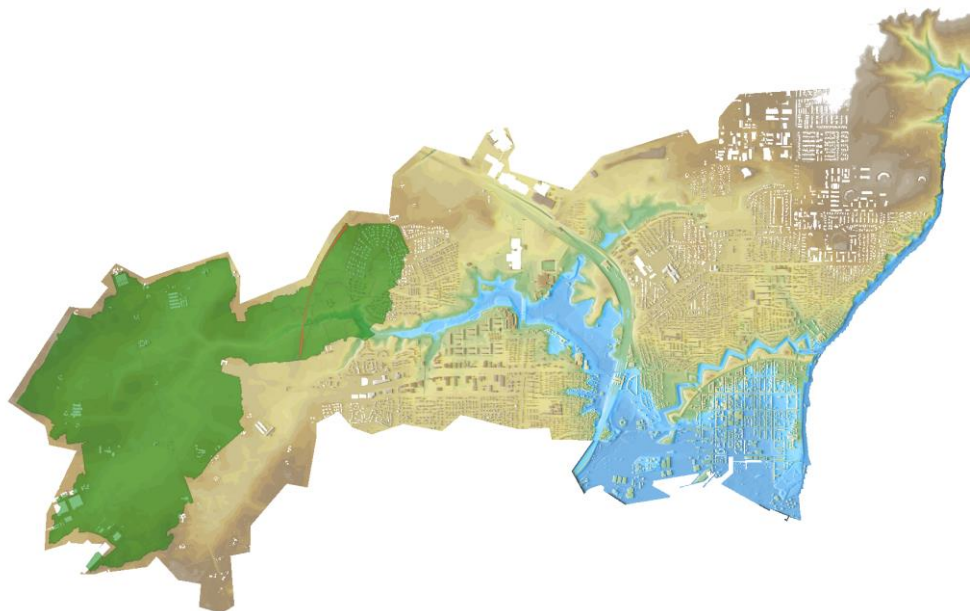


ULLERUP BÆK – MODEL OG MÅLINGER



16-12-2022

Afrapportering af Neptun/Clean projekt

Kjartan Ravn Consult ApS for Fredericia Spildevand og Energi A/S

KJARTAN RAVN
CONSULT

Indhold

Indledning	1
Baggrund	2
Modelopstilling	3
Projektområde	4
Hydrologi.....	5
Vandstandsmålinger	5
Estimat af vandføring ud fra Qh-relation	6
Opstilling af hydrologisk model.....	7
Påvirkning af vandløb ved tilløb fra afløbssystem	10
Effekt af stormflod.....	12
Yderligere analyser og perspektivering	15
Byggemodninger	15
LAR - Lokal afledning af regn	15
Analyse af erosion	16
Stofindhold	16
Operationel sammenligning af model og målinger til optimeret styring og driftsovervågning	16
Risikokortlægning	17
Varsling	17
Dimensionering af afløbssystem	17
Opsummering	18
Kilder	18

Rapporten udgør en del af projektet NEPTUN som er finansieret af Interreg Deutschland-Danmark med midler fra Den Europæiske Fond for Regionaludvikling.

Indledning

Formålet med denne rapport er at bidrage til en god faglig diskussion af vandsystemerne i Fredericia kommune. En fagligt åben og gennemsigtig diskussion af nuværende forhold i vandsystemet vil i sidste ende medvirke til at finde de gode projekter. Det er projekter, hvor den økonomiske indsats resulterer i gode forbedringer. Det er også et godt resultat at undgå en overinvestering et sted, som går ud over evnen til at investere et andet sted.

Rapporten henvender sig primært til dem der sidder med vandsystemet i deres daglige virke, men det er forsøgt at gøre den tilgængelige for bredere publikum.

Baggrund

Der findes i dag en række forskellige modeller, der hver især fokuserer på en given problemstilling i vandkredsløbet.

- Hydrologiske modeller, som beskriver afstrømningen fra et vandopland ned til et vandløb
- Vandløbsmodel i én dimension, som beskriver transporten af vand frem til recipienten
- Model i 2 dimensioner, der kan beskrive afstrømninger på overflader
- Modeller for afløbssystemer, der beskriver oplande i byområder, rørsystem og overløb til recipient
- Model for rensesanlæg

Der findes i dag modeller, der beskriver en og nogle gange flere dele af overstående vandkredsløb. Men der er ikke mange modelopstillinger, der dækker hele kredsløbet. Hertil kommer at mange modeller kræver dyre licenser, før de kan bruges. De høje og løbende omkostningerne til licenser gør at antallet holdes på et minimum eller at arbejdet med at opstille modeller købes ved eksterne rådgivere. En vis inddragelse af rådgivere er godt for udviklingen af det faglige miljø, men forsyninger og kommuner kan med fordel stå for hovedvægten af modelleringen. Ud over lavere omkostninger, så kan forsyninger og kommuner i højere grad selv høste udbytte af opbygning af både faglig viden og lokalkendskab, som altid følger med opstilling af modeller.

Det nytænkende i det foreslåede projekt er derfor de tre nedenstående faktorer:

- Der bygges én model, der kan beskrive hele kredsløbet
- Modellen er grundlæggende baseret på anerkendt, robust men samtidig gratis open-source software
- Modellen kan dække hele kommunen og kan danne et transparent modelgrundlag der er med til at skabe forståelse og basis for diskussioner og planlægning af projekter mellem både kommune, forsyning, stat/miljøstyrelse/kystdirektorat, universiteter og øvrigt interesserede.

Fordelene ved at kunne etablere et accepteret, transparent modelgrundlag er mange. Modellen kan danne grundlag for større gensidig forståelse for de forskellige parter problemstillinger. De kan også være med til at identificere og afprøve projektforslag, der ligger i krydsfeltet mellem de forskellige parter ansvarsområde.

Det er en fordel, at modellen er baseret på en åben og anerkendt model, SWMM. Den er af udviklet af de amerikanske miljømyndigheder EPA og lever op de strenge kvalitetskrav de stiller. Det er måske den mest anvendte modelplatform på verdensplan og har brugere verden over. Kort fortalt giver modellen mulighed for at beregne både hydrologisk afstrømning, dynamisk strømning i både rør og vandløb, vandkvalitet, stoftransport, erosion, nedsivning/grøn infrastruktur mfl.

Der kræves en lang række input data for at bygge modellen op. I Danmark findes en stor mængde offentligt ejet data, der er kvalitetssikret og tilgængelig. Disse data kan indarbejdes i modellen. Modellen kan dermed blive et samlingssted for forskellige data og tidsserier.

Det er en fordel, at de forskellige områder bindes sammen i et og samme modelsystem, så data for fx vandløbene, ikke skal overføres til et andet modelsystem når der skal regnes på afløbssystem. Dette mindsker risikoen for at den samlede model "går i stykker" når flere modelsystemer, der udvikles i forskelligt tempo og forskellige regi skal fungere sammen. Dette udelukker ikke at der anvendes andre modelsystemer, den åbenhed som SWMM står for og den udbredte anvendelse, gør det tvært imod nemmere at udveksle data via SWMM formatet. Et eksempel kunne være nogle af de gratis, åben source hydrologiske modeller, så som SWAT+, HEC-HMS eller MODFLOW. Tilsvarende muligheder findes indenfor vandløb og overfladeafstrømning i 2D.

I denne rapport vises en arbejdsgang, hvor en model opstilles, målinger inddrages og hvilke analyser kan foretages. Modellen kan uden tvivl forfines og flere målinger kan inddrages. Ved analyse af målingerne er også udpeget forhold, som bør undersøges nærmere. Men modelopstillingen giver et godt fundament, som både kommune og forsyning kan anvende til den fælles indsats, som kræves ved forbedringer forskellige steder i vandkredsløbet.

Det kan nævnes, at denne modelopstilling er baseret på samme modelsystem, danner fundamentet for et andet NEPTUN projekt, nemlig i Flensborg by. Her blev en SWMM model opstillet for at vurdere styringer og oversvømmelsesrisiko i real-time, samt inddrage online målinger. /"Efficient Hydrodynamic Modelling of Urban Stormwater Systems for Real-Time Applications"/ Her blev det påvist, hvordan SWMM modellen kan anvendes til en hurtig og effektiv overvågning, varsling og optimering af vandkredsløbet i oplandet. Den model, der præsenteres i denne rapport, vil derfor kunne anvendes på lignende vis i Fredericia.

Modelopstilling

Det er valgt at opstille en model der drives af forskellige randbetingelser, som er påvirkningerne af systemet.

- Nedbør [SVK måler]
- Fordampning [Årstidsvariation]
- Indsivning [FRSE]
- Vandstand i havet [DMI]
- Vandforbrug [FRSE]

Modellens primære byggeklodser eller inputdata tager udgangspunkt i nedenstående data.

- Måling af tværsnit og koter i vandløb [Fredericia Kommune]
- Hydrologisk tilpasset terrænmodel, 40x40 cm, gratis og landsdækkende datasæt [SDFI/GeoDanmark]
- Afløbssystem, ledningsregistrering, inklusiv bassiner, pumper og renseanlæg [FRSE]
- Oplandsbeskrivelser på matrikelniveau, baseret på spildevandsplan og martikeldata, vedligeholdt af [FRSE]

Når modellen er opbygget, anvendes en række data for at verificere at modellen afspejler virkeligheden.

- Måling af vandstand og vandføring i Ullerup Bæk [Fredericia Kommune]
- Måling af vandstand og vandføring i afløbssystemet [FRSE]
- Beskrivelse af oplevede hændelser [medier]

Det er værd at nævne at en modelopstilling altid vil være en simplificering af virkeligheden. Derfor fremhæves her nogle af de usikkerheder, der gør sig gældende. Listen er ikke udtømmende.

- Nedbør fra punktmåler. Målere måler den regn der falder lige på den, men nedbøren vil være anderledes fordelt bare få hundrede meter fra.
- Vandløbets udformning. Der måles tværsnit i vandløb med 50-100 m afstand men vandløbet vil variere imellem tværsnittene. Ruheden i vandløbet vil også være påvirket af hvor stor grøde er vandløbet.
- Hydrologisk afstrømning. Afstrømningsforhold fra et hydrologisk opland er et komplekst sammenspil af geografi, jordtyper, jordanvendelse, grundvandstrømninger, dræn mm. Der kan opstilles komplekse teoretiske modeller for afstrømningen, men det gør sig gældende at komplekse modeller kræver store datamængder og lange tidsserier til kalibrering. Derfor er mere simple hydrologiske modeller ofte at foretrække.
- Driftsforhold kan afvige fra optimale forhold. Modeller gør hvad de bliver bedt om. Derfor kan de ikke simulere hvis en pumpe går i ned i ydelse når den bliver slidt, en ledning blokeres ved sammenbrud eller en rist i vandløb stopper til af ristegods. Modellen vil antage at pumpen yder det som forskrifterne specificerer, ledningerne fungerer efter hensigten og ristene i vandløbene kun i mindre grad er påvirket af ristegods.

Trods de mangler og begrænsninger, som selv de bedste modeller lider under, så har de vist sig at være et godt hjælpemærktøj i mange sammenhæng. Modellerne kan således:

- give bedre forståelse af hvordan de forskellige dele af vandsystemet påvirker hinanden.
- identificere aktuelle problemer
- forudsige fremtidige problemer ved klimaforandringer og ekstremregn
- afprøve forskellige muligheder for strategisk udvikling, fx etablering af vådområder, kloakering af nye byggemodninger eller optimeringstiltag i eksisterende afløbssystem og renseanlæg
- dimensionering af projekter så de lever op til gældende krav

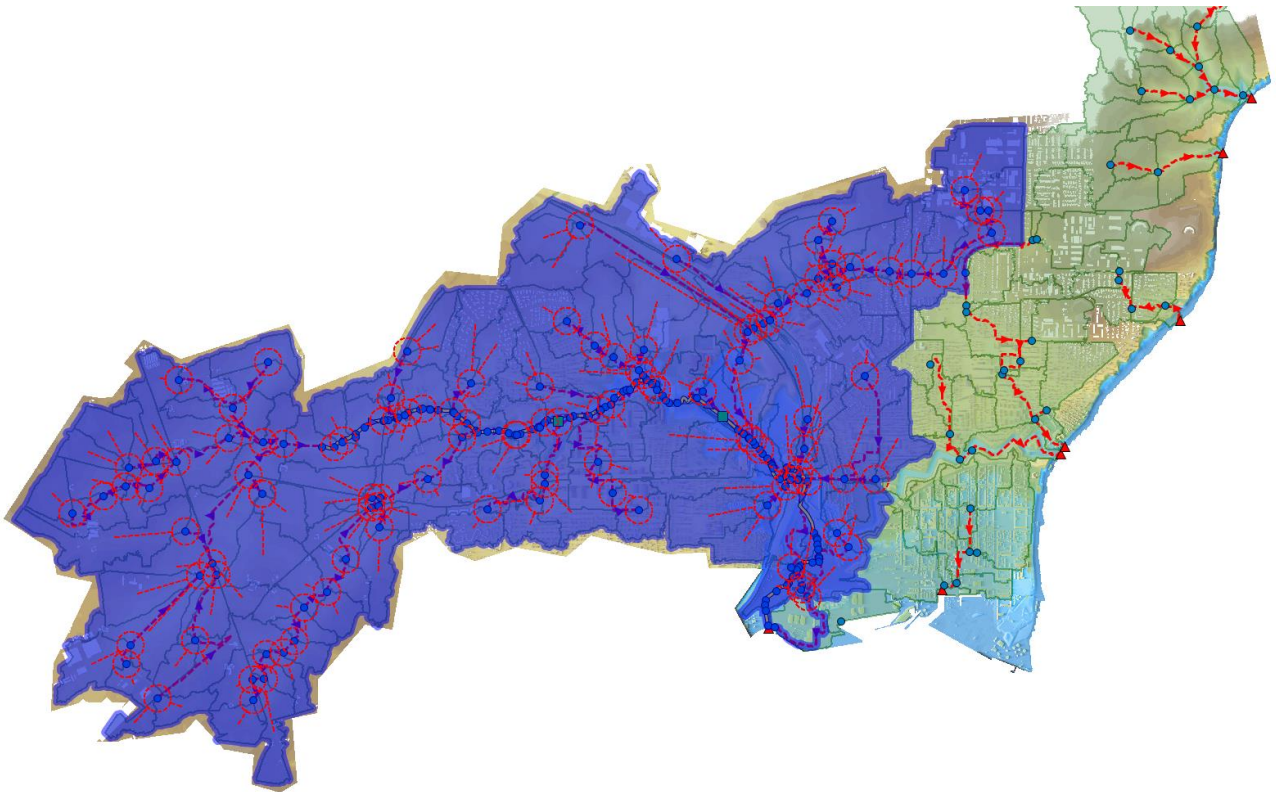
Derfor kan en retvisende model være med til at undgå fejlinvesteringer og vælge de rigtige investeringer til gavn for både naturen og borgerne.

Det er værd at fremhæve fordelene ved at vælge at anvende gratis, open source modelsystem. Modelsoftwaren kan downloades gratis og anvendes på en helt almindelig PC. (Kildekoden til selv modelsoftwaren er faktisk også tilgængelig, den bliver vedligeholdt af EPA.) Når softwaren er installeret, så kan nye modeller bygges op fra grunden, eller en eksisterende model kan åbnes, analyseres og videreudvikles.

Mulighederne for anvendelse er mange. Hvis kommunen har fået nye opmålinger af vandløbstværsnit, så kan modellen justeres med de . Det samme kan forsyningen. Så snart året er gået så kan modellen anvendes til at beregne hvor ofte overløbene har været i funktion og hvor meget de har aflastet, baseret på årets nedbørsdata.

Projektområde

Det er valgt at fokusere på Ullerup Bæk oplandet, fra kilden og frem til havet. Oplandet er forholdsvis begrænset i størrelse, har både en relativ uberørt opstrøms del og en nedstrøms del der løber gennem Fredericia by. Der findes også målinger i både vandløb og afløbssystem.



Figur 1: Ullerup Bæk oplandet er ca. 1600 hektar stort.

Hydrologi

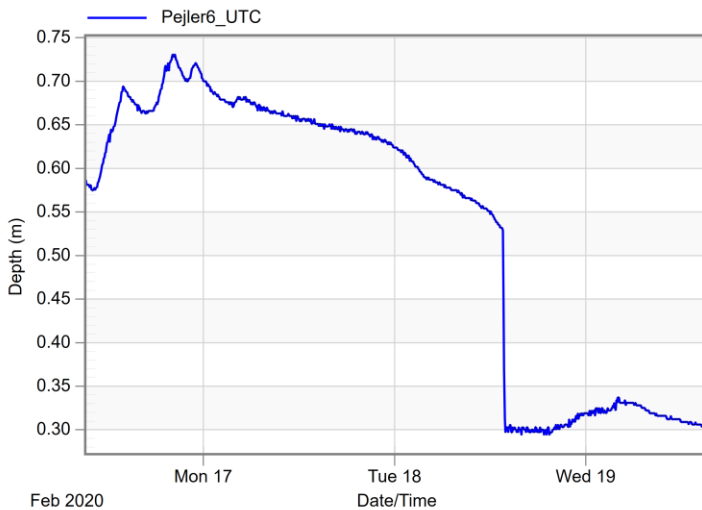
Der findes målinger både ved Ydre Ringvej, Pejler 6 og ved Madsbyparken, Pejler 4. En beskrivelse af målingerne findes i analyserapporter som beskrevet årligt i hydrometriske notater udarbejdet af Fredericia Kommune.

I rapporterne beskrives hvordan vandstanden er omregnet til vandføring via en Qh-relation.

Formålet med denne rapport er ikke en gennemgang af målingerne, men anvendelse af målingerne har givet anledning til nedenstående delkonklusioner.

Vandstandsmålinger

Ved Pejler 6 ses en række udfald og spring i vandstandsmålingen, fx den 18. februar 2020. Her falder vandstanden øjeblikkeligt ca. 25 cm. Dette er uheldigt, idet den højeste målte vandstand er i perioden 15.- 18. februar. Eftersom vandføringen er estimeret ud fra Qh-relation så vil der være usikkerhed omkring vandføringen i denne periode.



Figur 2: Målt vandstand ved Pejler 6.

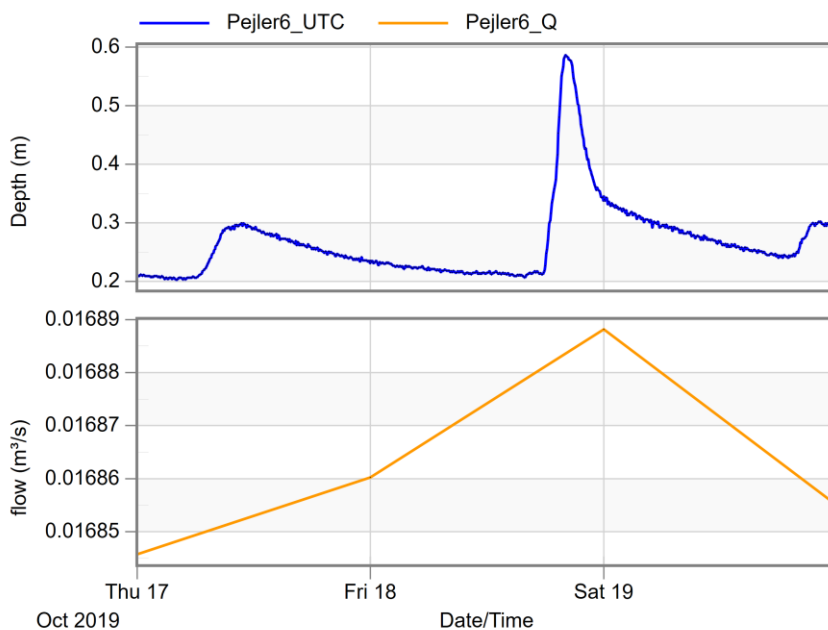
Vandstandmålingen ved Pejler 4, Madsbyparken, ser ud til at indeholde en række spring i vandstandsmålingen. Forklaringen på dette kunne være det ristebygværk, der ligger lige nedstrøms målingen, dvs. ved indløbet under jernbanendæmningen. Et pludseligt fald i målingen kunne hænge sammen med at risten gøres ren og dermed falder vandstanden meget hurtigt. Hvis det er tilfældet at opstuvning fra nedstrøms ristebygværk har indflydelse på målingen, så risikerer en Qh-relation at blive misvisende. Ved anvendelse af Qh-relationen fås således en vandføring på 9 m³/s i februar 2020. Godt nok var der meget vand i åen, men det nedstrøms Ø1600 rør har ikke kapacitet til så stor en vandføring. Med et fald på ca. 1 promille kan den føre 2-3 m³/s før den bliver fuldtløbende. 9 m³/s synes derfor at skyldes vandstand, der er målt i en situation hvor betingelserne for Qh-relationen ikke er opfyldte, dvs. det er ikke frit afløb. Der for skal vandstandsmålingerne tages med et forbehold, hvilket så også gør sig gældende for omregningen til vandføring.

En rist, der stopper til, er måske også et godt eksempel på at modellen har brug for at vide, hvordan de faktiske forhold har været, hvis den skal kunne genskabe virkelige hændelser. Derfor er det en god idé at inddrage de personer, som har haft vagten og driften under de interessante hændelser. De vil kunne fortælle om både hændelsesforløb og tiltag, fx rensning af riste, overpumpninger mm. som er svære at læste ud af målingerne alene.

Estimat af vandføring ud fra Qh-relation

Vandføringen i vandløbet er opgjort ud fra en række øjebliksmålinger, hvor vandstand og vandføring måles. Som regel foretages disse målinger når der er forholdsvis lav vandstand. Dette betyder at der er meget lidt grundlag for vurderingen af de største vandføringer.

Det gør sig også gældende, at vandføringen er midlet over et helt døgn. Ses der på vandstandsmålingerne kan det ses at vandstanden stiger og falder indenfor noget kortere interval.



Figur 3: Vandstand (øverst) og estimeret vandføring ud fra Qh-relation (nederst) ved Pejler 6.

Som det ses af figuren, så stiger og falder vandstanden i løbet af ca. 6 timer, så et døgnmiddel for vandføringen er en for grov opløsning i forhold til at kunne beskrive den egentlige hydrauliske påvirkning.

Qh relationen er opstillet ud fra proportionalitetsmetoden. Denne metode undervurderer ofte de største vandføringer, idet den ikke tager hensyn til at afgrøder strømningsen afbøjer grøden og derved reducerer den hydrauliske ruhed. For at vurdere de største vandføringer er det desuden nødvendigt at ekstrapolere ud over det område, hvor der er foretaget målinger. Ekstreme vandføringer risikerer at blive overvurderet, hvis Qh-relation baseret på proportionalitetsmetoden anvendes til ekstrapolation. Her ville det være bedre at anvende fremskrivning af strømhastigheden, som kun varierer svagt med stigende vandstand, sammen med det kendte tværsnit. Dette er dog ikke praksis i Danmark. /Kompendium Vandløbshydraulik, s. 43-45, Torben Larsen/

Baseret på overstående anvendes primært vandstandsmålingerne til sammenligning mellem hydrologisk model og målinger.

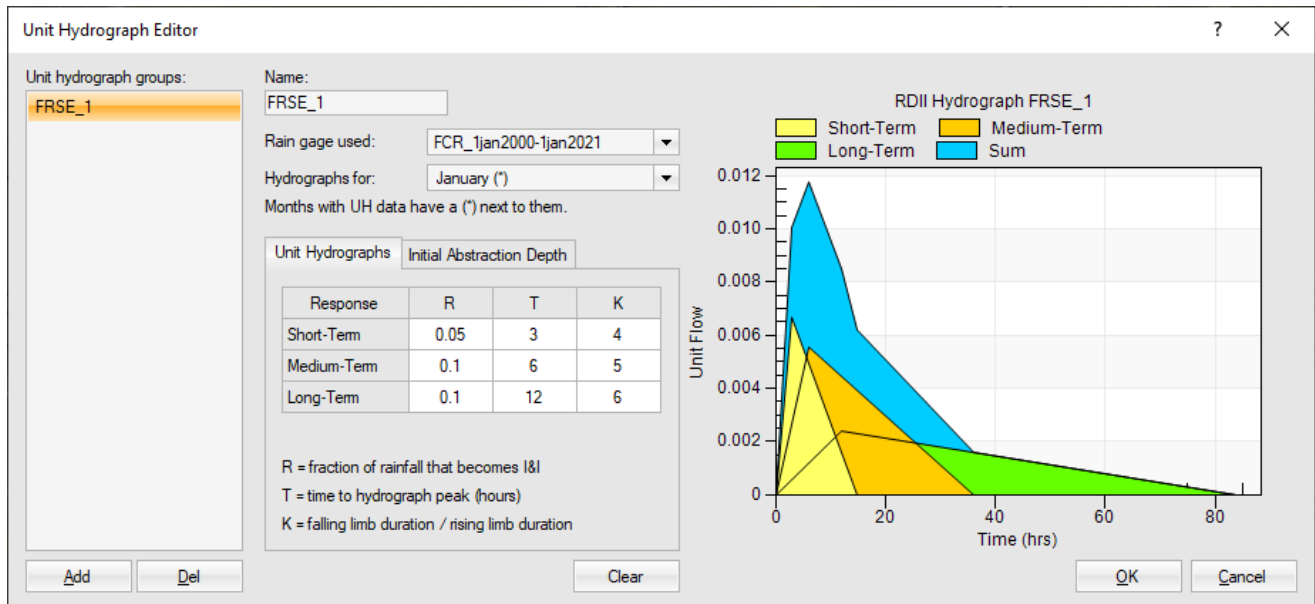
Opstilling af hydrologisk model

Ved opstilling af hydrologisk model findes en lang række muligheder. Både meget simple og meget komplicerede modeller. Det er her vigtigt at se på hvilke data der er til rådighed for opstilling, dvs. omkring oplandets beskaffenhed, og hvilke data der er til rådighed for validering af modelopstillingen. Til forskel fra fx afløbssystemet, hvor systemets geometri er velkendt, er det naturlige hydrologiske opland langt mere kompliceret. Overfladens beskaffenhed, jordlag, grøfter, arealanvendelse, drænsystemer, grundvandsstrømninger er bare nogle af de faktorer, der spiller sammen i et umådelig komplekst system. Der findes meget kompleks modeller, hvor der kan indtastes et stort antal inputparametre. Arbejdet med at finde valide data til at indtaste i modellen er dog meget dyrt og omfattende. For at det giver mening skal der opstilles en lang række målinger på både nedbør, grundvand og afstrømning. Samtidig er erfaringen at de mere komplekse modeller ikke nødvendigvis giver gode resultater, trods de store omkostninger.

Det forsøges derfor i denne rapport at opstille en så simpel model som mulig og holde den op mod de begrænsede antal målinger, der trods alt er tilgængelige.

Vandløbsmodellen består derfor af opmålte tværsnit, som tildeles en ruhed baseret på erfaringsværdier. Oplandet bestemmes ud fra højdemodellen. Der tillægges en basisvandføring, bestemt ud fra målingerne. Basisvandføringen tillægges en årstidsvariation. Fordampningen lægges ind baseret på erfaringsværdier for Danmark og tillægges også en årstidsvariation.

Den hydrologiske model består af den såkaldte RTK metode. Den er grunden tre enheds hydrografer lagt sammen. Hver af de tre kurver stiger til maksimalt niveau i løbet af et antal timer. Herefter falder bidraget i en periode, som er et multiplum af den tid som det tager at stige. De tre kurver beskriver hhv. kort, mellem og langsom respons ved given nedbør.



Figur 4: RTK metoden lagt ind for oplandet til Ullerup Bæk.

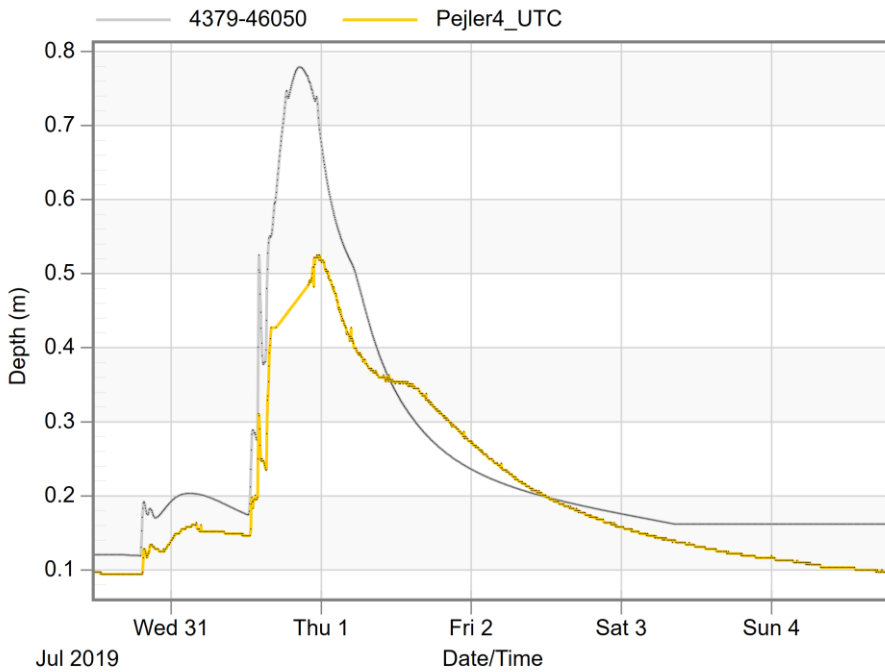
R er den procentdel af nedbøren der står til rådighed for den enkelte hydrograf, T er antal timer det tager for responsen at nå til maksimum, og K er multiplum af T og beskriver hvor lang tid responsen er at gå i 0. Den samlede kurve ses i figuren. Responsen og det tilhørende enkelttab er varieret hen over året.

Fordelen ved overstående metode er at den kræver forholdsvis få data at stille op, samtidig med at den giver en fornuftig massebalance. Målt nedbør falder på forholdsvis veldefineret opland. En del af oplandet når ned til vandløbet – men ikke det hele.

For at undersøge hvordan modellen beskriver vandstandsmålingerne er Pejler 6 undersøgt.

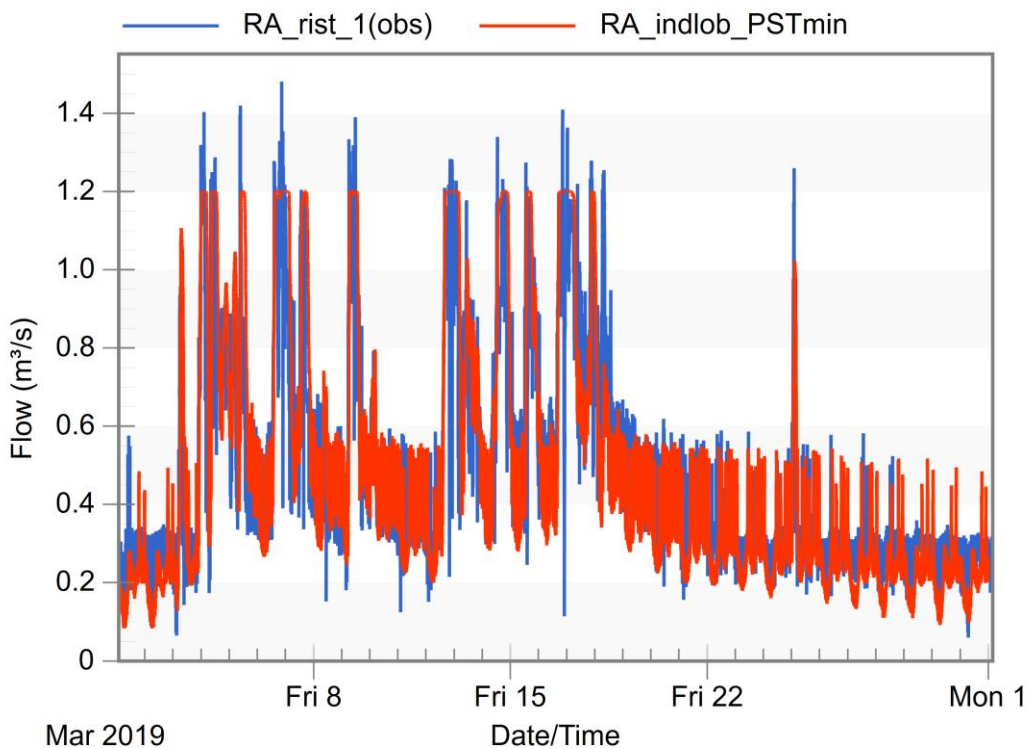
Overstående vurderinger viser at både model og målinger skal vurderes nøje og med kritisk blik. Men det viser også, at når de anvendes i sammenhæng, så er de med til at gøre os klogere på hvordan vandet strømmer og hvilke forhold, der kan være vigtig at optimere på. I dette tilfælde kan det være at en flowmåling kan placeres i Ø1600 røret under Jernbanen, fremfor at anvende Qh-relation fra Pejler 4. Vandstandsmålingen viser at der arbejdes, der lægges i oprensning af risten er ganske vigtig og hjælper med at holde vandstanden nede i de kritiske situationer.

Når målt og modelleret vandstand sammenlignes, så fås en fornuftig sammenhæng. Der ses også at der er afvigelser ved de højeste vandstande. Som nævnt kunne dette tyde på at en rist nedstrøms bliver rensat og dermed har indflydelse på vandstanden.



Figur 5: Eksempel på målt og beregnet vandstand ved Pejler 4, Madsbyparken.

Afløbsmodellen er kalibreret op mod en række regnhændelser, bl.a. på indløbet til Centralreenseanlægget.



Figur 6: Sammenligning af målt og beregnet indløbsflow til Centralreanseanlæg.

Afløbsmodellen viser en god sammenhæng mellem målinger og model. Sammenhængen er som forventet bedst i området tæt ved regnmåleren ved centralreanseanlægget.

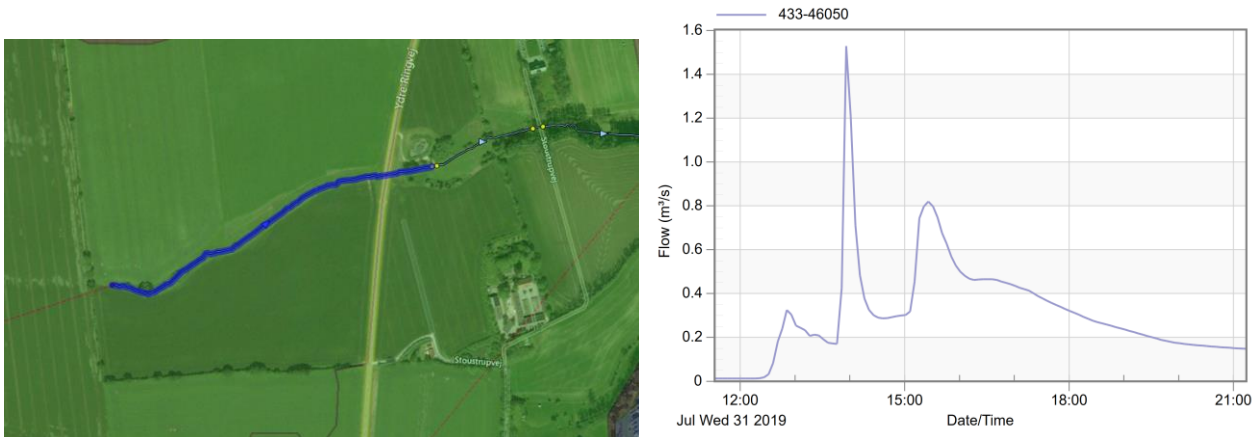
Afløbsmodellen bliver løbende opdateret i takt med at der udføres projekter i de forskellige oplande. Muligheden for at anvende radardata fra DMI er også nært forestående. Radardata er således ved at blive gratis tilgængelig, men der mangler stadig en kalibrering af disse før de kan bruges til afløbsmodeller. Der forventes at findes en landsdækkende løsning på kalibrering af radardata i løbet af det næste år. Modellerne kan anvende radardata som inputdata og derfor afventes de med stor spænding.

Påvirkning af vandløb ved tilløb fra afløbssystem

Modelopstillingen gør det muligt at vurdere afstrømningen i vandløbet under forskellige forhold, ikke mindst når der er tilløb fra afløbssystemet. Dette kan være enten fra overløb eller det separate regnvandssystem.

Ved at afprøve forskellige bassinstørrelser og ikke mindst forskellige afløbstal for bassinet så kan effekten ude i vandløbet undersøges. I nogle vandløb kan der være fokus på at nedbringe maksimal vandføring ved meget store hændelser. I andre kan det være vigtigt at graduere afløbet, så det kommer tæt på den naturlige afstrømning for oplandet.

Et eksempel på afstrømningen fra et naturligt opland kan findes i den opstrøms ende af Ullerup Bæk. Modelberegningerne kan give en baseline for afstrømningen under de forskellige enkeltstående regn og våde perioder.

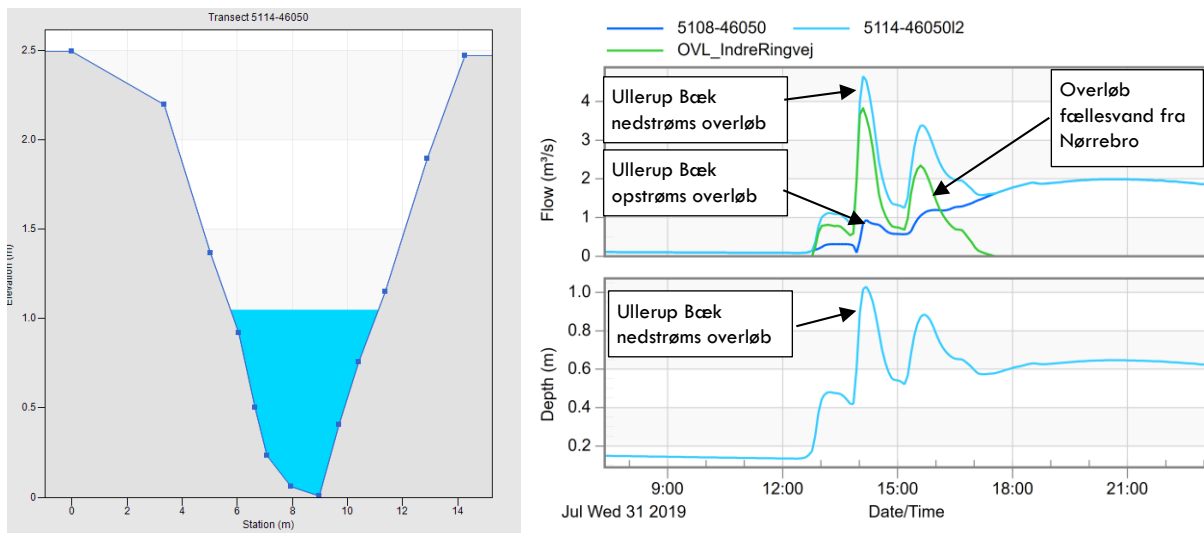


Figur 7: Afstrømning fra naturligt opland, opstrøms i Ullerup Bæk.

Modellen beregner en maksimal vandføring på $1,55 \text{ m}^3/\text{s}$ i en kort periode. Oplandet er ca. 430 ha, dette giver en afstrømning på $3,6 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{ha})$ i denne hændelse. Ved at simulere en række dimensionsgivende hændelser kan der fås et godt grundlag for udledningstilladelser til nye byggemodninger.

Nedstrøms i Ullerup Bæk bliver vandløbet påvirket af både overløb fra fællessystemet og tilløb fra separat regnvandssystem.

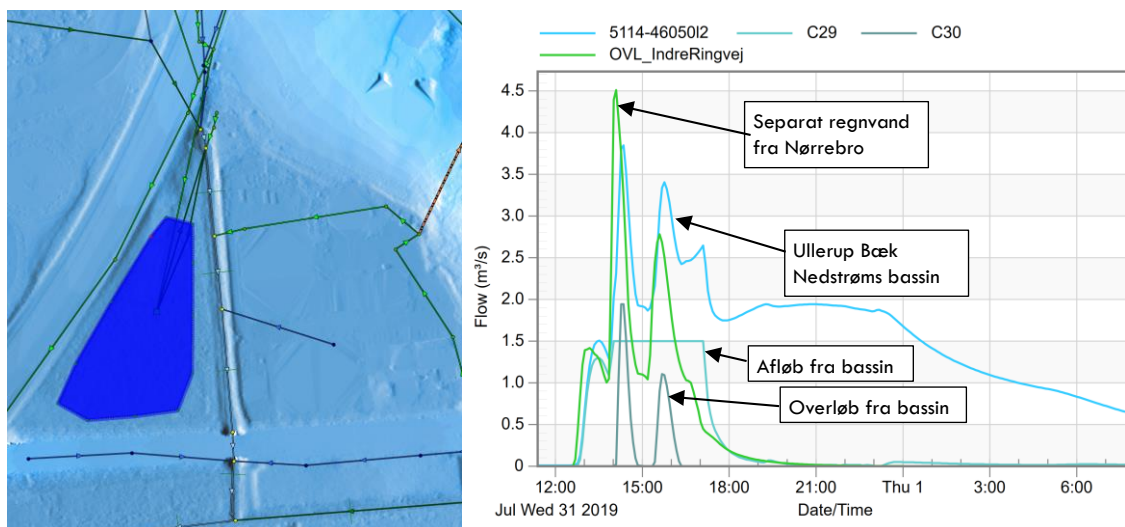
Ved at forbinde vandløb og afløbssystem, sådan som det gjort i denne modelopstilling, så kan der foretages analyse af påvirkningen på vandløbet.



Figur 8: Sammenhæng mellem vandføring opstrøms og nedstrøms overløb fra Indre Ringvej, samt vandstand i vandløb nedstrøms overløbet.

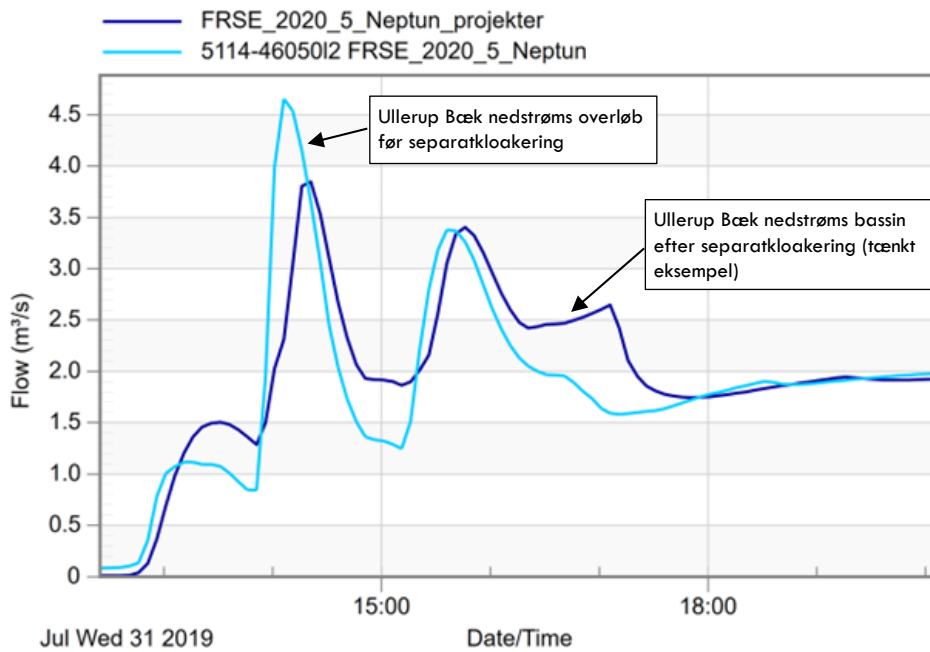
Figuren viser en meget stor tilstrømning ved den kraftige hændelse 31. juli 2019. Men selv med så kraftig vandføring er der ikke umiddelbart risiko for oversvømmelse over vandløbsbrinkerne.

En separatkloakering af Nørrebro området vil ændre på strømningsforholdene ved sådan en ekstremhændelse. Hvis der fx sætte et bassin ind, som har et relativt stort afløb, her valgt til 1,5 m³/s, så kan effekten på den maksimale vandføring ved ekstremregn undersøges.



Figur 9: Vandføringer opstrøms og nedstrøms tænkt regnvandsbassin ved Indre Ringvej, samt vandstand i vandløb nedstrøms overløbet.

Effekten af et tænkt bassin kan også ses på nedenstående figur.



Figur 10: Vandføring ved en ekstrem regn, nedstrøms tilløb fra Nørrebro før (lyseblå) og efter (mørkeblå) separatkløbering.

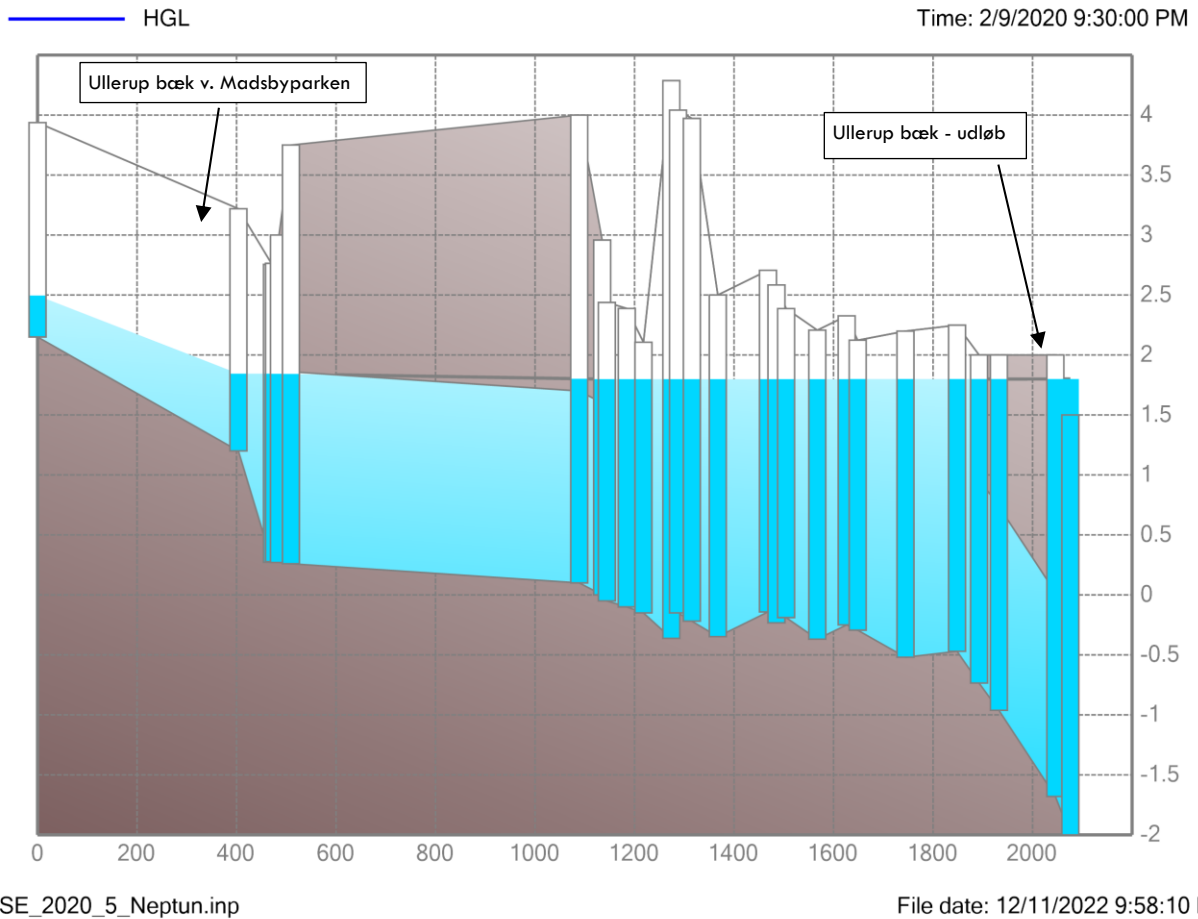
Effekten af bassinet ses ved at maksimal vandføring sænkes fra godt 4,7 m³/s til knap 3,8 m³/s.

Det er værd at notere at der samlet set ledes mere vand ud til recipienten efter at området separeres. Den mængde fællesvand, der tidligere løb mod renseanlægget (ca. 500 l/s) afledes nu til vandløbet via bassinet. Når maksimal vandføring reduceres så hænger det sammen med et bassinvolumen, men også vigtigt at afløbet fra bassinet er tilpas stort. Herved er der ledigt volumen i bassinet på det tidspunkt hvor de maksimal tilstrømning til bassinet optræder.

Effekt af stormflod

Det er interessant at se hvilken effekt stormflod kan have opstrøms i vandløbet og hvor vandstanden vil brede sig.

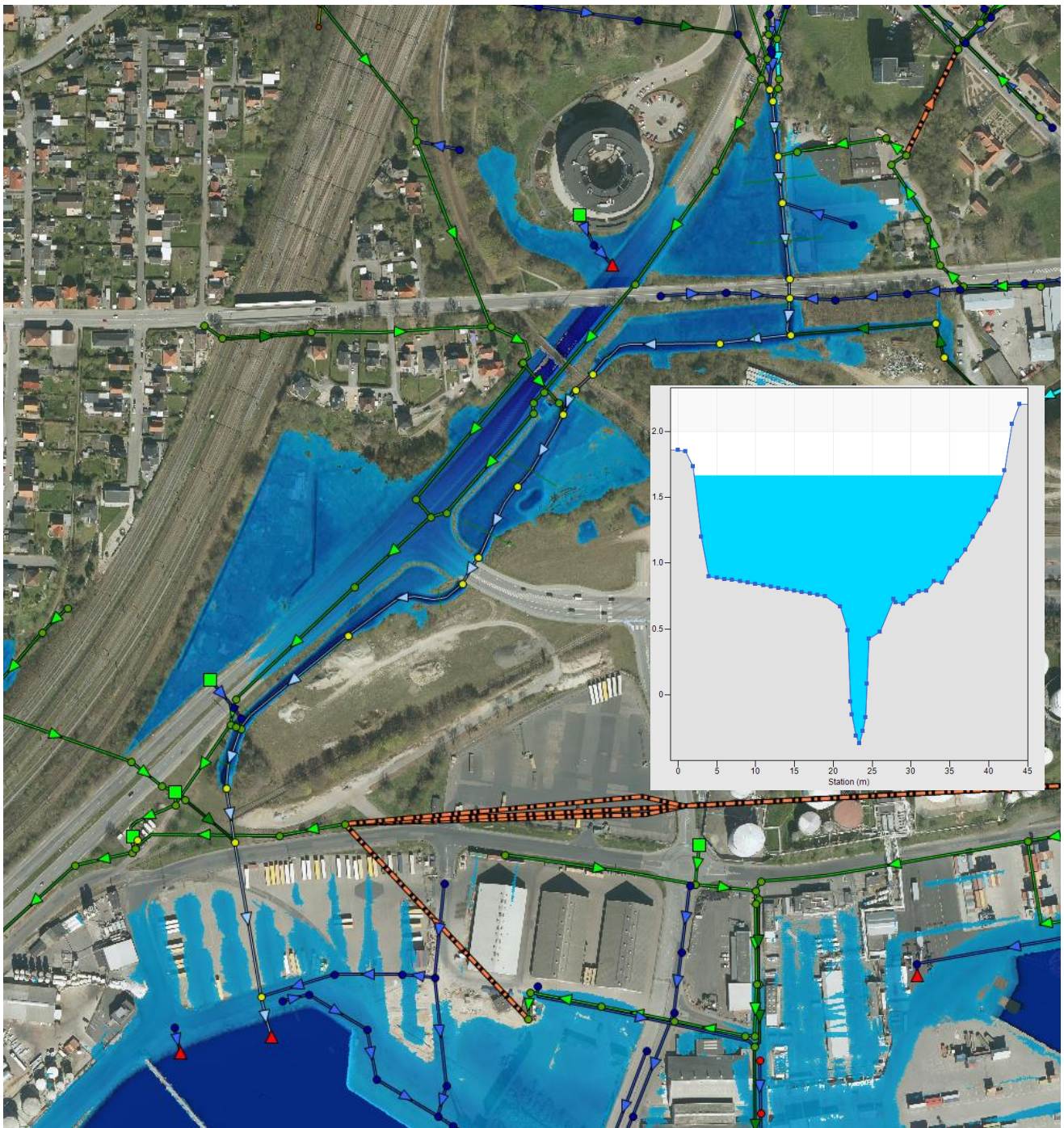
Ved en stormflod på fx +1,8 m kan vandstanden opstrøms i vandløbet estimeres.



Figur 11: Længdeprofil langs Ullerup Bæk fra Madsbyparken til udløbet.

Som det ses af længdeprofilet, så vil stormfloden have indflydelse helt op til Madsbypark.

Figuren nedenunder viser strækningen fra udløbet og op til Indre Ringvej.

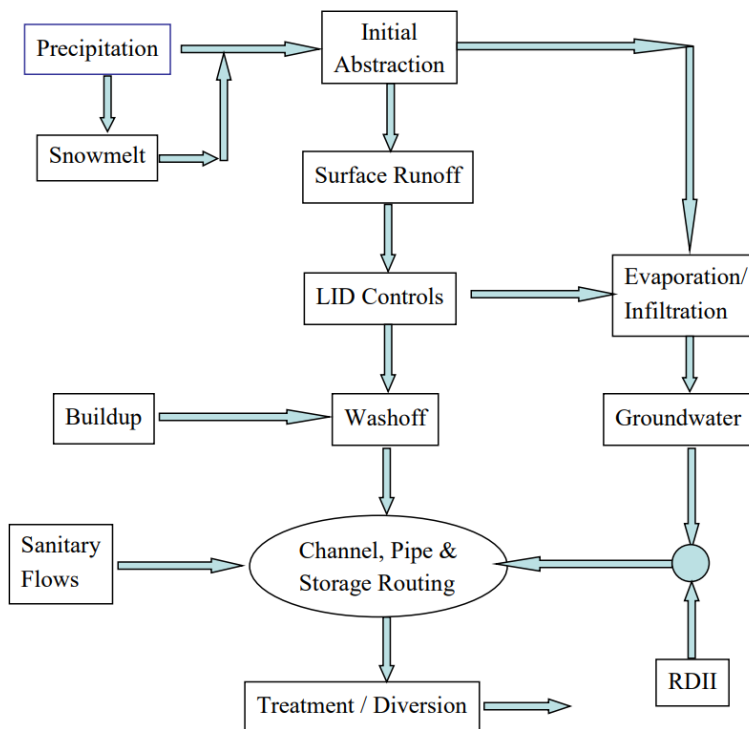


Figur 12: Områder ved Ullerup bæk som ligger under kote 1,8 m samt tværsnit ved Indre Ringvej.

Som det fremgår af figuren, så vil den kystnære del af Ullerup bæk op til Indre Ringvej komme under pres. Men også de tilstødende, lavtliggende arealer. Her er det vigtigt at vandet ikke kan komme baglæns fra vandløbet og strømme til afløbssystemet gennem overløbsbygværker.

Yderligere analyser og perspektivering

Der er i denne rapport vist nogle af de muligheder, som modellen giver. Men der er en række andre analyser, hvor modellen kan bidrage.



Figur13: Oversigt over processer, der kan modelleres i SWMM. /Storm Water Management Model Reference Manual Volume I – Hydrology (Revised) s. 20/

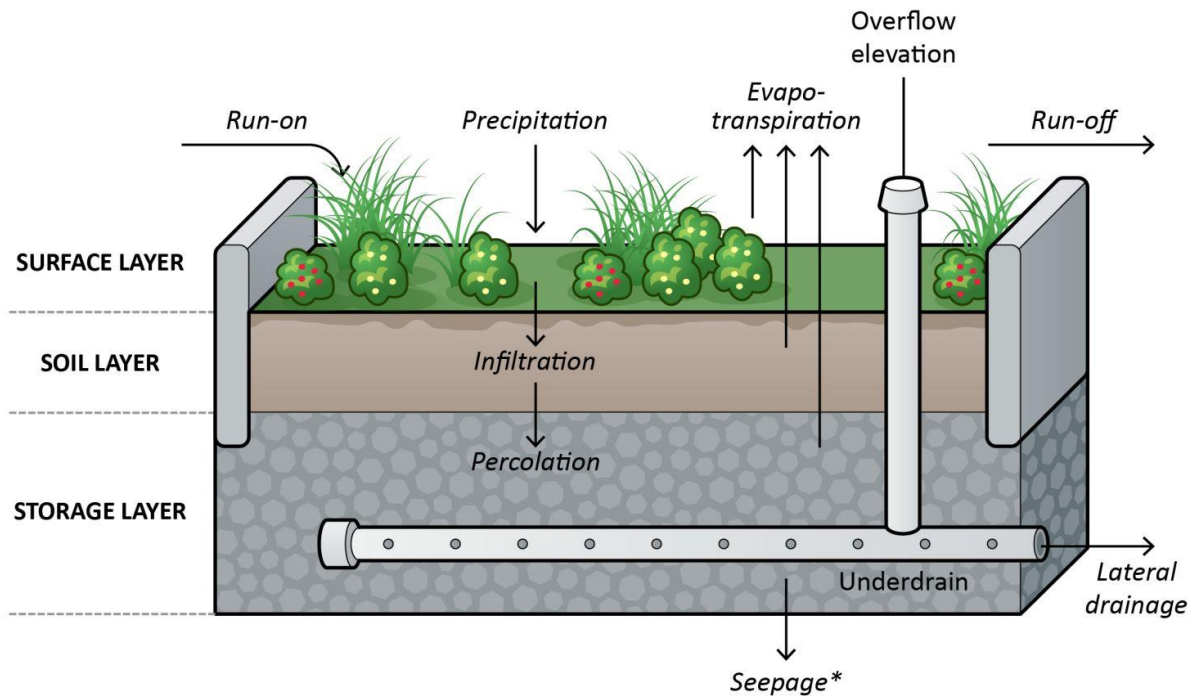
Som det kan ses af figuren, så dækker modellen en meget lang række processer. Det er også interessant at se at nogle af processerne ikke anvendes bredt i Danmark. "Buildup" beskriver således det forhold at regnvand, der falder efter en lang tørvejrperiode, skal vaske byen ren og derfor indeholder højere stofkoncentrationer end ellers. Dette virker logisk og bør måske i højere grad indgå i Danmark også.

Byggemodninger

Ved planlægning af nye byggemodninger kan modellen være med til at afprøve forskellige kombinationer af ledningsføringer, bassinplaceringer, bassinstørrelser og afløbstal. Konsekvenserne for vandløbet kan vurderes under forskellige forhold, det samme kan konsekvenserne ved ekstremregn inde i byggemodningen. Modellen kan være med til at sikre at der ikke bygges bygninger eller kritisk infrastruktur i strømningsveje eller i områder, der kan oversvømme.

LAR - Lokal afledning af regn

Der er i stigende grad behov for at modellere LAR elementer, både i byggemodninger men også ved renovering af eksisterende områder. LAR elementer (eng. LID for Low Impact Development) kan være grønne tage, vej bede, faskiner mm.



Figur 14: Eksempel på et LAR anlæg, som kan lægges ind i modellen. /PCSWMM support side

<https://support.chiwater.com/79189/lid/>

Analyse af erosion

Med information om vandstand og vandføring i vandløbet er det muligt at beregne forskydningsspænding i vandløbet. Dette kan anvendes som en støtteparameter i vurderingen af hvilke forskydningsspændinger de forskellige vandløbsstrækninger bliver udsat for. Dette kan indgå i en diskussion af hvilke bundforhold kan forventes og om en given ændring i strømforhold kan forventes at ændre på de nuværende forhold. Når det nævnes her som en støtteparameter så skyldes det at modellen ikke bør stå alene ved vurdering af bundforhold og erosion. Her bør faglig vurdering og inspektioner være central, men modellen kan støtte op om denne vurdering og indgå i en dimensionering af tiltag, idet der fås værdifuld indsigt i hvor ofte og hvor længe de givne vandføringer og forskydningsspændinger optræder.

Stofindhold

De enkelte vandstrømme, der indgår i modellen, kan give forskellige koncentrationer af et eller flere stoffer. Spildevand har således et højt indhold af organisk materiale. Regnvand, der falder på byens overflader, får en anden koncentration. Når separat regnvand passerer et regnvandsbassin, så renses vandet og har en anden koncentration i udløbet i forhold til indløbet. Grundvand/indsivning har en tredje. Når vandstrømmene er modelleret kan stofindholdet beregnes og dette kan være med til at finde den optimale løsning, også når der vurderes på forureningsindholdet. Dette kan være ved at sikre at separat spildevand når frem til centralrenseanlægget uden at passere et overløbsbygværk undervejs.

Operationel sammenligning af model og målinger til optimeret styring og driftsovervågning

Når der ikke kræves licenser til modellen, så kan den sættes til at køre automatisk så ofte der ønskes på forskellige platforme med forskellige formål. Et formål kunne være en overvågning af afløbssystemets funktion. En velkalibreret model kan "fodres" med randbetingelser i form af nedbør og vandstand i havet fx hvert 5. minut. Herudfra kan modellen beregne vandstande og vandføringer i afløbssystemet og give information om overløb eller risiko for høj vandstand. Dette kan fx anvendes til optimeret styring af

bassiner og renseanlæg. Det er også oplagt at automatisk sammenligne modelresultater og tilsvarende målinger. Modellen forudsætter altid at driftsforholdene er gode så hvis de to ikke passer sammen (vel at mærke i en velkalibreret, retvisende model) så kan det være med til at afsløre driftsforstyrrelser eller fejlagtige målinger.

Risikokortlægning

Modellen kan som vist anvendes til at vurdere oversvømmelser ved ekstremhændelser som stormflod, langvarige våde perioder eller ekstrem regn. Disse oversvømmelser er en vigtig brik i risikokortlægningen, hvor resultaterne anvendes sammen med kortlægning af værdier og skadesfunktioner. Oversvømmelsen kan beregnes i en 1D-1D modelopstilling, hvor lavninger og strømninger modelleres i én dimension. Denne metode har den fordel at de enkelte simuleringer er hurtige. Der kan også opstilles et fintmasket 2D beregningsnet på overfladen. Denne metode er langt mere beregningskrævende. Ved begge metoder gælder det at omhyggelig opsætning er afgørende for at nå frem til et retvisende resultat.

Varsling

Mulighederne for varsling af nedbør og vandstandsstigninger bliver hele tiden bedre. Radardata kan nu forudsige nedbør med brugbar nøjagtighed ca. 2 timer frem i tiden. DMI varsler vandstandsstigninger op til 48 timer frem i tiden. Disse randdata kan indgå i modellen og dermed kan modellen varsle hvor højt vandet vil stå. Modellen kan også afprøves forskellige strategier, for at minimere skaderne. Som nævnt har et andet NEPTUN projekt med succes opstillet SWMM baseret varslingssystem i Flensborg i 2022.

Dimensionering af afløbssystem

Ved renovering af afløbssystemer skal de leve op til det vedtagne serviceniveau. Modellerne kan anvendes til at afprøve forskellige løsningsmuligheder ved dimensionsgivende påvirkning. Her vil forskellige sikkerhedsfaktorer indgå i beregningen, både for at tage højde for modelusikkerhed og klimafremskrivning af både nedbør og vandstande i havene. Den fremtidige udvikling og fortætning af bebyggelsen indgår også i modellen.

Opsummering

Modellen er opstillet i et gratis, open-source værktøj, SWMM. Derfor kan modellen anvendes uden licens og der er fuld åbenhed over hvordan modellen er opbygget og hvilke resultater den producerer.

Arbejdet med modeller og målinger viser at det er vigtigt at kvalitetssikre begge dele. Netop det at sidestille modelresultater og målinger er en god fremgangsmåde og er med til at styrket det faglige fundament. Desuden styrker arbejdet med modeller det faglige miljø og sikrer at lokal viden fastholdes og udbygges.

Der sker fremskridt både ved at der bliver flere data tilgængelige og vores forståelse af vandsystemerne bliver bedre og bedre. Der forskes således i afstrømning fra grønne områder og radardata og andre målinger er blevet gjort gratis og lettilgængelige. Den nye viden kan indbygges i modellen efterhånden som den bliver tilgængelig.

Der arbejdes også på at kvantificere de usikkerheder, der altid vil være forbundet med modelresultater. Dette arbejde vil gøre fortolkningen af resultaterne mere nuanceret og være med til at fokusere indsatsen ved indsamling af data.

For at illustrere anvendelsesmulighederne er der også belyst en række eksempler på hvordan modellen kan anvendes ved forskellige analyser.

Kilder

/Efficient Hydrodynamic Modelling of Urban Stormwater Systems for Real-Time Applications, Henry Baumann 1, Nanna Høegh Ravn 2 and Alexander Schaum 1*,

1 Automation and Control Group, Kiel University, Kaiserstr. 2, 24143 Kiel, Germany

2 LNHwater, Kathøvej 3, 3080 Tikøb, Denmark

1* Correspondence: alsc@tf.uni-kiel.de

Modelling 2022, 3, 464–480. <https://doi.org/10.3390/modelling3040030>

<https://www.mdpi.com/journal/modelling>

/Kompendium i Vandløbshydraulik, Torben Larsen, Institut for Byggeri og Anlæg, Aalborg Universitet, Første udgave 23-10-2017/

/Storm Water Management Model Reference Manual Volume I – Hydrology (Revised) 2016, Lewis A. Rossman National Risk Management Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati

<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockkey=P100NYRA.txt> /