



# 1. Indledning

I forbindelse med udgivelse af Spildevandskomiteens skrift nr. 26 ”Regional variation af ekstremregn i Danmark” (Mikkelsen et al., 1999) blev der udarbejdet et regneark til bestemmelse af regnkurver og CDS regn på basis af regionalt estimerede intensiteter for varigheder mellem 10 minutter og 48 timer. I Version 2.0 blev regnearket opdateret med regionale estimater for intensiteter med varighed på 1, 2 og 5 minutter. I den forbindelse blev parameteriseringen af regnkurven udvidet til en 3-parameter version. I nærværende Version 3.0 er regnearket opdateret med resultater fra analyse af data fra Regnmålersystemet for perioden 1979-2005 som danner grundlag for Spildevandskomiteens skrift nr. 28 ”Regional variation af ekstremregn i Danmark – Ny bearbejdning (1979-2005)” (Arnbjerg-Nielsen et al., 2006).

Programmet benytter regninformation i form af regionale estimater af maksimale middelintensiteter, der kan estimeres på en arbitrær lokalitet i Danmark, hvor årsmiddelnedbøren og det subregionale tilhørsforhold (øst eller vest for Storebælt) er kendt. En beskrivelse af den regionale estimationsmodel kan findes i Mikkelsen et al. (1999) og Arnbjerg-Nielsen et al. (2006). For en mere detaljeret beskrivelse af den regionale model og den grundlæggende statistiske analyse henvises til de tekniske baggrundsrapporter, der danner grundlag for skrift 26 (Madsen, 1998; Madsen, 2002) og skrift 28 (Madsen & Arnbjerg-Nielsen, 2006).

I det følgende gives en beskrivelse af beregningsproceduren der ligger til grund for regnearket. Dernæst gives en vejledning til brug af regnearket der beskriver det nødvendige input samt det beregnede output fra programmet.

## 2. Beregningsprocedure

### 2.1 Konstruktion af CDS regn

Metoden til konstruktion af CDS regn, der beskrives i det følgende, følger i store træk principperne introduceret af Keifer & Chu (1957). Det skal dog bemærkes, at der her benyttes en lidt anderledes parameterisering af regnkurven, og at der tillige introduceres en diskretiseret udgave af CDS regnen.

CDS regn er en syntetisk design hyetograf, der er baseret på maksimum middelintensiteter af regn for forskellige varigheder som beskrevet ved en regnkurve. Hyetografen er fastlagt ved at den integrerede nedbørsmængde for en given varighed  $t$ , målt ud fra tidspunktet hvor maksimum intensiteten optræder, er lig med regndybden af regnkurven svarende til varigheden  $t$ . Dvs. CDS regn indeholder for en valgt gentagelsesperiode information om maksimale middelintensiteter for et interval af varigheder og samler derved information fra en hel regnkurve i en enkelt dimensioneringsregn.

Til konstruktion af CDS regn benyttes følgende generelle parameterisering af regnkurven

$$i_m(t) = \alpha(t + \theta)^{-\nu} \quad (1)$$

hvor  $i_m(t)$  er middelintensiteten over varigheden  $t$ . Parameteren  $\alpha > 0$  bestemmer det generelle niveau og afhænger af den betragtede gentagelsesperiode. Parameteren  $\nu$  ( $0 < \nu < 1$ ) angiver

hældningen af regnkurven i et dobbelt logaritmisk plot ( $\ln[i_m(t)] = \ln[\alpha] - \nu \ln[t + \theta]$ ). Parameteren  $\theta \geq 0$  er en formparameter, der giver en krumning på regnkurven for små varigheder. Ofte ses en to-parameter udgave af (1) hvor  $\theta = 0$ , dvs. regnkurven er en ret linie i en dobbelt logaritmisk afbildning.

En kontinuert CDS regn kan udledes af (1) på følgende vis. Antages først at den maksimale intensitet optræder i starten af regnhændelsen, kan CDS regnens intensitet  $i(t)$  bestemmes ved differentiation af den akkumulerede nedbørsmængde  $P(t) = t i_m(t)$  fra regnkurven, dvs.

$$i(t) = \frac{d}{dt}(t\alpha[t + \theta]^{-\nu}) = \alpha(t + \theta)^{-\nu-1}[(1 - \nu)t + \theta] \quad (2)$$

For konstruktion af en CDS regn, hvor den maksimale intensitet kan forekomme på et vilkårligt tidspunkt under regnhændelsen, introduceres parameteren  $r$  som forholdet mellem tiden fra regnhændelsens start indtil den maksimale intensitet forekommer  $t_p$  og den totale varighed af hændelsen  $t_d$

$$r = \frac{t_p}{t_d} \quad (3)$$

En CDS regn hvor den maksimale intensitet er i starten af regnhændelsen med efterfølgende faldende intensitet svarer til  $r = 0$  med intensitetsforløb givet ved (2). Tilsvarende svarer  $r = 1$  til en CDS regn, hvor intensiteten er støt stigende og topper til slut. For  $r = 1/2$  fås en CDS regn, der er symmetrisk omkring topintensiteten. Parameteren  $r$  benævnes i det følgende asymmetrikoefficienten.

Intensiteten for en CDS regn med vilkårlig asymmetrikoefficient  $0 \leq r \leq 1$  kan udledes af (2). Til dette defineres en tidsakse med 0-punkt ved den maksimale intensitet. Tiden før intensitetstoppen  $t_b$  måles fra 0-punktet mod venstre, mens tiden efter intensitetstoppen  $t_a$  måles fra 0-punktet mod højre (se Figur 1). Idet  $t_b = rt_d$ , bestemmes intensitetsforløbet før intensitetstoppen ved substitution af  $t = t_b/r$  i (2)

$$i(t_b) = \alpha \left( \frac{t_b}{r} + \theta \right)^{-\nu-1} \left[ (1 - \nu) \frac{t_b}{r} + \theta \right] \quad (4)$$

Idet  $t_a = (1-r)t_d$ , bestemmes på tilsvarende vis intensitetsforløbet efter intensitetstoppen ved substitution af  $t = t_a/(1-r)$  i (2)

$$i(t_a) = \alpha \left( \frac{t_a}{1-r} + \theta \right)^{-\nu-1} \left[ (1 - \nu) \frac{t_a}{1-r} + \theta \right] \quad (5)$$

Et eksempel på en kontinuert CDS regn bestemt ved (4)-(5) er vist i Figur 1.

Til brug i praksis, hvor CDS regn bruges som inddata til en hydrologisk model, benyttes en diskretiseret udgave af (4)-(5). Intensiteten ved intensitetstoppen fås direkte af (1)

$$i_0 = i_m(\Delta t) = \alpha(\Delta t + \theta)^{-\nu} \quad (6)$$

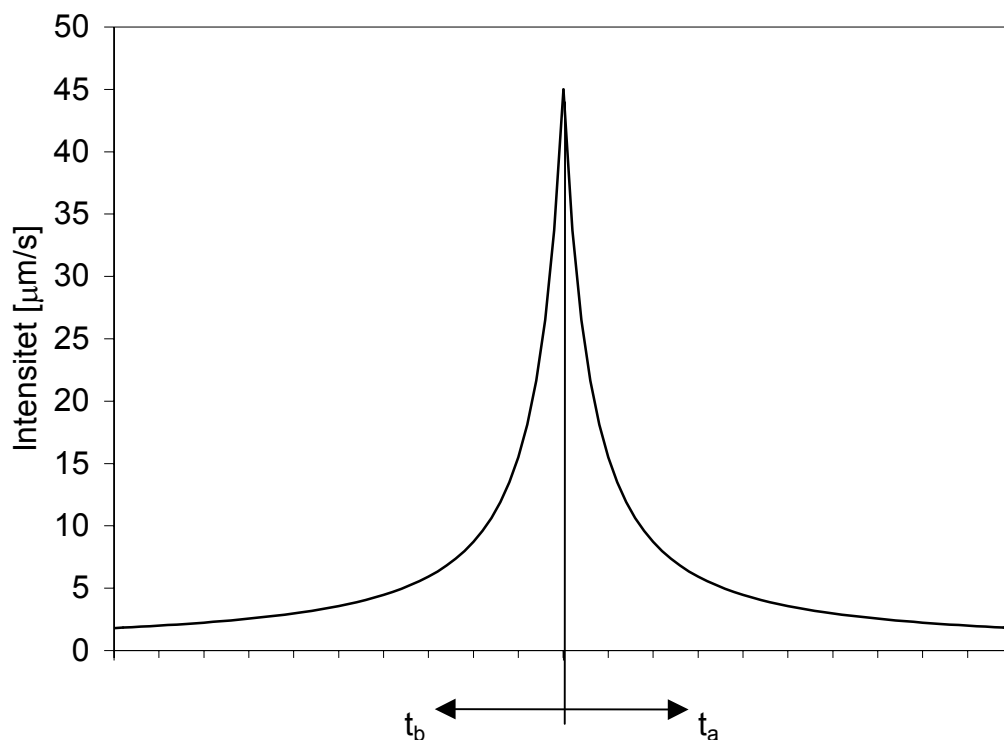
hvor  $\Delta t$  er den benyttede tidsdiskretisering. Intensitetsforløbet for den diskretiserede CDS regn før og efter intensitetstoppen bestemmes ved successiv integration af (4)-(5) over tiden  $\Delta t$ . Intensiteten i tidsskridtet  $k_b$  før topintensiteten ( $k_b$  måles positiv mod venstre fra topintensiteten, se Figur 2) er givet ved

$$i_{k_b} = \alpha \left[ \left( \frac{r+k_b}{r} \Delta t + \theta \right)^{-\nu} (r+k_b) - \left( \frac{r+k_b-1}{r} \Delta t + \theta \right)^{-\nu} (r+k_b-1) \right] \quad (7)$$

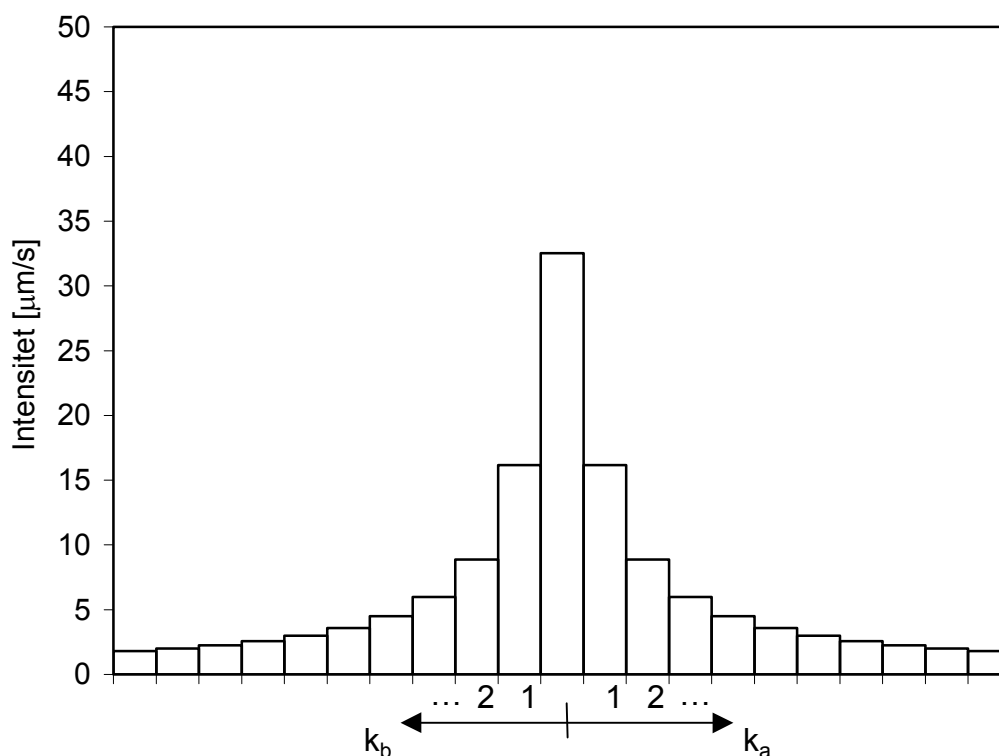
Intensiteten i tidsskridtet  $k_a$  efter topintensiteten ( $k_a$  måles positiv mod højre fra topintensiteten, se Figur 2) er givet ved

$$i_{k_a} = \alpha \left[ \left( \frac{1-r+k_a}{1-r} \Delta t + \theta \right)^{-\nu} (1-r+k_a) - \left( \frac{k_a-r}{1-r} \Delta t + \theta \right)^{-\nu} (k_a-r) \right] \quad (8)$$

En diskretiseret udgave af CDS regnen i Figur 1 er vist i Figur 2.



**Figur 1** Kontinuert CDS regn med asymmetrikoefficient  $r = 1/2$ .  $t_b$  og  $t_a$  angiver tidsakser til bestemmelse af intensitetsforløbet henholdsvis før og efter intensitetstoppen ved brug af (4)-(5).



**Figur 2** Diskret udgave af CDS regnen vist i Figur 1.  $k_b$  og  $k_a$  angiver antal tidsskridt henholdsvis før og efter intensitetstoppen til bestemmelse af intensitetsforløbet ved brug af (7)-(8).

## 2.2 CDS regn bestemt ved brug af regionale regnkurver

Regnearket benytter de regionaliserede regnkurver til bestemmelse af CDS regn for givne designkriterier. Følgende beregningsgang benyttes:

1. Designkriterierne fastsættes, dvs. gentagelsesperioden  $T$  og det ønskede konfidensniveau fastlagt ved frekvensfaktoren  $f$ , jvf. (9) nedenfor.
2. Et regionalt estimat af regnkurven og tilhørende usikkerhed bestemmes på den pågældende lokalitet ud fra årsmiddelnedbøren og den subregionale placering (øst eller vest for Storebælt). For hver af de betragtede varigheder 1, 2, 5, 10, 30 og 60 min. samt 3, 6, 12, 24 og 48 timer beregnes designintensiteten som

$$\hat{i}_{DIM} = \hat{i}_T + fS\{\hat{i}_T\} \quad (9)$$

hvor  $\hat{i}_T$  er det regionale estimat af  $T$ -års intensiteten og  $S\{\hat{i}_T\}$  er prediktionsusikkerheden.

3. Til parameterisering af de regionale regnkurver estimeres de tre parametre  $(\theta, \alpha, \nu)$  ved ikke-lineær regression.
4. CDS parametrene fastsættes, dvs. asymmetrikoefficienten  $r$ , tidsskridtet  $\Delta t$  og regnens varighed  $t_d$ .
5. CDS regnen bestemmes af (7)-(8).

### 3. Input

Input til beregningerne indtastes i arket **Beregn**, se Figur 3.

The screenshot shows the 'Beregn' worksheet in the 'Regional CDS Ver\_3.0.xls' Excel file. The worksheet is divided into several sections: 'Regnkurve karakteristika', 'CDS karakteristika', 'Design regnkurve', and 'CDS regn'. A yellow box highlights the input fields for 'Regnkurve karakteristika' and 'CDS karakteristika'. A red text box提醒s the user to run the solver after changing input. The 'Design regnkurve' section contains a table of calculated values for various parameters. The 'CDS regn' section contains a table of calculated values for CDS parameters. A red text box in the 'CDS regn' section provides instructions on how to plot the CDS regn data.

Regnkurve karakteristika					CDS karakteristika	
Årsmiddelnedbør (mm)	700				CDS-regn varighed (min)	240
Region	1				Tidsskridt (min)	1
Region Vest = 1					Asymmetri koefficient	0.5
Region Øst = 2						
Gentagelsesperiode (år)	10					
Frekvensfaktor	1					

Husk at køre solver når du har ændret input !

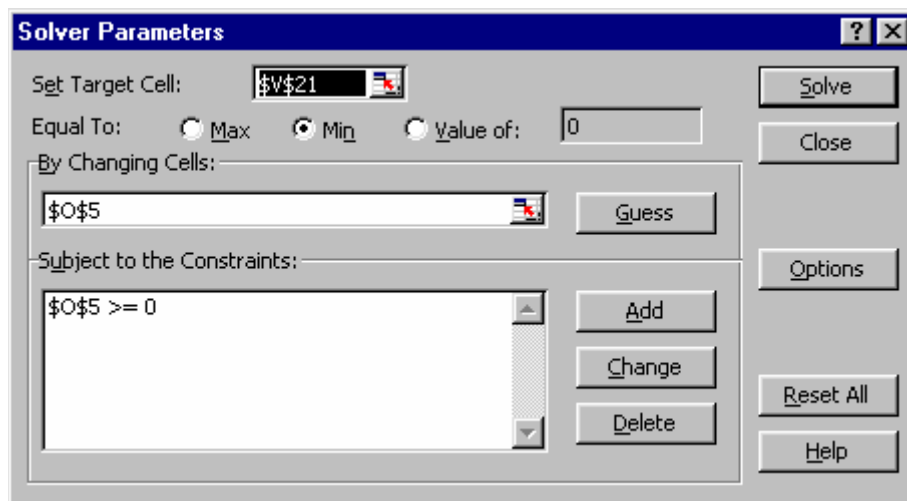
Design regnkurve					CDS regn	
Varighed (min)	z <sub>T</sub> (µm/s)	S(z <sub>T</sub> ) (µm/s)	z <sub>T</sub> +S(z <sub>T</sub> ) (µm/s)	Regression (µm/s)	Tid (min)	Intensitet (µm/s)
1	40.95	5.62	46.57	45.17	0	0.69937583
2	35.80	3.26	39.06	39.67	1	0.70394343
5	27.19	1.33	28.51	29.63	2	0.70868134
10	20.16	1.42	21.58	21.48	3	0.71329126
30	10.59	0.73	11.31	11.19	4	0.71807496
60	6.47	0.64	7.11	7.01	5	0.72293428
180	2.98	0.18	3.16	3.20	6	0.72787111
360	1.77	0.17	1.95	1.93	7	0.73288738
720	1.06	0.11	1.18	1.16	8	0.73798514
1440	0.61	0.07	0.68	0.69	9	0.74316649
2880	0.37	0.04	0.41	0.41	10	0.74843358
					11	0.75378866
					12	0.75923406
					13	0.76477219
					14	0.77040555
					15	0.77613674

Plot af CDS regn:  
Tilpas SERIE(.) i CDS regn  
til at plote fra H16 til H255

**Figur 3** Input til regnearket. I arket vises den beregnede design regnkurve og tilhørende CDS regn.

Årsmiddelnedbør og subregional placering for de 66 analyserede stationer er indtastet som scenarier og kan vises ved brug af scenarie funktionen under menuen **Funktioner (Tools)**.

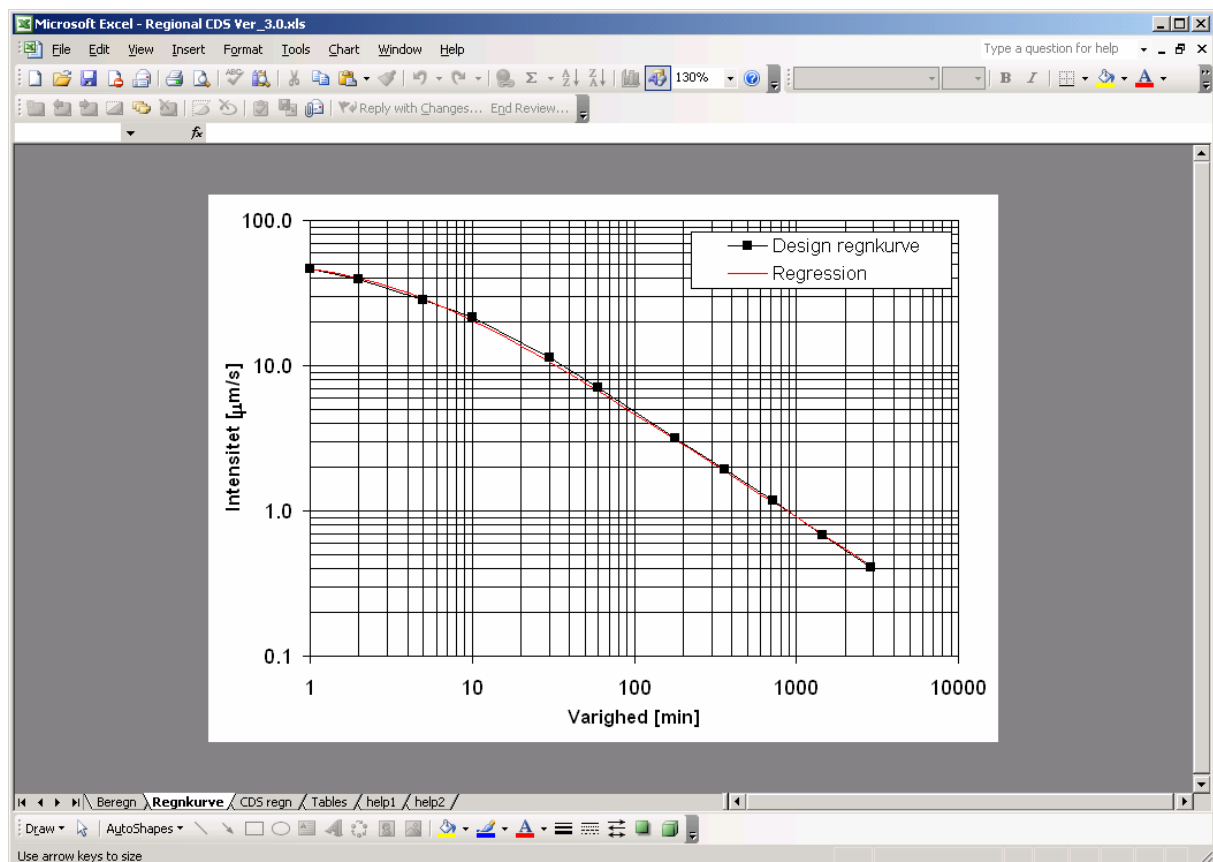
Til automatisk estimation af IDF kurvens parametre ( $\theta, \alpha, \nu$ ) benyttes en makro baseret på EXCEL's solver funktion. Solver funktionen findes under menuen **Funktioner (Tools)**. Herved fremkommer en dialog boks der viser solver parametrene, se Figur 4. Parametrene estimeres ved at trykke på **Solve** i denne dialog boks.



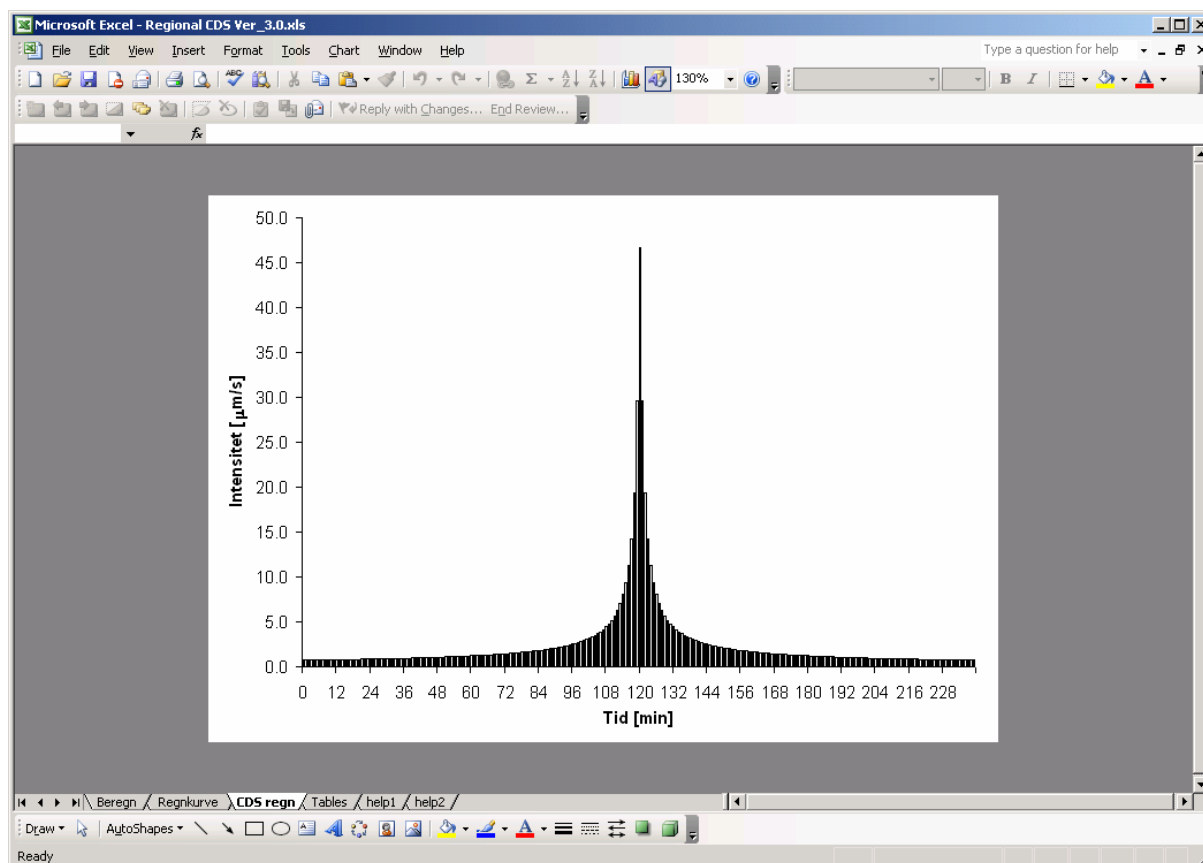
**Figur 4** Dialog boks for **Solver** funktionen til bestemmelse af IDF kurvens parametre.

## 4. Output

I arket **Beregn** vises den beregnede regionale design regnkurve svarende til den givne gentagelsesperiode og frekvensfaktor samt den beregnede CDS regn, se Figur 3. Plots af design regnkurve og CDS regn vises henholdsvis i arkene **Regnkurve** og **CDS regn**, se Figur 5-6.



**Figur 5** Den beregnede regionale design regnkurve.



**Figur 6** Den beregnede CDS regn.

## 5. Referencer

Arnbjerg-Nielsen, K., Madsen, H. & Mikkelsen, P.S., 2006, Regional variation af ekstremregn i Danmark – Ny bearbejdning (1979-2005), Skrift 28, Spildevandskomitéen, Ingeniørforeningen i Danmark.

Keifer, C.J. & Chu, H.H., 1957, Synthetic storm pattern for drainage design, Journal of Hydraulic Division, ASCE, Hy 4, 1332-1 – 1332-25.

Madsen, H., 1998, Ekstremregn i Danmark. Statistisk bearbejdning af nedbørsdata fra Spildevandskomitéens Regnmålersystem 1979-1996, Institut for Strømningsmekanik og vandressourcer samt Institut for Miljøteknologi, Danmarks Tekniske Universitet.

Madsen, H., 2002, Ekstremregn i Danmark. Supplement til Statistisk bearbejdning af nedbørsdata fra Spildevandskomitéens Regnmålersystem 1979-1996, Miljø & Ressourcer DTU, Danmarks Tekniske Universitet.

Madsen, H. & Arnbjerg-Nielsen, K., 2006, Statistisk bearbejdning af nedbørsdata fra Spildevandskomitéens Regnmålersystem 1979 – 2005, Styregruppen for Spildevandskomitéens Regnmålersystem, Endelig rapport, marts 2006.

Mikkelsen, P.S., Madsen, H., Arnbjerg-Nielsen, K., Jørgensen, H.K., Rosbjerg, D. & Harremoës, P., 1999, Regional variation af ekstremregn i Danmark, Skrift 26, Spildevandskomitéen, Ingeniørforeningen i Danmark, ISBN 87-89220-49-8.