



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Aalborg Universitet

Klimafremskrivning af Viby-regnserien

Thorndahl, Søren Liedtke

Publication date:
2016

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Thorndahl, S. L. (2016). Klimafremskrivning af Viby-regnserien. Aalborg: Aalborg Universitet, Institut for Byggeri og Anlæg. (DCE Technical Memorandum; Nr. 61).

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- ? Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- ? You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- ? You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



INSTITUT FOR BYGGERI OG ANLÆG
AALBORG UNIVERSITET

Klimafremskrivning af Viby-regnserien

Søren Thorndahl

Aalborg Universitet
Institut for Byggeri og Anlæg
Sektionen for Vand og Miljø

DCE Technical Memorandum No. 61

Klimafremskrivning af Viby-regnserien

Søren Thorndahl

August 2016

© Aalborg Universitet

Videnskabelige publikationer ved Institut for Byggeri og Anlæg

Technical Reports anvendes til endelig afrapportering af forskningsresultater og videnskabeligt arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg på Aalborg Universitet. Serien giver mulighed for at fremlægge teori, forsøgsbeskrivelser og resultater i fuldstændig og uforkortet form, hvilket ofte ikke tillades i videnskabelige tidsskrifter.

Technical Memoranda udarbejdes til præliminær udgivelse af videnskabeligt arbejde udført af ansatte ved Institut for Byggeri og Anlæg, hvor det skønnes passende. Dokumenter af denne type kan være ufuldstændige, midlertidige versioner eller dele af et større arbejde. Dette skal holdes in mente, når publikationer i serien refereres.

Contract Reports benyttes til afrapportering af rekvireret videnskabeligt arbejde. Denne type publikationer rummer fortroligt materiale, som kun vil være tilgængeligt for rekvirenten og Institut for Byggeri og Anlæg. Derfor vil Contract Reports sædvanligvis ikke blive udgivet offentligt.

Lecture Notes indeholder undervisningsmateriale udarbejdet af undervisere ansat ved Institut for Byggeri og Anlæg. Dette kan være kursusnoter, lærebøger, opgavekompendier, forsøgsmanualer eller vejledninger til computerprogrammer udviklet ved Institut for Byggeri og Anlæg.

Theses er monografier eller artikelsamlinger publiceret til afrapportering af videnskabeligt arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg som led i opnåelsen af en ph.d.- eller doktorgrad. Afhandlingerne er offentligt tilgængelige efter succesfuldt forsvar af den akademiske grad.

Latest News rummer nyheder om det videnskabelige arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg med henblik på at skabe dialog, information og kontakt om igangværende forskning. Dette inkluderer status af forskningsprojekter, udvikling i laboratorier, information om samarbejde og nyeste forskningsresultater.

Udgivet 2016 af
Aalborg Universitet
Institut for Byggeri og Anlæg
Sofiendalsvej 9-11
DK-9200 Aalborg SV, Danmark

Trykt i Aalborg på Aalborg Universitet

ISSN 1901-7278
DCE Technical Memorandum No. XXX

Klimafremskrivning af Viby-regnserien

Indledning

Historiske kontinuerte lange regnserier er nødvendige til analyse og dimensionering af komplekse afløbssystemer. De længste danske serier fra spildevandskomiteens regnmålnetværk dækker pt. mere end 35 års lokale regnmålinger, hvorfor der i Danmark findes en meget pålidelig regnstatistik de steder, hvor der har været opsat en regnmåler. På grund af klimaændringer er det forventeligt at nedbørsmønstrene vil ændre sig i Danmark, hvorfor de historiske serier ikke længere vil være repræsentative for det fremtidige klima.

I Spildevandskomiteens Skrift 30 (2014) er der angivet klimafaktorer og regional regnstatistik, som kan anvendes til dimensionering af simple afløbssystemer herunder eksempelvis med rationel metode eller tid-areal metode eller til modelbaseret analyse af simple systemer med kunstig (statistisk) regn. Der er i imidlertid et behov for, i dimensionering og analyse af mere komplekse afløbssystemer, at anvende målte historiske regnserier, for hermed at kunne medtage regnens tidslige dynamik i bestemmelsen af regnbelastningen på det pågældende afløbssystem.

På Aalborg Universitet er der udviklet en metode til at klimafremskrive historiske regnserier, så regnserierne, ud fra de bedste estimater af fremtidige nedbørsændringer i Danmark, kan modificeres til at repræsentere fremtidige nedbørsforhold. Dette gøres ud fra DMIs projektioner om hvordan, årsnedbør, sommer- og vinter nedbør samt ekstremregn forventes at ændres i for eksempel år 2100 (DMI, 2014). Herudover anvendes Spildevandskomiteens Skrift 30 til specifikke forudsigelser af hvordan dimensionsgivende regn kan klimafremskrives. De klimafremskrevne regnserier baseres på de lokale regnserier fra spildevandskomiteens regnmålersystem, således en lokal regnserie kan bringes til at repræsentere det forventede fremtidige klima lokalt.

I denne notat præsenteres kort den udviklede metode til klimafremskrivning af historiske regnerier. Metoden kan overordnet set opdeles i to:

- *Regenerering af historisk regnserie*
Målte regnhændelser fra hver af de fire årstider i en historiske regnserie udtages tilfældigt og sammensættes til en ny kontinuert regnserie. Kan der genereres en serie, der har de samme statistiske nedbørskaraktistika som den historiske referenceserie vurderes metoden valid.
- *Klimafremskrivning af historisk regenereret regnserie*
Målte regnhændelser udvælges tilfældigt ved en modificeret fordelingsfunktion, for på den måde at generere en regnserie med en ændret frekvensfordeling. Desuden multipliceres regnintensiteter med klimafaktorer, og sammensættes slutteligt til en fremskrevet kontinuert regnserie.

Metodebeskrivelse

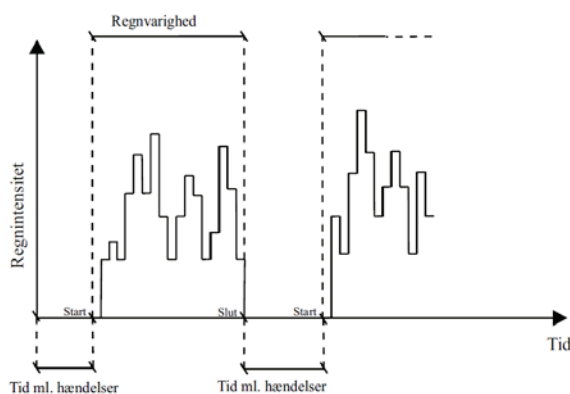
Metoden er beskrevet i detaljer i artiklen: *An event-based stochastic point rainfall series resampler for statistical replication and climate projection of historical rainfall series* (Thorndahl et al., 2016) og gengives kun kortfattet her.

Regenerering af historisk regnserie

Målet er at generere syntetiske regnserier ud fra en historisk referenceregnsérie, således de syntetiske og den historiske serie får samme nedbørsstatistik. Det første skridt er at opdele den historiske regnsérie i årstider for at beskrive variationen i intensiteter, varigheder og tiden mellem de enkelte regnhændelser i løbet af året.

Genereringen af den syntetiske regnsérie følger nedenstående fremgangsmåde for hver årstid til hvert genereret år. Konceptet er vist på figur 1.

1. Der trækkes en tilfældig tid mellem regnhændelser ud fra en Pareto-fordelingsfunktion for hver årstid.
2. En tilfældig regnhændelse trækkes ud fra en pulje af årstidsopdelte regnhændelser baseret på den historiske referenceregnsérie. For den enkelte tilfældigt udtrukne hændelse bibeholdes både regnintensitet og -varighed.
3. Processen gentages for alle årstider og fortsættes indtil den ønskede længde på serien er opnået.



Figur 1. Principskitse for opdeling af regnsérie i tid mellem hændelser og hændelser.

Således regenereres en historisk regnsérie til en syntetisk regnsérie ved skiftevis at sammensætte tiden mellem hændelser samt individuelle regnhændelser fra en pulje af historiske hændelser – begge dele årstidsopdelt og baseret udelukkende på den historiske referenceregnsérie. Det er muligt at den samme regnhændelse udvælges mere end én gang, idet der regnes med tilbagelægning. Antallet og sammensætningen af hændelser er derfor forskellig fra årstid til årstid og fra år til år.

Klimafremskrivning af regenereret historisk regnsérie

Klimafremskrivningen er inddelt i tre trin:

1. Tiden mellem hver hændelse for hver årstid udvælges under anvendelse af samme fremgangsmåde som beskrevet i foregående afsnit, dog er parametrene i Pareto-fordelingsfunktionen for hver årstid implementeret som stokastiske variable. Herved muliggøres en ændring i fordelingen af tiden mellem hændelser og dermed en ændring af antallet af hændelser pr. årstid ift. referenceserien. Som et eksempel er denne fremgangsmåde i stand til at imødekomme en moderat stigning af total sommernedbør og samtidig en betydelig stigning i ekstreme regnhændelser med et lavere antal hændelser i alt om sommeren som følge heraf.

2. Regnhændelser udvælges fra puljen af historiske hændelser for hver årstid på samme måde som beskrevet i det foregående afsnit. Varigheden af hver hændelse ændres ikke, da der ikke er tilstrækkeligt grundlag for at vurdere om klimaforandringerne vil påvirke varigheden af hændelser.
3. For hver årstid multipliceres fem forskellige regnintensitetsniveauer for hver regnhændelse med klimafaktorer. Disse klimafaktorer trækkes tilfældigt ud fra fastsatte uniforme fordelingsfunktioner.

Herved kan der på samme fremgangsmåde som beskrevet ovenfor genereres en kontinuert klimafremskrevet syntetisk regnserie af ønsket længde.

Evaluering- og optimeringsprocedure

Da begge metoder, *regenerering af historisk regnserie* og *klimafremskrivning af regenereret historisk regnserie*, indebærer tilfældig udvælgelse af regnhændelser og tilfældig generering af parametre, er der behov for en metode til at evaluere statistikken på regnserierne mod en række performancemål. Denne evalueringmetode er inspireret af metoden *GLUE* (Beven og Binley 1992, Thorndahl et al. 2008). Det grundlæggende koncept er at generere et stort antal regnserier og ud fra disse vurdere, om hver enkelt genereret regnserie skal accepteres eller forkastes på baggrund af nogle definerede performancemål for individuelle parametre. Helt overordnet skal de generede regnserier have samme (eller omtrent samme) nedbørskaraktistika som henholdsvis den historiske referenceregnsere og klimafremskrevne målparameterværdier fra den historiske referenceregnsere. Performancemålet bliver herved bestemt som en vægtning af følgende parametre:

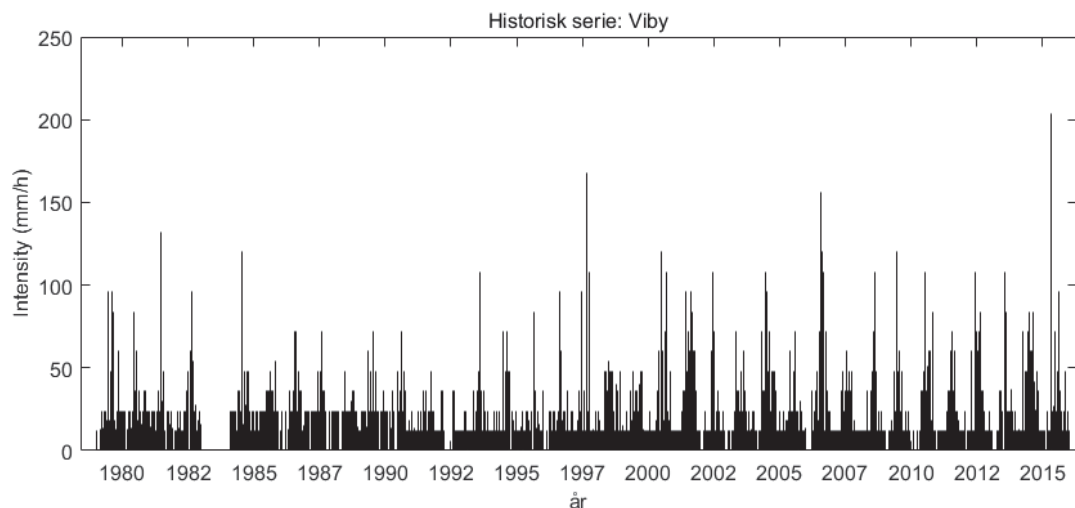
- Årsnedbør
- Årstidsnedbør
- Nedbørshændelser over 10 mm pr. døgn
- Nedbørshændelser over 20 mm pr. døgn
- Største døgnsum
- Regnintensitet for 60 min.-regnvarigheder med gentagelsesperioder på 2 og 10 år.

Der henvises til Thorndahl et al. (2016) for specifikke detaljer omkring vægtning af målparametre samt fastsættelse af grænseværdier for performancemål.

Data

Metoden er baseret på Danmarks Meteorologiske Instituts (DMI) klimafremskrivning af nedbørsforholdene i Danmark i år 2100 vha. af klimascenariet A1B. Dette er beskrevet i rapporten *Fremtidige klimaforandringer i Danmark* (DMI 2014). Derudover anvendes også de klimafremskrivninger af nedbøren, der er beskrevet i Spildevandskomiteen (2014) - Skrift 30.

I dette notat anvendes der en regnserie fra spildevandskomiteens regnmålersystem som er målt i Viby, (regnmåler 5177). Regnserien er målt fra 1979 til 2015 og med mindre udfald er den effektive længde 34 år. Der anvendes kun godkendte hændelser jf. spildevandskomiteens definition. Se figur 2.



Figur 2: Målt Viby-regnserie 1979-2015.

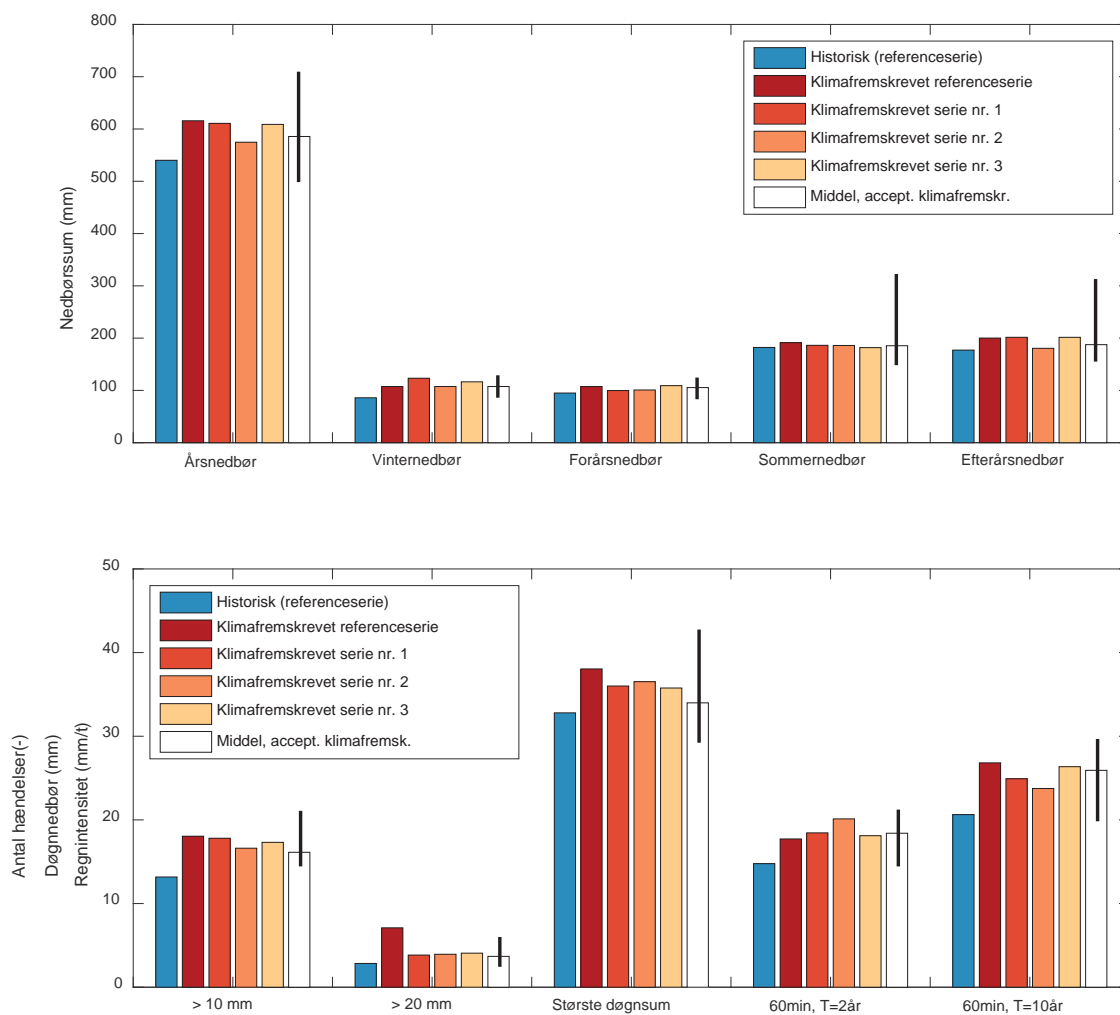
Resultater

I følgende afsnit præsenteres klimafremskrivningen af Viby-regnserien.

I tabel 1 og på figur 3 (blå søjle) findes de forskellige målparametre fra den historiske referenceregnsérie som ganget med klimafaktorerne (i tabel 1) giver de værdier af målparametrene som serierne genereres mod at passe bedst til.

Der udføres 100.000 tilfældige regenereringer med klimafremskrivning af den historiske regnsérie, og hver regnsérie vurderes i henhold til performancemålet beskrevet tidligere. Ud af de 100.000 simulerede regnsérieer accepteres 1112 (1,1 %). Klimafremskrivningen involverer ikke bare tilfældig trækning af tider mellem regnhændelser og selve hændelsen, men også tilfældig udvælgelse af parametre i Pareto-fordelingerne og klimafaktorer for fremskrivning af intensiteter for hver årstid. Da de genererede og klimafremskrevne regnsérieer bliver tilfældigt sammensat og som mål har den samme nedbørsstatistik, kan der være store forskelle i hvordan serierne er sammensat. Ud af de 1112 accepterede regnsérieer er de tre serier med de bedste samlede vægtede performancemål udvalgt. Selvom de tre serier har omtrent den samme nedbørsstatistik kan de være meget forskellige i sammensætningen mellem årsnedbør, årstidsnedbør og ekstremer.

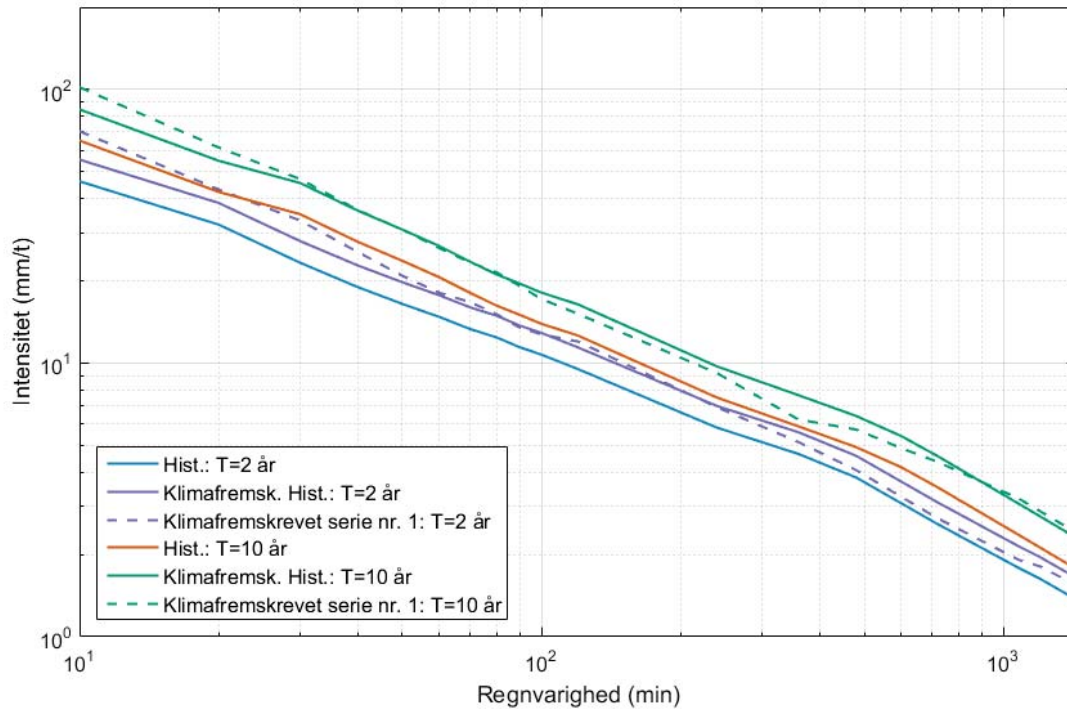
Statistikken for de tre serier er præsenteret i tabel 1 og figur 3 sammen med statistikken for alle de accepterede regnsérieer.



Figur 3 Målparametre for historiske, regenererede og klimafremskrevne regnserier.

Generelt er der en god sammenhæng mellem de klimafremskrevne målparametre og tilsvarende værdier for de klimafremskrevne regnserier (røde nuancer i figur 3). For de accepterede serier ligger performancemålet på 0.962 (hvor 1 er en fuld korrelation mellem målparametre og genereret serie – og 0 er ingen korrelation)

Udover at kunne repræsentere års og årstidsnedbør, skal de klimafremskrevne serier også kunne repræsentere ekstreme hændelser. Udvalgte parametre er vist i den nederste del af figur 3. Desuden viser figur 4 hvordan sammenhængen mellem gentagelseperiode, regnvarighed og regnintensitet (såkaldte IDF-kurver) er repræsenteret for den klimafremskrevne serie nr. 1 i forhold til den historiske referencserie og klimafremskrivningen af denne.



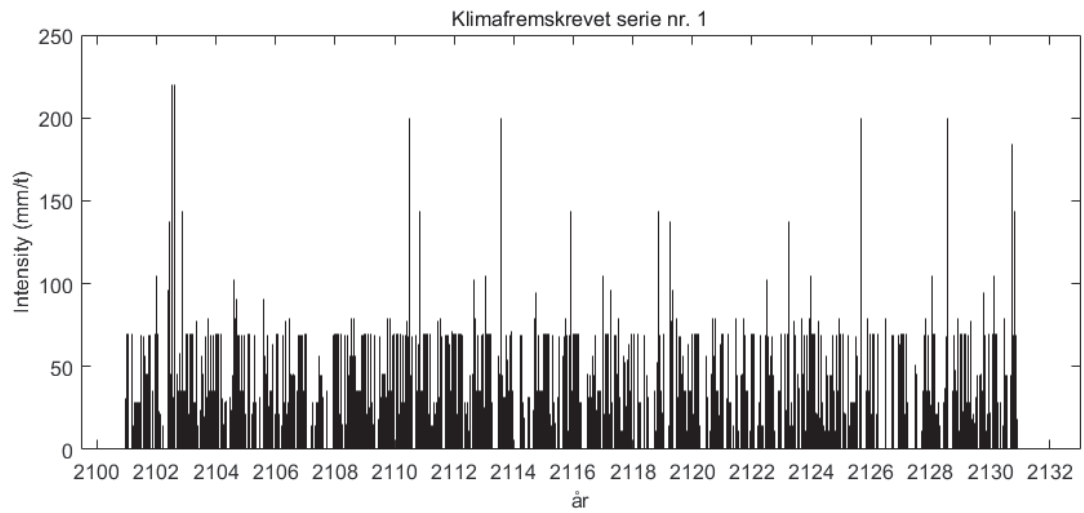
Figur 4 IDF-kurver for historiske regn, og klimafremskrevne regn for gentagelsesperioder på 2 og 10 år.

På figur 5-7 vises tidsserierne for hver af de tre udvalgte klimafremskrevne regnserier.

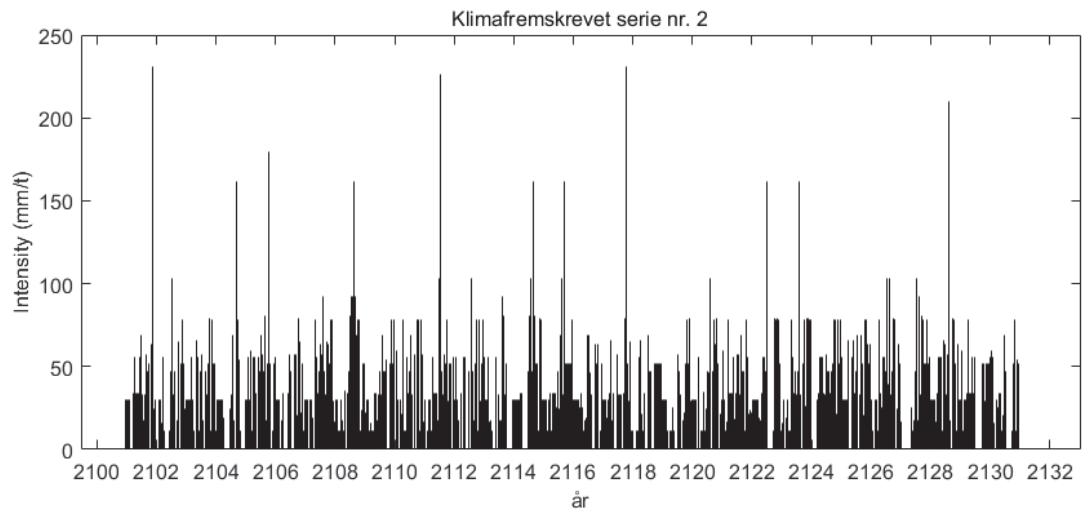
Det samlede resultat af klimafremskrivningen af den regenererede historiske regnserie anses for at være acceptabelt. Indførelsen af 28 stokastiske variable og den tilfældige udvælgelse af regnhændelser kræver naturligvis mange genereringer for at producere en accepteret fremskrevet regnserie, som opfylder alle målp-parametrene tilfredsstillende.

Tabel 1 Målparametre og klimafaktorer for klimafremskrevne regnserier.

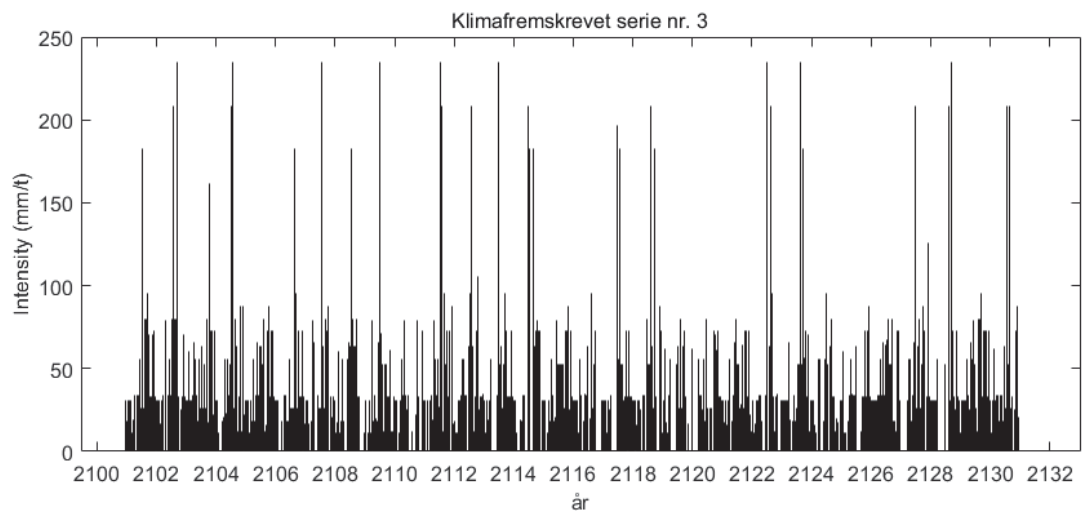
Målparameter	Historisk serie	Klimafaktor	Hist. reference-serie, klimafremskrevet	Klimafremskrevet serie nr. 1	Klimafremskrevet serie nr. 2	Klimafremskrevet serie nr. 3
	Middel (\pm Std. afv.)		Middel	Middel (\pm Std. afv.)	Middel (\pm Std. afv.)	Middel (\pm Std. afv.)
Antal hændelser pr. År	196.9 (\pm 35.4)			212.3 (\pm 62.5)	197.0 (\pm 44.8)	214.1 (\pm 54.9)
Årsnedbør	540.1 (\pm 119.9)	1,14 (DMI 2014)	615.7	610.7 (\pm 192.8)	574.7 (\pm 160.5)	608.8 (\pm 184.7)
Årstidsnedbør, vinter	85.9 (\pm 58.4)	1,25 (DMI 2014)	107.4	123.3 (\pm 49.2)	107.5 (\pm 37.9)	116.4 (\pm 48.3)
Årstidsnedbør, forår	94.9 (\pm 37.6)	1,13 (DMI 2014)	107.3	99.7 (\pm 57.4)	100.8 (\pm 66.3)	109.1 (\pm 54.1)
Årstidsnedbør, sommer	182.2 (\pm 67.6)	1,05 (DMI 2014)	191.3	186.2 (\pm 86.0)	185.9 (\pm 92.7)	181.8 (\pm 79.8)
Årstidsnedbør, efterår	177.1 (\pm 56.5)	1,13 (DMI 2014)	200.1	201.6 (\pm 97.8)	180.5 (\pm 78.4)	201.5 (\pm 90.0)
Nedbørshændelser > 10 mm pr dag	13.2 (\pm 4.5)	1,37 (DMI 2014)	18.0	17.8 (\pm 7.2)	16.6 (\pm 5.6)	17.3 (\pm 6.6)
Nedbørshændelser > 20 mm pr dag	2.8 (\pm 1.9)	2,50 (DMI 2014)	7.1	3.8 (\pm 2.1)	3.9 (\pm 2.2)	4.1 (\pm 2.4)
Årets største døgnsum	32.8 (\pm 12.3)	1,16 (DMI 2014)	38.0	36.0 (\pm 11.5)	36.5 (\pm 14.9)	35.8 (\pm 12.4)
Regnintensitet for 60 min, T=2 år	14.8	1,20 (SVK 2014)	17.7	18.5	20.1	18.1
Regnintensitet for 60 min, T=10 år	20.6	1,30 (SVK 2014)	26.8	24.9	23.8	26.4



Figur 5 Klimafremskrevet Viby-regnserie, nr. 1



Figur 6 Klimafremskrevet Viby-regnserie, nr. 2



Figur 7 Klimafremskrevet Viby-regnserie, nr. 3

Konklusion

I dette notat er der præsenteret en generisk metode til klimafremskrivning af historiske regnserier. Det er valgt at gennemføre artiklen med Viby-serien som eksempel, men den kunne lige så godt have været gennemført med en anden og vilkårlig valgt serie. Målparametrene er blevet valgt til at repræsentere både årlige og årstidmæssige nedbør samt mere ekstreme værdier. Valget af de ti specifikke målparametre er tæt knyttet til det faktum, at dette er, hvad der er i øjeblikket tilgængelig for danske fremtidige klimaforhold. Metoden er generisk, så når andre klimascenarier og potentielt andre og mere specifikke forudsigelser af fremtidens nedbør bliver tilgængelige, vil metoden kunne tilpasses derefter.

Det er vist at den klimafremskrevne regnserie kan repræsentere de forventede målparametre, og det er vist muligt at producere en regnserie, som ikke kun fremskriver akkumuleret årstidmæssigt nedbør, men også ekstremhændelser i overensstemmelse med DMIs og Spildevandskomiteens forudsigelser omkring fremtidens regn i Danmark.

Den præsenterede metode opfylder et væsentligt behov for at have lokale repræsentative regnserie, der er gældende for både det nuværende og fremtidige klima. De klimafremskrevne serier kan således anvendes direkte som input i afløbsmodeller for at analysere belastninger på et vilkårligt afløbssystem, f.eks. overløb fra fælleskloakeret afløbssystem, opstuvning til kritiske koter, nødvendige magasineringsvolumener, samt oversvømmelser i det nuværende og fremtidige klima.

I øjeblikket arbejdes der på Aalborg Universitet på at udvide metoden til også at kunne tage højde for fordelingen mellem flere regnmålere, fremfor kun at klimafremskrive en enkelt historisk regnserie ad gangen. Herved er håbet, at der kan genereres korrelerede klimafremskrevne regnserier for hele Danmark.

Referencer

Beven, K., Binley, A. (1992) The future of distributed models: model calibration and uncertainty prediction *Hydrological Processes*, 6 (3), pp. 279-298.

DMI (2014). Fremtidige klimaforandringer i Danmark, Danmarks Klimacenter rapport nr. 6. http://www.dmi.dk/fileadmin/user_upload/Rapporter/DKC/2014/Klimaforandringer_dmi.pdf

Spildevandskomiteen (2014) Opdaterede klimafaktorer og dimensionsgivende regnintensiteter, Skrift nr. 30 http://ida.dk/sites/prod.ida.dk/files/svk_skrift30_0.pdf

Thorndahl, S., Beven, K.J., Jensen, J.B., Schaarup-Jensen, K. (2008) Event based uncertainty assessment in urban drainage modelling, applying the GLUE methodology. *Journal of Hydrology*, 357 (3-4), pp. 421-437.

Thorndahl, S., Andersen, A.K, Larsen, A.B (2016) An event-based stochastic point rainfall series resampler for statistical replication and climate projection of historical rainfall series. Indsendt til *Journal of Hydrology* 10 March 2016.

Bilag

Følgende findes som supplement til denne rapport i *.dfs0 format

Referenceregnsere, Viby 1979-2015, godkendte hændelser:	Vibyhist1979-2015.dfs0
Klimafremskrevet regnsere nr. 1, 2100-2030:	VibyKlimafremskrevet2100-2130_1.dfs0
Klimafremskrevet regnsere nr. 2, 2100-2030:	VibyKlimafremskrevet2100-2130_2.dfs0
Klimafremskrevet regnsere nr. 3, 2100-2030:	VibyKlimafremskrevet2100-2130_3.dfs0

