

C2C CC Gudenå

Klimatilpasning og varsling



C2C CC Gudenå

Klimatilpasning og varsling



Ansvarsforhold

Indholdet af nærværende rapport er alene udtryk for forfatterens eller projektets opfattelse. DHI, EA eller EDC kan ikke drages til ansvar for indholdet.

Denne rapport er udarbejdet under DHI A/S' ledelsessystem, som er certificeret af Bureau Veritas for overensstemmelse med ISO 9001 for kvalitetsledelse



Godkendt af

X 

Oluf Zeilund Jensen, Head of Department

Signed by: Oluf Zeilund Jensen

C2C CC Gudenå

Rapport

Juni 2020

C2C CC Gudenå

Klimatilpasning og varsling

Udarbejdet for C2C CC Gudenå
Repræsenteret ved Silkeborg Kommune



Projektleder	Torsten Vammen Jacobsen
Kvalitetsansvarlig	Henrik Garsdal
Projektnummer	11821559
Godkendelsesdato	2 Juni 2020
Revision	V4
Klassifikation	Åben

INDHOLDSFORTEGNELSE

0	English summery	
1	Baggrund	9
2	Gudenåen i overblik	11
3	Formål	12
4	Modelopstilling	13
4.1	Vandløbsmodel	13
4.1.1	Vandløbsnetværk	14
4.1.2	Vandløbstværsnit	15
4.1.3	Søer og fjord	16
4.1.4	Søtværsnit	17
4.1.5	Fjordtværsnit	18
4.1.6	Udvidelse af tværsnit i forhold til terrænmodel	19
4.1.7	Oversvømmelseskort	21
4.1.8	Bygværker og vandstandsregulering	23
4.2	Oplandsmodel	25
4.2.1	Klimadata	26
4.2.2	Terrænmodel	29
4.3	Kalibrering	30
4.3.1	Kalibreringsmål og fremgangsmåde	31
4.3.2	Kalibreringsdata for Gudenå	31
4.3.3	Vandføring i Gudenå	31
4.3.4	Vandstand i Gudenå	37
4.4	Konklusion vedrørende kalibrering	45
5	Varslingsmodel	46
5.1	Realtidsdata	46
5.2	Data assimilation	49
5.3	Websider til varslingsmodel	52
5.4	Om varslingsmodellens resultater	55
6	Scenariemodeller	57
6.1	Dimensioneringsgrundlag	57
6.1.1	Gentagelsesperioder for Gudenå	57
6.1.2	Skalering af tilstrømning	60
6.1.3	Klimaændrings effekt på dimensioneringsgrundlag	62
7	Klimatilpasningsscenarier for Gudenå	65
7.1	Målsætning	65
7.2	Fokusområder	66
7.3	Scenarieformulering	66
7.4	Scenarier og resultater	68
7.4.1	Sandsynlighedskort	68
7.4.2	Arealanvendelse og skadesomkostninger	69
7.4.3	Risikokort	72
7.4.4	Baseline og udgangspunktet	73
7.4.5	Scenarie 1 Søparkering	77
7.4.6	Scenarie 2 Grødeskæring	79
7.4.7	Scenarie 3 Uddybning	85
7.4.8	Scenarie 4 Jordkøb, jordfordeling og høj klimafaktor	88

7.4.9	Scenarie 5 Vandparkering i ådalen	88
7.4.10	Scenarie 6 Parallelløb	90
7.4.11	Scenarie 7 Aflejring	93
7.4.12	Scenarie 8 Forsinket afstrømning fra byer	94
7.5	Scenarieeffekter i delområder	96
7.6	Omkostninger og klimatilpasningstiltag	98
7.7	Miljølovgivning	99
7.8	Barrierer for klimatilpasningstiltag	100
7.9	Diskussion af muligheder og begrænsninger	103
8	Konklusion og anbefalinger	106
8.1	Konklusion	106
9	Referencer	109

BILAG

BILAG A – GIS kort

BILAG B – Vandløb i model

BILAG C – On-line data status

BILAG D – Maksimal VSP-koter

FIGURER

Figur 4-1	Vandløbsnetværk og søer inkluderet i Gudenå vandløbsmodel	13
Figur 4-2	Gudenå kommunernes oversigt over tværsnitsdata til rådighed for modellen.	15
Figur 4-3	Eksempel på tværsnitsdata hentet fra sødybdekort ved Mossø og i vandløbsmodellen efter forlængelse af sø- og vandløbstværsnit med terrænmodel data. Figuren viser terrænkoter, sødybdekurver, vandløbsnetværk og tværnit.	17
Figur 4-4	Tværsnit langs Randers Fjord fra Randers til Udbyhøj (dybdekorturlinjer i sejlrunde og fjord)	18
Figur 4-5	Eksempel på tværsnit som er udvidet med data fra topografien. Øverst det total tværsnit og nederst er der zoomet til området omkring det opmålte tværsnit.	20
Figur 4-6	Oversvømmelseskort. Det er for Gudenåens hovedløb at kortet primært er gældende	21
Figur 4-7	Ved Vestbirk (venstre) og Ry Mølle (højre)	22
Figur 4-8	Vandspejlskoter (y-akse) for perioden 2013-2017, flodemål (rød), målt vandstand (grøn) og modelsimuleret vandstand (blå) opstrøms Ry Mølle.	23
Figur 4-9	Nedbørsstationer i Gudenå oplandet og inddeling i Thiessen polygoner	27
Figur 4-10	Tidsserie for referencefordampning (mm/dag)	28
Figur 4-11	Digital terrænmodel (koter i m) og topografisk oplandsgrænse	29
Figur 4-12	Simuleret og observeret vandføring ved station 21.62 Møllerup, 2006-2007 (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)	32
Figur 4-13	Simuleret og observeret vandføring ved station 21.02 Åstedbro, 2006-2007 (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)	32
Figur 4-14	Simuleret og observeret vandføring ved station 21.40 Voerbadsbro, 2006-2007 (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)	33
Figur 4-15	Simuleret og observeret vandføring ved station 21.51 Silkeborg, 2006-2007 (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)	33
Figur 4-16	Simuleret og observeret vandføring ved station 21.109 Resenbro, 2006-2007 (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)	33
Figur 4-17	Simuleret og observeret vandføring ved station 21.01 Tvillum bro, 2006-2007 (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)	34

Figur 4-18	Simuleret og observeret vandføring ved station 21.07 Bjerringbro, 2006-2007 (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)	34
Figur 4-19	Simuleret og observeret vandføring ved station 21.09 Ulstrup, 2006-2007 (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)	34
Figur 4-20	Simuleret og observeret vandføring ved station 21.115 Randers, 2006-2007 (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)	35
Figur 4-21	Udvikling i målt vandspejlskote (blå) versus vandføring (sort) ved Tvillum Bro, 2000-2017	36
Figur 4-22	Simuleret og observeret vandspejlskote ved Uldum Kær (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)	37
Figur 4-23	Simuleret og observeret vandspejlskote ved Åstedbro (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)	38
Figur 4-24	Simuleret og observeret vandspejlskote ved Bredstenbro (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)	38
Figur 4-25	Simuleret og observeret vandspejlskote ved Voervadsbro (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)	38
Figur 4-26	Simuleret og observeret vandspejlskote ved Klostermølle (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)	39
Figur 4-27	Simuleret og observeret vandspejlskote opstrøms Ry Mølle (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)	39
Figur 4-28	Simuleret og observeret vandspejlskote nedstrøms Ry Mølle (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)	40
Figur 4-29	Simuleret og observeret vandspejlskote ved Resenbro	40
Figur 4-30	Simuleret og observeret vandspejlskote ved Tvillum	40
Figur 4-31	Simuleret og observeret vandspejlskote ved Kongensbro	41
Figur 4-32	Simuleret og observeret vandspejlskote ved Bjerringbro	41
Figur 4-33	Simuleret og observeret vandspejlskote ved Ulstrup.....	41
Figur 4-34	Simuleret og observeret vandspejlskote ved Langå	42
Figur 4-35	Eksempel på Manning tals (grøn) tidsvariation over året og målt vandføring (2015-2016) fra opstrøms mod nedstrøms, Åstedbro-Randers	43
Figur 5-1	Oversigt over real-tids vandstandsstationer	48
Figur 5-2	Data assimileringens lokaliteter, Gudenå opstrøms (højre) og nedstrøms (venstre) .	49
Figur 5-3	Liste der viser hvilke data der bruges i hvilken model, samt hvilke data der ikke assimileres mod. OS markerer opstrøms model og NS nedstrøms model.	49
Figur 5-4	De to figurer viser effekten af data assimilering for 2 forskellige steder i den øvre model. Tynd vertikal sort linje indikerer Time-Of-Forecast, grøn linje målte data ved simuleringstidspunkt, rød line er målt data opsamlet efter simuleringen er kørt, sort linje: modelresultat med Data assimilation, blå linje: model resultat uden Data assimilation	50
Figur 5-5	De to figurer viser effekten af data assimilering for 2 forskellige steder i den nedre model. Tynd vertikal sort linje indikerer Time-Of-Forecast, grøn linje målte data ved simuleringstidspunkt, rød line er målt data opsamlet efter simuleringen er kørt, sort linje: modelresultat med Data assimilation, blå linje: model resultat uden Data assimilation	50
Figur 5-6	Skærm-dump af web side der præsenterer varslingsmodellens resultater i udvalgte punkter	51
Figur 5-7	Lokationstype	52
Figur 5-8	Det er muligt at se tidsserie resultater fra tidligere prognoser	52
Figur 5-9	Oversvømmelseskort vises ved at trykke på "Vand på t..." knappen	52
Figur 5-10	legenden for de lag der vises på web si	53
Figur 5-11	Farveskala for oversvømmelseskort og andre lag.....	53
Figur 5-12	Link til data status web side.	53
Figur 5-13	Link til dokument der beskriver web siden.	54
Figur 5-14	Link til "Giv et Praj" funktionalitet.	54
Figur 5-15	Eksempel på www.yr.no - nedbørsprognoisedata fra Uldum, Silkeborg og Randers. Y-akse viser nedbørmængde (mm) og x-aksen en tidsskala inddelt i timer.	55
Figur 6-1	Gudenå vandføringstationer anvendt ved analyse af gentagelsesperioder	57

Figur 6-2	Resultat af ekstremværdianalyse for Tvillum Bro, ekstremvandføring (x-akse) plottet imod gentagelsesperiode (y-akse) med konfidensintervaller	58
Figur 6-3	Gentagelsesperioder (T=5-100 år) for Gudenå vandføringsstationer	58
Figur 6-4	Udvikling i nedbør og vandføring op til ekstremhændelse, 21-22 januar 2007	60
Figur 6-5	Beregnete gentagelsesperioder og målinger (stiplet linje) fra 21.-22. januar 2007	61
Figur 6-6	Klimafaktor, ændring i T=100 års vandføring for perioden frem til 2050 (GEUS 2014)	62
Figur 6-7	Estimeret udvikling i havvandstand i Danmark ved klimaændring.	63
Figur 7-1	Scenarielokaltiteter og fokusområder	67
Figur 7-2	Sandsynlighedskort (T=100 år) for Gudenå, lokalt udsnit ved Kongensbro	68
Figur 7-3	Udsnit af 10 m BaseMap arealanvendelse ved Bjerringbro	69
Figur 7-4	Risikokort (kr./år) for Gudenå (T=100 år), lokalt udsnit ved Langå	71
Figur 7-5	Kurver over årlige meromkostninger ved oversvømmelse i baseline og ved klimaændring med hhv. "middel" og "høj" klimafaktor 2050.	72
Figur 7-6	Kort med punktmærkning af veje, bygninger eller industri påvirket af T=5-100 års oversvømmelse i baseline (rød) samt fokusområder (gul)	74
Figur 7-7	Principskitse for vandstandsregulering med opstuvning i opstrøms vandløb/sø	77
Figur 7-8	Eksempel på vandføringsforløb med (sort linje) og uden søparkering (blå linje), Ry Mølle eksempel	77
Figur 7-9	Eksempel på indlejring af grødeskæring i tidsvarierende Manning tal kurve	79
Figur 7-10	Simuleret vandstand ved Bredstenbro uden grødeskæring (blå) og med grødeskæring (sort)	80
Figur 7-11	Simuleret vandstand ved Voervadsbro uden grødeskæring (blå) og med grødeskæring (sort)	81
Figur 7-12	Simuleret vandstand opstrøms Ry Mølle uden grødeskæring (blå) og med grødeskæring (sort)	81
Figur 7-13	Simuleret vandstand ved Tvillum uden grødeskæring (blå) og med grødeskæring (sort)	81
Figur 7-14	Simuleret vandstand ved Bjerringbro uden grødeskæring (blå) og med grødeskæring (sort)	82
Figur 7-15	Simuleret vandstand ved Randers uden grødeskæring (blå) og med grødeskæring (sort)	82
Figur 7-16	Forskel i oversvømmet areal (inklusive å) langs Gudenå nord for Svstrup, dagen før (9. juli, øverst) og dagen efter grødeskæring (11. juli, nederst).	83
Figur 7-17	Eksempel på uddybet tværsnit ved Randers	85
Figur 7-18	Fald i maksimalvandspejl, Langå-Randers, T=20 år, efter uddybning.	86
Figur 7-19	Munkekanalen forbinder Mossø og Gudensø.....	90
Figur 7-20	Parallelløb Silkeborg-Resenbro	91
Figur 7-21	Parallelløb Bjerringbro – Ulstrup	91
Figur 7-22	Stigning i maksimalvandspejl (m), Langå-Randers, T=20 år p.gr. aflejring.....	93
Figur 7-23	Vandstandstidsserie ved Voervadsbro i baseline (blå) og med forsinket afstrømning fra byområder (sort)	94
Figur 7-24	Vandstandstidsserie ved Tvillum i baseline (blå) og med forsinket afstrømning fra byområder (sort).....	95
Figur 7-25	Omkostningsreduktion (tkr/år) ved klimatilpasningsscenarier, Søparkering (Scen1), Uddybning (Scen3), Ådalsparkering (Scen5) og Parallelløb (Scen6), i forhold til uændrede forhold (CC 2050)	103
Figur 9-1	ArcMap åbnes via start - > ArcGIS - > ArcMap 10.6.1. Nummeret afhænger af hvilken version der er installeret.	5
Figur 9-2	Nyt ArcMap dokument/kort.	6
Figur 9-3	Tomt ArcMap kort/dokument.....	6
Figur 9-4	Vindue til at browse efter data der skal tilføjes til kortet.	7
Figur 9-5	Data er hente ind i ArcMap dokumentet.	8
Figur 9-6	Ved at "højre-licke" og vælge "Properties.." kan man ændre på lagets udseende. 8	
Figur 9-7	Menu til at ændre legenden for et spatialt lag.....	9
Figur 9-8	Klassificering af data.	9

Figur 9-9	0-værdier gøres transparente.	10
Figur 9-10	Ny klassificering.	10
Figur 9-11	Menu til at ændre på klassifikation for risikokortet.	11
Figur 9-12	Klassifikations dialog.	12
Figur 9-13	Ændring af farver i legenden.	12
Figur 9-14	Opdateret legende i kortet.	13

TABELLER

Tabel 4-1	Søer der indgår i Gudenå vandløbsmodel	16
Tabel 4-2	SVK nedbørsstationer, datadækning, middelnedbør 2000-2010 (mm/år) og korrektionsfaktor.	26
Tabel 4-3	Vandføringsdata anvendt i kalibrering, Gudenå opstrøms til nedstrøms.	30
Tabel 4-4	Kalibreringsparametre m.h.t. afstrømning og vandføring	31
Tabel 4-5	Kalibreringsstatistik (korrelationskoefficient (R) og Nash-Sutcliffe (NSE), målt versus simuleret, 2000-2017,	35
Tabel 4-6	Vandstandsdata anvendt i kalibrering, Gudenå opstrøms til nedstrøms	37
Tabel 4-7	Kalibreringsparametre m.h.t. vandstand	42
Tabel 6-1	Vandføringstationer og tidsserier til beregning af ekstremvandføring (T=5-100 år)	57
Tabel 6-2	Statistisk bestemte vandføringer (m ³ /s) for gentagelsesperioder T=5-100 år.	59
Tabel 6-3	Tabel over middel og maksimum klimafaktorer for Gudenå stationer (2050)	62
Tabel 6-4	Tabel over vandføringer (m ³ /s) for gentagelsesperioder (T=5-100 år) iberegnet klimaændring, CC 2050 (middel klimafaktor) øverst og CCmax 2050 (høj klimafaktor) nederst	63
Tabel 7-1	Oversigt over klimatilpasningsscenarier	65
Tabel 7-2	BaseMap arealanvendelse opgjort for dels Gudenå opland og dels Gudenå dalen	69
Tabel 7-3	Tabel over arealanvendelse og værdi/skader ved oversvømmelse	70
Tabel 7-4	BaseMap og Region Midt kategorier samt estimeret værdi/skade	70
Tabel 7-5	Fordeling af arealanvendelsestyper påvirket af oversvømmelse for Gudenå opstrøms, nedstrøms og samlet (baseline, T=5-100 år)	73
Tabel 7-6	Meromkostninger (tkr/år) fordelt på Gudenå vandløbsstrækninger imellem fokuspunkter	75
Tabel 7-7	Vandspejlsænkning, vandstandsniveauer for scenariet	77
Tabel 7-8	Vandstandændring (baseline-søparkering) ved bygværker, T=20 år	78
Tabel 7-9	Vandløbsstrækninger med grødeskæring	80
Tabel 7-10	Maksimal vandstandsændring i forbindelse med grødeskæring	82
Tabel 7-11	Vandløbsstrækninger udvidet ved bredde eller dybde	84
Tabel 7-12	Ændring i maksimalvandspejl (T=20 år) ved uddybning	86
Tabel 7-13	Multiplikationsfaktorer ved fremskrivning af ekstremværdier i.f.m. klimaændringer	87
Tabel 7-14	Ådalsparkeringsvolumener	89
Tabel 7-15	Ændring i maks. vandstand ved ådalsparkering, T=20 år	89
Tabel 7-16	Gudenå strækninger med parallelløb inkluderet i Scenarie 6	90
Tabel 7-17	Ændring i maks. vandstand ved parallelløb, T=20 år	92
Tabel 7-18	Tværsnit ved Randers med aflejret sediment og hævet bundkote.	92
Tabel 7-19	Modelparametre til beskrivelse af afstrømning	94
Tabel 7-20	Oversigt over reduktioner i oversvømmelsesskader fordelt på Gudenå strækninger (tkr./år) ved fremskrivning af klimaændringer ved middel faktor (CC 2050), T=5-100 år	96
Tabel 7-21	Overslag over omkostninger forbundet med scenarier 1-6	97
Tabel 7-22	Barrierer og muligheder i forhold til typer klimatilpasningstiltag	101

English Summary

The purpose of this report first to shed light on the extent of flooding and damage costs. With this point of departure, scenario calculations must help to give a picture of possibilities and limitations in relation to different types of climate adaptation measures along Gudenåen. On that basis, it is examined which means of action could potentially be suitable and have the greatest effect in the further climate adaptation work and concrete action.

Eight scenarios have been formulated, each of which looks at a given type of means of action climate adaptation. A result of the model analysis is a risk map for the Gudenå valley that provides a picture of the overall extent of the problem and an estimate of the associated costs. One important point in relation to analysis is that it is comprehensive and coherent model for the Gudenå river and can look at both positive and negative effects in context as opposed to isolated analysis of individual projects. Eg. can storage of water in order to reduce the risk of flooding on a given stretch have derivatives negative effects for other parts of the river system. The model can be used to analyze the total negative and positive effects for the Gudenå system.

The project's second purpose is to prepare a warning system that can help with ongoing to assess the development of water levels, including warning of increased water levels and flood risk. The warning system is based on the aforementioned river model and be built into an automated online system to continuously collect the latest measurement data and weather forecasts. The system makes it possible to assess the current situation where water level conditions are most critical and how the development over the coming days likely to be. It gives the opportunity to obtain an overview of the internet via the internet the municipalities and possibly coordinate an effort. Furthermore, the online system can contribute for a common picture and up-to-date information that can also benefit landowners, land owners and others with an interest in flooding.

Conclusions

The Gudenå watercourse model is the first detailed and coherent hydraulic model tool for the whole of Gudenå area, which opens the possibility to look at upstream and downstream consequences. The Gudenå watercourse model is a tool for analysis of watercourse hydraulic conditions, and in the project it is used for two specific purposes. Partly to scenario calculations that look at the effect of different types of climate adaptation measures and partly to an online warning model for water level and flooding.

Potentials for different types of climate adaptation measures are highlighted through 8 climate adaptation scenarios. In this connection, a new method for defining has been developed water flows corresponding to different recurrence periods.

Baseline and projection of climate change effects show that additional costs can be estimated to 3-4 million DKK/year assuming an "average" climate change factor. In the case of climate changes corresponding to the "maximum" climate factor, additional costs may increase a factor 3. There are statistically greater damage costs associated with more often occurring 5 year events than e.g. the rarer 50-year or 100-year events. This indicates that a future objective on climate adaptation of Gudenå based on a economic point of view should rather aim at the more frequently occurring 5-10 years incidents than e.g. 50-year or 100-year events, although the latter causes the most damage. It is positive that the greatest financial effect is achieved by insuring against less incidents as it

requires less effort and more frequent use of the measures.

Judged solely from the overall effect on flood risk, lake parking has temporary embankment and parallel running of the Gudenå river on selected sections greatest effect in relation to reducing water levels and the risk of flooding in extreme events. In relation to the pre-designated focus areas, the analyzes confirm that polls play an important role for the water level upstream, i. a. at Mossø and that increased water flow capacity downstream of Silkeborg and on Langå-Randers can decrease the flood risk. Water parking upstream has a modest effect and is surpassed by it natural, uncontrolled flooding that is already taking place in the Gudenå valley.

Delay of runoff from fortified areas, e.g. by increased rainwater basin volume in the catchment, has limited effect on the water level in the Gudenå main run. Crop cutting gives significant short-term effect, but is as climate adaptation tool limited by not being able to be used in connection with them large water flow events in winter.

Recommendations

Climate adaptation scenarios contribute to identifying, on the one hand, the extent of The climate adaptation task for Gudenå is partly which means of action can have the greatest impact effect for Gudenå. It is also important to formulate an objective for climate adaptation of Gudenå with the option to adjust the scope of climate adaptation measures. There should as As part of upcoming climate adaptation plans, draft projects are prepared where these elements are included and, to the extent that they are actually realizable, require concretization and the involvement of local people relationships and stakeholders.

It is recommended that for Gudenå's warning model, in the short and long term, a collection of experience. An evaluation of water levels in model forecasts could be included here versus measurements over a longer period, as well as review of a large runoff event and possible adjustment of warning points and associated elevations for "normal", "elevated" and "critical condition". Feedback from users can help produce warning information as close to the users' needs and local conditions as possible. It is discussed in the course of the project whether the Gudenå warning model can be tested and utilized further, e. g. in relation to citizens and preparedness. It is recommended to proceed with the mapping of needs in relation to the various users of the notification system, e.g. citizens, municipalities, business and preparedness.

Coordination between the municipalities in relation to both climate adaptation plans and at a current critical incident can be made more efficient if agreement can be reached on tools, information and data. Model tools and warning systems can be included here.

1 Baggrund

Klimatilpasning er en udfordring og en opgave der vil forløbe over en længere årrække. Hidtil har fokus været rettet imod byer og afløbssystemer hvor skybrud forårsager oversvømmelse og skader. Dernæst vil risikoen langs kysterne ved stormflod kræve en indsats i form af kystsikring. Tilbage står en indsats i forhold til vandløb og her er målsætning, virkemidler og fremgangsmåden mindre veletableret, især for store vandløb som Gudenå.

Gudenå er Danmarks længste vandløb. Udvikling har historisk været knyttet til åen hvilket bl.a. kommer til udtryk i byer og infrastruktur i Gudenådalen og langs selve åen. I takt med klimaændringer udsættes disse værdier for højere risiko for oversvømmelse med tab til følge. Gudenå og Gudenådalen er meget forskelligartet og ud over byer og ejendomme er store landbrugsarealer og naturområder berørt af åens dynamik. Vandstandsregulerende bygværker af ældre eller nyere dato spiller en rolle for både søer og vandløbsstrækninger.

Coast to Coast Climate Change (C2C CC) projektet er et overordnet samarbejde mellem region Midtjylland, kommunerne og eksterne partnere. I en række delprojekter arbejdes med klimatilpasning i Region Midt og herunder Gudenå. De 7 kommuner i Gudenå oplandet er gået sammen om at kortlægge risiko, vurdere virkemidler for klimatilpasning, få et samlet overblik og forberede klimatilpasningsindsatser.

C2C CC Gudenå projektet udvikler dels værktøjet til at kortlægge oversvømmelsesrisiko og vurdere effekt af klimatilpasningsvirkemidler som grundlag for klimatilpasningsplaner, dels en realtids varslingsmodel der skal give opdaterede prognoser for vandstandens udvikling i Gudenå. Når en målsætning om niveau for klimatilpasning af Gudenå er formuleret kan analyser af virkemidler medvirke til at fastlægge indsatsen. Der vil uanset målsætning kunne forekomme oversvømmelser langs Gudenå og varslingssystemet vil her kunne give samlet information om den aktuelle og forventede udvikling til forebyggelse af skader. Analyse af klimatilpasningsscenarioer og varslings bygger på en hydraulisk vandløbsmodel. Under projektet er der opstillet en vandløbsmodel for hele Gudenå fra udspring til udløb i havet.

Der findes ingen fast metode eller foreskrift til klimatilpasning af store vandløb i Danmark. Derfor har en af projektets opgaver været at definere en metode der tager hensyn til vandføringvariationer og statistik, og som er forenelig med Vejledning for Klimatilpasning (Miljøministeriet 2013, /13/), hvor risikokort for givne gentagelsesperioder udgør grundlag for klimatilpasningsindsatsen ligesom det er tilfældet med byer og kyster.

Modelværktøjet består af en kombineret dynamisk hydraulisk Gudenå vandløbsmodel samt en afstrømningsmodel for oplandet til Gudenå og Randers Fjord, hvilket giver mulighed for i sammenhæng at simulere effekt af ændringer i både opland og vandløbssystem. Modellen beskriver bl.a. Gudenåens fysiske skikkelse, søer og vandstandsregulerende bygværker, afstrømning fra befæstede arealer og udbredelse af oversvømmelse når åen går over sine bredder. Modellen er omfattende og er især målrettet den sammenhængende analyse af Gudenå hovedløbet og tilstødende arealer men beskriver f.eks. sidetilløb i form af mindre vandløbsgrene mindre detaljeret.

Gudenå online system til varslings af vandstand kører automatisk 4 gange i døgnet. De seneste målte hydrometriske data for å og fjord, klimadata samt vejrudsigter for den efterfølgende periode indhentes. Baseret på seneste data kører varslingsmodellen 3 dage frem i tiden, og giver prognose for udviklingen i vandstand igennem hele Gudenå. Varslingsmodellens resultat opdateres på websider hvor varslingsniveauer i udvalgte varslingspunkter markeres og evt. udsatte områder kan ses ud fra oversvømmelseskort.

Vandløbsmodellen er benyttet til at beregne 8 klimatilpasningsscenarier for udvalgte virkemidler med fremskrevet 2050 klimaændring. Risikokort er fremstillet for forskellige gentagelsesperioder ($T=5-100$ år) på grundlag af oversvømmelse, arealanvendelse og estimerede tab.

Rapporten er opdelt i afsnit vedrørende udarbejdelsen af det tekniske grundlag i form af modelopstilling og kalibrering. De efterfølgende afsnit ser på anvendelsen af modelværktøjet til henholdsvis klimatilpasningsscenarier og varslingsmodel. Resultaterne giver grundlag for sammenfatning, konklusion og anbefalinger.

Rapporten er at betragte som både en teknisk dokumentationsrapport og en redegørelse for konsekvenser og effekter i forbindelse med modelanalyser af oversvømmelser langs Gudenå.

Vandløbsmodellen er baseret på data frem til 2017 og således ikke perioden med store oversvømmelser langs Gudenåen der fandt sted i vinteren 2020 eller nogen historiske hændelser af samme størrelsesorden.

2 Gudenåen i overblik

Gudenåen er ca. 160 km lang og oplandet til Gudenå og Randers Fjord dækker ca. 3200 km². Gudenå løber fra udspring ved Tinnets Krat mod sydøst som et regulært vandløb og efter Tørring drejer vandløbet mod nord og passerer vådområdet Uldum Kær. Gudenå løber herfra mæandrerende i en afgrænset ådal med forholdsvis godt fald forbi Vestbirk Kraftværk og Voervadsbro. Ved Klostermølle og indløbet til Mossø ændrer Gudenåens karakter. For det første fungerer Mossø som et stort centralt reservoir ved Gudenåens passage i søens vestlige del og tilløbet fra flere vandløb og Skanderborg sø i søens østlige del. For det andet mindskes åens fald betydeligt og vandstanden påvirkes af opstemninger ved Ry og Silkeborg. Åens karakter og fysiske form bliver påvirket af de store irregulære søflader i søkomplekset syd for Silkeborg. Efter passage ved Slusen og Silkeborg Langsø ændrer Gudenå sig igen til et regulært vandløb med et moderat og varierende fald i den forholdsvis snævre ådal fra Silkeborg til Kongensbro. Fra omkring Kongensbro ses tegn på opstrøms opstuvning fra Tange Sø og Tangeværket. Nedenfor Tangeværket er hældningen forholdsvis lav og ådalen bliver efter Bjerringbro gradvist bredere med udstrakte engområder. Langå umiddelbart før Nørreås tilløb til Gudenå markerer hvor langt opstrøms der kan registreres påvirkning af Randers Fjord vandstandsvariationer. Til motorvejsbroen vest for Randers fremstår Gudenå som en bred og langsomt flydende flod med vidtstrakte inddigede eller reetablerede eng- og vådområder. Herfra snævres åen ind ved Randers Bro, passerer Randers Havn og i overgangen imellem hav og kyst antager den karakter af en flodmunding i et brakvandsdelta. Yderst udmunder Gudenå via Randers Fjord i Kattegat ved Udbyhøj.

3 Formål

Projektet Climate Change Coast to Coast (C2C CC) ser på klimatilpasning i Region Midt og er støttet af EU Life. Det overordnede mål er en fælles langsigtet strategi blandt de lokale aktører, implementering af klimatilpasningstiltag i kommunale klimatilpasningsplaner og forbedring af ressourcer og kapaciteter blandt borgere, kommuner, forsyningsselskaber og virksomheder i vandbranchen. Delprojektet for Gudenå ser på klimatilpasning langs Gudenå. Projektet er tværgående for oplandet, åen og mellem de 7 kommuner, som Gudenåen løber igennem. Projektdeltagerne er Hedensted Kommune, Horsens Kommune, Skanderborg Kommune, Skanderborg Forsyning, Silkeborg Kommune, Favrskov Kommune, Viborg Kommune og Randers Kommune.

Projektet udvikler en metode og et beregningsværktøj i form af dels en hydraulisk model der giver mulighed for i sammenhæng at analysere vandstands- og vandføringsforhold for Gudenå og dels et statistisk baseret dimensioneringsgrundlag med hensyn til klimaeændringers effekt på ekstremhændelser. Modelværktøjet er anvendt til scenarieberegninger under projektet men kan også anvendes fremadrettet i forbindelse med bl.a. klimatilpasning.

Projektets første formål er at belyse omfang af oversvømmelse og skadesomkostninger. Med dette udgangspunkt skal scenarieberegninger medvirke til at give et billede af muligheder og begrænsninger i forhold til forskellige typer klimatilpasningstiltag langs Gudenå. På det grundlag undersøges det hvilke virkemidler der potentielt kan være egnede og have størst effekt i det videre klimatilpasningsarbejde og konkrete delprojekter.

Der er formuleret 8 scenarier der hver især ser på en given type virkemiddel til klimatilpasning. Et resultat fra modelanalysen er risikokort for Gudenådalene der giver et billede af det samlede problems omfang og et estimat for de forbundne omkostninger. En væsentlig pointe i forhold til analyser er at det er en omfattende og sammenhængende model for Gudenåen og kan se på både positive og negative effekter i sammenhæng i modsætning til isoleret analyse af enkeltprojekter. F.eks. kan opmagasinering af vand med henblik på at reducere oversvømmelsesrisiko på en given strækning have afledte negative effekter for andre dele af vandløbssystemet. Modellen kan benyttes til at analysere de samlede negative og positive effekter for Gudenå.

Projektets andet formål er at udarbejde et varslingsystem der kan hjælpe med løbende at vurdere udviklingen i vandstand, herunder at varsle forhøjede vandstande og oversvømmelsesrisiko. Varslingsystemet bygger på den nævnte vandløbsmodel og indbygges i et automatiseret online system til løbende at indsamle seneste måledata og vejrprognoser. Systemet gør det muligt at vurdere den aktuelle situation, hvor vandstandsforholdene er mest kritiske og hvordan udviklingen over de kommende dage sandsynligvis vil være. Det giver mulighed for via internettet at opnå overblik blandt kommunerne og eventuelt koordinere en indsats. Yderligere kan online systemet bidrage til et fælles billede og opdateret information, der også kan gavne lodsejere, grundejere og andre med interesse i oversvømmelse.

4 Modelopstilling

I første del af projektet har det primære mål været at opbygge af værktøj i form af en omfattende vandløbsmodel for Gudenå. Dette kapitel beskriver det anvendte datagrundlag, selve modelopbygningen og –kalibreringen heraf. Det gælder generelt at data er koordinat- og kotesat i forhold til ETRS89, UTM zone 32N og DVR90.

4.1 Vandløbsmodel

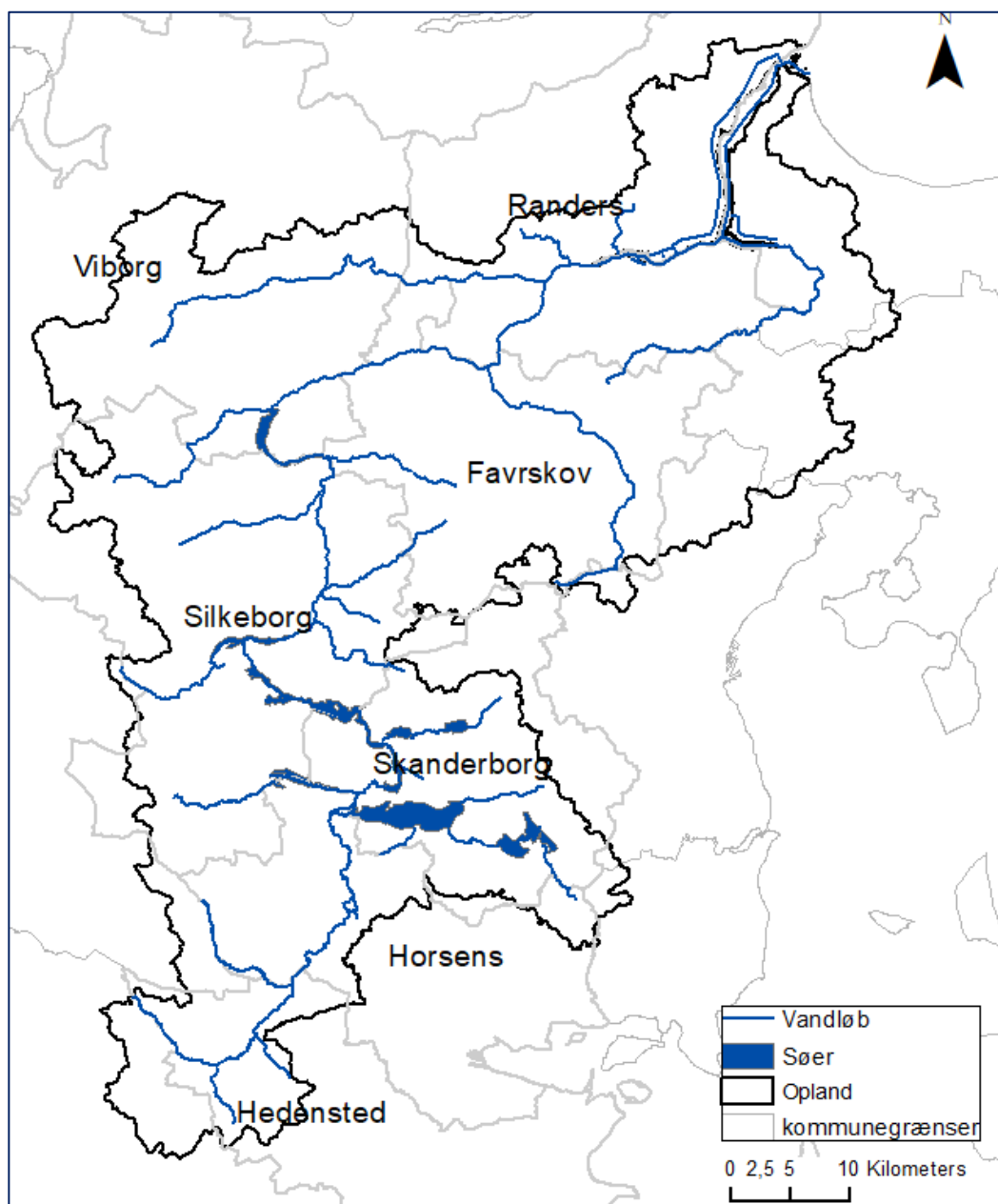
Klimatilpasning for vandløb er forbundet til håndtering og begrænsning af oversvømmelsesrisiko. En række faktorer bl.a. vandløbets kapacitet, terrænenforhold osv. afgør hvor der optræder kritisk høje vandstande og hvilke arealer og ejendomme der kan risikere oversvømmelse under nuværende og fremtidige klimaforhold. For at kunne analysere og kortlægge oversvømmelsesrisiko kræves et egnet værktøj i form af en hydraulisk model.

Formålet med Gudenå vandløbsmodel er at tilvejebringe et redskab der kan bruges dels til klimatilpasningsscenarier og del til varsling. Fokus er Gudenå og Gudenådalene hvor hovedindsatsen i forhold til vandløbsmodel og oversvømmelseskortlægning er lagt. Af hensyn til at beskrive vandføringsforløbet i Gudenå har det været hensigtsmæssigt at tilføje sidetilløb. Det er hensigten at kunne se på opstrøms til nedstrøms konsekvenser både af hensyn til klimatilpasningsscenarier og varsling. Derfor er det valgt at forlænge modellen så den dækker fra udspring (Tinnet Krat) til Randers Fjords udløb til Kattegat (Udbyhøj).

Det er valgt at opstille Gudenå vandløbsmodel i henholdsvis en opstrøms og en nedstrøms del. Opstrømsdelen (Gudenåen OS) dækker fra udspring til Silkeborg og nedstrøms del (Gudenåen NS) fra Silkeborg til Udbyhøj. Dette skyldes at oversvømmelseskort i 10 m opløsning overstiger den maksimale filstørrelse i MIKE11 softwaren og at en opdeling derfor er nødvendig. Samlet køres Gudenåmodellen i en sekvens af først Gudenåen OS og dernæst Gudenåen NS med overførsel af randbetingelser imellem de to.

Opbygning af Gudenå NS vandløbsmodel har taget udgangspunkt i den tidligere model for strækningen Silkeborg – Langå (DHI, 2014, /1 /). Den er opdateret og forlænget fra Langå til først Randers og senere igennem Randers Havn og Randers Fjord til Udbyhøj. I den forbindelse er også Alling Å og tilhørende opland tilføjet af hensyn til bedre at kunne beskrive forholdene ved Grund Fjord og Randers Fjord.

Vandløbsmodellen simulerer de hydrauliske forhold ud fra en-dimensional beskrivelse af de hydrodynamiske forhold i søer, å- og vandløbssystemer.



Figur 4-1 Vandløbsnetværk og søer inkluderet i Gudenå vandløbsmodel

4.1.1 Vandløbsnetværk

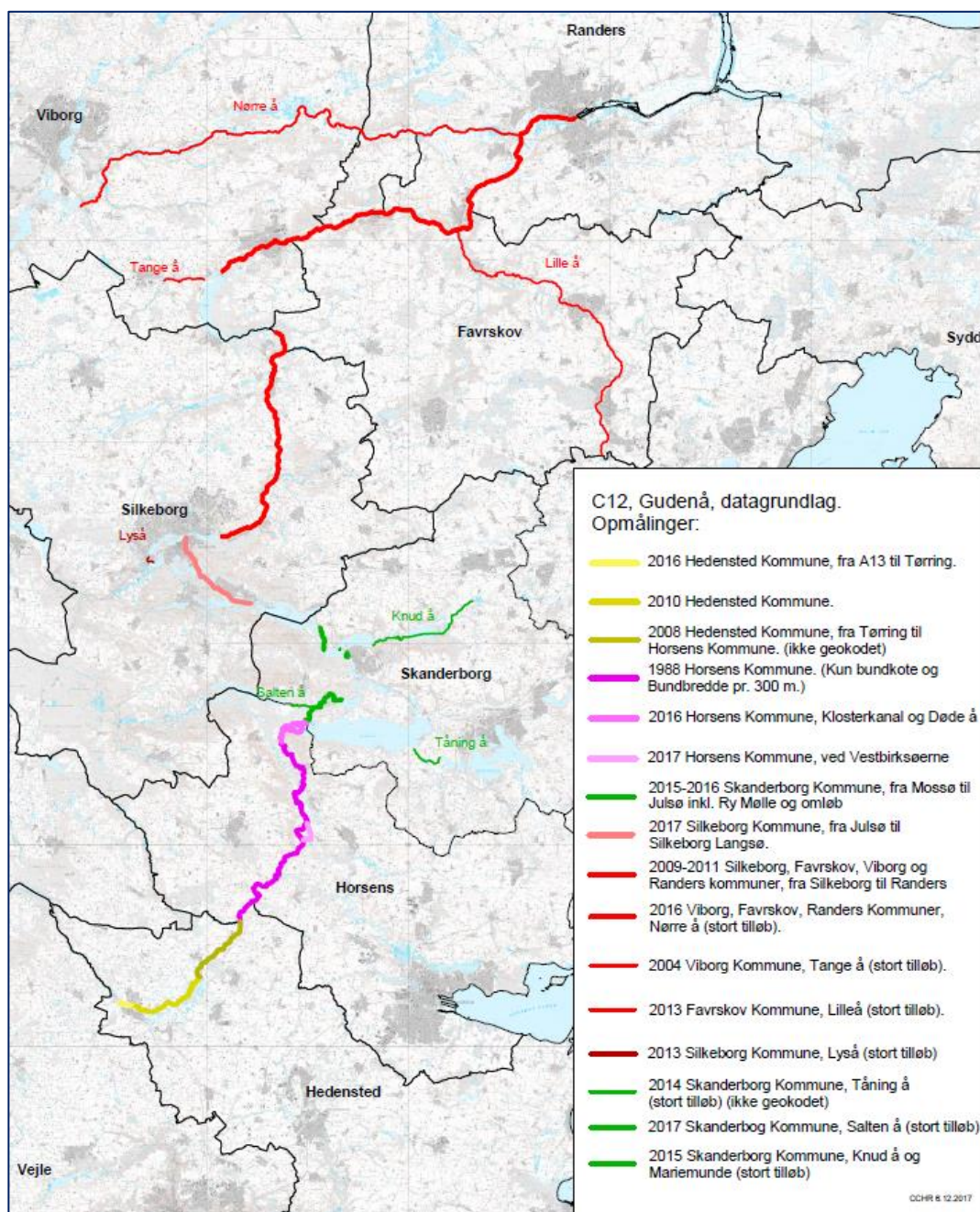
Vandløbsnetværket består af Gudenå hovedløbet og større sidetilløb indenfor oplandet, samt relevante søer. Vandløbsnetværket er illustreret i Figur 4-1. Som tidligere nævnt er modellen delt i en øvre og en nedre del. Den øvre del består af 48 forskellige grene hvoraf flere af disse grene er under-opdeling af selve Gudenåen. Den nedre del består af 30 forskellige grene hvoraf 10 af disse bliver brugt til beskrivelse af de inddæmmede områder nedstrøms Randers og ud mod Kattegat. Bilag B viser en komplet liste over vandløb medtaget i modellen.

Sidetilløbenes væsentligste funktion i modellen er at beregne afstrømning fra deloplandene til Gudenåen og de har ikke været genstand for en mere detaljeret beskrivelse i form af f.eks. vandstandskalibrering, som det er tilfældet for selve Gudenåen.

4.1.2 Vandløbstværsnit

Et tværsnit repræsenterer vandløbets dimensioner i form af bredde- og bundforhold på det pågældende sted i åen. For Gudenåen er tværsnittene generelt opmålt med en afstand af ca. 500m eller mindre. For sidegrenene/vandløbene er afstanden mellem tværsnittene meget varierende. Bilag B viser vandløbsnetværket i modellen og en indikation af hvor tæt tværsnittene er placeret for de enkelte strækninger af vandløbssystemet. Som det fremgår af figuren er der store variationer i hvor tæt tværsnittene ligger i de forskellige vandløb, generelt ligger tværsnittene tættere for selve Gudenåen.

I Figur 4-2 er vist en oversigt over tværsnitsdata kilder, samt årstal for opmåling af disse. For at kunne dække alle yderpunkter af modellen har det enkelte steder været nødvendigt at indsætte interpoleret tværsnit - hvor hældningen er skønnet ud fra topografi data. På nogle enkelte lokationer internt i modellen har det også været nødvendigt at indsætte interpoleret tværsnit for at få modellens beregningspunkter til at passe med placeringen af varslingspunkter. I få tilfælde er der foretaget en vurdering og udtynding hvor der findes meget tæt opmålte tværsnit og tværsnittene kun i ringe grad varierer.



Figur 4-2 Gudenå kommunernes oversigt over tværsnitsdata til rådighed for modellen.

4.1.3 Søer og fjord

Der findes adskillige søer i Gudenå oplandet. Søerne er i hydraulisk forstand vigtige at få repræsenteret i modellen fordi deres opmagasiningsvolumen er betydeligt og fordi de medvirker til at udjævne den hydrauliske belastning ved høje vandføringer. Søerne inkluderes for at opnå en sammenhængende hydraulisk model, men også med henblik på kunne beskrive søernes opmagasineringseffekt i forbindelse med klimatilpasningsscenarier.

Modellen inkluderer søerne som et 1-dimensionelt element på lige fod med vandløbsstrækninger. Det giver en begrænsning i forhold til at beskrive irregulær søgeometri og antagelsen om 1-D beskrivelse tager ikke højde for vindstuvning, variation

i det vertikale søprofil eller 2-D effekter, der kan forekomme på især de store søflader. 1-D modellen kan beskrive vandstandsforhold i å og søer ved vandføringsvariationer, bl.a. ved høj afstrømning i oplandet, men ikke detaljerede strømningsforhold i søerne, hverken vertikalt eller horisontalt..

Der er trukket søtværssnit ud af dybdekort for søerne i deres fulde bredde og de er forlænget ved hjælp af terrænmodellen. Den nøjagtige udstrækning af søen er tilnærmet, men kan stedvis ikke opløse alle detaljer i sølinien. Ved at inkludere begge datasæt bliver magasineringskapaciteten i modellen afhængig af vandstand automatisk beregnet ud fra bund- og terrænkoter.

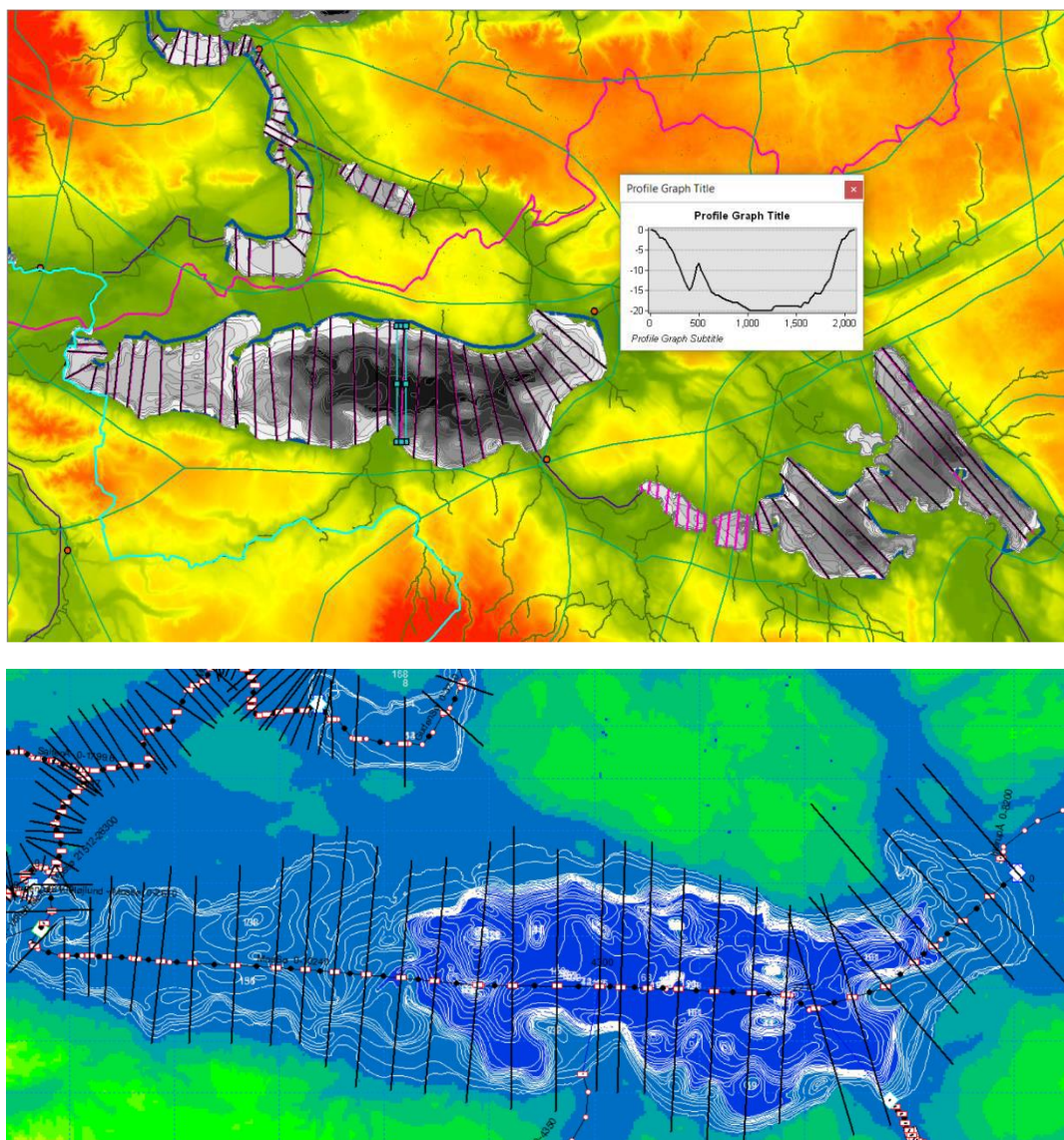
Tabel 4-1 Søer der indgår i Gudenå vandløbsmodel

Sø	Beskrevet ved
Vestbirk søerne	Papirkort med dybdekurver af ældre data Kilde : Horsens K.
Skanderborg Sø, Vrold Sø. Tånnings Sø, Mossø	Sødybde konturkort Kilde : Skanderborg K.
Gudensø	Sødybde konturkort Kilde : Skanderborg K.
Birksom Sø	Sødybde konturkort Kilde : Skanderborg K.
Ravn Sø, Knud Sø	Sødybde konturkort Kilde : Skanderborg K.
Julsø, Borresø, Brassø	Sødybde konturkort Kilde : Skanderborg K.
Ørnsø, Silkeborg Langsø	Sødybde konturkort Kilde : Skanderborg K.
Tange Sø	Sødybde konturkort Kilde : Silkeborg K.

4.1.4 Søtværssnit

For at beskrive vandførings- og vandstandsforhold i Gudenå er det nødvendigt også at inddrage søer. Det antages i den hydrauliske vandløbsmodel at strømmingen i både vandløb og søer overvejende er en-dimensionel beskrevet ved en middelhastighed over hele tværssnittet. Det vil sige at 2-D effekter, genereret ved f.eks. vinddrift eller lagdeling, ikke er medtaget. I modelteknisk forstand består forskellen imellem et vandløb og en sø i tværssnits-dimensioner og parametre. Overfladeareal og tværssnitsareal ekspanderer markant ved vandløbets indløb til søen og modsat ved udløbet af søen. For at indlægge en sø er det ønskeligt at kunne beskrive tværssnitsvariationer for hele forløbet. Data til tværssnitbeskrivelse af søer er hentet fra sødybdekort der viser målte dybdekonturer. Der er trukket et antal tværssnit ud der kan beskrive den varierende bredde af søen. I tilfælde af irregulær søgeometri vil de en-dimensionelle profiler kun tilnærmelsesvis kunne opløse

søbred og dybevariationer. En stor indsats har været gjort for at opnå en god tværsnitsbeskrivelse for den hydrauliske beregning og for oversvømmelseskortlægningen omkring søerne. Det betyder at søtværnsnit trukket ud af dybdekort er forlænget med data fra terrænmodellen på hver søbred så geometri og volumen i modellen kan beskrives i hele udstrækningen af både søer, vandløb og tilstødende oversvømmede arealer.



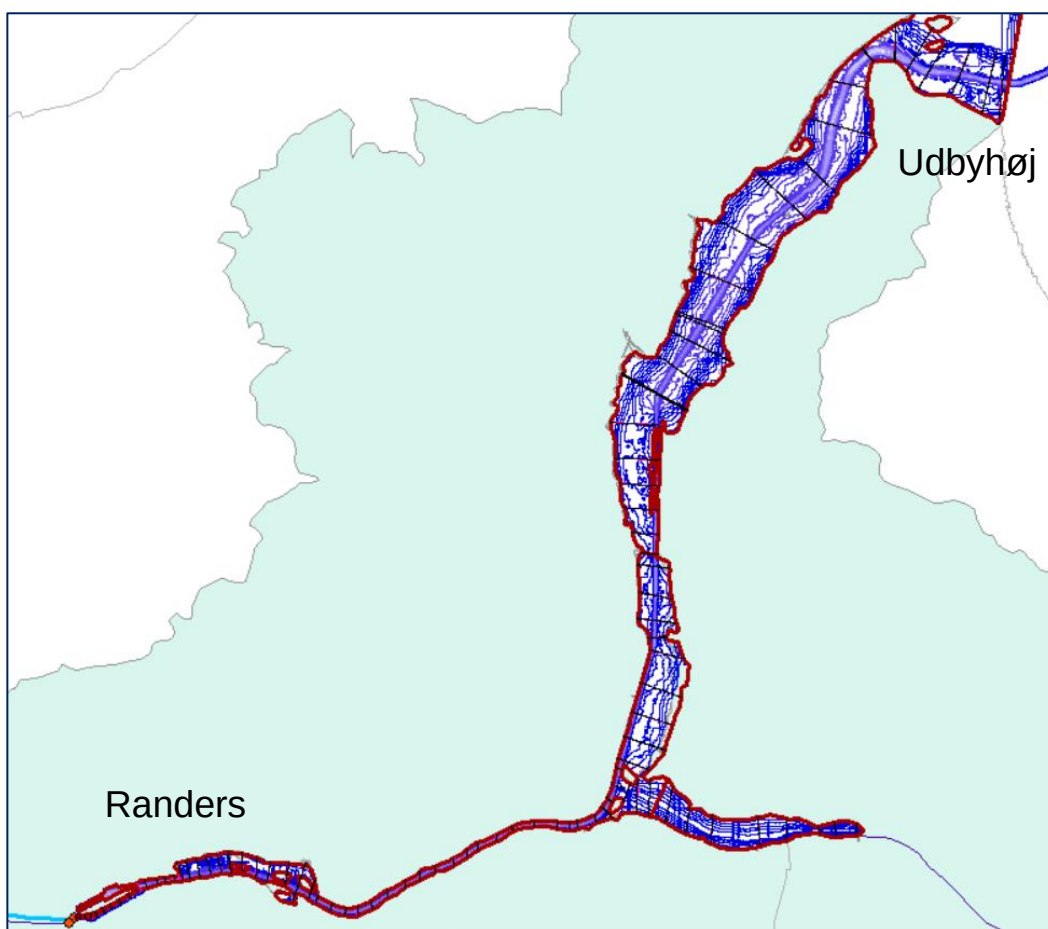
Figur 4-3 Eksempel på tværsnitsdata hentet fra sødybdekort ved Mossø og i vandløbsmodellen efter forlængelse af sø- og vandløbstværnsnit med terrænmodel data. Figuren viser terrænkoter, sødybdekurver, vandløbsnetværk og tværnsnit.

4.1.5 Fjordtværnsnit

Gudenå udmunder i Kattegat ved Udbyhøj via Randers Fjord. Da projektet vedrører Gudenå har det ikke været formålet at beskrive strømningsforholdene i Randers Fjord med vandløbsmodellen. Det er dog alligevel valgt at forlænge Gudenå vandløbsmodel med en grov 1-D model af Randers Fjord. Dette er gjort for at kunne varsle vandstandsforholdene i nedstrøms del af Gudenå hvor vandstanden ved Kattegat kan være vigtige for kritisk høje vandstande ved Randers. Der findes reeltids vandstandsdata for Kattegat ved Udbyhøj men der sker en tidsforskydning ved vandstandsændringer på kysten igennem den langstrakte Randers Fjord.

Opstuvningen fra Randers Fjord aftager længere opstrøms og kan normalt ikke registreres opstrøms Langå. Randers Fjord er lang og forholdsvis snæver hvor antagelsen om primært om 1-D strømning er rimelig. Modellen tager ikke hensyn til vindpåvirkning eller lagdeling forårsaget af temperatur eller saltvand. Strækningen imellem Randers og Udbyhøj er forholdsvis groft beskrevet i forhold til selve Gudenå løbet og fjorden er ikke selvstændig kalibreret. Modelresultater for fjorden er derfor ikke nødvendigvis så præcise som selve Gudenå og må derfor fortolkes med større forbehold.

Som det er tilfældet for søerne er der dannet tværsnit fra Randers og til Kattegat inklusiv Grund Fjord ud fra informationer om dybdeforhold. Det vil sige konturlinjer over dybdeforhold ved sejlrenden kombineret med søkort for den fladvandede del af fjorden ud til kystlinjerne. I sejlrenden er tætheden af dybde data meget høj, men for den fladvandede del af fjorden er data begrænsede og baseret på punktdybde målinger. Langs polygon for fjordens kystlinje er dybden nul benyttet. Figur 4-4 viser dybdekonturlinjer og tværsnit igennem Randers og Grund fjorde.



Figur 4-4 Tværsnit langs Randers Fjord fra Randers til Udbyhøj (dybdekonturlinjer i sejlrende og fjord)

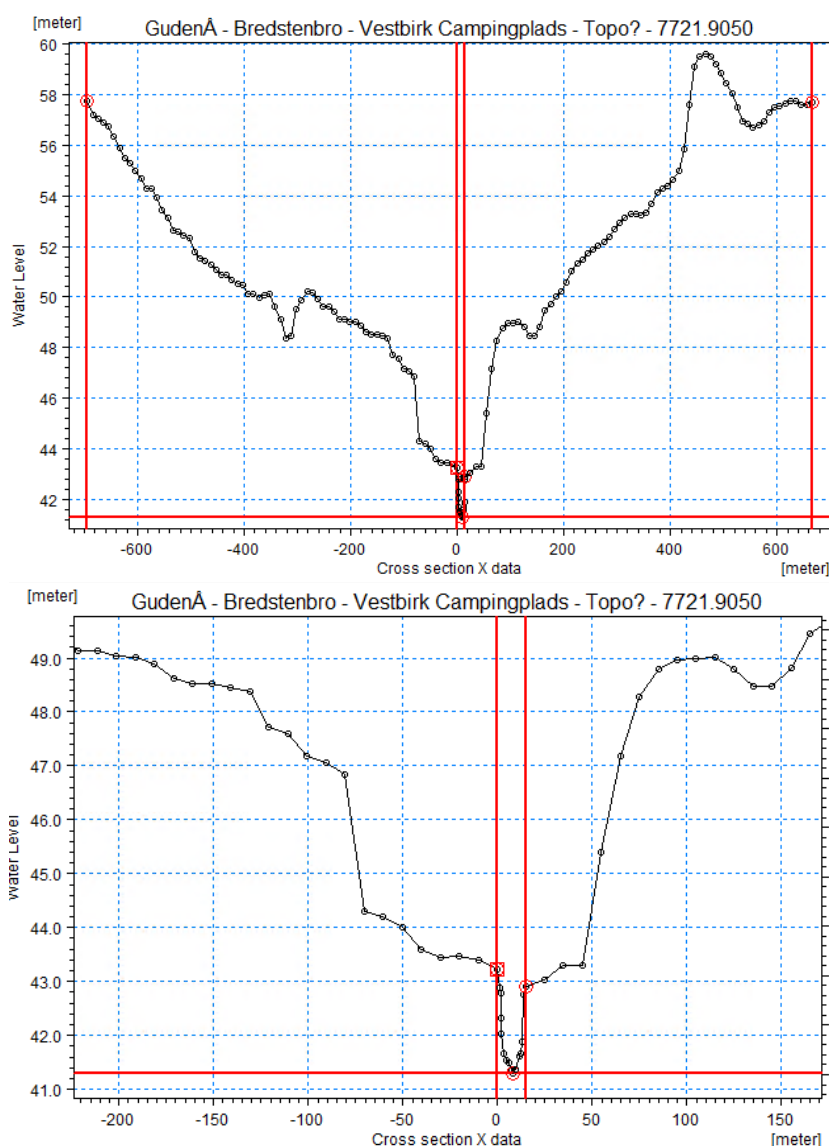
4.1.6 Udvidelse af tværsnit i forhold til terrænmodel

Som tidligere beskrevet er de opmålte tværsnit blevet lagt ind i modellen i forhold til stationeringen på opstrøms og nedstrøms del af modellen. Tværsnitsopmålinger afgrænser sig til selve vandløbs bredde samt eventuelt breder. Under normale omstændigheder holder vandstanden sig indenfor vandløbsprofilet, men klimatilpasningsprojekter sigter imod store afstrømningshændelser, hvor vandløbs kapacitet overskrides, vandløbene løber over deres bredder og ådalen bliver en del af det

samlede gennemstrømmede areal. For Gudenåen er alle tværsnit blevet forlænget/udvidet på tværs af ådalen med data fra 0,4 m digital terrænmodel (DTM). Det betyder at tværsnittene både beskriver det opmålte tværsnit og terrænforhold på tilstødende arealer (se Figur 4-5). Ved at inkludere terrænmodellen langs åen er det muligt at beregne oversvømmelsen i forbindelse med at åen går over sine bredder.

Gudenå vandløbsmodel er konstrueret til primært at analysere konsekvenser langs Gudenåens ca. 160 km lange hovedløb. Derfor er tværsnitsdata for de større sidetilløb ikke blevet forlænget/udvidet. Skanderborg Sø-Mossø komplekset har haft speciel fokus og derfor er tværsnit for denne del også blevet udvidet/forlænget.

De inddigede områder ved Randers Fjord er beskrevet med side-grene for derved korrekt at kunne repræsentere det volumen, der vil blive aktivt ved høje vandstande. Hvis ikke de inddigede områder var skematiseret som side-grene, men blot som en del af den "normale" å-gren, så vil modellen antage at der er et for stort volumen ved lavere vandstande og derved beregne en for lav vandstand. Mht. oversvømmelseskortet vil dette betyde at der ville vises vand på terræn indenfor de inddigede områder. Ved høje vandstande (hvor digerne er oversvømmet) vil modellen godt kunne modellere vandstanden korrekt, samt at oversvømmelseskortet vil have en korrekt udbredelse. Ved at skematisere de inddigede områder som side-grene vil modellen kunne simulere både høje og lave vandstande korrekt. Der kan være eksempler på mindre afgrænsede arealer hvor inddigingen ikke er repræsenteret i modellen.



Figur 4-5 Eksempel på tværsnit som er udvidet med data fra topografien. Øverst det total tværsnit og nederst er der zoomet til området omkring det opmålte tværsnit.

4.1.7 Oversvømmelseskort

MIKE11 er en en-dimensionel hydraulisk vandløbsmodel, hvor henholdsvis vandføring og vandstand simuleres i hvert tidsskridt i hvert beregningspunkt i vandløbsnetværket. Oversvømmelser har en to-dimensionel udbredelse i ådalen og for at danne et sammenhængende oversvømmelseskort imellem beregningspunkter udføres der en interpolation imellem tværsnittene i beregningspunkter i forhold til terrænmodellen.

Oversvømmelse i Gudenådalen sker ofte i forbindelse med store afstrømningshændelser, men den maksimale vandstand findes tidsforskudt fra opstrøms mod nedstrøms del. Det kan tage i størrelsesorden timer til dage før et maksimum på vandløbshydrografen opstrøms ses som et maksimum nedstrøms. I forhold til risikokortlægning er det ikke timingen, men den maksimale vandstand og oversvømmelsesudbredelse der er interessant. Derfor er det valgt at gemme det maksimal oversvømmelseskort som grundlag for udarbejdelse af risikokort.

Som tidligere beskrevet er de opmålte tværsnit blevet lagt ind i modellen i forhold til stationeringen på opstrøms og nedstrøms del af åen. For Gudenåen er alle tværsnit blevet forlænget/udvidet på tværs af ådal eller sø. For søer med irregulær geometri kan opløsningen af detaljer, herunder søbreddens variation med 1-D profiler være vanskelig, men den er tilpasset i det omfang det har været muligt.

Terrænmodellen (i 10 m opløsning) bruges i varslingsøjemed til at beregne et oversvømmelseskort for et udsnit af Gudenåmodellen. Oversvømmelseskortet har også en opløsning på 10 m. Oversvømmelseskortet dannes ved at den lokalt maksimale vandspejlskote i åen sammenlignes med terrænkoten for det omkringliggende terræn. Hvis vandspejlet er højere end terrænkoten, så er der vand på terræn. Et eksempel på en oversvømmelseskort er vist i Figur 4-6. Det er Gudenåens hovedløb der har været i fokus og derfor er det i dette område oversvømmelseskortet repræsentativt.

Oversvømmelseskortet er som tidligere beskrevet den maksimale udbredelse af vandoverfladen for hele simuleringsperioden, det betyder også at kortet ikke er et øjebliksbillede af en hændelse for hele Gudenå systemet.



Figur 4-6 Oversvømmelseskort. Det er for Gudenåens hovedløb at kortet primært er gældende

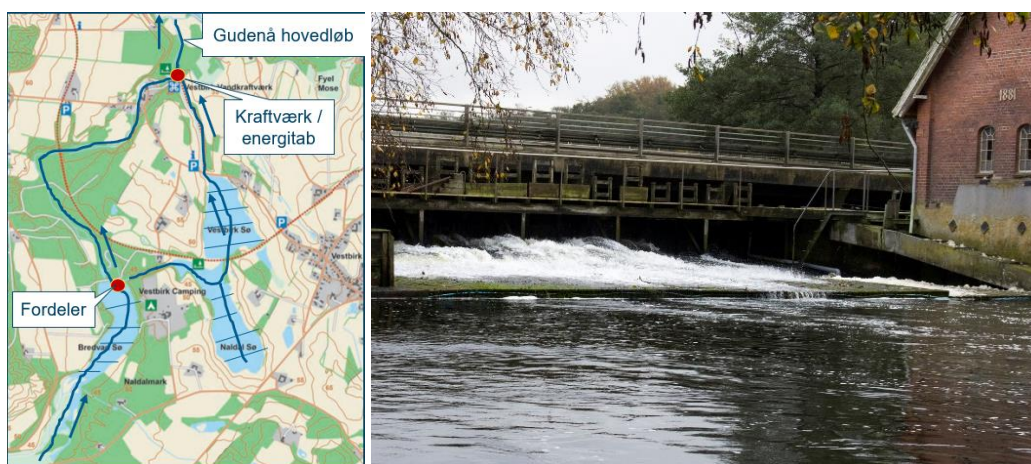
4.1.8 Bygværker og vandstandsregulering

Der er identificeret seks bygværker der har indflydelse på vandstandsforhold. Det drejer sig om Bredvad Mølle, Vestbirk Kraftværk, Klostermølle, Fuldbro Mølle, Ry Mølle, Slusen i Silkeborg samt Tangeværket. For Vestbirk Kraftværk, Ry Mølle og Tangeværkets vedkommende er anlæggene indrettet til vandkraftproduktion. Alle anlæggene fungerer som gennemstrømningsstrukturer med omløb eller frisluser.

Vandstandsregulering ved vandkraftsanlæggene sker i nogen grad af hensyn til at øge elproduktion, men det gælder for alle anlæg at flodemål skal overholdes. Det har i projektet ikke været muligt at finde faste regler for hvordan gennemstrømning reguleres. På baggrund heraf er det konkluderet at bygværkerne fungerer som en passiv gennemløbsstruktur og at ekstracapacitet i form af sluser kun tages i anvendelse når vandstanden nærmer sig flodemålet.

Ved Vestbirk sikrer modellens bygværksbeskrivelse at der opnås den foreskrevne fordeling af vandføring imellem på den ene side kraftværkskanal, søer og kraftværk og på den anden side det oprindelige Gudenå løb. Horsens Kommune oplyser at der ved Bredvad Sø typisk ledes 1,5 m³/s igennem det gamle åløb med et minimum på 0,9 m³/s. Ved maksimal produktion ledes der op til 5 m³/s gennem kraftværket. Overstiger vandføringen summen af de to (5,9 m³/s) ledes vandet igennem Gudenå. Disse regler for vandfordeling er bygget ind i vandløbsmodellens strukturbeskrivelse. Bedømt ud fra vandføringsmålinger ved Voervadsbro når vandføringen i tørre somre ned omkring 1,5 m³/s og hver vinter ligger vandføringen i længere perioder over 5,9 m³/s med maksimum op til 36 m³/s.

Ved Klostermølle fordeles vandføringen ved Riværket imellem Døde Å og Klosterkanal. Det igangværende restaureringsprojekt ved Døde Å vil betyde at langt størstedelen af vandføringen fremover ledes igennem Døde Å. Modelbeskrivelsen baserer sig på gældende fordelingskurve modtaget af Horsens Kommune der foreskriver at størstedelen af vandføringen ledes igennem Klosterkanal ved lave vandføringer, dog maksimalt op til 10 m³/s. Kurven er tilnærmet i modellens strukturbeskrivelse.



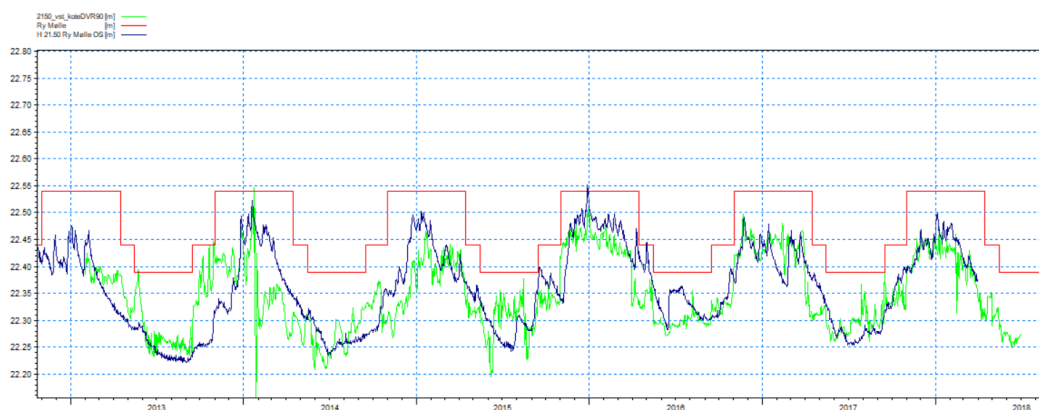
Figur 4-7 Ved Vestbirk (venstre) og Ry Mølle (højre)

I forbindelse med (Gudenå vandløbsmodel, 2014, /1/) blev Tangeværket kontaktet for at få oplysninger om vandstandsregulering, turbinedrift og hvilken vandføring der udledes fra Tange Sø. Det blev bl.a. oplyst at der sigtes mod at holde Tange Sø vandspejl på kote 13.55 m +/- 5 cm og at der altid kører minimum en turbine og at antallet kan øges til 3 når vandstanden nærmer sig 13.60 m. Dertil kommer frisluse. Tange sø er i lighed med øvrige søer beskrevet ved søtværnsnit og dermed magasineringkapaciteten ved vandstandsvariationer. Tangeværket er repræsenteret som et overløbsbygværk med en

kronebredde på 20m. Formålet med bygværket er at holde vandstanden i Tange Sø på en værdi varierende mellem 13.50m og 13.60m.

Bygværk	Flodemål	Struktur type	Struktur beskrivelse
Vestbirk		Q-fordeling	Jvf. Q-fordelingsregler
Klostermølle		Q-fordeling	Jvf. Q-fordelingsregler
Fuldbro Mølle	23.45 m	Overløb	11 m bred overløbsstruktur
Ry Mølle	22.54 m	Overløb	20 m bred overløbsstruktur
Slusen, Silkeborg	20.97 m	Overløb	30 m bred overløbsstruktur
Tangeværket	13.57 m	Overløb	20 m bred overløbsstruktur

Beskrivelsen af bygværker har i projektet været drøftet i forhold til flodemål. Kommunerne bekræfter at anlæggene generelt overholder flodemål ved at aktivt at holde vandstanden nede og om nødvendigt øge gennemstrømningen igennem bygværket eller de tilknyttede omløb eller sluser. Figur 4-8 viser flodemål ved Ry Mølle og hhv. målt og modelsimuleret vandspejlskote. Der er generelt god overensstemmelse imellem modelberegnet og målt vandstand. Dog bemærkes bl.a. i januar 2014 et pludseligt fald i målingen selv om vandstanden er på vej op. Det må tilskrives aktiv regulering for at forhindre overskridelse af flodemål. Generelt holdes vandstanden ifølge målingen under eller på flodemål. Modellen overskrider i tre tilfælde flodemålet med 2-16 cm. Hvis praksis vedrørende flodemål skal afspejles må modellen tilpasses. Da registrering eller regler for regulering ikke findes vil det i stedet kræve at der indlægges en ekstra kapacitet tæt under flodemål.



Figur 4-8 Vandspejlskoter (y-akse) for perioden 2013-2017, flodemål (rød), målt vandstand (grøn) og modelsimuleret vandstand (blå) opstrøms Ry Mølle.

Det antages at flodemål kan holdes op til en given vandføring. I modelscenarier regnes på 5-100 års vandføringshændelser inklusiv effekt af klimaændringer hvilket bringer maksimalvandføringen op på kritisk høje niveauer hvor bygværkernes kapacitet overskrides og flodemål sandsynligvis ikke vil kunne holdes. I forhold til modelberegningen er det ønskeligt at reflektere flodemålspraksis så for høje vandstande opstrøms anlæggene med oversvømmelse til følge undgås. De enkelte anlægs kapacitet kan være svær at vurdere og der er valgt en ensartet målestok svarende til at anlæggene antages at kunne holde flodemålet op til en T=20 år hændelse. Der er indlagt ekstra vandføringskapacitet i et niveau lige under flodemål der skal repræsentere omløb- og slusekapacitet og holde vandstanden nede omkring flodemål ved hver bygværk. Maksimal vandstand ved en T=20 år vandføring er beregnet til 22,43 m ved Fuldbro

mølle, 22,56 m ved Ry Mølle, 20,99 m ved Slusen i Silkeborg og 13,60 m ved Tangeværket. Antagelsen om anlæggenes maksimale kapacitet svarer til en 20 års hændelse har betydning for vandstand og oversvømmelse ved bygværkerne. Kapacitet af omløb og sluser er heller ikke kendt for alle bygværkerne. Hvis grundlaget for modellen skal styrkes på dette punkt vil samhørende målinger af vandstand og vandføring umiddelbart opstrøms og nedstrøms bygværker ved høje afstrømningshændelser være nødvendigt i en tilstand hvor alt er åbnet maksimalt. For en gentagelsesperiode på 20 år ($T=20$ år) er statistik for vandføring beregnet for 5 stationer (Tabel 6-1) og imellem disse beregnes vandføringer ved hjælp af vandløbsmodellen. Der er for $T=20$ år estimeret vandføringer på hhv. 34 m³/s ved Ry Mølle, 38 m³/s ved Silkeborg og 66 m³/s ved Tangeværket.

Af hensyn til at flodemål ved Ry Mølle ikke varsles overskredet i prognoseperioden og bedre afspejler reguleringen i forhold til de tre årlige flodemålsniveauer er strukturbeskrivelsen ændret i varslingsmodellen. Det modelberegnete vandspejl opstrøms møllen følger nøje den målte. I prognoseperioden findes ingen måling og i stedet styres strukturen til at lægge sig tæt op af det på tidspunktet gældende flodemål. Det svarer til en antagelse om at gennemstrømningen op til sin maksimum kapacitet altid reguleres rettidigt. Stiger vandføringen i prognoseperioden åbnes bygværket automatisk indtil flodemål holdes.

4.2 Oplandsmodel

Oplandsmodellen omfatter hele Gudenå oplandet samt oplandet til Randers Fjord. Oplandsmodellen er en integreret hydrologisk model hvis primære funktion er at beregne afstrømningen til den hydrauliske vandløbsmodel. I simuleringsperioden beregner oplandsmodellen i hvert tidsskridt afstrømning der tilføres vandløbsnetværket. Oplandet er afgrænset ud fra de topografiske vandskel udtrykt i Miljøministeriets oplandskort udarbejdet i forbindelse med vandplaner for hovedoplande i Danmark, herunder Randers Fjord.

Input til oplandsmodellen er nedbør. Nedbør kan løbe af overfladisk f.eks. på befæstede lavpermeable arealer. Alternativt vil den infiltrere til jordens umættede zone hvorfra der sker fordampningstab og den resterende del perkolerer til den mættede grundvandszone. Ved høj grundvandsstand over drændybde genereres drænastrømning der særlig i vinterhalvåret og ved store afstrømningshændelser udgør en stor del af vandføringen. Grundvandsafstrømning til Gudenåen sker mere jævnt over året og udgør en væsentlig andel af sommervandføringen.

Der er opstillet en integreret hydrologisk model og vandløbshydraulisk model i form af en koblet MIKE SHE og MIKE 11 model med hovedvægt på sidstnævnte.

Gudenå oplandsmodel anvender DK-modellens beskrivelse under terræn, herunder jordprofiler og grundvandslag. DK-modellen er en landsdækkende hydrologisk model, udviklet af GEUS, som har til formål at kunne opgøre grundvandressource, indvinding og udveksling med vandløb. Den indeholder en simpel vandløbsmodel, der ikke er egnet til beskrivelse af vandløbshydraulik og vandstand i vandløbsnetværk. DK-modellen består af 7 delmodeller, hvoraf delmodel 5 er benyttet som udgangspunkt for opstillingen af oplandsmodellen til Gudenåen. DK-modellens overfladedel er erstattet af den udviklede vandløbsmodel. Da den regionale DK-model har til formål at beskrive den overordnede vandressource i hele Danmark, kan den som udgangspunkt ikke opfylde de formål, som er defineret for brugen af modellen for oplandet. Der er derfor foretaget justeringer og opdateringer i de enkelte modelkomponenter (bl.a. vandløb, terræn, arealanvendelse og afstrømning fra befæstede arealer). Fremgangsmåden er beskrevet i DHI 2014, /1/.

På og over overfladen er alle hydrologiske komponenter udskiftet hvilket vil sige

- Model nedskaleret til 250 m. Dette betyder at afstrømningsprocesser beskrives på 250 x 250meter skala.
- Klima data er opdateret. Dette gælder både nedbør, reference fordampning og temperatur.
- En ny terrænmodel er indlagt
- Den detaljerede hydrauliske vandløbsmodel er benyttet

MIKE SHE modellen benyttes til beskrivelse af vandets strømning i den landbaserede del af det hydrologiske kredsløb. MIKE SHE er opbygget i komponenter, som hver især beskriver de enkelte dele af det hydrologiske kredsløb.

De enkelte komponenter kan vælges til og fra, hvilket gør modellen anvendelig til simulering af et bredt spektrum af opgaver. I nærværende opgave beregner MIKE SHE både overflade- og grundvandsbaserede processer. MIKE SHE indeholder en beskrivelse af fordampning, strømning på overfladen, strømning gennem den umættede zone og strømning i den mættede zone. Da afstrømningen fra oplandet vil afhænge af om den forudgående periode har været tør eller våd er modellens udgangspunkt (starttilstand) for henholdsvis en sommer- eller vintersituation givet ved grundvandsstand og jordens vandindhold. Modellen beskriver således ikke kun isolerede enkelthændelser men udviklingen over en periode med varierende klimaforhold.

MIKE 11 modellen er en én-dimensional hydraulisk model til beskrivelse af de hydrodynamiske forhold i søer, å- og vandløbssystemer, dvs. vandstande og vandføring. MIKE11 modellen indeholder en beskrivelse af modstandstal (Manning tal) og herunder strømningsmodstand relateret til grøde. Afstrømningen fra mindre vandløb i den øverste del af vandløbssystemet, herunder grøfter og markdræn er ikke inkluderet i modellens netværk, tilstrømningen via disse er beskrevet ved brug af dræningsmodulet i MIKE SHE. I modellen afledes terrænnært infiltrerende vand til vandløbssystemet, når grundvandsniveauet er højere end et specificeret drænniveau (skønnet til 1 meter under terræn svarende til frostfri dybde). Mængden af drænvand, der afledes til vandløbssystemet beregnes som funktion af aktuelt grundvandsstand og det angivne drænniveau. Denne beregning udføres for hver beregningscelle i oplandsmodellen og drænvandet tilføres vandløbsnetværket.

Udvekslingen mellem grundvand og vandløb foregår ved at der udveksles vand mellem MIKE SHE og MIKE 11 modellen afhængigt af de aktuelle vandstande i både vandløbet og grundvandsmagasinerne i ådalen. De beregnede vandstande i vandløbet bruges i hvert tidsskridt til at beregne overførslen af vand imellem oplandsmodellens grundvandskomponent og vandløbsmodellen. Typisk vil grundvandsudstrømningen til Gudenåen udgøre en betydelig andel af middelvandføringen i sommermånederne hvorimod der i vinterhalvåret ofte kan ske en strømning ud af åen til de omkringliggende arealer. I nedstrøms del af Gudenåen, Bjerringbro-Langå, er ådalen relativ bred og vandløbets bundhældning aftager hvilket bevirker at der i vinterhalvåret ses længerevarende perioder med vand på terræn langs åen. Det betyder samtidigt at grundvandsspejlet i det terrænnære grundvandsmagasin indstiller sig på samme niveau som vandspejlskoten på de oversvømmede arealer, jorden er fuldt vandmættet og dræningen til åen foregår langsomt. Den sæsonvarierende interaktion i ådalen imellem grundvand og overfladevand er vigtig i forhold til vandstand og vandføring i åen og er repræsenteret i den koblede oplands- og vandløbsmodel.

4.2.1 Klimadata

Meteorologiske basisdata i form af nedbør, potentiel fordampning og temperatur indgår i modellen som inputdata.

Nedbør

Nedbør er af stor betydning for beregningen af afstrømning i oplandsmodellen og tilstrømningen til vandløbsnetværket. Gudenå vandløbsmodellen har det dobbelte formål at fungere som scenarie analyseværktøj og varslingsmodel. Det sætter særlige krav til nedbørsdata da de på den ene side skal beskrive fordelingen i tid og sted, men samtidig være til rådighed i realtid med hensyn til varslingsmodel. DMI driver et stort antal nedbørsstationer i Danmark og har på det grundlag udarbejdet det landsdækkende DMI klimagrid produkt med daglig nedbør i 10 km² opløsning. Klimagrid udarbejdes tidsforskudt på grundlag af data fra nedbørsmålere og er derfor ikke tilgængeligt i realtid. En del af nedbørsmålernes driver DMI for Spildevandskommiteen (SVK). De er placeret hos kommuner og forsyninger over hele landet og kan desuden downloades i realtid. Det betyder at SVK data er velegnede til realtidsformål så som realtids varslingsmodeller, men stationsdækningen er mindre end DMIs samlede klimastationsnetværk.

Nedbørsinput til oplands- og vandløbsmodel er derfor baseret på SVK data. Alle til rådighed værende stationer i og omkring oplandet er gennemgået. Stationer der er udgået af drift, har meget uregelmæssig drift eller har korte tidsserier er udeladt. Tilbage er følgende stationer jvf. Tabel 4-2. Korrektionsfaktor er beregnet i forhold til akkumuleret DMI grid nedbør ved stationen. Målerens driftperiode er vist, men der forekommer udfald i data i perioder.

Tabel 4-2 SVK nedbørsstationer, datadækning, middelnedbør 2000-2010 (mm/år) og korrektionsfaktor

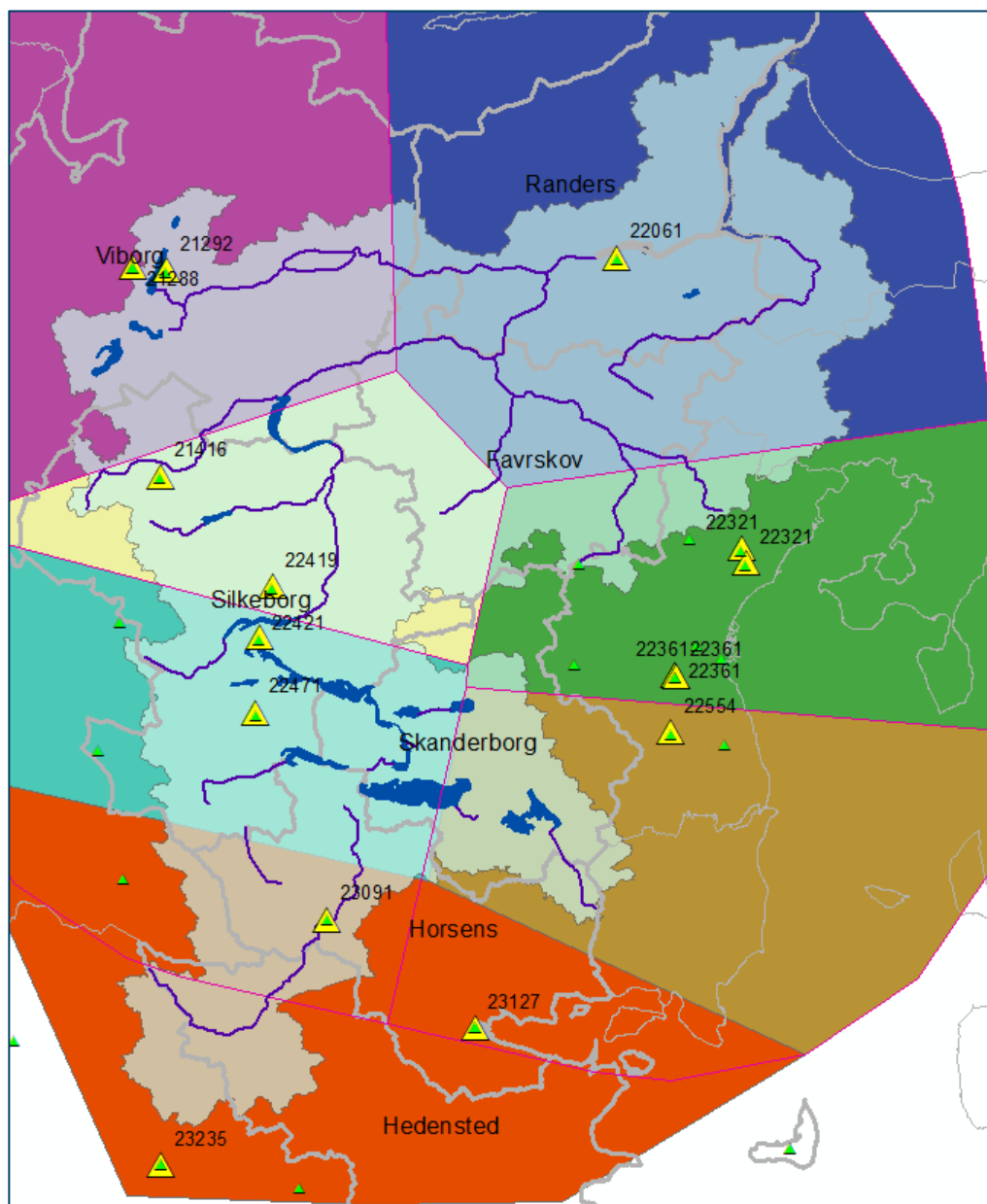
Station	Periode med data (svk.dmi.dk)	Middel nedbør (mm/år)	Korr. faktor
23325 Jelling Reningsanlæg	2009 -	1006	1.12
23091 Horsens Centralrenseanlæg	1993 -	905	1.30
22554 Trankær Rensningsanlæg	1989 -	839	1.15
22361 Viby J. * rensningsanlæg	1979 -	942	1.15
22421 Silkeborg Vandværk	1979 -	956	1.15
21292 Viborg Hedeselskabet	2005 -	867	1.30
22061 Randers Centralrenseanlæg	2004 -	854	1.25

**Viby J. Måler ude af drift i 2012-2017 og erstattet af data fra station 22421*

Det har været nødvendigt for stationer med dataudfald at huldudfylde tidsserien ved brug af nærmeste nabostation. Det bemærkes at det overordnede nedbørsbillede i oplandet viser størst nedbør i opstrøms del af oplandet og mindst i nedstrøms del. Den aftagende nedbørsmængde fra syd-vest mod nord-øst stemmer godt overens med lavtrykssystemer fra vest og højere terrænkoter i oplandets øvre del.

Den rumlige fordeling af nedbøren fra de enkelte stationer er foretaget ved brug af Thiessen polygoner, hvilket vil sige en underopdeling af oplandet ud fra afstand til målestationer. Det er en tilnærmelse da den målte nedbør i et punkt ikke beskriver variationer i det område polygonet dækker og imellem stationer, som f.eks. v.hj.a. radar. Den målte nedbørstidsserie benyttes direkte i modellen. Det vil sige at der ikke beregnes middel time eller middel døgn nedbør men at hver nedbørshændelse er repræsenteret ved et starttidspunkt, et sluttidspunkt og den nedbørsmængde (mm) der registreres indenfor perioden. Fordelen er at den målte intensitet og varighed af nedbørshændelse

fastholdes og ikke udglattes. Tidsserien kan løbende forlænges med realtidsdata i forbindelse med varsling.



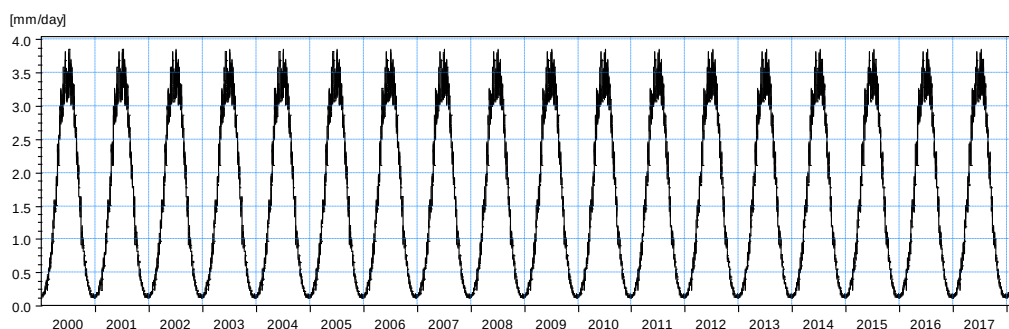
Figur 4-9 Nedbørsstationer i Gudenå oplandet og inddeling i Thiessen polygoner

Fordampning

Det aktuelle fordampningstab beregnes af oplandsmodellen på baggrund af referencefordampning (potentiel fordampning), arealanvendelse samt den tilgængelige mængde vand på overfladen samt vandindholdet i rodzonen.

Referencefordampningen kan udvise dag til dag variation men følger sæsonvariationer over året styret af vegetation og temperatur. I forhold til nedbør er den rumlige variation i fordampning langt mindre. Modellens input er tidsserie med daglige værdier af referencefordampning. Ud fra DMI's 20 km klimagrid for potentiel fordampning, er en middel daglig værdi beregnet over en årrække og som gennemsnit for oplandet. Gennemsnitstidsserien er vist i Figur 4-10. Referencefordampningen svinger imellem ca.

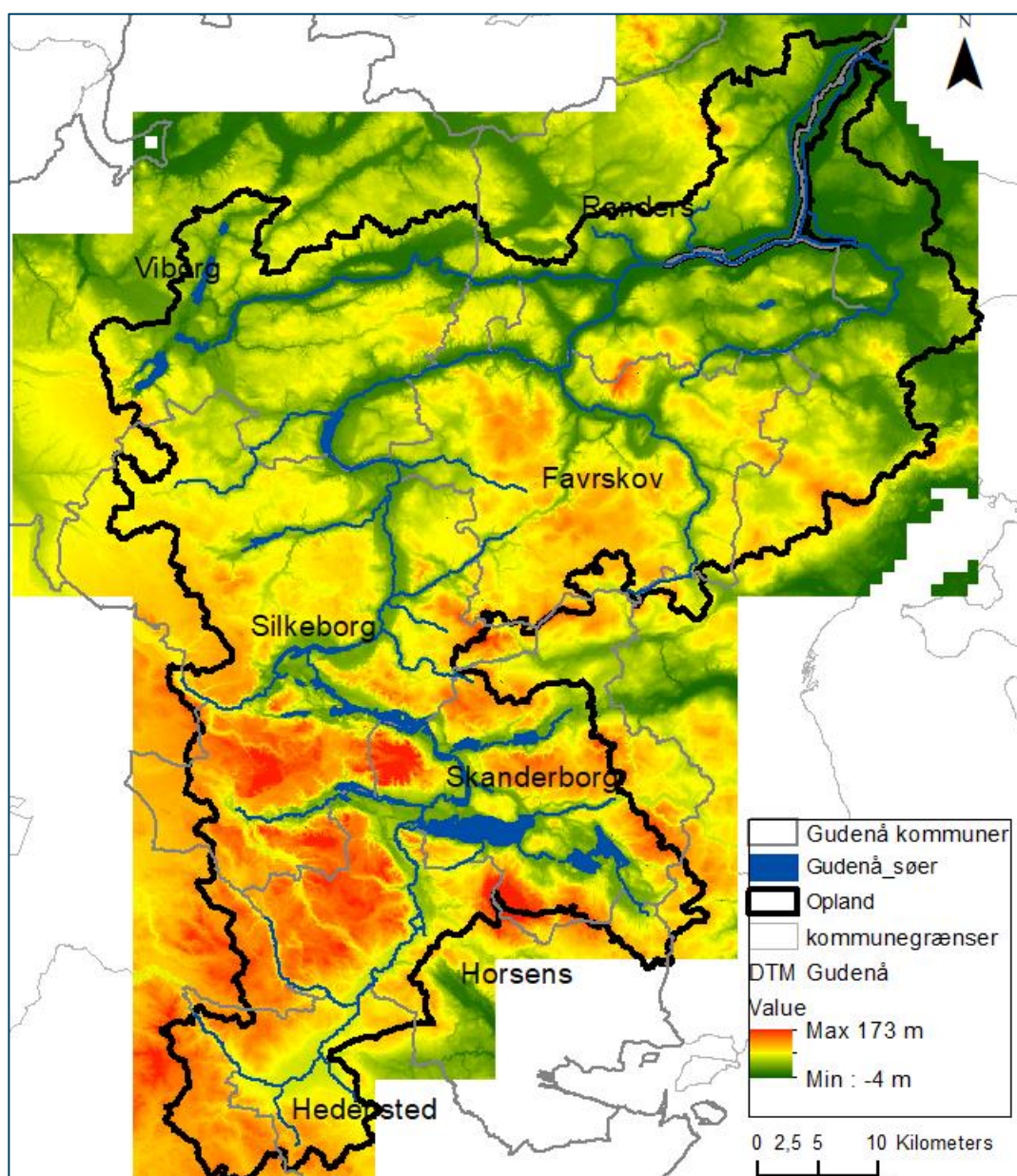
0,1 mm/dag i januar og 3,5 mm/dag i juli. Der findes ingen reeltids referencefordampningsdata og i varslingen følges de årlige gennemsnitskurver.



Figur 4-10 Tidsserie for referencefordampning (mm/dag)

4.2.2 Terrænmodel

Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering (SDFE) har via Kortforsyningen sat nye landsdækkende digitale terrænmodeller til rådighed i stadig højere opløsning. Seneste model i 0,4 m opløsning er desuden hydrologisk korrigeret. Den høje opløsning samt korrektioner, der tillader at beskrive de reelle vandveje på overfladen, er indarbejdet i Gudenå model. Den hydrologiske og vandløbshydrauliske model kan ikke håndtere en opløsning helt ned til 0,4 m for så stort et opland. En opskalering (resampling) fra 0,4 m til 10 m muliggør dog at informationen kan udnyttes i oplandsmodel og vandløbsmodellens oversvømmelseskortlægning. Herved opnås en markant forbedret repræsentation af overfladisk afstrømning til vandløbet samt en mere realistisk fordeling af vandvolumenet når Gudenåen går over sine bredder og oversvømmer tilstødende lavtliggende terræn i ådalen.



Figur 4-11 Digital terænmodel (koter i m) og topografisk oplandsgrænse

4.3 Kalibrering

Kalibrering består i justering af modelparametre for at opnå god overensstemmelse (høj korrelation) imellem målinger og modelresultater. Konkret sigter kalibreringen imod at sikre at modellen simulerer den rumlige og tidslige variation i vandføring og vandstand i Gudenå med særlig fokus på store afstrømningshændelser. I det efter følgende er graden af overensstemmelse imellem måling og modelberegning kommenteret for en række stationer med vandspejlsmålinger. Målinger foreligger i de fleste tilfælde som døgnmiddelværdier og i vandløbsmodellen gemmes værdier på timebasis.

Kalibrering af Gudenå vandløbsmodel er sket i tre trin:

- 1) Vandbalance for oplandet kontrolleres. Her er indledningsvist med de givne klimadata set på om nedbør og fordampning er afstemt udtrykt ved middel vandføring.

- 2) Oplandsmodellen og vandløbsmodellen (MIKE SHE – MIKE11) er kørt over kalibreringsperioden og vandføringen kalibreret. Det vil sige at vandføringsdynamik i forhold til sæsonvariation, våde perioder samt større enkelthændelser er taget i betragtning, hvilket er styret af de enkelte afstrømningskomponenter.
- 3) På baggrund af vandføringskalibrering er vandstand kalibreret ved at se på vandløbets modstandforhold udtrykt ved en tidsvarierende ruhedsfaktor.

Kalibreringen af oplandsmodellen indebærer en justering af de benyttede parametre, så der er en acceptabel overensstemmelse mellem de observerede og simulerede værdier. Kalibreringen vurderes ud fra minimum og maksimum niveauer samt statistiske mål for afvigelse imellem tidsserier for observeret og simuleret værdi.

4.3.1 Kalibreringsmål og fremgangsmåde

Perioden januar 2000 – marts 2018 er valgt til kalibrering. For det første er dækningen med hensyn til nedbørsdata bedst fra 2000 og fremefter. Desuden er perioden tilstrækkelig lang til at repræsentere den fulde variation i vandføring. Endelig findes der flere høje afstrømningshændelser i perioden, hvilket er af særlig interesse i forhold til ekstreme situationer og oversvømmelsesrisiko. Statistisk kvantitative mål i form af korrelationskoefficienten (R) og Nash-Sutcliffe koefficienten (NSE) indgår i bedømmelsen.

4.3.2 Kalibreringsdata for Gudenå

Der er indsamlet og processeret vandføringsdata til brug for kalibrering. Tabel 4-2 viser Gudenå stationer og deres tidlige dækning

Tabel 4-3 Vandføringsdata anvendt i kalibrering, Gudenå opstrøms til nedstrøms

Station	Lokalitet	Dækning indenfor kalibreringsperiode
21.62	Gudenå, Møllerup	2000-2017
21.02	Gudenå, Åstedbro	2000-2017
21.40	Gudenå, Voervadsbro	2000-2017
21.51	Gudenå, Silkeborg	2000-2008, 2009-2017
21.109	Gudenå, Resenbro	2004-2011, 2017
21.01	Gudenå, Tvillum	2000-2017
21.07	Gudenå, Bjerringbro	2014-2017
21.09	Gudenå, Ulstrup	2000-2017
21.115	Gudenå, Randers	2000-2017

4.3.3 Vandføring i Gudenå

Den kombinerede oplandsmodel og vandløbsmodel beregner vandføring som en funktion af nedbørsinput. Modellen indeholder 4 afstrømningskomponenter. Grundvandsudstrømning til vandløb er forholdsvis langsom og konstant. Den er betydende for basisvandføringen der er dominerende i sommerhalvåret. Den

væsentligste kalibreringsparameter i forbindelse med grundvandsudsivning er lækagefaktoren der styrer graden af hydraulisk kontakt imellem grundvandslag og vandløb. Afstrømning på overfladen kan i sjældne tilfælde forekomme, men den har ringe effekt på vandføringen set i forhold til drænastrømning og afstrømning fra befæstede arealer. Drænsafstrømning genereres når jorden mættes og grundvandsstanden stiger efter perioder hvor regn og nedsivning overstiger fordampningen, f.eks. om vinteren. Drænkomponeenten er dominerende i forhold til Gudenå vandføring i efterårs-vinter perioden og spiller dermed også en vigtig rolle ved de største afstrømningshændelser. Dræntidskonstanten er en kalibreringsparameter der styrer hvor hurtigt drænvand når vandløb. Hurtig afdræning giver kortvarig høj vandføring og recession imens et langsomt reagerende drænsystem forsinker og udglatter vandløbshydrografen. Afstrømningen fra befæstede arealer sker primært fra større bebyggede arealer, dvs. byer i oplandet, men også vejarealer indgår. En stor del af afstrømningen udledes via afløbssystemer og regnvandsbassiner, hvilket forsinker den hydrauliske belastning af vandløbene. Modellen beskriver ikke de enkelte regnvandsbassiner, men tidkonstanten afspejler overordnet forsinkelsen i disse. Som det er tilfældet for drænvand beskrives afstrømningen fra befæstede arealer via et lineært reservoir med en tilknyttet tidskonstant. Bidraget fra befæstede arealer kan ved store afstrømningshændelser ses som kortvarige spidser på vandløbshydrografen og dermed af betydning for maksimumsværdierne. Kalibreringen er udført fra opstrøms mod nedstrøms.

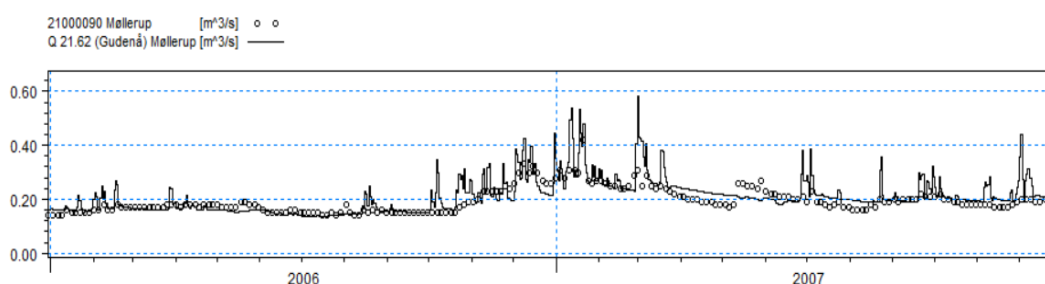
Tabel 4-4 Kalibreringsparametre m.h.t. afstrømning og vandføring

Modelparameter	Kalibreret parameter
Grundvand-vandløb, Lækage koefficient (s^{-1})	$8e^{-8} - 5e^{-6}$
Drænsafstrømning, tidskonstant (s^{-1})	$1e^{-6} - 5e^{-6}$
Befæstet areal afstrømning, tidskonstant (s^{-1})	$1e^{-5}$

I det følgende er der for udvalgte stationer vist vandføringskalibreringsresultater. Der er zoomet ind på de største afstrømningshændelser for tydeligere at se hvordan modellen simulerer de høje vandføringer. De høje vandføringer er af betydning for oversvømmelse i forhold til klimatilpasningsscenarier og varsling. I 2006-2007 findes den højeste vandføring indenfor kalibreringperioden. Det skal ved sammenligning understreges at målinger er døgnmiddelvandføringer hvorimod vandløbsmodellens resultater er gemt hver time.

21.62 Møllerup

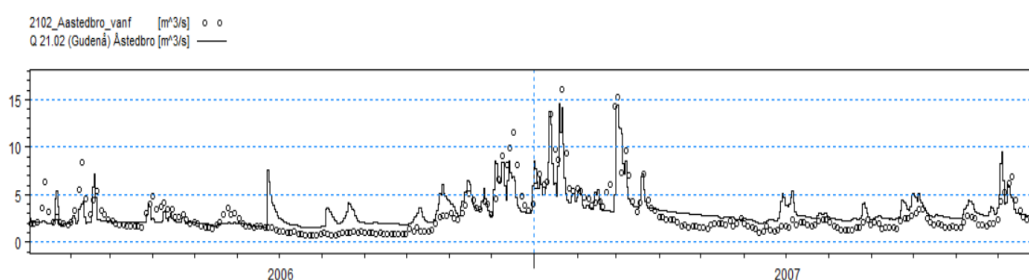
Møllerup station længst opstrøms har et oplandsareal på ca. 12 km² og vandføringen er beskeden, under 0,2 m³/s i middel. Det modelberegnete vandføringsniveau følger nogenlunde det målte, men vandføringer i vinterperioden er væsentligt højere end den målte. Der er større udsving og større dynamik i model end måling. Modellen beskriver grundvandsbidrag fornuftigt men afstrømningen er ved flere nedbørshændelser for høj. Modellen kan ikke regnes for værende nøjagtig ved Møllerup. I forhold til modellens fokus på høje vandstande kan konsekvensen være at oversvømmelse kan være overstimeret aller længst opstrøms.



Figur 4-12 Simuleret og observeret vandføring ved station 21.62 Møllerup, 2006-2007 (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)

21.02 Åstedbro

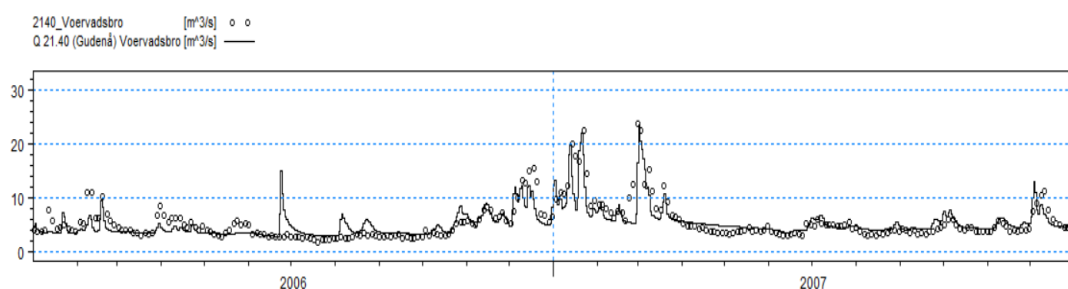
Modellen simulerer med rimelig tilnærmelse de høje vandføringer i efterår-vinter 2006-2007. Niveaueet for sommervandføringen er ligeledes god med en svag tendens til overestimering. Der ses imidlertid også tilfælde hvor modellen reagerer på nedbørsinput ved kortvarige spidser på hydrografen uden at det kan aflæses i målinger. Det er tegn på at nedbøren i den øvre del af oplandet ikke i alle tilfælde stemmer overens med SVK målingerne i Jelling og Horsens. Begge nedbørsstationer ligger udenfor selve oplandet og den rumlige variation i sommernedbør er større end for vinterne nedbør hvilket kan påvirke modelresultatet.



Figur 4-13 Simuleret og observeret vandføring ved station 21.02 Åstedbro, 2006-2007 (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)

21.40 Voervadsbro

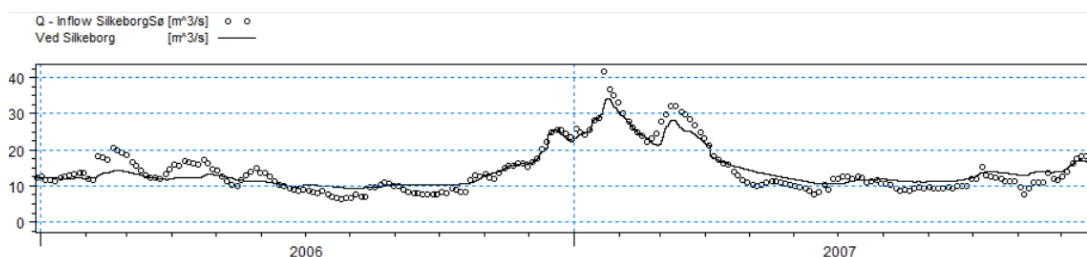
Ved Voervadsbro ses en udmærket simulering af de høje vandføringer i vinteren 2006-2007 og en god tilnærmelse til basisvandføringen om sommeren, men ellers ses som for Åstedbro stationen eksempler (sommer 2006) på at nedbøren og vandføringen kortvarigt er overestimeret. F.eks. ses modellen at beregne en kortvarig høj vandføring den 22-23 juni 2006, hvor regnmåleren i Horsens registrerer 89 mm regn og måleren i Jelling 19 mm regn, hvilket enten skyldes en fejl eller meget rumligt varierende nedbør, f.eks. i forbindelse med tordenbyger. Den forholdsvis store afstand imellem stationer kan medføre at nedbør registreret i en station udbredes til et for stort område eller at nedbør imellem stationer ikke indgår.



Figur 4-14 Simuleret og observeret vandføring ved station 21.40 Voervadsbro, 2006-2007 (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)

21.51 Silkeborg

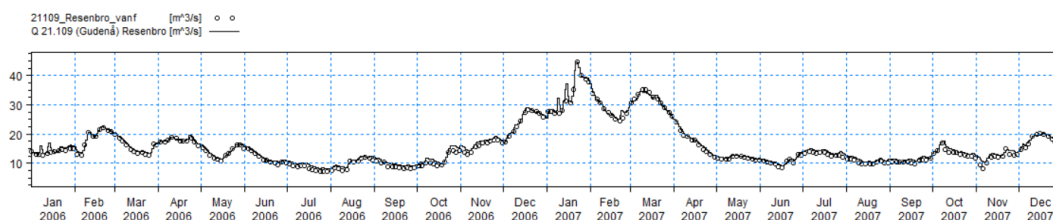
Den simulerede vandføring ved Silkeborg rammer sommerniveauet. De høje målte vandføringer fra december 2006 – marts 2007 estimeres også fornuftigt, men dog er den absolutte maksimumværdi let underestimeret. Udglatningen af hydrografen igennem søkomplekset kan være lidt større i modellen end hvad målingen viser.



Figur 4-15 Simuleret og observeret vandføring ved station 21.51 Silkeborg, 2006-2007 (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)

Resenbro 21.109

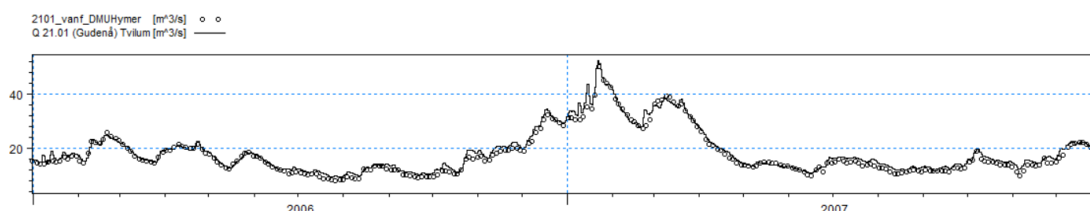
Stationen er placeret umiddelbart nedstrøms Silkeborg hvor modellen benytter den målte vandføring ved Slusen som randbetingelse. Den målte vandføring ved Slusen er til rådighed både historisk og i realtid hvilket styrker grundlaget for modellen, bl.a. i forhold til varsling. Der er tale om en høj grad af overensstemmelse imellem målte og modelberegnete værdier for både høje og lave vandføringer. Den særdeles gode overensstemmelse er ikke alene udtryk for kalibrering men også at modelresultatet er styret af randbetingelsen.



Figur 4-16 Simuleret og observeret vandføring ved station 21.109 Resenbro, 2006-2007 (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)

Tvilum Bro 21.01

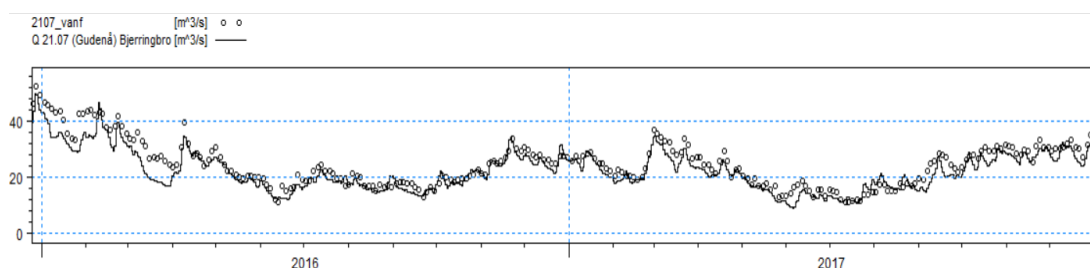
Der er marginal forskel imellem model og måling ved Tvilum Bro. Hele vandføringsforløbet inklusiv maksimal vandføring i januar 2007 simuleres nøjagtigt af modellen.



Figur 4-17 Simuleret og observeret vandføring ved station 21.01 Tvilum bro, 2006-2007 (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)

Bjerringbro 21.07

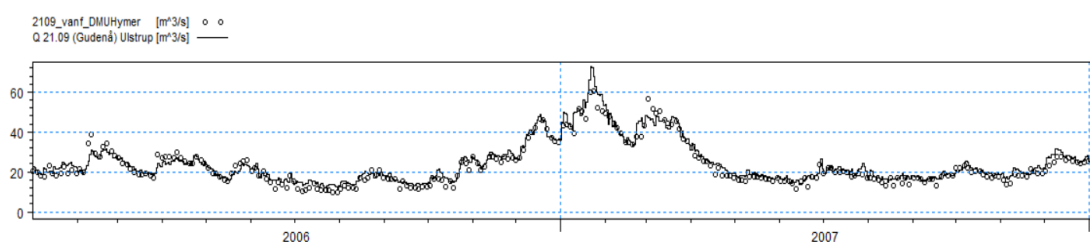
Vandføringsmålingen ved Bjerringbro går ikke tilbage til 2006-2007 som vist for de øvrige stationer. Figur 4-18 viser målt og modelberegnet vandføring, 2016-2017. Generelt ses en god overensstemmelse, dog med lidt større afvigelse i januar-februar 2016 hvor recessionen på hydrografen er større i modellen end målingen. Den samme effekt ses i opstrøms stationer for pågældende periode. Det er ikke umiddelbart til vurdering om Tangeværkets turbinedrift har effekt ved stationen. Det kræver vandføringsmålinger i en højere tidlig opløsning end middel døgnværdier. Der er under projektet etableret en online vandføringsstation umiddelbart nedenfor Tangeværket. Data herfra er først indløbet fra årsskiftet 2018-2019 og dermed udenfor kalibreringsperioden. Data er dog anvendt i varslingsmodellen (data assimilation).



Figur 4-18 Simuleret og observeret vandføring ved station 21.07 Bjerringbro, 2006-2007 (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)

Ulstrup bro 21.09

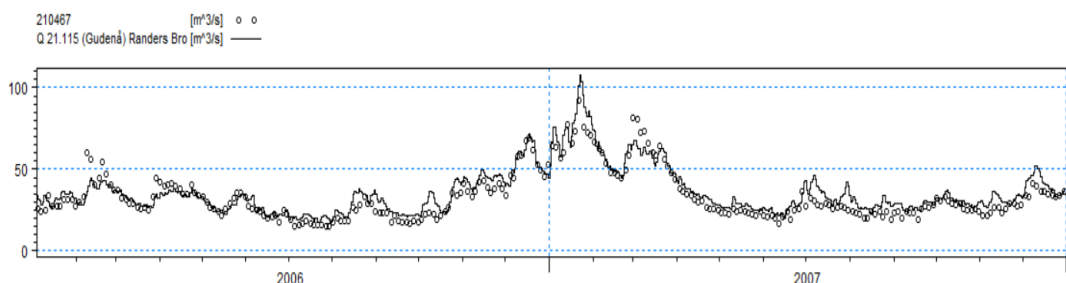
Ved Ulstrup ses fin overensstemmelse for hele 2006-2007 bortset fra at modellen overestimerer den absolutte maksimale vandføring den 22-23 januar 2007 med ca. 10 %.



Figur 4-19 Simuleret og observeret vandføring ved station 21.09 Ulstrup, 2006-2007 (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)

Randers bro 21.115

Ved Randers ses samme mønster som ved Ulstrup. Det vil sige at modellen følger målingen, men dog med lidt større afvigelse på spidserne af hydrografen i januar-marts 2007 med eksempler på moderat over- og underestimeret maksimal vandføring.



Figur 4-20 Simuleret og observeret vandføring ved station 21.115 Randers, 2006-2007 (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)

Den grafiske præsentation af vandføringskalibrering er suppleret med statistiske mål (Tabel 4-5). Korrelationskoefficienten (R) er ofte brugt i forbindelse med kalibrering af vandføring og udtrykker graden af overensstemmelse imellem måling og simulering, hvor værdien 1,0 indikerer den højeste grad og 0,0 den laveste. Nash-Sutcliffe koefficienten (NSE) benyttes ofte som mål for modellens evne til at beskrive tidlige variationer af vandløbshydrografen hvor værdien 1,0 svarer til meget god evne og værdier under 0,25 som utilfredsstillende evne. Heraf fremgår det at der er ringe overensstemmelse imellem model og måling ved Møllerup, rimelig overensstemmelse for stationerne fra Åstedbro og Silkeborg og rigtig god overensstemmelse imellem Silkeborg og Randers. Møllerup stationen længst opstrøms har den dårligste statistik hvilket må tilskrives et lille opland hvor nedbøren er baseret på Jelling måleren ca. 15 km derfra. Det betyder at resultaterne af modellen imellem Tinnets Krat og Møllerup (ca. 3 km længst opstrøms) må regnes mindre troværdige.

Tabel 4-5 Kalibreringsstatistik (korrelationskoefficient (R) og Nash-Sutcliffe (NSE), målt versus simuleret, 2000-2017,

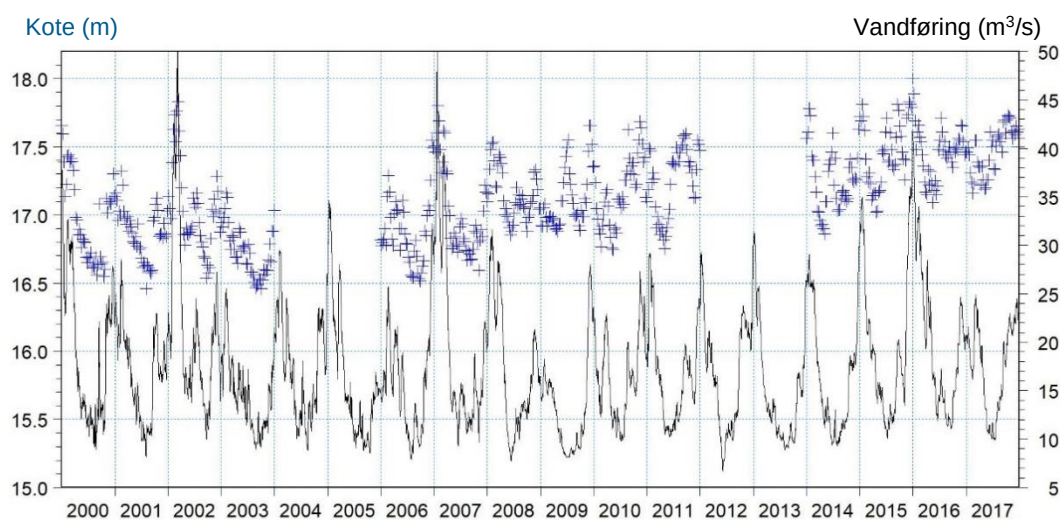
Station	R, korrelationskoeff.	R, korr.koefficient	NSE -koefficient
21.62	Gudenå, Møllerup	0,25	0,26
21.02	Gudenå, Åstedbro	0,75	0,54
21.40	Gudenå, Voervadsbro	0,72	0,51
21.51	Gudenå, Silkeborg	0,77	0,44
21.109	Gudenå, Resenbro	0,96	0,93
21.01	Gudenå, Tvillum	0,93	0,86
21.07	Gudenå, Bjerringbro	0,90	0,74
21.09	Gudenå, Ulstrup	0,91	0,81
21.115	Gudenå, Randers	0,89	0,79

4.3.4 Vandstand i Gudenå

Vandstanden i Gudenåen er kalibreret via en justering af den tidsvarierende strømningsmodstand udtrykt ved Manning tallet (M). Manning tallet varierer i sted hvilket bl.a. afspejler vandløbets størrelse, hældning og geometri. Gudenåen er inddelt i 14 strækninger hvor der til hver er defineret en Manningtals tidsserie.

En udfordring ved kalibrering af Manningtal for Gudenå er den mangeårige stigende grødevækst forårsaget af vandremuslingens udbredelse op igennem vandløbssystemet. Det betyder at modstanden er steget år efter år i en længere årrække. Som målinger viser er der tale om stigende vandstand, især om sommeren, på trods af at vandføringen ikke er mærkbart ændret. Figur 4-21 viser tydeligt tendensen i den målte vandspejlskote ved Tvillum. På venstre y-akse ses at vandstandsstigningen i perioden har været mere end 0,5 m imens vandføringen aflæst på højre y-akse ikke viser nogen mærkbar stigende tendens. Det er målet at kalibrere mod den nuværende tilstand i Gudenå og derfor er det seneste års vandstande der sigtes imod i kalibrering af Manning tal. Tendensen til stigende vandstand er mest tydelig nedstrøms Silkeborg og i mindre grad i opstrøms del af Gudenå.

Kalibrering af Manningtal sker ved justering af vandstandskurve dækkende et år. Her kalibreres vinter maksimum niveau og sommer minimumniveau med tilnærmelse af overgangen i f.eks. forårsmånederne hvor grødevæksten starter. Årskurven bestemt for de seneste år kopieres tilbage for den tidligere årrække. Det vil sige at der ikke er kalibreret Manning-tal et år ad gangen til at beskrive den mangeårige udvikling men derimod de seneste års niveau (2016-2017). Modelscenarier og resultater baserer sig derfor på seneste års modstandstal. I forbindelse med varslingsmodel er det under projektet drøftet om der med udgangspunkt i online vandførings- og vandstandsmålinger på sigt kan udvikles metode til løbende online beregning af Manning tal. Det vil ud over forbedret varslingsmodel potentielt kunne bidrage med justerede Manningtalskurver. Det er dog ikke implementeret indenfor rammen af dette projekt.



Figur 4-21 Udvikling i målt vandspejlskote (blå) versus vandføring (sort) ved Tvillum Bro, 2000-2017

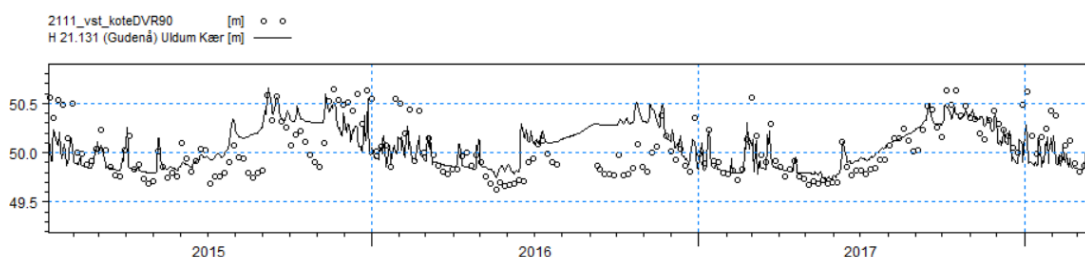
Tabel 4-6 Vandstandsdata anvendt i kalibrering, Gudenå opstrøms til nedstrøms

Station	Lokalitet	
P.1	Gudenå, Tørring	2016-2017
21.131	Gudenå, Uldum Kær	2012-2017
21.02	Gudenå, Åstedbro	2000-2017
21.142	Gudenå, Bredstenbro	2016-2017
21.40	Gudenå, Voervadsbro	2000-2017
21.54	Gudenå, Klostermølle	2016-2017
21.50	Gudenå, Ry Mølle (opstrøms)	2013-2017
21.135	Gudenå, Ry Mølle (nedstrøms)	2013-2017
21.109	Gudenå, Resenbro	2004-2005, 2007-2017
21.01	Gudenå, Tvillum	2000-2003, 2006-2011, 2014-2017
21.11	Gudenå, Kongensbro	2010-2017
21.07	Gudenå, Bjerringbro	2009-2017
21.09	Gudenå, Ulstrup	2000-2011, 2014-2017
21.08	Gudenå, Langå	2009-2017

Som nævnt er vandstandskalibreringen på grund af den stigende tendens i vandstand i simuleringsperioden rettet imod de seneste år. Sammenligning imellem målt og simuleret vandstand er præsenteret i de efterfølgende figurer fra opstrøms til nedstrøms.

21.131 Uldum Kær

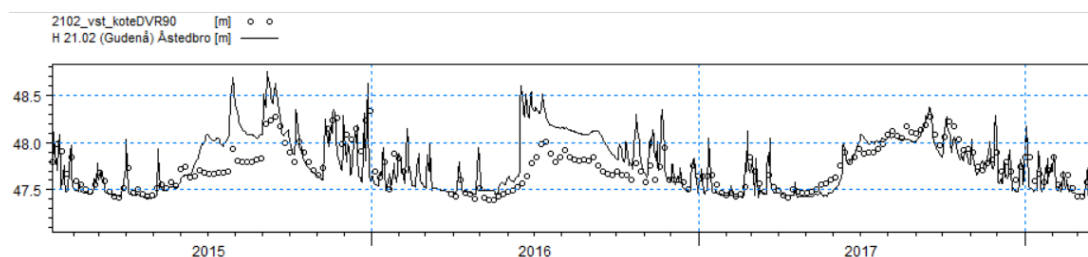
Modelresultatet falder indenfor det målte vandpejlskoteinterval på 49,7 – 50,5 m. For det seneste år (2017) er der god overensstemmelse. i forhold til årtidsdynamik og niveau. Det gælder også 2015 og 2016 men for begge år ses en periode omkring august-september hvor modellen overestimerer vandstanden med mere end 30 cm. At netop denne periode adskiller sig kan sandsynligvis tilskrives år til år variationer i grødevækst og Manning tal. En Manningtalsbstemmelse over en årrække baseret på vandførings- og vandstandsdata (evt. online) vil kunne mindske afvigelsen mellem målt og simuleret vandstand. Dog er det i kalibreringsstrategien valgt at lægge hovedvægt på det seneste år (2017) med henblik på modellens efterfølgende anvendelse til varslings- og scenarieberegninger.



Figur 4-22 Simuleret og observeret vandspejlskote ved Uldum Kær (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)

21.02 Åstedbro

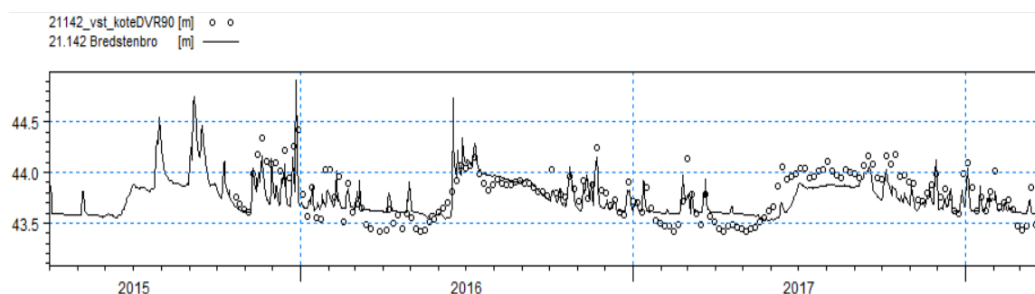
Den simulerede vandspejlskote ligger imellem 47.6 og 48.6 m. Som det er tilfældet for opstrøms station ved Uldum Kær er modellen særdeles velkalibreret i 2017. Den afviger i sommer-efterår 2016, en periode hvor vandføringen i modellen er højere end den målte. Kalibreringen må betegnes som særdeles tilfredsstillende.



Figur 4-23 Simuleret og observeret vandspejlskote ved Åstedbro (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)

21.142 Bredstenbro

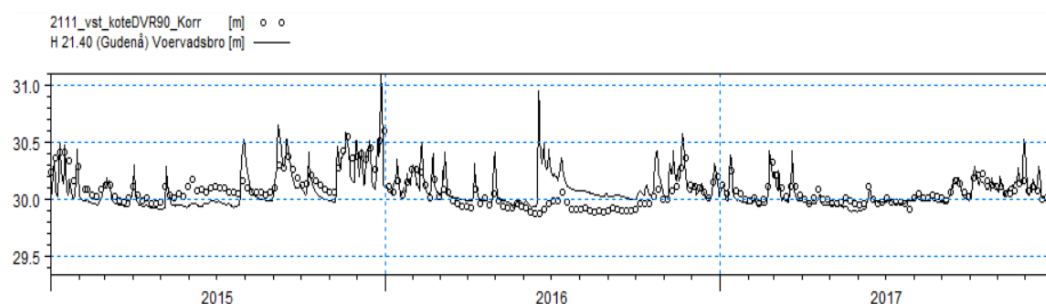
Vandspejlskoten svinger ifølge målinger imellem kote 43,5 og 44,5 ved Bredstenbro. Modelresultatet ligger i samme interval, men dog med lidt højere niveau om sommeren. Her er tale om tilfredsstillende vandstandskalibrering.



Figur 4-24 Simuleret og observeret vandspejlskote ved Bredstenbro (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)

21.40 Voervadsbro

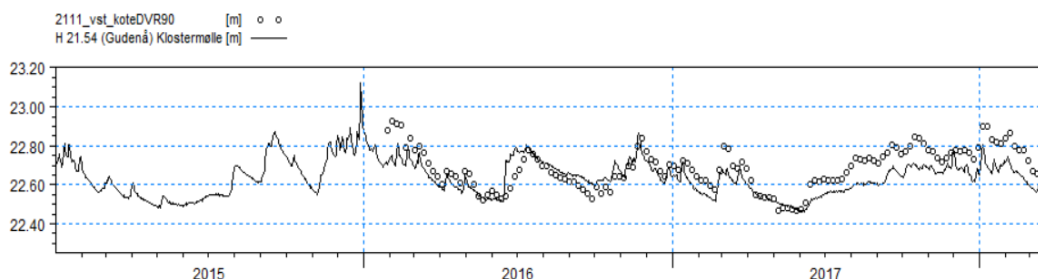
Ved Voervadsbro er der sket flere justeringer at data nul for skalapæl i kalibreringsperioden ifølge Miljøministeriets oplysninger. Vandspejlskote ligger ifølge måling imellem 20,9 og 30,6 m i perioden 2015-2017. Bortset fra sommeren 2016, hvor vandføringen og dermed vandstanden midlertidig er for høj i modellen er der god overensstemmelse og for 2017 særdeles god.



Figur 4-25 Simuleret og observeret vandspejlskote ved Voervadsbro (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)

21.54 Klostermølle

Data fra vandstandslogger ved Klostermølle er kun tilgængelige i 2016-2017 og viser værdier i intervallet 22,5-22,90 m. Det matcher fint med modellen. For 2016 er overensstemmelsen god og for 2017 ligger modellen ca. 10 cm for lavt.

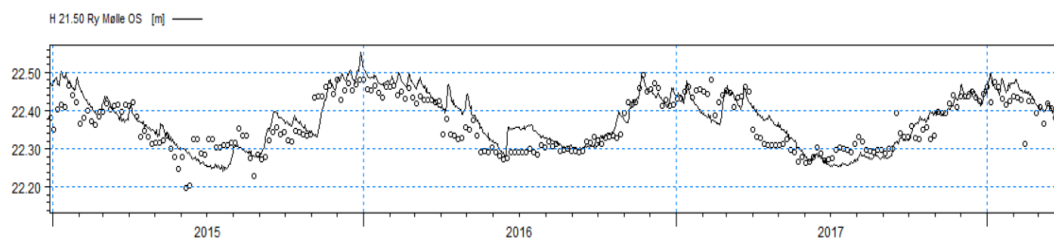


Figur 4-26 Simuleret og observeret vandspejlskote ved Klostermølle (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)

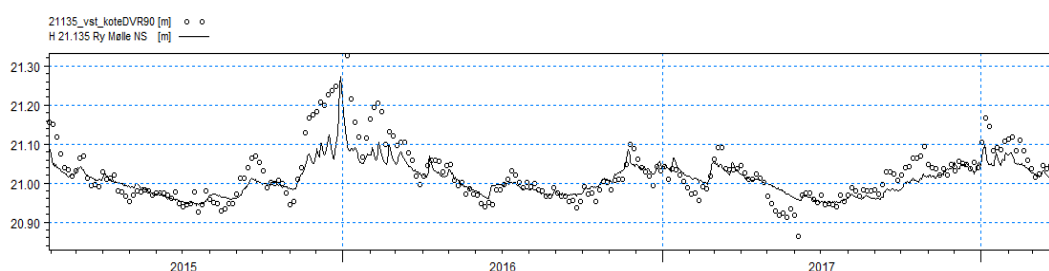
21.54 vandstandslogger målte vandstanden i Mossø og 21.143 vandstand i Døde Å. Station 21.54 er senere blevet nedlagt i forbindelse med det omfattende restaureringsprojekt ved Klosterkær. Her er opstået forvirring med hensyn til hvilke data der hører til de to pågældende stationer. Dertil kommer at omdirigering af Gudenå vandføringen fra Klostermølle kanalen til Døde Å løbet ændrer vandstandsforhold væsentligt. Det betyder at modellen ved Klosterkær vil afvige fra forholdene efter at projektet er gennemført (slut 2019).

21.50 og 21.135 Ry Mølle

Ved Ry Mølle er vandstanden logget opstrøms i Ry Mølle Sø og nedstrøms i Birk Sø. I begge tilfælde gælder at målingerne er påvirket af stemmeværkets regulering i forhold til elproduktion og regulering i forhold til flodemål. Sammenlignes måling og model opstrøms (Figur 4-27) ses god overensstemmelse, særligt for 2017, med typisk få centimeters forskel, men på grund af at møllen er beskrevet ved en fast stuktur vil driftsvariationer ved (ukendte) manuelle indgreb ikke nødvendigvis være repræsenteret. Nedstrøms møllen (Figur 4-28) er forholdene tilmed påvirket af nedstrøms forhold i form af regulering af Slusen i Silkeborg hvor vandspejlskoten det meste af tiden holdes omkring 20,90-20,92 m. Der ses en god overensstemmelse dog med tendens til moderat underestimering for høje vandstande. Ved årsskiftet 2015-2016 holdes vandstanden nede omkring flodemål da indregnet ekstra kapacitet (omløbsstryg)



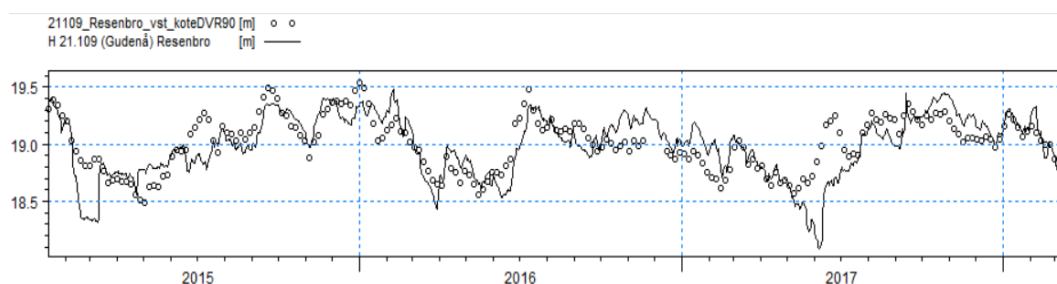
Figur 4-27 Simuleret og observeret vandspejlskote opstrøms Ry Mølle (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)



Figur 4-28 Simuleret og observeret vandspejlskote nedstrøms Ry Mølle (måling markeret ved punkter og modelsimulering ved linje)

21.109 Resenbro

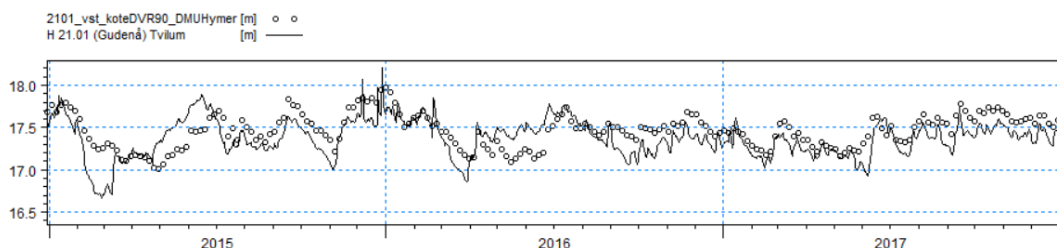
Modellen beregner vandstanden ved Resenbro tilfredsstillende (18,5 – 19,6 m). Dog ses kortvarige fald i vandstand under 18,5 m (2010 og 2017) hvilket er under det målte niveau. De er sammenfaldende med fald i vandføring ved opstrøms rand ved Slusen.



Figur 4-29 Simuleret og observeret vandspejlskote ved Resenbro

21.01 Tvillum

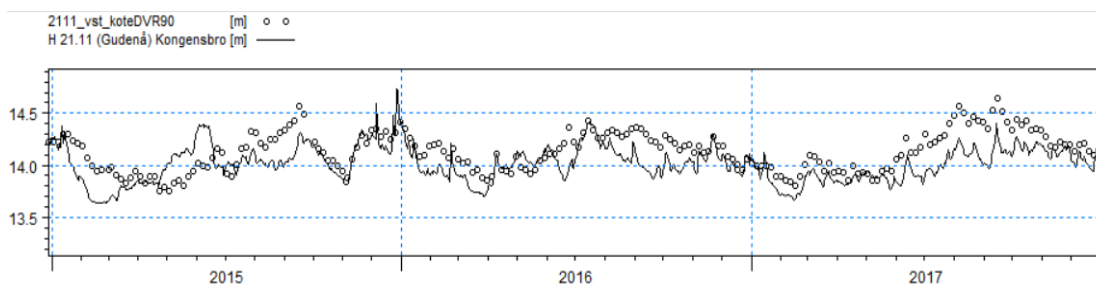
Ved Tvillum har der gennem perioden 2000-2017 været tale om et jævnt stigende vandspejlskote og kalibrering af Manning tal har sigtet imod niveauet i 2015-2017 der bedst viser den aktuelle ruhed. Måledata antyder at sæsonvariationen i vandstand er blevet mindre. Modellen følger forløbet fint, men periodevis ses større forskelle.



Figur 4-30 Simuleret og observeret vandspejlskote ved Tvillum

21.11 Kongensbro

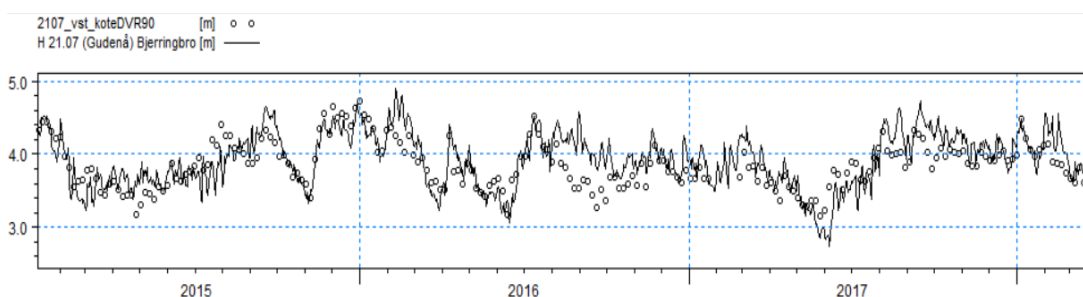
Der er varierende grad af overensstemmelse imellem model og måling ved Kongensbro. Modellen ligger indenfor de målte interval på 13,7-14,7 m, men med en tendens til underestimeret vandstand i sommeren 2017.



Figur 4-31 Simuleret og observeret vandspejlskote ved Kongensbro

21.07 Bjerringbro

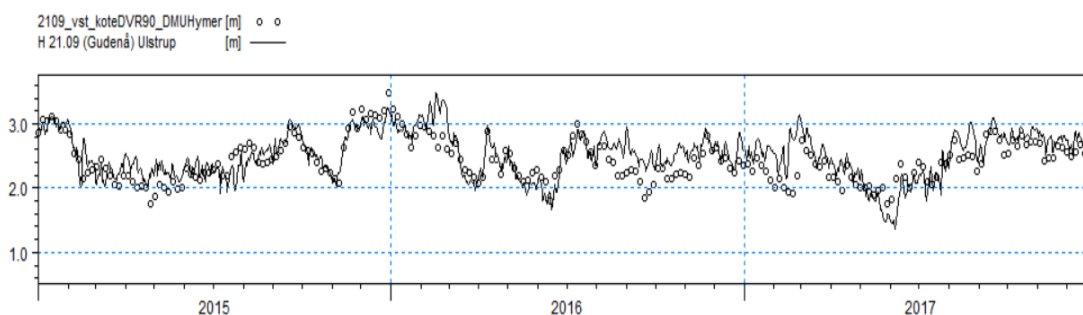
Ved Bjerringbro nedenfor Tangeværket er vandspejlskoten nede i 3,0 – 4,5 m. Måling og model følges ad med meget få og kortvarige afvigelser.



Figur 4-32 Simuleret og observeret vandspejlskote ved Bjerringbro

21.09 Ulstrup

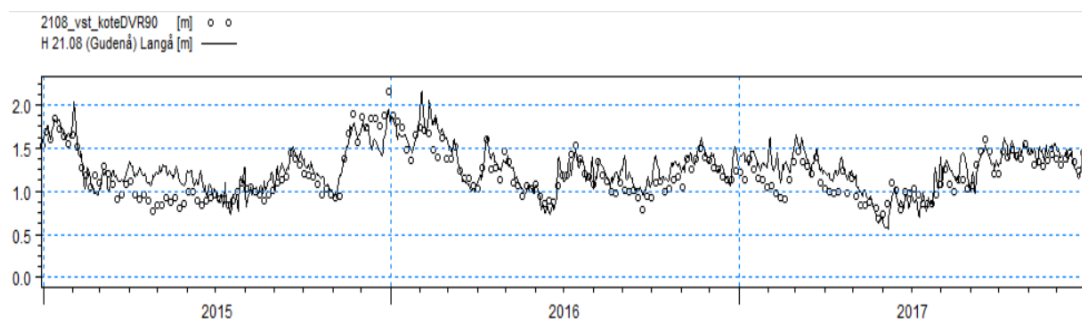
Ulstrup følger mønsteret fra opstrøms station ved Bjerringbro. Vandspejlet ligger ca. en meter lavere, men dynamikken er bibeholdt. Også her er der fin overensstemmelse imellem model og måling igennem hele perioden.



Figur 4-33 Simuleret og observeret vandspejlskote ved Ulstrup

21.08 Langå

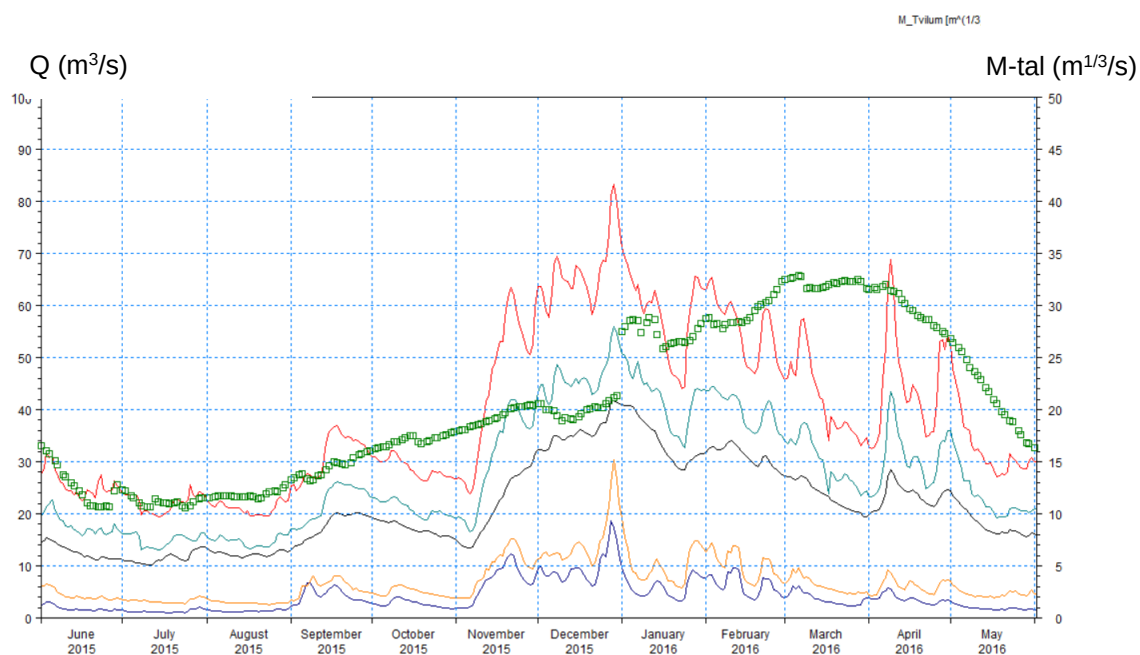
Ved Langå er vandspejlskoten tæt på havniveau. Både måling og model ligger imellem 0,5 m og 2,1 m. Der er god overensstemmelse imellem måling og model.



Figur 4-34 Simuleret og observeret vandspejlskote ved Langå

Tabel 4-7 Kalibreringsparametre m.h.t. vandstand

Vandløbsstrækning	Manningtal (m ^{1/3} /s)
Udspring-Tørring	5 -20
Tørring-Åle	15-22
Åle-Bredstenbro	5-20
Bredstenbro-Vestbirk	5-30
Vestbirk-Voervadsbro	10-20
Voervadsbro-Mossø	10-22
Resenbro- Tvillum	7-19
Tvillum-Kongensbro	7-35
KongensBro- Bjerringbro	9-35
BjerringBro-Ulstrup	8-24
Ulstrup-Langå	8-23
LangÅ-Randers Bro	9-50
Randers Bro – Randers Havn	9-50
Randers Fjord (Randers-Uggelhuse)	20
Randers Fjord (Uggelhuse-Udbyhøj)	100



Figur 4-35 Eksempel på Manning tals (grøn) tidsvariation over året og målt vandføring (2015-2016) fra opstrøms mod nedstrøms, Åstedbro-Randers

Kalibrering af vandstand sker på baggrund af vandføringskalibreringen og den hydrauliske modstand udtrykt ved Manning tallet er den primære kalibreringsparameter. Manningtallet er bestemmende for en vandløbsstrækning vandføringskapacitet og udtrykker modstand i forbindelse friktionstab dvs. bund- og sidefriktion, formruhed og ikke mindst grøde. Sidstnævnte er udpræget årstidsvarierende og der arbejdes i Gudenå vandløbsmodel med en Manningtal tidsserie for en given strækning med minimum modstand (maksimum Manningtal) om vinteren og maksimum modstand (minimum Manningtal) om sommeren. De mellemliggende overgange for forår og efterår tilnærmes, men de kan udvise år til år variation i forhold til vejrforhold, bl.a. temperatur og solindstråling.

For opstrøms del af Gudenåen ligger Manning tallene imellem 6 og 35 $m^{1/3}/s$ hvor lave værdier svarer til maksimal strømningsmodstand i et grødebevokset vandløb i juli-september og høje værdier svarer til lav strømningsmodstand i vintermåneder hvor Gudenåen hovedsageligt kan regnes for delvis grødefri. For nedstrøms del af Gudenåen findes størst strømningsmodstand ved Resenbro (sort linie), men også ved Tvillum Bro og Kongens Bro ses lave Manning tal om sommeren der kan forklare senere års observerede forhøjede vandstande.

For nedstrøms del findes Manning tal i intervallet 7 – 25 $m^{1/3}/s$ for stationerne ved Bjerringbro og Ulstrup, der har meget ensartede forløb. Ved Langå er ruheden markant mindre svarende til Manning tal i intervallet 10 -35 $m^{1/3}/s$, men dog med en tilsvarende tidsvariation over året. Det skal bemærkes at de meget kortvarige udsving i Manningtal næppe kan forklares med udvikling i grøden men kan skyldes enten målefejl eller kortvarige udsving i vandføring der ikke reflekteres i vandstanden. Et bedste bud på Manning tallets årstidsvariation forklaret ved grøde vil være en udglattet kurve, dog inklusive vandstandsfall omkring grødeskæring.

4.4 Konklusion vedrørende kalibrering

Kalibrering i forhold til vandføring er utilfredsstillende længst opstrøms ved Møllerup station, men rimelig god fra Åstedbro til Silkeborg. Kalibreringen fra Silkeborg til Randers er god eller særdeles god. Den højere modelnøjagtighed nedstrøms skyldes bl.a. at målt vandføringstidsserie ved Slusen i Silkeborg benyttes som randbetingelse. Opstrøms er nedbørsdata den begrænsende faktor. På trods af at modellen i lange perioder er i god overensstemmelse med målinger ses eksempler på stigende vandføring uden nedbørsinput eller nedbørsinput uden ændringer i vandføring. Det peger på at de relativt få nedbørsstationer ikke registrerer alle nedbørshændelser i oplandet og ikke er repræsentative i alle tilfælde. Den rumlige variation af nedbør over Gudenåoplandet repræsenteres ikke fuldt ud med den aktuelle stationsdækning. I forhold til scenarieberegninger påvirker kalibreringsnøjagtighed, blandt flere faktorer, usikkerhed på modelresultater. Scenarierne ser på høj vandføring svarende til 5-100 års gentagelsesperioder og modellens evne til at simulere netop maksimal vandføringer er interessant. Kalibreringsresultater viser på tids af afvigelser ikke nogen systematisk over- eller underestimering af maksimal vandføring og vandstand i kalibreringsperioden.

Hvad angår vandstanden i Gudenå er denne steget igennem en årrække. Skønt der er tendens til stigende afstrømning ifølge de historiske vandføringstidsserier, og klimaændringer fremover betyder øget nedbør, er det ikke hovedårsagen. Den skal findes i øget grødevækst, en udvikling der endnu forløber både hvor vandremuslingen findes og de strækninger den udbreder sig til. Effekten må forventes at aftage og en ny stabil tilstand vil formodentlig opstå. Modelkalibreringen sigter imod de seneste års vandstande hvilket anses for mest relevant med hensyn til modellens anvendelse i scenarier og varsling. Målet er at kalibrere Manningtalsvariationen for et år og benytte denne i hele perioden. Derfor er de seneste års resultater af primær interesse for evaluering af kalibreringen. For langt de fleste stationer ligger modellen indenfor eller tæt på det målte minimum-maksimum interval for 2015-2017 og følger sommer-vinter niveauerne.

5 Varslingsmodel

Ud fra den kalibrerede Gudenå vandløbsmodel er der udviklet en online realtids model til varslings af vandstand og oversvømmelse langs Gudenåen på strækningen fra Tinnets Krat til Udbyhøj. Til forskel fra den kalibrerede vandløbsmodel må varslingsmodellen baseres på aktuelt målte data samt prognoser for løbende at give et opdateret billede af den sandsynlige udvikling i vandstandsforhold. Det betyder at der forud for den daglige vandstandsprognose automatisk indsamles data til at drive modellen. Modellen bærer gårsdagens prognosemodel videre, opdaterer den med målinger siden sidste prognose (hindcast) og benytter vejrudsigstens nedbørsdata til at beregne en prognose for vandstandsudviklingen 3 dage frem i tiden (forecast).

Resultater af seneste prognosemodelkørsel overføres automatisk til varslingsmodellens internetsider hvor de kan bruges til via kort at indikere en varslingsstilstand (her er valgt at anvende en terminologi i form af "normale", "forhøjede" og "væsentlig forhøjede" vandstande). Prognosen giver detailoplysninger vedrørende forventet tidlig udvikling for udvalgte lokaliteter og den maksimalt forventede udbredelse af oversvømmelser indenfor prognoseperioden. På varslingshjemmesiden er markeret et antal varslingspunkter hvor prognoseresultater og varslingsstilstand vises på kort. For de varslingspunkter der ligger i nærheden af online vandstandslogger kan man se både seneste målte vandstand og varslingsmodellens beregning af udviklingen. I begge tilfælde vises vandstand i forhold til de valgte kritiske koter tilknyttet det lokale varslingspunkt.

5.1 Realtidsdata

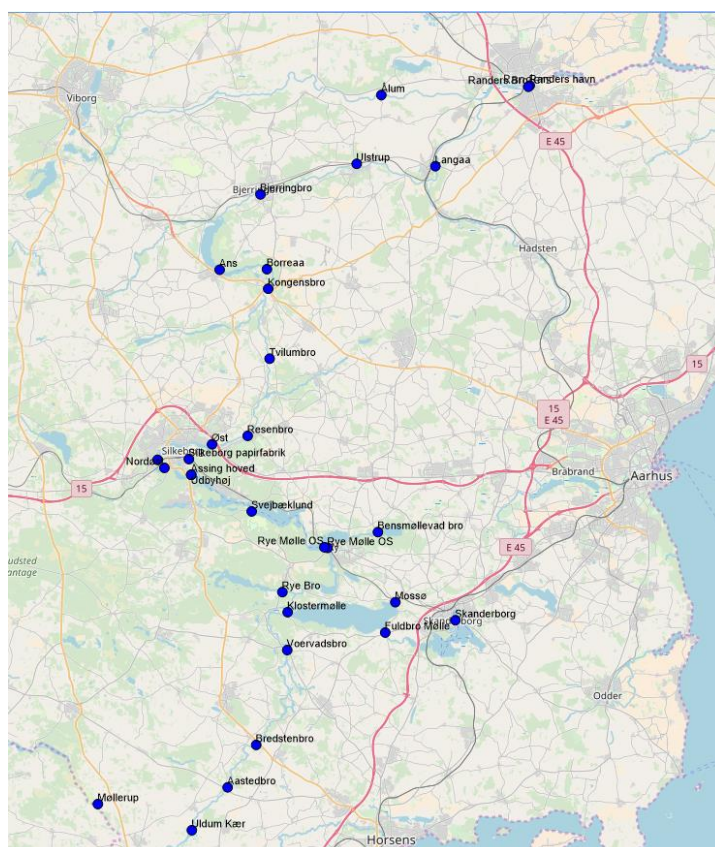
For at kunne drive en realtidsmodel er det nødvendigt at indsamle data kontinuert i realtid. Der hentes data fra flere forskellige kilder:

1. <http://lb.datatjek.dk/Data> - målte vandstande i søer samt målt flow udført af WinTec for Silkeborg kommune for følgende stationer:
 - a. Silkeborg Langsø (øst og vest)
 - b. Tange sø
 - c. Ørnsø
 - d. Indstrømning ved Slusen til Silkeborg Langsø
2. http://www.hydrometri.dk/download/gudena_yearmonth.csv - Målte vandstande for følgende stationer
 - a. 21.01 Tvilumbro
 - b. 21.07 Bjerringbro
 - c. 21.08 Langå
 - d. 21.09 Ulstrup
 - e. 21.11 Kongensbro
 - f. 21.109 Gudenå – Resenbro
 - g. 21.128 Gudenå - os Borreå

3. http://www.hydrometri.dk/download/gudena2_yearmonth.csv - Målte vandstande for følgende stationer
 - a. 21.121 Brassø Assing hoved
 - b. 21.118 Silkeborg Langsø Vest
 - c. 21.131 Gudenå ns – Uldumkær
 - d. 21.31 Nørre å – Ålum
 - e. 21.142 Gudenå Brestenbro
 - f. 21.54 Gudenå – Klostermølle
 - g. 21.51 Gudenå Silkeborg – Papirfabrik
 - h. 21.145 Julsø – Svejðæklund
 - i. 21.20 Nørre å – Fladbro
4. http://www.hydrometri.dk/download/gudenaMST_yearmonth.csv - Målte vandstande for følgende stationer
 - a. 21.62 Gudenå – Møllerup
 - b. 21.40 Gudenå – Voervadsbro
 - c. 21.02 Gudenå – Åstedbro
 - d. 21.27 Salten å - Rye bro
 - e. 21.151 Guden å - NS Randersbro
5. http://www.hydrometri.dk/download/vst_skanderborg_yearmonth.csv - Målte vandstande for følgende stationer
 - a. 21.46 Tåning å - Fuldbro mølle
 - b. 26.19 Jeksen bæk – Jeksen
 - c. 21.132 Skanderborg sø – Skanderborg
 - d. 21.133 Illerup å – Mossø
 - e. 21.50 Gudenå - Rye mølle - os bro
 - f. 21.135 Gudenå - Rye mølle - ns bro
 - g. 21.137 Knud å - Søballe
6. http://www.hydrometri.dk/download/bjerringbro_yearmonth.csv - Målte vandføring og vandstand for følgende station
 - a. Vandstand 21.154 Gudenå, NS Tangeværket - v/Energimuseet
 - b. Vandføring 21.154 Gudenå, NS Tangeværket - v/Energimuseet
 - c. Vandføring 21.07 Gudenå, Bjerringbro
7. SVK data – Målt Nedbør

- a. 21292 VIBORG HEDESELSKABET
 - b. 21416 KJELLERUP
 - c. 22061 RANDERS CENTRALRENSEANLÆG
 - d. 22361 VIBY J. RENSEANLÆG
 - e. 22419 SILKEBORG FORSYNING
 - f. 22421 SILKEBORG VANDVÆRK
 - g. 22471 THEM RENSEANLÆG
 - h. 22554 TRANKÆR RENSEANLÆG
8. DMI vandstand - <http://data.dmi.dk/api/sealevel/rest/values/>
- a. Observeret vandstand – Udbyhøj
 - b. Vandstandsprognose – Udbyhøj
 - c. Korrigeret vandstandsprognose – Udbyhøj
9. yr-prognose
http://www.yr.no/place/Denmark/Central_Jutland/Silkeborg_Kommune/forecast_hour_by_hour.xml
- a. Uldum nedbørsprognose
 - b. Silkeborg nedbørsprognose
 - c. Randers nedbørsprognose

I Figur 5-1 er placering af real-tids vandstandsstationerne vist.



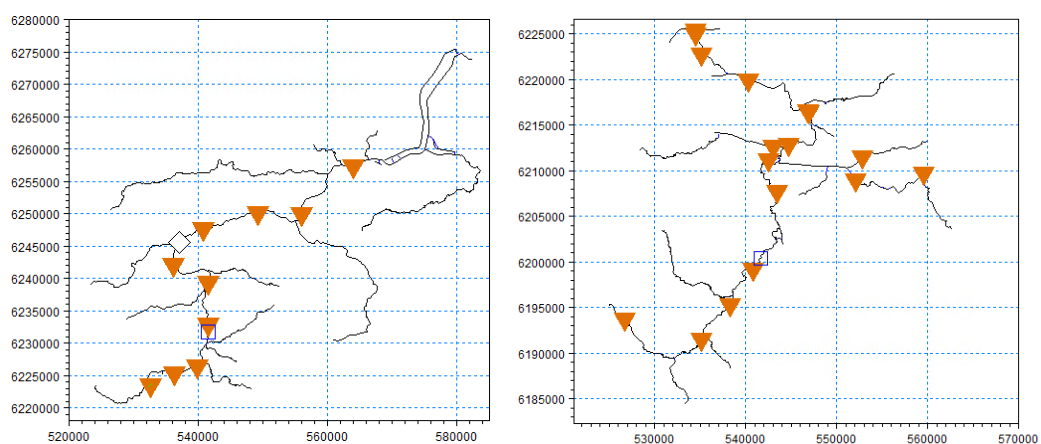
Station	Vandløb	Sted
21.62	Gudenaa	Møllerup
21.131	Gudenaa	Uldum Kær
21.02	Gudenaa	Aastedbro
21.142	Gudenaa	Bredstenbro
21.4	Gudenaa	Voervadsbro
21.54	Gudenaa	Klostermølle
21.27	Salten Aa	Rye Bro
21.46	Taaning Aa	Fuldbrø Mølle
21.133	Illerup Aa	Mossø
21.132	Skanderborg Sø	Skanderborg
21.5	Gudenaa	Rye Mølle OS
21.135	Gudenaa	Rye Mølle OS
21.35	Knudaa	Bensmølle vad bro
21.145	Julsø	Svejbækklund
21.121	Brassø	Assing hoved
21.119	Ørnsø	Nordøst
21.51	Gudenaa	Silkeborg papirfabrik
21.118	Silkeborg Langsø	Vest
21.122	Silkeborg Langsø	Øst
21.109	Gudenaa	Resenbro
21.01	Gudenaa	Tvålumbro
21.11	Gudenaa	Kongensbro
21.128	Gudenaa	Borreaa
21.123	Tange Sø	Ans
21.07	Gudenaa	Bjerringbro
21.09	Gudenaa	Ulstrup
21.08	Gudenaa	Langaa
21.112	Gudenaa	Randers havn
21.151	Gudenaa	Randers Bro
21.116	Randers Fjord	Udbyhøj
21.31	Nørre Å	Ålum

Figur 5-1 Oversigt over real-tids vandstandsstationer

Data indsamles hver time og det er kilde-afhængigt hvor ofte og hvor mange data der er uploadet og til rådighed hver gang varslingssystemets automatiske dataindhentning kører. Som tidligere beskrevet hentes data fra mange forskellige filer og data fra stationerne uploades med forskellig frekvens. Det betyder at seneste online datasæt der indhentes forud at varslingsmodellen kører varierer med hensyn til det tidspunkt de senest er opdateret.

5.2 Data assimilation

Data assimilation bruger målinger af enten vandstand eller flow til at korrigere/opdatere modellens beregninger. Denne korrektion af vandstand i den beregnede prognose sker fra tidspunkt for den seneste måling. Jo længere frem i tid fra den seneste måling desto mindre vil korrektionen blive, dvs. at korrektion aftager som funktion af tid. Herved opnås en bedre prognose i forhold til ikke at foretage en korrektion af modellen i forhold til målinger. Figur 5-2 viser de steder i vandløbsmodellen hvor der sker data assimilation ud fra tilgængelige online data.



Figur 5-2 Data assimileringens lokaliteter, Gudenå opstrøms (højre) og nedstrøms (venstre)

I Figur 5-3 er listen af real-tidsdata vist, samt i hvilken model data bruges.

Stations ID	Navn	Brugt i model (DA)	
		OS model	NS model
21.02 WL	21.02 Gudenå - Åstedbro	✓	
21.121 WL	21.121 Brassø Assing hoved	✓	
21.131 WL	21.131 Gudenå ns - Uldumkær	✓	
21.132 WL	21.132 Skanderborg sø - Skanderborg	✓	
21.133 WL	21.133 Illerup å - Mossø	✓	
21.135 WL	21.135 Gudenå - Rye mølle - ns bro	✓	
21.142 WL	21.142 Gudenå Brestenbro	✓	
21.143/21.54	WL - 21.143 Døde Å - Klosterkær	✓	
21.145 WL	21.145 Julsø - Svejðklund	✓	
21.27 WL	21.27 Salten å - Rye bro	✓	
21.4 WL	21.40 Gudenå - Voervadsbro	✓	
21.46 WL	21.46 Tåning å - Fuldbrø mølle	✓	
21.5 WL	21.50 Gudenå - Rye mølle - os bro	✓	
21.51 WL	21.51 Gudenå Silkeborg - Papirfabrik	✓	
21.62 WL	21.62 Gudenå - Møllerup	✓	
Q	Inflow SilkeborgSø	✓	
WL	Emborg Bro	✓	Mangler data fra MST
21.01 WL	21.01 Gudenå - Tvilumbro		✓
21.07 WL	21.07 Gudenå - Bjerringbro		✓
21.08 WL	21.08 Gudenå - Langå		✓
21.09 WL	21.09 Gudenå - Ulstrup		✓
21.109 WL	21.109 Gudenå - Resenbro		✓
21.11 WL	21.11 Gudenå - Kongensbro		✓
21.151 WL	21.151 Guden å - NS Randersbro		✓
WL	SilkeborgSoe		✓
WL	TangeSoe		✓
WL	ØmSø		✓
21.118 WL	21.118 Silkeborg Langsø Vest		
21.128 WL	21.128 Gudenå - os Borreå		
21.137 WL	21.137 Knud å - Søballe		
21.20 WL	21.20 Nørre å - Fladbro		
21.31 WL	21.31 Nørre å - Ålum		

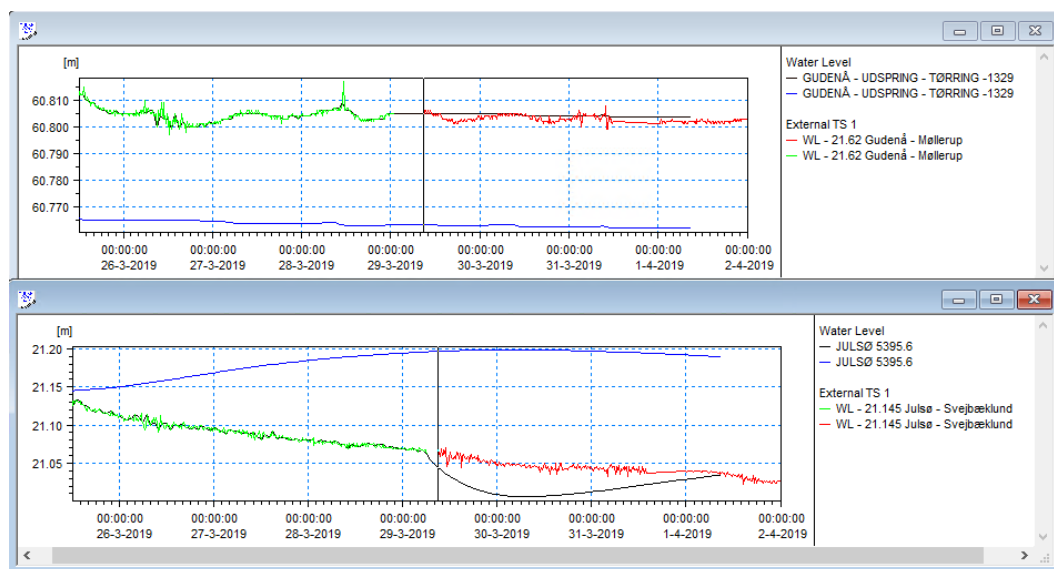
Figur 5-3 Liste der viser hvilke data der bruges i hvilken model, samt hvilke data der ikke assimileres mod. OS markerer opstrøms model og NS nedstrøms model.

Figur 5-4 viser effekten af data assimilation for 2 forskellige stationer i den øvre model. Det ses tydeligt at data assimilation forbedrer model resultaterne.

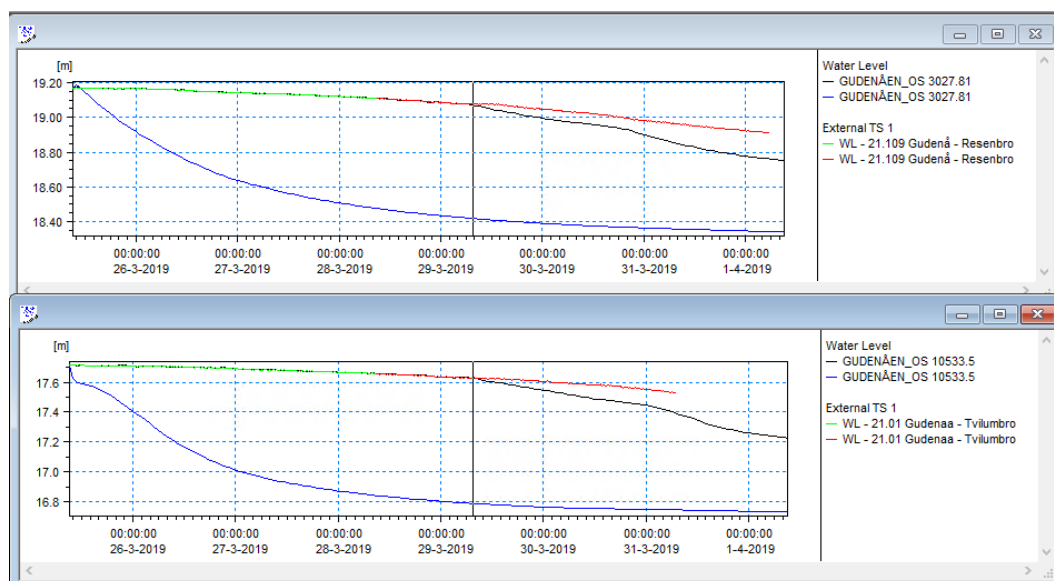
Figur 5-4 viser effekten af data assimilation for 2 forskellige stationer i den nedre model. Forskellen mellem resultaterne med data assimilering og uden er meget udpræget og det skyldes at den øvre rand for modellen (indstrømning ved Slusen i Silkeborg) i en periode har haft udfald med alt for lidt indstrømning. Alligevel lykkes det via data assimilering af få

nogle fornuftige prognoser. Dette eksempel er dog ikke en garant for at det altid er en succes at anvende data assimilerings. Ved andre type hændelser - så som hændelser med store variationer i prognoseperioden - vil data assimilerings ikke altid kunne rette prognosen op når der sker udfald, eller data ikke er repræsentative.

Det ses tydeligt at data assimilation forbedrer model resultaterne. Når der over en periode er blevet samlet endnu flere real-time data op vil det være muligt at kigge på om data er konsistente, om datakilden er pålidelig og om korrektion af modellen kan forbedres.



Figur 5-4 De to figurer viser effekten af data assimilerings for 2 forskellige steder i den øvre model. Tynd vertikal sort linje indikerer Time-Of-Forecast, grøn linje målte data ved simuleringstidspunkt, rød line er målt data opsamlet efter simuleringen er kørt, sort linje: modelresultat med Data assimilation, blå linje: model resultat uden Data assimilation



Figur 5-5 De to figurer viser effekten af data assimilerings for 2 forskellige steder i den nedre model. Tynd vertikal sort linje indikerer Time-Of-Forecast, grøn linje målte data ved simuleringstidspunkt, rød line er målt data opsamlet efter simuleringen er kørt, sort linje: modelresultat med Data assimilation, blå linje: model resultat uden Data assimilation

Vandføring ved slusen i Silkeborg bruges i data assimilering. Dette er inkluderet for at kunne få en glidende overgang mellem måling og prognose med henblik på at dette er overgang mellem de 2 modeller (øvre model og nedre model). Da vandføringen er øvre rand for nedre model er det et krav at data dækker hele simuleringsperiod. Det sikres ved at bruge model resultatet fra øvre model som rand i nedre model. Ved at assimilere på vandføring sikres det at målingen bruges som rand på nedre model. Vandføringen ved Tangeværket bruges også i data assimilering. Dette er indført for at bedre at kunne repræsentere den regulerede vandføring nedstrøms Tangeværket.

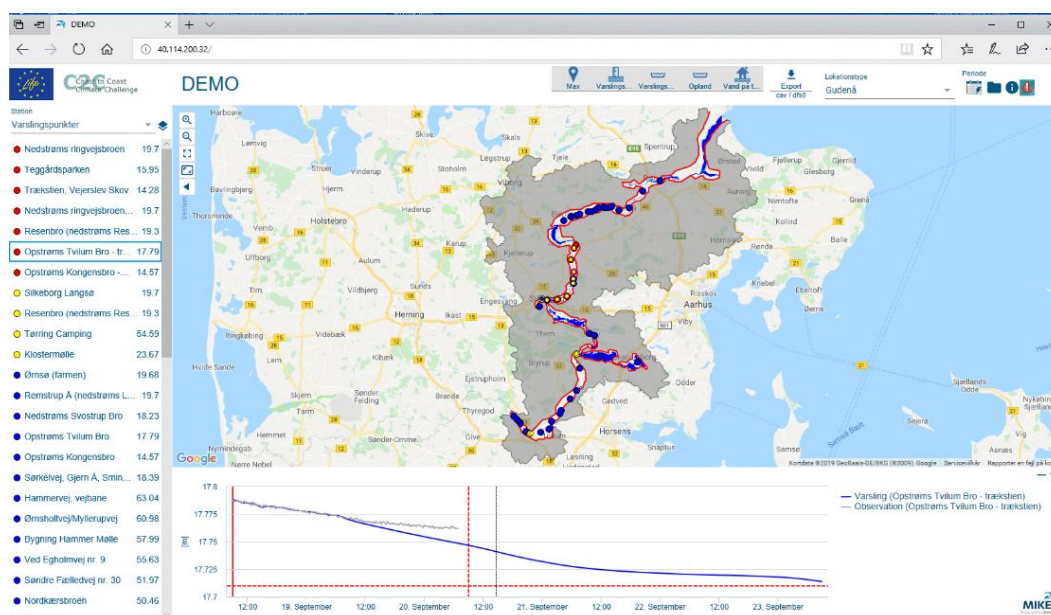
5.3 Websider til varsling

Udvalgte resultater fra varslingsmodellen bliver præsenteret på en webside (se Figur 5-6)

- <http://40.114.200.32/index.html>

Varslingspunkterne er markerede på et OpenStreetView kort som punkter der ved farvekode angiver varslingsniveau, dvs. om vandstanden lokalt er "normal" (blå), "forhøjet" (gul) eller "væsentlig forhøjet" (rød). Varslingspunkternes varselsniveau er for det pågældende tidspunkt som er valgt. Tidspunktet kan vælges ved at clicke på tidsserieplottet i bunden af websiden (fuldoptrukket rød linje).

Det er muligt at vælge station ved enten at klikke på kortet eller stationslisten i venstre side. Som udgangspunkt vises alle stationerne. Men i øvre højre hjørne er der en menu der hedder "Lokationstype" (se Figur 5-7).



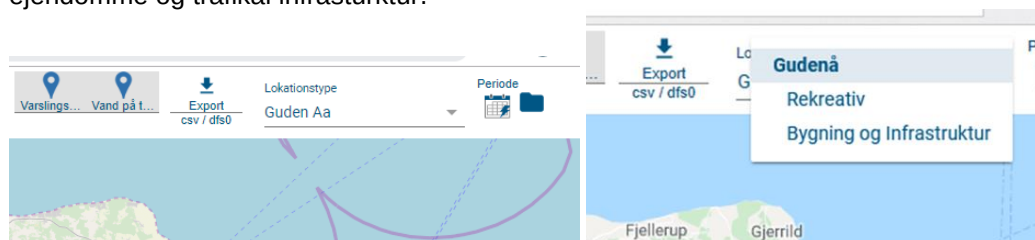
Figur 5-6 Skærm-dump af web side der præsenterer varslingsmodellens resultater i udvalgte punkter

Der er 3 valgmuligheder for visning af typer af varslingspunkter (se Figur 5-7). Typerne er indført af Gudenå kommunerne for at kunne sondre imellem modtager eller konsekvens i varslingen.

1. Guden Aa
2. Rekreativ
3. Bygning og Infrastruktur

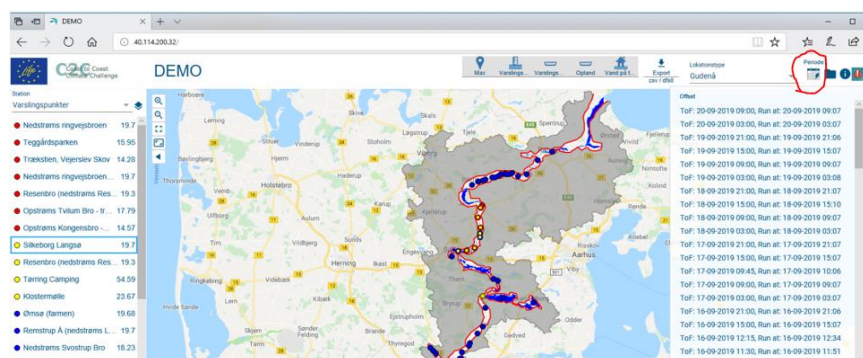
#1 viser alle punkter (standard visning) også dem som ikke er kategoriseret i #2 eller #3, #2 viser de punkter som er af typen "rekreativ" hvilket hovedsageligt omfatter lokaliteter

hvor adgangsforhold i forhold til rekreative interesser er påvirket, og #3 viser "Bygning og Infrastruktur" punkter der relaterer påvirkning og potentielle skader vedrørende ejendomme og trafikal infrastruktur.



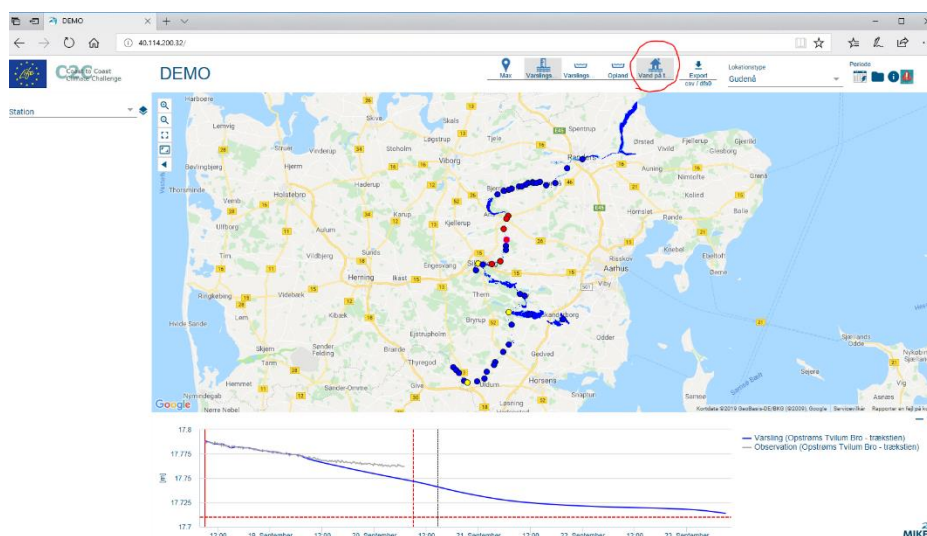
Figur 5-7 Lokationstype

Oppe i højre hjørne af websiden er der en knap der hedder "Periode" (markeret med rød cirkel i Figur 5-8). Hvis der trykkes på denne knap kommer der en liste af eksisterende prognoser i systemet. Hver linje i listen har 2 datoer, en "ToF (Time of Forecast)" og en "Run at". Disse to datoer vil oftest næsten være identiske og fortælle brugeren hvornår prognosen er lavet ("Run at"-datoen). Listen er sorteret så den nyeste prognose ligger øverst.



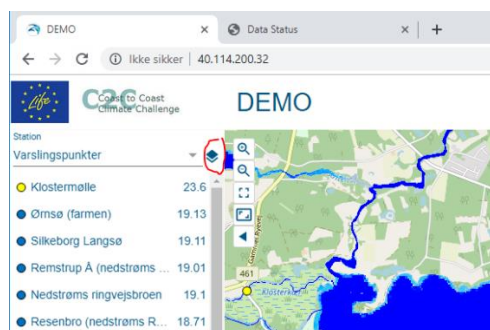
Figur 5-8 Det er muligt at se tidsserie resultater fra tidligere prognoser

Oversvømmelseskortet kan deaktiveres ved at klikke på "Vand på terræn" knappen (se Figur 5-9). Det oversvømmede areal indeholder både sø, åer samt andre områder der forventes at være våde, herunder områder der er permanent vanddækkede. Det er altid oversvømmelseskortet fra den seneste prognose der bliver vist.



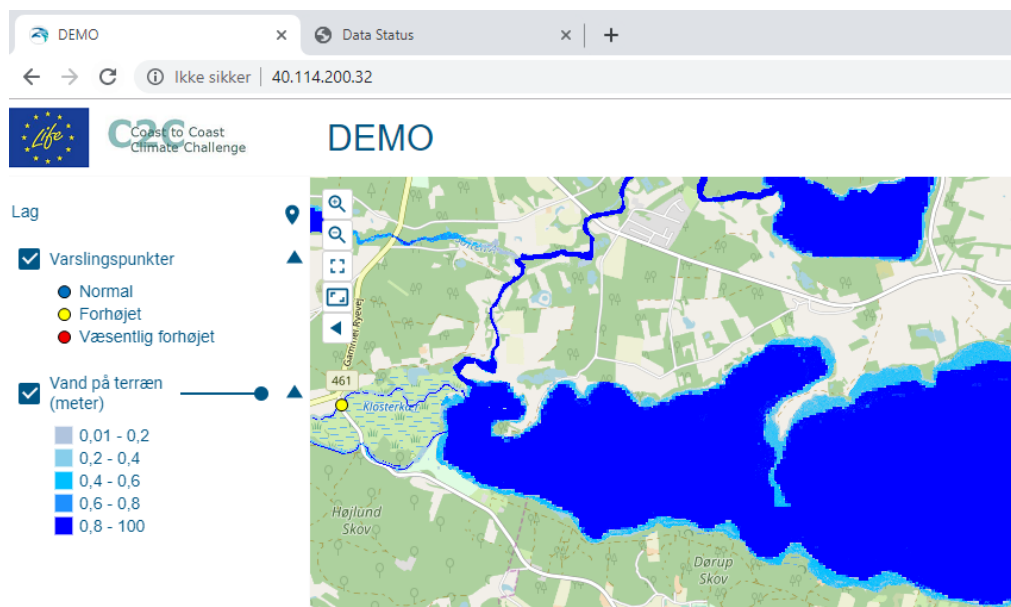
Figur 5-9 Oversvømmelseskort vises ved at trykke på "Vand på t..." knappen

Farveskalaen for oversvømmelseskortet kan ses på web siden ved at trykke på ikonet i venstre side lige over listen af varslingspunkter (se Figur 5-10).



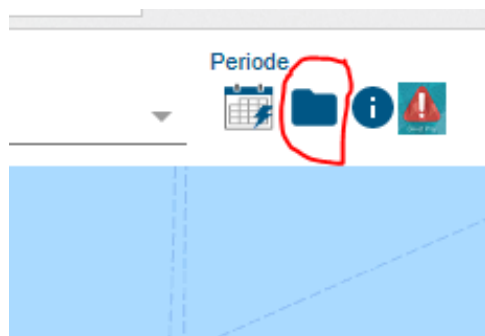
Figur 5-10 Legenden for de lag der vises på web si

Der er valgt en farveskala hvor der fokuseres på intervallet mellem 1 cm og 80 cm (se Figur 5-11). Oversvømmede arealer vil optræde i dette interval, imens vanddybde for søer oftest er større.



Figur 5-11 Farveskala for oversvømmelsekort og andre lag.

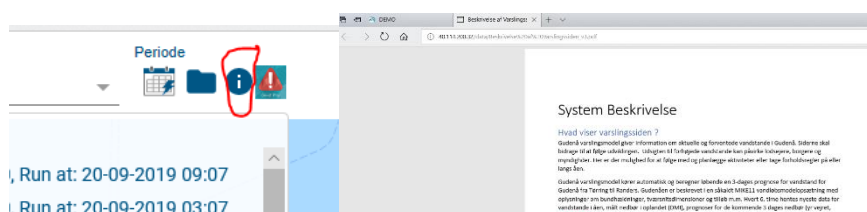
Ikonet i øverst højre hjørne (se Figur 5-12) er et link til en data status web side (se Bilag C).



Figur 5-12 Link til data status web side.

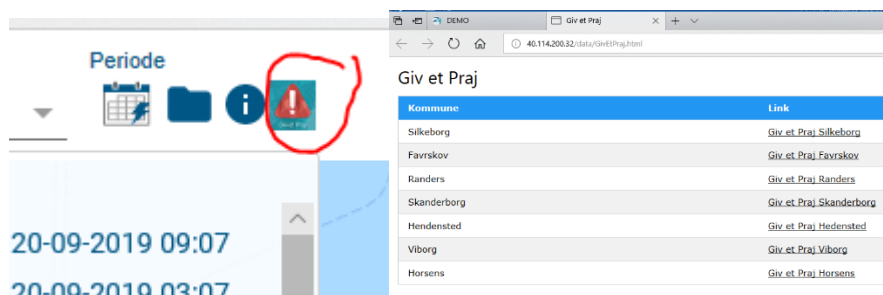
Data status websiden (Bilag C) viser information om de data der er brugt ved beregningen af den seneste prognose, dvs. nedbør, vandstand samt vandføring. Tabellen indeholder information om hvornår data i tidsserien senest er opdateret ("Dato for Sidste Data"-kolonne). Desuden markeres det om værdierne ligger indenfor definerede min- og maks.-grænser ("Data Spæn"-kolonne) samt om data er brugt i seneste modelprognose ("On/Off i Model"-kolonne). Den første kolonne i tabellen "Rækkefølge" er en nummerering af vandstands- og vandføringsstationerne efter rækkefølge i modellen, dvs. typisk fra opstrøms mod nedstrøms stationer. Det er muligt at sortere tabellen efter data i alle kolonner.

Knappen markeret i Figur 5-13 åbner et pdf-dokument i et nyt faneblad i browseren. Dokumentet beskriver web siden. Dokumentet kan også ses i Bilag D.



Figur 5-13 Link til dokument der beskriver web siden.

På web siden er det også muligt at give et praj til en kommune. Dette kan gøres via linket markeret i Figur 5-14. Linket åbnes i et nyt faneblad i browseren og indeholder en tabel med links til "Giv et Praj" for alle kommunerne.



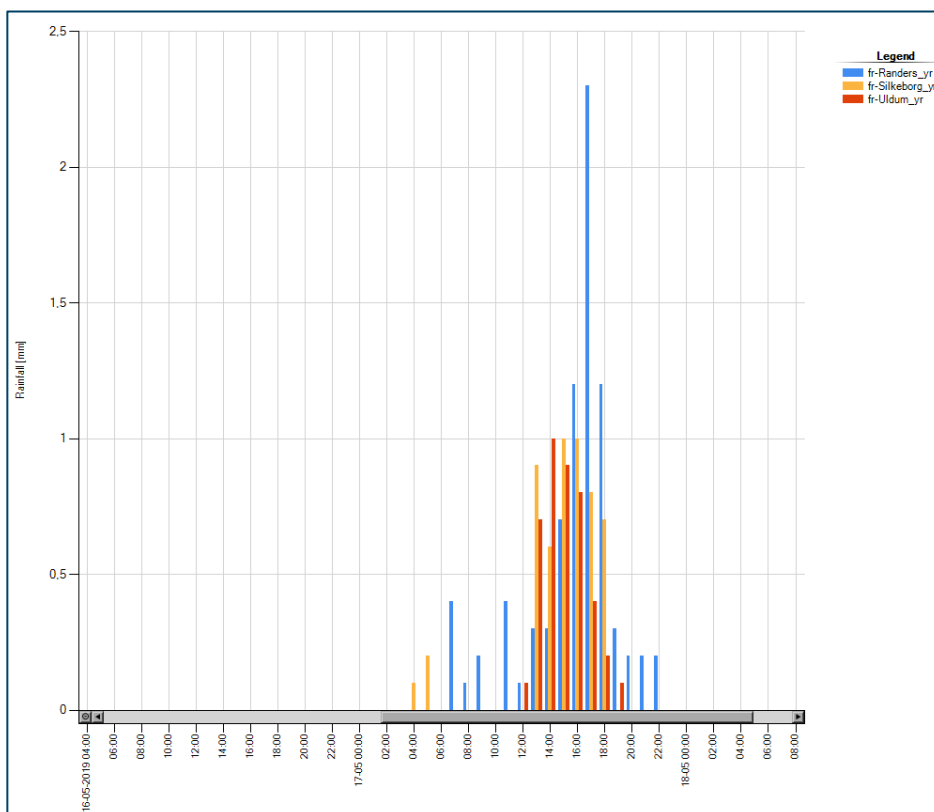
Figur 5-14 Link til "Giv et Praj" funktionalitet.

5.4 Om varslingsmodellens resultater

Varslingsmodellen præsenterer løbende den beregnede vandstand aktuelt og 3 dage frem i tiden. Modelberegningerne udføres hvert 6. time (klokken 03:00; 09:00, 15:00 og 21:00). Alle tilgængelige data, seneste klimadata, vandføringsdata ved Slusen, målte vandstande på strækningen og data for havniveauet, opdateres lige inden modelberegningen startes.

De modelberegnete vandstande er bl.a. afhængige af nedbørsprognosen samt nedstrøms vandstandsrand ved Udbyhøj. Som tidligere beskrevet bruges en nedbørsprognose hentet fra web siden "www.yr.no". En anden mulighed med hensyn til prognose i Gudenå oplandet er DMI, men data herfra er ikke tilgængelige i form af online inputdata til varslingsmodellen. Der benyttes prognosedata (mm/time) for 3 byer placeret i henholdsvis opstrøms (Uldum), central (Silkeborg) og nedstrøms (Randers) del af oplandet. Figur 5-15 viser prognose for 16-18 maj 2019 ved de tre byer. Det bemærkes at prognosen i dette tilfælde er forholdsvis ens imellem Uldum og Silkeborg med hensyn til tidsforløb og mængde imens prognosen ved Randers har højere volumen og intensitet. Det vurderes at der prognosenøjagtighed taget i betragtning opnås en rimelig rumlig

fordeling, dvs. at nedbørsmængden i prognosen er rimeligt fordelt over oplandet taget i betragtning af at skalaen for meteorologiske modeller er stor. Nedbørsprognoser 3 dage frem i tiden er uanset kilde forbundet med væsentlig usikkerhed. Dels ændres prognosen løbende fra time til time eller dag til dag og dels kan regnmængde afvige fra måling. Kvaliteten af prognosen kendes ikke, men den vil have indflydelse på den vandstandsprognose som varslingsmodellen beregner.



Figur 5-15 Eksempel på www.yr.no - nedbørsprognosedata fra Uldum, Silkeborg og Randers. Y-akse viser nedbørmængde (mm) og x-aksen en tidsskala inddelt i timer.

Eventuelle begrænsninger i klima inputdata til varslingsystemet vil delvist blive afhjulpet af data assimilationen, der tvinger den modelberegnete vandstand til at følge punktmålingerne og derved mindsker usikkerheden i beregningen. Dog kan dataassimileringen kun sikre en bedre beskrivelse af den aktuelle tilstand og dermed udgangspunkt for prognosen, og prognoserne vil uundgåeligt være behæftet med usikkerhed grundet forskelle imellem observerede og prognosticerede klimadata.

Det er værd at bemærke at der kan forekomme en forsinkelse på hvornår online vandstandsdata er til rådighed. Det kan forekomme at nye måledata uploades med en lavere frekvens end de 6 timers intervaller varslingsmodellen kører. Dette kan desværre også påvirke varslingsystemet negativt. Generelle udfald af data er også observeret og filformater på uploadede online data har været ændret uden nogen varsel. Disse "problemer" er forsøgt afhjulpet i det omfang de er observeret, men der er desværre ingen garanti for at alle dataproblemer er permanent afhjulpet i et online system.

En samlet vurdering af varslingsmodellen må bero på driftserfaring over en periode. Det kan foregå enten som en brugervurdering af prognose kontra den faktiske udvikling over en periode, ved systematisk indsamling og evaluering af modelresultater og beregning af statistik eller en kombination. Ved projektets afslutning er varslingen igangsat, men der har ikke været udført en opfølgende gennemgang af varslingsystemets evne til at beregne vandstande for prognoseperioden under en stor afstrømningshændelse, hvilket kræver en længere periodes erfaringer og data.

6 Scenariemodel

6.1 Dimensioneringsgrundlag

Som forberedelse til scenarieberegninger skal der udarbejdes et dimensioneringsgrundlag. Ifølge Vejledning i Klimatilpasning skal gentagelsesperioder for maksimal vandføring $T=5$ år, $T=10$ år, $T=20$ år, $T=50$ år og $T=100$ år benyttes til beskrivelse af oversvømmelsesrisiko. Der findes metoder for klimatilpasning af kyster (stormflod) og byer (skybrud). For vandløb er det gængs praksis at se på kortvarig ekstremvandføring repræsentativ for en udvalgt målestation eller en afgrænset strækning.

Ingen af disse metoder kan umiddelbart bruges for et stort samlet vandløbssystem som Gudenå. For så stort et opland og så langt et vandløb er der en stor forskel på vandføring både i tid og sted. Det er nødvendigt at beskrive vandføringstilvæksten i Gudenå fra opstrøms til nedstrøms og se på en længere periode hvor opbygning af maksimal vandføring finder sted, f.eks. måneder med høj akkumuleret nedbør og afstrømning igennem vinterperioden. Den beskrevne metode fra Vejledning til Klimatilpasning antager at højeste vandstand og dermed største oversvømmelsesudbredelse er knyttet til højeste vandføring, hvilket er en rimelig antagelse når ekstremvandføringer forekommer om vinteren hvor grødemodstanden er lav.

Der er i projektet udviklet en metode der kan bruges til at opstille et dimensioneringsgrundlag for hele Gudenåen baseret på vandføringsstatistik hørende til gentagelseperioder, $T=5-100$ år. Det er i den forbindelse vigtigt at fastholde den tidlige udvikling i vandføring og vandstand op til den maksimale vandføring da de forudgående vandstande og magasinering påvirker både maksimal vandstand og vandføring. Det er særligt vigtigt i Gudenå med mange kilometer vandløb og store søflader.

I projektet er det overvejet at generere dimensioneringsgrundlag ud fra ændring af nedbørsinput i den koblede oplands- og vandløbsmodel eller ved at skalere tilstrømningen. Sidstnævnte er valgt da datagrundlaget i form af lange målte vandføringstidsserier for flere Gudenå stationer (mere end 100 år i nogle tilfælde) er langt bedre end nedbørsdata der dækker en langt kortere periode.

Opstilling af dimensioneringsgrundlag kræver:

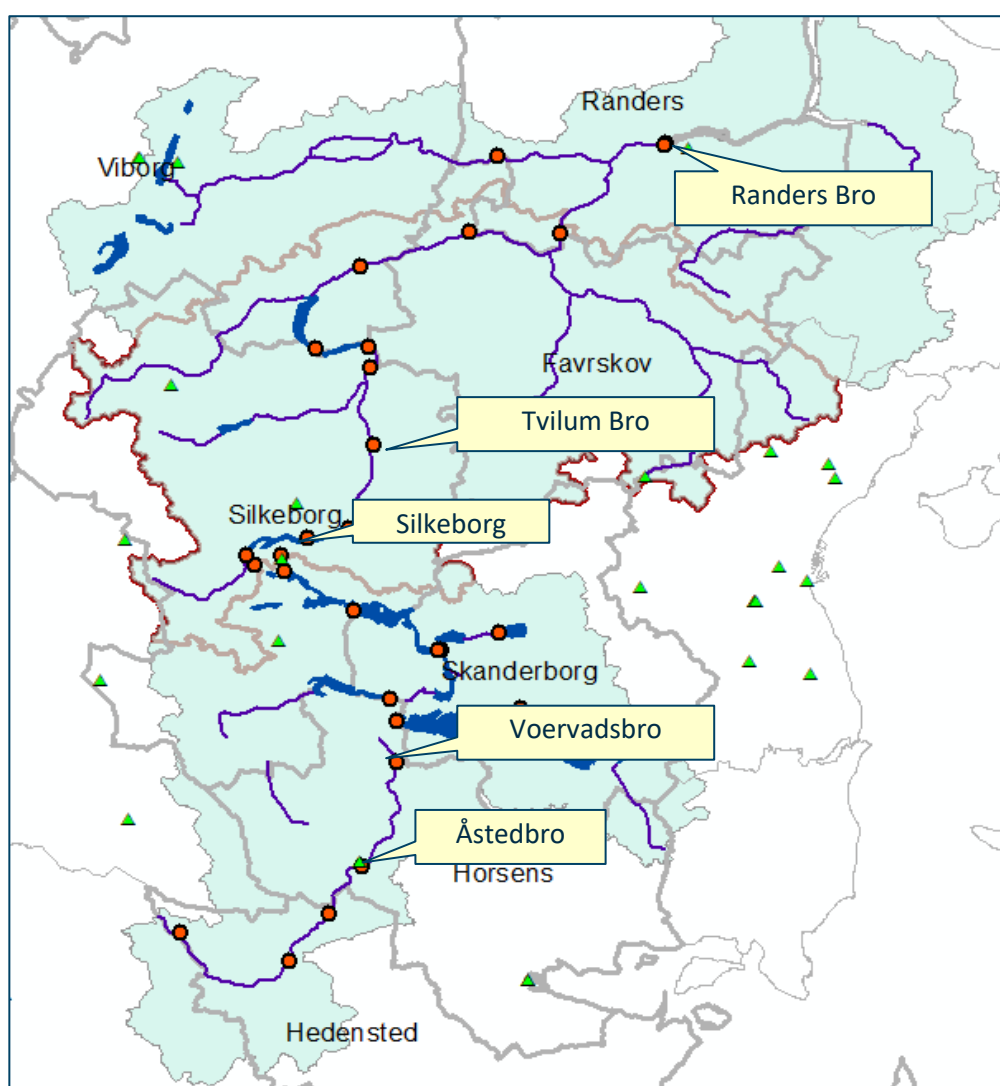
1. Analyse af gentagelsesperioder for historiske vandføringsdata
2. Skalering af tilstrømning til Gudenå for udvalgt periode i forhold til gentagelsesperiode, $T=5-100$ år
3. Beregning af klimaændrings effekt på ekstremvandføring (CC 2050)

6.1.1 Gentagelsesperioder for Gudenå

At beregne og definere gentagelsesperioder for Gudenå er forbundet med udfordringer. For det første kræver analysen lange målte vandføringstidsserier der giver et tilstrækkeligt godt statistisk grundlag. Dernæst er det hensigtsmæssigt at have stationer med lange tidsserier fordelt langs Gudenåen så tilvæksten i vandføring fra opstrøms til nedstrøms kan beskrives. På den baggrund er stationerne vist i Tabel 6-1 og på Figur 6-1 de bedst egnede til formålet og indgår i analysen.

Tabel 6-1 Vandføringstationer og tidsserier til beregning af ekstremvandføringer (T=5-100 år)

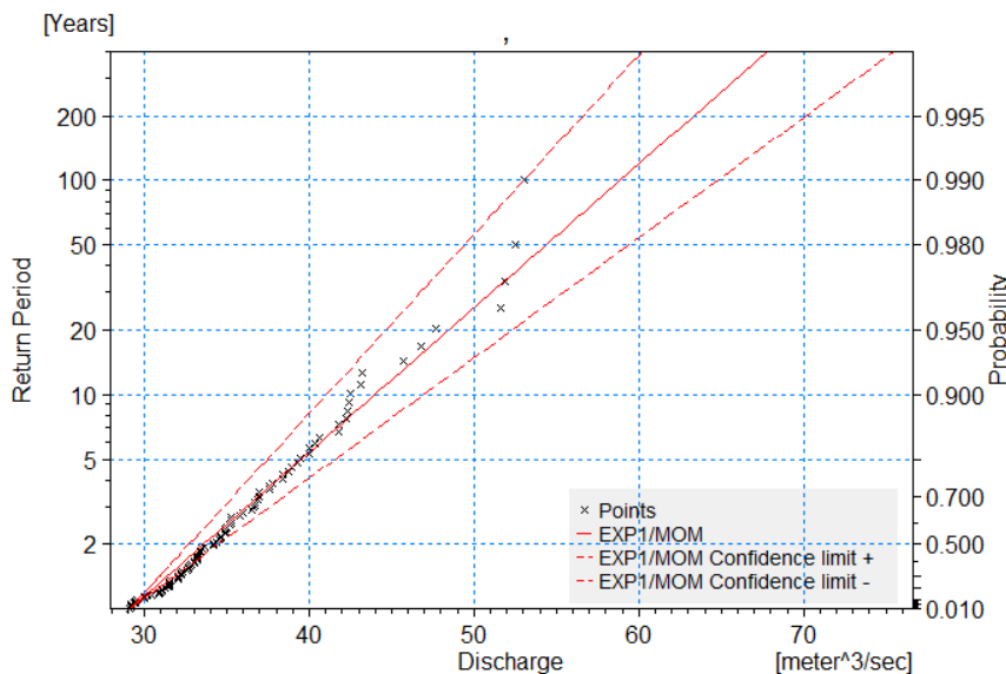
Station	Opland (km ²)	Periode	Antal år
Åstedbro	185	1918-2017	100
Voervadsbro	377	1976-2017	42
Silkeborg Papirfabrik	995	1973-1989, 2006-2018	27
Tvilum Bro	1282	1917-2016	100
Randers Bro	2600	1990-2017	28



Figur 6-1 Gudenå vandføringstationer anvendt ved analyse af gentagelsesperioder

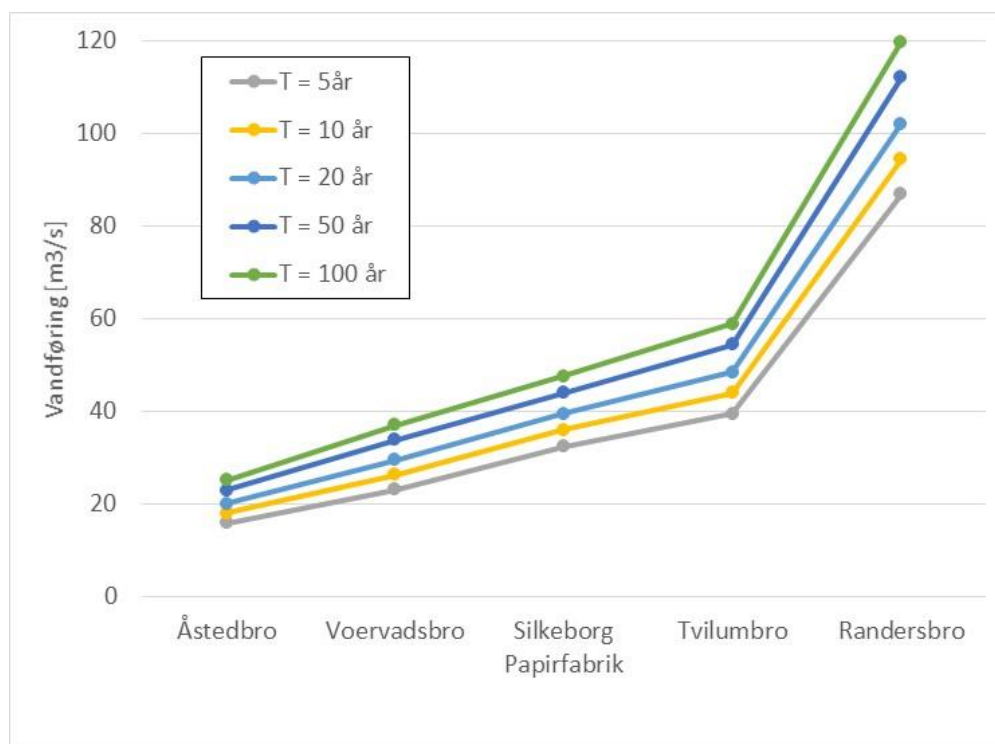
Figur 6-2 viser eksempel på resultat af ekstremværdianalyse for Tvilum Bro til bestemmelse af karakteristiske vandføringer svarende til T=5-100 års gentagelsesperioder. Målte vandføringer er plottet som punkter (sort), den optrukne røde linje viser den statistisk beregnede centrale værdi og de stiplede røde linjer angiver konfidensinterval. Det ses at den beregnede 100 års vandføring er højere end den

maksimalt målte. Stationen har mere end 100 års data. For stationer med kortere tidsserier (mindre end 100 år) er usikkerhed på gentagelsesperioder større udtrykt i bredere konfidensintervaller.



Figur 6-2 Resultat af ekstremværdianalyse for Tvilum Bro, ekstremvandføring (x-akse) plottet imod gentagelsesperiode (y-akse) med konfidensintervaller

Figur 6-3 og Tabel 6-2 viser resultat af ekstremværdianalyse i form af gentagelseperioder for de 5 udvalgte Gudenå stationer.



Figur 6-3 Gentagelsesperioder (T=5-100 år) for Gudenå vandføringsstationer

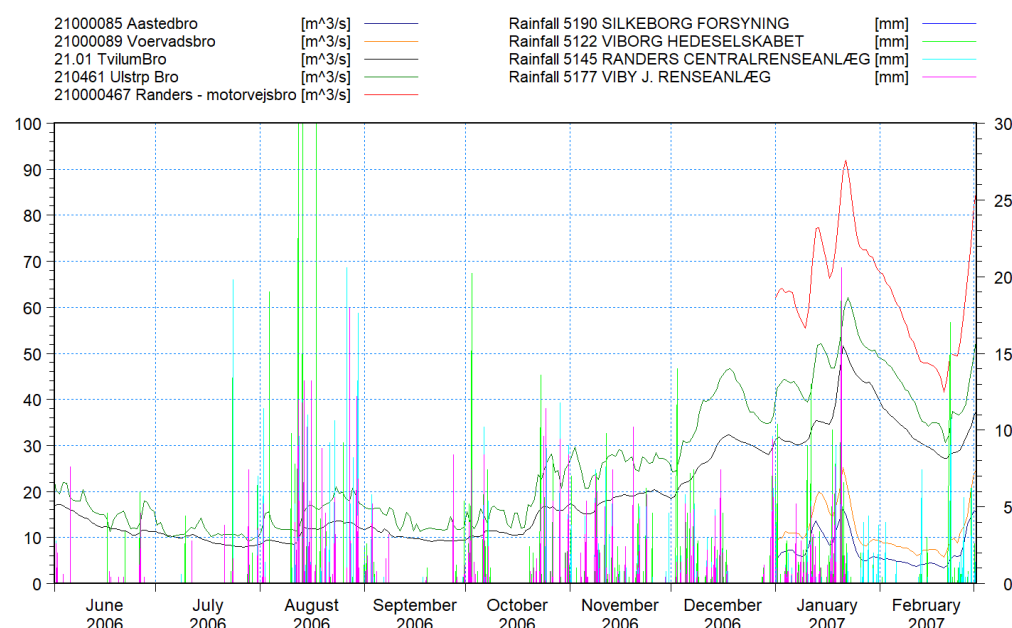
Tabel 6-2 Statistisk bestemte vandføringer (m³/s) for gentagelsesperioder T=5-100 år.

Målestation	T=5 år	T=10 år	T=20 år	T=50 år	T=100 år
Åstedbro	16	18	20	23	25
Voervadsbro	23	26	30	34	37
Silkeborg	32	36	38	44	47
Tvilum Bro	39	44	48	54	59
Randers Bro	87	94	102	112	120

6.1.2 Skalering af tilstrømning

Sammenligning imellem målestationer på Gudenå viser at der historisk ikke optræder ekstremvandføringer svarende til en given gentagelsesperiode samtidigt. Hvor der opstrøms optræder f.eks. T=10 år hændelse vil det længere nedstrøms udvikle sig f.eks. til en T=5år eller T=20 år hændelse. Årsagen er at nedbør og afstrømning i så stort et opland ikke sker ensartet f.eks. ved passage af et frontsystem. Det bevirker at man ikke samlet kan tale om en hændelse svarende til en given gentagelsesperiode uden at justere tilstrømningen imellem vandløbsstationer. Det sker ved først at udtrække tilstrømningen for hver delstrækning og sidetilløb, skalere tilstrømningen imellem vandføringsstationerne og bruge dem som indstrømningsrandbetingelse (T=5-100 år) i vandløbsmodellen. Ved at udtrække resultater og benytte dem som randbetingelse opnås generelt gode vandføringsforløb, men kortvarige udsving kan optræde pga. tidsforskydning. Justeringen sker på en udvalgt historisk hændelse i perioden 2000-2018, hvor der optræder en statistisk set stor afstrømningshændelse. Her er hændelsen 21-22 januar 2007 og forløbet i månederne forud velegnet.

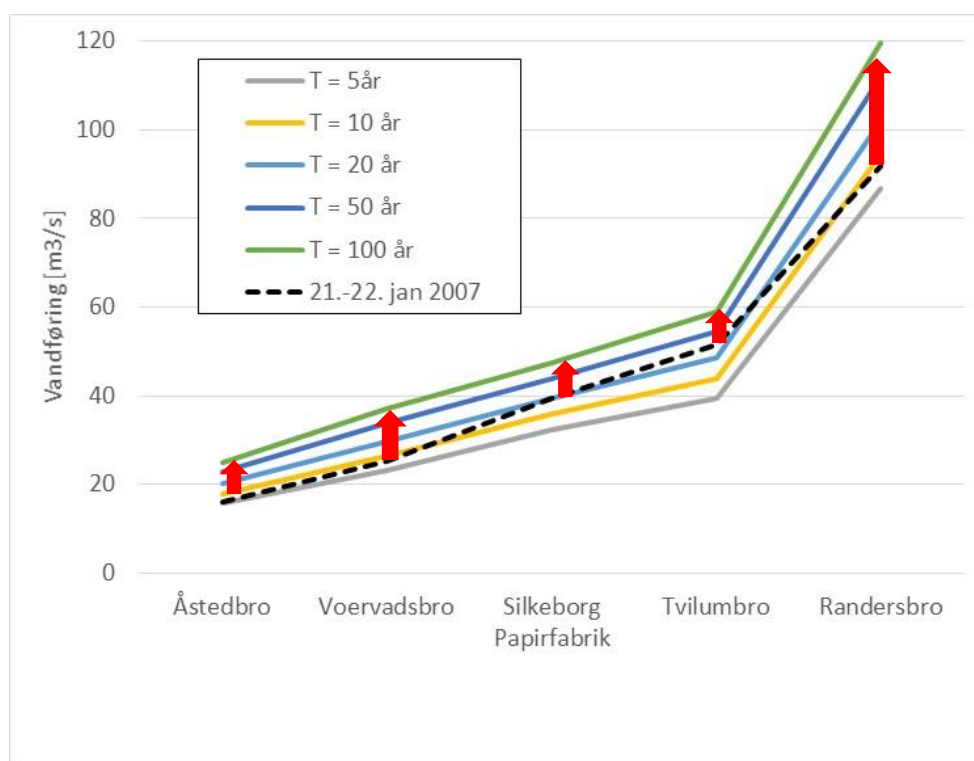
Da der er behov for at belyse effekter i scenarier i både sommer- og vinterperiode er det ikke tilstrækkeligt alene at se på januar 2007, men hele opbygningen op til og umiddelbart efter den maksimale vandføring er inkluderet i scenariosimuleringsperioden. Figur 6-4 viser målt nedbør og vandføring fra sommeren 2006 til marts 2007. Vandføringen topper omkring 21-22 januar 2007 i alle stationer efter en uge med høj nedbør i forlængelse af generel våd periode fra slut december til slut januar.



Figur 6-4 Udvikling i nedbør og vandføring op til ekstremhændelse, 21-22 januar 2007

Figur 6-5 viser den stiplede linje målt maksimal vandføringer for hændelsen, 21-22 januar 2007. Længst opstrøms er denne hændelse af størrelsesordenen en 5-års hændelse, men høj tilstrømning på især den nedre del af Gudenå oplandet resulterer i tilnærmelsesvis en 20 års hændelse ved Tvillum og en 10 års hændelse ved Randers. For at kunne opstille et grundlag for scenarieberegninger svarende til en given gentagelsesperiode for hele Gudenåen skaleres den historiske hændelse (21-22 januar 2007). Ved skalering af tilstrømningen til delstrækninger justeres vandføringen lokalt så modelberegnet vandføring rammer netop en given gentagelsesperiode i alle 5 stationer.

Det er en iterativ proces hvor vandføringen ved stationerne et skridt ad gangen justeres fra opstrøms til nedstrøms en gentagelseperiode ad gangen. Princippet er skitseret ved de røde pile på Figur 6-5. Det sker ved strækningsvist først at udtrække tidsserier for tilstrømningen fra modelberegning i perioden 2006-2007 og dernæst øge tilstrømningen en sektion ad gangen fra opstrøms til nedstrøms indtil den modelberegnete vandføring er løftet til niveauet i alle stationer og for hver af 5-100 års gentagelsesperioderne.

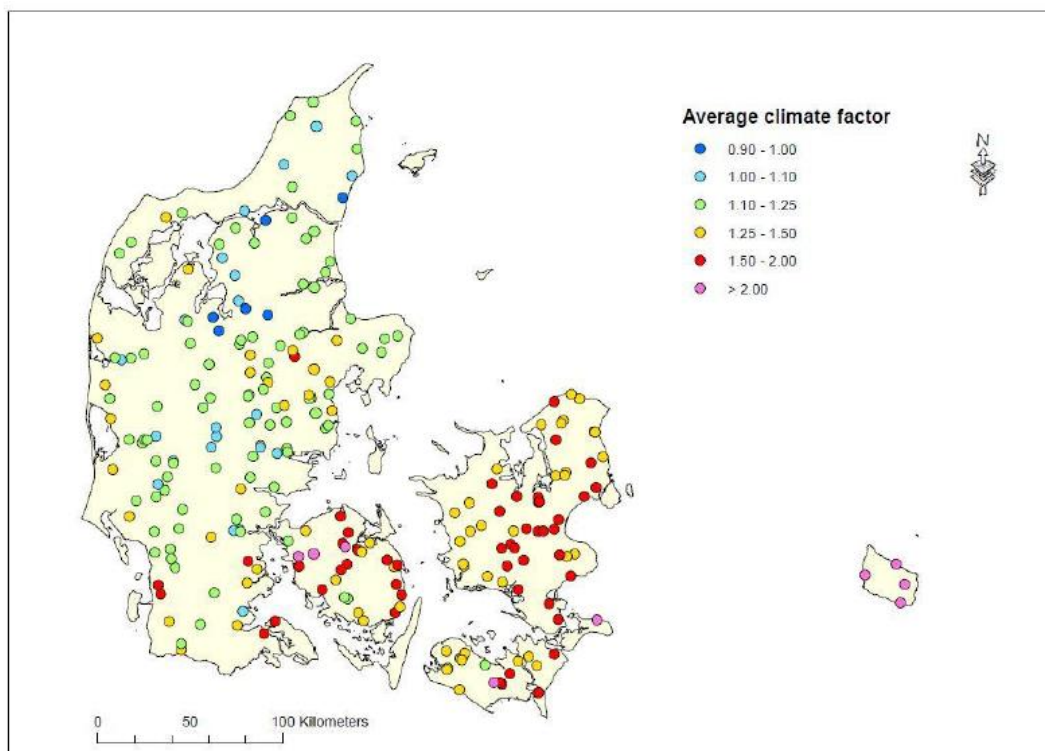


Figur 6-5 Beregnede gentagelsesperioder og målinger (stiplet linje) fra 21.-22. januar 2007

6.1.3 Klimaændringers effekt på dimensioneringsgrundlag

Klimaændringer vil påvirke nedbør og afstrømningsforhold i Gudenåen. Klimascenarier til klimatilpasning i Danmark (www.klimatilpasning.dk) beskriver den forventede ændring i nedbør, temperatur og fordampning ud fra emissionsscenarier og klimamodeller.

GEUS, 2014 /3/ har på baggrund af langtids klimadata (DMIs 30 års klimagrid data) og DK model ensembler beregnet ændringer i ekstremvandføringer i vandløb i Danmark. Figur 6-6 viser middel klimafaktor ved fremskrivning af 100 års vandføringshændelse til 2050. Der ses nogen spredning for stationer i Gudenå oplandet men klimafaktoren ligger generelt i intervallet 1.1 – 1.4 svarende til en forøgelse i T=100 års vandføring på 10-40 %. Der indgår 3 Gudenå vandløbsstationer i rapporten, nemlig Åstedbro, Voervadsbro og Tvilum Bro og klimafaktorerne beregnet er stort set ens, se Tabel 6-3. Der er væsentlig usikkerhed i klimafaktorer, her udtrykt i forskellen imellem middel klimafaktor og maksimum klimafaktor (øvre konfidensinterval)



Figur 6-6 Klimafaktor, ændring i T=100 års vandføring for perioden frem til 2050 (GEUS 2014)

Tabel 6-3 Tabel over middel og maksimum klimafaktorer for Gudenå stationer (2050)

Station	Åstedbro	Voervadsbro	Tvilum	Stationsmiddel
T=5år : Middel	1,17	1,17	1,17	1,17
T=5år : Maks.	1,52	1,59	1,62	1,58
T=10år : Middel	1,17	1,13	1,15	1,15
T=10år : Maks.	1,53	1,52	1,56	1,54
T=20år : Middel	1,16	1,11	1,12	1,13
T=20år : Maks.	1,52	1,46	1,56	1,50
T=50år : Middel	1,14	1,09	1,10	1,11
T=50år : Maks.	1,39	1,35	1,46	1,40
T=100år : Middel	1,13	1,09	1,10	1,11
T=100år : Maks.	1,44	1,38	1,38	1,40

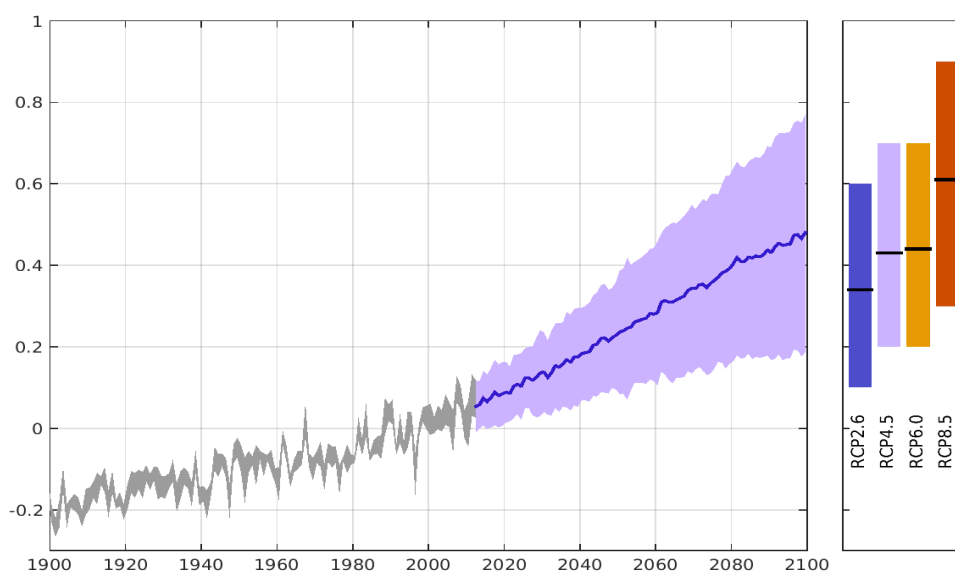
Ud fra stationsmiddel klimafaktorer kan karakteristiske vandføringer beregnes i Tabel 6-4.

Tabel 6-4 Tabel over vandføringer (m^3/s) for gentagelsesperioder ($T=5-100$ år) iberegnet klimaændring, CC 2050 (middel klimafaktor) øverst og CCmax 2050 (høj klimafaktor) nederst

Målestation	T=5 år	T=10 år	T=20 år	T=50 år	T=100 år
Åstedbro	19	21	23	26	28
Voervadsbro	27	30	34	38	41
Silkeborg	37	41	43	49	52
Tvilum Bro	46	51	54	60	65
Randers Bro	102	108	115	124	133

Målestation	T=5 år	T=10 år	T=20 år	T=50 år	T=100 år
Åstedbro	25	28	30	32	35
Voervadsbro	36	40	45	48	52
Silkeborg	51	55	57	62	66
Tvilum Bro	62	68	72	76	83
Randers Bro	137	145	153	157	168

Ud over klimaændringernes påvirkning af afstrømnings- og vandføringsforhold forventes havvandstanden at stige. Højere vandstand i Kattegat påvirker nedstrøms del af Gudenåen. IPCC har via række scenarier estimeret den forventede havvandsstigning for Danmark (Figur 6-7). Den blå linje angiver bedste estimat og ifølge dette vil vandstanden stige med ca. 25 cm i 2050 (CC 2050). Den lilla markerede område viser spændet i scenarierne med en øvre værdi på ca. 35 cm (CCmax 2050). Disse værdier er brugt for modellens nedre randbetingelse ved Udbyhøj. Tidevand og stormflod er ikke inkluderet i scenariemodellen.



Figur 6-7 Estimeret udvikling i havvandstand i Danmark ved klimaændring.

7 Klimatilpasningsscenarier for Gudenå

Et af formålene med projektet er at bidrage med viden og forståelse. På grundlag af modelopstilling, kalibrering og scenariekørsler kan vandløbsmodellen medvirke til at belyse hvilke forhold i oplandet og i selve Gudenåen der er afgørende i forhold til høje vandstande og oversvømmelse. Potentialer for forskellige typer virkemidler til klimatilpasning er belyst i en række scenarier.

7.1 Målsætning

I projektet har det været drøftet om der kan formuleres en målsætning for klimatilpasning af Gudenå i lighed med f.eks. spildevandsplaner. Spildevandsplaner opererer ofte med et serviceniveau udtrykt ved en gentagelsesperiode. Det betyder at investeringer i f.eks. afløbssystem sigter imod at forebygge oversvømmelser svarende til f.eks. en 10 års eller 20 års gentagelsesperiode. Det indebærer investeringer for at fastholde serviceniveauet i takt med at klimændringer øger presset på infrastrukturen. Værdier der beskyttes i tætbebyggede områder jvf. spildevandsplaner har højere koncentration end det er tilfældet for Gudenå. I Gudenådalene optræder et bredt spekter af arealanvendelser og værdier der skal beskyttes, men andelen af landbrugsområder, naturområder m.m. er større. Derfor er det ikke umiddelbart relevant at overføre spildevandsplaners serviceniveau til klimatilpasning for vandløb. Kommunerne i Gudenå oplandet har udarbejdet klimatilpasningsplaner hvor arealer langs Gudenå indgår, men der er ikke formuleret en overordnet målsætning der kan regnes gældende for Gudenå som helhed. På den baggrund har det ikke været muligt at formulere en målsætning som målestok for klimatilpasningsscenariernes effekt.

Da der er brug for en økonomisk baseret metode til at vurdere om givne klimatilpasningstiltag har effekt, er det i stedet valgt at evaluere scenarierne i forhold til reduktion i oversvømmelsesrisiko. Implicit i metoden lægges der størst vægt på at beskytte de højeste ejendoms- og samfundsværdier, da disse er associeret med de højeste skadesomkostninger. Enhedsomkostninger knyttet til arealanvendelse giver stor vægt på bebyggede arealer og ejendomme i forhold til natur- og landbrugsområder.

Klimatilpasningstiltag kan have både positive og negative effekter. For vandløb i almindelighed og Gudenå i særdeleshed vil opstrøms til nedstrøms sammenhæng betyde at forbedring på en given strækning kan medføre forværring længere oppe eller nede af åen. Om fordele opvejer ulemper samlet set, kan belyses ved at se på den samlede oversvømmelsesrisiko og skadesomkostning.

Det er vigtigt at fremhæve at problem og løsning ofte er to sider af samme sag. Opmagasinerings kan indebære øget oversvømmelse lokalt for at mindske oversvømmelsen andetsteds. Oversvømmelsen der optræder i Gudenådalene i dag skaber problemer, men medvirker samtidig til at reducere oversvømmelsen længere nedstrøms. Det betyder at der er et overlap imellem henholdsvis den naturlige, ukontrollerede oversvømmelse og den kontrollerede oversvømmelse ved brug af klimatilpasningsvirkemidler. I et vist omfang handler klimatilpasningen om at dirigere oversvømmelsen derhen hvor den forårsager mindst skade og se på konsekvenser, dels i en sammenhæng for vandløbet og dels for de delstrækninger og lodsejere der påvirkes.

7.2 Fokusområder

Projektet tog afsæt i fokusområder for klimatilpasning. Det vil sige strækninger hvor oversvømmelser erfaringsmæssigt forekommer og skaber problemer i kommunernes arbejde. Det var muligt at udpege problemområder og i nogle tilfælde de mulige årsager. Tankegangen var indledende at kombinere klimatilpasningstiltag i klimatilpasnings-scenarier med henblik på finde løsninger for fokusområderne. Projektansøgningen er imidlertid opbygget som et scenarie for hver type klimatilpasningsvirkemiddel hvilket ønskedes fastholdt. Fokusområderne har derfor karakter af en indledende screening, men har ellers ikke dannet basis for scenarieformuleringerne. Fokusområderne fremgår af Figur 7-1.

7.3 Scenarieformulering

Gudenå vandløbsmodel med tilhørende dimensioneringsgrundlag er anvendt til at beregne en baseline svarende til nuværende forhold, 2050 klimaændringer ved henholdsvis "middel" og "høj" klimafaktor samt klimatilpasningsscenarier hvor effekten af forskellige typer klimatilpasningstiltag er belyst. Typerne af tiltag er fastlagt ved projektets start med reference til C2C CC Gudenå EU ansøgning.

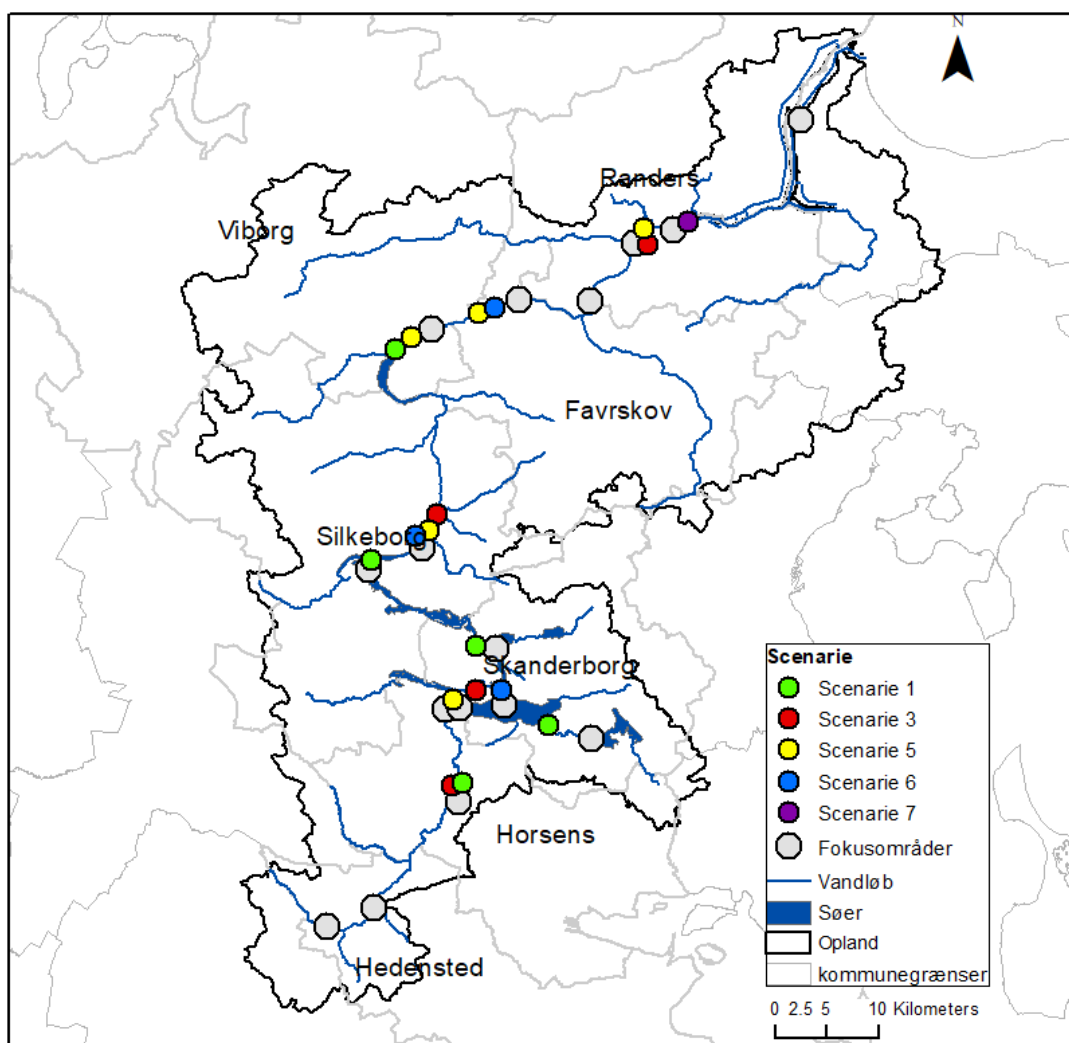
Tabel 7-1 Oversigt over klimatilpasningsscenarier

Scenarie	Beskrivelse
Baseline	Baseline beskriver den nuværende Gudenå, henholdsvis med nuværende og 2050 klima (middel faktor), dvs. klimafaktor: 1.11-1.17. Output er T=5-100 års oversvømmelseskort (dybde på terræn), et samlet sandsynlighedskort (T=5-100 år) og et samlet risikokort (T=5-100 år).
Scenarie 1 Søparkering	Scenarie 1 beskriver effekten af vandstands-reguleringer med henblik på at udnytte søernes opmagasineringsvolumen ved maksimal vandføring. Beregnet for 2050 klima (middel faktor), dvs. klimafaktor: 1.11-1.17. Output er T=5-100 års oversvømmelseskort (dybde på terræn), et samlet sandsynlighedskort (T=5-100 år) og et samlet risikokort (T=5-100 år).
Scenarie 2 Grødeskæring	Scenarie 2 vedrørende grødeskæring beskriver effekt af grødeskæringer, hvilket sker i sommer-halvåret. Output er tidserier for vandspejlskote og vandføring for udvalgt periode.
Scenarie 3 Uddybning af Gudenå	Scenarie 3 ser på effekten af uddybning af åløbet på udvalgte strækninger. Beregnet for 2050 klima (middel faktor), dvs. klimafaktor: 1.11-1.17. Output er T=5-100 års oversvømmelseskort (dybde på terræn), et samlet sandsynlighedskort (T=5-100 år) og et samlet risikokort (T=5-100 år).
Scenarie 4 Jordkøb, jordfordeling og høj klimafaktor	Scenarie 4 ser på baseline med prognose for maksimum klimaændring 2050 (maksimum klimafaktor), dvs. 1.40-1.58. Output er T=5-100 års oversvømmelseskort (dybde på terræn), et samlet sandsynlighedskort (T=5-100 år) og et samlet risikokort (T=5-100 år).

Scenarie	Beskrivelse
Scenarie 5 Vandparkering i Gudenådal	Scenarie 5 omhandler vandparkering (kontrolleret oversvømmelse) med arealer/volumen indlagt på strækninger. Beregnet for 2050 klima (middel faktor), dvs. klimafaktor: 1.11-1.17. Output er T=5-100 års oversvømmelseskort (dybde på terræn), et samlet sandsynlighedskort (T=5-100 år) og et samlet risikokort (T=5-100 år).
Scenarie 6 Parallelløb	Scenarie 6 inkluderer parallelløb til Gudenå på udvalgte strækninger. Beregnet for 2050 klima (middel faktor), dvs. klimafaktor: 1.11-1.17. Output er T=5-100 års oversvømmelseskort (dybde på terræn), et samlet sandsynlighedskort (T=5-100 år) og et samlet risikokort (T=5-100 år).
Scenarie 7 Aflejringer i nedre Gudenå	Scenarie 7 ser på effekt af aflejringer i nedstrøms del af Gudenå, ved Randers. Beregnet for 2050 klima (middel faktor), dvs. klimafaktor: 1.11-1.17. Output er T=5-100 års oversvømmelseskort (dybde på terræn), et samlet sandsynlighedskort (T=5-100 år) og et samlet risikokort (T=5-100 år).
Scenarie 8 Forsinket afstrømning fra byer	Scenarie 8 belyser effekten af at tilbageholde og forsinke afstrømningen fra byer til Gudenå.

Det er ønskeligt at kunne vurdere effekten af klimatilpasningstiltag ud fra samme baseline og sammenligningsgrundlag. Her er risikokortet omdrejningspunktet da de samlede positive og negative effekter indgår. Risikokortet er beregnet på baggrund af oversvømmelseskort ved brug af dimensioneringsgrundlag baseret på T=5-100 år vandføringsstatistik. Gentagelsesperioder er forbundet med den højeste årlige vandføring og de forekommer for alle stationer og for alle år i vinter-forårs perioden i Gudenå. Det betyder at to scenarier skiller sig ud da der ikke kan beregnes risikokort ud fra grødeskæring (scenarie 2), der kun har effekt om sommeren, og forsinket afstrømning fra byer (scenarie 8) der til forskel fra de øvrige har effekt på oplandets afstrømning. For grødeskæring gælder at den kun forekommer om sommeren imens de karakteristiske afstrømningshændelser ((T=5-100 år) forekommer vinter/forår og derfor kan risikokort på lige fod med de øvrige scenarier ikke beregnes. Hvad angår afstrømning fra byer kan de dimensionsgivende vandføringer med efterfølgende skalering i forhold til klimaændring ikke bruges da de er baseret på et afstrømningsmønster med de nuværende forhold, dvs. (uden forsinkelse). Fremskrivning med høj klimafaktor (scenarie 4) adskiller sig ved ikke at se på virkemidler til klimatilpasning, men derimod risikokort under forudsætning af at klimaændringer sker ud fra "maksimal" klimafaktor i stedet for "middel" klimafaktor.

Scenarierne skal bidrage med at mindske eller eliminere effekter af klimaændringer (2050). Derfor er udgangspunktet en baseline der svarer til de nuværende forhold. Klimaændringer medfører højere vandføringer og oversvømmelsesrisiko, både ved "middel" og maksimal klimafaktor.



Figur 7-1 Scenarielokaliteter og fokusområder

7.4 Scenarier og resultater

Modelberegning af Gudenå klimatilpasningsscenarier giver sig udslag i oversvømmelseskort der danner grundlag for de to hovedresultater – dels sandsynlighedskort og dels risikokort.

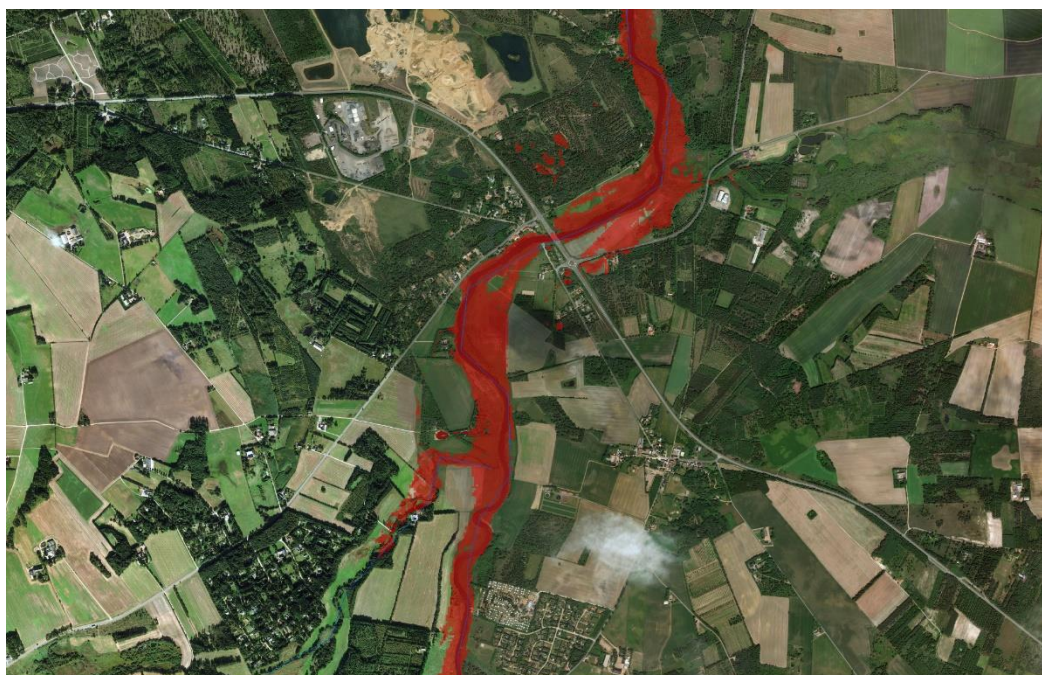
7.4.1 Sandsynlighedskort

Sandsynlighedskort udtrykker sandsynligheden for at et areal langs Gudenå oversvømmes et givet år. Sandsynligheden for et en 5 års hændelse optræder et vilkårligt år er 20 %, en 10 års hændelse 10 % og så fremdeles op til 100 års hændelsen hvor sandsynligheden er 1 %. Ved hjælp af vandløbsmodellen er oversvømmelseskort beregnet for T=5-100 år og der er tilknyttet sandsynlighed til hver 10 m x 10 m celle hvor oversvømmelse optræder (vanddybden større end nul). Der skelnes ikke imellem forskellige oversvømmelsesdybder, men alene om der optræder vand på terræn. Områder der ikke oversvømmes i nogen af T=5-100 år tilfældene har 0 % sandsynlighed.

Kort over sandsynlighed for oversvømmelse fremstilles for hver af T=5-100 år tilfældene. I sandsynlighedskortet for T=5 år vil permanent vanddækkede arealer, f.eks. vandløb,

søer samt lavtliggende arealer langs åen med fremgå med en sandsynlighed på $p=0,20$ (optræder statistisk 1 ud af hver 5 år). For større afstrømningshændelser med højere gentagelsesperioder vil højere vandstand bevirke yderligere ekspanderende oversvømmelse op til $T=100$ år, $p=0,01$ (optræder statistisk 1 ud af hver 100 år). Lokale terrænforhold, herunder bredde af ådal og tærskel ved ådalsfod er bestemmende for sandsynlighedskortenes udbredelse.

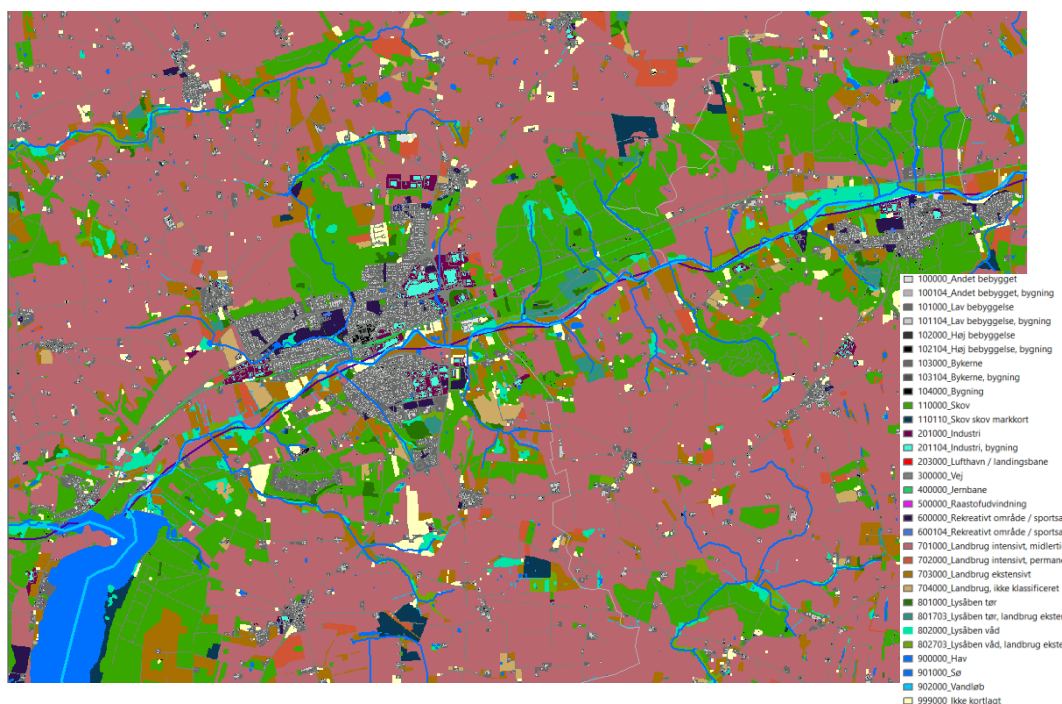
Kortene dækker mere end 160 km vandløb og søer langs Gudenåen. På lange strækninger dækker kortet et relativt smalt område i ådalen. Derfor er kortet på den ene side irregulært og detaljeret hvilket gør det vanskeligt at vise for hele Gudenå samlet. Til gengæld indeholder det detaljeret information ved at zoome ind på de enkelte lokaliteter hvilket bedst sker i GIS eller via projektets websider.



Figur 7-2 Sandsynlighedskort ($T=100$ år) for Gudenå, lokalt udsnit ved Kongensbro

7.4.2 Arealanvendelse og skadesomkostninger

Der er brug for at opdateret og ensartet kort over arealanvendelse for Gudenådalen for at kunne vurdere risiko og konsekvenser af oversvømmelse. I forbindelse med klimatilpasning af byer bruges i visse tilfælde BBR ejendomsværdier på matrikelniveau, men her er brug for et kort der dækker alle arealanvendelser. DCE har udviklet et landsdækkende arealanvendelseskort ud fra 2016 data. DCE, 2017 /8/ har udviklet BaseMap arealanvendelseskortet som foreligger i 10 m opløsning. BaseMap er det bedst egnede grundlag for at opgøre skadesomkostninger samlet langs hele Gudenåen. For bebyggede områder repræsenterer BaseMap kortet både grund og bygning, hvilket er væsentligt af hensyn til differentiering af skadedomkostninger ved oversvømmelse. Grupperes BaseMap arealanvendelsestyper kan arealanvendelsen opgøres jvf. Tabel 7-2. Set i forhold til hele Gudenåoplandet har Gudenådalen nogenlunde samme andel af industri og erhverv, bebyggelse og veje. Derimod udgør natur, søer og vandløb en større andel i Gudenådalen imens andelen af landbrugsarealer er mindre.



Figur 7-3 Udsnit af 10 m BaseMap arealanvendelse ved Bjerringbro

Tabel 7-2 BaseMap arealanvendelse opgjort for dels Gudenå opland og dels Gudenådal

Arealanvendelse	Gudenå opland (%)	Gudenådal (%)
Industri og erhverv	0.7	0.9
Bebyggelse	5.5	5.7
Landbrug	58.4	36.6
Sekundære trafikveje	5.7	5.8
Jernbane og letbane	0.1	0.3
Skov	16.1	14.8
Natur	6.4	16.5
Sø og vandløb	3.4	16.2
Ikke kortlagt m.m	3.5	3.3
Sum	100	100

Region Midt, 2013 /7/ har til brug for klimatilpasning udarbejdet en vejledning til kommuner med enhedstal for omkostninger ved oversvømmelse (Tabel 7-3). Den sammenkæder arealanvendelse med en omkostning (kr./m²). Der findes en tilsvarende eller lignende prissætning i flere kommuners klimatilpasningsplaner. Bl.a. har Randers Kommune og Vandmiljø Randers (tidligere Randers Forsyning) i forbindelse med kortlægning af oversvømmelsestruede arealer /9/ og Herning Kommune /11/ arbejdet med en udvidet udgave af Region Midts anbefalinger hvor arealtypen "Natur" indgår og er prissat til 1 kr./m². Desuden er omkostninger i relation til veje udbygget og benyttet i denne samme enhæng. Ca. 3 % af arealet har status af "ikke kortlagt" og kan dække

over varierende ukendte arealanvendelsestyper. De kan ikke associeres med en omkostning og vil figurere med nul værdi i de samlede skadesomkostninger både i baseline og scenarier. I indledende analyser blev værdier svarende til "Boliger" tilknyttet "Bebyggelse" hvilket medførte relativ høj skadesværdi for ikke alene bygninger men også den ubebyggede del af grunde (f.eks. haver). Det blev efterfølgende valgt at indføre en selvstændig skadesværdi for den ubebyggede del, dvs. bebyggede områder eksklusivt bygninger, med en skønnet værdi af 15 kr./m² gældende for hele oplandet.

Tabel 7-3 Tabel over arealanvendelse og værdi/skader ved oversvømmelse

	Anvendelse	Kilde til andel af celle	Værdi pr. m2 i kr
Bebyggelse	Industri og handel	BBR	1.000
	Boliger	BBR	600
	Fritidsboliger	BBR	400
	Offentlig service	BBR	3.000
	Fredede bygninger o. lign.	BBR	10.000
Anlæg	Motorvej & Motortrafikvej	Standardbredde	45
	Anden vej	Standardbredde	10
	Jernbane	Standardbredde	90
	Kirkegård	GIS-tema	100
	Affaldsdeponier	GIS-tema	100
Landbrug	Høj bonitet	GIS-tema	0,65
	Middel bonitet	GIS-tema	0,55
	Lav bonitet	GIS-tema	0,35
Kulturarv	Fortidsminder	GIS-tema	3.000

Arealanvendelsestyperne er inddelt i Tabel 7-4 og tilskrevet en værdi/skade i forhold til Tabel 7-3. I visse tilfælde repræsenterer BaseMap arealanvendelseskortet ikke særskilt, f.eks. kirkegårde og fritidsboliger og de indgår i stedet under kategorien bebyggede områder.

Tabel 7-4 BaseMap og Region Midt kategorier samt estimeret værdi/skade

BaseMap kode/ID	Anvendelse	Værdi (kr./m ²)
100000-104000 (bygninger) Bebygget, lav, høj, bykerne	Bebygget, bygninger	600
100000-104000 (grunde) Bebygget, lav, høj, bykerne	Bebygget, grunde	15
201000 – 201104 Industri, bygninger	Industri og handel	1000
300000 Vej	Sekundære trafikveje	30
400000 Jernbane	Jernbane	90
701000 - 704000 Landbrug	Landbrug	0,55
801000 – 802703 Natur	Natur	1

BaseMap kode/ID	Anvendelse	Værdi (kr./m ²)
900000 – 902000 Hav, sø og vandløb	Ingen	0
999000 Ikke kortlagt	Ukendt	0

7.4.3 Risikokort

Jvf. Vejledning i Klimatilpasning skal risikokort udarbejdes og anvendes til dels at målrette klimatilpasningsindsatsen og dels vurdere omkostninger ved oversvømmelse. Risikokortet er produktet af sandsynlighedskort og værdikort (skadeskort). Risikokortet er ligesom modellens output i form af oversvømmelseskort og BaseMap arealanvendelseskortet et 10 m x 10 m grid for henholdsvis opstrøms og nedstrøms del af oplandet. Ved at multiplicere med arealet af en gridcelle bliver risikokortets enhed omkostninger i kr./år. Omkostningerne skal ikke fortolkes som gældende for en given T=5-100 års hændelse, men derimod er omkostningerne at betragte som den årlige gennemsnitsomkostning iberegnet sandsynligheden for at en given oversvømmelseshændelse (T=5-100 år) kan forekomme et vilkårligt år.

Hvert klimatilpasningsscenarie vil påvirke oversvømmelseskort, hvilket fører til en ændring i både sandsynlighed og risikokort. Summeres risikokortet få et overordnet mål for klimatilpasningens effekt i kr., hvilket kan give en vejledende størrelsesorden.

Risikokortet for hele Gudenådalene i 10 m opløsning er vanskeligt at vise på et kort. Det kræver at man zoomer ind som Figur 7-4 giver et eksempel på. Nøjagtigheden i risikokortet afhænger af oversvømmelseskortet, herunder terrænmodel og i hvilken grad vandløb og arealer er hydraulisk forbundne. Kortet viser tydeligt kontraster på skalaen imellem arealer med høj sandsynlighed og høj omkostning versus lav sandsynlighed og lav omkostning. Der kan i risikokortet optræde arealer med nul risiko idet værdien er sat til nul. Det kan eksempelvis dreje sig om vandløb og søer, men kan desuden omfatte "ikke kortlagte" områder.



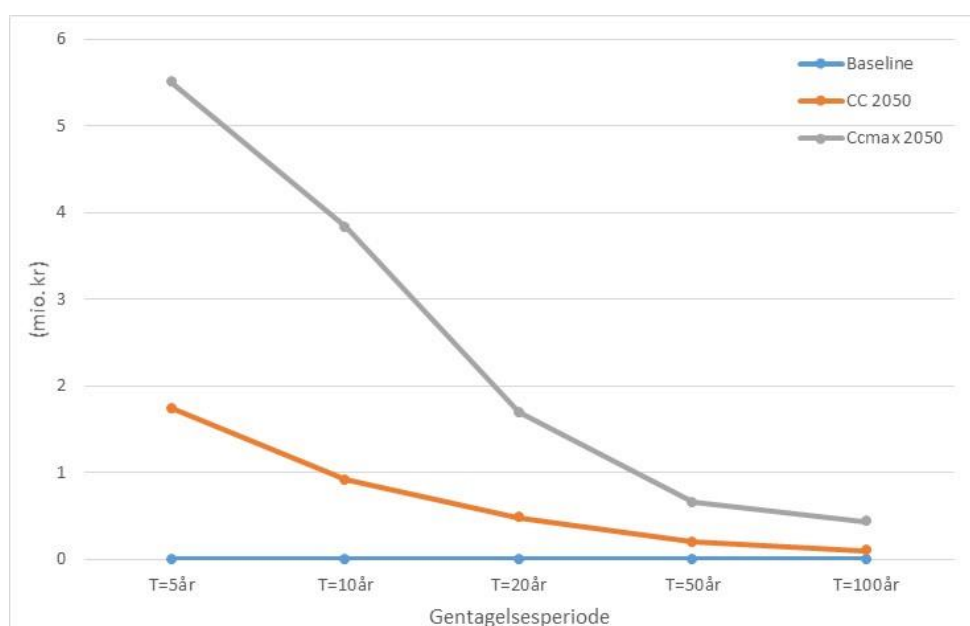
Figur 7-4 Risikokort (kr./år) for Gudenå (T=100 år), lokalt udsnit ved Langå

7.4.4 Baseline og udgangspunktet

Baseline model med det nuværende klima giver et billede af oversvømmelsesrisikoen og omkostninger i dag. I forbindelse med klimatilpasningsindsatsen er det væsentlig at se på dette udgangspunkt i forhold til den forværring klimaændringer forårsager. Ved at plotte kurver for meromkostninger for givne gentagelsesperioder, $T=5-100$ år (Figur 7-5) ses det at den årsgennemsnitlige meromkostning forbundet med oversvømmelsesskader for hele Gudenåen løber op i 3-4 mio. kr. i 2050 med fremskrivning af klimaændring ud fra "middel faktor" (CC 2050). Hvis klimaændringer 2050 fremskrives svarende til "maksimum faktor" (Ccm_{max} 2050) ses derimod en stigning i udgifter på op til ca. 11 mio. kr./år. Det fremgår også af figuren at meromkostninger forårsaget af $T=5$ års hændelser forvolder klart mest skade sammenlignet med de øvre gentagelsesperioder. Meromkostninger ved hver enkelt $T=5$ års hændelse er lavere end $T=10-100$ års hændelser men den optræder hyppigere (20 % sandsynlighed hvert år) og det betyder at de samlede omkostninger er størst. Randers Fjord indgår i totalerne, men tallene skal tages med forbehold da modellens resultater ikke her kan regnes repræsentative for risiko og omkostninger af klimaændringer samt effekter af klimatilpasningstiltag.

Tallene indikerer at det bedst kan betale sig at klimatilpasse med henblik på at reducere de hyppige forekommende hændelser, f.eks. $T=5-20$ år frem for $T=20-100$ år. Det er positivt i den forstand at de lave gentagelsesperioder kræver relativt mindre omfattende tiltag med hensyn til kapacitet og volumen. Omvendt kan det konkluderes at omkostninger og skader ikke stiger proportional med gentagelsesperiode hvilket bl.a. skyldes det oversvømmede areal ved høje vandføringer og fuldt oversvømmet Gudenådal kun stiger moderat med yderligere øget vandføring. Ikke alene stiger overfladearealet, men topografien, f.eks. ådalsfoden vil mindske tilvækst i oversvømmet areal.

Klimatilpasningsindsatsen baserer sig oftest på fremskrivning af klimaændringer ud fra middelfaktoren. Det betyder at klimatiltag der kan neutralisere 2050 klimaændring (CC 2050) vil kunne modvirke skader i størrelsesordenen 3-4 mio. kr./år. Den mindre sandsynlige øvre grænse for klimaændringseffekter udtrykt ved den maksimale klimafaktor (Ccm_{max} 2050) medfører 3-4 gange højere omkostninger. Det skal understreges at den øvre grænse kan være urealistisk høj da den repræsenterer et yderpunkt i den anslåede effekt af klimaændringer.



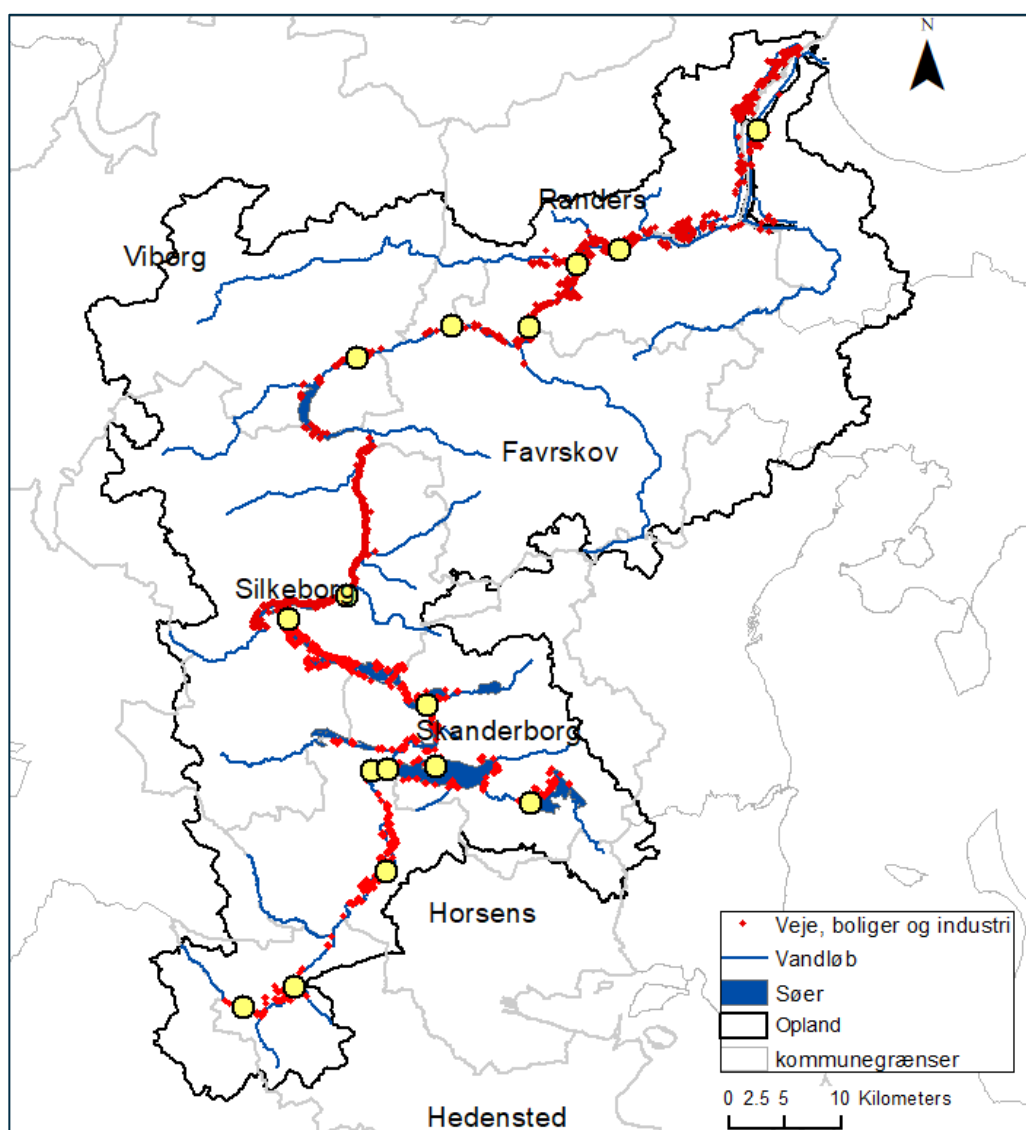
Figur 7-5 Kurver over årlige meromkostninger ved oversvømmelse i baseline og ved klimaændring med hhv. "middel" og "høj" klimafaktor 2050.

Det er relevant at se på hvilke arealanvendelsestyper der ifølge de modelberegnete risikokort kan være udsat for oversvømmelse. Tabel 7-5 viser sammensætningen af oversvømmelsespåvirkede arealer langs Gudenå, i henholdsvis opstrøms og nedstrøms del samt hele oplandet (se afsnit 4.1). Opstrøms og nedstrøms del adskiller sig ved andelen af henholdsvis landbrugs- og naturområder. For oversvømmede arealer er andelen af naturområder størst opstrøms Silkeborg hvor imod landbrugsområder udgør størstedelen nedstrøms. De er samlet set dominerende arealmæssigt, men omkostningerne for disse typer arealanvendelse er lave. Veje, boliger og industriområder udgør 3-4 % af de oversvømmede områder men her gælder omvendt at omkostningerne (kr./m²) er høje.

Tabel 7-5 Fordeling af arealanvendelsestyper påvirket af oversvømmelse for Gudenå opstrøms, nedstrøms og samlet (baseline, T=5-100 år)

	% OS	% NS	% Total
Landbrug	9.2	55.0	40.0
Natur	86.7	42.0	56.7
Veje	2.0	2.2	2.2
Boliger	2.1	0.7	1.1
Industri& erhverv	0.0	0.1	0.1

Da klimatilpasningsindsatsen ofte er styret af at beskytte størst mulige værdier har veje, har boliger og industri som udgangspunkt særlig interesse. Figur 7-6 viser punkter hvor der ifølge risikokortet kan ske oversvømmelse af veje, boliger og industri (T=5-100 år, baseline). Desuden er fokusområder defineret under projektet vist. Skønt tætheden af punkter markerer at oversvømmelsesproblemer er mere udtalte på nogle strækninger kan klimatilpasningen ikke isoleres til få delområder.



Figur 7-6 Kort med punktmærkning af veje, bygninger eller industri påvirket af T=5-100 års oversvømmelse i baseline (rød) samt fokusområder (gul)

Meromkostninger forårsaget af klimaændringer er summeret for hele Gudenå i Figur 7-5, men de er ikke jævnt fordelt. For at illustrere variation er Gudenå inddelt i strækninger i forhold til fokuspunkter og meromkostningerne er beregnet for hver delstrækning, jvf. Tabel 7-6. Tabellen viser hvor de værdier der trues af øget oversvømmelse (CC 2050) primært er koncentrerede. Desuden fremgår det at yderligere øgede skadesomkostninger ved antagelse om klimaændringer i forhold til "høj klimafaktor" (CCmax 2050) ligeledes er ujævnt fordelt. Tallene er den beregnede årlige skade summeret imellem punkterne. Arealanvendelsen spiller en væsentlig rolle for tallene, men det er også væsentligt at fremhæve at antal kilometer å- eller søbred vil have betydning for hvor store arealer der påvirkes. Bortset fra Randers Fjord findes de største meromkostninger på grund af klimaændring (CC 2050) på strækningerne Ry Mølle-Slusen, Langå-Nørreå og Bjerringbro-Ulstrup og mindst skade længst opstrøms. Opgørelsen for CCmax kan være urealistisk høj da klimafaktoren ligger væsentligt over den middelværdi klimatilpasning normalt baserer sig på, men ændringerne imellem CC 2050 og CCmax 2050 kan indikere hvilke strækninger der opgjort i skadesværdi er mest sårbare ved yderligere øget vandføring og oversvømmelse.

Tabel 7-6 Meromkostninger (tkr/år) fordelt på Gudenå vandløbsstrækninger imellem fokuspunkter

Strækning	CC 2050, T=5-100 år	CCmax 2050, T=5-100 år
Tinnet-Tørring	6	78
Tørring-Uldum	87	344
Uldum-Vestbirk	133	300
Vestbirk-Mossø	144	491
Skanderborg-Mossø	125	596
Mossø-Ry Mølle	29	112
Ry Mølle - Slusen	320	1648
Slusen-Silkeborg Langsø	236	867
Silkeborg Langsø-Kongensbro	184	539
Kongensbro-Bjerringbro	123	1546
Bjerringbro-Ulstrup	278	989
Ulstrup-Langå	64	351
Langå-Nørreå	309	761
Nørreå-Randers	136	316
Randers-Udbyhøj	1208	2291

7.4.5 Scenarie 1 Søparkering

Gudenå gennemløber adskillige søer med store søarealer. At anvende søerne til midlertidig opmagasinering kan have betydeligt klimatilpasningspotentiale og bygger på de naturgivne forhold. Kan opmagasinering i søerne antages at foregå ved de eksisterende vandstandsregulerende bygværker vil der være tale om opgradering frem for nyanlæg.

Vandstanden i Gudenå styres flere steder af opstemninger og bygværker. De reguleres bl.a. i forhold til vandstandsintervaller eller flodemål der er indrettet til at tilgodese en række behov og ikke som udgangspunkt klimatilpasning. Regulering ved ekstremssituationer består dels i at skabe et magasineringspotentiale ved at sænke vandspejlet opstrøms vandstandsregulerende bygværker og hæve det midlertidigt ved ekstremhændelser.

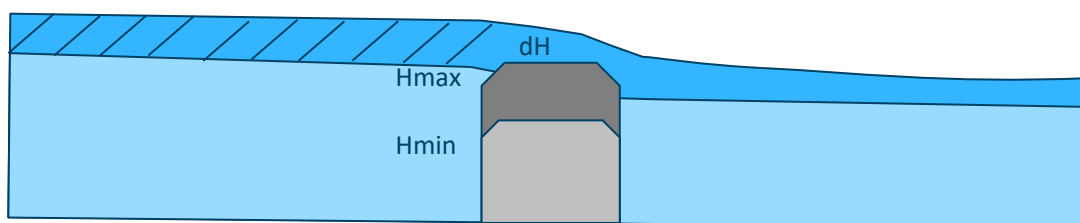
I formuleringen "søparkeringsscenarioet" anerkendes det at bindinger i nuværende praksis kan betyde at en ændret regulering som udtrykt i søparkeringsscenarioet ikke er acceptabel. Scenariet beskriver imidlertid ikke et konkret forslag til ændret vandstandsregulering, men skal tjene til at undersøge hvilken gavnlig effekt der potentielt kan opnås ved "søparkering".

Det har været foreslået at regulere vandstanden ved bygværker og opstemninger ned (f.eks. i.f.t flodemål) og udnytte frirummet til at midlertidigt tilbageholde vand i opstrøms vandløb og søer under store afstrømningshændelser. Når vandføringen ved et givet bygværk når et givet niveau påbegyndes opmagasinering af hensyn til at begrænse oversvømmelse på nedstrøms strækninger. Dvs. overløbskant hæves til maksimal vandstand (Tabel 7-7). Når vandstanden når det givne niveau og buffervolumenet er fyldt op holdes der ikke yderligere vand tilbage. Det opmagasinerede volumen frigives langsomt over en 1-2 dages periode. Når flere bygværker ved den beskrevne funktion medvirker til "søparkering" sker opmagasinering først opstrøms og efterfølgende nedstrøms. I scenariet regnes på en permanent sænkning af vandstanden ved tre bygværker efterfulgt af en midlertidig hævet vandstand omkring maksimal vandføringen og endelig en frigivelse og vand og neddrøsling til normal vandstand. Effekten af scenariet består derfor både i den permanente vandstandssænkning og den midlertidige tilbageholdelse omkring den maksimale vandføringen.

Når vandstanden hæves ved bygværket opstuvet vand opstrøms og afhængigt af vandspejlsældningen samt overfladearealet vil et givet volumen kunne bringes i anvendelse. Ved Ry Mølle vil opstuvning ske i Gudensø og potentielt Mossø, ved Silkeborg Sluse vil opstuvning via Remstrup Å kunne udnytte Brassø og eventuelt Julsø til at opmagasinere vand, Ved Fulbro sker tilbagestuvning via Tånning Å og endelig vil Tange Sø ved Tangeværket repræsentere et opmagasineringsvolumen. Hvor godt de kan udnyttes afhænger afældningen på vandspejlet. Tabel viser vandspejlsænkning og vandstandsinterval ved de fem bygværker. I modelberegningen regnes med et vandspejl svarende til den angivne minimum vandstand. Opmagasineringen iværksættes ved en dato angivet i en model input tidsserie, hvor overløbskantens position hæves. Her er valgt datoer og klokkeslæt 4-8 timer før maksimal vandføring forekommer og neddrøslingen forløber over 1-2 dage efter at vandføringen igen falder.

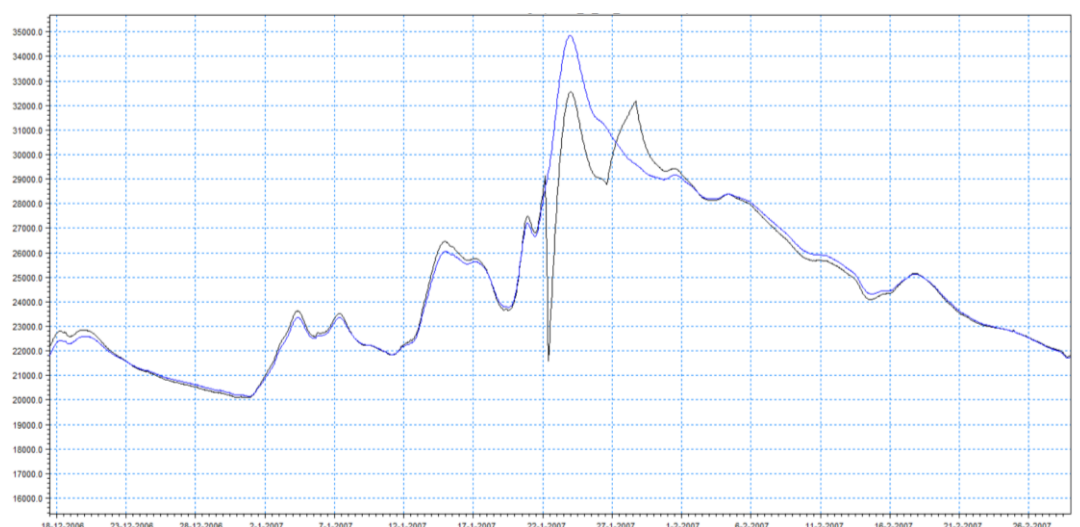
Tabel 7-7 Vandspejlssænkning, vandstands niveauer for scenariet

Bygværk	Permanent eller midlertidig sænkning	Min vandstand	Max. vandstand
Bredvad Sø	70 cm	41.60	42.30
Skanderborg Sø, Fuldbro Mølle	30 cm	22.99	23.29
Ry Mølle	30 cm	22.18	22.48
Silkeborg	20 cm	20.71	20.91
Tange Sø	50 cm	13.10	13.60



Figur 7-7 Principskitse for vandstandsregulering med opstuvning i opstrøms vandløb/sø

Figur 7-8 viser forløbet i vandføring ved Ry Mølle hvor søparkering først betyder et fald i vandføring når opmagasineringen aktiveres. Faldet i vandføring sker på under et døgn hvorefter vandføringen stiger igen da opmagasineringsvolumenet er opbrugt. På den faldende del af hydrografen efter maksimal vandføringen er passeret frigives det opmagasinerede volumen igen. Nettoeffekten er en udglætning med lavere maksimal vandføring og vandstand. Til gengæld forlænges perioden med høj vandstand over de følgende døgn hvor volumenet frigives.



Figur 7-8 Eksempel på vandføringsforløb med (sort linje) og uden søparkering (blå linje), Ry Mølle eksempel

Skønt scenariet jvf. Tabel 7-7 sigter imod regulering af opstemningen ud fra minimum og maksimum vandstande vil der ved store afstrømningshændelser forekomme endnu højere vandstande.

Tabel 7-8 Vandstandændring (baseline-søparkering) ved bygværker, T=20 år

	Nedstrøms (cm)
Bredvad Sø	0 cm
Fuldbro Mølle	-6 cm
Ry Mølle	-4 cm
Silkeborg	-2 cm
Tange Sø	-9 cm

Ved Bredvad er effekten af søparkering bedømt umiddelbart nedstrøms Vestbirk Kraftværk og her ses en marginal effekt på vandstand. Det skyldes at Bredvad sø volumen er begrænset. Ved Fuldbro Mølle ses en tydeligere og mærkbar forbedring idet vandspejlet sænkes. Ved Ry Mølle medvirker vandstandreguleringen til at udjævne hydrografen omkring maksimum. Ved Silkeborg ses moderat effekt og endelig er det nedstrøms Tange Sø muligt at opnå en reduktion på ca. 9 cm. vandstanden ved bygværkerne hæves umiddelbart før maksimum vandføring i løbet af 4-8 timer, hvorefter den fastholdes og gradvis sænkes igen over de kommende 2-3 døgn. Opmagasinerings og tilbageholdelse opbruges i alle tilfælde på mindre end et døgn hvilket betyder at timing er vigtig for effekten. Det kan være hensigtsmæssigt i forbindelse med eventuelle kommende skitseprojekter at udvikle en koordineret strategi, et regelsæt eller en styring for bygværkerne ved søparkering baseret på f.eks. realtidsdata.

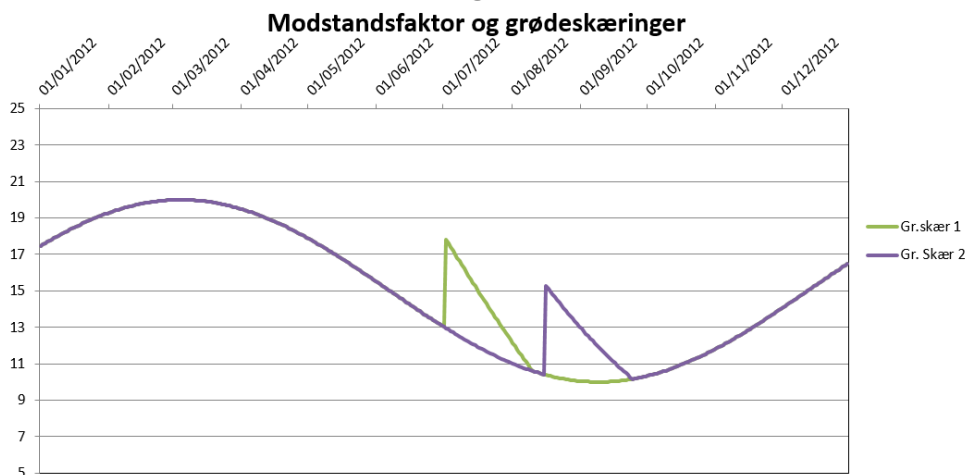
Søparkering bestående af en vandstandssænkning efterfulgt af en midlertidig opmagasinering viser potentiale for sænket vandstand og mindsket oversvømmelse. Resultatet afhænger af flere faktorer. For det første spiller timingen med hensyn til vandstandsregulering og udnyttelse af volumen i forhold til tidspunkt for maksimal vandføring en rolle ved hvert enkelt bygværk. Dernæst vil man ved en koordineret styring frem for uafhængig regulering af bygværkerne enkeltvis formodentlig kunne opnå yderligere effekt. Scenariet ser på vandstandsregulering uafhængigt for de enkelte eksisterende bygværker. De eksisterende bygværker der indgår i scenariet er ikke alle optimalt placerede i forhold til at udnytte sø volumen. Anlæg ved udløb af søer med stort overfladeareal vil være bedst egnet. Endeligt spiller den specificerede maksimalt tilladelige vandstand en rolle og kan man under disse ekstreme tilfælde gå midlertidigt over flodemål er der mulighed for øge søparkeringsvoluminet og i endnu højere grad udglatte spidsbelastningen. Dog må eventuel negativ effekt opstrøms bygværkerne opvejes imod den positive nedstrøms effekt.

7.4.6 Scenarie 2 Grødeskæring

Grødeskæring foretages i dag i henhold til regulativer indenfor en given periode på en given strækning med henblik på at øge vandføringsevnen i Gudenå og sænke vandstanden. Scenariet beskriver en koordineret ekstraordinær og tilnærmelsesvis samtidig grønnskæring iværksat af kommunerne over størstedelen af Gudenåen, f.eks. ud fra en samlet vurdering af et akut behov for at sænke vandspejlet.

Erfaringer fra Viborg og Favrskov kommuner viser at der opnås et vandspejlsfald i størrelsesordenen 25-30 cm umiddelbart efter en grønnskæring i en 10 m bred strømrende.

I input tidsserier til vandløbsmodellen, der beskriver Manning tallets årlige udsving sænkes ruheden på det givne tidspunkt med en antaget genvækst periode (her antaget 3 uger). Figur 7-9 viser princip for indlejring af grødeskærings-effekt i et tidsvarierende Manning tal (her simpel, idealiseret sinuskurve).



Figur 7-9 Eksempel på indlejring af grødeskæring i tidsvarierende Manning tal kurve

Scenarie 2 skal medvirke til at belyse den maksimale effekt af grødeskæring og afspejler ikke gældende praksis. Scenariet bygger på følgende forudsætninger

- Den ekstraordinære grødeskæring sker samtidig
- Der findes forskellige skærebredde m.m. angivet i regulativer. I scenariet antages grødeskæring i fuld bredde, hvilket er estimeret til et Manning tal på $20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ umiddelbart efter skæring
- På grund af genvækst af grøde antages Manningtallet at falde tilbage på de anvendte Manningtalskurver efter 3 uger.
- Effekten beregnet for en scenarieperiode vil være afhængig af den aktuelle dato grødeskæringen antages udført i forhold til timing af sommer maksimum vandføring

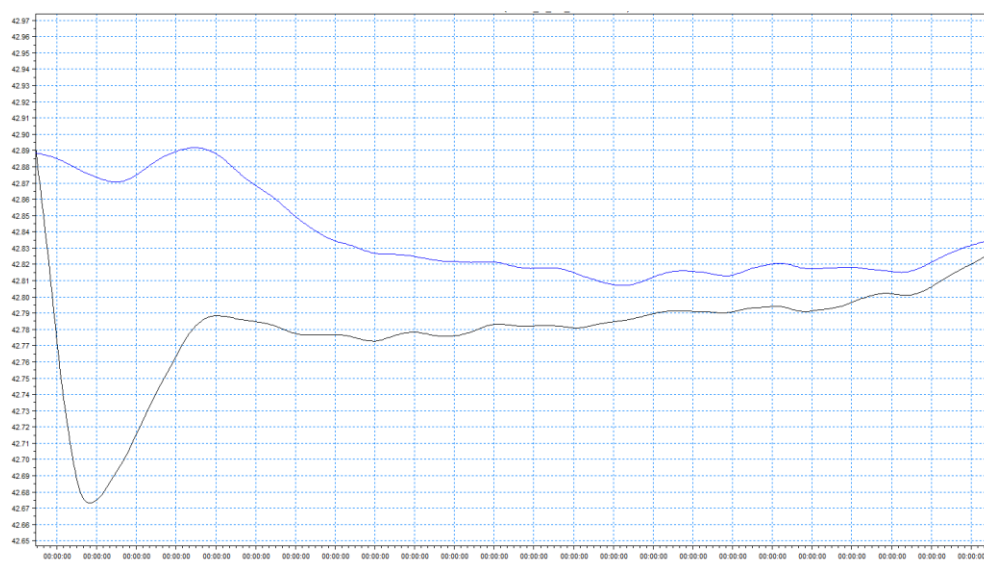
Grødeskæringsscenariet baserer sig i lighed med øvrige scenarier på den udvalgte periode, 2006-2007, men i modsætning til de øvrige scenarier ses der på sommerperioden hvor grødeskæring finder sted.. Det skal her nævnes at Manningtalskurven svarende til 2017 forhold indgår så det er det nuværende niveau for grødevækst der tages i betragtning og ikke 2006 der ligger før forandringerne ved vandremuslingens indtog i Gudenå. På baggrund af foreløbige resultater for grødeskæring i juni blev det drøftet hvad effekten vil være i september. Derfor blev to grødeskæringer indlagt i modelberegningen.

Vandføringsniveauerne hvor de to grødeskæringer gennemføres kan ikke karakteriseres rent statistisk da $T=5-100$ år dimensioneringsgrundlaget relaterer sig til maksimal vandføringer der alle forekommer vinter-forår hvor der er begrænset eller ingen grøde i vandløbet.

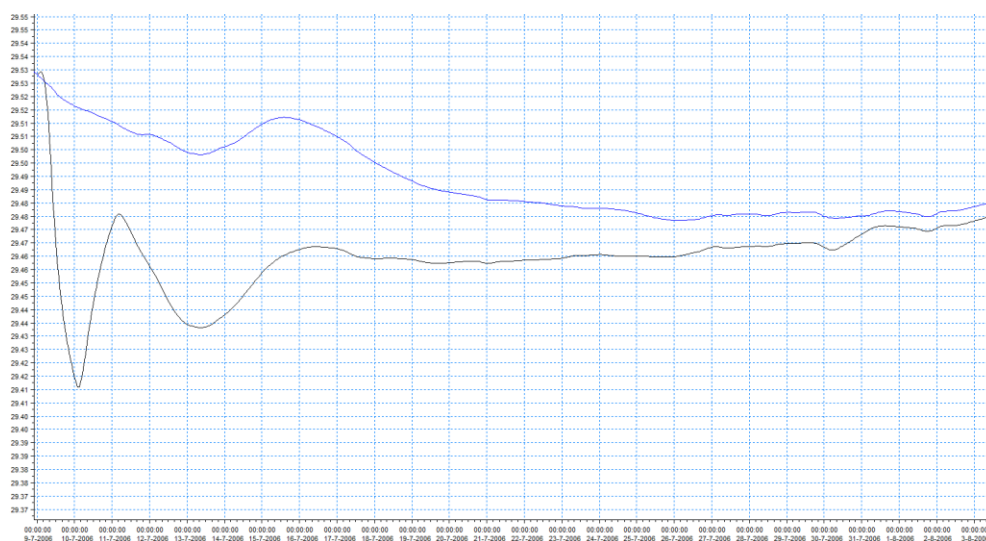
Tabel 7-9 Vandløbsstrækninger med grødeskæring

Vandløbsstrækning	Forventet vandspejlsfald (cm)	Dato	Estimeret M ($m^{1/3}/s$)
Gudenå, Hedensted og Horsens kommuner Tinnest-Mossø	25-30 cm	10. juli 29. sept.	Ca. 10 til 20
Gudenå, Skanderborg og Horsens Kommuner. Mossø til Julsø.		10. juli 29. sept.	Ca. 10 til 20
Gudenå, Silkeborg og Favrskov kommuner, Silkeborg-Tange Sø	25-30 cm	10. juli 29. sept.	Ca. 10 til 20
Gudenå, Viborg, Favrskov og Randers kommuner, Tange Sø - Randers	25-30 cm	10. juli 29. sept.	Ca. 10 til 20

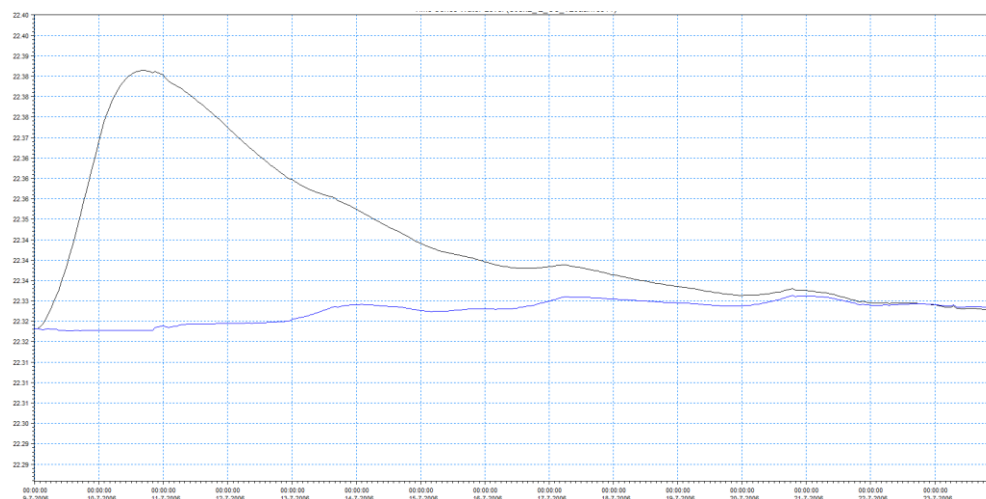
Resultaterne modelberegning med grødeskæring kan anskueliggøres som tidsserier for vandstand i udvalgte punkter. For opstrøms del ses et vandspejlsfald ved Bredstenbro (Figur 7-10) på ca. 20 cm som resultat af grødeskæring på strækningen. Effekten klinger af i takt med genvækst på ca. 3 uger. Ved Voervadsbro (Figur 7-11) falder vandspejlet først omkring 12 cm, men stiger på grund af vandvolumenet frigivet ved opstrøms grødeskæring. Længere nedstrøms ved Ry Mølle (Figur 7-12) modtages vand fra grødeskæring fra opstrøms strækninger og det resulterer i en vandspejlsstigning på op til 7 cm.



Figur 7-10 Simuleret vandstand ved Bredstenbro uden grødeskæring (blå) og med grødeskæring (sort)

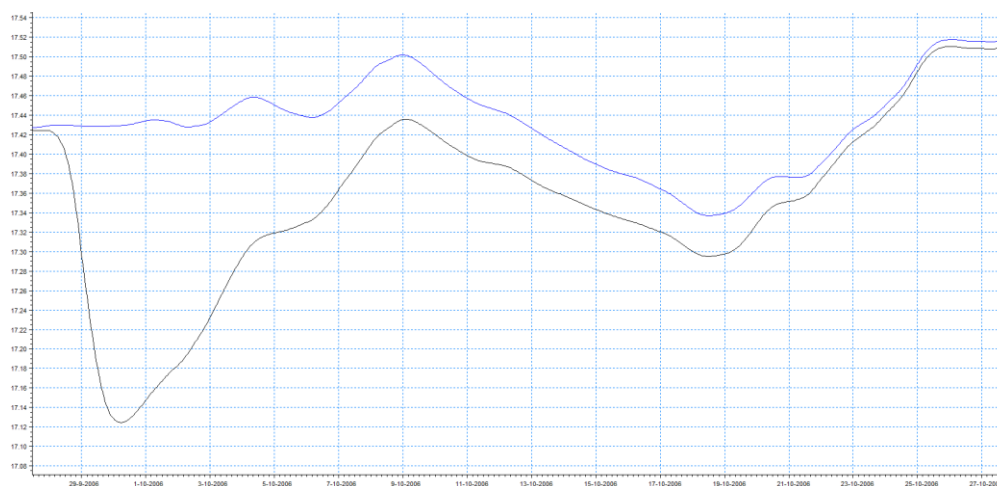


Figur 7-11 Simuleret vandstand ved Voervadsbro uden grødeskæring (blå) og med grødeskæring (sort)

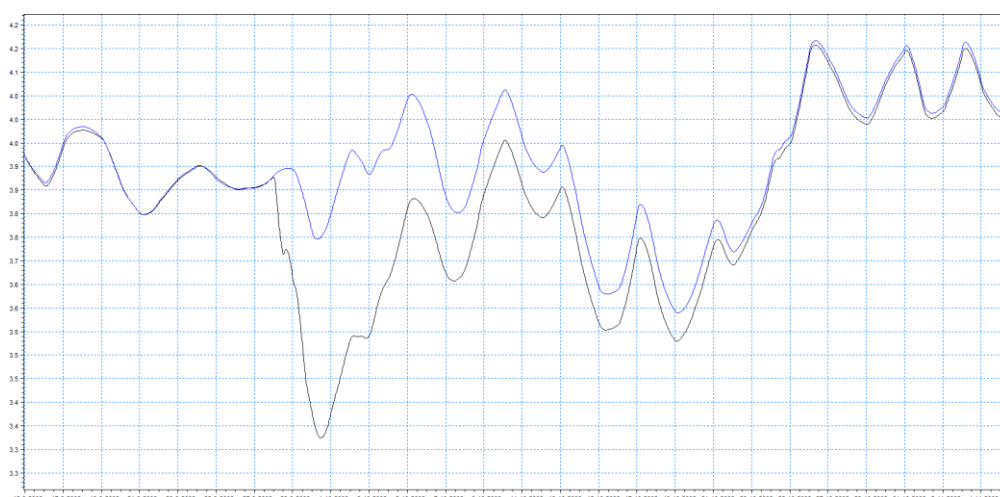


Figur 7-12 Simuleret vandstand opstrøms Ry Mølle uden grødeskæring (blå) og med grødeskæring (sort)

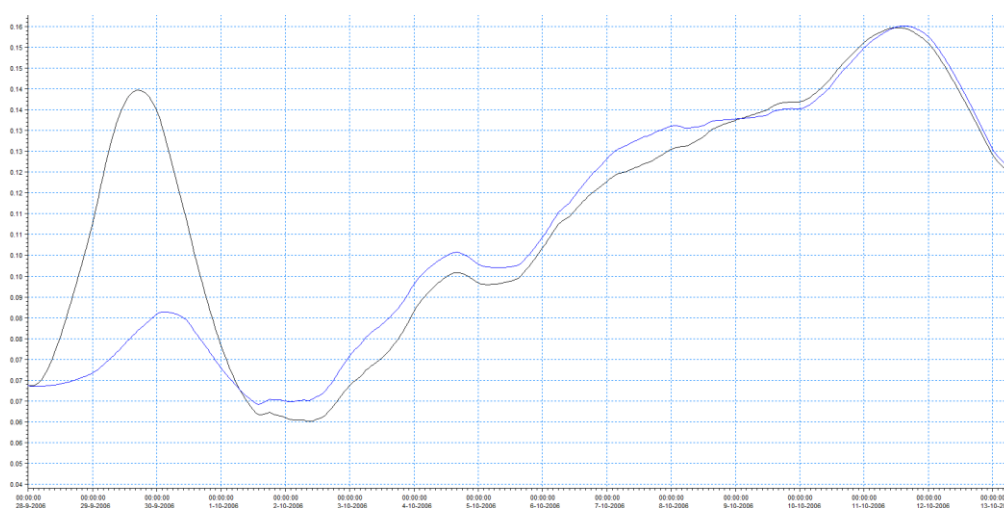
Ser man på nedstrøms del af Gudenå kan del af mønsteret genkendes.



Figur 7-13 Simuleret vandstand ved Tvillum uden grødeskæring (blå) og med grødeskæring (sort)



Figur 7-14 Simuleret vandstand ved Bjerringbro uden grødeskæring (blå) og med grødeskæring (sort)



Figur 7-15 Simuleret vandstand ved Randers uden grødeskæring (blå) og med grødeskæring (sort)

Tabel 7-10 viser vandstandsændringer i forbindelse med grødeskæring hvor negative værdier angiver vandspejlsfald imens positive værdier svarer til en stigning. Oversvømmelse kan reduceres på strækninger hvor grøden skæres, men den betyder samtidig øget vandstand på nedstrømsstrækninger.

Tabel 7-10 Maksimal vandstandsændring i forbindelse med grødeskæringer

	Max. dH (cm) Juli	Max. dH (cm) Sept.	Q interval (m ³ /s)
Bredstenbro	-20	- 11	2,6–3,2
Voervadsbro	-12	-10	3,9–5,7
Ry Mølle	+7	+6	8,2-10,5
Tvilum	-28	-30	10,7 – 17,5
Bjerringbro	-34	-40	12,0 – 22,0
Randers	+3	+6	16,0 - 33,0

Ud over grødeskæringens effekt på vandstand i Gudenå er det relevant at se på effekten på omkringliggende arealer. På strækninger hvor åens vandsspejlkote ligger under breddekoten vil effekten være begrænset, men på strækninger hvor åen har oversvømmet ånære arealer vil grødeskæringen kunne reducere oversvømmelsens udstrækning. Effekten er derfor meget varierende langs åen. Figur 7-16 viser et udsnit af Gudenå nord for Svostrup, tæt på Tvilum Bro stationen, henholdsvis dagen før og dagen efter grødeskæring. Strækningen er valgt som et eksempel hvor det tydeligt fremgår hvad effekten af grødeskæring på oversvømmelser kan være. Vandstanden forårsager her oversvømmelse på arealer langs åen. Vandstanden i åen falder ca. 30 cm ved grødeskæring og vandspejlsfaldet betyder væsentlig formindsket udbredelse af oversvømmelse. Langt størstedelen af våde arealer i ådalen tørlægges ved grødeskæringen på denne strækning. Effekten er dog midlertidig og aftager i takt med genvækst af grøden.



Figur 7-16 Forskel i oversvømmet areal (inklusiv å) langs Gudenå nord for Svostrup, dagen før (9. juli, øverst) og dagen efter grødeskæring (11. juli, nederst).

På de arealer hvor grødeskæring reducerer oversvømmelse er arealanvendelsen domineret af naturområder. For opstrøms og nedstrøms del udgør naturområder henholdsvis 94 % og 75 %, landbrug 5 % og 20 % og øvrige 1 % og 5 %. Værdierne repræsenteret på de arealer der kan tørlægges ved grødeskæring kan jævnfør værdikortet opgøres til 0,5 mio. kr. opstrøms og 1,6 mio. kr. nedstrøms. Der kan ikke beregnes en risiko for scenariet på lige fod med øvrige scenarier, men tallene kan belyse anslåede værdier i det aktuelle tilfælde.

7.4.7 Scenarie 3 Uddybning

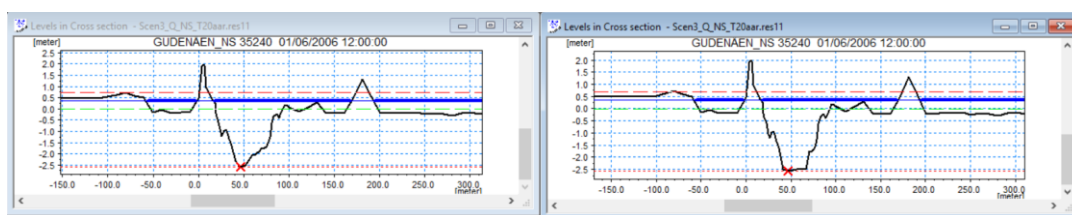
Fjernelse af sedimentaflejringer og flaskehalse eller generelt behov for øget hydraulisk kapacitet af Gudenå kan ske ved uddybning eller udvidelse af vandløbstværsnit. Der er opbygget materiale i Gudenå på strækninger hvilket har mindsket tværsnitsarealet og udjævnet faldforhold, typisk hvor vandhastigheden har tilladt aflejring. En lokal uddybning vil sænke vandspejlet og øge vandføringen, men vil omvendt potentielt kunne øge nedstrøms vandstand ved f.eks. en indsnævring.

Gudenå kommunerne har identificeret flere strækninger hvor der kan være tale om at uddybe Gudenå. Disse fremgår af Tabel 7-11. Til opstilling af scenariemodel er tværsnit på de foreskrevne strækninger ændret i forhold til angivne udvidede dimensioner.

Tabel 7-11 Vandløbsstrækninger udvidet ved bredde eller dybde

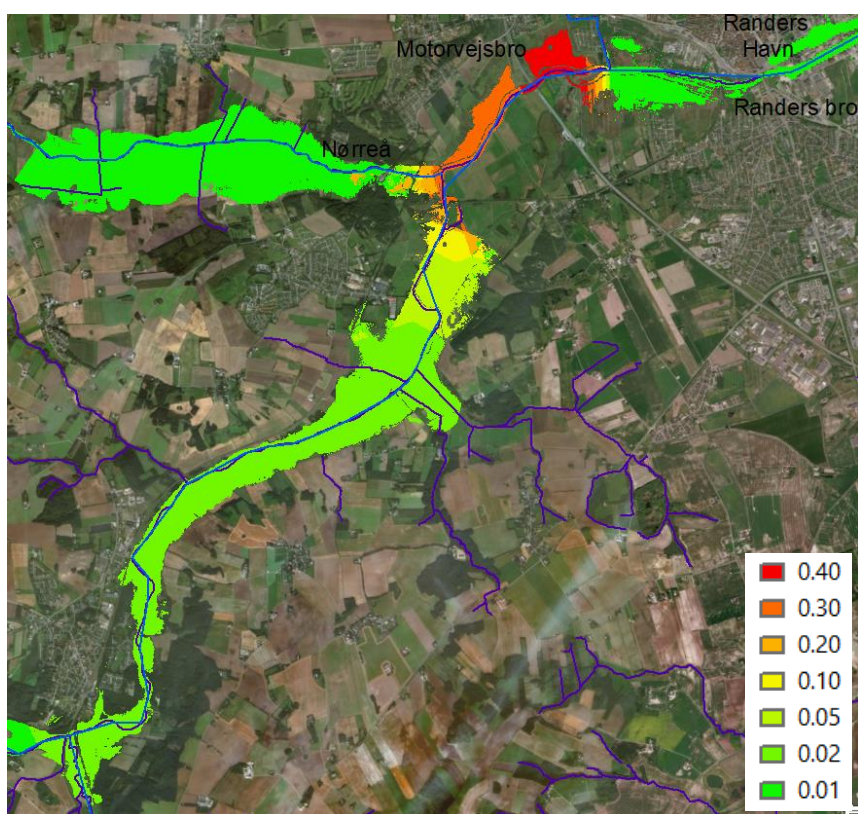
Vandløbsstrækning	Øget dybde	Bredde
Gudenå (Horsens K.) Bredvad Mølle Gudenå-Bredstenbro-Vestbirk Camping st 9189	50 cm til kote 42.0 m	
Gudenå (Horsens K.) Bredvad Mølle – Nedstrøms Bredvad Sø Gudenå-Bredstenbro-Vestbirk Camping st. 9189 m VestbirkBredvadSø st. 11023 m	150 cm til kote 38.5 m	
Gudenå fra Mossø til Gudensø Profil: 23, 101, 884, 998, 1389, 1463, 1930, 2672, 2677 Mossø_2_Gudensø	Til kote 20.80	
Gudenå (Silkeborg K.) Udløb af Silkeborg Langsø – Resenbro Gudenåen_OS st. 134 m - Gudenåen_OS st. 3061 m	Dobbelt dybde	Dobbelt bredde
Gudenå (Randers K.) Nørreå tilløb – Motorvejsbro Gudenå st.32.000-34.000 Gudenåen_NS st 32000 Gudenåen_NS st 34000	Til kote – 2.0 m	Øget til 50 m
Gudenå (Randers K.) Motorvejsbro – Randers Bro Gudenå st. 34.000-37.200 Gudenåen_NS st 34000 Gudenåen_NS st 37200	Til kote – 2.5 m	

Vandløbsstrækning	Øget dybde	Bredde
Gudenå (Randers K.) Motorvejsbro – Randers Bro Gudenå st. 36.000-36.500 Gudenåen_NS st 36000 Gudenåen_NS st 36500		Øget til 50 m
Gudenå (Randers K.) Randers Havn Pieren Rander Fjord st 1400	Til kote – 7.0 m	



Figur 7-17 Eksempel på uddybet tværsnit ved Randers

Ved uddybning ses fald i vandspejlkote og reduceret oversvømmelsesrisiko på uddybede strækninger og opstrøms herfor. Modelresultatet viser at der indstilles en ny ligevægt efter uddybning. Figur 7-18 viser vandspejlsfald på mellem ca. 30 cm ved motorvejbroev ved Randers aftagende opstrøms til ca. 20 cm i den nederste del af Nørre Å og 2 cm ved Langå. Uddybningen har fjernet en tærskel der giver vandspejlsfald på selve strækningen men kun i begrænset grad opstrøms. Desuden vil vandspejlsændringen på strækningen være påvirket af vandstanden i Randers Fjord.



Figur 7-18 Fald i maksimalvandspejl, Langå-Randers, T=20 år, efter uddybning.

Tabel 7-12 Ændring i maksimalvandspejl (T=20 år) ved uddybning

Lokalitet	dH (cm)
Bredvad Mølle	-10
Ry Mølle	0
Silkeborg Langsø	-12
Bjerringbro	0
Langå	-2
Ved Nørreå's tilløb	-22
Randers (ops. motorvejsbro)	-27

Generelt ses begrænset negativ effekt i form af vandstandsstigning nedstrøms uddybede strækninger. Med undtagelse af Mossø, Gudensø og Ry har uddybning en mærkbar effekt. Ved Bredvad Sø, Silkeborg Langsø og på strækningen fra Nørreå's tilløb til Randers har uddybningen tydelig effekt på den maksimale vandstand. Den afledte reducerede oversvømmelsesrisiko fremgår af risikokort.

7.4.8 Scenarie 4 Jordkøb, jordfordeling og høj klimafaktor

Den kalibrerede model svarende til nuværende forhold (baseline) skal fremskrives med hensyn til klimaændringer i 2050. Til det formål benyttes analyse af klimaændringer og ekstremvandføring (GEUS, 2014, "Klimaeffekter på ekstremværdi vandføringer", /3/).

Her giver forskellige klimamodeller et spænd i den klimafaktor der ganges på vandføringen for en given gentagelsesperiode angivet ved "lav", "middel" og "høj". Generelt benyttes "middel"-værdier, men det er relevant at belyse hvor høje vandføringer der kan forekomme ifølge analysen, altså svarende til en "høj" klimafaktor. Scenariet vil belyse hvor store oversvømmelser der vil kunne forekomme når den øvre del af klimafremskrivningsintervallet benyttes uden klimatilpasningstiltag.

Jævnfør metode til beregning af klimaændring er vandføringen skaleret for at opnå et konsistent statistisk grundlag, T=5-100 år i baseline. Tilsvarende er tilstrømningen skaleret for i alle stationer at ramme maksimalvandføringerne fremskrevet ved hjælp af klimafaktorerne (2050 øvre) i Tabel 7-13.

Tabel 7-13 Multiplikationsfaktorer ved fremskrivning af ekstremværdier i.f.m. klimaændringer

	T=5 år	T=10 år	T=20 år	T=50 år	T=100 år
2050 middel	1,17	1,15	1,13	1,11	1,11
2050 høj/øvre	1,58	1,54	1,50	1,40	1,40

Hovedresultatet af scenarie 4 er sandsynligheds- og risikokort der viser hvor store arealer der vil blive påvirket af oversvømmelse i hvad der må betegnes som "worst case". I forhold til baseline øges de samlede oversvømmelsespåvirkede arealer for T=5-100 år med 3,6-3,8 km² ved CC 2050 "middel" imod 8,2-8,7 km² ved 2050 "høj". Det betyder at klimatilpasningsindsatsen vil være betydelig større hvis klimaændringer svarende til "høj" klimafaktor finder sted. Det er normal praksis at planlægge efter den mere sandsynlige middelværdi men at tage en adaptiv, gradvis og fleksibel strategi der kan tilpasses i takt med at klimaændringer sker da usikkerheden er stor.

Figur 7-5 viser meromkostninger beregnet på baggrund af risikokort i baseline, CC 2050 "middel" og CC 2050 "høj" tilfældene. Også her fremgår det at CC 2050 "høj" stiller meget højere krav til klimatilpasningen.

Resultaterne af scenariet er tilgængelige i form af sandsynligheds- og risikokort, der kan sammenholdes med tilsvarende kort for baseline og CC 2050 "middel".

Det er desuden muligt at se på hvilke landbrugsarealer der vil blive oversvømmet i CCmax tilfældet (høj klimafaktor). Det giver et billede af hvor oversvømmelseskader og dyrkningsproblemer fremadrettet kan forekomme. Disse arealer kan potentielt indgå i jordfordeling og på længere sigt enten udtages eller overgå til mere ekstensiv drift.

7.4.9 Scenarie 5 Vandparkeri i ådalen

Scenariet ser på effekten af at opmagasinere ekstra vandvolumener på arealer i Gudenådalen. Det skal understreges at ådalen i forvejen er (ukontrolleret) oversvømmet ved store afstrømningshændelser. Opfyldning af ådalen vil ske først for lavt liggende arealer dikteret af terrænkote og hældning. Udbredelsen er typisk afgrænset af topografi og terrænhældning ud mod ådalsfoden.

Der er behov for at finde "vandparkeringspladser" i forhold til det eksisterende (baseline) dvs. arealer med et ekstra opmagasineringsvolumen. Skal visse arealer friholdes ved

oversvømmelse skal opmagasineringen øges på andre i form af kontrolleret oversvømmelse. Ekstravolumen kan både være "engprojekter" hvor hidtidigt inddigede arealer kan midlertidigt oversvømmes eller områder hvor f.eks. diger tillader en øget opmagasinering.

Det er i projektet undersøgt om der er basis for at udpege specifikke, egnede arealer der kan fungere som vandparkeringspladser. Desuden er det drøftet hvilke volumener der skønsmæssigt skal bruges. Der skal defineres et antal ha eller km² og en tilhørende antaget maksimal vanddybde der tilsammen giver et vandparkeringsvolumen.

Ud over Klostermølle har det har ikke været muligt at udpege konkrete arealer, bl.a. på grund af at Gudenådalen flere steder ikke giver oplagte muligheder i form af lavtliggende områder der ikke allerede oversvømmes. Udover topografiske forhold og arealanvendelse kræver det inddragelse af lokale forhold og bindinger samt hensyn til lodsejere, miljø m.m. På trods af at stedsspecifikke arealer ikke har kunnet øremærkes til vandparkering kan det være relevant at belyse om virkemidlet har effekt. Volumener er estimeret ud fra to metoder. Skal effekten af klimaændringer "neutraliseres" skal der findes et yderligere opmagasineringsvolumen der kan modsvare effekten af klimaændringer imellem en 2050 situation med klimaændringer og den nuværende situation (baseline). Ud fra den beregnede tilvækst i vandføring og en antagelse om at midlertidig opmagasinering skal dække et tidsrum på 2 døgn kan volumen beregnes. Volumen er desuden anslået ud fra det modelberegnete oversvømmelseskort i henholdsvis en 2050 situation med klimaændringer og den nuværende situation (baseline) jvf. (Tabel 7-14). Vandparkering i ådalen er relevant hvor Gudenå har skikkelse af et vandløb, hvilket medfører at strækningen fra Mossø til Silkeborg ikke er taget i betragtning.

Det ekstra volumen knyttes til vandløbstværsnit på den angivne strækning. Det betyder at volumenet aktiveres ved høje vandføringer via ændring i vandstands-volumen relation. Da volumen aktiveres ved et givet vandstandniveau vil effekten variere med hændelserne, T=5-100 år.

Tabel 7-14 Ådalsparkeringsvolumener

Vandløbsstrækning	Volumen (m3)
Horsens kommune Ved Klostermølle Mossø_2_Gudensø ch. 22.71 – 101.37	300.000
Silkeborg kommune Silkeborg – Kongens Bro (ved Gjern å tilløb) GUDEÅEN_OS ch 7700 – 8100	350.000
Viborg Kommune Kongensbro – Bjerringbro Midt på strækning GUDENÅEN_NS ch. 2198 – 2500	400.000
Favrskov kommune Bjerringbro-Ulstrup GUDENÅEN_NS ch. 22268 – 22269 (ved Lilleå tilløb)	250.000
Randers Kommune Langå-Randers GUDENÅEN_NS ch. 32777 – 33060 (ved Nørreå tilløb)	700.000

Resultaterne viser begrænset til moderat effekt af 2 mio. m³ ådalsparkerings

Tabel 7-15 Ændring i maks. vandstand ved ådalsparkerings, T=20 år

Lokalitet	dH (cm)
Gudensø, Ry Mølle	-1
Kongensbro	0
Bjerringbro	-6
Langå	-3
Randers	-1

7.4.10 Scenarie 6 Parallelløb

Scenarie 6 omhandler parallelløb og ser på effekten af at udvide Gudenåens hovedløb ved på udvalgte strækninger at tilføje parallelløb. Ideen om et parallelløb betyder aflastning, øget vandføringskapacitet, lavere vandstand og derved reduceret oversvømmelse på de pågældende strækninger. Parallele vandløb i Gudenådalen er hydraulisk forbundne hvilket betyder tilnærmelsesvis samme vandstand i vandløbsgrenene.

Gudenå kommunerne har identificeret 3 strækninger hvor parallelløb kan være relevante. Strækningerne er specificeret i nedenstående tabel, og vist i figurerne 7-18, 7-19 og 7-20. For parallelløb er antaget samme Manning tal som hovedløb på den pågældende strækning.

Tabel 7-16 Gudenå strækninger med parallelløb inkluderet i Scenarie 6

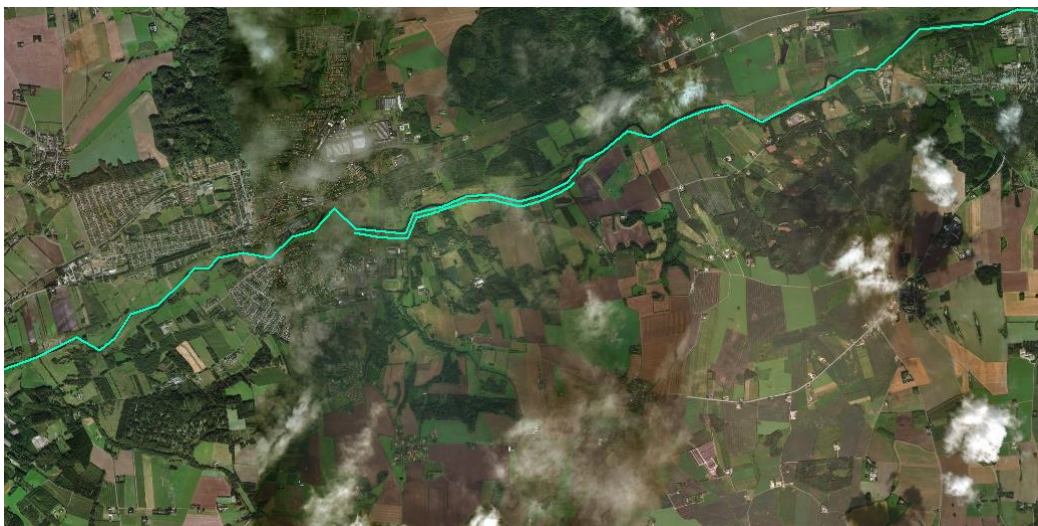
Vandløbsstrækning	
Gudenå (Skanderborg K.), Mossø til Gudensø. Parallelt løb. Munkekanalen re-etableres: Indløb Mossø. St. 780 St. 940.	Bundkote 22,30-22,80 m, bundbredde 8-10 m, anlæg 1:2 Bundkote 22,0-22,60 m bundbredde 8-10 m, anlæg 1:2 Bundkote 22,10-22,40, bundbredde 8-10 m, anlæg 1:2
Gudenå (Silkeborg K.) Udløb af Silkeborg Langsø – Resenbro Gudenåen_OS st. 134 m - Gudenåen_OS st. 3061 m	Parallelløb af samme dimension som hovedløb
Gudenå (Favrskov og Viborg K.), Bjerringbro-Ulstrup (2,5 km) Gudenåen_NS st.6085 – Gudenåen_NS st.6085	Bundkote ca. lig med Gudenå bredkote minus 0.5 m. Bredde ca. 30 meter



Figur 7-19 Munkekanalen forbinder Mossø og Gudensø



Figur 7-20 Parallelløb Silkeborg-Resenbro



Figur 7-21 Parallelløb Bjerringbro – Ulstrup

Tabel 7-17 viser effekten af parallelløbene på maksimal vandstand ($T=20$ år) henholdsvis opstrøm og nedstrøms. For alle 3 lokaliteter gælder at nedstrøms effekt i form af potentiel stigende vandspejl er marginal (0-1 cm). Det vil sige at parallelløb ikke øger nedstrøms oversvømmelsesrisiko mærkbart. Effekten opstrøms er ret forskellig. Ved Silkeborg giver et parallelløb af samme dimensioner som Gudenå stor effekt og det bekræfter, ligesom det er tilfældet for uddybning at strækningen imellem Silkeborg og Resenbro, at der er tale om flaskehals med varierende og lokalt stigende bundkoter. Ved Mossø og Bjerringbro er der tale om mere moderate positive effekter. Munkekanalen sænker maksimal vandstanden i Mossø moderat og medfører samtidig en marginal stigning i Gudensø.

Tabel 7-17 Ændring i maks. vandstand ved parallelløb, T=20 år

	Max. dH (cm)
Mossø	-6
Gudensø	+1
Silkeborg Langsø	-24
Ved Resenbro	+1
Ved Bjerringbro	-5
Ved Ulstrup	0

Desuden er det muligt via risikokort at se nærmere på effekter af parallelløb.

7.4.11 Scenarie 7 Aflejring

Scenariet ser på effekten af aflejring i den nedre del af Gudenå. Scenarie 3 ser på uddybning af vandløbsprofilen på udvalgte strækninger, f.eks., ved fjernelse af aflejring. Scenarie 7 ser på effekten af opbygning af aflejring ved Randers der kan nedsætte den hydrauliske kapacitet. Hidtil har vedligeholdelse af sejlrende til Randers Havn krævet en løbende opgravning af materiale. Fremover forventes opgravningen at ophøre på en strækning ved Randers Havn. Det antages at sejlrenden imellem Rander Bro og Pieren fyldes op med aflejring til den når op i niveau med det nederste opmålte vandløbstværsnit i Gudenåen (ca. kote -2.0 m). Bundkoter i tværsnittene på strækningen er justeret. Scenariet har kun effekt for nedstrøms del af Gudenå.

Tabel 7-18 Tværsnit ved Randers med aflejret sediment og hævet bundkote.

Vandløbsstrækning	Bundkote (m)
Gudenå (Randers K.)	
Randers Bro – Randers Havn Pieren	
Gudenå st. 36.500 - 38.000 m	
Rander Fjord st 0 – 1400 m	-2,0 m
	-3,0 - -4.0 m



Figur 7-22 Stigning i maksimalvandspejl (m), Langå-Randers, T=20 år p.gr. aflejring

Figur 7-22 viser stigningen i maksimal vandspejl i Gudenå ved en T=20 års hændelse. Fra en stigning på 5-6 cm ved Randers bro aftager effekten opstrøms. Opstrømsmotorvejsbroen er stigningen under 1 cm og omkring Nørreå's tilløb ophører effekten af de nedstrøms tværsnitsændringer aflejring forårsager.

7.4.12 Scenarie 8 Forsinket afstrømning fra byer

Scenariet ser på effekten af at forsinke afstrømningen fra befæstede arealer. Den hydrauliske belastning fra byområder afhænger ud over nedbør af arealanvendelse, befæstningsgrad og eventuelt regnvandsbassiner til udjævning og forsinkelse før udledning til overfladevandssystemet. I praksis vil øget opmagasinering og forsinkelse indebære større bassinvolumener udtrykt f.eks. ved at dimensionere efter en højere gentagelsesperiode for overløb end det er tilfældet i dag.

Afstrømningen fra befæstede arealer foregår ikke som del af den hydrauliske model, men som del af oplands hydrologimodellen. Her indgår arealanvendelseskort, befæstningsgrad samt en tidskonstant der regulerer hvor hurtigt afstrømningen når vandløbet. Forsinket afstrømning vil kunne simuleres ved justering af tidskonstanten generelt i oplandet, men beskriver ikke de enkelte regnvandsbassiner eller afløbssystemer i oplandet.

Den anvendte skaleringsmetode til at generere statistisk repræsentative gentagelsesperioder omfatter ikke effekter i oplandet som f.eks. forsinket afstrømning. Derfor kan effekten belyses ved forskellen imellem den kalibrerede model og en modelkørsel med forsinket afstrømning, og ikke knyttet til alle 10 tilfælde af gentagelsesperioder, T=5-100år med og uden klimaændringer.

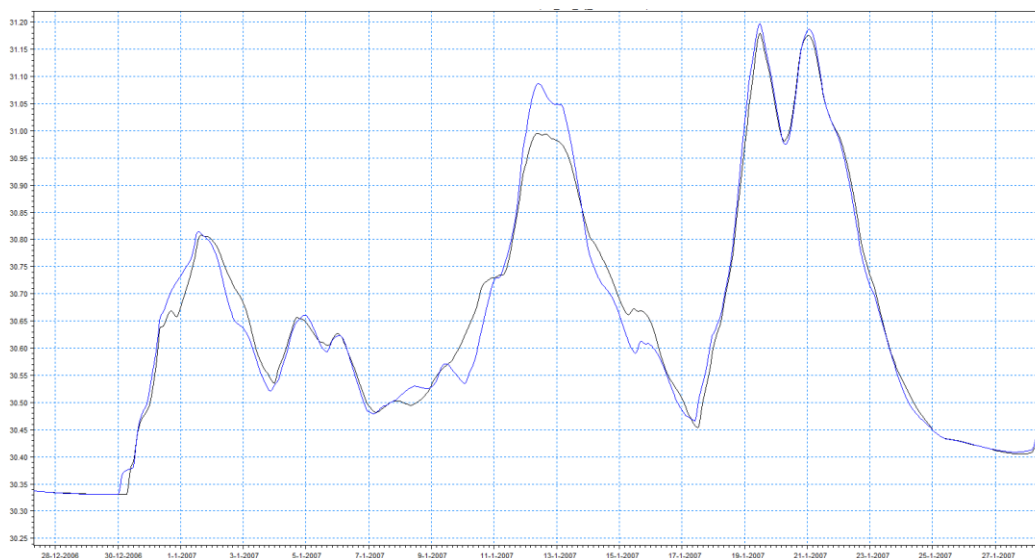
I Gudenå oplandsmodellen er afstrømningen fra befæstede arealer kontrolleret af en tidskonstant. I modellen indgår den procentvise befæstelsesgrad, men selve afløbssystemet og regnvandsbassiner er ikke selvstændig repræsenterede. Tidskonstanten er opgivet i enheden (s-1) og den reciprokke værdi svarer til middel responstiden imellem nedbøren falder og den genererede afstrømning når nærmeste

vandløbsgren. Tidskonstanten er kalibreret i forhold til observerede vandføringer og bør derfor overordnet set afspejle det nuværende befæstede areal og forsinkelse i afløbssystem, regnvandsbassiner m.m. Tidskonstanten reduceres i scenariet svarende til en større tilbageholdelse af afstrømning fra befæstede arealer i oplandet.

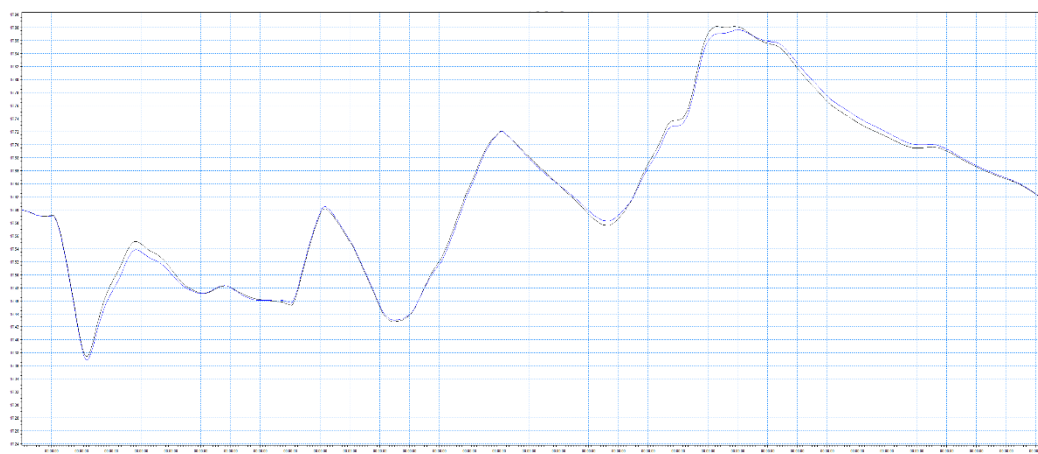
Tabel 7-19 Modelparametre til beskrivelse af afstrømning

Tidskonstant baseline (s^{-1})	Tidskonstant scenarie (s^{-1})	Middel afstrømningstid baseline (timer)	Middel afstrømningstid scenarie (timer)
$1e^{-5}$	$5e^{-6}$	28 timer	55 timer

Modelkørsler med Gudenå opstrøms og nedstrøms model bekræfter at forsinkelse af afstrømning fra befæstede arealer har effekt på vandløbshydrografen. Der er klart størst effekt for de høje vandføringer og dermed også de maksimale vandføringer i efterår-vinter perioden, der typisk som årsmaksima indgår i beregning af gentagelsesperioder. I simuleringsperioden er vandføringen i januar 2007 den højest forekommende og det er særligt relevant at se på vandstand ved denne ekstremhændelse. Figur 7-23 og Figur 7-24 viser forskellen i vandstand ved hhv. Voervadsbro og Tvillum i den kalibrerede model og med forsinket afstrømning fra befæstede arealer (Scenarie 8). Forsinket afstrømning reducerer den maksimale vandstand, men omkring januar 2007 med en historisk høj vandføring, er reduktionen mindre end 2 cm ved Voervadsbro og mindre end 1 cm ved Tvillum, hvilket generelt ses igennem vandløbsmodellen. Størstedelen af vandføringen stammer fra afstrømning fra landbrugs- og naturområder hvilket betyder at byområder på den store Gudenå skala har relativ begrænset betydning ved de store vinter- og forårshændelser. Dertil kommer at byer og befæstede arealer er spredte med betydeligt udligning af den hydrauliske belastning, dels på grund af at nedbøren og afstrømningen forekommer tidsforskuet over oplandet og dels på grund af udjævningen fra bassinudløb, igennem sidegrene og på selve hovedløbet.



Figur 7-23 Vandstandtidsserie ved Voervadsbro i baseline (blå) og med forsinket afstrømning fra byområder (sort)



Figur 7-24 Vandstandstidsserie ved Tvillum i baseline (blå) og med forsinket afstrømning fra byområder (sort)

Da ændringen i vandstand ved maksimal vandføringen er begrænset er ændringen i oversvømmet areal tilsvarende minimal. Forsinkelsen af byafstrømning reducerer det samlede oversvømmede areal ved hændelsen med 0,1 %. Omsat i anslået reduceret skadesomkostning svarer det til i størrelsesordenen 70.000 kr. for den pågældende hændelse.

7.5 Scenarieeffekter i delområder

Scenarierne beskriver forskellige typer klimatilpasningstiltag på specificerede lokaliteter. De overordnede effekter for hele Gudenå er beskrevet i det ovenstående. Risikokortene giver imidlertid mulighed for at nedbryde resultaterne yderligere i forhold til delstrækninger og fokuspunkter og dermed kaste lys over hvor både positive og negative effekter kan forventes. De samlede opstrøms og nedstrøms risikokort er strækningsvis underopdelt og ændringen i risiko er summeret for hvert delområde (Tabel 7-20). Negative værdier svarer til en reduceret risiko, imens positive værdier omvendt markerer en øget risiko. Det vil sige at scenarieeffekten i form af reduceret oversvømmelsesrisiko her er målt i en 2050 situation iberegnet klimaeffekt (CC 2050) og forskellen svarer til henholdsvis ikke at ændre forholdene og indføre ændringerne beskrevet i det pågældende scenarie. Størst effekt ses på den pågældende strækning hvor tiltag er inkluderet, men også opstrøms og nedstrøms strækninger bliver henholdsvis positiv eller negativ påvirket. Den samlede effekt kan ses i Figur 7-25, side 104.

Tabel 7-20 Oversigt over reduktioner i oversvømmelsesskader fordelt på Gudenå strækninger (tkr./år) ved fremskrivning af klimaændringer ved middel faktor (CC 2050), T=5-100 år.

	Scen1 Søparkering	Scen3 Uddybning	Scen5 Ådalsparkering	Scen6 Paralleløb
Tinnet-Tørring	0	0	0	0
Tørring-Uldum	0	0	0	0
Uldum-Vestbirk	12	-262	0	0
Vestbirk-Mossø	-43	18	0	0
Skanderborg-Mossø	-341	-21	-1	-51
Mossø-Ry Mølle	-27	0	0	-4
Ry Mølle - Slusen	-154	-2	0	32
Slusen-Silkeborg Langsø (udløb)	-111	-357	0	-506
Silkeborg Langsø-Kongensbro	-74	-49	-24	-6
Kongensbro-Bjerringbro	-129	371	-32	-53
Bjerringbro-Ulstrup	-58	107	-18	-115
Ulstrup-Langå	-16	6	-9	-1
Langå-Nørre Å	-29	-109	-34	-8
Nørre Å-Randers	-2	-18	52	58

7.6 Omkostninger og klimatilpasningstiltag

Klimatilpasningsscenarierne beskriver potentialet ved de givne typer tiltag fordelt på skønsmæssigt egnede lokaliteter. Hvert scenarie inkluderer således flere særskilte projekter. Ifølge modelberegningerne er effekterne varierende og de må vurderes enkeltvis. Det anbefales at der udarbejdes skitseprojekter hvor der tager stilling til prioritering, udformning af anlæg, lovgivningsmæssige bindinger med mere. I den forbindelse bør grundlag for en økonomisk vurdering udarbejdes.

Her præsenteres helt overordnede overslag baseret på enhedsomkostninger for de klimatilpasningstiltag der jævnfør scenarieberegningerne kan kvantificeres. Det skal understreges at omkostninger på grund af manglende detaljer og begrænset grundlag for prissætning er forbundet med væsentlig usikkerhed og skal betragtes som en vejledende størrelsesorden til at vurdere tiltagene indbyrdes. Yderligere omkostninger, herunder driftsomkostninger er ikke inkluderet hvilket må forventes at øge prisoverslagene.

Scenarier der ikke kan prissættes omfatter Scenarie 7, der vedrører effekten af aflejringer ved ophør af vedligeholdelse af sejlrenden ved Randers Havn, samt Scenarie 8 der vedrører tidsforsinkelse af afstrømning fra befæstede arealer i byer. Det vil kræve et ukendt regnvandsbassinvolumen. Hvis middelopholdstiden i regnvandsbassiner skal fordobles vil det svare til en fordobling af det eksisterende (ukendte) regnvandsbassinvolumen i hele Gudenå oplandet og med en ca. pris på 5000 kr./m³ bassinvolumen vil prisen blive meget høj set i forhold til anslået skadesreduktion for en historisk markant hændelse fra januar 2007.

For de øvrige ses overordnede estimater i Tabel 7-21.

Tabel 7-21 Overslag over omkostninger forbundet med scenarier 1-6

Scenarie	Omfang	Enhed	Enhedsomkostning (kr./enhed)	Omkostning (mio. kr.)
1.Søparkering	5 opstemninger	bygværk	0	0
2.Grødeskæring	ca. 120 km	km	30000	3.6
3.Uddybning	ca. 270000	m ³	120	32.4
4.Jordkøb/jordfordeling	ca. 145	ha	150000 / 7000	11.4
5.Ådalsparkering	ca. 400	ha	0.55 /1.00	3.1
6.Parallelløb	ca. 6.5	km	3-7 mio. kr.	36.8

Til Tabel 7-21 skal bemærkes at :

Scenarie 1 Søparkering : Her udnyttes eksisterende bygværker til en ændret vandstandsregulering. Idet der ikke forudsættes investering til opgradering, automatisering, compensation eller opkøb er scenariet udgiftsneutralt. Der kan komme erstatning for opstemningsret og kraftproduktion, men den forudsættes her relativt begrænset. Ved konkretisering og skitseprojektering kan der nærmere redegøres for vandstandskrav og eventuel udgift til erstatning.

Scenarie 2 Grødeskæring : Her er omkostninger estimeret ud fra erfaringstal for pris for skæring og fjernelse af grøde (Vedr. vurdering af udgifter til grønne skæringer og sandoprensning på delstrækninger i Gudenåen mellem Silkeborg Langsø og Tange Sø, Silkeborg Kommune, 2010, /14/). Grødeskæringen betragtes som ekstraordinær og ikke en fast del af vandløbsvedligeholdelsen, hvorfor den ikke nødvendigvis skal foregå hvert år.

Scenarie 3 Uddybning : Prisen for uddybning er her relateret til overslag for opgravning og deponering af materiale. Her findes begrænset materiale for en opgave af dette omfang. Tidligere prisestimer for fjernelse af sand og bundmateriale i Gudenå er her anvendt (Vedr. vurdering af udgifter til grødeskæring og sandoprensning på delstrækninger i Gudenåen mellem Silkeborg Langsø og Tange Sø, Silkeborg Kommune, 2010, /14/)

Scenarie 4 Jordkøb / jordfordeling : Af hensyn til at modvirke meromkostninger forbundet med oversvømmelsesskader på landbrugsjord i forbindelse klimaændringer kan jordkøb eller jordfordeling betragtes som klimatilpasningstiltag. Ved at sammenligne oversvømmede landbrugsarealer nu (baseline) og i 2050 (CC 2050) ses at et ekstra areal på ca. 145 ha må forventes oversvømmet. De 145 ha omfatter ikke evt. naturarealer jf. arealanvendelseskort med f.eks. mere ekstensiv drift. Her antages 50 % jordkøb og 50 % omfordeling af jord for berørte arealer. På www.landbrugsinfo.dk er der fundet prisoverslag vedrørende jordkøb og jordfordeling, hhv. 150000 kr./ha og 5000-9000 kr./ha.

Scenarie 5 Ådalsparkering : Udgifter forbundet med ådalsparkering er primært relateret til kompensation for skader på arealer hvor vand midlertidigt opmagasineres. Det forudsættes at disse arealer vil blive placeret i ådalen hvor natur- og landbrugsområder er dominerende og at det vil være muligt at opmagasinere 1 m vand i middel. Desuden er det her antaget at arealerne består af 50 % naturområder og 50 % landbrugsområder. Prisoverslaget er forbundet til kompensation for skader ved en enkelt oversvømmelseshændelse jvf. arealanvendelse (Tabel 7-4). Yderligere må anlægsudgifter, f.eks. jordarbejde ved f.eks. diger påregnes hvilket der skal tages højde for når placering og udformning fastlægges i forbindelse med skitseprojektering.

Scenarie 6 Parallelløb : Udgifter regnes her i forhold til udgravning af åløb men der vil sandsynligvis være andre omkostninger forbundet med projekter af denne karakter. Der er ikke fundet fortilfælde, fra restaureringsprojekter eller lignende, for udgravning af vandløb i Danmark af samme dimension som Gudenå og over så lange strækninger. Enhedsomkostninger er vurderet ud fra PLASK (anlæg af vandløb), men kan være underestimeret. Estimatet må betragtes som usikkert.

7.7 Miljølovgivning

Før konkrete klimatilpasningsplaner og -projekter kan realiseres skal en udførlig analyse af konsekvenser, lovgrundlag og herunder miljøbeskyttelsesloven gennemføres. Der er gennemført 8 scenarieberegninger, hver med en given type af klimatilpasningstiltag. Når skitseprojekter og projekter for Gudenå efterfølgende formuleres og undersøges skal det lovmæssige grundlag, herunder miljølovgivning tages i betragtning. De lovmæssige bindinger vil sandsynligvis variere i det enkelte tilfælde afhængig af de tiltag og lokaliteter der vælges. Her gives en mere overordnet oversigt over klimatilpasning af vandløb generelt i forhold til miljølovgivning.

EUs vandrammedirektiv, oversvømmelsesdirektiv og naturdirektiver udgør den overordnede lovmæssige ramme for vandløbsforvaltning i Danmark og vil være væsentlig i forhold til klimatilpasning. I forhold til konkrete vandløbstiltag kan EU-forpligtelser spille en rolle, som f.eks. vandrammedirektivets bestemmelser om ikke at forringe tilstand eller habitat samt fuglebeskyttelsesdirektivernes regler til beskyttelse af naturtyper og arter.

Vandløbsloven, der regulerer dimensioner og ændringer i vandløbet, naturbeskyttelsesloven, og miljøbeskyttelsesloven udgør det primære nationale lovgrundlag der har indflydelse på klimatilpasningen af vandløb. I forhold til risiko- og klimatilpasningsplanlægning i relation til vandløb og det åbne land er naturbeskyttelsesloven, der vedrører naturværdier i vandløb og omkringliggende

områder, af central betydning. Miljøbeskyttelsesloven, der regulerer vandaflledning og forurening kan også spille en rolle hvor imod vandfor-syningsloven formodentlig vil spille en mindre rolle i denne sammenhæng.

Vandløbsloven omhandler vandløbenes vandaflledningsfunktion og fastsætter regler for vedligeholdelse under hensyntagen til natur- og miljømæssige krav. Loven har til hensigt at afveje dræning og vandaflledning, natur- og miljø, rekreative og kulturhistoriske interesser.

For vandløb generelt og for strækninger af Gudenå gælder at de er målsat som led i vandområdeplanlægningen, herunder Natura 2000 områder eller EUs habitatdirektiv. Derudover har vandløb eller dele af vandløbssystemet status § 3-vandløb eller er beliggende i områder med § 3- naturtyper. Naturbeskyttelsesloven skal modvirke ændringer i §3- vandløbs og -områders tilstand.

Det er vanskeligt at vurdere hvordan klimatilpasningstiltag påvirker tilstand af vandløb og tilstødende arealer når der er tale om sjældent forekommende ekstremhændelser, og f.eks. indebærer midlertidig oversvømmelse med års mellemrum. Tiltag der medfører en vedvarende ændring, f.eks. ændrede vandstandsforhold har en permanent karakter og påvirkning kan i højere grad afgrænses. Udpeges arealer til naturbaserede tiltag skal naturmæssige gevinster inddrages og indgå i planlægningen..

Klimatilpasningstiltagene belyst i dette projekt er forholdsvis bredt sammensatte og påvirker potentielt vandløb, ådal, vådområder med tilhørende naturtyper og habitater respektive målsætninger og beskyttelsesstatus. Med udgangspunkt i risikokort anbefales det tidligt i skitseprojekteringsprocessen at afgrænse opstrøms og/eller nedstrøms strækning samt ånært område der kan blive berørt og herefter tilvejebringe planer og love for det pågældende område. For visse strækninger og typer af klimatilpasningstiltag kan være projekter være uforenelige med f.eks. Natura 2000 status med ringe mulighed for dispensation. Det bør tages i betragtning i den tidlige fase af skitseprojektering med henblik på at vurdere realiserbarhed og prioritere imellem alternative projekter.

7.8 Barrierer for klimatilpasningstiltag

Gennemførelse af klimatilpasningsprojekter der bygger på de typer tiltag der er repræsenteret i scenarieberegninger kan forhindres eller forsinkes af en række forhold, herunder finansiering, miljø-, lodsejer-, og lovgivningsmæssige forhold. Scenarierne belyser potentialer, men er ikke at betragte som konkrete projektforslag. Når tiltagene efterfølgende inddrages i skitseprojekter er det væsentligt at være opmærksom på en række generelle forhold der kan forhindre eller muliggøre processen imod faktisk implementering.

Kommunerne spiller en vigtig rolle i forhold til klimatilpasningsprojekter. Kommunernes myndighedsrolle og tildelte ansvarsområde indebærer at klimatilpasningsprojekter skal realiseres igennem klimatilpasnings- risikostyrings- og lokalplaner hvor kommunerne optræder som planmyndighed. Derudover har kommuner en central rolle i forvaltningen af vandløbslov og regulativer samt i forhold til beredskab. Det primære retsligt forankrede fremgangsmåde for klimatilpasning i kommunen er den fysiske planlægning, som gennemføres igennem de forskellige typer af planer.

Kommuner har pligt til at gennemføre en miljøvurdering af et klimatilpasningsprojekts påvirkning af miljøet. Først en screening og derefter en undersøgelse. Lovgrundlag og krav i relation miljø er beskrevet i afsnit 7.7. I forhold til vandplaner og miljømål må vurdering bero på udformningen af konkrete klimatilpasnings-projekter på lokalt niveau. Overordnet gælder at miljømål for søer og fjord vedrørende økologisk tilstand primært er knyttet til næringsstofkoncentrationer og klorofyl. Klimatilpasningstiltagene vil kun i ringe

grad påvirke transport, opholdstider eller omsætning af næringsstoffer og ikke i den sammenhæng modvirke målopfyldelse. I forhold til vandløb har de belyste typer klimatilpasningstiltag efter implementering ringe effekt på forurening og kemisk tilstand. Visse tiltag, herunder uddybning og parallelløb, kan indebære varige modifikationer der kan påvirke de fysiske og hydromorfologiske forhold samt eventuelt sedimenttransport. Selve anlægsarbejdet forudsættes i alle tilfælde udført miljømæssigt forsvarligt. Evt. dispensationer fra naturbeskyttelseslovens § 3 kan medføre ankesager og klagenævnsafgørelser der kan påvirke muligheden for at realisere projekter.

Lodsejer og ejendomsforhold vil kræve afklaring og det er formålstjenligt at inddrage berørte lodsejere og borgere i løsningsforslag og skitseprojekter. Det gælder uanset om der skal indgås frivillige aftaler, betales erstatning eller købes arealer, købes ejendom eller indgås aftaler vedrørende dyrkning, stemmeret ved møller, afvandingsforhold, eller anlæg. Ifølge gældende lovgivning er den enkelte lodsejer som udgangspunkt selv ansvarlig for at sikre sin ejendom imod oversvømmelse. Her vil dialog omkring afgrænsning af henholdsvis lodsejers og myndigheders forpligtigelser være nyttig. Lods- og grundejerinddragelse er særlig vigtig hvor klimatilpasning påvirker arealer i forhold til øget oversvømmelsesrisiko, ændrede afvandingsforhold eller begrænsninger i arealanvendelse.

Ændrede vandstandsforhold af midlertidig eller permanent karakter, vil påvirke natur-, miljø-, afvandings- og dyrkningsforhold. Det er i den forbindelse vigtigt at skelne da midlertidig forhøjet vandstand eller oversvømmelse ved ekstremhændelser, T=5-100 år normalt kun vil optræde kortvarigt. Klimatilpasningstiltag der indebærer permanent ændret vandstand kan grundlæggende ændre miljøforhold i vandløb og søer, opstemningen ved bygværker samt afvandingsforhold med mulig effekt på arealanvendelsen.

Realiseringen af klimatilpasningsprojekter kan være knyttet til muligheden for finansiering og det kommunale økonomiske råderum, herunder politisk prioritet. Forsyningerne kan via taksterne medfinansiere den del af projekterne, der vedrører afløbssystem, men for klimatilpasningsprojekter for vandløb i det åbne land må forsyningernes andel af finansieringen forventes at være lav. Vurdering af finansieringsmuligheder kræves at der udvikles skitseprojekter med tilhørende ansøgning hvor der kan sandsynliggøres en reduktion i oversvømmelsesrisiko.

Scenarierne beskriver potentiale for typer klimatilpasningstiltag og det vil kræve formulering af skitseprojekter for nærmere at kunne bedømme hvilke mulige forhindringer og lovgrundlag der skal tages i betragtning. Den generelle sammenfatning i Tabel 7-22 peger på påvirkninger, barrierer og muligheder i forhold til typer klimatilpasningstiltag.

Tabel 7-22

Barrierer og muligheder i forhold til typer klimatilpasningstiltag

Scenarie	Påvirkning	Barrierer og lovgivning	Muligheder
Scenarie 1 Søparkering	1) Permanent og midlertidig effekt på vandstandsforhold ved bygværker 2) Potentiel miljøpåvirkning af vandløb og søer 3) Påvirkning af afvandingsforhold og arealanv.	Mulig konflikt vedrørende stemmeret, rekreative interesser, naturinteresser, vandplaners målsætning - EUs vandrammedirektiv - Miljømålslov - Vandløbslov	Lodsejerinddragelse, undersøgelse af miljøpåvirkning, evt. lodsejeraftaler vedr. stemmeværksdrift (regulativ)
Scenarie 2 Grødeskæring	1) Midlertidig effekt på vandstandsforhold 2) Miljøpåvirkning af vandløb 3) Påvirkning af afvandingsforhold og arealanv.	Mulig konflikt i.f.t. miljøforhold, accept af grønne skæring som klimatilpasnings-virkemiddel (finansiering). - EUs vandrammedirektiv - Miljømålslov - Vandløbslov	Regulativ, skånsom grønne skæring, undersøgelse af miljøpåvirkning
Scenarie 3 Uddybning af Gudenå	1) Permanent effekt på vandstandsforhold på uddybede strækninger 2) Miljøpåvirkning af vandløb 3) Lokal påvirkning af afvandingsforhold og arealanvendelse	Mulig konflikt i forhold til miljøbeskyttelse og miljømål for vandløb. Påvirkning af miljøtilstand på kort og lang sigt. - EUs vandrammedirektiv - Miljømålslov - Vandløbslov	Grundig forundersøgelse m.h.t miljø og natur, etapevis skånsom gravearbejde og håndtering af miljøbelastning. Inddragelse af interesseorganisationer.
Scenarie 4 Jordkøb, jordfordeling, høj klimafaktor	1) Uændrede vandstandsforhold 2) Miljøpåvirkning af ådal 3) Lokal påvirkning af arealanvendelse	Mulig konflikt i forhold til dyrkningforhold og arealanvendelse. - Planlov - Jordfordelingslov	Interessentinvolvering og forhandling med henblik på indgåelse af frivillige aftaler. Mulig synergi med lavbunds- og CO2 reduktionsprojekter
Scenarie 5 Vandparkering i Gudenådal	1) Midlertidig effekt på vandstandsforhold 2) Miljøpåvirkning af ådal 3) Lokal påvirkning af arealanvendelse	Mulig konflikt i.f.t. udpegelse af egnede arealer, natur og miljø påvirkning ved etablering af anlæg i ådalen, ændret arealanvendelse - Risikostyringslov - Vandløbslov	Interessentinvolvering og indgåelse af aftaler med lodsejere på arealer til vandparkering. Løsningsforslag med hensyn til natur og rekreative interesser
Scenarie 6 Parallelløb	1) Permanent effekt på vandstandsforhold 2) Miljøpåvirkning af ådal 3) Lokal påvirkning af arealanvendelse	Mulig konflikt i.f.t. miljøkrav i ådal og ændret arealanvendelse - EUs vandrammedirektiv - Miljømålslov - Vandløbslov	Grundig forundersøgelse m.h.t miljø og natur, etapevis skånsom gravearbejde og håndtering af miljøbelastning.

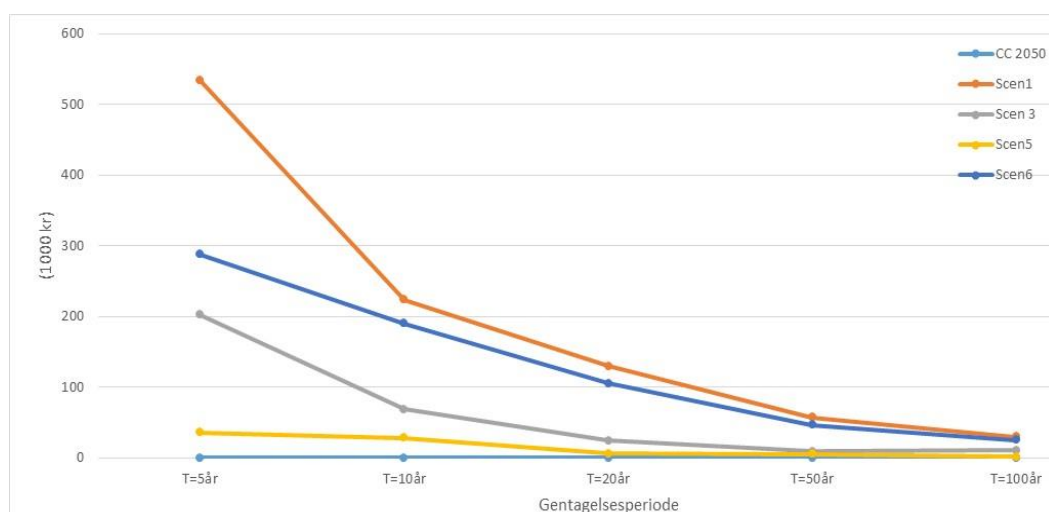
Scenarie	Påvirkning	Barrierer og lovgivning	Muligheder
			Inddragelse af interesseorganisationer
Scenarie 7 Aflejring i nedre Gudenå	1) Permanent effekt på vandstandsforhold 2) Miljøpåvirkning	Ikke relevant – ikke et klimatilpasningstiltag	Ikke relevant – ikke et klimatilpasningstiltag
Scenarie 8 Forsinket byafstrømning	1) Midlertidig effekt på vandstandsforhold 2) Lokal påvirkning af arealanvendelse	Udlednings- og miljøkrav. - Planlov (lokalplaner) - EUs vandrammedirektiv - Miljøbeskyttelseslov	Dialog imellem forsyning, kommune og berørte lodsejere Se f.eks. DANVA 2016 /16/

7.9 Diskussion af muligheder og begrænsninger

Der er screenet en række klimatilpasningstiltag i form af scenarier på Gudenå, hvilket viser et potentiale, der kan drages nytte af ved senere formulering af skitseprojekter og projekter til klimatilpasning.

Det kan være vanskeligt at omsætte forbedringer målt i f.eks. cm vandspejlsfald i punkter til konsekvenser i form af oversvømmelse eller risiko for et så stort og irregulært system som Gudenå. Det gælder ikke mindst ved sammenligning af forskellige typer klimatilpasningstiltag. Det er muligt at sammenligne potentialerne for scenarierne 1, 3, 5 og 6 på nogenlunde ensartet grundlag ud fra risikokort. Scenarierne 2, 4, 7 og 8 adskiller sig og må bedømmes ud fra andre typer modeloutputs.

Figur 7-25 viser omkostningsreduktioner afledt af risikokortene i forhold en middel 2050 (CC 2050) baseline. Kurverne udtrykker altså et overslag over omkostningsreduktioner i en 2050 situation ved klimatilpasning kontra ingen ændringer i forhold til nu. Søparkering (Scenarie 1) skiller sig ud ved potentielle forbedringer der er højere end de øvrige scenarier. Omkostningsreduktionen på ca. 1 mio. kr./år skal ses i forhold til de negative effekter af klimaændring på 3-4 mio. kr./år (Figur 7-5, side 73) fra nuværende til 2050 forhold. Det ses også af kurven at søparkering har størst effekt ved 5-20 års hændelser. Parallelløb (Scenarie 6) på de tre strækninger har næststørst effekt på samlet omkring på 0,6 mio. kr./år). Det skal i den forbindelse understreges at positive og negative effekter af klimaændring og klimatilpasning ikke er jævnt fordelt, ej heller blandt kommuner, og bl.a. afhænger af de valgte lokaliteter for hvert scenarie. Uddybning på strækningerne defineret i scenarie 3 vil ifølge scenarieberegningerne i 2050 kunne reducere skadesomkostninger ved oversvømmelse med 0,3 mio. kr./år. Ådalsparkering (Scenarie 5) har relativ ringe effekt med under 0,1 mio. kr./år. Klimatilpasningstiltagene virker ikke uafhængigt af hinanden, men med forventede øgede omkostninger på grund af klimaændringer i 2050 (middel faktor) på 3-4 mio kr/år vil de samlede tiltag i scenarie 1, 3, 5 og 6 samlet kunne modvirke ca. 2 mio kr/år hvis effekterne kan summeres. Det viser at der kræves betydelige tiltag og at det er vigtigt at vælge og optimere fra overordnede potentialer til løsninger.



Figur 7-25 Omkostningsreduktion (tkr/år) ved klimatilpasningsscenarier, Søparkering (Scen1), Uddybning (Scen3), Ådalsparkering (Scen5) og Parallelløb (Scen6), i forhold til uændrede forhold (CC 2050)

Samlet set peger scenarieanalyserne på muligheder og begrænsninger i forhold til det videre klimatilpasningsarbejde. Der ligger en række antagelser til grund for hvert enkelt scenarie hvilket skal tages i betragtning ved vurdering af effekter, men resultaterne peger i retning af at :

- 1) Vandstandssænkninger opstrøms stemmewærkerne vil give en buffer ved ekstremvandføring. Søparkering ved vandstandssænkning efterfulgt af midlertidig hævet vandstand ved høj vandføring giver en forholdsvis stor effekt. Scenariet ser på muligheder ved eksisterende bygværker og i hvilken grad de kan udnytte søpotentialet. En forudsætning er vandstandsregulering og styring hvilket kan kræve ændring eller udbygning af anlæggene. Virkemidlet har oplagte fordele i at udnytte naturlige søer som reservoirer ved hjælp af eksisterende bygværker hvilket ikke kræver nyanlæg eller indgreb på arealer.
- 2) Grødeskæring er et virkemiddel i forbindelse med vandløbsregulativer og vandløbsvedligeholdelse. Det er virksomt til at sænke vandspejlet i sommerperioden, men er ikke egnet i forhold til vinter-forårs periodens maksimal vandføringer i Gudenå. Det er undersøgt om en koordineret (samtidig) grønnskæring kan give mærkbar effekt, f.eks. for at imødegå et forventet skybrud. Modellen viser vandstandsfald på 20-35 cm ved samtidig grønnskæring og vandstandstigninger på under 10 cm på de nedstrøms strækninger der modtager den midlertidigt øgede vandmængde. Der ses betydelig, midlertidig reduktion af oversvømmelse på ånære arealer hvor grønnskæring finder sted. I praksis kan samtidig og rettidig grønnskæring i forhold til timing og mobilisering af materiel eksempelvis ved et kortvarigt skybrud være vanskelig.
- 3) Uddybning af Gudenå bidrager med at fjerne tærskler, øge vandføringskapaciteten og giver på de pågældende strækninger vandspejlsfald ved ekstremhændelser. Det har som del af Scenarie 3 vist sig mest effektivt nedstrøms Silkeborg og til dels ved Randers. Det reducerer oversvømmelsesrisikoen betragteligt i et større område men kan medføre moderat øge risiko nedstrøms. Uddybning er indgribende og kan stride imod naturbeskyttelse bl.a. Natura 2000 status for dele af åen. Omkostningerne ved uddybning må forventes at være forholdsvis høje og ser ikke ud til at stå mål med reduktion oversvømmelsesrisiko.
- 4) Scenarie 4 ser på jordkøb og jordfordeling og beskriver i den forbindelse mulige konsekvenser af klimæændring (høj klimafaktor) og kan derfor bruges til at definere et øvre omfang af klimatilpasningsindsatsen. Beregningen med maksimal klimafaktor

2050 (CCmax 2050) er omsat i et samlet risikokort for gentagelsesperioderne, T=5-100 år. I forhold til den mere sandsynlige middel klimafaktor (CC 2050) viser kortene hvilke områder der er i farezonen med hensyn til oversvømmelse hvis klimaændringer er undervurderede eller klimatilpasningen skal sigte f.eks. frem til 2100. De detaljerede kort kan bidrage til at udpege risikoområder. Hvis klimatilpasningsstrategien ikke sigter imod tiltag til at modvirke oversvømmelse, men i stedet at benytte jordfordeling og jordkøb til at reducere tab for landbruget giver scenariet et anslået omfang af arealer og omkostninger.

- 5) Gudenådalene er allerede i dag i brug ved oversvømmelseshændelser. Oversvømmelse langs åen kan betragtes som et problem, men er samtidig del af løsningen. Ådalsparkering forudsætter at yderligere vandtilbageholdelse kan ske i form af kontrolleret oversvømmelse i ådalen. Det kræver mulighed for aktivt at opmagasinere volumener og typisk til en vandstand højere end den naturligt forekommende. Det har ikke været muligt at identificere konkrete, stedspecifikke arealer der kan bruges til formålet. Modelberegning ved at indlægge et skønnet samlet volumen på 2 mio. m³ giver begrænset effekt. Hvis man antager at det er muligt at finde arealer hvor man kan opmagasinere ved en middeldybde på 0,5 m svarer det til arealer til ådalsparkering på 400 ha. Potentialet synes begrænset da ådalen i forvejen er en betydelig ukontrolleret vandparkeringsplads og da det er vanskeligt både at finde arealer og lave anlæg til formålet. Kommunerne peger på mere egnede forhold i sidegrene til Gudenå.
- 6) I lighed med uddybning kan parallelløb øge kapaciteten på kritiske strækninger. Modelanalysen viser tydelige vandspejlsfald ved ekstremvandføring for selve strækningen og umiddelbart opstrøms herfor. Den gunstige effekt ses både ved Mossø og ved Bjerringbro, men et parallelløb af samme dimensioner som Gudenå hovedløb imellem Silkeborg Langsø og Resenbro giver klart størst vandspejlsfald. Parallelløb kan medvirke til at afhjælpe flaskehalse men er også et virkemiddel der involverer anlægsarbejde, indgriben i ådalen og miljøpåvirkning. Omkostningerne ved parallelløb må forventes at være forholdsvis høje med mulige afledte negative nedstrøms effekter.
- 7) Scenarie 7 beskriver effekten af ændringer i bundtopografi i nedstrøms del af Gudenå ved Randers. Her forventes dybdeforholdene ved Randers Havn at ændre sig når den løbende fjernelse af materiale i sejlrenden ophører. Det resulterer i aflejring der vil hæve vandløbsbunden og reducere tværsnitsarealet med risiko for vandspejlsstigninger. Modelberegning med 2050 klimaændring (CC 2050) viser vandstandsstigning op til 6 cm der aftager opstrøms til nul ved Nørreåls tilløb.
- 8) Afstrømningen fra befæstede arealer spiller en rolle for Gudenå vandføring, men oplandets størrelse og arealanvendelse taget i betragtning skaber den hydrauliske belastning ved udledning af regnvand fra byområder antageligt større lokale problemer end at øge den overordnede oversvømmelsesrisiko. Modellen har ikke en selvstændig repræsentation af afløbssystemer og regnvandsbassiner ved de enkelte byer, men opererer med en overordnet tidsforsinkelse beskrevet ved en tidsfaktor knyttet til afstrømning fra befæstede arealer. Der ses en begrænset effekt ved forsinkelse af vand i form af en vandstandssænkning i størrelsesordenen (1-2 cm) målt på Gudenåens hovedløb. På grund af det store opland og vidtforgrenede vandløbsnetværk sker der allerede betydelig udglatning i tid for afstrømningsbidrag, f.eks. fra befæstede arealer. Omfanget og investeringen med hensyn til fordobling af regnvandsbassinvolumen må betragtes som stor i forhold til den reducerede skade der opnås ved en hændelse med høj afstrømning i Gudenå.

Ud fra ovennævnte potentialer bør opgaven med den fortsatte klimatilpasning bestå i at kombinere disse til løsning af lokale problemstillinger, f.eks. tilknyttet et lokalområde eller fokusområde evt. i en enkelt kommune, men fortsat at redegøre for såvel positive som negative op- til nedstrøms effekter.

8 Konklusion og anbefalinger

8.1 Konklusion

Gudenåens samlede hovedløb, søer, bygværker samt udvalgte større sidegrene er inkluderet i den dynamiske hydrauliske vandløbsmodel fra Tinnets Krat til Randers Fjord. Vandløbsmodellen er koblet til Gudenå oplandsmodel. Oplandsmodellen beregner afstrømning til vandløbsnetværket på baggrund af nedbørsinput. Samlet udgør modellerne et distribueret og integreret værktøj til analyse af vandføring og vandstand. Vandløbsmodellen bygger på et omfattende, men varierende, datagrundlag der er samlet af de 7 kommuner indenfor Gudenåens opland. Desuden indgår dybdekort over søer, informationer vedrørende bygværker, regulativer samt den digitale hydrologisk korrigerede terrænmodel (0,4 m). Der er indlagt en detaljeret beskrivelse af modstandsforhold af hensyn til både den årlige variation og repræsentation af grødeskæring indenfor skærebredten af vandløbsprofilen.

Oplands- og vandløbsmodellen er kalibreret dynamisk i forhold til vandbalance, vandføring og vandstand med brug af senere års data (2000-2017) hvor effekter af den tiltagende grødevækst er indeholdt. Modellens kalibrering har ud fra modelværktøjets anvendelse fokuseret på høje vandføringer (især de historisk høje vandføringer i 2006-2007) og vandstande i de seneste år (2015-2017) hvor grødemodstanden har været højest.

Da modellen skal anvendes i en varslingsmodel er model input i form af nedbørsdata begrænset til relativt få SVK stationer der har længere tids datadækning og som fortsat løbende kan levere data. Der findes bedre dækkende nedbørsdatasæt for Gudenåoplandet (DMI griddata), men de er ikke tilgængelig i realtid. Modelkalibreringen med hensyn til vandføring er ringe allerlængst opstrøms ved Møllerup, rimelig for opstrøms Gudenå oplandet fra Tørring til Silkeborg hvor nedbørsfordelingen er styrende for kalibreringsresultatet. For nedstrøms del fra Silkeborg til Randers er kalibreringen af vandføring særdeles god, og vandføringsrandbetingelsen ved Silkeborg har en gunstig indflydelse.

Hvad angår vandstand er det pga. af øget grødevækst forårsaget af vandremuslingens udbredelse i Gudenå valgt at lægge vægt på de senere års tilstand (2015-2017). Der er generelt god overensstemmelse imellem modelberegnet og målt vandstand. Kalibreringen viser relativt lave Manning tal (mindre end $10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ i perioder) hvilket bekræfter en tiltagende og høj grødetæthed i juli-august. Modellen benytter et fast årstidsvarierende Manningtal for delstrækninger, der ikke nødvendigvis afspejler den aktuelle grødevækst et givet år.

Gudenå vandløbsmodel er det første detaljerede og sammenhængende hydrauliske modelværktøj for hele Gudenå hvilket åbner mulighed for se på opstrøms og nedstrøms konsekvenser. Gudenå vandløbsmodellen udgør et redskab til analyse af vandløbshydrauliske forhold, og i projektet er den anvendt til to specifikke formål. Dels til scenarieberegninger der ser på effekten af forskellige typer klimatilpasningsvirkemidler og dels til en online varslingsmodel for vandstand og oversvømmelse.

Varslingsmodellen kører automatisk hver 6 time og beregner en ny prognose for vandstand og oversvømmelse 3 dage frem i tiden. I prognosen indgår seneste registrerede SVK nedbør, data fra vandstandsloggere og on-line vandføringer ved slusen i Silkeborg og nedstrøms Tangeværket. Resultatet tilgås på internetsider der giver overblik over tilstanden og den sandsynlige udvikling i det samlede Gudenå hovedløb. Desuden markeres vandstanden i forhold til et varslingsniveau i varslingspunkter der både er knyttet til infrastruktur og rekreative formål. Det er muligt at se mere lokale forhold og tidlige forløb via varslingspunkter og oversvømmelseskort. Varslingsmodellen benytter

en række online datakilder der inkorporeres i modellen (data assimilation) og styrker prognoserne, men det skaber samtidig behov for løbende at evaluere dataudfald, datakvalitet og prognose. Desuden er det blandt projektdeltagerne drøftet i projektet om der findes en bedre og mere målrettet måde at vise og bruge Gudenå varslingsmodellens resultater. Varslingsmodellen videreføres og kan hvis kommunerne ønsker det gøres offentlig.

Potentialer for forskellige typer klimatilpasningstiltag er belyst igennem 8 klimatilpasningsscenarier. I den forbindelse er der udviklet en ny metode til at definere vandføringer svarende til gentagelsesperioder, $T=5-100$ år af hensyn til at kunne producere risikokort jvf. gældende vejledninger for klimatilpasning. Derved kan klimatilpasning af vandløb sammenstilles med f.eks. risikokort for by og kyst. Oversvømmelseskort, BaseMap arealanvendelseskort, sandsynlighedskort og risikokort er produceret i $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ opløsning for de samlede ca. 160 km Gudenå. De samfundsmæssige omkostninger ved oversvømmelse er beregnet fra udspring til Randers ud fra skadesomkostninger knyttet til de forskellige typer arealanvendelse (hovedsageligt Region Midt analyse) kombineret med oversvømmelseskort omsat til sandsynlighedskort for $T=5-100$ års gentagelsesperioder. Beregningerne baserer sig på overordnede statistiske værdier og ikke konkrete lokale ejendomsværdier. Områder med vand på terræn, uanset vanddybde, medregnes med samme skadesværdi.

Baseline og fremskrivning af klimaændringseffekter viser at meromkostninger kan anslås til 3-4 mio. kr./år ved antagelse af "middel" klimaændringsfaktor. I tilfælde af klimaændringer svarende til "maksimal" klimafaktor vil meromkostninger kunne stige med en faktor 3. Der er statistisk set større skadesomkostninger knyttet til oftere forekommende 5 års hændelser end f.eks. de sjældnere 50 års eller 100 års hændelser. Det peger på at en kommende målsætning om klimatilpasning af Gudenå ud fra et økonomiske synspunkt snarere bør sigte imod de hyppigere forekommende 5-10 års hændelser end f.eks. 50 års eller 100 års hændelser selv om sidstnævnte forvolder størst skade. Det er positivt at der opnås størst økonomisk effekt ved at sikre imod mindre hændelser da det kræver mindre indsats og hyppigere udnyttelse af tiltagene.

Bedømt alene ud fra overordnet effekt på oversvømmelsesrisiko har søparkering ved midlertidig opstemning samt parallelløb af Gudenå på udvalgte strækninger størst effekt i forhold til at reducere vandstand og risiko for oversvømmelse ved ekstremhændelser. I forhold til de på forhånd udpegede fokusområder bekræfter analyserne at opstemninger spiller en vigtig rolle for vandstanden opstrøms, bl.a. ved Mossø og at øget vandføringskapacitet nedstrøms Silkeborg og på Langå-Randers kan mindske oversvømmelsesrisikoen. Ådalsparkering har beskeden effekt og overgås af den naturlige, ukontrollerede oversvømmelse der allerede finder sted i Gudenådalen. Forsinkelse af afstrømning fra befæstede arealer, f.eks. ved øget regnvandsbassinvolumen i oplandet, har begrænset effekt på vandstanden i Gudenåens hovedløb. Grødeskæring giver betydelig kortsigtet effekt, men er som klimatilpasningsvirkemiddel begrænset ved ikke at kunne benyttes i forbindelse med de store vandføringshændelser om vinteren.

Ser man på scenariernes reduktion i skadesomkostninger kontra de forventede øgede skadesomkostninger på grund af klimaændringer frem til 2050 (CC 2050) på ca. 3-4 mio kr/år har søparkering størst effekt (1,0 mio kr/år) efterfulgt af parallelløb på 0,6 mio kr/år, uddybning på 0,3 mio kr/år og ådalsparkering på 0,1 mio kr/år. Det skal ses i forhold til overslag over udgifter ved klimatilpasningstiltag der spænder fra meget lav for søparkering til relativ høj for parallelløb og uddybning (anslået højere end 30 mio kr).

I forhold til jordfordeling giver modelberegningerne svarende til maksimal klimafaktor 2050 (CCmax) mulighed for at udpege hvilke landbrugsarealer der sandsynligvis fremover vil kunne blive påvirket af stigende vandstand i Gudenå og dermed kan indgå i

jordfordeling. Jordfordeling fremstår som et økonomisk realistisk alternativ til oversvømmelsesbegrænsende tiltag.

Der er vigtigt at understrege at resultater viser et overordnet potentiale i forhold til overordnet oversvømmelsesrisiko og skade. De enkelte klimatilpasningstiltag vil ved anvendelse i lokale projekter skulle genvurderes i forhold til økonomi. Der er peget på lovgrundlag og barrierer der kan påvirke processen omkring godkendelse og realisering af projekter hvilket kommunerne som myndighed må forvente at skulle håndtere i et konkret sagsforløb med de givne typer klimatilpasningstiltag.

Der er dog tale om en screeningsanalyse og først når de omsættes i konkrete skitseprojekter og projekter for den enkelte eller i samarbejde mellem flere kommuner, er det muligt at vurdere om der kan optimeres yderligere og hvad de overslagsmæssige investeringer vil være. I den konkrete sammenhæng og på den konkrete lokalitet skal de opstillede miljø- og lovgivningsmæssige forhold inddrages.

Modelværktøjet for den samlede Gudenå giver en række muligheder i det videre arbejde med klimatilpasning, bl.a. at redegøre for konsekvenser samlet for Gudenå hvor de fleste klimatiltag vil have både positive og negative konsekvenser fra opstrøms til nedstrøms. Projektet har produceret et detaljeret og omfattende kortmateriale hvor mange yderligere informationer på mere lokal skala kan inddrages i planlægningen, bl.a. områder kan blive påvirket ved klimaændringer.

Anbefalinger

Klimatilpasningsscenarier bidrager med at identificere dels hvad omfanget af klimatilpasningsopgaven for Gudenå er og dels hvilke virkemidler der kan have størst effekt for Gudenå. Det er desuden vigtigt at formulere en målsætning for klimatilpasning af Gudenå med mulighed for at afpasse omfanget af klimatilpasningstiltag. Der bør som del af kommende klimatilpasningsplaner udarbejdes skitseprojekter hvor disse elementer indgår og hvor vidt de reelt er realiserbare kræver konkretisering og inddragelse af lokale forhold og interesser.

Det anbefales at der for Gudenå varslingsmodel på kort og længere sigt sker en erfaringsopsamling. Her kunne inddrages en evaluering af vandstande i modelprognose kontra målinger over en længere periode, samt gennemgang af stor afstrømningshændelse og eventuel justering af varslingspunkter og dertil hørende koter for "normal", "forhøjet" og "kritisk tilstand". Tilbage melding fra brugere kan hjælpe med at fremstille varslingsinformation så tæt på brugernes behov og lokale forhold som muligt. Det er drøftet i projektforslaget, om Gudenå varslingsmodel kan testes og nyttiggøres yderligere, f.eks. i forhold til borgere og beredskab. Det anbefales at gå videre med kortlægning af behov i forhold til de forskellige brugere af varslingsystemet, f.eks. borgere, kommuner, erhverv og beredskab.

Koordinering imellem kommunerne i forhold til både klimatilpasningsplaner og ved en aktuell kritisk hændelse kan effektiviseres hvis der kan skabes enighed om værktøjer, information og data. Her kan modelværktøj og varslingsystem indgå.

Det er ved hjælp af Gudenå model demonstreret at der findes en opstrøms-nedstrøms sammenhæng imellem positive og negative effekter ved klimatilpasningstiltag i Gudenå. I det videre arbejde henstilles til at analyser ikke foretages på isolerede lokale strækninger og lokaliteter med analyseres samlet for alle berørte dele af Gudenå.

Det anbefales at data fra de historisk høje vandføringer og oversvømmelser i februar-marts 2020 inddrages til at styrke modellen ved ekstremhændelser.

9 Referencer

- /1/ Gudenå vandløbsmodel, Vandstandsvarsling og scenarier, slutrapport. DHI for Silkeborg, Favrskov og Viborg kommuner, januar 2014.
- /2/ Gudenå vandløbsmodel, Klimatilpasning og oversvømmelseskort, DHI for Silkeborg og Viborg kommuner, oktober 2013
- /3/ Klimaeffekter på ekstremværdi afstrømninger, Henriksen H.J. m.fl., GEUS rapport 2014/38
- /4/ Silkeborg kommune, notat nr. 2011-1, Kontrol af vandføringsevnen i Gudenåen på strækningen mellem Silkeborg og Tange sø, Orbicon 2011
- /5/ Viborg, Silkeborg, Favrskov og Randers kommuner. Vurdering af vandstanden i Gudenåen – sommer 2008, Orbicon
- /6/ Silkeborg kommune, 3. Vurdering af grødeskæring vs. alternative foranstaltninger til håndtering af forhøjet vandstand i Gudenåen på strækningen fra Silkeborg til Tange Sø, Orbicon 2010
- /7/ Skabelon for klimatilpasningsplaner, Region Midt, 2013
- /8/ BaseMap02, Technical documentation of a model for elaboration of a land-use and land-cover map for Denmark, Teknisk rapport nr 95, Gregor Levin m.fl., DCE, 2017
- /9/ Kortlægning af oversvømmelsestruede arealer, Randers Forsyning og Randers Kommune, COWI, 2013
- /10/ Kapacitetsplan 2016 for Harrestrup Å systemet, De 10 Harrestrup Å kommuner, Orbicon
- /11/ Klimatilpasning Herning, DHI
- /12/ Vandplan 2010-2015, Randers Fjord, Hovedopland 1.5, Miljøministeriet 2011
- /13/ Klimatilpasningsplaner og klimalokalplaner, Miljøministeriet 2013
- /14/ Vedr. vurdering af udgifter til grødeskæring og sandoprensning på delstrækninger i Gudenåen mellem Silkeborg Langsø og Tange Sø, Silkeborg Kommune, 2010
- /15/ PLASK Projekt om Lokale Analyser af Samfundsøkonomi i Klimatilpasning, Miljø- og Fødevarestyrelsen, 2015
- /16/ Vejledning om drift og vedligehold af regnvandsbassiner DANVA VEJLEDNING NR. 97, 2016

BILAG

BILAG A – GIS kort

Beskrivelse og anvendelse af GIS kort

Indhold og format af GIS kort

Under projektet er der produceret modelresultater i form af GIS lag. GIS kortene er organiseret i en folder struktur der kan downloades. En oversigt over kortene er givet i nedenstående tabel.

GIS kort	Folder og filnavne Filnavne
Arealanvendelses- og værdikort. DCEs BaseMap arealanvendelses kort klippet til Gudenå oplandet og tilføjet felt vedr. værdi/omkostning (kr./m ²) for hver arealanvendelsestype. For yderligere beskrivelse af BaseMap temaet henvises til : https://www2.dmu.dk/Pub/TR11.pdf	\Vaerdikort\ LU2016_opland.tif \Vaerdikort\ vaerdi_OS.tif \Vaerdikort\ vaerdi_NS.tif
Baseline Sandsynlighedskort Risikokort	\Baseline\Kort\Sandsynlighedskort\P_MaxMap_Q_T5-100aar.tif \Baseline\Kort\Risikokort\R_MaxMap_Q_T5-100aar.tif
CC 2050 Sandsynlighedskort Risikokort	\Baseline\Kort\Sandsynlighedskort\P_MaxMap_CC_Q_T5-100aar.tif \Baseline\Kort\Risikokort\R_MaxMap_CC_Q_T5-100aar.tif
Scenarie 1 Sandsynlighedskort Risikokort	\Scen1\Kort\Sandsynlighedskort\P_MaxMap_Scen1_CC_Q_T5-100aar.tif \Scen1\Kort\Risikokort\R_MaxMap_Scen1_CC_Q_T5-100aar.tif
Scenarie 3 Sandsynlighedskort Risikokort	\Scen3\Kort\Sandsynlighedskort\P_MaxMap_Scen3_CC_Q_T5-100aar.tif \Scen3\Kort\Risikokort\R_MaxMap_Scen3_CC_Q_T5-100aar.tif
Scenarie 4 Sandsynlighedskort	\Scen4\Kort\Sandsynlighedskort\P_MaxMap_CCmax_Q_T5-100aar.tif

Risikokort	\\Scen4\\Kort\\Risikokort\\ R_MaxMap_CCmax_Q_T5-100aar.tif
Scenarie 5 Sandsynlighedskort Risikokort	\\Scen5\\Kort\\Sandsynlighedskort\\ P_MaxMap_Scen5_CC_Q_T5-100aar.tif \\Scen5\\Kort\\Risikokort\\ R_MaxMap_Scen5_CC_Q_T5-100aar.tif
Scenarie 6 Sandsynlighedskort Risikokort	\\Scen6\\Kort\\Sandsynlighedskort\\ P_MaxMap_Scen6_CC_Q_T5-100aar.tif \\Scen6\\Kort\\Risikokort\\ R_MaxMap_Scen6_CC_Q_T5-100aar.tif
Scenarie 7 Sandsynlighedskort Risikokort	\\Scen7\\Kort\\Sandsynlighedskort\\ P_MaxMap_Scen7_CC_Q_T5-100aar.tif \\Scen7\\Kort\\Risikokort\\ R_MaxMap_Scen7_CC_Q_T5-100aar.tif

For alle GIS lag gælder :

Format: .tiff (Arc GIS)

Projektion : ETRS-89 UTM 32N

Værdikort er en udvidelse af BaseMap arealanvendelseskortet idet der er tilføjet et felt ("værdi") hvor der for hver type er angivet en værdi/skade (kr./m²) med reference til prissætning diskuteret under projektet. Temaet indeholder også koder og beskrivelse for arealanvendelsestyperne.

Sandsynlighedskort filnavne starter med "p_" og i filnavnet Sandsynligheder hørende til gentagelsesperioder er summeret fra værdien 0,01 svarende til en 100 års hændelse, 0,02 for 50 års hændelsen osv.. Maksimumværdien er 0,38 svarende til at en celle er oversvømmet for alle hændelser imellem 5 og 100 års hændelsen (sum=0,38 for f.eks. en sø). Værdier mindre end eller lig nul kan filtreres fra ved visning.

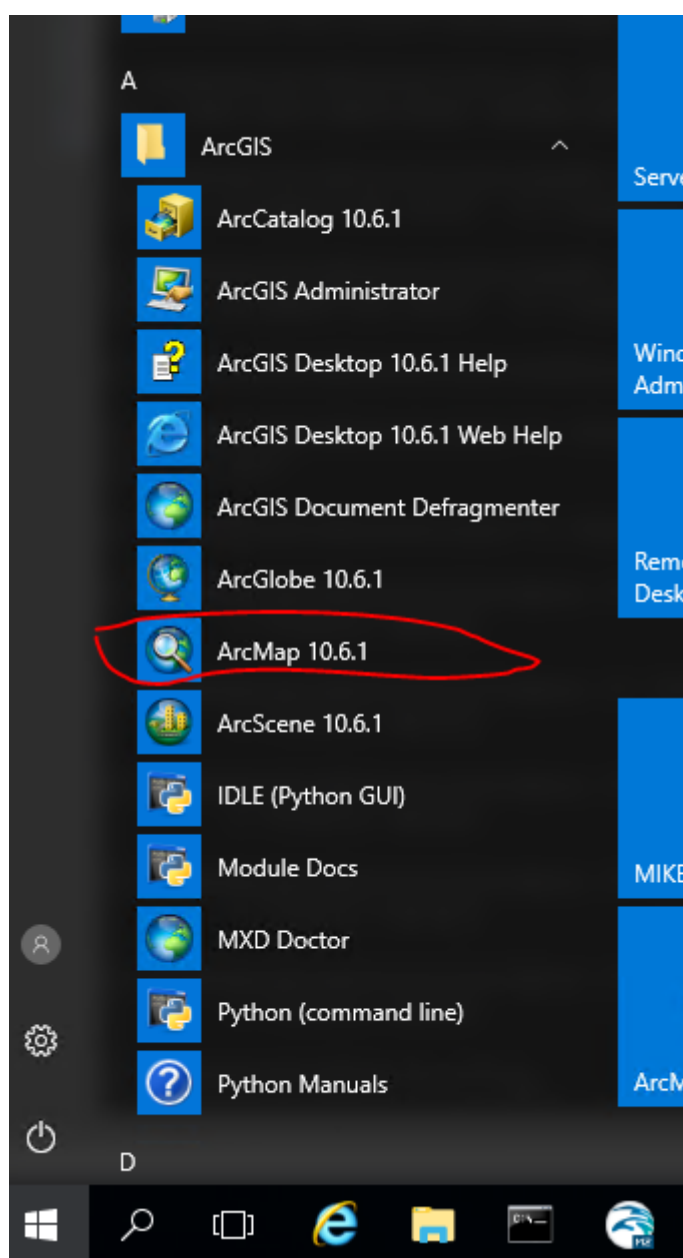
Risikokort starter med "R_" og er beregnet ved for alle celler at beregne sandsynlighed (%) ganget med værdi (kr./m²) og areal (m²), ($R=V \cdot p \cdot A$). Det vil sige at det udtrykker den middel årlige omkostning for oversvømmelsesskader (kr.). Da værdier jvf. værdikort ligger imellem 0,55 -1000 kr./m² svarende til 55 – 100.000 kr. for et 100 m² areal (10 m x 10 m) og sandsynlighed imellem 0,01 og 0,38 vil risikokortets værdier ligge i intervallet 0,55 – 38.000 kr./år. Værdier mindre end eller lig nul anbefales udeladt ved visning.

A Indlæsning og visning i Arc GIS

I det følgende er skridtene til at indlæse og vise GIS lagene i Arc GIS gennemgået.

For at data kan vises i ArcGIS er det nødvendigt at åbne et ArcGIS dokument (*.mxd), det kan enten være et nyt og tomt dokument eller et allerede eksisterende dokument. I dette notat tages der udgangspunkt i et nyt og tomt ArcGIS dokument.

Programmet ArcMap åbnes (Start->ArcGIS->ArcMap 10.6.1). Navnet på programmet afhænger af hvilken version der er installeret på computeren.

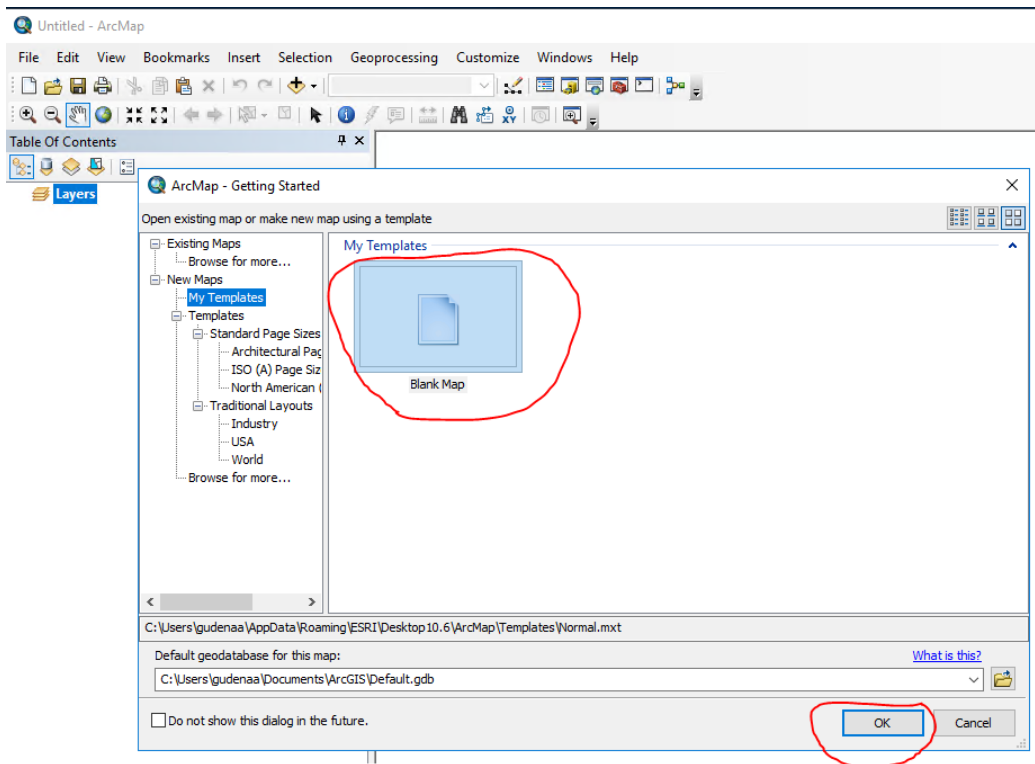


Figur 9-1 ArcMap åbnes via start - > ArcGIS - > ArcMap 10.6.1. Nummeret afhænger af hvilken version der er installeret.

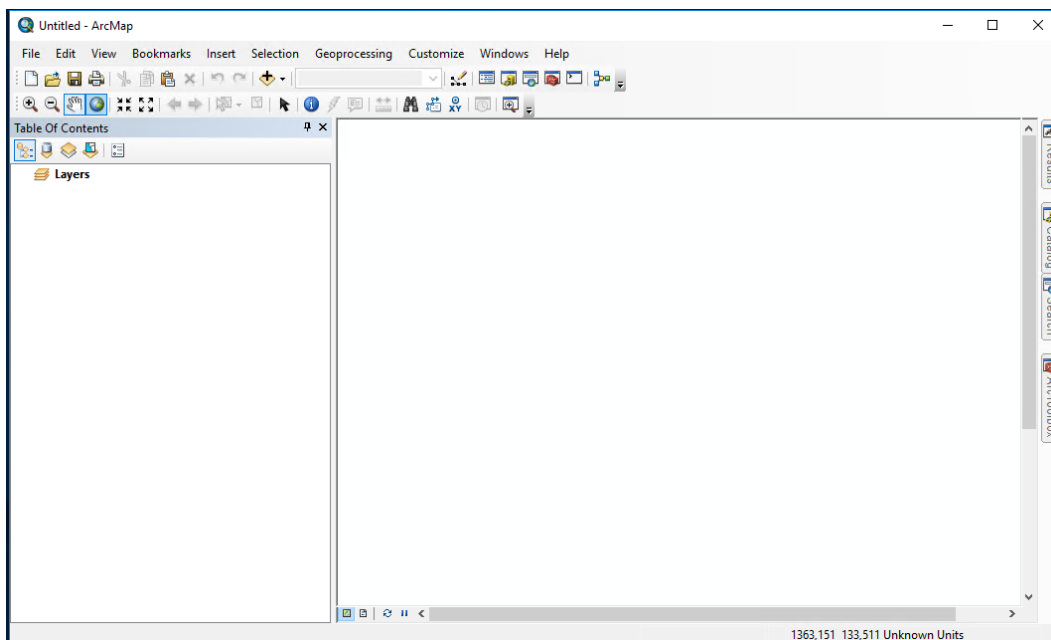
Derefter vælges "Blank map" og "OK", se Figur 9-2. Herved åbnes et tomt kort uden data, se Figur 9-3. Der 2 muligheder for at tilføje data til det tomme kort

Drag/drop data ind på kortet

Browse efter data via den indbyggede browser

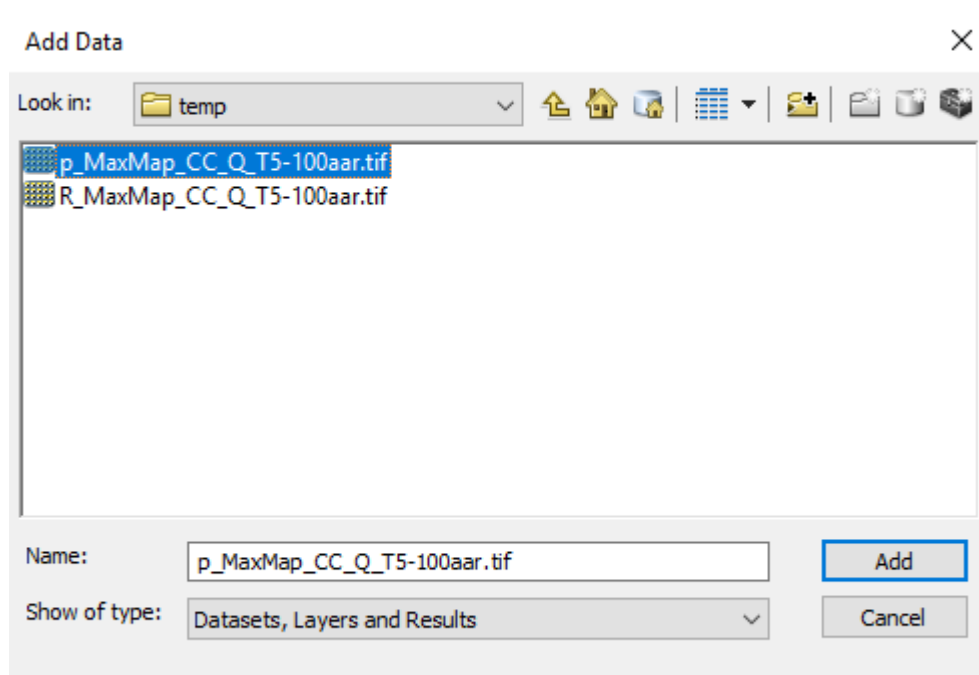


Figur 9-2 Nyt ArcMap dokument/kort.



Figur 9-3 Tomt ArcMap kort/dokument.

Hvis man vælger at browse efter data, så vil denne knap  åbne et vindue så man kan browse efter data, se Figur 94.



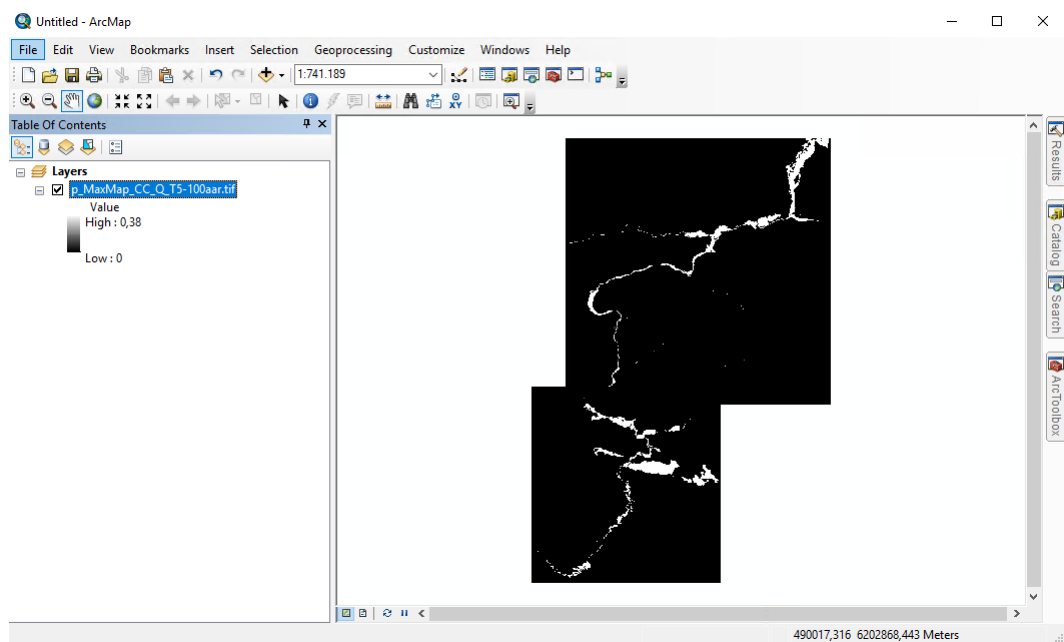
Figur 9-4 Vindue til at browse efter data der skal tilføjes til kortet.

Derefter er det blot at vælge det data der skal tilføjes og trykke på "Add". Hvis det er første gang man åbner spatial data, så kan man komme ud for at der vil komme en dialog om man vil "bygge pyramider / build pyramids", det skal man sige "ja", da det vil gøre det meget hurtigere efterfølgende at flytte rundt i kortet. Nu er data hentet ind, se Figur 9-5. Til venstre i programmet er der en "Table of Contents" – en indholdsfortegnelse. Her er det muligt at ændre rækkefølge på lagene, aktivere/de-aktivere lag, samt ændre på legenden.

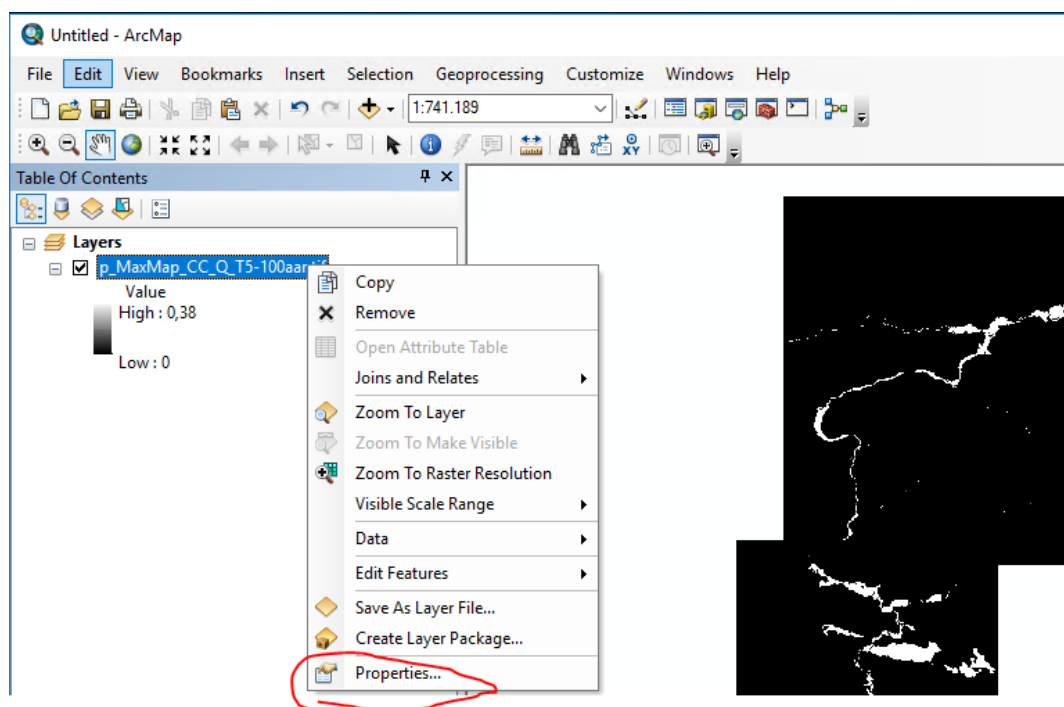
Hvis man vil ændre på legenden, så kan man enten dobbelt-licke på lagets navn eller højre-licke og vælge "Properties...", se Figur 9-6. Derefter kommer "Layer Properties" menuen op (se Figur 9-7) og i den skal man vælge fan-blad "Symbology". Derefter vælger man "Unique Values" i menuen til venstre (markeret med gult). I nogle tilfælde vil der komme et spørgsmål om man vil beregne værdierne i filen. Dette skal man acceptere ved at vælge "Yes". I nogle tilfælde vil der forekomme afrundinger på de sidste decimaler. Det kan afhjælpes ved at ændre på "Label" værdien (markeret med rødt i Figur 9-8).

For at undgå at alle 0-værdier bliver farvet skal farvekoden for disse sættes til transparent. Dette gøres ved at dobbelt-licke på farven som ønskes ændret – i dette tilfælde markeret med blå pil i Figur 9-9 – og derefter vælges "No Color" og "OK".

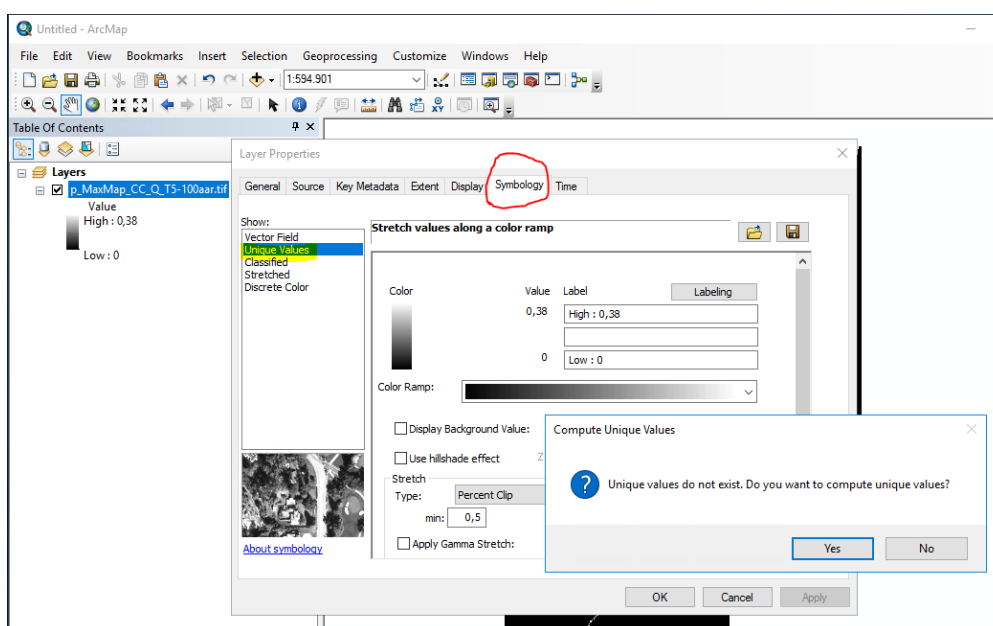
Herved er legenden sat for det pågældende kort (Figur 9-10).



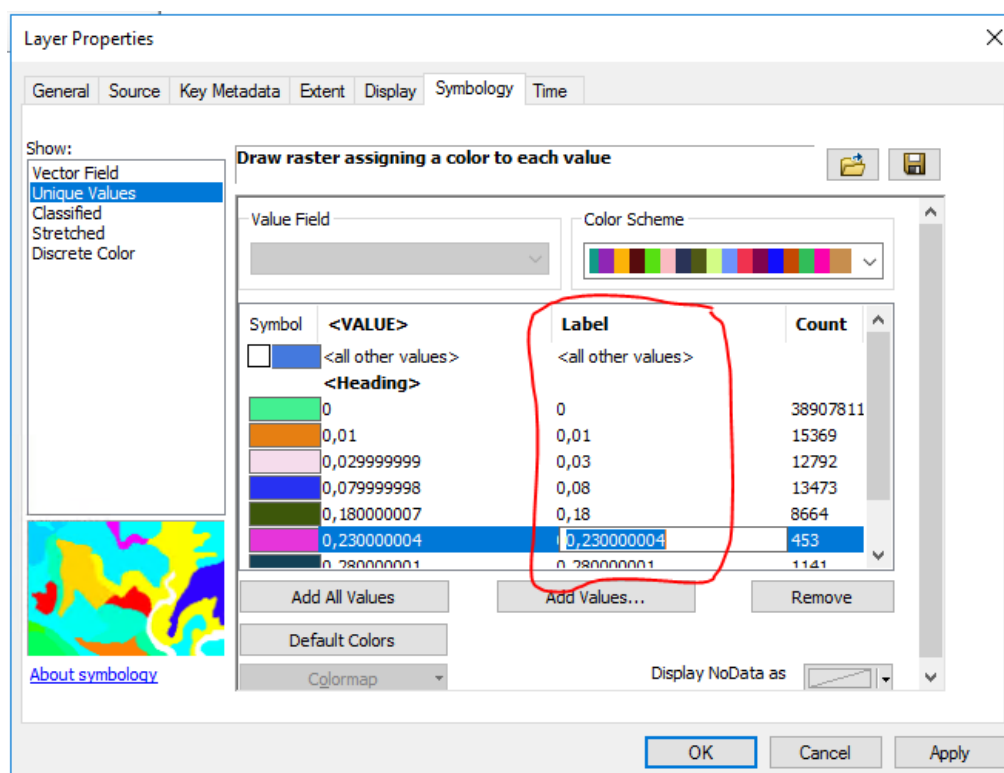
Figur 9-5 Data er hente ind i ArcMap dokumentet.



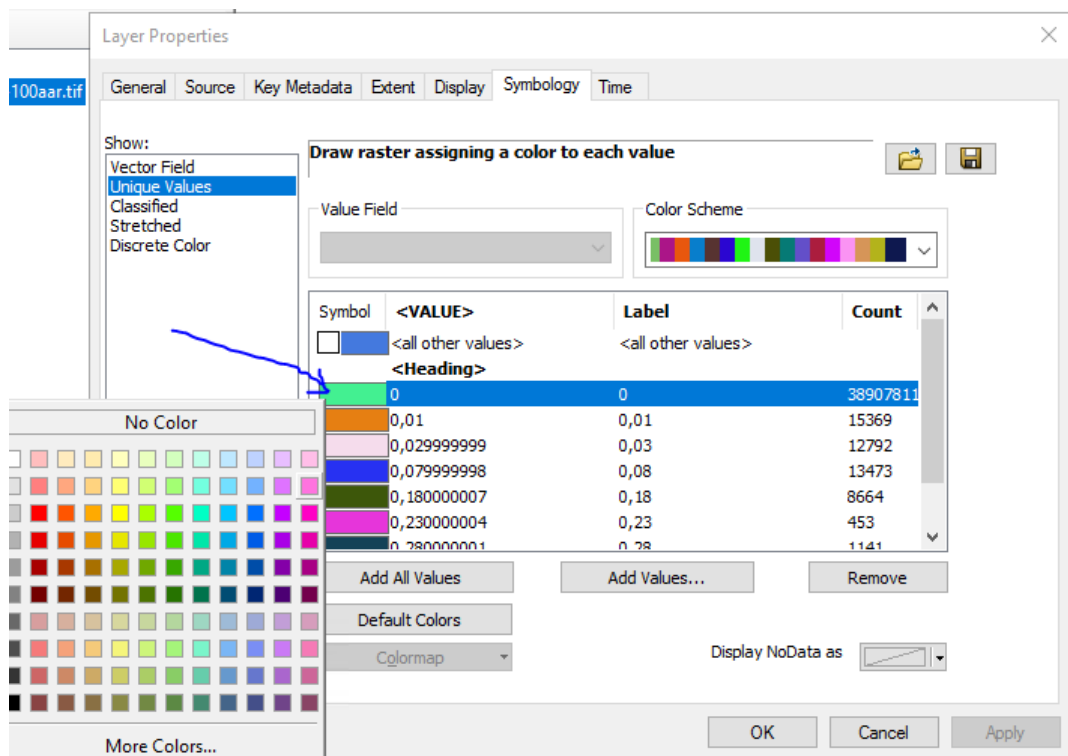
Figur 9-6 Ved at "højre-licke" og vælge "Properties.." kan man ændre på lagets udseende.



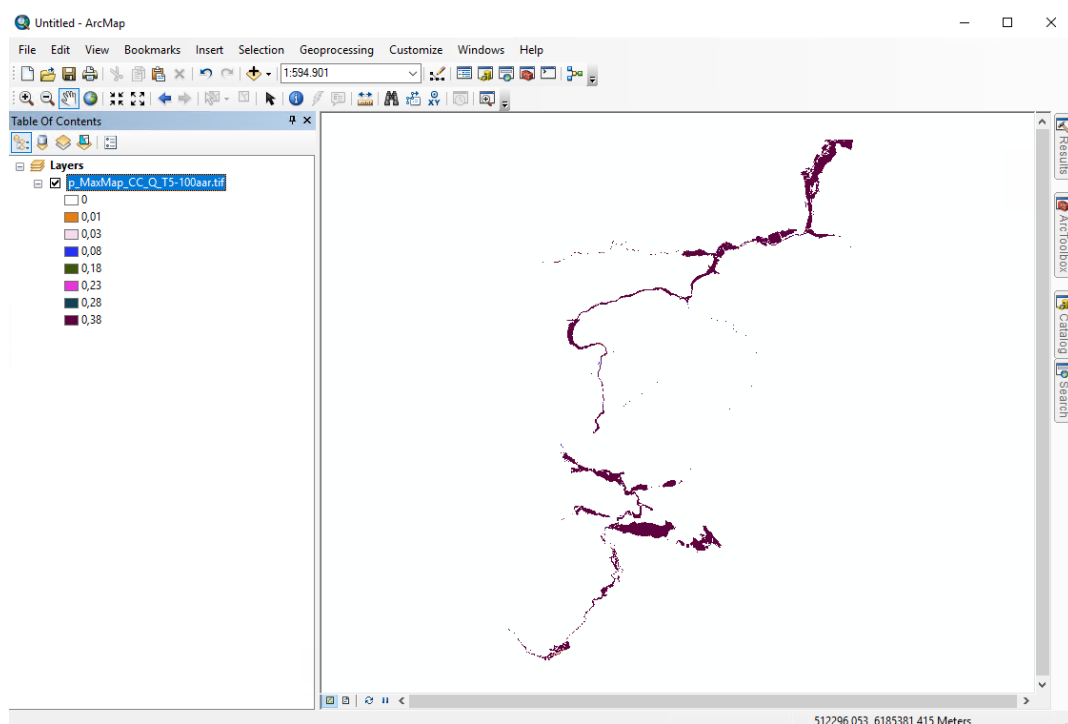
Figur 9-7 Menu til at ændre legenden for et spatialt lag



Figur 9-8 Klassificering af data.



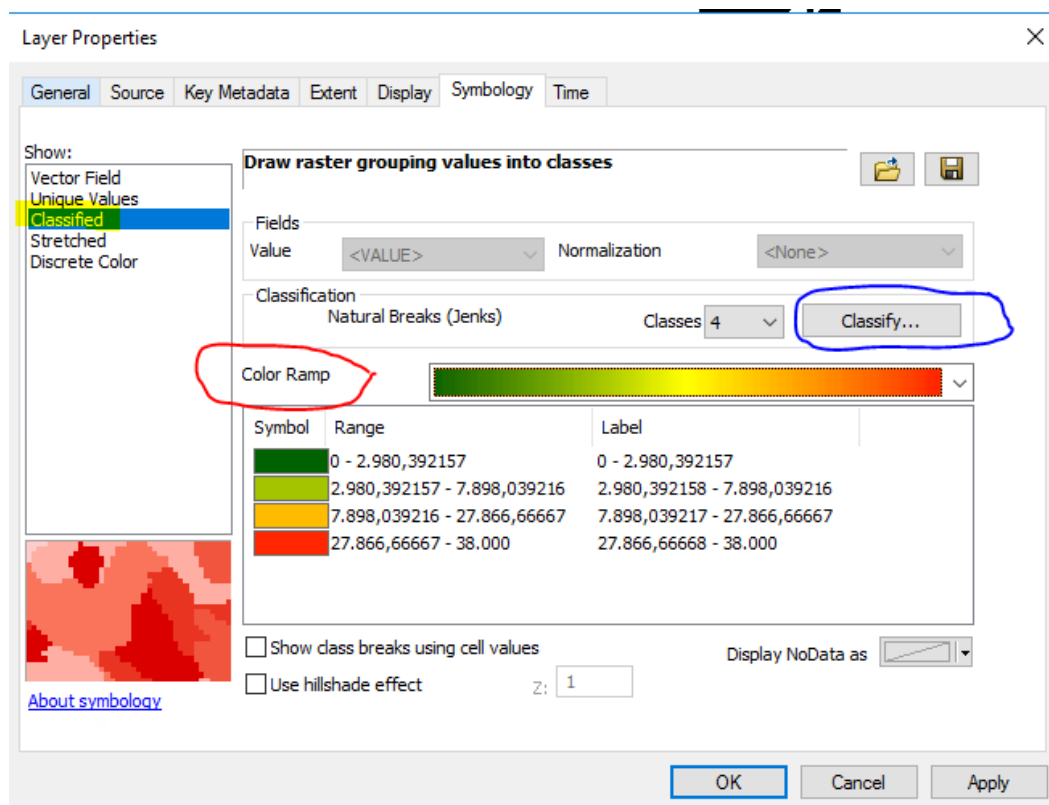
Figur 9-9 0-værdier gøres transparente.



Figur 9-10 Ny klassificering.

Visning af Risikokort

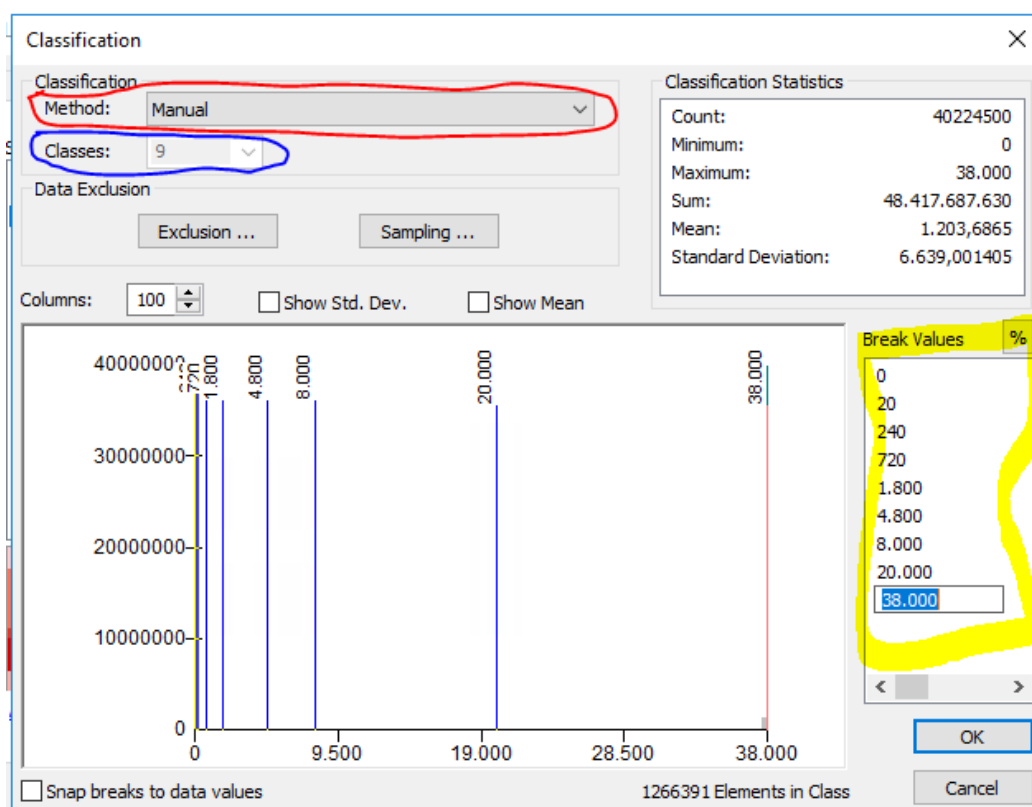
Efter man har hentet risikokortet ind i ArcGIS er det muligt at ændre på legenden på samme måde som for sandsynlighedskortet. Man åbner "Properties" dialogen (double click på laget eller højre click og vælge "Properties". Så vælger man "Symbology"-fanen, skifter til "Classified" (gul markering), ændre "Color Ramp" (rød markering) og derefter click'es på "Classify" (blå markering), se Figur 9-11.



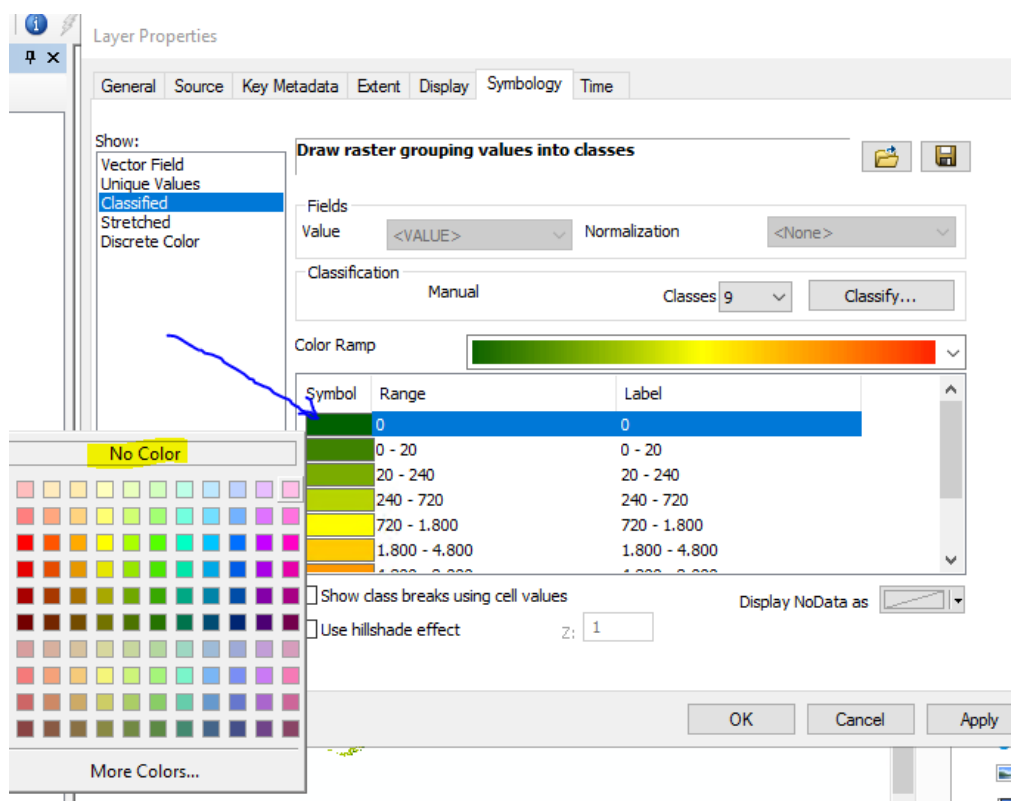
Figur 9-11 Menu til at ændre på klassifikation for risikokortet.

Derefter kommer dialogen i Figur 9-12 frem. Her vælges metoden til "Equal Interval" (rød markering), samt antal "Classes" til 9 (blå markering). Derefter kan der indtastes værdier i "Break Values" (gul markering). Bemærk at "Method" ændres til "Manual" når der tages værdier i ned. Derefter clickes på "OK".

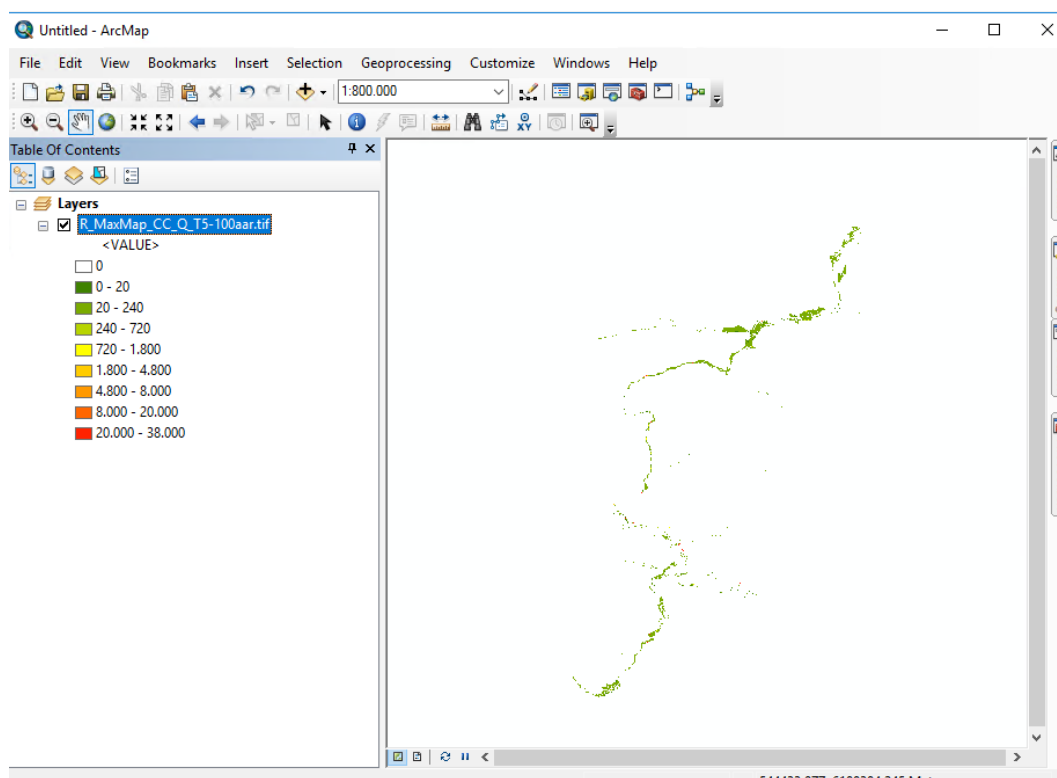
Næste skridt er at double-click'e på den grønne farve markeret med den blå pil (Figur 9-13) og derefter vælges "No Color" fra farveskalaen. Det er også muligt at ændre i "Labels", så der ikke er så mange decimaler på dem. Tilslut trykkes der på "OK" og legenden er derved opdateret, se Figur 9-14.



Figur 9-12 Klassifikations dialog



Figur 9-13 Ændring af farver i legenden.



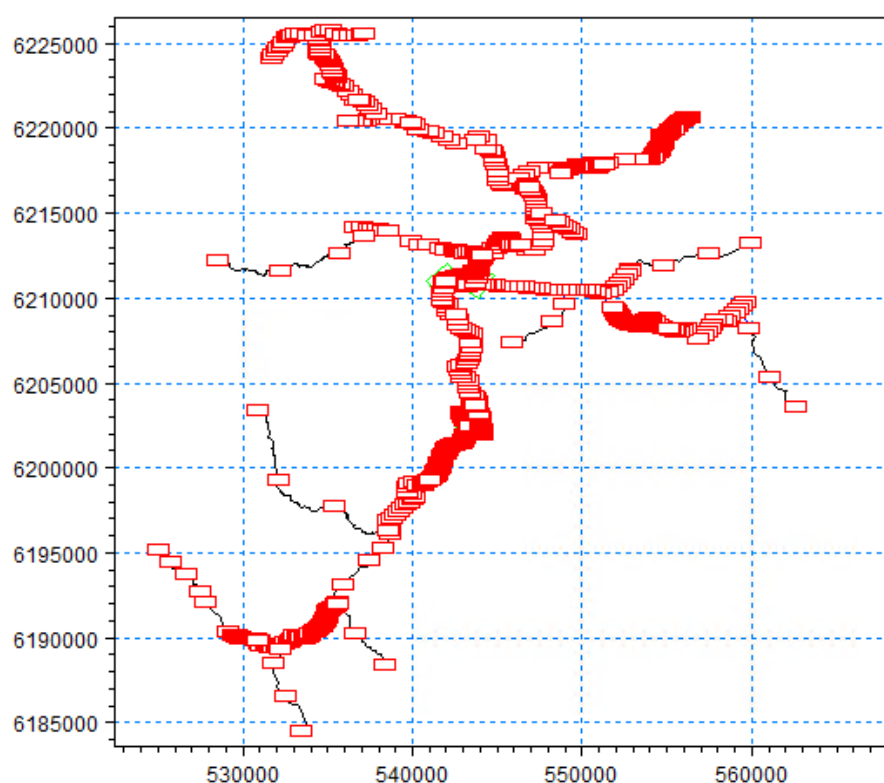
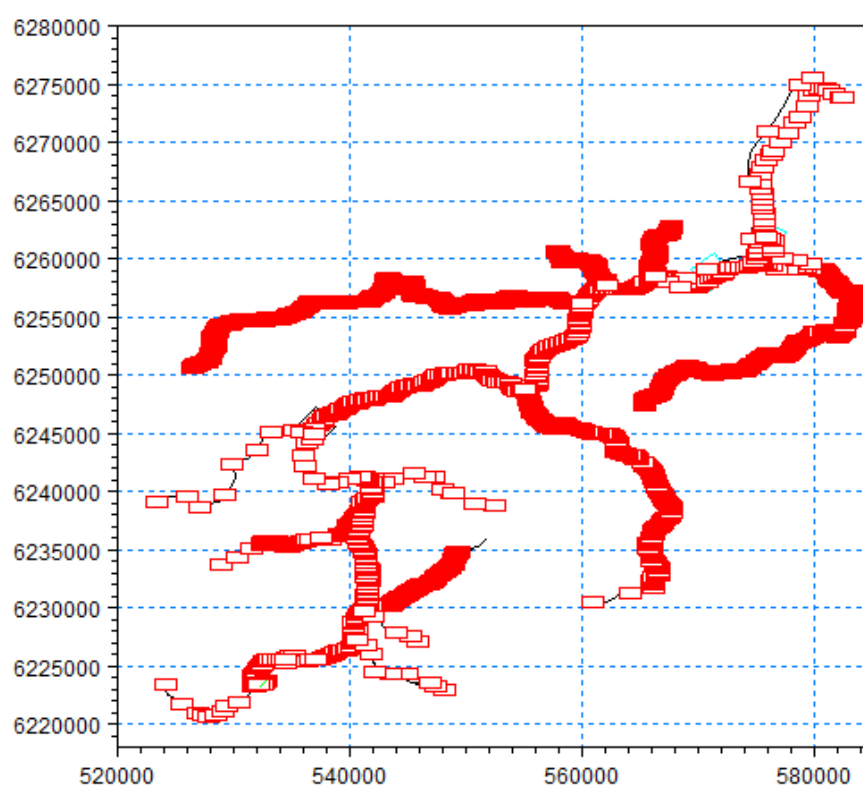
Figur 9-14 Opdateret legende i kortet.

BILAG B - Vandløb i model

Vandløb og tværsnit i MIKE11 model

Opstrømsmodel	Nedstrømsmodel
BirkSø	Alling Å
BirkSø_2_JulSø	Alling Å, Randers Fjord
BorreSø	BORRE_AA
Brassø	BORRE_AA_TOP
Døde Å - GudenÅen v. Højlund - Mossø	Funder_AA
DørupBæk	GJERN Å
GudenSø	GudenÅen_ns
GudenÅ - Bredstenbro - Vestbirk Campingplads	GudenÅen_os
GudenÅ - Elleskifte - Voervadsbro	HINGE Å
GudenÅ - Tørring - Åle Østermark	LILLE_AA_TT_GUDENA
GudenÅ - Udspring - Tørring	LINAA
GudenÅ - Vestbirk Campingplads - Vestbirk Kraftværk	Nørre Å
GudenÅ - Vestbirk Kraftværk - Elleskifte	Randers Fjord
GudenÅ - Vilholt Mølle - Mossø	Randers Fjord_LFP1
GudenÅ - Voervadsbro - Vilholt Mølle	Randers Fjord_LFP2
GudenÅ - Åle Østermark - Bredstenbro	Randers Fjord_RFP1
IllerupÅ	Randers Fjord_RFP2
JulSø	RF_LFP1_Link1
KnudSø	RF_LFP1_Link2
KnudÅ	RF_LFP2_Link1
KnudÅ	RF_RFP1_Link1
MatstrupÅ	RF_RFP1_Link2
MosSø	RF_RFP2_Link1
MosSø_2_GudenSø	Rismølle Bæk
RavnSø	SilkeborgLangSoe
RemstrupÅ	SilkeborgLangSoe_os
RingklosterÅ	Svejstrup Bæk
Riværket	TANGE_AA

Ry LilleSø	VOEL_BAEK
Ry Mølle	ØrnSø
Ry Mølle Sø	
Salten LangSø	
SaltenÅ	
SaltenÅ_opstr	
Sejs Snævnring	
SilkeborgLangSoe	
SkanderborgSø	
SkærÅ	
TåningSø	
TåningÅ	
UldumLilleå	
VesSø	
VestbirkBredvadSø	
VestbirkNaldalSø	
VestbirkSø_1	
VestbirkSø_kanal	
VroldSø	
ØlholmBæk	



Oversigtskort over vandløbstværsnit i opstrøms model (nederst) og nedstrøms model (øverst)

BILAG C – On-line data status

Status for on-line data i varslingsmodel

DEMO x Data Status x +

← → ↻ 🔒 Ikke sikker | 40.114.200.32/data/ModelDataStatus/DataAtRunTime.html ☆ 🔍

Data Log

Monitor data der bruges i model - 04-06-2019 09:00:21

Rækkefølge	Filnavn	Dato for Sidste Data	Data Status	On/Off i Model
None	Rainfall 5230 JELLING	07-06-2019 09:00:00	N/A	N/A
None	Rainfall 5122 VIBORG HEDERSELSKABET	07-06-2019 09:00:00	N/A	N/A
None	Rainfall 5145 RANDERS CENTRALRENSANLÆG	07-06-2019 09:00:00	N/A	N/A
None	Rainfall 5175 TRANKÆR RENSEANLÆG	07-06-2019 09:00:00	N/A	N/A
None	Rainfall 5192 SILKEBORG VANDVÆRK	07-06-2019 09:00:00	N/A	N/A
None	Rainfall 5211 HORSSENS CENTRALRENSANLÆG	07-06-2019 09:00:00	N/A	N/A
17	Q - Inflow Silkeborg Sø	04-06-2019 08:40:09	OK	On
03	WL - 21.02 Gudenå - Åstedbro	03-06-2019 06:00:00	OK	On
15	WL - 21.121 Brasse Assing hoved	01-01-1900 01:00:00	<WLmin	On
02	WL - 21.131 Gudenå ns - Uldumkær	04-06-2019 05:45:00	OK	On
09	WL - 21.132 Skanderborg sø - Skanderborg	04-06-2019 06:00:00	OK	On
07	WL - 21.133 Illerup å - Mosse	04-06-2019 06:00:00	OK	On
13	WL - 21.135 Gudenå - Rye mølle - ns bro	04-06-2019 06:15:00	OK	On
04	WL - 21.142 Gudenå Brestenbro	04-06-2019 06:00:00	OK	On
06	WL - 21.143 Døde Å - Klosterkær	01-01-1900 01:00:00	<WLmin	On
14	WL - 21.145 Julss - Svejbsklund	04-06-2019 06:00:00	OK	On
10	WL - 21.27 Salten å - Rye bro	03-06-2019 06:00:00	OK	On
05	WL - 21.40 Gudenå - Voervadsbro	03-06-2019 07:00:00	OK	On
08	WL - 21.46 Tåning å - Fuldbro mølle	04-06-2019 06:00:00	OK	On
12	WL - 21.50 Gudenå - Rye mølle - os bro	04-06-2019 06:00:00	OK	On

Figur 1 Web side der viser status for data der er brugt i beregningen

BILAG D – Maksimale VSP-koter

Modelsimulerede maksimale vandspejlskoter

I Gudenå vandløbsmodellen beregnes vandføringer og vandspejlskoter i et stort antal beregningpunkter i vandløbsgrenene. Ved brug af det grafiske værktøj MIKE View kan tabel udtrækkes (vælg "Plot Time series" og "List"). Informationen kan udtrækkes som vist i de to nedenstående tabeller for henholdsvis opstrøms og nedstrøms del. Værdierne svarer til baselinie, T=5 år, dvs. nuværende forhold hvor vandføringen er skaleret til en samtidig T=5års hændelse for hele Gudenå systemet. Tabellerne vedrører Gudenå hovedløb og sidegrene er frasorterede. "Modelpunkt" viser navn på vandløbsgren i modellen og stationering (m). Resultaterne skrives ikke automatisk i opstrøms-nedstrøms orden og af hensyn til geografisk lokalisering er der knyttet et stednavn i kolonnen yders til højre

Tabel 1 Modelsimulerede maksimale vandspejlskoter for opstrøms model

Model punkt	Baseline, T=5år	Lokalitet
	Maks. VSP kote (m)	Stednavn
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING -4236	65.039	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING -3513	64.158	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING -2790	63.305	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING -2059.5	62.271	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING -1329	61.188	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING -634.5	59.65	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 60	58.163	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 730	57.179	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 1546.67	56.707	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 2363.33	56.218	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 3180	55.744	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 3602.42	55.501	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 3629.55	55.456	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 3711.19	55.384	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 3797.59	55.306	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 3860.88	55.251	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 3927.27	55.161	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 4011.24	55.045	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 4082.71	55	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 4169.33	54.97	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 4270.68	54.921	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 4353.04	54.884	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 4437.53	54.843	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 4533.48	54.786	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 4541.03	54.776	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 4558.26	54.726	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 4566.49	54.723	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 4579.71	54.69	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 4619.6	54.638	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 4656.52	54.597	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 4692.92	54.565	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 4702.51	54.56	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 4722.46	54.545	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 4732.33	54.546	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 4804.07	54.49	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 4906.95	54.356	Ved
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 4992.43	54.181	Tørring
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 5030.32	54.027	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 5051.71	53.971	
GUDENÅ - UDSPRING - TØRRING 5224	53.887	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 5275	53.887	

GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 5333.79	53.874	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 5348.7	53.87	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 5493.54	53.836	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 5510.24	53.832	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 5674.37	53.749	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 5704.4	53.725	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 5989.29	53.446	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 6014.66	53.419	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 6177.96	53.216	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 6220.72	53.155	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 6323.65	53.018	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 6368.42	52.97	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 6591.52	52.907	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 6608.35	52.903	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 6796.09	52.866	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 6838.67	52.854	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 7072.24	52.762	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 7072.24	52.762	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 7154.59	52.671	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 7160.89	52.667	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 7171.73	52.662	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 7315.49	52.564	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 7455.7	52.458	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 7597.42	52.37	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 7746.03	52.236	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 7888.42	52.189	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 8031.06	52.116	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 8172.46	52.046	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 8351.99	51.957	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 8483.54	51.874	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 8623.22	51.826	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 8761.95	51.816	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 8919.83	51.738	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 9062.08	51.621	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 9201.46	51.543	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 9353.79	51.463	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 9473.55	51.386	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 9622.28	51.305	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 9745.92	51.285	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 9876.94	51.211	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 9985	51.103	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 10123.7	51.008	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 10274.6	50.953	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 10312.1	50.95	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 10394.8	50.931	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 10524.9	50.892	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 10682.2	50.858	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 10822.9	50.805	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 10900	50.762	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 11046.1	50.705	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 11159.1	50.664	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 11230.7	50.641	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 11358.6	50.621	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 11438.2	50.611	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 11558.6	50.598	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 11695.5	50.58	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 11829.7	50.56	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 11939.2	50.546	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 12074.7	50.53	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 12205.7	50.509	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 12336.3	50.491	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 12472.4	50.474	

GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 12600.6	50.455	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 12762.3	50.44	Ved
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 12887.4	50.436	Uldum Kær
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 13020.8	50.366	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 13200.3	50.288	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 13200.3	50.288	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 13950.1	50.149	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 14700	49.985	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 15439	49.817	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 16178	49.624	
GUDENÅ - TØRRING - ÅLE ØSTERMARK 16917	49.3	
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO -2433	49.3	
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO -1816.5	48.956	
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO -1200	48.627	Ved
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO -200	48.05	Åstedbro
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO 53	47.714	
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO 53	47.714	
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO 353	47.347	
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO 653	47.124	
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO 953	46.903	
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO 1253	46.731	
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO 1553	46.642	
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO 1853	46.562	
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO 2153	46.448	
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO 2453	46.278	
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO 2753	46.03	
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO 3053	45.76	
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO 3353	45.574	
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO 3653	45.477	
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO 3953	45.262	
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO 4253	44.98	
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO 4553	44.79	
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO 4853	44.607	
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO 5169.71	44.47	
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO 5316.04	44.34	Ved
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO 5420.65	44.276	Bredstenbro
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO 5658.56	44.267	
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO 5766	44.259	
GUDENÅ - ÅLE ØSTERMARK - BREDSTENBRO 5773	44.258	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 5836	44.258	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 5982.66	43.978	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 6097.47	43.96	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 6230.18	43.955	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 6337.18	43.953	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 6441.9	43.949	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 6544.27	43.946	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 6639.59	43.939	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 6750.15	43.933	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 6852.55	43.927	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 6981.97	43.9	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 7106.08	43.89	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 7238.22	43.887	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 7357.6	43.883	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 7448.14	43.881	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 7542.36	43.881	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 7644.78	43.867	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 7721.9	43.862	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 7820.83	43.861	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 7971.94	43.855	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 8065.9	43.853	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 8172.7	43.843	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 8253.2	43.837	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 8327.58	43.839	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 8402.63	43.837	

GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 8474.88	43.836	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 8592.81	43.834	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 8672.38	43.83	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 8693.6	43.824	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 8790.75	43.819	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 8883.24	43.813	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 8946.74	43.806	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 9018.37	43.804	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 9132	43.797	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 9188.92	43.797	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 9260.39	43.793	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 9296.96	43.795	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 9337.75	43.795	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 9461.08	43.786	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 9555.02	43.785	
GUDENÅ - BREDSTENBRO - VESTBIRK CAMPINGPLADS 9642.5	43.778	Ved
GUDENÅ - VESTBIRK KRAFVÆRK - ELLESKIFTE 13074	33.437	Vestbirk
GUDENÅ - VESTBIRK KRAFVÆRK - ELLESKIFTE 13074.2	33.437	
GUDENÅ - VESTBIRK KRAFVÆRK - ELLESKIFTE 13119.4	33.402	
GUDENÅ - VESTBIRK KRAFVÆRK - ELLESKIFTE 13175.2	33.387	
GUDENÅ - VESTBIRK KRAFVÆRK - ELLESKIFTE 13271.8	33.355	
GUDENÅ - VESTBIRK KRAFVÆRK - ELLESKIFTE 13713	33.285	
GUDENÅ - VESTBIRK KRAFVÆRK - ELLESKIFTE 14013	33.252	
GUDENÅ - VESTBIRK KRAFVÆRK - ELLESKIFTE 14313	33.185	
GUDENÅ - VESTBIRK KRAFVÆRK - ELLESKIFTE 14613	33.054	
GUDENÅ - VESTBIRK KRAFVÆRK - ELLESKIFTE 14913	32.862	
GUDENÅ - VESTBIRK KRAFVÆRK - ELLESKIFTE 15213	32.722	
GUDENÅ - VESTBIRK KRAFVÆRK - ELLESKIFTE 15513	32.679	
GUDENÅ - VESTBIRK KRAFVÆRK - ELLESKIFTE 15813	32.627	
GUDENÅ - VESTBIRK KRAFVÆRK - ELLESKIFTE 16113	32.57	
GUDENÅ - VESTBIRK KRAFVÆRK - ELLESKIFTE 16413	32.508	
GUDENÅ - VESTBIRK KRAFVÆRK - ELLESKIFTE 16713	32.462	
GUDENÅ - VESTBIRK KRAFVÆRK - ELLESKIFTE 17013	32.407	
GUDENÅ - VESTBIRK KRAFVÆRK - ELLESKIFTE 17313	32.291	
GUDENÅ - VESTBIRK KRAFVÆRK - ELLESKIFTE 17613	31.909	
GUDENÅ - VESTBIRK KRAFVÆRK - ELLESKIFTE 17913	31.586	
GUDENÅ - VESTBIRK KRAFVÆRK - ELLESKIFTE 18213	31.506	
GUDENÅ - VESTBIRK KRAFVÆRK - ELLESKIFTE 18513	31.455	
GUDENÅ - VESTBIRK KRAFVÆRK - ELLESKIFTE 18813	31.41	
GUDENÅ - VESTBIRK KRAFVÆRK - ELLESKIFTE 19113	31.338	
GUDENÅ - ELLESKIFTE - VOERVADSBRO 19113	31.338	
GUDENÅ - ELLESKIFTE - VOERVADSBRO 19413	31.157	Ved
GUDENÅ - ELLESKIFTE - VOERVADSBRO 19713	30.779	Voervadsbro
GUDENÅ - VOERVADSBRO - VILHOLT MØLLE 19713	30.779	
GUDENÅ - VOERVADSBRO - VILHOLT MØLLE 20013	30.588	
GUDENÅ - VOERVADSBRO - VILHOLT MØLLE 20313	30.119	
GUDENÅ - VOERVADSBRO - VILHOLT MØLLE 20613	29.25	
GUDENÅ - VOERVADSBRO - VILHOLT MØLLE 20913	28.486	
GUDENÅ - VOERVADSBRO - VILHOLT MØLLE 21213	27.736	
GUDENÅ - VOERVADSBRO - VILHOLT MØLLE 21512	27.268	
GUDENÅ - VILHOLT MØLLE - MOSSØ 21512	27.268	
GUDENÅ - VILHOLT MØLLE - MOSSØ 21813	27.192	
GUDENÅ - VILHOLT MØLLE - MOSSØ 22113	27.094	
GUDENÅ - VILHOLT MØLLE - MOSSØ 22413	26.869	
GUDENÅ - VILHOLT MØLLE - MOSSØ 22713	26.726	
GUDENÅ - VILHOLT MØLLE - MOSSØ 23013	26.68	
GUDENÅ - VILHOLT MØLLE - MOSSØ 23313	26.431	
GUDENÅ - VILHOLT MØLLE - MOSSØ 23613	26.177	
GUDENÅ - VILHOLT MØLLE - MOSSØ 23913	26.062	
GUDENÅ - VILHOLT MØLLE - MOSSØ 24213	25.961	
GUDENÅ - VILHOLT MØLLE - MOSSØ 24517	25.883	

GUDENÅ - VILHOLT MØLLE - MOSSØ 24517	25.883	
GUDENÅ - VILHOLT MØLLE - MOSSØ 24563	25.88	
GUDENÅ - VILHOLT MØLLE - MOSSØ 24563	25.88	
GUDENÅ - VILHOLT MØLLE - MOSSØ 25246.5	25.858	
GUDENÅ - VILHOLT MØLLE - MOSSØ 25930	25.303	
GUDENÅ - VILHOLT MØLLE - MOSSØ 25935	25.232	
GUDENÅ - VILHOLT MØLLE - MOSSØ 25950	25.267	
GUDENÅ - VILHOLT MØLLE - MOSSØ 25985	23.186	
GUDENÅ - VILHOLT MØLLE - MOSSØ 26065	23.155	
GUDENÅ - VILHOLT MØLLE - MOSSØ 26300	23.028	Ved
MOSSØ 2_GUDENSØ 0	23.028	Mossø
MOSSØ 2_GUDENSØ 22.77	23.019	
MOSSØ 2_GUDENSØ 101.373	23.002	
MOSSØ 2_GUDENSØ 162.694	23.001	
MOSSØ 2_GUDENSØ 313.36	22.997	
MOSSØ 2_GUDENSØ 367.718	22.994	
MOSSØ 2_GUDENSØ 456.677	22.994	
MOSSØ 2_GUDENSØ 533.176	22.994	
MOSSØ 2_GUDENSØ 606.346	22.991	
MOSSØ 2_GUDENSØ 731.905	22.986	
MOSSØ 2_GUDENSØ 884.468	22.972	
MOSSØ 2_GUDENSØ 997.527	22.961	
MOSSØ 2_GUDENSØ 1137.45	22.952	
MOSSØ 2_GUDENSØ 1243.58	22.949	
MOSSØ 2_GUDENSØ 1389.3	22.939	
MOSSØ 2_GUDENSØ 1462.55	22.933	
MOSSØ 2_GUDENSØ 1556.27	22.928	
MOSSØ 2_GUDENSØ 1617	22.926	
MOSSØ 2_GUDENSØ 1617	22.926	
MOSSØ 2_GUDENSØ 1671.56	22.922	
MOSSØ 2_GUDENSØ 1775.67	22.913	
MOSSØ 2_GUDENSØ 1929.82	22.902	
MOSSØ 2_GUDENSØ 2063.51	22.885	
MOSSØ 2_GUDENSØ 2212	22.874	
MOSSØ 2_GUDENSØ 2386.03	22.868	
MOSSØ 2_GUDENSØ 2671.93	22.808	
MOSSØ 2_GUDENSØ 2686.96	22.812	
MOSSØ 2_GUDENSØ 2880.96	22.796	
MOSSØ 2_GUDENSØ 3077.27	22.761	
MOSSØ 2_GUDENSØ 3340.2	22.72	
MOSSØ 2_GUDENSØ 3417.35	22.712	
MOSSØ 2_GUDENSØ 3522.83	22.706	
MOSSØ 2_GUDENSØ 3658.14	22.701	
MOSSØ 2_GUDENSØ 3721.43	22.694	
MOSSØ 2_GUDENSØ 3749.96	22.69	
MOSSØ 2_GUDENSØ 3851.02	22.686	
MOSSØ 2_GUDENSØ 3924.47	22.679	
MOSSØ 2_GUDENSØ 4033.58	22.675	
MOSSØ 2_GUDENSØ 4135.72	22.666	
MOSSØ 2_GUDENSØ 4216.66	22.664	
MOSSØ 2_GUDENSØ 4351.53	22.658	
MOSSØ 2_GUDENSØ 4425.56	22.653	
MOSSØ 2_GUDENSØ 4558.38	22.634	
MOSSØ 2_GUDENSØ 4620.77	22.627	
MOSSØ 2_GUDENSØ 4752.37	22.612	
MOSSØ 2_GUDENSØ 4831.8	22.608	
MOSSØ 2_GUDENSØ 4990.85	22.603	
MOSSØ 2_GUDENSØ 5130	22.595	
GUDENSØ 0	22.595	
GUDENSØ 140	22.593	
GUDENSØ 500	22.592	
GUDENSØ 975	22.592	
GUDENSØ 1570	22.592	
GUDENSØ 1905	22.591	
GUDENSØ 2250	22.589	
GUDENSØ 2755	22.584	
GUDENSØ 3020	22.568	
GUDENSØ 3250	22.561	
GUDENSØ 3490	22.56	
GUDENSØ 3635	22.556	

GUDENSØ 3710	22.544	
RY MØLLE SØ -20	22.544	
RY MØLLE SØ 0	22.55	
RY MØLLE SØ 135	22.548	
RY MØLLE SØ 135	22.548	
RY MØLLE SØ 375	22.548	
RY MØLLE SØ 560	22.547	
RY MØLLE SØ 785	22.545	
RY MØLLE SØ 1020	22.542	
RY MØLLE SØ 1270	22.539	
RY MØLLE SØ 1445	22.536	
RY MØLLE SØ 1592	22.535	
RY MØLLE SØ 1592	22.535	
RY MØLLE SØ 1606	22.535	
RY MØLLE SØ 1660	22.533	Ved
BIRKSØ 0	21.291	Ry Mølle
BIRKSØ 30	21.292	
BIRKSØ 80	21.292	
BIRKSØ 103	21.291	
BIRKSØ 140	21.291	
BIRKSØ 140	21.291	
BIRKSØ 307	21.291	
BIRKSØ 525	21.291	
BIRKSØ 725	21.291	
BIRKSØ 950	21.291	
BIRKSØ 1120	21.291	
BIRKSØ 1372	21.29	
BIRKSØ 2_JULSØ 0	21.29	
BIRKSØ 2_JULSØ 187.87	21.289	
BIRKSØ 2_JULSØ 499.991	21.282	
BIRKSØ 2_JULSØ 969.701	21.276	
BIRKSØ 2_JULSØ 1249.35	21.269	
BIRKSØ 2_JULSØ 1448.21	21.265	
BIRKSØ 2_JULSØ 1810.15	21.226	
BIRKSØ 2_JULSØ 1883	21.225	
JULSØ 0	21.225	
JULSØ 16.806	21.225	
JULSØ 346.974	21.225	
JULSØ 896.648	21.225	
JULSØ 1513.25	21.225	
JULSØ 1865	21.225	
JULSØ 2438.8	21.225	
JULSØ 3012.61	21.225	
JULSØ 3505.05	21.225	
JULSØ 3956.01	21.225	
JULSØ 4488.01	21.225	
JULSØ 4768.83	21.225	
JULSØ 5395.6	21.225	
JULSØ 5743.46	21.225	
JULSØ 6154.38	21.225	
JULSØ 6210	21.225	
BORRESØ 0	21.225	
BORRESØ 366	21.221	
BORRESØ 399.218	21.221	
BORRESØ 1031.7	21.221	
BORRESØ 1827	21.221	
BORRESØ 1827	21.221	
BORRESØ 1827.45	21.221	
SEJS SNÆVNRING 0	21.221	
SEJS SNÆVNRING 43.293	21.221	
SEJS SNÆVNRING 446.627	21.221	
SEJS SNÆVNRING 755.462	21.221	
SEJS SNÆVNRING 780	21.22	
SEJS SNÆVNRING 1012.02	21.219	

SEJS SNÆVNRING 1248.27	21.211	
SEJS SNÆVNRING 1395.69	21.201	
SEJS SNÆVNRING 1460	21.196	
BRASSØ 0	21.196	
BRASSØ 84.039	21.195	
BRASSØ 477.016	21.195	
BRASSØ 822.955	21.195	
BRASSØ 1256.37	21.195	
BRASSØ 1496.88	21.195	
BRASSØ 1676.18	21.195	
BRASSØ 1676.18	21.195	
BRASSØ 1782.69	21.195	
BRASSØ 1909.44	21.195	
BRASSØ 2101.27	21.195	
BRASSØ 2110	21.195	
REMSTRUPÅ 0	21.195	
REMSTRUPÅ 159.782	21.192	
REMSTRUPÅ 283	21.183	
REMSTRUPÅ 512	21.164	
REMSTRUPÅ 660.373	21.159	
REMSTRUPÅ 718	21.15	
REMSTRUPÅ 923	21.124	
REMSTRUPÅ 1103	21.102	
REMSTRUPÅ 1324	21.077	
REMSTRUPÅ 1470	21.06	
REMSTRUPÅ 1563.64	21.051	
REMSTRUPÅ 1662	21.041	
REMSTRUPÅ 1859	21.02	
REMSTRUPÅ 1963.09	21.011	
REMSTRUPÅ 2017	20.998	
REMSTRUPÅ 2120.45	20.993	
REMSTRUPÅ 2251	20.987	
REMSTRUPÅ 2434	20.972	
REMSTRUPÅ 2699.99	20.948	Ved
SILKEBORGLANGSOE 0	19.946	Silkeborg
SILKEBORGLANGSOE 123.191	19.946	
SILKEBORGLANGSOE 319.519	19.946	
SILKEBORGLANGSOE 535.559	19.946	
SILKEBORGLANGSOE 800.552	19.946	
SILKEBORGLANGSOE 1025.65	19.946	
SILKEBORGLANGSOE 1268.45	19.946	
SILKEBORGLANGSOE 1604.42	19.946	
SILKEBORGLANGSOE 1728.59	19.946	
SILKEBORGLANGSOE 1761.04	19.945	
SILKEBORGLANGSOE 1862	19.944	
SILKEBORGLANGSOE 2108.92	19.944	
SILKEBORGLANGSOE 2390.26	19.944	
SILKEBORGLANGSOE 2838.69	19.944	Ved
SILKEBORGLANGSOE 3218.46	19.944	Resenbro
SILKEBORGLANGSOE 3600	19.944	
SILKEBORGLANGSOE 3600	19.944	
SILKEBORGLANGSOE 3696.64	19.943	
SILKEBORGLANGSOE 3975.94	19.942	
SILKEBORGLANGSOE 4267.38	19.941	
SILKEBORGLANGSOE 4670.4	19.94	
SILKEBORGLANGSOE 5075.05	19.939	
SILKEBORGLANGSOE 5453.7	19.939	
SILKEBORGLANGSOE 5859.6	19.938	
SILKEBORGLANGSOE 6233.31	19.938	
SILKEBORGLANGSOE 6329.03	19.935	
SILKEBORGLANGSOE 6400	19.931	
GUDENÅEN_OS 139	19.931	
GUDENÅEN_OS 139.213	19.931	
GUDENÅEN_OS 180.916	19.93	

GUDENÅEN_OS 342.994	19.928	
GUDENÅEN_OS 591.382	19.926	
GUDENÅEN_OS 750.801	19.926	
GUDENÅEN_OS 985.904	19.922	
GUDENÅEN_OS 1057.45	19.917	
GUDENÅEN_OS 1153.91	19.912	
GUDENÅEN_OS 1244.88	19.911	
GUDENÅEN_OS 1371.68	19.898	
GUDENÅEN_OS 1604.9	19.849	
GUDENÅEN_OS 1792.88	19.786	
GUDENÅEN_OS 2107.16	19.69	
GUDENÅEN_OS 2274.15	19.664	
GUDENÅEN_OS 2511.48	19.629	
GUDENÅEN_OS 2743.27	19.567	
GUDENÅEN_OS 2940.12	19.493	
GUDENÅEN_OS 3027.81	19.449	
GUDENÅEN_OS 3061.43	19.439	
GUDENÅEN_OS 3061.43	19.335	
GUDENÅEN_OS 3300.83	19.163	
GUDENÅEN_OS 3595.68	19.085	
GUDENÅEN_OS 3777.22	19.045	
GUDENÅEN_OS 3987.65	19.037	
GUDENÅEN_OS 4047	19.037	
GUDENÅEN_OS 4218.76	19.016	
GUDENÅEN_OS 4485.83	18.983	
GUDENÅEN_OS 4701.18	18.949	
GUDENÅEN_OS 4778.82	18.939	
GUDENÅEN_OS 4804.12	18.935	
GUDENÅEN_OS 5053.95	18.88	
GUDENÅEN_OS 5285.67	18.842	
GUDENÅEN_OS 5557.53	18.809	
GUDENÅEN_OS 5748.81	18.783	
GUDENÅEN_OS 6018.92	18.722	
GUDENÅEN_OS 6212.04	18.677	
GUDENÅEN_OS 6453.48	18.624	
GUDENÅEN_OS 6499.24	18.616	
GUDENÅEN_OS 6622.11	18.605	
GUDENÅEN_OS 6655.94	18.6	
GUDENÅEN_OS 6916.37	18.577	
GUDENÅEN_OS 7000	18.575	
GUDENÅEN_OS 7000	18.575	
GUDENÅEN_OS 7124.72	18.573	
GUDENÅEN_OS 7183.04	18.571	
GUDENÅEN_OS 7423	18.56	
GUDENÅEN_OS 7423	18.56	
GUDENÅEN_OS 7709.92	18.547	
GUDENÅEN_OS 7799.92	18.543	
GUDENÅEN_OS 8057.01	18.5	
GUDENÅEN_OS 8253.3	18.464	
GUDENÅEN_OS 8501.12	18.37	
GUDENÅEN_OS 8697.63	18.283	
GUDENÅEN_OS 8728.39	18.268	
GUDENÅEN_OS 9004.25	18.162	
GUDENÅEN_OS 9259.24	18.088	
GUDENÅEN_OS 9502.91	18.037	
GUDENÅEN_OS 9771.88	17.978	
GUDENÅEN_OS 10013.2	17.922	
GUDENÅEN_OS 10244.4	17.882	
GUDENÅEN_OS 10533.5	17.836	Ved
GUDENÅEN_OS 10802	17.718	Tvilum
GUDENÅEN_OS 10839.2	17.69	
GUDENÅEN_OS 11048.8	17.629	
GUDENÅEN_OS 11252.8	17.595	
GUDENÅEN_OS 11500.4	17.525	
GUDENÅEN_OS 11764.1	17.406	
GUDENÅEN_OS 12001.8	17.243	
GUDENÅEN_OS 12263.9	17.07	
GUDENÅEN_OS 12523.2	16.893	
GUDENÅEN_OS 12737.1	16.75	
GUDENÅEN_OS 12987	16.603	
GUDENÅEN_OS 13238.3	16.468	
GUDENÅEN_OS 13500.8	16.329	
GUDENÅEN_OS 13734.1	16.229	
GUDENÅEN_OS 13998.8	16.101	

GUDENÅEN_OS 14230.5	15.981	
GUDENÅEN_OS 14452.7	15.885	
GUDENÅEN_OS 14681	15.82	
GUDENÅEN_OS 14963.6	15.646	
GUDENÅEN_OS 15197.7	15.464	
GUDENÅEN_OS 15503.8	15.302	
GUDENÅEN_OS 15756.8	15.166	
GUDENÅEN_OS 15998	15.052	
GUDENÅEN_OS 16275	14.923	
GUDENÅEN_OS 16525.3	14.836	
GUDENÅEN_OS 16754.2	14.781	
GUDENÅEN_OS 16792	14.767	
GUDENÅEN_OS 16792	14.767	
GUDENÅEN_OS 16992	14.668	
GUDENÅEN_OS 17256.9	14.566	
GUDENÅEN_OS 17502	14.497	
GUDENÅEN_OS 17710.5	14.45	
GUDENÅEN_OS 17922	14.41	
GUDENÅEN_OS 18226	14.351	
GUDENÅEN_OS 18382.1	14.292	
GUDENÅEN_OS 18445.1	14.275	
GUDENÅEN_OS 18528.7	14.262	
GUDENÅEN_OS 18749	14.219	
GUDENÅEN_OS 18981.3	14.183	
GUDENÅEN_OS 19157.5	14.121	
GUDENÅEN_OS 19370.5	14.067	
GUDENÅEN_OS 19817.1	13.968	
GUDENÅEN_OS 20104.1	13.917	
GUDENÅEN_OS 20265.2	13.873	
GUDENÅEN_OS 20400	13.861	
GUDENÅEN_OS 20400	13.861	
GUDENÅEN_OS 20492.3	13.822	
GUDENÅEN_OS 20709.2	13.787	
GUDENÅEN_OS 20849	13.751	
GUDENÅEN_OS 21885.1	13.61	
GUDENÅEN_OS 22976.8	13.586	
GUDENÅEN_OS 23819	13.583	
GUDENÅEN_OS 25174.8	13.582	
GUDENÅEN_OS 26616.7	13.581	
GUDENÅEN_OS 27513.5	13.581	
GUDENÅEN_OS 28759.1	13.581	
GUDENÅEN_OS 29333.9	13.581	
GUDENÅEN_OS 29811	13.581	
GUDENÅEN_OS 29811	13.581	
GUDENÅEN_OS 30293.9	13.557	
GUDENÅEN_NS -410	13.557	Ved
GUDENÅEN_NS 33	6.09	Tangeværket
GUDENÅEN_NS 300.845	6.012	
GUDENÅEN_NS 539.736	5.953	
GUDENÅEN_NS 798.323	5.886	
GUDENÅEN_NS 1049.06	5.816	
GUDENÅEN_NS 1285.42	5.752	
GUDENÅEN_NS 1577.67	5.658	
GUDENÅEN_NS 1774.76	5.608	
GUDENÅEN_NS 1999.19	5.544	
GUDENÅEN_NS 2198.47	5.483	
GUDENÅEN_NS 2504.17	5.409	
GUDENÅEN_NS 2790.71	5.344	
GUDENÅEN_NS 3009.61	5.291	
GUDENÅEN_NS 3264.05	5.236	
GUDENÅEN_NS 3507.03	5.181	
GUDENÅEN_NS 3726.95	5.153	
GUDENÅEN_NS 3997	5.116	
GUDENÅEN_NS 4005.64	5.115	

GUDENÅEN_NS 4173.55	5.089	
GUDENÅEN_NS 4292.21	5.066	
GUDENÅEN_NS 4413	5.043	
GUDENÅEN_NS 4435	5.034	
GUDENÅEN_NS 4704.92	4.968	Ved
GUDENÅEN_NS 4929.66	4.902	Bjerringbro
GUDENÅEN_NS 5197.48	4.826	
GUDENÅEN_NS 5469.26	4.785	
GUDENÅEN_NS 5778	4.752	
GUDENÅEN_NS 5796.18	4.745	
GUDENÅEN_NS 5799.66	4.748	
GUDENÅEN_NS 6085.33	4.703	
GUDENÅEN_NS 6349.08	4.652	
GUDENÅEN_NS 6634.85	4.611	
GUDENÅEN_NS 6833.33	4.59	
GUDENÅEN_NS 7009.36	4.568	
GUDENÅEN_NS 7240.77	4.53	
GUDENÅEN_NS 7511.71	4.491	
GUDENÅEN_NS 7741.29	4.458	
GUDENÅEN_NS 8013.28	4.406	
GUDENÅEN_NS 8263.05	4.366	
GUDENÅEN_NS 8475.78	4.331	
GUDENÅEN_NS 8711.33	4.289	
GUDENÅEN_NS 8954.1	4.245	
GUDENÅEN_NS 9161.55	4.214	
GUDENÅEN_NS 9376.11	4.184	
GUDENÅEN_NS 9643	4.147	
GUDENÅEN_NS 9881.9	4.125	
GUDENÅEN_NS 10185	4.104	
GUDENÅEN_NS 10425.2	4.088	
GUDENÅEN_NS 10581	4.075	
GUDENÅEN_NS 10827.4	4.05	
GUDENÅEN_NS 11085.8	4.029	
GUDENÅEN_NS 11279.2	4.014	
GUDENÅEN_NS 11575.1	3.998	
GUDENÅEN_NS 11832.8	3.986	
GUDENÅEN_NS 12020.9	3.977	
GUDENÅEN_NS 12291.5	3.966	
GUDENÅEN_NS 12579.1	3.95	
GUDENÅEN_NS 12755.4	3.938	
GUDENÅEN_NS 13021	3.926	
GUDENÅEN_NS 13264.8	3.915	
GUDENÅEN_NS 13512.1	3.903	
GUDENÅEN_NS 13753.3	3.887	
GUDENÅEN_NS 14085	3.858	
GUDENÅEN_NS 14134.5	3.848	
GUDENÅEN_NS 14316.4	3.817	
GUDENÅEN_NS 14568.3	3.786	Ved
GUDENÅEN_NS 14732.7	3.764	Ulstrup
GUDENÅEN_NS 14770	3.759	
GUDENÅEN_NS 14869	3.742	
GUDENÅEN_NS 15143.5	3.682	
GUDENÅEN_NS 15562.8	3.603	
GUDENÅEN_NS 15836.2	3.561	
GUDENÅEN_NS 16088.8	3.536	
GUDENÅEN_NS 16338.4	3.52	
GUDENÅEN_NS 16566.3	3.502	
GUDENÅEN_NS 16849.8	3.475	
GUDENÅEN_NS 17054.2	3.45	
GUDENÅEN_NS 17290	3.416	
GUDENÅEN_NS 17534.8	3.374	

GUDENÅEN_NS 17780.1	3.334	
GUDENÅEN_NS 18003.4	3.295	
GUDENÅEN_NS 18273.6	3.258	
GUDENÅEN_NS 18525.2	3.239	
GUDENÅEN_NS 18779.7	3.223	
GUDENÅEN_NS 19013.5	3.209	
GUDENÅEN_NS 19128	3.196	
GUDENÅEN_NS 19139	3.194	
GUDENÅEN_NS 19165.3	3.19	
GUDENÅEN_NS 19422.9	3.164	
GUDENÅEN_NS 19655.2	3.139	
GUDENÅEN_NS 19896.8	3.105	
GUDENÅEN_NS 20159.2	3.071	
GUDENÅEN_NS 20424.3	3.024	
GUDENÅEN_NS 20696.4	2.972	
GUDENÅEN_NS 20969.4	2.93	
GUDENÅEN_NS 21158.1	2.9	
GUDENÅEN_NS 21292	2.882	
GUDENÅEN_NS 21321	2.879	
GUDENÅEN_NS 21328	2.878	
GUDENÅEN_NS 21427	2.868	
GUDENÅEN_NS 21438	2.867	
GUDENÅEN_NS 21503.1	2.862	
GUDENÅEN_NS 21834.4	2.826	
GUDENÅEN_NS 22033.7	2.797	
GUDENÅEN_NS 22250	2.758	Ved
GUDENÅEN_NS 22250	2.758	Lilleå tilløb
GUDENÅEN_NS 22268.7	2.754	
GUDENÅEN_NS 22539.7	2.685	
GUDENÅEN_NS 22754.9	2.622	
GUDENÅEN_NS 23127.8	2.48	
GUDENÅEN_NS 23328.4	2.391	
GUDENÅEN_NS 23556	2.337	
GUDENÅEN_NS 23568	2.336	
GUDENÅEN_NS 23577.4	2.334	
GUDENÅEN_NS 23590	2.333	
GUDENÅEN_NS 23606	2.332	
GUDENÅEN_NS 23686.4	2.32	
GUDENÅEN_NS 24049.8	2.249	
GUDENÅEN_NS 24192.6	2.225	
GUDENÅEN_NS 24439.1	2.173	Ved
GUDENÅEN_NS 24696.2	2.113	Langå
GUDENÅEN_NS 24932.3	2.067	
GUDENÅEN_NS 25177.2	2.042	
GUDENÅEN_NS 25426.7	2.03	
GUDENÅEN_NS 25650.1	2.018	
GUDENÅEN_NS 25912.1	2.002	
GUDENÅEN_NS 26175.8	1.981	
GUDENÅEN_NS 26395.5	1.972	
GUDENÅEN_NS 26676.1	1.951	
GUDENÅEN_NS 26929.4	1.944	
GUDENÅEN_NS 27158.2	1.923	
GUDENÅEN_NS 27433.4	1.902	
GUDENÅEN_NS 27678.6	1.883	
GUDENÅEN_NS 27924.8	1.87	
GUDENÅEN_NS 28149.1	1.854	
GUDENÅEN_NS 28388.9	1.847	
GUDENÅEN_NS 28616.7	1.837	
GUDENÅEN_NS 29002.2	1.827	

GUDENÅEN_NS 29144.7	1.824	
GUDENÅEN_NS 29385.9	1.813	
GUDENÅEN_NS 29650.2	1.807	
GUDENÅEN_NS 29923.6	1.797	
GUDENÅEN_NS 30185.2	1.736	
GUDENÅEN_NS 30422	1.607	
GUDENÅEN_NS 30614.2	1.454	
GUDENÅEN_NS 30872.3	1.305	
GUDENÅEN_NS 31130.5	1.233	
GUDENÅEN_NS 31391.6	1.18	
GUDENÅEN_NS 31542.7	1.15	
GUDENÅEN_NS 31679.7	1.054	
GUDENÅEN_NS 31825	0.926	
GUDENÅEN_NS 31837.5	0.914	
GUDENÅEN_NS 32011.3	0.811	
GUDENÅEN_NS 32270.4	0.767	
GUDENÅEN_NS 32527.5	0.757	
GUDENÅEN_NS 32580	0.756	Ved Nørreå tilløb
GUDENÅEN_NS 32580	0.756	
GUDENÅEN_NS 32776.9	0.745	
GUDENÅEN_NS 33060.3	0.731	
GUDENÅEN_NS 33303.1	0.72	
GUDENÅEN_NS 33557.9	0.705	
GUDENÅEN_NS 33762.8	0.691	Ved Randers
GUDENÅEN_NS 33943.5	0.639	
GUDENÅEN_NS 33988	0.624	
GUDENÅEN_NS 34032.1	0.609	
GUDENÅEN_NS 34177.9	0.572	
GUDENÅEN_NS 34320	0.549	
GUDENÅEN_NS 34630	0.455	
GUDENÅEN_NS 34970	0.318	
GUDENÅEN_NS 35240	0.112	
GUDENÅEN_NS 35361	0.043	
GUDENÅEN_NS 35361	0.043	
GUDENÅEN_NS 35565	0.043	
GUDENÅEN_NS 35860	0.043	
GUDENÅEN_NS 36130	0.043	
GUDENÅEN_NS 36280	0.043	
GUDENÅEN_NS 36470	0.043	
GUDENÅEN_NS 36760	0.043	
GUDENÅEN_NS 37170	0.043	
GUDENÅEN_NS 37240	0.043	
GUDENÅEN_NS 37280	0.043	
GUDENÅEN_NS 37530	0.043	
GUDENÅEN_NS 37570	0.043	
GUDENÅEN_NS 37670	0.043	
GUDENÅEN_NS 37850	0.043	
GUDENÅEN_NS 37940	0.043	
GUDENÅEN_NS 37981	0.043	
RANDERS FJORD 0	0.043	
RANDERS FJORD 75	0.046	
RANDERS FJORD 140	0.047	
RANDERS FJORD 240	0.048	
RANDERS FJORD 365	0.049	
RANDERS FJORD 470	0.048	
RANDERS FJORD 630	0.047	
RANDERS FJORD 790	0.048	

RANDERS FJORD 990	0.047	
RANDERS FJORD 1200	0.046	
RANDERS FJORD 1400	0.046	
RANDERS FJORD 1475	0.046	
RANDERS FJORD 1840	0.044	
RANDERS FJORD 2000	0.044	
RANDERS FJORD 2190	0.043	
RANDERS FJORD 2280	0.042	
RANDERS FJORD 2340	0.043	
RANDERS FJORD 2442	0.043	
RANDERS FJORD 2442	0.043	
RANDERS FJORD 2500	0.043	
RANDERS FJORD 2700	0.043	
RANDERS FJORD 2920	0.042	
RANDERS FJORD 3120	0.042	
RANDERS FJORD 3310	0.041	
RANDERS FJORD 3580	0.04	
RANDERS FJORD 3830	0.039	
RANDERS FJORD 4080	0.038	
RANDERS FJORD 4080	0.038	
RANDERS FJORD 4450	0.037	
RANDERS FJORD 4750	0.037	
RANDERS FJORD 5050	0.036	
RANDERS FJORD 5220	0.036	
RANDERS FJORD 5550	0.036	
RANDERS FJORD 5850	0.036	
RANDERS FJORD 6100	0.034	
RANDERS FJORD 6400	0.033	
RANDERS FJORD 6750	0.033	
RANDERS FJORD 6750	0.033	
RANDERS FJORD 7150	0.031	
RANDERS FJORD 7500	0.031	
RANDERS FJORD 7850	0.03	
RANDERS FJORD 7850	0.03	
RANDERS FJORD 8250	0.029	
RANDERS FJORD 8520	0.028	
RANDERS FJORD 8750	0.028	
RANDERS FJORD 9175	0.027	
RANDERS FJORD 9550	0.026	
RANDERS FJORD 10000	0.024	
RANDERS FJORD 10450	0.023	
RANDERS FJORD 10850	0.022	
RANDERS FJORD 11200	0.022	
RANDERS FJORD 11500	0.021	
RANDERS FJORD 11700	0.02	
RANDERS FJORD 12000	0.02	
RANDERS FJORD 12000	0.02	
RANDERS FJORD 12075	0.02	
RANDERS FJORD 12400	0.018	
RANDERS FJORD 12650	0.018	
RANDERS FJORD 13100	0.017	
RANDERS FJORD 13650	0.016	
RANDERS FJORD 14250	0.015	
RANDERS FJORD 14250	0.015	
RANDERS FJORD 14950	0.014	
RANDERS FJORD 15300	0.013	
RANDERS FJORD 15600	0.012	
RANDERS FJORD 16200	0.012	
RANDERS FJORD 16750	0.011	
RANDERS FJORD 17000	0.009	
RANDERS FJORD 17450	0.009	
RANDERS FJORD 17950	0.007	
RANDERS FJORD 18450	0.007	
RANDERS FJORD 19000	0.006	
RANDERS FJORD 19700	0.005	
RANDERS FJORD 20500	0.004	
RANDERS FJORD 21150	0.004	
RANDERS FJORD 21750	0.004	
RANDERS FJORD 22250	0.003	
RANDERS FJORD 23250	0.003	
RANDERS FJORD 24300	0.003	
RANDERS FJORD 25350	0.002	
RANDERS FJORD 26150	0.002	
RANDERS FJORD 27250	0.002	
RANDERS FJORD 28150	0.002	
RANDERS FJORD 28850	0.001	
RANDERS FJORD 29450	0.001	
RANDERS FJORD 29450	0.001	
RANDERS FJORD 30000	0.001	
RANDERS FJORD 30450	0.001	
RANDERS FJORD 31000	0.001	
RANDERS FJORD 31700	0	Ved
RANDERS FJORD 32000	0	Udbyhøj