MODFLOW-LID kvantificerer LAR-effekten

MODFLOW-LID er en ny hydrologisk model, som kan simulere LAR på detailniveau integreret med grundvand og opskalere effekten til kloakoplande og byens vandkredsløb. Modellen er et gennembrud i planlægningen af robuste LAR-strategier for bydele, fordi modellen giver mulighed for både at evaluere den hydrauliske effekt på kloakken og risikoen for afledte effekter som stigende grundvandsspejl og fugtige kældre.

Jan Jeppesen & Christian Ammitsøe

Baggrund

Lokal afledning af regnvand (LAR) er et attraktivt middel til regnvandshåndtering og klimatilpasning. En analyse af mulighederne for at anvende LAR forskellige steder i en by er imidlertid kompleks idet LAR påvirker byens rum og fysiske strukturer. Anvendelse af LAR kræver derfor planlægningsmæssigt helhedssyn, borgerinddragelse og input fra flere fagdiscipliner - ikke mindst fra hydrologi.

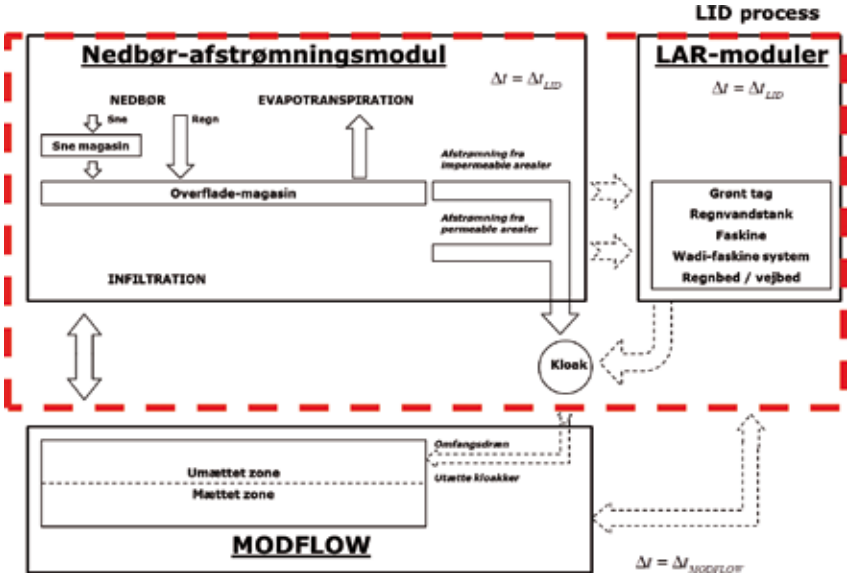
I Vandsektorens Teknologiudviklingsfond (VTU) projekt 7520-2012 er der udviklet en ny hydrologisk LAR-model, som kan benyttes som beslutningsstøtte til at få svar på om det er muligt at opnå en tilstrækkelig effekt af LAR-løsninger for et givet område i forhold til målsætninger for afkobling, hydraulisk effekt på kloakken og områdets nedsivningskapacitet – og hvor meget succeskriteriet er afhængigt af borgernes valg omkring LAR-løsninger.

MODFLOW-LID

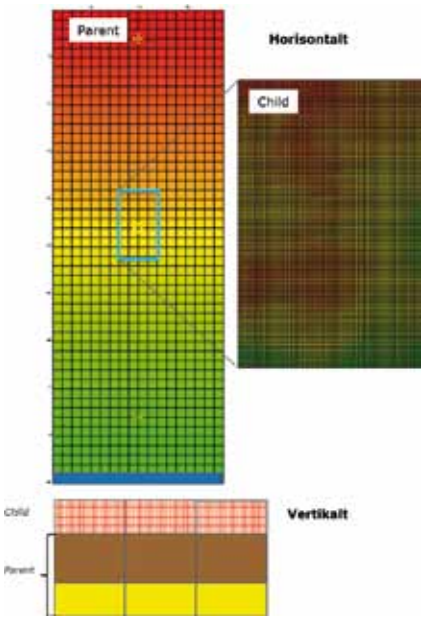
Den nye hydrologiske model simulerer byens vandkredsløb med fokus på overfladisk afstrømning fra impermeable og permeable arealer, LAR og grundvand. De udviklede beregningsmoduler er implementeret som en selvstændig beregningsproces "LID" (Low Impact Development) i den U.S. Geological Survey (USGS) baserede finite-difference grundvandsmodel-program MODFLOW og benævnes "MODFLOW-LID". LID er den amerikanske betegnelse for LAR.

MODFLOW-LID har beregningsmoduler for grønt tag, regnvandstank, wadi, faskine m/u dræn og vejbede, se figur 1. Faskine-modellen medtager to-vejs interaktionen mellem nedsivningselementer og grundvand. Afstrømningen kan ledes gennem flere LAR-elementer før udløb til kloak (eller recipient). Modellen simulerer også grundvandsrelaterede bidrag til afløbssystemet fra omfangsdræn og utætte kloakrør. Det totale bidrag til afløbssystemet akkumulereres i kloakoplande og kan gives som input til en afløbsmodel, så effekten af LAR på opstuvnings- og oversvømmelses-hændelser i afløbssystemet kan simuleres og belyses.

MODFLOW-LID benytter den specielle LGR-metode (Local Grid Refinement), som muliggør en koblet simulering af en lokal- og regionalskala grundvandsmodel i MODFLOW-systemet, se figur 2. Lokalmodellen repræsenterer typisk et fokus-område for LAR (f.eks. en bydel på 1×1 m cellestørrelse), mens regionalmodellen repræsenterer et større omkringliggende område (f.eks. det hydrologiske opland på fx 50×50 m cellestørrelse). LGR-metoden sikrer, at LAR, nedsivning og grundvandsstrømning nær terræn simuleres på den detail-skala, som processerne og



Figur 1: Rutediagram over MODFLOW-LID, som er en komplet hydrologisk model for det urbane vandkredsløb. Modellen simulerer hydrologiske bidrag til kloakken (eller en recipient) ved overfladisk afstrømning, overløb fra LAR samt grundvandstilskud fra omfangsdræn og utætte kloakker.



Figur 2: Princippet i Local Grid Refinement (LGR) koblingen mellem en parent (regional) model og en child (lokal) model. Metoden sikrer, at LAR, nedsivning og grundvandsstrømning nær terræn simuleres i en child-model på den detail-skala som processerne foregår på, dvs. 1x1 m. For den dybere del af lag-serien, hvor variabiliteten i hydraulisk ledningsevne er mindre benyttes en grovere skala i regional-modellen, fx 50x50 m.

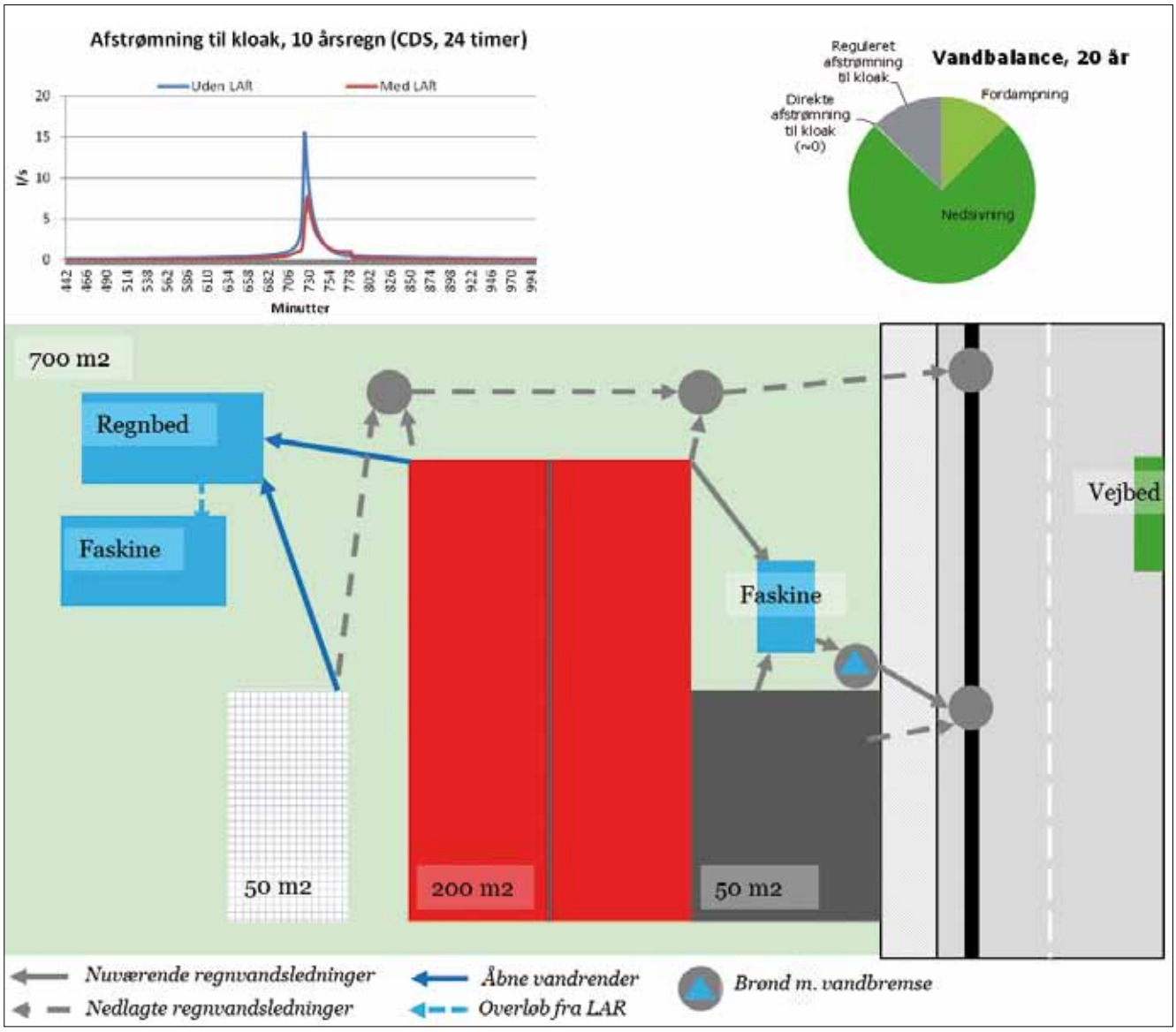
urbane strukturer vitterligt optræder på. Denne detail-skala vurderes nødvendig for at kunne vurdere risikoen for afledte effekter ved nedsivning som stigende grundvandsspejl og fugtige kældre.

MODFLOW-LID er opbygget meget fleksibelt og det kan fx vælges helt at deaktivere integrationen med grundvand, sådan at LID-processen benyttes på et meget simpelt og beregningsmæssigt hurtigt niveau, f. eks. til simulering af ét grønt tag eller afstrømningen fra én matrikel. Den simple anvendelse kan f.eks. benyttes til at designe LAR-opsætningen på én matrikel i henhold til borgerens ønsker og givne krav for afkobling og forsinkelse.

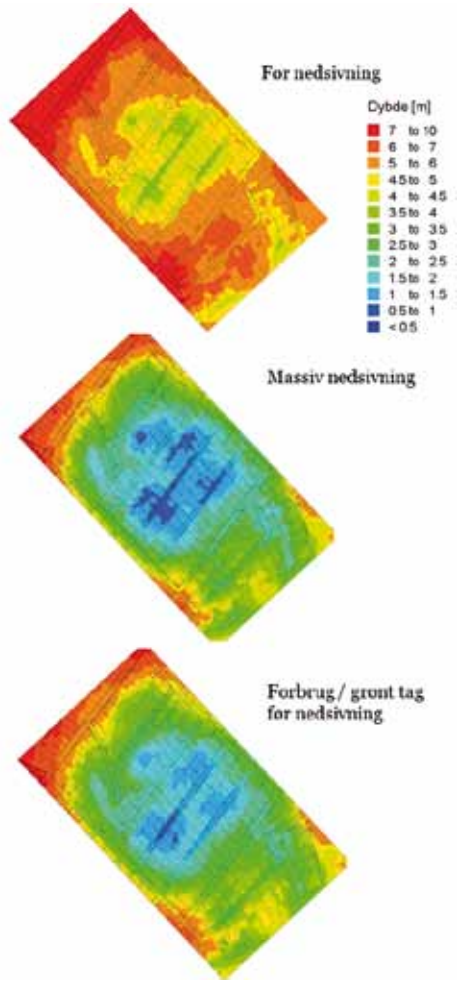
Demonstration

Modellen er demonstreret for både simple og avancerede cases i VTU-projektet; fra simulering af enkelt og serielt-forbundne LAR-elementer til simulering af eksisterende byområder i Odense, hvor effekten fra flere hundrede LAR-elementer er opskaleret til kloakoplande og bydele.

Et fokus var blandt andet at simulere og evaluere effekten ved at koble LAR-anlæg delvist med de eksisterende kloakker med henblik på at opretholde det fremtidige servi-



Figur 3: MODFLOW-LID simulering af afstrømningen fra en matrikel med LAR. Mod havesiden afkobles regnen og ledes til regnbed og faskine. Mod vejen ledes regnen til faskine med vandbremse og videre til kloak. Øverst til venstre ses en hydrograf for afstrømningen til kloakken i en 10 års designregn (CDS-regn, 24 timer, faktor 1,4). Øverst til højre ses den gennemsnitlige vandbalance for matriklen.



Figur 4: MODFLOW-LID simulering af afstanden til grundvandsspejlet uden LAR (øverst), med massiv nedsivning (midt) henholdsvis med inddragelse af regnvandstanke eller grønne tage før nedsivning (nederst). Ved massiv nedsivning hæves grundvandsspejlet i relativt lavtliggende områder og medfører risiko for forsumpning af udsatte ejendomme. Inddragelse af fordampning ved grønne tage og forbrug af regnvand mindsker mængden til nedsivning og dermed risikoen for forsumpning i området.

ceniveau. Den delvise kobling består af vandbremser, der sikrer en droslet tømning af LAR-anlæggene i et tempo som passer til kloakkernes afledningskapacitet.

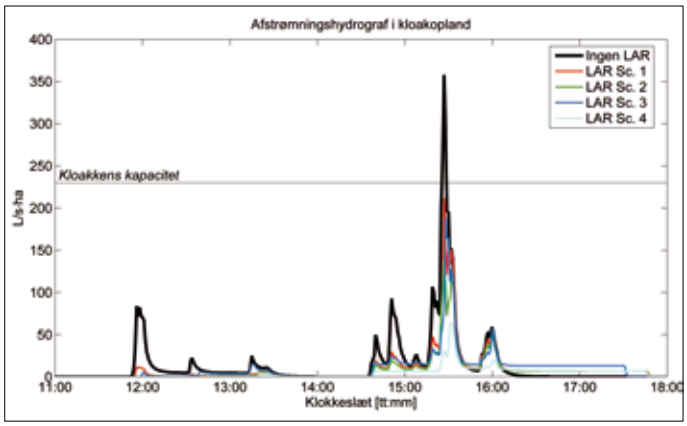
Et andet fokus var at simulere og belyse mulighederne for at benytte grønne elementer (regnbede og grønne tage) samt forbrug af regnvand (til toiletskyl og tøjvask ved regnvandstanke) med henblik på at mindske mængden til nedsivning og derved øge de generelle muligheder for afkobling af regnvand ved hjælp af nedsivning på lerede og lavtliggende arealer i Odense.

Demonstrationsresultater

På figur 3 ses et eksempel på simulering af afstrømning og vandbalance for én matrikel, hvor LAR-elementer benyttes til at håndtere regnen. Havesiden er afkoblet kloakken, mens vejsiden bidrager med forsinket afstrømning til kloakken. MODFLOW-LID fremskriver LAR-effekten på kloaktilstrømningen og vandbalancen, både over kort tid (øverst til venstre) og over lang tid (øverst til højre).

Princippet med simulering på matrikelniveau fra figur 3 kan overføres til flere hundrede matrikler i et byområde med henblik på at evaluere effekten på grundvandsspejlet af den aggregerede nedsivning. Figur 4 viser således effekten på dybden til grundvandsspejlet for et villaområde på moræneler i Odense, hvor modellen er demonstreret. Det ses, at massiv nedsivning medfører et terrænnært grundvandsspejl, som udgør en fugt-risiko for huse og infrastruktur beliggende i relativt lavereliggende områder. Modellen indikerer endvidere, at inddragelse af forbrug ved regnvandstanke og fordampning ved grønne tage afhjælper problemet med det høje grundvandsspejl ved at reducere mængden til nedsivning.

Mht. demonstrationen for villaområdet på moræneler på figur 4 skal det bemærkes, at ledningsgrave fungerer som vandveje for det nedsivede regnvand i kraft af deres relativt bedre vandførende egenskaber i forhold til den omkringliggende moræneler. Det vil sige, at nedsivet regnvand fra højereliggende områder kan transporteres ad disse ledningsgrave



Figur 5: MODFLOW-LID simulering af afstrømningen i et kloak-opland i en 10 års hændelse i forskellige LAR-scenarier. Hydrograferne afspejler forskellige LAR-strategier i det konkrete kloakopland.

Figur 6: Eksempel på anvendelse af MODFLOW-LID til simulering af opstuvninger for afløbssystemet i et byområde uden LAR (øverst) og i et scenarium med LAR (nederst). LAR-scenariet viser, at der opnås en forbedret opfyldelse af serviceniveauet i mange kloakoplande (de grønne og røde cirkler viser kloakbrønde, hvor serviceniveauet overholdes / ikke overholdes).

til lavereliggende områder og her udgøre en risiko mht. grundvandsspejlet. Det er i den forbindelse afgørende, at modellen kan simulere på den skala som strukturer og vandstrømninger foregår på – en hovedstyrke ved MODFLOW-LID, se i øvrigt figur 2.

Ud over at kunne opskalere LAR-effekten til grundvand og det hydrologiske vandkredsløb kan modellen

beregne den samlede effekt af de enkelte LAR-tiltag for hele kloakoplande. Figur 5 viser effekten af forskellige LAR-scenarier i eet kloakopland i form af tilløbshydrografer. Hydrograferne er under forskellig indflydelse af regnvandstanke, grønne tage, faskiner, regnbede og vejbede med droslet afledning til kloakken via vandbremser under skybrud. Hydrograferne for de enkelte LAR-scenarier kan sammenholdes med status-situationen uden LAR (hvor kloakkens kapacitet er overskredet, se figur 5). Det ses, at LAR-scenarierne i varierende grad tilbageholder og forsinker afstrømningen til kloakken og afhjælper kapacitetsproblemet betydeligt.

Den modellerede afstrømning i kloakoplande af bidrag fra regnvand, LAR elementer samt bidrag fra grundvand (via f.eks. omfangsdræn eller indsivning i kloakker) kan danne input til videre modellering af afløbssystemet ved f.eks. MIKE URBAN Pipeflow modulet. Figur 6 viser et eksempel på evaluering af serviceniveauet baseret på 20 års simulering for et byområde i Odense (hyppighed af opstuvninger i forhold til terræn og kælderniveau). Derved kan LAR-effekten opskaleres og sammenholdes med servicemål for kloakken.

Konklusion og perspektiver

MODFLOW-LID simulerer LAR, nedsivning og grundvandsstrømning på den detail-skala processerne foregår på og kan opskalere effekten til bydele og kloakoplande. Derved er det muligt at evaluere effekten af forskellige decentrale LAR-strategier på målsætninger for hydraulisk effekt, serviceniveau og risiko for stigende grundvandsspejl. Den fleksible modelopbygning sikrer, at modellen kan benyttes til mange forskellige formål: fra simpel dimensionering af LAR-anlæg til klimamodellering af forskellige LAR-strategier for bydele, til afdækning af risici for forurening af grundvandsressourcen og utilsigtede grundvandsstigninger. Modellen kan dermed levere beslutningsstøtte til en bred vifte af opgaver inden for spildevandsbranchen.

Det er imidlertid vigtigt at bemærke, at troværdigheden af modellens resultater er stærkt afhængig af det foreliggende vidensgrundlag om det modellerede område. Før eller i

Figur 7: Eksempel på geofysisk kortlægning af grønne områder, stier og veje i et eksisterende villaområde for NORDVAND. Kortlægningen giver et ret sammenhængende kort over modstandsfordelingen i de øvre jordlag, som afspejler nedsivningspotentialet. Kortlægtningen kan benyttes i planlægningen af lokaliteter for nedsivning og til målrettelse af dyrere kortlægning ved boringer og infiltrationstest.

forbindelse med modellering bør der indsamles data omkring den rumlige nedsivningskapacitet i de øvre jordlag. Typisk udføres traditionel kortlægning i form af korte boringer, pejlinger og infiltrationstest. Kortlægning kan imidlertid med fordel initieres med geofysisk kortlægning, som giver et mere sammenhængende billede af nedsivningsmulighederne, som igen kan benyttes til at fokusere den traditionelle kortlægning til egnede lokaliteter for nedsivning, se figur 7.

Men, foreligger der et rimeligt datagrundlag for et område, giver LAR-modellering ved MODFLOW-LID vigtig beslutningsstøtte til planlægningen af robuste LAR-strategier for et område og i henhold til givne målsætninger for hydraulisk effekt på kloakken, risiko for forsumpning, nedsivningsafledt behov for dræning, afkobling af hverdagsregn, afkobling af skybrudsregn, rekreativ effekt, etc.

VandCenter Syd er ved at udvikle et større projekt for afkobling af regnvand i Skibhuskvarteret i den centrale del af Odense, hvor der gentagne gange har været problemer med oversvømmelser på grund af utilstrækkelig kapacitet i kloaksystemet. Det er hensigten, at en stor del af regnvandet fremover skal håndteres lokalt, enten på privat grund eller i offentlige arealer (primært veje). En udfordring for anvendelsen af LAR i området er, at grundvandet står forholdsvis højt i dele af området, ligesom en stor del af de øvre jordlag består af moræneler. MODFLOW-LID vil blive søgt afprøvet i projektet med henblik på at belyse effekten af forskellige kombinationer af LAR tiltag på grundvandsstanden og på afledningen i kloaksystemet. Herved kan der skabes et godt grundlag for at vurdere mulighederne for at løse områdets problemer ved hjælp af LAR-løsninger.

Jan Jeppesen er ph.d. hydrolog og ansat som marked- og udviklingschef i ALECTIA, jaje@alectia.com

Christian Ammitsøe er projektchef i VandCenter Syd, cha@vandcenter.dk