

# Foryndingsberegninger og modellering

---

Fortyndingsberegning

Kalundborg Refinery A/S

Dato: 24. November 2022

Rev.nr.	Dato	Beskrivelse	Udarbejdet af	Kontrolleret af	Godkendt af
01	20220808	Draft	TEB	KLBU	TEB
02	20221124	Final, opdatering af fig.	TEB	KSCH	TEB

# Indhold

<b>1.</b>	<b>Indledning.....</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>Hydraulisk model.....</b>	<b>5</b>
2.1.	Modelopsætning .....	5
2.1.1.	Beregningsnet .....	5
2.1.2.	Vandstand og strøm.....	7
2.1.3.	Modelperiode.....	7
2.1.4.	Bathymetri .....	8
2.1.5.	Kilder .....	9
2.1.6.	Salinitet .....	11
2.1.7.	Vind .....	14
2.1.8.	Verifikation.....	14
<b>3.</b>	<b>Spredningsmodel.....</b>	<b>16</b>
3.1.	Modelopsætning .....	16
3.1.1.	Udledningskoncentrationer .....	16
3.1.2.	Eksisterende koncentrationer i Kalundborg Fjord .....	16
<b>4.</b>	<b>Fortyndingsresultater.....</b>	<b>17</b>
4.1.	Generel fortynding .....	17
4.2.	Generelle MKK.....	18
4.3.	Maksimale MKK.....	20
4.4.	Det generelle MKK i 95% af tiden.....	20
<b>5.</b>	<b>Referencer.....</b>	<b>23</b>

## Appendix

- Appendix 1 : Arsen, Årsmiddel koncentration
- Appendix 2 : Barium, Årsmiddel koncentration
- Appendix 3 : Kobber, Årsmiddel koncentration
- Appendix 4 : Selen, Årsmiddel koncentration
- Appendix 5 : Zink, Årsmiddel koncentration
- Appendix 6 : Benz(a)pyren, Årsmiddel koncentration
- Appendix 7 : Bor, Årsmiddel koncentration
- Appendix 8 : Kobolt, Årsmiddel koncentration
- Appendix 9 : Uran, Årsmiddel koncentration



## 1. Indledning

Dette notat, er bilag 1 til notat omkring fortyndingsberegninger for udledning af rensset spildevand fra Kalundborg Refinery A/S.

## 2. Hydraulisk model

De hydrauliske strømme i Kalundborg Fjord modelleres med MIKE3 HD, som er en 3-dimensional numerisk hydraulisk model. Modellen medtager effekter fra varierende vandstande, vind, lufttryk og densitetsforskelle mellem det udledte brakke spildevand og den salte recipient. Den hydrauliske model har til hensigt at bestemme de horisontale og vertikale strømme i Kalundborg Fjord for at kunne bestemme spredningen af de udledte stoffer.

### 2.1. Modelopsætning

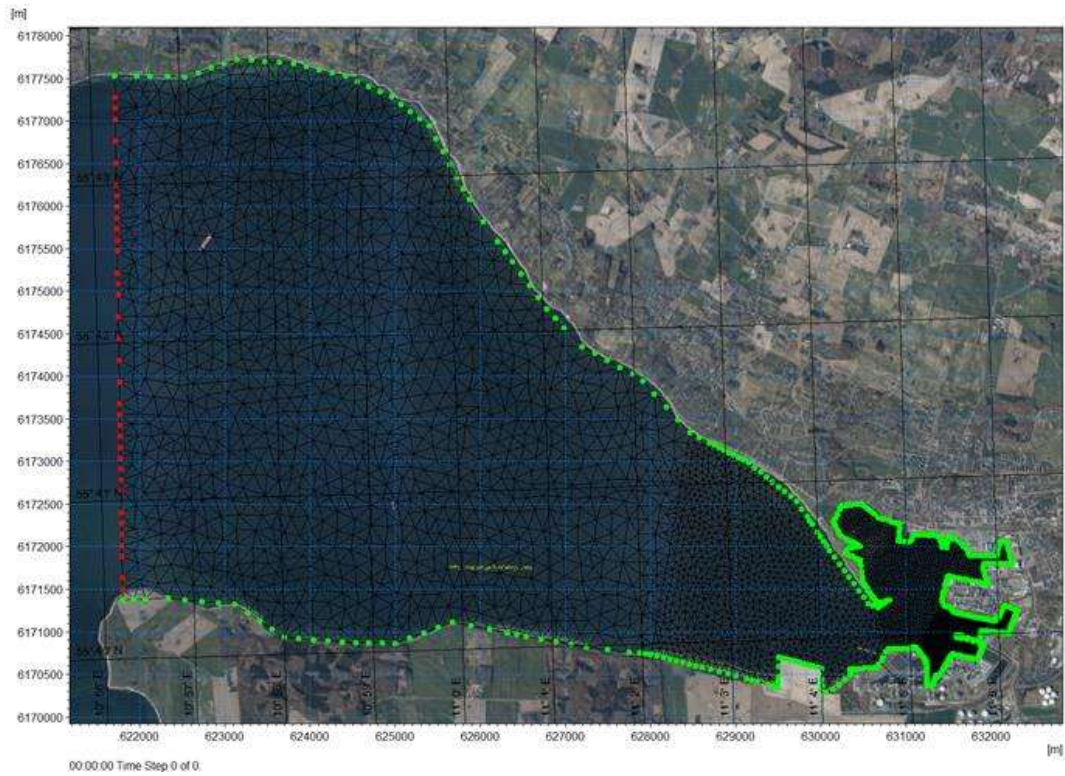
Generelt anvendes standardværdier i modelopsætningen.

#### 2.1.1. Beregningsnet

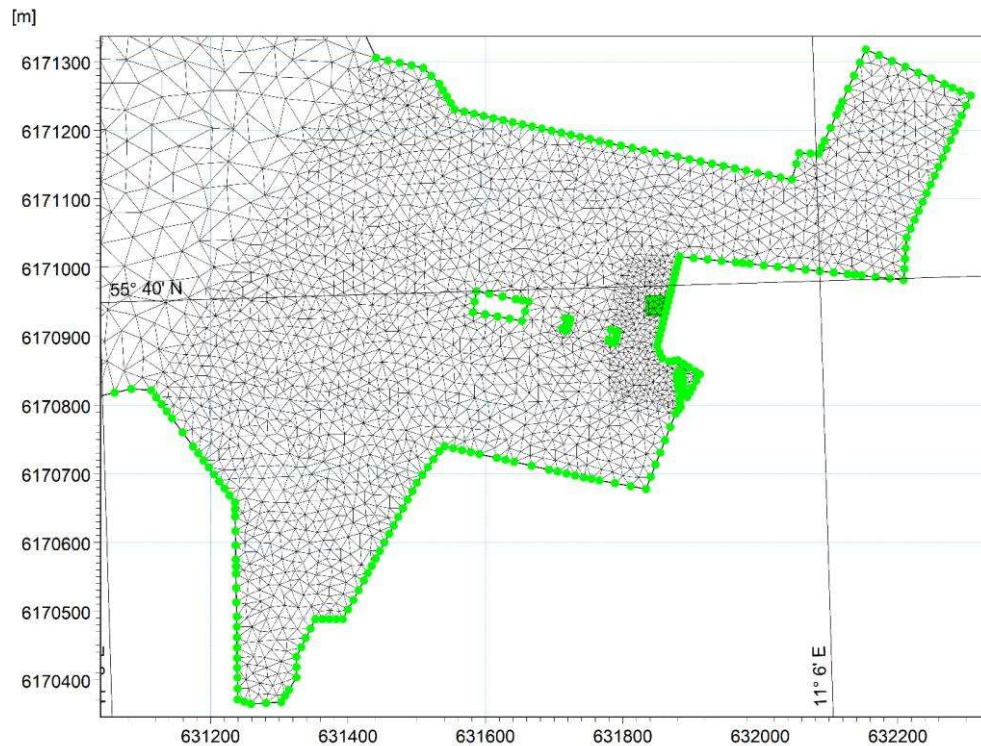
Modellen dækker hele Kalundborg Fjord med en åben rand ud mod Storebælt. Kalundborg Fjord er et lukket system, hvor strømmene i fjorden er domineret af tidevandsbevægelserne og kun i mindre grad af vindforholdene. Der er i modellen ikke medtaget effekter fra åudløb til fjorden.

Horisontalt er modellen inddelt i en række triangulære elementer som vist på **Error! Reference source not found.** og **Error! Reference source not found.** Elementerne er maksimalt 25.000 m<sup>2</sup> i den yderste del af fjorden og falder gradvist til 5.000 m<sup>2</sup>, 1.000 m<sup>2</sup>, 200 m<sup>2</sup> og til 50 m<sup>2</sup> i nærfeltet omkring udledningspunktet.

Vertikalt er modellen inddelt i 10 sigma-lag, der betyder, at elementerne udgør 1/10 af vanddybden på den aktuelle lokalitet.



Figur 2.1: Omfang af model samt beregningsnet



Figur 2.2: Beregningsnet af Kalundborg Havn omkring oliepieren, som udgør nærfeltet omkring udløbspunktet. Udløbspunktet er vist med grøn firkant.

### 2.1.2. Vandstand og strøm

På den åbne rand i modellen, ud mod Storebælt, påsættes vandstand og strøm som randbetingelse. Randbetingelsen fås fra en regional hydraulisk model over Kattegat og Storebælt og kendes for året 2014.

Modellens resterende rand udgøres af fjordens kyster og påsættes derfor randbetingelsen "land".

### 2.1.3. Modelperiode

På baggrund af vandstanden målt i Kalundborg Havn kan vandudskiftningen i Kalundborg Fjord estimeres for derefter at bestemme en måned, hvor vandudskiftningen i fjorden er gennemsnitlig. For indeværende projekt haves vandstands målinger for hvert 10. minut siden maj 2008 og frem til maj 2019.

Imellem hver måling tages forskellen i vandstanden. Denne forskel er et udtryk for den tidsmæssige ændring af vandstanden i Kalundborg Havn og kan dermed bruges til at estimere den relative vandudskiftning, idet en positiv ændring vil betyde, at vand løber ind i fjorden og en negativ forskel vil betyde, at vand løber ud af fjorden.

Forskellen i vandstanden summeres på månedsbasis og fremgår af **Error! Reference source not found.** For at opnå en periode uden nettotilførsel af vand til fjorden søges en måned, hvor vandstands forskellen summeres til 0, således at lige store mængder vand strømmer ind i fjorden, som der strømmer ud af fjorden.

Tabel 2.1: Tidslige vandstands forskelle summeret på månedsbasis. Værdier på 0 angiver, at lige store mængder vand strømmer ind i fjorden, som der strømmer ud af fjorden og angives med HVID baggrund. RØD angiver 5 % fraktilen, og GRØN angiver 95 % fraktilen

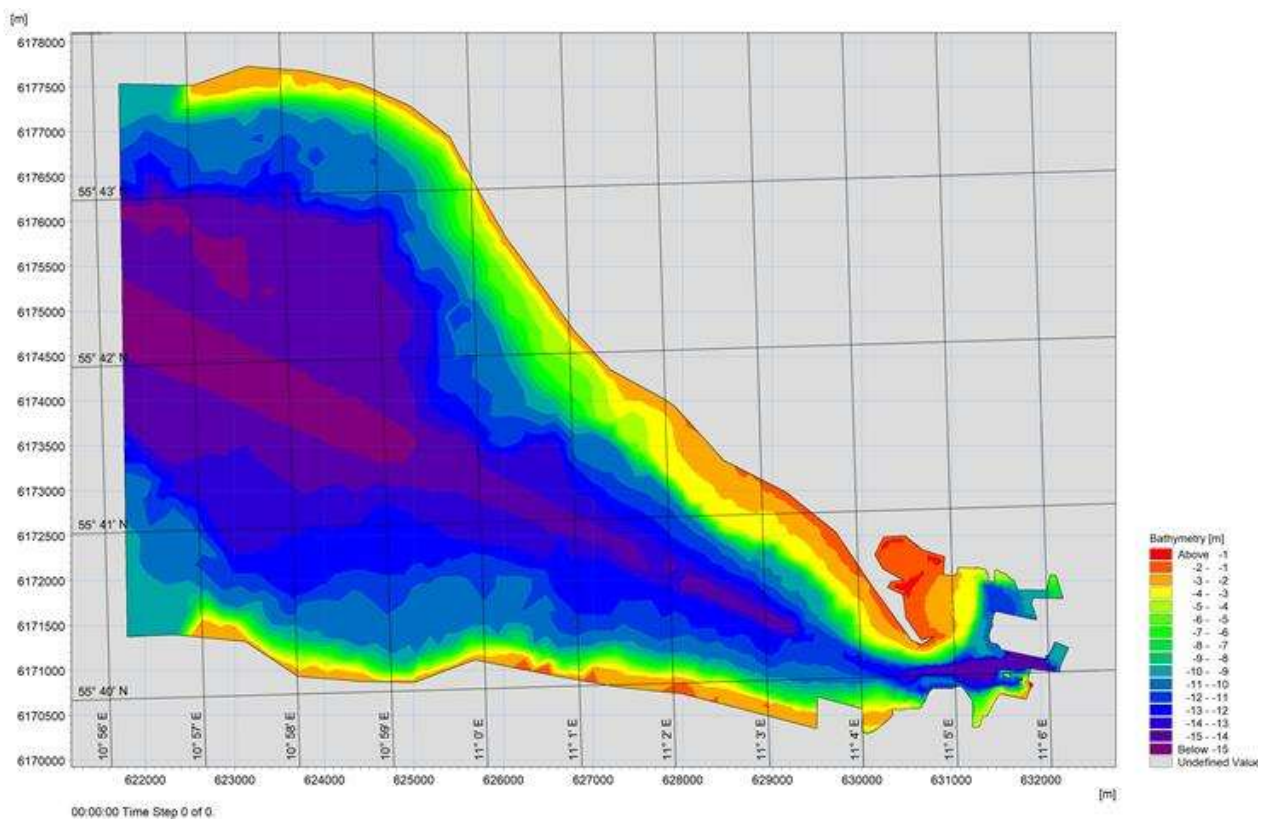
Måned \ år	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
01		0.00	-0.09	-0.18	-0.13	0.05	-0.26	0.24	0.49	-0.05	-0.07	-0.30
02		-0.09	0.23	-0.11	-0.03	-0.29	0.44	-0.36	-0.37	0.15	-0.13	0.22
03		0.12	-0.04	0.07	0.69	-0.02	-0.31	0.21	-0.05	0.08	0.19	0.18
04		-0.12	-0.13	-0.01	-0.55	-0.22	-0.04	0.03	-0.19	-0.26	-0.15	-0.21
05	-0.08	0.20	0.06	0.18	0.24	0.06	-0.28	-0.06	0.17	-0.03	-0.15	0.14
06	0.29	-0.04	-0.11	-0.01	0.03	-0.03	0.14	0.05	-0.02	0.04	0.10	
07	-0.13	0.38	-0.16	-0.06	0.14	0.46	0.12	0.00	0.26	0.00	-0.07	
08	0.08	-0.28	0.12	-0.04	0.06	0.34	0.22	0.09	-0.12	0.07	0.08	
09	0.10	0.15	-0.29	-0.06	0.04	-0.63	-0.19	-0.12	0.15	0.06	0.16	
10	0.02	-0.14	0.24	-0.02	0.01	-0.01	-0.12	-0.16	-0.24	-0.28	-0.34	
11	0.21	0.32	-0.21	0.24	0.09	-0.09	-0.08	0.79	0.18	0.07	-0.41	
12	-0.35	-0.18	0.60	-0.42	-0.03	0.20	0.59	-0.91	-0.18	0.10	0.10	

For perioden 2014, hvor randbetingelser til modellen haves, ses april måned som værende perioden, hvor nettotilførslen af vand til fjorden er tættest på 0.

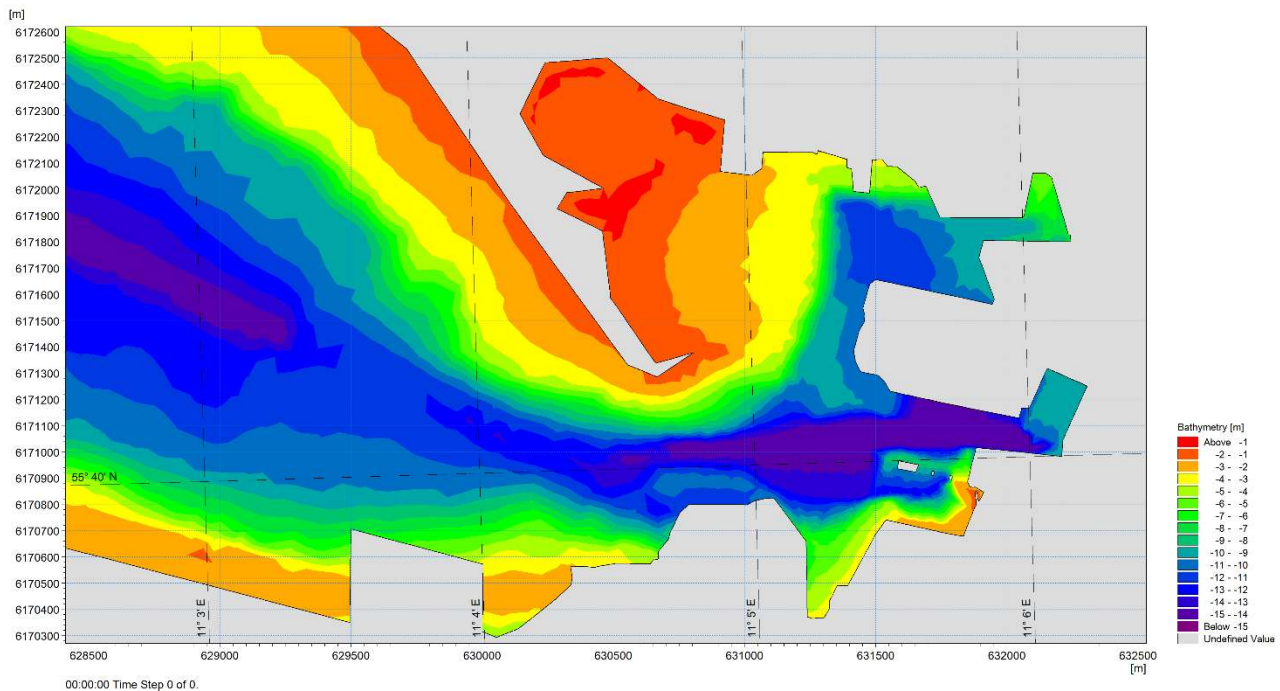
April måned i 2014 vælges som modelperiode.

### 2.1.4. Bathymetri

Bathymetrien er bestemt ud fra søkort 145 Kalundborg Fjord (Kort & Matrikelstyrelsen, 2009). I modellen er den nyeste havneudvidelse, Ny Vesthavn, medtaget. Dog er der i modellen ikke taget hensyn til eventuelle uddybninger foretaget i forbindelse med etablering af havneudvidelsen. Modelbathymetrien fremgår af **Error! Reference source not found.** og **Error! Reference source not found.**



Figur 2.3: Bathymetri i modelområdet



Figur 2.4: Bathymetri af Kalundborg Havn

### 2.1.5. Kilder

Udledningen af rensed spildevand sker gennem kajvæggen lige nord for oliepieren i Kalundborg Havn. Udledningen modelleres ved en punktkilde som vist i **Error! Reference source not found.** og i 2 meters dybde. Vanddybden i udledningspunktet er ca. 6 meter.



Figur 2.5: Position af udledningspunktet for modellering af spredning af udledt spildevand.

Equinor har leveret målinger af udledningsraterne for perioden fra den 1. januar 2019 til og med den 30. juni 2019 som vist på **Error! Reference source not found.** Udledningen varierer fra 1574 m<sup>3</sup>/døgn den 20. juni op til 9571 m<sup>3</sup>/døgn den 18. marts 2019. For perioden er den gennemsnitlige daglige udledning ca. 4350 m<sup>3</sup>/døgn.