



SPILDEVANDSKOMITEEN

ERFARINGSUDVEKSLING I VANDMILJØTEKNIKKEN **EVA**

NR. 1 • 34. ÅRGANG • FEBRUAR 2021

Adresseliste for udvalgsmedlemmer

Jakob Badsberg Larsen

Niras A/S
Sortemosevej 19, 3450 Allerød
e-mail: jla@niras.dk
Tlf. 4810 4561, Mobil 2141 8335

Benedikte Foldby Jakobsen

Rambøll A/S
Hannemanns Allé 53, 2300 København S
e-mail: bfja@ramboll.dk
Tlf: 5161 8715

Ulla Boje Jensen

Novafos A/S
Blokken 9, 3460 Birkerød
e-mail: ubj@novafos.dk
Tlf. 4137 5416

Jesper Ellerbæk Nielsen

Aalborg Universitet, Institut for Byggeri og Anlæg
Thomas Manns Vej 23, 9220 Aalborg Ø
e-mail: jen@civil.aau.dk
Tlf. 9940 2905

Agnethe Nedergaard Pedersen

VandCenter Syd as
Vandværksvej 7, 5000 Odense C
e-mail: anp@vandcenter.dk
Tlf. 6114 9310

Lars Berggren Winther

Novafos A/S
Blokken 9, 3460 Birkerød
e-mail: lbw@novafos.dk
Tlf. 4420 8155

Tina Kristensen Nettelfield

EnviDan A/S
Vejsløvej 23, 8600 Silkeborg
e-mail: tkn@envidan.dk
Tlf.: 8680 6344

Udgiver

Ingeniørforeningen, IDA – Spildevandskomiteen Erfaringsudveksling i Vandmiljøteknikken EVA.
Indlæggene i bladet står for forfatterens egen regning, og Eva-udvalget er ikke nødvendigvis enig i den udtrykte holdning eller anbefaling.

Hjemmeside

www.evanet.dk

E-mail

evaudvalg@gmail.com

Dette blads redaktør

Jakob Badsberg Larsen, jla@niras.dk

Næste blads redaktør

Jesper Ellerbæk Nielsen, jen@civil.aau.dk

Deadline for indlæg

Marts 2021

Næste blad forventes udgivet

April 2021

Redaktion

Margrethe Nedergaard, margrethe_nedergaard@hotmail.com

Indhold

Leder	5
Indbydelse til Temadag	6
Det tegningsløse anlægsprojekt	
Martin Andersen	10
Motorvej for regnvand under byen	
William Rosengaard	12
Innovation: Arkil etablerer vandbrønde hurtigere og billigere med robotskåret flamingo støbeform	
Flemming Holm og Tue Avbæk Larsen	16
Bassindimensionering med regnrækker	
Dan Rosbjerg	20
3D projektering af kompliceret ledningsnet under Sundkrogsgade i Nordhavn	
Jonas Jensen, Kristoffer Stenkær og Morten Laasholdt	28
Renseanlæg – Udbygningsplanlægning 2045	
Artikel 1: Kend dit spildevand – CQ-funktioner og kildeopsplitning	
Kim Rindel, Barbara Greenhill og Carsten Thirsing, John Andersen, og Jan Høybye	30
Renseanlæg – Udbygningsplanlægning 2045	
Artikel 2: Et godt gæt på den fremtidige belastning – eller hvor langt man kan komme med simple modeller – Målinger og oplandsdata	
Kim Rindel, Barbara Greenhill og Carsten Thirsing, John Andersen, og Jan Høybye	38
Studieophold på NTNU efteråret 2019	
Marianne Fink	52

Kalender

Faglige arrangementer

EVA-udvalget opfordrer til, at medlemmerne holder øje med faglige arrangementer på relevante hjemmesider (EVA-udvalget, DANVA, IDA Miljø, Ferkvandscenteret m.fl.)

EVA-udvalget søger at placere temadage så de ikke konflikter med andre større fagligt relevante arrangementer.





Leder

Kære EVA medlem

Lederen i det forrige blad skrev om den særlige tid vi befandt os i tilbage i maj i 2020. Da var Coronavirus og alt det førte med sig fortsat relativt nyt. Siden den kom til Danmark i marts sidste år, har det sat dagsordenen for meget i vores hverdag og vi har alle, hver især, været påvirket i større og mindre grad. Vi befinder os heldigvis i en branche, som er kommet godt gennem krisen og hvor beskæftigelsen og produktiviteten fortsat er høj. Vi ved dog, at det har givet mange bekymringer, udfordringer og utryghed hos alle og fra EVA-udvalget håber vi, at i og jeres nærmeste alle har det godt.

Corona har naturligvis også sat et stort præg på EVA-udvalgets arbejde i 2020. Vi nåede heldigvis at afholde en succesfuld temadag med stor deltagelse i februar omkring drift af LAR-anlæg, hvor Corona fortsat var noget, der mest foregik udenfor landets grænser. Denne temadag må stå som årets højdepunkt for udvalgets arbejde, da det var sidste gang, det var muligt at gøre det, vi brænder for: Arrangere temadage, hvor vi kan mødes med vores medlemmer omkring spændende faglige temaer og deltage i de mange gode snakke og diskussioner, det fører mig sig.

Senere måtte vi aflyse to fysiske temadage, hvoraf den ene dog alligevel blev holdt som en online temadag. De online temadage er nye for os, og afholdelsen i november var vores første online temadag. Dagen blev afviklet med succes, men der var også læringspunkter at tage med til den kommende temadag. De online temadage er vist desværre kommet for at blive lidt endnu, så indtil videre er de to kommende temadage 25. februar og 20. maj også planlagt som online temadage.

Emnet for den forrige temadage var centreret omkring Strandboulevarden Skybrudstunnel på Østerbro i København, hvor vi måtte nøjes med en virtuel rundvisning, før vi om eftermiddagen dykkede ned i nye spændende værktøjer og processer anvendt i udførelsesfasen af vores afløbsprojekter, 3D robotbyggede specialforme og 3D projektering. Alt sammen noget I kan læse meget mere om i denne udgave af EVA-bladet sammen med en artikel om bassindimensionering samt to spændende artikler om opbygning af statistisk model for og fremskrivning af stofmængder til renseanlæggene i København.

Til den kommende temadag vil der blive afholdt årsmøde, hvor der vil være valg til bestyrelsen, så hvis du ønsker at deltage i arbejdet med at arrangere temadage og være med til at formidle faglig viden, er det nu du skal slå til. Forslag til kandidater fremsendes til Jakob Badsberg Larsen (jla@niras.dk) eller Agnethe Nedergaard Pedersen (anp@vandcenter.dk) senest den 17. februar 2021.

Tina Kristensen Nettelfield og Benedikte Foldby Jakobsen er på valg for en ny treårig periode. Bestyrelsen foreslår genvalg og takker for deres store indsats hidtil. Ulla Boje Jensen har været medlem af bestyrelsen i 2 x 3 år, og kan derfor ikke genopstille. Bestyrelsen vil gerne takke Ulla for hendes store arbejde i EVA-udvalget, hendes engagement samt det gode humør, hun altid har bragt med sig.

Den næste temadag bliver afholdt i februar, og her falder emnet på Machine Learning, og vi vil dykke ned i denne spændende verden og forsøge at blive lidt klogere på, hvad det egentlig er for noget. Er det bare Voodoo, eller har det også potentiale i virkeligheden?

Vi glæder os til "se" jer til en spændende og tankevækkende temadag.

EVA-udvalget

EVA-udvalget indbyder til

VIRTUEL

EVA-temadag

Torsdag den 25. februar 2021

Machine Learning i Vandbrache

– Voodoo eller Virkelighed?

Machine Learning og kunstig intelligens har taget flere brancher med storm, men hvor langt er vi med at anvende teknologien i vandbranchen? I takt med datamængderne vokser og vandsektoren digitaliseres, stiger teknologiens potentialer for branchen. Disse potentialer fremhæves ofte, mens Machine Learning og kunstig intelligens til tider fremstilles som et vidunder-værktøj, der på næste magisk vis er i stand til at løse alverdens problemer.

Til denne temadag stiller vi skarpt på Machine Learning i vandbranchen, og forsøger at svare på spørgsmålet om Machine Learning er voodoo eller virkelighed for os? Gennem dagens oplæg forsøger vi at gøre en foreløbig status for, hvordan teknologien i dag anvendes i branchen. Du vil ud fra konkrete eksempler få inspiration til, hvordan Machine Learning kan anvendes og skabe værdi for såvel rådgivere og forsyninger. Samtidig vil vi også forsøge at tegne et billede for, hvordan teknologien kan påvirke vores branche i fremtiden.

Omstændighederne omkring Corona-virus gør vi ikke kan mødes fysisk. Derfor afholdes temadagen virtuelt, som det også var tilfældet ved sidste temadag. Dette betyder, at du igen har mulighed for at deltage i temadagen til nedsat pris, hvor medlemmer af EVA eller IDA kan deltage for kun **200 kr.**, og ikke-medlemmer for kun **400 kr.**

**11:20 Machine Learning i rådgivningen
– et redskab i værktøjskassen**

v. Torben Bach, NIRAS

Med fokus på konkrete eksempler fra rådgivningsopgaver samt udviklings- og demonstrations projekter, vil Torben give indblik i hvordan Machine Learning anvendes som redskab i rådgivningen. Herudover diskutere, hvordan teknologien påvirker rådgivningen og hvad man bør være opmærksom på, når man tilbyder Machine Learning som rådgiver.

11:45 Årsmøde

v. Jacob Badsberg Larsen, Formand for EVA udvalget

1. Valg af dirigent
2. Bemærkninger til dagsordenen
3. Formandens beretning
4. Fremlæggelse af regnskab
5. Valg af udvalgsmedlemmer *
6. Eventuelt

* Ulla Boje Jensen har været medlem af bestyrelsen i 2 x 3 år og kan derfor ikke genopstille.

Tina Kristensen Nettelfield er på valg for en treårig periode.
Bestyrelsen foreslår genvalg

Benedikte Foldby Jakobsen er på valg for en treårig periode.
Bestyrelsen foreslår genvalg

Forslag til kandidater fremsendes til Jakob Badsberg Larsen (jla@niras.dk) eller Jesper Ellerbæk Nielsen (jen@build.aau.dk).

Tidsfrist for indstilling er senest onsdag den 17. februar 2021.

Eventuel afstemning ved kampvalg, afgives pr. e-mail til Sylvie, syc@ida.dk som behandles anonymt.

12:15 Frokost pause

13:00 Datadreven modellering af vandstande i afløbssystemet

v. Jens Martin Eriksen, Krüger

Med udgangspunkt i målekampanger hos Novafos vil Jens Martin give et indblik i, hvordan regndata og vandføringsmålinger kan anvendes til at modellere vandstande i kritiske punkter i afløbssystemet. I den datadrevne tilgang er Machine Learning anvendt til at beregne den hydrauliske respons i realtid, og Jens Martin vil diskutere, hvordan og hvornår dette kan supplere eksisterende modelleringsværktøjer.

**13:25 Mere information fra data med kunstig intelligens:
konkrete eksempler fra afløbssystemer**

v. Morten Grum, WaterZerv

Datadrevne modeller og machine learning byder på mange nye muligheder for bedre indsigt, prioritering og optimering i både drift og planlægning. Vi præsenterer, hvordan automatiserede datadrevne modeller benyttes til beregning af kilder til afløbssystemet samt hvordan neurale netværk bruges til at detektere dårlige data. Desuden giver vi en mundsmag på et nyt udviklings samarbejde med DTU Miljø og Bochum kommune, hvor vi med deep learning kombinerer data og klassisk hydraulik for at styrke klimatilpasningen og reducere overløb.

13:50 Pause

**14:10 Nationalt befæstelseskort ved hjælp af Machine Learning
og geografiske data**

v. Morten Revsbæk, Scalgo

Indlæggets fokus vil være på brugen af Machine Learning i udviklingen af Scalgo's services. Morten vil give en kort introduktion til det nationale befæstelseskort og vandoplandsværktøj, samt give indblik i hvordan AI og Machine Learning har bidraget hertil. Herudover diskuterer mulighederne i at kombinere Machine Learning med geografiske data, til gavn for vandbranchen.

14:35 Hvor parat er Vandbranchen til kunstig intelligens?

v. Prof. Michael Rasmussen, Aalborg universitet

Kunstig intelligens (AI) og Machine Learning har allerede indtaget en række brancher med storm. I Danmark har vi eksperimenteret med at anvende kunstig intelligens og Machine Learning siden 1990'erne, men betyder det at vandsektoren er parat til kunstig intelligens? Potentialerne for Vandbranchen fremhæves ofte, men hvorfor er AI og ML ikke allerede langt mere udbredt? Michael vil i sit indlæg fokusere på, hvilke udfordringer kunstig intelligens giver vandbranchen, faldgruber ved datadreven modellering og hvilke krav teknologien stiller til fremtidens vand og miljø ingeniører for herigennem at tegne et billede af, hvordan AI og Machine Learning vil påvirke vores branche i fremtiden.

15:00 Afrunding og tak for idag

v. Jesper Ellerbæk Nielsen, EVA udvalget

Det tegningsløse anlægsprojekt



Af: Martin Andersen,
Projektleder, Plan & Projekt,
Novafos.dk

På de fleste store anlægsprojekter udveksles der betydelige mængder information i form af referater, tegninger, kort mv. Mange kort og tegninger skal også løbende opdateres gennem anlægsprojektet, og det skal sikres, at de nyeste versioner er tilgængelige og bruges. Det tager tid at udforme, printe og distribuere dette materiale, så et oplagt spørgsmål er, om man kan håndtere disse informationer lidt smartere?

I forbindelse med et stort klimatilpasningsprojekt i Hellerup, hvor Novafos er bygherre og Niras er rådgiver, har vi valgt at bygge en digital platform, som gjorde traditionelle kort og tegninger overflødige. Platformen blev anvendt til registrering af tidsplan, fremdrift, tilsynsnotater og projektregistreringer. På denne måde fik alle brugere samme opdaterede projektgrundlag, og vi fik samtidig et langt bedre overblik på et komplekst anlægsprojekt. På den digitale platform registrerede vi desuden den omfattende kommunikation med en bred palette af interessenter.

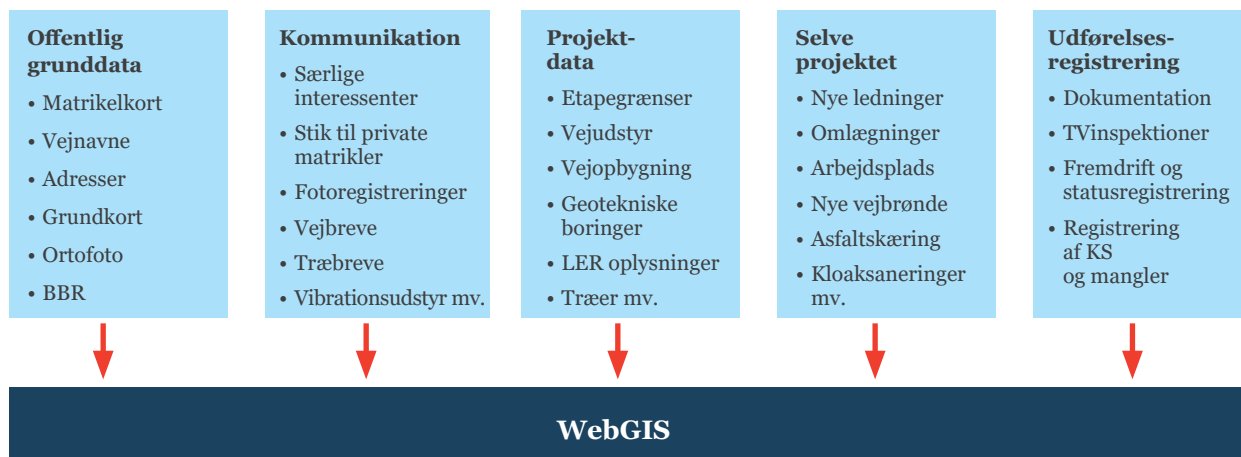
Der er tale om en WebGIS-løsning, hvor data fra offentlige kilder, forskellige projektdata samt diverse registreringer samles i ét grafisk datavindue med lag, der kan klikkes til og fra, alt efter hvad der ønskes vist. Figur 1 illustrerer med eksempler de forskellige datakilder, som blev samlet i vores WebGIS-platform.

Overblik over håndtering af interessenter

Undervejs i projektløbet har Niras løbende været gode til at tilpasse platformen, så den har svaret til de behov, vi har haft i projektet. Eksempelvis er der indarbejdet et omfattende kommunikationsoverblik, som betyder, at vi har haft et digitalt overblik over hvilke ejendomme, der har fået §12-varslinger og forskellige nabobreve, samt information om hvor vibrationsmålere er opsat, hvor der er udført indvendige eller udvendige fotoregistreringer eller hvilke ejendomme, der får udført regnvandsstik til privat matrikel.

Stadig mulighed for print

Figur 2 viser WebGIS-platformen i et af projektområderne. Det er på platformen muligt at zoome ind og få synliggjort alle ønskede data, hvorefter der kan dannes en pdf, som kan printes. Eksempelvis har vores entreprenører typisk printet arbejdstegninger for de enkelte veje med nye ledninger, eksisterende ledninger, vejudstyr mv.

**Figur 1**

Eksempler de forskellige datakilder, som blev samlet i vores WebGIS-plattform.

Anbefaling af en digital platform

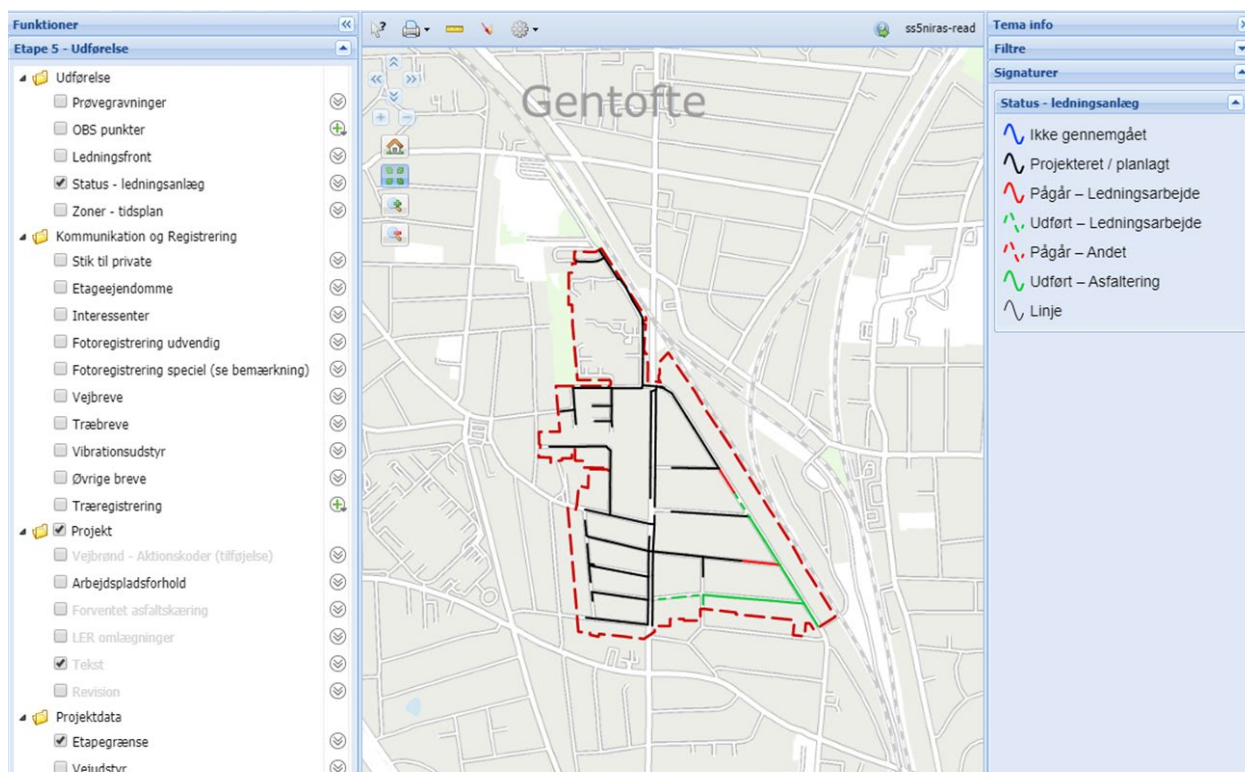
I et komplekst projekt med flere tilknyttede rådgivere, entreprenører og projektledere har WebGIS-plattformen vist sig som et stærkt værktøj, der på vores projekt har sikret en systematik på tværs af opdelt etaper og samtidig har skabt et godt overblik over fremdriften. Med mange tilknyttede ressourcer har det været en stor fordel, at al interessenthåndtering registreres på samme sted og på samme måde.

Desuden er platformen nem og intuitiv, og man fristes til at sige, at der er tale om 'et værktøj for alle' – dog kræver det lidt tilvænning for nogle traditionsbundne entreprenører at begynde at køre alt digitalt. Det er samtidig meget hensigtsmæssigt at nyeste data altid er tilgængeligt, så der er mindre risiko for situationer, hvor der arbejdes ud fra forkerte tegningsrevisioner.

Der har på vores projekt ikke været tvivl om, at den digitale platform i høj grad bidrager til en effektiv styring og håndtering af data og samler og håndterer informationer lidt smartere.

Figur 2

WebGIS-plattformen i et af projektområderne.



Motorvej for regnvand under byen



Af: William Rosengaard,
Teamleder Bro og Tunnel,
Sweco Danmark

I december 2019 nåede Strandboulevardprojektet en stor milepæl. Den første boremaskine, som skal bore både den nordlige og sydlige tunnel, ankom på byggepladsen. Den 40 tons tunge boremaskine, Helga, skal de næste par måneder tilbagelægge cirka 900 m i den københavnske undergrund. Artiklen beskriver, hvordan opgaven med skybrudssikring af Østerbro i København er grebet an.

Skybrudssikring på Østerbro

Efter de store oversvømmelser den 2. juli 2011 vedtog Københavns Kommune en skybrudsplan. På Østerbro i København udfører forsyningsselskabet HOFOR i samarbejde med bl.a. Sweco lige nu en stor "motorvej", der skal lede nedbørsmængderne væk, 8 m under gadeplan. Projektet udføres uden opgravning, så naboer og trafikanter generes mindst muligt i den 2,5 år lange udførelsesperiode. Sikkerhed og fremkommelighed har været i fokus i såvel designet som udførelsen.

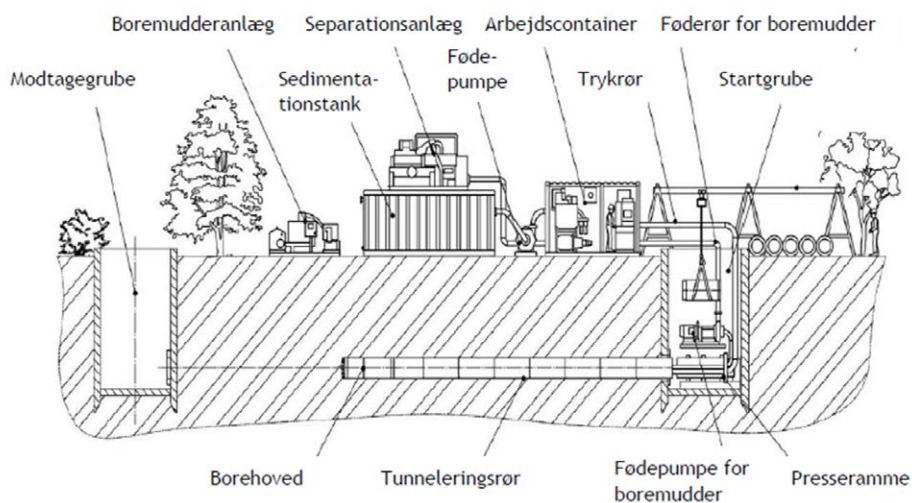
Københavns Kommunes skybrudsplan definerer rammerne for en række projekter, som skal sikre, at vandstanden på gadeplan ikke overstiger 10 cm ved en 100-års-hændelse. På baggrund af detaljerede hydrauliske beregninger er der defineret en række projekter, som sikrer byen mod oversvømmelse og sikrer, at vandet kan ledes ud i havnen. Det er forsyningsselskabet HOFOR, der skal gennemføre de projekter, der primært omfatter anlæg under gadeplan. På Østerbro er der blandt andet på grund af banedæmningen langs Kalkbrænderihavngade problemer med at aflede overfladevand fra gadeplan til havnen. Løsningen blev at udføre nogle store afløbsledninger langs de store veje og under banedæmningen, føre dem ud til havnen.

Strandboulevard projektet, som har til formål at fjerne overfladevandet fra Strandboulevarden og føre vandet ned langs Gammel Kalkbrænderi Vej til en eksisterende tunnel under banedæmningen og direkte ud i havnen.

DENNE ARTIKEL HAR TIDLIGERE
VÆRET UDGIVET I TRAFIK OG VEJE
I FEBRUAR 2020.



Figur 1
Oversvømmelse på
Strandboulevarden
efter 2. juli 2011.

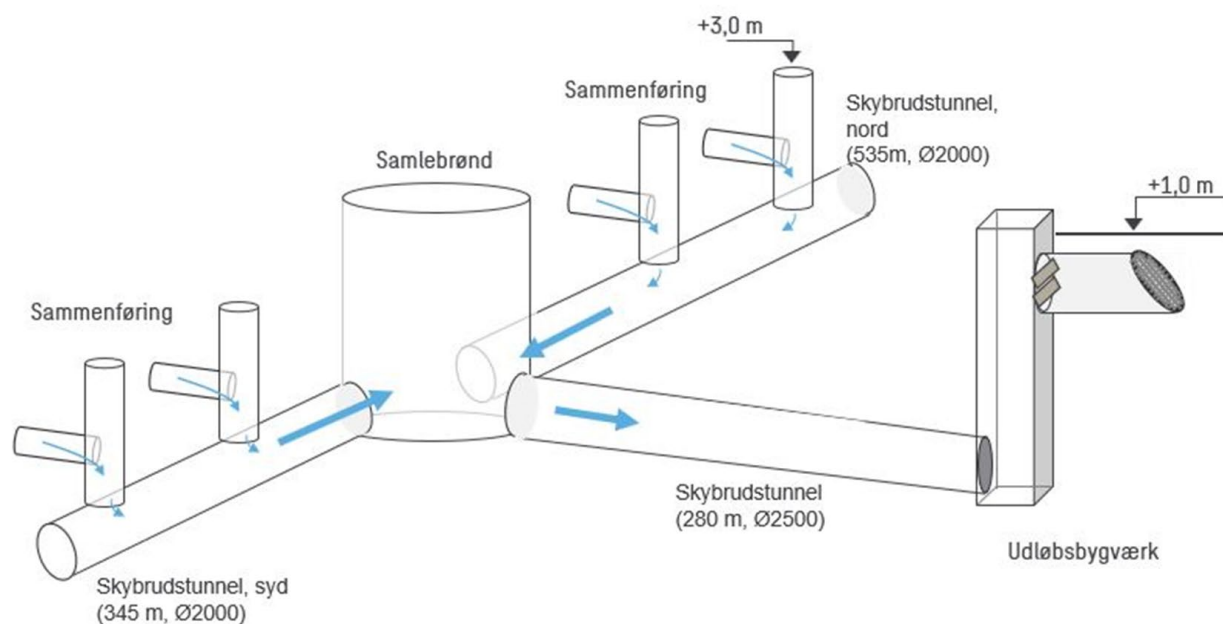


Figur 2
Princip for Pipe jacking
med slurymaskine
[Kontrolordning for styret
boring og gennempressning
– Byggervejledning-
inkl-bilag-januar-2012].

Anlægsmetode under hensyntagen til omgivelserne

Da projektet skal forbinde Strandboulevarden fra Løgstørgade til Næstvedgade og tilsluttes ved Gammel Kalkbrænderi Vej og Østbanegade, er det besluttet, at arbejdet skulle udføres til mindst mulig gene for trafik og borgere. Grundet det dybe ledningstrace blev det vurderet, at en traditionel udførelsesmetode med grundvndssænkning i afstivet ledningsgrav ville have store trafikale konsekvenser og medføre risiko for naboejendomme og de mange eksisterende ledninger.

Projektet bliver udarbejdet som et No-Dig-projekt. En anlægsmetode hvor man i stedet for at grave en rende fra terræn nøjes med at udgrave en byggegrube i hver ende af ledningen. Herefter kan ledningen bores fra start- til modtagegrube ved hjælp af en tunnelboremaskine (TBM). Projekter i denne ledningstørrelse udføres som regel ved hjælp af rørgennempressning (pipe jacking). Fremgangsmåden er, at man bag boremaskinen placerer et beton- eller glasfiberarmeret polyesterør (GAP) samt nogle store hydrauliske stempler. De hydrauliske stempler hjælper til at presse boremaskinen og rørstykket ind i jorden – helt indtil boremaskinen er fremme ved modtagegruben.



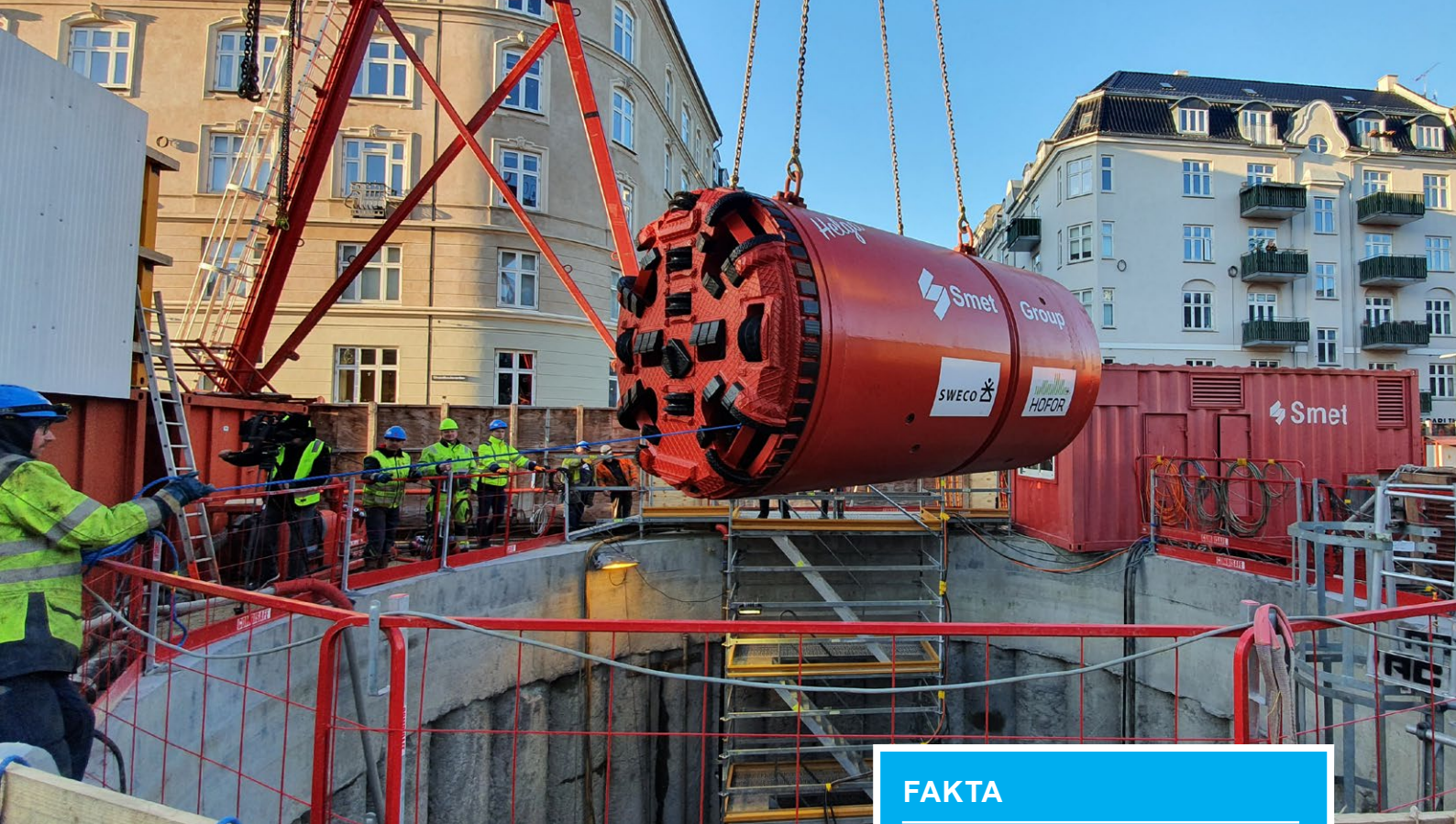
Figur 3
Principtegning over
Strandboulevardprojektet.

Teknikken bag skybrudstunnelen

En stor fælles startgrube er blevet anlagt midt i Strandboulevarden lige ud for Gammel Kalkbrænderi Vej. På den måde kan den samme startgrube benyttes til at bore både mod Næstvedgade i Syd og Løgstørgade i Nord. Endeligt kan gruben bruges til at bore mod øst under Gammel Kalkbrænderi Vej. På den måde er den primære byggeplads for projektet blevet centreret, og den trafikafvikling, som skal udføres i udførelsesperioden, kan fastholdes gennem hele anlægsperioden. Grubens placering blev besluttet dels for at sikre et godt trafikflow rundt om byggepladsen og dels for at flytte gruben så langt væk fra eksisterende bygninger som muligt. Dette minimerer både støj- og vibrationsgener under udførelsen. Den nord- og sydlige tunnel, som strækker sig cirka 900 m, udføres som en $\varnothing 2000$ betonledning. Den omtrent 195 m lange østlige ledning udføres som en $\varnothing 2500$ betonledning som den eksisterende omtrent 85 m lange ledning ud til havnen. Hvert tunnelrør udføres i en længde på 3,7 m og vejer hhv. 13 og 20 ton stykket.

Boremaskinen virker på den måde, at det materiale, som borehovedet løsner fra undergrunden, blandes op i en slurryvæske bestående af bentonit og vand. Denne borevæske pumpes kontinuerligt ud fra borekammeret, langs tunnelen, og op til et separationsanlæg ved startgruben. På jordoverfladen udskilles stenfragmenterne fra boremudderet via et separationsanlæg, hvorefter stenfragmenterne kan køres til deponering, og det oprensede boremudder kan recirkuleres til boremaskinen. Når boremudderet er blevet mættet med fine lerpartikler, bliver væsken udskiftet med ny bentonit og vand, hvorefter det brugte boremudder deponeres.

Når alle tre tunneler er boret fra den centrale grube, skal de permanente bygværker, som leder vandet fra overfladen ned til tunnellerne, udføres. Disse udføres i traditionel anlægsbeton og på en måde, så de opnår en levetid på mindst 100 år. Bygværkerne forberedes med skyllekammer, så det vil være muligt at rense skybrudsledningen ved hjælp af regnvandet.



Figur 4
Nedsænkning af boremaskinen Helga.

FAKTA

Kunde:	Hofor a/s
Rådgiver:	Sweco a/s
Entreprenør:	Smet Group og Holbøll a/s

Samlet tunnel længde:	1.075 m
Ledning diameter:	ø 2000 / ø 2500
Antal rør stykker:	ca. 290 stk.
Vægt af rør:	13/20 ton pr. stk.
Traceé dybde:	6,5 – 8,5 m
Boremetode:	Lukket-front (Hydro-sheild)

Anlægsperiode:	ca. 2,5 år
----------------	------------

Sikkerhed på projektet

Da sikkerheden under udførelsen naturligvis er i højsæde, er der kigget meget på, hvordan tunnelarbejdet kan udføres så skånsomt som muligt. Der er foretaget geotekniske borer langs tracéet for at informere entreprenøren bedst muligt om den undergrund, der skal bores i. Boremaskinen er valgt som en lukket frontmaskine, som virker ved at opbygge et boretryk foran maskinen, som til svarer det geostatiske jord- og vandtryk, som maskinen bliver påvirket af. Dette sikrer, at jorden holdes stabil, og minimerer risikoen for sætningsskader på belægning og ledninger. Denne type af boremaskiner styres fra gadeplan og reducerer derfor behovet for personer i selve tunnelen under udførelsen. Desuden udføres gruberne i sekantpæle, hvilket giver en god afstivning, samt minimerer vandindtrængning og dermed grundvandssænkning i området.

For at sikre at udførelsen og designet følges ad er der etableret monitoreringspunkter langs hele ledningstracéet, så eventuelle sætninger i vejbanen, vibrationer, grundvandsændringer og støj under udførelsen registreres nøje, og der kan sættes ind, hvis noget afviger fra det planlagte.

Innovation:

Arkil etablerer vandbrønde hurtigere og billigere med robotskåret flamingo støbeform



Af: Flemming Holm,
Projektleder,
Arkil A/S



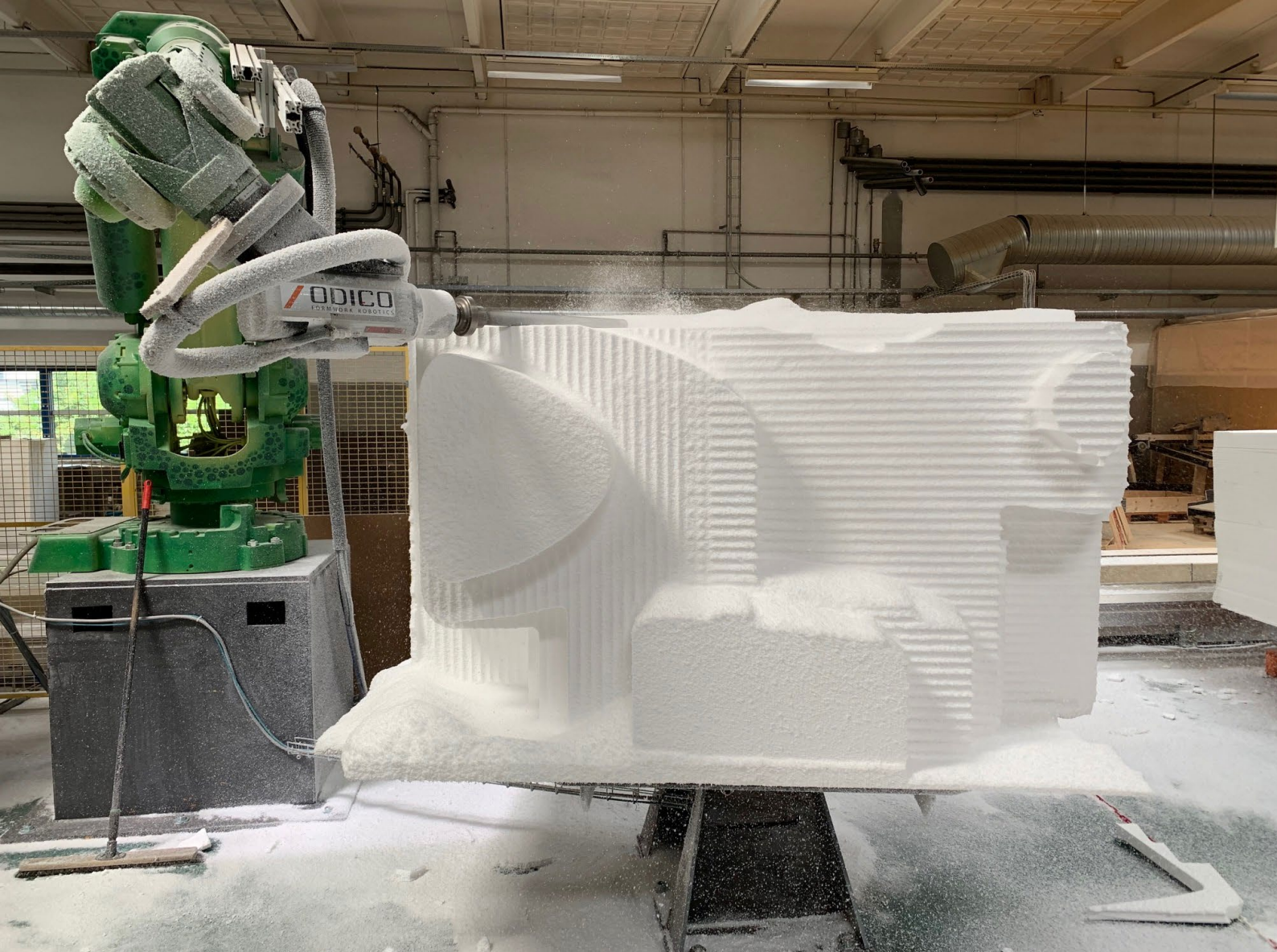
Af: Tue Avbæk Larsen,
Forretningsudviklingsansvarlig,
Arkil A/S

Ny robotskåren støbeform til renovering og etablering af kloak- og regnvandsledninger forkorter ikke blot produktionstiden væsentlig, men er også en langt billigere løsning, bedre for miljøet og arbejdsmiljøet samt med færre gener for borgerne og trafikanter.

En opfordring til bygge- og anlægsbranchen om mere nytænkning og risikovillighed til at inddrage nye teknologier fra Odicos adm. direktør Anders Bundsgaard på Dansk Industris DI Byg konference i april 2019, blev startskuddet til et nyt udviklende samarbejde mellem robotvirksomheden Odico og entreprenørvirksomheden Arkil.

"I Arkil er innovation og udvikling en del af vores DNA. Vi afsøger, tester og udvikler bæredygtige og innovative løsninger, som vi kan inkorporere i vores produkter og virksomhed, og derfor var det oplagt, om vi kunne inddrage robotteknologien til udvikling af nye brugbare og effektive løsninger," fortæller Tue Avbæk Larsen, forretningsudviklingsansvarlig i Arkil.

Robotskårene støbeforme til renovering og etablering af kloak- og regnvandsledninger blev første fælles projekt, som skulle testes i Arkils partnerskabsaftale i Vandpartner, som netop har fokus på innovation og bæredygtighed, og med gode muligheder for at tænke ud af boksen.



Online 3D brønd støbeform udvikles

Arkil og Odico samarbejder og udvikler i fællesskab "Well Mate", som gør det nemt at skræddersy støbeforme til brønde.

Projektet startede med, at en 3D scanner registrerede udgravningen og de eksisterende stik og ledninger. Denne data blev sendt videre til robotten som på ca. 10 minutter kunne skære forskallingen til, som er den indvendige del af brønden i EBS polyester (Flamingo). 3D scanneren er efterfølgende blevet sparet væk og vi kan nu indtaste støbeformens dimensioner direkte i Odicos webkonfigurator og trykke "bestil", hvorefter robotten går i gang med skærearbejdet. Polystyrenformen modtages og placeres i hullet, og der gøres klar til støbning ved hjælp af fastholdelse og ydre forskalling. Brønden kan herefter afforskalles, føres op og er herefter klar til drift.

Processen er i forhold til en traditionel in situ støbning blevet væsentlig afkortet. "Normalt står vi nede i et kloak hul i mere end en uge med de udfordringer, det nu giver for trafikken henover og vores egen arbejdsproces. Nu tager det 2-3 timer at montere støbeformen, så skal brønden afskalles dagen efter og flamingoen kan køres på genbrugsstationen," fortæller Flemming Holm, som er projektleder i Arkil, og fortsætter "Det er en stor procesforbedring og fordel, når man f.eks. skal lave en ny vandbrønd fem meter under et meget trafikeret kryds i Viby ved Aarhus mellem eksisterende ledninger, hvor en Ø800 skulle omlægges til en regnvandsledning."





Økonomiske, miljø og arbejdsmiljømæssige fordele

De mange fordele ved "Well Mate" støbeformen er også til at føle på. Robotløsningen er særdeles tidsbesparende og giver en hurtigere produktionstid, da arbejdet nu kan udføres på ca. 2-4 dage, hvor processen uden støbeformen tidligere var ca. 14 dage. Derudover er fordelene også færre arbejds gange og arbejdstimer.

Der er også miljø- og arbejdsmiljømæssige gevinster at hente. "Der skal bruges færre materialer og maskintimer, når kranen f.eks. ikke skal stå og brænde brændstof af. Og så er det også rigtig godt for vores medarbejdere, da der er færre tunge og skæve løft, fordi støbeformen kun vejer omkring 30 kilo. Endelig er der færre gener for borgerne, fordi vejen ovenover ikke skal spærres så længe," siger Tue Avbæk Larsen.

Arkil vurderer, at den samlede økonomiske besparelse er på ca. 30 procent og giver bedst udbytte, når der konstrueres i store dybder blandt mange ledninger og andre hindringer.

Teknologien finpudses løbende

Arkil har allerede skåret og støbt 4-5 brønde i Vandpartner-regi i Viby og teknologien bliver ligeledes brugt på en rammeaftale med Vejle Spildevand, hvor der er støbt endnu flere brønde med metoden.

"Vi bliver hele tiden klogere og bedre til at udnytte metoden og teknologien. F.eks. kom vi frem til, at det var for dyrt med 3D scanning. Så forsøgte vi at indsende en tegning af hullet til en ingeniør i Odico, og nu er vi landet der, hvor vi indtaster data ind i en webkonfigurator på Odicos hjemmeside, som robotten udskærer formen efter, afslutter Flemming Holm.



Bassin- dimensionering med regnrækker



Af: Dan Rosbjerg,
Institut for Vand og Miljøteknologi,
Danmarks Tekniske Universitet

Beregning af det nødvendige bassinvolumen svarende til regn af en given varighed er vist for både den tidligere anvendte to-parameter regnrække-formel og den nu fremherskende tre-parameter formel, hvor en analytisk løsning er bestemt. Bassintømningstider er endvidere beregnet. Afslutningsvis er der foretaget en sammenligning mellem den sædvanlige praksis med fast afløbstal og bassinafløb svarende til et lineært reservoir.

Indledning

Regnrækker blev i Danmark først opstillet for sommernedbør af P. H. Eriksen og Ejner Larsen i Spildevandskomiteens Skrift nr. 2 fra 1950 (SVK, 1950). I Skrift nr. 6 fra 1953 blev nedbør fra hele året inkluderet, idet også diagrammer til dimensionering af regnvandsbassiner blev medtaget (SVK, 1953). For et givet fast afløb fra bassinet (afløbstallet) blev bassindimensionen fastlagt som den maksimale for alle mulige kombinationer af regnintensitet og regnvarighed af en given hyppighed.

Dette princip har været fremherskende lige siden, idet dog formelarbejde og diagrammer i de senere år har været afløst af Spildevandskomiteens regneark til bestemmelse af regnkurve, CDS-regn og bassinstørrelse (SVK, 2014). Ved introduktionen af dette regneark blev den hidtil anvendte to-parameter potensfunktion for regnkurven afløst af det af Keifer & Chu (1957) anvendte tre-parameter algebraiske udtryk.

Bassinberegning med to-parameter regnrække

Den gamle regnkurve (intensitets-varigheds-diagram for en given gentagelsesperiode) er givet ved potensformlen

$$i = c t_r^{-\alpha} \quad (1)$$

hvor i er regnintensiteten, t_r er regnvarigheden og α og c er tabellagte konstanter afhængige af den valgte gentagelsesperiode og enhederne for i og t_r . Det nødvendige volumen af bassinet er givet ved

$$V = (F c t_r^{-\alpha} - q) \tau_r \quad (2)$$

hvor V er bassinvolumenet, $F = \varphi A$ er det reducerede areal (A er oplandsarealet og φ er afløbskoefficienten) og q er det konstante afløb. V afhænger af t_r , hvorfor det dimensionsgivende volumen bestemmes ved at maksimere eq. (2) med hensyn til t_r . Differentieres med hensyn til t_r og sættes differentialkoefficienten lig med 0 fås

$$t_r = \left(\frac{F c (1-\alpha)}{q} \right)^{1/\alpha} \quad (3)$$

hvorefter bassinvolumenet kan udtrykkes

$$V = \frac{q \alpha}{1-\alpha} \left(\frac{F c (1-\alpha)}{q} \right)^{1/\alpha} \quad (4)$$

En detaljeret bassinberegning kan findes i Bahl Andersen et al. (1976).

Bassinberegning med tre-parameter regnrække

I Keifer & Chu (1957) er regnkurven parameteriseret

$$i = \frac{a}{t_r^b + c} \quad (5)$$

hvor i er T -års regnintensiteten, t_r er regnvarigheden og a , b og c er konstanter, som afhænger af gentagelsesperioden og de valgte enheder. I Spildevandskomiteens regneark (SVK, 2014) er konstanterne $alfa$ ($= a$), nu ($= b$) og $theta$ ($= c$) bestemt ud fra den regionale regnmodel. Med disse parametre findes intensiteten i $\mu\text{m/s}$ ($1 \mu\text{m/s} = 10 \text{ l/s/ha}$), når regnvarigheden t_r indsættes i min.

Den til ligning (2) svarede formel bliver i SI enheder, dvs. med t_r i s

$$V = \left(F \frac{a'}{\left(\frac{t_r}{60}\right)^b + c} - q \right) t_r \quad (6)$$

hvor $a' = 10^{-6} a$. Differentieres med hensyn til t_r og sættes differentialkoefficienten lig med 0 fås ligningen

$$\delta \tau_r^{2b} + \beta \tau_r^b + \gamma = 0 \quad (7)$$

hvor $\tau_r = t_r/60$ og

$$\delta = \frac{q}{a' F}; \quad \beta = \frac{2 c q}{a' F} + b - 1; \quad \gamma = \frac{c^2 q}{a' F} - c \quad (8)$$

Andengradsligningen eq. (7) har løsningen

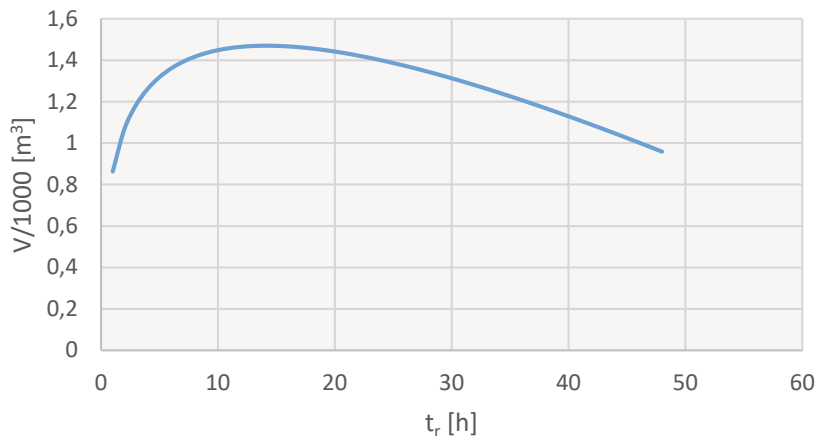
$$\tau_r^b = \frac{-\beta + \sqrt{\beta^2 - 4\delta\gamma}}{2\delta} \quad (9)$$

hvorefter t_r kan findes ved rodudtagning og V bestemmes af eq. (6).

Effekten af maksimeringen kan ses af figur 1, på næste side.

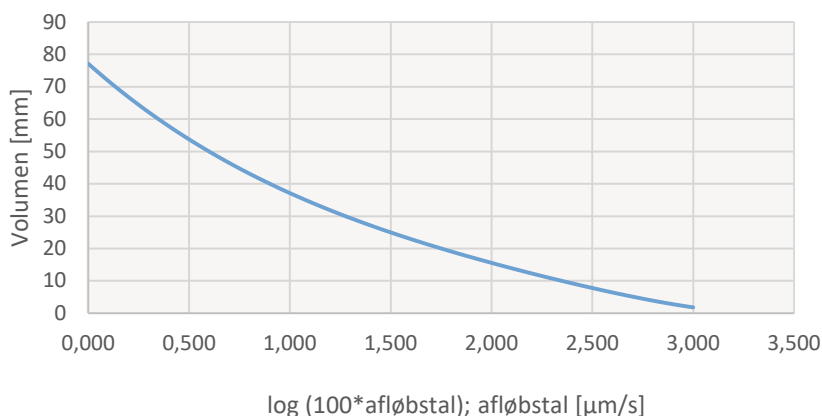
Odense; $T = 5$; $q = 10$ l/s; $F = 5$ ha; $\varphi = 1$;
volumen som funktion af regnvarighed

Figur 1
Volumen som funktion af regnvarighed.



Volumenkurve; Odense; $T=5$ år

Figur 2
Volumenkurve for Odense; $T = 5$ år bestemt ved eq. (6)-(9).

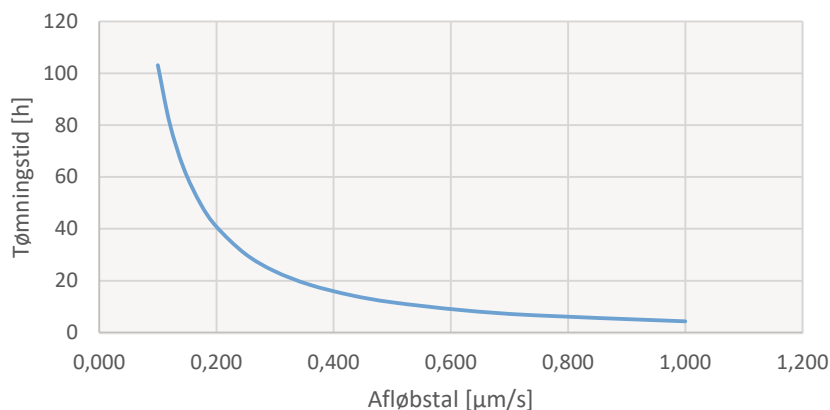


En volumenkurve for det specifikke volumen $V^* = V/F$ som funktion af afløbstal mellem $0.01 \mu\text{m/s}$ ($= 0.1$ l/s/ha) og $10 \mu\text{m/s}$ ($= 100$ l/s/ha) er vist i figur 2. For en given abskisseværdi x i figuren er det tilsvarende afløbstal $10^x/100 \mu\text{m/s}$. Eksempelvis svarer abskisseværdien 1.0 til afløbstallet $10^1/100 = 0.1 \mu\text{m/s}$ ($= 1$ l/s/ha).

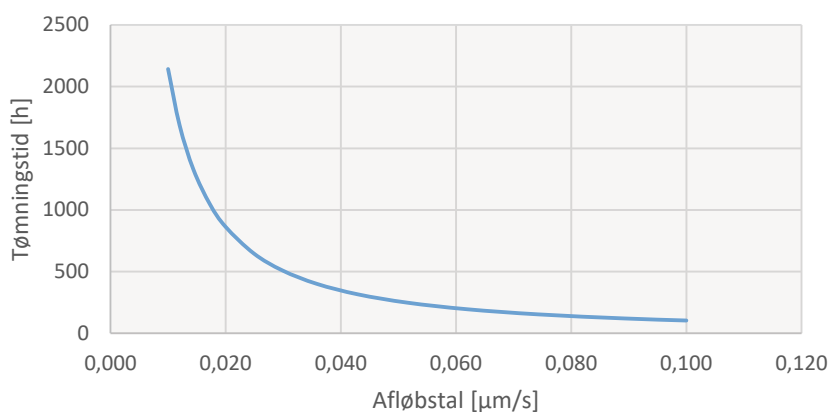
Små afløbstal

For små afløbstal, især for afløbstal mindre end $0.1 \mu\text{m/s}$ ($= 1$ l/s/ha), kan bassindimensioneringen resultere i for små bassiner. Ved lange tømningstider af bassinet må der tages hensyn til en sandsynlighed for, at bassinet ikke er tomt ved regnens start, hvilket er udgangspunktet ved den standardmæssige dimensionering. Dette fænomen, som har været benævnt "koblede regn", nødvendiggør en korrektionsfaktor, der tager højde for en forventet fyldningsgrad i den dimensionsgivende situation.

Problemet kan illustreres med tømningstiden for bassinet, der er stærkt stigende for afløbstal faldende fra $1 \mu\text{m/s}$ ($= 10$ l/s/ha) til $0.1 \mu\text{m/s}$ ($= 1$ l/s/ha), se figur 3, og endnu stærkere for afløbstal faldende fra $0.1 \mu\text{m/s}$ ($= 1$ l/s/ha) til $0.01 \mu\text{m/s}$ ($= 0.1$ l/s/ha), se figur 4.

Odense $T = 5$ år; Tømmningstid som funktion af afløbstal**Figur 3**

Tømmningstid som funktion af afløbstal mellem $0,1 \mu\text{m/s}$ ($= 1 \text{ l/s/ha}$) og $1,0 \mu\text{m/s}$ ($= 10 \text{ l/s/ha}$).

Odense, $T = 5$ år; Tømmningstid som funktion af afløbstal**Figur 4**

Tømmningstid som funktion af afløbstal mellem $0,01 \mu\text{m/s}$ ($= 0,1 \text{ l/s/ha}$) og $0,1 \mu\text{m/s}$ ($= 1 \text{ l/s/ha}$). Det er tvivlsomt, om kurven kan benyttes under $0,02 \mu\text{m/s}$ ($= 0,2 \text{ l/s/ha}$).

Som det kan ses, er det især ved afløbstal under $0,1 \mu\text{m/s}$ ($= 1 \text{ l/s/ha}$), at tømnings-tiden bliver kritisk. Ved sammenligning af resultater med henholdsvis CDS-regn og virkelige regnserier har Christensen et al. (2018) analyseret dette nærmere og foreslå-et gradvist stigende korrektionsfaktorer fra 1,2 op til ca. 2,5 ved afløbstal aftagende fra $0,2 \mu\text{m/s}$ ($= 2 \text{ l/s/ha}$) til $0,03 \mu\text{m/s}$ ($= 0,3 \text{ l/s/ha}$). De har også vist, at korrektions-faktorerne kan reduceres til mellem 1,1 og 2 for gradvist faldende afløbstal i samme interval, hvis der anvendes en hændelsesafstand ved generering af kasseregn på 24 h i stedet for 1 h. For indflydelsen af gentagelsesperiode fandt de, at bassinstørrelsen kan reduceres med henholdsvis 29%, 45% og 55% ved at gå fra en gentagelsesperiode på $T = 5$ år til henholdsvis $T = 2$ år, $T = 1$ år og $T = 0,5$ år.

Bassinudløb fra lineært reservoir

Et alternativ til konstant udløbning fra bassinet kunne være at betragte bassinet som et lineært reservoir, hvor afløbet er ligefrem proportionalt med bassinindholdet.

Betegnes det variable bassinindhold v og reservoirkonstanten K , bliver kontinuitetsligningen (reservoirændring plus udløb lig med indløb)

$$\frac{dv}{dt} + \frac{1}{K} v = F i(t_r) \quad (10)$$

Differentialligningen har med randbetingelsen $v = 0$ for $t = 0$ løsningen

$$v = i(t_r) F K (1 - e^{-\frac{t}{K}}) \quad (11)$$

Maksimalindholdet i bassinet V opnås for $t = t_r$, hvorfor

$$V = i(t_r) F K (1 - e^{-\frac{t_r}{K}}) \quad (12)$$

Betegnes det maksimale afløbstal med q , og da afløbet er proportionalt med volumenindholdet, må der gælde

$$V = K q \quad (13)$$

der ved indsættelse i (13) fører til

$$K = -\frac{t_r}{\ln(1 - \frac{q}{i(t_r) F})} \quad (14)$$

hvorefter

$$V = -q \frac{t_r}{\ln(1 - \frac{q}{i(t_r) F})} \quad (15)$$

Ved division med F og ved indsættelse af $i(t_r)$ fås det specifikke maksimale volumen $V^* = V/F$ til

$$V^* = -q^* \frac{t_r}{\ln\left\{1 - \frac{q^*}{a'} \left[\left(\frac{t_r}{60}\right)^b + c\right]\right\}} \quad (16)$$

hvor $q^* = q/F$.

Differentieres med hensyn til t_r og sættes differentialkoefficienten lig med 0 fås

$$\xi(t_r) \ln[\xi(t_r)] + \eta(t_r) = 0 \quad (17)$$

hvor

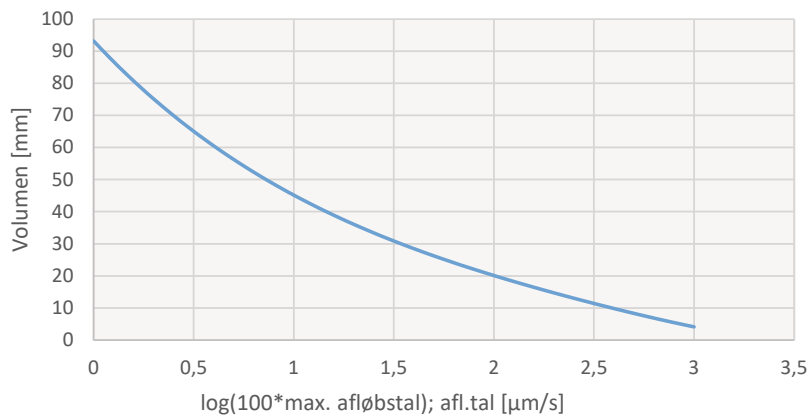
$$\xi(t_r) = 1 - \frac{q^*}{a'} \left[\left(\frac{t_r}{60}\right)^b + c \right] \quad (18)$$

og

$$\eta(t_r) = b \frac{q^*}{a'} \left(\frac{t_r}{60}\right)^b \quad (19)$$

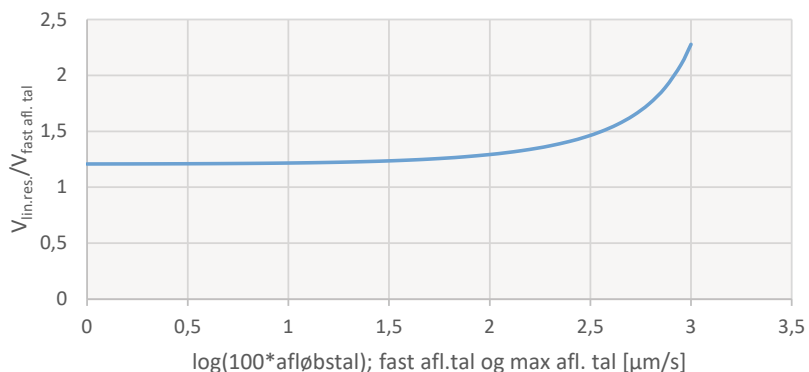
En volumenkurve er vist i figur 5 baseret på en iterativ løsning af eq. (17) – (19), der ikke kan løses eksplicit.

Volumenkurve; Odense; $T = 5$ år; lin. res.



Figur 5
Volumenkurve for lineært reservoir.

Volumenforhold af bassiner, Odense, $T = 5$ år
linært reservoir vs. fast afløbstal



Figur 6
Volumenforhold for bassinstørrelser ved lineært reservoir vs. fast afløbstal.

En tilnærmelse løsning til eq. (16) kan findes ved lineariseringen

$$\ln(1 - x) \cong -x \tag{20}$$

der resulterer i en eksplicit løsning identisk med eq. (6) – (9). For store værdier af det maximale afløbstal bliver den lineariserede løsning meget misvisende.

Det fremgår af figur 6, at for voksende værdier af det faste, subsidiært det maksimalt afløbstal er bassinstørrelsen 20% større for det lineære reservoir indtil et afløbstal på ca. $10^{1.5}/100 \approx 0.3 \mu\text{m/s}$ ($= 3 \text{ l/s/ha}$), og derefter stigende op til 240 % for afløbstallet $10^3/100 = 10 \mu\text{m/s}$ ($= 100 \text{ l/s/ha}$).

Også den dimensionsgivende regnvarighed er længere ved et lineært reservoir. Eksempelvis fås for et fast afløbstal, subsidiært et maksimalt afløbstal på $1 \mu\text{m/s}$ ($= 10 \text{ l/s/ha}$) et bassinvolumen og en regnvarighed på $V^* = 15.6 \text{ mm}$ og $t_r = 2,27 \text{ h}$ med det faste afløbstal og $V^* = 20.1 \text{ mm}$ og $t_r = 3.65 \text{ h}$ for det lineære reservoir.

Konklusion

Med anvendelse af tre-parameter parameteriseringen af regnrækken, som er benyttet i Spildevandskomiteens regneark, er der angivet en eksplicit løsning for det nødvendige bassinvolumen. Desuden er behovet for inddragelse af tømningstider påpeget. Endelig er det fundet, at bassinberegning med et lineært reservoir leder til væsentligt større bassiner, især for afløbstal større end $1.5 \mu\text{m/s}$ ($= 15 \text{ l/s/ha}$).

Referencer

Bahl Andersen, E., Linde-Jensen, J. J., Thorkild Jensen, H., Winther, L. & Mikkelsen, I. (1976), Teknisk Hygiejne, Afløbsteknik, 2. rev. udg., Polyteknisk Forlag.

Christensen, S. S., Jensen, J. S. & Rahbek, S. R. (2018) Dimensionering af regnvandsbassiner – forslag til forbedring af nuværende dimensioneringspraksis, Kandidatspeciale, Department of Civil Engineering, Aalborg Universitet.
https://projekter.aau.dk/projekter/files/281252130/Kandidatprojekt_Simon_Christensen__Jonas_Jensen__Simon_Rahbek.pdf

Keifer, C. J. & Chu, H. H. (1957) Synthetic storm pattern for drainage design. Proceedings ASCE, Journal of the Hydraulics Division, 83 (4), 1-25.

SVK (1950) Skrift nr. 2, Bearbejdelse af diagrammer fra de af Stads- og Havneingeniørforeningen opstillede selvregistrerende regnmålere for årene 1933-1947, Dansk Ingeniørforening, Spildevandskomiteen.

SVK (1953) Skrift nr. 6, Bestemmelse af regnrækker for regn af større hyppighed end fem gange årlig samt angivelse af formler og diagrammer til dimensionering af regnvandsbassiner, Dansk Ingeniørforening, Spildevandskomiteen.

SVK (2014) https://ida.dk/media/3007/regionalregnrække_ver_4_1.xls

Tak

Forfatteren takker Jens Jørgen Linde for kritisk gennemlæsning og mange værdifulde kommentarer til manuskriptet.



3D projektering af kompliceret ledningsnet under Sundkrogsgade i Nordhavn



Af: Jonas Jensen
Projektingeniør,
Sweco A/S



Af: Kristoffer Stenkær
Fagspecialist,
Sweco A/S



Af: Morten Laasholdt,
Presseansvarlig,
Sweco A/S

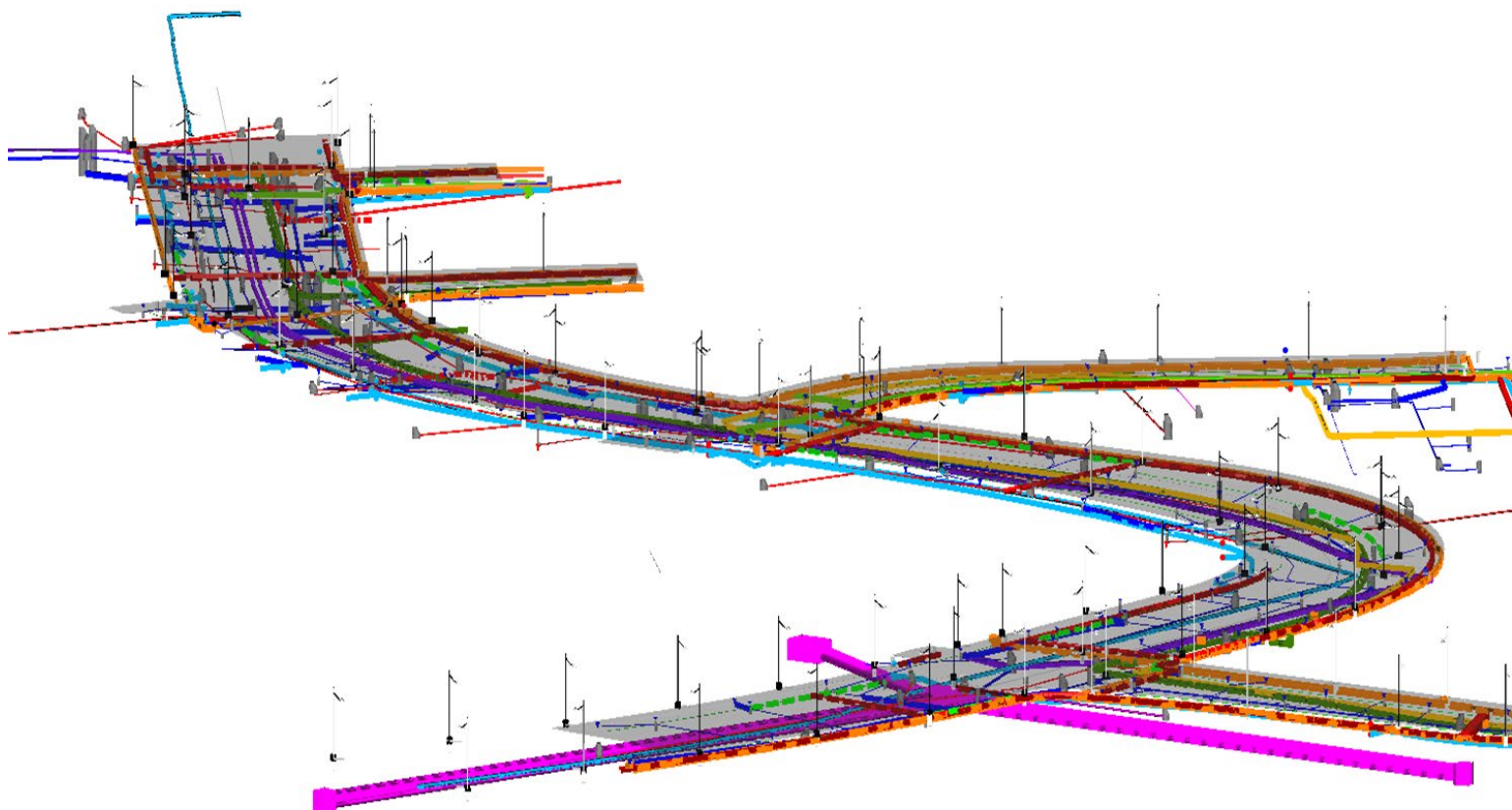
I begyndelsen af 2019 fik det rådgivende arkitekt- og ingeniørvirksomhed Sweco til opgave at udføre projektering af ledningsomlægninger under Sundkrogsgade i Københavns Nordhavn for MJ Eriksson med By & Havn og HOFOR som bygherrer og Niras som bygherrerådgiver. Swecos rådgivere valgte at detailprojektere hovedprojektet ved hjælp af 3D. Arbejdet reducerede markant antallet af fejl.

Der er hektisk byggeaktivitet i Nordhavn, hvor Sundkrogsgade løber som en hovedfærdselsåre og forbinder bydelen og dens moler med erhverv og boliger. På en 700 meter lang strækning af vejen og med fem sidegade fik Sweco til opgave at lave detailprojekt ud fra hovedprojektet. Hovedprojektet var lavet i 2D, og Swecos rådgivere valgte at konvertere det til 3D for at få et bedre overblik over de i alt 13 faggrene, der løber under vejen.

– Antallet af faggrene gjorde det særligt kompliceret. Vi havde mange ledninger, der lå meget tæt. Med 3D værktøjet kunne vi skabe et ekstremt højt detaljeringsniveau, som meget tydeligt viste os og entreprenøren, hvad vi burde gøre, forklarer Jonas Jensen, projektingeniør hos Sweco.

Endnu er 3D projektering en forholdsvis ny arbejdsform, som langt fra alle i byggeriet har erfaring med.

– Nogle er måske tilbageholdende med at tage værktøjet i brug, fordi de frygter, at det vil tage ekstra tid. Det gik forholdsvis nemt med at formatere oplysninger til 3D når tracéet, koordinater eller koter er kendt. På den konkrete opgave tog det også lidt ekstra tid, men til gengæld har entreprenøren sparet meget tid i udførelsen, simpelthen fordi vi minimerede fejlene så meget.



Fagspecialist og kollega til Jonas, Kristoffer Stenkær Schneidelbach, stemmer i:

– Vi fik et hovedprojekt, som vi gjorde bygbart og endda rigtig godt bygbart, fordi vi minimerede fejlene. Det gjorde hele udførelsen mere gnidningsfri. Vi havde ikke fundet det samme antal problemstillinger eller konflikter, hvis vi havde tilgået opgaven på normal vis, mener Kristoffer, der også fremhæver 3D projektering i forhold til kvalitetskontrol, realistiske længde- og tværprofiler og en meget værdifuld visualisering af mulige problemstillinger. Det er hurtigt og tydeligt at se ændringer og påvirkning på projektet, da man nemt kan rotere i modellen og lave længdeprofiler.

3D projektering bliver standard

Jonas og Kristoffer er ikke et sekund i tvivl om, at 3D projektering er fremtiden, og når LER 2.0 lanceres, bliver al eksisterende data oplyst som 3D. Det betyder, at man hurtigt har et grundlag, man kan arbejde ud fra.

– I takt med, at vi får mere data i 3D og flere lærer at bruge det, styrker vi samarbejdet mellem de forskellige arbejdsgrupper, og det betyder, at vi hurtigere kan implementere projektet. 3D bliver standard i fremtiden, og når computerkraften også følger med, ja så bliver det ikke så tungt at arbejde med, og vi kommer til at spare en masse tid og skaber gode og bygbare projekter, slutter Jonas Jensen.

Faggrene i Sundkrogsgade:

- Arkitektur
- Brugsvand
- El
- Tele
- Fjernkøling
- Fjernvarme
- Gas
- Regnvand
- Spildevand
- Vej
- Signal
- Belysning

Renseanlæg

– Udbygningsplanlægning 2045

Artikel 1:

Kend dit spildevand CQ-funktioner og kildeopsplitning



Af: Barbara Greenhill,
BIOFOS A/S



Af: Kim Rindel,
BIOFOS A/S



Af: Carsten Thirsing,
BIOFOS A/S



Af: John Andersen, tidl.
BIOFOS A/S (EnviDan)



Af: Jan Høybye,
Just Business

Målinger af vandføring og stofkoncentrationer i tilløbene til renselanlæg repræsenterer vigtig viden om, hvordan mængder og sammensætning af spildevandet ændrer sig fra år til år – og ikke mindst hvorfor.

Sammenfatning

Denne artikel præsenterer anvendelsen af en simpel vand- og stofbalancemodel (CQ-model/funktioner) til at foretage en første kildeopsplitning af spildevandsbelastningen i en basiskomponent og en regnbetinget komponent. Denne stofbalancemodel danner grundlaget for de udbygningsplaner BIOFOS netop har udarbejdet for de tre store renselanlæg: Damhusåen (RD), Lynetten (RL) samt Avedøre (RA).

En CQ-funktion er som udgangspunkt en statistisk sammenhæng (regression) mellem tilstrømning og stofkoncentration (fx TN og COD) på de dage, hvor der er målt. Imidlertid er det muligt at koble regressionsparametre til fysiske forhold i oplandet til et renselanlæg, såsom nedbør, befolkningsantal (antal PE), vandforbrug, specifikke stofbelastninger og stofkoncentrationer i regnbetinget tilstrømning.

Artiklen viser hvordan denne kildeopsplitning er gennemført for TN og COD (RD og RL) for årene 2010-2016 som efterfølgende kan danne grundlag for beregning af forventede fremtidige koncentrationsniveauer som funktion af udvikling i fx. befolkningsantal, nedbørsmængder og vandforbrug. En samlet prognosemodel for tilstrømning og stofbelastning vil blive præsenteret i en efterfølgende artikel.

Introduktion

Baggrund

BIOFOS har igennem en årrække målt stofkoncentrationer i bl.a. tilløb, afløb og bypass-flow for en række stoffer, der har betydning for driften af de tre renselanlæg i København: Damhusåen, Lynetten og Avedøre. Der er i perioden 2010-2016 foretaget mellem ca. 70 og 100 prøver/år og der er benyttet flow-proportional prøvetagning. Der foreligger således et stort datamateriale med sammenhørende målinger af flow og stofkoncentrationer i gennemsnit hver 4-5 dag.

Dette betydelige og unikke datamateriale giver mulighed for at opstille sammenhænge mellem tilstrømning og koncentrationer (COD, BOD, TN, TP og SS), der igen bidrager med vigtig information om hvor stof kommer fra – og hvor meget. Dermed får man et overblik over de specifikke belastningsforhold og deres variation over en årrække. Desuden kan man estimere antal PE, der er en nøgleparameter i planlægning og dimensionering, ved at sammenholde CQ-kurverne med standard PE-specifikke stofbelastninger. De befolkningstal man får fra de målte data stemmer overens med de tal man får fra optællinger og forbrugsoplysninger, hvilket bekræfter det solide beslutningsgrundlag.

Formål

Formålet med denne artikel er at illustrere, hvordan målinger fra både drifts- og myndighedsprogram kan anvendes til ikke bare at kende spildevandets sammensætning og kilder, men også til at estimere den fremtidige belastning under ændrede meteorologiske forhold og demografisk udvikling.

Data og metode

Data

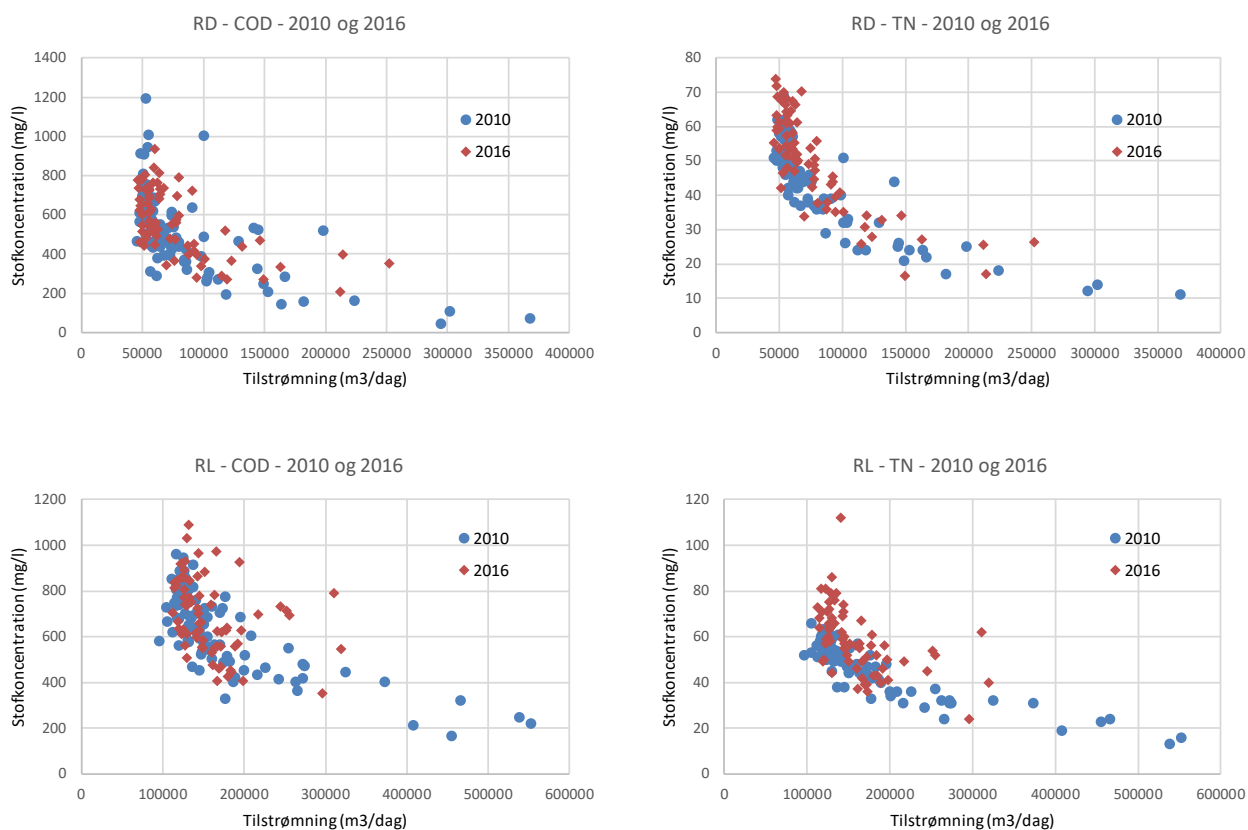
Datagrundlaget for de eksempler, der er præsenteret i denne artikel består af sammenhængende målinger af tilstrømning og stofkoncentrationer (COD og TN) fra BIOFOS' driftsprogram. Datamaterialet er sammenfattet i den følgende tabel:

	RD				RL			
		Årsgennemsnit			Årsgennemsnit			
		m3/dag	mg/l	mg/l		m3/dag	mg/l	mg/l
År	Nobs	Qtil	COD	TN	Nobs	Qtil	COD	TN
2010	90	86,786	514	43	93	175,542	622	47
2011	101	89,555	445	42	99	186,614	527	44
2012	92	74,729	512	48	102	167,115	641	51
2013	73	69,238	617	51	74	160,261	702	55
2014	74	81,789	536	44	78	171,007	605	51
2015	74	92,098	521	47	73	178,769	622	53
2016	71	79,327	560	50	72	159,244	689	59

Tabel 1

Årsgennemsnit for tilstrømning samt COD- og TN-koncentrationer 2010-2016.

I perioden 2010 til 2016 er der foretaget mellem 71 og 102 målerunder på de to renselanlæg. De højeste koncentrationer blev målt i 2013, hvor der samtidig var den laveste tilstrømning. I de to vådeste år, 2011 og 2015, var koncentrationerne i den lave ende, hvilket illustrerer fortyndingseffekten i fælleskloakerede systemer. Tilstrømningen til RL er ca. dobbelt så stor som til RD og koncentrationsniveauerne er også højere, især for COD, hvor gennemsnitskoncentrationen på RL er ca. 100 mg/l højere end på RD. Eksempler på de målte CQ-funktioner er vist i Figur 1 på næste side.



Figur 1

Eksempler på målte CQ-funktioner for COD og TN for 2010 og 2016.

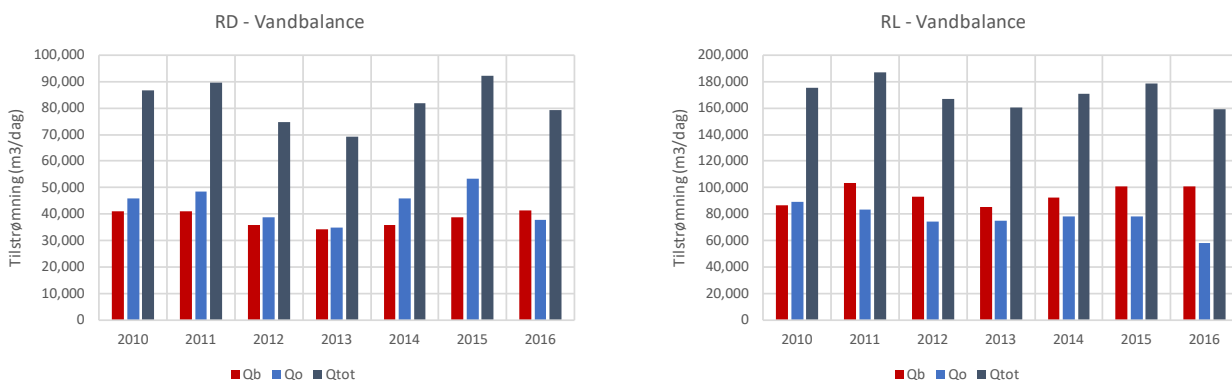
Som man kan se af figurerne, er der forskel på CQ-funktionerne fra år til p.g.a. variationer i f.eks. nedbør og udledninger fra husholdninger og industri – men også, fordi der er en ikke ubetydelig usikkerhed på analyser af vandkvalitetsparametre. Det gælder for alle vandkvalitetsparametre, at der er en betydelig fortyndingseffekt i spildevandssystemet, hvor stofkoncentrationer i regnbetinget tilstrømning er lavere end for det udledte spildevand.

Ud fra målingerne af tilstrømningen kan man desuden foretage en simpel opsplitning af den samlede tilstrømning (Q_{tot}) i et basisbidrag (Q_b) og et overfladisk regnbetinget bidrag (Q_o), se Figur 2.

På RD er den regnbetingede tilstrømning typisk større end basisbelastningen, mens det er omvendt på RL. Med udgangspunkt i de målte CQ-funktioner, er der opstillet en simpel vand- og stofbalancemodel til analyse – og senere fremskrivning – af tilstrømningen fra henholdsvis spildevand og nedbør.

Figur 2

Vandbalanceestimerer baseret på CQ-funktionerne.



Metode

Hvis man antager, at den målte belastning til et renselanlæg stammer fra to primære bidrag i oplandet/afløbssystemet – basistilstrømning/spildevand og regnbetinget tilstrømning – så kan man opstille følgende simple stof- og vandbalance:

$$(1) \quad T = T_b + T_o \quad \text{og} \quad Q = Q_b + Q_o$$

hvor T_b er stoftransporten i basistilstrømningen, T_o er den regnbetingede (overflade) stoftransport og T er den samlede stoftransport i tilløbet til renselanlægget. Det samme gælder for tilstrømningen, Q .

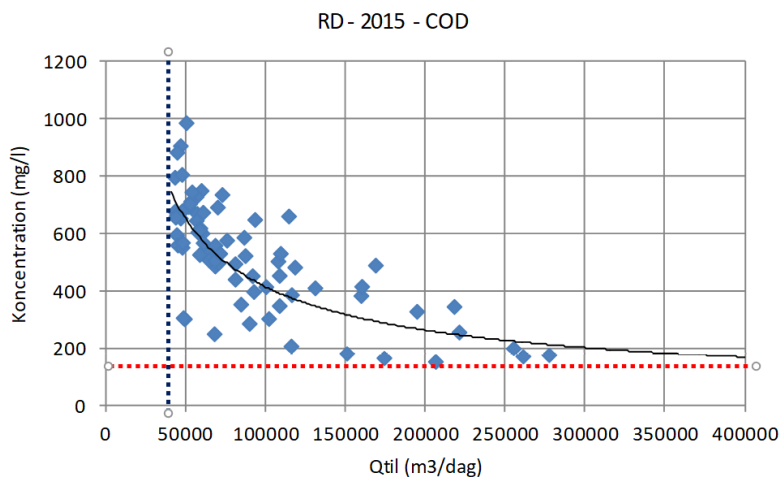
Da stoftransporten efter opblandingen er lig med vandføring gange med stofkoncentration kan man udlede følgende sammenhæng mellem stofkoncentration og tilstrømning:

$$(2) \quad T = CQ = C_b Q_b + C_o Q_o \quad \Rightarrow \quad C(Q) = C_o + \frac{Q_b(C_b - C_o)}{Q}$$

Dette funktionsudtryk er i overensstemmelse med de CQ-funktioner man typisk observerer i tilløbene, og som har følgende form:

$$(3) \quad C(Q) = a_0 + a_1 \frac{1}{Q}$$

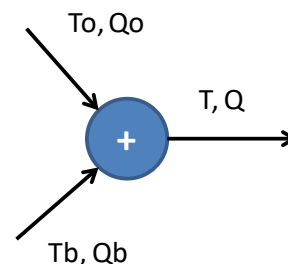
Et eksempel på en målt CQ-funktion (COD) fra RD i 2015 er vist i Figur 4.



Figur 4
Sammenhæng mellem samlet tilstrømning og COD-koncentration for RD i 2015.

To ting kan umiddelbart læses ud af figuren: (1) den laveste daglige tilstrømning (basistilstrømning) er ca. 40,000 m³/dag (lodret blå stiplede linje), og (2) at der er tale om en fortyndingseffekt, hvor koncentrationen aftager med stigende flow og går mod en vandret asymptote, som er koncentrationen i overfladisk/regnbetinget tilstrømning (vandret rød stiplede linje).

Det betyder, at man, via den teoretiske model i ligning 2, kan anvende CQ-kurverne til at opsplitte belastningen til renselanlægget i to delbidrag. Som nævnt kan man direkte aflæse basisflow (Q_b) og koncentration i det regnbetingede bidrag (C_o = konstanten, a_0 , i regressionsligningen).



Figur 3
En simpel blandingsmodel med to bidrag.

Når man kender den samlede tilstrømning, Q , og basisflow, Q_b , kan man umiddelbart beregne størrelsen af det overfladiske bidrag som $Q_o = Q - Q_b$. Endelig kan man beregne middelværdien for koncentrationen i basisflow, C_b , ved at sætte tælleren i ligning 2 lig med faktoren, a_1 , i regressionsligningen:

$$(4) \quad a_1 = Q_b(C_b - C_o) \Rightarrow C_b = C_o + \frac{a_1}{Q_b}$$

Man kan derfor opfatte CQ-funktioner som typekurver for belastninger til renselanlæg, typekurver, der er koblet til spildevandsbelastningen på den ene side og regnvandsbelastningen på den anden. Da CQ-funktioner er regressionsligninger får man også et mål for usikkerhederne på simulerede stofkoncentrationer.

De efterfølgende afsnit indeholder en præsentation af de resultater man får, når man anvender de årlige CQ-funktioner til at estimere koncentrationer i regnbetinget tilstrømning og basisflow.

Resultater – et eksempel (RD og RL, COD og TN)

I forbindelse med udbygningsplanlægningen blev dataanalyser, modelopstilling og fremskrivninger til 2025 og 2045 foretaget for de tre renselanlæg og de fem primære stofbelastninger (COD, BOD, TN, TP og SS), der er basis for dimensioneringen af udbygningstiltag. I denne artikel præsenteres data fra RD og RL og for COD og TN for at illustrere forskellen mellem renselanlæg og stofbelastninger.

Målte CQ-funktioner og tidlig udvikling i stofkoncentrationer og -belastninger

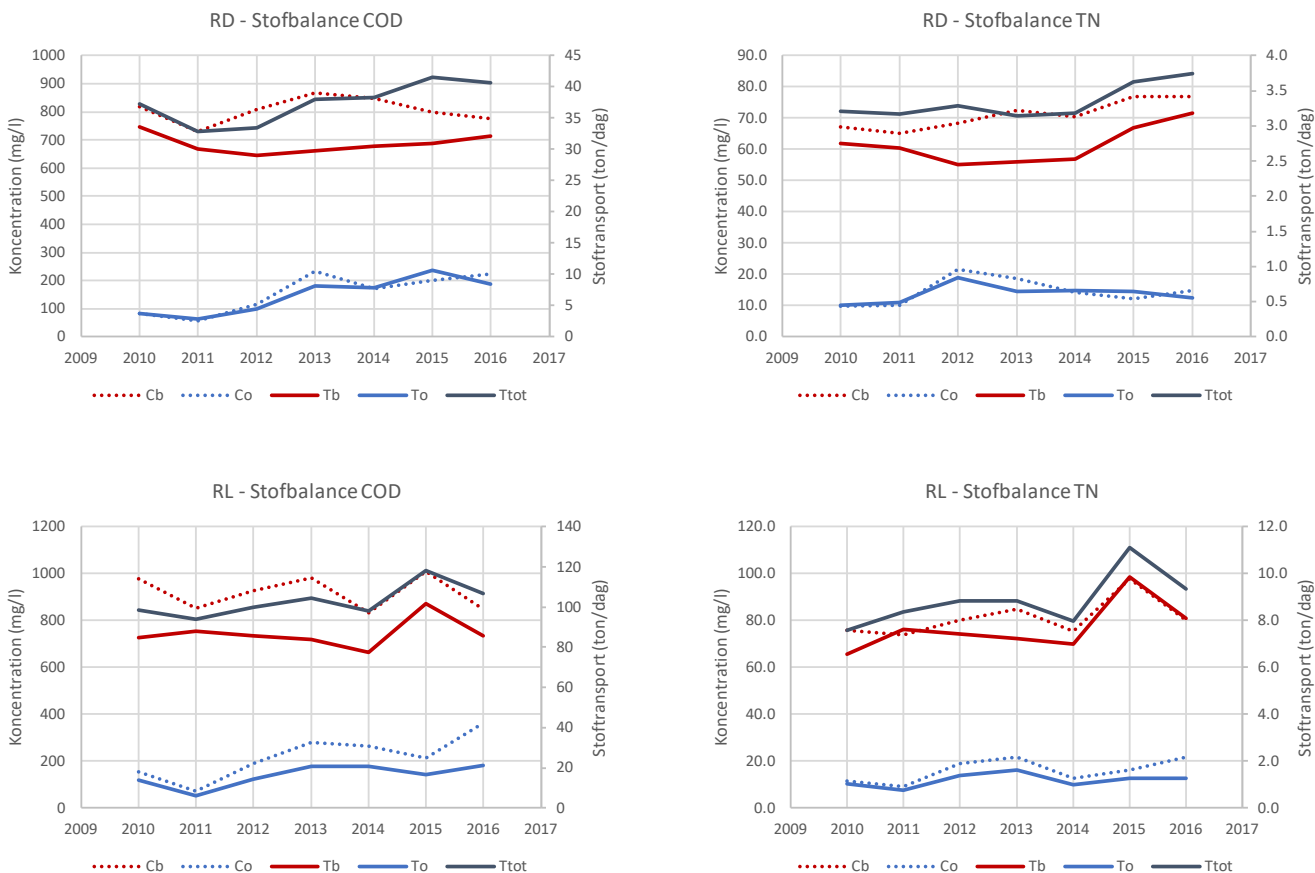
For hvert år i perioden 2010-2016 er sammenhængen mellem målte tilstrømninger og stofkoncentrationer analyseret. For hvert af de to renselanlæg, for hver stof og for hvert år er CQ-funktionen/regressionen opstillet og modelparametrene estimeret (C_o og a_1 , Q_b og Q_o). Resultaterne er vist i Figur 5.

Der har været en svag stigning til den samlede stofbelastning over perioden på begge renselanlæg. Tilsyneladende skyldes denne stigning en øget stofkoncentration i den regnbetingede tilstrømning for COD og i basisbelastningen for TN, hvor der for begge anlæg har været en stigende trend i perioden som følge af det stigende befolkningsantal. Den store tilstrømning i december 2015, mest i RLs opland, gav den største stofbelastning i perioden. En praktisk anvendelse af ovenstående opsplitning har været at fastslå, at stigningen i SS på RD i perioden 2013-2017 skyldes at stofkoncentrationen i den regnbetinget tilstrømning er øget.

Estimering af antal PE i oplandet ud fra CQ-funktioner

Hvis man går skridtet videre og inddrager personspecifikke stofbelastninger og vandforbrug, kan man opstille en CQ-model, der er koblet til antal PE i oplandene:

$$(5) \quad C_{til} = a_o + \frac{a_1}{Q_{til}} = C_o + \frac{N_{pe}q_b \left(\frac{t_b}{q_b} - C_o \right)}{Q_o + N_{pe}q_b}$$



Figur 5
 Resultatet af beregningen af koncentrationer i basis-flow (rød) og regnbetinget tilstrømning (blå) for COD (venstre) og TN (højre) på de to renselanlæg (RD øverst og RL nederst).

Koncentrationen af et givet stof i tilstrømningen til renselanlægget beregnes således ud fra fem variable:

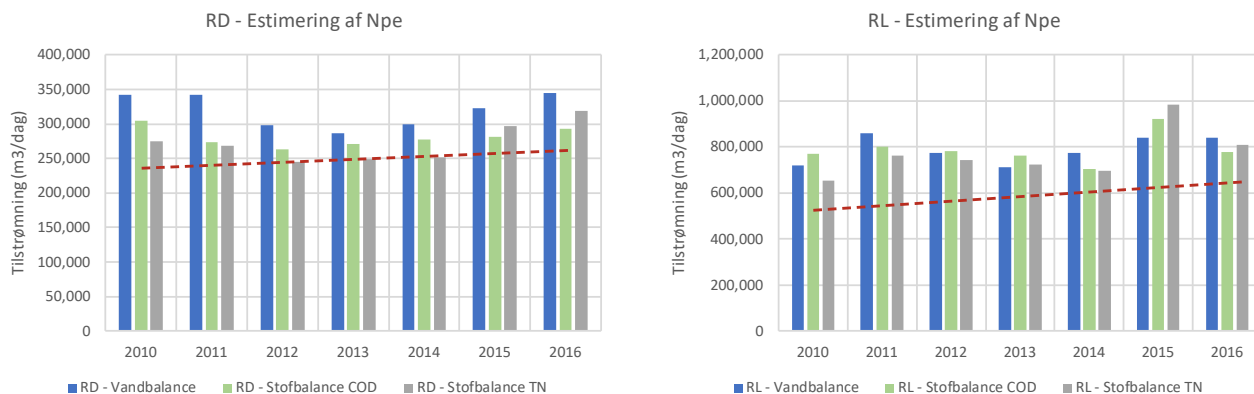
1. C_o = koncentration i den regnbetingede tilstrømning (mg/l)
2. Q_o = den regnbetingede tilstrømning = $Q_{til} - Q_b$ (m³/dag)
3. N_{pe} = antal PE i oplandet idet koncentrationen i basistilstrømningen $C_b = t_b/q_b$ og $Q_b = N_{pe}q_b$
4. t_b = den personspecifikke stoffbelastning (g/dag/PE)
5. q_b = det personspecifikke vandforbrug (m³/dag/PE)

I dette eksempel er der anvendt følgende specifikke belastninger¹:

Parameter	q_b	$t_b(\text{COD})$	$t_b(\text{TN})$
Enhed	m ³ /N/dag	g/N/dag	g/N/dag
Værdi	0.12	110	10

Tabel 2
 Specifikke belastninger i basistilstrømning brugt i denne analyse.

¹ https://ocw.un-ihe.org/pluginfile.php/4135/mod_resource/content/1/Wastewater%20characterisation.pdf

**Figur 6**

Brug af specifikke belastninger til at estimere antal PE i oplandet. Den røde stiplede linje viser udviklingen i befolkningsantallet i anlæggenes opland i perioden.

Ud fra regressionskonstanterne i CQ-funktionerne, kombineret med modellen i ligning (5), kan man herefter estimere antal PE i oplandet for hvert af de stoffer man analyserer samt tilstrømningen, i dette eksempel altså tre estimater (COD, TN og Q_{til}). Resultatet af denne beregning er vist i Figur 6.

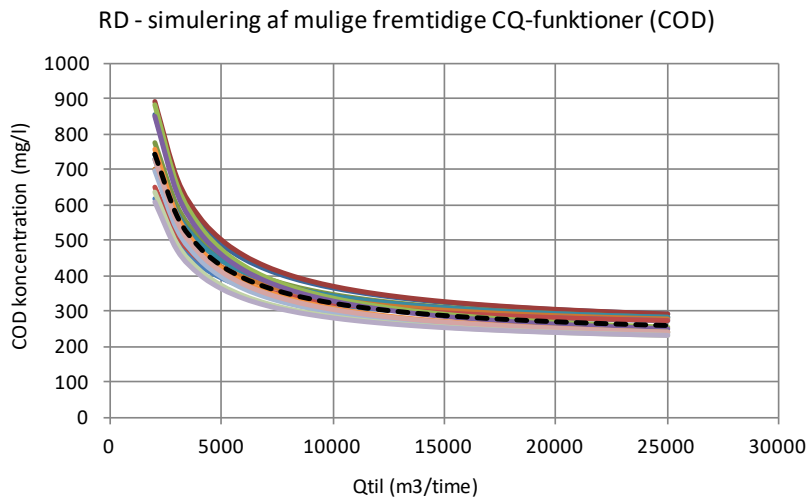
Der er ikke den store forskel på de tre estimater, men der er en vis variation i PE-estimerne over årene. Denne variation skyldes en kombination af øget befolkningsantal, ændringer i bidrag fra erhverv og industri samt muligvis en vis mængde udefrakommende vand, der kan være relateret (med forsinkelse) til nedbøren.

Fremskrivning af CQ-funktioner

Som antydnet ovenfor, kan man koble CQ-funktioner til oplandsspecifikke forhold og dermed også foretage en fremskrivning af stofkoncentrationer og -belastninger for en række mulige udviklingsscenarier. På den måde kan man estimere den forventede fremtidige CQ-funktion ved at antage forskellige mulige ændringer i tilstrømning og specifikke stofbelastninger i både spildevand og overfladevand (f.eks. lavere vandforbrug, øget nedbør og rensning af vejvand). Resultatet er et sæt af mulige fremtidige – men ikke lige sandsynlige – sammenhænge mellem tilstrømning og koncentration, i dette eksempel COD på RD (Figur 7).

CQ-funktionerne sammenfatter den øvre randbetingelse til renselanlæggene i den forstand, at ethvert punkt på middelkurven repræsenterer den gennemsnitlige stofbelastning ($T = Q \cdot C(Q)$) på det aktuelle tidspunkt (time, dag, måned eller år).

Da tilstrømning således indgår i CQ-funktionerne skal der imidlertid også opstilles en simpel hydrologisk model, der kan estimere basistilstrømning og regnbetinget tilstrømning som funktion af f.eks. befolkningsantal, nedbør, afskæring/separatkloakering og styring af flow/bassiner. En sådan tilstrømningsmodel vil blive præsenteret i den efterfølgende artikel.

**Figur 7**

RD 2025 COD – mulige fremtidige CQ-funktioner, hvor yderkurverne er de mindst sandsynlige og den sorte, stiplede kurve er den mest sandsynlige (den forventede middelværdi i 2025).

Sammenfatning og konklusion

I forbindelse med tidligere undersøgelser og dataanalyser har det vist sig, at de data BIOFOS har indsamlet på de tre store renseanlæg, er af særdeles god kvalitet. Vand- og stofbalancer stemmer i forskellige dele af kloaksystemet og igennem renseanlæggene. Data af den kvalitet og med indbyrdes konsistens indeholder mange vigtige informationer om ting der sker i oplandet, informationer der kan anvendes både til at kortlægge de forskellige belastningsbidrag i oplandet, drift af renseanlæggene – og til dokumenteret planlægning af fremtidige udbygninger/foranstaltninger.

Artiklen præsenterer begrebet CQ-funktioner, d.v.s. sammenhænge mellem målte koncentrationer og vandføringer/tilstrømninger, der er et grundlæggende element i kvantificering af stofbelastningen til renseanlæg: Sammensætning, kilder og variation over tid. Gennem et par eksempler fra Lynetten og Damhusåen er det illustreret, hvordan man v.h.a. CQ-funktionerne kan opsplitte stofbelastninger i et spildevandsbetinget og et regnbetingede bidrag, som igen kan underinddeles, hvis det skulle vise sig at være nødvendigt for at kvantificere andre betydende bidrag, deres årsag og lokation.

BIOFOS har gennem de sidste par år udviklet en konceptuel prognosemodel, der kan beskrive de primære faktorer og processer som funktion af et sæt primære oplandskarakteristika såsom nedbør, befolkning/antal PE, industriel udledning, byudvikling og specifikke belastninger. Når man kender den eksterne tilstrømning og belastning, samt renseanlæggets overordnede funktionalitet og renseeffektivitet, kan man estimere den samlede belastning til recipienten – inklusive usikkerheder på estimaterne. CQ-funktionerne indgår i denne prognosemodel sammen med en hydrologisk tilstrømningsmodel, som præsenteres i en efterfølgende artikel.

Renseanlæg

– Udbygningsplanlægning 2045

Artikel 2:

*Et godt gæt på den fremtidige belastning
– eller hvor langt man kan komme med simple modeller*

Målinger og oplandsdata



Af: Barbara Greenhill,
BIOFOS A/S



Af: Kim Rindel,
BIOFOS A/S



Af: Carsten Thirsing,
BIOFOS A/S



Af: John Andersen, tidl.
BIOFOS A/S (EnviDan)



Af: Jan Høybye,
Just Business

Målinger af vandføring og stofkoncentrationer i tilløbene til renselanlæg repræsenterer vigtig viden om, hvordan mængder og sammensætning af spildevandet ændrer sig fra år til år – og ikke mindst hvorfor.

Sammenfatning

BIOFOS har målt tilstrømning og stofkoncentrationer på de tre store renselanlæg, Damhusåen (RD), Lynetten (RL) og Avedøre (RA) siden de blev taget i drift, dog mere systematisk og med god kvalitet siden 2003. Det samme gælder måling af en række vandkvalitetsparametre der ligeledes er målt systematisk og mellem 60 og 100 gange/år, både i tilløb og afløb. Dette betydelige og unikke datamateriale giver mulighed for at opstille sammenhænge mellem tilstrømning og stofkoncentrationer (artikel 1), der igen bidrager med vigtig information om hvor stof kommer fra – og hvor meget. Dermed får man et overblik over de specifikke belastningsforhold og deres variation over en årrække. Samtidig er der styr på kæden af vand- og stofbalancer, fra hvad der sker i oplandet og hele vejen til udledning fra renselanlæggene, hvorfor det har været muligt at opbygge et datafunderet og simpelt men pålideligt modelsystem til estimering af fremtidige tilstrømninger og stofbelastninger.

Artiklen præsenterer en simpel oplandsmodel, der kan estimere tilstrømning og stofbelastning som funktion af et sæt primære ydre påvirkninger og oplandskarakteristika såsom nedbør, befolkning, udledning fra erhverv/industri, byudvikling og specifikke belastninger. Når man kender den eksterne tilstrømning og belastning, samt renselanlæggets overordnede funktionalitet og renseeffektivitet, kan man estimere den samlede

belastning til recipienten – inklusive usikkerheder på estimaterne, idet oplandsmodellen er formuleret i en statistisk ramme med middelværdier og varianser.

Oplandsmodellerne for RD og RL er kalibreret på data fra 2003-2016 (anvendt som planlægningsgrundlag) og efterfølgende valideret på data fra 2017 og 2018. Oplandsmodellens estimater for tilstrømningen stemmer godt overens med de målte tilstrømninger. Det samme gælder for estimering af stofbelastninger, bortset fra COD på RL, hvor der har været en markant og uventet stigning i stofkoncentrationen i den regnbetingede tilstrømning.

Endelig er det vist, hvordan oplandsmodellen – sammen med CQ-funktionerne – kan bruges til at etablere datakontrollfunktioner for kombinationer af tilstrømning og stofkoncentrationer til brug i drift af anlæggene såvel som til kontrol af om belastninger til renseanlæggene holder sig indenfor plan/udbygningsgrundlaget.

Introduktion

Baggrund

Til detailplanlægning og dimensionering af afløbssystemer, infrastruktur og styringssystemer i oplandene benytter BIOFOS typisk Mike-Urban og med 2015 som udgangspunkt (referenceår). Men oplandene/afløbssystemerne er store og komplekse, og det er ikke praktisk muligt at gennemregne mange forskellige scenarier over en 30-årig periode, endsige foretage usikkerhedsanalyser af Mike-Urban simuleringer, som funktion af de fremtidige, men ukendte fysiske, meteorologiske og demografiske forhold.

Derfor blev der i forbindelse med udbygningsplanlægningen 2025/2045 etableret en simpel statistisk baseret konceptuel oplandsmodel for den samlede årlige tilstrømning til et renseanlæg fra et opland. Sammen med de målte sammenhænge mellem tilstrømning og stofkoncentrationer (CQ-funktioner – beskrevet i artikel 1) kan man derefter estimere den årlige stoftransport til renseanlæggene.

I fælleskloakerede oplande bidrager nedbør med en væsentlig vandmængde, ligesom overfladeafstrømning indeholder primært partikelbundet materiale fra luften, veje og tagflader. En del af den variation i belastningen man kan observere på et renseanlæg kan forklares ved variation i nedbør, indenfor år og mellem år. Spildevand fra husholdninger og erhverv/industri udgør naturligvis det største stofbelastningsbidrag, men er typisk mere konstant over tid. De indledende dataanalyser, der er beskrevet i den første artikel om CQ-funktioner, er det første skridt i opdeling og kvantificering af stofbelastninger i disse to primære kilder.

Formål

Formålet med denne artikel er at illustrere, hvordan en simpel konceptuel hydrologisk model – kombineret med systematisk indsamling af vandkvalitetsdata – kan opstilles og anvendes til langtidsprognooser af udvikling i tilstrømning og stoftransport til renseanlæg. Oplandsmodellen beregner den årlige gennemsnitlige tilstrømning og stofbelastning, og er kombineret med en under-model, der estimerer det årlige bypass-volumen, givet en fast biologisk kapacitet. For at holde artiklen på en acceptabel længde er bypass-modellen ikke yderligere bekrævet/dokumenteret.

Desuden er oplandsmodellen formuleret i en statistisk ramme, hvorved man kan estimere ikke bare gennemsnit, men også standardafvigelser og dermed forskellige fraktilværdier, både mellem år og indenfor år, for simuleret/prognosticeret tilstrømning og stofbelastning til brug i dimensioneringen af renseanlæggene.

Data og metode

Data

I forbindelse med BIOFOS' strategi og efterfølgende plan for udbygningen af de tre renselanlæg frem til 2045, har det været naturligt at gøre brug af alle indsamlede data for at forstå og forklare de observerede variationer i tilstrømninger og stofbelastninger og dermed etablere et databaseret og veldokumenteret beslutningsgrundlag.

Udover tilstrømningsdata og stofkoncentrationer (beskrevet i artikel 1 om CQ-funktioner) er der indsamlet data for nedbør, befolkningsudvikling samt udledninger fra erhverv og industri. Desværre foreligger der ikke sammenhængende data-serier for den enkelte renselanlægsoplande. Af datamæssige årsager blev det besluttet at benytte tilstrømningsdata fra 2003-2016. I denne periode har der været gennemført en del ændringer i kloaksystemet (f.eks. bassiner). Disse ændringer influerer tilstrømningen over timer og dage, men har ikke nogen betydende effekt på årsmiddeltilstrømninger. Baseline for plangrundlaget (stofbelastninger) var 2010-2016, hvorfor vandkvalitetsdata fra perioden 2010-2016 blev anvendt.

Nedbørsdata er baseret på seks SVK-stationer i og omkring oplandene til RD og RL, og som har været i drift samtidigt i hele perioden. Personspecifikt vandforbrug i perioden er oplyst fra DANVA¹. Danmarks Statistik (DS) har oplysninger om befolkningsantal generelt, men ikke opdelt efter oplande. Forsyningselskaberne har forbrugsoplysninger, men fra forskellige perioder med varierende detaljeringsgrad. Det samme gælder oplysninger om udledninger fra erhverv og industri, hvor DS kun har data fra 2011. Ikke desto mindre har det været muligt at stykke et konsistent datagrundlag sammen fra de forskellige kilder, så det dækker hele perioden 2003-2016 (Tabel 1).

Opsplitning af tilstrømningen i en basistilstrømning, V_b , og en regnbetinget tilstrømning, V_o , er baseret på hydrografseparation og kontrolleret vha CQ-kurverne, der ligeledes giver et estimat for basistilstrømningen.

Tabel 1

Basisdata til modelopstilling.

RD Data 2003-2016 - Modelopstilling							RL Data 2003-2016 - Modelopstilling						
Basisdata			Målt tilstrømning				Basisdata			Målt tilstrømning			
	mm	n	mill m3	mill m3	mill m3	mill m3		mm	n	mill m3	mill m3	mill m3	mill m3
År	Psum	Npop	Ve+i	Vb	Vo	Vtil	År	Psum	Npop	Ve+i	Vb	Vo	Vtil
2003	585	223,206	2.9	11.9	14.6	26.5	2003	585	524,534	5.7	30.7	29.8	60.6
2004	727	225,461	3.3	13.4	15.5	29.0	2004	727	529,832	6.5	30.3	31.6	61.9
2005	475	227,738	2.6	10.9	13.0	23.9	2005	475	535,184	5.1	27.5	28.7	56.2
2006	715	230,038	3.3	12.7	16.1	28.8	2006	715	540,590	6.5	29.8	34.2	64.1
2007	882	230,459	3.7	15.8	20.1	35.9	2007	882	541,579	7.8	35.5	38.4	73.9
2008	660	232,213	3.1	11.9	15.9	27.8	2008	660	545,700	6.1	28.2	35.7	64.0
2009	636	235,082	3.1	12.7	13.8	26.4	2009	636	552,443	5.7	24.4	27.6	52.0
2010	759	238,313	3.4	14.4	16.2	30.7	2010	759	560,036	6.7	30.7	32.5	63.2
2011	770	241,925	3.2	14.5	17.1	31.7	2011	770	568,525	6.5	32.3	34.5	66.8
2012	613	244,978	2.8	11.9	14.3	26.2	2012	613	575,699	5.5	27.0	32.1	59.1
2013	507	248,470	2.3	11.4	13.0	24.4	2013	507	583,905	4.6	24.8	31.1	55.9
2014	805	251,771	3.3	12.5	18.3	30.9	2014	805	591,662	6.6	27.4	36.8	64.2
2015	780	255,066	3.3	13.7	19.6	33.4	2015	780	599,406	6.6	32.6	34.3	66.9
2016	625	258,441	3.0	14.1	14.5	28.6	2016	625	607,336	5.9	31.7	29.6	61.4
Mean	681	238,797	3.1	13.0	15.9	28.9	Mean	681	561,174	6.1	29.5	32.6	62.1
Stdev	116	11,460	0.3	1.4	2.3	3.4	Stdev	116	26,931	0.8	3.1	3.2	5.4

¹ <https://www.danva.dk/media/4630/danva-vand-i-tal-2017-final.pdf>

Metode

Oplandsmodellen tager udgangspunkt i den simpleste af alle hydrologiske modeller opdelt i to komponenter:

1. Den regnbetingede tilstrømning, V_o (mio. m³/år)

2. Basistilstrømning/spildevand, V_b (mio. m³/år)

Den samlede årlige tilstrømning (i mio. m³/år) er lig med summen af de to delbidrag:

$$(1) \quad V_{\text{til}}(t) = V_b(t) + V_o(t) = (a_0 q_b(t) N_h(t) + V_{e+i}(t)) + a_1 \phi P(t) A$$

hvor q_b er det person-specifikke vandforbrug (m³/dag/ N_h), N_h er antal beboere i oplandet, V_{e+i} (mio. m³/år) er vandforbrug fra erhverv og industri i oplandet, inkl uvedkommende vand, ϕ er oplandets middelfstrømningskoefficient (%), P er årsnedbøren (mm/år) og A er oplandsarealet (km²). Der er tre ydre påvirkninger (P , N_h og V_{e+i}) og tre parametre, hvoraf en antages at være kendt (A) og to estimeres fra data (ϕ og q_b). De to konstanter, a_0 (=365/10⁶) og a_1 (= 1/1000), har til formål at harmonisere enheder, så resultatet bliver i mio. m³/år.

Det antages at oplandet, der opsamler regnvand har været konstant over perioden 2003-2016. Imidlertid forventes det, at oplandsarealet kan ændres/reduceres i fremtiden, da der er planer om at separatkloakere og dermed afskære større dele af systemet. Derfor er A i princippet også en funktion af tid. Det samme gælder for den gennemsnitlige afstrømningskoefficient, ϕ , der afhænger af, hvor stor en del af oplandet, der er befæstet (veje, tagflader, etc.). Hvis der i fremtiden bliver flere grønne områder eller lokal opsamling af regnvand, vil det alt andet lige reducere afstrømningskoefficienten.

Når man fra CQ-funktionerne kender stofkoncentrationerne i de to tilstrømningsbidrag, kan den samlede stoftransport fra oplandet til renseanlægget som:

$$(2) \quad M_{\text{til}}(t) = M_b(t) + M_o(t) = V_b C_b + V_o C_o$$

hvor M får enheden ton/år, når koncentrationer angives i mg/l.

Resultater – et eksempel fra RD og RL

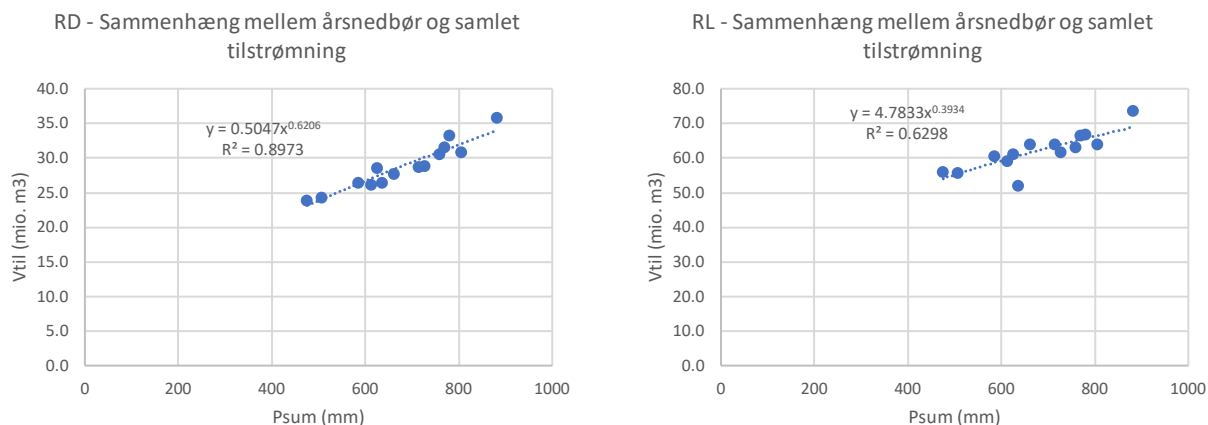
Modelidentifikation – Tilstrømning (2003-2016)

I forbindelse med enhver modelbygning og kalibrering, skal man være opmærksom på, at også målte data er behæftet med usikkerheder. Derfor er der en grænse for, hvor præcist en model kan simulere observerede data: Usikkerheden på modelsimuleringer kan aldrig blive mindre end usikkerheden på målingerne, der ligger til grund for modelidentifikation og -kalibrering.

Udgangspunktet for dataanalysen og modelidentifikation er den tætte sammenhæng mellem årsnedbøren (P_{sum} i mm/år) og den samlede tilstrømning vist i Figur 1.

Figur 1

RD og RL 2003-2016 – Plot af sammenhængen mellem årsnedbørssum og den samlede tilstrømning. RD til venstre og RL til højre.

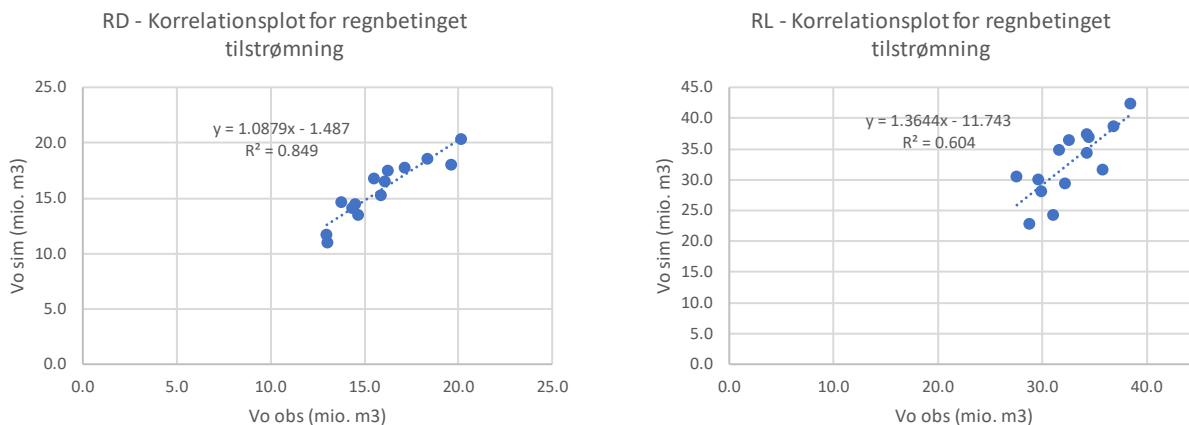


Da der findes data fra de to separate kilder til tilstrømningen (V_b og V_o) opstilles modellen i princippet for hvert delbidrag for sig. Først den regnbetingede tilstrømning. Oplandet til RD er 56 km² og med $V_o(t)$ og $P(t)$ givet i tabellen ovenfor finder man, at en middelflstrømningskoefficient på 41% giver den bedste overensstemmelse mellem målt og simuleret regnbetinget tilstrømning. For RL ($A = 83$ km²) giver samme procedure en middelflstrømningskoefficient på 57%. Figur 2 viser resultatet af kalibreringen af den regnbetingede tilstrømningsmodel.

Der er en god overensstemmelse mellem de simulerede og målte regnbetingede bidrag til tilstrømningen, bedst på RD med en korrelationskoefficient på 0,92 og en residualspretning på 1,09 mio. m³ svarende til en relativ middelfejl på ca. 7% (CV = residualspretningen/middelværdien af $V_{\text{til}} = 1,09/15,8$). På RL er korrelationskoefficienten 0,78 og residualspretningen er 3,65 mio. m³, hvilket giver en relativ middelfejl på ca. 11%.

Figur 2

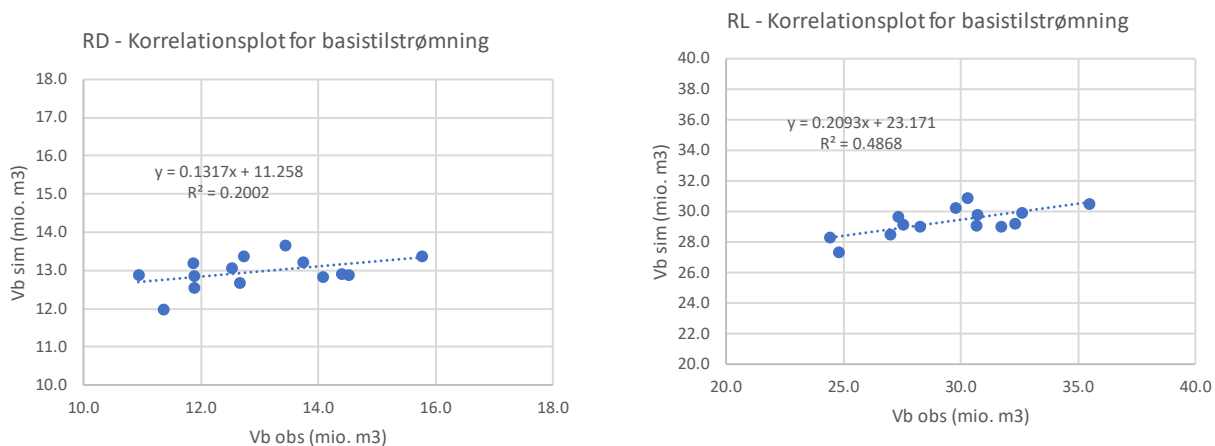
RD og RL 2003-2016 – Kalibrering af overflademodellen. Korrelationsplot for simuleret tilstrømning i forhold til observeret. RD til venstre og RL til højre.



En del af den resterende varians kan forklares v.h.a. basis-flow modellen, hvor data-grundlaget dog er noget mere spredt og sparsomt. I den simple model for basisflow/spildevand indgår kun en faktor der sætter den skønnede tilstrømning fra erhverv og industri i hele Storkøbenhavn (DS kategori) i forhold til befolkningstallene i de to oplande, så man som gennemsnit over perioden 2003-2016 får den bedste overensstemmelse mellem observeret og simuleret basistilstrømning.

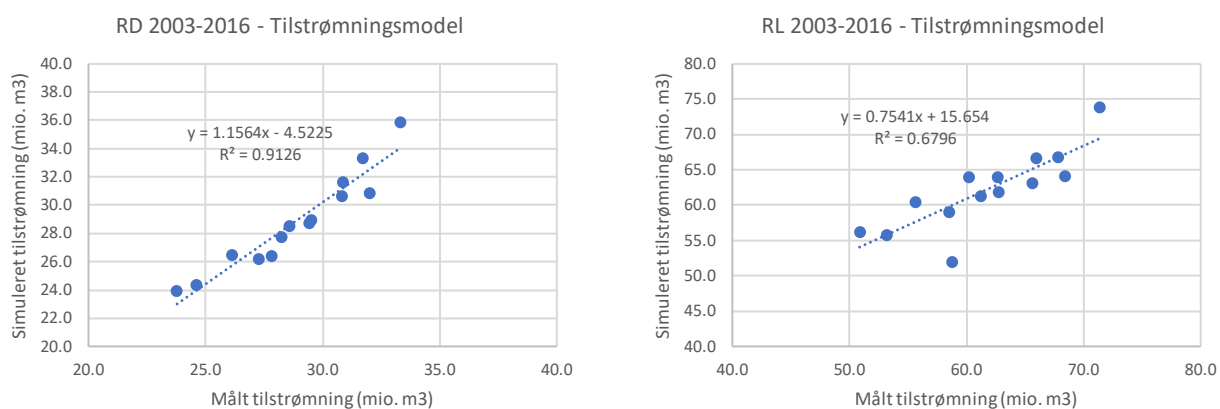
Som man kan se af Figur 3 har det ikke været muligt at trække megen information ud af de få data, der har været til rådighed. Basismodellen kan muligvis forbedres ved at inddrage oplysninger om vandforbrug, uvedkommende vand og grundvandssænkninger.

Figur 3
RD og RL 2003-2016 –
Test af basisflowmodellen.
Korrelationsplot for
simuleret tilstrømning i
forhold til observeret. RD
til venstre og RL til højre.



Ikke desto mindre giver den endelige oplandsmodel en god beskrivelse af den årlige tilstrømning til de to renseanlæg som funktion af årsnedbør og antal PE fra henholdsvis husholdninger og erhverv+industri (Figur 4).

Figur 4
RD og RL 2003-2016
– Korrelationsplot
for Oplandsmodellen
($V_{\text{til}}(t) = V_b(t) + V_o(t)$).



Residualspredningen på oplandsmodellen på RD baseret på de 14 års data er 0,89 mio. m³/år, hvilket giver til en relativ middelfejl på ca. 3%. På RL er den relative usikkerhed dobbelt så stor, nemlig ca. 6% = en residualspredning på 3,50 mio. m³ i forhold til en samlet middeltilstrømning på 62,1 mio. m³.

Validering af oplandsmodellen (2017 og 2018)

Data

Udbygningsplanlægningen 2045 blev gennemført i 2017 og 2018 baseret på data fra 2003-2016 (vandkemi fra 2010-2016). Som en del af opfølgningen blev oplandsmodellen testet på data fra 2017 og 2018.

Årsnedbøren de to oplande var ca. 730 mm i 2017 og 470 mm i 2018. Befolkningstallet er fremskrevet fra 2016 med den trend der er observeret i data fra 2003-2016, mens vandforbrug fra erhverv og industri er fremskrevet med 2%/år (se Tabel 2).

Tabel 2
Data brugt i fremskrivning af tilstrømning og stofbelastning i 2017 og 2018.

År	P	RD		RL	
		Npop	Ve+i	Npop	Ve+i
2017	730	259,138	2.86	608,974	4.64
2018	470	261,850	2.91	615,348	4.73

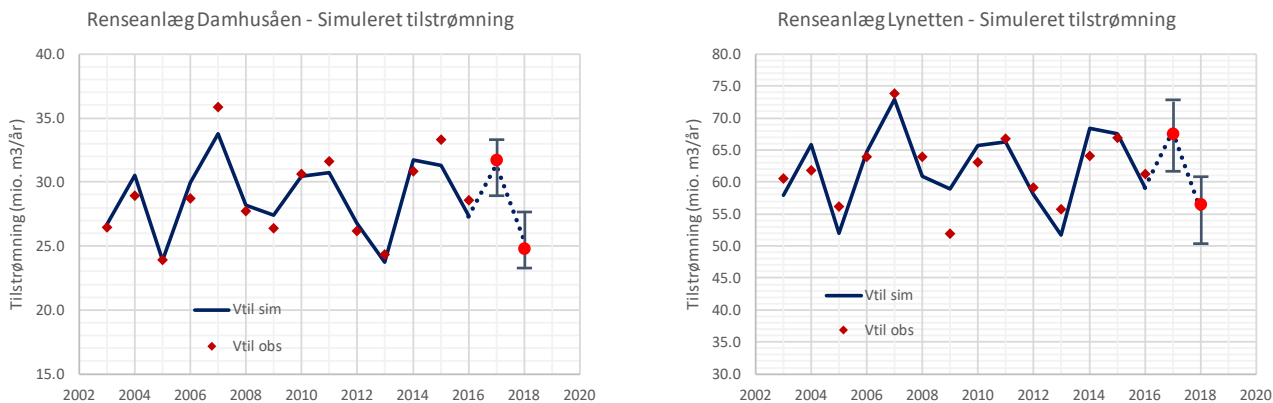
Oplandsdata for RD og RL er de samme som præsenteret i det foregående afsnit, og der har ikke været nævneværdige ændringer i infrastrukturen (pumper, afkobling, etc.) i de to år.

Tilstrømning

Baseret på de ovennævnte data for 2017 og 2018 er oplandsmodellen, med udgangspunkt i 2003-2016 data, anvendt til at estimere de forventede tilstrømninger i de to år for at teste om den, trods sin simpelhed, er i stand til at beskrive konsekvenser af ændringer i de ydre påvirkninger.

Figur 5

Simuleret tilstrømning (med 95% konfidensintervaller) i 2017 og 2018 baseret på data fra 2003-2016. RD til venstre og RL til højre.



På RD var den målte tilstrømning i 2017 og 2018 henholdsvis 31,9 og 24,9 mio. m³ (de røde punkter i figuren). Oplandsmodellen giver henholdsvis 31,3 og 25,5 mio. m³, altså ganske tæt på de målte tilstrømninger. På RL blev der i 2017 målt 67,2 mio. m³, mens oplandsmodellens estimat er 67,9 mio. m³. I 2018 simulerer modellen 55,7 mio. m³ mens den målte tilstrømning var 56,4 mio. m³. De fire modeestimater ligger alle indenfor usikkerhedsintervallet, og ud fra valideringen af modellen på de to første år efter kalibrering, er der ikke grund til at forkaste den. Det skal bemærkes, at også målte tilstrømninger er behæftet med usikkerhed, selvom det ikke er indikeret på figurene.

Stofbelastning – COD og TN

Tilsvarende simuleringer blev gennemført for COD, BOD, TN, TP og SS på de to renseanlæg. Testresultaterne for COD og TN er vist i Tabel 3.

RD	Målt			Simuleret			Relative afvigelser		
	mio m3	ton	ton	mio m3	ton	ton			
År	Vtil	Mtil(COD)	Mtil(TN)	Vtil	Mtil(COD)	Mtil(TN)	δVtil	δM(COD)	δM(TN)
2017	31.9	15,265	1,284	31.3	14,634	1,267	2%	4%	1%
2018	24.9	14,689	1,213	25.5	13,857	1,193	-2%	6%	2%
RL	Målt			Simuleret			Relative afvigelser		
	mio m3	ton	ton	mio m3	ton	ton			
År	Vtil	Mtil(COD)	Mtil(TN)	Vtil	Mtil(COD)	Mtil(TN)	δVtil	δM(COD)	δM(TN)
2017	67.2	42,290	3,455	67.9	37,727	3,472	-1%	11%	0%
2018	56.4	44,016	3,233	55.7	35,340	3,320	1%	20%	-3%

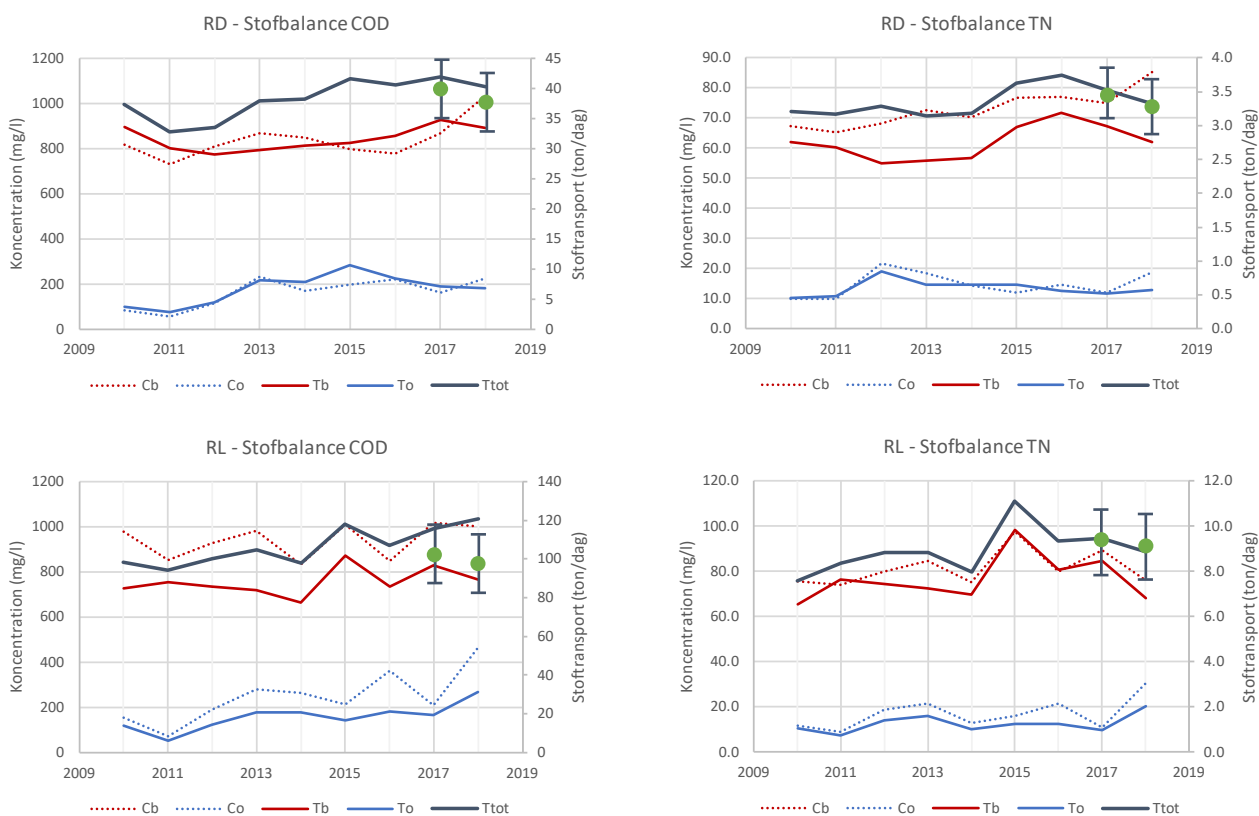
Tabel 3

Sammenligning mellem målt og simuleret tilstrømning og stofbelastning.

De relative afvigelser er beregnet som forskellen mellem målt og simuleret divideret med målt = (Obs - Sim)/Obs.

På RD er den største relative afvigelse mellem målt og simuleret stofbelastning ca. 6% (COD) – og oplandsmodellen kunne se ud til at underestimere stofbelastningen, selvom de relative afvigelser ligger indenfor usikkerheden. På RL derimod er der en betydelig afvigelse i COD-transporten, størst i 2018, hvor oplandsmodellen simulerer en signifikant lavere COD-belastning. Årsagen hertil er primært, at COD-koncentrationen i den regnbetingede tilstrømning ifølge målingerne er steget markant på RL over perioden. I oplandsmodellen er det antaget, at COD-koncentrationen i den regnbetingede tilstrømning, C_o , er lig med gennemsnittet for perioden 2010-2016 = 220 mg/l (se også Figur 6 på næste side)

Imidlertid lå COD-koncentrationen i den regnbetingede tilstrømning 2018 over 400 mg/l, altså tæt på en fordobling i forhold til den foregående 10-års periode. Samme mønster ses også for TN på RL, men i mindre grad, og oplandsmodellens estimater ligger indenfor usikkerheden.



Figur 6

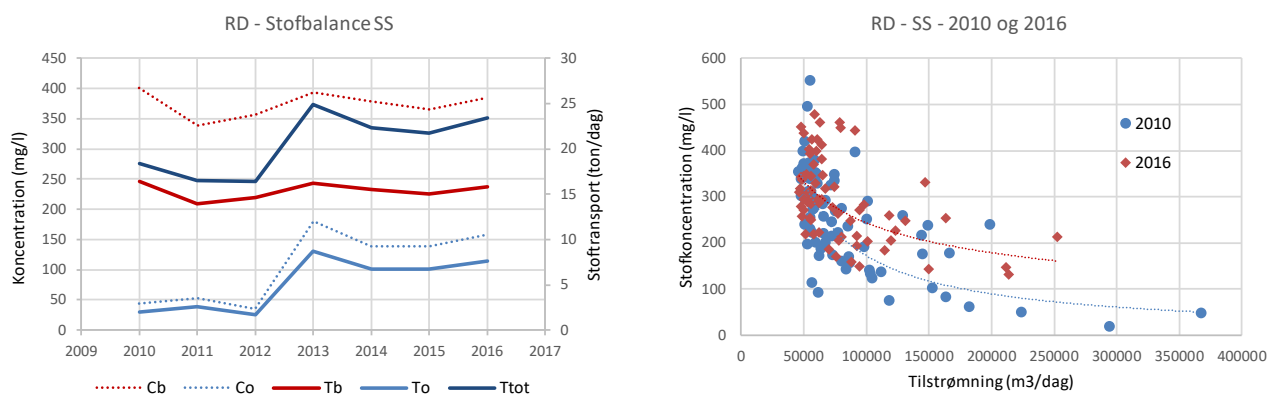
Simuleret stofbelastning (COD og TN) til RD (øverst) og RL (nederst) i 2017 og 2018 baseret på data fra 2003-2016. COD til venstre og TN til højre. I denne figur viser de grønne punkter de simulerede samlede stofbelastninger, mens de sorte fuldt optrukne kurver er den målte belastning.

Man kan sige, at oplandsmodellen simulerer de forventede/gennemsnitlige tilstrømninger og stofbelastninger som funktion af de styrende variable – og givet at andre ændringer, f.eks. stofkoncentrationer i regnbetinget tilstrømning, følger en konstant trend over tid. Hvis der optræder pludselige ændringer i den måde stofbelastninger bliver genereret på, vil det vise sig som afvigelser fra oplandsmodellens estimater.

Derfor kan oplandsmodellen også anvendes som en kontrolfunktion, hvor man kan teste om forudsætningerne i oplandet (planlægningsgrundlaget) – og de deraf følgende tilstrømninger og stofbelastninger – ændres fra år til år, udover dem, der er inkluderet i oplandsmodellen, såsom nedbør, befolkningsantal, udledning fra erhverv og industri, grønne områder versus befæstede arealer samt afkobling – eller udvidelser af oplandet.

Et andet eksempel er målt suspenderet stof (SS) på RD, hvor det i forbindelse med udbygningsplanerne og dataanalyser blev konstateret, at den observerede stigning i den årlige SS-transport til RD i 2016 skyldes en stigning i den regnbetedede tilstrømning tilbage fra 2013 (se Figur 7). Herefter kan man begynde på en mere systematisk opsporing/placering af årsagen til denne markante stigning (en tre-dobling af koncentrationen fra 2012 til 2013).

Der er et tidsmæssigt sammenfald med store bygge- og anlægsprojekter i oplandet, og det tyder på at der herfra kan være blevet tilladt større mængder suspenderet materiale til kloakken. HOFOR har desuden oplyst, at de også har observeret større mængder af silt m.v. i kloaksystemet. Det har ledt til at myndighederne er blevet gjort bekendt med problematikken.



Figur 7
SS-belastning til RD 2010-2016
til venstre og CQ-funktionerne
fra 2010 og 2016 til højre.

Udbygningsplanlægning 2025 – Forventet TN-belastning

Udbygningsplanen for de tre renselanlæg (RD, RL, og RA) er gennemført for to planlægningshorisonter (2025 og 2045) og for forventet fremtidig tilstrømning og de fem primære stofbelastninger: COD, BOD, TN, TP og SS. For at illustrere fremgangsmåden, men samtidig holde artiklen passende kort, er det valgt, som eksempel, at anvende fremskrivningen af tilstrømning og TN-belastning i 2025 på RD.

Nedbør- og befolkningsprognoser

Med de kendte størrelsesordener er antal PE og nedbør de mest betydende input-funktioner. For at kunne vurdere udbygningsplanernes fremtidige effektivitet skal man derfor have et dokumenteret bud på, hvordan især antal PE (befolkningstal) og nedbør kunne udvikle sig over de næste 15-25 år. Udledningen fra industri og erhverv i oplandene er af mindre betydning og forventes at følge udviklingen i befolkningsantallet.

I Københavns Kommunes klimatilpasningsplan² anslås det at der ville komme 25%-55% mere vinternedbør, mens sommernedbøren forventes at falde med mellem 0% og 40%. Hvis det regner lige meget sommer og vinter, så ville det betyde at den årlige nedbør stiger med $35\% - 20\% = 15\%$ frem til 2100. Det skulle så give en stigning på 6-7% frem til 2045 – og 1% - 2% frem til 2025. Variationen forventes også at blive større (flere ekstremer), men der er ikke angivet nogen variationsintervaller.

Pba. klimamodelsimuleringer har DMI vurderet, at årsmiddelnedbøren vil stige med mellem 1,5% og 7% frem til 2100, altså en mere moderat udvikling ifht. Klimatilpasningsplanens forventninger³. I de indledende modelberegninger er det valgt at lade årsmiddelnedbøren stige med 2% (ifht. gennemsnittet for 2003-2016) frem til 2025 og 5% frem til 2045. Variationen på de observerede nedbørstal (årsmidler) er ca. 15% (den relative middelfejl på et enkelt års middelnedbør). Usikkerheden på DMI's prognoser er 5%-6%, hvilket giver en forventet kombineret usikkerhed på 17% på den estimerede årsmiddelnedbør.

Befolkningsudviklingen er den enkeltparameter, der har størst indflydelse på estimeringen af den fremtidige stofbelastning. Derfor er der gennemført en separat undersøgelse af forskellige befolkningsprognoser, inkl. estimering af usikkerheder på befolkningsprognoser som funktion af prognosehorisont. Der foreligger flere forskellige prognoser for befolkningsudviklingen i Storkøbenhavn; dog er der ikke fundet nogen, der forudsiger et fald i befolkningen. Ifølge DS forventes der (med udgangspunkt i 2017) en stigning i befolkningstallet på 8% i 2025, 13% frem til 2030 og på 21% frem til 2045. Det er estimeret, at den relative fejl på fremskrivningerne er $\pm 5\%$ i 2030 og $\pm 10\%$ i 2045.

² http://www.klimatilpasning.dk/media/576854/k_benhavns_klimatilpasningsplan.pdf

³ <http://www.dmi.dk/fo/klima/fremtidens-klima/danmark/>

For to af renselanlæggene, RL og RD, indikerer BIOFOS' opgørelse – baseret på ejerkommunernes udviklingsplaner – at befolkningstilvæksten med hhv. 14% og 19% allerede i 2025 vil gå hurtigere end DS-fremskrivningerne. For RA er forventningen en vækst på 9%, hvilket stemmer overens med DS. BIOFOS' designgrundlag og indledende detaljerede analyser er baseret på ejerkommunernes forventninger. Det er et sundt udgangspunkt, da man derved – med stor sandsynlighed – vil være på den sikre side.

Estimering af fremtidig tilstrømning

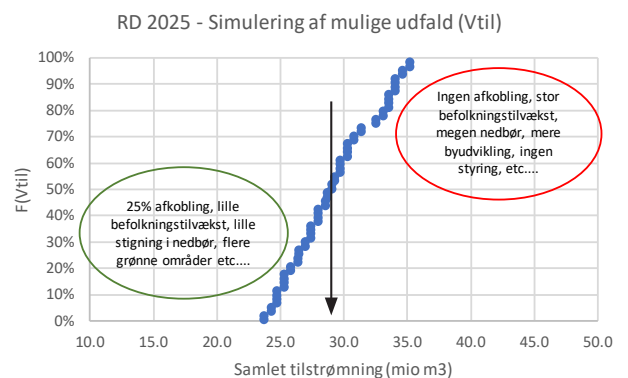
I oplandsmodellen er der tre inputvariable (nedbør, befolkningsantal og udledning fra erhverv og industri) og tre parametre (oplandsareal, afstrømningskoefficient og PE-specifikt vandforbrug). Under arbejdet med udbygningsplanen er der blevet foretaget dataanalyser og udarbejdet prognoser for alle seks model-variable, inklusive forventede usikkerheder og dermed sandsynlige variationsintervaller. Nedbørs- og befolkningsprognoserne nævnt ovenfor er et eksempel herpå. Resultatet af dataanalysen og fremskrivningen af tilstrømningen i 2025 er vist i Figur 8.

Figur 8

RD 2025 – Fordelingsfunktion for tilstrømningen i 2025 som funktion af mulige fremtidige udfald. Middelværdier og relative usikkerheder for de seks model-variable/parametre er vist til venstre.

RD - Data fremskrevet til 2025

Beskrivelse	Parameter	Middel	Enhed	CV
Oplandsareal	A=	56	km ²	10%
Afstrømningskoefficient	fi=	41%	%	10%
Specifikt vandforbrug	qb=	0.099	m ³ /dag/pop	5%
Årsnedbør	Psum=	705	mm/år	17%
Befolkningsantal	Npop=	286497	n	5%
Erhverv og industri	Ve+i=	3.3	mio. m ³	12%



Den forventede middeltilstrømning på RD i 2025 er ca. 29 mio. m³ med en relativ usikkerhed på ca. 5%. Det betyder, at middeltilstrømningen kunne blive så lav som ca. 23 mio. m³ – hvis en stor del af oplandet afkobles samtidig med lavere vandforbrug og en begrænset stigning i befolkningstal og årsmiddelnedbør. Den kan også blive så høj som 35 mio. m³ – hvis det modsatte sker. De to yderpunkter er dog kun lidt sandsynlige og det bedste bud er middelværdien.

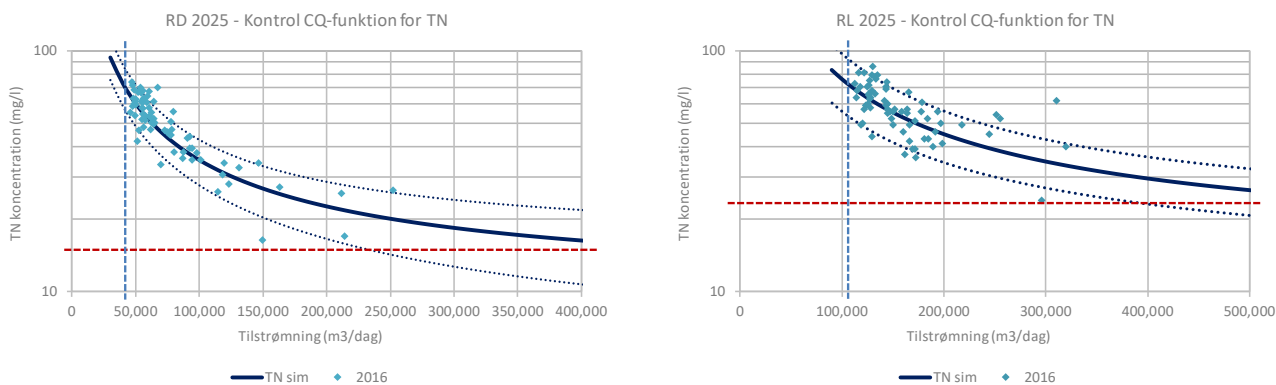
Figur 10

Kontrol CQ-diagram for TN (RD til venstre og RL til højre). Den røde stiplede linie er den forventede fremtidige TN-koncentration i den regnbetingede tilstrømning, og den blå lodrette stiplede linje er det forventede basis-flow (spildevandtilstrømning).

Kontrol af tilstrømning og stofbelastning

Tilstrømning og stofbelastninger udgør de øvre randbetingelser og dermed planforudsætninger for renselanlæg. Det er således nødvendigt at kende belastningerne med en vis sikkerhed, for at kunne vælge og dimensionere de rette løsninger/udbygninger, som det er vist i eksemplet i det foregående afsnit.

Imidlertid er det også vigtigt, at man kan følge udviklingen i den eksterne belastning til renselanlæggene og kontrollere, at designforudsætningerne overholdes. Dette forhold kan kontrolleres løbende v.h.a. de forventede fremtidige CQ-funktioner for tilløbet for de stoffer, der har størst interesse for drift såvel som for dokumentation i forhold myndighedskrav og udledningstilladelser. Figur 10 viser de fremskrevne CQ-funktioner for TN på RD og RL i 2025, sammen med konfidensintervaller og 2016 målingerne.



Flow- og koncentrationmålinger plottes i CQ-diagrammet efterhånden som de bliver foretaget. Hvis punkterne ($Q_{\text{til}}(t)$, $C_{\text{til}}(t)$) ligger indenfor kontrolintervallet, så går tingene som forventet. Hvis målingerne/punkterne systematisk begynder at ligge udenfor (over) kontrolintervallet er der grund til at genoverveje forudsætningerne. Det kan være, at tilstrømningen øges og/eller at koncentrationerne og dermed stofbelastningen øges, hvilket selvfølgelig har en stor betydning for renselanlæggenes drift og samlede udledning. Det skal bemærkes, at CQ-funktionerne også kan anvendes til at estimere koncentrationer mellem måledage og dermed forbedre beregningen af stoffluxer til og igennem anlæggene på daglig basis.

Sammenfatning og konklusion

Oplandsmodellen er en (meget) simpel udgave af almindelige hydrologiske modelsystemer, der naturligvis ikke kan beskrive den detaljerede infrastruktur i afløbssystemet. Til gengæld består det simple modelsystem af fysisk-baserede sammenhænge (vand- og stofbalancer) formuleret i en statistisk ramme. Det betyder, at man kan vurdere effekterne af et stort antal mulige fremtidige omstændigheder man ikke kan styre (nedbør, befolkningsudvikling) og på den anden side forskellige udbygningstiltag, dvs. forhold man kan styre (afkobling, forbrugsmønstre, udbygning af grønne områder, rensning af regnvand).

I oplandsmodellen beregnes først den samlede tilstrømning til renseanlægget som funktion af oplandets størrelse, afstrømningsforhold, nedbør, befolkningsantal, industriel udledning og specifikt vandforbrug. Her kan man således estimere effekten af mulige fremtidige ændringer i inputvariable og modelparametre, inkl. vurdere den samlede usikkerheden på den forventede tilstrømning. Vha. CQ-modellen kan man dernæst beregne koncentrationen af fx. TN i tilstrømningen – og dermed den samlede stofbelastning til et renseanlæg. Oplandsmodellen inkluderer variansberegninger der giver et konfidensinterval for middelbelastningen. Derved kan man vurdere med hvilken sikkerhed de planlagte udbygninger, givet den forventede men usikre udvikling i oplandet, vil kunne opfylde funktions- og udledningskrav.

I artiklen er det vist, hvilke data der er kræves for at opstille en oplandsmodel samt hvordan den kan anvendes til at foretage databaserede og veldokumenterede fremskrivninger af tilstrømning og stofbelastninger. Oplandsmodellen, kalibreret på data fra 2003-2016, er valideret på 2017 og 2018 for renseanlæggene Damhusåen og Lynetten, som er brugt som eksempler. Der er en god overensstemmelse mellem de simulerede og målte tilstrømninger på begge anlæg i begge år. Anderledes er det med de simulerede COD-belastninger på RL, hvor der tilsyneladende har været en uforklarlig og markant stigning i stofkoncentrationen i den regnbetingede tilstrømning. For de andre stoffer på RL, samt på RD, simulerer oplandsmodellen den samlede stofbelastning på tilfredsstillende vis.

Studieophold på NTNU efteråret 2019



Af: Marianne Fink, WSP

Mit udvekslingssemester på Norges Tekniske og Naturvidenskabelige Universitet (NTNU) blev afsluttet lige inden jul 2019. Det har på mange måder været en stor oplevelse – og på hjemrejsen til Danmark sad jeg med en følelse af taknemmelighed og tilfredshed over de muligheder jeg fik og tog til mig.

At flytte til et andet land og studere på et nyt universitet er lærerigt, spændende og intenst. Fra første dag blev jeg kastet ud i nye relationer, nye omgivelser, nye måder at studere på og nye traditioner. Kort sagt en hel ny hverdag, der kræver en god portion optimisme, gåpåmod, omstilling og energi. Her på den anden side af udvekslingsopholdet vil jeg prøve kort at sætte ord på mit faglige og personlige udbytte af studieopholdet.

Jeg har i alt fulgt fire kurser, der i perioden 27. november til 18. december 2019 blev afsluttet med en skriftlig eksamen. Kurserne var bygget op med traditionel forelæsning efterfulgt af øvelsesopgaver. Al undervisning og vejledning foregik på engelsk. Øvelsesopgaverne skulle afleveres individuelt, men jeg sad oftest med mine medstuderende og diskuterede opgaverne. En meget lærerig og sprogligudviklende arbejdsproces.

Tre af kurserne er en del af det 2-årige kandidatprogram Hydropower Development. Et meget internationalt program med studerende fra Europa, Asien og Afrika. Især kurset Modelling Water Resources havde et bredt og spændende internationalt udsyn på jordens vandressource. Vi blev i dette kursus og i faget Hydrological Modelling præsenteret for meget ny forskning, beregningsmetoder og modeller. Eksempler er anvendelse af GIS i hydrologiske modeller, beregning af afsmeltning af sne, oplandsafstrømning i HBV-modellen og vandførings- og vandstandsmodellering i open sourceprogrammet HEC-RAS. Dertil har jeg anvendt den norske pendant til Scalgo kaldet Nevina. Undervisningen lagde ikke op til dybdegående arbejde med de enkelte beregningsmetoder og modeller, men har givet et bredt indblik og introduktion til mulige analysemetoder og -værktøjer. Mange af de problematikker vi blev præsenteret for i undervisning og opgaver var vandkraftsrelaterede. Det har været lærerigt med et nyt udgangspunkt for ingeniørmæssige udfordringer og løsninger omhandlende vand.



NTNU



Herunder følger en række blandede billeder fra mit semester på NTNU.

I faget Hydraulic Design gjorde vores laboratorieøvelser størst indtryk. Vi afprøvede teori om strømningsforhold, vanddybder og hydrauliske fænomener i instituttets store forsøgshal. Dertil lavede vi forsøg med en 1:40 model af et reservoir tilknyttet et vandkraftværk kaldet Strandvatndammen.

Kurset Urban Water System omhandlede vanddistribution og rørlagt håndtering af spildevand og regnvand. Her var introduktionen og arbejdet i PCSWMM særligt lærerigt, da jeg hidtil er blevet undervist i Mike Urban. Kurset indeholdte en ekskursion til en spildevandstunnel, pumpestation og overløbsbygværk i Trondheim Kommune, ligesom vi så rørsugning og CCTV-inspektion samt havde gæsteforelæsnings i asset management og nodig technology.

Mit semester på NTNU har bidraget med viden om udfordringer og løsninger, som vi ikke direkte har i Danmark, men som kan blive aktuel, når jeg i fremtiden tror og håber på at arbejde i et internationalt miljø. Målet og drømmen om at arbejde i udlandet i løbet af min kommende karriere har fået et stort boost dette efterår. Dertil har mine engelske sprogkunders fået et nyk opad. Mange af mine klassekammerater, professorer og venner var europæiske, og jeg føler mig klart mere europæisk end før. Jeg har fået europæiske kontakter, der måske er begyndelsen på et større europæisk netværk.

Studierne på universitetet har været fagligt og personligt udviklende, men fritiden og opbygningen af venskaber og fællesskaber udenfor klasselokalet har været den største og sværeste personlige udfordring, udvikling og succes. Det lykkedes mig at skabe en hverdag med aktiviteter, sport og aftaler med nye venner. En hverdag med god balance mellem studietid og fritid. Jeg har haft det rigtig godt i Trondheim, og jeg vil uden tvivl se tilbage på efterårssemesteret 2019, som et af de bedste i min studietid.

- "Networking" med de omkring
- 1200 nye internationale studerede
- den første dag på NTNU.

- Konkurrence rundt i Trondheim
- med en gruppe af 10 andre nye
- internationale studerende.

- Vaffeldag og undervisning i overløbsbyg-
- værker på instituttet. Den anden torsdag
- i hver måned bliver der bagt vaffler til alle
- i de studerendes køkken på instituttet.

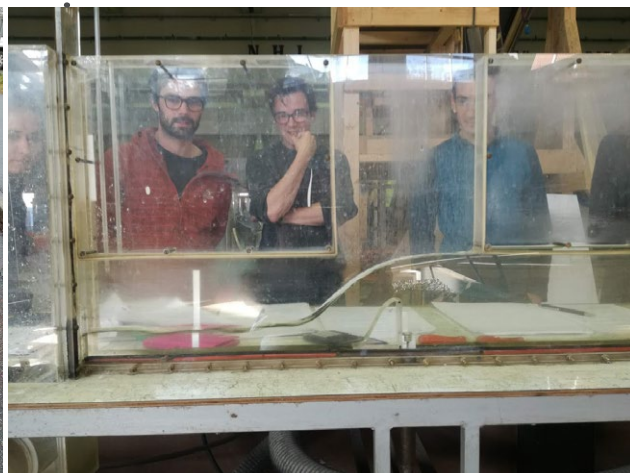
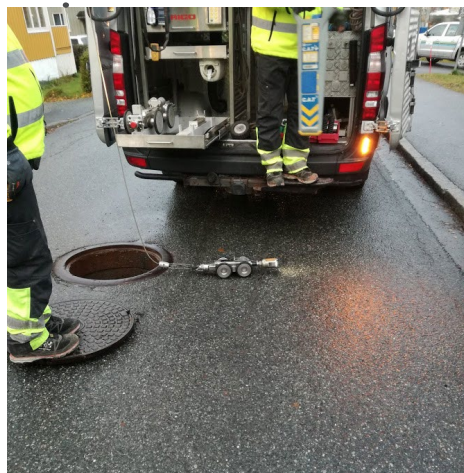




- Ekskursion til blandt andet
- spildevandstunnel, der fører
- store mængder spildevand under
- Trondheim by til renselanlægget.
-
-

- Demonstration af CCTV-
- inspektion af spildevandsled-
- ning ved instituttet.
-
-

- Hydrauliske forsøg i
- instituttets laboratorie.
-
-



EVA studierejselegat

*for studerende på de videregående
uddannelsesinstitutioner*

Studerer du indenfor det faglige område, som EVA-udvalget normalt dækker gennem temadage, og har du mod på at rejse ud i verden og hente ny viden med hjem til Danmark og videreformidle denne viden, da har du mulighed for at søge det nye EVA-studierejselegat.



Formål

- At medvirke til at studerende opsøger ny/nyeste viden indenfor EVA-udvalgets faglige interesseområder gennem deltagelse i seminarer, kurser på udenlandske universiteter, udstillinger, studieture, studie/praktikophold eller lignende
- At dygtiggøre danske studerende og give dem international indsigt
- At medvirke til at der bringes ny viden og inspiration med hjem til Danmark, og at denne formidles til EVA's medlemmer gennem et mundtligt indlæg på en EVA-temadag og et skriftligt indlæg i EVA-bladet.

Vilkår

1. Legatet kan søges af danske studerende, som har gennemført mindst 2 år af en dansk videregående uddannelse og indenfor en EVA-relevant studieretning
2. Legatet kan kun søges individuelt, dvs. af enkeltpersoner, og kan kun tildeles den samme person én gang
3. Legatet kan tildeles til deltagelse i fagrelevant aktivitet
4. Ansøgning med kort beskrivelse af aktiviteten og det forventede udbytte heraf, vedlagt budget og udtalelse/anbefaling fra studiested kan løbende fremsendes pr. mail til EVA-udvalget, se yderligere information herom på evanet.dk. Der findes ikke noget ansøgningsskema. Eventuelle spørgsmål kan rettes til EVA-udvalget
5. Legatet kan maksimalt være på DKK 20.000,-
6. Alle ansøgninger besvares personligt direkte til ansøgeren når afgørelsen er truffet
7. EVA-udvalget afgør suverænt eventuelle tvivlsspørgsmål vedrørende opfyldelse af ovennævnte vilkår
8. Legatmodtageren fremsendes umiddelbart efter aktiviteten en kort skriftlig redegørelse, indeholdende et kort resume af aktiviteten og en evaluering af udbyttet for legatmodtageren
9. Et studierejselegat er som udgangspunkt skattefrit, men legatet indberettes til SKAT, hvilket betyder at legatmodtageren er pligtig til at gemme de nødvendige dokumenter/bilag til dokumentation af de afholdte udgifter
10. På normalt næstkommende EVA-temadag afholder legatmodtageren et fagligt indlæg, baseret på deltagelse i aktiviteten, samt leverer et skriftligt indlæg til det efterfølgende EVA-blad.

