

Tissø indvinding og styring af stemmeværk

Notat vedrørende påvirkning af vandføring i Nedre Halleby Å



Kalundborg Forsyning

Projekttitel : Styring af Tissø Stemmeværk -

Projektnr. : 11823051

Dato : Juni 2021

Forside:	
Udarbejdet af:	TVJ
Dokument Nr.:	
Dato:	Juni 2021
Version:	Endeligt notat (v5)

Indholdsfortegnelse

Indledning	6
Formål	7
Fremgangsmåde	7
1 Påvirkningsberegninger	8
1.1 Beskrivelse	8
1.2 Direkte påvirkning	8
1.3 Vandbalancemetode	11
1.4 Resultater	14
2 Vandføring og fiskevandring om foråret	16
3 Naturlig kontra reguleret vandføring	18
4 Reguleret vandføring i forhold til medianminimumsvandføring	26
5 Vandføringsdifferens	28
6 Sammenfatning	29

Figurer

Figur 1-1 Samhørende målte vandstandsdata (H) og vandføring (Q) ved udløb af Tissø.	9
Figur 1-2 Fordampningens variation over tid (mm/dag), (eksempel på årstidsforløb, 2017)	12
Figur 1-3 Årlige Tissø vandstandsforløb for årene 2000-2017.	13
Figur 3-1 Modelsimuleret vandstand i Tissø i en situation uden stemmeværk og indvinding (med klimaændring og klimavariation).	19
Figur 3-2 2008 kurver for vandføring hhv. uden stemmeværk og indvinding (blå) og med nyt stemmeværk, indvinding på 3,5 mill. m ³ /år og ny styring, nuværende klima (orange)	20
<i>Figur 3-3 Zoom in på lave vandføringer – 2008 kurver for vandføring hhv. uden stemmeværk og indvinding (blå) og med nyt stemmeværk, indvinding på 3,5 mill. m³/år og ny styring, nuværende klima (orange)</i>	20
Figur 3-4 2008 kurver for vandføring hhv. uden stemmeværk og indvinding (blå) og med nyt stemmeværk, indvinding på 3,5 mill m ³ /år og ny styring, med klimaændring (orange)	21
Figur 3-5 Zoom in på lave vandføringer - 2008 kurver for vandføring hhv. uden stemmeværk og indvinding (blå) og med nyt stemmeværk, indvinding på 3,5 mill m ³ /år og ny styring, med klimaændring (orange)	21
Figur 3-6 2011 kurver for vandføring hhv. uden stemmeværk og indvinding (blå) og med nyt stemmeværk, indvinding på 3,5 mill. m ³ /år og ny styring, nuværende klima (orange)	22
<i>Figur 3-7 Zoom in på lave vandføringer – 2011 kurver for vandføring hhv. uden stemmeværk og indvinding (blå) og med nyt stemmeværk, indvinding på 3,5 mill. m³/år og ny styring, nuværende klima (orange)</i>	22
Figur 3-8 2015 kurver for vandføring hhv. uden stemmeværk og indvinding (blå) og med nyt stemmeværk, indvinding på 3,5 mill. m ³ /år og ny styring, nuværende klima (orange)	23
<i>Figur 3-9 Zoom in på lave vandføringer – 2015 kurver for vandføring hhv. uden stemmeværk og indvinding (blå) og med nyt stemmeværk, indvinding på 3,5 mill. m³/år og ny styring, nuværende klima (orange)</i>	23
Figur 3-10 Varighedskurver for simuleret vandføring	24
Figur 3-11 Zoom ind på varighedskurver for lave vandføringer	25
Figur 4-1 Procentdel af tid per måned hvor vandføringen ved udløb fra Tissø falder under medianminimumsvandføringen beregnet uden stemmeværk og indvinding.	26
Figur 5-1 Måneds gennemsnitlig forskel i vandføring ved udløb af Tissø imellem ny styring (A) og indvinding på 3,0-7,0 mill. m ³ /år og en situation uden stemmeværk og indvinding med nuværende klima.	28

Tabeller

Tabel 1-1 Tabel til beregning af medianminimum vandføring, Qmm (l/s), uden indvinding og stemmeværk for tre lokaliteter i Nedre Halleby Å.	10
Tabel 1-2 Påvirkningsgrad, indvinding i forhold til Qmm ved udløb fra Tissø, nuværende klima	10
Tabel 1-3 Påvirkningsgrad, indvinding i forhold til Qmm ved udløb fra Tissø, klimaændring og klimavariabilitet	11
Tabel 1-4 Vandbalancetabel (fra " Styring af Tissø Stemmeværk, Slutrapport : Ny styringsmodel", tabel 6-2)	12
Tabel 1-5 Andel af tid hvor indvinding udgør mere end 50 % af medianminimumsvandføring	15
Tabel 2-1 Minimumsvandføringer, april-maj	17
Tabel 3-1 Vandføringens varians i sommerperioden (m ³ /s), ved udløb fra Tissø.	25

Indledning

Kalundborg Forsyning leverer vand fra Tissø til industrier og virksomheder i Kalundborg. Vandindvindingstilladelsen skal fornys, hvilket giver anledning til at se på mulighederne for at forbedre den nuværende regulering af udløbet og vandstanden i Tissø ud fra stemmeværkets styring. Der er en række interesser knyttet til Tissø samt Øvre og Nedre Halleby Å, og det ønskes derfor belyst, hvordan en ændret styring af stemmeværket vil fungere i forhold til indvundet vandmængde, søvandstand, vandføring m.m.

Projektet vedrørende udvikling af en ny styringsmodel for Tissø stemmeværk blev afsluttet i 2020 og er rapporteret i "Styring af Tissø Stemmeværk, Slutrapport : Ny styringsmodel". Dette notat skal læses i tæt sammenhæng med slutrapporten. Resultaterne peger på, at overløbskant, omløbsstryg og stemmeværksporte ikke er indrettet til at kunne opretholde den ønskede minimumsvandføring, når vandstanden bliver lav i sommerperioden. Modelanalysen viser, at den ønskede årstidsvarierende minimumsvandføring kan opnås en større del af tiden, hvis en af de fire stemmeværksporte styres efter vandføring i stedet for, som nu, ud fra den eksisterende sigtepunktsskurve. Den endelige styringsmodel antager, at stemmeværksporten styres aktivt i forhold til at opretholde vandføringen igennem porten frem for via overløbskant og omløbsstryg. Den nuværende situation er sammenlignet med den nye styringsmodel, og desuden er konsekvenser af indvindingsmængde, klimændringer og klimavariabilitet belyst.

Dette notat vedrører en diskussion imellem DTU Aqua, Kalundborg kommune, Kalundborg Forsyning og DHI vedrørende Tissø indvindingens betydning og påvirkningen af vandføringen i Nedre Halleby Å. Dels om indvinding af overfladevand principielt bør forekomme og mulige alternativer dels hvordan positive og negative effekter for vandløbspåvirkning opgøres. Ved møde den 9. februar 2021 blev parterne enige om at udfærdige dette notat.

For at redegøre for effekter af indvinding og styring af stemmeværk ved udløbet af Tissø er der foretaget yderligere modelkørsler, analyser og dataudtræk. Der er set på en situation uden indvinding og stemmeværk til sammenligning af tilfælde af ny styringsmodel, indvinding (3,5 – 7,0 mill. m³/år) samt klimændringer.

Ved gennemgang af tidligere version af notatet blev der stillet spørgsmål fra DTU Aqua vedrørende:

1. Kriterier for minimumsvandføring, der er grundlag for styringsmodellen, beskriver at vandføringen kan være mindre end medianminimum syv måneder om året. Dette bør vurderes nærmere i forhold til en upåvirket situation, herunder betydningen af dette for de økologiske forhold i vandløbet.
2. Den samlede reduktion i vandføringen set i forhold til en situation uden stemmeværk og vandindvinding, bør derfor anvendes ved vurderingen af den økologiske betydning for Nedre Halleby Å, uanset om vandet er indvundet eller opsparet.
3. Notatet beskriver også, at der i et gennemsnitsår maksimalt kan forventes indvundet 36 % af medianminimum ved en øget vandindvinding til 7 mio. m³/år, inklusive fremskrivning med mindre sommervandføringer pga. klimaforandringer. Set i forhold til ovenstående anbefaler DTU Aqua også her, at effekten af stemmeværkets drift inddrages i beregningerne, idet det er den samlede reduktion i vandføringen, der påvirker de økologiske forhold i åen.

Disse spørgsmål er belyst i dette reviderede notat, men dog ikke påvirkningen af økologiske forhold.

Formål

Notatet skal læses i tæt sammenhæng med rapport for "Styring af Tissø Stemmeværk, Slutrapport : Ny styringsmodel". Her var formålet at opnå en styring af vandstanden i Tissø, så der nu og i fremtiden kan leveres overfladevand til Kalundborgs Industri med en regulering af vandstanden der tager hensyn til miljø, natur landbrug og rekreative. Desuden blev klimaforandringer med f.eks. øgede nedbørsmængder, tørrere somre, stigning i grundvandsstand og havniveau taget i betragtning.

Notatet udbygger vurderingsgrundlaget og ser på indvindingens påvirkning af Nedre Halleby.

Fremgangsmåde

Der er opstillet, kalibreret og anvendt en kombineret hydrologisk og hydraulisk model med fokus på stemmeværkets funktion. Modellen beskriver både vandføring og vandstand i Tissø og Halleby Å, men udgør desuden en dynamisk vandbalancemodel der gør det muligt at analysere sammenhængen imellem indvinding, stemmeværksstyring, vandføring og klima, både på daglig basis og over en længere årrække.

Styringsmodellerne har været testet for at belyse, i hvilken grad de kan opfylde kriterier, herunder miljøkrav, forsyningssikkerhed m.m. opstillet i samarbejde med interessenter. Aftestningen inkluderer klimavariation og klimaændring. Styringens performance måles bl.a. på hvor stor en andel af tiden de enkelte kriterier kan opfyldes.

I dette notat er yderligere vurderet hvilken påvirkning indvinding og stemmeværksstyring har på medianminimumsvandføringen i Nedre Halleby Å. Derudover belyses opgørelsesmetoder for vandløbspåvirkning af Tissø indvinding.

1 Påvirkningsberegninger

1.1 Beskrivelse

Overfladvandsindvinding fra søer med et nedstrøms vandløb er forholdsvis usædvanlig i Danmark hvor grundvandsindvinding er langt mere udbredt. Der findes også fortilfælde af indvinding eller indtag fra vandløb til dambrug. For dambrug har en øvre grænse på 50 % af medianminimumsvandføringen i vandløb ifølge DTU Aqua været anvendt som kriterie i forbindelse med indvindingstilladelse.

Tissø har til forskel til en vandløbsstrækning en stor søflade (ca. 13 km²) og søens volumen er stort i forhold til den årlige afstrømning. Fra Øvre Halleby indløbet til Tissø sker tilstrømning til søen, betydelig sæsonvarierende fordampning og ikke mindst en naturlig, men nu delvist reguleret magasineringsændring i form af aftagende søvandstand igennem forår-sommer perioden.

Det er valgt at benytte 2 metoder til opgørelse af påvirkning.

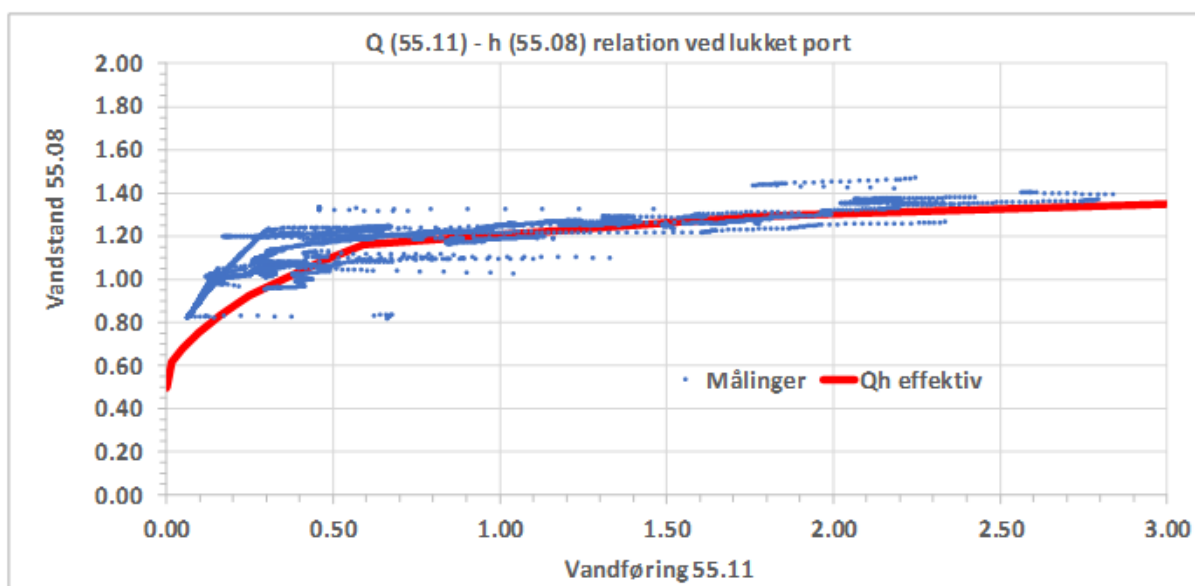
- 1) Direkte påvirkning (dambrugsanalogi eller oppumpning direkte fra et vandløb) ved at betragte indvinding i forhold til medianminimumsvandføring (Q_{mm}) ved udløbet af Tissø
- 2) Vandbalancemetode der indregner volumenændring, tab og bidrag for Tissø i en samlet dynamisk vandbalance, iberegnet styringen af Tissø stemmeværk. Alle disse led er allerede inkluderet i modellen udviklet i tidligere projekt.

1.2 Direkte påvirkning

Indvindingens påvirkning regnes relativt til medianminimumsvandføring (Q_{mm}). Derfor skal Q_{mm} først beregnes ud fra årlige minimumsvandføringer over en årrække.

Den upåvirkede Q_{mm} beregnes normalt uden indvinding, hvilket vil sige både overfladevands- og grundvandsindvinding. Desuden bør spildevandsudledning fratrækkes (ikke medtaget i denne analyse).

Stemmeværket ved Tissøs udløb hidtil har været styret efter en sigtepunktsskive der foreskriver at porten lukker ved lav vandstand. Det betyder at vandføringen udelukkende passerer via omløb. Omløbet tillader en vandføring der er væsentligt lavere end den ønskede minimumsvandføring på 0,5 m³/s. Stemmeværket, omløb og sigtepunktsskive har dermed stor effekt på de målte minimumsvandføringer og bestemmelse af medianminimum værdier. En gennemgang af målte vandføringsdata viser at for de fleste år er den målte minimumsvandføring sammenfaldende med at porten er lukket på grund af lav vandstand. Effekten fremgår af Figur 1-1, hvor der ses stor spredning på målte lave vandføringer. For en vandstand på 0,8 m er der målt vandføringer på 0,1 - 0,7 m³/s og for vandstande imellem 0,8 og 1,3 m er der målt vandføringer under 0,5 m³/s. Den røde kurve markerer den kalibrerede models tilnærmelse til målepunkterne og her skal vandstanden op på 1,10 m for at opnå en vandføring på 0,5 m³/s.



Figur 1-1 Samhørende målte vandstandsdata (H) og vandføring (Q) ved udløb af Tissø.

Synkronmålinger kan bruges som grundlag for påvirkningsberegninger i et vandløbenetværk men her benyttes målestationen ved udløbet af Tissø (55.08) til beregning af påvirkning af Nedre Halleby Å. Vandføringsmålinger fra station 55.08 (1989-2017) er påvirkede af den indvinding (indvinding startede i 1960'erne) og den opstemning der er sket i perioden (opstemning af Tissø startede år 1891). DTU Aqua efterlyser at Q_{mm} beregnes for en situation uden indvinding og stemmeværk og derfor er måledata ikke egnede.

Den kombinerede hydrologiske og hydrauliske model for opland, vandløb og sø er opstillet og kalibreret med indvinding, stemmeværk og styring jf. sigtepunktskurven i perioden 2000-2017. Modellen indeholder overfladevandsindvinding og stemmeværk men disse dele kan fjernes og modellen kan derved anvendes til at beskrive den ønskede tilstand. Efter at modellen uden indvinding fra Tissø og stemmeværk er kørt er tidsserie for simuleret vandføringen ved udløbet udtrukket. Simuleringen dækker perioden fra år 2000 hvor stemmeværket og sigtepunktskurven blev taget i brug indtil 2017 der var seneste år hvor data kunne tilvejebringes ved opstilling af Tissø modellen anvendt til afestning af styringsmodeller. Vandføringstidsserien danner grundlag for beregning af Q_{mm} . Først bestemmes minimumsvandføringen hvert år og dernæst beregnes medianen. Q_{mm} beskrives ofte som den minimumsværdi der statistisk overskrides hvert andet år. Tabel 1-1 viser simulerede årlige minimumsvandføringer og den beregnede medianminimumsvandføring (Q_{mm}) uden stemmeværk og indvinding.

Medianminimumsvandføring er beregnet flere steder i Nedre Halleby Å, dels umiddelbart nedenfor udløbet fra Tissø (nedstrøms stemmeværk), nedstrøms tilløbet fra Bøstrup Å og ved Gørlev Landevej. Ved Sukkerkanalen opdeles vandføringen i den del der løber ud i Storebælt via Sukkerkannalen og den del der løber ud via Flasken. Der er markante forskelle imellem de enkelte år, varierende fra 304 l/s til 1141 l/s, hvilket primært skyldes forskelle i klima, dvs. tørre kontra våde somre. Medianværdien er beregnet til 651 l/s. Tilsvarende kan Q_{mm} beregnes med klimaændring og klimavariation. Her beregnes en værdi på 616 l/s ved udløb fra Tissø. Som forventeligt indebærer klimaændring og klimavariabilitet lavere vandføring i sensommeren og lavere medianminimumsvandføring.

Tabel 1-1 Tabel til beregning af medianminimum vandføring, Qmm (l/s), uden indvinding og stemmeværk for tre lokaliteter i Nedre Halleby Å.

År	Tissø udløb Qmin (l/s)	NS Bøstrup Å tilløb Qmin (l/s)	Ved Gørlev Landevej Qmin (l/s)
2000	720	725	732
2001	739	860	873
2002	1096	1213	1220
2003	519	608	611
2004	619	711	714
2005	602	669	671
2006	304	905	923
2007	1141	1656	1691
2008	653	698	707
2009	613	870	876
2010	1010	1642	1680
2011	725	1205	1226
2012	625	679	682
2013	567	596	600
2014	433	478	481
2015	649	751	756
2016	811	864	871
2017	743	800	804
Qmm	651	775	780

På den baggrund kan påvirkningsgraden estimeres som forholdet imellem indvinding på 3,5 – 7,0 mill m³/år og Qmm. Tabel 1-2 viser indvindingens påvirkning af vandføringen i Nedre Halleby Å ved Tissøs udløb. Det ses at for nuværende klima vil indvindingen udgøre imellem 17 og 34 % af medianminimumsvandføringen (Qmm) uden stemmeværk og indvinding. Tabel 1-3 viser påvirkningsgrader med klimaændring og klimavariabilitet hvilket resulterer i at minimumsvandføringen reduceres og påvirkningsgraden øges til 18-36 %. Påvirkningsgraden vil falde fra Bøstrup Ås tilløb hvor minimumsvandføringen i Nedre Halleby Å øges.

Tabel 1-2 Påvirkningsgrad, indvinding i forhold til Qmm ved udløb fra Tissø, nuværende klima

Indvinding	Flow ækvivalent (l/s)	Påvirkningsgrad (%)
3,5 mill m ³ /år	111	17
5,0 mill m ³ /år	159	24
7,0 mill m ³ /år	222	34

Tabel 1-3 Påvirkningsgrad, indvinding i forhold til Q_{mm} ved udløb fra Tissø, klimaændring og klimavariabilitet

Indvinding	Flow ækvivalent (l/s)	Påvirkningsgrad (%)
3,5 mill m ³ /år	111	18
5,0 mill m ³ /år	159	26
7,0 mill m ³ /år	222	36

1.3 Vandbalancemetode

Den direkte påvirkning af indvindingen på vandføringen, betragtet alene som en indvinding fra en vandløbsstrækning, tager ikke hensyn til den væsentlige rolle Tissø spiller. I kraft af Tissøs store søoverflade og opmagasineringsevne har den effekt på vandføringen i Nedre Halleby Å. For at belyse hvordan Tissø indvirker på vandføringen fra indløbet fra Øvre Halleby Å til udløbet til Nedre Halleby Å opstilles en vandbalance. Vandføringen ved udløb fra Tissø kan udtrykkes som del af en vandbalance for søen.

Ifølge en vandbalance for Tissø kan vandføring ved udløb beregnes som:

$$Q_{\text{udløb}} = Q_{\text{indløb}} + Q_{\text{afstrøm}} + P_{\text{sø}} - ET_{\text{sø}} \pm \text{Mag.ændring} - \text{Indvinding}$$

Hvor,

$Q_{\text{udløb}}$: Vandføring ved udløb fra Tissø

$Q_{\text{indløb}}$: Vandføring ved indløb til Tissø

$Q_{\text{afstrøm}}$: Afstrømning fra deloplande til Tissø, inkl. grundvandsudsivning

$P_{\text{sø}}$: Nedbør på søoverfladen

$ET_{\text{sø}}$: Fordampningstab fra søoverfladen

Mag. ændring : Magasineringsændringen svarer til en volumenændring i Tissø på grund af reguleret/ureguleret vandstandsændring over tid. Kan optræde med både positivt og negativt fortegn afhængigt af om vandstanden stiger eller falder.

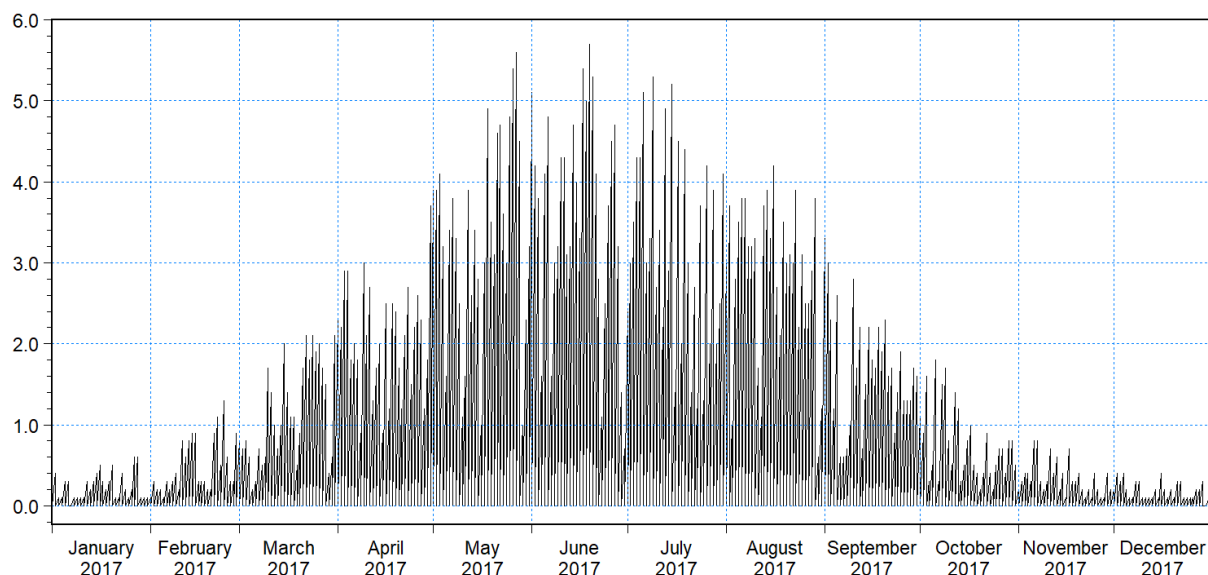
Indvinding : Indvinding fra Tissø, her antaget konstant over tid

Der er tidligere opstillet en overordnet gennemsnitlig årlig vandbalance (Tabel 1-4). Den giver et billede af vandbalancekomponenternes indbyrdes størrelsesorden. Det fremgår bl.a. at indvinding på 3,5 – 7,0 mill. m³/år omsat i flow ækvivalent udgør 22-44 % af minimumsvandføringskravet på 0,5 m³/s og 4-8 % af middel vandføringen ved udløb af Tissø.

Tabel 1-4 Vandbalancetabel (fra ” Styring af Tissø Stemmeværk, Slutrapport : Ny styringsmodel”, tabel 6-2)

	Flow ækvivalent (l/s)	Sødybde ækvivalent (mm/år)
Middel vandføring, 55.08 Tissø udløb	2500	6065
Minimumsvandføring, fisk ophold: 0,5 m3/s	500	1213
Minimumsvandføring, fisk vandring: 0,7 m3/s	700	1698
Minimumsvandføring, fisk vandring: 1,5 m3/s	1500	3639
Middel pot. Fordampning: 1,6 mm/dag	241	584
Indvinding: 3,5 mill. m3/år	111	269
Indvinding: 5,0 mill. m3/år	159	385
Indvinding: 7,0 mill. m3/år	222	538

Det skal understreges at langtidsmiddelværdier for vandbalance ikke kan stå alene. Klima, søvandstande og vandføringer udviser stor tidlig variation, år til år, over året, dag til dag osv. F.eks. viser [Figur 1-2](#) fordampningens variation i tid og ud over indvinding er alle leddene i ligningen tidsvarierende. I vinterhalvåret er afstrømningen og søvandstanden høj da nedbøren overstiger fordampningstab. Minimums-vandføringen optræder om sommeren hvor fordampningstab overstiger nedbør og søvandstanden er faldende.

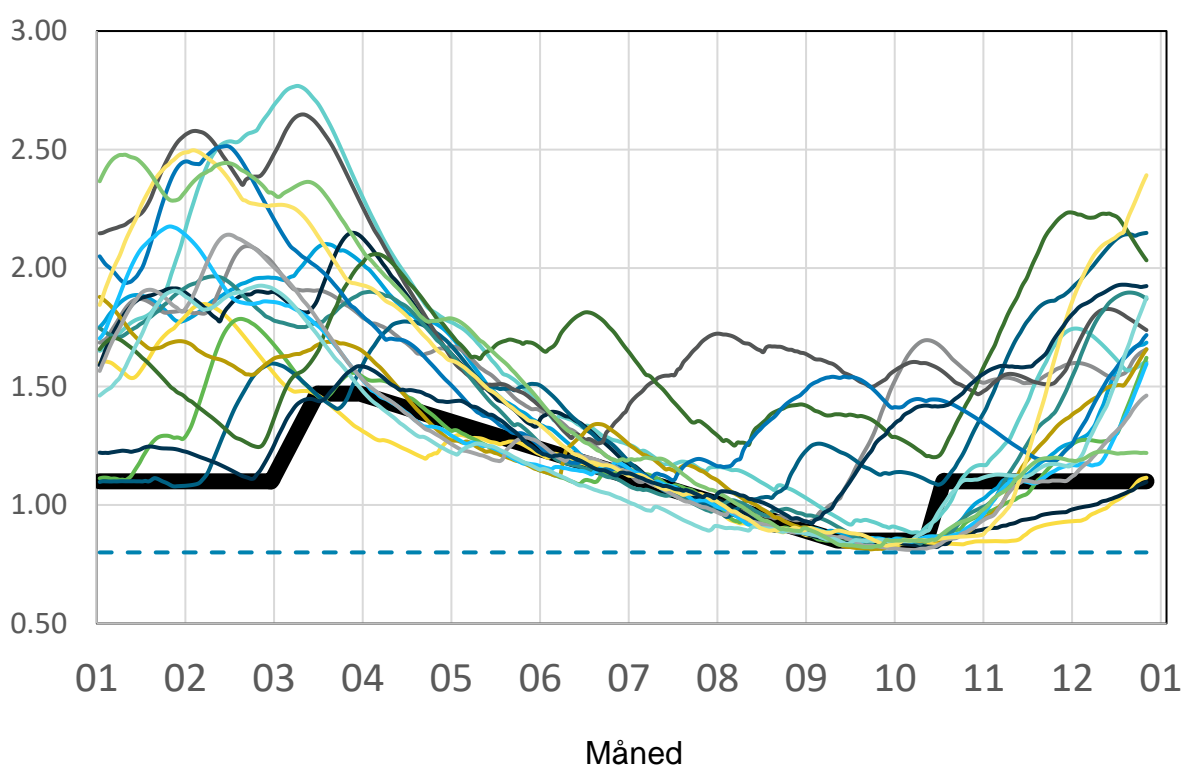


Figur 1-2 Fordampningens variation over tid (mm/dag), (eksempel på årstidsforløb, 2017)

Magasineringsændringen er interessant i den forstand at den i en vis grad kan påvirkes aktivt igennem vandstandsregulering, som det er tilfældet med stemmeværket og tilhørende styring. [Figur 1-3](#) viser årlige vandstandsforløb for perioden 2000-2017 og sigtepunktskurven der anvendes i den nuværende styring af Tissø stemmeværk. Figuren illustrerer tydeligt de store klimatisk betingede tidlige variationer. I mange af årene følger vandstanden sigtepunktskurven

ned fra ca. 1,5 m om foråret til ca. 0,85 m i september. Vandstandsændringen på 0,65 m svarer til en volumenændring på ca. 7,8 mill. m³ eller en middelvandføring over perioden april-september på ca. 0,6 m³/s. Samtidigt er det tydeligt at vandstanden ikke følger sigtepunktskurven i et antal våde år. En statisk betragtning baseret på gennemsnit (som Tabel 1-4), minimum eller maksimum kan ikke bruges som kriterie. For at afspejle variation i tid benyttes i stedet procentdelen af tid (indenfor en 18 års periode med store variationer) hvor krav ikke er opfyldt som mål for i hvor høj grad målsætningen kan opnås. Modelberegninger af vandstand og vandføring foretages med times tidsskridt og benyttes til beregning af procentsats for de forskellige tilfælde af styringsmodel, indvinding, klimaændring osv.

Vandstand (m)



Figur 1-3 Årlige Tissø vandstandsforløb for årene 2000-2017.

1.4 Resultater

For at belyse hvor ofte indvindingen overskrider 50 % af den aktuelle vandføring i sommerperioden (juni-august), hvor minimumsvandføringer optræder, er dette tilføjet resultattabel udarbejdet i forbindelse med opstilling og afestning af en ny styringsmodel.

Tabel 1-5 viser procentdel af tid hvor indvinding overskrider 50 % af den aktuelle vandføring ved udløb fra Tissø. Heraf fremgår det at det ikke forekommer (overskrides 0 % af tiden) i langt de fleste tilfælde af kombinationer imellem styringsmodel, indvindingsmængde og klima. Det kan dog forekomme ca. 1 % af tiden i perioden juni-august under de nuværende forhold (med sigtepunktskurve). Desuden vil 50 % grænsen kunne overskrides 1 % af tiden når klimaændring og klimavariabilitet indregnes med de nye styringsmodeller (A eller B).

Det vil sige at 50 % grænsen kun nås i tørre år og kun kortvarigt, dvs. år hvor minimumsvandføringen falder under medianminimumsvandføringen.

Tabel 1-5 Andel af tid hvor indvinding udgør mere end 50 % af medianminimumsvandføring

Variable			Procent af tiden hvor kriteriet ikke er opfyldt
Klima	Styring	Indvindings mængde m ³ /år	Indvind. > 50 % af udløb Jun - aug
Nuværende	Sigtepunktskurve	3.5	1
Nuværende	Intet stemmeværk	0.0	0
Nuværende	A	3.5	0
Nuværende	A	5.0	0
Nuværende	A	7.0	0
Nuværende	B	3.5	0
Nuværende	B	5.0	0
Nuværende	B	7.0	0
Klimaændring 2050	A	3.5	0
Klimaændring 2050	A	5.0	0
Klimaændring 2050	A	7.0	0
Klima-variabilitet	A	3.5	0
Klima-variabilitet	A	5.0	1
Klima-variabilitet	A	7.0	1
Klimaændring 2050	B	3.5	0
Klimaændring 2050	B	5.0	0
Klimaændring 2050	B	7.0	0
Klima-variabilitet	B	3.5	1
Klima-variabilitet	B	5.0	1
Klima-variabilitet	B	7.0	1

2 Vandføring og fiskevandring om foråret

Arbejdet med ny styringsmodel for Tissø stemmeværk har taget afsæt i kravene formuleret i Tissø Forum. I samarbejde med interessenter er der opstillet en række krav, herunder hvilken minimumsvandføring, der skal søges opretholdt i givne perioder. DTU Aqua er ikke enig i kravene og fremhæver at vandring af ungfisk/smolt i forårs månederne ikke kan ske ved den anførte minimumsvandføring på 0,5 m³/s. Der er behov for en højere vandføring i april-maj. Af denne årsag er det valgt at se nærmere på vandføringen i denne periode ved en ny styring og et ændret stemmeværk.

På baggrund af den modelberegnete vandføring er det undersøgt i hvor høj grad de tre minimumsvandføringskriterier kan opfyldes i april-maj. Tabel 2-1 viser resultattabel for de mange tilfælde analyseret i forbindelse med udvikling af en styringsmodel, men her udvidet med tre kolonner (for en mere detaljeret resultattabel henvises til bilag A). Her ses specifikt på vandføringen i april-maj og hvor ofte en minimumsvandføring på hhv. 0,5 m³/s, 0,7 m³/s og 1,5 m³/s ikke kan opfyldes. Tabellen viser at vandføringen altid ligger over 0,5 m³/s i perioden uanset styringsmodel, indvindingsmængde og klima. Når det gælder 0,7 m³/s er det kun 1 % af tiden at dette ikke kan opfyldes med det nuværende stemmeværk og sigtepunktskurve, hvorimod overskridelsen er 9-23 % af tiden med nuværende klima, ny styringsmodel og indvinding på 3,5 – 7,0 m³/s. Under nuværende forhold vil vandføringen ligge under 1,5 m³/år i 16 % af tiden og det vil øges til 29 % med en ny styringsmodel.

Man kan overordnet konstatere at en ny styringsmodel vil tilbageholde og opmagasinere vand tidligt på året for at kunne opretholde minimumsvandføringen og sikre indvinding sidst på sommeren. Det er netop hvad styring i forhold til sigtepunktskurven ikke er i stand til, da den frigør mere vand om foråret.

En høj vandføring i forårs månederne sker derfor i en vis forstand på bekostning af vandføringen senere på året og effekten på fisk og øvrige hensyn skal derfor samlet vurderes i dette lys.

Tabel 2-1 Minimumsvandføringer, april-maj

Variable			Procent af tiden hvor kriteriet ikke er opfyldt		
Klima	Styring	Indvindings mængde m ³ /år	Q<0.5 m ³ /s april - maj	Q<0.7 m ³ /s april - maj	Q<1.5 m ³ /s april - maj
Nuværende	Sigtepunktskurve	3.5	0	1	16
Nuværende	Intet stemmeværk	0.0	0	0	10
Nuværende	A	3.5	0	9	29
Nuværende	A	5.0	0	10	30
Nuværende	A	7.0	0	11	32
Nuværende	B	3.5	0	19	20
Nuværende	B	5.0	0	20	22
Nuværende	B	7.0	0	23	24
Klimaændring 2050	A	3.5	0	8	27
Klimaændring 2050	A	5.0	0	10	28
Klimaændring 2050	A	7.0	0	11	31
Klima-variabilitet	A	3.5	0	13	27
Klima-variabilitet	A	5.0	0	15	28
Klima-variabilitet	A	7.0	0	17	29
Klimaændring 2050	B	3.5	0	18	19
Klimaændring 2050	B	5.0	0	19	21
Klimaændring 2050	B	7.0	0	21	23
Klima-variabilitet	B	3.5	0	22	23
Klima-variabilitet	B	5.0	0	23	24
Klima-variabilitet	B	7.0	0	25	26

3 Naturlig kontra reguleret vandføring

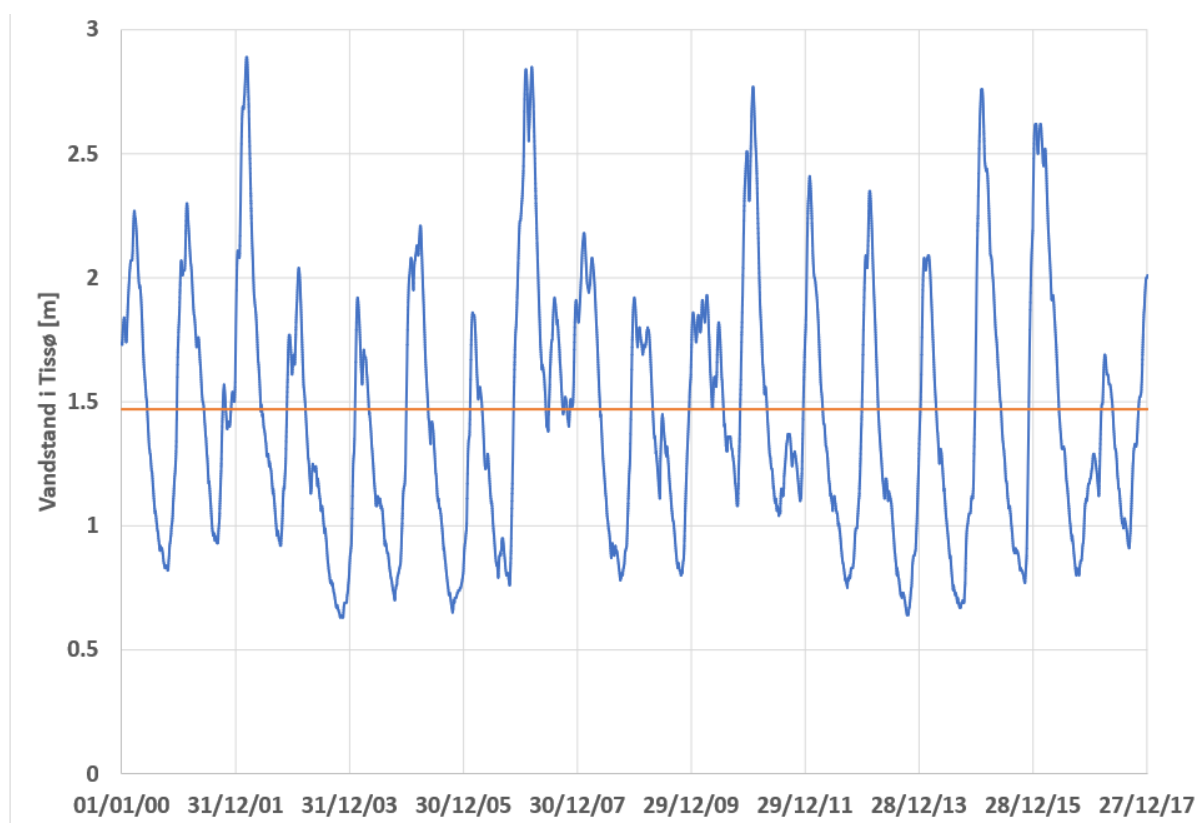
Der er udarbejdet en ny styringsmodel der sigter imod at opretholde forskellige krav til minimumsvandføring i Nedre Halleby Å. Her har udgangspunktet været at krav til minimumsvandføring fra Tissø Forum kan være med til at sikre egnede forhold for ørred med hensyn til ophold og vandring. Kravene omfatter opretholdelse af minimumsvandføring i angivne perioder på hhv. 0,5 m³/s, 0,7 m³/s og 1,5 m³/s.

DTU Aqua fremhæver dog at en mere naturlig vandføring med større tidlige variationer er gunstig for ørred frem for opretholdelse af minimumsvandføring. Derfor er der behov for at belyse forskellen imellem en mere naturlig situation, der her er defineret ved en tilstand uden indvinding og stemmeværk, i forhold til en situation med ny styringsmodel og de foreslåede ændringer for stemmeværket.

Det skal indskydes at der på grund af søens magasineringseffekt ikke er tale om en stærk varierende vandføring, men i højere grad en årstidsvariation, der følger vandstanden i søen. Specielt om foråret ses en nærmest konstant faldende vandføring hvor det ikke er muligt at skelne effekter af enkeltstående nedbørshændelser i vandføringen. Om efteråret er der en støt stigende vandføring i takt med at vandstanden i søen stiger. Efterhånden som vandstanden i søen igen bygges op vil man kunne se variationer i vandføringen i forbindelse med større nedbørshændelser. De mindre fluktuationer der ses ved lave vandføringer skyldes tilløb fra Bøstrup Å som giver anledning til stuvningseffekter. Ligeledes kan tilbagestuvning ved høje vandstande i Storebælt forekomme i Nedre Halleby Å.

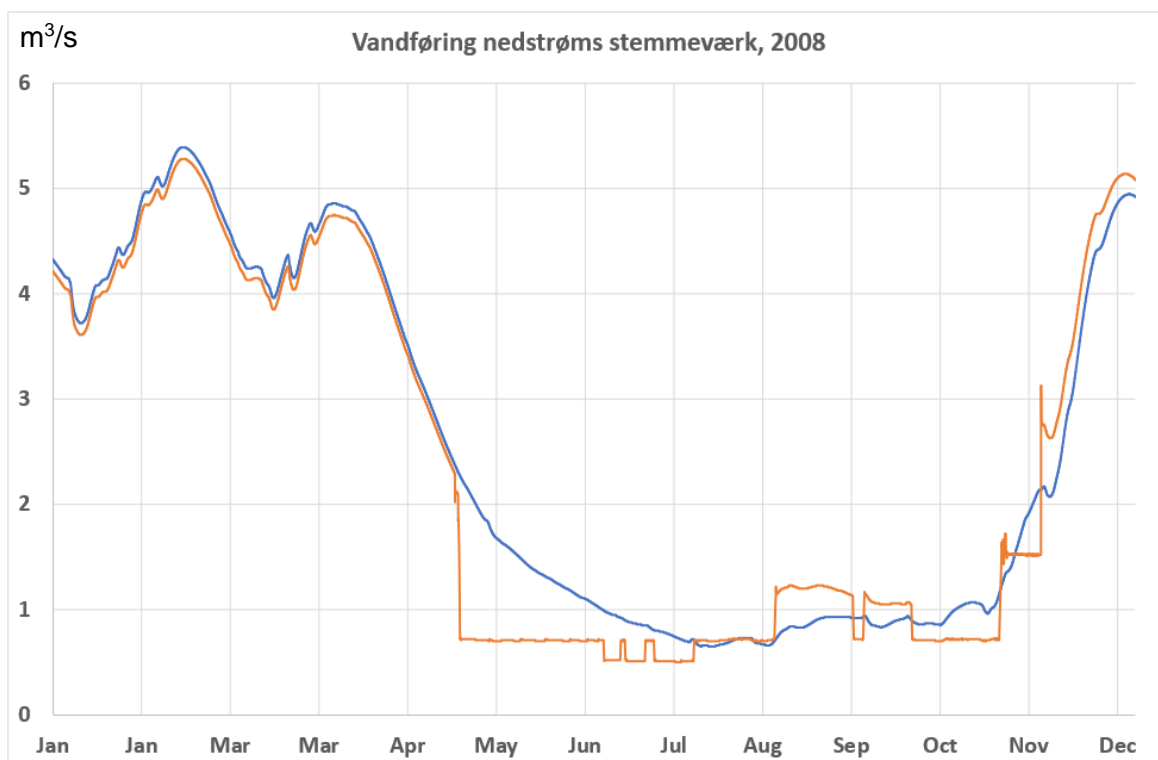
Med den nye styringsmodel der vil blive styret efter en minimumsvandføring når vandstanden falder under 1,47 meter.

I Figur 3-1 er vandstanden i Tissø vist for en situation uden stemmeværk og indvinding hvor klimaændringer og klimavariation er medregnet. Grænsen under hvilke der styres efter minimumsvandføring, er også markeret. Det fremgår at vandstanden falder under 1,47 meter i forårsmånederne. Vandstanden er først tilbage over denne værdi sent på efteråret og nogle gange først i vintermånederne. Det er således i denne periode at stemmeværksstyringen vil have effekt og den regulerede tilstand (ny styringsmodel) kan afvige fra den uregulerede (uden stemmeværk og indvinding).

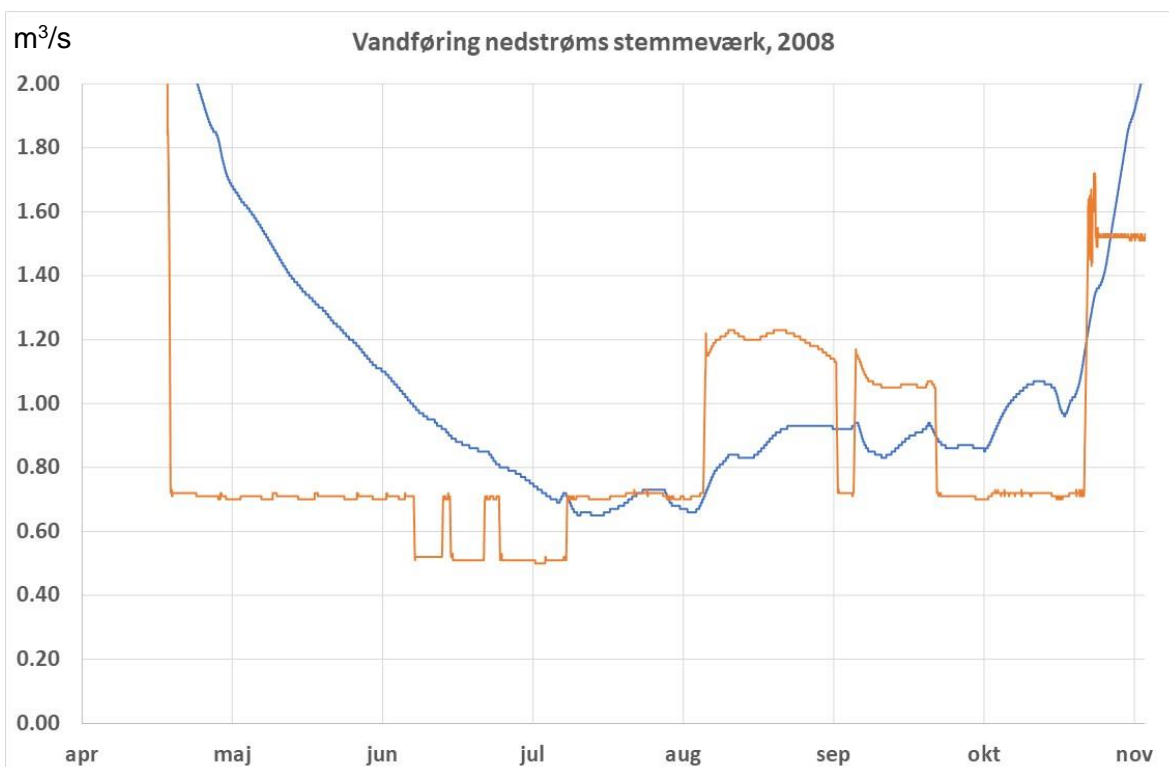


Figur 3-1 *Modelsimuleret vandstand i Tissø i en situation uden stemmeværk og indvinding (med klimaændring og klimavariation).*

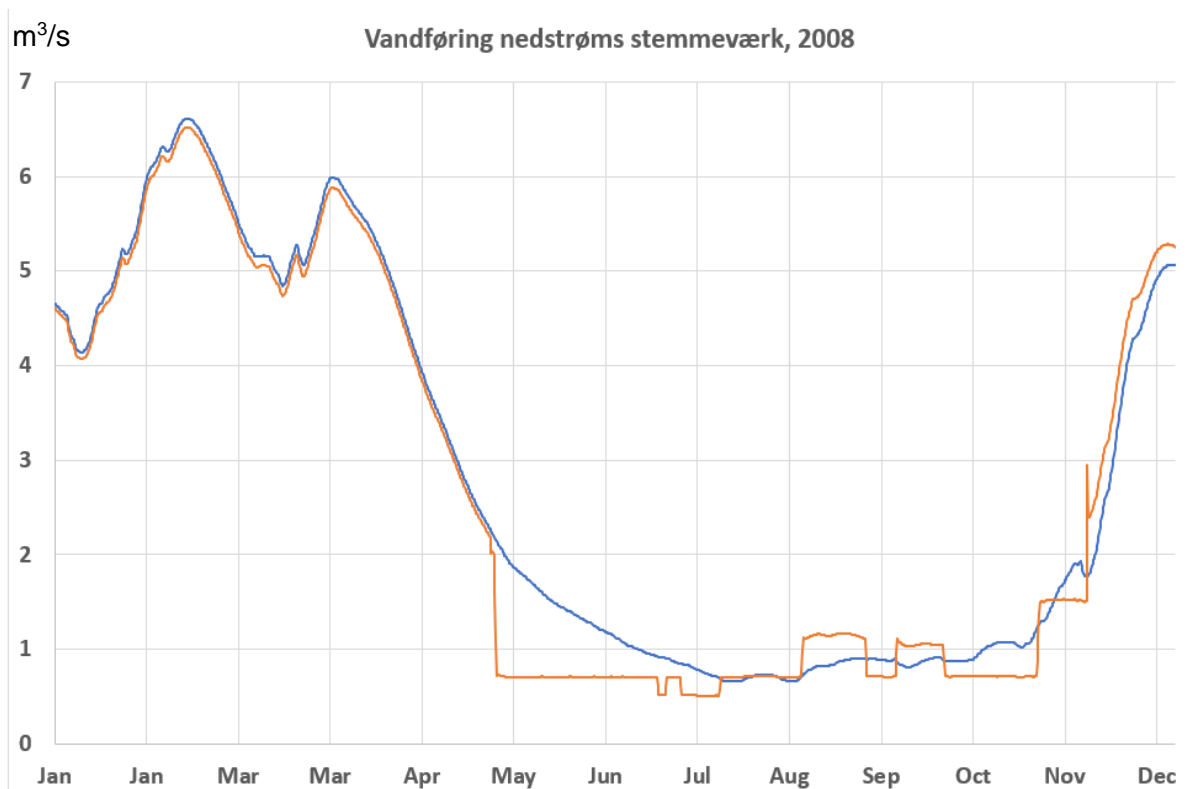
Til illustration af forskellen i vandføring imellem en situation uden stemmeværk og indvinding kontra en situation med en ny styringsmodel, er der i Figur 3-2 - Figur 3-5 vist kurver for vandføringen (m^3/s) nedstrøms stemmeværket. Sammenligningen er her for udvalgte år, 2008, 2011 og 2015 ud af simuleringsperioden (2000-2017). Kurverne viser dels hele vandføringsforløbet over året og et zoom på vandføringer op til $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$ for sommerperioden. Effekten af en ny styring er tydelig idet man i kurverne med ny styringsmodel kan se at vandføringen lægger sig omkring niveauer for de specificerede minimumsvandføringer. Hvert år vil have forskelligt kurveforløb, men effekten af den ny styringsmodel fremgår tydeligt i dette eksempel.



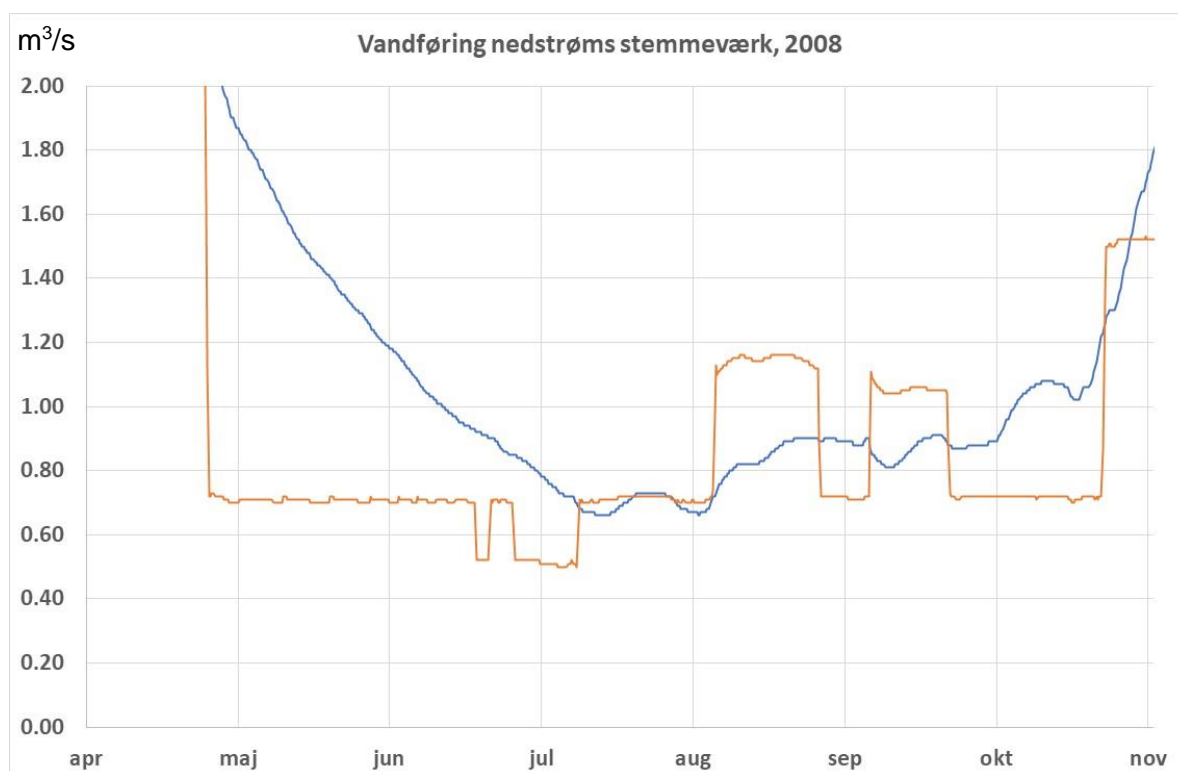
Figur 3-2 2008 kurver for vandføring hhv. uden stemmeværk og indvinding (blå) og med nyt stemmeværk, indvinding på 3,5 mill. m³/år og ny styring, nuværende klima (orange)



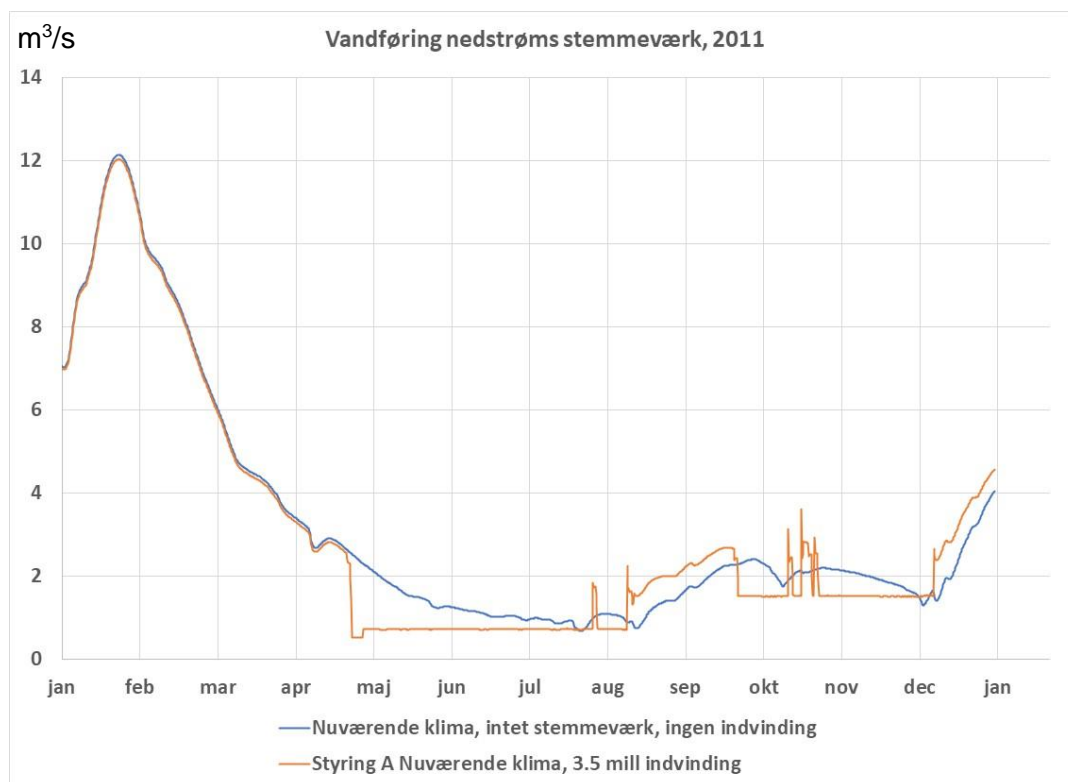
Figur 3-3 Zoom in på lave vandføringer – 2008 kurver for vandføring hhv. uden stemmeværk og indvinding (blå) og med nyt stemmeværk, indvinding på 3,5 mill. m³/år og ny styring, nuværende klima (orange)



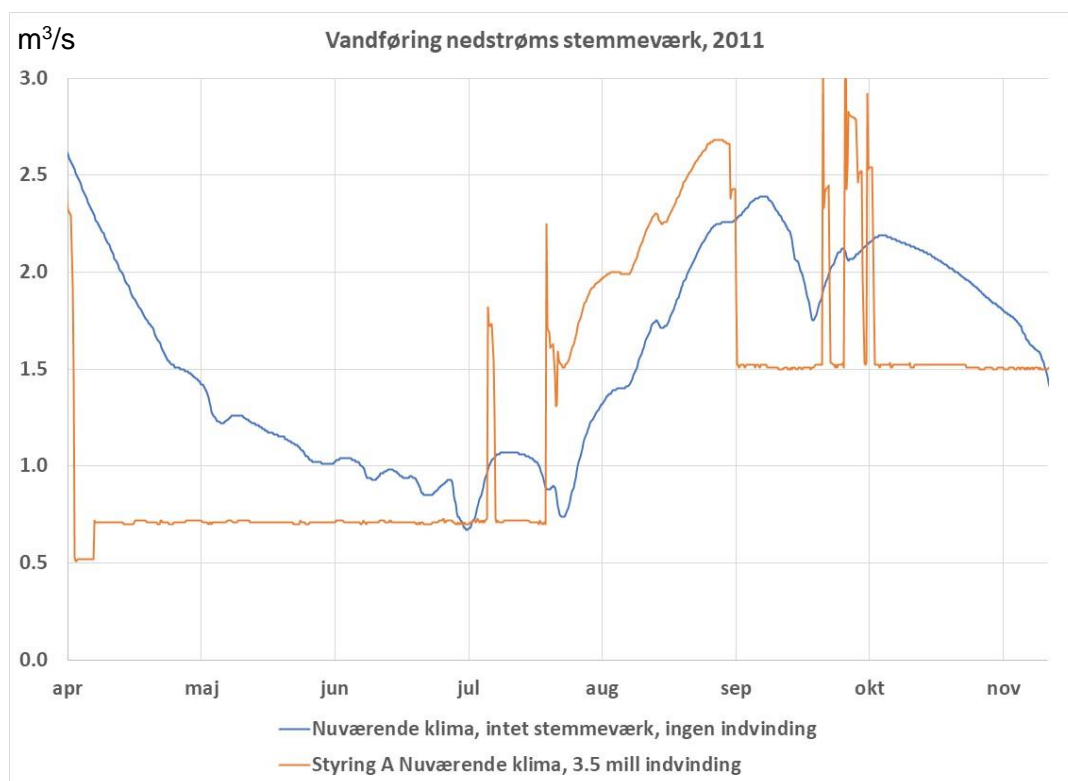
Figur 3-4 2008 kurver for vandføring hhv. uden stemmeværk og indvinding (blå) og med nyt stemmeværk, indvinding på 3,5 mill m³/år og ny styring, med klimæændring (orange)



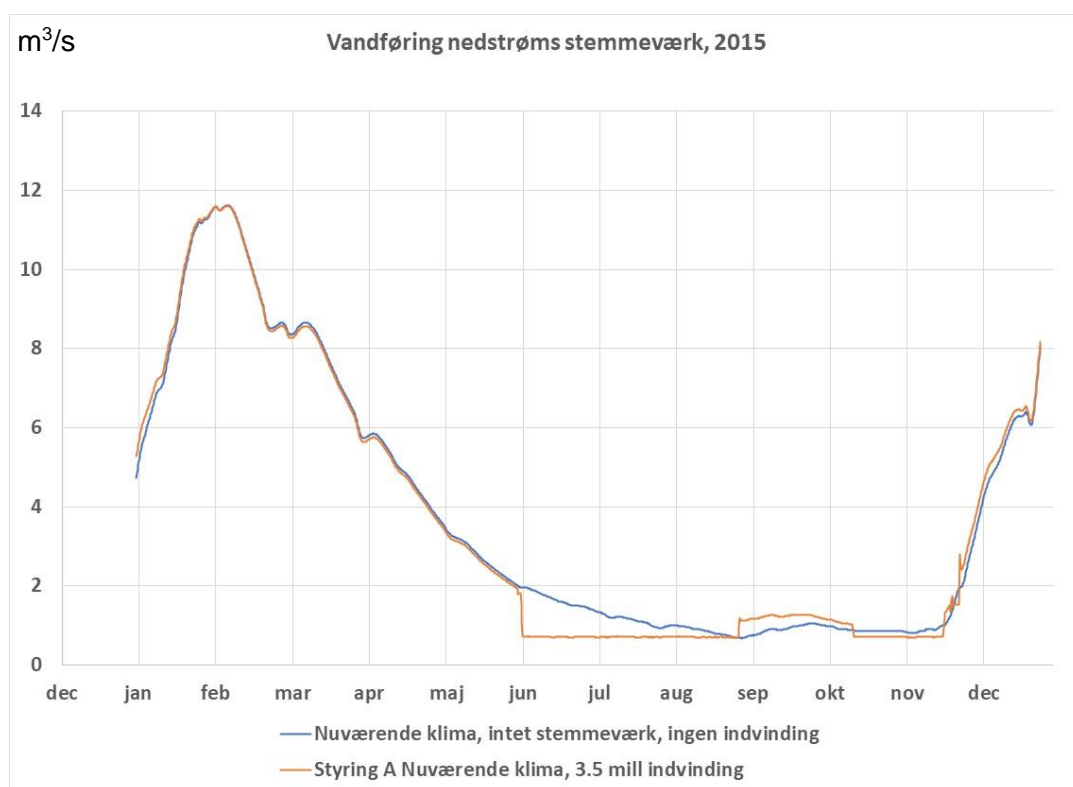
Figur 3-5 Zoom in på lave vandføringer - 2008 kurver for vandføring hhv. uden stemmeværk og indvinding (blå) og med nyt stemmeværk, indvinding på 3,5 mill m³/år og ny styring, med klimæændring (orange)



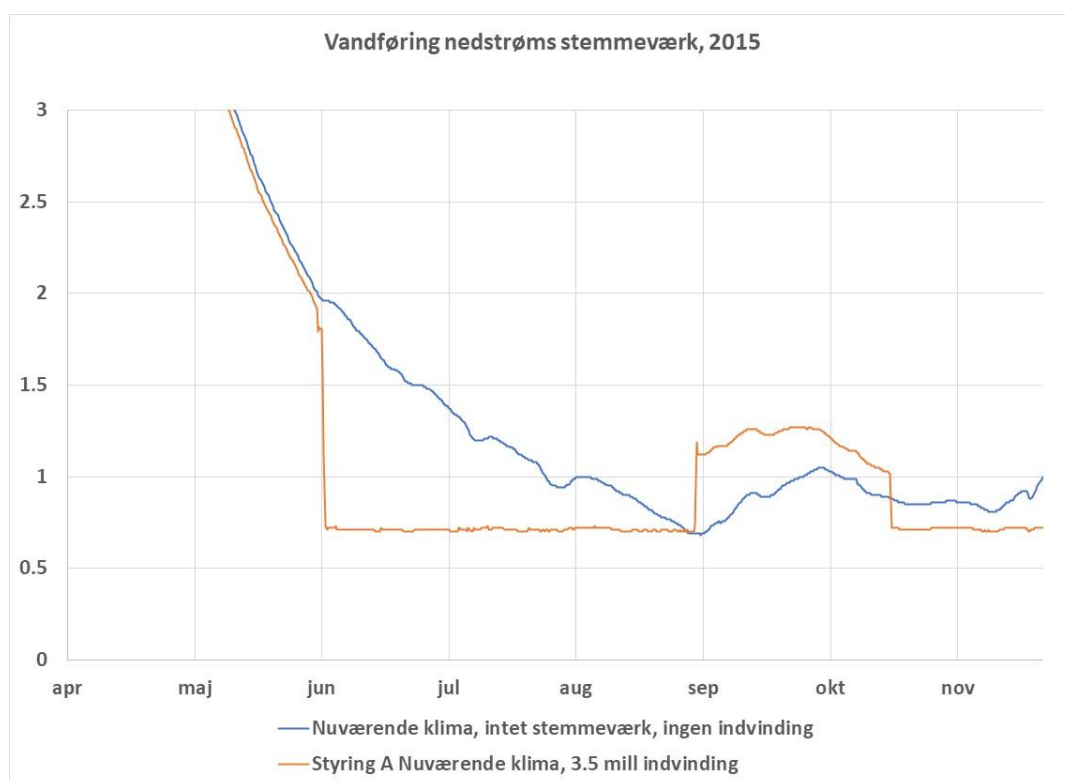
Figur 3-6 2011 kurver for vandføring hhv. uden stemmeværk og indvinding (blå) og med nyt stemmeværk, indvinding på 3,5 mill. m³/år og ny styring, nuværende klima (orange)



Figur 3-7 Zoom in på lave vandføringer – 2011 kurver for vandføring hhv. uden stemmeværk og indvinding (blå) og med nyt stemmeværk, indvinding på 3,5 mill. m³/år og ny styring, nuværende klima (orange)

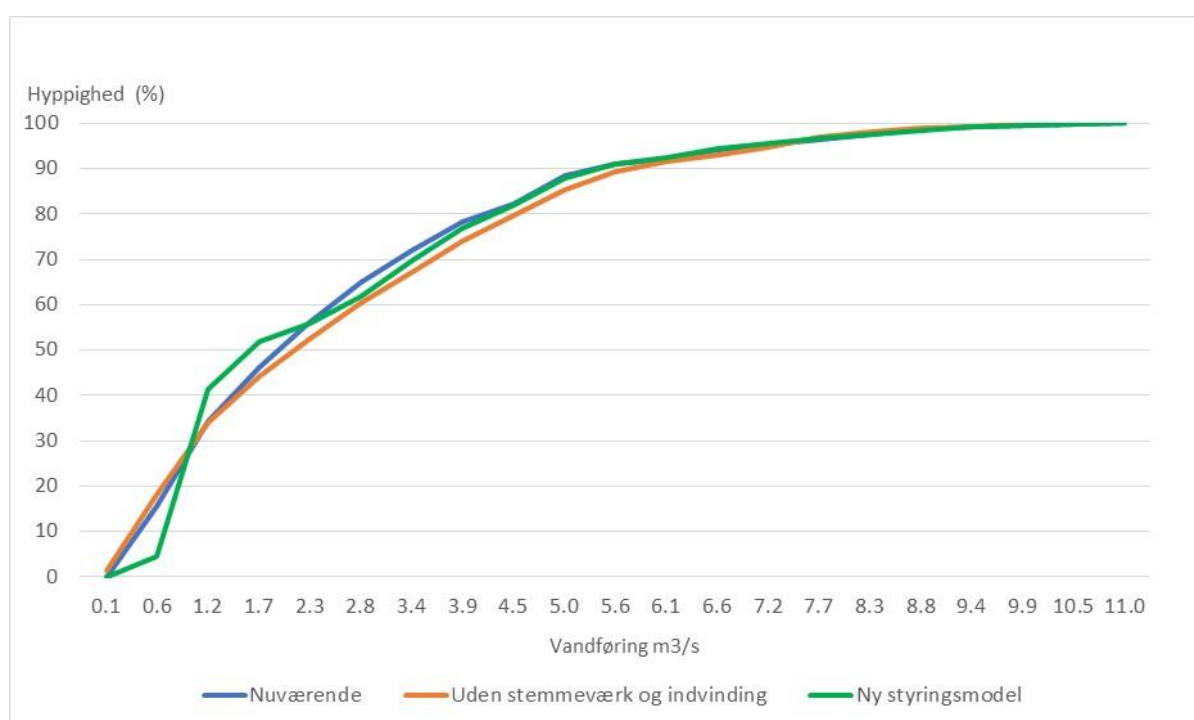


Figur 3-8 2015 kurver for vandføring hhv. uden stemmeværk og indvinding (blå) og med nyt stemmeværk, indvinding på 3,5 mill. m³/år og ny styring, nuværende klima (orange)

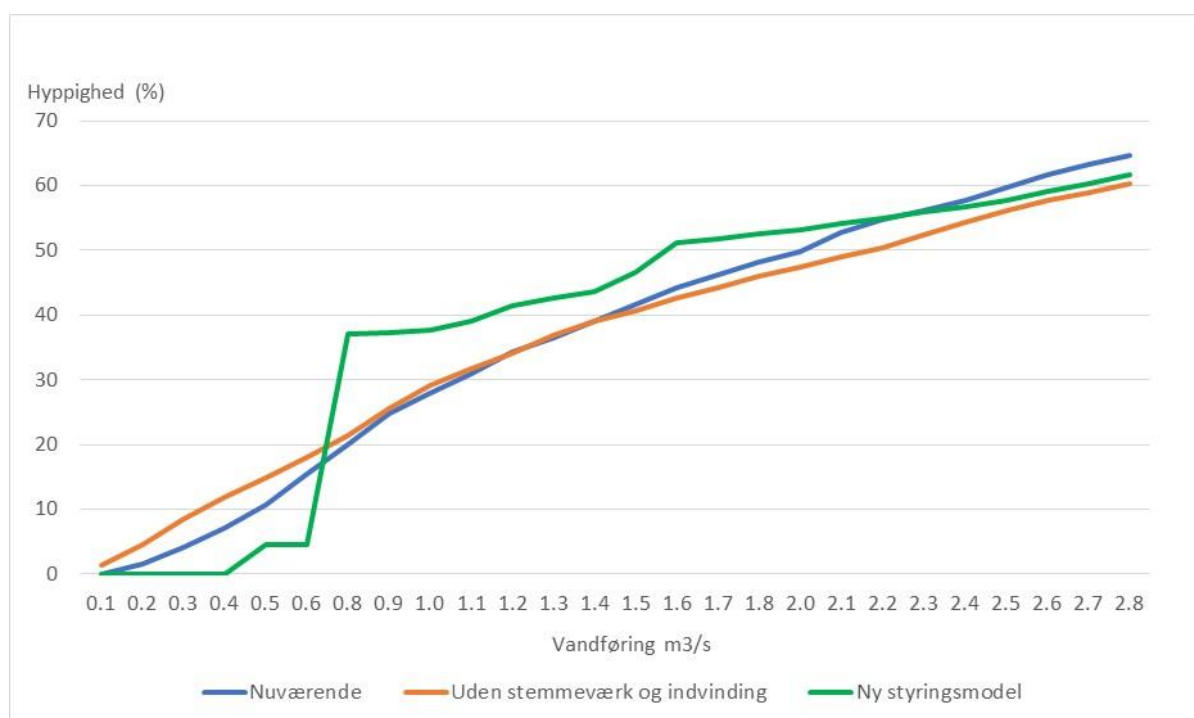


Figur 3-9 Zoom in på lave vandføringer – 2015 kurver for vandføring hhv. uden stemmeværk og indvinding (blå) og med nyt stemmeværk, indvinding på 3,5 mill. m³/år og ny styring, nuværende klima (orange)

Varighedskurver (Figur 3-10) viser hele vandføringsintervallet opdelt i fraktiler (svarende til et vandføringsinterval på 0,1 – 11,0 m³/s)) på x-aksen og den procentdel af tid den pågældende vandføring forekommer på y-aksen (0-100 %). For de lave vandføringer (10 % fraktilen og derunder) ses forskelle for de tre kurver, hhv. den nuværende situation (blå), uden stemmeværk og indvinding (orange) samt for den nye styringsmodel (grøn : indvinding på 3,5 mill. m³/år og nuværende klima). Det ses at der uden stemmeværk og indvinding vil optræde lave vandføringer oftere end for den nuværende situation. Endnu mere tydelig er effekten af en ny styringsmodel, der eliminerer eller tydeligt reducerer hyppigheden af lave vandføringer under 5 % fraktilen (svarende til ca. 0,7 m³/s). Modsat øger den varigheden af vandføringer for 10-15 % fraktilen hvilket vil sige at der oftere forekommer vandføringer i dette interval med den nye styringsmodel. Styringsmodellem omfordeler vandføringen over tid til fordel for de laveste vandføringer i Nedre Halleby Å.



Figur 3-10 Varighedskurver for simuleret vandføring



Figur 3-11 Zoom ind på varighedskurver for lave vandføringer

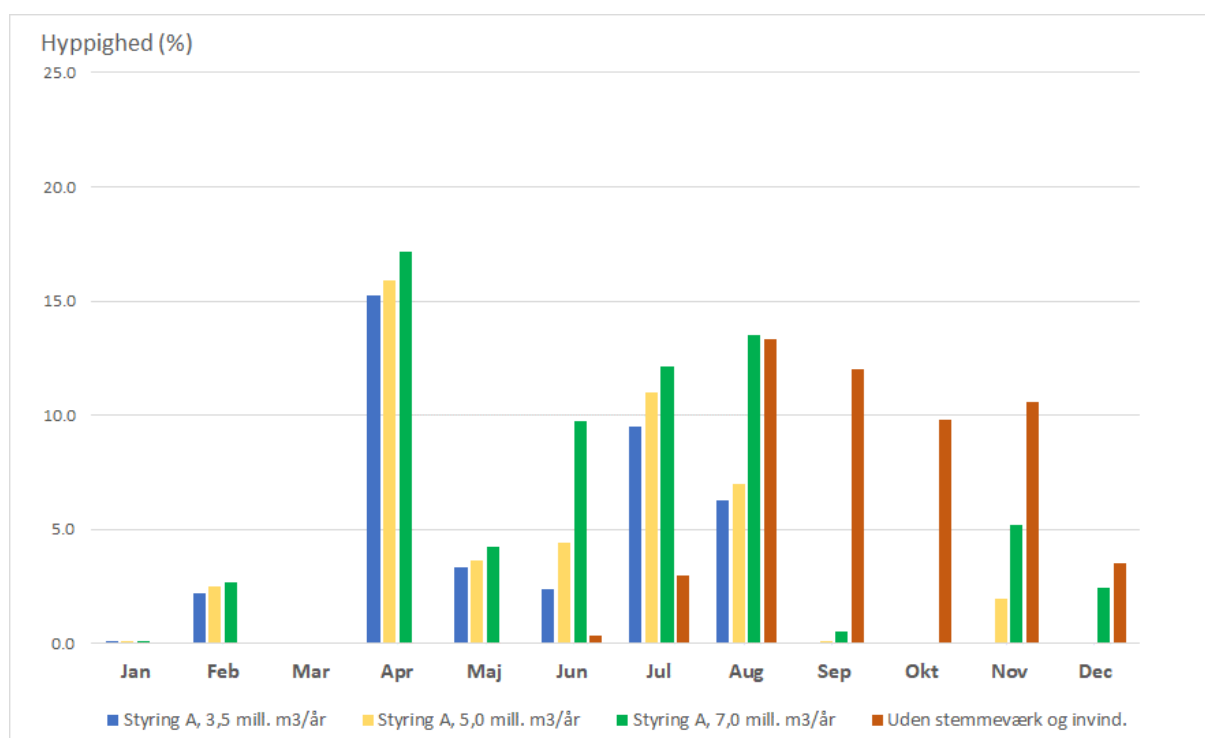
Variationen i vandføring, særligt i sommerperioden hvor stemmeværksstyringen spiller en rolle, kan beregnes ud fra modelresultater. Modellen beregner vandføring på timeniveau og variansen kan beregnes. Variansen er et statistisk mål for, hvor meget vandføringen i gennemsnit afviger fra middelværdien og dermed for variationen. Tabel 3-1 viser dels de beregnede middelvandføringer og vandføringens varians for sommerperioden, 2004-2017. Med hensyn til varians er der forskelle fra år til år, men det overordnede billede er at der i forhold til det nuværende stemmeværk og sigtepunktsskurven vil være mindre varians hvis stemmeværk fjernes og indvinding ophører, hvorimod der er større varians ved nyt stemmeværk og ny styringsmodel. Det viser at stemmeværk med tilhørende styring ikke mindsker variationer i vandføringen. Variansen siger ikke noget om årsagen til variation, altså om den er udtryk for styring og regulering eller andre faktorer.

Tabel 3-1 Vandføringens varians i sommerperioden (m^3/s), ved udløb fra Tissø.

År	Nuværende (m^3/s)		Uden stemmeværk og indvinding (m^3/s)		Ny styringsmodel (m^3/s)	
	Middelværdi	Varians	Middelværdi	Varians	Middelværdi	Varians
2004-2017	0.50 - 1.98	0.04 - 0.29	0.69 - 2.08	0.02 - 0.29	0.51 - 2.11	0.0-0.33
Middel 2004-2017	1.06	0.12	1.19	0.10	1.03	0.19

4 Reguleret vandføring i forhold til medianminimumsvandføring

Det er påpeget at vandføringen med en ny styring af Tissø stemmeværk i perioder vil kunne falde under medianminimumsvandføringen beregnet uden stemmeværk og indvinding. Styringen sigter på at opretholde en minimumsvandføring der kan falde til 500 l/s, hvilket ligger under den beregnede Qmm på 651 l/s. Hvor styringen kan bidrage til bedre at opretholde minimumsvandføringen i sommer-efterårsperiode indebærer det samtidigt at vandføringen kan mindskes om foråret. Det sker når vandstanden falder under 1,47 m. På den ene side sikrer styringen at der tilbageholdes vand i Tissø for at kunne opretholde minimumsvandføring og indvinding senere på året, men samtidig reduceres den aktuelle vandføring når dette sker. For at belyse hvor ofte vandføringen ved udløb fra Tissø falder under medianminimumsvandføringen er Figur 4-1 udarbejdet. For hver måned er det beregnet hvor ofte dette forekommer for perioden 2000-2017. Uden stemmeværk og indvinding falder vandføringen aldrig under 651 l/s i første halvår. I sidste halvår er det særligt i august (13,3 %) og i september (12 %) at vandføringen kan ligge under Qmm når man ser på det nuværende klima. Tendensen forstærkes ved indregning af klimændringer og klimavariabilitet samt ved øget indvinding (3,5 – 7,0 mill. m³/år).



Figur 4-1 Procentdel af tid per måned hvor vandføringen ved udløb fra Tissø falder under medianminimumsvandføringen beregnet uden stemmeværk og indvinding.

Med styring reduceres procentdelen af tid hvor vandføringen falder under Qmm i andet halvår, hvilket netop er formålet i forhold til de opstillede kriterier, nemlig at sikre mere vand til rådighed i denne periode. Mest markant ses forbedringen i september og oktober. Derimod reducerer styringen (A og B) vandføringen tidligere på året og efter tørre vintre vil der med den nye styring kunne forekomme perioder i første halvår, mest udpræget i april, hvor vandføringen når ned omkring de 500 l/s. Selv om styringen netop her honorerer den ønskede minimumsvandføring

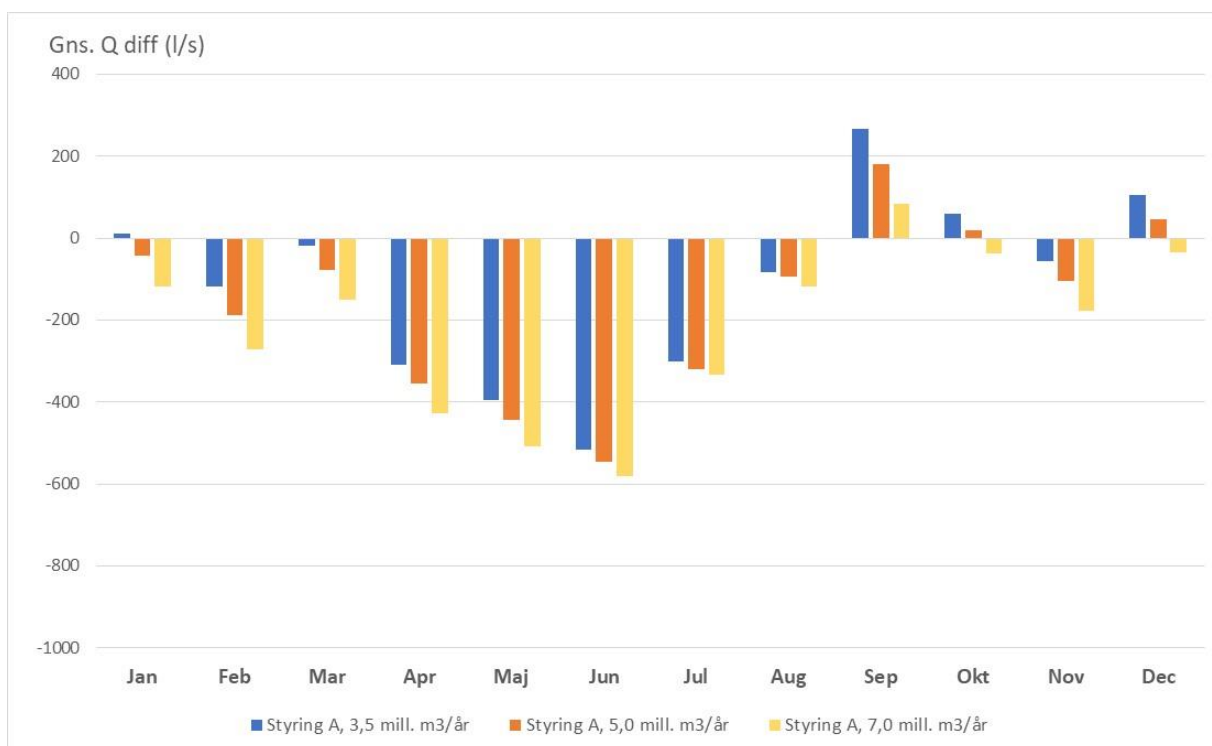
ligger den under Q_{mm} og vil dermed bidrage til den beregnede procentdel af tid hvor vandføringen falder under Q_{mm} . Styringen har en udjævnende effekt men det betyder at vandføringen både vil være generelt højere om efteråret og lavere om foråret. Derfor ses en tilhørende ændring af hyppighed med hensyn til vandføringer under Q_{mm} . Forløbet i vandstand og vandføring viser dog store udsving afhængig af klimavariation over den valgte årrække, 2000-2017.

I bilag ses detaljerede tabeller gældende for vandføringen ved udløb fra Tissø samt længere nedstrøms i Nedre Halleby Å, ved Bøstrup Ås tilløb og Gørlev landevej.

5 Vandføringsdifferens

Som Figur 3-2 - Figur 3-9 viser eksempler på vil den modelberegnete vandføring med en ny styring og indvinding afvige fra en situation uden stemmeværk og indvinding. Der er tale om både negative og positive vandføringsdifferenser, typisk betyder styringen lavere vandføring om foråret, men højere om efteråret. Vandføringsdifferenserne varierer tydeligvis hvert år og af hensyn til at opnå et bedre overblik er effekten opgjort for hver måned for perioden 2000-2017.

Figur 5-1 viser forskellen i vandføring imellem henholdsvis den nye styring og en situation uden stemmeværk og indvinding ved udløbet fra Tissø. Værdierne er gennemsnitlige månedlige differenser (l/s) og det ses at vandføringen reduceres i første halvdel af året ved den nye styring og øges i anden halvdel. Indvindingen svarer til ca. 110 l/s ved 3,5 mill. m³/år og 220 l/s ved 7,0 mill. m³/år. Den er forudsat fordelt jævnt over året. Dertil kommer opmagasinering i Tissø for at sikre tilstrækkeligt vand til indvinding og minimums vandføring om efteråret. Der sker en netto reduktion af vandføring i første halvdel af året, særlig april-juni, ud over indvinding. Til gengæld sker en netto forøgelse af vandføring fra august og frem efter ud over indvinding. Resultaterne illustrerer styringens omfordeling af vandføringen igennem opmagasinering og gradvis frigivelse fra Tissø. Gennemsnitsværdierne dækker over store tidslige variationer fra år til år.



Figur 5-1 Månedsgennemsnitlig forskel i vandføring ved udløb af Tissø imellem ny styring (A) og indvinding på 3,0-7,0 mill. m³/år og en situation uden stemmeværk og indvinding med nuværende klima.

I bilag findes detaljerede tabeller for vandføringsdifferenser for både nuværende forhold og med klimændring ved udløb fra Tissø, ved Bøstrup Å tilløb og ved Gørlev landevej.

6 Sammenfatning

Vandføringen i Nedre Halleby Å er ikke alene en funktion af vandføringen i Øvre Halleby Å samt indvindingen fra Tissø. Opstilling af vandbalance for Tissø illustrerer andre betydende faktorer forbundet til bl.a. søfladen og magasineringsevnen. I takt med at vandstanden reguleres ned fra forår til sommer frigives det magasinerede volumen og bidrager væsentligt til vandføringen i Nedre Halleby Å.

Påvirkningsberegninger kan tage udgangspunkt i at indvinding sker direkte fra vandføringen i Halleby Å, her betegnet som en direkte påvirkning. Omvendt kan man hævde at indvindingen sker fra det allerede opmagasinerede volumen i Tissø. Her argumenteres for at en mere passende tilgang er at betragte en sammenhængende, dynamisk vandbalance hvor både sø og vandløb indgår.

Påvirkningsberegning ud fra den direkte metode er udført ved først at køre en model uden stemmeværk og indvinding og dernæst beregne medianminimumsvandføring umiddelbart nedenfor stemmeværket, ved Bøstrup Ås tilløb og ved Gørlev landevej. Resultatet viser at en indvinding på 3,5 – 7,0 mill. m³/år vil udgøre 17-34 % af medianminimumsvandføringen (651 l/s) ved Tissø's udløb. Hvis klimaændring og klimavariation indregnes bliver påvirkningen 18-36 %. Påvirkningsgraden aftager ved Bøstrup Ås tilløb til Nedre Halleby Å da minimumsvandføringerne hermed øges.

Ifølge en vandbalance kan Øvre Halleby Å og Nedre Halleby Å ikke betragtes som en vandløbsstrækning, der påvirkes af overfladevandsindvinding, uden at inddrage Tissø. Tissø repræsenterer uanset vandstandsregulering og indvinding en stor søflade og et stort reservoir, der har indflydelse på størrelse og tidlig variation af vandføringen i Nedre Halleby Å. I notatet er Tissø vandbalancens dele beskrevet og disse er alle repræsenteret i den kombinerede, dynamiske model for sø og vandløb, der tidligere er anvendt til udvikling af en ny styringsmodel. Modellen er derfor velegnet til at se på påvirkning, f.eks. udtrykt i hvor stor en del af tiden en given vandføring vil optræde ved Tissø's udløb. Modelresultater viser at indvindingen overstiger 50 % af den aktuelle vandføring i 0-1 % af tiden.

DTU Aqua peger på at kravene til minimumsvandføring opstillet i Tissø Forum, for at sikre egnede forhold for ophold og vandring for ørred, ikke tilgodeser ungfisks nedstrøms vandring om foråret, hvor en vandføring på 0,5 m³/s ikke vurderes at være tilstrækkelig. På den baggrund er det undersøgt hvilken vandføring der kan forventes i april-maj. Her gælder det at vandføringen altid er højere end 0,5 m³/s uanset om det gælder nuværende forhold, en situation uden stemmeværk og indvinding eller en ny styringsmodel. Den nye styringsmodel indebærer derimod større andel af tid hvor vandføringen ikke når op på 0,7 m³/s, fra 9% af tiden ved en indvinding på 3,5 mill. m³/år stigende op til 23 % af tiden ved en indvinding på 7,0 mill. m³/år.

Ud fra en modelberegning uden stemmeværk og indvinding er medianminimumsvandføringen (Q_{mm}) ved udløb fra Tissø bestemt til 651 l/s for det nuværende klima. Q_{mm} ligger dermed over det opstillede krav for minimumsvandføringen på 500 l/s, som er lagt til grund for den nye styring af Tissø stemmeværk. En konsekvens heraf er at selv om styringen bidrager til at opretholde de 500 l/s vil den øge hyppigheden af vandføringer under Q_{mm}. Set over året mindsker styringen hyppigheden af vandføringer under Q_{mm} i andet halvår, særligt august-september, imens den samtidig øges i forårsmåned, især april. Når vandstanden falder under 1,47 m, hvilket ofte sker i april, reduceres vandføringen der frigives af stemmeværket til Nedre Halleby Å til 500 l/s. Det kan betyde en væsentlig reduktion, særligt efter tørre vintre, hvor vandstanden i Tissø er relativ lav.

Der er beregnet differenser i vandføring ved den nye styringsmodel kontra en situation uden indvinding og stemmeværk. De er beregnet som månedsmiddelværdier over perioden 2000-2017 og viser samme tendens som ved sammenligning i forhold til medianminimumsvandføring. Indvinding og opmagasinering i Tissø i forårs måneder betyder en netto reduktion i vandføringen i Nedre Halleby Å, mest udtalt i april. Med indvinding og frigivelse af vand fra Tissø i sidste halvdel af året opnås en forøgelse af vandføring mest markant i september.

Ændringer i vandføring, forår og efterår, kan påvirke forholdene for fisk både negativt og positivt. Der er ikke i forbindelse med dette notat udført vurdering i forhold til påvirkning af økologi i Nedre Halleby Å, men der tegner sig et billede af at den nye styring øger vandføringen om efteråret, jf. opstillede kriterier, men formindsker den om foråret. Den positive effekt i form af forøget vandføring om efteråret reduceres når indvindingen øges fra 3,5 mill. m³/år til hhv. 5,0 og 7,0 mill. m³/år og yderligere når klimaændring i klimavariabilitet tages i betragtning.

Tissø Forum har angivet krav om minimumsvandføringer i givne perioder og den nye styringsmodel er baseret på at opfylde disse. DTU Aqua fremfører at en naturlig varierende vandføring er at foretrække frem for en fastholdt minimumsvandføring. Derfor er beregning foretaget for en model uden stemmeværk og indvinding for at sammenligne variationer i vandføring. En sammenligning af varians på den flerårige tidsserie viser at stemmeværk og styring ikke mindsker denne, men tværtimod øger den. Det vi sige at det regulerede system efter den nye styringsmodel har større variation i vandføring, både i forhold til en situation uden stemmeværk og indvinding og i forhold til det nuværende stemmeværk. Beregning af varians skelner ikke imellem variationer der skyldes vandstandsreguleringen eller andre, herunder klimatiske, forhold.

Der er ikke i dialogen med DTU Aqua opstillet nye kriterier i forhold til vandføring som led i en revideret styring og der er heller ikke formuleret kvantitative metoder til at evaluere forhold for fisk og økologiske forhold i Nedre Halleby Å ved de beskrevne ændringer i vandføring.

BILAG

BILAG A – Detaljerede resultattabeller

A.1 Resultattabel, procentdel af tid hvor indvinding udgør mere end 50 % af den aktuelle vandføring ved Tissøs udløb til Nedre Halleby Å.

Variable			Procent af tiden hvor kriteriet ikke er opfyldt							Middel vandstand april-september [meter]
Klima	Styring	Indvindings mængde m ³ /år	Indvinding	Max. H, 1.47 meter	Qmin, ny styring	Qmin = 0.5 m ³ /s, hele året	Qmin = 0.7 m ³ /s, Sep-Jan	Qmin = 1.5 m ³ /s, Sep-Jan	Indvind. > 50 % af udløb Jun - aug	
Nuværende	Sigtepunktskurve	3.5	0	43		11	17	35	1	1.28
Nuværende	Intet stemmeværk	0.0	0	42		1	0	9	0	1.26
Nuværende	A	3.5	0	46	6	0	0	17	0	1.40
Nuværende	A	5.0	1	45	5	0	1	17	0	1.39
Nuværende	A	7.0	2	43	5	0	2	18	0	1.37
Nuværende	B	3.5	2	42	4	0	1	18	0	1.34
Nuværende	B	5.0	2	41	4	0	2	18	0	1.34
Nuværende	B	7.0	3	40	4	0	3	19	0	1.32
Klimaændring 2050	A	3.5	0	45	6	0	0	18	0	1.41
Klimaændring 2050	A	5.0	2	44	7	0	1	18	0	1.40
Klimaændring 2050	A	7.0	3	44	7	0	3	19	0	1.38
Klima-variabilitet	A	3.5	4	43	8	2	3	20	0	1.41
Klima-variabilitet	A	5.0	5	42	8	2	3	21	1	1.39
Klima-variabilitet	A	7.0	6	41	9	3	5	22	1	1.38
Klimaændring 2050	B	3.5	2	43	5	0	2	19	0	1.35
Klimaændring 2050	B	5.0	3	42	4	0	3	19	0	1.34
Klimaændring 2050	B	7.0	4	41	5	0	4	20	0	1.33
Klima-variabilitet	B	3.5	5	39	7	2	3	22	1	1.36
Klima-variabilitet	B	5.0	6	39	8	3	4	22	1	1.35
Klima-variabilitet	B	7.0	8	38	9	3	6	23	1	1.33

A.2 Resultattabel, procentdel af tid hvor vandføringen ved Tissøs udløb til Nedre Halleby Å er mindre end hhv. 0,5, 0,7 og 1,5 m³/s krav (april-maj)

Variable			Procent af tiden hvor kriteriet ikke er opfyldt									Middel vandstand april-september [meter]
Klima	Styring	Indvindingsmængde m ³ /år	Indvinding	Max. H, 1.47 meter	Qmin, ny styring	Qmin = 0.5 m ³ /s, hele året	Qmin = 0.7 m ³ /s, Sep-Jan	Qmin = 1.5 m/s, Sep-Jan	Q<0.5 m ³ /s april - maj	Q<0.7 m ³ /s april - maj	Q<1.5 m ³ /s april - maj	
Nuværende	Sigtepunktskurve	3.5	0	43		11	17	35	0	1	16	1.28
Nuværende	Intet stemmeværk	0.0	0	42		1	0	9	0	0	10	1.26
Nuværende	A	3.5	0	46	6	0	0	17	0	9	29	1.40
Nuværende	A	5.0	1	45	5	0	1	17	0	10	30	1.39
Nuværende	A	7.0	2	43	5	0	2	18	0	11	32	1.37
Nuværende	B	3.5	2	42	4	0	1	18	0	19	20	1.34
Nuværende	B	5.0	2	41	4	0	2	18	0	20	22	1.34
Nuværende	B	7.0	3	40	4	0	3	19	0	23	24	1.32
Klimaændring 2050	A	3.5	0	45	6	0	0	18	0	8	27	1.41
Klimaændring 2050	A	5.0	2	44	7	0	1	18	0	10	28	1.40
Klimaændring 2050	A	7.0	3	44	7	0	3	19	0	11	31	1.38
Klima-variabilitet	A	3.5	4	43	8	2	3	20	0	13	27	1.41
Klima-variabilitet	A	5.0	5	42	8	2	3	21	0	15	28	1.39
Klima-variabilitet	A	7.0	6	41	9	3	5	22	0	17	29	1.38
Klimaændring 2050	B	3.5	2	43	5	0	2	19	0	18	19	1.35
Klimaændring 2050	B	5.0	3	42	4	0	3	19	0	19	21	1.34
Klimaændring 2050	B	7.0	4	41	5	0	4	20	0	21	23	1.33
Klima-variabilitet	B	3.5	5	39	7	2	3	22	0	22	23	1.36
Klima-variabilitet	B	5.0	6	39	8	3	4	22	0	23	24	1.35
Klima-variabilitet	B	7.0	8	38	9	3	6	23	0	25	26	1.33

A.3 Resultattabel, procent af tid hvor vandføringen falder under medianminimumsvandføring (Qmm), ved udløb fra Tissø til Nedre Halleby Å

Resultater umiddelbart nedstrøms stemmeværket															
Variable			Procent af tiden hvor medianminimum underskrides												
Klima	Styring	Indvindingsmængde mill. m ³ /år	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	
Nuværende	Intet stemmeværk	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	3.0	13.3	12.0	9.8	10.6	3.5
Nuværende	A	3.5	0.1	2.2	0.0	15.2	3.3	2.4	9.5	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nuværende	A	5.0	0.1	2.5	0.0	15.9	3.6	4.4	11.0	7.0	0.1	0.0	1.9	0.0	0.0
Nuværende	A	7.0	0.1	2.7	0.0	17.2	4.3	9.7	12.1	13.5	0.5	0.0	5.2	2.4	0.0
Nuværende	B	3.5	0.1	2.7	0.0	17.2	4.3	9.7	12.1	13.5	0.5	0.0	5.2	2.4	0.0
Nuværende	B	5.0	0.1	4.9	0.0	17.4	22.8	46.5	56.7	61.2	1.0	3.1	8.8	3.0	0.0
Nuværende	B	7.0	0.1	5.3	0.0	18.5	26.6	51.6	60.4	66.7	1.2	10.8	11.6	5.9	0.0
Klimaændring 2050	Intet stemmeværk	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	3.8	21.4	16.5	19.9	12.6	3.7	0.0
Klimaændring 2050	A	3.5	0.0	0.0	0.0	11.7	5.2	1.2	10.8	10.1	0.1	0.2	1.7	0.0	0.0
Klimaændring 2050	A	5.0	0.0	0.0	0.0	12.6	7.6	2.4	13.8	13.5	0.1	0.4	4.0	1.7	0.0
Klimaændring 2050	A	7.0	0.0	0.0	0.0	14.4	7.8	3.2	15.5	21.2	0.9	6.5	10.9	5.3	0.0
Klimaændring 2050	B	3.5	0.0	1.6	0.0	12.7	22.4	35.6	51.0	59.1	1.0	8.9	10.7	3.4	0.0
Klimaændring 2050	B	5.0	0.0	1.9	0.0	13.5	24.1	38.1	54.7	64.5	1.3	12.2	12.0	6.6	0.0
Klimaændring 2050	B	7.0	0.0	2.1	0.0	14.9	26.9	42.6	58.3	69.6	7.7	18.2	12.8	8.2	0.0
Klima-variabilitet	Intet stemmeværk	0.0	0.7	1.3	0.0	0.0	2.9	6.5	11.6	25.8	24.3	16.5	14.8	4.4	0.0
Klima-variabilitet	A	3.5	0.1	6.2	3.7	13.8	11.9	15.4	18.5	25.8	7.6	7.4	10.1	3.5	0.0
Klima-variabilitet	A	5.0	0.1	6.4	3.7	14.4	14.7	18.9	21.2	32.1	7.7	8.2	11.0	3.8	0.0
Klima-variabilitet	A	7.0	0.5	6.6	3.7	15.6	17.2	21.7	29.0	41.1	8.1	10.1	11.8	4.4	0.0
Klima-variabilitet	B	3.5	0.5	6.3	6.1	15.4	28.9	37.7	51.5	64.8	7.8	8.5	10.8	4.1	0.0
Klima-variabilitet	B	5.0	1.1	6.5	6.4	16.0	30.4	40.6	53.9	66.7	8.2	10.2	11.1	4.4	0.0
Klima-variabilitet	B	7.0	1.5	6.9	6.8	17.0	32.3	43.5	58.3	70.0	10.9	14.1	13.3	4.7	0.0

A.4 Resultattabel, procent af tid hvor vandføringen falder under medianminimumsvandføring (Qmm), ved Bøstrup Ås tilløb til Nedre Halleby Å

Resultater umiddelbart nedstrøms Bøstrup Å														
Variable			Procent af tiden hvor medianminimum underskrides											
Klima	Styring	Indvindingsmængde mill. m ³ /år	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Nuværende	Intet stemmeværk	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	24.3	17.6	16.6	5.9	2.4
Nuværende	A	3.5	0.0	1.4	0.4	15.2	19.6	37.5	40.6	48.7	8.3	13.1	2.8	0.0
Nuværende	A	5.0	0.0	1.4	0.9	15.9	19.7	38.1	40.1	49.6	13.6	13.4	3.7	0.1
Nuværende	A	7.0	0.0	1.4	0.6	17.1	19.9	38.6	40.5	51.4	22.1	16.2	5.3	1.0
Nuværende	B	3.5	0.0	3.2	0.0	16.1	20.5	41.9	53.1	56.5	33.6	15.6	5.2	0.8
Nuværende	B	5.0	0.0	3.6	0.0	17.0	22.1	46.4	56.7	61.0	34.5	16.7	5.7	1.5
Nuværende	B	7.0	0.0	3.8	0.0	18.1	25.5	51.6	60.3	66.4	36.1	19.1	8.1	2.4
Klimaændring 2050	Intet stemmeværk	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.9	24.1	26.1	19.5	6.8	2.3
Klimaændring 2050	A	3.5	0.0	1.0	0.7	11.5	16.4	28.9	40.1	55.4	14.6	13.4	3.1	0.0
Klimaændring 2050	A	5.0	0.0	1.0	0.9	12.5	19.0	28.9	40.1	56.0	18.4	13.7	4.1	0.3
Klimaændring 2050	A	7.0	0.0	1.0	0.9	14.1	19.7	28.5	39.9	59.5	25.0	17.6	5.6	1.5
Klimaændring 2050	B	3.5	0.0	1.6	0.0	12.3	21.9	35.6	50.9	58.6	38.4	16.9	6.3	1.7
Klimaændring 2050	B	5.0	0.0	1.8	0.0	13.1	23.4	38.0	54.7	64.0	40.4	18.5	7.7	2.3
Klimaændring 2050	B	7.0	0.0	2.1	0.0	14.4	25.4	42.5	58.2	68.8	44.4	22.8	10.5	2.4
Klima-variabilitet	Intet stemmeværk	0.0	0.0	1.1	0.0	0.2	5.0	7.4	17.9	34.7	32.7	19.2	12.9	3.7
Klima-variabilitet	A	3.5	0.2	4.8	5.4	13.5	23.1	32.8	40.2	58.7	24.5	21.1	11.3	2.9
Klima-variabilitet	A	5.0	0.6	4.8	5.9	14.0	24.2	33.8	42.0	60.7	26.7	23.4	11.5	3.0
Klima-variabilitet	A	7.0	1.4	4.8	5.9	15.2	25.3	35.0	46.0	64.2	30.7	26.0	12.2	3.7
Klima-variabilitet	B	3.5	0.7	4.8	6.1	15.1	28.7	37.7	51.4	64.8	33.3	25.1	11.9	4.0
Klima-variabilitet	B	5.0	1.4	4.8	6.4	15.6	30.2	40.5	53.9	66.7	35.0	27.2	12.0	4.2
Klima-variabilitet	B	7.0	1.6	4.9	6.8	16.5	31.8	43.5	58.3	70.0	36.7	29.2	13.5	4.6

A.5 Resultattabel, procent af tid hvor vandføringen falder under medianminimumsvandføring (Qmm), Nedre Halleby Å ved Gørlev landevej.

Resultater ved Gørlev Landevej														
Variable			Procent af tiden hvor medianminimum underskrides											
Klima	Styring	Indvindingsmængde mill. m ³ /år	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Nuværende	Intet stemmeværk	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	24.1	17.8	17.2	5.9	2.4
Nuværende	A	3.5	0.0	1.1	0.0	13.4	11.6	23.9	36.0	47.9	8.3	13.3	3.0	0.0
Nuværende	A	5.0	0.0	1.2	0.0	13.9	11.2	24.1	35.3	48.9	13.8	13.5	3.9	0.2
Nuværende	A	7.0	0.0	1.2	0.0	15.2	12.0	24.4	35.8	50.4	22.2	16.5	5.4	1.1
Nuværende	B	3.5	0.0	2.7	0.0	14.3	18.5	40.7	51.8	56.1	33.6	15.9	5.3	0.9
Nuværende	B	5.0	0.0	3.0	0.0	15.0	20.1	44.7	55.7	60.9	34.8	17.0	5.8	1.7
Nuværende	B	7.0	0.0	3.4	0.0	16.0	23.2	49.6	59.3	66.1	36.3	19.4	8.0	2.4
Klimaændring 2050	Intet stemmeværk	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8	24.3	26.5	19.8	7.6	2.4
Klimaændring 2050	A	3.5	0.0	0.7	0.0	10.7	11.1	20.0	37.9	55.1	15.2	14.2	3.2	0.0
Klimaændring 2050	A	5.0	0.0	0.7	0.0	11.5	13.3	20.3	37.5	56.0	19.0	14.5	4.3	0.6
Klimaændring 2050	A	7.0	0.0	0.4	0.0	12.9	13.7	19.8	37.9	59.6	26.1	18.4	5.7	1.7
Klimaændring 2050	B	3.5	0.0	1.5	0.0	11.4	20.4	34.6	50.4	58.3	39.2	17.7	5.7	2.0
Klimaændring 2050	B	5.0	0.0	1.7	0.0	12.2	21.9	37.0	54.2	63.7	41.0	19.5	7.4	2.3
Klimaændring 2050	B	7.0	0.0	1.9	0.0	13.3	23.7	41.4	57.5	68.4	45.0	24.1	9.5	2.6
Klima-variabilitet	Intet stemmeværk	0.0	0.1	1.4	0.0	0.5	5.1	7.4	17.9	35.1	33.5	19.8	13.2	3.9
Klima-variabilitet	A	3.5	0.3	4.5	5.8	12.5	13.6	22.9	35.2	57.7	25.5	22.0	12.2	3.2
Klima-variabilitet	A	5.0	0.7	4.5	5.7	13.0	15.4	24.7	36.9	59.8	27.9	24.6	12.7	3.7
Klima-variabilitet	A	7.0	1.6	4.5	5.9	14.1	17.8	26.2	41.6	63.0	31.9	27.2	13.5	4.1
Klima-variabilitet	B	3.5	0.8	4.5	6.0	13.9	27.3	36.9	50.9	64.6	35.4	26.6	12.6	4.3
Klima-variabilitet	B	5.0	1.5	4.5	6.2	14.3	28.9	39.8	53.3	66.5	36.5	28.4	12.9	4.6
Klima-variabilitet	B	7.0	1.8	4.7	6.8	15.0	30.3	42.8	57.9	69.8	38.6	30.3	15.2	6.4

A.6 Vandføringsdifferenser - Månedsgennemsnitlig forskel i vandføring imellem ny styring (A) og indvinding på 3,0-7,0 mill. m³/år og en situation uden stemmeværk og indvinding med nuværende klima. Ved udløb fra Tissø)

Resultater umiddelbart nedstrøms stemmeværket															
Variable			Gns. differens (l/s)												
Klima	Styring	Indvindingsmængde mill. m ³ /år	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Års-gns
Nuværende	A	3.5	10	-118	-19	-310	-396	-518	-302	-84	266	59	-57	106	-114
Nuværende	A	5.0	-44	-188	-77	-354	-445	-547	-321	-94	181	20	-106	47	-161
Nuværende	A	7.0	-118	-273	-150	-427	-509	-580	-334	-119	82	-38	-178	-35	-223
Nuværende	B	3.5	-57	-98	-74	-363	-212	-262	-194	-97	19	-26	-60	70	-113
Nuværende	B	5.0	-105	-152	-121	-422	-260	-325	-226	-130	-10	-64	-114	17	-159
Nuværende	B	7.0	-170	-218	-183	-491	-345	-389	-266	-173	-53	-118	-191	-56	-221
Klimaændring 2050	A	3.5	27	-32	-58	-272	-417	-477	-315	-121	198	45	-47	136	-111
Klimaændring 2050	A	5.0	-42	-95	-106	-323	-458	-508	-336	-141	129	9	-94	75	-158
Klimaændring 2050	A	7.0	-123	-173	-165	-404	-521	-542	-364	-174	53	-60	-157	-2	-219
Klimaændring 2050	B	3.5	-48	-93	-85	-307	-248	-212	-200	-115	1	-41	-92	79	-113
Klimaændring 2050	B	5.0	-99	-148	-130	-356	-296	-252	-240	-154	-27	-79	-148	25	-159
Klimaændring 2050	B	7.0	-165	-216	-192	-431	-363	-316	-279	-195	-81	-123	-219	-51	-219
Klima-variabilitet	A	3.5	-58	-83	-43	-96	-285	-337	-277	-133	114	-10	-66	50	-102
Klima-variabilitet	A	5.0	-126	-130	-91	-143	-330	-374	-300	-165	67	-52	-104	-14	-147
Klima-variabilitet	A	7.0	-213	-196	-152	-213	-389	-411	-338	-202	11	-99	-149	-106	-205
Klima-variabilitet	B	3.5	-98	-61	-46	-161	-219	-169	-154	-106	12	-45	-131	-40	-102
Klima-variabilitet	B	5.0	-156	-114	-94	-210	-261	-215	-188	-133	-28	-82	-170	-99	-146
Klima-variabilitet	B	7.0	-231	-185	-160	-275	-316	-265	-242	-169	-73	-126	-218	-178	-203

A.7 Vandføringsdifferenser - Månedsgennemsnitlig forskel i vandføring imellem ny styring (A) og indvinding på 3,0-7,0 mill. m³/år og en situation uden stemmeværk og indvinding med nuværende klima. Nedstrøms Bøstrup Å tilløb til Nedre Halleby Å.

Resultater umiddelbart nedstrøms Bøstrup Å															
Variable			Gennemsnitlig differens i liter												
Klima	Styring	Indvindingsmængde mill. m ³ /år	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Års-gns
Nuværende	A	3.5	11	-117	-19	-310	-396	-518	-302	-84	266	59	-57	106	-114
Nuværende	A	5.0	-42	-189	-78	-355	-445	-547	-321	-94	181	20	-106	47	-161
Nuværende	A	7.0	-115	-272	-150	-427	-509	-580	-334	-119	82	-38	-178	-34	-223
Nuværende	B	3.5	-55	-98	-74	-366	-211	-264	-193	-97	19	-26	-60	70	-113
Nuværende	B	5.0	-104	-152	-121	-422	-260	-325	-227	-130	-10	-64	-114	17	-159
Nuværende	B	7.0	-168	-218	-184	-492	-344	-388	-266	-173	-53	-118	-191	-55	-221
Klimaændring 2050	A	3.5	33	-46	-70	-279	-420	-478	-315	-121	198	45	-49	133	-114
Klimaændring 2050	A	5.0	-36	-110	-118	-331	-461	-509	-337	-142	129	8	-96	72	-161
Klimaændring 2050	A	7.0	-116	-188	-178	-412	-524	-543	-364	-175	52	-60	-158	-4	-222
Klimaændring 2050	B	3.5	-47	-93	-85	-307	-248	-212	-200	-115	1	-41	-91	79	-113
Klimaændring 2050	B	5.0	-98	-147	-131	-357	-296	-253	-240	-154	-27	-79	-149	25	-159
Klimaændring 2050	B	7.0	-163	-216	-192	-432	-364	-316	-279	-195	-81	-123	-219	-51	-219
Klima-variabilitet	A	3.5	-81	-78	-48	-101	-284	-338	-279	-131	110	-15	-93	15	-110
Klima-variabilitet	A	5.0	-149	-126	-96	-148	-328	-375	-302	-164	63	-57	-131	-49	-155
Klima-variabilitet	A	7.0	-235	-192	-157	-219	-387	-412	-340	-201	6	-105	-176	-140	-213
Klima-variabilitet	B	3.5	-121	-57	-51	-166	-217	-170	-155	-106	8	-50	-157	-75	-110
Klima-variabilitet	B	5.0	-179	-111	-99	-214	-259	-216	-190	-132	-32	-88	-196	-134	-154
Klima-variabilitet	B	7.0	-254	-182	-165	-280	-314	-267	-244	-168	-77	-132	-245	-212	-212

A.8 Vandføringsdifferenser - Månedsgennemsnitlig forskel i vandføring imellem ny styring (A) og indvinding på 3,0-7,0 mill. m³/år og en situation uden stemmeværk og indvinding med nuværende klima. Nedre Halleby Å ved Gørlev landevej.

Resultater Gørlev Landevej															
Variable			Gennemsnitlig differens i liter												
Klima	Styring	Indvindingsmængde mill. m ³ /år	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Års-gns
Nuværende	A	3.5	12	-117	-19	-304	-394	-520	-304	-85	266	59	-57	106	-113
Nuværende	A	5.0	-41	-190	-78	-352	-443	-547	-322	-96	181	21	-107	47	-161
Nuværende	A	7.0	-114	-273	-147	-422	-506	-582	-335	-121	83	-39	-177	-35	-222
Nuværende	B	3.5	-55	-98	-74	-367	-211	-266	-193	-97	19	-26	-61	71	-113
Nuværende	B	5.0	-104	-151	-121	-422	-262	-322	-229	-131	-10	-65	-115	17	-159
Nuværende	B	7.0	-168	-218	-184	-492	-342	-388	-266	-173	-53	-117	-191	-54	-221
Klimaændring 2050	A	3.5	40	-48	-69	-278	-421	-478	-316	-122	199	45	-50	132	-114
Klimaændring 2050	A	5.0	-29	-112	-118	-333	-461	-509	-337	-144	129	7	-97	71	-161
Klimaændring 2050	A	7.0	-110	-189	-178	-413	-523	-543	-365	-177	53	-62	-159	-3	-222
Klimaændring 2050	B	3.5	-47	-93	-85	-304	-247	-212	-201	-115	1	-41	-90	79	-113
Klimaændring 2050	B	5.0	-98	-147	-131	-356	-297	-255	-241	-154	-27	-78	-150	25	-159
Klimaændring 2050	B	7.0	-163	-216	-192	-430	-365	-318	-279	-195	-81	-123	-221	-51	-220
Klima-variabilitet	A	3.5	-96	-75	-50	-104	-284	-339	-279	-131	110	-16	-108	-8	-115
Klima-variabilitet	A	5.0	-162	-122	-99	-151	-327	-375	-302	-164	63	-59	-145	-72	-160
Klima-variabilitet	A	7.0	-249	-189	-161	-221	-388	-413	-341	-201	6	-106	-191	-163	-218
Klima-variabilitet	B	3.5	-136	-54	-53	-169	-219	-169	-154	-107	8	-51	-173	-98	-115
Klima-variabilitet	B	5.0	-193	-108	-102	-216	-261	-215	-189	-133	-33	-88	-210	-156	-159
Klima-variabilitet	B	7.0	-268	-179	-167	-283	-316	-269	-243	-168	-77	-133	-261	-234	-217