



External validation of the model

Technical notes

Summary

The following contains the technical notes from the external validation of the Gudenå model.

The first quality assurance was done by Orbicon WSP in March 2020 and concluded that some adjustments were necessary. Feedback from the original consultant (DHI) was taken into account.

The second quality assurance and model calibration based on the first results, were performed in September 2020. All adjustments are summed up in the September 2020 technical note.

In short, the external validation illuminated specific issues with incorporation of stream resistance (Manning-tal), sluices and dams (bygværker). These adjustments resulted in new Mike-model calculations, which are being adapted into the main model.

Notat

Projekt navn	Kvalitetssikring af varslingsmodel for Gudenå
Kunde	Silkeborg Kommune m.fl.
Projektleder	Rasmus Bang
Projekt nummer	1321900279
Dokument ID	Kvalitetssikringsnotat varslingsmodel for Gudenå.docx
Til	Poul Hald m.fl.
Udarbejdet af	Anders Lund Jensen og Klaus Schlünsen
Kvalitetssikret af	Morten Larsen
Godkendt af	Rasmus Bang
Version	2
Versionsdato	20-03-2020
Første udgivelsesdato	16-03-2020

Indhold

1.	Baggrund	3
2.	Vurdering af vandløbsmodel	3
2.1	Vandløbsnetværk	3
2.2	Vandløbstværsnit	6
2.3	Bygværker	7
2.3.1	Ry Mølle	8
2.3.2	Silkeborg Sluse	9
2.3.3	Tangeværket	10
2.4	Manningtal	10
2.4.1	Tidligere undersøgelser af Manningtal	13
2.5	Kobling til terrænmodel	13
3.	Vurdering af varslingsmodel	15
3.1	Funktion af dataassimilering (DA-modul)	15

3.1.1	Transponering mellem realtidsstationer	17
3.2	Varsling nedstrøms Tangeværket	18
3.3	Kvalitet af varslede nedbør	19
3.4	Varsling af vandstand i Randers Fjord	21
3.5	Visning af varsling på hjemmeside	22
4.	Vurdering af scenarieberegninger	22
5.	Anbefalinger	23

1. Baggrund

Nærværende notat udgør kvalitetssikring af den varslingsmodel for Gudenå, som DHI har udarbejdet for Gudenåkommunerne under støtte fra Coast to Coast Climate Challenge (C2CCC).

Kvalitetssikringen er sket ved nedslag på de elementer af varslingsmodellen, hvor eventuelle fejl og mangler kan have størst betydning for kvaliteten af varslingerne.

Gennemgangen af varslingsmodellen er således ikke fuldstændig forstået på den måde, at hvis der påvises fejl og mangler ét sted i modellen, er alle steder med samme fejl ikke påvist.

Til brug ved kvalitetssikringen har Orbicon modtaget en varslingsmodel (MIKE 11-MIKE SHE) med ToF (Time of Forecast) d. 07.02 kl. 15.00. Varslingsperioden går 3 dage frem. Varslingsmodellen betegnes i det følgende også som "DHI-modellen".

2. Vurdering af vandløbsmodel

Grundelementet i en god varslingsmodel for Gudenå er en retvisende beskrivelse af vandløbets geometri, dvs. tracé, vandløbstværsnit, bygværker mv. Nedenfor gennemgås DHI-modellens beskrivelse af Gudenå.

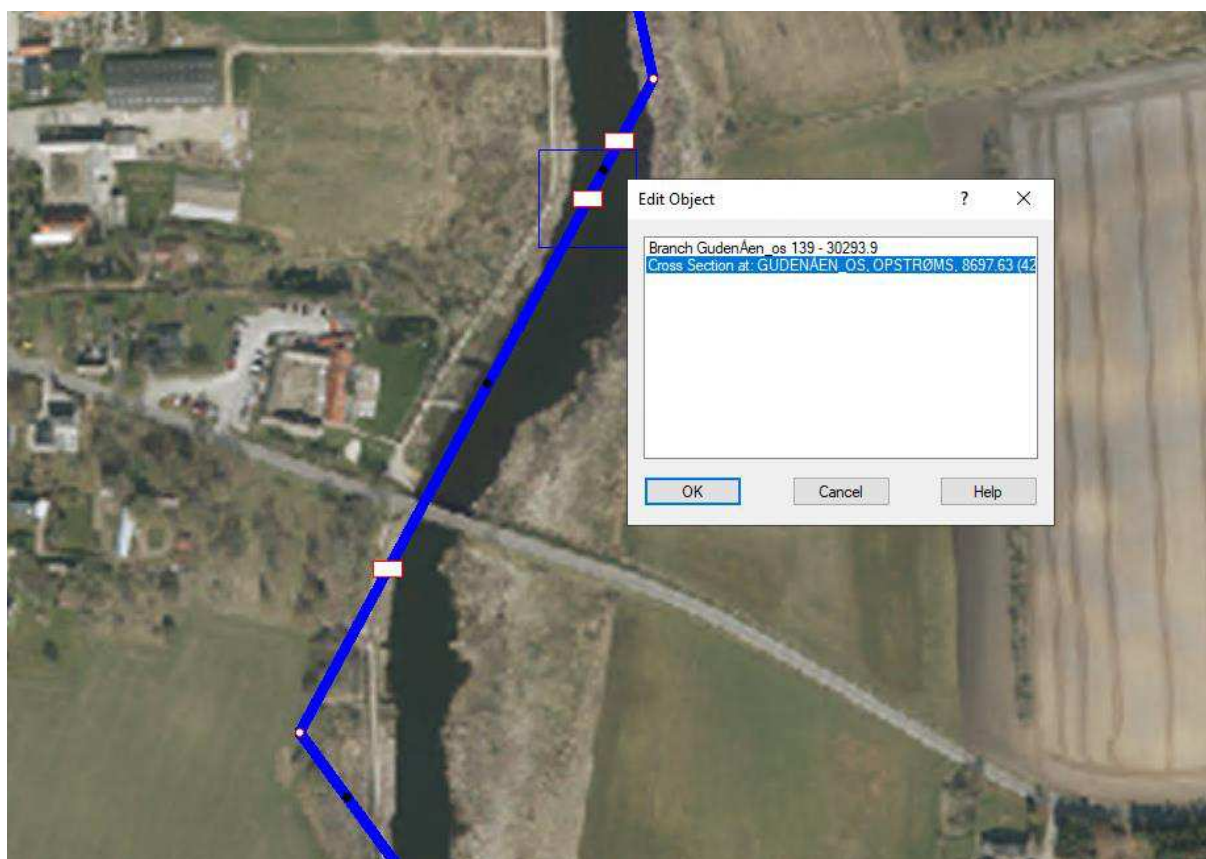
2.1 Vandløbsnetværk

Nøjagtigheden af vandløbsnetværket, dvs. vandløbets centerlinje og placeringen af tværsnit langs centerlinjen, er særlig vigtig ved varsling af forhøjet vandstand på lokaliteter, hvor der kan forekomme oversvømmelse.

Der er fundet flere eksempler på, at der i DHI-modellens vandløbsnetværk ikke er taget tilstrækkeligt hensyn til dette, se Figur 1 til Figur 4.

Figur 1 viser Gudenåens centerlinje ved Svostrup Kro i DHI-modellen, mens Figur 2 viser den korrekte centerlinje for opmålingen i 2011. Det fremgår heraf, at det første tværsnit nedstrøms Svostrup Kro (St. 8698 m) rent faktisk er et tværsnit opmålt opstrøms Svostrup Kro. Figur 3 viser Gudenåens centerlinje ved Kongensbro Kro i DHI-modellen, mens Figur 4 viser den korrekte centerlinje for opmålingen i 2011. Der ses ligeledes en forskydning af tværsnit på denne strækning, hvor første tværsnit nedstrøms Kongensbro Kro rent faktisk er opmålt ca. 500 m længere opstrøms. Begge steder er centerlinjen ikke retvisende for Gudenåens forløb.

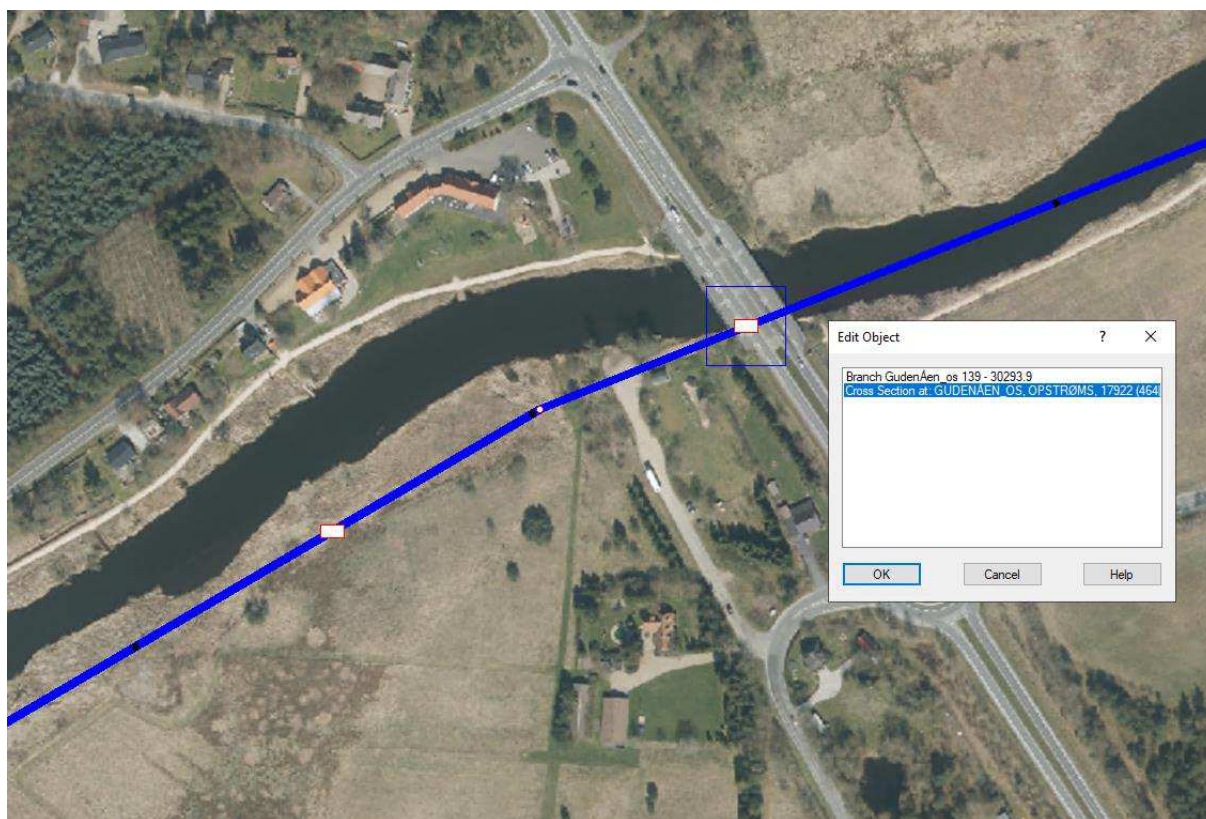
Det skal bemærkes, at fejlen ikke nødvendigvis har den store betydning, hvis faldet på vandløbet er lavt. Det er dog en kritisk fejl på strækninger, hvor der er større fald, fx mellem Svostrup Bro og Tvillum Bro samt opstrøms og nedstrøms større enkeltfald (Vilholt Stryget, stemmeværket mv.)



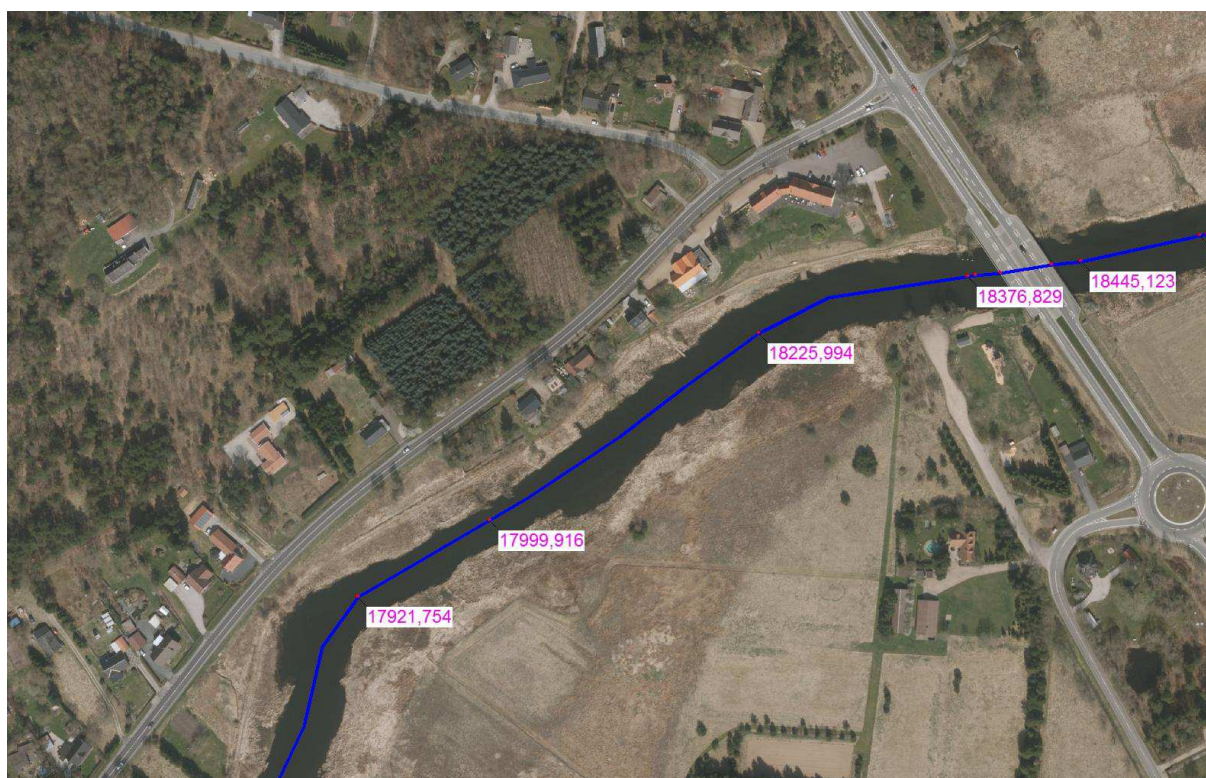
Figur 1. Centerlinje og placering af tværsnit ved Svostrup Kro i DHI-modellen.



Figur 2. Centerlinje ved Svostrup Kro i opmåling fra 2011.



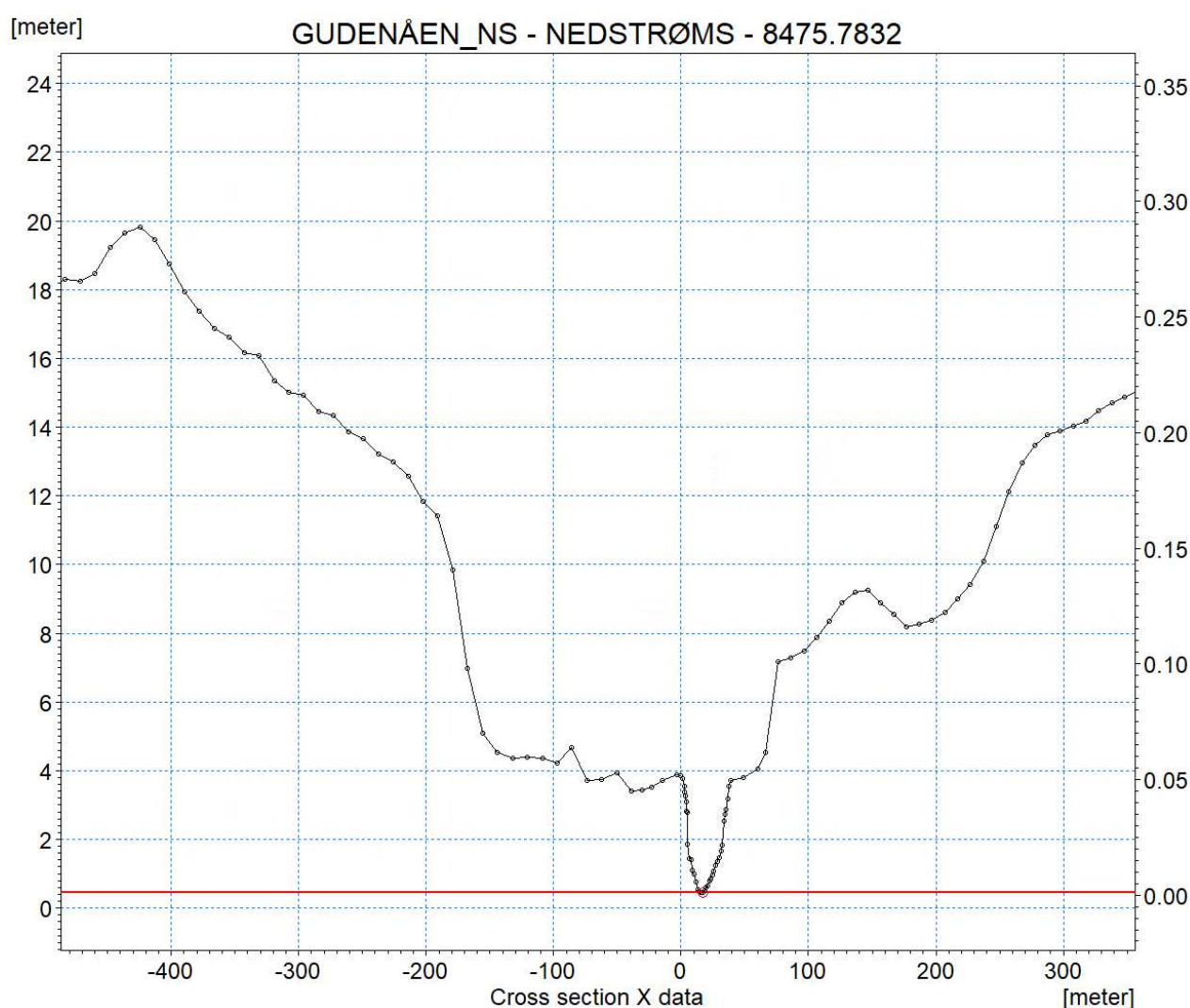
Figur 3. Centerlinje og placering af tværsnit ved Kongensbro Kro i DHI-modellen.



Figur 4. Centerlinje ved Kongensbro Kro i opmåling fra 2011.

2.2 Vandløbstværsnit

De anvendte vandløbstværsnit i DHI-modellen fremgår af Afsnit 4.1.2 i den tilhørende afrapportering. Alle tværsnit er forlænget ud i ådalen ved udtræk af koter fra Danmarks Højdemodel, se eksempel på Figur 5. Der er dog ikke udført zoneinddelingen af tværsnittene, dvs. der anvendes samme Manningtal i ådalen som i vandløbet på den pågældende strækning. I tilfælde af vandføringer, der medfører vandstand over brinkniveau, vil dette medføre en overestimering af vandløbets kapacitet. Dette skyldes, at der flere steder i Gudenåen ikke løber meget vand i selve ådalen i forhold til det opmålte vandløbsprofil. Ved en tidligere undersøgelse af Gudenåen mellem Svostrup Bro og Tvillum Bro (opmåling 2011) er det f.eks. fundet, at kun ca. 5 % af vandføringen løber uden for det opmålte tværsnit ved store vandføringer.



Figur 5. Eksempel på tværsnit nedstrøms Silkeborg Langsø med forlængelse af tværsnit med ådal.

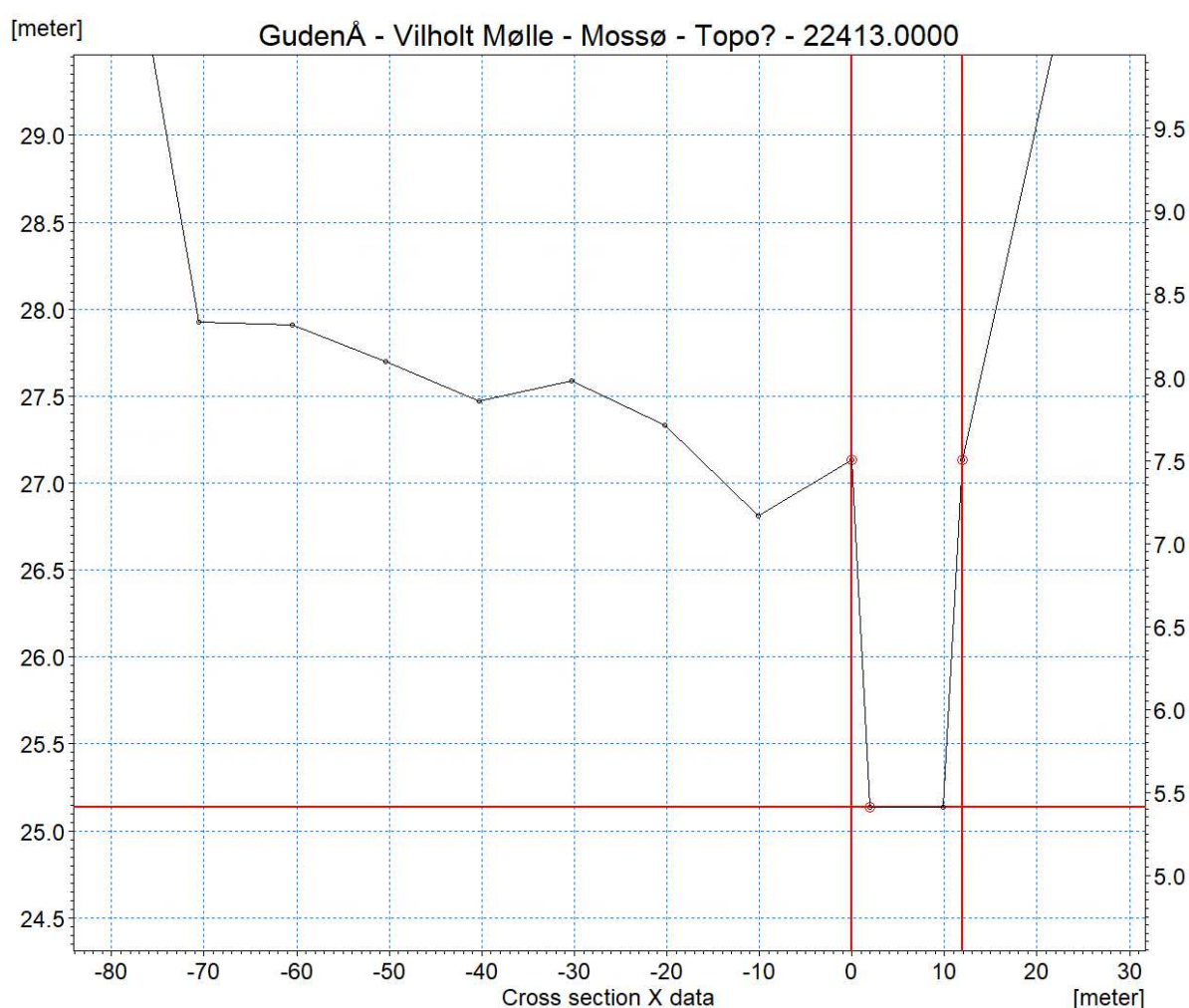
For strækningen Gudenå mellem Silkeborg Langsø og udløb i Randers Fjord er der anvendt de bedste opmålingsdata, der er tilgængelige. For strækningen Gudenå mellem udspring og Silkeborg Langsø er der anvendt en række forskellige opmålinger af varierende kvalitet og aktualitet. F.eks. er der på en længere strækning i Horsens Kommune anvendt en opmåling fra 1988 med bundkote og bundbredde pr. 300 m, se

Figur 6. Denne opmåling vurderes ikke at udgøre et tilfredsstillende grundlag for en varslingsmodel på den pågældende strækning.

Andre steder i modellen, hvor det er vurderet, at tværsnittene ligger for langt fra hinanden, er der indsat interpolerede tværsnit. Dette er også en stor kilde til usikkerhed.

Der mangler flere broer i opmålingsdataene. På strækningen nedstrøms Silkeborg Langsø er det dog vurderingen, at alle broer har tilstrækkeligt vandslug og ikke giver anledning til opstuvning.

Overordnet set vurderes opmålingsgrundlaget for DHI-modellen opstrøms Silkeborg Langsø ikke at være tilfredsstillende.



Figur 6. Eksempel på tværsnit mellem Vilholt Mølle og Mossø.

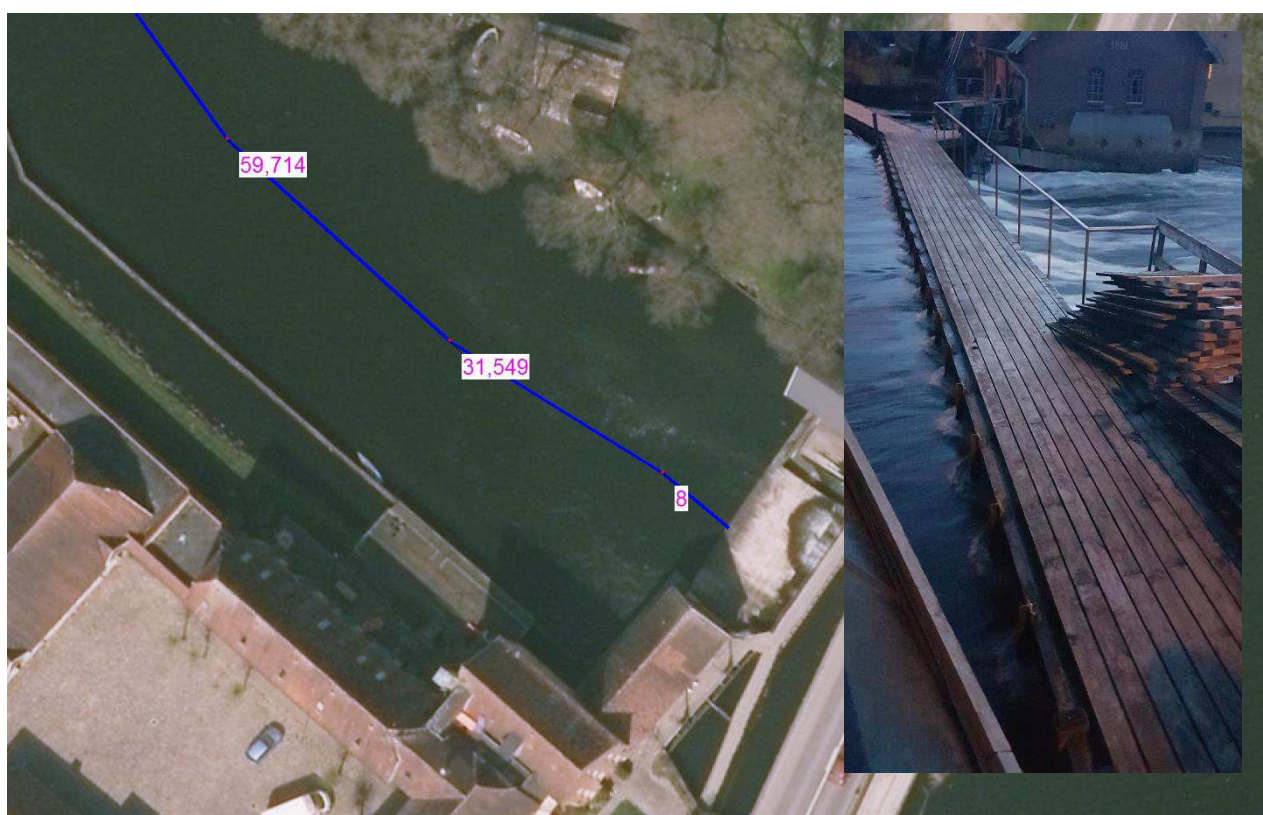
2.3 Bygværker

Der er en række vigtige bygværker, der har stor indflydelse på vandstanden i Gudenåen opstrøms og nedstrøms det pågældende bygværk. Herunder følger beskrivelse af de tre vigtigste bygværker i Gudenå: Ry Mølle, Slusen i Silkeborg og Tangeværket.

2.3.1 Ry Mølle

DHI-modellen beskriver Ry Mølle ved hjælp af et opmålt tværsnit ved Rodelundvej og et opmålt tværsnit af overløb/frisluse og turbinekanal, se Figur 7. Omløbsstryget er beskrevet i sin fulde udstrækning i modellen. Ved møllen er der i DHI-modellen indsat en kontrolstruktur, der til enhver tid kan sikre, at vandstanden ikke varsles over flodemål (3 forskellige niveauer), med mindre kapaciteten af selve møllen (turbine og frisluse) overskrides. Dette betyder samtidigt, at der ikke kan varsles lavere vandstande end de 3 niveauer for flodemål i Ry Møllensø.

Denne metode vurderes som udgangspunkt at være tilfredsstillende, men den geometriske beskrivelse af bygværket skal stadig være så god, at den kan bruges til at beregne vandstanden opstrøms Ry Mølle i tilfælde af, at kapaciteten overskrides.



Figur 7. Placering af opmålte tværsnit ved Ry Mølle og faktisk udformning.

Den geometriske beskrivelse af Ry Mølle i DHI-modellen er undersøgt ved at beregne vandstanden opstrøms Ry Mølle ved en aktuel hændelse, hvor vandføringen overskrider bygværkets kapacitet og flodemål overskrides.

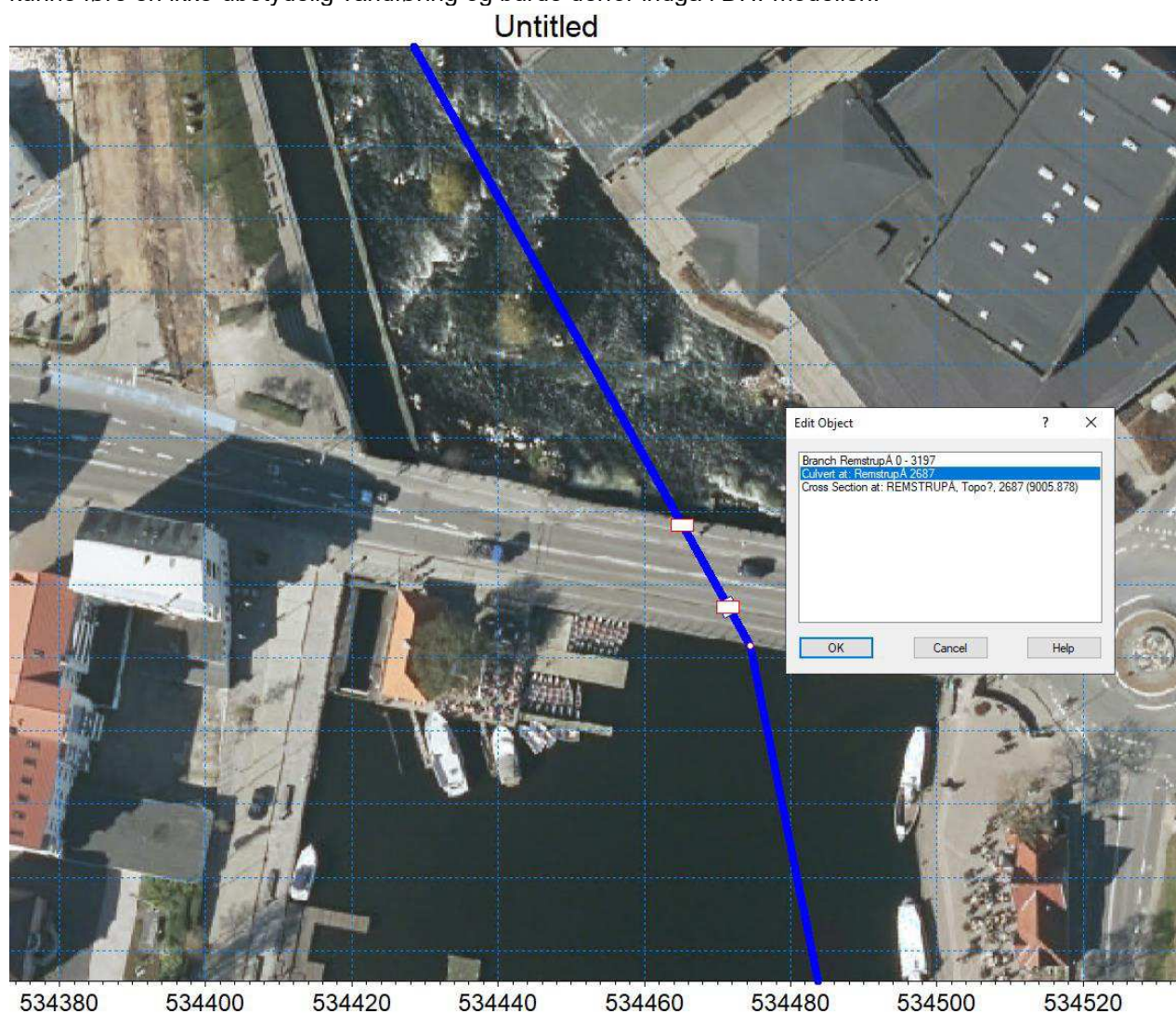
D. 21.02 blev der målt en vandføring på ca. 37 m³/s ved en vandstand opstrøms møllen på ca. 22,50 m DVR90. Vandstanden nedstrøms møllen var ca. 21,45 m DVR90. Forud for vandføringsmålingen var alle skodder på frislusen trukket (på nær 2, der formodes at være afblændet). Vandstanden på 22,50 m DVR90 er ca. 3 cm over flodemål (22,47 m DVR90) og møllens kapacitet var dermed overskredet.

DHI-modellen er kørt igennem med målte vandføring på 37 m³/s, og den beregnede vandstand opstrøms møllen er ca. 5-10 cm højere end den målte. Dette betyder, at DHI-modellen underestimerer møllens samlede kapacitet. Ry Mølle kan være stuvningspåvirket fra slusen i Silkeborg i DHI-modellen, jf. Afsnit 2.3.2, hvilket kan påvirke beregningen ved Ry Mølle i form af stuvningspåvirkning i turbinekanalen.

En god beskrivelse af geometrien ved Ry Mølle har ligeledes betydning for den varslede vandstand i Mossø. Generelt vurderes det, at vandstanden i Mossø ofte varsles for høj. Dette kan dog også henledes til misvisende Manningtal på strækningen mellem Mossø og Gudensø, se Afsnit 2.4.

2.3.2 Silkeborg Sluse

Slusen/stemmeværket i Silkeborg består af 4 åbninger (heraf 3 regulerbare porte) under selve Langebro og en kanosluse ved Slusekiosken. I DHI-modellen er det kun selve portene under Langebro, der indgår i modellen, se Figur 8. Selvom kanoslusen er stuvningspåvirket fra Silkeborg Langsø, vurderes den at kunne føre en ikke-ubetydelig vandføring og burde derfor indgå i DHI-modellen.



Figur 8. Beskrivelse af sluse/stemmeværk i Silkeborg i DHI-modellen.

Den geometriske beskrivelse af slusen/stemmeværket i DHI-modellen er undersøgt ved at beregne vandstanden opstrøms Langebro ved en aktuel hændelse, hvor vandføringen overskrider bygværkets kapacitet og flodemål overskrides.

D. 29.02 blev der registreret en vandføring på ca. 54 m³/s (Stednr. 21000087) ved en vandstand i kote 21,10 m DVR90 opstrøms Langebro. Vandstanden i Silkeborg Langsø var ca. i kote 20,35 m DVR90. Det må formodes, at alle porte under Langebro inkl. kanoslusen var åbne på tidspunktet. Den målte vandstand opstrøms Langebro i kote 21,10 m DVR90 er ca. 20 cm over flodemålet (20,91 m DVR90) og slusens kapacitet var dermed overskredet på tidspunktet.

DHI-modellen er kørt igennem med den registrerede vandføring på 54 m³/s og en vandstand i Silkeborg Langsø i kote 20,35 m DVR90, og den beregnede vandstand opstrøms Langebro er over 50 cm højere end den målte. Dette betyder, at DHI-modellen i høj grad underestimerer slusens samlede kapacitet.

Det vurderes, at der bør indsættes en kontrolstruktur ved slusen i lighed med den ved Ry Mølle, der til enhver tid kan sikre, at vandstanden opstrøms ikke varsles over flodemål, med mindre slusens kapacitet overskrides. Dette kræver selvfølgelig en mere retvisende beskrivelse af slusens geometri.

2.3.3 Tangeværket

Vandstanden i Tange Sø og vandføringen i Gudenå nedstrøms Tangeværket afhænger i høj grad af driften af værket. DHI-modellen beskriver Tangeværket som et overløbsbygværk med en kronebredde på 20 m i henhold til afrapporteringen. Formålet med bygværket er, i henhold til DHI, at holde vandstanden i Tange Sø mellem kote 13,50 og 13,60 m DVR90. I den udleverede DHI-model er den beregnede vandstand i Tange Sø imidlertid ca. 13,61 m ved en vandføring igennem søen på ca. 51 m³/s, hvilket ikke vurderes realistisk.

Det vurderes som udgangspunkt, at Tangeværket har tilstrækkelig kapacitet til at sikre flodemål (13,57 m DVR90) ved alle forekommende vandføringer, med mindre der ikke reguleres rettidigt. Selve Tangeværket har en kapacitet på ca. 70 m³/s, og hertil kommer kapaciteten af frislusen, der ikke indgår i DHI-modellen.

Det vurderes, at der bør indsættes en kontrolstruktur ved Tangeværket i lighed med den ved Ry Mølle, der til enhver tid kan sikre, at vandstanden i Tange Sø ikke varsles over flodemål. Dette er i bedre overensstemmelse med de regler, som Tangeværket skal overholde.

Nedstrøms Tangeværket assimilerer DHI-modellen både målt vandføring og vandstand, så selve beskrivelsen af bygværket har mindre betydning for modellens nøjagtighed nedenfor Tangeværket. Problemer ved denne tilgang er gennemgået i Afsnit 3.2.

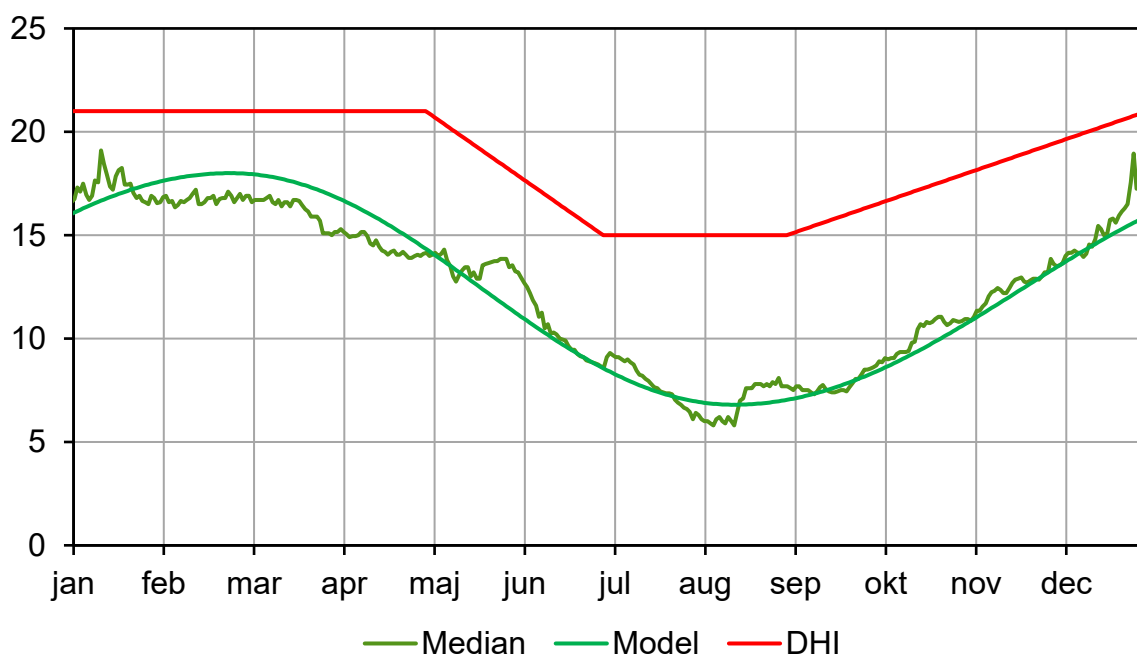
2.4 Manningtal

På baggrund af de bedst tilgængelige opmålingsdata og nyeste hydrometriske data har Orbicon beregnet Manningtal-variationen ved Uldum Kær, Tvillum Bro og Ulstrup og sammenlignet med de Manningtal-variationer, der indgår i DHI-modellen, se Figur 9 til Figur 11. I Orbicons model er der indlagt grødeskæring ved Tvillum Bro primo juli og ved Ulstrup medio august. De viste medianværdier er gældende for årene 2012-2019. Det fremgår af sammenligningerne, at DHI-modellens Manningtal-variation afviger væsentligt fra de Orbicon-beregnete, særligt ved Uldumkær er DHI-modellens Manningtal-variation for simplificeret og misvisende.

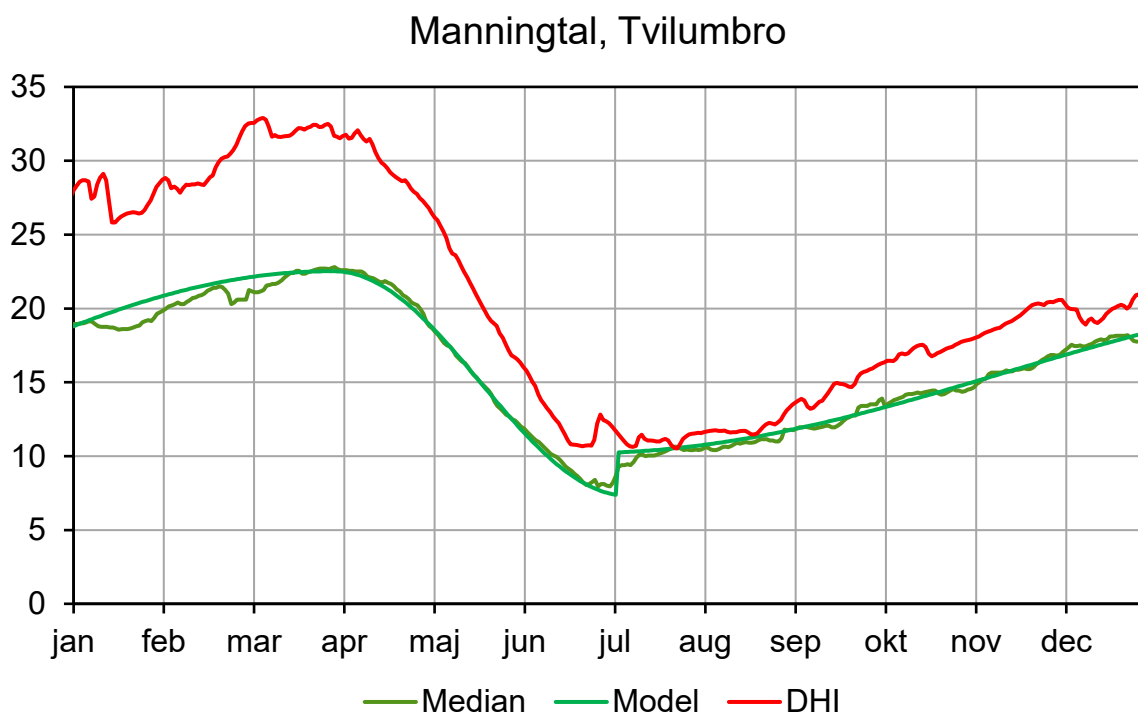
Et korrekt Manningtal er afgørende for en god varsling i Gudenå, hvilket fremgår af Bilag 1. Her ses observeret vandstand i Gudenå mellem Silkeborg Langsø og udløb Borre Å d. 24.02 kl. 12.00. På dette tidspunkt blev der målt en vandføring på 52,4 m³/s ved Tvillum Bro. Ud fra oplandstilvæksten mellem Silkeborg Langsø og udløb Borre Å og en oplandsafstrømning på 41 l/s/km², er vandløbets Manningtal på tidspunktet skønnet. Det fremgår heraf, at Manningtallet varierer mellem ca. 13 omkring Svostrup Bro og til ca. 18. I henhold til DHI-modellen varierer Manningtallet på dette tidspunkt mellem 17,5 og 32,8, hvilket giver et væsentligt lavere vandspejl ved samme afstrømning. Mellem Ringvejsbroen og Resenbro er Manningtallet i DHI-modellen dog på et realistisk niveau.

Det bemærkes, at det endnu er uvist, om et Manningtal på 13 omkring Svostrup Bro er retvisende for modstandsforholdene på strækningen, eller om det skyldes evt. indsnævninger i Gudenå, der ikke indgår i opmålingen.

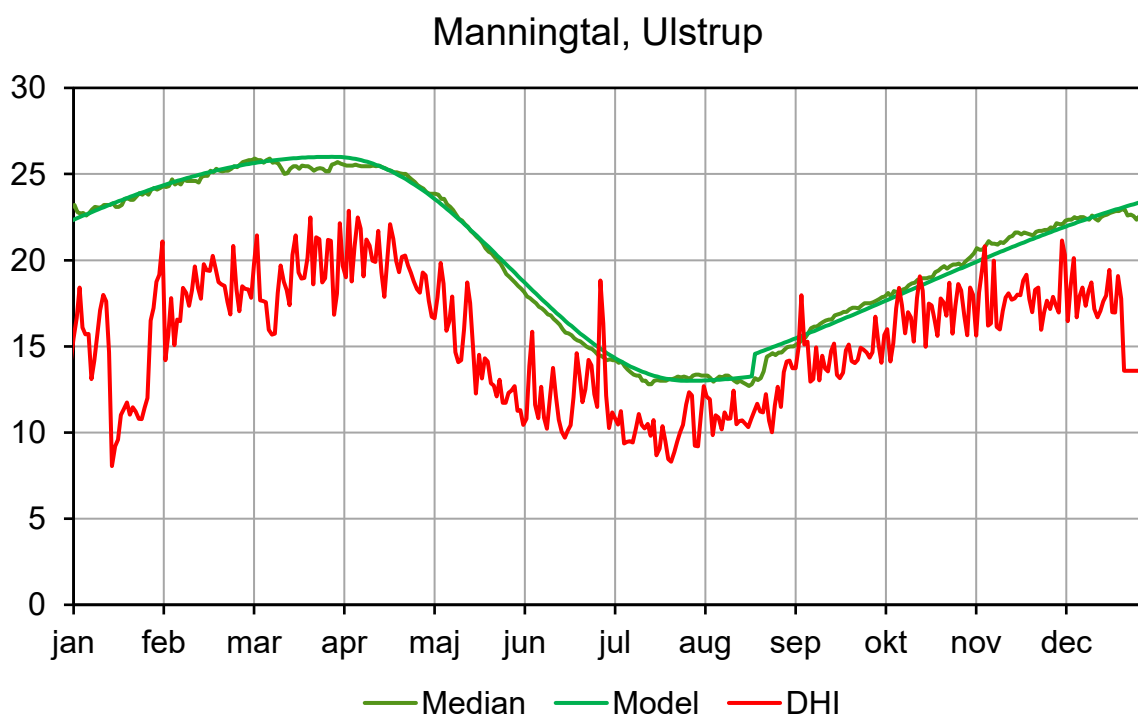
Manningtal, Uldumkær



Figur 9. Manningtal-variation beregnet af Orbicon (grønne) og DHI-model (røde).



Figur 10. Manningtal-variation beregnet af Orbicon (grønne) og DHI-model (røde). Grødeskæring primo juli.



Figur 11. Manningtal-variation beregnet af Orbicon (grønne) og DHI-model (røde). Grødeskæring medio august.

2.4.1 Tidligere undersøgelser af Manningtal

De sidste 10 år er der lavet kravkurvekontrol i Gudenå nedstrøms Silkeborg.

Der er målt vandføring på en række stationer og der er aflæst 17 skalaer mellem Silkeborg og Tange Sø samt 15 skalaer nedstrøms Tange Sø. På grundlag af disse data er det muligt at bestemme den strækningsmæssige variation i Manningtal om vinteren.

Data findes i de årlige afrapporteringer, f.eks.

Kontrol af vandføringsevnen i Gudenåen på strækningen fra Silkeborg til Tange Sø 2019.

og

Kontrol af vandføringsevnen i Gudenåen på strækningen fra Tange Sø til Randers 2019.

I 2013 blev der opsat 3 midlertidige vandstandsstationer på strækningen fra Silkeborg til Tange Sø med henblik på at undersøge effekten af grødeskæring på Manningtallet.

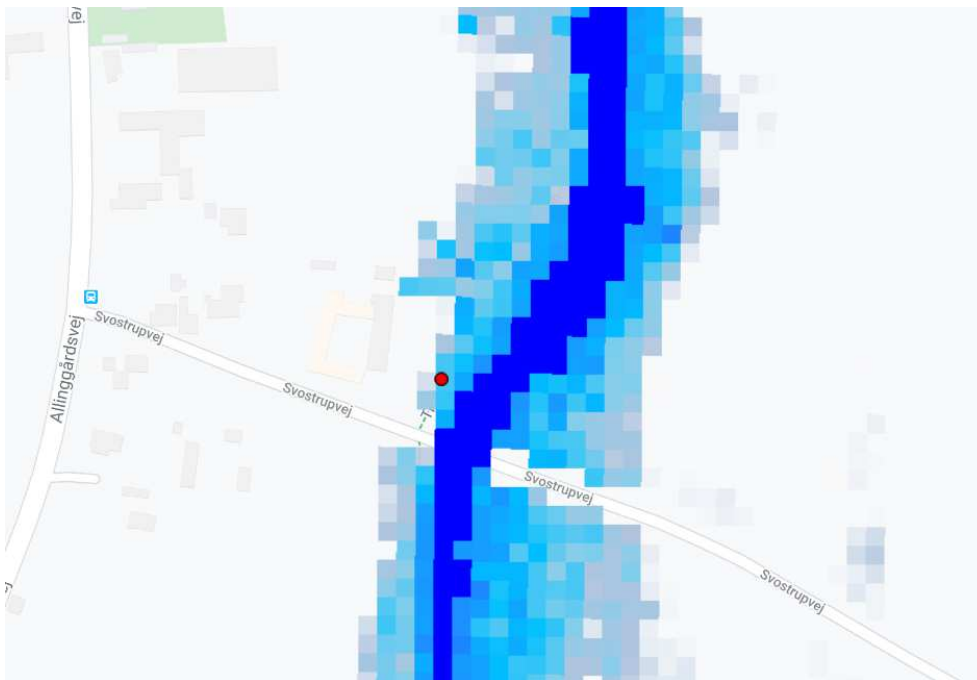
I rapporten nedenfor kan man se resultatet de Manningtal-beregninger, der blev udført.

Overvågning af vandstand og vandføring før, under og efter grødeskæring i Gudenåen på strækningen fra Silkeborg til Tange Sø, juni-september 2013.

2.5 Kobling til terrænmodel

Oversvømmelseskortene til varslingshjemmesiden laves ved udarbejdelse af M11-Flood Maps, hvilket vurderes at være en tilstrækkelig nøjagtig metode. Selve opløsningen af oversvømmelseskortene er lidt grov, men vurderes acceptabel. Der burde være mulighed for valg af luftfoto, se nedenfor, da baggrundkortet har samme toner som de laveste vandstande på oversvømmelseskortet, se eksempel på Figur 12 fra Svostrup Bro.

Korrekte oversvømmelseskort forudsætter dog, at de beregnede vandstande er korrekte og at vandløbet er georefereret korrekt. Afskæringen af højdemodellen er ligeledes vigtig, så de laveste områder er inkluderet. De steder, hvor dette er kontrolleret, er der ingen fejl fundet.



Figur 12. Eksempel på oversvømmelseskort ved Svostrup Bro.

3. Vurdering af varslingsmodel

Varslingsmodellen består af en vandløbsmodel (MIKE11), som er beskrevet i Afsnit 2, og en hydrologisk model for hele Gudenåens opland (MIKE SHE), der genererer afstrømning til vandløbsmodellen ud fra målte nedbør (op til varslingstidspunktet) og varslede nedbør (3 dage frem i tid) fra YR.no. Den hydrologiske model er således hele tiden opdateret med historiske nedbørs- og fordampningsforhold op til varslingstidspunktet og kan dermed tage højde for vandmætning i jorden etc.

I en række punkter i Gudenåen, hvor der måles vandstand og vandføring i realtid, assimileres data op til varslingstidspunktet, så vandløbsmodellen har det rigtige udgangspunkt forud for varsling.

Vandløbsmodellen rettes op med både vandstand og vandføring nedstrøms slusen i Silkeborg og nedstrøms Tangeværket. I de punkter, hvor modellen kun rettes op med målt vandstand, beregner modellen automatisk den vandføring, der ved det givne Manningtal vil give den målte vandstand.

3.1 Funktion af dataassimilering (DA-modul)

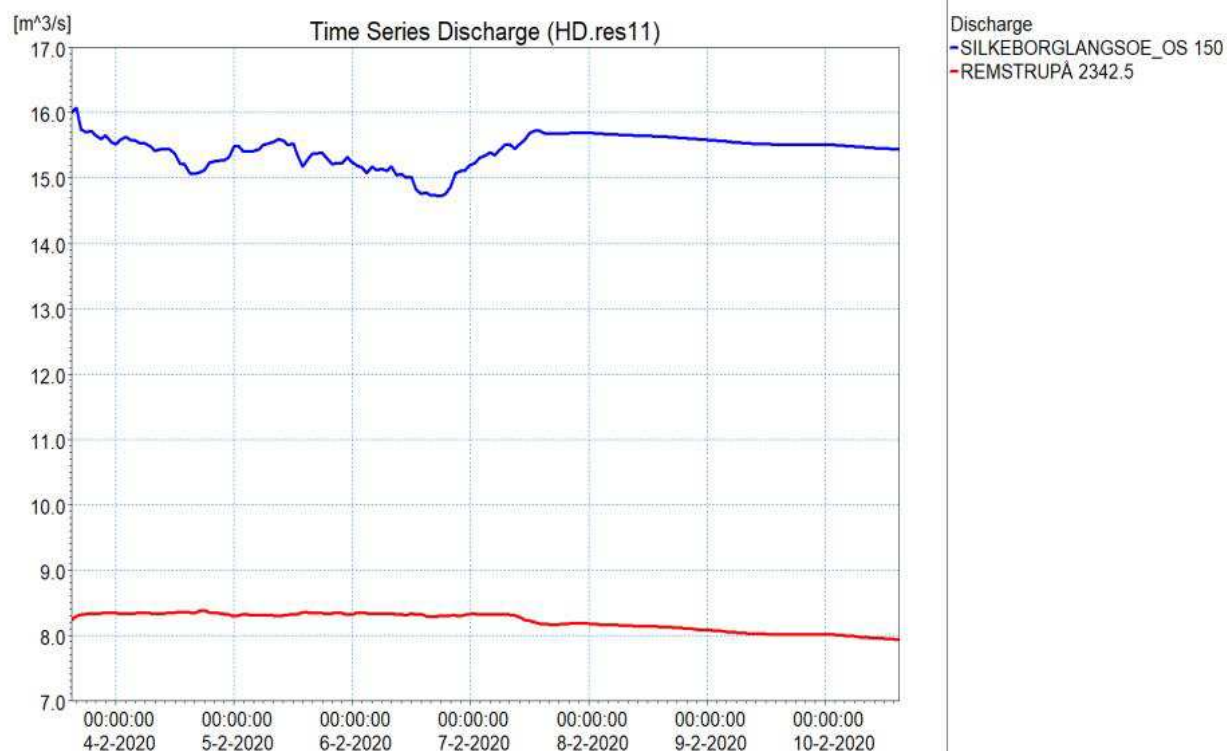
DHI-modellen assimilerer målt vandstand og vandføring nedstrøms slusen i Silkeborg og nedstrøms Tangeværket op til varslingstidspunktet (i nærværende notat d. 07.02 kl. 15). Ved slusen i Silkeborg er det dog kun flow for port 1-3 ved målestation nr. 21.51 (slusen i Silkeborg), der assimileres, og ikke det samlede flow, hvilket er en fejl. Derudover assimilerer DHI-modellen vandstand fra en række målestationer, der fremgår af Figur 5-1 i DHIs afrapportering.

Dataassimileringen medfører dog også, at der beregnes forkerte vandføringer, hvor der kun rettes op efter målt vandstand. Dette skyldes formentligt, at der anvendes forkerte Manningtal-variationer i DHI-modellen. Eksempler på forkerte vandføringer fremgår af Figur 13 til Figur 15, der viser ændringen i vandføring i DHI-modellen på strækningen fra opstrøms slusen i Silkeborg til nedstrøms Tangeværket.

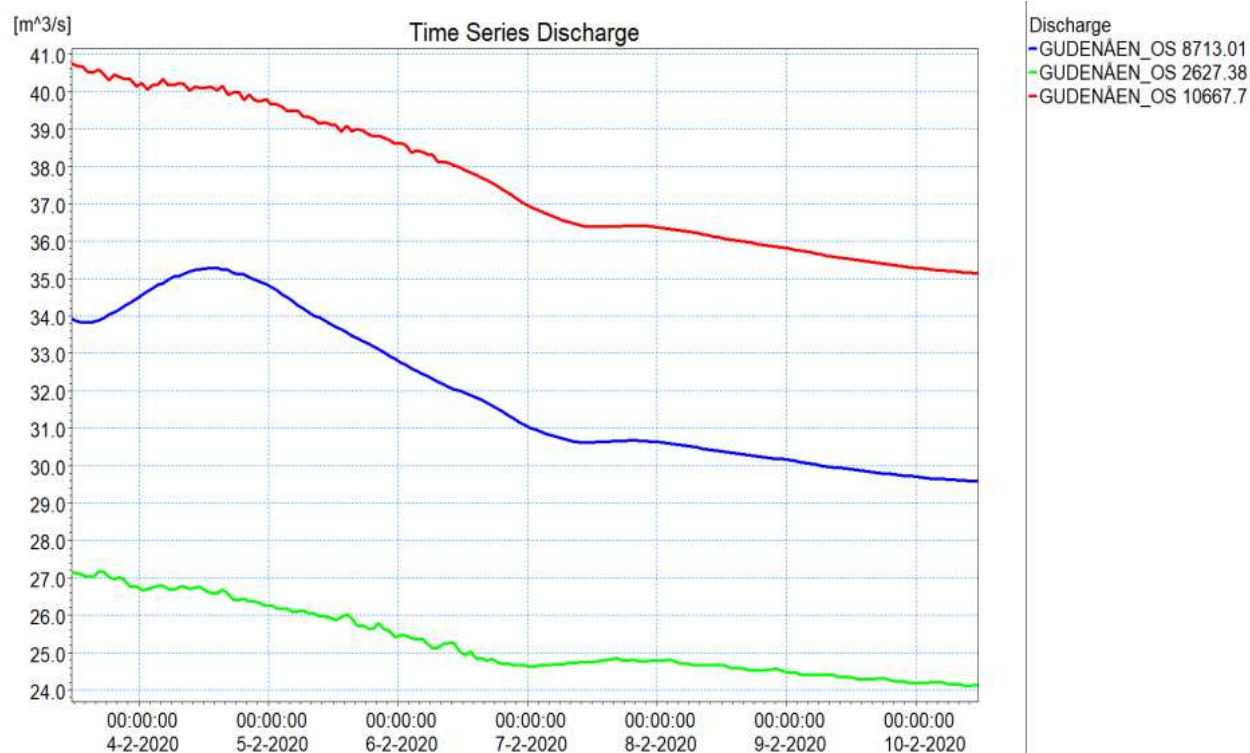
Den modelberegnete vandføring opstrøms slusen i Silkeborg er ca. 8 m³/s, mens den målte vandføring er ca. 15 m³/s (kun flow port 1-3), se Figur 13. Herefter stiger vandføringen til 27 m³/s, 34 m³/s og 41 m³/s ved henholdsvis Resebro, Svstrup Bro og Tvillum Bro, se Figur 14. Oplandsforøgelsen på denne strækning er ca. 280 km², hvilket svarer til en afstrømning på 93 l/s/km² på strækningen nedstrøms slusen i Silkeborg, hvilket ikke er realistisk. Ved Tangeværket er vandføringen steget til 50 m³/s, men der er kun målt ca. 38 m³/s ved Energimuseet lige nedstrøms.

Afvigelserne vurderes primært at skyldes de forkerte Manningtal-variationer jf. Afsnit 2.4.

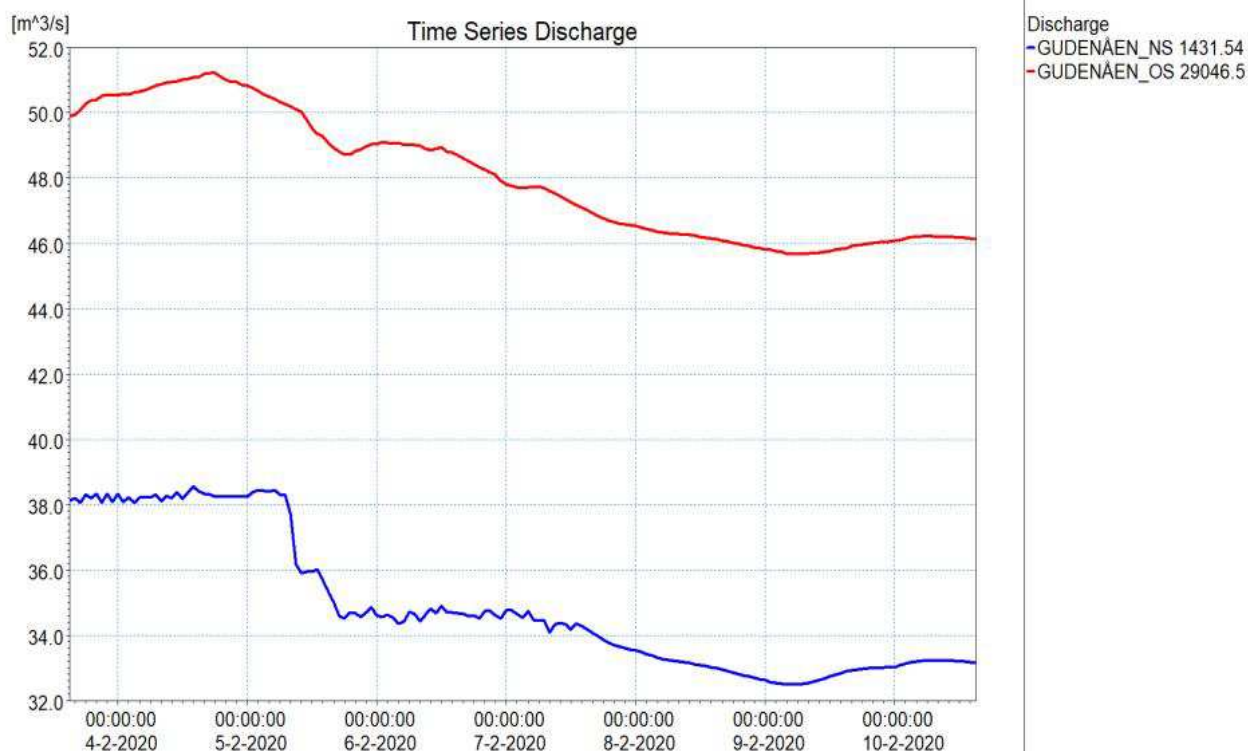
Der, hvor DHI-modellen assimilerer både vandstand og vandføring op til varslingstidspunktet, kører den videre med de varslede ændringer i vandføringen fra den hydrologiske model, hvilket umiddelbart vurderes som en fornuftig tilgang, så længe Manningtal-variationen og øvrige forhold vedr. vandløbsgeometrien er beskrevet tilfredsstillende.



Figur 13. Vandføring opstrøms (rød) og nedstrøms (blå) slusen i Silkeborg.



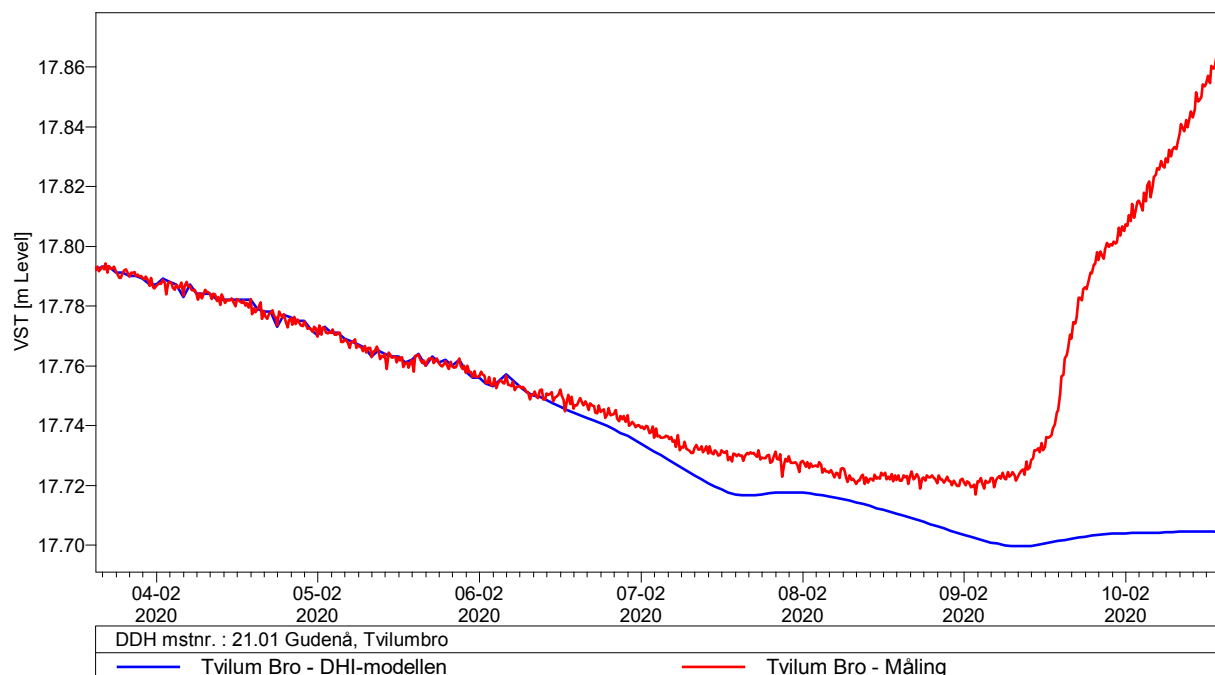
Figur 14. Vandføring ved Resenbro (grøn), Svostrup Bro (blå) og Tvilum Bro (rød).



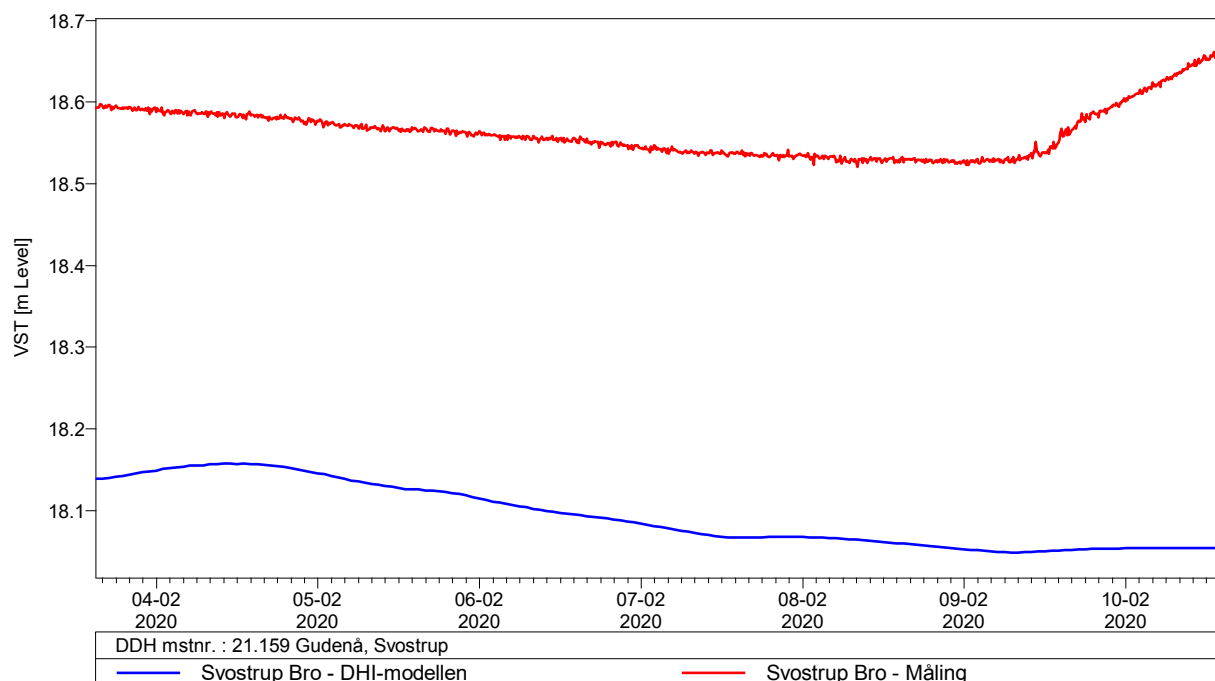
Figur 15. Vandføring opstrøms (rød) og nedstrøms (blå) Tangeværket.

3.1.1 Transponering mellem realtidsstationer

Dataassimileringen i DHI-modellen medfører, at der opnås det korrekte vandstands niveau forud varslingen i realtidsstationerne, men transponeringen ud til de mellemliggende varslingspunkter i modellen rammer væsentligt ved siden af som følge af de forhold, der er beskrevet i Afsnit 3.1. Et eksempel på, hvor skævt varslingen rammer imellem to realtidsstationer, fremgår af Figur 16 og Figur 17, der viser målt vandstand ved Svstrup Bro og Tvillum Bro og den beregnede vandstand fra DHI-modellen. Ved Svstrup Bro, hvor der ikke assimileres data, er afvigelsen op mod 50 cm, hvilket ikke er tilfredsstillende. Ved Tvillum Bro ser det ligeledes ud til, at der ikke sker dataassimilering helt op til varslings tidspunktet, hvilket sandsynligvis skyldes en fejl i/forsinkelse af hentning af vandstandsdata fra Miljøstyrelsens database. Det bør koordineres med Miljøstyrelsen, at der kan hentes opdaterede vandstandsdata lige op til det tidspunkt, hvor varslingsmodellen kører.



Figur 16. Vandstand ved Tvilum Bro. Måling = rød og DHI-modellen = blå.

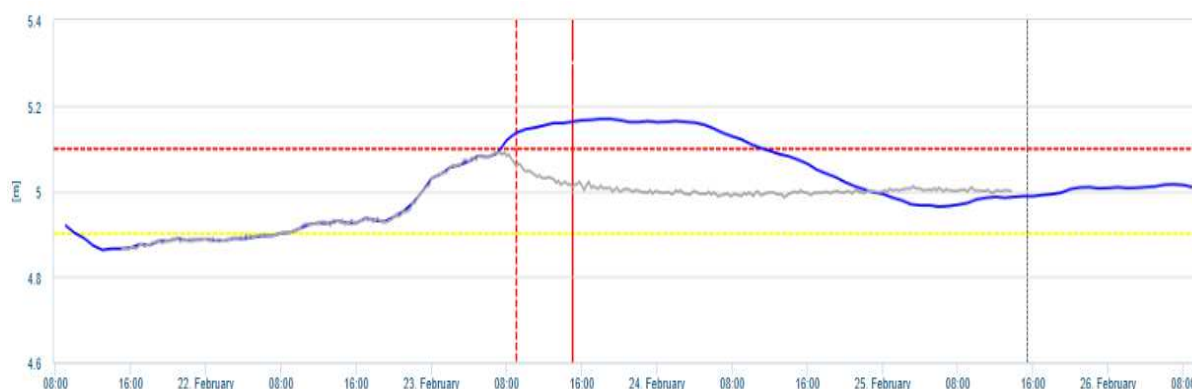


Figur 17. Vandstand ved Svostrup Bro. Måling = rød og DHI-modellen = blå.

3.2 Varsling nedstrøms Tangeværket

Varslingen nedstrøms Tangeværket er, som beskrevet i Afsnit 2.3.3, meget usikker som følge af Tangeværkets drift. Et eksempel på uforudsigelig drift af Tangeværket kan ses omkring d. 23.02, se Figur 18, hvor varslet (blå) og målt vandstand (grå) ved Sønderbro fremgår.

Der blev åbnet for nødslusen ved Tangeværket om aftenen d. 22.02. Dette giver anledning til den vandstandsstigning, der ses ved Sønderbro frem til d. 23.02 kl. 8 lige op til varslings tidspunktet. Varslingen har således haft et højt udgangspunkt rent vandstandsmæssigt pga. nødsluseåbningen. I virkeligheden aftager vandstanden, så snart nødslusen lukkes igen, men denne udvikling kan DHI-modellen ikke forudsige. Stigningen i vandstand i varslingsperioden må skyldes varslet nedbør, der ikke er slået igennem.



Figur 18. Varslet (blå) og målt (grå) vandstand ved Sønderbro, Bjerringbro.

Hvis varslingen nedstrøms Tangeværket skal forbedres, bør Tangeværket pålægges at holde så stabil en vandstand som muligt ved at lukke ligeså meget vand ud, som der løber ind i Tange Sø. Nødslusen må kun ibrugtages, når vandføringen overstiger kapaciteten på ca. 70 m³/s eller når flodemålet er ved at blive overskredet. Dette kan varslingsmodellen med rette ikke inkludere på nuværende tidspunkt. Så længe driften af Tangeværket fortsætter efter nuværende principper, vil DHI-modellens varslinger nedenfor være upålidelige.

3.3 Kvalitet af varslede nedbør

DHI-modellen indhenter målte SVK-nedbørsdata og varslede nedbør fra YR.no for 6 stationer i oplandet til Gudenåen, der er oplistet herunder.

Viborg Hedeselskabet
 Randers Centralrenseanlæg
 Silkeborg Vandværk
 Trankær Renseanlæg
 Horsens Centralrenseanlæg
 Jelling

Ved længerevarende og koblede frontregn, som er mest kritiske i forhold til høj vandstand i Gudenå, vil nedbørsfordelingen i Gudenå-oplandet typisk være mere ensartet end ved f.eks. lokale skybrud. Det vurderes derfor, at 6 nedbørslokaliteter er tilfredsstillende til at beskrive nedbørforholdene i oplandet til Gudenå under kritiske hændelser, men det er klart, at varslingen kan forbedres ved at øge antallet af nedbørslokaliteter.

I den udleverede varslingsmodel med ToF d. 07.02 kl. 15.00 er der generelt varslet markant mindre nedbør i varslingsperioden, end der faktisk blev målt på de 6 målestationer. I Tabel 1 ses en sammenligning af varslet nedbør og målt nedbør på de 6 stationer i den hydrologiske model for varslingsperioden d. 07.02 kl.

15 og 3 dage frem. Dette er medvirkende til, at de varslede vandstandsstigninger generelt er meget mindre end de observerede vandstandsstigninger i samme periode i hele Gudenåen.

Tabel 1. Forskel mellem varslet og målt nedbør.

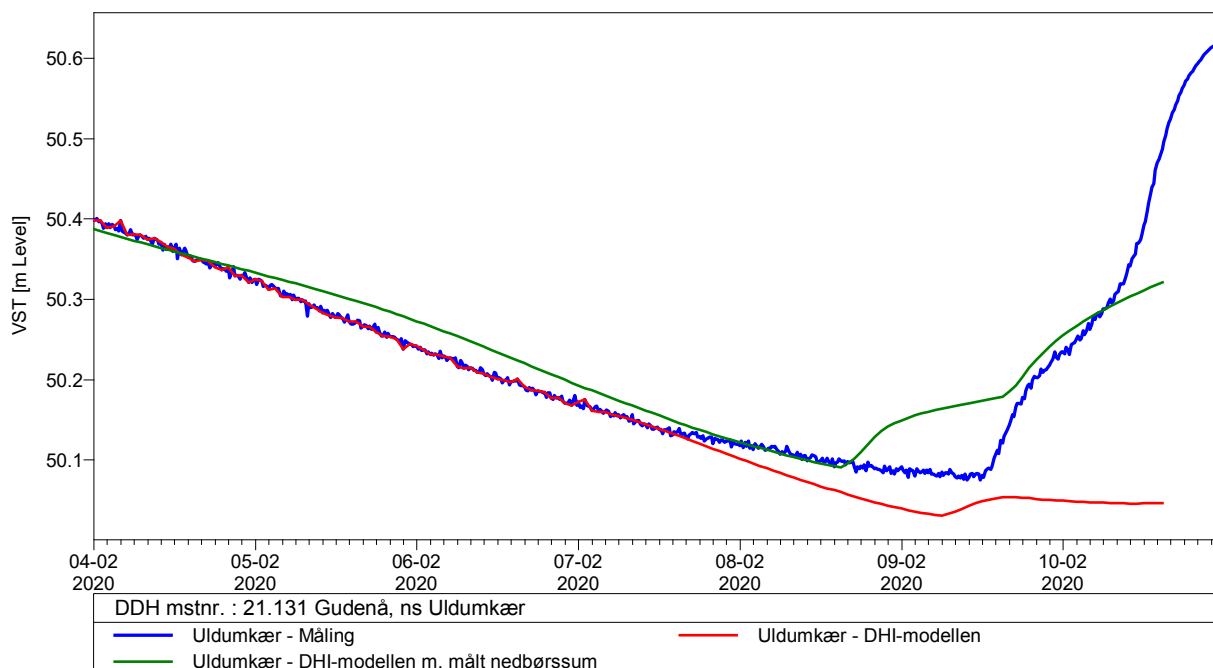
	VARSLET (mm)	MÅLT (mm)
Viborg Hedeselskabet	1.7	33.4
Randers Centralrenseanlæg	1.7	26.6
Silkeborg Vandværk	3.5	38.2
Trankær Renseanlæg	3.5	30.8
Horsens Centralrenseanlæg	3.7	30.6
Jelling	3.7	38.2

Orbicon har forsøgsvis kørt DHI-modellen med den korrekte nedbørssum (målt nedbør fordelt på 39 timer fra d. 08.02 kl. 00 til d. 10.02 kl. 16.00) i stedet for de varslede. Resultatet af vandstanden i Uldumkær ved denne testkørsel er sammenlignet med den varslede og målte vandstand på Figur 19.

Orbicon har ikke licens til at køre DA-modulet i varslingsmodellen, hvilket medfører, at resultaterne ikke kan sammenlignes direkte. Under alle omstændigheder indikerer de modellerede stigninger i varslingsperioden ved brug af målte nedbør, at varslingsmodellen kan respondere med mere realistiske vandstandsstigninger end de, der beregnes med de varslede nedbør.

Det målte vandstandsniveau bliver selvfølgelig ikke ramt præcist, hvilket til dels kan skyldes de fejl, der er påvist i selve vandløbsmodellen, herunder især Manningtal-variationen.

Den tidlige nøjagtighed for vandstandsstigningen ser dog ud til at være god i DHI-modellen. I Orbicons test er den ikke god, da modellen er testet med den korrekte nedbørssum og ikke den korrekte tidlige placering af nedbøren.

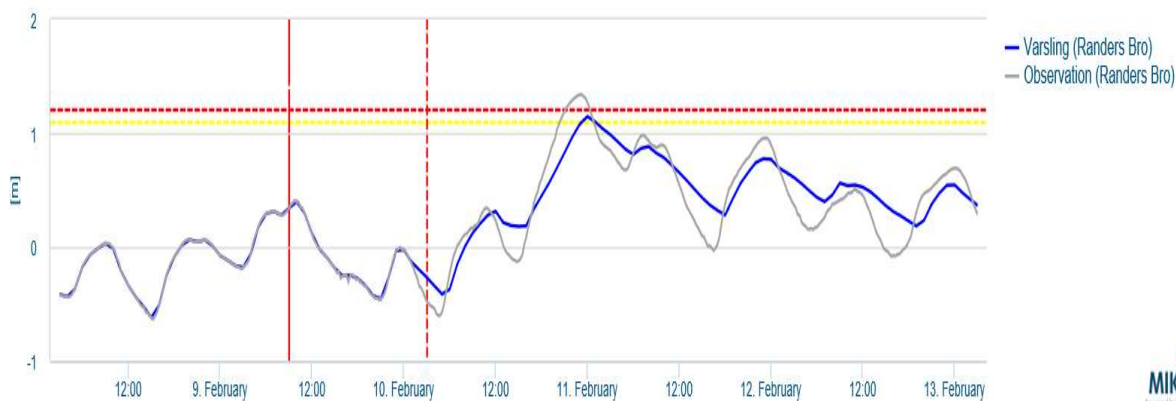


Figur 19. Sammenligning af varslet vandstand ved brug af varslede nedbør (rød) og målt nedbørssum (grøn) samt målt vandstand (blå) ved Uldumkær.

3.4 Varsling af vandstand i Randers Fjord

Et vigtigt punkt i varslingsmodellen er Randers Havn. Selve Randers Fjord er inkluderet i modellen, og der benyttes varslede vandstande ved Udbyhøj leveret af DMI som randbetingelse i selve varslingsmodellen. På Figur 20 ses sammenligning mellem varslet og målt vandstand i Randers Havn omkring d. 11.02, hvor vandstanden netop nåede en 1 års maksimum.

Den høje vandstand i Randers Havn blev varslet 1 døgn før, hvilket er godkendt. Varslingen afhænger dog primært af kvaliteten af DMIs vandstandsvarsling ved Udbyhøj. Der kan imidlertid konstateres forskydninger i top/bund af vandstand og i tid ved sammenligning af DHI-modellens varsling og den målte vandstand i Randers Havn. Der er i DHI-modellen anvendt et Manningtal på 35 for hele Randers Fjord, hvilket er urealistisk lavt for fjorden. Dette kan medføre en urealistisk dæmpning af vandstanden og en tidlig forskydning i forhold til Udbyhøj. Manningtallet for Randers Fjord bør kalibreres på plads.



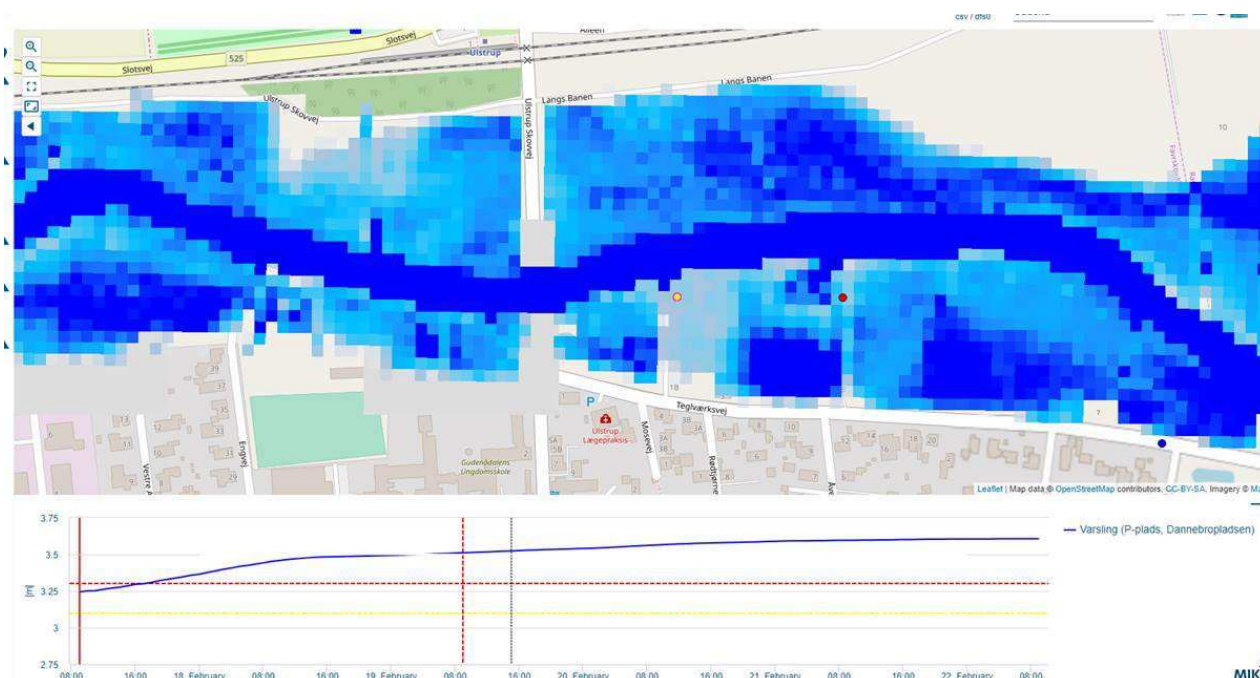
Figur 20. Eksempel på varslingsmodellens evne til at forudsige forhøjet vandstand i Randers Havn.

3.5 Visning af varsling på hjemmeside

Resultaterne fra varslingsmodellen inkl. målte vandstande fremvises på en webside, der på sigt skal gøres offentlig tilgængelig.

Generelt er varslingshjemmesiden overskuelig og varslingspunkterne vises i den rækkefølge, som de ligger i Gudenå på strækningen mellem udspring og Randers Fjord. Det kan dog være svært at vurdere små ændringer i vandstand på vandstandskurverne. Dette kunne forbedres ved at vise den målte/modellerede vandstand i varslingspunktet for en længere periode før varslings tidspunktet (f.eks. 1 uge bagud).

Der er desuden flere eksempler på, at varslingspunkternes farve ikke følger de vandstandsniveauer, der er varslet, dvs. at punktet på oversigtskortet er blått eller gult, selvom vandstanden i varslingen har overskredet enten gul eller rød linje. Eksempel på vandstandsskala og fejl i farve på varslingspunkt fremgår af Figur 21. Uoverensstemmelser i forhold til farve af varslingspunkt bør ikke forekomme fremadrettet.



Figur 21. Eksempel på vandstandsskala og fejl i farve på varslingspunkt.

4. Vurdering af scenarieberegninger

DHI har undersøgt en række klimatilpasningsscenarier med vandløbsmodellen for Gudenå for at påvise en eventuel effekt af tiltagene. Der henvises til Tabel 7-1 i DHIs afrapportering for beskrivelse de enkelte scenarier.

De udførte scenarieberegninger er gennemgået med henblik på at vurdere konsekvenserne af de fejl, der er konstateret i selve vandløbsmodellen, der ligger til grund for scenarieberegninger.

Da der i flere af scenarieberegningerne ses på forskelle før og efter et givent tiltag, vil fejlene i vandløbsmodellen i nogen grad blive udvasket, da der begås samme fejl i begge beregninger. Effekten af

de undersøgte tiltag (i cm vandstandssænkning) vil derfor ikke blive markant anderledes ved brug af en fuldt oprettet og retvisende vandløbsmodel. Dette gælder dog ikke Scenarie 6 (Parallelløb), hvor DHI vurderer, at der kan opnås en vandstandssænkning på 24 cm i Silkeborg Langsø ved etablering af parallelløb mellem Ringvejsbroen og Resenbro. Dette vurderer Orbicon ikke at være sandsynligt. DHIs vurdering må skyldes, at DHI-modellen generelt underestimerer vandstanden i Gudenå nedstrøms Resenbro, se Bilag 1. Etablering og effekt af parallelløb er i øvrigt undersøgt tidligere, og der blev ikke fundet nogen væsentlig effekt på vandstanden i Silkeborg Langsø.

Selve oversvømmelseskortene er dog ikke retvisende, hvilket især påvirker resultaterne af Scenarie 4 (Jordkøb, jordfordeling og høj klimafaktor), hvor der er udarbejdet sandsynligheds- og risikokort på baggrund af oversvømmelseskort.

Det er også Orbicons vurdering, at konklusionen af Scenarie 3 Uddybning ikke er retvisende, specielt i forhold til strækningen mellem udløb Nørreå og til Randers Bro, hvor DHI beregner en vandstandssænkning opstrøms motorvejsbroen på 27 cm ved en 20 års afstrømning. Det er selvfølgelig muligt at sænke vandstanden på strækningen i kortere perioder under store afstrømninger ved en større uddybning, men effekten er størst ved normal-lav vandstand i Randers Fjord og væsentligt mindre ved høj vandstand i Randers Fjord. Ved normale vandføringer vil der være meget begrænset effekt af oprensning på strækningen, da der er stuvningspåvirkning fra Randers Fjord. Dette bør indarbejdes i konklusionen af scenarieberegning 3.

Det er samlet set Orbicons anbefaling, at scenarieberegningerne genberegnes efter fuld opretning af vandløbsmodellen, hvis oversvømmelseskortene skal bruges fremadrettet.

5. Anbefalinger

Det er Orbicons anbefaling, at selve fundamentet for varslingsmodellen, dvs. MIKE11-modellen, gennemgås med fokus på at oprette de fejl og afvigelser, der er konstateret i Afsnit 2 og 3.

Derudover anbefales det, at varslingsmodellen løbende opdateres med nye realtidsstationer for at forbedre udgangspunktet for varslingen. Udgangspunktet imellem realtidsstationer bør dog også blive væsentlig forbedret ved opretning af de fejl og mangler, der er fundet i vandløbsmodellen.

Følgende eksisterende realtidsstationer anbefales indarbejdet i dataassimileringen på nuværende tidspunkt:

Gudenå, Ringvejsbroen
Gudenå, Svostrup Bro
Gudenå, Nebelgårde

Det vurderes, at DHI har anvendt de mest repræsentative vandstands- og vandføringsstationer tilgængelige på det tidspunkt, hvor de igangsatte opsætningen af varslingsmodellen. DHI har ikke anbefalet opsætning af yderligere målestationer forud for arbejdet med varslingsmodellen, selvom de tilgængelige målestationer ikke har kunnet beskrive vandstandsvariationen i Gudenå tilfredsstillende.

Varslingen nedstrøms Tangeværket vil ikke blive forbedret væsentligt ved de foreslåede tiltag, da vandføringen stadig vil være uforudsigelig som følge af Tangeværkets drift. En bedre varsling vil, som beskrevet i Afsnit 3.4, kræve en mere forudsigelig drift af Tangeværket.

Det vurderes som udgangspunkt, at kvaliteten af de varslede nedbør enten er for dårlig eller at de ikke indhentes korrekt til brug i varslingsmodellen. For at anskueliggøre evt. usikkerheder ved den varslede nedbør, burde det være muligt at se forskellen mellem observeret og varslet nedbør på varslingshjemmesiden.

Det anbefales, at DHI leverer en sammenligning af varslet vandstand (med brug af målte nedbørsmængder) og målt vandstand for varslingsperioden 07.02 kl. 15 og 3 dage frem, når selve vandløbsmodellen er oprettet med de fejl og mangler, der er påvist.

Selve den hydrologiske model ser ud til at kunne generere mere retvisende resultater, hvis der anvendes pålidelige varslede nedbør. Overordnet vurderes DHIs tilgang til en varslingsmodel for Gudenå at være god, men det kræver et væsentligt bedre fundament for specielt vandløbsmodellen at kunne udsende pålidelige varslinger om forhøjet vandstand i Gudenåen.

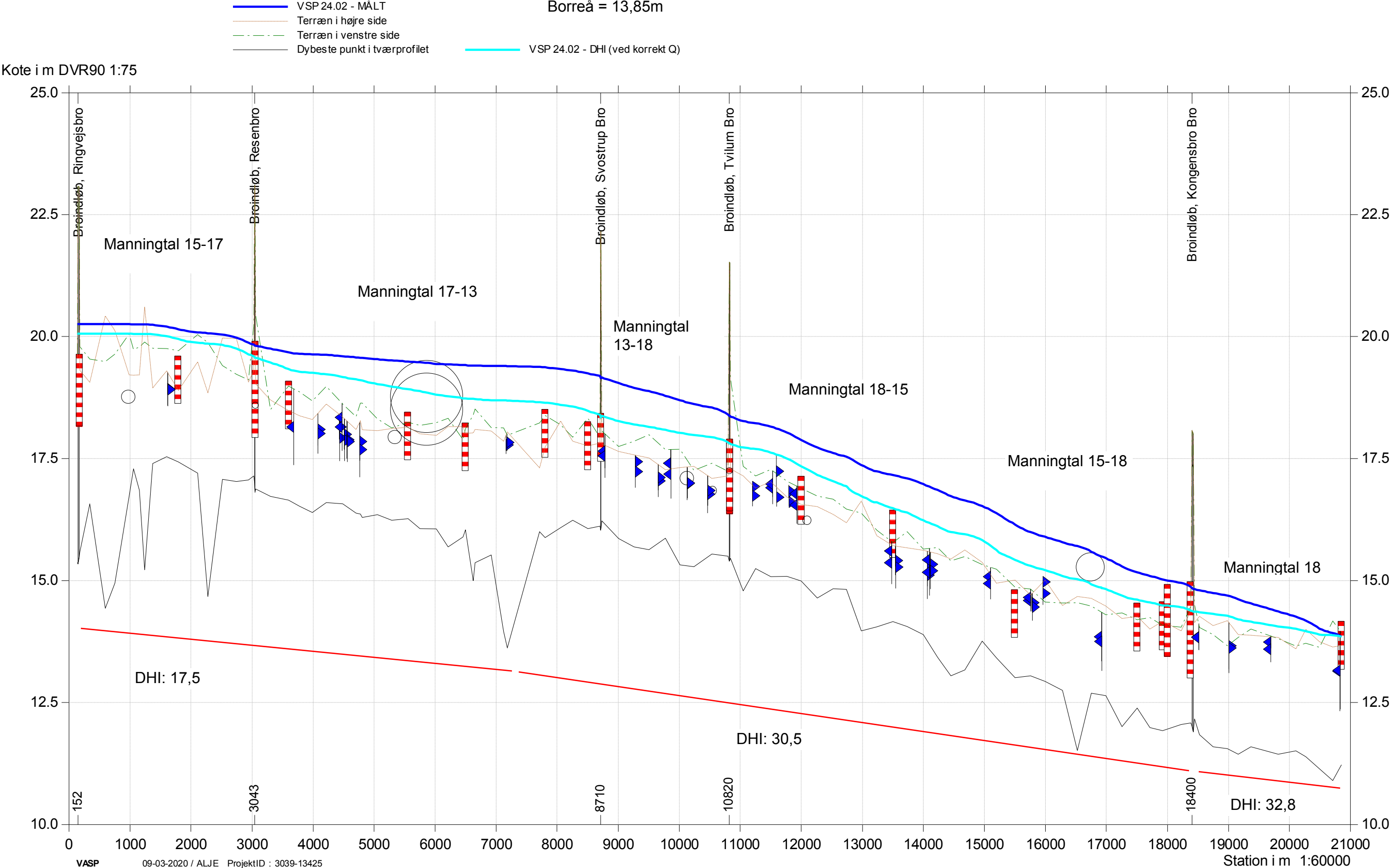
Varslingsmodellen er dog følsom overfor uregelmæssigheder i forhold til indhentning og kvalitet af varslede nedbør samt målte vandstande og vandføringer, selvom den fysiske beskrivelse af vandløbet optimeres.

Gudenå OS Tange Sø

Opmåling 2011

Mørkeblå = Tilpasset vandspejl ud fra målt Q og målte vandstande d. 24. februar kl. 12.00.
Lyseblå = Vandspejl beregnet med Manningtal fra DHI-modellen ved samme Q
Ringvejsbro = 20,26m
Resenbro = 19,82m
Svostrup = 19,17m
Tvillum = 18,38m
Nebelgårde = 17,16m
Kongensbro = 14,81m
Borreå = 13,85m

Bilag 1



DHI svar på Orbicon model review notat.

Model review formål og fremgangsmåde

Orbicons model review baserer sig på en delvis gennemgang af Gudenå varslingsmodel. Der er benyttet en modelopstilling (MIKE SHE – MIKE11) fra den 7. februar 2020 kl 15.00.

Gennemgang af hovedpunkter i model review notat

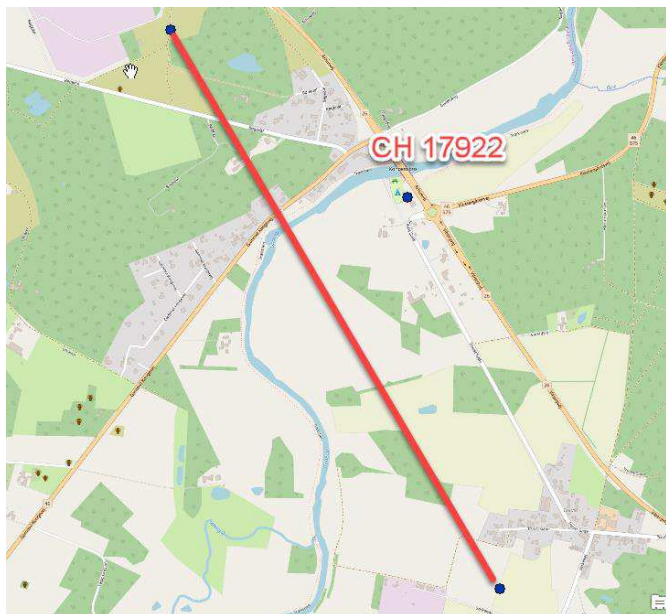
Kritikpunkterne drejer sig primært om vandløbsmodel og varslingsmodel. I det følgende er punkterne kommenteret og besvaret

1. Centerlinie i åløb og tværsnitsstationering

Der er vist to eksempler fra Svostrup og Kongenbro strækning hvor det fremføres at digitaliseringen af Gudenås forløb ikke følger centerlinie for vandløb/opmåling og at modellens tværnsnit er forskudte langs åen i forhold til opmåling.

Det er korrekt at centerlinie for vandløbet kan være forskudt i forhold til et baggrundskort, men det har ingen betydning for selve beregningen, da MIKE11 ikke bruger den fysiske placering i selve beregningen. MIKE11 bruger afstanden mellem tværnsnit, som er defineret i selve setuppet og ikke den fysiske længde eller placeringen af centerlinien. To identiske MIKE11 modeller placeret eksempelvis i Jylland og på Sjælland vil give de samme resultater.

Når vandstanden projiceres ud i ådalen bruges de koordinater der er i tværsnitsfiles og for tilfældet ved Kongesbro vil vandstanden for chainage 17922 blive brugt ved den røde linie i figuren hvilket matcher fint med Orbicons placering af pågældende tværnsnit.



Mulig løsning : Det vil være muligt at justere digitalisering af åløb og tværsnits placering på strækningen Silkeborg- Tange Sø.

Effekt : I forhold til varslingsmodellen og dens resultater har centerlinieforskydning ingen effekt på selve vandstandberegning. Med hensyn til forskudte tværsnit indenfor relativt korte afstande kan vi bekræfte, hvad model review notat selv gør opmærksom på, at vandstandforskellen er lille. Derfor er ændringerne primært kosmetiske.

2. Manning tal på tværs af å og ådal

I notatet foreslås det at Manningtal varieres til at afspejle lavere modstand i selve vandløbet og højere modstand på tilstødende arealer.

DHI medgiver at det kan være aktuelt at bruge lavere Manning tal (dvs højere modstand) udenfor selve åløbet. Det vil begrænse vandføringsevnen på de ånære arealer ved oversvømmelse. Det kræver dog data fra store afstrømningshændelser for at justere Manningtal udenfor selve åløbet. Det har kun i ringe grad forekommet i kalibreringsperioden. Data fra de store oversvømmelser i februar-marts 2020 udgør et bedre grundlag til at vurdere dette.

Mulig løsning : Det foreslås at fastholde den allerede udmærkede kalibrering fra C2C CC projektet men at kalibrere Manning tal for tilstødende arealer alene ud fra den ekstreme februar-marts 2020 hændelse. Skal dette ske for hele Gudenå forudsætter det dog at alle vandførings- og vandstandstidsserier data forefindes for perioden.

Effekt : En Manning tals ændring kan påvirke vandspejl ved store afstrømningshændelser (som februar-marts 2020). En højere modstand udenfor selve vandløbet vil resultere i et samlet lavere Manning tal set over hele tværsnittet. Effekten vil variere fra sted til sted.

3. Manglende vandløbsopmålinger

Notatet peger på manglende eller utilstrækkelige opmålingsdata, især for opstrøms del af Gudenå.

DHI har brugt de data der var til rådighed med projektets start. Nye og bedre opmålingsdata medvirker til en bedre model for pågældende strækninger. Det gælder ikke Gudenå model alene, men vandløbsmodeller generelt. Modellen består af tværsnitsdata der er af varierende oprindelse, alder og nøjagtighed, hvilket ikke er ualmindeligt for så stort et vandløbssystem.

Mulig løsning : Ny opmåling på udvalgte strækninger vil på sigt kunne styrke modellen, men det har et andet tidsperspektiv end opgaven vedrørende udarbejdelse af varslingsmodellen.

Effekt : Det er vanskeligt at vurdere uden konkrete nye data, men generelt må forventes en forbedret hydraulisk model med positiv effekt på varslingsmodellens beregning af vandstande.

4. Beskrivelse af bygværkers vandstandsregulering kan forbedres

Orbicon model review notat ser på vandstandsreguleringen ved Ry Mølle, Silkeborg Sluse og Tangeværket. I den forbindelse ses på februar-marts 2020 hændelse i forhold til kapacitet, vandspejlskote og flodemål.

DHI er enig i at februar-marts hændelsen har bidraget med nye data der kan benyttes til at justere den hidtidige antagede bygværkskapacitet til bedre af afspejle vandspejlskoter ved disse. Alle bygværker er beskrevet ved en kapacitet svarende til "normale" forhold op til flodemål og en ekstra

kapacitet når flodemål overskrides. Sidstnævnte kan afpasses ud fra februar-marts 2020 data med hensyn til at få et bedre match i forhold til observerede vandspejlskoter ved eller over flodemål. DHI er uenig i at det kræver mere detaljeret geometrisk beskrivelse af de enkelte bygværker, men det er derimod afgørende at have samhørende tidsserier for vandføring og vandstande omkring bygværkerne for perioden.

Mulig løsning : Justering af bygværksbeskrivelse og antaget kapacitet ud fra februar-marts 2020 hændelsen.

Effekt : Det vil bidrage med en forbedret beskrivelse af vandstand i varslingsmodellen ved meget høje vandføringer

5. Manning tal er forkerte

Orbicon model review præsenterer Manning tal baseret på 2012-2019 medianværdier, anslåede Manning tal for februar-marts 2020, kravkurver og vandføringskontrol (2019).

DHI har kalibreret model til brug for varsling (2000-2017), ikke i forhold til kravkurver, netop ikke i forhold langtidsmidlede værdier, ikke i forhold til vandføringskontrol fra 2019 og ikke i forhold til nye data fra februar-marts 2020 . DHI modelkalibrering af vandstand har som beskrevet haft hovedvægt på det seneste år i kalibreringsperioden og en årlig variation i Manningtale er fastlagt på den baggrund. Hvis der bruges andre metoder, modeller, andre perioder, udvalgte hændelser eller andre formål vil man kunne finde frem til et andet sæt Manning-tal.

Jævnfør diskussion om at variere Manningtal i tværsnit imellem vandløb og ådal er det uklart hvilke Manningtal Orbicons analyse bygger på for hver af de to zoner. Desuden fremhæves usikkerheder i grundlag for bestemmelsen.

Man kan ikke lægge andre Manning-talskurver ind i en vandløbsmodel da der er tale om en kalibreringsparameter fastlagt strækningsvis ud fra til rådighed værende vandførings- og vandstandsdata. Man kan heller ikke forvente at Manningtals-beregning for en given lokalitet kan regnes gældende for en strækning. Dertil kommer at der er påvist en tydelig tendens for Gudenå med hensyn til stigende modstand over årene (mest tydeligt på nedstrøms del). Modstandstal beregnet i hhv. 2017 og 2020 kan ikke forventes at være de samme.

Mulig løsning :

I forlængelse af tidligere afsnit om forskellige Manning-tal for å og ådal vil det give mening at kigge på hændelsen i februar-marts 2020 for at undersøge om det vil forbedre resultaterne at indføre lavere Manning-tal for ådalen. Forudsat de nødvendige vandstands- og vandføringstidsserier er til rådighed kan kalibrering af modstandstal for ådal foretages for februar-marts 2020 hændelsen.

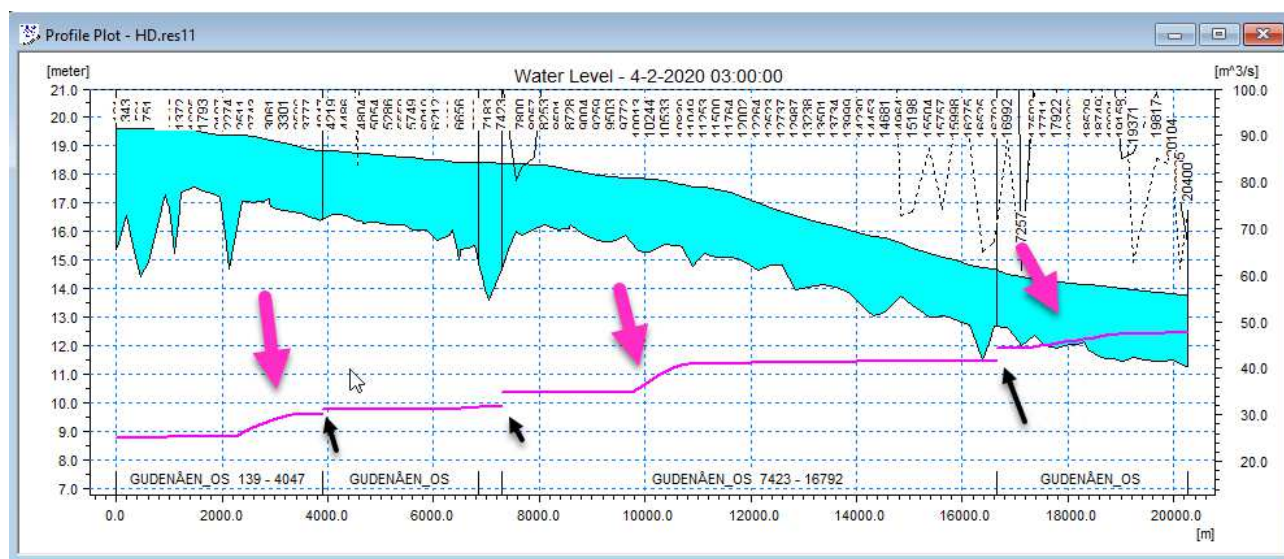
Effekt : Det er svært at sige noget generelt om dette – nogle steder kan andre modstandstal have en positiv effekt og andre steder en negativ effekt. Det er stadig DHI's overbevisning at de nuværende modstandstal er repræsentative for det datagrundlag der blev anvendt til kalibreringen. Det vil forventes at den positive effekt hovedsaglig vil være på steder hvor der ikke tidligere har været målinger til at understøtte en kalibrering eller for hændelser der ikke er indgået i kalibreringsperioden.

6. Varslingsmodellen simulerer ikke korrekt vandføring

Orbicon model review hævder at varslingsmodellens simulerede vandføring er forkert og urealistisk. Tilvækst i Q kan sandsynligvis tilskrives DA (opjusteret) vandspejl på strækningen.

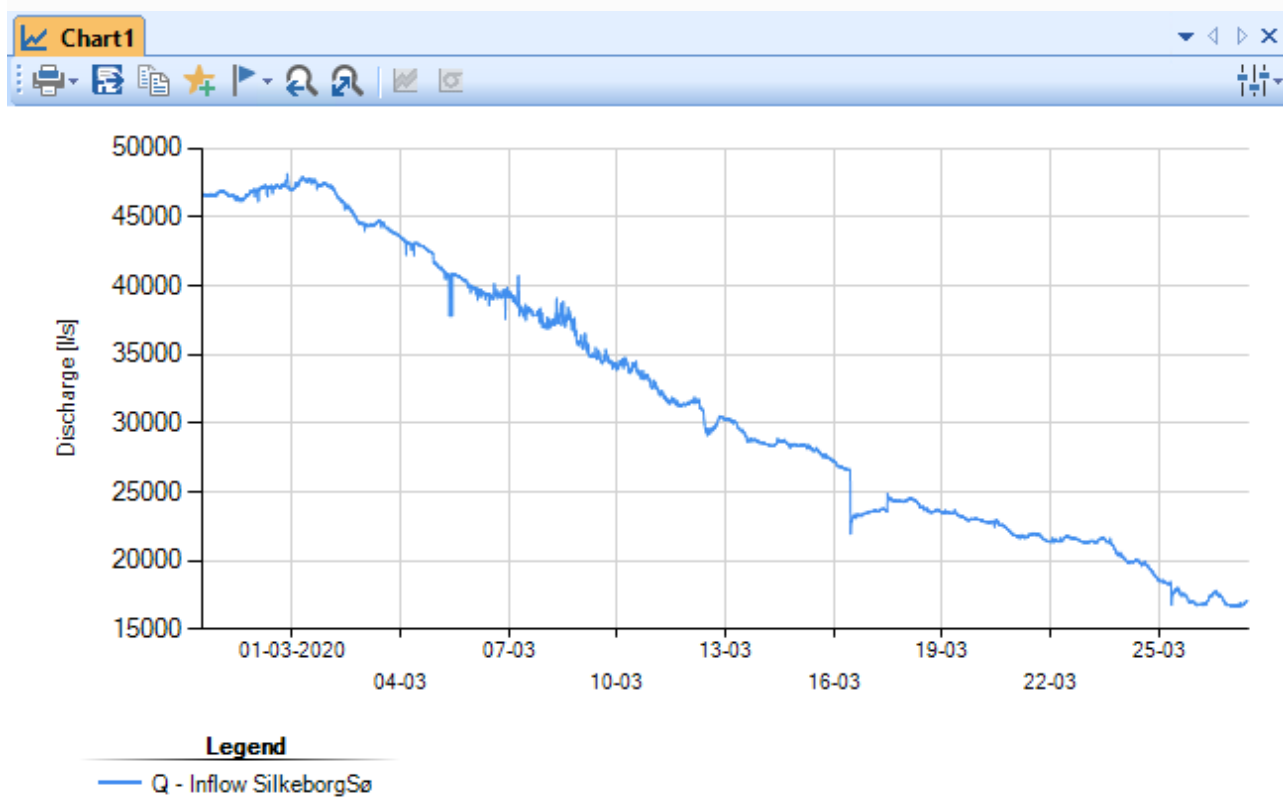
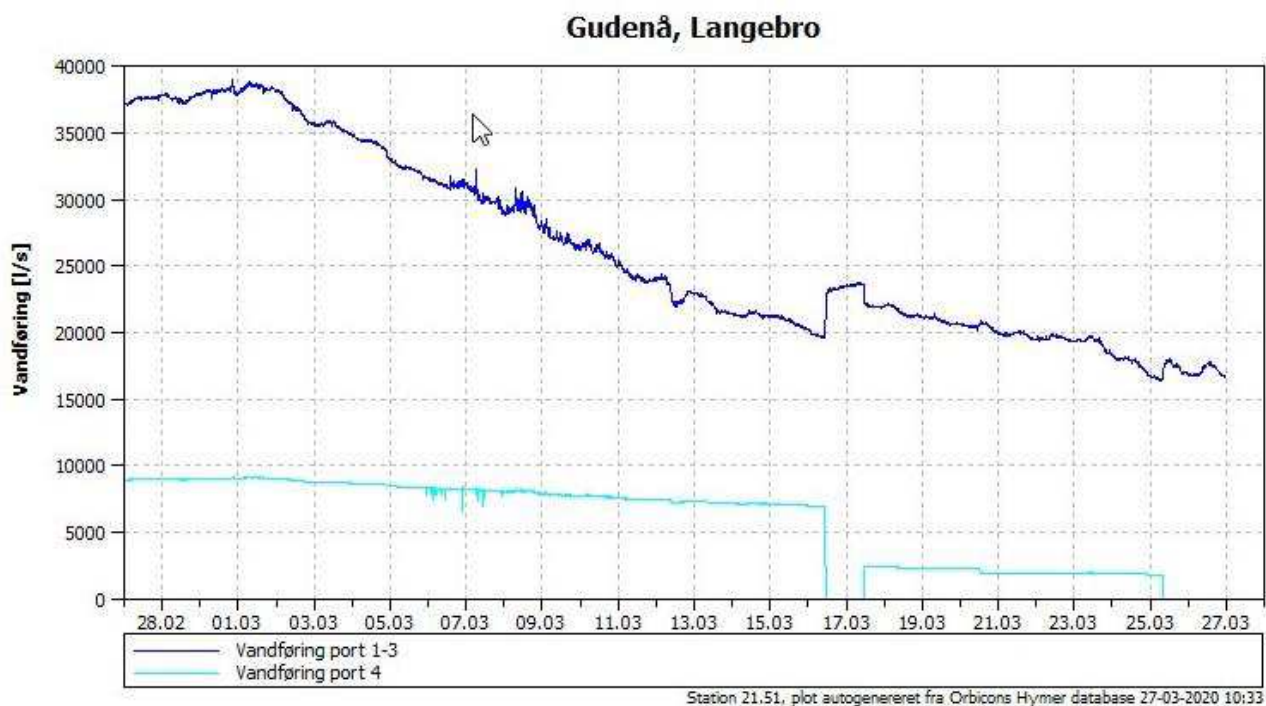
DHI kan bekræfte at hvis varslingsmodellen beregner for lav vandstand i forhold til måling, så vil data assimileringen tilføje vand til modellen og modsat hvis modellen beregner for høj vandsstand, så vil data assimileringen trække vand ud af modellen - DA på H vil altid have Q-effekter. Hvor meget vandføringen øges når DA korrigerer vandstand afhænger af mange faktorer, herunder Manning-tallet. I tilfældet for hændelsen i februar-marts 2020, så kan en kombination af for lavt Manning-tal i ådalen muligvis resultere i at der bliver tilføjet uforholdsmæssigt meget vand til modellen.

Det af Orbicon beskrevne forløb er korrekt for den pågældende simulering, men det er en konsekvens af DA og tilpasning til målt H. Nedenfor er vist et længdeprofil af strækningen mellem Silkeborg og Tange Sø (pink linie viser vandføringsforløb og tyrkiest område vandstand). Tilvækst i vandføring ved pink pile skyldes data assimilerings og ved sorte pile sidetilløb.



Vandstanden for de 3 observationspunkter/assimileringspunkter (Resenbro, Tvillum og Kongensbro) stemmer fint overens med målingerne. Det er vigtigt at holde sig for øje at vandstand er den vigtigste parameter i varslingsmodellen. Som tidligere beskrevet så afhænger vandsføringsændringen af bl.a. Manning-tallet, samt den aktuelle vandstand i forhold til tværsnitsprofilen.

DHI har checket om vandføring hentes og bruges korrekt ved Slusen i Silkeborg og det vurderes at være korrekt. Nedenfor vises et screendump fra Hydrometri.dk og de data der er hentes og brugt i modellen(nederste plot). Ved at summere data fra de 2 kurver i øverste plot er data sammenlignelige med de data der hentes og bruges i modellen. Det skal bemærkes at det ikke er DHI bekendt hvor Hydrometri.dk får data fra, men i varslingsmodellen hentes data fra WinTec.



Mulig løsning : Tilpas ådalens Manning-tal, så dette er repræsentativt ved høje vandstande, samt inkludere flere målinger, som er blevet tilgængelig efter projektet start.

Effekt : Ved at øge modstanden i ådalen vil der skulle tilføjes mindre vand til at opnå den ønskede vandstand forøgelse, hvilket måske kan bidrage til bedre vandføringsforløb ved ekstreme tilstande.

7. Varslingsmodellen er usikker nedstrøms Tangeværket

Ifølge Orbicon model review er varslingsmodellen begrænset ved ikke at kunne forudsige regulering af Tangeværket i prognoseperioden. Her opfordres til en mere jævn drift af Tangeværket.

Det gælder generelt at man ikke kan forudsige fremtidige reguleringer når de ikke er regelbundne og vi forventer heller ikke at Tangeværket vil ændre praksis. Eksemplet med pludselige ændringer der ikke bliver forudset af varslingsmodellen er allerede dækket i tidligere udvekslede kommentarer og svar i projektet.

Derimod vil vi fremhæve at varslingsmodellen reagerer med det samme når ændret regulering finder sted via brugen af nedstrøms realtidsdata i dataassimilering. Vi er uenige at det skulle gøre varslingsmodellen upålidelig generelt. Begrænsningen gælder primært ved omtalte pludselig ændret drift. Det er et vilkår for al prognose og varslings at fremskrivning i tid er en tilnærmelse. Prognosemodellen må antage at den seneste målte vandføring er gældende over prognoseperioden (med opdatering og korrektion hver 6 time).

Mulig løsning : DHI ser ikke noget alternativ med mindre Tangeværket kan informere om regler eller fremtidige driftsændringer. Det nytter ikke at indarbejde regler der ikke bliver fulgt. Det er muligt at se på marts-februar 2020 forløbet, men det er uvist hvad der kan udtrækkes i forhold til forbedring af varslingsmodellen

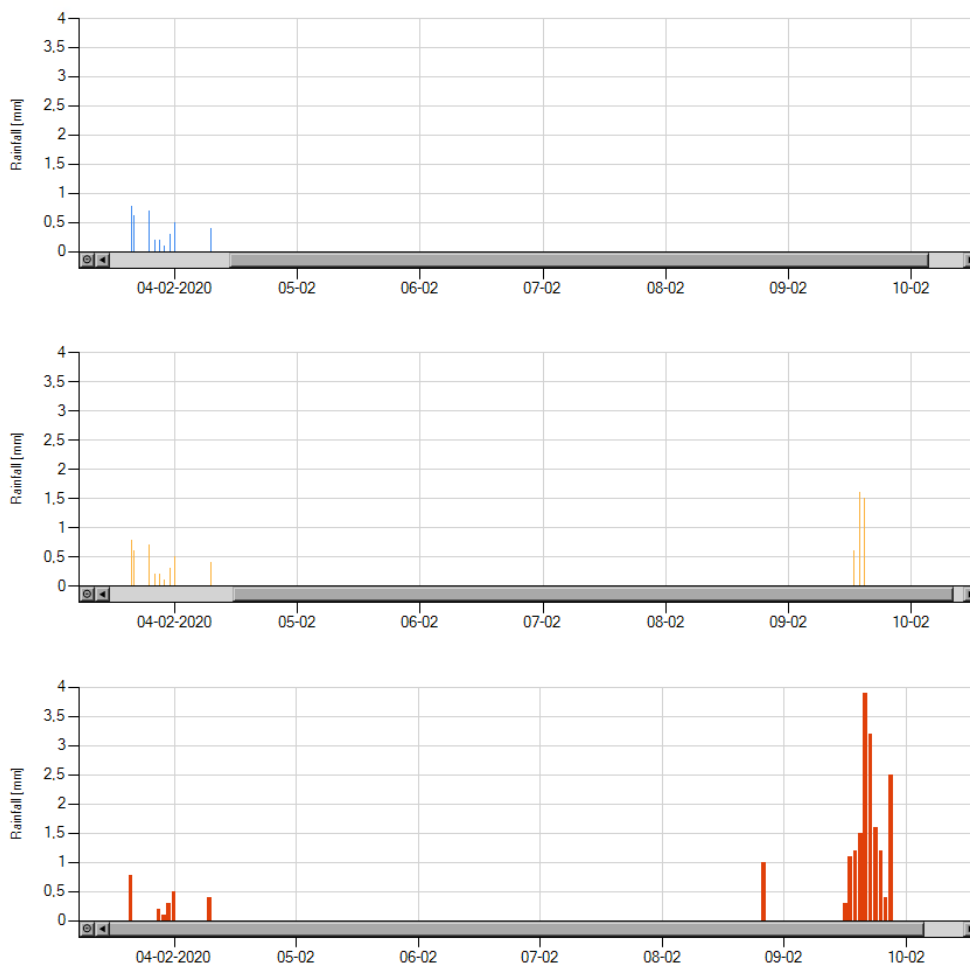
Effekt : Ukendt

8. Nedbørsprognose er for dårlig

Ifølge Orbicon model review er nedbørsprognoser for dårlige og DHIs import af prognosedata forkert

I forbindelse med Orbicons arbejde har der været kommunikation om dette og DHI har checket og oplyst at importen virker korrekt og efter hensigten. Nedenstående plot viser prognoser for Horsens for 3 forskellige tidspunkter d.7. Februar 2020 (kl. 09:00 (top), kl. 15:00 (midte) og kl. 21.00 (bund)). Der er ikke fejl i importen af prognosedata.

Orbicon præsenterer en tabel for ét tidspunkt. Det siger ikke noget om et generelt kvalitetsproblem med prognosedata. Som vist ændrer nedbørsmængden sig betydeligt, f.eks. indenfor 6 timer. Dog viser enhver erfaring betydelige afvigelser i nedbørsvolumener imellem prognose og måling samt imellem prognosetidspunkter uanset hvilke prognosedata der anvendes. Borgere er ofte fortvivlede over hvor omskiftelige nedbørsprognoser er under en kritisk situation, som f.eks. februar-marts 2020. Det er der desværre intet nyt i og det påvirker varslingsmodellen.



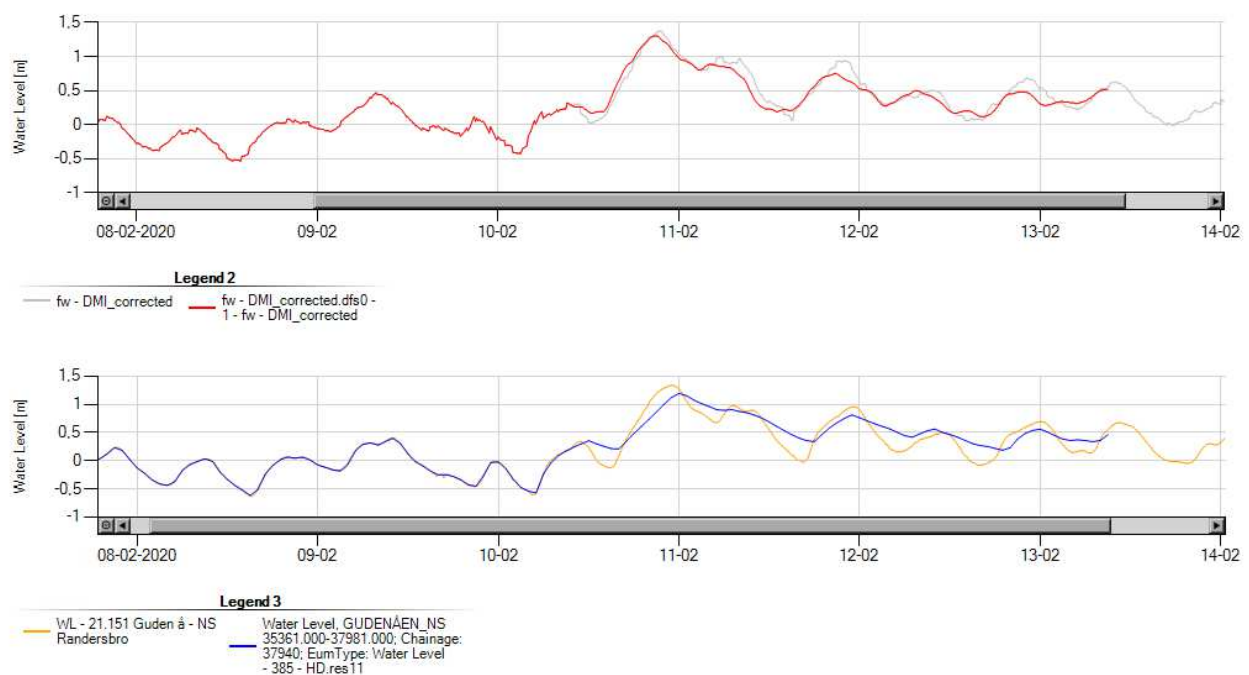
Mulig løsning : Hvis prognoserne er for dårlige, så anbefales det at finde alternativer og i DHI's optik er eneste reelle alternativ DMI. Men disse data er så vidt DHI er informeret **ikke** gratis. Om DMIs prognoser er bedre end YRs for Gudenå oplandet vides ikke. Vi vil forvente betydelige usikkerheder i begge prognoser, især på dag 2 og 3. Det foreslås for en periode at indsamle og sammenligne YR, DMI og SVK nebørsstation data.

Effekt : En bedre nedbørsprognose (volumen, tid og sted) vil alt andet lige give en bedre vandstandsprognose.

9.Ændret Manning tal for Randers fjord

Orbicon model review foreslår Manning tal for Randers Fjord justeret ud fra eksempel.

Modellen har ikke været testet/kalibreret mod så høj en vandstand tidligere. Det nuværende Manning-tal er fundet via kalibreringen og fundet repræsentativt for de på det pågældende tidspunkt til rådighed værende data. Det viste plot i Orbicons notat er misvisende, da prognosen for Randers Bro også er afhængig af hvordan prognosen i Udbyhøj har været på det pågældende tidspunkt. Nedenstående plot viser den pågældende prognose for Udbyhøj (rød linie) samt den faktiske måling efterfølgende (grå linie). Prognosen har generelt på det pågældende tidspunkt være for lav i både top og bund, samt en smule tidsforskuet. Dette er også hvad vi ser i prognosen for Randers Bro – dog i lidt mere udpræget grad.



Mulig løsning : Justering af Manning-tallet ved sammenholde med data fra 2020.

Effekt : Det er ikke umiddelbart til at sige hvad en ændring i Manning-tallet vil have af effekt, da det også vil afhænge af tilstrømningen, evt. vindpåvirkning m.m. Generelt vil reduceret modstanden (øget Manning-tallet) i fjorden betyde laver vandstand i Randers Havn men at udsving bliver større. Det forventes at kunne forbedre overensstemmelsen ved høj vandstand, men ikke nødvendigvis som gennemsnitsbetragtning.

10.Varlingsmodellens web-side er uoverskuelig

Orbicon model review notat betegner varslingswebsiden som uoverskuelig og mener at visning bør ændres på nogle punkter

DHI finder kritikken helt udenfor formålet og det har intet at gøre med model review som beskrevet i notatets indledning

11.Scenarieberegninger

Orbicon model review notat vurderer at resultater af nogle scenarieberegninger er forkerte.

DHI finder kritikken spekulativ og uden hold i den konkrete modelgennemgang. Modellen er kalibreret på historiske data med den givne vandføringsvariation indenfor en ca. 17 års periode. De dimensionsgivende afstrømninger i scenarier er syntetiske men baseret på de til rådighed værende data og statistik. DHI finder at kritikken har ringe sammenhæng model review opgaven som beskrevet i notatets indledning.

12.Anbefalinger

Orbicon model review anbefaler at varslingsmodel skal "oprettes for fejl og mangler", at der bør bruges nye realtidsstationer, at varslingsider bør ændres og der efterlyses bedre nedbørsdata

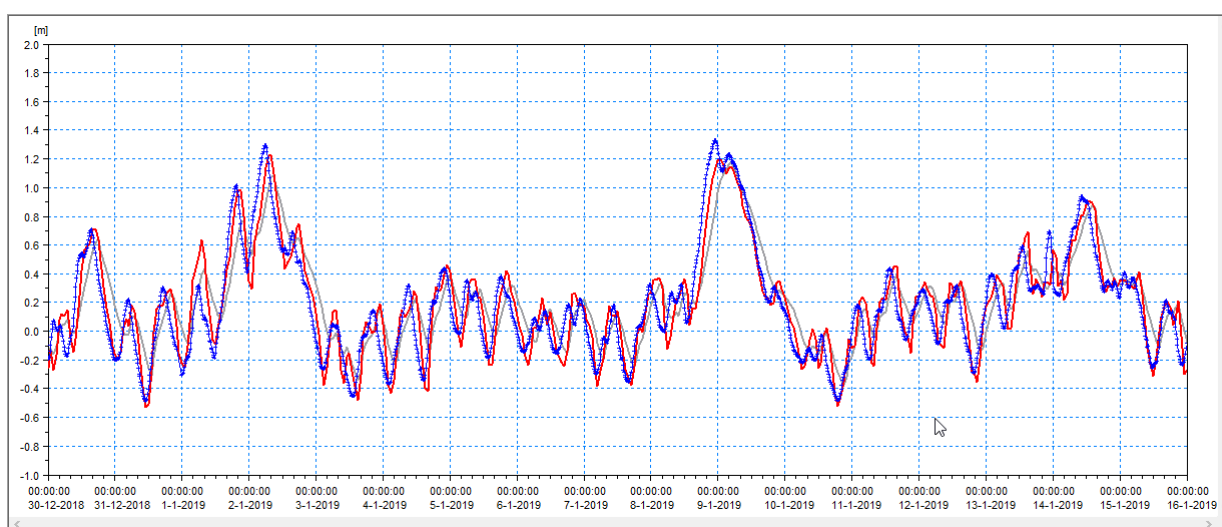
DHI mener at varslingsmodellen sandsynligvis kan forbedres på flere af de nævnte punkter imens andre peger på data og informationer der ikke eksisterer. Da der hovedsageligt refereres til data og analyser af nyere dato (særligt den historiske februar-marts 2020 hændelse) i forhold til tidsramme for projekt- og modelarbejde må vi betragte det som oplæg til en opdatering og forbedring af varslingsmodellen.

DHI mener at størst værdi og forbedringspotentiale opnås ved at varslingsmodellen testes og opdateres for februar-marts 2020 hændelsen. I den forbindelse er det væsentligt at vandførings- og vandstandtidsserier tilvejebringes for Gudenå stationer så der sikres en sammenhæng i analysen.

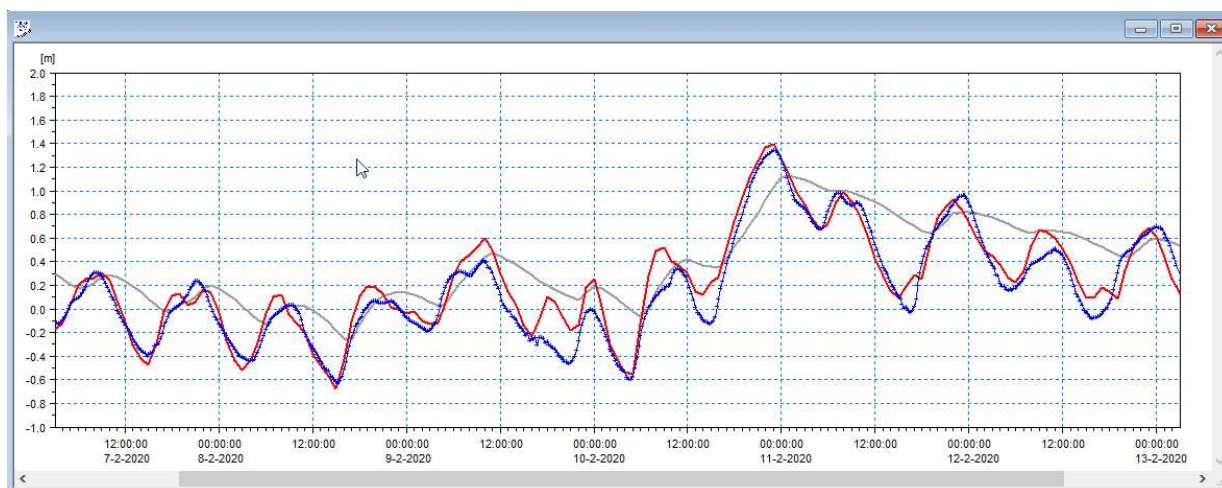
I forbindelse med Orbicons gennemgang af modellen blev det påpeget at Manningtallet for Randers Fjord ikke var passende. Efterfølgende har vi kigget på muligheden for at tilpasse Manning tallet for Randers Fjord.

Resultaterne ved Randers Bro er ikke kun afhængige af Manning tallet i Randers Fjord (og indirekte målingen i Udby) – tilstrømning fra oplandet er også en vigtig parameter.

For at kunne opnå forbedret resultater er der ændret på Manningtal samt fordelingen på strækningen Randers Bro til Udby. I den oprindelige model blev det samme Manning tal brugt for hele strækningen fra Randers Bro til Udby. Strækningen er nu opdelt i to, Randers Bro til Uggelhuse og Uggelhuse til Udbyhøj med hvert sit Manningtal. Opdelingen svarer nogenlunde til den snævre indre del og den brede ydre del. Yderst bruges nu et højere Manning tal end før. Det bevirker at resultaterne er forbedret for både top og bund af vandstandstidsserien. Figur 1 viser et længere forløb omkring årsskiftet 2018-2019, hvorimod Figur 2 viser perioden som Orbicons notat refererer til.



Figur 1 Randers Bro. Blå linie: Observation. Grå linie: oprindeligt resultat. Rød linie: Nyt Manningtal.



Figur 2 Randers Bro. Blå linie : Observation. Grå linie: Oprindelig model. Rød linie: Nyt Manningtal.

Efter ændringen i Manningtal ses en forbedret beskrivelse mht. timing i forbindelse med stigende samt faldende vandstand. Desuden en bedre simulering af maksimums- og minimumsniveau. Ændringen er indført i varslingsmodellen fra dags dato.

Notat

Projekt navn	Kvalitetssikring af varslingsmodel for Gudenå
Kunde	Silkeborg Kommune m.fl.
Projektleder	Rasmus Bang
Projekt nummer	1321900279
Dokument ID	Modelforbedringer september 2020
Til	Poul Hald m.fl.
Udarbejdet af	Anders Lund Jensen
Kvalitetssikret af	Klaus Schlünsen
Godkendt af	Rasmus Bang
Version	1
Versionsdato	28-09-2020
Første udgivelsesdato	28-09-2020

Baggrund

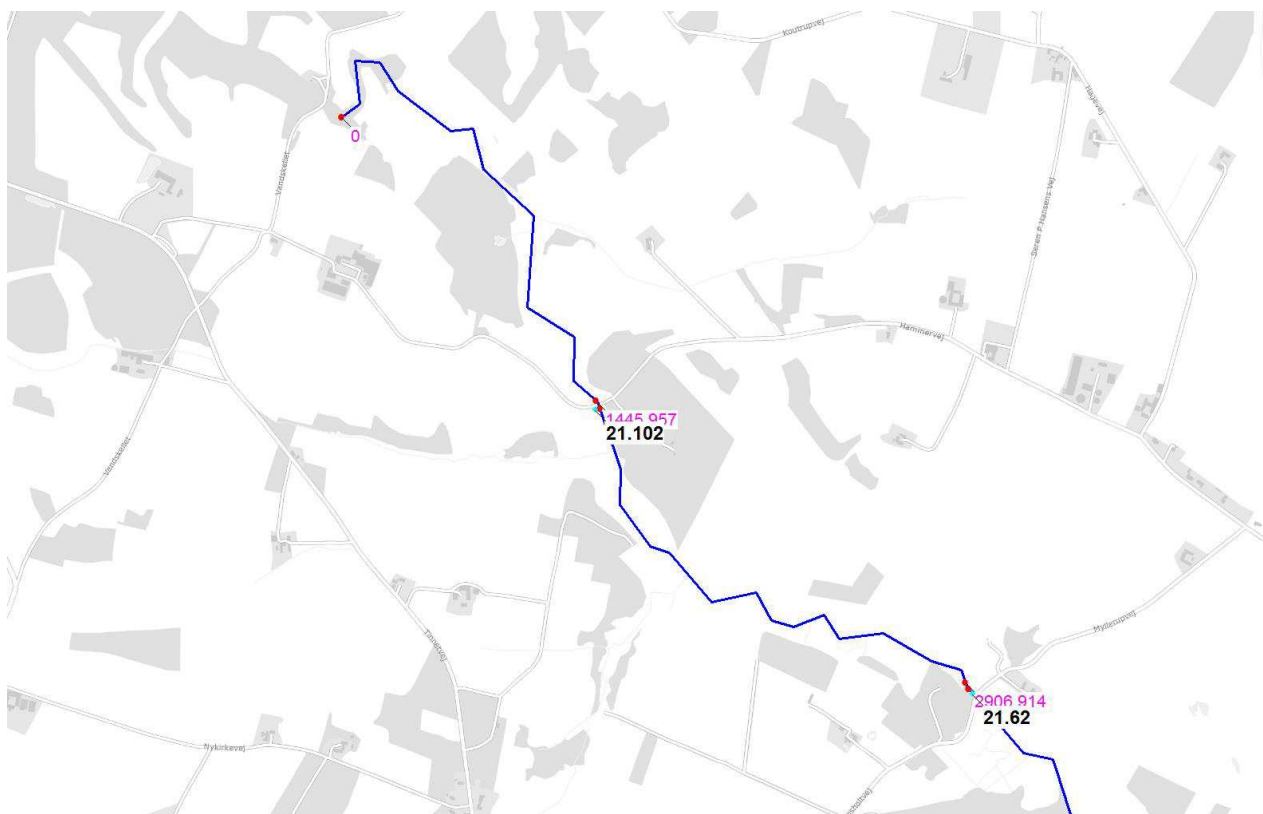
Nærværende notat beskriver kort de udførte forbedringer af varslingsmodellen for Gudenå. De respektive modelfiler (MIKE 11), der er berørt af justeringer, fremsendes til DHI til direkte brug i varslingsmodellens fremtidige kørsler.

Manningtal

Der er udarbejdet 12 Manningtal-modeller for Gudenå på strækningen fra udspring til Randers Fjord. Manningtal-modellerne er udarbejdet på baggrund af beregnede medianværdier for de respektive strækninger for de sidste 8 år. Dog er der for strækningerne nedstrøms Svostrup Bro og Nebelgårde kun udarbejdet Manningtal-modeller baseret på det seneste år, da målestationerne er opsat i januar 2020. De 12 Manningtal-modeller kan ses fra side 4 og frem.

Udover de 12 Manningtal-modeller er der foretaget justeringer af Manningtal for søer og Randers Fjord, hvor det faste Manningtal er vurderet for lavt.

Generelt er der opnået retvisende Manningtal-modeller for strækningen nedstrøms Silkeborg, da opmålingsgrundlaget her er bedst. På strækningen opstrøms Mossø er opmålingsgrundlaget utilstrækkeligt flere steder, og det har ikke været muligt at beregne retvisende Manningtal-modeller. F.eks. er der på øvre strækning ca. 1.500 m mellem tværsnit, se Figur 1 for placering af målestation mst nr. 21.102, 21.62 og tværsnit i Gudenåmodel.



Figur 1. Eksempel på utilstrækkeligt opmålingsgrundlag til beregning af Manningtal for øvre Gudenå.

Bygværker

Der er foretaget den mest nødvendige justering af bygværker i varslingsmodellen for at give en bedre beskrivelse af den ekstreme hændelse i februar 2020, der ved Ry Mølle og slusen i Silkeborg medførte overskridelse af flodemål. Justering af bygværker er primært relevant i forhold til varslingsmodellen og ikke scenariemodellen, idet varslings af vandstand over flodemål kræver et indgående kendskab til bygværkets samlede kapacitet (når alt er "trukket"). I forbindelse med scenarietjekninger med vandføringer, der ikke medfører overskridelse af kapaciteten af bygværkerne, kan der regnes med fast flodemål ved bygværkerne.

Nedenfor beskrives udførte ændringer ved bygværker.

Vestbirk Kraftværk: Det tilgængelige opmålingsgrundlag er for ringe til at forbedre modellen her. Generelt er der dog heller ikke problemer med forhøjet vandstand opstrøms Vestbirksøerne.

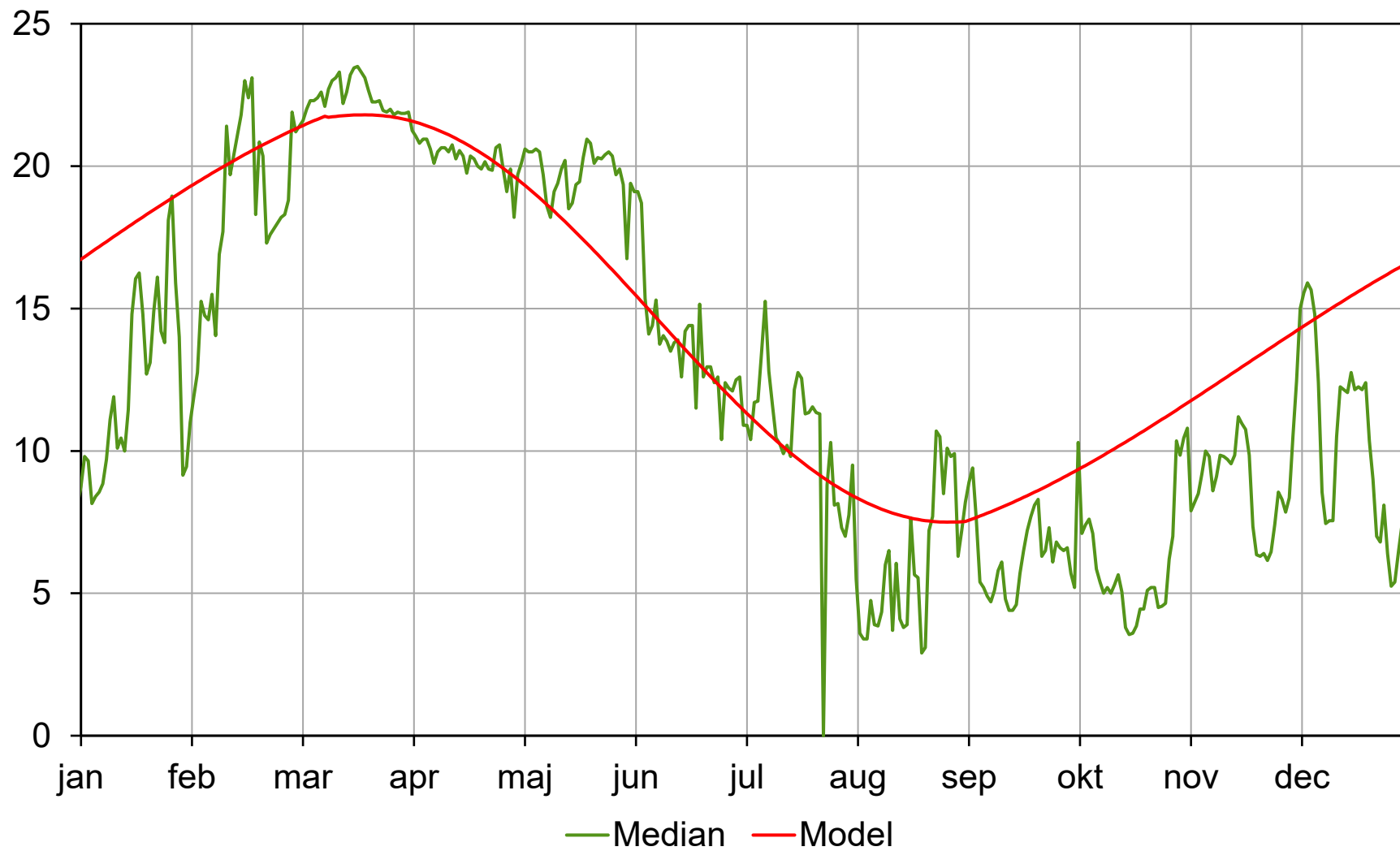
Ry Mølle: Der er fremskaffet en opmåling af turbinekanal og frisluse fra 2017. Sammenhængen mellem vandføring igennem bygværket og vandstanden opstrøms bygværket (QH-sammenhængen) kan imidlertid ikke beregnes direkte ud fra den udførte opmåling. Dette skyldes, at enkelttabet igennem turbinen er ukendt og ikke er af uvæsentlig betydning. Der er derfor udført en justering af den eksisterende bygværksbeskrivelse, der består af en 20 m bred overløbskant og en kontrolstruktur, der altid sikrer, at de 3 årstidsvarierende flodemål overholdes. Overløbsbredden er justeret således, at der beregnes den korrekte vandstand i Ry Mølle Sø (3 cm over højeste flodemål) ved den målte vandføring ved Ry Mølle d. 21. februar 2020 (37 m³/s).

Slusen i Silkeborg: Den nyeste opmåling fra 2017 er anvendt i varslingsmodellen, men kapaciteten af det samlede bygværk er underestimeret, bl.a. fordi kammerslusen også tages i brug ved store afstrømninger. Der er derfor indbygget et overløb, der repræsenterer den manglede restkapacitet i det opmålte vandslug under Langebro. Formålet er at sikre, at bygværkets kapacitet ($42 \text{ m}^3/\text{s}$ ved kote 21,14 m svarende til 13 cm over flodemål i henhold til dimensioneringsgrundlag for sluseprojektet i 2002) overholdes samtidigt med, at vandstanden ikke underestimeres ved lave vandføringer.

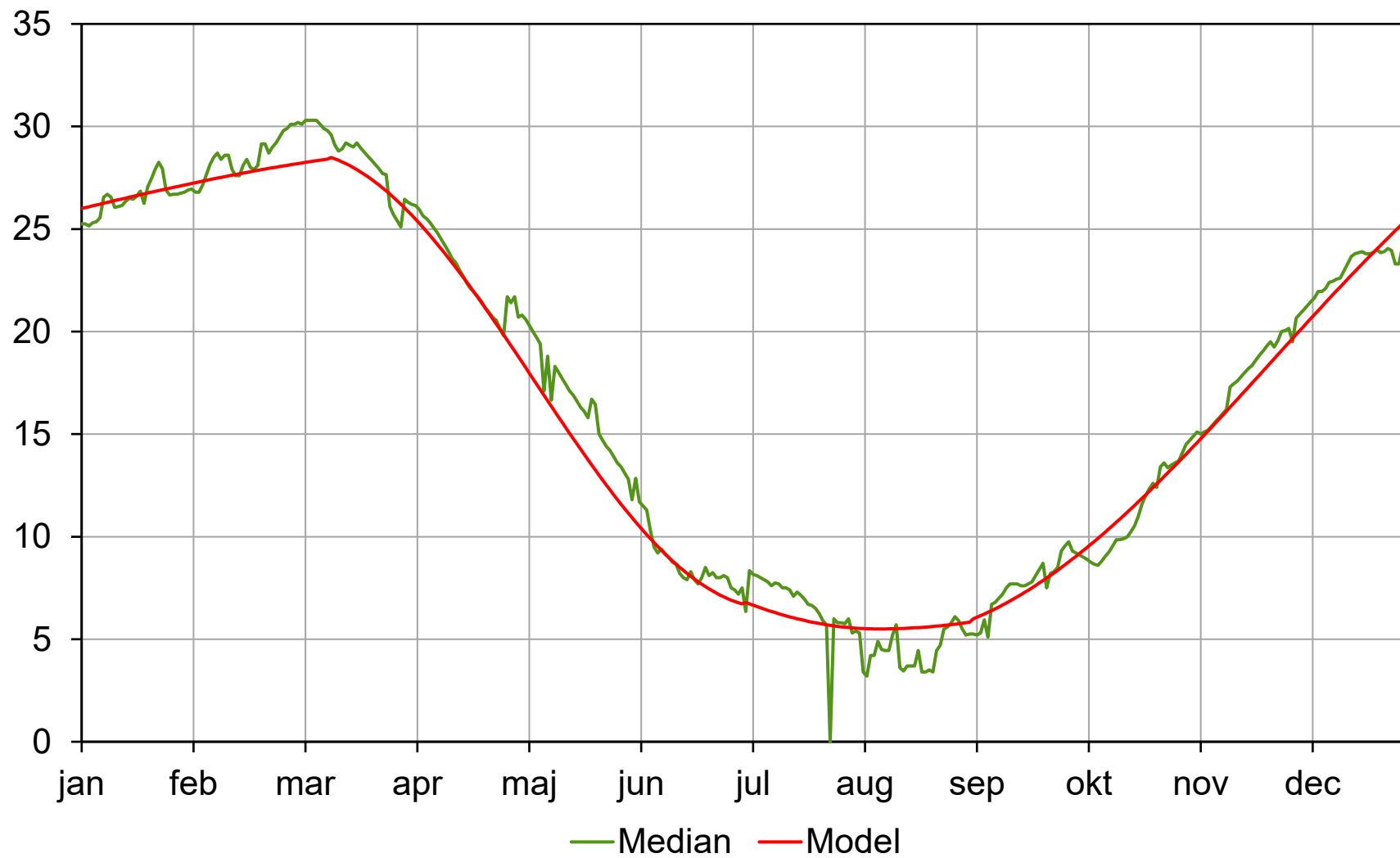
Tangeværket: I forhold til Tangeværket er der ikke indarbejdet ændringer. Dette skyldes, at det kan konstateres, at kapaciteten af bygværket nu modelleres tilfredsstillende, idet der ved en vandstand i kote 13,60 m (3 cm over flodemål) løber ca. $70 \text{ m}^3/\text{s}$ igennem bygværket svarende til den oplyste kapacitet af Tangeværket. Årsagen til, at dette ikke var tilfældet med den modelversion, der blev udført kvalitetssikring af, kendes ikke.

Under alle omstændigheder er den vigtigste forudsætning for varslingen nedstrøms Tangeværket målestationen ved Energimuseum, og varslingen kan ikke tage højde for uforudsigelige ændringer af driften af Tangeværket.

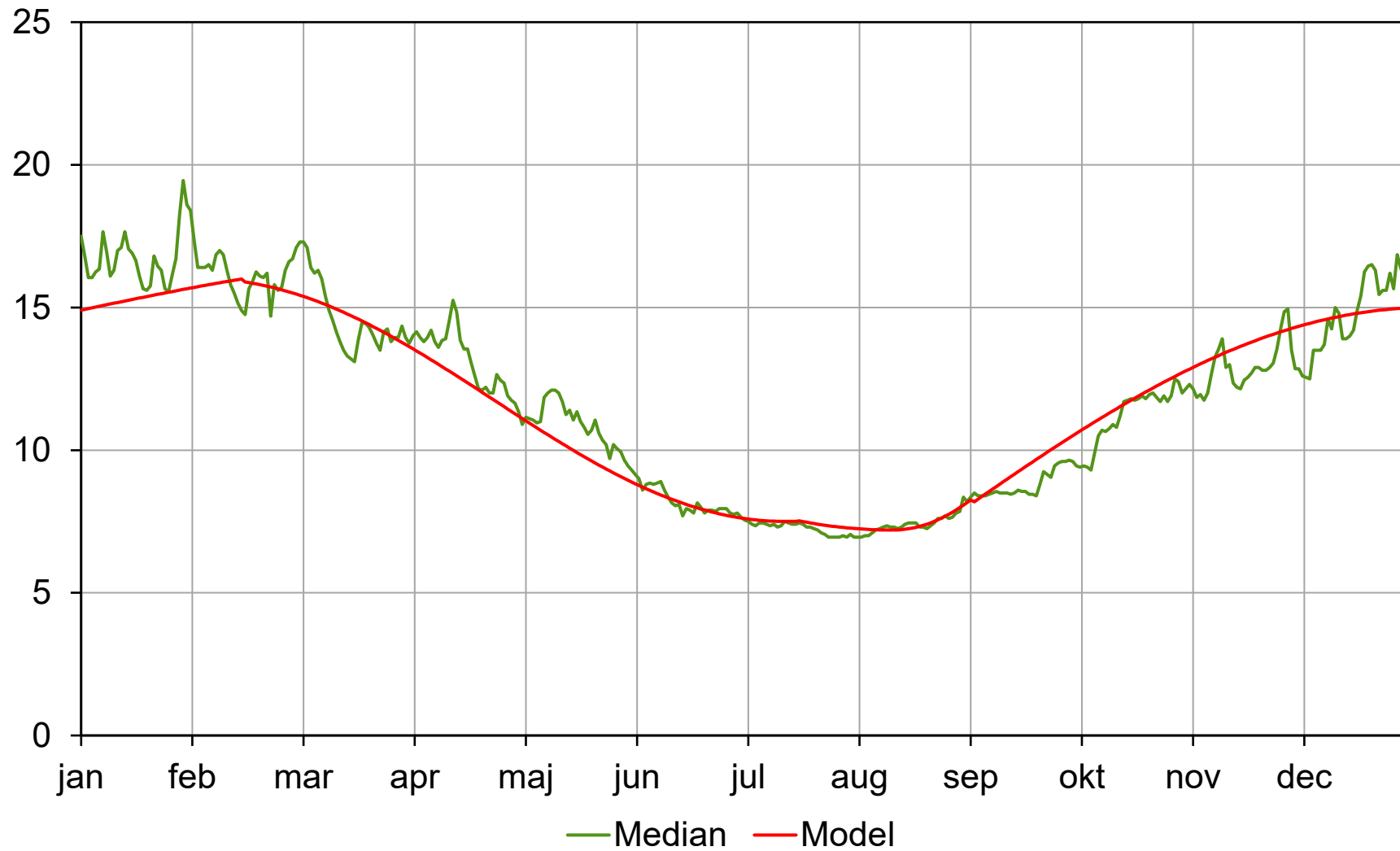
Manningtal, Uldumkær



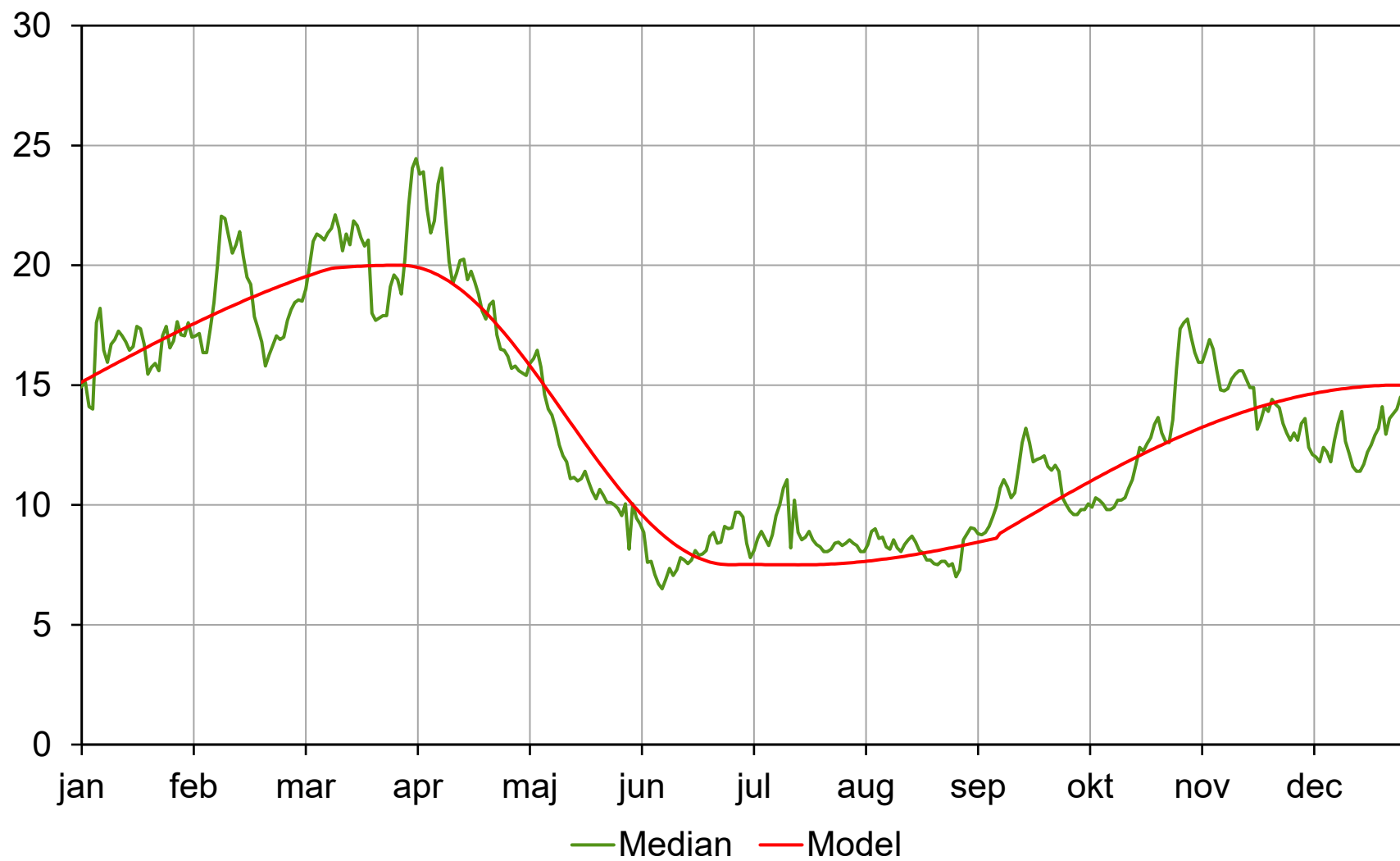
Manningtal, Åstedbro



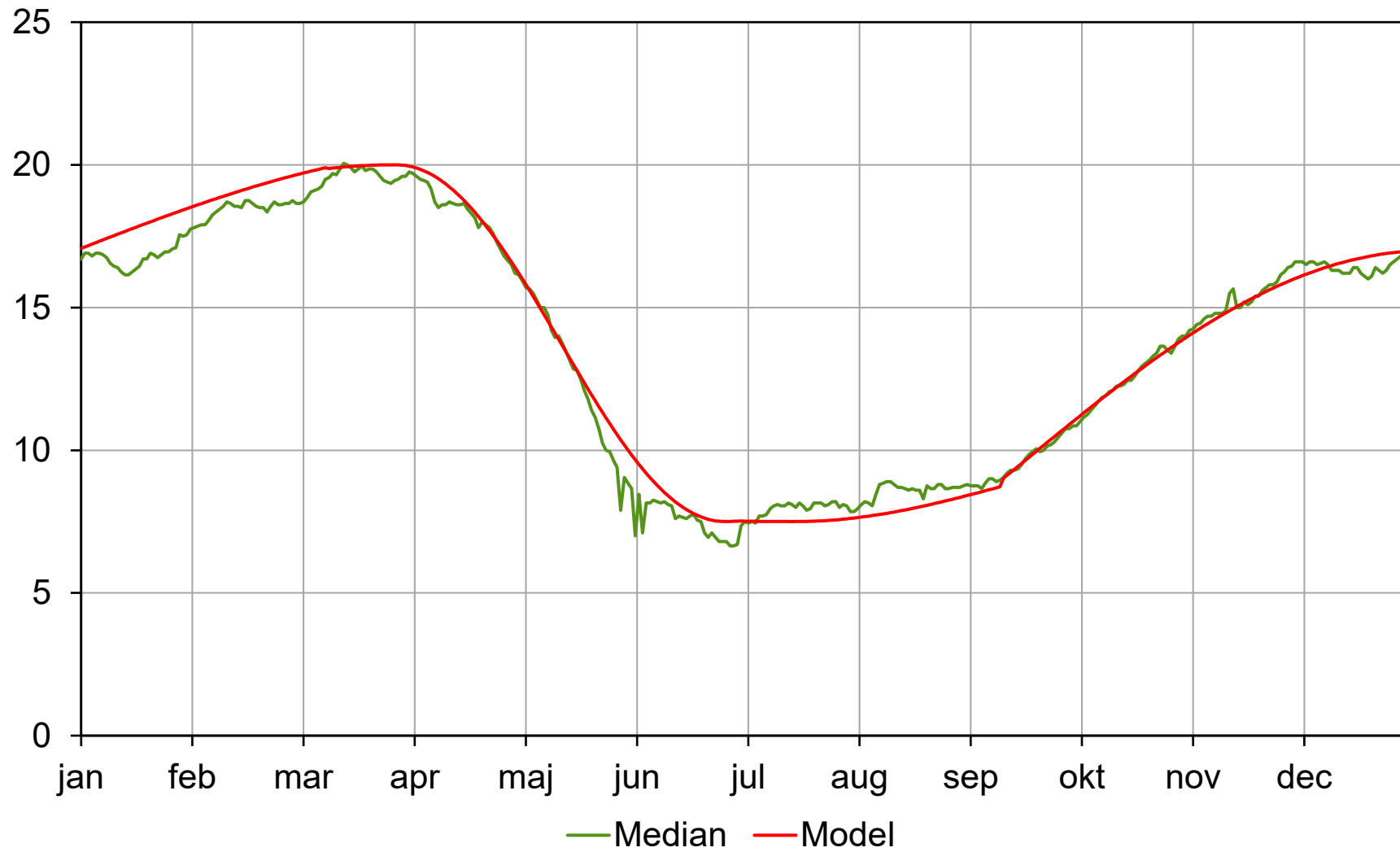
Manningtal, Vorvadsbro

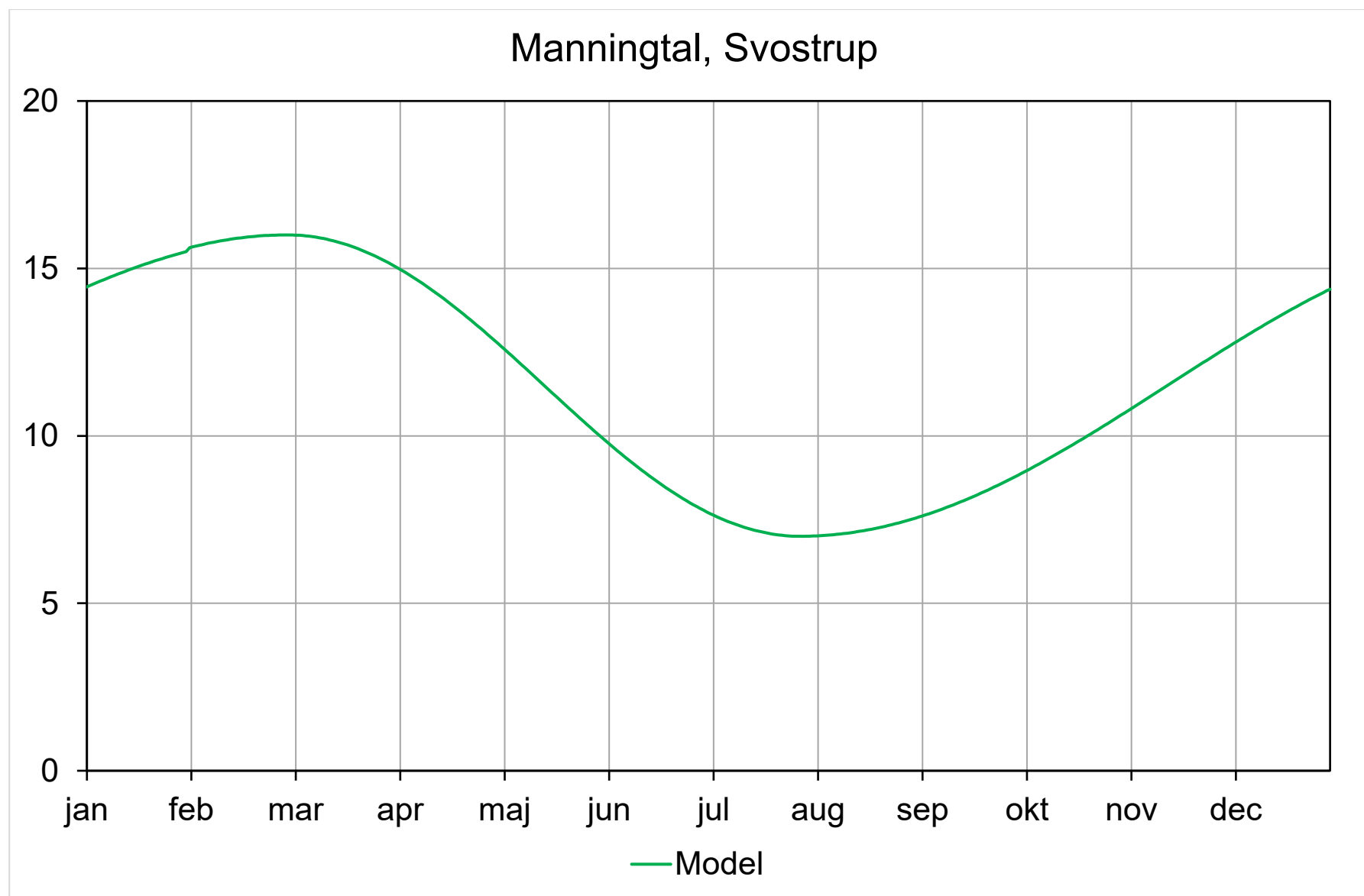


Manningtal, Ringvejen

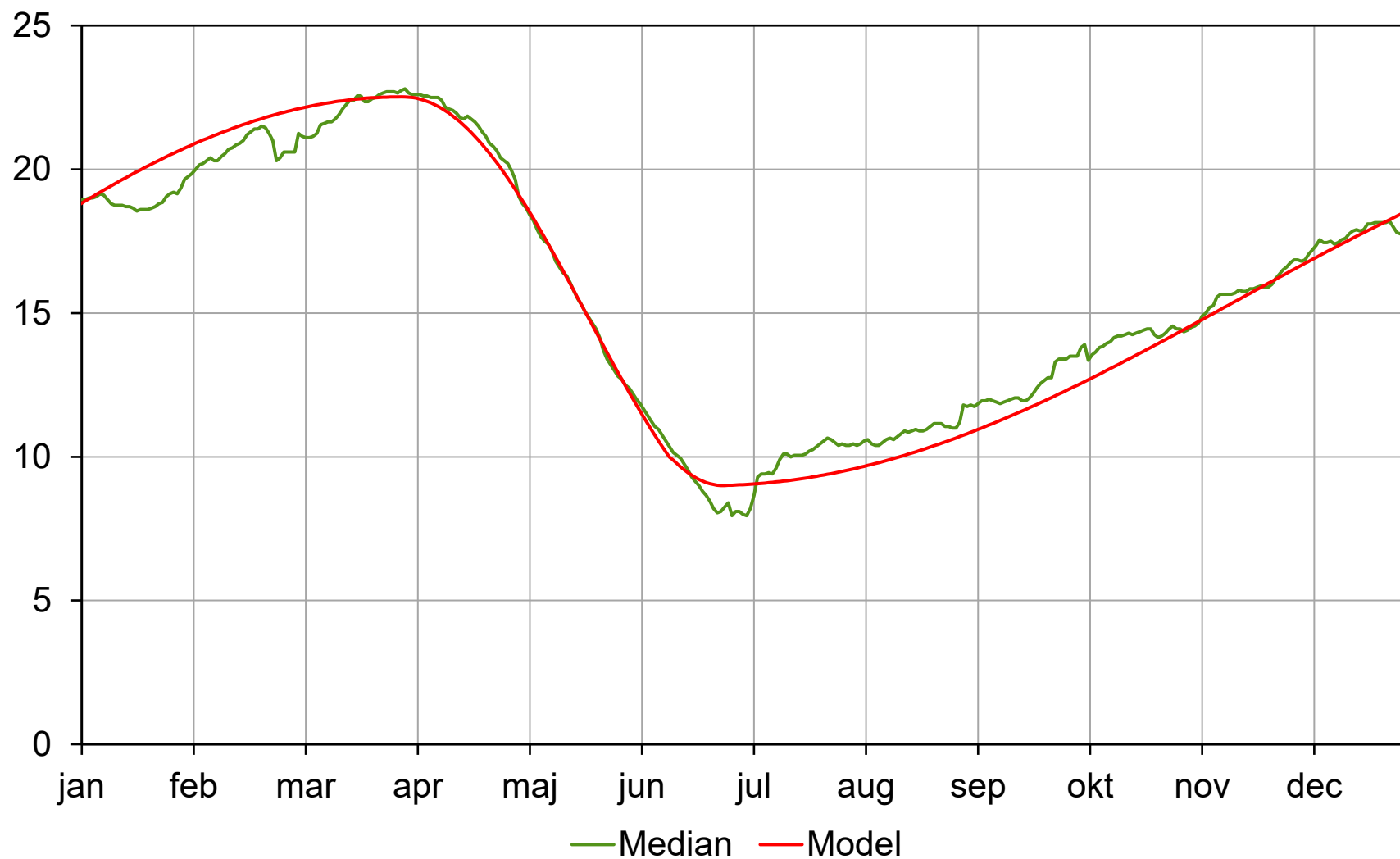


Manningtal, Resenbro

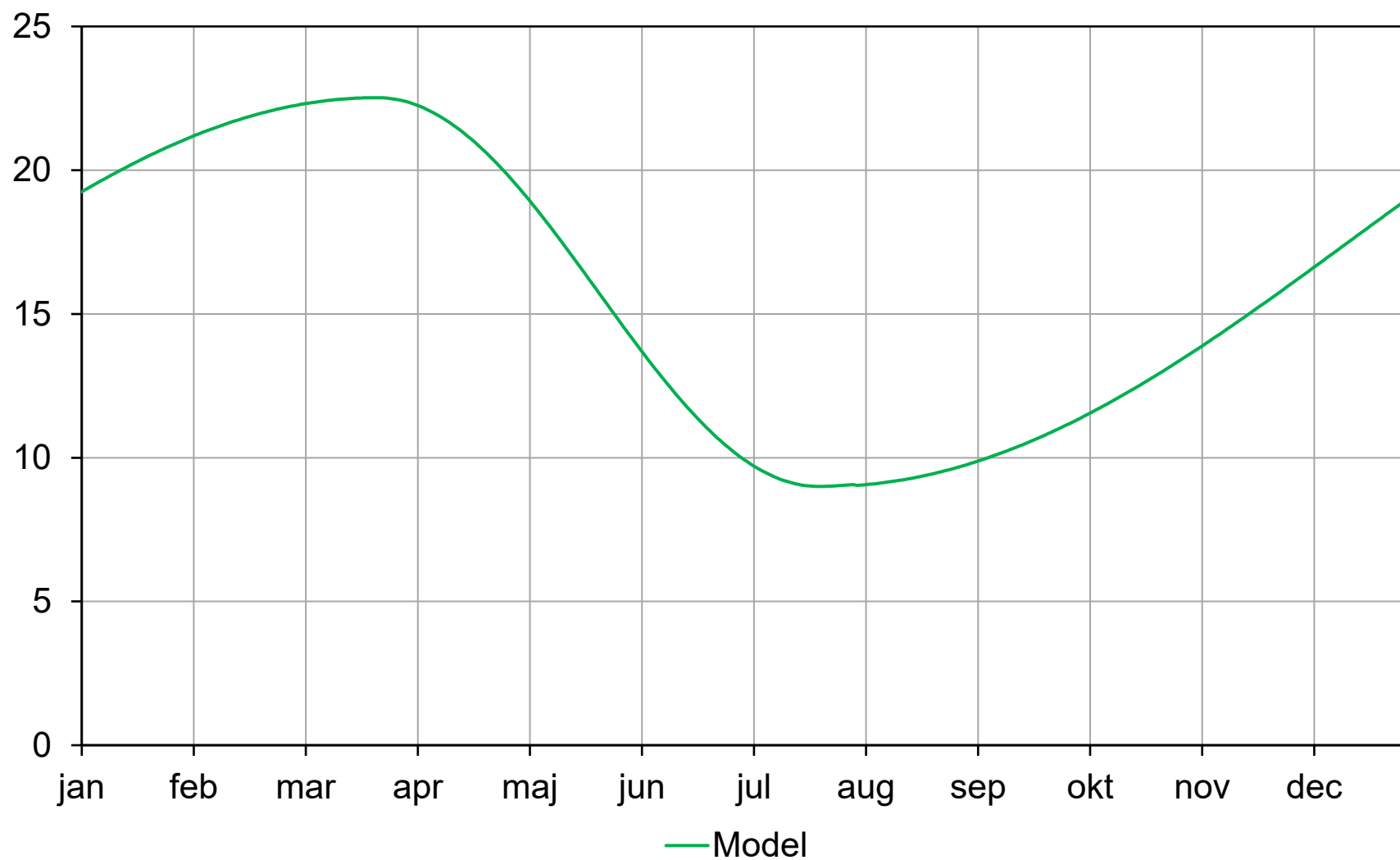




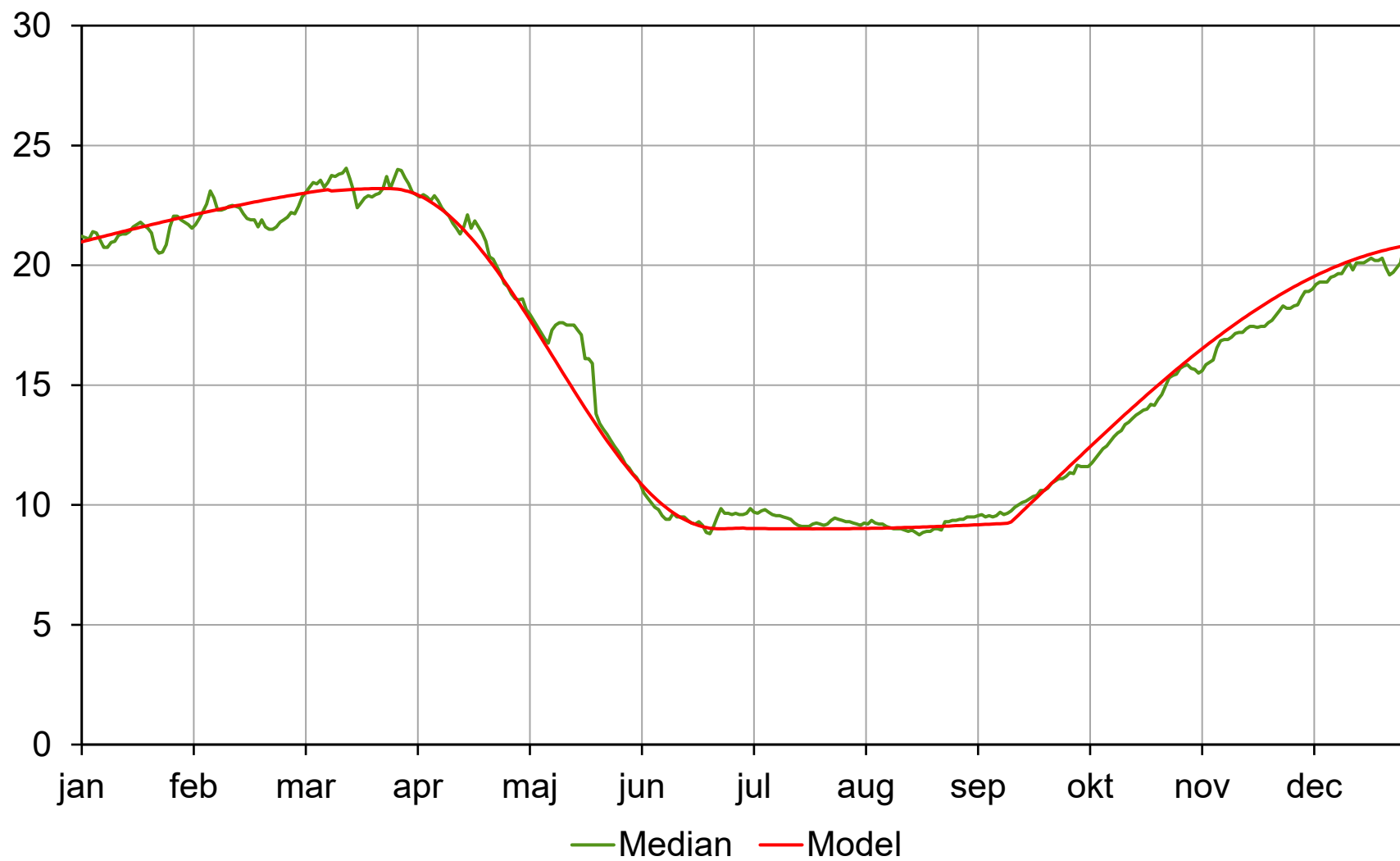
Manningtal, Tvilumbro



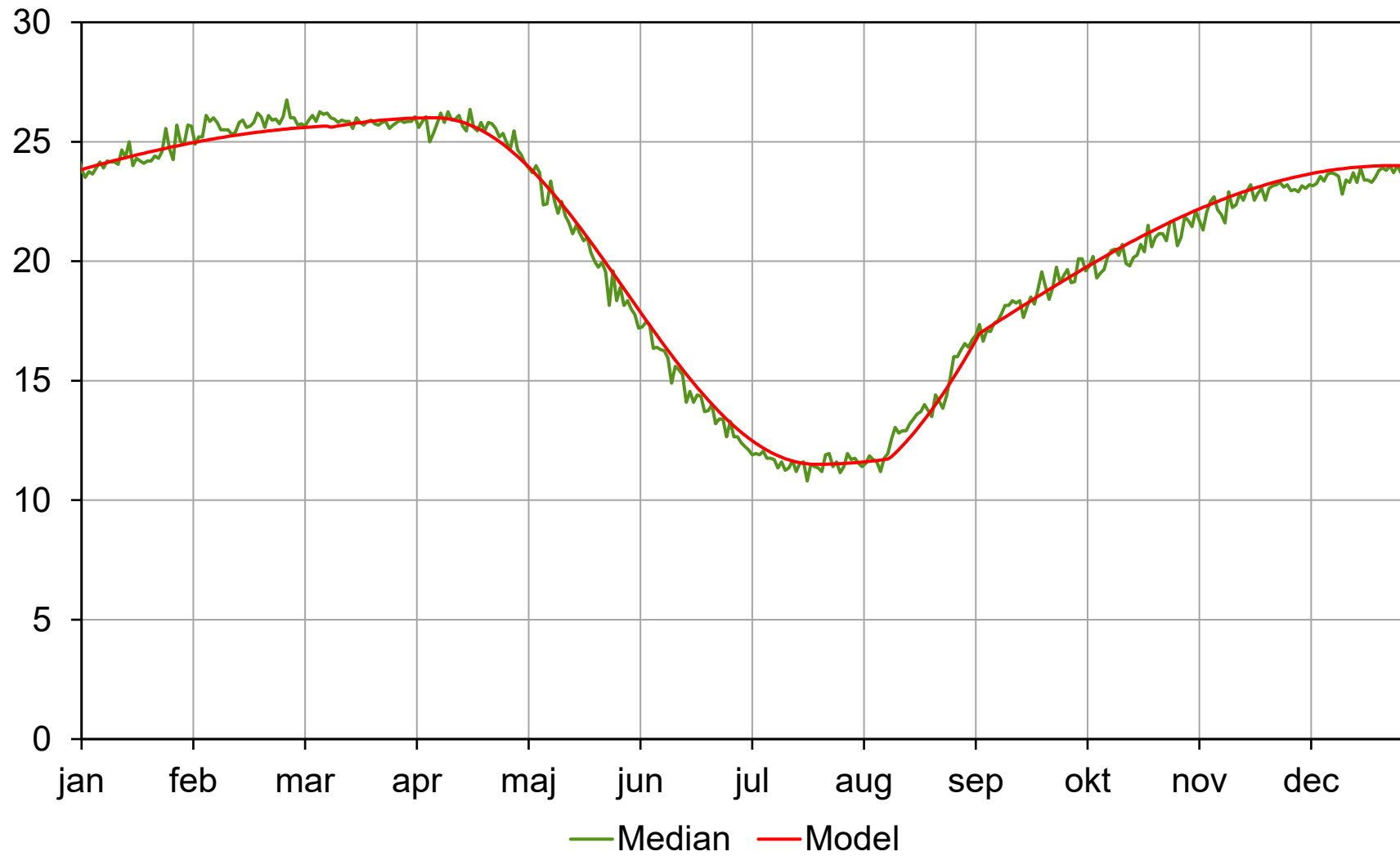
Manningtal, Nebelgårde



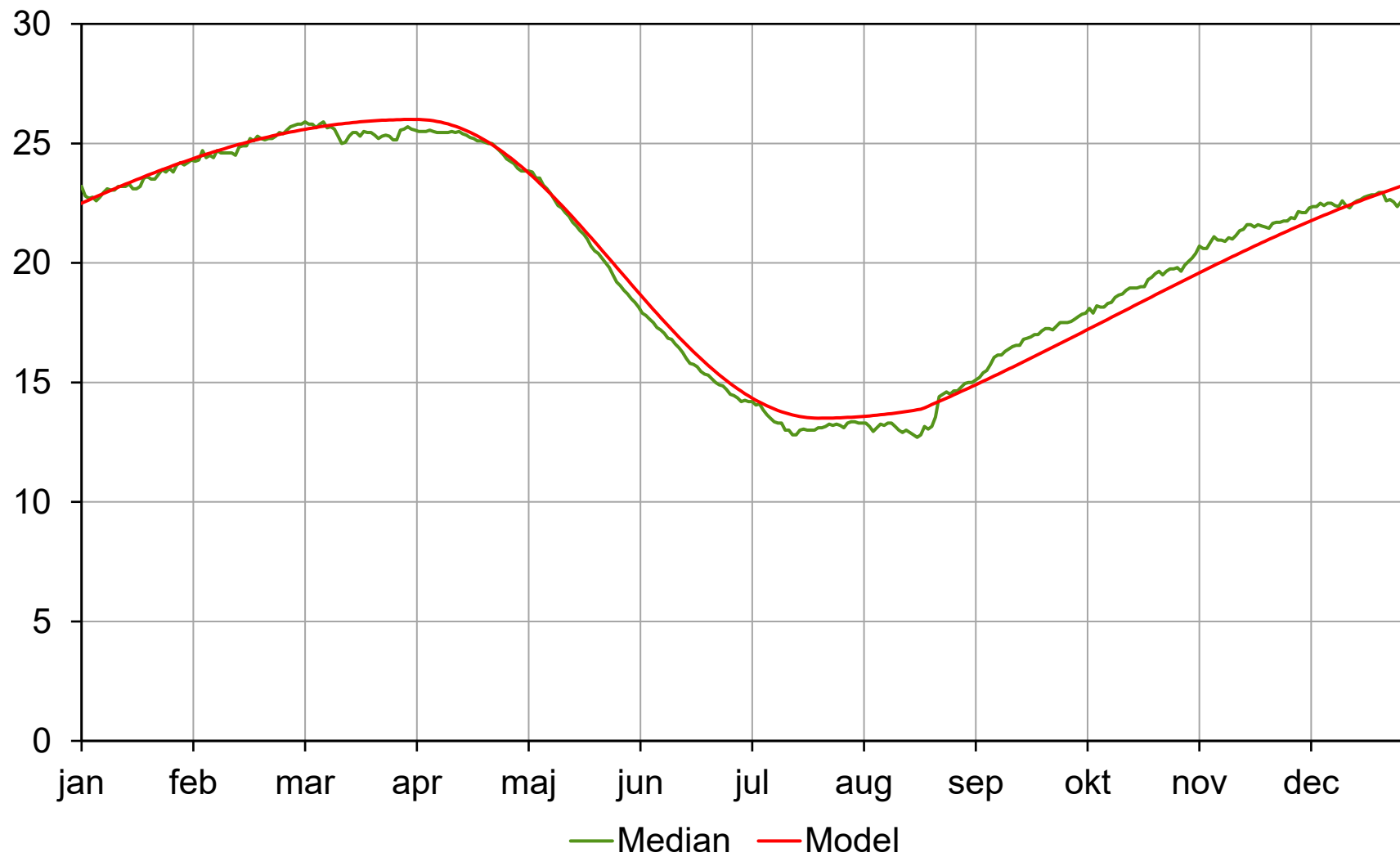
Manningtal, Kongensbro



Manningtal, Bjerringbro



Manningtal, Ulstrup



Manningtal, Langå

