



Indledning

Kommunerne arbejder med vandparkering som virkemiddel mod oversvømmelser mange steder; regnvandsbassiner, grøfter, regnbede, søer, vådområder mv. Så derfor er det naturligt at undersøge om vi kan parkere det vand, som giver oversvømmelser i Gudenåen.

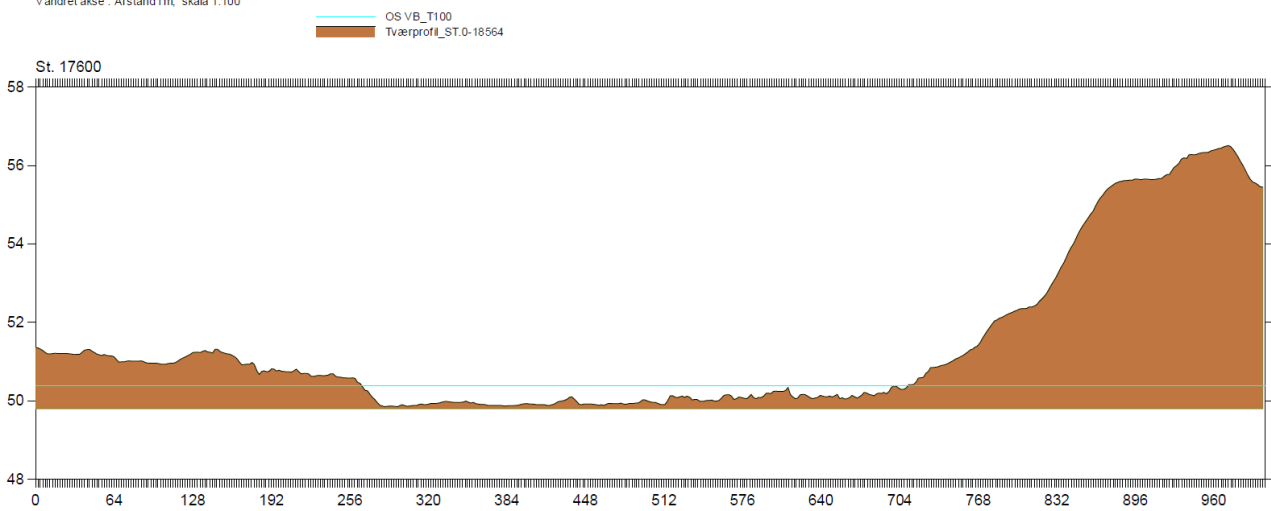
Dette notat beskriver værktøjet "Oplandsanalyse og Vandparkering i Gudenåen", som er et værktøj til at undersøge de potentielle muligheder for at *parkere* vand i og langs Gudenåen.

Vandparkering i ådalen er bedst de steder, hvor der er store flade områder. Som illustreret på Figur 1 Tværsnit fra Uldumkær, så er nogle ånære områder på strækning meget flade, men også ofte allerede fyldt med vand. Enten permanent fyldt, som er tilfældet med søerne i systemet, eller kun periodevis i de våde måneder, som Uldumkær. Derfor sker vandparkering i denne analyse *oven på* det allerede vanddækkede areal, da den forholder sig til det nuværende terræn.

Gudenå ved Uldumkær, St. 17.600

Vandstand i ådal ved T100

Lodret akse : Kote i m DVRS0, skala 1:100
Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100



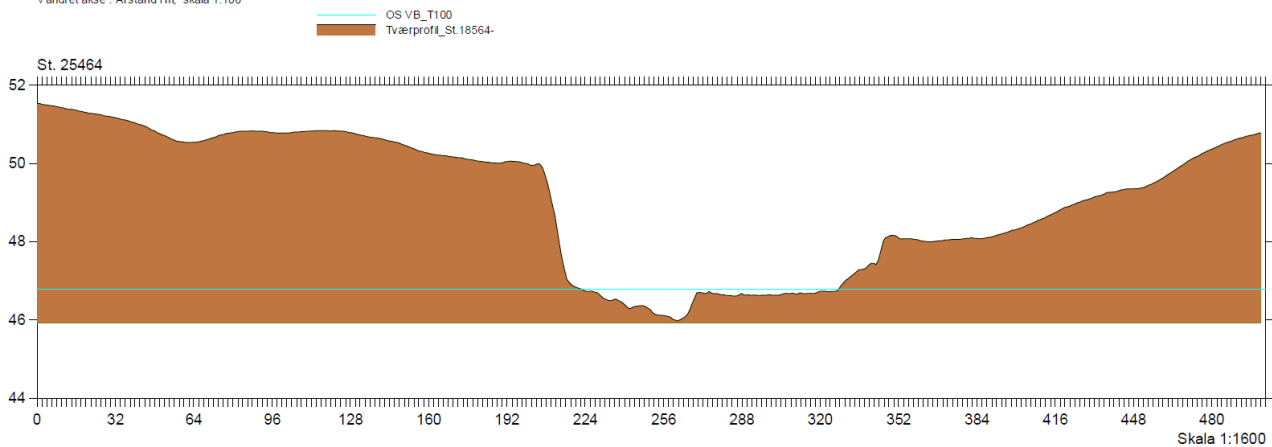
FIGUR 1. TVÆRSNIT AF ULDUMKÆR OG VANDSTAND VED T100

Andre steder er ådalen mere velafgrænset, se Figur 2, og her har de store oversvømmelseshændelser ikke samme udbredelse i oplandet, da åen bedre kan rumme de store vandmængder. Disse steder har et virkemiddel som vandparkering ofte kun et lille potentiale, da vandmængderne, der kan parkeres, er små. De mest ideelle steder til vandparkering er teoretisk set et stort fladt område opstrøms en velafgrænset ådal, og det er også ofte sådanne steder vi finder de gamle vandmøller.

Gudenå ved Bredstenbro, St. 24.464

Vandstand i ådal ved T100

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:100
Vandret akse : Afstand i m, skala 1:100



FIGUR 2. TVÆRSNIT VED BREDSTENBRO OG VANDSTAND VED T100

Notatet forholder sig til ”C2C CC Gudenåen – klimatilpasning og varsling” af DHI for Region Midt, hvori DHI undersøger 8 scenarier med hver deres virkemiddel til at mindske skaden af oversvømmelser.

DHI’s rapport undersøger bl.a. de vandstandsmæssige konsekvenser ved at parkere vand på fem områder langs Gudenåen og udnyttelse af de største søers naturlige magasiner. Der foreligger ikke nærmere information om, hvordan områderne til vandparkering er udvalgt, eller hvordan vandparkeringen skal foregå, men for at skabe synergi mellem DHI’s rapport og indeværende notat er datagrundlaget for så vidt muligt det samme, og WSP har i udarbejdelsen lagt vægt på bedst muligt sammenligningsgrundlag. WSP har derfor brugt de samme vandløbslag og samme højdemodel som DHI. Det betyder, at resultaterne af denne analyse kan trykprøves i den hydrauliske model for Gudenåen.

Modsat den hydrauliske model af Gudenåen forholder denne analyse sig kun til potentielle volumener ved opbygning af diger/dæmninger og udnyttelse af lavninger, og sigter efter at levere en tilbundsående undersøgelse af vandløbssystemets stuvningspotentialer. Dette værktøj vil derfor kunne lave en komplet redegørelse for vandparkeringspotentialer i hele Gudenåens opland.

Notatet er delt i to dele, to uafhængige analyser, der efterfølgende kan kombineres eller beskues individuelt:

- Vandparkering – Forsinkelse i ådalen ved diger, inkl. parkering ved søerne.
- Oplandets lavninger – som magasiner opstrøms åen

Dataopsætning og -behandling

Alle beregninger i analyseværktøjet er statiske.

Beregningerne er opsat i FME 2020.

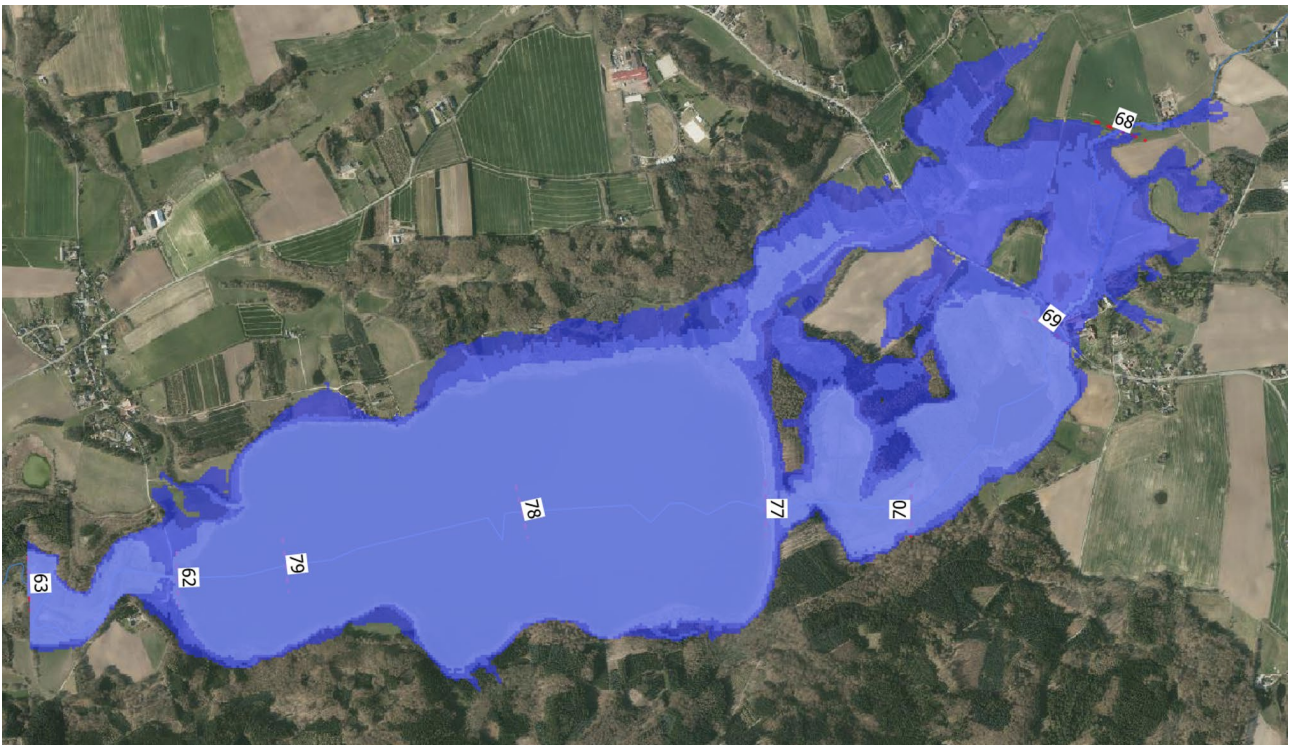
Følgende er lagt i modellen:

- Vandløb fra DHI's model. Vandløbene er eksporteret fra DHI's model
- Data fra SDFE:
 - o Den landsdækkende højdemodel
 - o GeoDanmarks FOT lag (hydro)
 - o Lavningslaget udarbejdet til arbejde med klimatilpasning
- Afstrømnings- og vandføringsdata fra Orbicons hymerdatabase

Vandløbene fra DHI's model er rettet ind til højdemodellen ved hjælp af FOT-lagene.

Vandparkering

Analysen for vandparkering undersøger det potentielle stuvningsvolumen og -areal, der kan findes ved at placere en dæmning et givent sted i vandløbssystemet, se Figur 3. Dæmningen placeres med 5 forskellige højder fra 1 til 3 meter i 0,5 m intervaller.



FIGUR 3. EKSEMPEL PÅ PLACERING AF DÆMNINGER. DER ER LAGT DÆMNINGER VED HVERT NR.



FIGUR 4. ALLE DÆMNINGER MARKERET MED RØDT

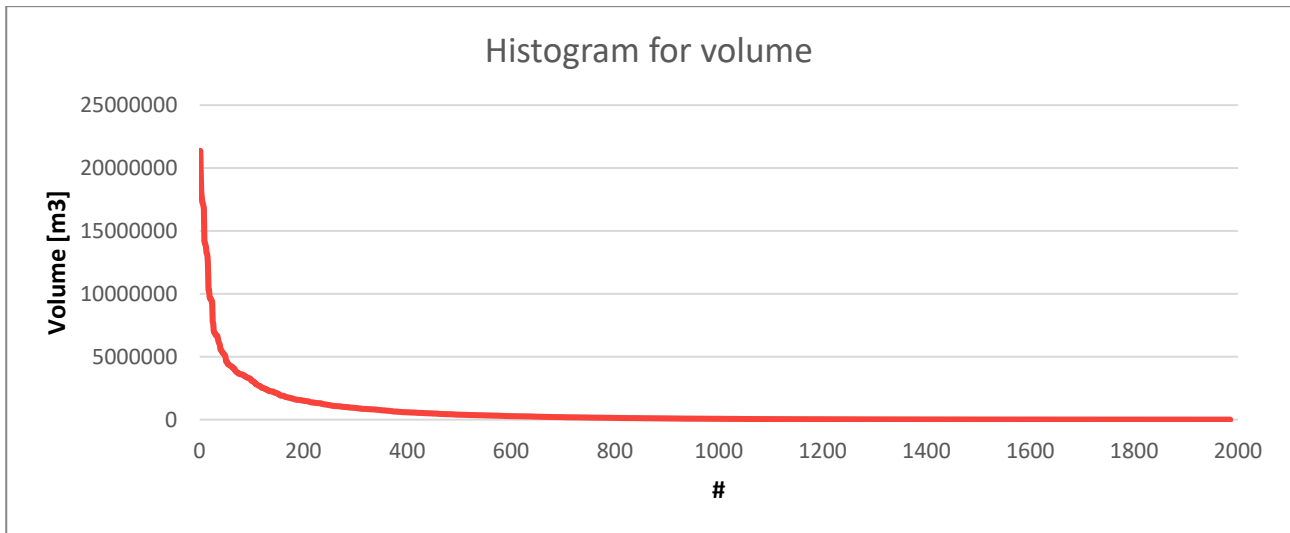
Dæmningerne er derefter udlagt i alt 398 forskellige steder, med i alt 1.990 dæmninger i forskellige højder se Figur 4. For hver enkelt af de i alt knap 2.000 potentielle stuvningsvolumer er der fundet

- et vandspejl (polygon)
- et vandspejlsareal
- et vandvolum
- en gennemsnitsdybde ved opstuvning
- et oplandsareal samt
- fyldetider ved en middel- og en maks. afstrømning.

Alle værdier findes i lagets attributtabel.

Vandparkeringsmodellen finder et samlet stuvningspotentiale på i alt 1,2 mia. m³. Heraf findes 500 mio. m³ i de 53 største stuvningsvolumer.

En ganske lille del af dæmningerne skaber altså størstedelen af det samlede volumen, se Figur 5. Specielt strækningen fra Silkeborg til indløbet ved Mossø, samt hele Nørre Å har enorme volumener. Fordelingen er væsentlig mere jævn, når man ser på fyldetiderne. Det skyldes til dels sammenhængen mellem terrænets udformning og oplandets størrelse. Oppe i vandløbspidserne falder de potentielle stuvningsvolumener, men vandføringen falder i samme takt, hvilket betyder, at fyldetids-fordelingen er mere jævnt fordelt.



FIGUR 5. VOLUMENER PÅ DE UNDERSØGTE STEDER. MEGET FÅ STEDER HAR ET STORT VOLUMEN.

For hver enkelt dæmning er arealudnyttelsen beregnet ved at dividere volumen med areal, og dermed få et udtryk for den gennemsnitlige vandstand i meter, i oversvømmelsen. Gennemsnitsdybden for alle stuvningsvolumener med en dæmning på 1 meter er 8 cm, for en dæmning på 3 meter er gennemsnitsdybden 23 cm.

Dæmningshøjde	Gennemsnitsdybde
1 meter	8 cm
3 meter	23 cm

Arealudnyttelsen er altså også stærk variabel og er de fleste tilfælde ikke mere end 10%.

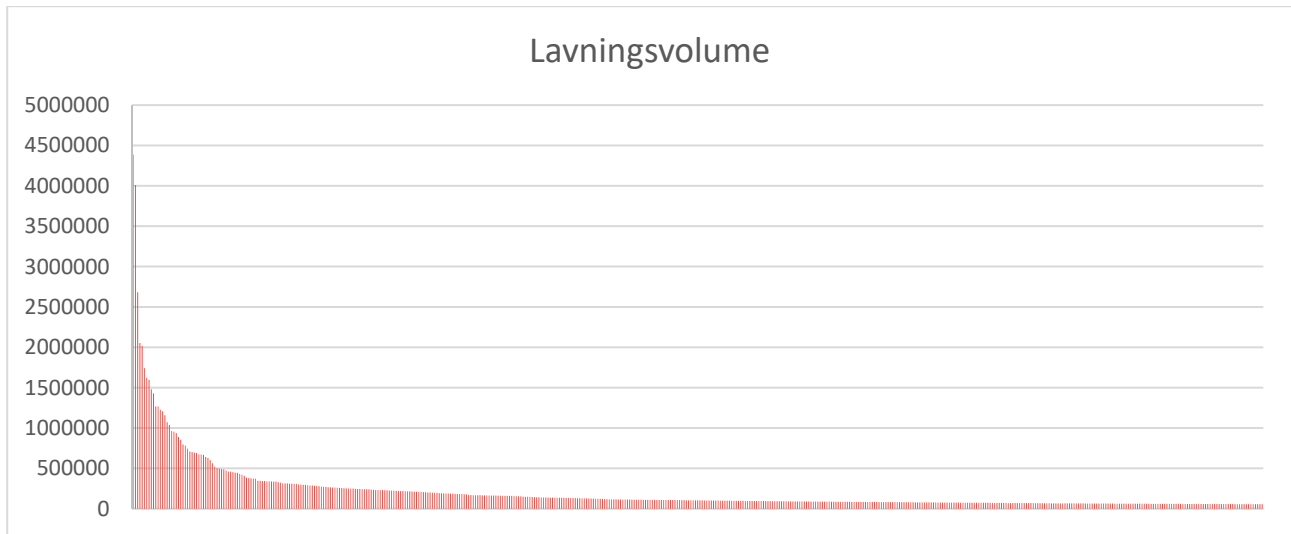
Lavningsanalysen

Formålet med lavningsanalysen er at undersøge, hvorvidt fyldning af deloplandenes lavninger har et volume-potentiale for at have en effekt på vandstanden i Gudenåen.

Der er analyseret 166.000 lavninger, hvor analysen er kørt på en række deloplande af en passende størrelse for at kunne opgøre summeret lavningsvolumer per delopland. Der er udvalgt i alt 37 deloplande. Hvis

deloplandene bliver for små, vil man ikke kunne se en effekt, for stort et delopland vil måske have en effekt, men det vil være svært at gennemskue, hvor effekten skal findes. Opdelingen i deloplande er foretaget manuelt, og her kan de enkelte deloplande i de fleste tilfælde betragtes som et samlet, hvis fx to deloplande ligger opstrøms samme nedslagspunkt, men ikke overlapper.

Fordelingen af lavningernes volumener er meget skæv, se Figur 6, hvilket fx betyder, at de 10 største lavninger i det samlede opland har et samlet volumen, der er større end de resterende 166.000 lavninger. Her skal det tilføjes, at af de i alt 166.000 lavninger har 154.000 af dem et volumen mindre end 1.000 m³.



FIGUR 6. VOLUMENER I LAVNINGER I OPLANDET

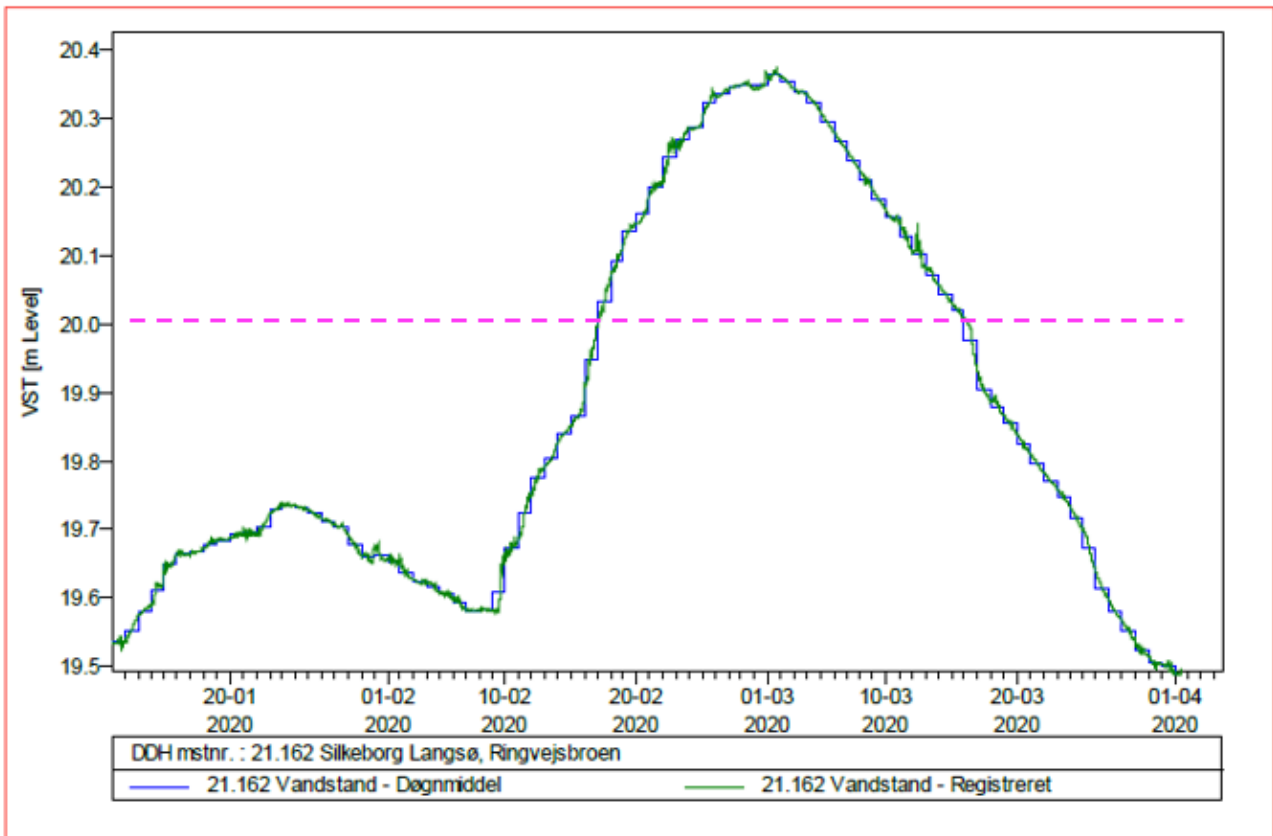
De mindste lavninger er derfor tidligt udgået af analysen, og til videre analyse anvendes de 5% største lavninger, der har et samlet volume på 134 mio. m³. Heraf er en del søer – og for dem regnes der kun på mer-volume.

I lavningsanalysen behandles søer og lavninger på samme måde, her regnes søer som lavninger fra deres nuværende vandspejlskote til deres naturlige overløb.

Anvendelse og konklusion

Værktøjet er nu brugt til at analysere for, om der findes en *Quickfix* løsning, som kan løse udfordringerne i Gudenåen samt til at undersøge en række mindre lokaliteter.

For at kunne vurdere effekten af virkemidlet vandparkering, er det væsentligt at have en forståelse for systemet. Hændelsen i februar vurderes at være en 100 års hændelse (T100), og det var en langvarig hændelse, der gav en kritisk vandstand i mere end 20 dage i Silkeborg, se Figur 6.



FIGUR 7. VANDSTAND I SILKEBORG LANGSØ VED RINGVEJSBROEN JANUAR-APRIL 2020.

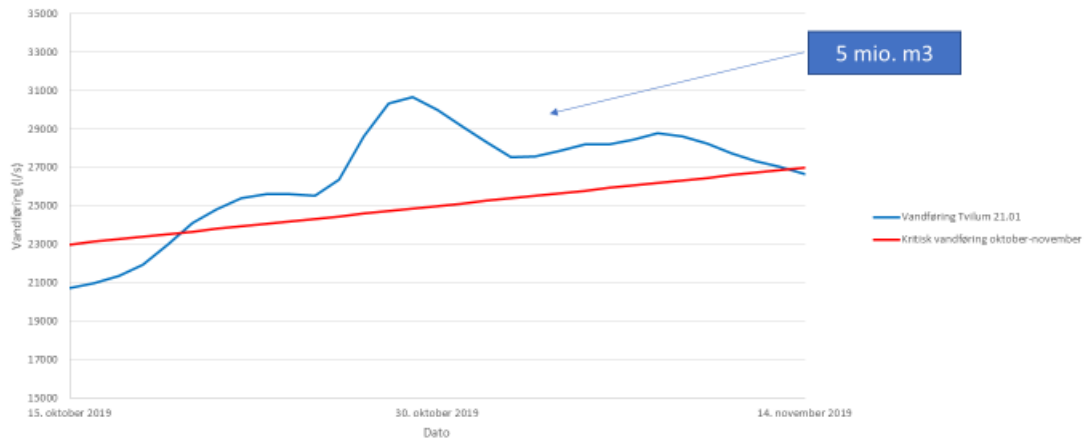
Længere nede i systemet løb der 30 mio m³ vand "for meget", forbi ved Svostrup Kro ift. sikringsniveauet. Til sammenligning så har Tange Sø et volumen på ca. 15 mio. m³ – dvs. halvdelen. Dette eksempel viser, at det er rigtigt store vandmængder, der ønskes parkeret, og det er steder til langtidsparkering værktøjet skal søge efter.

Volumener og fyldetider

I et forsøg på at konkretisere volumenerne, anvendes der to eksempler, begge fra strækningen omkring Svostrup Kro i Gudenådal.

Første eksempel beskriver oversvømmelsehændelse i efteråret 2019 (T20), anden eksempel beskriver 100-års hændelsen i foråret 2020 (T100).

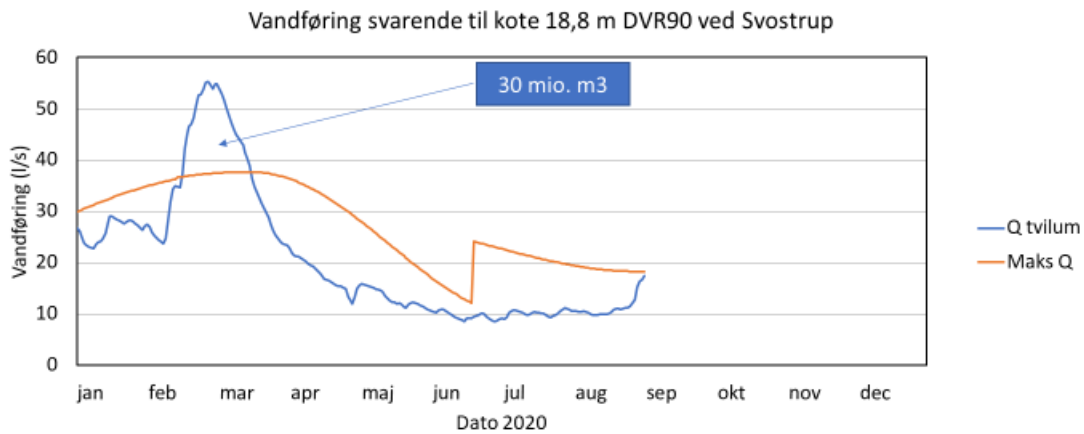
Kritisk kote 18,8 m



FIGUR 8. KRITISK KOTE VED SVOSTRUP KRO VED T20

Hydrografen ovenfor (Figur 8) – blå streg – viser vandføringen i umildbar nærhed af Svstrup Kro. Med rød ses den kritiske vandføring. Den kritiske vandføring har en hældning, da Manningtallet i vandløbet ikke er konstant.

Når vandføringen overskrider den kritiske vandføring, resulterer det i oversvømmelser ved Svstrup Kro. Skal vandparkering anvendes som virkemiddel til at reducere oversvømmelsen i det her eksempel, skal der altså parkeres ~5 mio. m³ vand.



FIGUR 9. KRITISK KOTE VED SVOSTRUP KRO VED T100

Figuren ovenfor (Figur 9) viser det samme som hydrografen på foregående side.

For at tilbageholde det fulde volumen ved forårshændelsen 2020 skal der parkeres omkring 30 mio. m³ vand over en periode på 30 dage.

Nedenfor følger en kort demonstration af, hvordan man kan anvende værktøjet til at udsøge de relevante volumer på hhv. 5 og 30 mio. m³ vand.

Lavningsanalyse

Der er ingen lavninger der alene kan rumme det nødvendige volumen til sikring ved Svstrup Kro.

I GIS-lagene for lavningsanalysen kan der foretages en række sorteringer.

I dette eksempel frasorteres alle lavninger der ligger *ovenpå* en sø. Derefter frasorteres alle lavninger med et volumen under 50.000 m³.

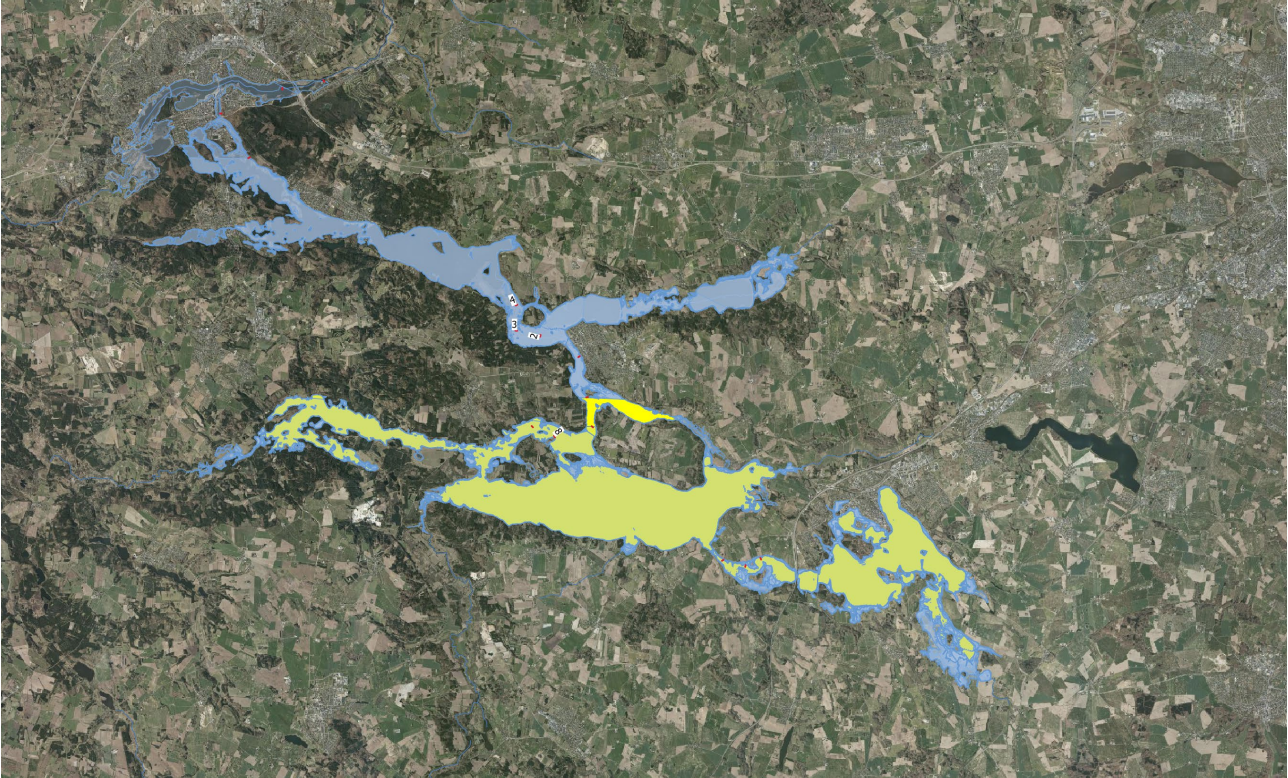
Ser man bort fra de lavninger, hvoraf en del er en sø, findes der kun få lavninger med et samlet volumen på lige over 100.000 m³, hvilket ikke har nogen effekt i forhold til de hændelser, der er blevet undersøgt.

I datatabellen kan man desuden se befæstelses-procenten for hver lavning. Samtlige lavninger har en befæstelsesgrad og dermed ikke særlig velegnet til vandparkering da infrastruktur og bygninger vil blive påvirket.

Vandparkering

Vandparkeringsanalysen behandler alle potentielle placeringer af diger i både Gudenåens hovedforløb og alle væsentlige tilløb. Samtlige digerplaceringer, der skaber det nødvendige volumen, eller en væsentlig del af det, får effekten ved at hæve vandspejlet i eksisterende søer.

Der er i modellen 41 diger opstrøms Svostrup Kro, der kan magasinere over 5 mio. m² vand. De ligger alle sammen mellem slusen i Silkeborg og udløbet fra Mossø. Jo længere opstrøms man kommer, desto højere skal diget være. I Figur 10 nedenfor vises samtlige resultater. Med gult er markeret den eneste mulighed for vandparker, hvis diget kun må være 1 meter.



FIGUR 10. MED GULT VISES VANDPARKERING MED 1 M DIGE OG DET VIL KUNNE TILBAGEHOLDE 5 MIO. M³.

Ønsker man med vandparkering at sikre mod en hændelse, som svarer til en 20 års hændelse (5 mio. m³) på strækningen ved Svostrup Kro, så skal man altså hæve vandspejlet i Mossø med minimum 1 meter. Det vil give nogle nye store oversvømmelser omkring søerne og vurderes ikke hensigtsmæssigt.

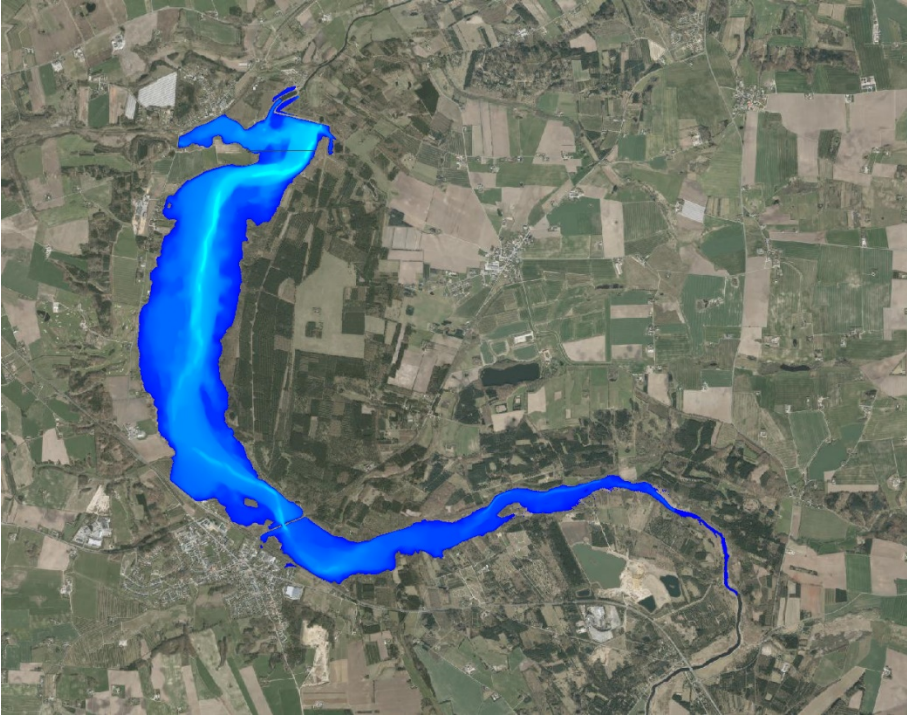
I modellen er der også søgt efter en vandparkering til 30 mio. m³ (hændelsen februar 2020). Modellen viser, at der kun et dige, der skaber det fornødne volumen. Figur 11 viser konsekvenserne, hvis vandparkering skal sikre mod en sådan hændelse på strækningen ved Svostrup Kro. Det giver store oversvømmelser i området omkring Ry og Mossø, og vurderes ikke at være en realistisk løsning, da det blot skaber nye problemer.



FIGUR 11. ØGET VANDSPEJL VED VANDPARKERING AF 30 MIO M³ OMKRING MOSSØ.

De to eksempler ovenfor viser de store vandparkeringsvolumener kun ovenpå søerne mellem Silkeborg og Mossø's indløb.

Hvis søernes nuværende volumen inddrages i analysen vil det give nogle større potentialer for vandparkerung. For at belyse dette er der lavet en beregning for Tange Sø, hvis den tømmes. Figur 12 viser terrænet ved Tange Sø, hvis den tømmes. Beregninger viser, at hændelsen i februar 2020 vil fylde en tom Tange Sø på kun ca. 2,5 døgn og hændelsen varede som bekendt mere end 10 gange så lang tid.



FIGUR 12. TERRÆNMODEL FOR TANGE SØ UDEN VAND

Udnyttelse af søernes volumen ved at sænke vandstanden før en regnen kommer og derefter hæve det, er også beskrevet i DHI's rapport som Scenarie 2. De konkluderer også, at det har en begrænset effekt.

Med oplandsanalysen er områder i den øvre ende af systemet også undersøgt.

Vandparkering ved Mattrup Å, se Figur 13

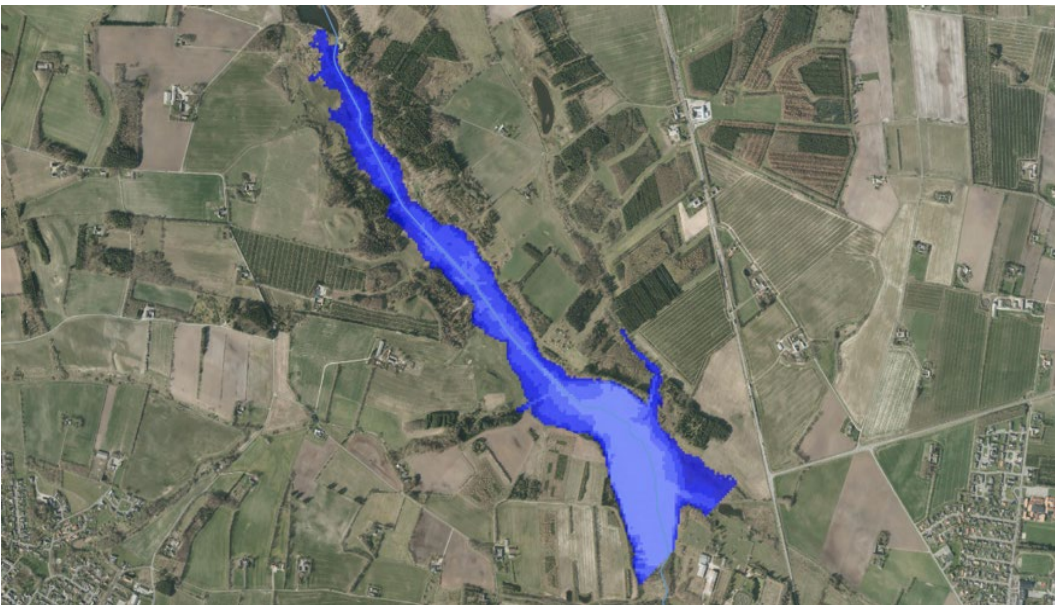
- 3 m dæmning vil give et magasin 385.000 m³
- Der er behov for forsinkelse mindst 4-5 dage ift. hændelsen (T100)
- En vandbremse der tilbageholder 1 m³/s fylder søen på 5 dage
- Resultat - Det giver en vandstandssænkende effekt på blot 2 cm i Gudenåen ved Bredstedbro



FIGUR 13. VANDPARKERING I MATTRUP Å

Vandparkering ved Hastrup Sø, se Figur 14

- 3 m dæmning vil give et magasin 100.000 m³
- Det vil blive fyldt på 3 døgn
- Der er ikke beregnet effekt på vandstand



FIGUR 14. VANDPARKERING VED HASTRUP SØ

Konklusion

Analysen viser tydeligt, at alle opmagasineringer ovenpå søerne skaber enorme påvirkningszoner, og at der i alle tilfælde er brug for at kunne hæve vandspejlet mere end 1 meter.

Vandparkering i ådalen ved søerne kan godt løse udfordringen nedstrøms Silkeborg, men løsningerne vil give tilsvarende oversvømmelser opstrøms samt være i konflikt med gældende lovgivninger.

Vandparkering i mindre skala er mere realiserbart, men der skal etableres mange anlæg for at få en effekt.

Forsinkelse i lavninger kan ikke forsinke vandet tilstrækkeligt til at se en effekt.

Selvom vandparkering ikke kan eller måske ikke skal løse udfordringerne med oversvømmelserne fra en 100 års hændelse, så vil nogle mindre tiltag, tiltag der omfatter mere naturlige hydrologiske forhold, kunne medvirke til at skabe et mere robust system, således situationen ikke bliver endnu værre i takt med at klimaet ændres.