



Ekstremregn i Danmark

Supplement til statistisk bearbejdning af nedbørsdata
fra Spildevandskomiteens regnmålersystem 1979-96

Henrik Madsen

August 2002

Miljø & Ressourcer DTU
Danmark Tekniske Universitet

Dette er en netpublikation, der kan downloades fra
<http://www.er.dtu.dk/publications/fulltext/2002/mr2002-042.pdf>

ISBN: 87-89220-62-5

Udgivet af:

Miljø & Ressourcer DTU
Danmarks Tekniske Universitet
Bygningstorvet, Bygning 115
2800 Kgs. Lyngby
Tlf.: 4525 1610
Fax: 4593 2850
E-mail: library@er.dtu.dk

Forord

I projektet vedrørende regional analyse af ekstremregn i Danmark der ligger til grund for udarbejdelsen af Spildevandskomiteens skrift nr. 26 ”Regional variation af ekstremregn i Danmark” analyseredes middelintensiteter med en mindste varighed på 10 minutter. Den efterfølgende anvendelse af skriftet til bestemmelse af dimensioneringsregn i form af CDS (Chicago Design Storm) har imidlertid vist et behov for regional estimation af intensiteter med varighed under 10 minutter.

På foranledning af Spildevandskomiteens Regnudvalg blev der i maj 2001 taget initiativ til at igangsætte et projekt til at foretage en analyse af ekstremregn for intensiteter med varighed under 10 minutter. Nærværende rapport opsummerer resultaterne af denne analyse.

Projektet har været finansieret af Regnmålersystemets Styregruppe.

Indholdsfortegnelse

1	INDLEDNING	3
2	EKSTREMVÆRDISERIER.....	4
3	L-MOMENT ANALYSE.....	6
4	REGIONAL MODEL.....	9
5	KONKLUSION	15
6	REFERENCER.....	16

1 Indledning

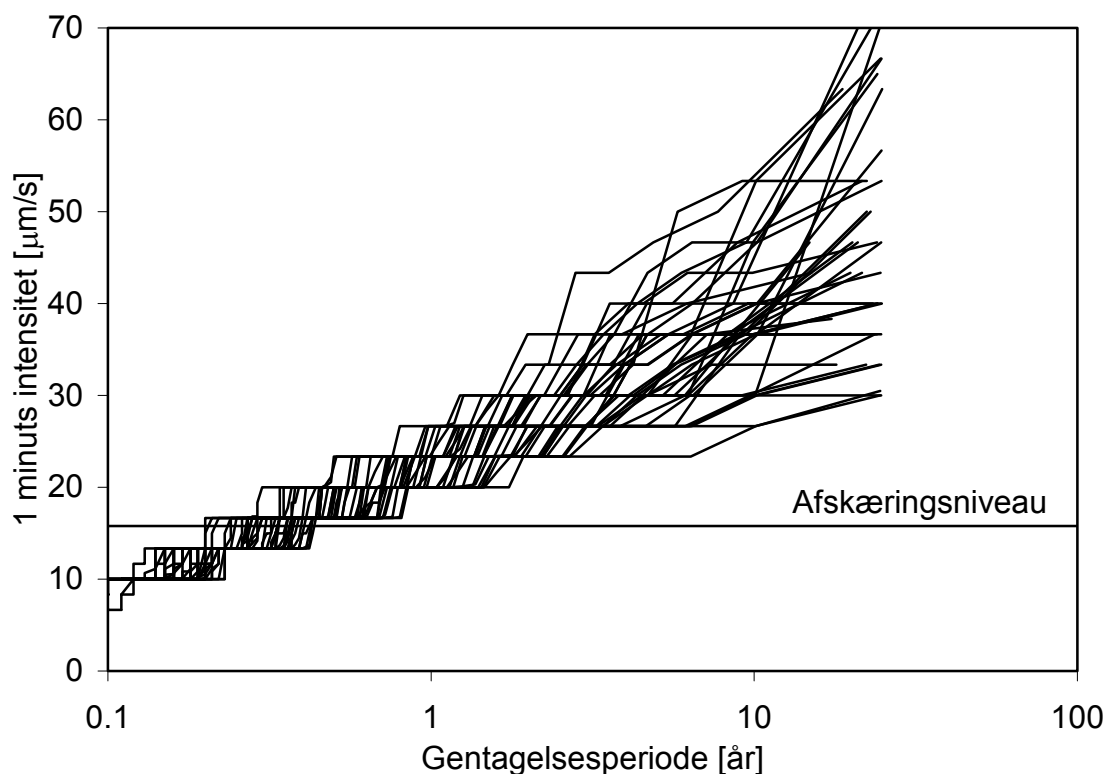
I forbindelse med udarbejdelse af Spildevandskomiteens skrift nr. 26 "Regional variation af ekstremregn i Danmark" (Mikkelsen et al., 1999) blev der foretaget en omfattende statistisk bearbejdning af data fra Spildevandskomiteens landsdækkende regnmålersystem, der blev etableret i 1979. Denne bearbejdning er rapporteret i en teknisk baggrundsrapport (Madsen, 1998) der danner grundlag for udarbejdelsen af skrift nr. 26. Bearbejdningen omfatter analyse af den regionale variabilitet af ekstremregn i Danmark for forskellige nedbørsvariable, der inkluderer middelintensiteter for varigheder mellem 10 minutter og 48 timer.

Denne rapport er et supplement til baggrundsrapporten og inkluderer analyse af den regionale variabilitet af ekstremregn for middelintensiteter med varigheder under 10 minutter. Tre nedbørsvariable er udvalgt, henholdsvis 1, 2 og 5 min. intensiteten. Til analysen er benyttet det samme datagrundlag som blev brugt i Madsen (1998), dvs. nedbørsmålinger frem til 1. januar 1997 fra 41 stationer med mere end 10 års observationer.

I det følgende opsummeres resultaterne af den statistiske analyse af de tre nedbørsvariable. For en detaljeret beskrivelse af de anvendte statistiske teorier og værktøjer henvises til den tekniske baggrundsrapport (Madsen, 1998).

2 Ekstremværdiserier

For de 41 stationer er de maksimale middelinintensiteter bestemt for varighed på 1, 2 og 5 min. for hver nedbørshændelse i henhold til hændelsesdefinitionen anvendt i KMD formatet. Som eksempel på de heraf udledte serier af nedbørsvariable er de empiriske fordelingsfunktioner for 1 min. intensiteten fra de 41 stationer vist i Figur 2.1. De spring der ses i fordelingsfunktionerne skyldes målenøjagtighed på nedbørsregistreringerne svarende til 0.2 mm per minut ($3.33 \mu\text{m/s}$).



Figur 2.1 Empiriske fordelinger af 1 min. intensiteten for de 41 stationer.

Tabel 2.1 Afskæringsniveau og middelværdi af det gennemsnitlige antal overskridelser per år for de 41 ekstremværdiserier.

Nedbørsvariabel	Afskæringsniveau [$\mu\text{m/s}$]	Overskridelser per år
1 min. intensitet	15.8	3.25
2 min. intensitet	12.8	3.17
5 min. intensitet	9.00	2.96

Til definition af ekstremværdiserierne benyttes for hver varighed det samme afskæringsniveau ved alle 41 stationer. De benyttede afskæringsniveauer for de tre intensiteter fremgår af Tabel 2.1. I tabellen er der ligeledes angivet middelværdien for de 41 stationer af det gennemsnitlige antal årlige ekstreme hændelser, der er inkluderet i de definerede ekstremværdiserier.

3 L-moment analyse

L-moment analyse er benyttet til en indledende vurdering af den regionale variabilitet og valg af statistisk fordeling. Tre forskellige målstørrelser baseret på L-momenter er beregnet:

1. Diskordansmål D til identifikation af stationer der med hensyn til L-CV, L-skævhed og L-kurtosis er væsentlig forskellige fra gruppen af stationer som helhed. En approksimativ kritisk værdi af D på 5% signifikansniveau er $D_c = 4.6$. Det anbefales generelt at benytte $D > 3$ som kriterium for at stationen er diskordant.
2. Heterogenitetsmål H til vurdering af den regionale variabilitet af L-CV og højere ordens L-momenter. Regionen kan betragtes som "acceptabel homogen" såfremt $H < 1$, "sandsynligvis heterogen" for $1 < H < 2$ og "afgjort heterogen" for $H > 2$.
3. Goodness-of-fit mål Z til bestemmelse af en regional fordeling. Goodness-of-fit mål er beregnet for 5 forskellige fordelinger: eksponentialfordelingen (EXP), den generaliserede Pareto fordeling (GP), gamma fordelingen (GAM), Weibull fordelingen (WEI) og log-normal fordelingen (LN). En kritisk værdi af Z på 5% signifikansniveau er $|Z| > 1.96$.

Resultater for de tre intensiteter er vist i Tabel 3.1 og Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Stationer med diskordansmål $D > 3$. Skravering angiver stationer der er signifikante på 5% signifikansniveau ($D > 4.6$).

Variabel	Station nr.	D
1 min.	30351	3.3
	31231	3.1
2 min.	30211	3.7
5 min.	30352	5.9

Tabel 3.2 Heterogenitetsmål H og goodness-of-fit mål Z for forskellige fordelinger. Skravering for $H > 1$ angiver signifikant regional variabilitet. Skravering for $|Z| < 1.96$ angiver at den pågældende fordeling ikke kan afvises på 5% signifikansniveau.

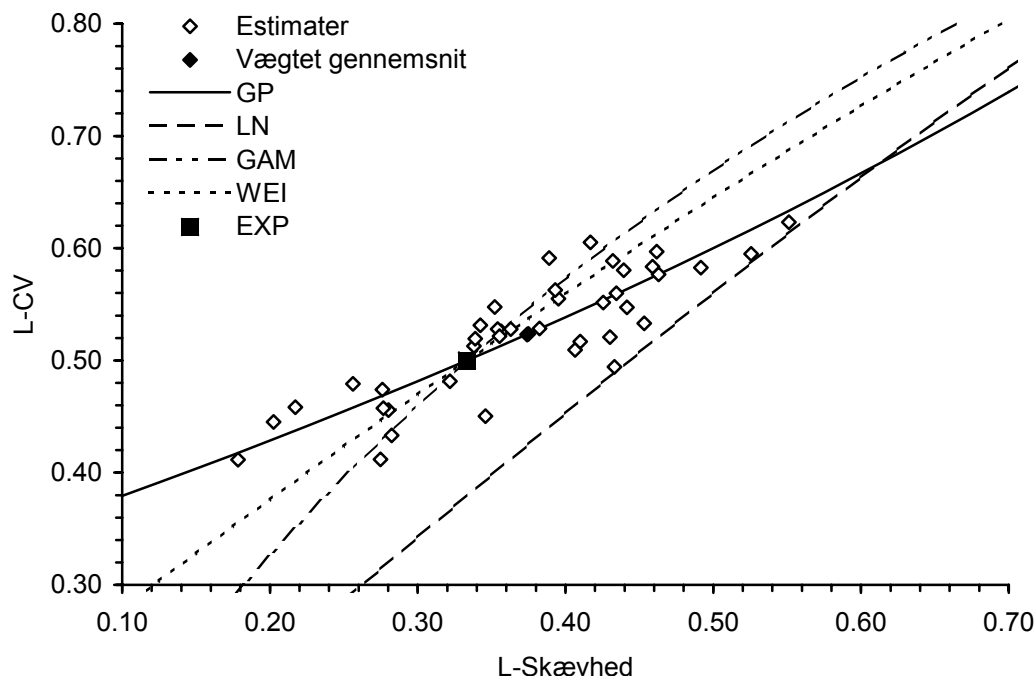
Variabel	H	Z_{GAM}	Z_{WEI}	Z_{LN}	Z_{GP}	Z_{EXP}
1 min.	2.2	-4.4	-2.8	-7.1	-0.8	-5.9
2 min.	2.5	-2.5	-1.3	7.8	-0.1	-3.5
5 min.	1.1	-2.2	1.2	7.4	-0.6	-1.9

Af Tabel 3.1 fremgår det at i 4 tilfælde optræder et diskordansmål $D > 3$, og i et enkelt tilfælde er der et diskordansmål der er signifikant på 5% niveau. Et enkelt ud af i alt 123

tilfælde (41 stationer gange 3 variable) udgør under 1% hvilket er acceptabelt sammenholdt med signifikansniveauet på 5%. Desuden er der ingen stationer der har et stort diskordansmål for alle tre varigheder. Det må derfor konkluderes at ingen stationer er signifikant forskellig fra de 41 stationer som helhed for de betragtede varigheder m.h.t. L-CV, L-Skævhed og L-Kurtosis.

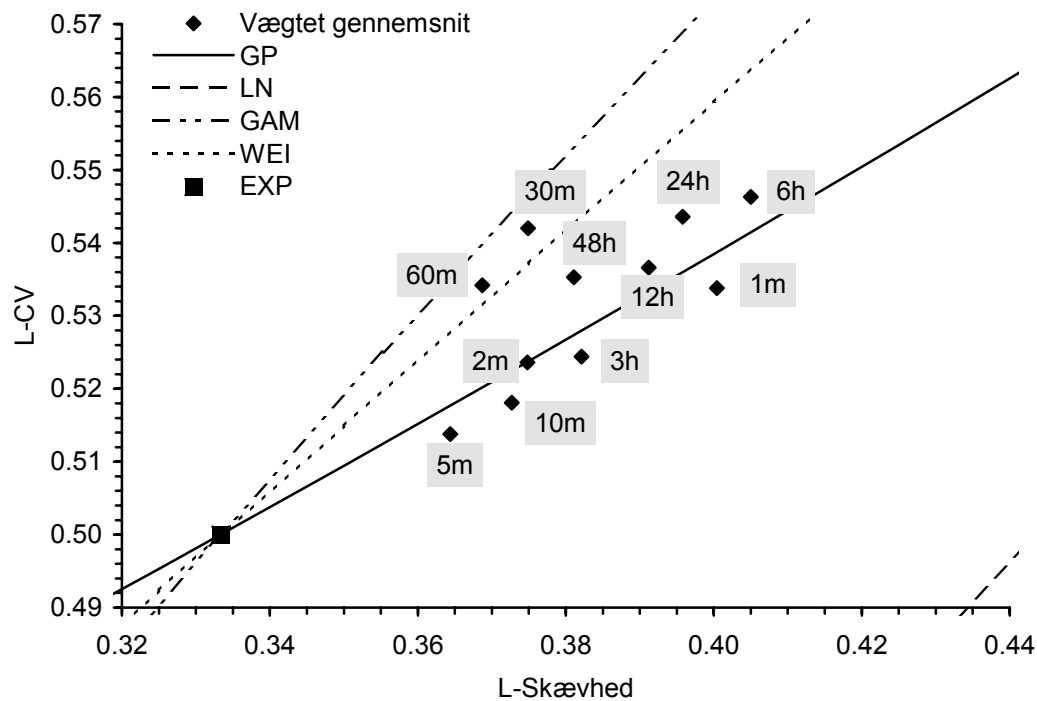
Af Tabel 3.2 fremgår det at heterogenitetsmålet $H > 2$ for 1 og 2 min. intensiteten og indikerer derved at de 41 stationer udgør en "afgjort heterogen" region for disse to variable. For 5 min. intensiteten er regionen "sandsynligvis heterogen". L-moment analysen af intensiteter for større varigheder i Madsen (1998) viste at der kun for 48 timers intensiteten er en H -værdi større end 1, og denne "sandsynlige heterogenitet" kan forklares ved en enkelt station med stort diskordansmål. For alle øvrige intensiteter fandtes en H -værdi under 1. L-moment analysen godtgør altså at der for ekstreme intensiteter med varighed under 10 min. er signifikant regional variabilitet af L-CV og højere ordens momenter, mens de 41 stationer kan antages at udgøre en homogen gruppe for intensiteter med varighed på 10 min. og derover. Spørgsmålet omkring regional heterogenitet diskuteres nærmere i næste afsnit.

Med hensyn til goodness-of-fit testet må LN og GAM fordelingen afvises på 5% signifikansniveau for alle 3 variable, EXP fordelingen for 2 variable og WEI fordelingen for 1 variabel. Den generaliserede Pareto fordeling giver samlet set for de 3 variable det bedste fit. Dette kan også ses af L-moment diagrammerne (se Figur 3.1 som eksempel). Disse resultater stemmer overens med fordelingsanalysen i Madsen (1998) hvor GP fordelingen viste at give det bedste fit for samtlige analyserede nedbørs-variable.



Figur 3.1 L-moment diagram for 2 min. intensiteten. Estimer af L-CV og L-skævhed for de 41 stationer sammenholdt med de teoretiske udtryk for forskellige fordelinger.

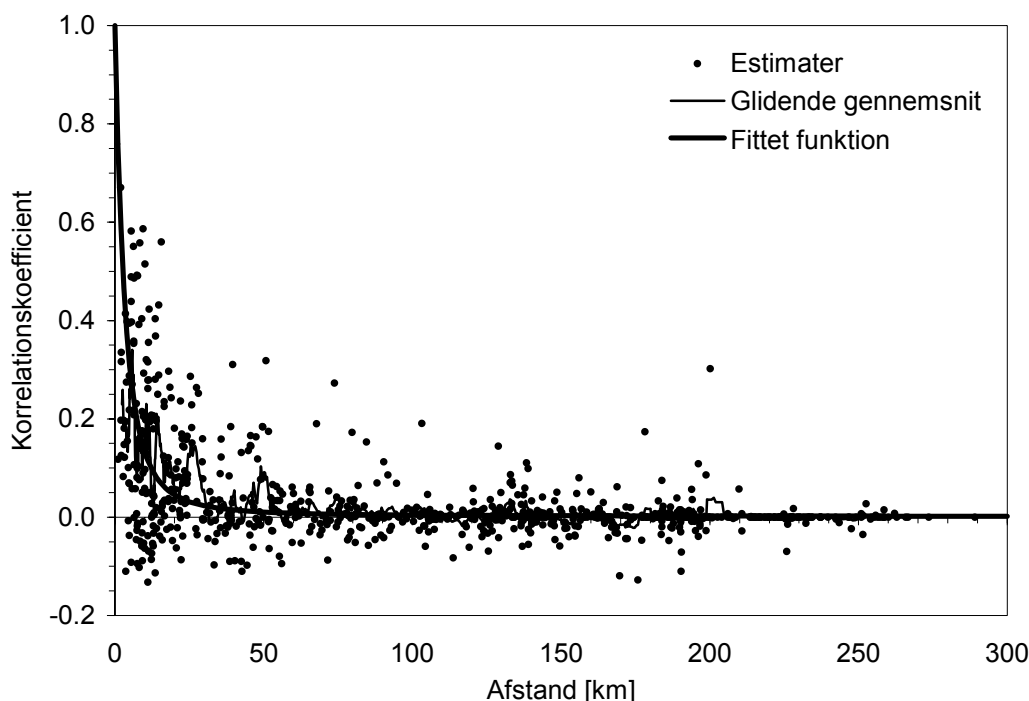
Middelværdien for de 41 stationer (vægtet gennemsnit) af L-CV og L-skævhed for samtlige analyserede intensiteter er vist i Figur 3.2. Der ses ingen umiddelbar sammenhæng mellem varigheden og beliggenheden i L-moment diagrammet.



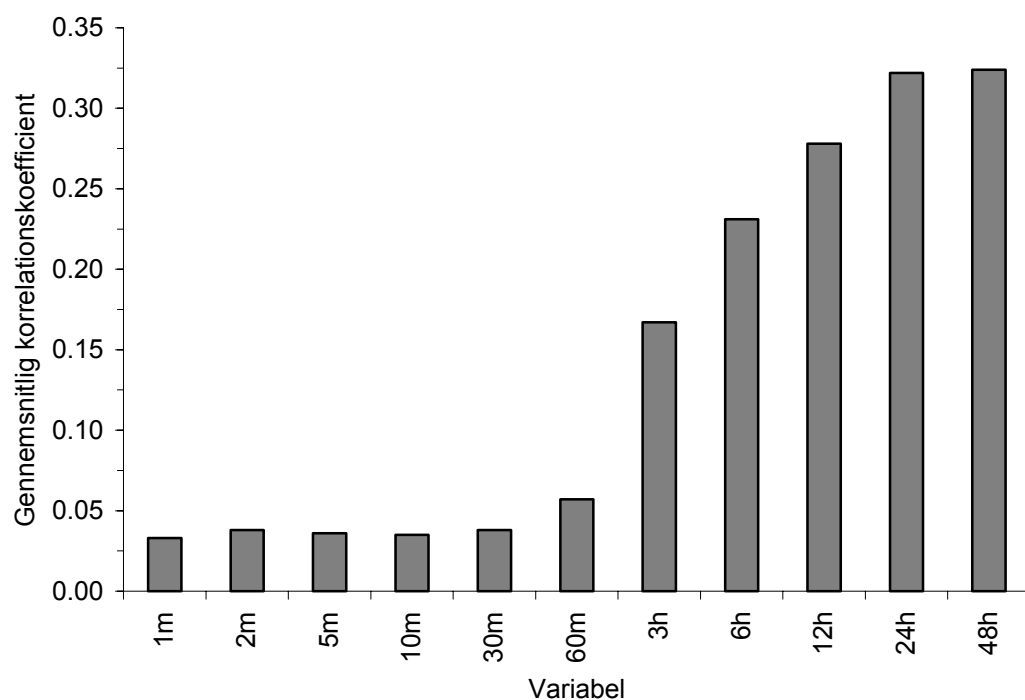
Figur 3.2 Regionale estimater af L-CV og L-skævhed (vægtet gennemsnit) for de analyserede intensiteter sammenholdt med de teoretiske udtryk for forskellige fordelinger (m og h angiver henholdsvis minutter og timer).

4 Regional model

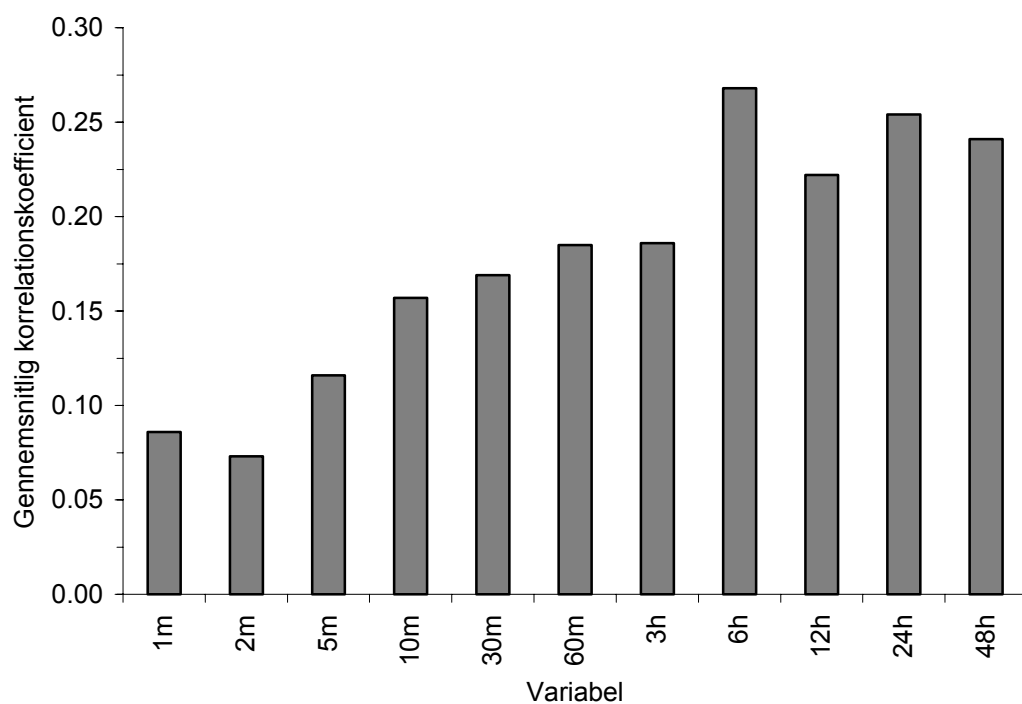
Til analyse af den regionale variabilitet af de 3 parametre i ekstremværdimodellen: (1) gennemsnitlig antal årlige overskridelser, (2) middelloverskridelsen og (3) L-CV (eller formparameteren i GP fordelingen) benyttes generaliseret mindste kvadraters (generalised least squares, GLS) regression. I regressionsmodellen indgår et estimat af den indbyrdes korrelation mellem stationerne. Betragtes korrelationen mellem overskridelsernes størrelse ses en vis korrelation mellem stationer med lille indbyrdes afstand (mindre end 10-15 km for alle tre nedbørsvariable), mens der ikke er nogen korrelation for større afstande (se Figur 4.1). Dette hænger nøje sammen med den begrænsede spatiale udbredelse af konvektive regnceller der giver anledning til de ekstreme intensiteter af kort varighed. Den gennemsnitlige korrelation for de forskellige analyserede intensiteter er vist i Figur 4.2. Heraf ses en tydelig større spatial korrelation for voksende varighed. Det skal dog bemærkes at for varigheder under 1 time er korrelationen stort set konstant. Dette skyldes givetvis hændelsesdefinitionen anvendt i KMD formatet, hvorved de enkelte hændelser for varigheder på 1 time og derunder får samme start- og sluttidspunkt. Desuden kan volumendiskretiseringen af måleren have betydning for de beregnede korrelationskoefficienter for små varigheder. Med hensyn til den indbyrdes korrelation mellem antal årlige overskridelser ses ingen spatial struktur for de tre nedbørsvariable. Den gennemsnitlige korrelation er sammenholdt med korrelationen for de øvrige intensiteter i Figur 4.3. Også her ses en generel stigende korrelation for voksende varighed.



Figur 4.1 Spatial korrelationsstruktur for overskridelsernes størrelse for 2 min. intensiteten.



Figur 4.2 Gennemsnitlig korrelationskoefficient for korrelationen mellem overskridelses størrelse.



Figur 4.3 Gennemsnitlig korrelationskoefficient for korrelationen mellem antal årlige overskridelser.

Resultaterne af GLS analysen er opsummeret i Tabel 4.1 - Tabel 4.3. Med hensyn til det gennemsnitlige antal årlige overskridelser er der en signifikant regional variation. Som for de øvrige intensiteter kan en betydelig del af denne variabilitet forklares af årsmiddelnedbøren. I Tabel 4.1 er angivet parametrene ($\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1$) i regressionsmodellen for det gennemsnitlige antal årlige overskridelser $\hat{\lambda}$

$$\hat{\lambda} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \text{ÅMN} \quad (4.1)$$

hvor ÅMN er årsmiddelnedbøren i [mm]. I tabellen er desuden angivet varians og kovarians af de estimerede regressionsparametre ($\text{Var}\{\hat{\beta}_0\}$, $\text{Var}\{\hat{\beta}_1\}$, $\text{Cov}\{\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1\}$) samt residulvariansen $\hat{\sigma}_\varepsilon^2$ til beregning af prediktionsvariansen

$$\text{Var}\{\hat{\lambda}\} = \text{Var}\{\hat{\beta}_0\} + 2\text{ÅMNCov}\{\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1\} + \text{ÅMN}^2\text{Var}\{\hat{\beta}_1\} + \hat{\sigma}_\varepsilon^2 \quad (4.2)$$

Tabel 4.1 Regional regressionsmodel for det gennemsnitlige antal årlige overskridelser.

Variabel	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$ [$\cdot 10^{-3}$]	$\text{Var}\{\hat{\beta}_0\}$	$\text{Cov}\{\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1\}$ [$\cdot 10^{-4}$]	$\text{Var}\{\hat{\beta}_1\}$ [$\cdot 10^{-6}$]	$\hat{\sigma}_\varepsilon^2$
1 min.	0.477	4.32	0.890	-13.4	2.09	0.205
2 min.	0.581	4.03	0.558	-8.36	1.30	0.0580
5 min.	0.299	4.11	0.560	-8.29	1.29	0.0769

For middelloverskridelsen er der en signifikant regional variabilitet for alle 3 intensiteter. Regressionsanalysen viser at ingen af de betragtede klimatiske og fysiografiske regressorer (se Madsen, 1998) er i stand til at beskrive denne variabilitet. Enkelte stationer afviger markant fra gruppen af stationer som helhed med hensyn til størrelsen af middelloverskridelsen (stor værdi af Cook's D statistik). Ekskluderes disse i regressionsanalysen fås en marginal reduktion af residualvariansen. Det vil sige enkelte outlier stationer kan ikke forklare den regionale heterogenitet. En geografisk opdeling af stationerne til forklaring af variabiliteten har heller ikke været mulig. Det må derfor konkluderes at middelloverskridelsen for de 3 intensiteter udviser signifikant regional variabilitet og at det ikke for nærværende er muligt at forklare denne variabilitet. Det regionale estimat baseres derfor på en middelværdi betragtning, jvf. Tabel 4.2.

For samtlige analyserede intensiteter med varighed mellem 1 min. og 48 timer kan den regionale model for middelloverskridelsen opsummeres som:

- For intensiteter med varighed $1 \leq \tau \leq 5$ min. benyttes den regionale middelværdi. Den tilhørende prediktionsvariens er forholdsvis stor grundet en betydelig regional variabilitet.
- For intensiteter med varighed $10 \text{ min.} \leq \tau \leq 1 \text{ time}$ benyttes den regionale middelværdi. Middelloverskridelsen kan i dette tilfælde antages homogen, og den tilhørende prediktionsvariens er derfor forholdsvis lille og skyldes alene sampling usikkerhed korrigeret for korrelation mellem stationer.

- For intensiteter med varighed $3 \leq \tau \leq 48$ timer benyttes den subregionale opdeling som beskrevet i Madsen (1998).

Tabel 4.2 Regionalt estimat af middelloverskridelsen med tilhørende prediktionsvarians.

Variabel	Regional middel [$\mu\text{m/s}$]	Residualvarians [$(\mu\text{m/s})^2$]	Prediktionsvarians [$(\mu\text{m/s})^2$]
1 min.	5.85	0.536	0.586
2 min.	5.47	0.431	0.475
5 min.	4.54	0.264	0.293

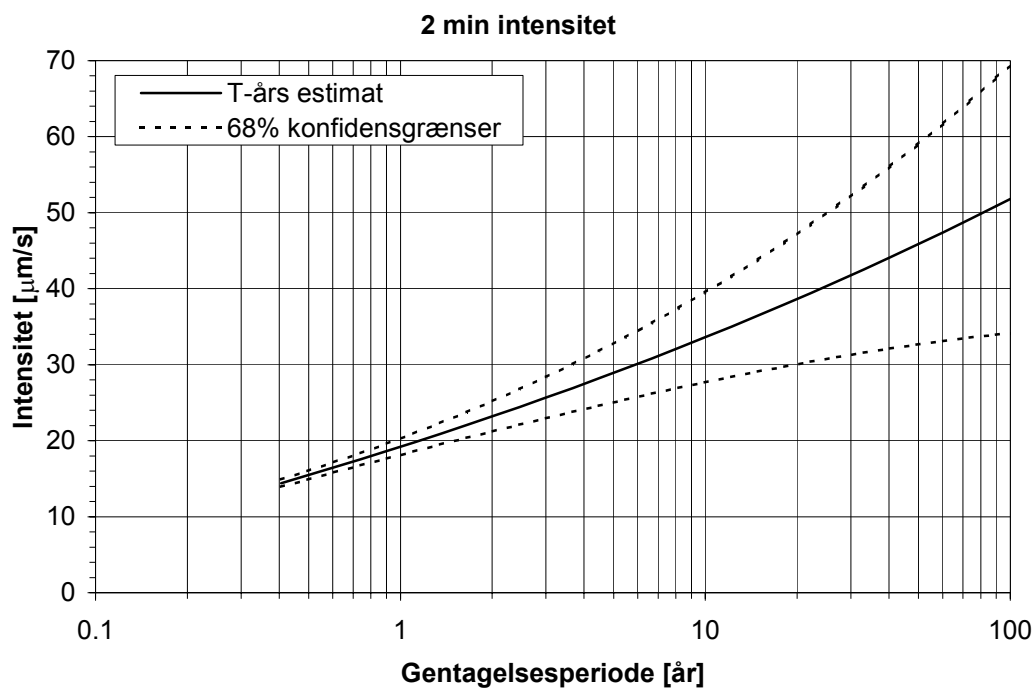
Med hensyn til formparameteren viser regressionsanalysen en signifikant regional variabilitet for alle 3 intensiteter i overensstemmelse med konklusionen baseret på L-moment analysen. Det er ikke muligt at beskrive den regionale variabilitet ud fra de betragtede klimatiske og fysiografiske regressorer. Det regionale estimat baseres derfor på en middelværdi betragtning, jvf. Tabel 4.3.

For samtlige analyserede intensiteter med varighed mellem 1 min. og 48 timer benyttes altså den regionale middelværdi som estimat for formparameteren. For varighederne $10 \text{ min} \leq \tau \leq 24$ timer kan regionen antages homogen og prediktionsvariansen skyldes alene sampling usikkerhed korregeret for korrelation mellem stationer. For varighederne $1 \leq \tau \leq 5$ min. samt $\tau = 48$ timer er der en signifikant regional variabilitet og prediktionsvariansen er betydelig større (af størrelsesordenen en faktor 10).

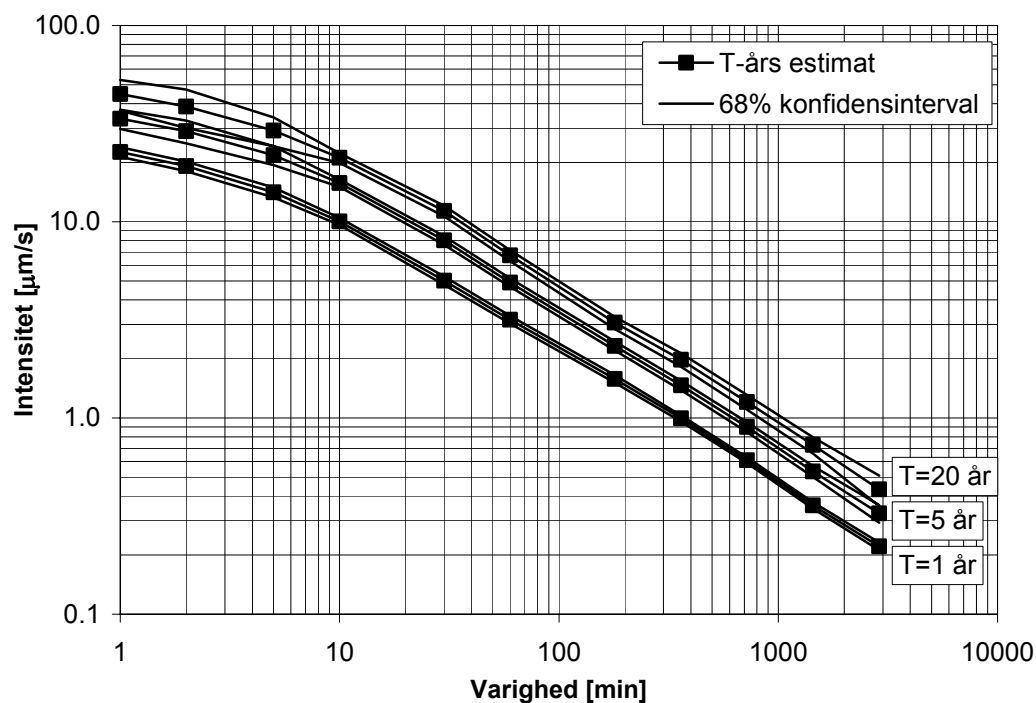
Tabel 4.3 Regionalt estimat af formparameteren med tilhørende prediktionsvarians.

Variabel	Regional middel	Residual varians	Prediktionsvarians
1 min.	-0.132	$9.88 \cdot 10^{-3}$	$10.6 \cdot 10^{-3}$
2 min.	-0.101	$17.2 \cdot 10^{-3}$	$18.4 \cdot 10^{-3}$
5 min.	-0.0616	$8.28 \cdot 10^{-3}$	$9.32 \cdot 10^{-3}$

Baseret på resultaterne af regressionsanalysen kan regionale T -års estimer og tilhørende usikkerheder bestemmes. Som eksempel er det regionale T -års estimat for 2 min. intensiteten på en lokalitet med en årsmiddelnedbør på 700 mm vist i Figur 4.4. Grundet de store usikkerheder på middelloverskridelsen og formparameteren fås en forholdsvis stor usikkerhed på T -års estimatet især for store gentagelsesperioder.



Figur 4.4 Regionalt T -års estimat med tilhørende 68% konfidensgrænser for 2 min. intensiteten for lokalitet med en årsmiddelnedbør på 700 mm.



Figur 4.5 IDF kurve for subregion "Det øvrige Danmark" og årsmiddelnedbør på 700 mm.

Med de nye resultater er det nu muligt at estimere en IDF kurve på enhver lokalitet i Danmark for varigheder mellem 1 min. og 48 timer. Et eksempel på en estimeret IDF kurve med tilhørende 68% konfidensinterval er vist i Figur 4.5. Det bemærkes at der er relativ stor usikkerhed på T -års estimatet for varigheder på 10 min. og derunder grundet den store regionale variabilitet der er observeret på både middelloverskridelsen og formparameteren. Det kan ikke udelukkes af denne variabilitet er et udslag af måleusikkerheder snarere end en "sand" regional variabilitet. For små varigheder spiller måleunøjagtigheder og den benyttede volumendiskretisering på regnmåleren en betydelig større rolle end for større varigheder.

5 Konklusion

Resultater af en regional analyse af ekstremregn for middelintensiteter med varighed på 1, 2 og 5 min. er beskrevet. Denne analyse supplerer tidligere analyser for intensiteter med varighed mellem 10 min. og 48 timer. Med de nye resultater er det nu muligt at estimere en IDF kurve og tilhørende usikkerhed på enhver lokalitet i Danmark for varigheder mellem 1 min. og 48 timer.

For de 3 analyserede intensiteter er følgende konkluderet:

- Som for de øvrige intensiteter kan den generaliserede Pareto fordeling benyttes til beskrivelse af overskridelsernes størrelse.
- Som for de øvrige intensiteter kan en betydelig del af den regionale variabilitet af det gennemsnitlige antal årlige overskridelser beskrives ved årsmiddelnedbøren.
- Både middelloverskridelsen og formparameteren i den generaliserede Pareto fordeling udviser en signifikant regional variabilitet. Det er ikke muligt at beskrive denne variabilitet ud fra de tilgængelige klimatiske og fysiografiske karakteristika, og der benyttes derfor en middelværdi model til regional estimation af disse to parametre.

Den signifikante regionale variabilitet for middelloverskridelsen og formparameteren giver en forholdsvis stor usikkerhed på det regionale T -års estimat, især for store gentagelsesperioder.

6 Referencer

Madsen, H., 1998, Ekstremregn i Danmark. Statistisk bearbejdning af nedbørsdata fra Spildevandskomiteens regnmålersystem 1979-96. Institut for Strømningsmekanik og Vandressourcer & Institut for Miljøteknologi, Danmarks Tekniske Universitet, www.er.dtu.dk/publications/fulltext/1998/imt1998-173.pdf.

Mikkelsen, P.S., Madsen, H., Arnbjerg-Nielsen, K., Jørgensen, H.K., Rosbjerg, D., Harremoës, P., 1999, Regional variation af ekstremregn i Danmark, Ingeniørforeningen i Danmark – IDA, Spildevandskomiteen, skrift nr. 26.