

Påvirker langsom indsigvning aflastningerne fra Spildevandscenter Avedøre (SCA) i København?

RDII - Simulering af langsom indsigvning i afløbssystemet hos SCA

Resultater af et langt arbejde med modelopsætning

Sabah Al-Shididi¹ & Frank Agerskov²

¹ MSc Environmental Eng., MSc Environmental Policy, BSc Building and Construction Eng., SWECO Environment AB, VA System, Gjörowellsgatan 22, SE-100 26 Stockholm, sabah.al-shididi@sweco.se

² Ingeniør, Krüger A/S, Gladsaxevej 363, DK-2860 Søborg

Abstract

Infiltration represents load on wastewater treatment plants and drainage system capacity. As a consequence the society pays more expenses for wastewater treatment, overflows and/or flooding, which can pollute the environment and damage properties. Modelling of infiltration is the first step to eliminate it. Such modelling is traditionally practiced by entering infiltrations into the model as constant or seasonally variable input. This has shown misleading results especially in drought periods and in years that has a different pattern of rain, snowing or temperature than the usual pattern. Calibrations of the Mike Urban MOUSE regional model from Avedøre Wastewater Services west of Copenhagen shows that dynamic modelling of infiltration by implementing Rain Dependent Inflow and Infiltration (RDII) module is a better method to describe infiltration. RDII calibration requires 2-3 years flow measurement campaign, which can last up to 5 years. Surface runoff simulation should start one year before flow measurement starts to obtain credible results.

Abstrakt

Indsigvning er en overbelastning for renseanlæg og afløbskapaciteten, da det betyder en større mængde spildevand, der skal renses eller aflastes og hermed henholdsvis give brugerne og samfundet større omkostninger for at rense større mængde spildevand eller forurene miljøet ved overløb fra renseanlægget og overløb/-svømmelse fra afløbssystemet, som også kan ødelægge ejendom. Modellering af indsigvninger er første skridt mod at fjerne dem. Traditionelt har man indlæst faste indsigvninger i modellen. Dette har vist, at det giver misvisende resultater især i tørre perioder. Dynamisk modellering af indsigvninger ved anvendelse af RDII (Rain Dependent Inflow and Infiltration) modulet er en bedre måde, at beskrive indsigvninger viser kalibreringer mod flow fra Spildevandscenter Avedøre (SCA) vest for København. RDII-Kalibrering kræver 2-3 år flowmålingsperiode op til 5 år. Overfladafstrømningssimuleringen skal starte et år før flowmålingen starter for at få troværdige resultater.

Key words: Infiltration, dynamic modelling, RDII, overflow.



Figur 1: SCAs opland - 10.000 ha. Flowmålepunkterne i perioden 1989-1991 lysblå pletter.

Introduktion

I store afløbssystemer af en vis alder kan infiltration (indsivning) under og efter en regnhændelse optage en væsentlig del af afløbssystemets transportkapacitet. Under en hændelse vil det betyde øget risiko for aflastninger og opstuvning. Efter en hændelse betyder det øget hydraulisk belastning af renseanlægget og lange tømningstider for store bassiner. De lange tømningstider betyder at systemet vil have en betydelig mindre kapacitet, hvis en ny regnhændelse skulle komme. Ved kapacitetsundersøgelser af store afløbssystemer inklusivt renseanlæg er det derfor vigtigt at denne infiltration medtages i de modelberegninger, der anvendes.

SCAs opland består kloaksystemer fra 10 kommuner vest for København. Det kloakerede areal er 10.025 ha heraf 1.405 ha er fælleskloakeret. I alt 2300 km kloaknet, der afleder spildevand fra oplandet til renseanlægget. Oplandet afleder 353.202 PE til renseanlægget. Dette omregnes til ca. 13,6 mio. m³ pr. år. Så måles der på indløbet til renseanlægget ekstra mængde vand på 9,5 mio. m³, som er betragtet som indsivningsvand til kloaksystemet opstrøms renseanlægget. Overblik over oplandet fremgår af Figur 1: SCAs opland - 10.000 ha. Figur 1.

Modellen på SCA

SCA har gennemført en undersøgelse af den tilrådighedsværende kapacitet af afløbssystemet og renseanlægget med henblik på at sikre at det samlede system opfylder de service- og miljømål, der er opsat for systemet. For at gennemføre denne undersøgelse er der opstillet en MOUSE model med NAM modulet og senere hen er det blevet kaldt Mike Urban-MOUSE model med RDII modulet. I nedenstående er en gennemgang af modellens historie:

1. 1989-1994
 - a. I 1989-1993 er der blevet samlet og bygget op en MOUSE model, hvor overflademodellen medtager både den direkte afstrømning og den indirekte "infiltrationen".
 - b. Infiltrationsdelen simuleres ved anvendelse af en lineær reservoirmodel (NAM-modellen, senere kaldet RDII), hvis parametre skal kalibreres, da det er en konceptuel model. I dette tilfælde er modellen kalibreret ved at anvende to års (1989-1991) måledata fra 4 målestationer.
 - c. RDII-modellen er kun blevet kalibreret for vandbalancen baseret på hele perioden i m³/døgn.
 - d. Ud over infiltrationsdelen har man opstillet og kalibreret en tørvejrsmode, samt naturligtvis også kalibreret modellen for den direkte afstrømning.
 - e. Måledata (Se Figur 1) stammer fra 2 pumpestationer, en permanent installeret flowmåler og fra måleren ved tilløbet til renseanlægget, Krüger (1993). Der er yderligere anvendt et års (september 1993-oktober 1994) data fra de samme målesteder til verifikation af den kalibrerede model, Krüger (1994).
 - f. Under opstilling af modellen var det tydeligt, at det var nødvendigt med en realistisk model for infiltrationsdelen, da den udgør en stor andel af den samlede tilstrømning til renseanlægget. Det viste sig også, at på trods af at det er en konceptuel model, så kan den kalibreres og verificeres for så stort et opland som oplandet til SCA renseanlæg er.
2. 2005
 - a. Modellen er blevet opdateret og detailbeskrivelse for de 10 kommunes kloak system er blevet tilføjet, SCA (2005).
 - b. Der er ikke foretaget yderligere kalibreringer og samme RDII parametre fra 1994 er blevet brugt til at kunne kalibrere vandbalancen (RDII-oplandsarealer) i den opdaterede model. Der er ikke blevet kalibreret yderligere parametre.
3. 2009-2011
 - a. Modellen er blevet detailkalibreret efter 35 målepunkter i oplandet. Måledata er fra perioden 2009-2010. Der er blevet tilføjet faste indsivninger til modellen på baggrund af PE tallet, COWI (2011)
 - b. RDII-modulet er blevet detailkalibreret i 2011 på m³/time basis over flere dage for både regnhændelse og tørvejrperioder for 19 målepunkter af de 35, Al-Shididi (2011).
4. 2012-2013
 - a. Kalibrering af regn-afstrømning (Volumenkalibrering for oplande) er blevet gennemført på baggrund af data fra 2009-2010. Modellen er kørt på baggrund af de indhentede resultater fra volumens kalibrering. Faste indsivninger, der er tilføjet i 2011 er blevet fjernet og yderligere kalibrering af RDII er ikke blevet foretaget, Krüger (2012).

- b. Ved hjælp af langtidssimuleringer (LTS), hvor der anvendes ca. 30 år lange regnserier fra flere regnmålere, kunne modellen anvendes til at finde gentagelsesperioder for de effekter, der er beskrevet i service- og miljømål for systemet. I dette tilfælde er det et service mål, at der ikke sker opstuvning til terræn hyppigere end hvert 10. år og at der ikke aflastes oftere end en gang hvert andet år fra bassinerne i oplandet, Krüger (2013).
 - c. Modellen anvendes også til at vurdere den nødvendige kapacitet af de pumper der styrer tilstrømningen til renseanlægget, når renseanlæggets kapacitet styres afhængig af mængde og kvalitet af det tilstrømmende vand.
5. Fremtiden
- a. Yderligere kalibreringer på baggrund af de ændringer, der er lavet i modellen i 2011, hvor uoverensstemmelse mellem modellen og virkeligheden på nogle nøglesteder i modellen er blevet opdaget under kalibreringen.
 - b. Yderligere detailkalibrering af RDII-modulen for alle målepunkterne og yderligere valgte nøglepunkter er nødvendige for at præcisere hvor indsivningerne kommer fra og dermed stopper dem eller indgår aftale med de lokale Kommuner for at reducere det til en vis grænse der lever op til målsætningen sat af SCA i fællesskab med ejer-kommunerne.
 - c. I fremtiden kunne man forestille sig, at den også kunne anvendes til model prædiktivt styring af afløbssystem og renseanlæg.
 - d. Modellen kan udbygges til at simulere vandkvalitet, enten under anvendelse af det deterministiske forureningstransport modul der findes til Mike Urban eller ved anvendelse af en mere empirisk fortolkning. Med sådanne vandkvalitets data for transporten i afløbssystemet kan man f.eks. vælge at aflaste det vand, der er meget lidt forurenet for ikke at kompromittere funktionen af renseanlægget ligesom man kan styre renseanlægget til en mere optimal funktion ud fra viden om, at der kommer en lang hale af meget fortyndet spildevand.

Modellering af Indsivning (Infiltration)

Når man ikke vil eller kan bruge RDII modulet, vil man ofte anvende følgende metode til at modellere indsivninger:

1. Man medtager infiltration som en konstant mængde, der tilledes jævnt over hele systemet på baggrund af areal, PE, etc.
2. Man tilføjer ekstra oplande med meget stor afstrømningstid.
3. Man indlæser en vis mængde infiltration pr. længde rør af systemet.

Ovennævnte metoder forudsætter, at man har grundige og detaljerede data omkring både indsivningskilder og -mængde og ikke desto mindre grundvandsspejl og niveauændring over årtiderne for at opnå troværdige simuleringresultater. Man bruger dermed en deterministisk metode, som går ud på at have viden om håndgribelige aktiviteter af indsivninger. Ofte bruger man simplificerede antagelser og indlæser dem i modellen, når data ikke er tilstrækkelige.

I lyset af de flowmålingsdata, der er til rådighed, er ingen af ovennævnte metoder i stand til at beskrive den tidsmæssige fordeling og den faktiske mængde af infiltrationsdelen tilstrækkeligt realistisk især under tørvejr og under ændring af grundvandsspejl til, at man kan anvende resultaterne til planlægning af udbygning /renovering eller til modelprædiktiv styring af store afløbssystemer og renseanlæg.

I alle de situationer, hvor man har behov for at gennemføre en langtidssimulering (LTS) for at etablere en sammenhæng mellem en effekt (aflastning, oversvømmelse og belastning af renseanlæg) og en gentagelsesperiode, er det nødvendigt med en realistisk simulering af infiltrationsbidraget. De ovennævnte metoder vil ikke kunne anvendes i denne sammenhæng, og altså slet ikke for store systemer.

Alternativet er RDII model (eller NAM model) som et modul af en 1-dimensionel hydraulisk rørmodel (Som Mike Urban-MOUSE). RDII er en konceptuel model, hvor flowmåledata bruges til kalibrering af modelens parametre, der ikke er relateret til fysiske forhold i oplandet. Dette er, hvad man har gjort siden 1989 til i dag med oplandets udvikling.

Forudsætninger for RDII kalibrering

RDII kalibrering er en omfattende opgave, hvor man fra en tidlig fase som planlægning af flowmålekampagnen skal definere, hvordan modellen kalibreres og på baggrund af hvilke målepunkter. Kalibrering gennemføres på baggrund af følgende:

1. **Flowmåleperioden:** For et opland lige som SCAs, skal perioden være mindst 2-3 år for at få tilstrækkelige data, da 2 år ikke er tilstrækkeligt, hvis en af årene har en ualmindelige nedbør, sne eller tørkeperiode. I juli 2011 var der en 1000 til 3000 års regnhændelse. Perioden kan være op til 5 år (DHI-RDII, 2012).
2. **Kvantitativ kalibrering** for vandbalancen (volumen) skal laves over hele flowmålingsperioden på $\text{m}^3/\text{døgn}$ basis for udvalgte nøglemålepunkter. Dette gøres ved at justere "Asrc" af RDII-arealer. Det vil sige, at RDII-areal bidrag justeres. Man skal lægge mærke til særlige events i løbet af måleperioden såsom regn i løbet af vinterperioden som fx. fandt sted i januar-februar 2007, lang periode af sne om vinteren og exceptionel våd sommer eller flere regnhændelser med høj intensitet af regn over sommeren som var tilfældet i 2009 og 2011.
3. **Kvalitativ kalibrering** for "Curve fitting" laves over udvalgte kortere perioder (dage eller uger) på m^3/time eller m^3/s basis ved at justere resten af parametrene. Man vælger følgende perioder:
 - a. Tørkeperiode for kalibrering af bundflow eller "base flow" med nogle parametre.
 - b. Regnperiode for kalibrering af spidsform "peak shape", spidsfordeling "peak distribution" og generelt kurve dynamikken "curve dynamics" ved kalibrering af nogle andre parametre, som er beskrevet i DHI-RDII, (2012).
 - c. Haler "Tales" og bundflow "baseflow" efter våde perioder "Wet periods" kan bruges til kalibrering af "Curve tales fitting" ved kalibrering af nogle andre parametre, som er beskrevet i DHI-RDII, (2012).
4. **Vejrdata:** Man skal ikke glemme at bruge temperaturtidsserier som input i modellen, fordampningstidsserier "evapotranspiration" ud over regn data, når man kalibrerer, da det har en betydning for nogle parameterkalibreringer.
5. **Verificering:** Når "Curve fitting" over hele perioden ikke er tilstrækkelig godt nok, er man nødt til at verificere vandbalancen i kortere perioder for ekstra nøjagtighed og gode resultater.
6. **Mangel på gode data** for regn, fordampning, temperatur og flowmåling, der passer til modellens tid og placering kan have en markant effekt på hvor lang tid man skal bruge til kalibrering.
7. **Mangel på fysiske data** i MOUSE modellen (oplande, rørdiameter, PE-antal, direkte flow fra udenfor modellen, tværsnitsprofiler, beskrivelse af komplicerede bygværker med mere) samt forkerte data i modellens opbygning, kan gøre kalibreringen til en endnu mere vanskelig opgave. Man skal lægge mærke til disse effekter, undersøge dem, udpege og rette eller kompensere for dem for at opnå troværdige resultater.
8. **Lang tidssimulering af overfladeafstrømning:** RDII beregninger til indsivningssimulering kræver langtidssimulering af overfladeafstrømning over min. 2-3 år.
9. **Overfladeafstrømningsmodellen køres et år tidligere** end flowmålingen starter for at fylde RDII-delen af modellen. Dette vil sige, at hvis måleperioden er 2009-2010, så kører man modellen fra 2008-2010, hvor kun de sidste to år kalibreres. "Surface Storage" i RDII-modellen skal fyldes op før "overland flow" og "infiltration"/indsivning træder i kraft i modellen.
10. **Ingen fasteindsivninger tilføjes modellen med mindre**, at der er tilstrækkelige data over grundvandsspejlsbevægelse, der er regn uafhængige. Dette kan RDII ikke beskrive tilstrækkeligt. Derfor er det nødvendigt, i sådanne tilfælde, at disse data i modellen i form af faste indsivninger, som kan repræsentere regn uafhængige indsivninger fra grundvand. Sådant regn uafhængig bevægelse af grundvandsspejl kan være relateret til følgende eksempler:
 - a. På årtidsbasis, når primære og sekundære magasiner af grundvand under modellens område bliver påvirket, af smeltning eller saltholdighedsændring i grundvandsmagasiner, som er koblet til grundvandsmagasiner, der er under modellens område.
 - b. Øget eller reduceret indvinding af grundvand over lang periode pga. forurening i grundvand eller pga. etablering/nedlæggelse af projekter/konstruktioner, som skal beskyttes mod grundvand.
 - c. Genoplevelse eller nedlæggelse af søer.

- d. Etablering eller nedlæggelse af hydrauliske konstruktioner, som dæmninger, kanaler, drænsystemer, mv.
- e. Øget hydraulisk belastning på nærliggende vandløb og drænsystemer pga. separering af afløbssystemer, dræning af områder opstrøms, mv.

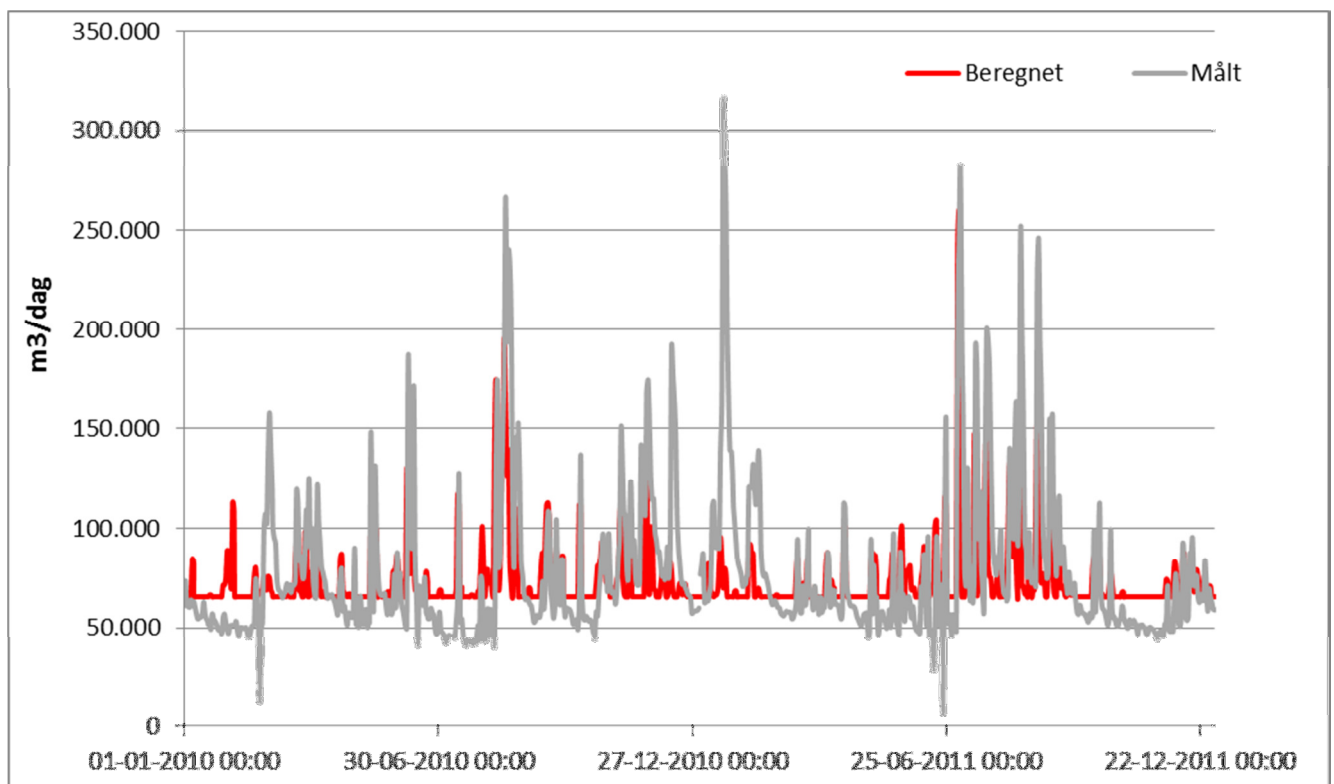
Indlæsning af infiltration vs. RDII modellering på SCA

SCAs regionalmodel er kørt to gange, hvor i den ene er anvendt RDII og indlæste PE baserede indsivninger for hvert opland i modellen og i den anden er kun RDII anvendt dvs. indlæste PE baserede indsivninger er fjernet fra modellen. Effekten af en sådan forskel kunne ikke vises så tydeligt. Derfor er en simplificeret model brugt til at illustrere denne effekt.

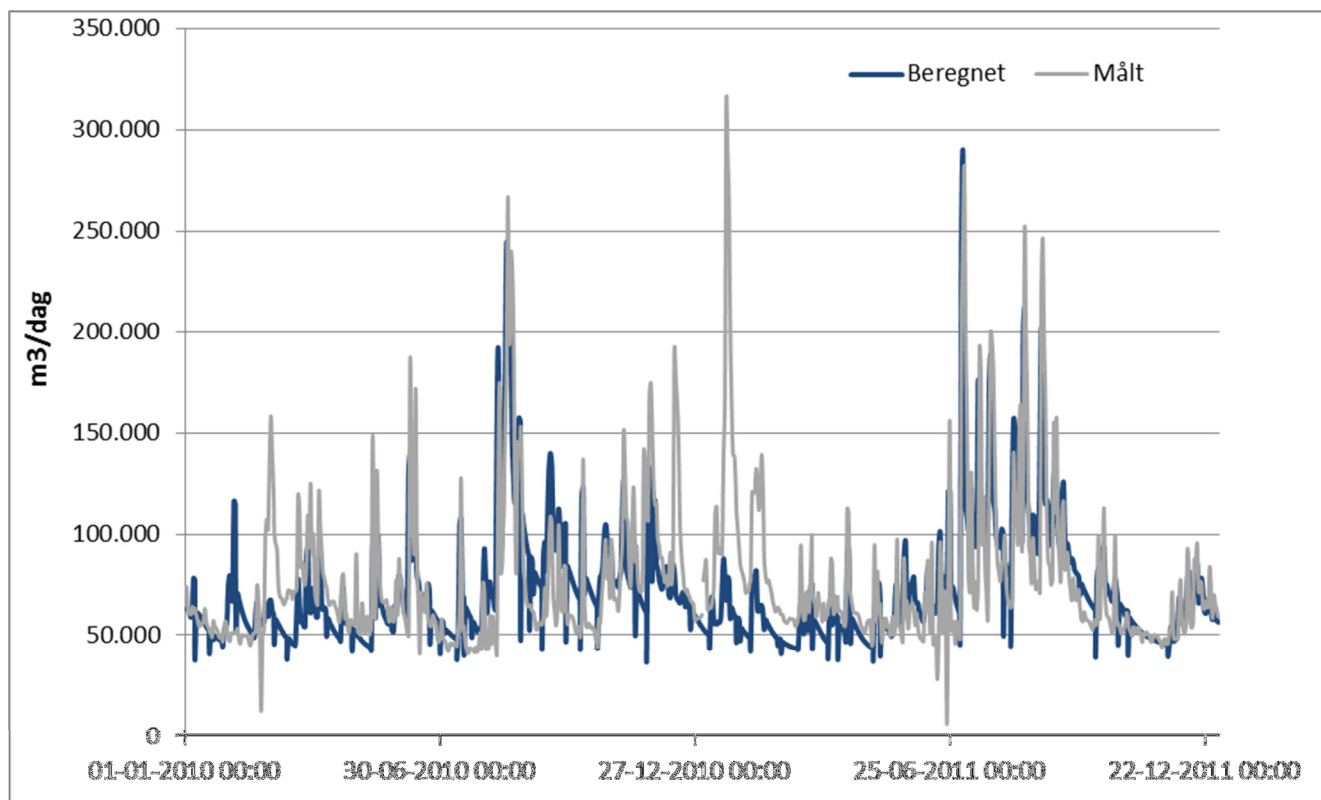
Resultater fra RDII beregninger for en simplificeret model af SCAs regionalmodel har vist, at RDII er mere troværdig end indlæste PE baserede indsivninger. Dette er illustreret i Figur 3 for vandføring til SCAs renseanlæg, Figur 4 for årlige indløbsmængder til renseanlæg, Figur 5 for antal af aflastninger på SCA og Figur 6 for aflastninger på SCA.

Som det fremgår af grafen i Figur 2 simuleres døgntilledning til SCAs renseanlæg ikke særlig godt, når der anvendes konstant indsivning i modellen. Som det fremgår af grafen Figur 3 simuleres døgntilledningen bedre, når der anvendes RDII.

Bedre kalibrering for regionalmodellen vil også vises i den oprindelige model, at RDII er mere troværdig end faste indsivninger

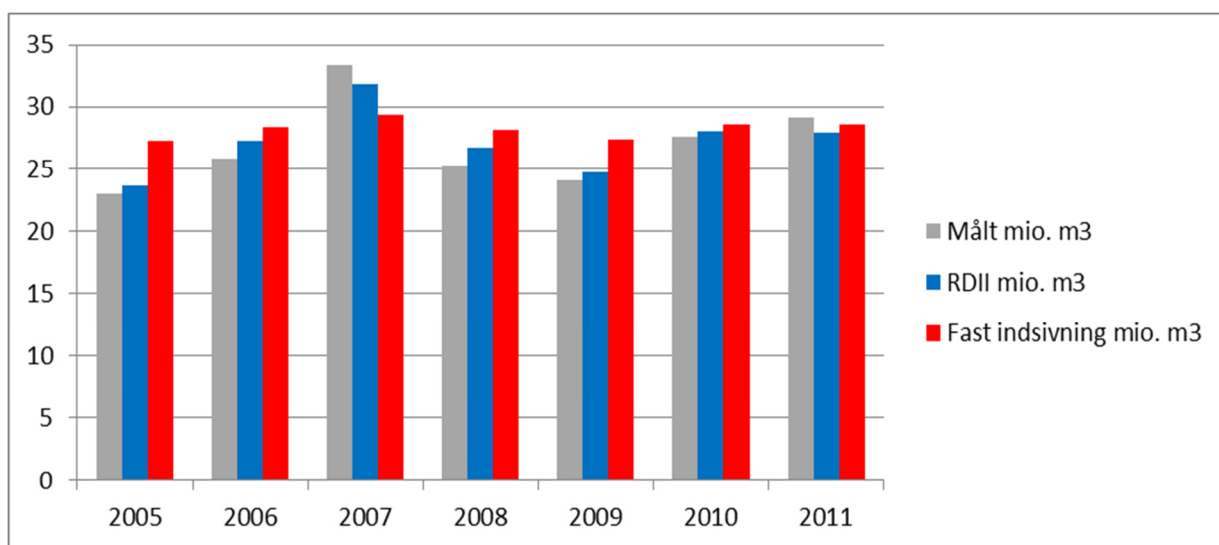


Figur 2: Eksempel på statisk simulering af indsivning. Målt vandføring til SCAs renseanlæg sammenlignet med beregnet vandføring, hvor indsivning er indlæst som konstante værdier.

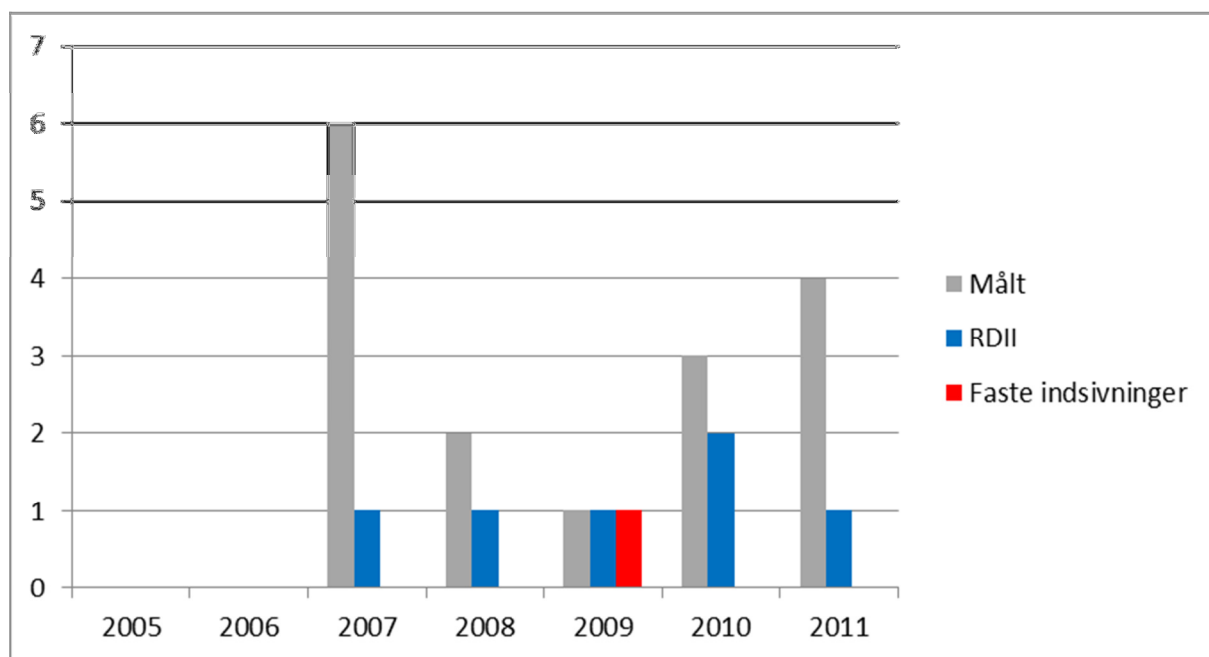


Figur 3: Eksempel på statisk simulering af indsivning. Målt vandføring til SCAs renseanlæg sammenlignet med beregnet vandføring, hvor indsivning er modelleret som RDII-model.

Figur 4 viser årlige målte tilledninger til SCAs renseanlæg sammenlignet med resultater for den simplificerede model for årlige tilledninger beregnet med konstante indsivninger og med RDII uden konstante indsivninger. Figur 4 viser at RDII-modellen er mere præcis end modellen med faste indsivninger.

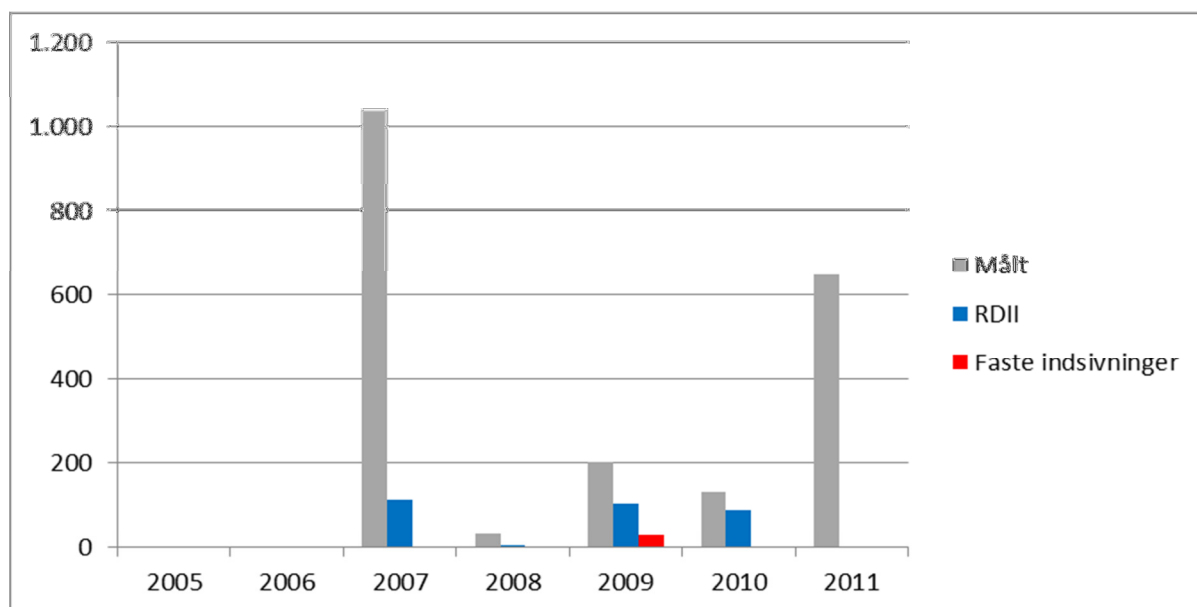


Figur 4: Målte årlige indløb til SCAs renseanlæg sammenlignet med beregnede årlig indløb, hvor der er anvendt RDII og hvor der er der er anvendt faste indsivninger.



Figur 5: Antal af målte overløb på SCAs renseanlæg sammenlignet med antal af beregnede overløb, hvor der er anvendt RDII og hvor der er anvendt faste indsigninger.

Figur 5 viser årlige antal af målte overløb på SCAs renseanlæg sammenlignet med årlige overløb med konstante indsigninger og med RDII uden konstante indsigninger fra den simplificerede model. Figur 5 viser at RDII-modellen er mere troværdig end modellen med faste indsigninger.



Figur 6: Målte overløb på SCAs renseanlæg sammenlignet med beregnede overløb, hvor der er anvendt RDII og hvor der er anvendt faste indsigninger i 1000 m³.

Figur 6 viser årlige målte aflastninger (overløb) på SCAs renseanlæg sammenlignet med årlige overløb med konstante indsivninger og med RDII uden konstante indsivninger fra den simplificerede model. Figur 6 viser at RDII-modellen er mere troværdig end modellen med faste indsivninger selvom der er en del forskel inden man kan sige modellen er kalibreret. Bedre kalibrering af oprindelige model (ikke simplificeret) kan give bedre resultater.

Konklusioner

1. Dynamisk modellering af indsivning er essentiel for troværdige beregningsresultater.
2. Indlæste faste indsivninger kan give misvisende resultater, især i tørvejr og når grundvandsniveau varierer med årstid.
3. Regnuafhængige indsivninger fra grundvand kan tilføjes modellen som faste indsivninger, der repræsenterer sådan bevægelse over måleperioden.
4. RDII-kalibrering er ikke en nem opgave på grund af at udover at være en konceptuel model, så er der også flere parametre man skal kalibrere for en lang periodes modelkørsel. Der er stadigvæk hardware-begrænsninger og software ustabilitet der gør det tidskrævende, men det er ikke umuligt.
5. I en simplificeret model kan vandbalancen bliver utroværdig og derfor kan overløb i form af mængde og årlig antal være upræcist

Referencer

- Al-Shididi, Sabah (2011). Kalibrering af Regionalmodellen. Rapport Spildevandscenter Avedøre I/S. 19. August 2011.
- COWI (2011). Kalibrering af MIKE URBAN model for afløbssystemet i Brøndby og Glostrup. Rapport for Spildevandscenter Avedøre, COWI. Februar 2011.
- DHI-RDII (2012). MOUSE – Rain Dependent Inflow and Infiltration. Reference Manual. Mike by DHI. Danish Hydraulic Institute.
- Krüger (1993). Modelundersøgelse af Avedøre Kloakværks opland og renseanlægget på Avedøre Holme. Rapport. Krüger A/S. Juni, 1993.
- Krüger (1994). I/S Avedøre Kloakværk – Supplerende MOUSE-PILOT beregninger. Rapport. Krüger A/S. November 1994.
- Krüger (2012). DATAEVALUERING OG VOLUMENKALIBRERING – Spildevandscenter Avedøre. Rapport; Krüger A/S. 25. juni 2012.
- Krüger (2013). Hævning af overløbskant på RB03. Til Spildevandscenter Avedøre. Notat; Krüger A/S. 12. marts 2013.
- SCA (2005). Kapacitetsplanlægning – Dokumentation af MOUSE model. Rapport. Spildevandscenter Avedøre I/S. Juni 2005.