

## Hva hvis monsterregnet fra København 2. juli 2011 hadde falt i Norge?

*Av Oddvar Lindholm, Lars Buhler og Jarle Bjerkholt*

Oddvar Lindholm er professor og Jarle Bjerkholt er førsteamanuensis på Institutt for matematiske realfag og teknologi, UMB. Bjerkholt er også viserektor ved Høgskolen i Telemark. Lars Buhler er nå ansatt som avdelingsingeniør i Ås kommune, men var mastergradsstudent ved UMB da han arbeidet med flomanalyser i Ås kommune.

### Summary

#### **What if the monster rain from Copenhagen 2 July 2011 had hit Norway?**

This day a rain storm of biblical dimensions hit Copenhagen in Denmark. How to take into account the change in rain intensity caused by changing climate, when designing sewer systems, has for several years been an issue amongst engineers and researchers. A rain of the size that hit Copenhagen in July 2011 was not foreseen as a possibility in this century. What happened in Copenhagen that day is described in this article.

In this article we have also shown what could be the results of a similar rain episode in Rustadskogen, a residential area in Ås municipality in the county of Akershus. In the analysis the EPA Storm Water Management Model (SWMM) was used. The consequences concerning flooding and damages on houses are calculated for the current rain situation with a return period of 10, 20, 50 and 100 years in addition to the "Monster rain" that hit Copenhagen. For a rain with a return period of 100 years, 61 houses (ca 24 % of all) will be flooded. If the Monster rain had hit the Rustadskogen area, 132 houses (ca 53 % of all) would be flooded.

### Sammendrag

Lørdag 2. juli 2011 falt det et regn over København av bibelske dimensjoner. Det har lenge vært vurdert hva avløpssystemene skal dimensjoneres for i dag, når de også skal være tjenlige om 100 år, i et endret klima. Ingen kunne forestille seg en så dramatisk fremtid som den man så 2. juli 2011 i København. Forsikringsselskapene betalte ut erstatninger på over 6 milliarder danske kroner. I tillegg ødelegger ofte flommer kulturskatter, man får store ulemper av mange slag og store skader er vanligvis ikke forsikret. Det som skjedde i København denne dagen er beskrevet i artikkelen.

For å beregne hva som kunne skjedd i et norsk avløpsnett med et slikt regn, er overvannsnettet i et boligfelt i Ås kommune, Rustadskogen, simulert med det såkalte "Monsterregnet" fra København. Analysene er gjort med det amerikanske dataprogrammet SWMM. Konsekvensene med hensyn til oversvømmelser og vannskadede hus er beregnet for dagens nedbørregime med følgende gjentaksintervall; 10 år, 20 år, 50 år og 100 år, samt for Monsterregnet. Ved et 100-års regn, etter dagens intensitetskurver, viser beregningene at 61 hus (ca 24 % av alle) i avløpsfeltet ville fått vannskader. Dersom Monsterregnet

hadde falt over Ås, ville 132 hus (ca 53 % av alle) ha blitt vannskadet.

## Innledning

Både blant fagfolk og legfolk har det vært en klar fornemmelse av at de sterkeste korttidsregnene de siste årene har hatt en økende intensitet og at ekstremregnene har kommet langt oftere enn før. Det har blant fagfolk vært usikkerhet rundt hvilket klimapåslag dagens IVF-kurver skulle gis ved planlegging av drenerings- og avløpsanlegg i byer med tidsperspektiv 80 – 100 år fremover.

Norsk Vann har imidlertid nylig gått ut med en klar anbefaling om å gjøre et påslag på IVF-kurvene på 1,3 – 1,5 ganger regnintensitetene som er vist i dagens kurver (Lindholm, m.fl. 2012). Tilsvarende veiledende tall er også gitt av danske og svenske fagautoriteter og myndigheter. Grum m. fl. (2006), Hedlund (2007), Olsson m. fl. (2007) og SOU (2007).

De anbefalte påslagene er gjort ut fra antagelser om endringer i klimaet, med tanke på regnintensiteter i korttidsregn, som man tenker seg vil inntre på slutten av dette århundre. De forventede endringene i korttidsnedbør som følge av klimaendringene gjør det interessant å se nærmere på det såkalte ”Monsterregnet” som styrtet ned over København 2. juli 2011. København kommune har nå utarbeidet en plan for bedre å kunne håndtere et lignende skybrudd i fremtiden. Bildene 1-3 under illustrerer situasjoner fra 2. juli 2011.

Hensikten med denne artikkelen er å vise hva ekstremt sterke regn kan gjøre med et boligfelt i Norge og at slike regn allerede er kommet til Norden.

## Rapporter fra København om monsterregnet

Fra Berlingske tidende i København 8. juli 2011, kunne man lese følgende om hvordan regnet oppsto:



Bilde 1: Fra Tekna-kurset ”En blågrønn fremtid” 24. oktober 2012. Prosjektchef Jan Rasmussen København kommune.

**”Skybrud var det værste nogensinde i København**  
 DMI havde lørdag morgen udsendt forvarsel om risiko for skybrud over Sjælland - men ikke af den styrke. Sidst på eftermiddagen voksede tordenbyger op over Sverige, men de var ikke specielt kraftige, heller ikke, da de ramte Malmø, oplyser vagthavende meteorolog Frank Nielsen i en pressemeddelelse fra DMI. - Men på vej over Øresund sker en helt usædvanlig eksplosiv udvikling af tordenbygerne. Jeg har ikke oplevet noget lignende, og jeg har været meteorolog i temmelig mange år, siger han. Frank Nielsen opgraderede straks forvarslene til et varsel om skybrud, der kort efter ramte København. Regnen satte ikke blot Københavnsrekord i mængden af nedbør, men også i regnens intensitet. Ved Ishøj Varmeværk faldt der 3,1 mm nedbør pr. minut - et pænt stykke over 2008-rekorden fra Kløvermarksvej på 2,5 mm i minuttet.

Ikke mindst intensiteten af skybruddet var usædvanligt kraftigt. I løbet af ti minutter faldt der i lørdags 30 mm regn over Indre By.

Dele af København blev druknet af 135 millimeter styrtregn på få timer. (120 mm på 2 h).

Det samlede antal skadeanmeldelser er på omkring 80 000, med en erstatningsudbetaling på ca. 6 milliarder kroner. Aldri før er så mange danskere blevet ramt af skybrud, og aldri før har forsikringselskaperne punget så store summer ud til vannskader.”

Følgende ble skrevet av Carsten Ankjær Ludwigsen, Katrine Krogh Andersen og Ole Bøssing Christensen ved Danmarks Klimacenter:

**Klimaændringer giver mere ekstreme regnskyl**  
 ([www.dmi.dk](http://www.dmi.dk) 10.05.2012).

**En forsmag på klimaforandringerne**

Om aftenen 2. juli 2011 fik København sit værste registrerede regnskyl nogensinde. Imellem klokken 19 og 21 fik Botanisk Have 135,4 mm regn, eller omkring to gange månedsgennemsnittet for juli på



Bilde 2. ELVER I GATENE: Trafikken i København er lammet, ettersom gatene har blitt til elver. (Foto: Leserbilde/Ekstrabladet).

under to timer og svarende til 135 liter vand på hver eneste kvadratmeter. Også den maksimale nedbørsintensitet på næsten 30 mm på 10 minutter er rekord. Mange københavnere oplevede vandfyldte kældre, nedlagte telefonlinjer og enorme trafikale problemer.

Skybruddet fik Københavns gader til at ligne en dårlig udgave af Venedig. ... udbetalinger for skadene blir seks milliarder kroner"... siger Ole Rasmussen, skadedirektør hos Topdanmark.

– Jeg hørte at kumlokkene spratt opp av alt regnet, og at det flyter døde rotter rundt i gatene, sier norske Christian Vig som er på guttetur med tre kompiser i København.

De ble fullstendig tatt på senga da himmelen plutselig åpnet seg. Flom overalt, og hotellobbyen lignet et basseng, sier Vig til VG Nett lørdag 2. juli 2011 fra København.

DMI Danmarks meteorologiske institutt uttaler i en oppsummerende rapport:

**"Hvad kan vi lære af dette? (DMI 2012).**

Regnen den 2. juli 2011 overgår næsten fantasien og står som den vel nok værste monsterregn Danmark endnu har oplevet. Som følge af de forventede klimaendringer regnes monsterregn fra mange sider for at være fremtidens virkelighed. Det er realiteter, der allerede nu bør tages forholdsregler for, og der udføres et stort analysearbejde rundt om for at finde ud af, hvad der bør gøres for at imødegå



Bilde 3. Vannet strømmer inn (Foto: Lesebilde/ Ekstrabladet).

følgevirkningerne af et ændret nedbørklima. Det bliver om muligt endnu vigtigere at forudsige og dokumentere kraftig regn."

Følgende utdrag er hentet fra en evalueringsrapport fra Københavns brandvæsen. (2011).

"Flere samfundskritiske funktioner blev hårdt ramt af vandskader bl.a. Alarmcentralen, Rigshospitalet, Politigården, BaneDanmark, m.v. Brandvæsenet kørte i tidsrummet fra kl. 19.00 til 23.00 ca. 180 udrykninger fordelt på brand, automatiske brandalarmer, oversvømmelser, automatiske indbrudsalarmer m.m.

Blandt de samfundskritiske opgaver lørdag aften og nat var bl.a.:

1. Oversvømmelse af teknikum på Alarmcentralen – med svigt på visse dele af kommunikationsudstyret og disponeringsteknikken.
2. Oversvømmelse af kælder på Politigården – med svigt på telefonsystem.
3. Oversvømmelse på Rigshospitalet – med flytning af Traumecenter funktion til Herlev Hospitaltil følge. Elevatorerne var ude af drift på grund af vand, hvilket besværliggjorde transport af patienter.
4. Kortslutningsbestemt udkobling af forsyningsfelt af prioriteret el på Rigshospitalet i 2 timer. Den normale a-forsyning kunne anvendes i dele af området. Assistance med generatorer fra Beredskabsstyrelsen.
5. Oversvømmelse af kældre på Vestre Fængsel – Risiko for strømafbrydelse for dermed svigt af sikringssystemer. Assistance fra Lyngby-Taarbæk Brandvæsen.
6. Bispeengbuen og Frederikssundsvejtunnel under vand, Lyngbyvej og Holbækmotorvejen under vand. Assistance fra Beredskabsstyrelsen.
7. Oversvømmelse af teknikkælder hos BaneDanmark – risiko for svigt af teknik, der ville medføre nedbrud på store dele af banestrækningerne i Danmark. Assistance fra Beredskabsstyrelsen.
8. Risiko for oversvømmelse ved Harrestrup Å.
9. Strømsvigt - ca. 10.000 berørte borgere. Der har været kontakt til SUF med henblik på

overblik over borgere, der er afhængige af f. eks. apparatur mv.

10. Døgnbasen, nødkaldssystemet for byens ældre brød ned.
11. Oversvømmelse af Kastellet.
12. Oversvømmelse og vandskade af en lang række kommunale ejendomme og værdier. 70 % af kommunens tværgående forretnings-kritiske IT-systemer var tæt på ødelæggelse som følge af oversvømmelser efter skybruddet den 2. juli 2011.

### Hvilke regnintensiteter ble egentlig målt og hva er gjentakintervallene?

Chefkonsulent i Københavns Energi A/S (København kommune) Niels Bent Johansen (2012) sier at man i gjennomsnitt kan anta at ca 120 mm falt over byen på to timer. Videre at for en regnvarighet på 10 minutter hadde regnet et gjentakinter-

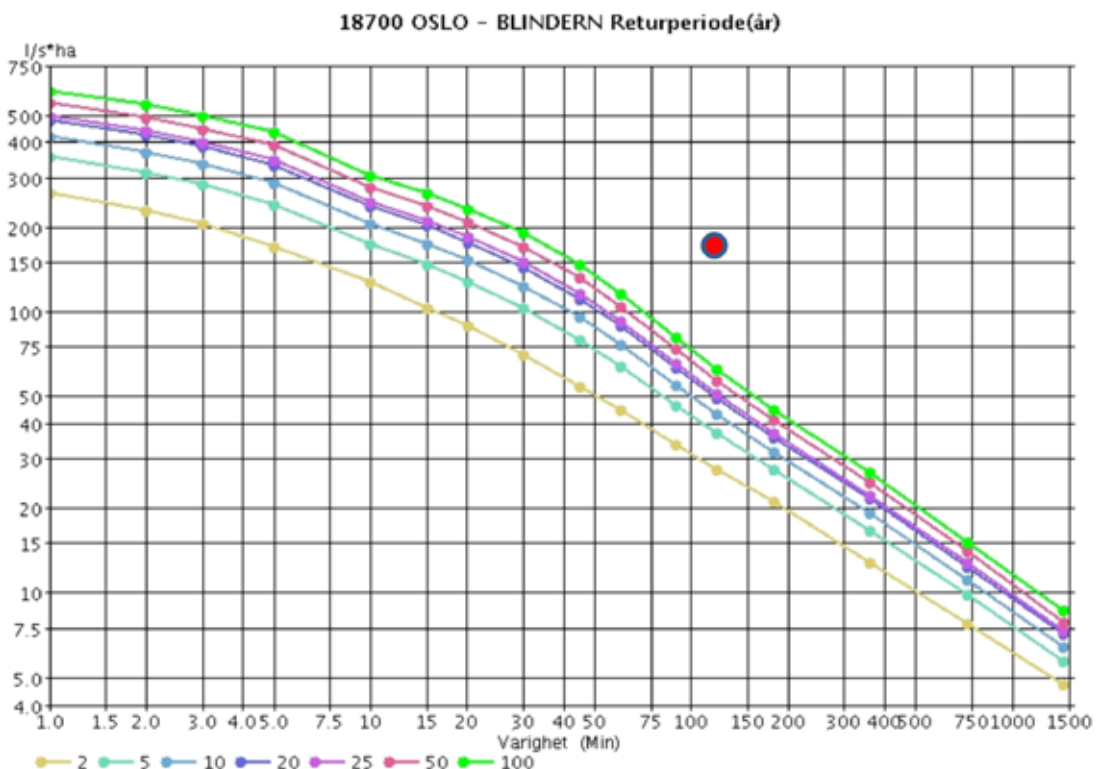
vall på 1000 år. For en varighet på 60 minutter hadde regnintensiteten et gjentakintervall på flere tusen år.

I figur 1 er et regn med varighet 2 timer og en intensitet tilsvarende 120 mm plottet inn i IVF-kurven for Blindern. Når man ser hvor tett det er mellom 50 år og 100 års gjentakintervall, er det klart at gjentakintervallet for monsterregnet, etter Blindern-kurven, blir mange tusen år.

Om det skulle legges inn et ”påslag” på dagens nedbørstatistikk for å ta hensyn til et regn på størrelse med København-monsterregnet, måtte man brukt 200 – 300 % mer en dagens ingeniørpraksis i norske kommuner.

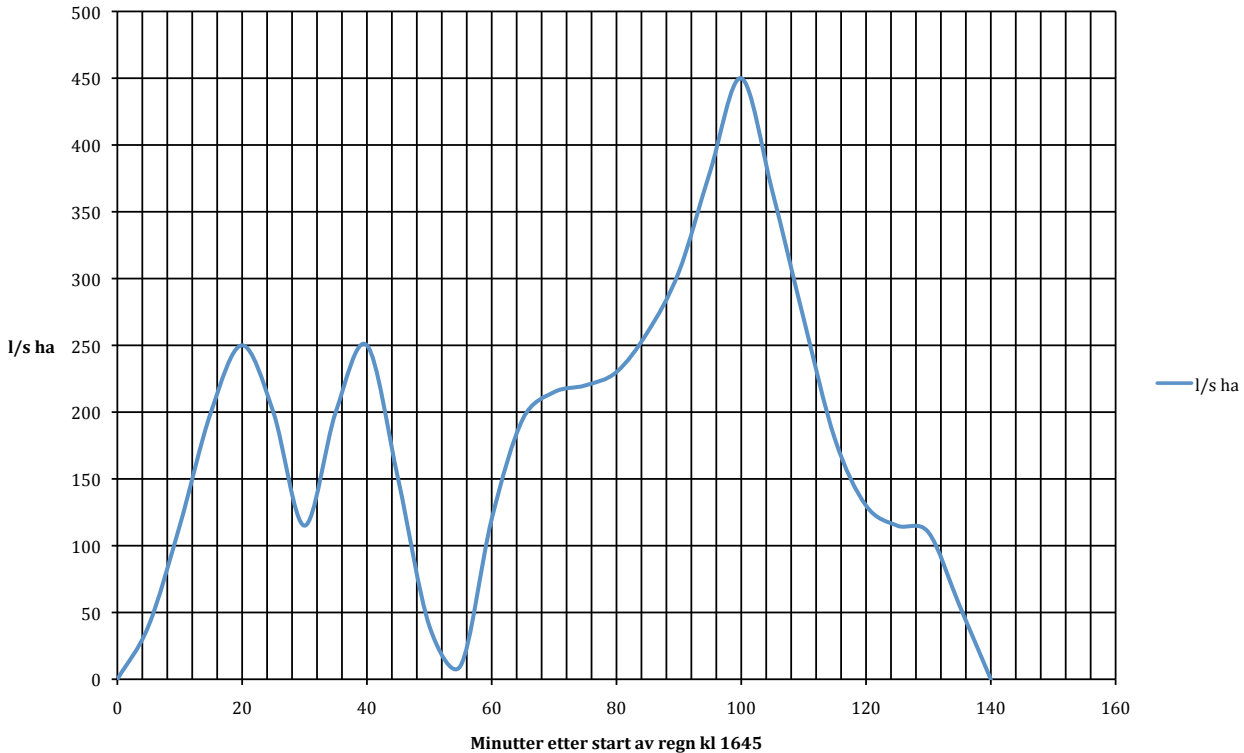
Intensitetskurven i figur 2 er konstruert på basis av værradarmålinger i København. Disse radarmålingene ble kalibrert mot flere pluviografer i området.

### Monsterregnet i København 2. juli 2011 – 120 mm på 2 timer



Figur 1. Innplotting av 120 mm på to timer på IVF-kurve fra Blindern. (Lindholm 2012).

**l/s ha**



Figur 2. Radarberegnet regnintensitet for en pixel i radarmålingen omkring Botanisk Have i det indre av København. DMI 2012.

I tilfellet av at noen vil simulere situasjoner i egne avløpsnett med monsterregnets intensiteter, er tallene som er brukt i modellanalysen med SWMM i Ås vist i tabell 1.

Nedbøren i den viste pixelen i figur 2 er på 155 mm på 2 timer og 20 minutter.

Man kan finne eksempler på monsterregn også i Norge, for 9. august 2012 traff uværet

Minutter etter regnstart	Regnintensitet l/s ha	Minutter etter regnstart	Regnintensitet l/s ha	Minutter etter regnstart	Regnintensitet l/s ha
0	0	50	40	100	450
5	40	55	10	105	365
10	115	60	120	110	270
15	200	65	195	115	180
20	250	70	215	120	130
25	200	75	220	125	115
30	115	80	230	130	110
35	200	85	260	135	55
40	250	90	305	140	0
45	150	95	380		

Tabell 1. Klokkeslett, tid i minutter etter start av regnet og regnintensitet i l/s ha.

”Frida” i bl.a. Nedre Eiker og det falt 70 mm på 40 minutter. Det ble 2000 innmeldte skadesaker med skadekostnader på ca 150 mill. kr og 100 personer måtte evakueres (Vær og vind 2013).

For slike regn er det ikke mulig å anlegge rørsystemer som klarer overvannsavrenningen. Man må derfor overveie om man skal anlegge en åpen trygg flomvei gjennom den aktuelle tettbebyggelsen. En slik åpen flomvei bør vurderes dimensjonert for ett 100 års regn.

mot 9 forskjellige virkelige regnhendelser hentet fra NVEs database Hydra II. Simuleringen av overvannsnettet Rustadskogen baserer seg på 4 forskjellige gjentakintervall i tillegg til Monsterregnet fra København.

Boligområdet Rustadskogen ligger øst for Ås sentrum og ble kalt opp etter gårdsnavnet som ligger i umiddelbar nærhet. Avgrensningen av feltet er vist i figur 3. Området har en bebyggelse fra 1973. Bebyggelsen er hovedsakelig eneboliger

## Rustadskogfeltet i Ås kommune. Analyse av avløpsnettet med monsterregnet

Det er i denne analysen utviklet en overvannsmodell for avløpsfeltet Rustadskogen i Ås kommune i Akershus. Dataprogrammet SWMM er brukt til dette. Modellen er utviklet av det amerikanske miljødirektoratet EPA (2013) og det benyttes hydrologiske enhetsprosesser for overflateavrenningen (bl.a. Hortons infiltrasjonsligning) og fulle dynamiske ligninger for simulering av rørstrømning (St. Venants ligninger). Den matematiske avløpsmodellen SWMM er kalibrert



Figur 3. Rustadskogen boligområde med NVEs målestasjon. Kart fra Statens kartverk, 2013.

og noen delte boliger. Området er på 24,4 ha, hvorav 25,4 % er urbanisert hvor andel takflater utgjør 10,8 %, veiene 8 % og gangveiene utgjør ca. 6,1 % av det totale arealet. Ledningene er av betong, og de har dimensjoner fra 160 mm til 600 mm. Avløpssystemet som er benyttet i Rustadskogen boligområder er separatsystem med et overvannsnett og et spillvannsnett. Det er en slak helning på ca. 3 % i retning utløpets posisjon. Høyeste punkt ligger på 132,5 meter over havet (moh) og utløpet på ca. 120 moh. Vegetasjonen i nedslagsfeltet er hovedsakelig tilknyttet boligene som hager og beplantede fellesarealer med busker, gress og noe bjerketrær. Rustadskogen har for det meste marin strandavsetning og to små områder med randmorene. Infiltrasjonsevnen i området ligger i kategorien middels godt egnet.

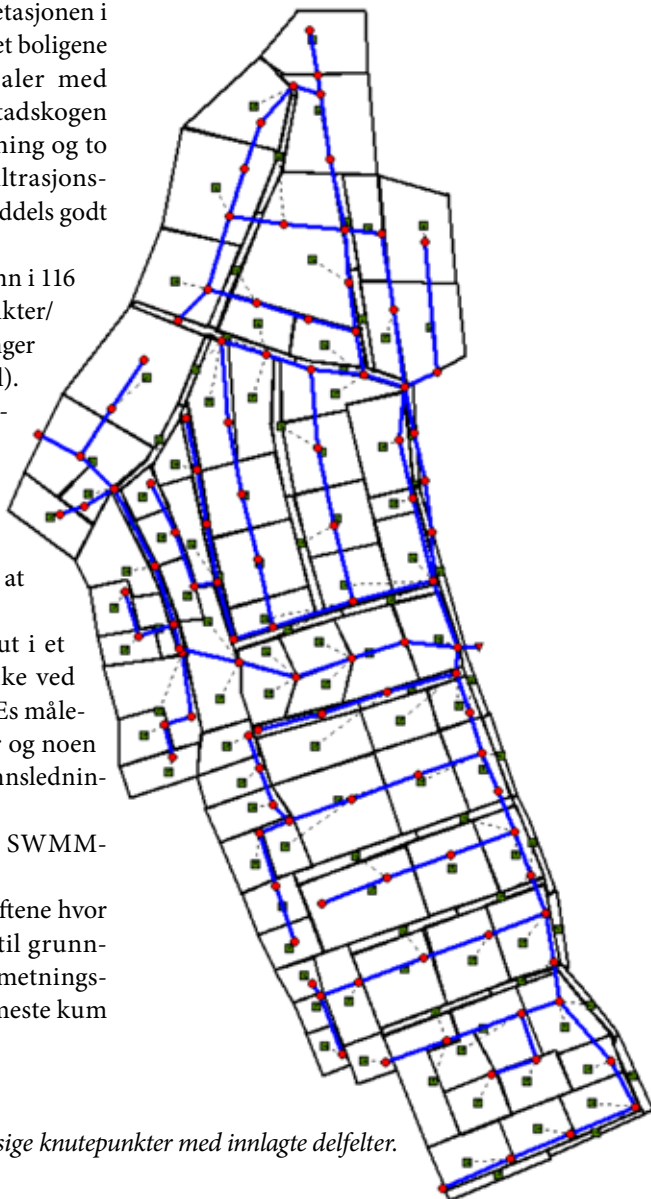
Analysemodellen av feltet ble delt inn i 116 delfelt (subcatchments), 107 knutepunkter/kummer (nodes), 113 ledningsstrekninger (links) og ett utløpspunkt (outfall). Kommunen kjenner ikke til noen overvømmelser eller skader på de årene som bebyggelsene har eksistert (Aarseth, 2013). Det kan imidlertid tenkes at forsikringselskaper har utbetalt vannskadeerstatninger uten at kommunene har blitt varslet.

Overvannet fra området renner ut i et utslippspunkt på midten av feltet like ved veien på østsiden. Her ligger også NVEs målestasjon. Tette flater som hustak, veier og noen parkeringsplasser er tilknyttet overvannsledningene.

Feltet slik det er representert i SWMM-modellen er vist i figur 4.

Veienes overvann renner av til grøftene hvor vannet infiltreres og perkolerer ned til grunnvannet. Når infiltrasjon har nådd sin metningskapasitet, vil vannet renne av til nærmeste kum og videre til overvannsnettet.

NVEs målestasjon har registrert nedbør og avrenning i mer enn 30 år. Data fra ni av de kraftigste regnene fra databasen til NVE er brukt for å kalibrere avløpsmodellen. Resultatene av kalibreringen var meget bra da de beregnede vannføringene og de målte vannføringene hadde en meget tilfredsstillende overensstemmelse. Tabell 2 viser noen resultater fra simuleringene.



Figur 4. Avløpssystemets beregningsmessige knutepunkter med innlagte delfelter. (Buhler 2013).



Gjentaksintervall for regn (år)	Antall skadede bygninger
10	14
20	29
50	47
100	61
“Monsterregnet”	132

Tabell 2. Antall bygninger som skades av flomvann p.g.a. regn med ulike regnintensiteter (Buhler 2013).

Beregningene viser at et 100 års regn vil gi vannskade på 61 hus av totalt 245 i feltet, mens ”Monsterregnet” vil føre til skade på 132 hus. Økningen i skadede hus er ca 30 % ved doubling av gjentaksintervallet for regn fra 50 år til 100 år. Ved å gå fra et 100 års regn til ”Monsterregnet” ser man at økningen er på ca 116 %. Dette sier noe om hvilke ekstreme regnintensiteter man hadde med å gjøre i København 2. juli 2011.

## Konklusjon

Man kan konkludere med at regn av tropisk intensitet allerede har kommet til Norden, og at et slikt som falt i København vil sette selv et 100 års regn på dagens regnintensitetskurver fullstendig i skyggen. Her kan det også minnes om at uværet ”Frida” traff Nedre Eiker i fjor og det hadde regnintensiteter på nivå med Monsterregnet (70 mm på 40 minutter). Man gjør klokt i å vurdere hvilke klimatillegg man bør legge til på dagens regnintensitetskurver, for det synes åpenbart at i løpet av dette århundre vil klimaeffektene gjøre at svært sterke regn vil belaste våre avløps-systemer.

Analysene har vist at rørsystemene våre ikke kan klare de enorme vannmengdene som det må planlegges for i fremtiden. Den såkalte treleddsstrategien med infiltrasjon av overvann, forsinkelse av den overskytende avrenningen og åpne flomveier må innføres i byene. Her er særlig viktig å sikre åpne trygge flomveier sentralt i byene.

## Takk

Vi er takknemlige for råd og hjelp fra NVE for data for både regnmålinger og avløpsmålinger. Vi takker også Ås kommune for bruk av avløpsfeltet

Rustadskogen. Prosjektet har vært et av Institutt for matematiske realfag og teknologi (UMB) sitt bidrag i Norges forskningsråds forskningsprogram ExFlood.

## Referanser

Berlingske tidende. 2011. 8. juli 2011. København.

Buhler, L. 2013. ”Analyse av klimaendringens påvirkning på Rustadfeltet med kalibrert modell”. Mastergradsoppgave levert til UMB Institutt for matematiske realfag og teknologi.

Danmarks Meteorologiske Institut (DMI). 2012. Drift av Spildevandskomitéens regnmålersystem – Årsnotat for 2011”. ISSN 1399-1388. København.

EPA. (2013). [www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/swmm/](http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/swmm/)

Grum, M., Jørgensen, A.T., Johansen, R.M. and Linde, J.J. 2006. ”The effect of climate change on urban drainage: an evaluation based on regional climate model simulations”. Water Science & Technology Vol 54 No 6-7 pp 9-15 © IWA Publishing 2006.

Hedlund, T. 2007. ”Sårbart vatten - Klimaforskningsinstitut föreslås.” Miljöforskning nummer 5-6 december 2007. Stockholm.

Niels Bent Johansen (2012). Fra Teknakurset ”En blågrønn fremtid” 24. oktober 2012.

Københavns brandvæsen. 2011. ”Evalueringsrapport. Skybrud den 2.-3. juli 2011.” 25. september 2011. København.

Oddvar Lindholm, Svein Endresen, Bjørn Tønder Smith og Sveinn Thorolfsson. 2012. ”Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportssystem.” ISBN 978-82-414-0337-8. Rapport 193 – 2012. Hamar.

Lindholm, O. 2012. ”Noen sentrale punkter fra Norsk Vanns veileder” TEKNA-kurset ”En blå-grønn fremtid - Overvannshåndtering” 24. oktober 2012.

Olsson, J., Berggren, K., Olofsson, M. og Viklander, M. 2007. "Applying climate model precipitation scenarios for urban hydrological assessment: A case study in Kalmar City, Sweden". Licentiate thesis. Luleå University of Technology.

Rasmussen, J. 2012. Fra Teknakurset "En blågrønn fremtid" 24. oktober 2012. Prosjektchef Jan Rasmussen København kommune.

SOU (2007:60) "Klimat og sårbarhetsutredningen. Sverige inför klimatförändringar – hot och möjligheter". Stockholm.

Vær og vind. 2013. <http://www.verogvind.net/readmore.asp?readmoreid=3784>

www.dmi.dk 10.05.2012. DMI. København.

Aarseth, J. 2013. Ås kommune. Personlig meddelelse.