

Bilag 05 - Bølgeberegninger

Højvandsbeskyttelse ved Østlige Kulhuse

Frederikssund Kommune - Teknik, Miljø og Erhverv

Dato: 21. April 2023

Indhold

1.	Indledning.....	3
2.	Data	3
3.	Metode.....	6
3.1	MIKE 21 SW.....	6
3.2	LITPACK.....	8
3.3	Bølgeoverskyl.....	10
4.	MIKE 21 SW	11
5.	Bølgetransformation (LITPACK).....	13
6.	Bølgeoverskyl.....	13
7.	Referencer.....	14

1. Indledning

Nærværende notat beskriver beregninger af bølgeoverskyl i forbindelse med projektet Højvandsbeskyttelse ved østlige Kulhuse. Projektet omfatter et dige langs en ca. 2,5 km lang strækning, se Figur 1.1.



Figur 1.1: Oversigtskort af dige ved Kulhuse. Ortofoto: 2022 ref. [1].

Formålet med beregningerne er at:

- Beregne dimensionsgivende bølgehøjde, -periode og -retning under en Bodillignende storm ved Kulhuse.
- Transformere den dimensionsgivende bølge fra dybt vand til digefoden.
- Beregne bølgeoverskyl ved forskellige vandstandshændelser og anlægsdimensioner langs diget.

Til at opnå formålet er der:

- Opstillet en MIKE 21 SW-model til at beregne bølgeforskel under en Bodillignende storm.
- Opstillet en Litdrift model til at beregne bølgetransformation.
- Udført beregninger på baggrund af principperne og formlerne i Eurotop, se ref. [2].

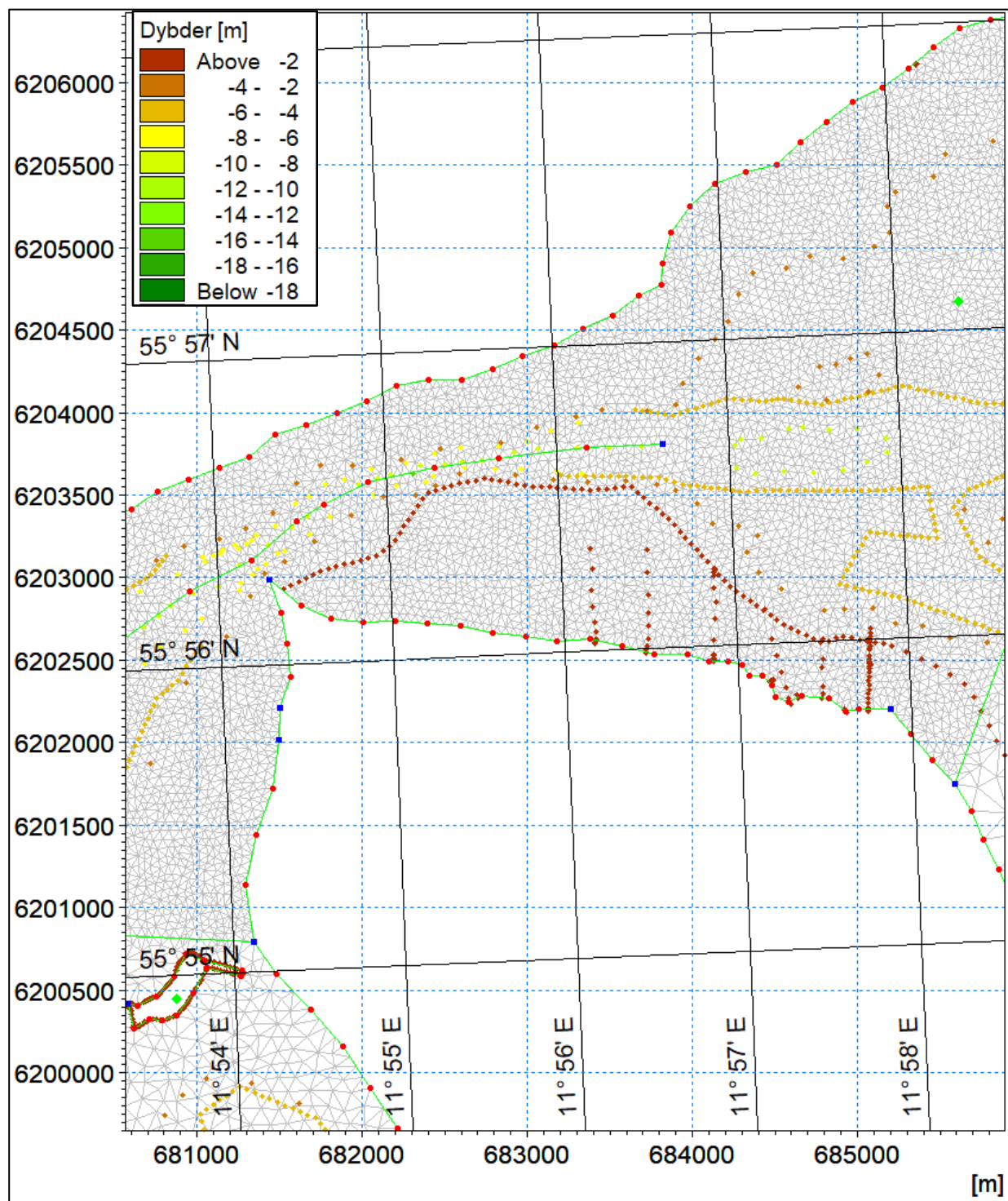
2. Data

Til at udføre beregningerne i MIKE 21 SW er der benyttet følgende data:

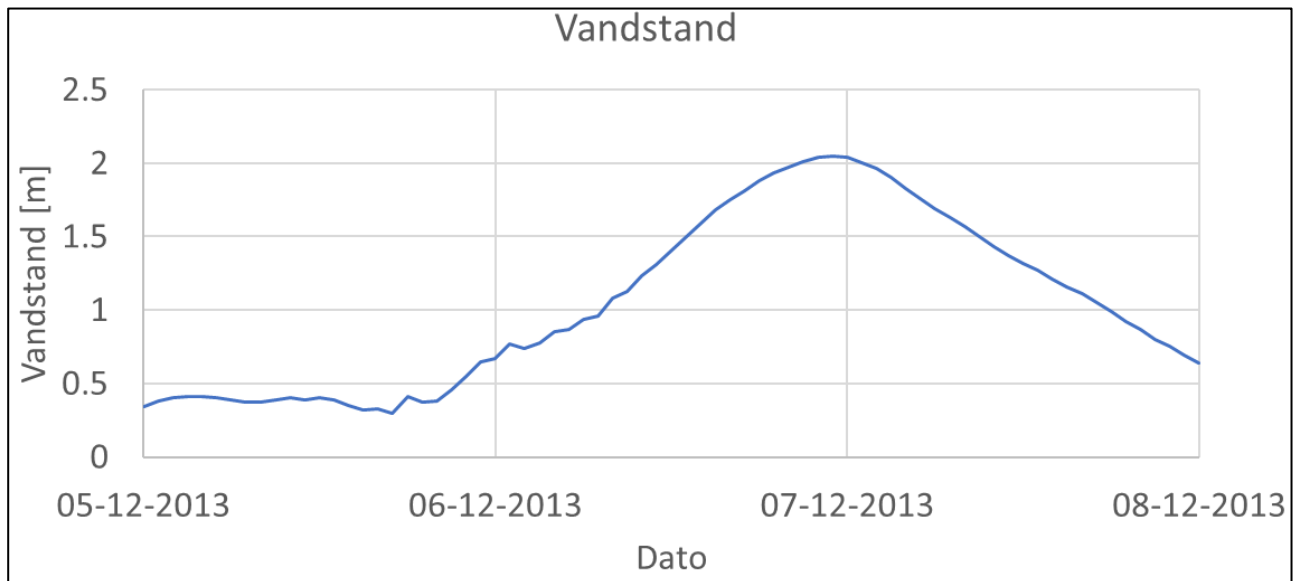
- Dybdekurver digitaliseret fra søkort.

- Opmålte profiler af det lavvandede område ud for Kulhuse, opmålt af NIRAS forår 2022.
- Rumlig vinddata
- Vandstandsdata fra Roskilde Havn

Figur 2.1 viser de anvendte datapunkter af dybdeforholdene ved Kulhuse.



Figur 2.1: Oversigt kort datapunkter der er anvendt til modelleringen.

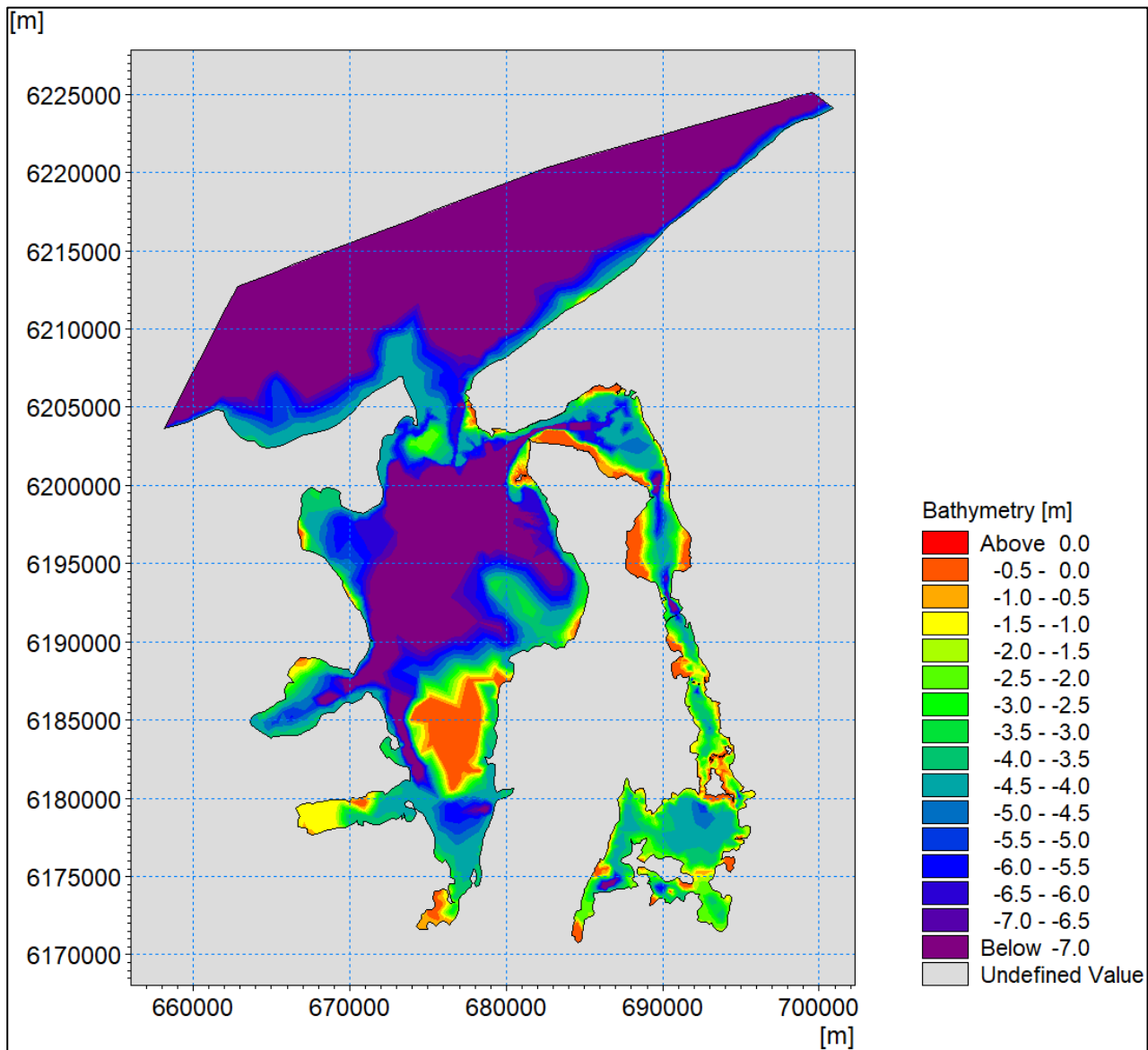


Figur 2.3: Vandstanden under den simulerede storm.

3. Metode

3.1 MIKE 21 SW

Bølgeforholdene er beregnet under den Bodillignende designstorm med den numeriske model fra DHI MIKE 21 SW, se ref. [4]. MIKE 21 SW beregner bølgedannelse, -transformation og -henfald. Modellens beregningsnet angiver punkter, hvor bølgeforholdene beregnes samt dybdeforholdene i domænet, se Figur 3.1.



Figur 3.1: Dybdeforhold i MIKE 21 SW-modellen.

Modellen er kørt for en periode på 30 dage for at sikre, at den er 'varmet' op inden designstormen forekommer.

Den dimensionsgivende bølge er udtrukket ca. 100 m fra kystlinjen d. 06-12-2013 kl. 23.00 hvor vandstanden var højest under stormen.

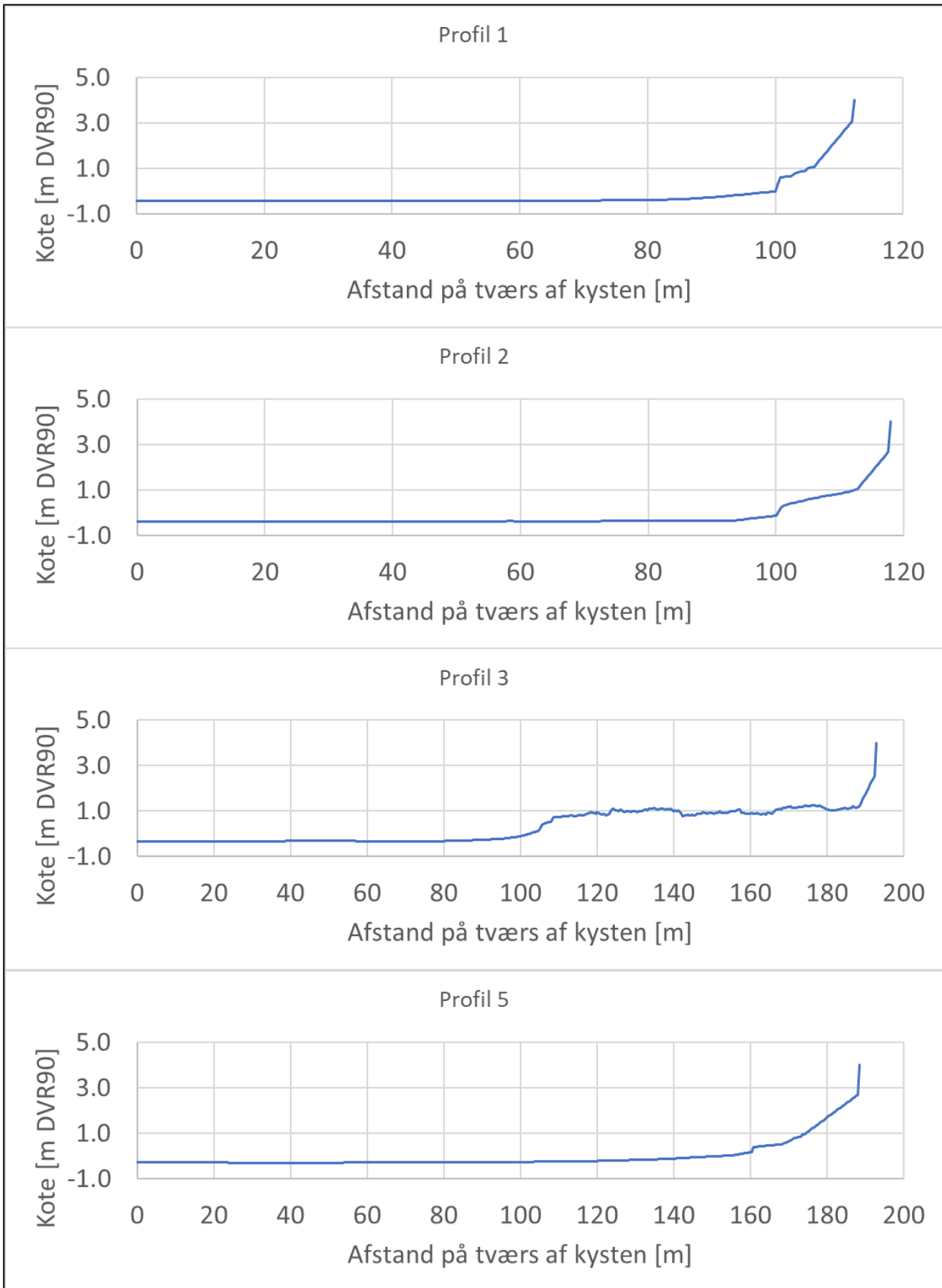
3.2 LITPACK

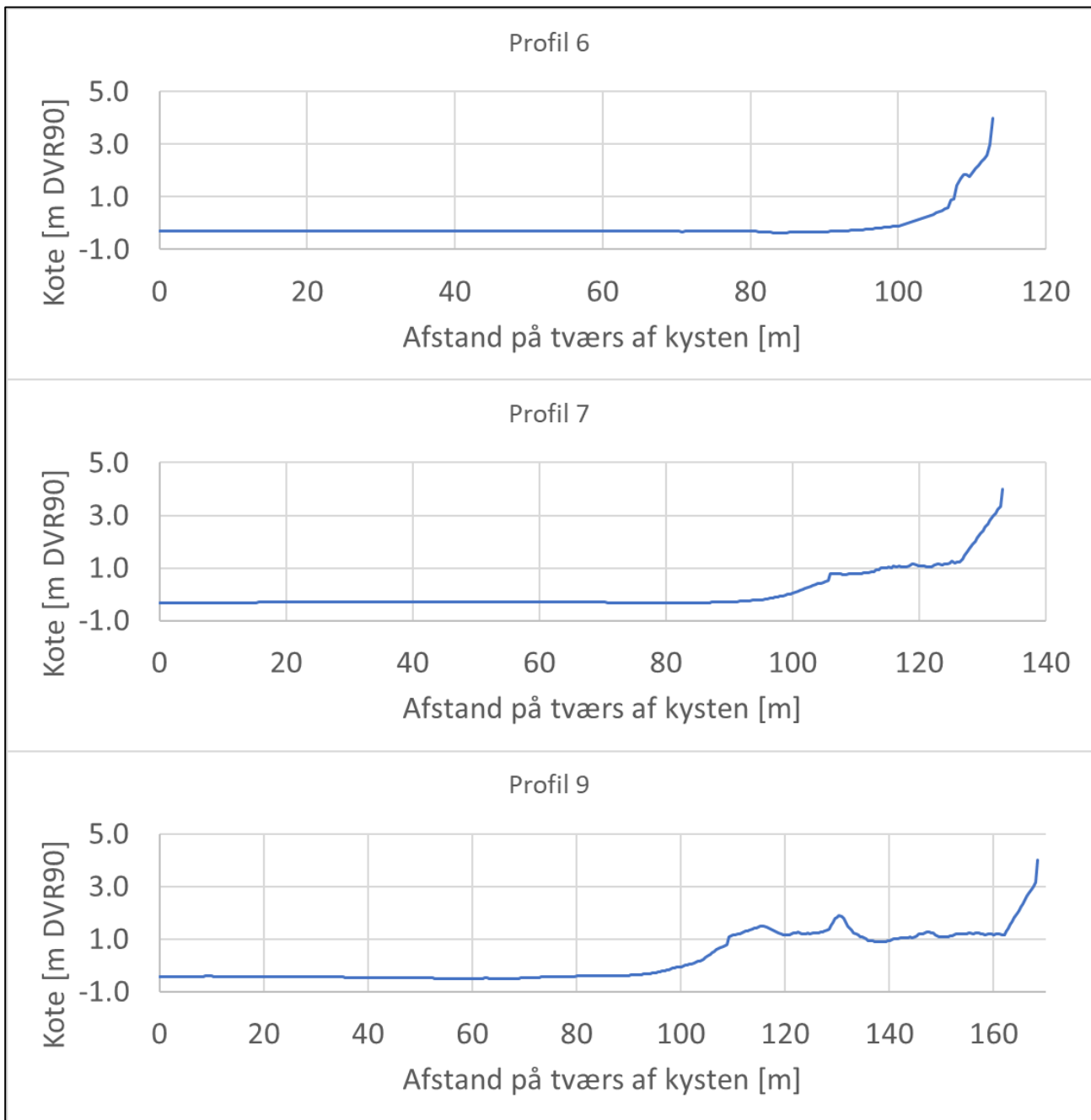
Bølgetransformationen er beregnet med den numeriske model LITDRIFT fra DHI, der beregner bølgetransformation og -brydning i et profil, se ref. [5]. Beregningen er foretaget i 7 profiler langs projektområdet, se Figur 3.2.

I profilerne er dybdedata og de første metre af kysten baseret på opmålinger. I Profil 3 og 9 er profilerne forlænget landværts til diget med data fra den danske højdemodel. Diget er indsat på profilerne fra digefoden og landværts, så profilet som minimum inkluderer hele forsiden af diget. Profilet forsætter til kote +4,0 m DVR90 for at LITPACK beregningen kan udføres, Figur 3.3.



Figur 3.2: Placering af LITPACK-profiler i projektområdet.





Figur 3.3: Udformning af profilerne anvendt i LITPACK.

Bølgehøjden skal omregnes fra den signifikante bølgehøjde (H_s) til "root-mean-square" bølgehøjden (H_{rms}) før den kan anvendes i LITPACK-modellen. Omregningen er foretaget med følgende formel:

$$H_{rms} = H_s / 1,416$$

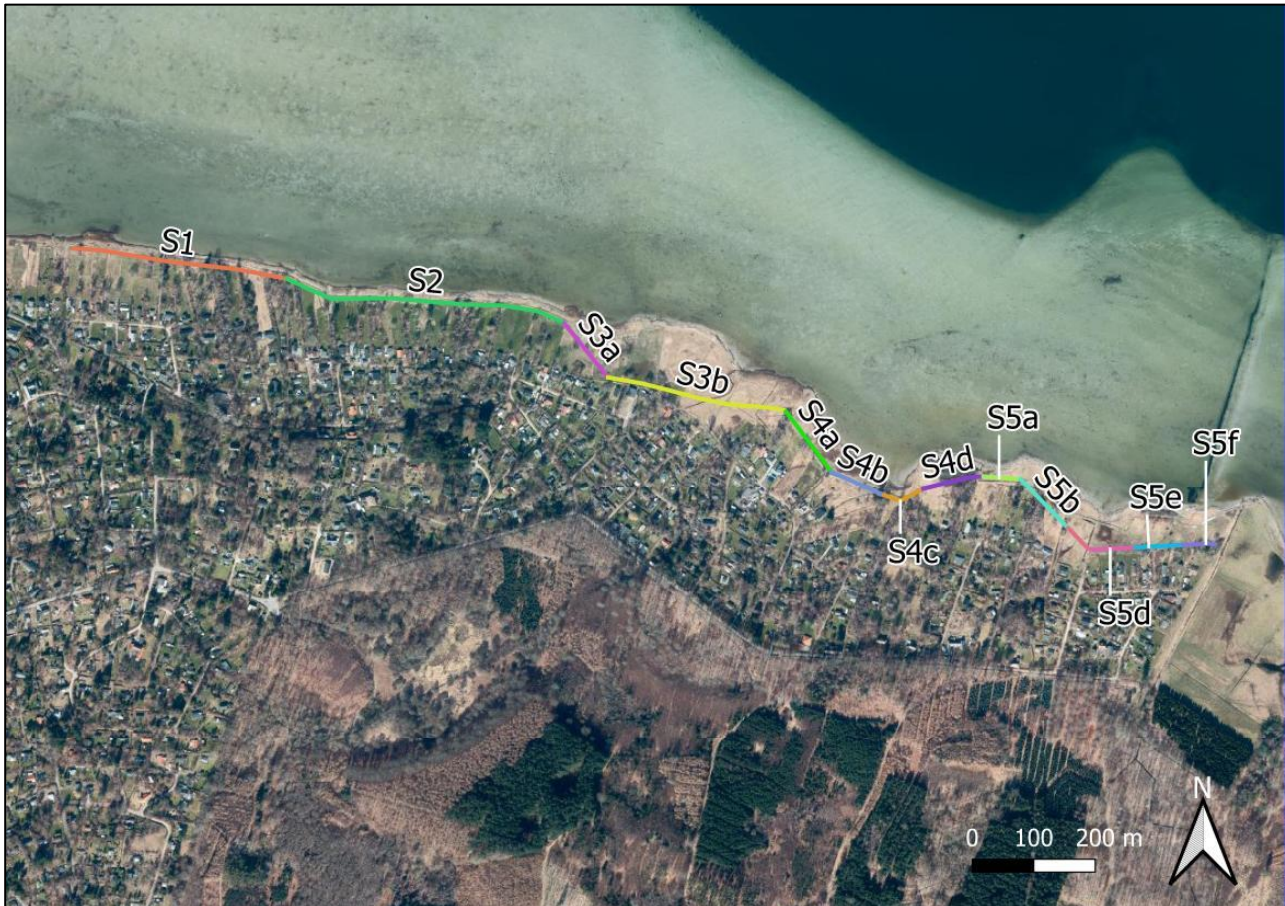
LITPACK-modellen er kørt med forskellige vandstande, som forekommer under designstormen.

3.3 Bølgeoverskyl

Bølgeoverskyllet er beregnet på baggrund af principperne og formlerne i EuroTop-manualen, se ref. [2].

Beregningen kræver en bølgehøjde, -periode og -retning samt vandstand ved digefoden. Bølgeparametrene er udtrukket fra LITDRIFT-beregningerne.

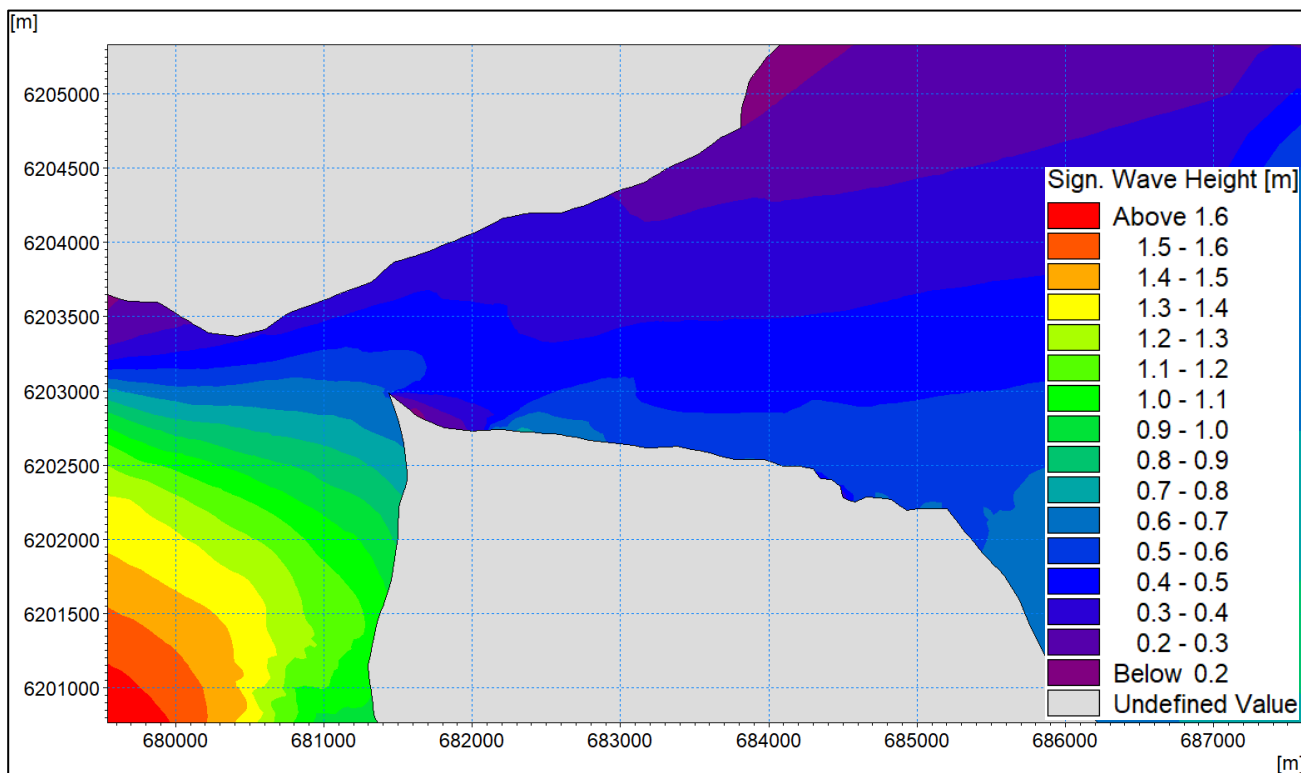
Beregningen er foretaget for 13 delstrækninger, se Figur 3.4.



Figur 3.4: Oversigtskort af overskylsstrækninger.

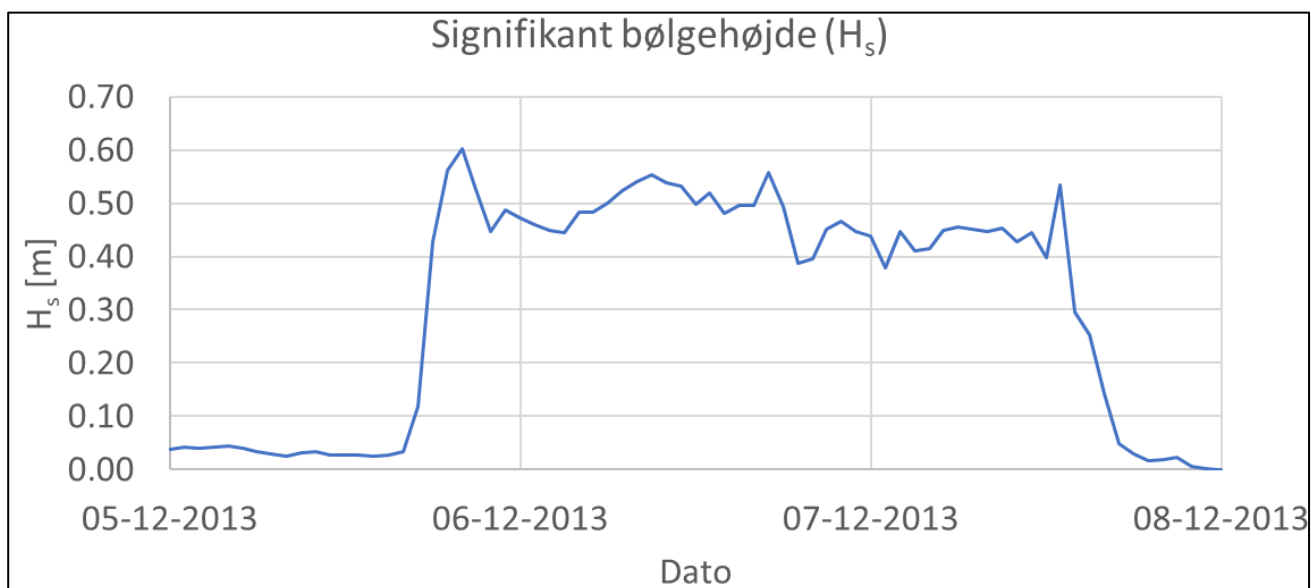
4. MIKE 21 SW

Figur 4.1 viser de beregnede bølgehøjder ved Kulhuse d. 06-12-2013 kl. 23.00, hvor vindhastigheden og -retningen var omkring hhv. 16 m/s og 330°N. Det ses, at bølgehøjden stiger ind mod kysten. Desuden falder bølgehøjden fra Isefjorden i vest ind i gennem passagen ved Kulhuse Havn, hvilket indikerer, at bølgerne er lokalt genereret og ikke bliver påvirket af de større bølger i Isefjorden.



Figur 4.1: Signifikant bølgehøjde under den bodlignende storm d. 06-12-2013 kl 23.00.

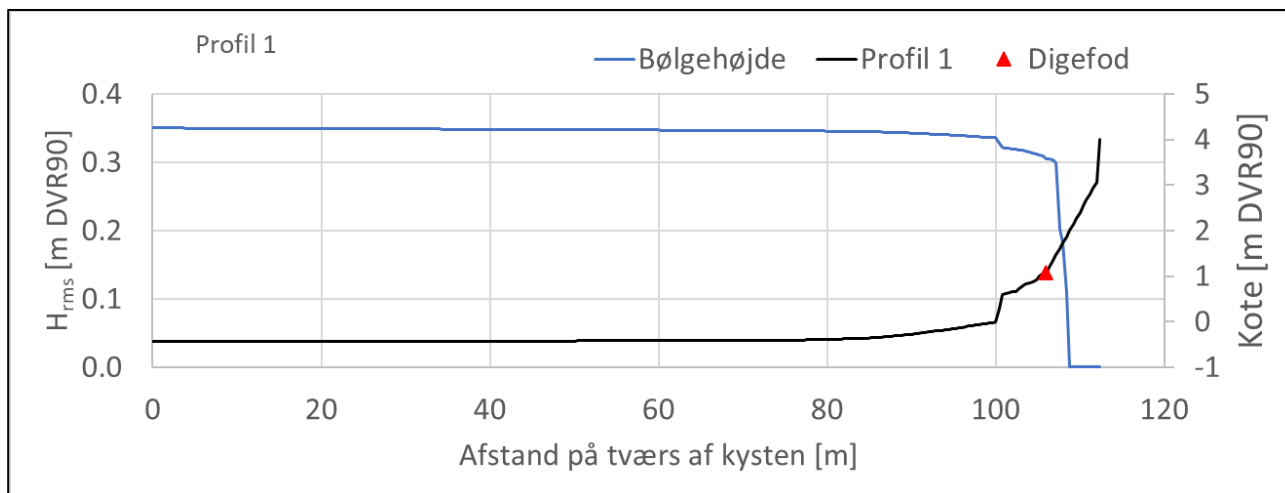
Figur 4.2 viser bølgehøjden under stormen udtrukket ca. 100 m havværts fra den vestlige del af projektområdet. Da stormen indtræffer d. 5-12-2013, stiger bølgehøjden til 0,6 m, hvilket er maksimum under stormen. Herefter er bølgehøjden mellem ca. 0,4 og 0,55 m resten af stormen og 0,45 m d. 06-12 kl 23.00.



Figur 4.2: Bølgehøjden udtrukket ca. 100 m havværts kysten ved projektområdet under den simulerede storm.

5. Bølgetransformation (LITPACK)

Figur 5.1 viser et eksempel på bølgetransformation over profil 1 ved en vandstand på 1,84 m DVR90. Figuren viser, at bølgehøjden aftager ind mod digefoden for at bryde helt på diget.



Figur 5.1: Eksempel på bølgetransformation beregnet med LITPACK-modellen over profil 1 med en vandstand på 1,84 m DVR90.

6. Bølgeoverskyl

Bølgeoverskyllet er beregnet under hele designstormen dvs. med tidsvarierende vandstand og bølgehøjde. Resultatet af overskylsberegningerne under designstormen er vist i Tabel 6.1. Ved tre af delstrækningerne er bølgehøjden så lille ved diget, at bølgeoverskyllet ikke kan beregnes og er derfor sat til 0 L/s/m. Den lille bølgehøjde ved det nye dige skyldes, at bølgerne bryder på det eksisterende stendige.

På strækninger, hvor det eksisterende dige er et jorddige, er det antaget, at det eksisterende dige er eroderet til kote +1,4 m DVR90 i bølgeberegningen. Jorddigerne bliver i dag repareret, når der forekommer erosion af dem under stormhøjvande. Da disse diger ikke er en del af det nye anlæg vil de ikke blive vedligeholdt og forventes at erodere i fremtiden. På nogle enkelte strækninger forventes meget lille eller intet bølgeoverskyl, da diget her enten ligger beskyttet bag stendige eller med tracé parallelt med bølgeretningen.

Som det fremgår af tabellen, varierer overskyllet langs projektstrækningen og dermed er der nogle steder, hvor der er tilladt et større overskyl end andre, dog altid under 2 L/s/m. Det kan tillades, fordi arealet og terrænet bagved diget er varierende, og dermed kan der opmagasineres mere eller mindre vand.

Tabel 6.1: For hver strækning er der listet bølgehøjde (H_s) på dybt vand og ved digefod, forsidehældning af diget, digets kronokote og det resulterende bølgeoverskyl ved den dimensionsgivende hændelse.

Strækning	H_s (dybt vand) [m]	Maks. H_s (digefod) [m]	Forside- hældning 1:x	Kronekote [m DVR90]	Maksimalt overskyl [l/s/m]	Samlet overskyl under designstorm [m ³ /m]
S1	0,5	0,44	1:4	+2,4	0,68	12,2
S2	0,5	0,44	1:4	+2,4	0,66	10,7
S3a	0,5	0,34	1:4	+2,3	0,06	0,7
S3b	0,5	0,34	1:5	+2,3	0,15	1,7
S4a	0,5	0,46	1:4	+2,4	0,02	0,2
S4b	0,5	0,46	1:5	+2,4	0,00	0
S4c	0,5	0,46	1:8	+2,4	0,10	1,4
S4d	0,5	-	-	-	-	-
S5a	0,5	0,38	1:4	+2,4	0,27	3,7
S5b	0,5	-	1:3	+2,2	-	-
S5c	0,5	0,23	1:3	+2,2	0,05	0,5
S5d	0,5	0,23	1:5	+2,2	0,16	1,1
S5e	0,5	-	1:5	+2,2	-	-
S5f	0,5	0,29	1:5	+2,3	0,04	0,3

7. Referencer

- [1] SDFI, »Dataforsyningen,« [Online]. Available: <https://dataforsyningen.dk/>. [Senest hentet eller vist den 07 10 2022].
- [2] EurOtop, »Manual on wave overtopping of sea defences and related structures,« 2018.
- [3] DMI, »Vandstand,« 28 September 2022. [Online]. Available: <https://www.dmi.dk/vandstand/>.
- [4] DHI, »MIKE 21 SW, Spectral Waves FM Module,« DHI, 2021.
- [5] DHI, »Littoral Processes FM - Scientific Documentation,« 2022.