



Regneark til bestemmelse af CDS- regn

Teknisk dokumentation og brugervejledning
Version 2.0

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/mr2002-044.pdf>

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

1. Indledning

I forbindelse med udgivelse af Spildevandskomiteens skrift nr. 26 ”Regional variation af ekstremregn i Danmark” (Mikkelsen et al., 1999) er der udarbejdet et regneark til bestemmelse af CDS regn på basis af regionalt estimerede IDF kurver for varigheder mellem 10 minutter og 48 timer. I Version 2.0 er dette regneark blevet opdateret med regionale estimater for intensiteter med varighed på 1, 2 og 5 minutter. I denne forbindelse er den automatiske estimationsprocedure for IDF kurvens parametre udvidet til også at inkludere formparameteren.

Programmet benytter regninformation i form af regionale regnkurver, der kan estimeres på en arbitrær lokalitet i Danmark, hvor årsmiddelnedbøren og det subregionale tilhørsforhold (*Danmark udenfor København, København Øst* eller *København Vest*) er kendt. En beskrivelse af den regionale estimationsmodel kan findes i Mikkelsen et al. (1999). For en mere detaljeret beskrivelse af den regionale model og den grundlæggende statistiske analyse, der ligger til grund for modellen henvises til den tekniske baggrundsrapport (Madsen, 1998) samt supplement (Madsen, 2002) der opsummerer resultaterne for 1, 2 og 5 minutters intensiteterne.

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 ν ($0 < \nu < 1$) 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 nedbørmængde $P(t) = t i_m(t)$ 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 $t_b = r t_d$, 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 Δt er den benyttede tidsdiskretisering. Intensitetsforløbet for den diskretiserede CDS regn før og efter intensitetstoppen bestemmes ved successiv integration af (4)-(5) over tiden

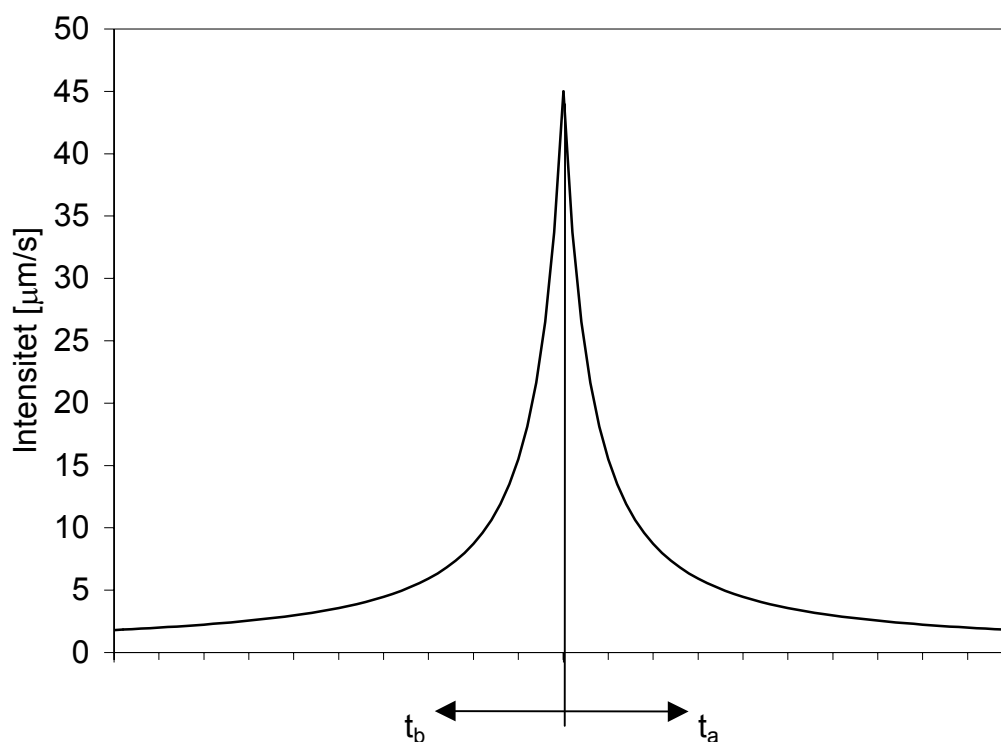
Δt . Intensiteten i tidsskridtet k_b før topintensiteten (k_b måles positiv mod venstre fra topintensiteten, se Figur 2) er givet ved

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

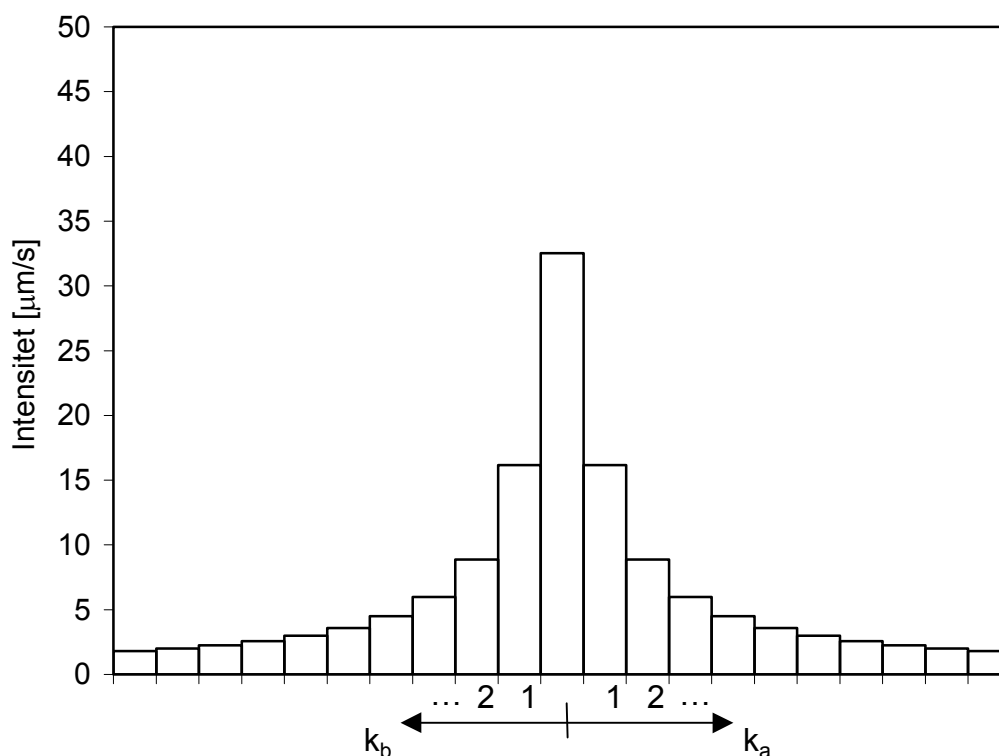
Intensiteten i tidsskridtet k_a efter topintensiteten (k_a måles positiv mod højre fra topintensiteten, se Figur 2) er givet ved

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

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



Figur 1 Kontinueret 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 sikkerhedsniveau fastlagt ved sikkerhedsfaktoren 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 (*Danmark udenfor København, København Øst eller København Vest*). 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 (θ, α, ν) ved ikke-lineær regression ved brug af EXCEL's solver funktion.
4. CDS parametrene fastsættes, dvs. asymmetrikoeficienten r , tidsskridtet Δt og regnens varighed t_d .
5. CDS regnen bestemmes af (7)-(8).

EXCEL's solver funktion benyttes til minimering af følgende objektiv funktion m.h.t. til parameteren θ

$$F(\theta) = \sum_{\tau} [\ln(\hat{i}_{DIM,\tau}) - \ln(\alpha(\tau + \theta)^{-\nu})]^2 \quad (10)$$

hvor parametrene α og ν for givet θ er bestemt ved lineær regression, og $\tau = 1, 2, 5, 10, 30, 60, 180, 360, 720, 1440, 2880$ min.

3. Input

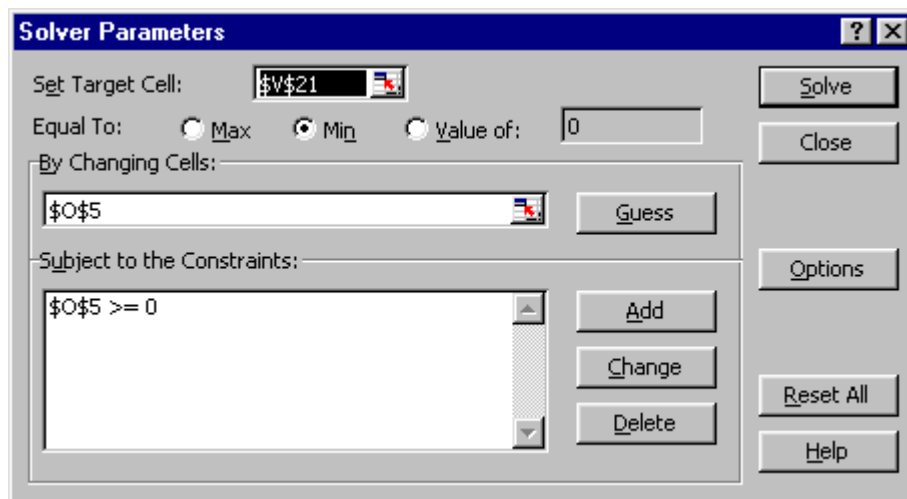
Input til beregningerne indtastes i arket **Beregn**, se Figur 3.

Design regnkurve					CDS regn	
Varighed (min)	z_T ($\mu\text{m/s}$)	$S(z_T)$ ($\mu\text{m/s}$)	$z_T + fS(z_T)$ ($\mu\text{m/s}$)	Regression ($\mu\text{m/s}$)	Tid (min)	Intensitet ($\mu\text{m/s}$)
1	38.85	5.57	44.43	45.94	0	1.204296
2	33.62	5.92	39.54	38.92	1	1.21944
5	25.43	3.49	28.93	27.58	2	1.235048
10	18.40	0.89	19.29	19.41	3	1.251145
30	9.61	0.53	10.14	9.96	4	1.267754
60	5.78	0.32	6.09	6.29	5	1.284903
180	2.69	0.16	2.85	2.95	6	1.302619
360	1.71	0.11	1.82	1.82	7	1.320932
720	1.05	0.08	1.12	1.11	8	1.339875
1440	0.63	0.05	0.68	0.68	9	1.359482
2880	0.38	0.05	0.43	0.42	10	1.379792
					11	1.400844
					12	1.422683
					13	1.445355

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

Årsmiddelnedbør og sub-regional placering for de 41 analyserede stationer er indtastet som scenarier og kan vises ved brug af scenarie funktionen under menuen **Funktioner (Tools)**.

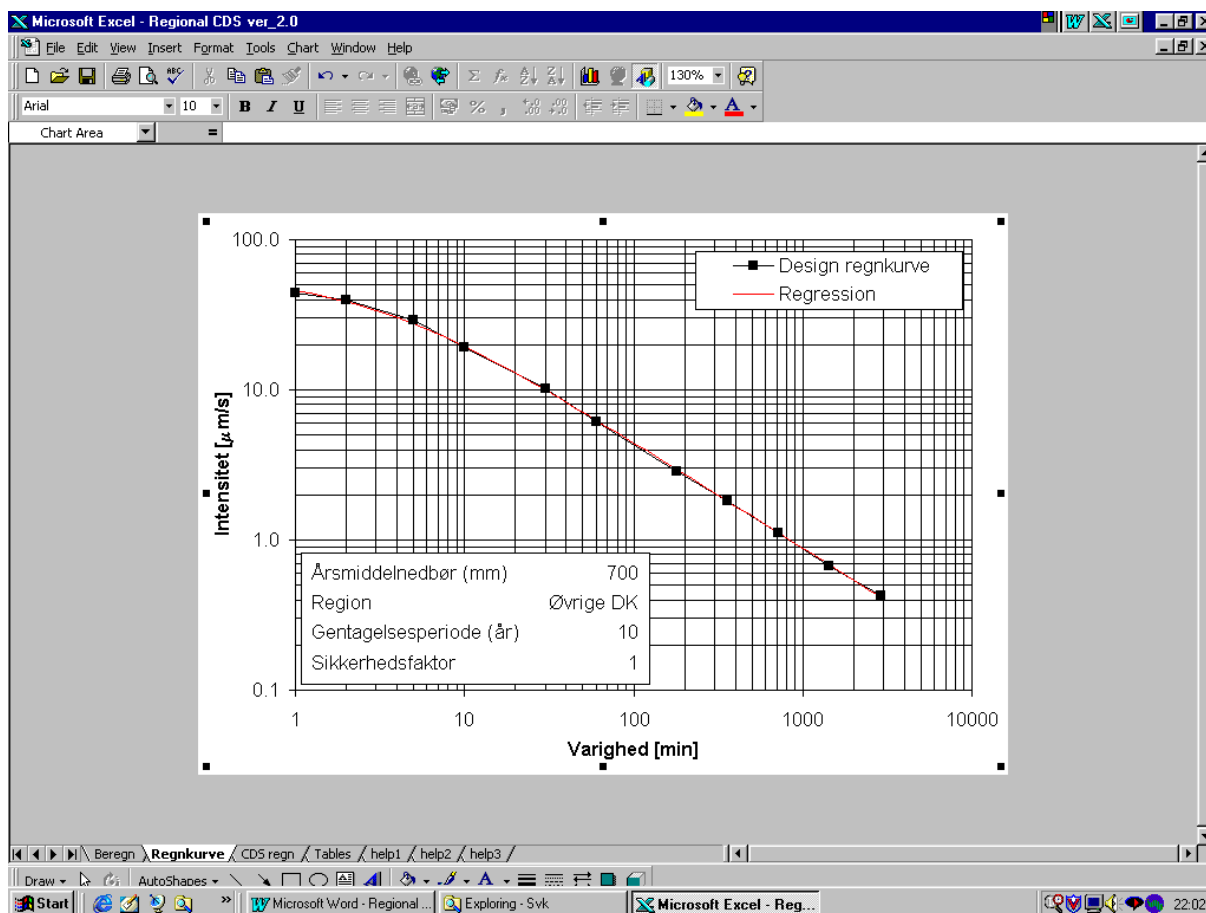
Solver funktionen til estimation af IDF kurvens parametre findes under menuen **Funktioner (Tools)** (ved brug første gang installeres solver funktionen under menuen **Funktioner | Add-Ins**). Herved fremkommer en dialog boks der viser solver parametrene, se Figur 4. IDF kurvens parametrene estimeres ved at trykke på **Solve** i denne dialog boks. *Bemærk at solver altid skal køres, når der er ændret på input – ellers er resultaterne forkerte!*



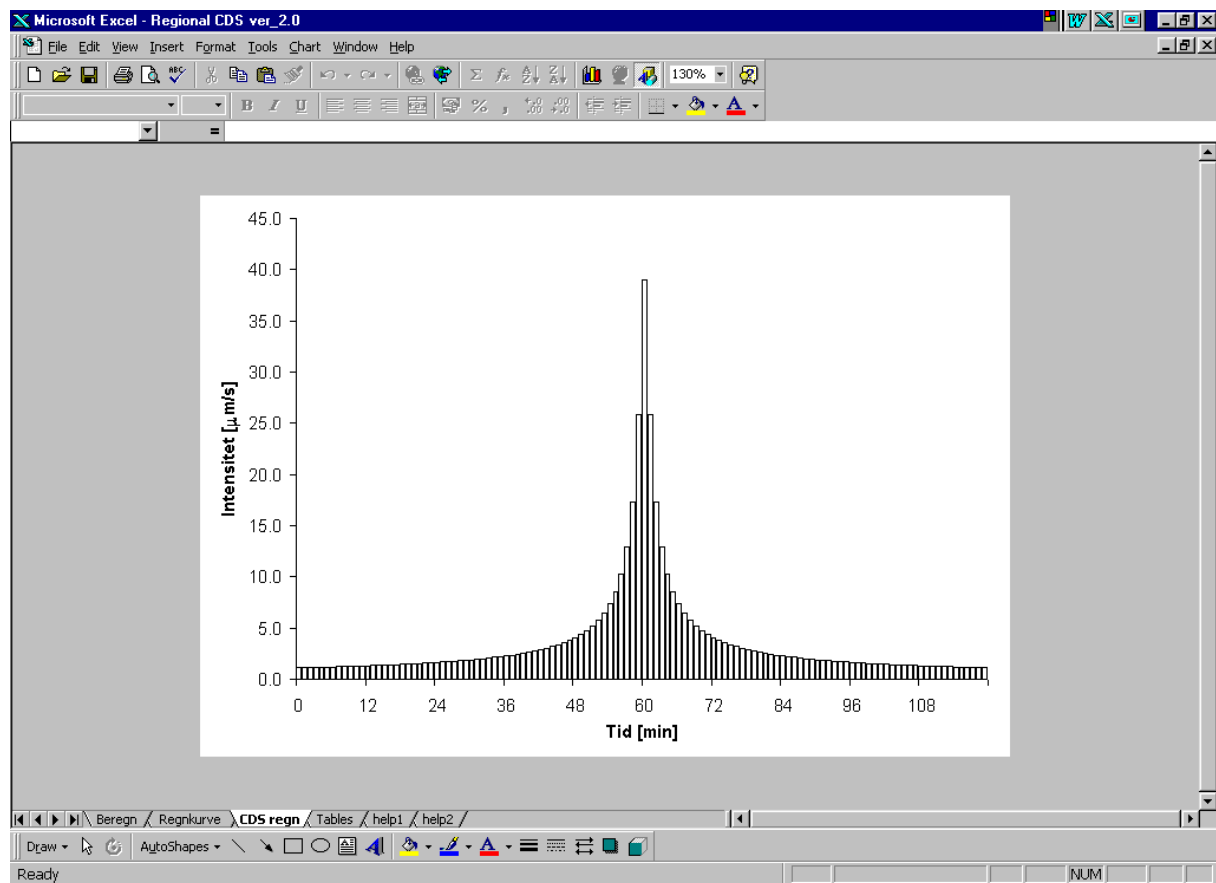
Figur 4 Dialog boks for **Solver** funktionen til bestemmelse af IDF kurvens parametre.

4. Output

I arket **Bereg**n 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

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 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.

Madsen, H., 2002, Ekstremregn i Danmark, Supplement til Statistisk bearbejdning af nedbørsdata fra Spildevandskomiteens regnmålersystem 1979-96, Miljø & Ressourcer DTU, Danmarks Tekniske Universitet. www.er.dtu.dk/publications/fulltext/2002/mr2002-042.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.