



F02	2014-09-15	IFF	TF	CM	TO	BM
F01	2014-09-01	IFA	TF	CM	TO	BM
Rev.	Issued date	Description	Made by	Chk'd by	Disc. appr.	Proj. appr.
Contractor:				Supplier:		
 <p style="text-align: center;">ABB AS OIL, GAS AND PETROCHEMICAL</p>						
Client:				Contract No:		
 <p style="text-align: center;">STATOIL PETROLEUM AS</p>				4503027469		
Project No:		Project Title:				
P028701		Johan Sverdrup Power from Shore FEED				
Suppliers Doc. No.:				Rev No:		
3AJG028701-0716				B		
	1	Accepted	Tag No: -			
	2	Accepted with Comments Incorporated. Revise and Resubmit				
	3	Not Accepted. Revise and Resubmit				
	4	For Information Only				
	5	Provisional Acceptance - Interface Information Frozen				
Date:		Signature :				
Doc. Type:		Area:	System:			
RA		-	-			
Document Title:						
Kjølevannsutslipp ved Haugsneset, Kårstø						
Document No.:				Rev.:	Page:	
C160-AP-S-RA-00716				F02	1 of 2	

REVISION TABLE

Rev.	Page (P) Chapter (C)	Description	Date /Initials
00	All	New	2014-07-29/THF
F01	All	IFA	2014-08-01/THF
F02	All	IFF Updated with new input, and new calculations are carried out.	2014-09-15/THF

APPENDIX

A. Kjølevannsutslipp ved Haugsneset, Kårstø

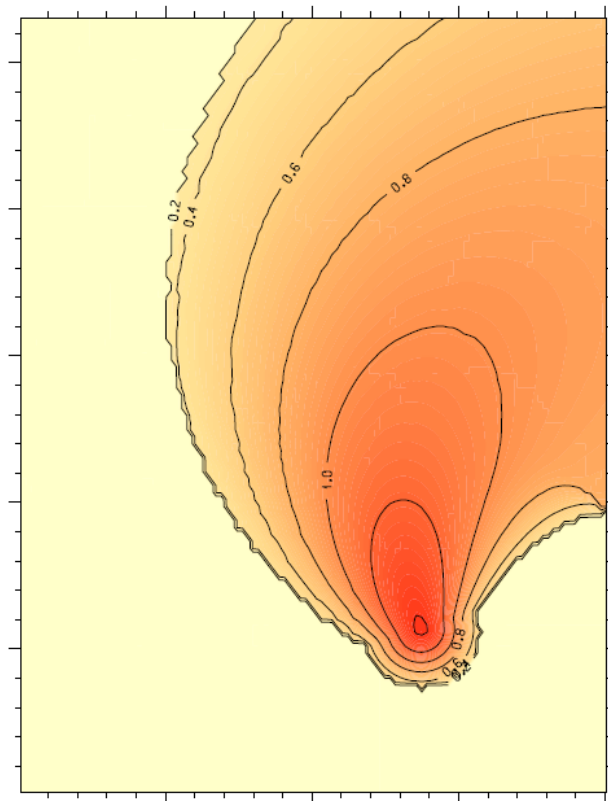
Rapport

Kjølevannsutslipp ved Haugsneset, Kårstø

Overtemperatur og innlagringsnivå
Andre reviderte utgave

Forfatter(e)

Grim Eidnes



Rapport

Kjølevannsutslipp ved Haugsneset, Kårstø

Overtemperatur og innlagringsnivå
Andre reviderte utgave

EMNEORD:
Miljø
Utslipp
Kjølevann
Haugsnese

VERSJON
3.0

DATO
2014-09-12

FORFATTER(E)
Grim Eidnes

OPPDRAKSGIVER(E)
ABB AS

OPPDRAKSGIVERS REF.
Tor-Helge Felle

PROSJEKTNR
102008411

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
9 + vedlegg

SAMMENDRAG

ABB skal gjennomføre en konseptstudie i forbindelse med elektrifiseringen av Johan Sverdrup feltet i Nordsjøen. I studiet inngår et kjølevannssystem basert på inntak og utslipp av sjøvann. Det er gjennomført utslippsberegninger for en utslippsmengde på 400 m³/h i 30 m dyp gjennom et 450 mm rør basert på tidligere registrerte strøm- og lagdelingsforhold i området over et år. Beregningene er gjennomført med modellen *B-Jet*. Modellen beregner utslippets fortykning, spredning, overtemperatur og innlagringsnivå i resipienten.

UTARBEIDET AV
Grim Eidnes

SIGNATUR



KONTROLLERT AV
Jørgen Skancke

SIGNATUR



GODKJENT AV
Atle Kleven

SIGNATUR



RAPPORTNR
SINTEF F26319

GRADERING
Fortrolig

GRADERING DENNE SIDE
Fortrolig

for

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.0	2014-07-29	Rapportutkast
2.0	2014-09-01	Revidert rapport
3.0	2014-09-12	Endelig rapport

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	4
1 Bakgrunn	5
2 Modellbeskrivelse	5
3 Inndata	6
3.1 Tekniske data	6
3.2 Lagdeling	6
3.3 Strømforhold.....	7
4 Utslippsberegninger	8
5 Referanser	9

BILAG/VEDLEGG

Beregnet utslippsbane og overtemperatur i vertikalplanet

Sammendrag

Som en del av elektrifiseringen av Johan Sverdrup feltet i Nordsjøen, skal det etableres et kjølevannssystem basert på inntak og utslipp av sjøvann. Kjølevannsanlegget er planlagt på Haugsneset ved Kårstø. Den foreliggende rapporten presenterer resultatet av utslippsberegninger for kjølevannet i form av overtemperatur og innlagringsnivå for utslippet fordelt over året.

Følgende tekniske data er lagt til grunn for beregningene:

Inntaksdyp:	100 m	Utslippsdyp:	30 m
Utslippsdiameter:	368 mm (innvendig)	Utslipphastighet:	1,0 m/s
Utslippets helning:	14° nedover	Utslippets retning:	102° (mot Ø-ØSØ)
Utslippsmengde:	400 m ³ /h	Oppvarming:	15 °C

Et kjølevannsbehov på 400 m³/h er valgt som "worst case", og denne utslippsmengden er benyttet i beregningene. For PE-rør SDR11 vil en utslipphastighet på ca. 1 m/s tilsvare et 450 mm rør (innvendig diameter på 368 mm). Denne rørdimensjonen inngår i beregningene.

Data for lagdeling og strøm er hentet fra tidligere undersøkelser i Kårstøbassenget – spesielt målinger over lang tid nettopp fra Haugsneset. De hydrografiske dataene (lagdeling) er hentet fra 2001-2002, mens strømdataene er fra 1987-1988.

Beregningene viser at kjølevannet normalt vil lagre seg inn rett over utslippsdypet. I gjennomsnitt stiger utslippet opp til 26 m dyp før det synker ned og lagrer seg inn på 27 m dyp.

Miljødirektoratets normative krav til kjølevannsutslipp er at overtemperaturen 100 m fra utslippet ikke skal overstige 1 °C. Beregningene viste at overtemperaturen etter 100 m lå mellom 0,0 og 0,5 °C, altså godt under forurensningsmyndighetenes krav. Beregningene viste også at overtemperaturen i gjennomsnitt var kommet ned i 1,0 °C allerede 9 m fra utslippspunktet.

1 Bakgrunn

Som en del av elektrifiseringen av Johan Sverdrup feltet i Nordsjøen, er ABB engasjert av Statoil til å gjennomføre en konseptstudie knyttet til en HVDC (High Voltage, Direct Current) stasjon. I studiet inngår også et kjølevannssystem basert på inntak og utslipp av sjøvann. Kjølevannsanlegget er planlagt på Haugneset ved Kårstø. Kjølevannsutslippet er konsesjonspliktig, og i forbindelse med konsesjonssøknaden må det framlegges en konsekvensvurdering av forventet påvirkning fra utslippet. ABB har i den forbindelse henvendt seg til SINTEF og bedt om en slik vurdering.

Kjølevannet varmes opp mellom inntak og utslipp. Normalt vil utslippets temperatur være høyere enn sjøvannets temperatur. Temperaturforskjellen kalles overtemperatur. Den foreliggende rapporten presenterer resultatet av utslippsberegninger i form av overtemperatur og innlagringsnivå for utslippet fordelt over året. Beregningene er vurdert opp mot Miljødirektoratets normative krav om at overtemperaturen 100 m fra utslippet ikke (permanent) skal overstige 1 °C.

2 Modellbeskrivelse

Utslippsberegningene er gjennomført med den numeriske modellen *B-Jet* som simulerer kjølevannets bane og fortykning i resipienten. *B-Jet* simulerer utslippet fra utslippspunktet og til utslippets egenenergi er brukt opp til turbulent blanding, og utslippet har nådd sitt likevektsnivå (innlagringsnivå).

Beregningene av utslippets overtemperatur gjennomføres vanligvis for forskjellige, representative strøm- og lagdelingsforhold. Om vinteren er lagdelingen generelt svak, og temperaturen i utslippspunktet kan ofte være lavere enn i inntaksdypet. Den initielle overtemperaturen blir da høy og den svake lagdelingen kan medføre at utslippet stiger helt opp til overflata og sprer seg som et tynt lag der. Skjer det, vil den videre spredningen og fortykningen beregnes med modellen *B-Pool*.

Om sommeren er forholdene som regel motsatt. Da varmes overflatelaget opp, den initielle overtemperaturen blir mindre og lagdelingen forsterkes. Muligheten for en innlagring dypere ned i vannmassene er da større.

Modellen *B-Jet* ble i 1994 validert mot kjølevannsutslippet fra gassterminalen på Kårstø (Eidnes, 1994). Over 14 måneder ble det gjennomført 18 intensive måletokt i Kårstøbassenget. I fem av de 18 toktene ble det målt overtemperaturer på 1,0 °C eller mer. Høyeste registrerte overtemperatur var 1,9 °C. De målte, uberørte hydrografidataene ble sammen med målt strøm brukt som inndata til *B-Jet*. Beregnet overtemperatur ble så sammenliknet med målte temperaturforhold i resipienten. Det største avviket mellom målt og modellert overtemperatur var bare 0,1 °C. Utslippets innlagring ble også godt gjenskapt i modellen. Innlagringsdypet varierte reelt mellom 0 og 17 m dyp, mens modellberegningene ga en innlagring på 0 - 15 m dyp.

En senere validering mot kjølevannsutslippet i Nyhamna på Aukra (Eidnes, 2010) bekreftet det gode samsvaret. Det største avviket mellom målt og beregnet overtemperatur ble der 0,09 °C, og innlagringen var, på ett unntak nær, også i meget godt samsvar med beregningene.

3 Inndata

3.1 Tekniske data

Fase 1 i utbyggingen vil designes med kapasitet på 1x100 MW. Kjølevannsbehovet vil være i underkant av 170 m³/h. Oppvarmingen fra inntak til utslipp er beregnet til 15 °C.

Fase 2 vil designes for ca. 150 MW med et estimert kjølevannsbehov på noe lavere enn 230 m³/h. Oppvarmingen er den samme, 15 °C.

Det er bestemt at alle anlegg for kjølevann som bygges i fase 1 skal være dimensjonert for en total kapasitet på overføring av 300 MW.

Et kjølevannsbehov på 400 m³/h er valgt som "worst case", og det er denne utslippsmengden som er benyttet i beregningene. Utstrømningshastigheter på ca. 1 m/s tilsvarer et 450 mm utslippsrør. For PE-rør SDR11 gir det en innvendig diameter lik 368 mm. Denne rørdimensjonen inngår i beregningene.

Vi har også antatt at utslippsrørene følger bunnskråningen på stedet. Helningen er estimert fra sjøkart å være ca. 14°. Utslippet vil bare skje gjennom ett rør av gangen. Oppsummert:

Inntaksdyp	100 m	Utslippsdyp	30 m
Utslippsdiameter	368 mm (innvendig)	Utslippshastighet	1,0 m/s
Utslippets helning	14° nedover	Utslippets retning	102° (mot Ø-ØSØ)
Utslippsmengde	400 m ³ /h	Oppvarming	15 °C

3.2 Lagdeling

Under en validering av kjølevannseffekter ved Kårstø (Løvås, 2002) ble det gjennomført hydrografimålinger (måling av temperatur og saltholdighet) ved Haugsneset ned til 80-95 m vandndyp om lag hver tredje uke over en ett års periode. Vi har antatt at disse hydrografiprofilene er representative for den årlige variasjonen i lagdelingen på stedet. Inntakstemperaturen i 100 m dyp er estimert ved en ekstrapolering (regresjonsanalyse) av temperaturprofilen ned til 100 m dyp.

Ved å bruke følgende symboler:

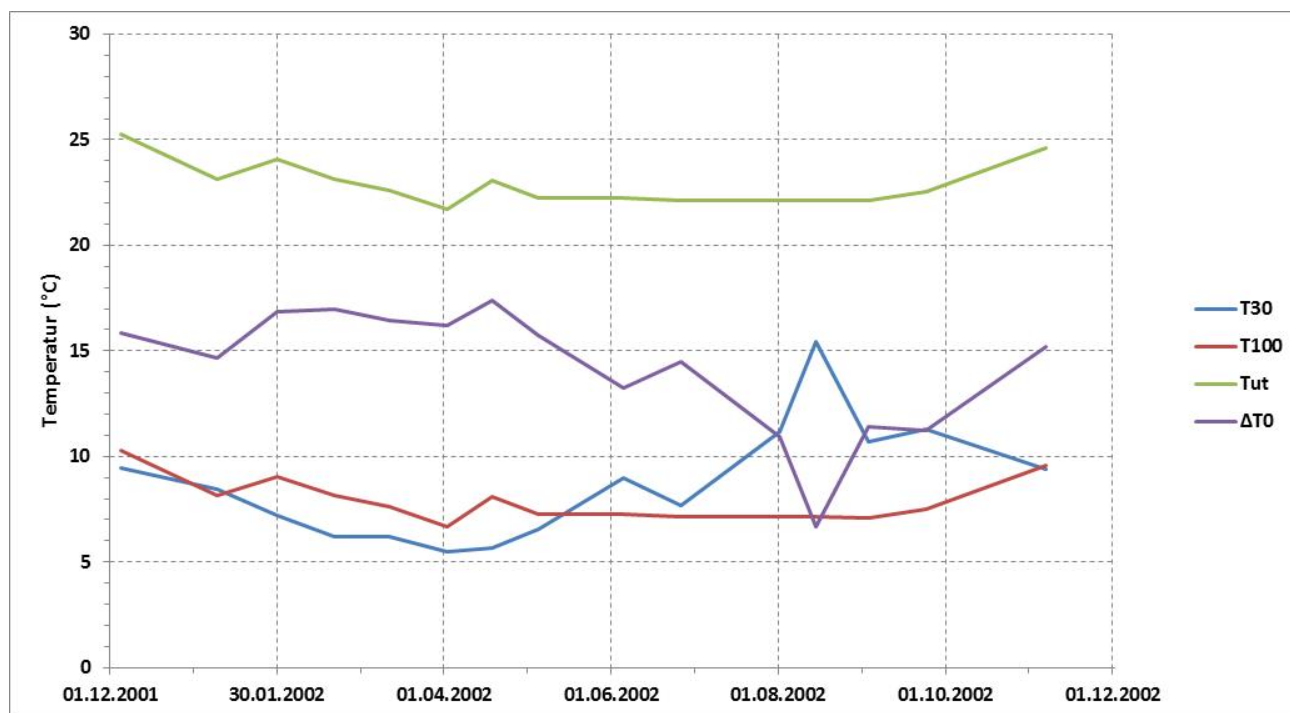
T_{inn}	Inntakstemperatur	T_{ut}	Utslippstemperatur
T_{30}	Vanntemperaturen i 30 m dyp	T_{100}	Vanntemperaturen i 100 m dyp
δT	Kjølevannets oppvarming (15 °C)	ΔT_0	Initiell overtemperatur ved utslipp

får vi følgende relasjoner (se figur 3.1):

$$T_{inn} = T_{100}$$

$$T_{ut} = T_{inn} + \delta T$$

$$\Delta T_0 = T_{ut} - T_{30}$$



Figur 3.1 Årlig variasjon i temperaturforholdene ved Haugsneset. (Se tekst for symbolforklaring.)

Figuren viser hvordan temperaturen i 30 m dyp er høyere enn i 100 m dyp i perioden mai – oktober. Dette gir redusert initiell overtemperatur (det vil si mindre enn 15 °C; i midten av august er den for eksempel bare 6,7 °C). Omvendt om vinteren og våren. Da er det kaldere i 30 m dyp enn i 100 m dyp, noe som forsterker den initielle overtemperaturen. Figuren viser også at inntakstemperaturen (og dermed utslippstemperaturen) er relativt konstant ($6,7\text{ °C} < T_{100} < 10,3\text{ °C}$).

3.3 Strømforhold

I 1986-1988 ble det gjennomført et større måleprogram av strøm og hydrografi ved Haugsneset (Nilsen m.fl., 1989). Tidsserien for strøm i 5 og 30 m dyp dekker henholdsvis 301 og 284 dager. En oppsummering av resultatene er vist i tabell 3.1. Vi har benyttet den midlere strømhastigheten i 5 og 30 m dyp (henholdsvis 6,5 og 3,5 cm/s med felles retning mot 230°) som inndata for strømmen i modellberegningene.

Tabell 3.1 De viktigste resultatene fra strømmålingene ved Haugsneset i 1987 – 1988.

Dyp	Maksimalstrøm		Midlere strøm (cm/s)	Dominerende strømretning (°)
	Fart (cm/s)	Retning (°)		
5 m	50	42	6,5	235
30 m	26	211	3,5	226

4 Utslippsberegninger

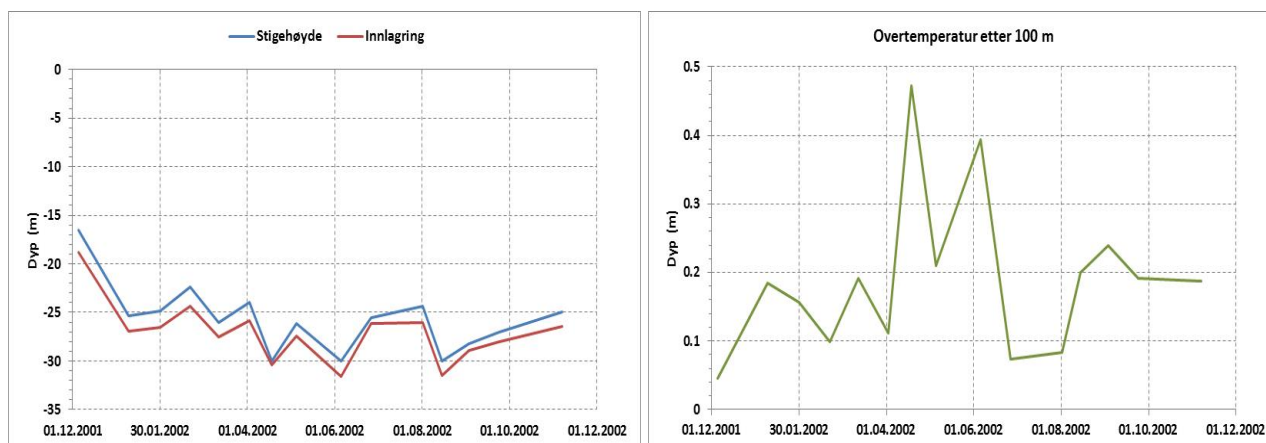
De viktigste resultatene fra modellberegningene er vist i tabell 4.1 og figur 4.1. Resultatene er også presentert som plott av utslippets bane og overtemperatur i Appendiks.

Tabell 4.1 Oppsummering av beregningene for et kjølevannsutslipp på 400 m³/h i 30 m dyp ved Haugsneset.

Dato	Stigehøyde (m)	Innlagringsdyp (m)	Avstand til 1 °C overtemperatur (m)	Overtemperatur etter 100 m
05.12.2001	25	26	9	0,2
09.01.2002	25	27	10	0,2
31.01.2002	25	27	9	0,2
21.02.2002	22	24	9	0,1
13.03.2002	26	27	9	0,2
03.04.2002	24	26	9	0,1
19.04.2002	30	30	11	0,5
06.05.2002	26	27	9	0,2
06.06.2002	30	32	10	0,4
27.06.2002	26	26	8	0,1
02.08.2002	24	26	8	0,1
15.08.2002	30	31	8	0,2
03.09.2002	28	29	8	0,2
24.09.2002	27	28	8	0,2
07.11.2002	17	19	8	0,0
Gjennomsnitt	26	27	9	0,2

For de fleste utslipp (avløpsvann så vel som kjølevann) er det ønskelig å unngå at utslippet kommer til overflata. Jo mer lagdelt resipienten er, og jo dypere utslippet legges, desto lettere er det å unngå gjennombrudd. Beregningene for Haugsneset viser at kjølevannet normalt vil lagre seg inn rett over utslippsdypet. I gjennomsnitt stiger utslippet opp til 26 m dyp før det synker ned og lagrer seg inn på 27 m dyp.

Miljødirektoratets normative krav til kjølevannsutslipp er at overtemperaturen 100 m fra utslippet ikke skal overstige 1 °C. Beregningene viste at overtemperaturen i gjennomsnitt er kommet ned i 1,0 °C allerede etter 9 m og at overtemperaturen etter 100 m vil ligge mellom 0,0 og 0,5 °C. Forurensningsmyndighetenes krav til overtemperaturen er med andre ord innfridd med god margin.



Figur 4.1 Beregnet maksimal stigehøyde, innlagringsdyp og overtemperatur 100 m fra utslippspunktet.

5 Referanser

Eidnes, G. (1994): Kårstø gassterminal. Temperaturmålinger i utslippsområdet for kjølevann. SINTEF-rapport STF60 F94118.

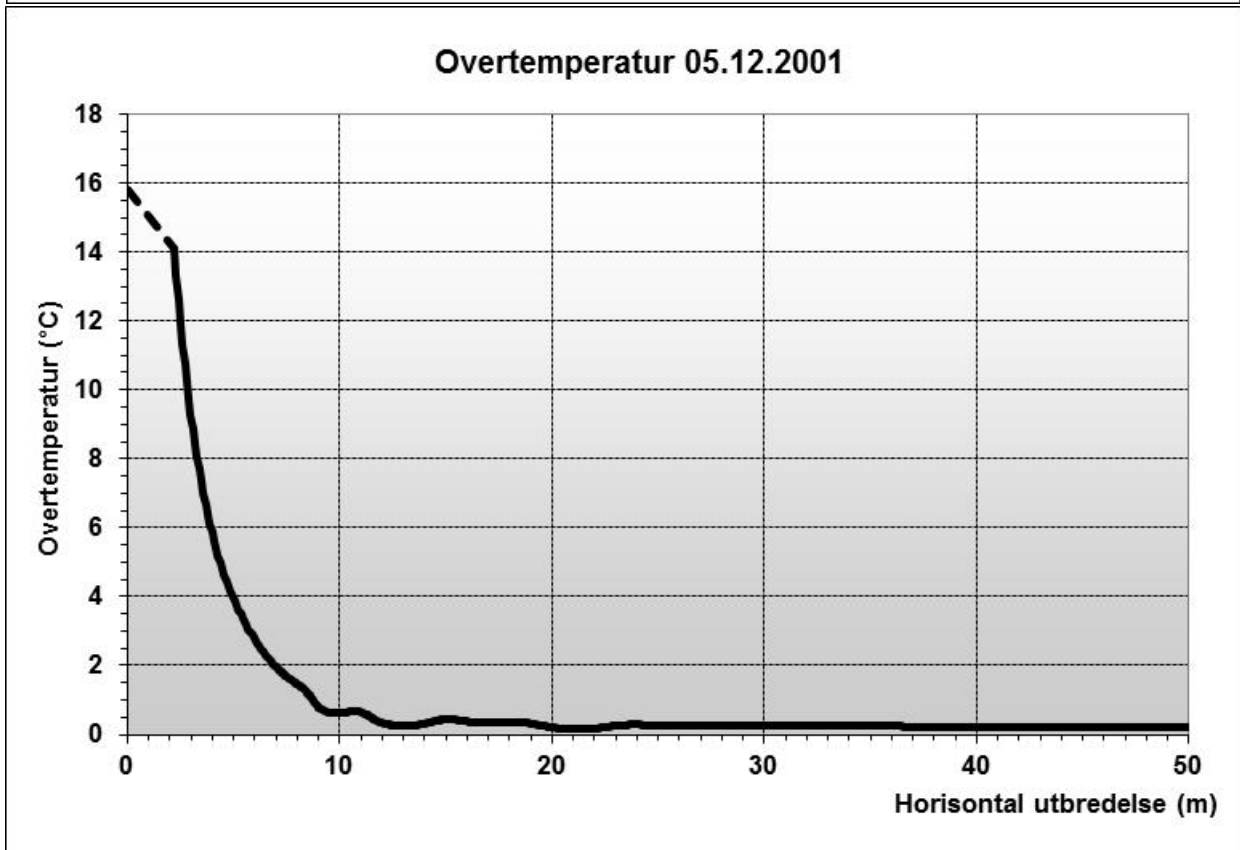
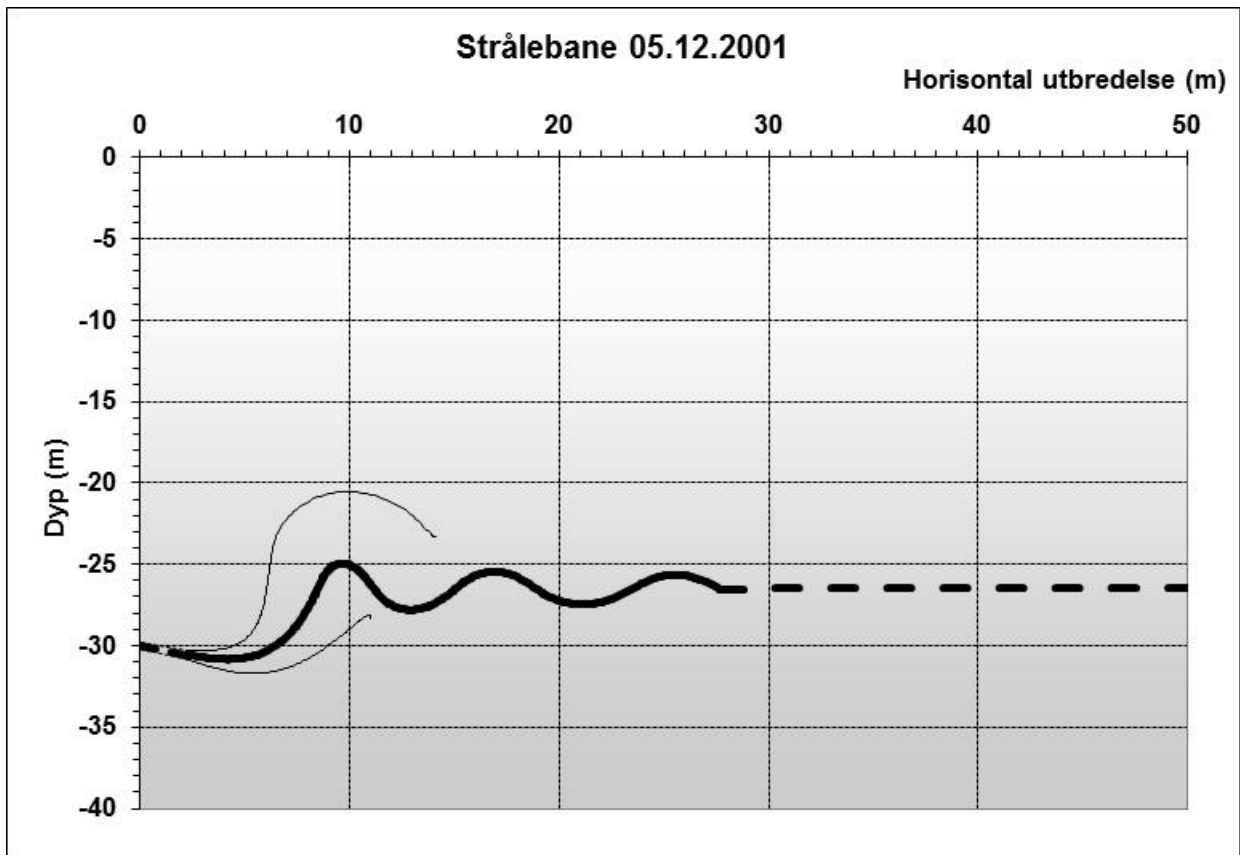
Eidnes, G. (2010): Validation of the discharge model B-Jet. SINTEF-memo datert 28.11.2010.

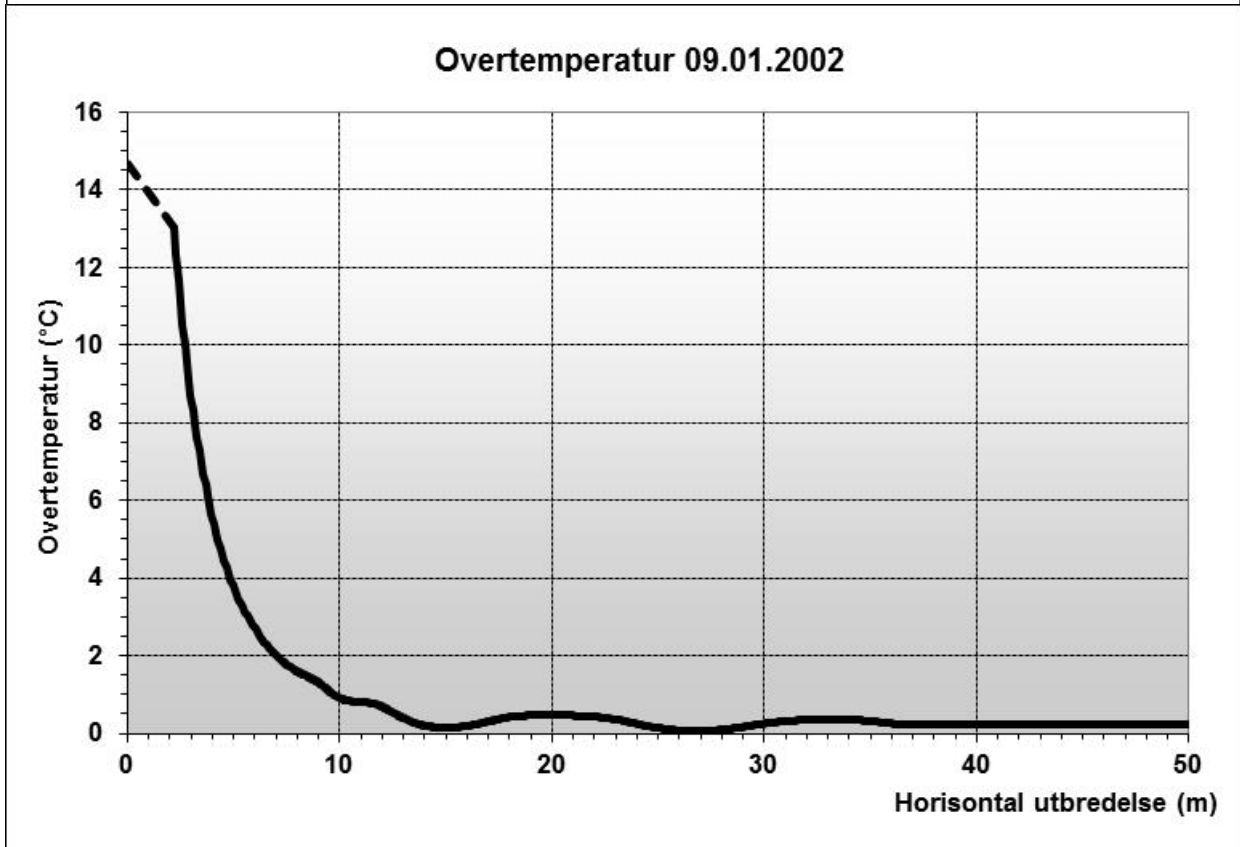
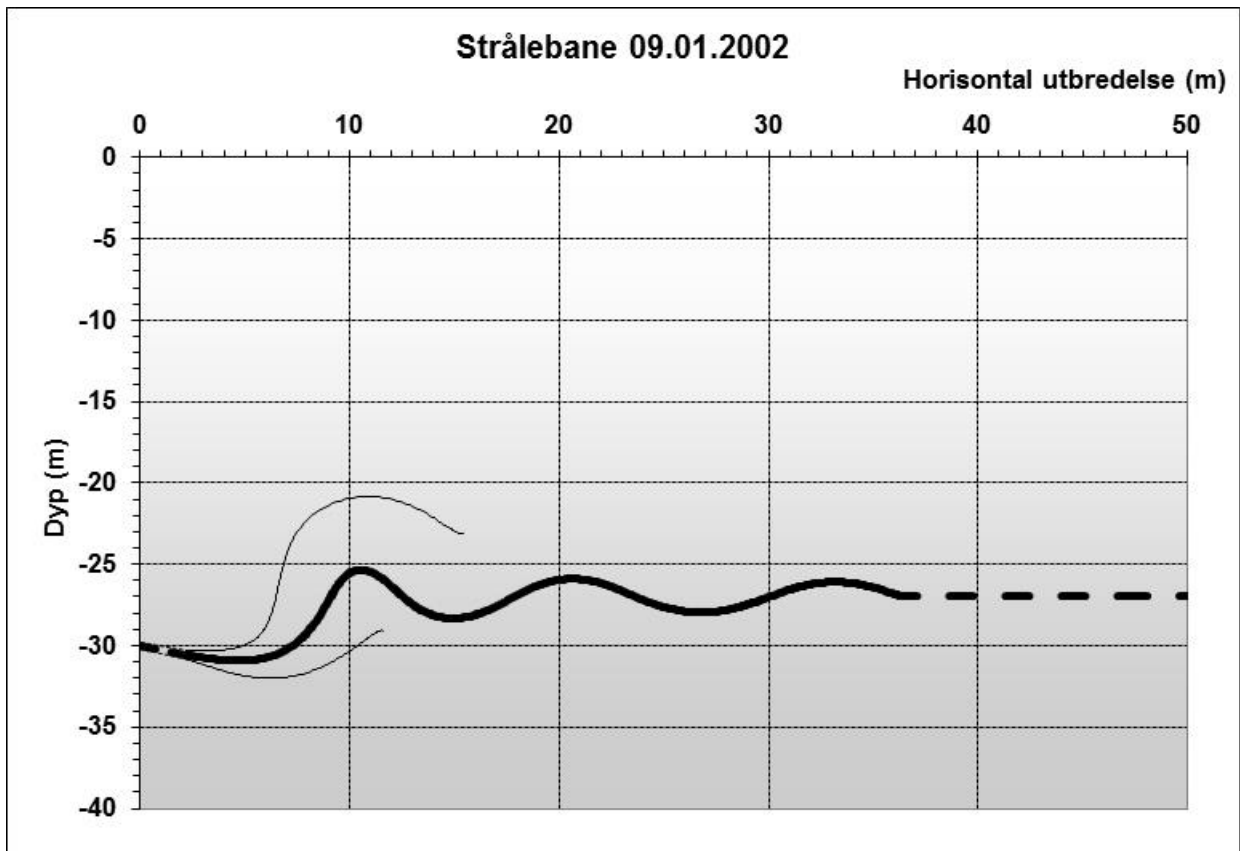
Løvås, S.M. (2002): Verifisering av kjølevannseffekter ved Kårstø. SINTEF-rapport STF80 F028072.

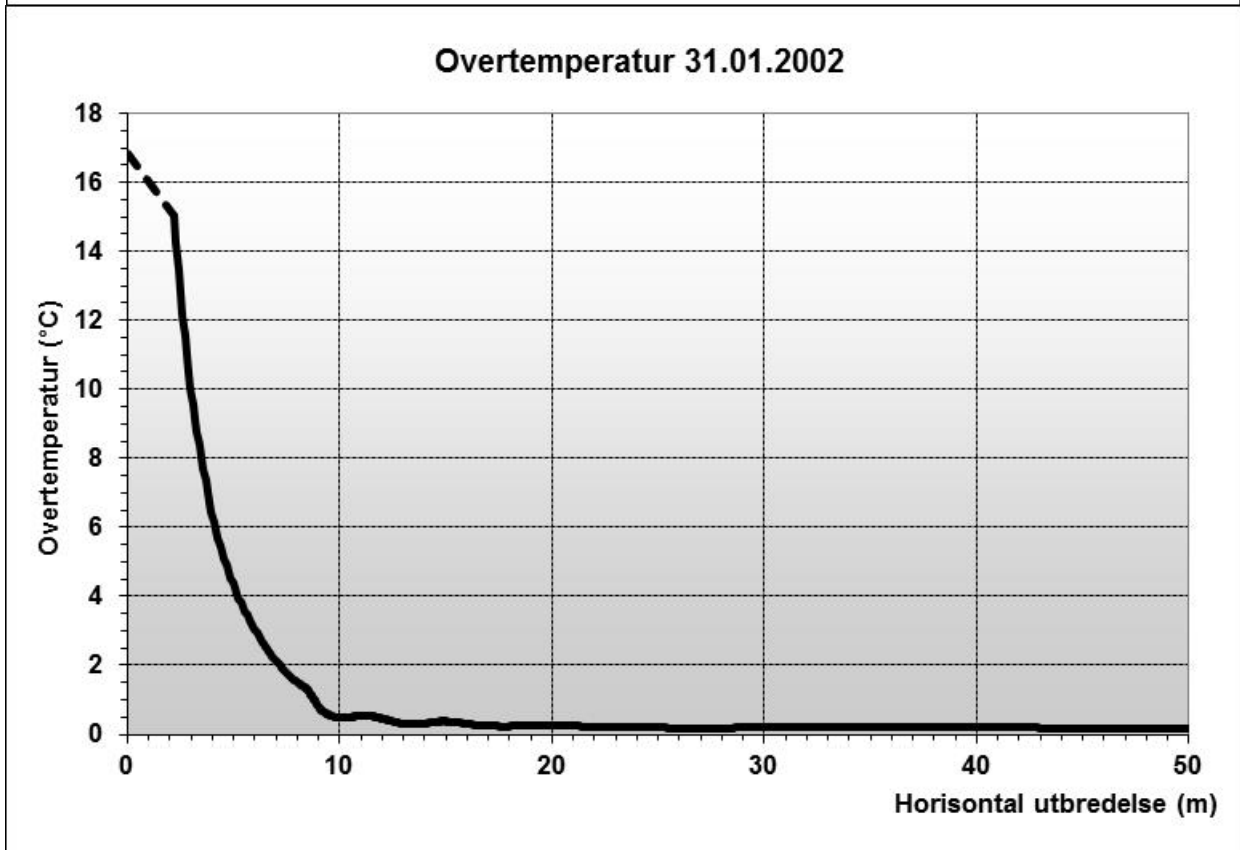
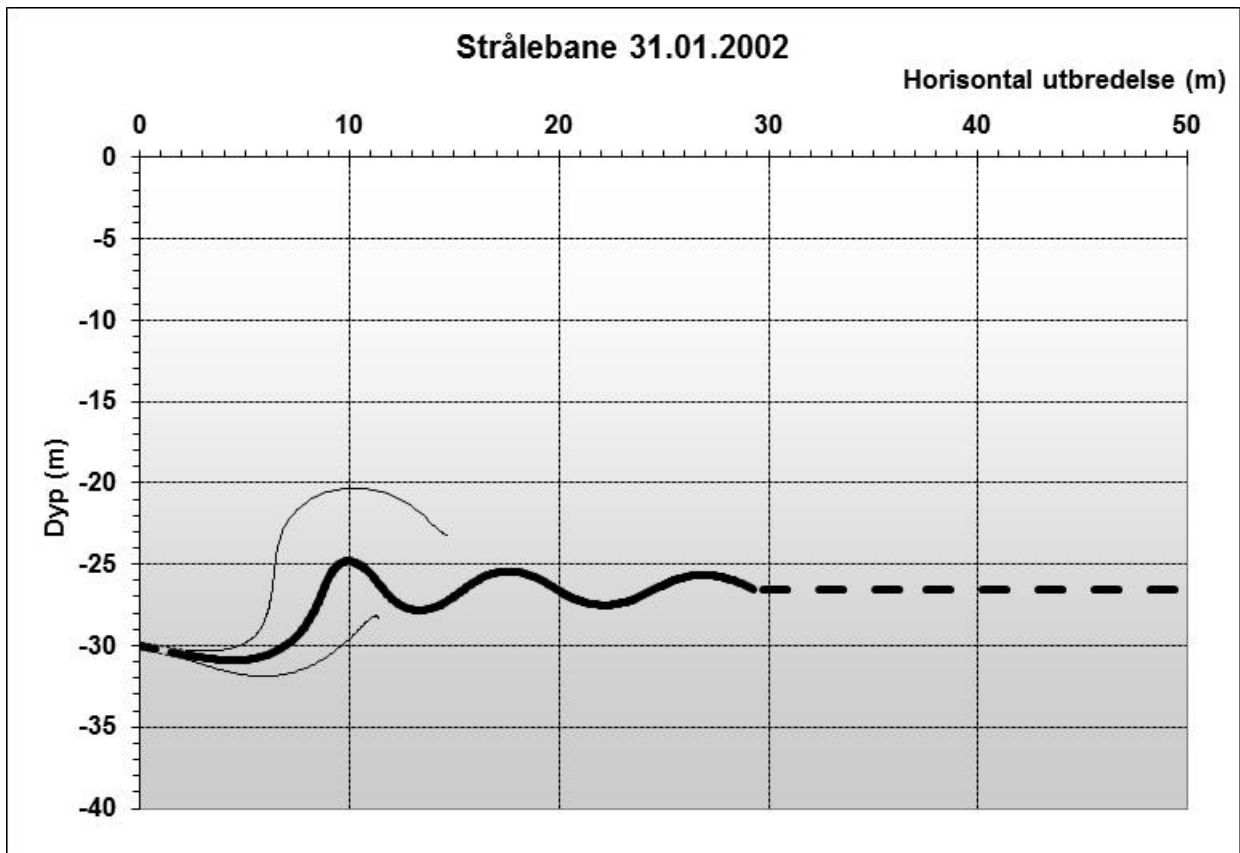
Nilsen, J.H., McClimans, T.A. og Bjerke, P.L. (1989): Analyse av felldata fra sjøområdet rundt Haugsneset for perioden 1986-12-08—1988-06-14. SINTEF-rapport STF60 F89034

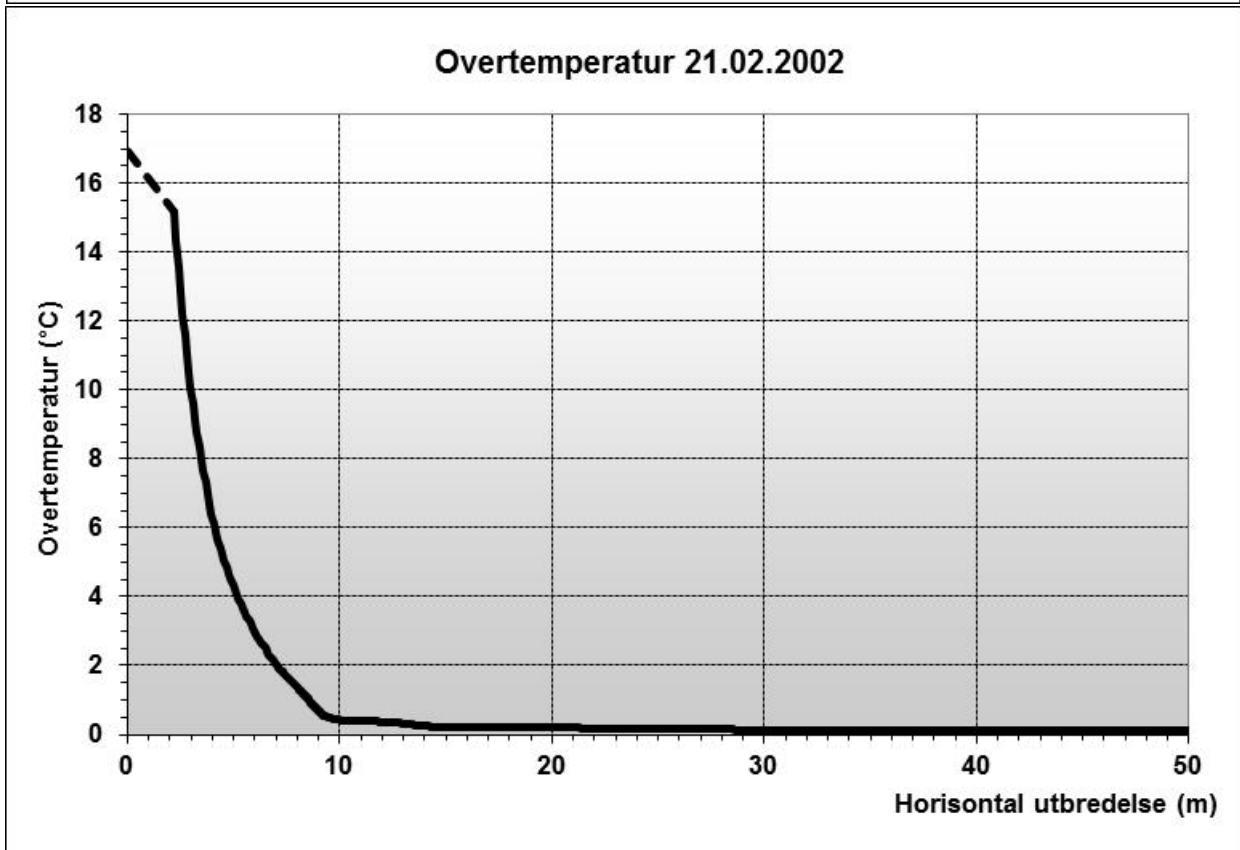
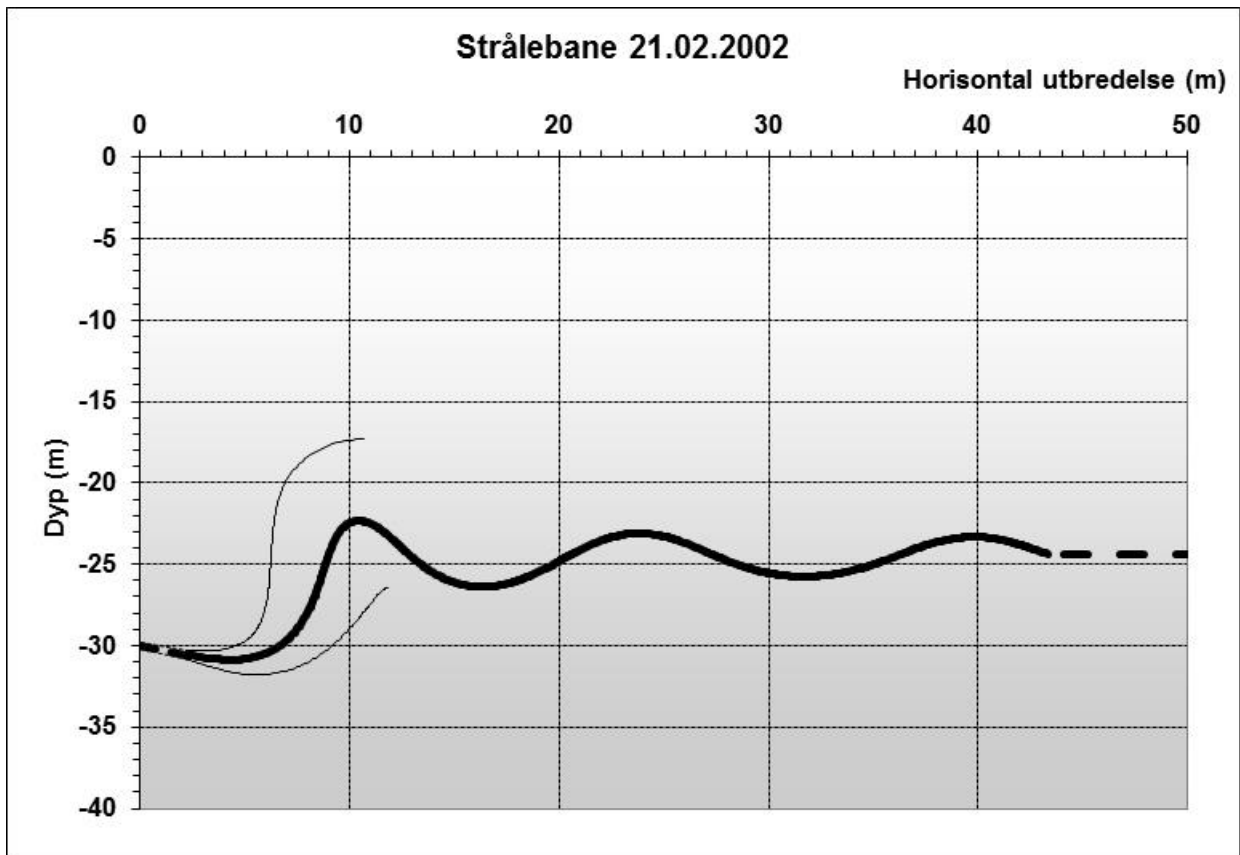
Appendiks

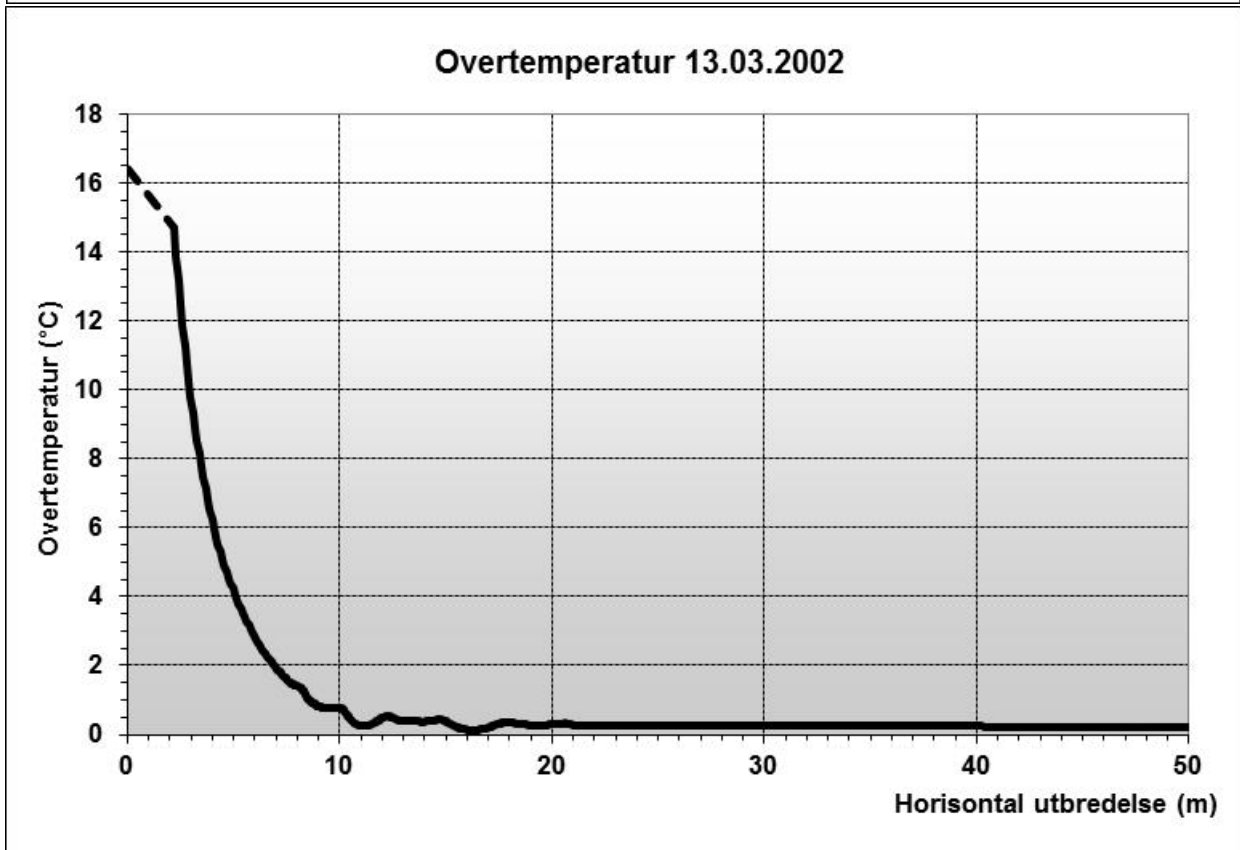
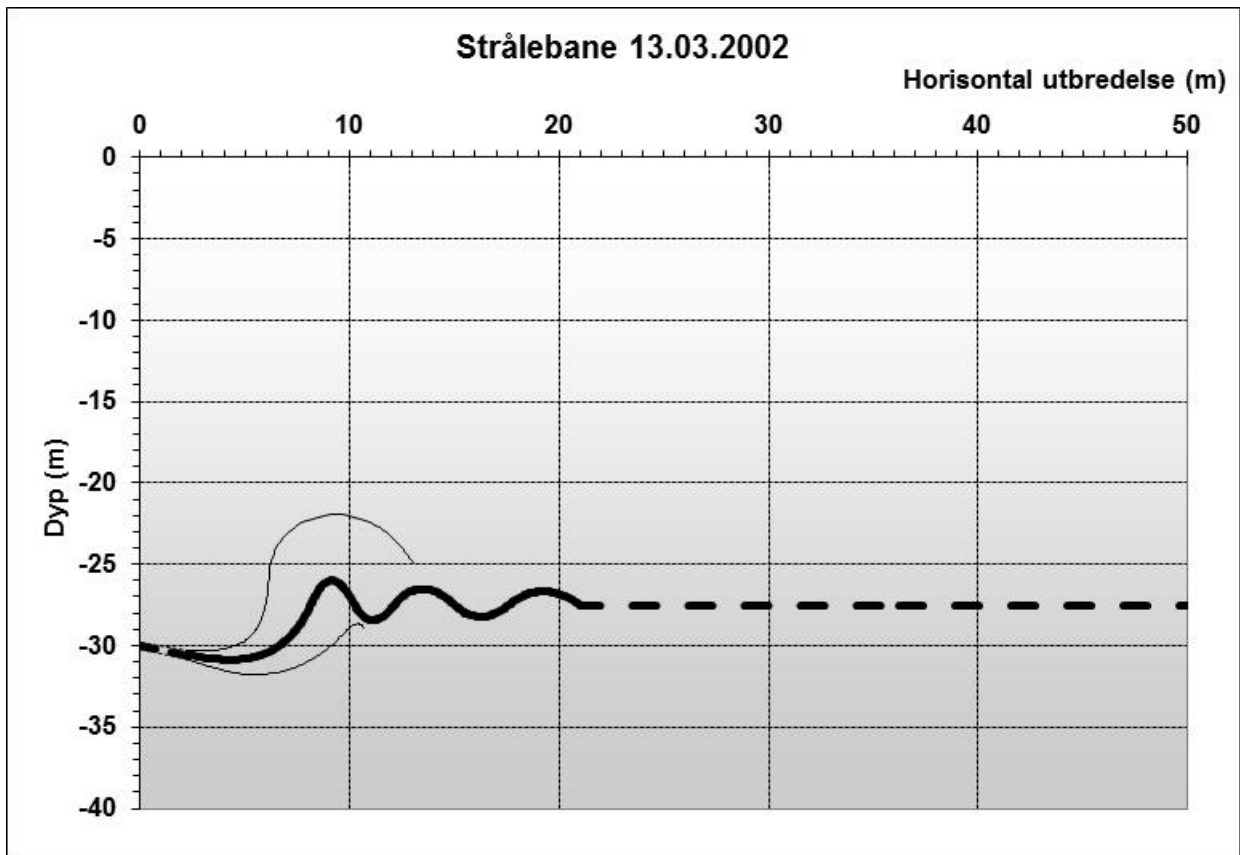
Beregnet utslippsbane og overtemperatur i vertikalplanet

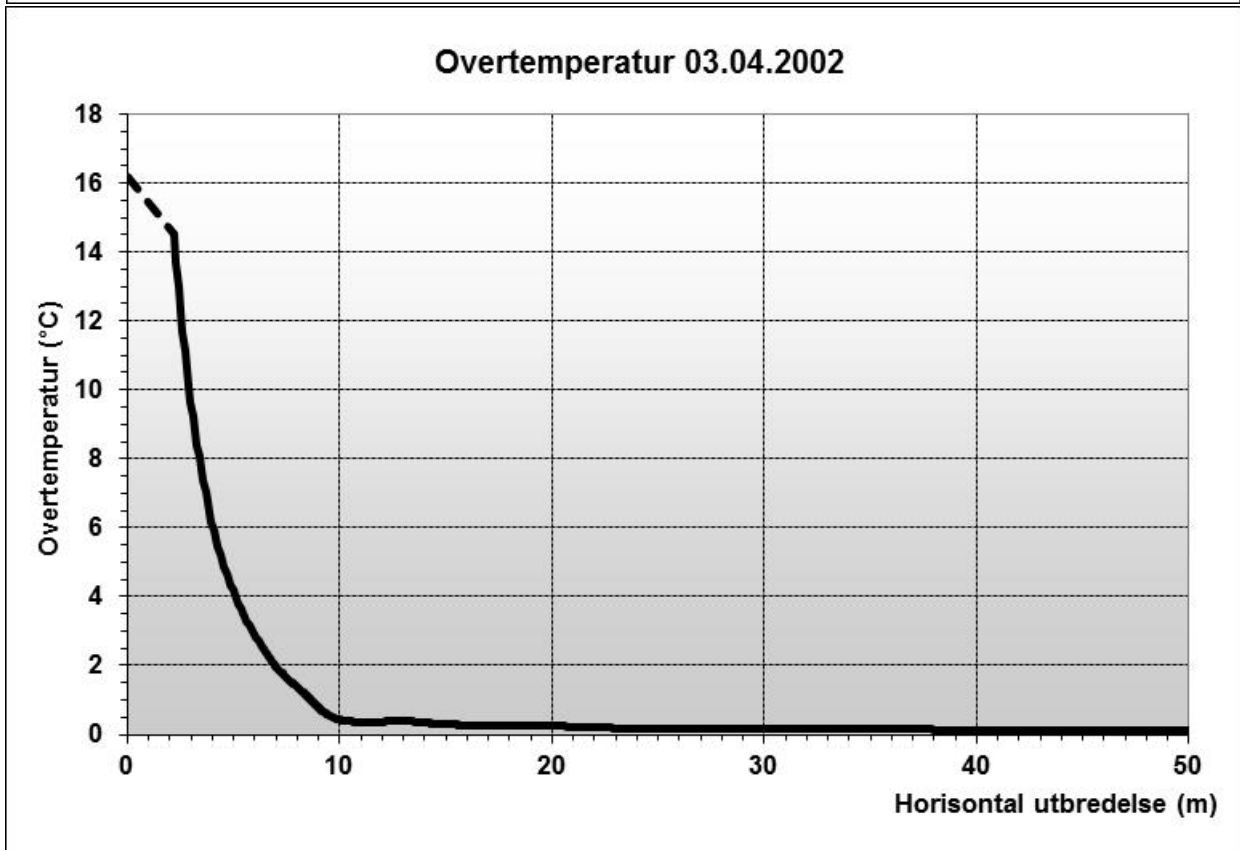
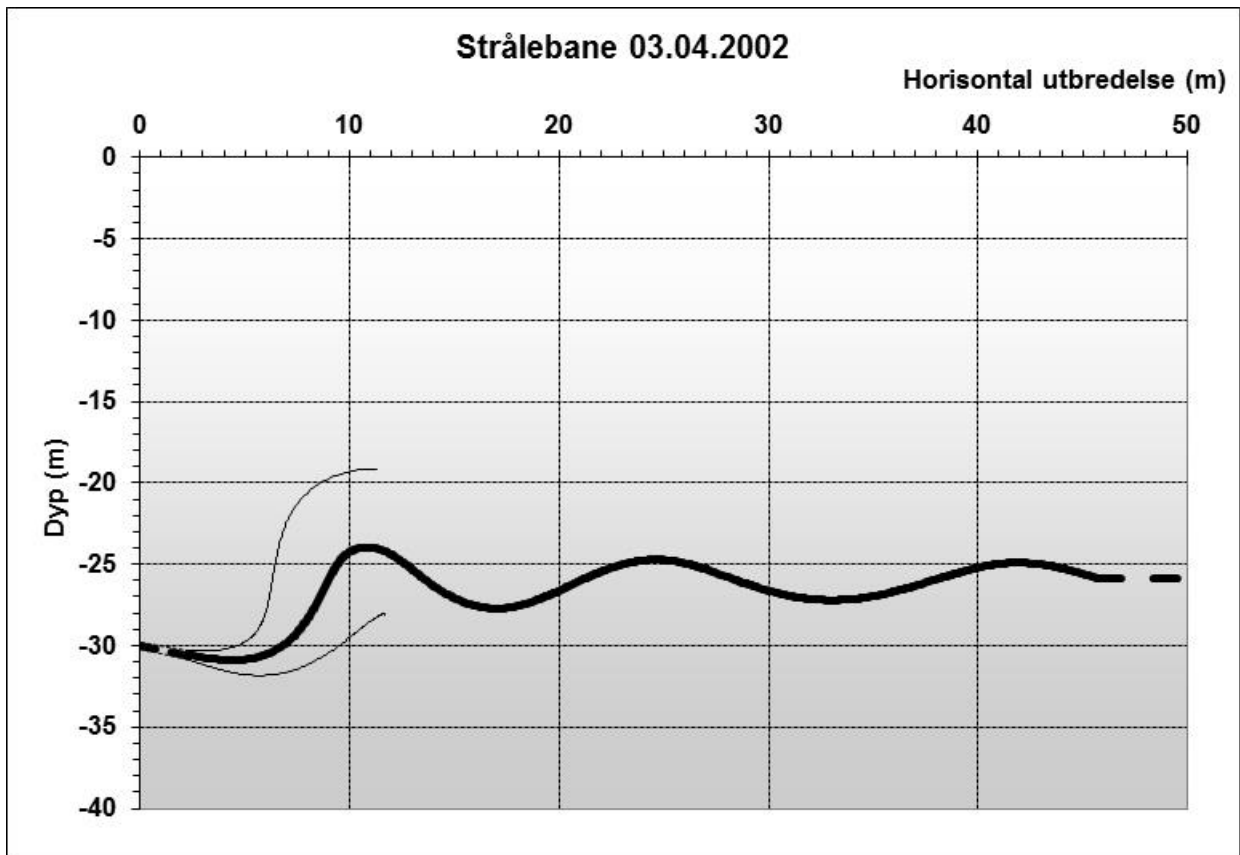


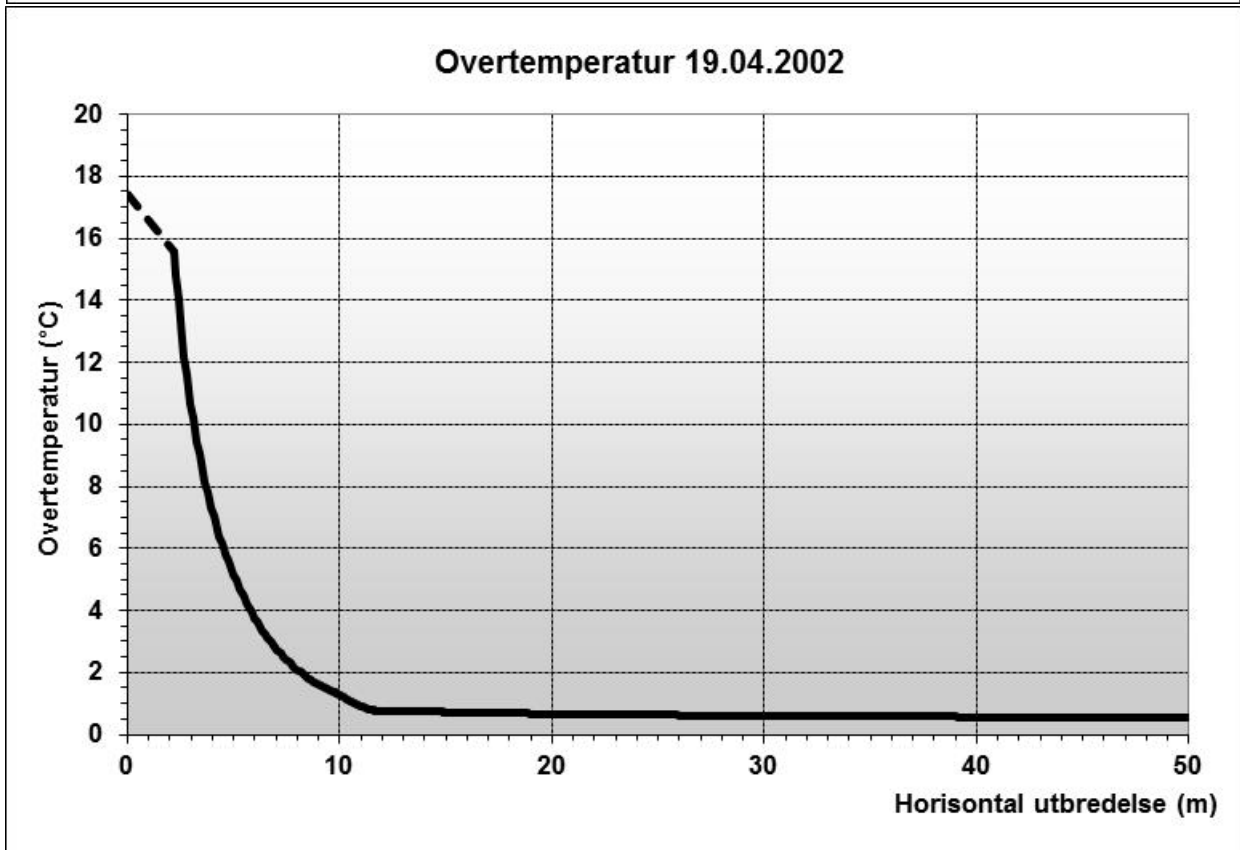
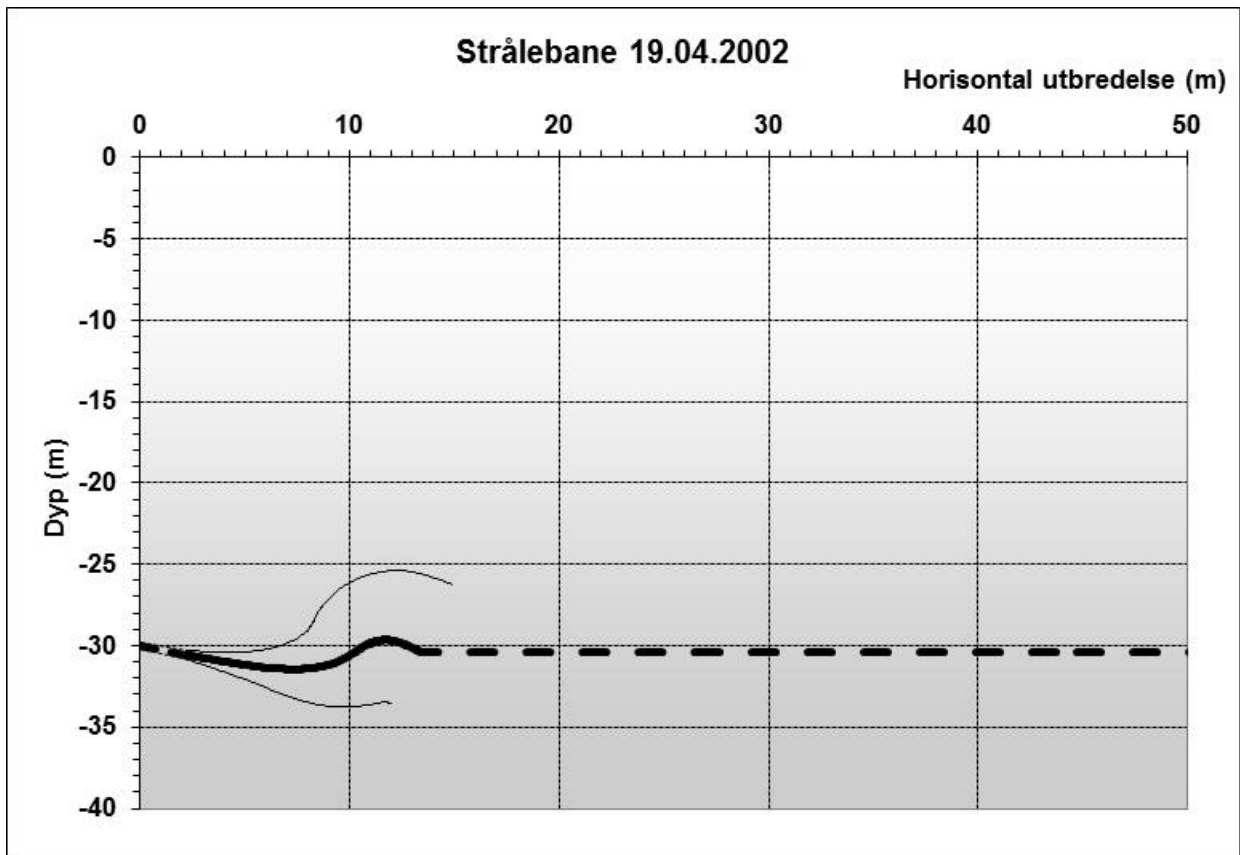


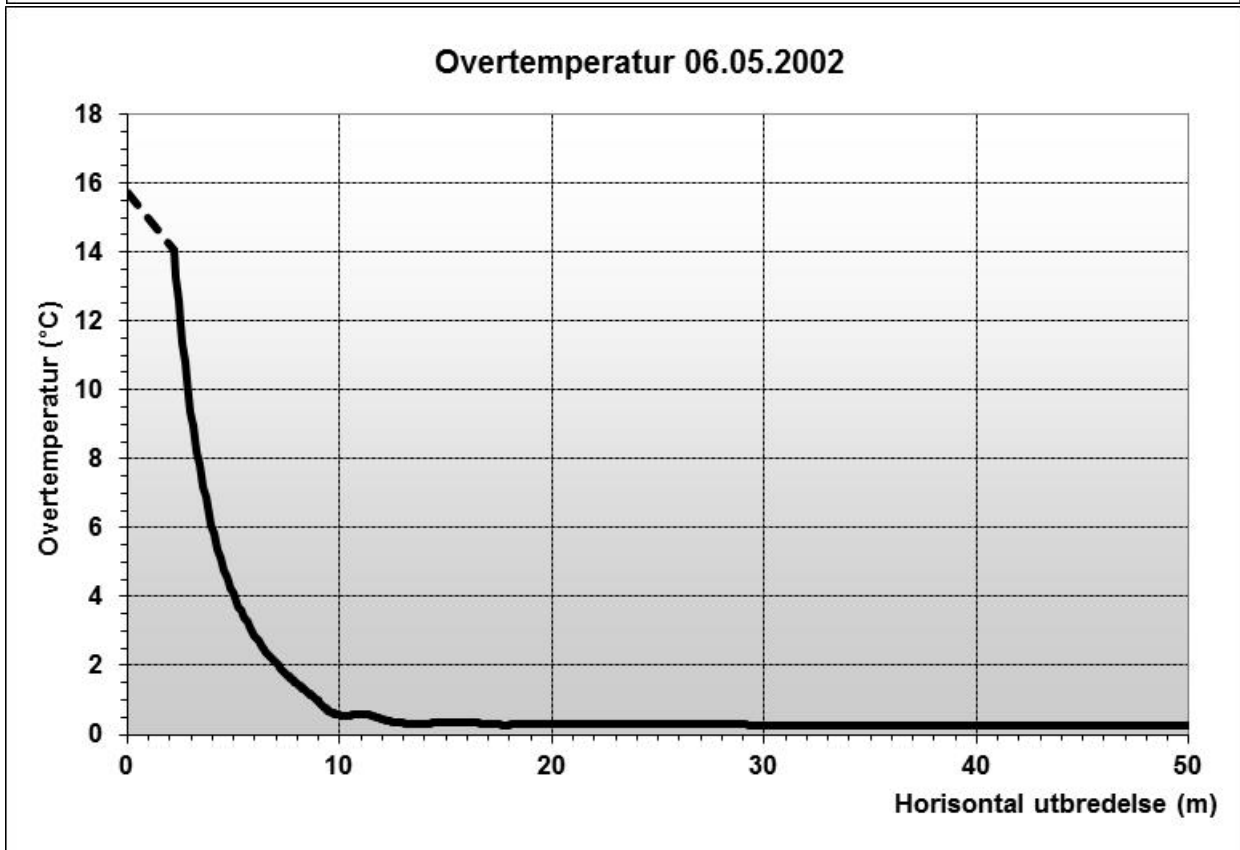
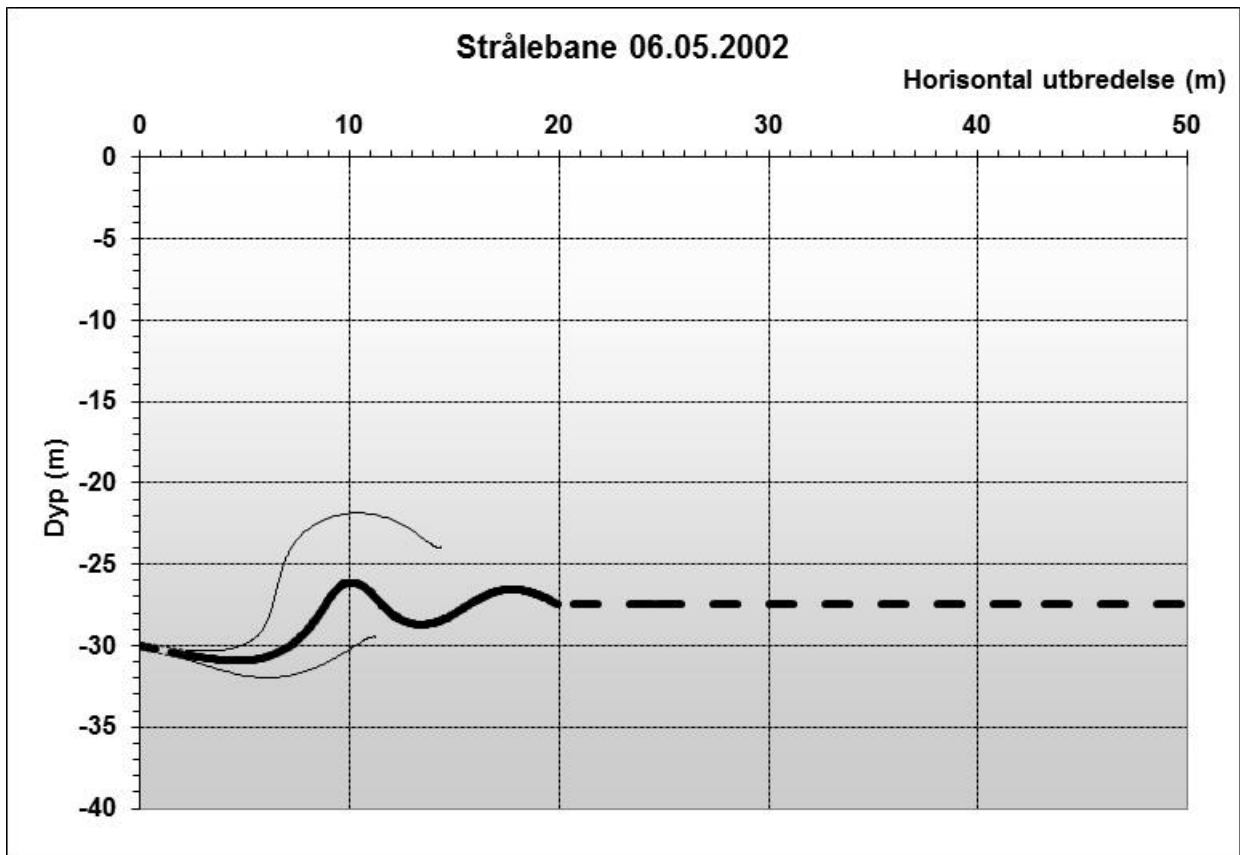


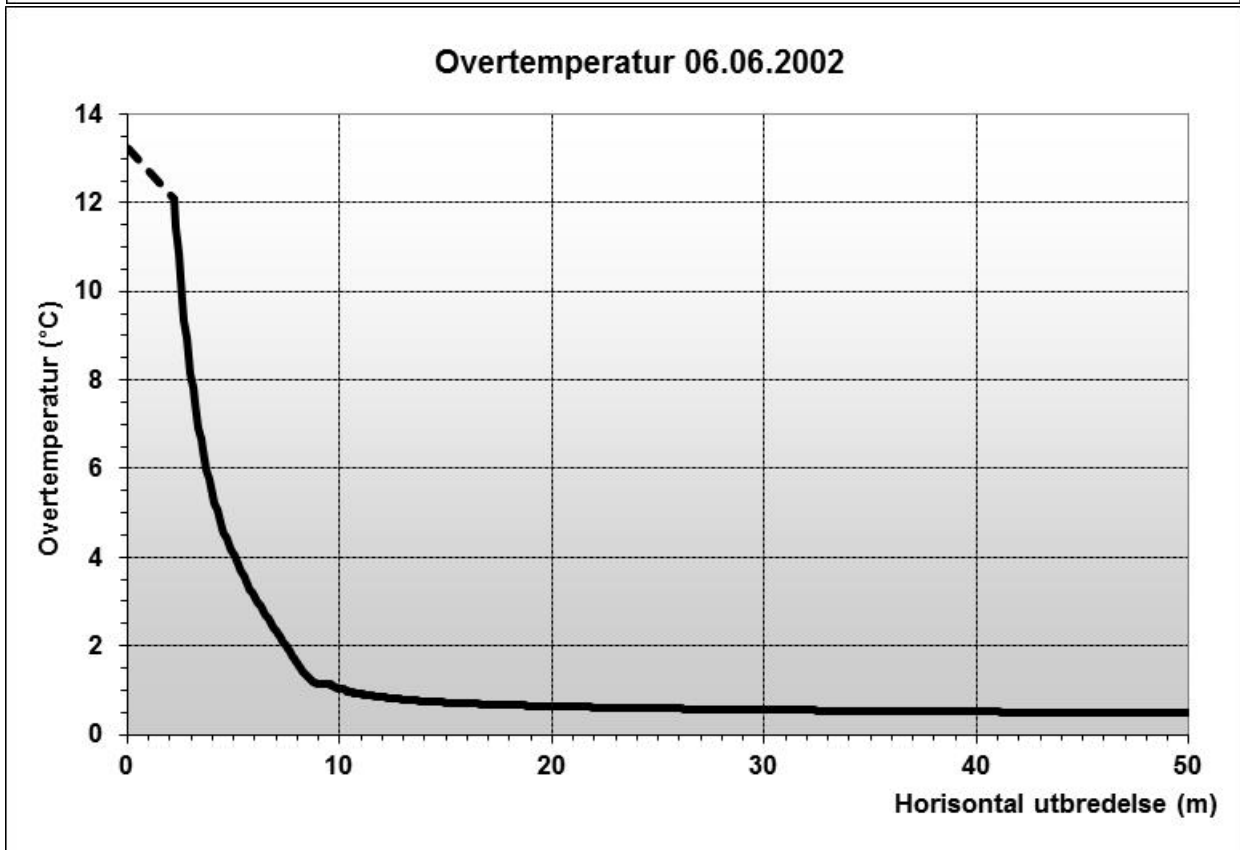
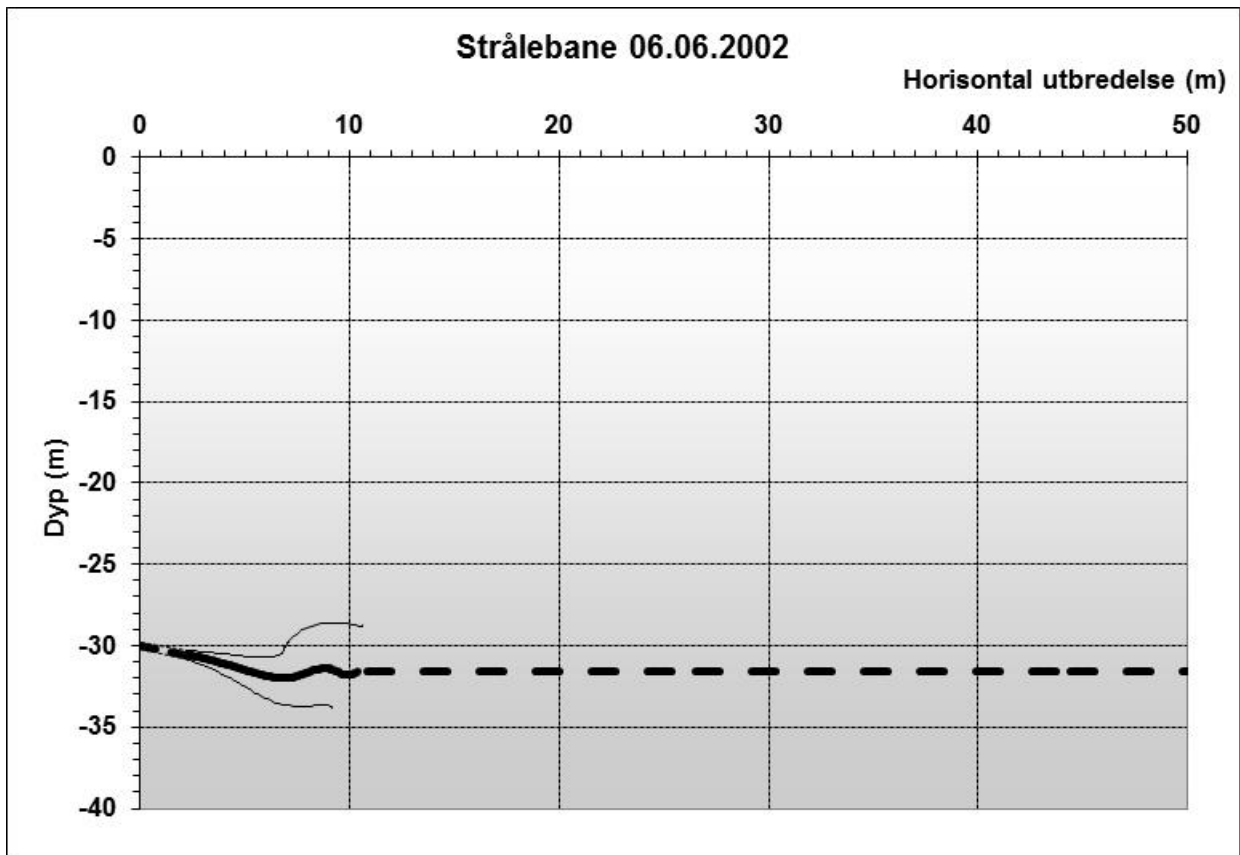


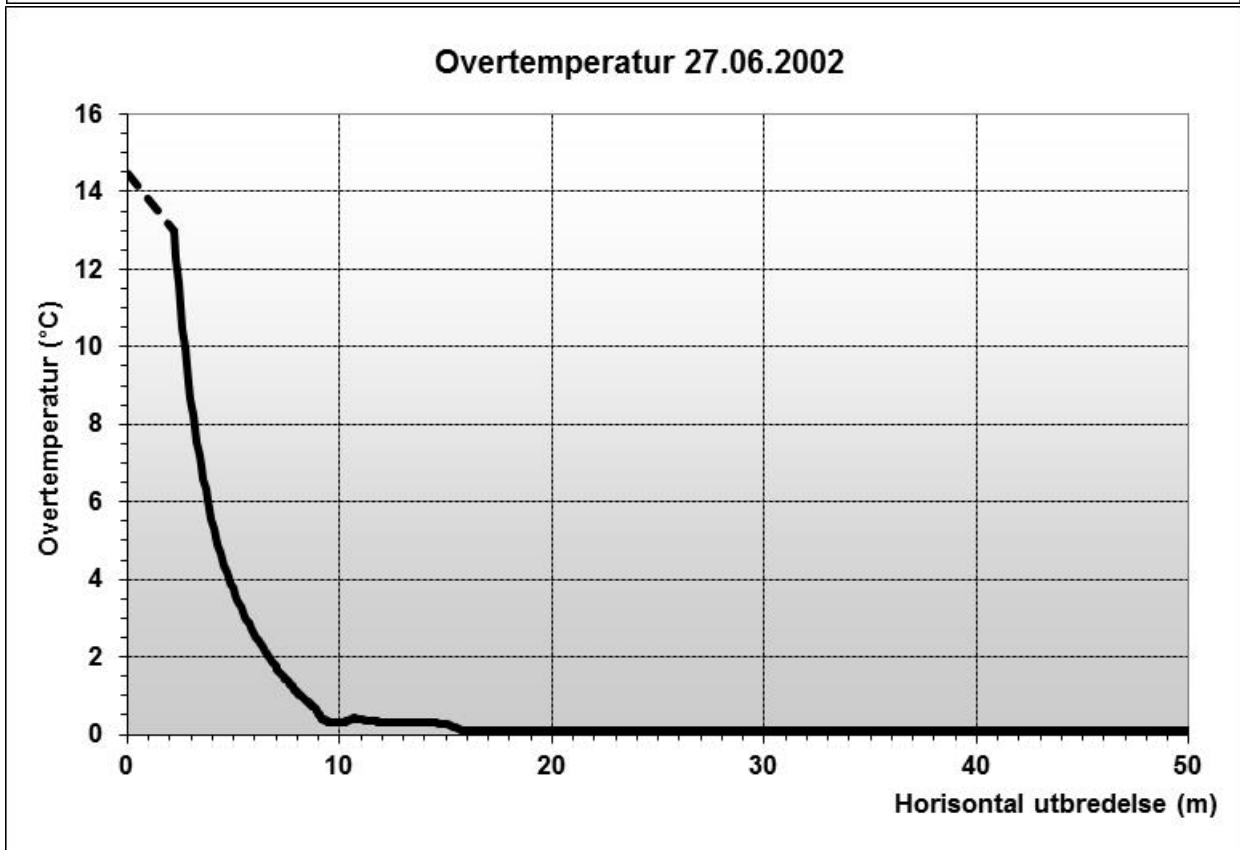
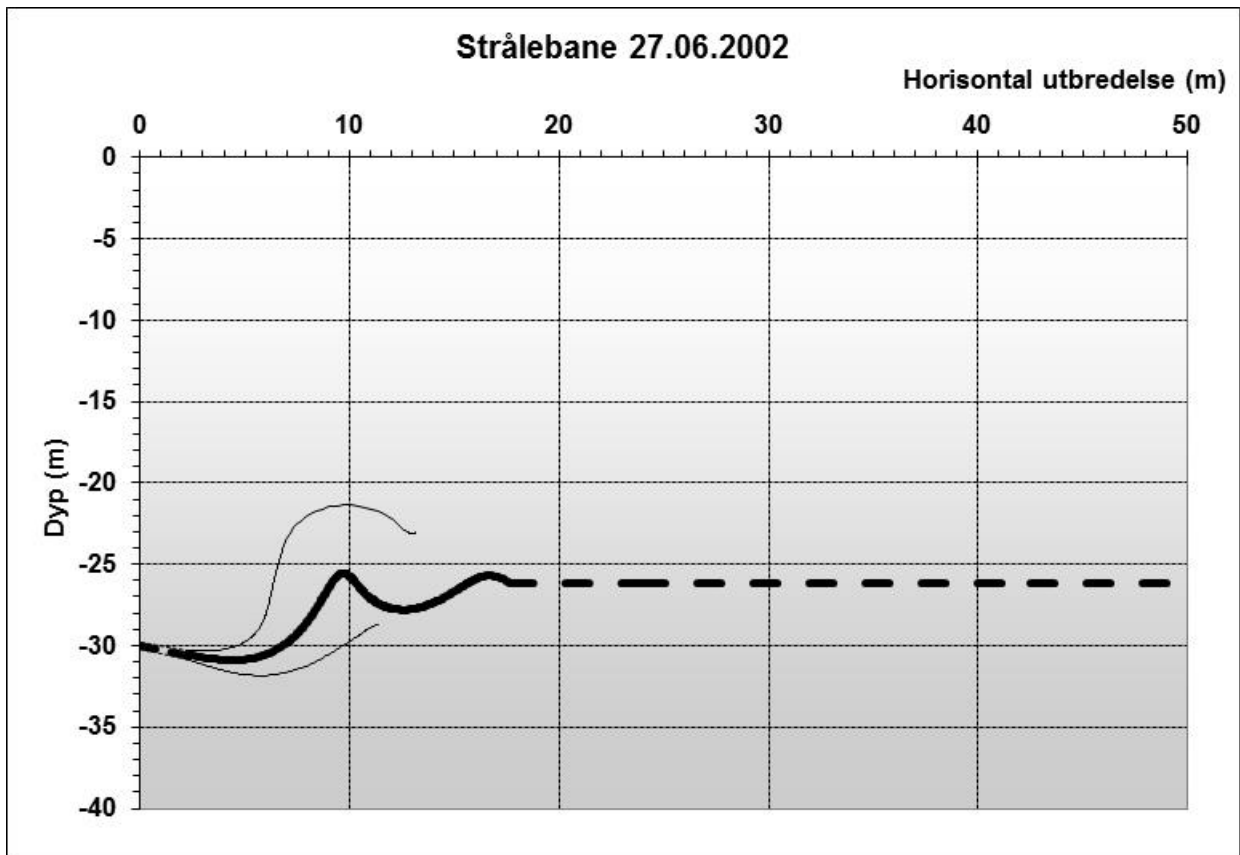


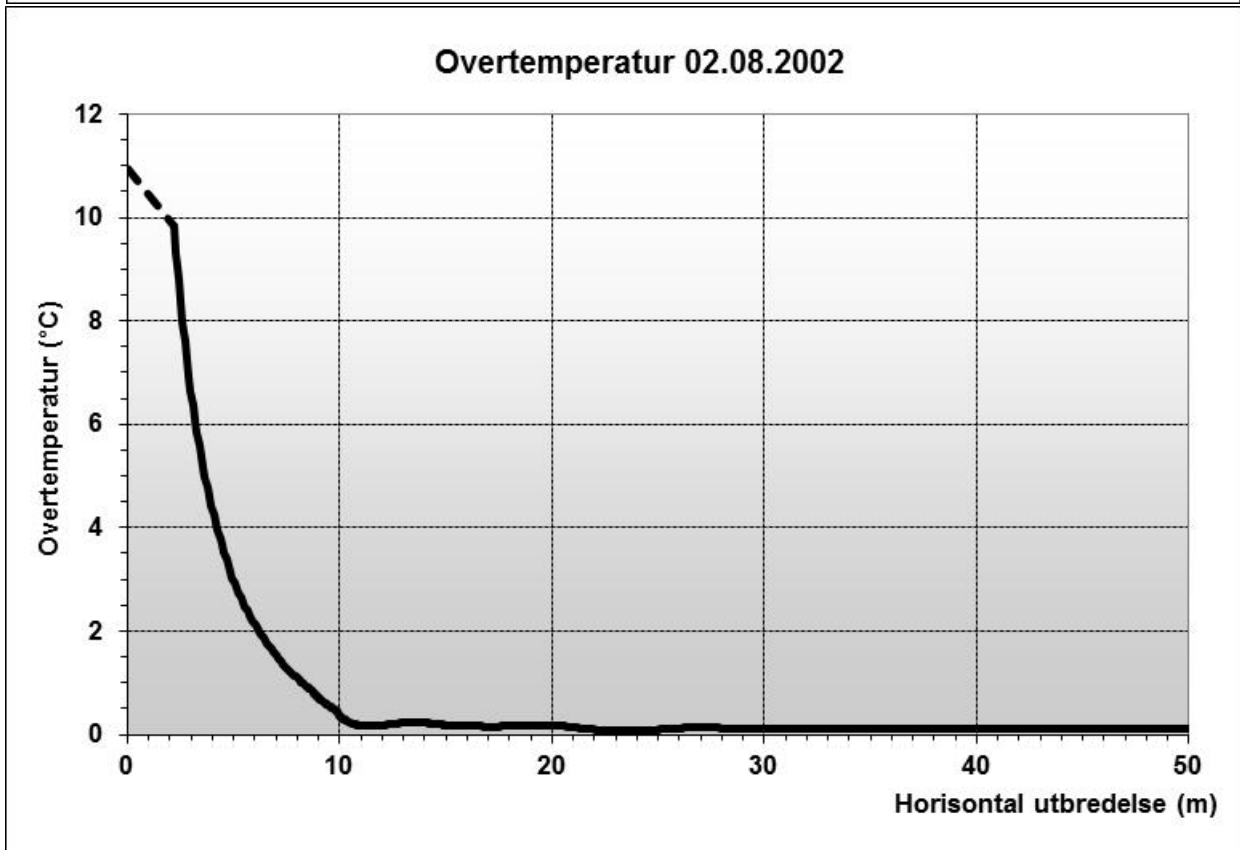
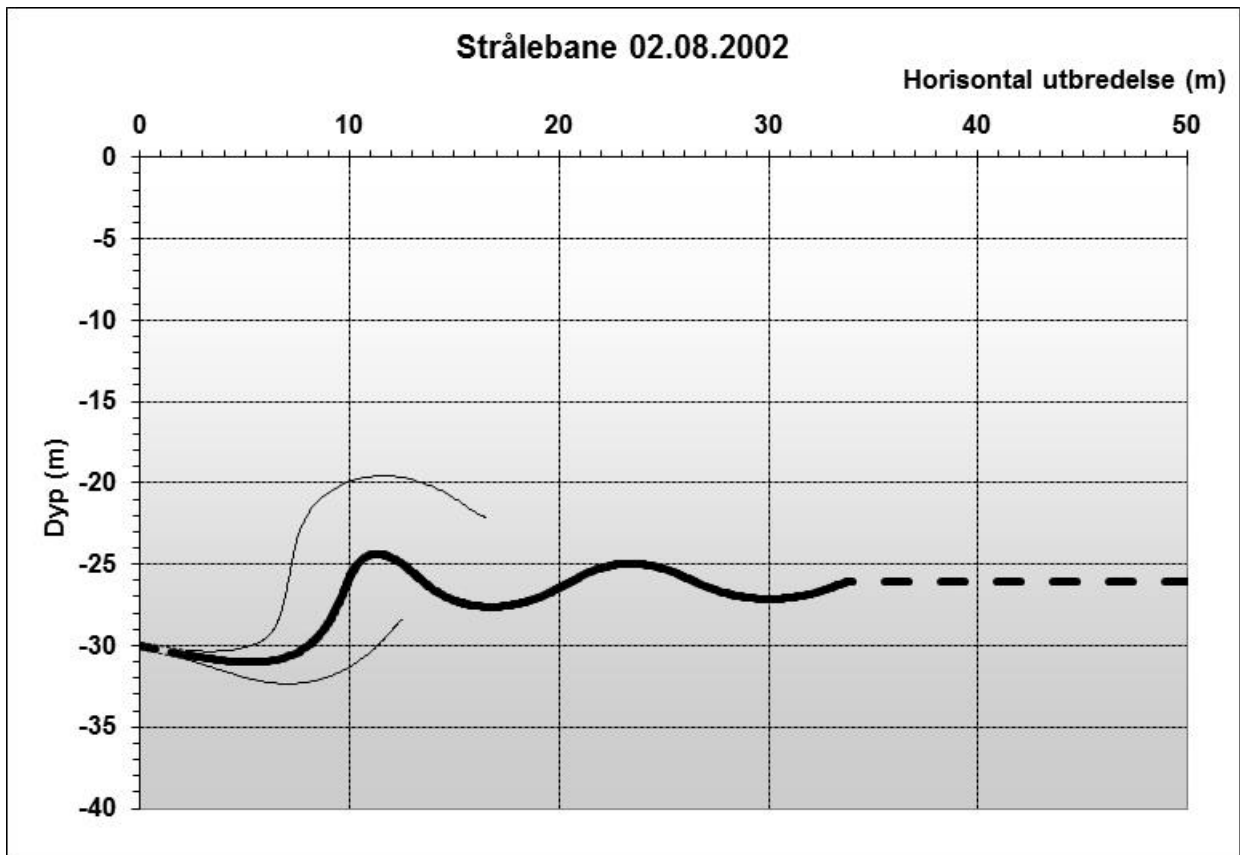


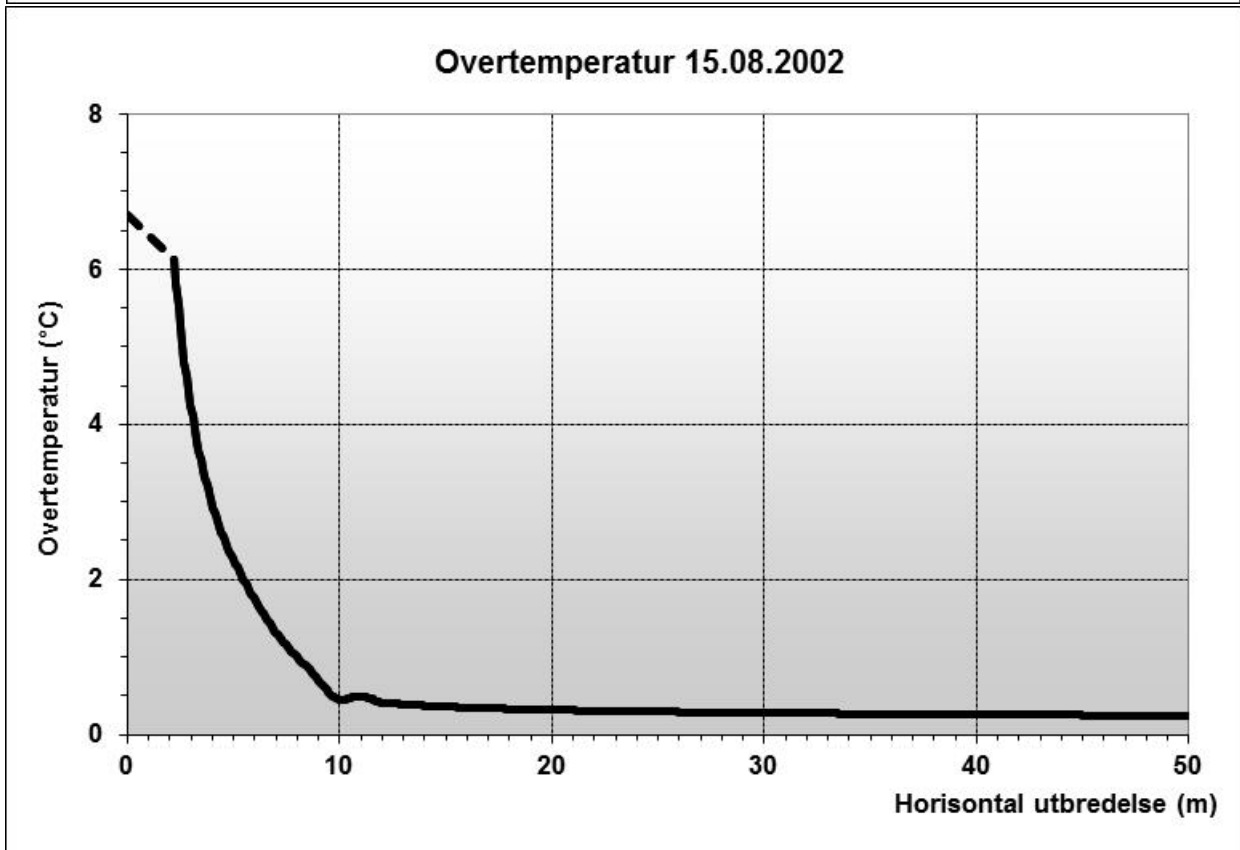
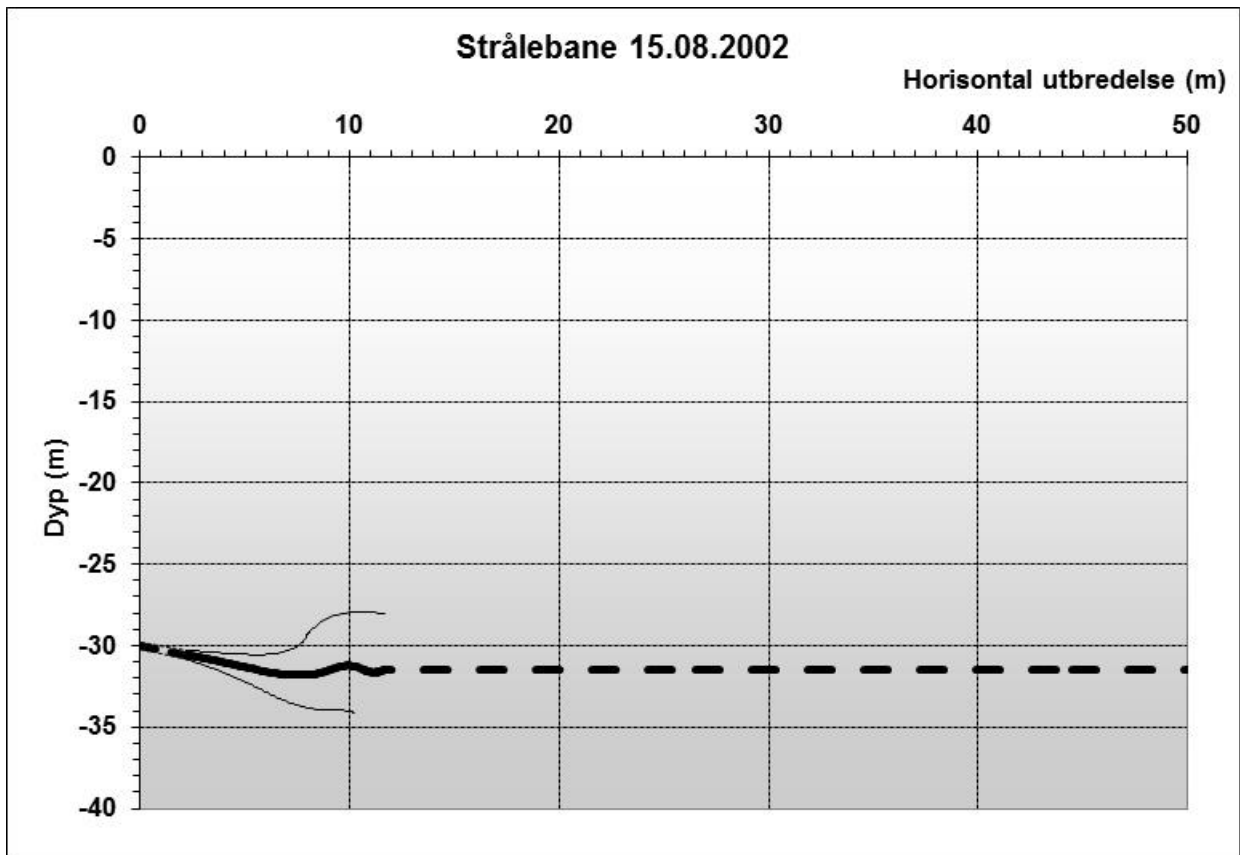


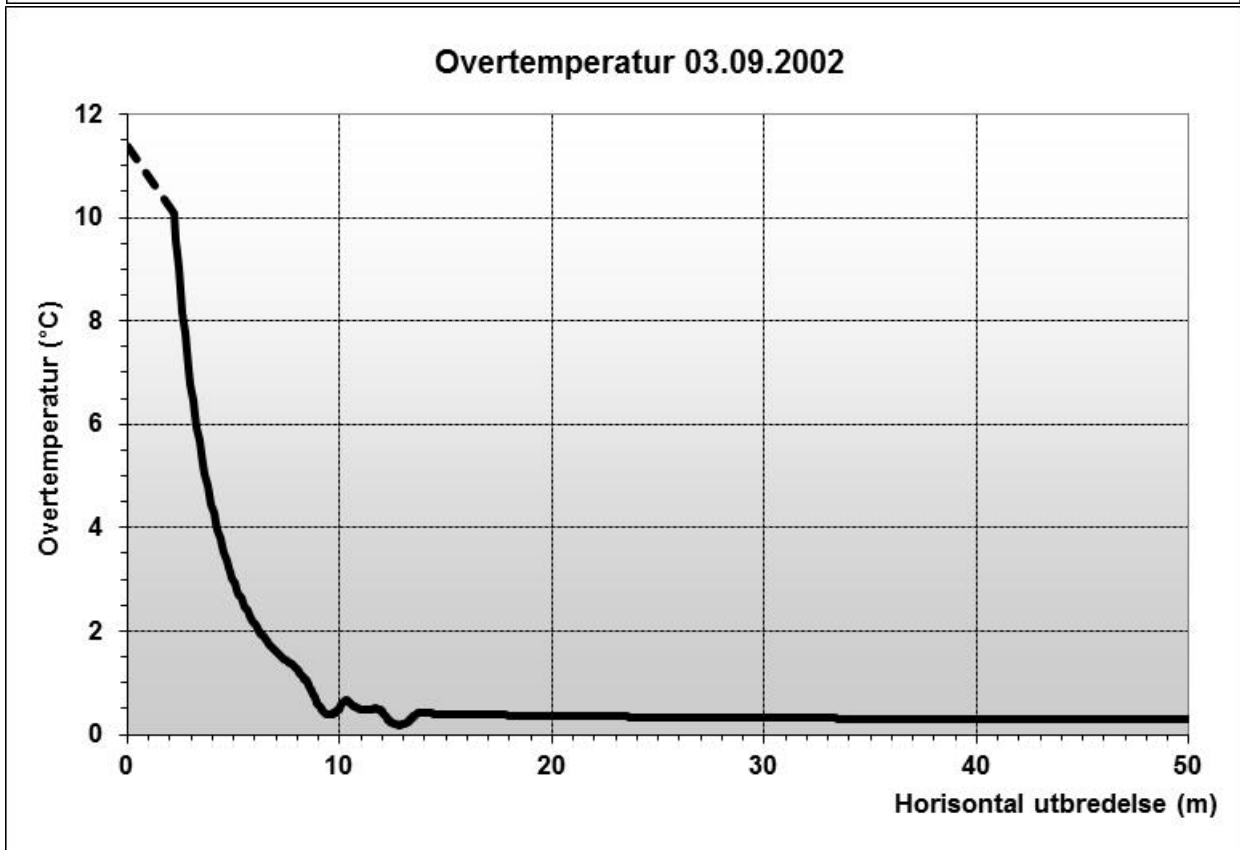
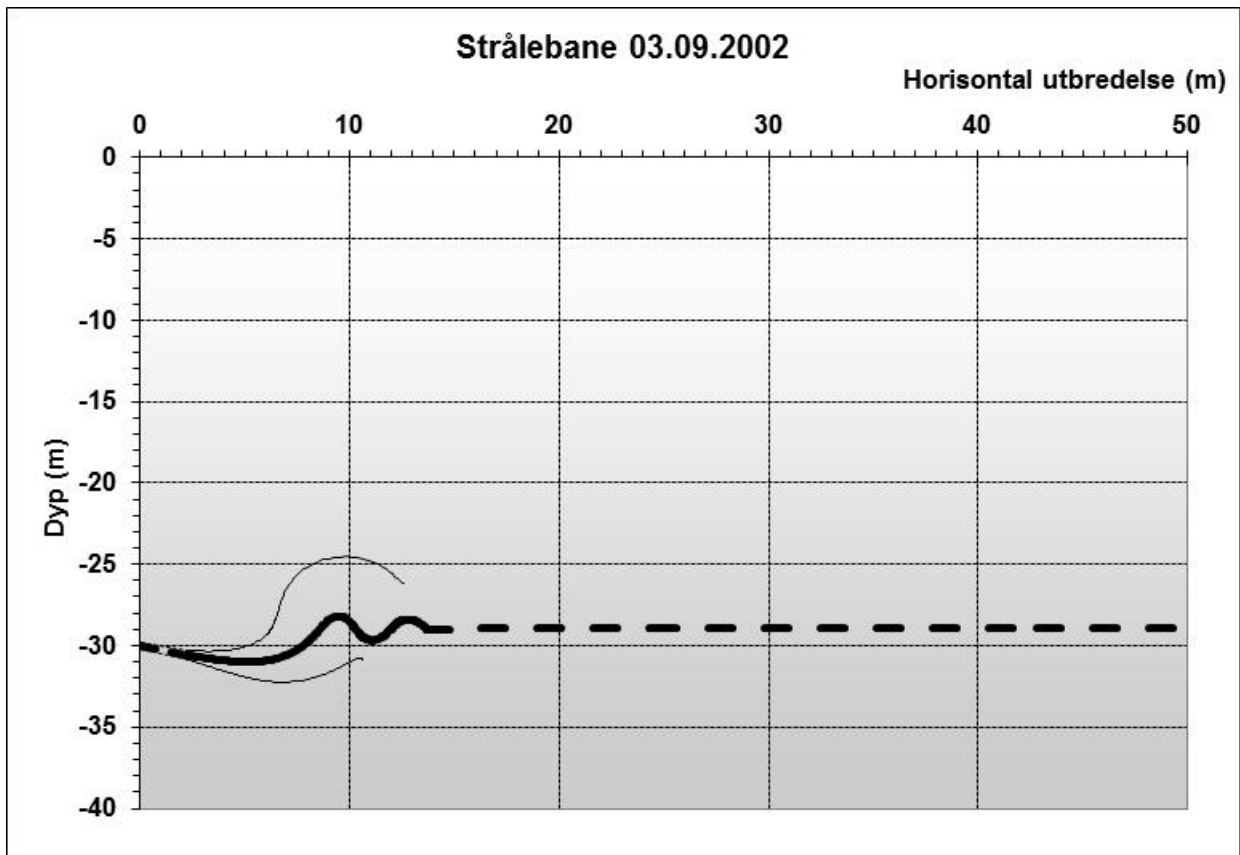


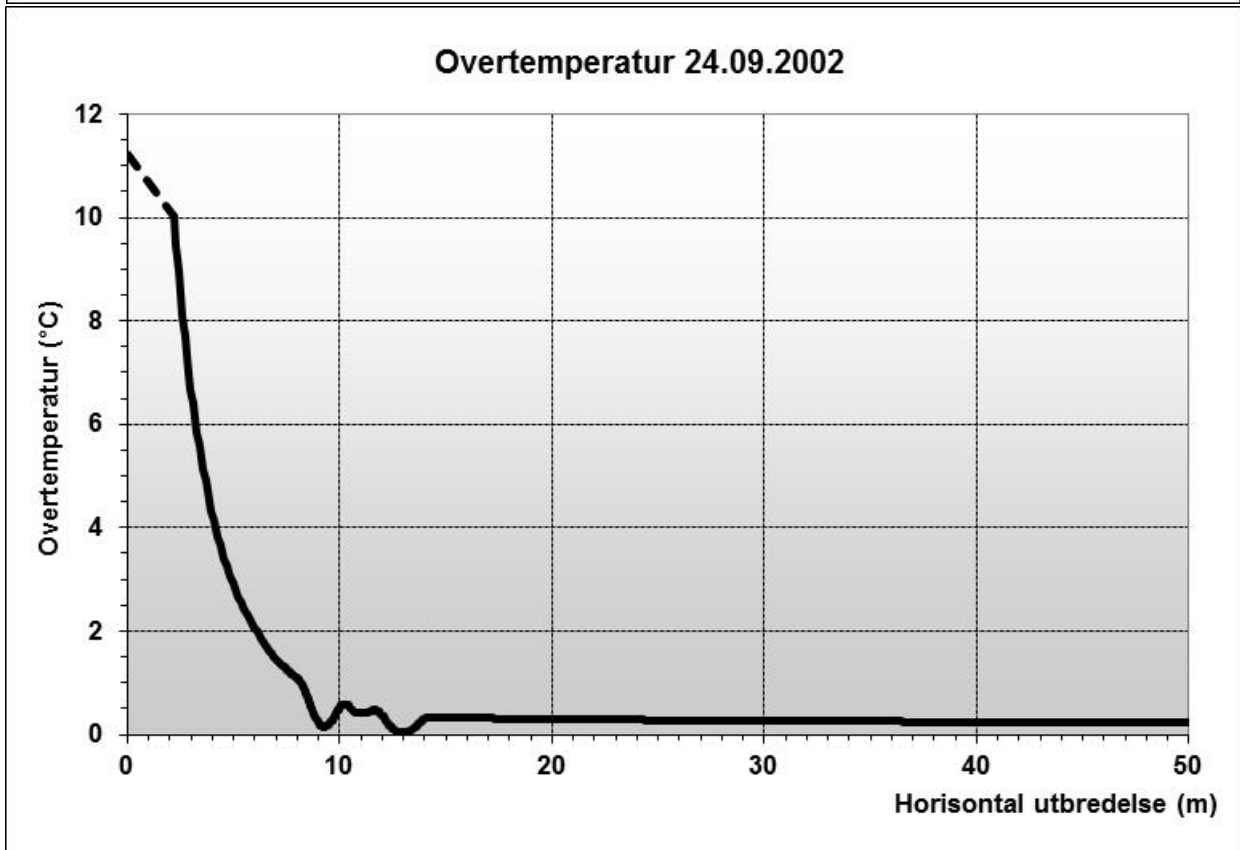
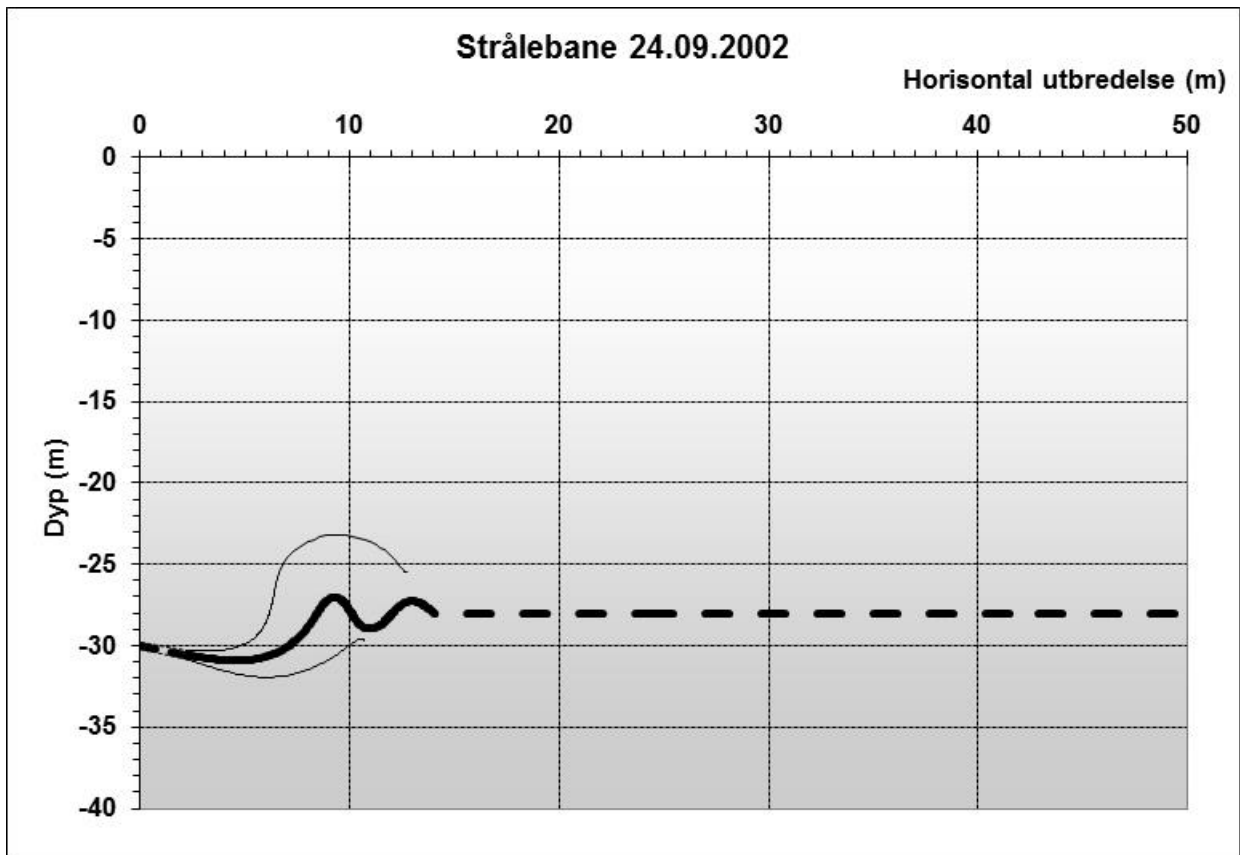


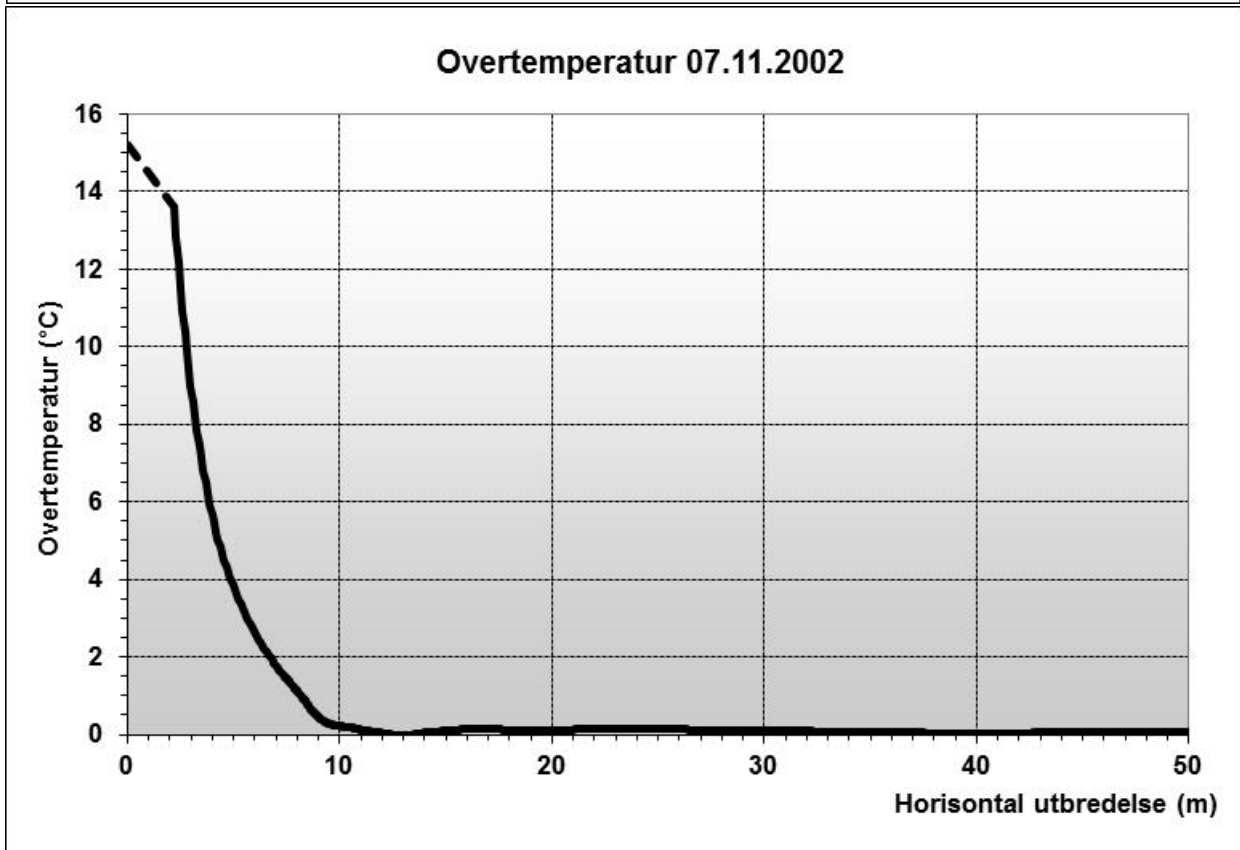
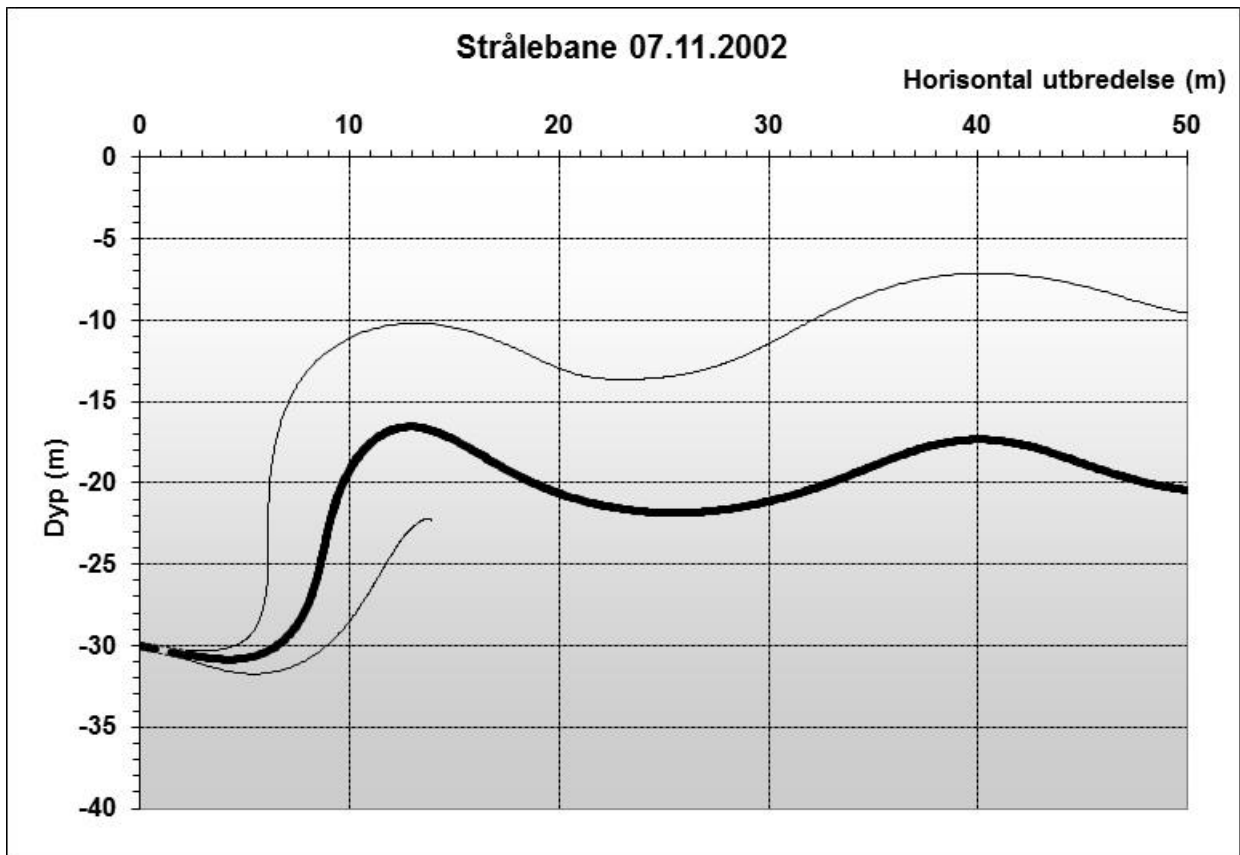














Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no