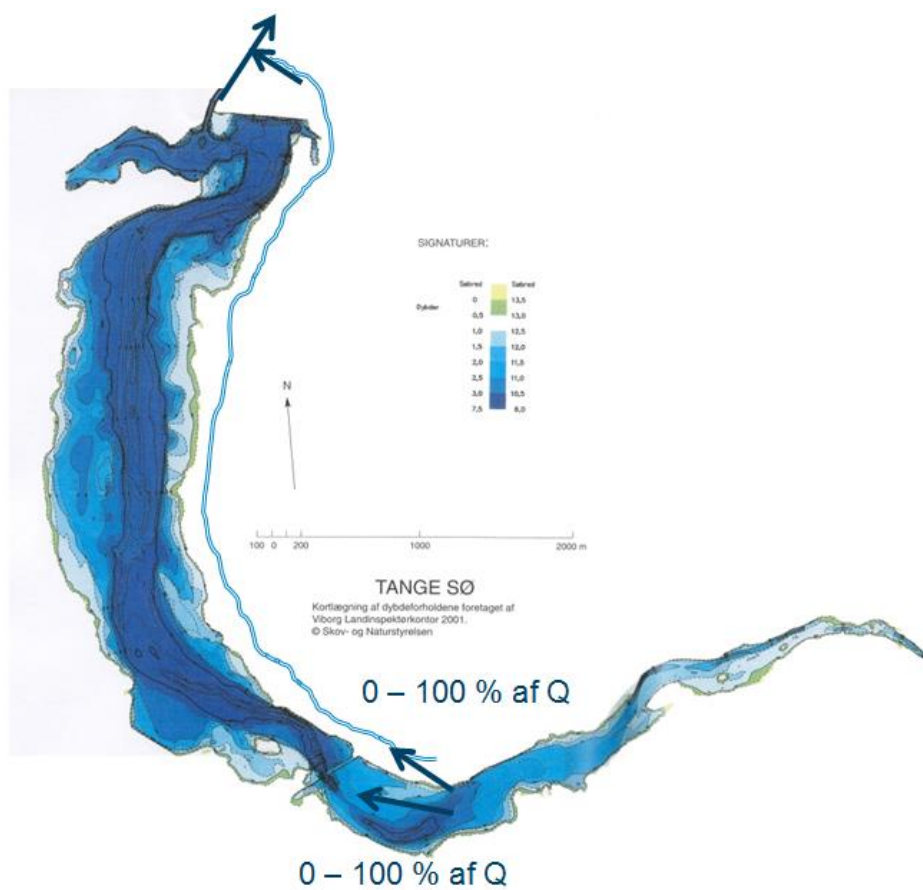


Tange Sø løsningsmuligheder

Hydrologi og vandmængder

Notat



Dette tilbud er udarbejdet under DHI's ledelsessystem, som er certificeret af DNV for overensstemmelse med ISO 9001 for kvalitetsledelse.



Ledelsessystem
for
kvalitet

certificeret i henhold til

DS/EN ISO 9001

af

Det Norske Veritas,
Business Assurance,
Danmark A/S

Godkendt af



Invalid signature

X Claus Skotner

Approved by

Signed by: Claus Skotner

Tange Sø løsningsmuligheder

Klimatilpasning og oversvømmelseskort

Notat

Udarbejdet for Silkeborg Kommune

Repræsenteret ved Søren Peter Sørensen



Gudenå

Projektleder	Torsten Vammen Jacobsen
Projektnummer	11815087
Godkendelsesdato	Maj 2016
Revision	02
Klassifikation	Fortrolig

INDHOLDSFORTEGNELSE

1	Baggrund	1
2	Vandbalance for nuværende forhold	2
2.1	Dataanalyse	2
2.1.1	Historisk udvikling i vandføring	4
2.1.2	Fremtidig udvikling i vandføring	7
3	Tange sø model.....	8
3.1	Scenarier for fordeling af vand imellem omløb og sø	9
3.2	Resultater	11
3.3	Konklusion og anbefalinger.....	12
4	Referencer	13

FIGURER

Figur 1	Vandløbsstationer og oplandsgrænser omkring Tange Sø	2
Figur 2	Vandføringstidsserier med markering af langtidstendens, Gudenå ved Tvillum	5
Figur 3	Vandføringstidsserier med markering af langtidstendens, Tange Å ved Vindelsbæk Bro	6
Figur 4	Gudenå vandløbsmodel, opland (fra /2/) med markering af Tange Sø opland	8
Figur 5	Tange Sø netværk med markering af Tange Sø dybdekurver (sort), omløb (blå), tværsnit (rød-hvid) og vandløb.....	9
Figur 6	Sammenligning af modelsimuleret (linie) og målt (punkter) vandføring, Tange Å.	9
Figur 7	Tidsserier for vandføring ved Tangeværk for de 10 løsningsmuligheder	11

TABELLER

Tabel 1	Anvendte tidsserier for vandføring	2
Tabel 2	Vandbalance for Tange Sø ved medianminimumvandføring (sommer), inklusiv Gudenåens vandføring (m ³ /s).....	3
Tabel 3	Vandbalance for Tange Sø ved medianminimumvandføring (sommer), eksklusiv Gudenåens vandføring (m ³ /s).....	4
Tabel 4	A1B månedlige faktorer til korrektion af nedbør I DK, 2050.....	7
Tabel 5	Scenarier, procentvis andel af Gudenåens vandføring til hhv. omløb og sø	10

Baggrund

Borgmestrene i Favrskov-, Viborg-, Randers- og Silkeborg Kommune har i sommeren 2015 aftalt at iværksætte et samarbejde mellem de fire kommuner for at finde løsningsforslag til et nyt forløb af Gudenåen ved Tange Sø. Som et led i dette arbejde skal der udarbejdes en opdateret vurdering af relevante vandføringsforhold i Gudenåen og tilløb og vandbalanceforhold for Tange Sø, og relevans af eksisterende undersøgelser og data gennemgås og vurderes i forhold til aktualitet og interessevaretagelse.

Der har tidligere været fremsat forslag der spænder fra at fastholde Gudenåens passage igennem Tange Sø og Tangeværket, som den ser ud i dag, til at nedlægge søen og genetablere det gamle åløb. Ifølge det kommissorium, som er besluttet mellem de fire kommuner, skal løsningerne i deres udformning have det formål at skabe enighed mellem kommunerne og tage højde for, at

- Tange Sø bevares
- Miljømålene for vandløbene op- og nedstrøms Tange Sø kan opfyldes
- Der kan etableres naturlige levedygtige bestande af laks og havørred
- Et fungerende Tangeværk bevares.

Ved et fungerende Tangeværk forstås, at værket f.eks. kan indgå som en el-producerende del af Energimuseets virke. Det forudsættes her at Tange Sø bevares med tilnærmelsesvis uændrede vandstandsforhold, at Tangeværket overgår fra el-produktion til museumsdrift med reduceret gennemstrømning via turbiner. Det indebærer bl.a., at en væsentlig andel af det vand, der i dag løber til søen fra Gudenåen, ledes udenom turbiner via et nyetableret omløb.

Der er for denne opgave beskrevet et indhold ud fra af møde imellem DHI og Silkeborg Kommune d. 16.12.2015. Her indgår:

- 1) Vandbalance og vandføringsforhold for Tange Sø – historisk og fremtidig udvikling
- 2) Vandbalance og vandføringsforhold for Tange Sø ved mulige løsninger og fordeling af Gudenåens vandføring

Arbejdet med vandbalance og hydrologi er et forstudie der skal understøtte det videre arbejde med alternative løsningsmuligheder der forventes afsluttet i første halvår af 2016.

2 Vandbalance for nuværende forhold

En vandbalance for Tange Sø og det tilhørende opland er opstillet, dels ud fra til rådighed værende vandførings- og klimadata og dels ved hjælp af en lokal integreret hydrologisk model. Data og model er bragt i overensstemmelse og giver samlet et billede af både de enkelte afstrømningsbidrag og hvor stor en vandføring der kan forventes ved Tang Sø's udløb til den nedre del af Gudenåen igennem Tangeværket.

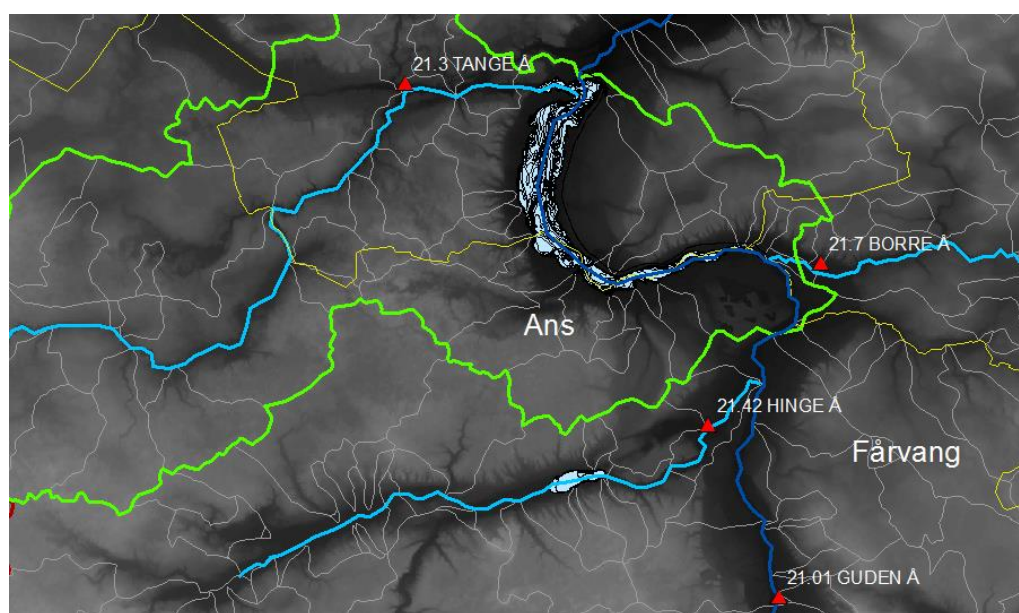
Vandføringsdata fra danske vandløb peger på en øget afstrømning i danske vandløb, herunder Gudenåen, over de seneste årtier. Desuden peger forventede klimaændringer yderligere på forandringer i den fremtidige vandføring. Både historisk tendens og effekt af klimaændringer er belyst i det følgende

2.1 Dataanalyse

Der er indhentet vandføringstidsserier fra stationer omkring og umiddelbart opstrøms Tange Sø (Tabel 1).

Tabel 1 Anvendte tidsserier for vandføring

Stations ID	Vandløb	Periode	Oplandsareal (km ²)
21.01	Gudenå, Tvillum	1917 - 2015	1281
21.30	Tange Å, Vindelsbæk Bro	1973 – 2007	101
21.42	Hinge Å, Haugård	1973 - 1994	196
21.70	Borre Å, Møllebro	1987 - 2015	66



Figur 1 Vandløbsstationer og oplandsgrænser omkring Tange Sø

Tange Å, station 21.30, er vigtig i analysen af vandbalanceforholdene. Tidsserien er rimelig lang, men målinger er ophørt i 2007. Der foreligger en usædvanlig lang tidsserie

for vandføring ved Tvillum der er velegnet til at undersøge en eventuel tendens i vandføringens udvikling for sommer, vinter og hele året. Hinge Å og Borre Å stationer er sammen med Tvillum stationen nyttige i forhold til at beskrive den samlede tilstrømning opstrøms Tange Sø. Summeres vandføringen fra Borre Å og Hinge Å udgør den ca. 12 % af vandføringen ved Tvillum.

Da det i forbindelse med fordeling af vandføringen igennem Tange Sø og et fremtidigt omløb primært er en udfordring at sikre tilstrækkeligt vand er sommerperioden med lave vandføringer i både Gudenå og Tange Å den mest kritiske. En middel årlig vandføring giver derfor ikke nødvendigvis et retvisende billede af eventuelle problemer i perioder med lav vandføring. Derfor er vandbalancen opstillet for lav sommervandføring svarende til en median minimumstilstand.

Af Tabel 2 og Tabel 3 fremgår en vandbalance for Tange Sø ved lav vandføring, henholdsvis med og uden Gudenåns vandføring. Vandføringerne for Gudenåns tilstrømning er beregnet ud fra stationsdata for 21.01 Gudenå, 21.42 Hinge Å, 21.70 Borre Å og 21.30 Tange Å. For den øvrige del af Tange Søes opland er der antaget en specifik afstrømning ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$) svarende til hvad der er målt i oplandet til Vindelsbæk bro stationen. Grundvandsudsivningen til Tange Sø via grundvandsmagasiner er estimeret ud fra en modelberegning med en integreret hydrologisk model og fordampning fra Tange Søes overflade er beregnet som arealet ($5,4 \text{ km}^2$) multipliceret med den potentielle fordampningsrate i juli måned, svarende til 4 mm/døgn . De enkelte led og den samlede vandbalance vil være behæftet med usikkerhed. Den samlede vandføring ved Tange Søes udløb via Tangeværket er summeret i kolonnen længst til højre i tabellerne.

Det ses, at der for en tør periode med vandføring omkring medianminimum vil være $9,65 \text{ m}^3/\text{s}$ til rådighed med Gudenåns nuværende gennemløb af Tange Sø. Hvis hele Gudenåns vandføring ledes udenom Tange Sø, så vandføringen ved Tangeværket alene udgøres af afstrømning fra det øvrige opland til Tange Sø, vil der være ca. $0,85 \text{ m}^3/\text{s}$ til rådighed. Vandbalancen indikerer således, at der vil være tilstrækkelig lokal afstrømning til at opretholde Tange Søes vandspejl, hvis hele Gudenåns vandføring ledes udenom, og der ikke ledes vand igennem Tangeværket eller en fisketrappe.

Tabellerne viser også hvor stor ændring i vandspejlskote i Tange Sø der vil forekomme hvis den tilladte vandmængde opmagasineres i et døgn svarende til at turbinedrift indstilles i 24 timer. Det ses at der i det to tilfælde kan opmagasineres ca. 15 cm og 1 cm. Det kan give et billede af spillerummet hvis Tangeværket i fremtiden ikke kører i døgn drift og et opmagasineret volumen udnyttes til drift i et kortere tidsrum.

Opholdstiden er beregnet som forholdet imellem Tange Søes volumen (her estimeret til $16,7 \text{ mill. m}^3$) og den lave vandføring i sommerperioden. Med hele Gudenåns vandføring bliver søens opholdstid 20 dage, men uden, stiger den til 229 dage. Opholdstiden er mål for vandudskiftningen og har betydning for søens miljøtilstand og vandkvalitet. Desuden har opholdstiden tidligere været anvendt i empiriske beregninger omkring kvælstofreduktion i søer og i forhold til smolttdødelighed ved passage af søer.

Tabel 2 Vandbalance for Tange Sø ved medianminimumvandføring (sommer), inklusiv Gudenåns vandføring (m^3/s)

Tilløb			Tange Sø				Udløb
Gudenå	Tange Å	Øvrigt søopland	Grundvand	Fordampning	VSP ændring pr. døgn (cm)	Opholdstid (dage)	Ved Tangeværk
8,80	0,60	0,36	0,14	0,25	15	20	9,65

Tabel 3 Vandbalance for Tange Sø ved medianminimumvandføring (sommer), eksklusiv Gudenåens vandføring (m³/s)

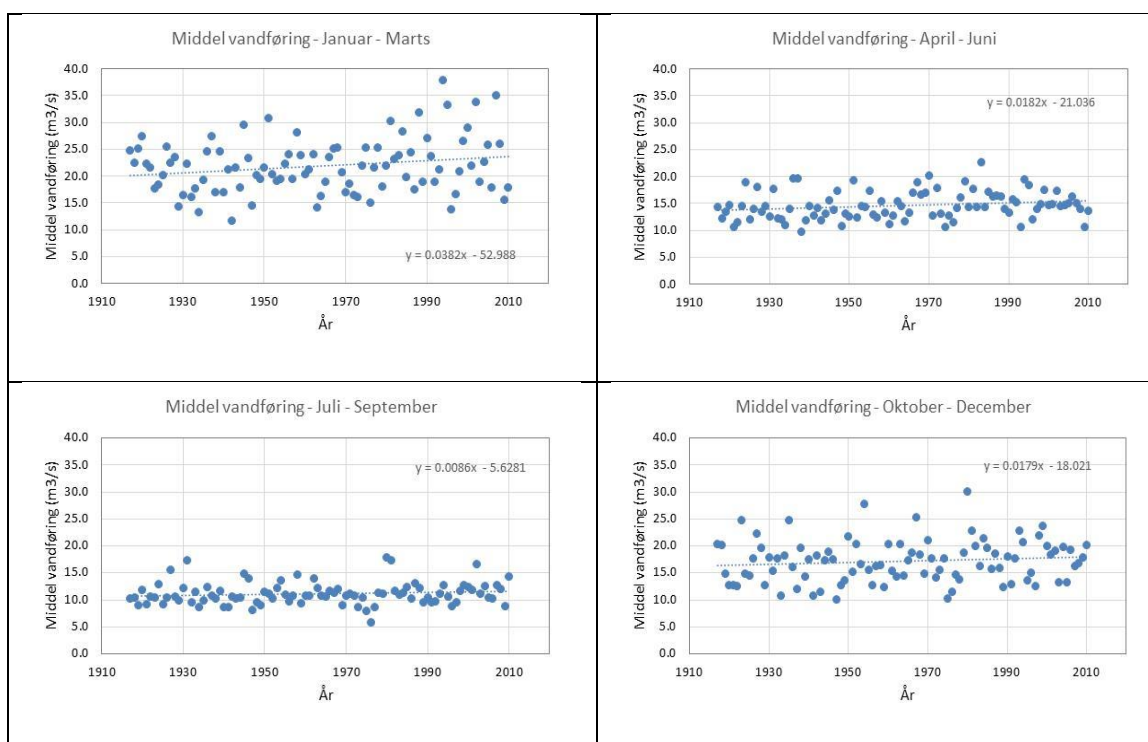
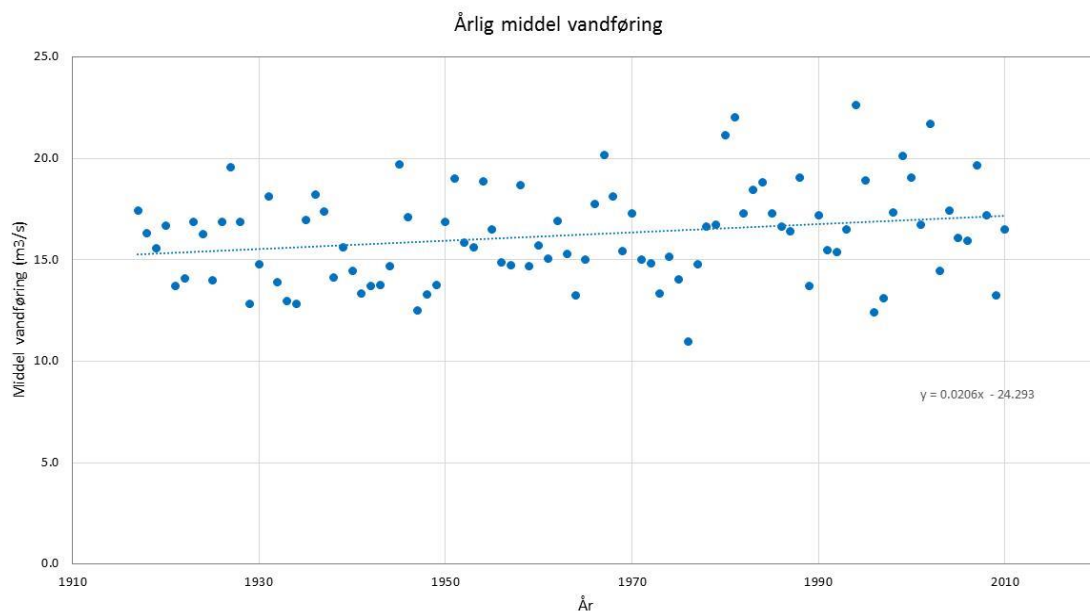
Tilløb			Tange Sø				Udløb
Gudenå	Tange Å	Øvrigt søopland	Grundvand	Fordampning	VSP ændring pr. døgn (cm)	Opholdstid (dage)	Ved Tangeværk
0	0,60	0,36	0,14	0,25	1	229	0,85

2.1.1 Historisk udvikling i vandføring

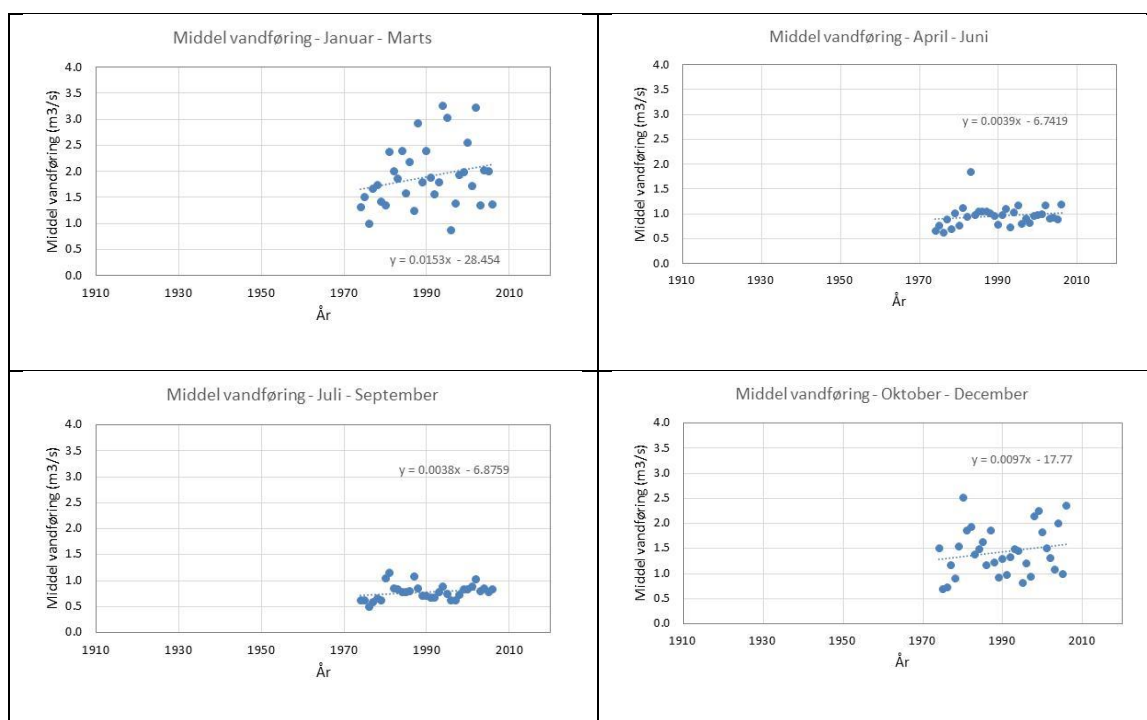
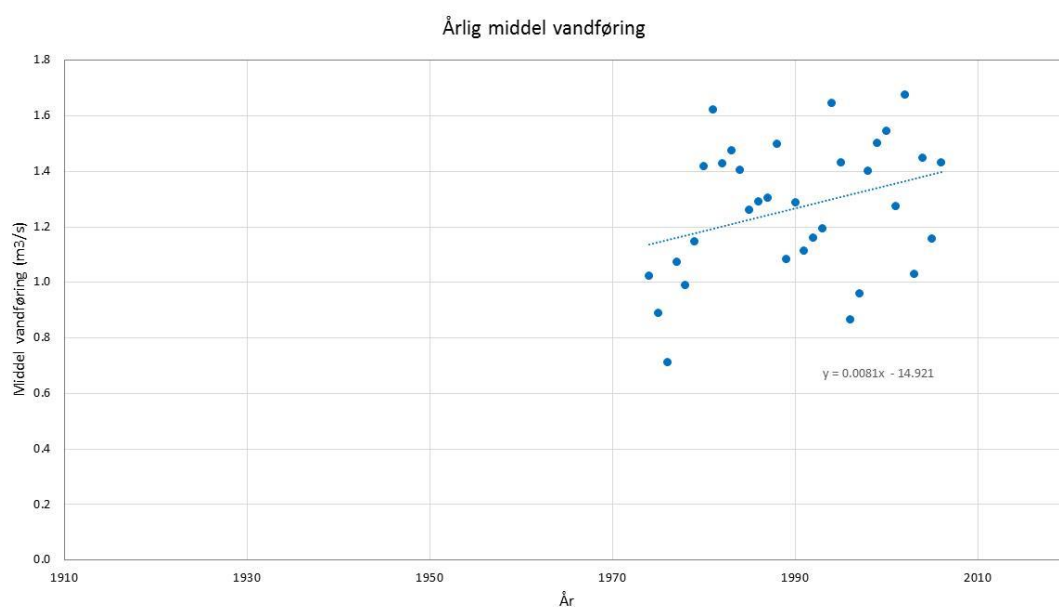
Den historiske udvikling i vandføring for henholdsvis Gudenå (Tvilum) og Tange Å (Vindelsbæk Bro) er vist i Figur 2 og Figur 3. Der er vist linier for tendensen i udviklingen i vandføring, dels for hele året og dels for årets fire kvartaler. Den lange tidsserie fra Tvilum Bro viser for alle tilfælde en tendens til stigende vandføring igennem perioden. Med 98 års data er eventuelle korttidsudsving i vandføring på grund af klimavariationer ikke betydelende for tendensen. Fra 1917-2014 ses en stigning på ca. 13 % i årsmiddelvandføring. For sommerperioden, juli-september, er stigningen dog kun ca. 8 %. Tallene peger på at man groft sagt har set en 1 %'s stigning i vandføring pr 10 år over de seneste 100 år.

For Tange Ås vedkommende er der tilsvarende tale om en stigende tendens, endda en mere markant stigning end ved Tvilum Bro. Fra 1973-2007 er stigningen på middelvandføringen ca. 30 %, men dog kun 20 % i sommerperioden. Den meget kortere vandføringstidsserie anvendt i analysen bevirker at der er betydelig usikkerhed og mulige effekter af korttids klimavariation. Tendensen til stigende vandføring er tydelig, men det anbefales ikke at tillægge den beregnede procentsats stor vægt.

Årsagerne til højere vandføring med tid for begge stationer kan skyldes flere faktorer. Der er muligvis effekter af klimaændring og større nedbørsmængder, men dertil kommer ændringer i arealanvendelse herunder udvidelse af byer og befæstede arealer, dræning af landbrugsarealer, vandindvinding, nye reguleringer m.m. Om tendensen fortsætter fremadrettet eller eventuelt forstærkes af klimaændringer på lang sigt kan ikke udledes. I forhold til vandføringen ved Tangeværket og i Gudenåen viser analysen på at der både for hele året og for sommerperioden er blevet en større vandføring til rådighed ved Tangeværk.



Figur 2 Vandføringstidsserier med markering af langtidstendens, Gudenå ved Tvillum



Figur 3 Vandføringstidsserier med markering af langtidstendens, Tange Å ved Vindelsbæk Bro

2.1.2 Fremtidig udvikling i vandføring

Klimaændringer forventes at være en hovedårsag til ændringer i det hydrologiske system og afstrømningen via vandløb i Danmark. Det er målet at anslå hvor stor ændring i afstrømning og vandføring i Tange Å oplandet der sandsynligvis vil forekomme i 2050 med baggrund i A1B.

På trods at store forskelle imellem CO₂ emissionsscenarier og de global klimamodellers forudsigtelse af klimaændringer i Danmark anbefales A1B-scenariet 1 anvendt som bedste bud i klimatilpasningen, dog gerne med inddragelse af øvrige scenarier. FN har opstillet fire hovedscenarier, A1, A2, B1 og B2, der tilsammen giver et billede af de mulige udviklingsforløb. Den danske klimatilpasningsstrategi har valgt at fokusere på FN's A2- og B2-scenarier samt EU2C. Ifølge A1B-scenariet topper de menneskelige udledninger af drivhusgasser omkring 2050, hvorefter de falder. Det forudsætter en hurtig økonomisk vækst med et globalt befolkningstal der kulminerer midt i århundredet. Scenariet indebærer en hurtig introduktion af nye og mere effektive teknologier og forudsætter, at der anvendes en blanding af fossile og ikke-fossile energikilder. DMI har beregnet A1B-scenariet for Danmark for perioden 2021-2050. I denne periode er det på grund af det hidtidige udslip og naturlige variationer i klimasystemet i praksis umuligt at skelne mellem de forskellige scenarier, hvor imod der er markante forskelle i perioden 2050-2100. A1B kan derfor repræsentere alle scenarierne frem til 2050 (læs mere på www.klimatilpasning.dk).

Her benyttes A1B-scenariet og der benyttes månedsfaktorer til at fremskrive udviklingen i nedbør, fordampning og temperatur. Den forventede ændring i afstrømning på grund af øget nedbør vil i noget omfang modsvares af øget fordampning med variation over året. Der findes en række Globale Cirkulationsmodeller der benyttes til at beregne klimaændringer for A1B-scenariet og der benyttes her en middelværdi af disse modeller til beregning af månedsfaktorer, se Tabel 4. Nedbøren forventes således øget med 12 % i januar måned, 16 % i februar og så fremdeles. Efterår, vinter og forår bliver vådere imens der for sommermåneder enten er uændret eller svagt faldende nedbørsmængde. Månedsfaktorer for ændret fordampning og temperatur indgår ligeledes i den hydrologiske model for Tange Sø oplandet til at beregne vandføringer i 2050.

Tabel 4 A1B månedlige faktorer til korrektion af nedbør i DK, 2050.

Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
1.12	1.16	1.11	1.16	1.06	1.11	1.07	0.99	1.00	1.06	1.11	1.13

Metoden er mindre egnet til at vurdere ekstremhændelser og maksimalvandføring så som 100 års hændelser hvilket dog er mindre vigtigt i forhold til langtidsændringer i middelvandføring der har betydning for den til rådighed værende vandmængde omkring Tange Sø. Analysen skal derfor ikke forveksles med klimaændringer i relation til klimatilpasning og oversvømmelsesrisiko. Her henvises til tidligere arbejde omkring oversvømmelse i Gudenådalene imellem Silkeborg og Ulstrup.

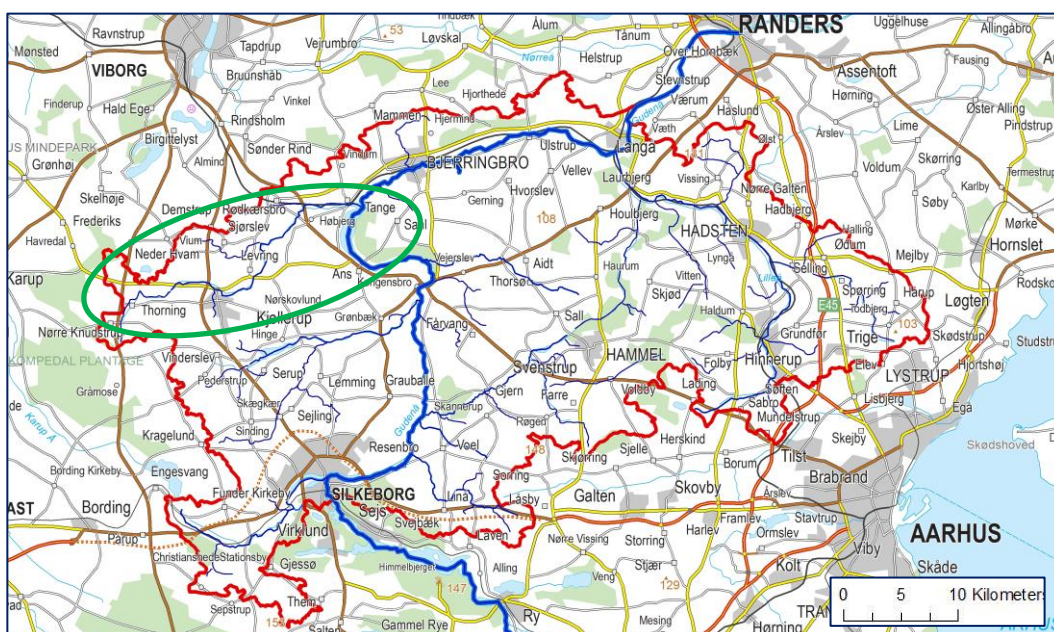
Det kræver en lang tidsserie for fremtidige klimadata og en langtids modelkørsel da overflade- og grundvandssystem kun langsomt indstiller sig til ændringer i klima. Tidsserier for daglig nedbør, fordampning og temperatur 1990-2010 benyttes som baseline. Disse tidsserier korrigeres ved hjælp af faktorerne i Tabel 4 svarende til 2050 klimadata. Der køres to 20 årige modelkørsler for Tange sø oplandet og vandføringerne ved Tangeværket sammenlignes.

Resultatet viser at klimaændringer i Tange Søes opland vil forårsage en stigning i middelvandføring på 4,4 % og en stigning på 2,0 % i sommerperioden (juli-september)

ved Tange Sø's udløb. Der er naturligvis betydelige usikkerheder forbundet med resultatet, men det indikerer en tilvækst i lighed med den historiske analyse.

3 Tange sø model

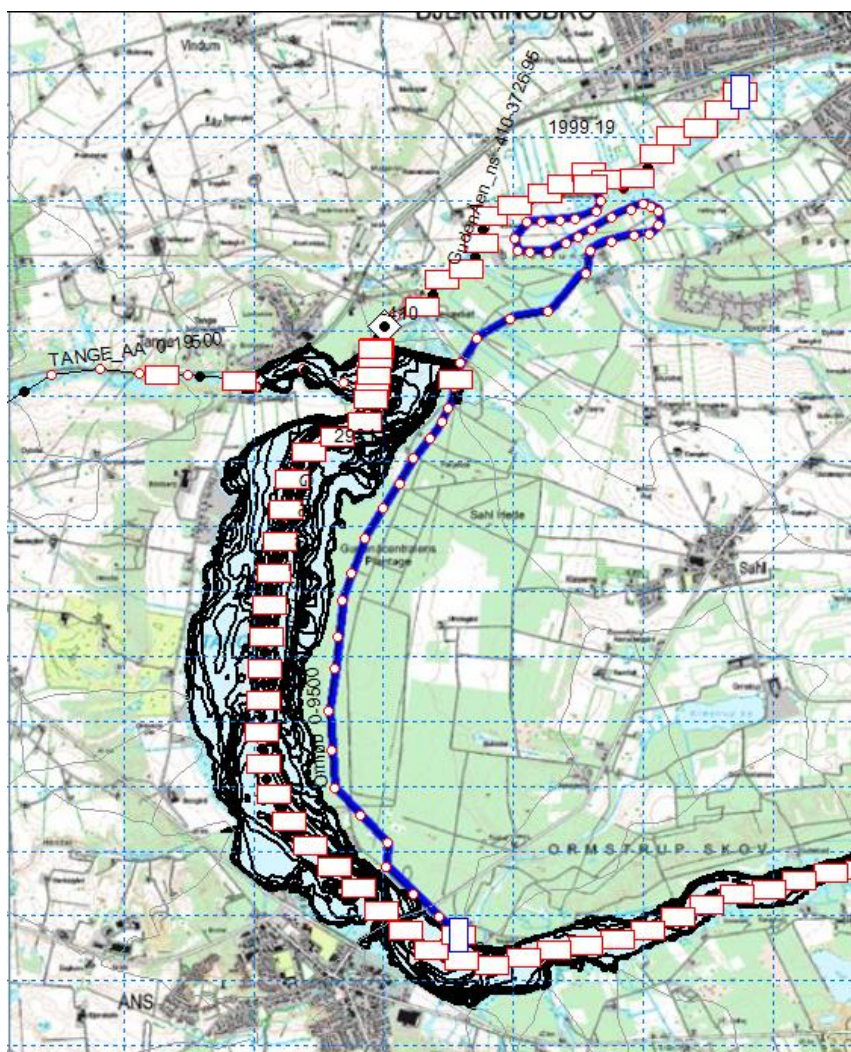
Der er opstillet en lokal Tange Sø model på baggrund af den tidligere udviklede og kalibrerede Gudenå vandløbsmodel. Gudenå vandløbsmodel og den tilhørende oplandsmodel er beskrevet i /2/. Modellen består af en integreret hydrologisk model der beskriver afstrømning via overfladevand og grundvand i oplandet og er koblet til en hydrodynamisk vandløbsmodel der beskriver tidsvarierende vandføringer og vandstande i vandløb, ådale og søer. Figur 4 viser udstrækningen af vandløbsmodellen hvor Gudenåen er markeret med blå og det tilhørende opland med rødt.



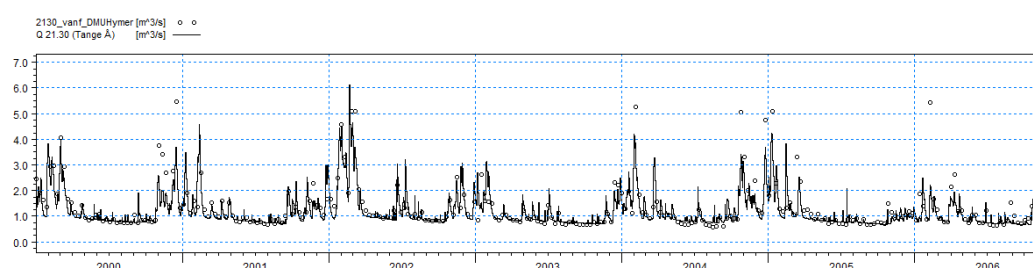
Figur 4 Gudenå vandløbsmodel, opland (fra /2/) med markering af Tange Sø opland

I /2/ findes bl.a. også beskrivelse af hvordan Tangeværkets repræsenteret i modellen og den topografiske model anvendt i beregningen af oversvømmelsers dybde og udbredelse. Tangeværkets kunne oplyse at der sigtes mod at holde Tange Sø vandspejlet på kote 13.55 m +/- 5 cm, at der ikke sker en aktiv regulering af gennemstrømningen i forhold døgnavariierende elafregningspriser og at der altid kører minimum en turbine og at antallet kan øges til 3 når vandstanden nærmer sig 13.60 m. Det er i modellen beskrevet ved et bredt overløb med en overløbskant i kote 13.55 m hvor ved Tange Sø's vandspejl i modellen vil følge den beskrevne praksis. Af hensyn til at opnå den bedst mulige beskrivelse af Tange Sø's volumen og overfladeareal er 9 supplerende tværsnitsprofiler genereret ud fra dybdekurvekort og anvendt i Tange Sø modellen. Omløbet er beskrevet ved skønsmæssige tværsnit (20 m bredt) og faldforhold anslået ud fra terrænforhold. Der er ikke regnet med lateral tilstrømning til vandløbet, men udveksling imellem omløb og grundvand er inkluderet med en standard lækagekoefficient på $1e^{-6} s^{-1}$.

Figur 6 viser en sammenligning af målt og modelsimuleret vandføring for Tange Å. Modellen viser en fin overensstemmelse i forhold til målinger, især for de lave vandføringer der har fokus i forhold til løsningsmulighederne vedrørende omløb.



Figur 5 Tange Sø netværk med markering af Tange Sø dybdekurver (sort), omløb (blå), tværsnit (rød-hvid) og vandløb



Figur 6 Sammenligning af modelsimuleret (linie) og målt (punkter) vandføring, Tange Å.

3.1 Scenarier for fordeling af vand imellem omløb og sø

Der skal i forbindelse med arbejdet omkring løsningsmuligheder for Tange Sø ses på linieføring og profil af udvalgte mulige omløbsstrøg. Løsningsmulighederne har været under udarbejdelse parallelt med den hydrologiske analyse. Med hensyn til hydrologiske forhold og vandbalance er kun et enkelt muligt forløb inddraget i modelberegningen. Det

fremgår af Figur 5 og består i et stryg på Tange Søes østlige side med start opstrøms Ans bro og med et længere forløb nedstrøms Tangeværket før tilslutningen til Gudenå af hensyn til at udjævne det markante fald i terrænkote. I alt er omløbet indlagt i modellen 9,7 km langt.

Af hensyn til at belyse konsekvenser af forskellige fordelinger af Gudenåens vandføring imellem henholdsvis Tange Sø og omløbsstryget er der gennemført 11 scenarieberegninger (Tabel 5).

Tabel 5 Scenarier, procentvis andel af Gudenåens vandføring til hhv. omløb og sø

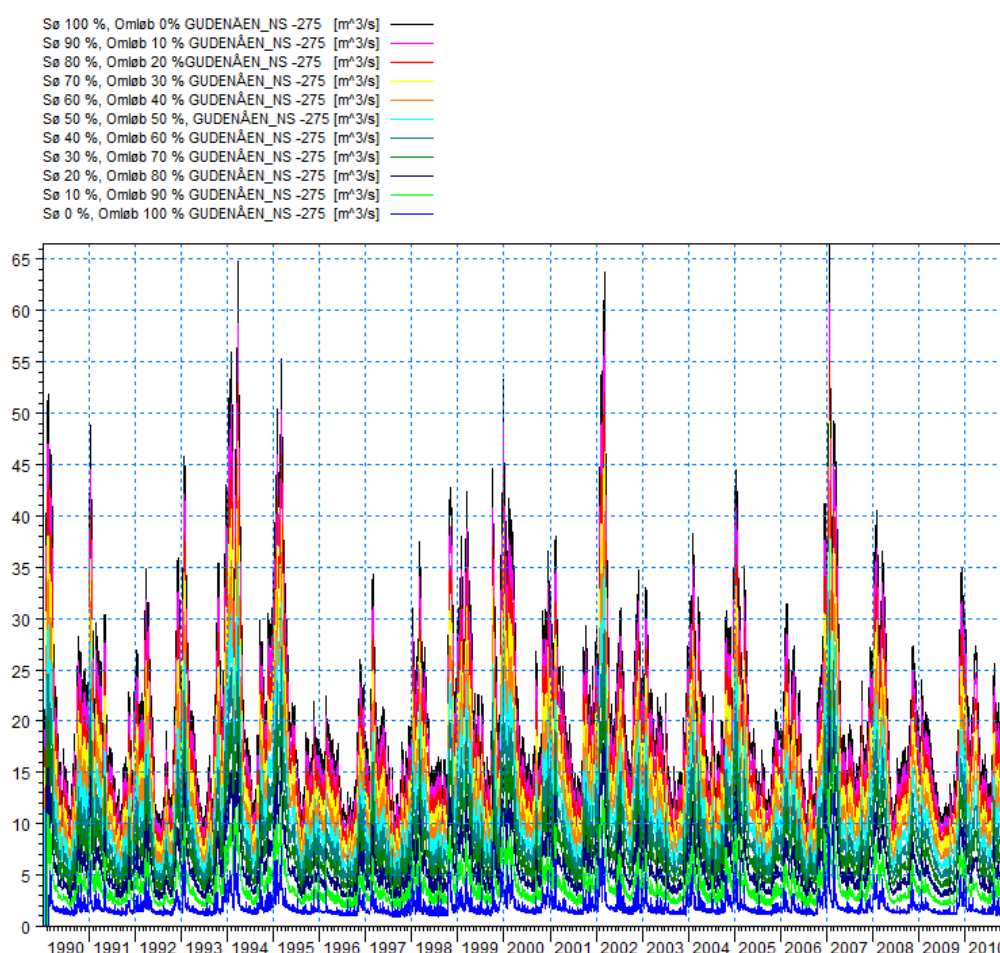
Scenarie	Omløb	Tange sø
1	0 %	100 %
2	10 %	90 %
3	20 %	80 %
4	30 %	70 %
5	40 %	60 %
6	50 %	50 %
7	60 %	40 %
8	70 %	30 %
9	80 %	20 %
10	90 %	10 %
11	100 %	0 %

I hver scenariemodellberegning er modellens opstrøms randbetingelse ændret således at den angivne procentdel af Gudenåens vandføring ved tilløbet til Tange sø fordeles til vandløbsgrenene der repræsenterer omløbsstryg og Tange Sø.

Det skal bemærkes at dette er en statisk fordeling, hvilket vil sige at den til enhver tid forekommende vandføring (daglige værdier 1990-2010) fordeles i forhold til procentdelene. I praksis kan man med fordel indarbejde et regulerbart fordelerbygværk der giver mulighed for dels at justere fordelingen og for at tilgodese f.eks. fiskeopgang, produktion ved Tangeværket eller andet for udvalgte kalendermåneder eller årstider.

3.2 Resultater

Der kan trækkes en lang række forskellige resultater ud af modelsimuleringerne, men hovedresultatet af de gennemførte beregningsscenarier er i denne forbindelse vandføringstidsserier ved udløbet af Tange Sø. Figur 7 viser modelberegnete vandføringstidsserier for de gennemførte 10 scenarier. Den laveste vandføring, ca. 0,9 m³/s, findes for scenariet hvor hele Gudenåens vandføring føres udenom Tange Sø og den højeste, ca. 9,8 m³/s, hvor hele Gudenåens vandføring, som i dag, ledes via Tange Sø. Imellem disse to yderpunkter ligger de øvrige scenarier. Der er ved denne opgaves udførelse ikke fastsat vandbehov i forhold til Tangeværkets fremtidige drift og fiskeopgang via omløbsstryg. Når disse er bestemt kan resultaterne bruges som opslagsværk til at vælge den procentvise fordeling der bedst vil kunne opfylde de fremtidige krav.



Figur 7 Tidsserier for vandføring ved Tangeværk for de 10 løsningsmuligheder

Ved at lede en del af Gudenåens vandføring igennem omløb og ikke Tange Sø ændres de hydrauliske forhold. Derfor er modelsimulerede vandførings- og vandstandstidsserier i Gudenåen umiddelbart opstrøms Bjerringbro sammenlignet for scenarier hvor hele Gudenåens vandføring udelukkende ledes via enten omløbet eller Tange Sø. Der sker stort set ingen ændringer hvilket kan tyde på at oversvømmelsesrisiko ved Bjerringbro ikke væsentligt påvirkes ved en omløbsløsning. Udglatning af hydrografen ved passage af Tange Sø er ubetydelig, men kan eventuelt revurderes når mere detaljerede omløbsløsninger foreligger.

3.3 Konklusion og anbefalinger

Den udførte analyse af vandbalance- og vandføringsforhold giver anledning til at fremhæve følgende punkter:

Vandbalancen for Tange Sø er opstillet ud fra målte vandføringstidsserier fra Tange Å, Gudenå (Tvilum), Borre Å og Hinge Å for en sommersituation med lave vandføringer. Afstrømningen fra Tange Søes opland via Tange Å og den øvrige del af søoplandet, ialt ca. 160 km², fratrasket fordampningstab fra søoverfladen bidrager med ca. 0,85 m³/s ved Tange Søes udløb via Tangeværket til den nedre del af Gudenåen. Det svarer til knap 10 % af Gudenåens sommervandføring. Vandbalancen viser at Tange Søes vandspejl vil kunne opretholdes hvis hele Gudenåens vandføring føres udenom søen forudsat at der ikke ledes vand ud af søen via Tangeværk eller fisketrappe. Muligheden for at opmagasinere vand i søen over døgnet og opholdstid for Tange Sø ændres markant med og uden Gudenåens vandføring.

Den historiske udvikling af vandføring viser at der ifølge vandføringstidsserier fra både Gudenå (Tvilum Bro) og Tange Å (Vindelsbæk bro) er sket en tilvækst over tid. De bedste data og den største sikkerhed i tendensen fås for Gudenå hvor ca. 100 års data peger i retning af ca. 1 % øget vandføring pr. 10 år. For Tange Å er stigningen endnu større, men den relativt korte tidsserie gør analysen mere usikker.

Den fremtidige udvikling af vandføring p.gr.a. klimaændringer er beregnet ud fra A1B-klimascenariet år 2050, der indebærer korrektion af historisk nedbør, fordampning og temperatur på månedsbasis. Vandføring simuleret for perioden 1990-2010 sammenlignes med vandføring simuleret ud fra korrigerede klimatidsserier for år 2050. Ifølge Tange Sø oplandsmodel øges vandføringen i Tange Å i 2050 med ca. 4,4 % med hensyn til middelvandføring, men dog kun ca. 2,0 % for sommervandføringen.

Modelscenarier for mulig fremtidig fordeling af vand imellem Tange Sø og omløbsstryg er beregnet ved hjælp Tange Sø oplandsmodel. Den del af Gudenåens vandføring der tilføres henholdsvis Tange Sø og omløb er varieret imellem 0 – 100 %. Tidsserier for vandføring ved udløbet af Tange Sø viser at der ved lav sommervandføring kan opnås ca. 0,9 – 9,8 m³/s ved Tangeværket, eller omvendt for omløbet, ca. 0 – 8,9 m³/s.

Det kan anbefales at vandbehov til Tangeværkets fremtidige drift og vandbehov til vandrende laks og havørred bestemmes. Herunder vil det være relevant at fastlægge om vandbehovene er forskellige i forhold til årstid og måned. Herved kan scenarieresultater bruges til at vurdere hvilken procentvis fordeling af Gudenåens vandføring der bedst kan tilgodese behovene som del af en fremtidig løsning.

Resultater fra vandbalancen indikerer at der imellem yderpunkterne for vandfordeling sker en meget markant ændring af bl.a. opholdstid for Tange Sø der kan indebære et væsentligt skifte i vandkvalitet og miljøtilstand. Der kan være behov for nærmere at klarlægge konsekvenserne.

Så vidt muligt kan det anbefales at der i en fremtidig løsning indbygges en fleksibilitet til at kunne justere og regulere fordelingen af vand imellem omløb og Tange Sø, hvilket f.eks. kan ske ved et fordelerbygværk placeret opstrøms i et nyetableret omløb.

Det vil være muligt at detaljere Tange Sø model yderligere når alternative omløb er bedre belyst og beskrevet.

4 Referencer

- /1/ Danmarks Klimacenter rapport 11-03, Fremtidige nedbørsændringer i Danmark. En oversigt over den aktuelle viden i sommeren 2011, M. Drews, F. Boberg, J. Cappelen, O.B. Christensen, J.H. Christensen, DMI 2011
- /2/ Gudenå vandløbsmodel, Vandstandsvarsling og scenarier, Slutrapport. DHI for Silkeborg, Viborg og Favrskov kommuner, september 2013