

**Notat.****Beregninger af ændringer af atmosfærens CO<sub>2</sub>-indhold ved udskiftning af kul med træbrændsler i kraftværker**

Svaret på spørgsmålet om, hvordan atmosfærens C-indhold (i form af CO<sub>2</sub>) påvirkes ved at udskifte fossile brændsler med træbrændsler (træpiller eller træflis) i kraftværker, afhænger af hvilke skove, træbrændslerne kommer fra, og hvordan skovene forvaltes. I dette notat vises resultaterne af nogle beregninger, som giver nogle eksempler på spørgsmålets besvarelse.

Skoven og dens forvaltning

En skov specificeres i denne sammenhæng ved

- dens vækstkurve, som angiver den årlige tilvækst i vedmængden (se figur 1 nedenfor). Denne kurve er bestemt af de træsorter, der indgår i skoven, klimaet og træernes vækstbetingelser.
- C-udslippet fra skovbunden efter træfældning bl.a. fra forrådnelse af trærødder. Hvor stort dette udslip er og hvor hurtigt, det sker, afhænger af træsorterne, klimaet og jordbundsforholdene.

Forvaltningen af en skov, der udnyttes til gavntræ og/eller træbrændsel, specificeres ved

- skovens alder på det tidspunkt, hvor fældning påbegyndes.
- rotationstiden. Hvis rotationstiden er n år, opdeles skoven i n parceller, og hvert år fældes alle træerne på den parcel, hvorpå de ældste træer vokser. Den årligt fældede mængde er således omvendt proportional med rotationstiden.

C-regnskabet er endvidere bestemt af:

- hvor stor en del af den fældede træmængde, der bruges til gavntræ. Denne del tillægges ikke noget C-udslip.
- et C-udslip fra skovindustrien: fra fældning, tørring og evt. fremstilling af træpiller.
- forholdet mellem C-udslip ved produktion af 1 kWh el med henholdsvis kul og træbrændsel.

C-udslip fra transport af træbrændsler fra produktionsstedet til kraftværk medregnes ikke i de her viste beregninger, da det antages at være det samme som C-udslippet ved udvinding og transport af den kulmængde, som træbrændslet erstatter.

Alternativet

De fremtidige ændringer af atmosfærens C-indhold, der forårsages ved iværksættelse af bestemte aktiviteter - in casu fældning af træer og anvendelse ved og bark fra de fældede træer eller en del deraf til brændsel, som erstatter kul i kraftværker - beregnes år for år som differensen mellem den forøgelse af atmosfærens C-indhold, der sker som resultat af aktiviteten, og den forøgelse, der sker i et alternativt udviklingsforløb. Det alternativ, der antages som grundlag for beregningerne, er således bestemmende for beregningsresultaterne.

Det her antagne alternativ til den i beregningsforudsætningerne specificerede skovfældning og anvendelse af de fældede træer er at lade skoven henstå urørt og fortsætte kulafbrændingen i det nuværende omfang. Det vil sige, at ændringerne i

skovens C-optag (dCopt i de nedenstående tabeller) år for år beregnes som differensen mellem det C-optag, der sker i den udnyttede skov, og det C-optag, der ville være sket i den urørte skov. C-udslippet fra den urørte skov antages at være nul.

I de tilfælde, hvor formålet med træfældningen er at udnytte træet til gavntræ, forudsætter alternativet 'urørt skov', at der i aktiviteterne indgår en forøgelse af gavntræforbruget til erstatning af f.eks. forbruget af teglsten og beton i bygninger.

#### Dimensionsløs fremstilling

De numeriske værdier er dimensionsløse, idet værdiskalaen for C-mængder er givet ved C-mængden i den fuldt udvoksede skov = 100, og tidsskalaen er givet ved tiden fra tilplantning af en skovparcel til parcellen er fuldt udvokset = 100. (Et 'år' er således i denne fremstilling 1/100 af dette tidsrum.)

#### Beregningsforudsætninger anvendt i alle de nedenfor viste beregningseksempler:

Ubrødt skov: Fuldt udvokset 100 år efter tilplantning, derefter C-optag = 0.

C akkumuleret i fuldt udvokset skov = 100.

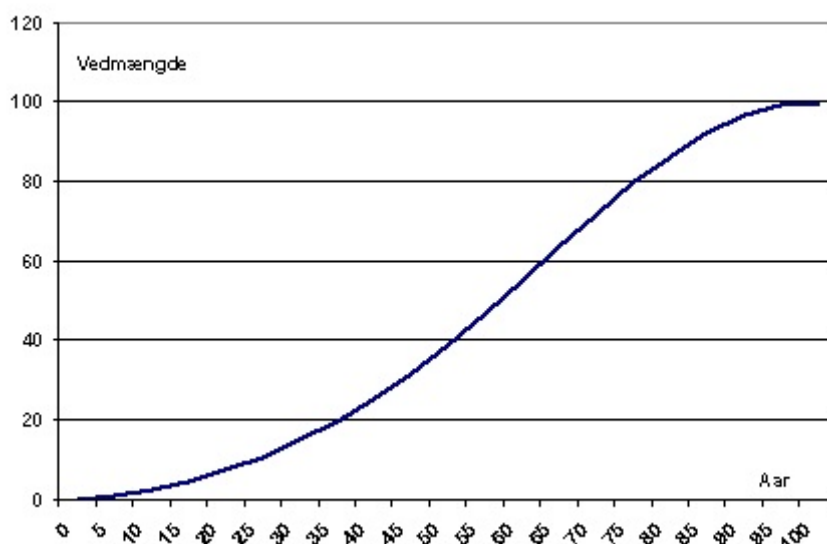
Udslip fra skovbund efter fældning = 20 procent af den fældede mængde, fordelt over 20 år.

Udslip fra skovindustri (tørring og forarbejdning) = 7.00 procent af den fældede mængde.

Forholdet mellem C-udslip fra kraftværk ved produktion af 1 kWh el med henholdsvis kul og træbrændsel = 0.80.

Sparet C-udledning ved lagring af C-indholdet i gavntræ i bygningsmaterialer i forhold til C-indholdet i gavntræ = 1.0.

Denne værdi angiver C-udslippet fra den produktion af beton og tegl, der erstattes med brug af træ. Den her antagne værdi er helt arbitrær. Den har kun indflydelse på de i figur 4 viste beregningsresultater, som kun tjener til at gøre opmærksom på den CO<sub>2</sub>-mæssige fordel ved at udskifte beton og tegl med træ i bygningskonstruktioner.



**Figur 1.** Den i beregningerne antagne vækstkurve for vedmængden i en skovparcel.

### Beregningsresultater

De nedenstående figurer 2 og 3 viser beregningsresultaterne i fire tilfælde, hvor det fældede træ udelukkende anvendes til brændsel.

Figur 4 tjener til at illustrere, at der kan opnås en større reduktion af C-udslippet til atmosfæren ved at bruge den anvendelige del af vedmængden i de fældede træer til erstatning af beton og tegl i bygningskonstruktioner.

De angivne kulstofmængder (C-mængder) kan findes enten i CO<sub>2</sub>-molekyler eller i organiske molekyler i ved og skovbund.

Ved sammenligning af figur 2 og figur 3 ses, at hvis rotationstiden formindskes (den årligt fældede mængde forøges) forøges såvel den med træbrændsel udskiftede kulmængde som C-merudslippet til atmosfæren i årene frem til afslutningen af den første rotation.

I årene frem til afslutningen af den første rotation (efter 80 år i figur 2, 65 år i figur 3) sker der år for år en C-overførsel fra skovlageret til atmosfæren (den i skoven akkumulerede C-mængde formindskes, se tabellerne under figur 2 og 3). Samtidigt ændres skovens C-optag, sådan at det efter nogle års forløb bliver større end det ville have været i den uberørte skov (se differensen  $dC_{opt}$  i tabellerne). Derefter er såvel den i skoven akkumulerede C-mængde som skovens C-optag konstant.

Hvis rotationstiden er mindre end 100 år, sker der efter afslutningen af den første rotation et fald i den årligt fældede mængde, fordi de fældede træer ikke er fuldt udvoksede.

I de i figur 2 og 3 viste tilfælde medfører udskiftning af kul med træbrændsler således i de første ca. 60 år en årlig forøgelse af C-udslippet til atmosfæren, idet det af træfældning og fremstilling og afbrænding af træbrændsler forårsagede merudslip ('Forøgelse fra træbrændsel') er større end den udslips-formindskelse, der opnås ved formindskelsen af den afbrændte kulmængde. Især hvis fældningen påbegyndes, før skoven er fuldt udvokset (FB80), bliver udslips-forøgelsen fra træbrændsler stor i de første år.

### Konklusioner

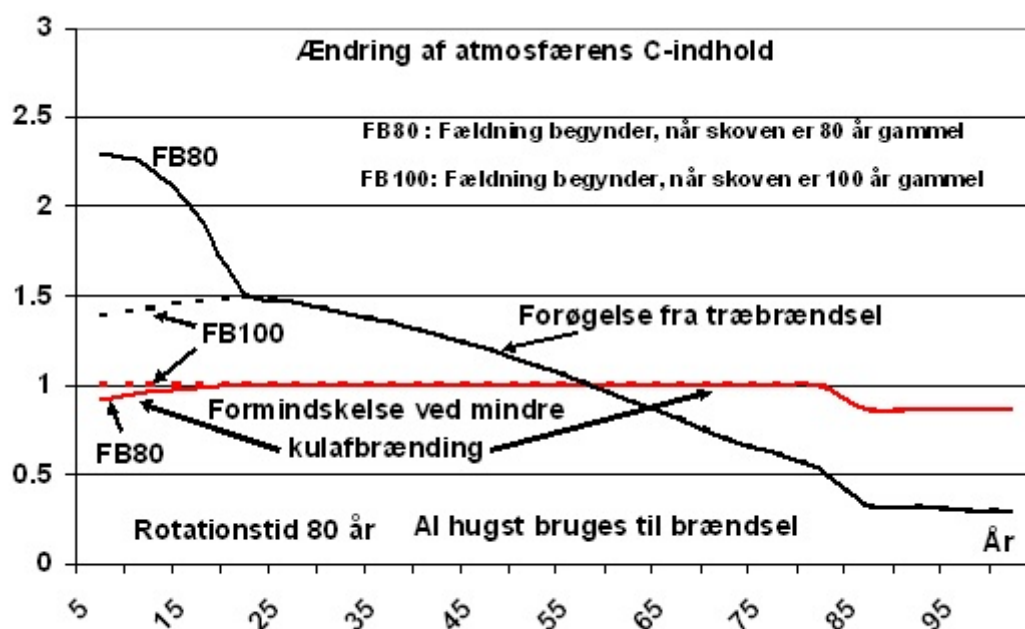
Hvis træbrændslet fremkommer ved fældning af hidtil urørt skov (naturskov) eller skov, der har stået urørt siden sidste tilplantning, vil udskiftning af kul med træbrændslet i en lang årrække (omkring 60 procent af årrækken fra tilplantning af skoven til den er fuldt udvokset) medføre et forøget C-udslip til atmosfæren. (Hvis træbrændsler erstatter naturgas i stedet for kul, bliver forøgelsen langt større over en længere årrække).

Hvis mængden af træbrændsel overstiger den mængde, der fremstilles af affaldstræ fra savværker, vil udskiftning af kul med træbrændsler således indenfor en for en tidshorisont, der er relevant med hensyn til de aktuelle bestræbelser for begrænsning af klimaændringer, medføre en yderligere forøgelse af atmosfærens CO<sub>2</sub>-indhold.

Det fremgår af disse beregningseksempler, at de faktiske ændringer af atmosfærens CO<sub>2</sub>-indhold i de kommende årtier, der vil ske som et resultat af udskiftning af kul

med træbrændsler, ikke kan beregnes ud fra CO<sub>2</sub>-udslippet ved afbrænding af henholdsvis kul og afbrænding af træbrændsler.

Forestillingen om, at afbrænding af træbrændsler er 'CO<sub>2</sub>-neutralt' (CO<sub>2</sub>-udslip= 0 i CO<sub>2</sub>-regnskaberne), afstedkommer under alle omstændigheder, at der foretages ikke formålstjenlige fejlinvesteringer.



Rotationstid= 80 år  
 Gavntre udgør 0.00 procent af den fældede mængde

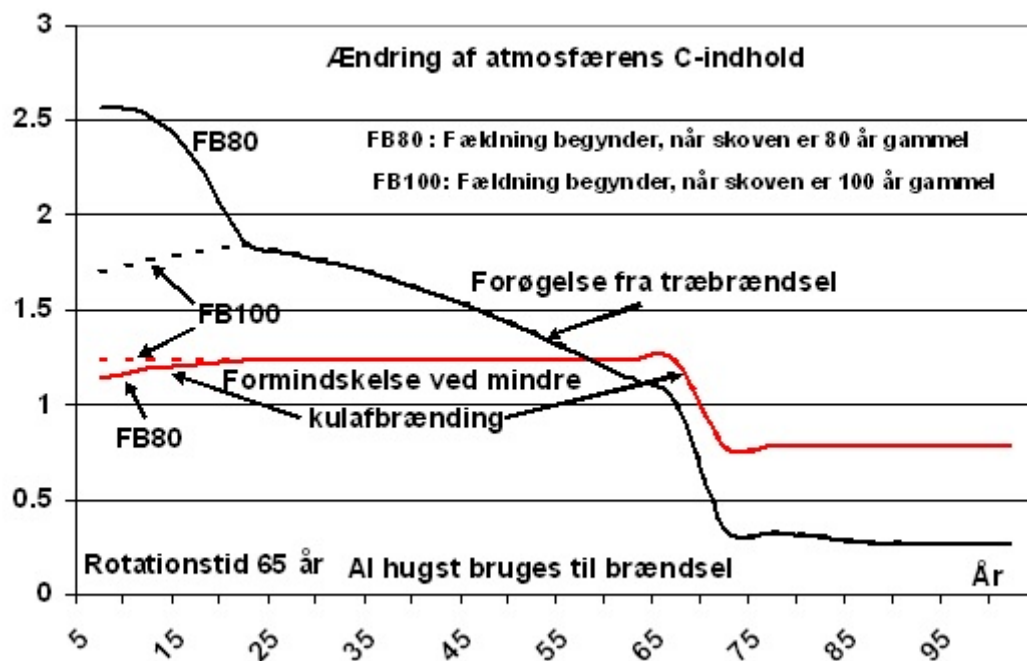
**Figur 2**

**Fældning begynder, når skoven er 100 år gammel**

Aar C	C-omsætning vedr. skov og træbrændsel					C-udslip		Forøgelse af		Akkum.	
akkumu- leret i skov	Forøget C-optag (dCopt)	Skov- bund	Skov- indu.	Brænd- kammer	C- udslip ialt	Udslip minus dCopt	fra kul	bygn. mat.	atmosfærens C-indhold		
1	98.8	0.00	0.00	0.09	1.25	1.34	1.34	-1.00	0.00	0.34	0.3
10	87.6	0.03	0.11	0.09	1.25	1.45	1.42	-1.00	0.00	0.42	3.8
20	75.7	0.09	0.24	0.09	1.25	1.58	1.49	-1.00	0.00	0.49	8.4
30	64.5	0.17	0.25	0.09	1.25	1.59	1.41	-1.00	0.00	0.41	13.0
40	54.4	0.30	0.25	0.09	1.25	1.59	1.29	-1.00	0.00	0.29	16.5
50	45.8	0.47	0.25	0.09	1.25	1.59	1.12	-1.00	0.00	0.12	18.4
60	39.0	0.67	0.25	0.09	1.25	1.59	0.92	-1.00	0.00	-0.08	18.6
70	34.3	0.87	0.25	0.09	1.25	1.59	0.71	-1.00	0.00	-0.29	16.7
80	31.6	1.06	0.25	0.09	1.25	1.59	0.53	-1.00	0.00	-0.47	12.7
90	31.6	1.08	0.23	0.08	1.08	1.39	0.31	-0.86	0.00	-0.55	7.3
100	31.6	1.08	0.22	0.08	1.08	1.37	0.29	-0.86	0.00	-0.57	1.7

**Fældning begynder, når skoven er 80 år gammel**

År C	C-omsætning vedr. skov og træbrændsel					C-udslip		Forøgelse af		Akkum.	
akkumu- leret i skov	Forøget C-optag (dCopt)	Skov- bund	Skov- indu.	Brænd- kammer	C- udslip ialt	Udslip minus dCopt	fra kul	bygn. mat.	atmosfærens C-indhold		
1	86.3	-1.03	0.00	0.08	1.09	1.17	2.20	-0.87	0.00	1.33	1.3
10	84.4	-0.84	0.10	0.08	1.20	1.39	2.23	-0.96	0.00	1.27	13.5
20	75.7	0.03	0.23	0.09	1.25	1.56	1.53	-1.00	0.00	0.53	22.5
30	64.5	0.17	0.25	0.09	1.25	1.59	1.41	-1.00	0.00	0.41	27.0
40	54.4	0.30	0.25	0.09	1.25	1.59	1.29	-1.00	0.00	0.29	30.5
50	45.8	0.47	0.25	0.09	1.25	1.59	1.12	-1.00	0.00	0.12	32.5
60	39.0	0.67	0.25	0.09	1.25	1.59	0.92	-1.00	0.00	-0.08	32.6
70	34.3	0.87	0.25	0.09	1.25	1.59	0.71	-1.00	0.00	-0.29	30.7
80	31.6	1.06	0.25	0.09	1.25	1.59	0.53	-1.00	0.00	-0.47	26.8
90	31.6	1.08	0.23	0.08	1.08	1.39	0.31	-0.86	0.00	-0.55	21.4
100	31.6	1.08	0.22	0.08	1.08	1.37	0.29	-0.86	0.00	-0.57	15.7



Rotationstid= 65 år  
 Gavntre udgør 0.00 procent af den fældede mængde

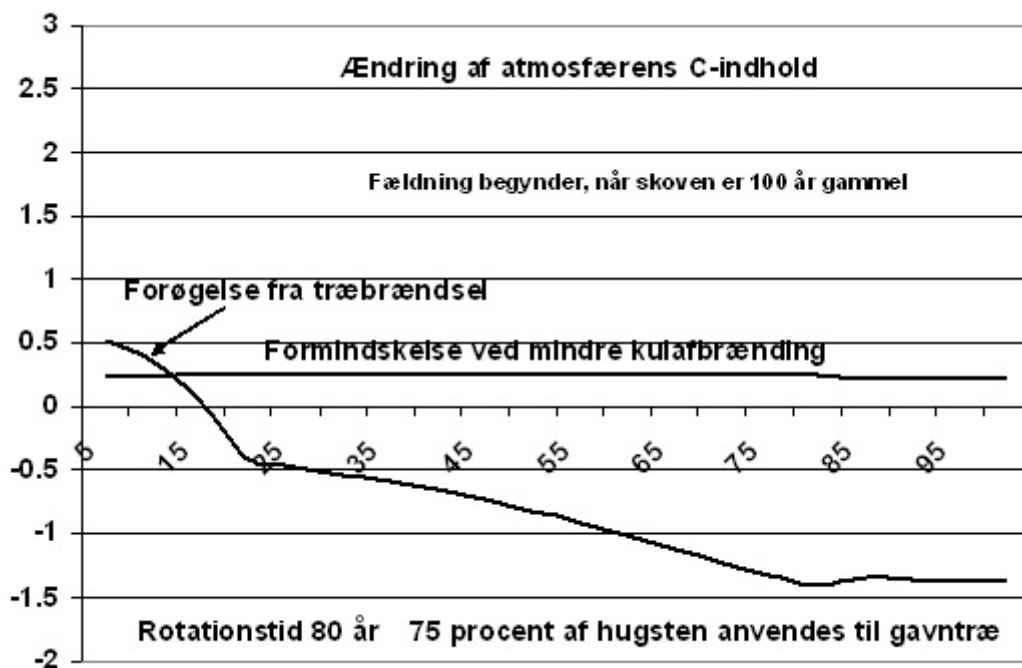
**Figur 3**

**Fældning begynder, når skoven er 100 år gammel**

År	C	C-omsætning vedr. akkumulert i skov	Forøget C-optag (dCopt)	C-udslip fra skovbunden	Skov-Brænd-kammer indu.	C-udslip fra træbrændsel ialt	Udslip minus dCopt	C-udslip fra kul bygn. mat.	Forøgelse af atmosfærens C-indhold	Akkum.	
1	98.5	0.00	0.00	0.11	1.54	1.65	1.65	-1.23	0.00	0.42	0.4
10	84.8	0.04	0.14	0.11	1.54	1.78	1.75	-1.23	0.00	0.52	4.7
20	70.1	0.10	0.29	0.11	1.54	1.94	1.83	-1.23	0.00	0.60	10.3
30	56.3	0.21	0.31	0.11	1.54	1.95	1.74	-1.23	0.00	0.51	16.0
40	43.9	0.37	0.31	0.11	1.54	1.95	1.58	-1.23	0.00	0.35	20.3
50	33.3	0.57	0.31	0.11	1.54	1.95	1.38	-1.23	0.00	0.15	22.7
60	25.0	0.82	0.31	0.11	1.54	1.95	1.14	-1.23	0.00	-0.10	22.9
70	21.8	0.97	0.29	0.07	0.97	1.33	0.35	-0.78	0.00	-0.43	19.9
80	21.8	0.97	0.23	0.07	0.97	1.27	0.30	-0.78	0.00	-0.48	15.4
90	21.8	0.97	0.19	0.07	0.97	1.24	0.26	-0.78	0.00	-0.52	10.3
100	21.8	0.97	0.19	0.07	0.97	1.24	0.26	-0.78	0.00	-0.52	5.1

**Fældning begynder, når skoven er 80 år gammel**

År	C	C-omsætning vedr. akkumulert i skov	Forøget C-optag (dCopt)	C-udslip fra skovbunden	Skov-Brænd-kammer indu.	C-udslip fra træbrændsel ialt	Udslip minus dCopt	C-udslip fra kul bygn. mat.	Forøgelse af atmosfærens C-indhold	Akkum.	
1	86.1	-0.99	0.00	0.09	1.35	1.44	2.43	-1.08	0.00	1.35	1.4
10	81.7	-0.81	0.13	0.10	1.48	1.71	2.53	-1.19	0.00	1.34	14.0
20	70.1	0.05	0.28	0.11	1.54	1.92	1.87	-1.23	0.00	0.64	24.0
30	56.3	0.21	0.31	0.11	1.54	1.95	1.74	-1.23	0.00	0.51	29.6
40	43.9	0.37	0.31	0.11	1.54	1.95	1.58	-1.23	0.00	0.35	33.8
50	33.3	0.57	0.31	0.11	1.54	1.95	1.38	-1.23	0.00	0.15	36.3
60	25.0	0.82	0.31	0.11	1.54	1.95	1.14	-1.23	0.00	-0.10	36.5
70	21.8	0.97	0.29	0.07	0.97	1.33	0.35	-0.78	0.00	-0.43	33.5
80	21.8	0.97	0.23	0.07	0.97	1.27	0.30	-0.78	0.00	-0.48	29.0
90	21.8	0.97	0.19	0.07	0.97	1.24	0.26	-0.78	0.00	-0.52	23.9
100	21.8	0.97	0.19	0.07	0.97	1.24	0.26	-0.78	0.00	-0.52	18.7



Rotationstid= 80 år  
 Gavntræ udgør 75.00 procent af den fældede mængde

**Figur 4**

**Fældning begynder, når skoven er 100 år gammel**

År	C	C-omsætning vedr. skov og træbrændsel	C-udslip fra			C-udslip	Udslip	C-udslip	Forøgelse af	atmosfærens	
	akkumu-	Forøget	Skov-	Skov-	Brænd-	udslip	minus	fra	bygn.	C-indhold	Akkum.
	leret	C-optag	bund	indu.	kammer	ialt	dCopt	kul	mat.		
	i skov	(dCopt)									
1	98.8	0.00	0.00	0.02	0.31	0.33	0.33	-0.25	-0.94	-0.85	-0.9
10	87.6	0.03	0.11	0.02	0.31	0.45	0.42	-0.25	-0.94	-0.77	-8.1
20	75.7	0.09	0.24	0.02	0.31	0.57	0.49	-0.25	-0.94	-0.70	-15.4
30	64.5	0.17	0.25	0.02	0.31	0.58	0.41	-0.25	-0.94	-0.78	-22.7
40	54.4	0.30	0.25	0.02	0.31	0.58	0.28	-0.25	-0.94	-0.90	-31.2
50	45.8	0.47	0.25	0.02	0.31	0.58	0.12	-0.25	-0.94	-1.07	-41.1
60	39.0	0.67	0.25	0.02	0.31	0.58	-0.08	-0.25	-0.94	-1.27	-52.9
70	34.3	0.87	0.25	0.02	0.31	0.58	-0.29	-0.25	-0.94	-1.48	-66.7
80	31.6	1.06	0.25	0.02	0.31	0.58	-0.48	-0.25	-0.94	-1.66	-82.5
90	31.6	1.08	0.23	0.02	0.27	0.52	-0.55	-0.22	-0.81	-1.58	-98.2
100	31.6	1.08	0.22	0.02	0.27	0.51	-0.57	-0.22	-0.81	-1.60	-114.1