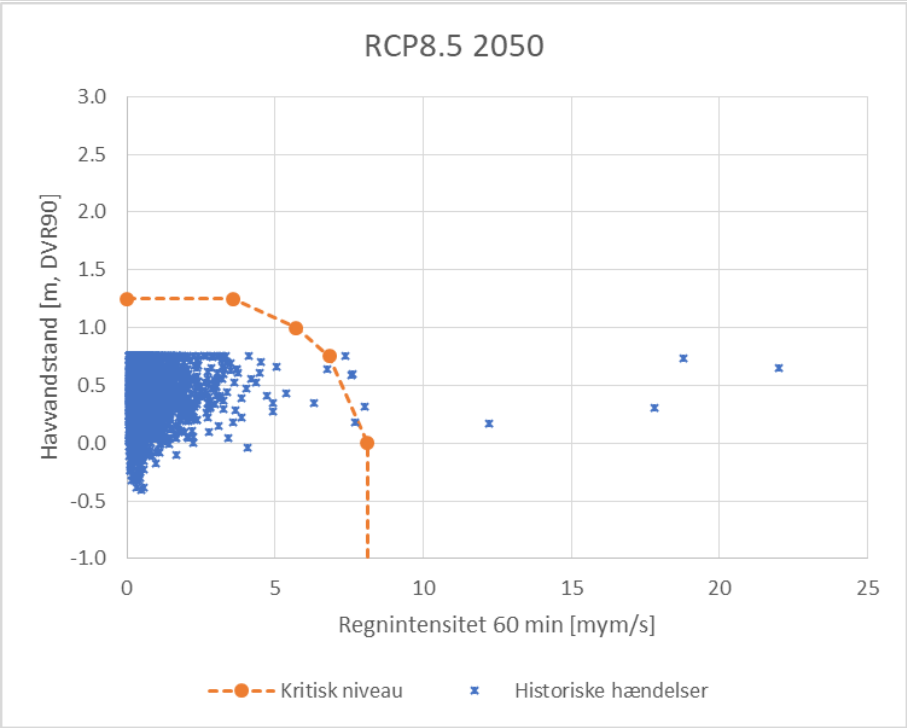
En del af de fremtidige kritiske hændelser vil kunne afhjælpes med en pumpe/sluse løsning. Med det foreslåede serviceniveau vil det sikres, at vandstanden ikke overstiger kote 0,75 m ved nedbør med en gentagelsesperiode på 5 år. Effekten af pumpe/sluse løsningen er undersøgt ved en klimafremskrivning af samtidighedsanalysen, hvor vandstanden under nedbør holdes i kote 0,75 m. De klimafremskrevne samtidighedsanalyser fremgår af Figur 20 mens de anvendte klimafaktorer og forudsætningerne for klimafremskrivningen af samtidighedsanalysen med pumpe/sluse løsningen fremgår af Tabel 11. Resultatet af klimafremskrivning fremgår også i tabellen ved antallet af kritiske hændelser og gentagelsesperioden for de kritiske hændelser.

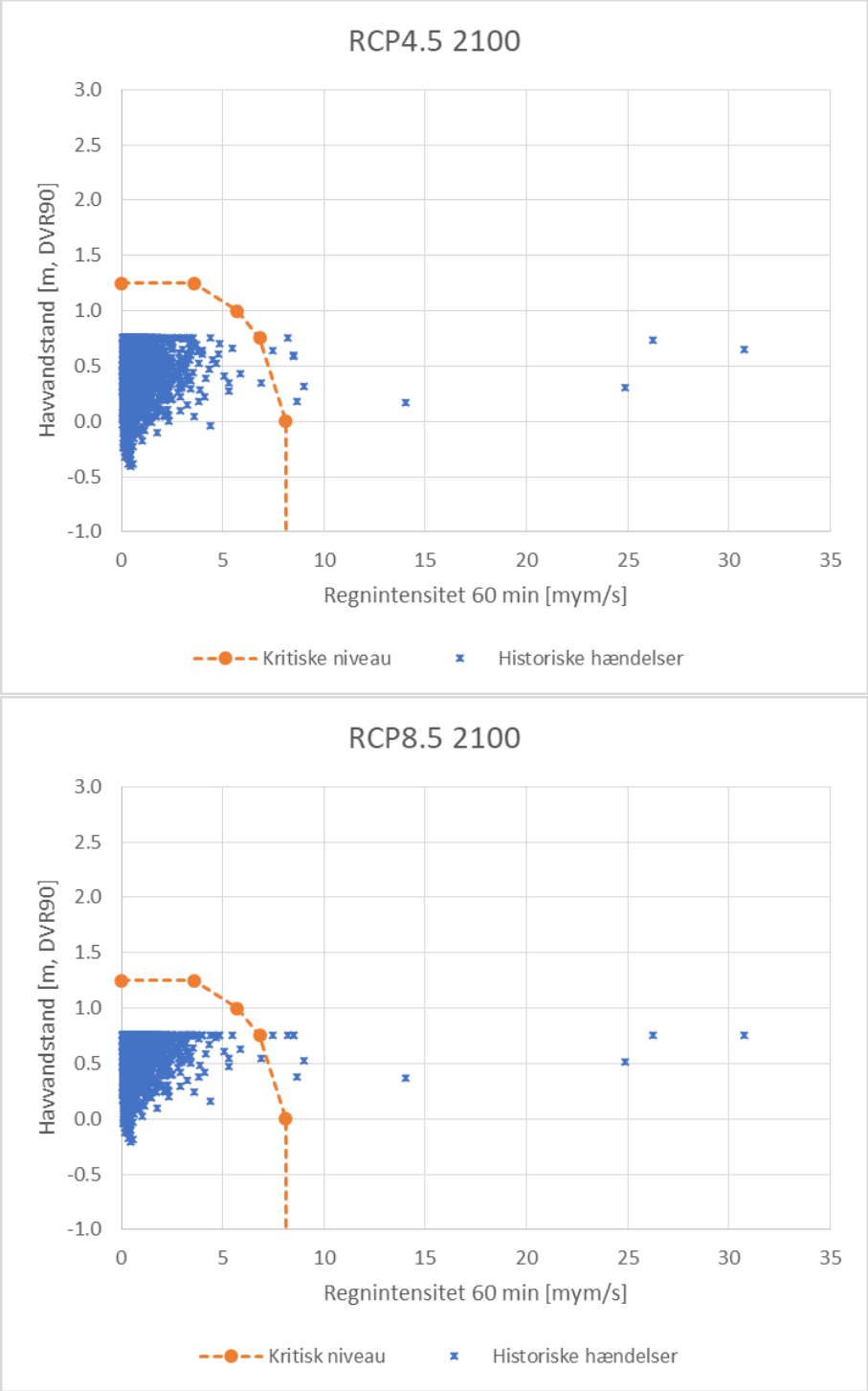
Tabel 11 Klimafaktorer og forudsætninger samt resultater af klimafremskrivningen af samtidighedsanalyse med pumpe/sluse løsningen

Klimafremskrivning	RCP4.5 2050	RCP4.5 2100	RCP8.5 2050	RCP8.5 2100
Pumpeniveau [m DVR90]	0,75	0,75	0,75	0,75
Havvandstand [m DVR90]	0,3	0,4	0,4	0,6
Hyd. Red.	0,9	0,9	0,9	0,9
Modelusikkerhed	1,2	1,2	1,2	1,2
Fortætning i midtbyen	1	1	1	1
Nedbør: f(T=0 år) [-]	1	1	1	1
Nedbør: f(T=5 år) [-]	1,12	1,24	1,12	1,24
Nedbør: f(T=10 år) [-]	1,15	1,3	1,15	1,3

Nedbør: f(T=20 år) [-]	1,16	1,32	1,16	1,32
Nedbør: f(T=50 år) [-]	1,175	1,35	1,175	1,35
Nedbør: f(T=100 år) [-]	1,2	1,4	1,2	1,4
Antal kritiske hændelser [-]	8	10	8	10
Gentagelsesperiode [år]	3,4	2,7	3,4	2,7







Figur 20 Klimafremskrivning af samtidighedsanalyse med pumpe/sluse løsningen

Resultaterne af klimafremskrivning med og uden pumpe/sluse løsningen er sammenholdt i Figur 12.

Tabel 12 Resultater af klimafremskrivningen af samtidighedsanalyse med og uden pumpe/sluse løsningen

Gentagelsesperiode [år]	RCP4.5 2050	RCP4.5 2100	RCP8.5 2050	RCP8.5 2100
Uden styring af vandstanden i havnen	2,1	1,3	1,4	0,6
Med styring af vandstanden i havnen	3,4	2,7	3,4	2,7

Sammenligningen af resultaterne, viser at med pumpe/sluse løsningen kan de kritiske hændelser i 2050, som ellers vil forekomme et sted mellem hvert år og hvert 2. år, reduceres til en 3-års hændelse. I 2100 vil de kritiske hændelser, som ellers vil forekomme 1 – 2 gange om året, reduceres til 2-års hændelser.

Pumpe/sluse løsningen sikrer dermed ikke byen mod alle oversvømmelser i fremtiden men er en del af en samlet klimatilpasning af byen. Pumpe/sluse løsningen sikrer kun byen mod de oversvømmelser, der skyldes vandstanden i havnen. Det gælder både i forhold til stormflodshændelser samt kritiske højvands- og nedbørshændelser.

Sikringen af byen mod oversvømmelser, som skyldes kraftig- og ekstremregn, skal ske gennem en klimatilpasning af byen i forhold til byens indretning med f.eks. skybrudsveje og udpegning af områder, hvor skybrudsvand kan tilbageholdes.

Høje vandstande og stormflodshændelser, som er forekommet uden samtidighed med nedbør fremgår ikke af analysen. I perioden fra medio juni 2008 – til medio juni 2018 var der 2 dage med maksimale vandstande højere end kote 1,40 m. Det var henholdsvis stormen Bodil i december 2013 og stormen Ingolf i oktober 2017. En pumpe/sluse løsning ville også have sikret Horsens by mod disse hændelser.

Ved en klimafremskrivning af de historiske vandstande til år 2050 vil vandstande svarende til niveauet for stormen Ingolf forekomme mellem hvert 2. år og 1 gang om året. Ved tilsvarende klimafremskrivning til år 2100 vil vandstande med det niveau forekomme 1 – 3 gange om året. Disse hændelser vil byen være sikret mod med pumpe/sluse løsningen.

12.Placering og bestykning af pumpe/sluse løsninger

Placeringen af en sluseløsning i vejdæmningen for ringvej syd ved Bygholm Å er forelagt en pumpe- og sluseleverandør for kommentering. Leverandøren anbefaler, at en pumpe/sluse løsning placeres i vejdæmningen fremfor ved udløbet af Bygholm Å i Sydhavnen. Det skyldes følgende forhold:

- Med pumpe/sluseløsningen i vejdæmningen skabes der et større magasinvolumen i den indre del af Sydhavnen end ved etableringen i åens udløb
- Magasinvolumen giver en buffer, så reaktionstiden øges under hændelserne
- Magasinvolumen dæmper hastighederne, så vandet holdes i ro
- Lavere hastigheder nedsætter risikoen for transport af fremmedlegemer i åen, som kan forårsage driftsforstyrrelser

Herudover anbefaler leverandøren, at slusen ved Bygholm Å etableres i form af 3 separate 10 m moduler med kipbar lukning.

For en pumpe/sluse løsning i Dagnæs Bæk anbefaler leverandøren, at den placeres i vejdæmningen i form af et separat 10 m moduler med kipbar lukning.

Anbefalingen af sluser med kipbar lukning skyldes den store højde sluserne skal have for både at sikre den naturlige vandstand i hverdagen og højvandssikringen ved stormflod. Det påregnes således, at sluserne monteres med bundkote omkring kote -0,40 m og at de kan sikre mod stormflod op til kote 2,60 m.

Generelt anbefaler leverandøren, at der anvendes Archimedes skruer kombineret med mindre propelpumper og ikke dykpumper.

Leverandørens anbefalinger er fulgt i det følgende arbejde og der er ikke arbejdet med alternative placeringer af pumpe/sluse løsningerne.

13. Drift og dimensionering

Bygholm Å slusen

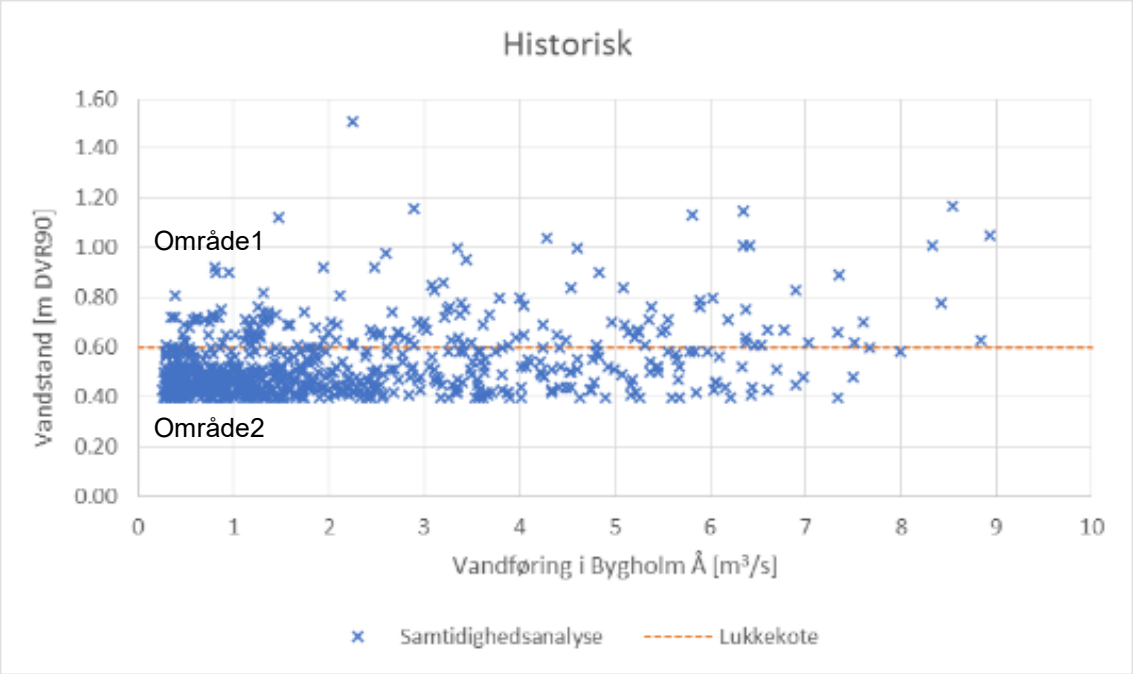
I perioder, hvor slusen er lukket, kan det være nødvendigt at holde vandstand inden for vejdæmning nede ved pumpning. Ellers er der risiko for, at vandføringen i Bygholm Å og afvandingen af byen fylder volumen inden for vejdæmningen op og giver oversvømmelser.

Slusens lukkekote og valget af driften af pumpe/sluse løsningen har betydning for den nødvendige kapacitet af pumpen og pumpetiden.

I forhold til det foreslåede serviceniveau skal det være muligt, at holde vandstanden i kote 0,75 m ved en 5-års nedbørshændelse. Det betyder, at slusens lukkekote med fordel kan fastsættes i kote 0,60 m for at skabe et buffervolumen i havnebassinet bag vejdæmningen. Buffervolumen fra kote 0,60 m til kote 0,75 m vil således være på 30.000 m^3.

Vintermiddelvandføringen i Bygholm Å ved udløbet i Sydhavnen er på 2,8 m^3/s. Fyldningstiden for havnebassinet fra kote 0,60 m til 0,75 m er dermed på ca. 3 timer. Dette er beregnet uden bidrag fra byen. Ved en højvandshændelse over kote 0,60 m med en varighed på mere end 3 timer samtidig med en vintermiddelvandføring i Bygholm Å vil der være behov for pumpning.

For at vurdere, hvor ofte der vil være behov for at pumpe, er der lavet en samtidighedsanalyse for sammenhængen mellem vandføringen i Bygholm Å og vandstanden i havnen. I samtidighedsanalysen er højvandshændelser med en minimum middelvandstand på 0,40 m udvalgt. For disse hændelser er maksimum vandstanden i løbet af hændelsen sammenholdt med middelvandføring i Bygholm Å i løbet af hændelsen. Sammenhængen mellem maksimum vandstanden og middelvandføringen er angivet som ”scatter”-plot på Figur 21. Samtidighedsanalysen dækker perioden fra medio juni 2008 til ultimo december 2016.



Figur 21 Samtidighedsanalyse for sammenhæng mellem vandføring maksimal vandstand i højvandshændelser med middelvandstand større end kote 0,4 m. Område 1 angiver hændelser, hvor der kan være behov for pumpedrift afhængigt af hændelsens varighed med vandstande over kote 0,6 m og vandføringen i Bygholm Å. Område 2 angiver hændelser, hvor der ikke er behov for pumpedrift på grund af vandstanden

Samtidighedsanalysen indeholder i alt 718 hændelser. Af disse ligger 169 svarende til 24 % i område 1. Område 1 angiver hændelser, hvor der kan være behov for pumpedrift afhængigt af hændelsernes varighed med vandstande over kote 0,60 m og vandføringen i Bygholm Å. De resterende hændelser ligger i område 2, hvor pumpedrift ikke er nødvendig på grund af vandstanden.

Med en automatisk slusedrift med lukkekote i 0,60 m vil der på de 8,5 år, som samtidighedsanalysen dækker, have været sandsynlighed for anvendelse af pumpen ca. 20 gange om året.

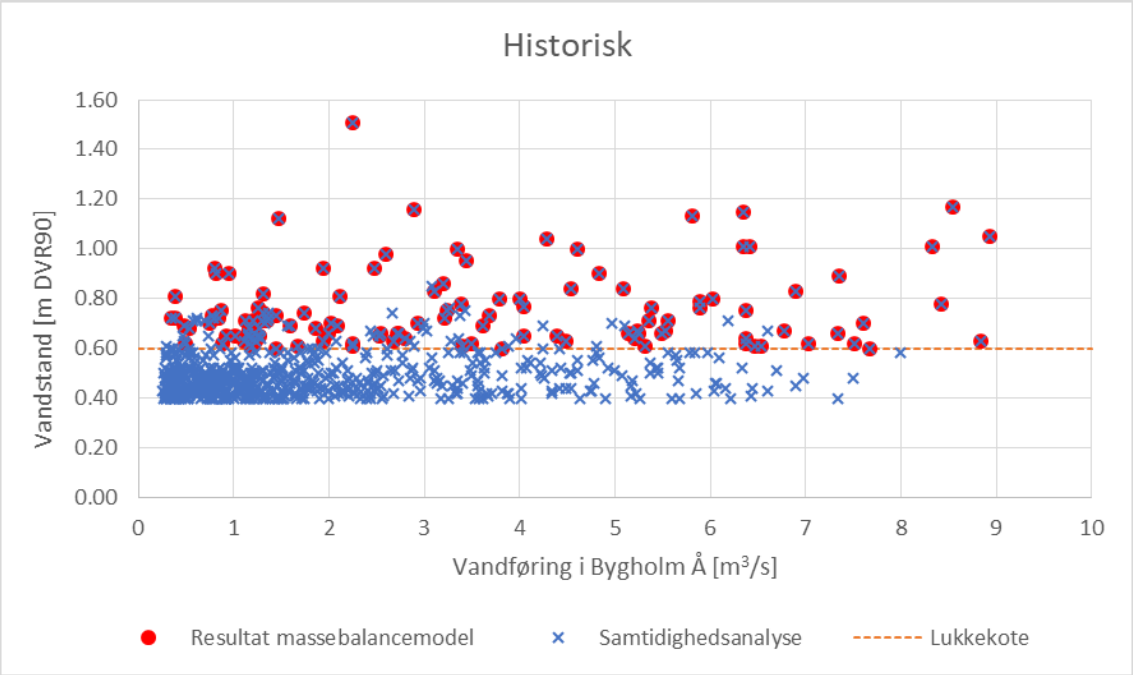
Varigheden af højvandshændelserne har stor betydning for, om havnebassinet når at blive fyldt op. I samtidighedsanalysen er der kun anvendt maksimum vandstande for hændelserne og således ikke taget hensyn til deres varighed.

For at undersøge pumpebehovet nærmere er der opstillet en massebalancemodel for havnebassinet. I modellen er vandføringen fra Bygholm Å anvendt som øvre randbetingelse. Vandføringen er målt ved Kørop Bro og er nærmere beskrevet i notatet ”Vandtilbageholdelse”. Som nedre randbetingelse er vandstanden målt i Horsens havn anvendt. Til beskrivelse af vandstandsvariationerne, som følge af differensen mellem indløbs og udløbsvandføringen, er der lavet en kote-volumen relationen ud fra den digitale terrænmodel. Terrænmodellen er tilpasset med indarbejdelsen af den fremtidige vejdæmning for Ringvej Syd.

Massebalancemodellen dækker perioden fra medio juni 2008 til ultimo december 2017. I modellen er der anvendt tidskridt på 10 minutter svarende til ækvidistancen i vandstandsmålingerne.

Resultatet af beregningerne med massebalancemodellen viser, at der ved en automatisk slusedrift med en lukkekote i 0,60 m vil have været et pumpebehov i 119 og de 169 hændelser udpeget i samtidighedsanalysen. Det svarer til 14 hændelser pr. år.

De 119 hændelser, hvor der beregnet et pumpebehov med massebalancemodellen, er angivet sammen med resultatet af samtidighedsanalysen på Figur 22.

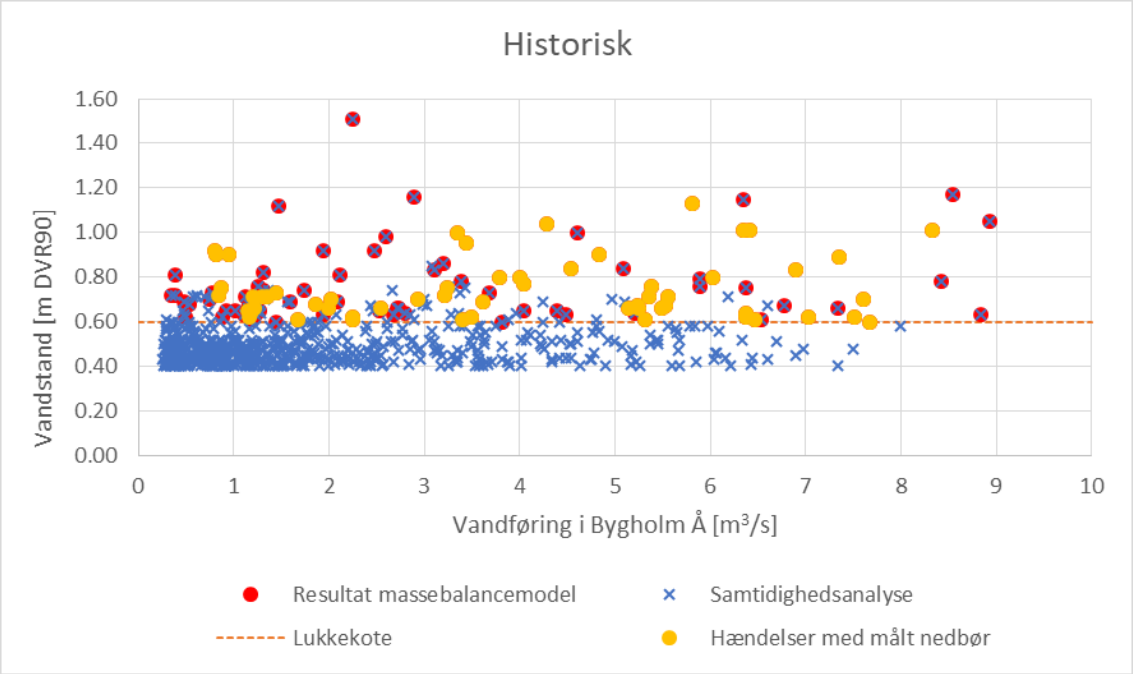


Figur 22 Resultat af samtidighedsanalysen sammenholdt med resultatet af massebalancemodellen i forhold til pumpebehovet.

De 14 hændelser pr. år med pumpebehov er beregnet på baggrund af en automatisk slusestyring, hvor slusen lukkes hver gang vandstanden overstiger kote 0,60 m i havnen. Det er nok ikke en realistisk styring af slusen, da den vil medfører lukninger for ofte i fremtiden. Beregnet med massebalancemodellen vil slusen således samlet set være lukket 2-3 dage om året.

Såfremt styringen derimod foretages så, slusen kun lukkes, når vandstanden overstiger kote 0,6 m og vejrprognoserne viser risiko for nedbør, vil antallet sluselukninger derimod reduceres. Ud fra de beregnede hændelser med sluselukning og pumpebehov er det undersøgt, om der har været nedbør.

Hændelserne, hvor der med massebalancemodellen er beregnet et pumpebehov og der en målt nedbør, er angivet på Figur 23.



Figur 23 Resultat af samtidighedsanalysen sammenholdt med resultatet af massebalancemodellen i forhold til pumpebehovet og hændelser, hvor der målt nedbør i Horsens

Med en antagelse om, at den målte nedbør har været prognosticeret, vil slusen have været lukket i 57 hændelser, hvor det også har medført et pumpebehov. Det svarer til 7 hændelser om året. Af de 57 hændelser er 7 forekommet i skybrudssæsonen fra maj til oktober. De resterende 50 hændelser er forekommet i løbet af vinteren og det tidlige forår.

Analysen viser samlet, at der med en lukkekote i 0,60 m for sikring af vandstanden i kote 0,75 m ved nedbør, vil der være et pumpebehov i de to styringsstrategier, som er undersøgt. Undersøgelsen er foretaget på historiske data. Dermed bør pumperne etableres sammen med slusen og de øvrige installationer i forbindelse med anlæggelsen af Ringvej syd.

Med en fremtidig stigende vandstand med klimaforandringerne vil pumpebehovet øges. Ved klimafremskrivning med RCP scenarier 4.5 og 8.5 er der lavet beregninger af den fremtidige pumpedrift og lukketider for slusen med massebalancemodellen. I beregninger er det forudsat, at slusen kun lukkes når vandstanden overstiger 0,6 m og der er nedbør. Den historiske nedbør er anvendt i beregningerne. Resultatet af beregningerne fremgår af Tabel 13.

Tabel 13 Resultat af beregning af lukke- og pumpetider for hhv. slusen og pumpen med massebalancemodellen

Scenarie	Historiske data	RCP4.5 år 2050	RCP8.5 år 2050	RCP4.5 år 2100	RCP8.5 år 2100
Klimafremskrivning af vandstand [m]	0	0,3	0,4	0,4	0,6
Maksimal vandstand [m DVR90]	1,51	1,81	1,91	1,91	2,11
Lukkekote [m DVR90]	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Pumpestart [kote]	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70

Pumpekapacitet [m^3/s]	30	30	30	30	30
Pumpetid [dage/år]	0,2	1,4	2,5	2,5	4,8
Lukketid for sluse [dage/år]	1,5	12	19	19	38

Beregningerne viser, at slusen med den forudsatte drift sammenlagt vil være lukket 12 – 19 dage om året i år 2050 mens pumpen sammenlagt vil være i drift 1 – 2,5 dage om året. I år 2100 vil slusen være lukket 19 – 38 dage om året mens pumpen vil være i drift 2,5 - 5 dage om året. Det skal bemærket, at både lukke- og pumpetider er summeret over året og der er således ikke tale om et antal sammenhængende dage eller et antal hele dage. Tiderne vil for komme i kortere intervaller fordelt over året, dog primært i vinterhalvåret. Med den stigende vandstand vil intervallernes varighed forlænges. Det betyder dog ikke, at sluse vil være lukket mange dage i træk og forhindre optræk af fisk.

I beregningerne er der forudsat en slusedrift, hvor slusen lukkes når vandstanden overstiger kote 0,60 m og det regner. Det er uvist om driften vil blive sådan. Ligeledes vil driften med stor sandsynlighed ændres over årene med driftserfaringen og den løbende klimatilpasning af byen.

Pumperne i Bygholm Å pumpe/sluse løsningen skal dimensioneres, så de kan afvande både vandføringen i Bygholm Å og overfladeafstrømningen fra byen. I notat ”Bygholm Sø” er det anbefalet, at en den nye Bygholm Sø sluse dimensioneres, så den har en kapacitet på 18 m^3/s. Herudover er der regnet med, at omløbsstryget har en kapacitet på 2 m^3/s. Det samlede maksimale bidrag fra Bygholm Å er dermed på 20 m^3/s.

Der er gennemført oversvømmelseskortlægningen af en klimafremskrevet 5-års nedbørshændelse og en klimafremskrevet 100-års nedbørshændelse, se Tegning 12 og 21. Resultaterne af beregninger viser, at der ved en klimafremskrevet 5-års hændelse maksimalt afledes 11 m^3/s fra byen mens der ved en klimafremskrevet 100-års hændelse maksimalt afledes 20 m^3/s fra byen.

Skybrudshændelser forekommer statistisk set i skybrudssæsonen fra maj til oktober. Ekstremafstrømningerne i vandløb forekommer statistisk set i vinterhalvåret og tøbrudssæsonen i det tidlige forår. En dimensionering af pumperne med en kapacitet på 40 m^3/s svarende til en fremtidig kombineret ekstrem nedbørs- og afstrømningshændelse vil derfor medføre en overdimensionering. Med en pumpekapacitet på omkring 30 m^3/s vil det foreslåede serviceniveau derimod kunne opretholdes selv under ekstreme afstrømningshændelser i Bygholm Å.

For at undersøge mulighederne for at reducere pumpekapaciteten er der lavet en beregning af døgnmiddelvandføringen ved en 100-års hændelse i skybrudsperioden fra maj til oktober. Ved udløbet fra Bygholm Sø er døgnmiddelvandføring ved en hændelse med en gentagelsesperiode på 100 år således beregnet til 14 m^3/s. Ved klimafremskrivning giver det en 100-års vandføring på 16 m^3/s. Dermed kan pumpekapaciteten reduceres til 27 m^3/s og det foreslåede serviceniveau fortsat opretholdes. En reduktion af pumpekapaciteten fra 30 til 27 m^3/s vurderes i forhold til anlægs- og driftsomkostningerne at være negligerbare.

Dagnæs Bæk slusen

I forhold til det foreslåede serviceniveau skal det være muligt, at holde vandstanden i udløbet fra Dagnæs Bæk i kote 0,75 m ved en 5-års nedbørshændelse. Det betyder, at lukkekoten for Dagnæs Bæk slusen med fordel kan fastsættes i kote 0,60 m for at skabe et buffervolumen i indsøen.
I perioder, hvor slusen er lukket, kan det være nødvendigt at holde vandstanden inden for vejdæmning nede ved pumpning. Ellers er der risiko for, at vandføringen fra Dagnæs Bæk og overfladevand fra byen oversvømmer de beskyttede naturtyper med næringsrigt vand samt at vandføringerne forårsager oversvømmelser over serviceniveauet.

Pumpen skal dimensioneres, så den kan afvande både vandføringen i Dagnæs Bæk og overfladeafstrømningen fra byen. På baggrund af karakteristiske afstrømninger fra målestation 28.02 Kørup Bro er der beregnet karakteristiske vandføringer ved udløbet af Dagnæs Bæk i fjorden. De karakteristiske vandføringer fremgår af Tabel 14.

Tabel 14 Karakteristiske vandføringer i Dagnæs Bæk ved udløbet i fjorden

Gentagelsesperiode	5 år	10 år	20 år	50 år	100 år	500 år	1.000 år
Vandføring [m^3/s]	1,40	1,54	1,65	1,77	1,85	2,02	2,08

I forhold til byens afvanding viser resultaterne af oversvømmelseskortlægningen, at der ved en klimafremskrevet 5-års hændelse maksimalt afledes 12 m^3/s fra byen. Tilsvarende afledes der maksimalt 24 m^3/s fra byen ved en klimafremskrevet 100 års hændelse.

Afledningen af overfladevand fra byen under kraftig og ekstremregn overstiger dermed den naturlige ekstremafstrømning betydeligt. Med en pumpekapacitet på omkring 15 m^3/s vil det fastsatte serviceniveau kunne overholdes, da både byens vand og den naturlige afstrømning kan afledes.

Med en forudsætning om, at styringsstrategien for Dagnæs Bæk slusen tilsvarer styringsstrategien i Bygholm Å slusen vil frekvensen af sluselukninger og lukketider svare til dem der er beregnet for Bygholm Å slusen.

14.Stormflodsdrift

Serviceniveau, lukkekoter, pumpestart og pumpekapacitet er i det ovenstående bestemt på baggrund af kombinerede hændelser med vandløbsvandføring, havvandstand og nedbør. De oplevede stormflodshændelser har historisk set, hverken været kombineret med store nedbørs- eller afstrømningshændelser. Under disse hændelser skal slusen lukkes alene for at beskytte byen mod oversvømmelser fra fjorden.

For at undersøge hvilket vandstandsniveau slusen skal lukkes i, er der lavet oversvømmelseskort med vandstande i kote 0,75 m, 1,00 m og 1,25 m, se Figur 24 - Figur 26.

Figur 24 Oversvømmelseskort for vandstand i kote 0,75 m

Figur 25 Oversvømmelseskort for vandstand i kote 1,00 m

Figur 26 Oversvømmelseskort for vandstand i kote 1,25 m

Figur 24 - Figur 26 viser, at Bygholm Park og kolonihaveområdet oversvømmes ved vandstande i kote 1,00 m og 1,25 m. Ved vandstande i kote 1,25 m oversvømmes også en del af havneområdet. Såfremt Bygholm Park og kolonihaverne i fremtiden sikres mod disse vandstande og havnen sikres op til kote 2,60 med Ringvej Syd kan vandstande op til kote 1,25 m tillades.

Ved en lukning af slusen i kote 1,00 m vil der være et buffervolumen på 54.000 m^3 i inderhavnen og Bygholm Å op til kote 1,25 m. Ved en vintermiddelvandføring vil på 2,8 m^3/s vil buffervolumen være fyldt op på 5 timer. Efter 5 timer vil pumpen skulle startes for at holde vandstanden i det kritiske niveau i kote 1,25 m. Det vurderes at være en passende reaktionstid for at følge udviklingen i vandstanden. Ved større vandføringer vil de 5 timer naturligvis reduceres.

15.Strømningsveje

Som tidligere beskrevet kan pumpe/sluse løsningerne kun sikre byen mod de oversvømmelser, som er relateret til vandstanden i havnen. Oversvømmelser, som skyldes skybrud, skal derimod håndteres gennem en klimatilpasning af byen i forhold til byens indretning med f.eks. skybrudsveje og udpegning af områder, hvor skybrudsvand kan tilbageholdes.

Med det foreslåede serviceniveau svarende til en 5-års nedbørshændelse ved en vandstand i kote 0,75 m vil der forekomme vand på terræn. Dette skal håndteres gennem byens indretning med vandveje på terræn, så det ikke er skadesforvoldende eller giver gener for byens borgere.

Der er med udgangspunkt i oversvømmelseskortene fra følsomhedsanalysen (Tegning 1 – 10) og oversvømmelseskortlægning med hhv. 5- og 100 års nedbørshændelserne (Tegning 12 og 21) udarbejdet forslag til placering vandveje på terræn.

På Tegning 22 er vandvejene til håndtering af vand på terræn op til serviceniveauet angivet.

På Tegning 23 er skybrudsveje og områder, hvor skybrudsvandet potentielt kan tilbageholdes, angivet.

Både i forhold til angivelsen af placeringen af vandveje op til serviceniveau og placeringen skybrudsvejene er det forudsat, at Åboulevarden omlægges med henblik på klimatilpasning og afvanding. Det kan enten være i form af å-åbningen eller ved etablering af en kombineret transport- og vandvej.

16. Alternativt serviceniveau

I det gennemført arbejde er der taget udgangspunkt i det foreslåede serviceniveau svarende til en 5 års nedbørshændelse kombineret med en vandstand i kote 0,75 m. Alternativt kan vandstandsniveauet hæves, hvilket vil betyde, at der enten skal laves flere tiltag for håndtering af vand på terræn eller at serviceniveauet skal sænkes i de påvirkede områder, hvor der hyppigere vil opleves oversvømmelser.

Med følsomhedsanalyse og resultatet angivet på Figur 6 er det beregnet, at med en hævning af vandstanden til kote 1,0 m skal der laves 1.000 m mere tilpasning af veje til håndtering af vand. Ligeledes er det med den udvidede følsomhedsanalyse og resultatet angivet på Figur 17 beregnet, at såfremt vandstandsniveauet hæves til kote 1,25 m, vil oversvømmelserne svarende til det foreslåede serviceniveau forekomme 4 gange om året.

Ud fra beregningerne i følsomhedsanalysen vurderes det, at serviceniveauet svarende til en 5 års hændelse og vandstand i kote 0,75 m med tilpasning af veje til håndtering af vand er det mest optimale i Horsens midtby.

Med tilpasningen af vejene til vandhåndtering og fastholdelsen af serviceniveauet svarende til 5 års hændelse er serviceniveauet for oversvømmelser over terræn fra ledninger/brønde eller kanaler/vandveje også det samme i alle separatkloakerede områder i kommunen.

17. Medfinansiering

Ved ansøgninger om udledningstilladelser laver kommunen en vurdering af kapaciteten i den recipient, der ansøges om udledning til. Kapacitetsvurderingen laves bl.a. på baggrund af risikoen for oversvømmelser fra recipienten.

For sårbare recipienter og recipienter med stor oversvømmelsesrisiko kan kommunen fastsætte et krav om reducering af udledningerne. En reducering af udledningerne opnås ved forsinkelse af udledningerne i enten åbne eller lukkede bassiner.

I en ældre udbygget by som Horsens kan det være svært at finde plads til etablering af åbne forsinkelsesbassiner. Det kan kræve at forsyningen opkøber byggegrunde eller køber grunde med bygninger til nedrivning for etablering af bassiner. Det er en meget dyr og ikke omkostningseffektiv løsning for håndtering af byens vand. Etableringen af lukkede forsinkelsesbassiner er også dyr og heller ikke omkostningseffektiv. Derfor er det svært for forsyningen og andre ansøgere af udledningstilladelser at efterleve kommunens krav om forsinkelse.

Ved etableringen pumpe/sluse løsninger reduceres oversvømmelsesrisikoen, hvormed kommunens krav til reducering af udledninger kan lempes betydeligt eller helt fjernes. Det betyder, at forsyningen og andre ansøgere lettere og billigere kan opnå tilladelse til udledning af overfladevand. Derfor er det attraktivt for forsyningen, at pumpe/sluse løsningerne etableres.

Gennem medfinansieringsordningen er det muligt for forsyningen, at bidrage til etableringen pumpe/sluse løsningerne. Det kræver dog, at bidraget til etableringen er lavere end den traditionelle løsning med enten åbne eller lukkede bassiner. For at forsyningen kan medfinansiere etableringen pumpe/sluse løsningerne skal der udarbejdes en ansøgning til Forsyningssekretariatet. Ansøgningen skal indeholde økonomiske overslag over omkostningerne ved etableringen og driften af den traditionelle bassinløsning i forhold til etableringen og driften af den alternative pumpe/sluse løsning.

Forud for ansøgningen skal der indgås kontrakt mellem forsyningen og kommunen med henblik på ansøgning om medfinansiering. Der er på nuværende tidspunkt ikke indgået kontrakt mellem SAMN Forsyning og Horsens Kommune ligesom der heller ikke er udarbejdet økonomiske overslag for den traditionelle bassinløsning i forhold til den alternative pumpe/sluse løsning.

Det vurderes, at ud fra det gennemførte arbejde, at det både er muligt og attraktivt for SAMN Forsyning at indgå i et medfinansieringsprojekt for etablering af pumpe/sluse løsningerne. Vurderingen er foretaget på baggrund af, at der ikke findes områder til forsinkelse af overfladevand i åbne bassiner i Horsens midtby. Forsinkelsen skal derfor foregå i lukkede bassiner og/eller rørbassiner. Ved nedgravning af lukkede bassiner og/eller rørbassiner med det nødvendige forsinkelsesvolumen vil det ikke være muligt at tømme bassinerne ved gravitation. Derfor vil det være nødvendigt foruden etableringen af bassinerne også at etablere pumper. Sammenlagt vurderes det at blive nogle meget dyre anlæg sammenholdt med den alternative pumpe/sluse løsning.