

# Harrestrup Å Kapacitetsplan 2016

De bynære åer er en vigtig del af byens regnvandssystem, da regnvand skal kunne afledes hurtigt og sikkert og helst uden oversvømmelser, selv ved skybrud. I hovedstadsområdet samarbejder ti kommuner og deres spildevandsselskaber om at udvikle Harrestrup Å, så den kan aflede oplandets regnvand – også ved de helt store regnhændelser. I denne artikel fortælles om en række tekniske aspekter omkring åens fysik og funktion og omkring modelarbejdet, der ligger til grund for parternes fælles Kapacitetsplan 2016.

JØRN TORP PEDERSEN, HAUGE WESSBERG  
LARSEN & ANNE STEENSEN BLICHER

## Indledning

I Kapacitetsprojektet for Harrestrup Å – et samarbejde om at reducere skadevoldende oversvømmelser, er 10 kommuner i hovedstadsområdet og deres forsyninger gået sammen om at afdække mulighederne for at benytte Harrestrup Å som skybrudsvej. Målsætningen for samarbejdet er at reducere risikoen for skadevoldende oversvømmelser på boliger, virksomheder og infrastruktur ved de ekstreme regnhændelser, og at gøre dette på den bedste og billigste måde. Oplandskommunerne skal kunne skybrudssikre og aflede regnvand til åen ad skybrudsveje, og nærliggende områder til Harrestrup Å-systemet skal være sikrede mod skadevoldende oversvømmelser fra åen op til en 100-års hændelse, også om 100 år. Ved sådan et skybrud skal der håndteres op mod 3 mio. m<sup>3</sup> vand, der ellers ville give oversvømmelse. Dette kan i hovedtræk gøres med en kombination af anlægsprojekter, der dels forsinker regnvandet i grønne områder og dels lader det løbe hurtigere ud i den nederste del af åen.

Det er sikringen af Harrestrup Å-systemet som udføres i fællesskab i Kapacitetsprojektet, mens skybrudssikringen udføres i de enkelte kommuner. Kapacitetsplan 2016 er i øjeblikket til politisk behandling hos de ti kommu-

ner og deres 5 vandselskaber. Nærværende artikel omhandler ikke Kapacitetsplanen i sin helhed, men forklarer en række tekniske aspekter, som er undersøgt og udviklet i forbindelse med modelarbejdet.

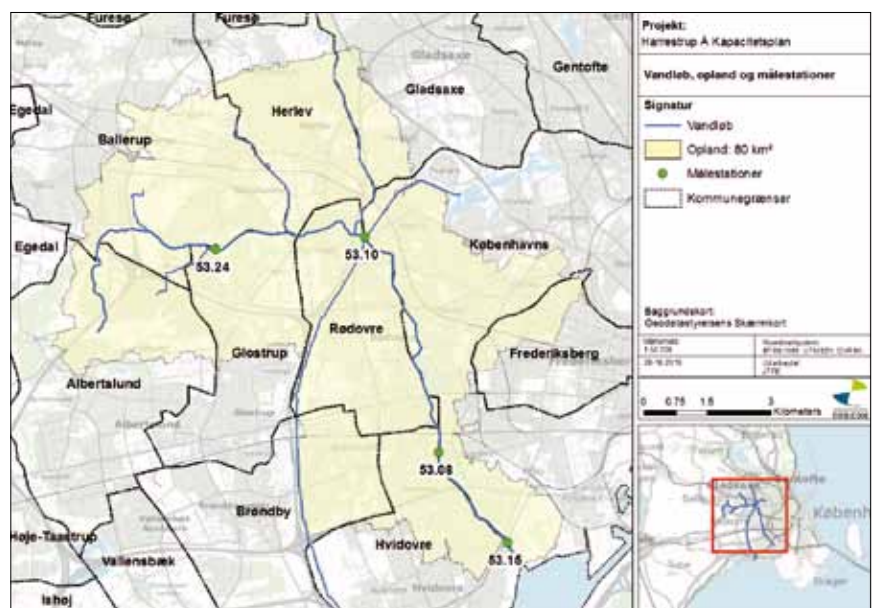
## Baggrund

Harrestrup Å løber fra Albertslund Kommune gennem Ballerup, Glostrup, Herlev, Rødovre, København og Hvidovre Kommuner til udløbet i Kalveboderne. Det topografiske opland udgør ca. 80 km<sup>2</sup>, og afvander desuden dele af Gladsaxe, Brøndby og Frederiksberg Kom-

muner (Figur 1).

Harrestrup Å er knap 20 km lang, og modtager vand fra 4 større tilløb: Skelgrøften, Bymoserenden, Smørmose Å og Kags Å. Undervejs krydser Harrestrup Å under den kunstigt anlagte Vestvoldens Voldgrav.

I de senere år har det ved flere store regnskyl vist sig, at der mange steder er behov for en indsats for at sikre borgerne og samfundet mod skader fra oversvømmelser. Langs Harrestrup Å systemet og i oplandskommunerne, som leder regnvand til åen, har der været problemer med oversvømmelser, idet åen ikke



Figur 1. Vandløb, opland, målestationer og kommunegrænser



har tilstrækkelig kapacitet til at klare de store vandmængder.

Problemerne er opstået, fordi den oprindelige Harrestrup ådal gennem de sidste 100 år er blevet bebygget og befæstet tættere og tættere, så åen nu mange steder udgør en flisebelagt kanal gennem byen, der ikke kan rumme de store regnmængder, der ledes til. Oplandet omkring Harrestrup Å-systemet – især fra Herlev og til udløbet ved Kalveboderne – er således tæt på fuldt udbygget med infrastruktur, bolig- og erhvervsområder. Klimaændringer i fremtiden vil i henhold til prognoserne fra FN's klimapanel give endnu voldsommere regnskyl, hvilket vil forøge problemerne med skadevoldende oversvømmelse i Harrestrup Å-systemet.

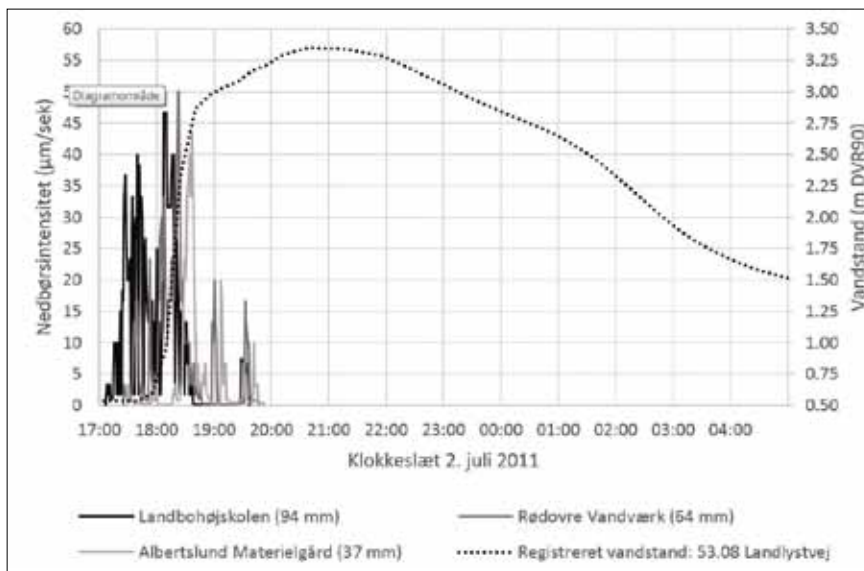
### En del af byens regnvandsystem

For at kunne vælge den rigtige beregningsmodel til opgaven er vandløbets dynamik analyseret ved at se på de historiske målinger. Det viste, at Harrestrup Å ikke er en helt almindelig å.

Fire målestationer i Harrestrup Å har været i periodisk drift gennem de seneste 25 år (se Figur 1 for placering). Her registreres vandstanden hvert 10. minut og via en Q/h relation omsættes vandstanden til vandføring (Faktaboks Q/h relationer). I dag er der kun en enkelt målestation i drift.

Den længste og mest komplette tidserie findes ved st 53.08, Landlystvej. Her registreredes den højeste målte vandstand under den såkaldte "Københavnregn" d. 2. juli 2011. På denne dag startede det med at regne ved 17-tiden ved Landbohøjskolen øst for Harrestrup Å. Regnen bevægede sig vestpå samtidig med at den aftog i total regndybde fra 94 mm øst for oplandet, 64 mm midt i oplandet til 37 mm vest for oplandet (figur 2). Blot 2-3 timer efter at nedbørsintensiteten over oplandet kulminerede, og ca 1 time efter at det holdt op med at regne, registreredes den maksimale vandstand i Harrestrup Å. Herefter faldt vandstanden hurtigt med omkring 20-30 cm i timen.

Denne type sammenhæng mellem nedbør og afstrømning er atypisk for vandløb, og



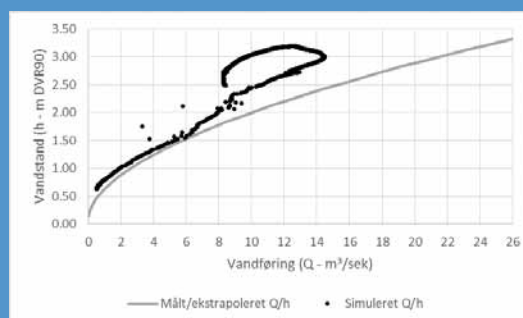
Figur 2. Nedbørsintensitet og regndybde, samt resulterende vandstand i Harrestrup A ved st 53.08, Landlystvej.

snarere et respons man vil forvente i et kloaksystem. Og på mange måder kan Harrestrup Å da også bedre sammenlignes med en del af byens regnvandsafledningssystem, end med et vandløb i det åbne land. I det åbne land vil der være en stor inert i afstrømningen, idet vandløbet fødes af vand der strømmer gennem jordvandsmagasinerne. Harrestrup Å,

derimod, fødes i langt højere grad af utallige regnvandsbetingede udledninger, der afvander byens befæstede flader (Figur 3). Derfor ser vi et hurtigt respons på nedbøren (Faktaboks: Responstid og ekstremstatistik, s. 159), og det er formentlig også sådan, at der er lighed mellem gentagelsesperioden på nedbøren og gentagelsesperioden på den resulterende

#### Q/h relationer:

Q/h relationer baseres på samtidige målinger af vandstand (h) og vandføring (Q), sidstnævnte f.eks med en propelstrømmåler. Målingerne foretages sjældent - eller aldrig - ved ekstremhændelser, og derfor er de estimerede vandføringer ved høje vandstande baseret på ekstrapolation af Q/h kurven. Figuren nedenfor viser den traditionelle ekstrapolerede Q/h kurve som en grå linje, mens de sorte markeringer er samtidige simuleringer af vandstande og vandføringer i en hydrodynamisk model.



Modellen viser et "knæk" på Q/h relationen omkring en vandstand på 1,5 m DVR90, og igen omkring 2,0 m DVR90 samt en hysteresis effekt der betyder, at vandføringen som funktion af vandstanden ikke er den samme mens vandstanden stiger, som mens vandstanden falder. Knækkene på Q/h relationen skyldes, at der længere nedstrøms i systemet findes en række flaskehalse der begrænser vandføringen og medfører, at h stiger forholdsvis hurtigere end Q. Dette forhold beskrives ikke med den ekstrapolerede Q/h relation. Derfor overestimeres vandføringerne ofte ved ekstremhændelser. For Kapacitetsprojektet har dette betydet, at modelkalibreringen er foretaget mod målte vandstande, og ikke mod estimerede vandføringer, da disse er overestimeret ved ekstremhændelser.



Figur 3. Regnvandsbetingede rørdøb til Harrestrup Å

rende vandstand i Harrestrup Å. Dette er ikke tilfældet i det åbne land, hvor systemets hukommelse er lang, og vandstanden i det åbne lands vandløb ikke blot er et resultat af dagens nedbør, men også af jordmagasinernes fyldningsgrad, og dermed af nedbøren gennem de sidste dage/uger eller sågar måneder.

### 3-vejs koblet hydrodynamisk model

For at kunne analysere og dimensionere kloak- og vandløbssystemer under meget kraftige regnhændelser er det valgt at opstille en hydrodynamisk numerisk model bestående af en rørmodel, der beskriver kloaksystemet, en terrænmodel, hvor overfladeafstrømningen beskrives, og en vandløbsmodel. Den samlede 3-vejs koblede model beskriver vandets vej fra nedbør, via rørsystem eller terræn til vandløb og videre ud i havet.

Da vandløbet ved ekstreme hændelser i langt højere grad fødes af regnvandsbetingede udløb og af direkte overflade afstrømning end af grundvandstilstrømning, er det valgt at fokusere modellen på byens afledning af vand gennem rør, og at beskrive den meget mindre grundvandstilstrømning som en randbetingungelse (baseflow - konservativt estimeret som en vinter medianmaks). Ved skybrud løber vandet ikke nødvendigvis "den lige vej" fra nedbørsrist til vandløb. Det skyldes, at vandmængderne overstiger systemernes kapacitet og derfor løber vandet frem og tilbage mellem vandløb, terrænet og kloakken. Dette er illustreret i Figur 4.

DHI's MIKE software er benyttet, og der er foretaget en såkaldt 3-vejs kobling mellem rørmodellen (MIKE URBAN), terrænmodellen (MIKE21) og vandløbsmodellen (MIKE11). De tre modeller kan alle udveksle vand, således at systemets funktion beskrives bedst muligt. Den nedbør, der falder på befæstede områder tilføres rørmodellen, mens den nedbør, der

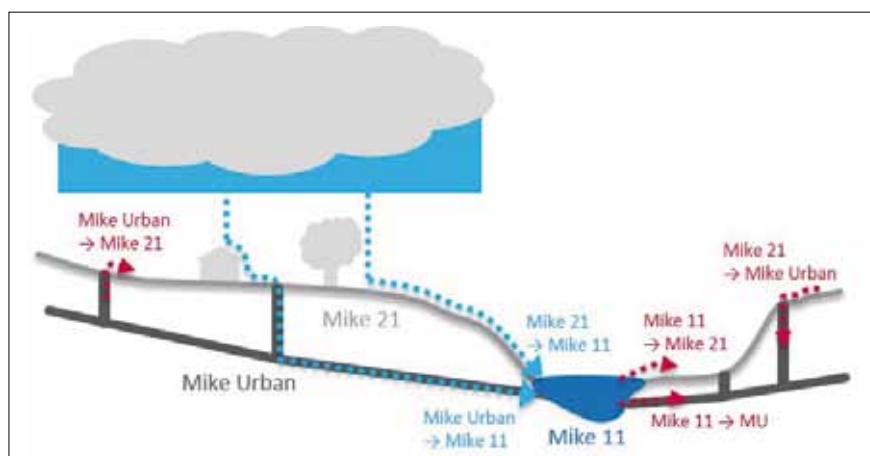
falder over ubefæstede områder, tilføres terrænmodellen. Vandløbet modtager et baseflow, samt de vandmængder der løber på terræn og gennem rørdøb.

### Kalibrering

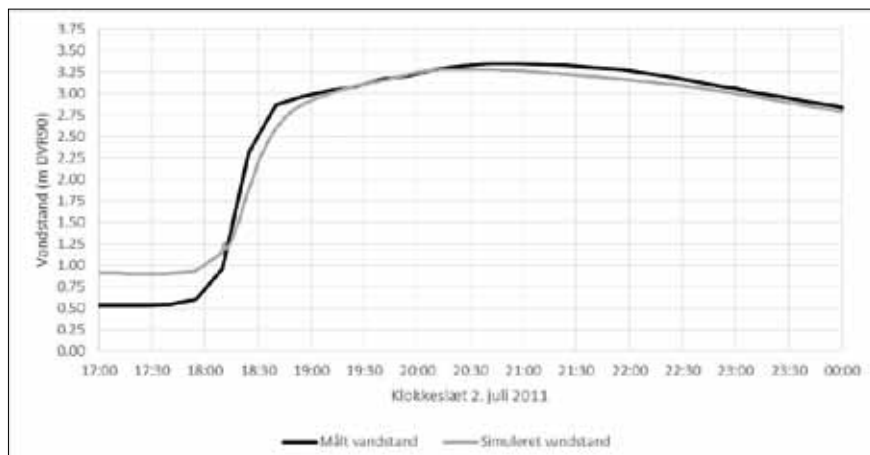
Der er foretaget en række antagelser om initialtab og nedsivningsevne på de ubefæstede områder. Disse er efterfølgende kvalificeret ved kalibrering af modellen mod nedbørshændelsen d. 2 juli 2011, der resulterede i den højeste registrerede vandstand ved målestationen ved Landlystvej, og derfor betragtes som den største hændelse, der har ramt oplandet gennem de seneste 25 år, hvor målestationer har registreret vandstande. I kalibreringsmodellen anvendes nedbørmålinger fra 12 SVK nedbørsstationer, der tilsammen dækker oplandet. I Figur 5 er der vist et eksempel på målt og simuleret vandstand ved målestation 53.08 Landlystvej. Modellen kan på tilfredsstillende vis simulere vandstandsstigningens timing såvel som maksimum.

### Dimensionsgivende designregn

En analyse af de 5 største nedbørshændelser over oplandet til Harrestrup Å viser, at forholdet mellem den nedbørsstation, der har modtaget den største nedbørmængde, og det arealvægtede nedbørgennemsnit over hele oplandet er omkring 60%. Det betyder, at det ikke regner lige kraftigt over hele oplandet på en gang. Der er derfor udviklet et designgrundlag, hvor nedbøren varieres over oplandet således, at forholdet mellem en statistisk punkt nedbør (en CDS-regn) og gennemsnitsnedbøren over hele oplandet er 60%. Designgrundlaget er udviklet, så nedbøren distribueres på en måde i oplandet så gentagelsesperioden på den resulterende vandstand i vandløbet afspejler gentagelsesperioden på nedbøren. Til dette formål er der udført en ekstremværdianalyse af øjebliksvandstande (Faktaboks: Responstid og ekstremstatistik s. 159) for at estimere 100 års vandstanden i vandløbet i dag, og finde den designnedbør, der netop giver denne vand-



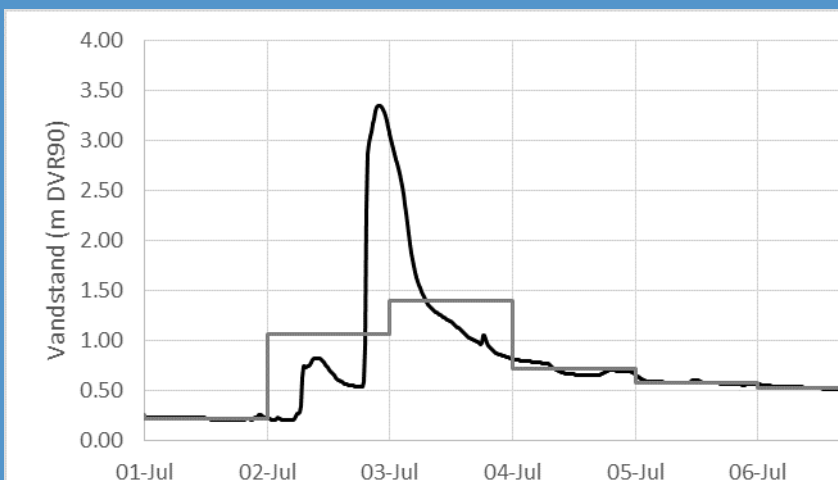
Figur 4. Principskitse af strømningsveje i modellen for Harrestrup Å-systemet. De lyse blå viser den lige vej fra regnskyl via terræn (Mike 21) og kloaksystem (Mike Urban) og til vandløbet (Mike 11). De røde viser modellens muligheder for at simulere strømningsvejene mellem modellerne for eksempel når kapaciteten i kloaksystemet eller vandløbet er opbrugt.



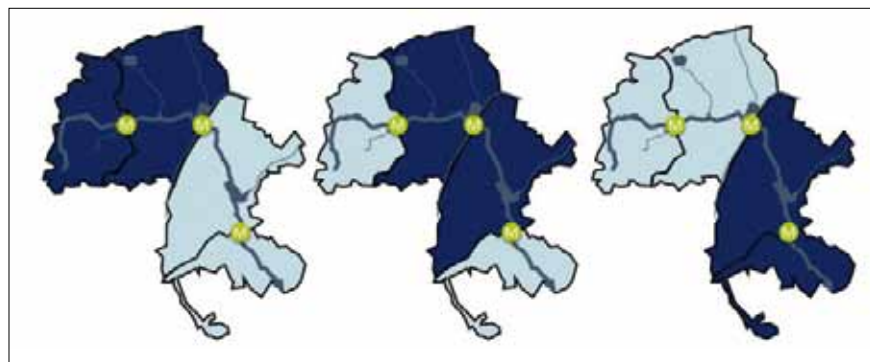
Figur 5. Målt og simuleret vandstand ved st 53.08, Landlystvej under Københavnerregnen d. 2 juli 2011. De to serier starter med forskellige vandstande. Det skyldes, at initial vandføringen i vandløbet er konservativt sat til en vinter medianmaks, og at dette er noget mere, end hvad der løb i vandløbet d. 2. juli 2011.

### Responstid og ekstremstatistik

Responstiden i Harrestrup Å er i størrelsesordenen timer, og ikke dage. Dette har betydning når der skal udarbejdes statistik. Normalt udarbejdes ekstremstatistik på døgnmiddel af enten vandstand eller vandføring, men for Harrestrup Å har det i stedet været nødvendigt at udarbejde statistikken på øjebliksværdier. For de 4 målestationer i Harrestrup Å er det på denne måde estimeret, hvor høj vandstanden statistisk set vil være ved en 100 års hændelse. De beregnede 100 års øjebliksvandstande er op til 1,5 m højere end de beregnede 100 års døgnmiddel vandstande.



Figuren viser de registrerede øjebliksvandstande i dagene omkring hændelsen 2. juli 2011, samt den beregnede døgnmiddel vandstand.



Figur 6. Designgrundlag, hvor det enten regner meget i den opstrøms, midterste eller nedstrøms del af oplandet.

stand i vandløbet. Analysen viser, at nedbøren skal fordeles over oplandet sådan, at det enten regner meget i den opstrøms, midterste eller nedstrøms del af oplandet (Figur 6).

På denne måde er den designregnen, der resulterer i en 100 årshændelse i vandløbet i dag, bestemt. Herpå er designregnen klimafremskrevet med en faktor 1,4 og påført en modelusikkerhed på 1,2, for at beskrive forholdene om 100 år.

### Løsningsprincipper: On-line og off-line magasinering

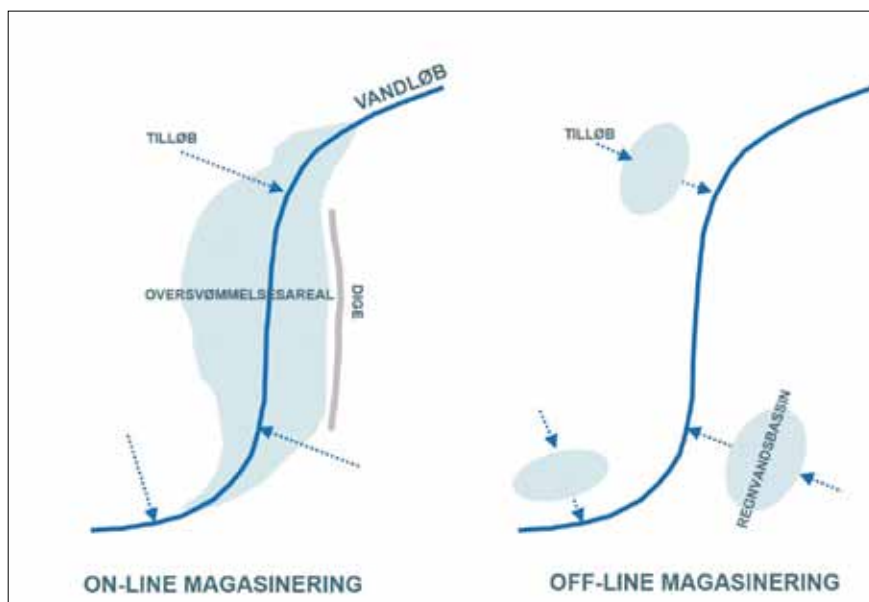
Ved magasinering under store nedbørshændelser kan vandet enten tilbageholdes lokalt – der hvor nedbøren falder – eller føres til et centralt magasineringsområde, der integrerer vand fra et stort opland. Harrestrup Å Kapacitetsprojekt er netop et udtryk for sidstnævnte mulighed, hvor nedbør fra hele oplandet til Harrestrup Å skal bortledes fra oplandet via vandløbssystemet uden at skabe skadevoldende oversvømmelser undervejs. Vandføringen i vandløbssystemet er ikke er stor nok til at kunne bortlede vandmængderne uden, at vandløbene går over sine bredder. Derfor er det nødvendigt langs vandløbet at etablere oversvømmelsesområder, hvor vandet midlertidigt kan magasineres.

Betragtes magasineringens placering i forhold til vandløbet kan der på denne måde skelnes mellem to typer magasinering (Figur 7):

1. off-line magasinering (lokale løsninger)
2. on-line magasinering (fælles løsninger)

Ved off-line magasinering forstås i denne sammenhæng lokale magasineringsområder, hvor vandet tilbageholdes inden det når vandløbssystemet – f.eks. i traditionelle regnvandsbassiner. Bassinerne vil typisk modtage vand fra et forholdsvis lille område, og skal derfor dimensioneres til at kunne rumme en lokal tordenbyge. I nærværende projekt vil det sige, at sådanne off-line magasineringsbassiner skal dimensioneres med en sikkerhedsfaktor på 1,68.

Ved on-line magasinering forstås magasinering i selve vandløbet i definerede oversvømmelsesområder, hvor vandløbet tillades at oversvømme de å-nære arealer. Når løsningen på denne måde er central, og integrerer afstrømning fra et større opland, er dimensionering noget mere kompleks. Men når løsningen baseres på centrale oversvømmelsesområder i selve vandløbet skal der bruges mindre totalt magasineringsvolumen end når løsningen baseres på lokale regnvandsbassiner, alene af den årsag, at det ikke regner med en lokal tordenbygges intensitet over det hele i et stort opland.



Figur 7. On-line og off-line magasinering.

Når der etableres oversvømmelsesområder i og langs selve vandløbet øges vandføringsevnen i vandløbet i forhold til vandføringsevnen ved bredfyldt vandføring. Dette skyldes, at såvel dybden som gennemstrømningsarealet øges. Der kan således løbe mere vand i vandløbet, og det gør, at der skal anvendes et mindre totalt magasineringsvolumen, hvis magasineringen foregår

on-line end hvis den foregår til off-line.

Når der etableres on-line oversvømmelsesområder langs hele vandløbets længde, kan det endvidere udnyttes, at det ved ekstremregn ikke regner lige meget over hele oplandet på én gang. Således kan der f.eks. tilbageholdes vand i den opstrøms del af systemet, hvis det regner kraftigt i den nedstrøms. På den måde kan oversvømmelsesområderne ud-

nyttes optimalt, hvorved det totale nødvendige oversvømmelsesvolumen minimeres. Denne strategi kræver en dynamisk styring af opstuvningsniveauet i de enkelte oversvømmelsesområder. En optimal styringsstrategi kræver overvågning af systemet, og en del af anbefalingerne i Kapacitetsplanen er derfor, at der allerede nu etableres flere målestationer i systemet. Målestationer bør udstyres med vandstandsloggere og også gerne med automatiserede vandføringsmålere, som f.eks. ADCP. På denne måde kan vandføringer også bestemmes ved ekstremhændelser. Et godt målegrundlag vil endvidere betyde, at modelkalibreringen kan foretages på et endnu bedre grundlag, og det vil eventuelt kunne medføre en anvendelse af en mindre modelusikkerhed.

### Det videre arbejde

I arbejdet med Kapacitetsplanen er der identificeret en række løsningsforslag, der kombineret betyder at oplandskommunerne kan skybrudssikre boliger, virksomheder og infrastruktur ved at lede vand til Harrestrup Å (Faktaboks: Løsningsprincipper). Vandløbssystemet indrettes på en måde der gør, at der ikke vil være skadevoldende oversvømmelser af å-nære arealer ved en 100 års hændelse om 100 år.

Kapacitetsplanen er baseret på den bedste tilgængelige viden vi har i dag. Der sker imidlertid konstante forandringer i vores samfund, der kan påvirke kommunernes langtidspaner og prognoserne for klimaforandringerne kan også ændre sig. Det er derfor vigtigt at indse, at planlægning, der inkluderer analyser langt ind i fremtiden, også inkluderer usikkerhed. Dermed skal langtidspanlægning ses som en løbende proces, hvor planen bliver optimeret, når samfundet og omgivelserne forandres og når der kommer ny viden til. Kapacitetsplanen skal derfor revurderes jævnligt for kontinuerligt at sikre, at planen opnår målsætningen på den samfundsøkonomisk mest optimale måde

JØRN TORP PEDERSEN, Specialist, (jtpe@orbicon.dk), HAUGE WESSBERG LARSEN, Seniorrådgiver og ANNE STEENSEN BLICHER, Projektleder, alle i Orbicon, Klimatilpasning og Byudvikling

