

AARHUS HAVN MILJØREDEGØRELSE FOR PLACERING AF FÆRGETERMINAL BILAGSRAPPORT



BILAG

Bilag 1

EIA ferry terminal, underwater noise. Background report. Rambøll, july 2016.

Bilag 2

Aarhus Havn, Flytning af færgeterminal. Vurdering af støj- og sedimentationsforhold. DHI, februar 2015

Bilag 3

Visualiseringer

Bilag 4

Risiko-screening. Konsekvenser for Århus Havn færgeterminal. August 2017

Bilag 5

CFD simuleringer. Konsekvenser for Århus Havn færgeterminal. August 2017

Bilag 6

Flytning af færgeterminal på Aarhus Havn. Hydrauliske forhold justeret layout. August 2017

To
Relocation of the ferry terminal at the port of Aarhus

Type of document
Background report, underwater noise

Date
June, 2017

EIA FERRY TERMINAL, UNDERWATER NOISE BACKGROUND REPORT BILAG 1



EIA FERRY TERMINAL, UNDERWATER NOISE BACKGROUND REPORT BILAG 1

Revision **2**
Dato **2017-05-23**
Udarbejdet af **Christopher McKenzie Maxon**
Kontrolleret af **JASJ**
Godkendt af **ORK**

CONTENT

1.	FERRY TERMINAL AT THE PORT OF AARHUS, UNDERWATER NOISE	1
1.1	Introduction	1
2.	UNDERWATER SOUND	1
2.1	Applicable acoustic parameters	2
2.2	Underwater sound source levels	2
2.3	Underwater sound propagation model	3
3.	UNDERWATER NOISE IMPACT ASSESSMENT	3
3.1	Fish	3
3.2	Marine Mammals	4
3.3	Marine Mammals and Fish Criteria	4
4.	MODELLING POSITIONER	6
5.	MODELLING RESULTS	8
6.	MITIGATION MEASURES	9

1. FERRY TERMINAL AT THE PORT OF AARHUS, UNDERWATER NOISE

1.1 Introduction

The construction of the relocated ferry terminal at the port of Aarhus project will generate underwater sound that can potentially be an environmental impact on the marine life.

The potentially significant underwater noise sources as part of the construction that have actual potential environmental underwater noise impacts on fish and/or marine mammals are pile driving and sheet pile driving.

An underwater noise propagation study has been performed for the pile driving/sheet pile driving pipeline and will be used to assess the potential environmental impacts on marine mammals and fish.

The impact assessment methodology and impact threshold limits comply with the guidance described in Descriptor 11 of the European Commission decision on good environmental status of marine waters (2010/477/EU) which generally states: *"Introduction of energy, including underwater noise, is at levels that do not adversely affect the marine environment"*.

2. UNDERWATER SOUND

Underwater sound, like sound in the air, is disturbances from a source in a medium – here water – travelling in a 3 dimensional manner as the disturbance propagate with the speed of sound.

Sound travels at different speed in different media. The speed of sound is determined by the density and compressibility of the medium. Density is the amount of material in a given volume, and compressibility is a measure of how much a substance could be compacted for a given pressure. The denser and the more compressible, the slower the sound waves would travel. Water is much denser than air, but since it is nearly incompressible the speed of sound is about four times faster in water than in air. The speed of sound can also be affected by temperature. Sound waves tend to travel faster at higher temperatures.

Underwater sound can be measured as a change in pressure and is described as sound pressure and can be measured with a pressure sensitive device (hydrophone).

Because of the large range pressure amplitudes of sound, it is convenient to use a decibel (dB) logarithmic scale to quantify pressure levels. The underwater sound pressure level in decibels (dB) is defined in the following equation:

$$\text{Sound Pressure Level (SPL)} = 20\log_{10}(P/P_0)$$

P is the pressure and P_0 is the reference pressure. The reference pressure is 1 micropascal (μPa) for underwater sound which is different for sound pressure levels in the air. For this reason sound pressure levels in the water and air cannot be directly compared.

Underwater sound levels vary in accordance to the sound source's time signature and acoustic environmental conditions and can be future defined in terms of exposure, average and/or maximum levels. The following acoustic parameters are commonly used to assess the noise impact from underwater noise sources for the identified local marine life.

2.1 Applicable acoustic parameters

The following key terms are used in this document:

Sound Pressure Level (SPL) – this quantifies the magnitude of a sound at a given point, i.e. how loud it is, and is measured in decibels (dB). As a relative unit, dB is quoted relative to 1 micro-Pascal in underwater studies (so, dB re 1 μ Pa);

Sound Exposure Level (SEL) – this is a decibel measure for describing how much sound energy a receptor (e.g. a marine mammal) has received from an event and is normalized to an interval of one second (quoted in dB re 1 μ Pa² s). It can be thought of as a logarithmic measure of Sound Exposure and hence a 3 dB increase in SEL equates to a doubling of sound energy;

Cumulative Sound Exposure (SEL(cum)) – this is the time integral of the squared pressures over the duration of a sound or series of sounds. It enables sounds of differing duration and level to be characterized in terms of total sound energy (quoted in Pa² s).

Peak pressure level (PEAK) – the zero-to-peak sound pressure at a given point in time;

Root mean square (RMS) – the sound pressure averaged over a given time;

Pulsed/impulsive sound – a discontinuous sound source comprising one or more instantaneous sounds as during munitions clearance

Continuous sound – sound source, like a vessel engine, or humming as in pipeline operation.

The RMS SPL is commonly used to evaluate the effects of continuous noise sources. The RMS sound pressure level or SPL is the mean square pressure level over a time window containing the impulse.

2.2 Underwater sound source levels

Based on existing measured underwater sound measurements, source data and studies, the sound source levels and frequency spectrum for the identified significant sound sources for potential underwater noise impacts have been estimated.

In order to obtain an equivalent source level at 1 m from the source, for the purpose of acoustic propagation modelling, levels were back-propagated the pressure field according to cylindrical spreading loss, or $15 \cdot \log(r)$. The purpose of the back-propagation step is to determine the effective source level at 1 m that is used in the acoustic propagation model.

The following tables show the estimated overall underwater sound source level.

Activity	Sound source pressure level at 1 meter		
	Peak, dB re. 1 μ Pa	SEL, dB re. 1 μ Pa ² /s	SEL, dB re. 1 μ Pa ² /s
Sheet pile driving (42 – 50 cm)	222	197 (Single Strike)	211 (Cumulative 1 hr.)
Pile driving (30-40 cm)	223	198 (Single strike)	212 (Cumulative 1 hr.)

Table 4-1. Sound sources from construction activities.

The impact assessment threshold limits for underwater noise are cumulative sound exposure levels (SELcum, exposure over time).

2.3 Underwater sound propagation model

The underwater sound propagation model calculates estimates of the sound field generated from underwater sound sources. The modelling results are used to determine the potential impacts distances (noise maps/contour plots) from the identified significant underwater noise sources for the various identified marine life for the area. Based on source location and underwater source sound level, the acoustic field at any range from the source is estimated using dBSEA's acoustic propagation model (Parabolic equation method, Jensen 2011). The sound propagation modelling uses acoustic parameters appropriate for the specific geographic region of interest, including the expected water column sound speed profile, the bathymetry, and the bottom geo-acoustic properties, to produce site-specific estimates of the radiated noise field as a function of range and depth. The acoustic model is used to predict the directional transmission loss from source locations corresponding to receiver locations. The received level at any 3-dimensional location away from the source is calculated by combining the source level and transmission loss, both of which are direction dependent. Underwater acoustic transmission loss and received underwater sound levels are a function of depth, range, bearing, and environmental properties. The output values can be used to compute or estimate specific noise metrics relevant to safety criteria filtering for frequency-dependent marine mammal hearing capabilities.

Underwater sound source levels are used as input for the underwater sound propagation program, which computes the sound field as a function of range, depth, and bearing relative to the source location.

The model assumes that outgoing energy dominates over scattered energy, and computes the solution for the outgoing wave equation. An approximation is used to provide two-dimensional transmission loss values in range and depth, i.e., computation of the transmission loss as a function of range and depth within a given radial plane is carried out independently of neighbouring radials (reflecting the assumption that sound propagation is predominantly away from the source).

The received underwater sound levels at any location within the region of interest are computed from the 1/1-octave band source levels by subtracting the numerically modelled transmission loss at each 1/1-octave band centre frequency and summing across all frequencies to obtain a broadband value. For this study, transmission loss and received levels were modelled for 1/1-octave frequency bands between 10 and 3000 Hz. Because the source of underwater noise considered in this study are predominantly low-frequency sources, this frequency range is sufficient to capture essentially all of the energy output. The received levels will be converted to all the applicable underwater acoustic parameters.

3. UNDERWATER NOISE IMPACT ASSESSMENT

3.1 Fish

Impacts to fish focus on physical damage and behavioural changes.

Fish behaviour in response to noise is not well understood. Sound pressure levels that may deter some species, may attract others.

In fish, physical damages to the hearing apparatus rarely lead to permanent changes in the detection threshold (permanent threshold shift, PTS), as the damaged sensory epithelium will regenerate in time (Smith et al 2006, Song et al 2008). However, temporary hearing loss (temporary threshold shift, TTS) may occur (Popper et al 2006). The sound intensity is an important

factor for the degree of hearing loss, as is the frequency, the exposure duration, and the length of the recovery time.

There is little information available on the hearing abilities of species of particular relevance for the survey area; Atlantic cod and Atlantic herring therefore serve as models for other fish species (Halvorsen et al 2011). The criteria for PTS and TTS are presented in section 3.3.

Impact assessment for fish will also use: Carlson et al., T. H. (2007). MEMORANDUM - Update on recommendations for Revised Interim Sound Exposure Criteria for Fish during Pile Driving Activities. Department of Transportation (California and Washington). Which includes SEL(single event) = 213, 189, 185 og 183 dB levels.

3.2 Marine Mammals

Generally, the effect of noise on marine mammals can be divided into four broad categories that largely depend on the individual's proximity to the sound source:

- Detection
- Masking
- Behavioural changes
- Physical damages

The limits of each zone of impact are not sharp, and there is a large overlap between the zones. The four categories are described below, based on Southhall et al 2007.

Detection ranges depend on background noise levels as well as hearing thresholds for the animals in question.

Masking is an impact where repeated or long-term underwater sound masks e.g. communication between individuals.

Behavioural changes are difficult to evaluate. They range from very strong reactions, such as panic or flight, to more moderate reactions where the animal may orient itself towards the sound or move slowly away. However, the animals' reaction may vary greatly depending on season, behavioural state, age, sex, as well as the intensity, frequency and time structure of the sound causing behavioural changes (Southhall et al 2007).

Physical damage to marine mammals relate to damage to the hearing apparatus. Physical damages to the hearing apparatus may lead to permanent changes in the animals' detection threshold (permanent threshold shift, PTS). This can be caused by the destruction of sensory cells in the inner ear, or by metabolic exhaustion of sensory cells, support cells or even auditory nerve cells. Hearing loss is usually only temporary (temporary threshold shift, TTS) and the animal will regain its original detection abilities after a recovery period. For PTS and TTS the sound intensity is an important factor for the degree of hearing loss, as is the frequency, the exposure duration, and the length of the recovery time.

The proposed criteria for PTS, TTS and behavioural response are presented here based on the Marine mammals and underwater noise in relation to pile driving – Working Group 2014 (Energinet.dk, 2015) in Denmark.

3.3 Marine Mammals and Fish Criteria

Table 6-1 and 6-2 summarizes criteria for assessing impacts for marine mammals and fish. The criteria are associated with different impacts (e.g. PTS, TTS and behavioural).

The working group for marine mammals and underwater noise have recommended thresholds for permanent hearing loss/ threshold shift (PTS), temporary hearing loss/ threshold shift (TTS) as well as thresholds for behavioural changes in marine mammals in Danish Working Group 2014, Marine mammals and underwater noise in relation to pile driving, Energinet.dk Underwater noise and marine mammals Rev2 – 4. Marts 2015, Energinet.dk

Threshold values for inflicting impact have been determined by the group based on an assessment on available values from the most recent scientific literature.

Species	Behavioural response (dB re 1 µPa SEL)	TTS (dB re 1 µPa SEL cum)	PTS (dB re 1 µPa SEL cum)
Grey seal and harbour seal	-	176	200
Harbour porpoise	140 (single strike)	≥164	≥183

Table 6-1. Threshold values for PTS, TTS and behavioural effects as recommended by the Danish Working Group 2014. All levels are unweighted SEL.

Species	TTS/PTS (dB re 1 µPa SEL cum)	TTS/PTS (dB re 1 µPa PEAK)	
Fish	187	200	

Table 6-2. Threshold values for PTS, TTS for fish. All levels are unweighted SEL.

4. MODELLING POSITIONER



Figure 7-1. Location of the relocated ferry terminal at the port of Aarhus for underwater noise modelling

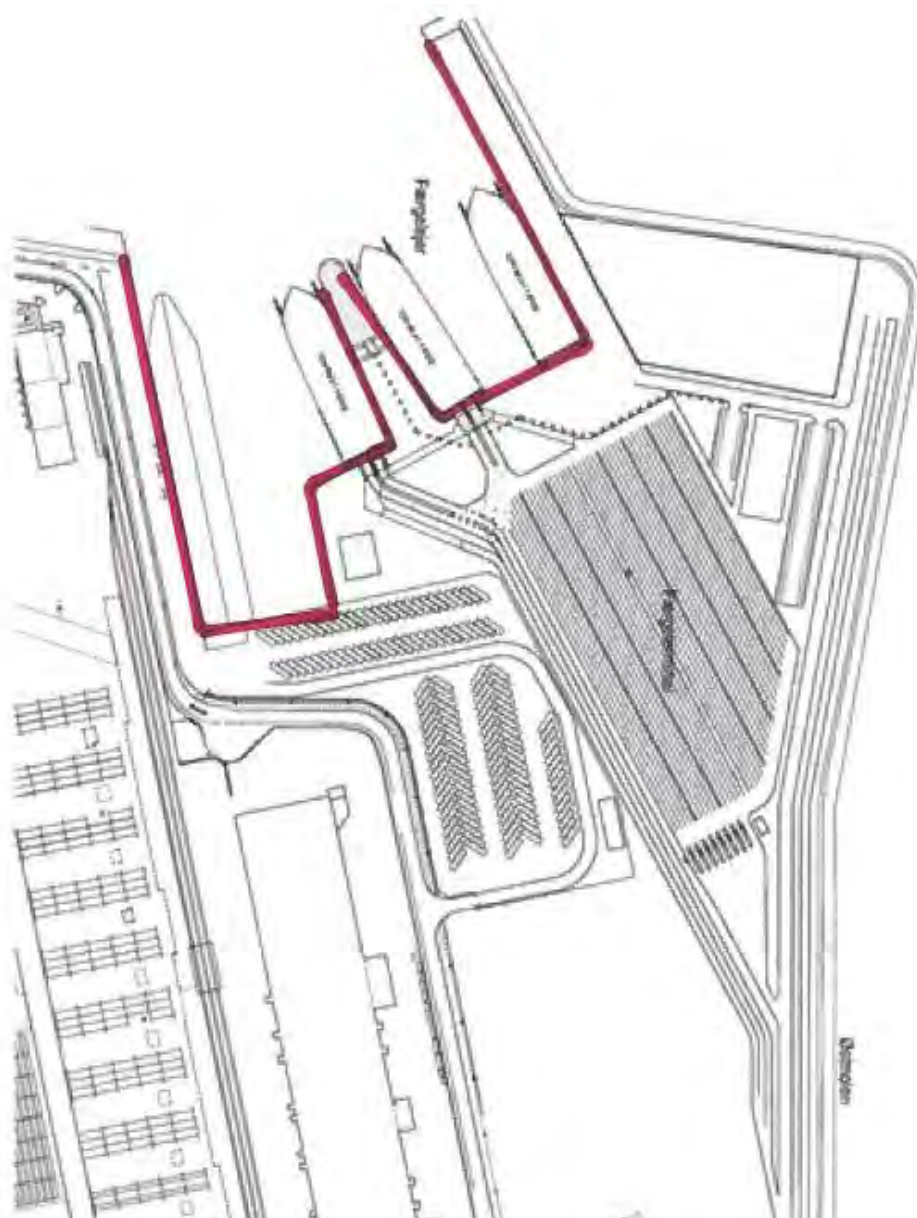
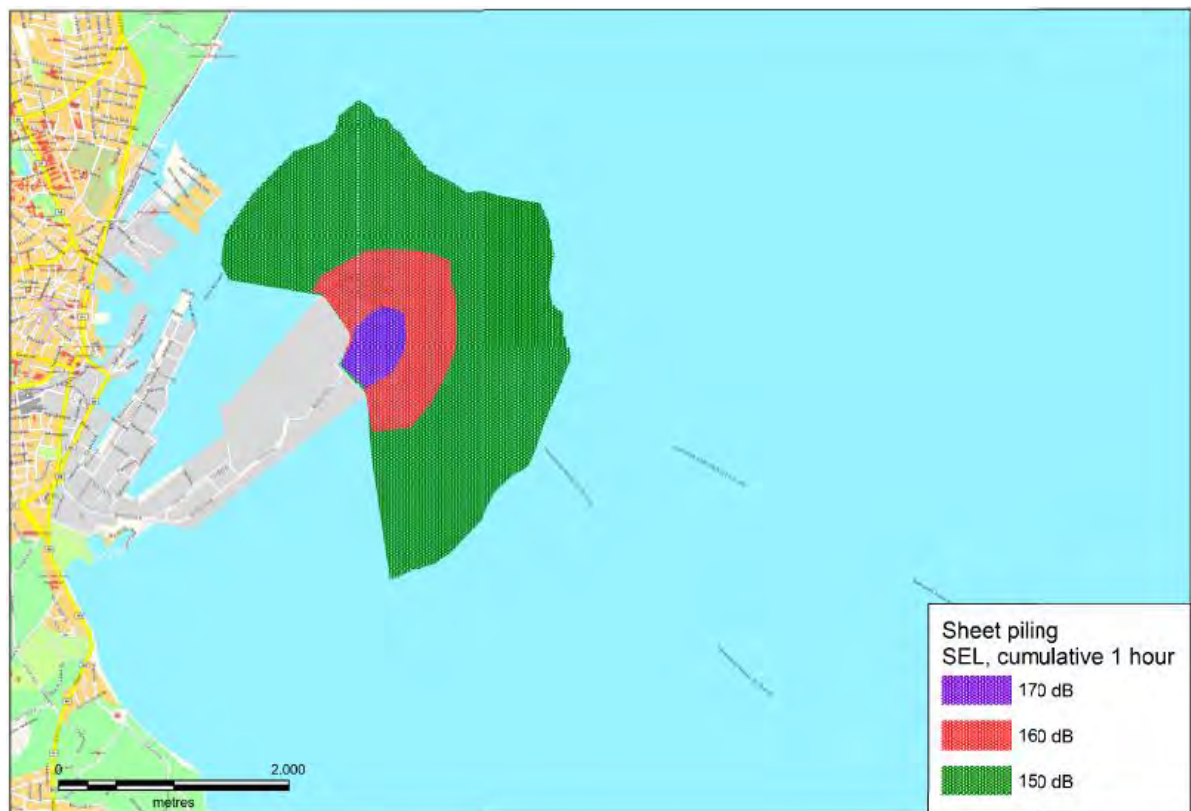


Figure 4-1. Position of sheet piles at the relocated ferry terminal at the port of Aarhus – position of sheet piles are shown by red lines.

5. MODELLING RESULTS

	Sheet pile driving		
		Assessment lev-els	Threshold distances (summer/winter)
Marine group		SEL(Cum*)	SEL(Cum*)
	Effect	dB re 1µPa2-s	dB re 1µPa2-s
Seals	PTS	200 dB	5 meters
	TTS	176 dB	200 meters
Porpoises	PTS	183 dB	75 meters
	TTS	164 dB	600 meters
Fish	PTS	200 dB	5 meters
	TTS	187 dB	40 meters
* Cumulative SEL (1 hour pile driving)			

Table 7-1. Sheet pile driving - assessment level limit distances



Figur 5-1. Underwater noise contour plot for sheet piling.

6. MITIGATION MEASURES

A feasible reduction of the impact of noise on marine mammals can be achieved if the received noise is reduced by:

- By restrictions on time of year when the activity can occur.
- Use of deterrence (pingers and seal scarers) reduces impact from TTS/PTS.
- Restrictions in periods with high occurrence of animals reduces impact on behaviour
- Bobble curtains
- Vibro piling

Scientific evidence shows that seal scarers cause aversive behaviour in harbour porpoises out to several kilometres distance (Brandt et al., 2013, Dähne et al., 2013). The deterrence effect of the seal scarers on porpoises is not 100 %, and the better the habitat is for the animals, the less effective the seal scarer is likely to be. Therefore a smaller number of individuals will likely be present in the area even after the use of seal scarers. Data of seal scarers deterring effect on seals is still inconclusive as seals are extremely difficult to observe at the surface and they do not vocalize regularly like porpoises, therefore proper experiments have not been conducted (Fjälling et al., 2006, Götz and Janik, 2013).

Seal scarers emit loud sounds pressures intense enough to induce changes in hearing thresholds (PTS/TTS) in both harbour porpoises and seals at close range. They should therefore be used with caution to reduce this risk. Pingers were developed to alert harbour porpoises to the presence of fishing gear to avoid by-catch (Lien et al. 1992). They emit a lower intensity sound to cause less abrupt aversive behaviour than seal scarers. Pingers are, however, not able to keep the majority of animals at a safe distance, but can be employed to initially divert animals out to a "TTS/PTS safe" area before switching the seal scarer on. If sound mitigation devices are used, this procedure is therefore recommended as best practice.

Aarhus Havn, Flytning af færgeterminal

Vurdering af strøm- og sedimentforhold



Aarhus Havn

Rapport

Februar 2015

Denne rapport er udarbejdet under DHI's ledelsessystem, som er certificeret af DNV
for overensstemmelse med ISO 9001 for kvalitetsledelse



DNV Business Assurance, Danmark A/S

Aarhus Havn, Flytning af færgeterminal

Vurdering af strøm- og sedimentforhold

Udarbejdet for Aarhus Havn
Repræsenteret ved Ole Riger-Kusk, Rambøll



Aarhus havn,
kilde: www.aarhushavn.dk

Forfatter	Sina Saremi
Projektnummer	11816660
Kontrolleret	H. René Jensen
Godkendt	H. Jacob Vested, Projektchef, Kystafdelingen
Godkendelsesdato	3. februar 2015
Revision	Endelig 1.1
Klassifikation	Begrænset

INDHOLDSFORTEGNELSE

1	Indledning	1
2	Sammenfatning og konklusion	3
2.1	Strømforhold	3
2.2	Sedimentspild.....	3
3	Metode	5
4	Strømningsforhold	7
4.1	Numerisk model – MIKE 3 FM HD	7
4.2	Modeludformning	7
4.3	Modelgrænser	7
4.4	Simuleringer	8
4.5	Resultat af strømsimuleringer	9
5	Bølgeforhold	13
5.1	Numerisk model – MIKE 21 SW	13
5.2	Modeludformning	13
5.3	Simuleringer	13
6	Sedimentationsforhold	15
7	Sedimentspild i anlægsfasen	17
7.1	Baggrundsdata	17
7.2	Numerisk model – MIKE 3 FM MT	20
7.3	Modeludformning	20
7.4	Simuleringer	23
7.5	Resultat af sedimentspildsmodellering	24
8	Referencer	29

FIGURER

Figur 1-1	Placeringen af den nuværende (rød cirkel) og den nye færgeterminal (grøn cirkel) (©Cmap)	2
Figur 3-1	Modelområde for den hydrodynamiske model og for sedimenttransportmodellen	5
Figur 3-2	Modelområde for SW modellen	5
Figur 3-3	Vindhastigheder (top) og vandstandsvariationer (bund) i Aarhus Havn for et typisk år. De udvalgte simuleringsperioder for de to vejrforhold (stille/blæsende) er markeret med pile	6
Figur 3-4	Layout af den nye færgeterminal. Bemærk at figuren er drejet i forhold til N	6
Figur 4-1	Det anvendte beregningsnet (fremtidig situation)	7
Figur 4-2	Modeldomænet og modelrande	8
Figur 4-3	Positionen af de punkter, hvor strømmen er udtrukket (nuværende situation)	9
Figur 4-4	Positionen af de punkter, hvor strømmen er udtrukket (fremtidige situation)	9
Figur 4-5	Maksimum af strømhastigheder for vinterperioden (nuværende situation)	10
Figur 4-6	Maksimum af strømhastigheder for vinterperioden (fremtidige situation)	10
Figur 4-7	Ændring i maksimum af strømhastigheder for vinterperioden	11
Figur 4-8	Ændring i maksimum af strømhastigheder for sommerperioden	11
Figur 4-9	Snapshot af strømhastigheder og strømrøtninger for vinterperioden (nuværende situation)	12
Figur 4-10	Snapshot af strømhastigheder og strømrøtninger for vinterperioden (fremtidige situation)	12
Figur 5-1	Domæne og beregningsnet til bølgemodellen	13
Figur 6-1	Maksimum af bundforskydningsspænding for vinterperioden (nuværende situation)	15
Figur 6-2	Maksimum af bundforskydningsspænding for vinterperioden (fremtidige situation)	15
Figur 6-3	Ændring i maksimum bundforskydningsspænding for sommerperioden (fremtidig minus nuværende situation)	16
Figur 6-4	Ændring i maksimum bundforskydningsspænding for vinterperioden (fremtidig minus nuværende situation)	16
Figur 7-1	Den nye terminal og områder der skal uddybes og opfyldes. Bemærk at figuren er drejet i forhold til N	17
Figur 7-2	Kornkurvefordeling af jordbundstype A	18
Figur 7-3	Kornkurvefordeling af jordbundstype B	18
Figur 7-4	Stigning i faldhastighed på grund af flokkulering – ler	21
Figur 7-5	Stigning i faldhastighed på grund af flokkulering – fint silt	21
Figur 7-6	Stigning i faldhastighed på grund af flokkulering – groft silt	21
Figur 7-7	Placering af spildkilderne	22
Figur 7-8	Skitse af spildkildens rute i modellen	23
Figur 7-9	Middelkoncentrationer (total SSC) om sommeren (første etape – dag 1-27)	25
Figur 7-10	Middelkoncentrationer (total SSC) om vinteren (første etape – dag 1-27)	25
Figur 7-11	Antallet af dage med overskridelse af 2 mg/l (total SSC) om vinteren (første etape – dag 1-27)	26
Figur 7-12	Antallet af dage med overskridelse af 10 mg/l (total SSC) om vinteren (første etape – dag 1-27)	26
Figur 7-14	Aflejring (g/m ²) om sommeren (første etape – dag 1-27)	27
Figur 7-15	Aflejring i form af ændring i bundtykkelsen (mm) om sommeren (første etape – dag 1-27)	27

TABELLER

Tabel 4-1	Resumé af de hydrodynamiske simuleringer	8
Tabel 7-1	Sedimentegenskaber for de tre jordbundstyper	19
Tabel 7-2	Sedimenttrater i volumen for de to etaper af konstruktionen	20
Tabel 7-3	Sedimenttrater i masse for de to etaper af konstruktionen	22
Tabel 7-4	Procent af det totale spild for forskellige sedimenttyper	23
Tabel 7-5	Sammenfatning af spildsimuleringer og definition af fraktioner	24

APPENDIX

Appendix A

Strømrosediagrammer

Appendix B

Statistik af strømhastigheder

Appendix C

Snapshots af strømhastigheder og strømretninger

Appendix D

Statistik af bundforskydningsspændinger

Appendix E

Statistik af total suspenderet sedimentkoncentration

Appendix F

Overskridelse af koncentrationsniveauer

Appendix G

Sedimentaflejring

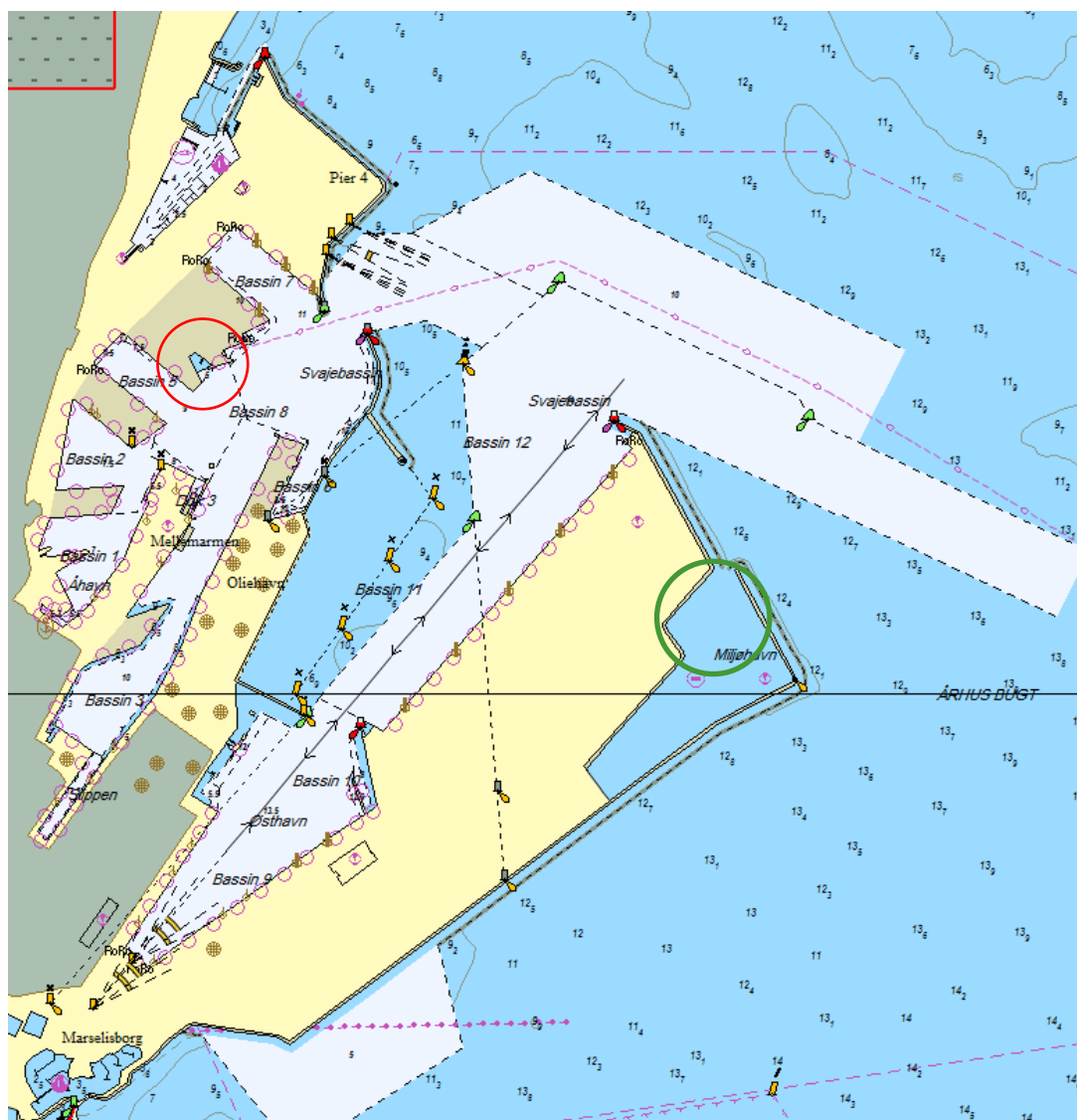
1 Indledning

Rambøll udarbejder for Aarhus Havn en miljøvurdering for flytningen af den eksisterende færgeterminal på Pier 3 til en ny placering ved Miljøhavnen. I den forbindelse har Rambøll på vegne af Aarhus Havn anmodet DHI om at gennemføre nogle hydrauliske vurderinger. Disse omfatter:

- Vurdering af strømningsforhold omkring den nye færgeterminal og af sedimentationsforhold i området
- Spildsimuleringer af sedimentationsspild i anlægsfasen
- Vurdering af bølgeuroen

Denne rapport omhandler de første to punkter vedrørende strøm- og sedimentforhold. Det tredje punkt, bølgeuro, er behandlet i en separat rapport (Ref. /1/).

Nærværende rapport er revideret i henhold til kommentarer fra Rambøll (16/12-2014 og 29/1-2015) herunder specielt hensyntagen til lagdeling i Århus Bugt.



Figur 1-1 Placeringen af den nuværende (rød cirkel) og den nye færgeterminal (grøn cirkel) (©Cmap)

2 Sammenfatning og konklusion

En ombygning af de eksisterende moler og havnebassin er nødvendig i forbindelse med konstruktionen af den nye færgeterminal. Ændringerne i de lokale strømforhold på grund af det nye havnelayout samt udbredelsen og omfanget af sedimentspild fra udgravningsaktiviteterne under konstruktionsfasen er beskrevet i denne rapport.

2.1 Strømforhold

På grund af bathymetriske ændringer ved konstruktionsområdet og ændringer i havnelayoutet vil strømhastighederne ændres. Ændringerne i maksimum strømhastighed er størst ved selve konstruktionsområdet samt i områder syd og sydøst for havnen, hvor der vil være ændringer på op til 15 cm/s. Ændringerne i middelstrømhastigheden er under 5 cm/s.

Sammenligningen af bundforskydningsspændingen omkring terminalområdet før og efter konstruktionen viser ingen betydelige ændringer. Da bundforskydningsspændingen er den drivende faktor for erosion og aflejring af naturligt sediment i området, forventes der ikke at være nogen væsentlig påvirkning af sedimenttransporten i området.

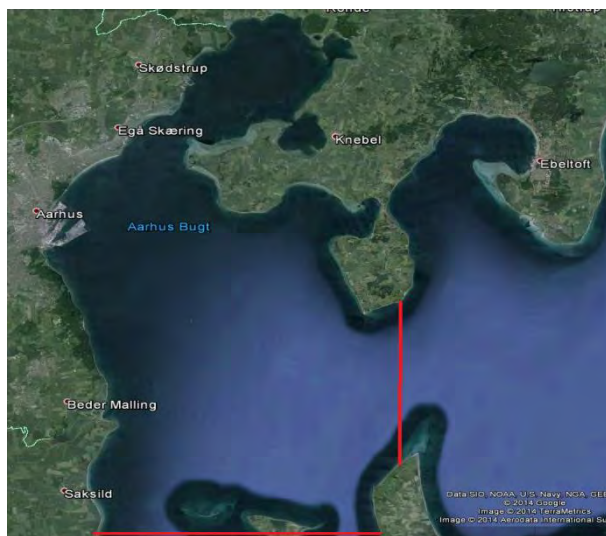
2.2 Sedimentspild

Beregningerne af sedimenttransporten viser spredningen og sedimentationsraten af det spildte materiale under konstruktionsfasen. Generelt vil de lave strømhastigheder med tilhørende variable retninger (pga. cirkulationer og variationer i lagdelingsniveauer) sprede det spildte sediment i alle retninger hvilket vil resultere i en hurtig fortynding af overfladefanen. Derfor vil det, i middel, høje koncentrationsniveau (SSC) kun optræde i nærheden af konstruktionsområdet (Figurer E-1 til E-4).

I sommerperioden overskrides koncentrationsniveauet på 2 mg/l i 4-5 dage ved havnemundingen og ved området syd og øst for konstruktionsområdet op til ca. 600m væk. I vinterperioden er overskridelsen af 2mg/l (op til 4-5 dage) yderligere øget i alle retninger. I nordlig retnings nås kystlinjen langs Risskov, mod øst fortyndes det 1-2 km fra kysten og mod syd mindre end 1km fra konstruktionsområdet (Figurer F1 til F-4). Koncentrationsniveauet på 10mg/l overskrides derimod kun op til en afstand på omkring 500m fra konstruktionsområdet.

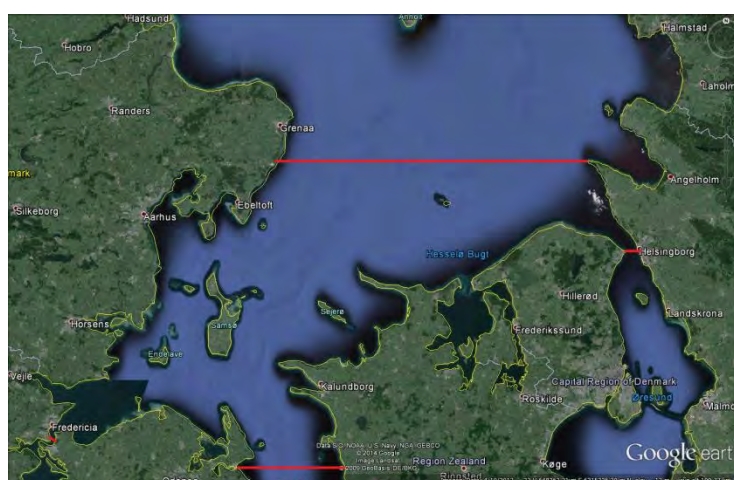
3 Metode

DHI's tredimensionelle numeriske model, MIKE3 FM, er anvendt til at simulere ændringerne i de lokale strømforhold på grund af konstruktionen af den nye færgeterminal samt simulere spredning og sedimentation fra overløbende udgravet materiale under konstruktionsfasen. Det beregningsmæssige domæne inkluderer hele Aarhus Bugt og Kalø Vig. Som vist i Figur 3-1 har modellen to åbne rande. Den sydlige rand er placeret omkring Tunø, og den østlige rand er forbundet til Samsø Bælt. Randbetingelserne i form af vandstand, strømhastigheder, salinitet og temperatur samt vinddata er udtrukket fra en nyere regional DHI model med grovere opløsning.



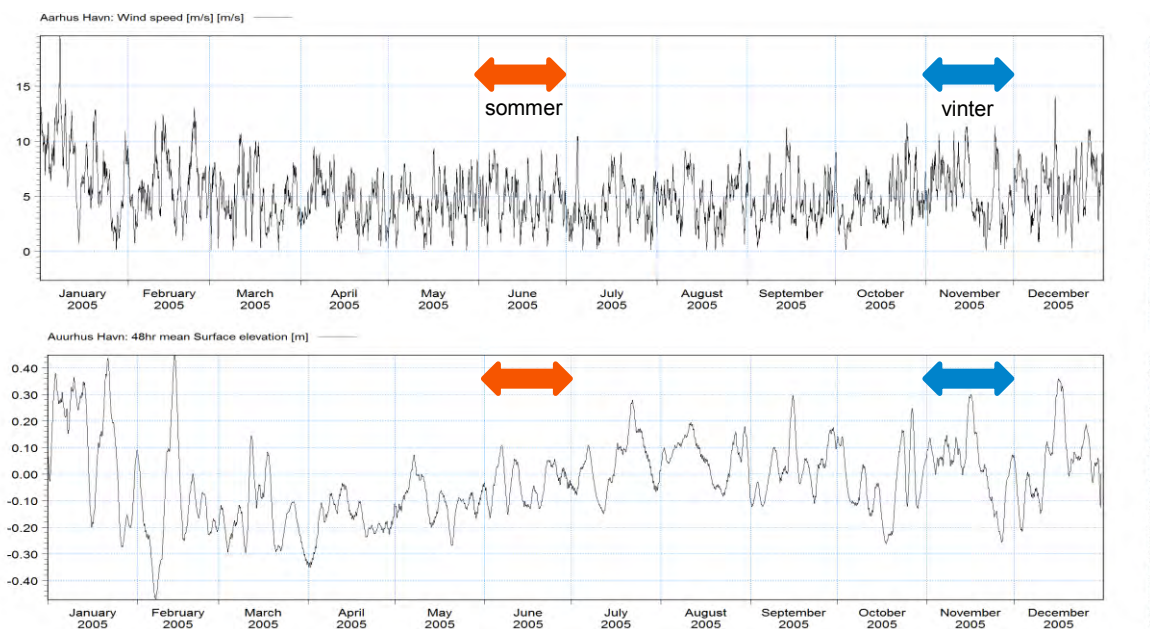
Figur 3-1 Modelområde for den hydrodynamiske model og for sedimenttransportmodellen

Effekten af bølger på sedimenttransport og -spredning er inkluderet i modellen efter beregning af bølgeforhold med en MIKE 21 SW model med grovere opløsning. Som vist i Figur 3-2 dækker SW modellen området fra Kattegat (Djursland-Kullen) i nord til Storbælt i syd. Det er nødvendigt at dække så stort et område for korrekt at bestemme vindbølgerne mod Aarhus Bugt.



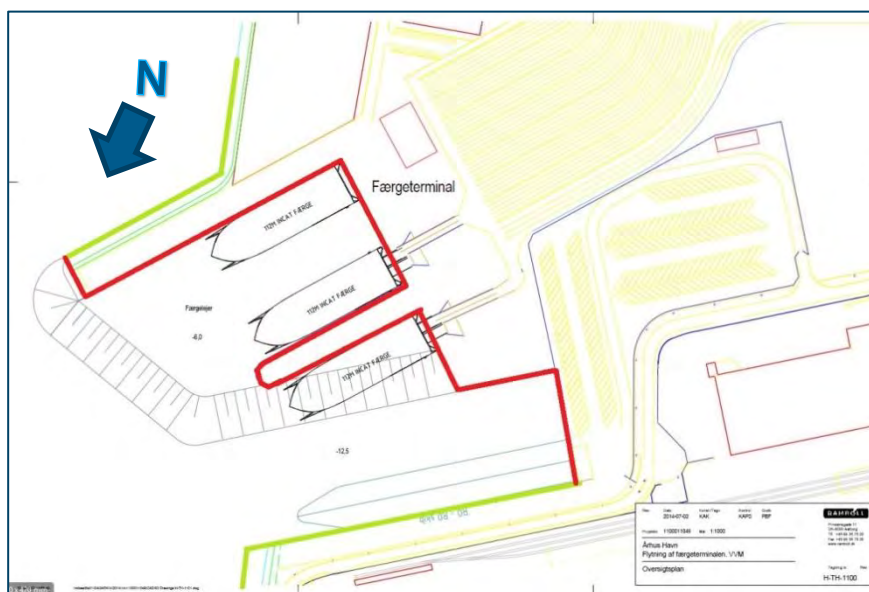
Figur 3-2 Modelområde for SW modellen

Simuleringerne er kørt med to forskellige vejrforhold. En vejrmæssigt stille periode, som skal repræsentere vejrforholdene om sommeren samt en blæsende periode, der skal repræsentere vejrforholdene om vinteren/efteråret. Ud fra tilgængelige data er 2005 valgt som et repræsentativt år med både gennemsnitlige blæsende og stille perioder. På baggrund af vind og vandstandsdata er juni 2005 og november 2005 udvalgt som simuleringsperioder. Figur 3-3 viser vind og vandstand for Aarhus havn for 2005 med de udvalgte perioder markeret.



Figur 3-3 Vindhastigheder (top) og vandstandsvariationer (bund) i Aarhus Havn for et typisk år. De udvalgte simuleringsperioder for de to vejrforhold (stille/blæsende) er markeret med pile

Figur 3-4 viser layoutet af den nye færgeterminal, som er stillet til rådighed af Rambøll. Konstruktionen af den nye færgeterminal kræver udgravning af de nye bassiner og landindvinding af området ved de nye færgelejer. Effekten af det nye layout på de lokale strømforhold samt spredning og sedimentation fra spild under udgravningen/landindvindingen er beskrevet i denne rapport.



Figur 3-4 Layout af den nye færgeterminal. Bemærk at figuren er drejet i forhold til N

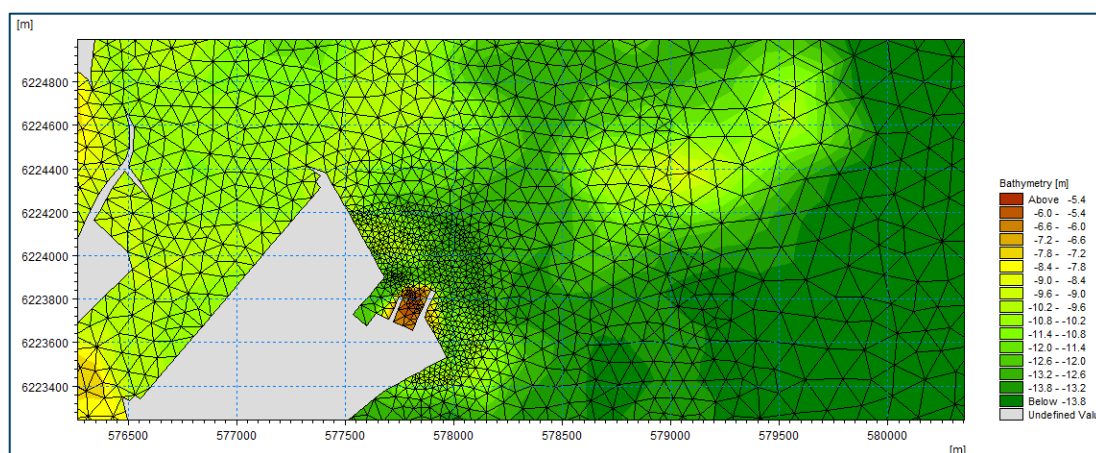
4 Strømningsforhold

4.1 Numerisk model – MIKE 3 FM HD

En 3D hydrodynamisk model er anvendt til at beregne de lokale strøm- og vandstandsvariationer baseret på data fra vind og påvirkning fra de åbne rande. MIKE3 FM modellen (HD modul) med to forskellige vejforhold er anvendt til dette formål. Der er kørt simuleringer med det nuværende layout af havnen og simuleringer, hvor ændringerne (batymetri og havnelayout) fra konstruktionen af den nye færgeterminal er implementeret. Modelresultaterne, der viser ændringerne i de lokale strømforhold og bundforskydningsspændinger på grund af konstruktionen af den nye færgeterminal, er analyseret.

4.2 Modeludformning

Den hydrodynamiske model dækker et område på omkring 15 km x 30 km med en maksimal dybde på ca. 35 meter. Det horisontale net består af ustrukturerede beregningsceller med varierende størrelser. Det vertikale net er en kombination af sigmalag og z-lag. Det vertikale net består af 13 sigmalag, der dækker de øverste 13 meter af vanddybden, og op til 10 z-lag der dækker resten af vanddybden. I alt findes der 23 vertikale lag i den dybeste del af domænet. I Figur 4-1 er den del af domænet, der dækker havneområdet, vist til illustration af variationerne i netstørrelsen.

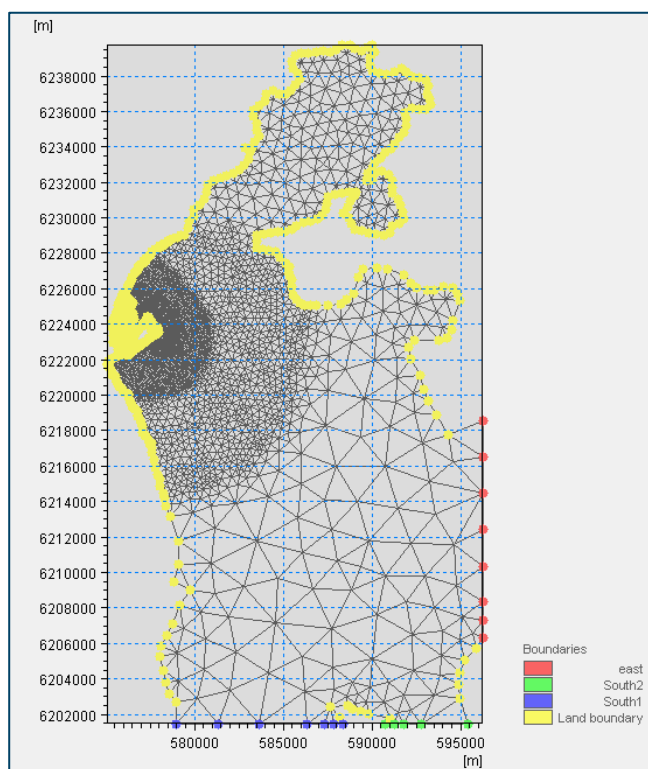


Figur 4-1 Det anvendte beregningsnet (fremtidig situation)

Vindforcering (fra DHIs vind database) er inkluderet. Vandstandsvariationer samt påvirkning af salinitet og temperatur er inkluderet gennem tids- og rumvarierende vandstande, salinitet og temperatur på randene. Modellering af turbulensen er baseret på Smagorinskys formulering for hvirvelviskositeten i det horisontale plan og k- ϵ modellen i det vertikale plan. Bundmodstanden over hele domænet er antaget at have en konstant ruhed på 5 cm.

4.3 Modelgrænser

Den hydrodynamiske model har tre åbne rande, en mod øst og to mod syd (se Figur 4-2). Strøm-, vandstands-, salinitet- samt temperaturvariationerne på randene er taget fra en eksisterende DHI model med grovere opløsning dækkende de indre danske farvande.



Figur 4-2 Modeldomænet og modelrande

4.4 Simuleringer

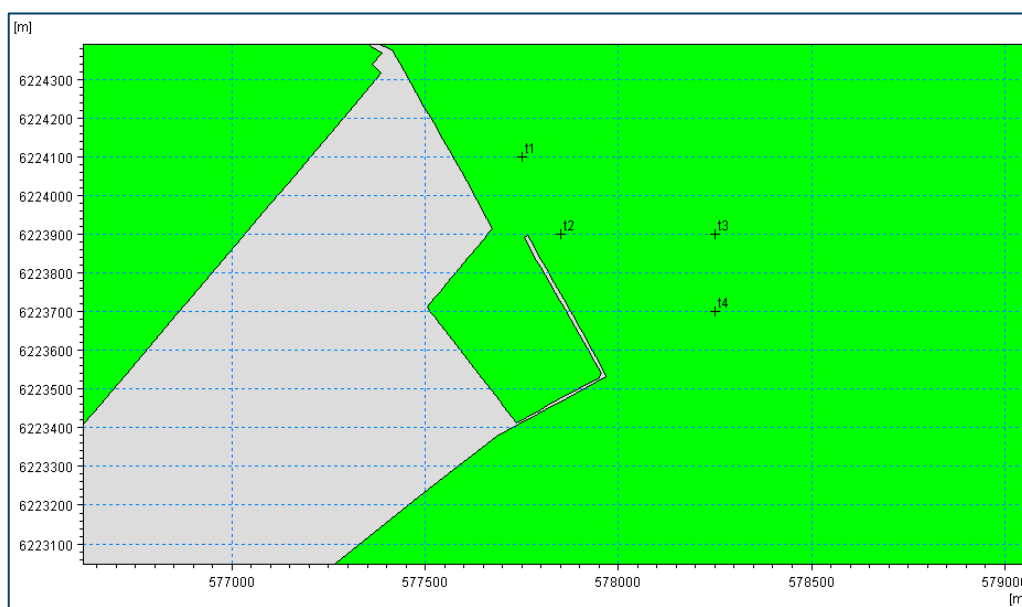
I alt er der kørt fire forskellige simuleringer (se Tabel 4-1). Der er anvendt højere ordens skemaer for tid- og rumdiskretisering i de hydrodynamiske beregninger for at sikre bedst mulig numerisk beskrivelse af eventuelle ændringer i hydrodynamik på grund af den ny havn. Det beregningsmæssige tidsskridt havde et minimum på 0,01 sekunder og et maksimum på 300 sekunder, hvor et CFL kriterie mindre end 0,95 er anvendt. De endelige resultater er udskrevet med et tidsskridt på 30 minutter.

Tabel 4-1 Resumé af de hydrodynamiske simuleringer

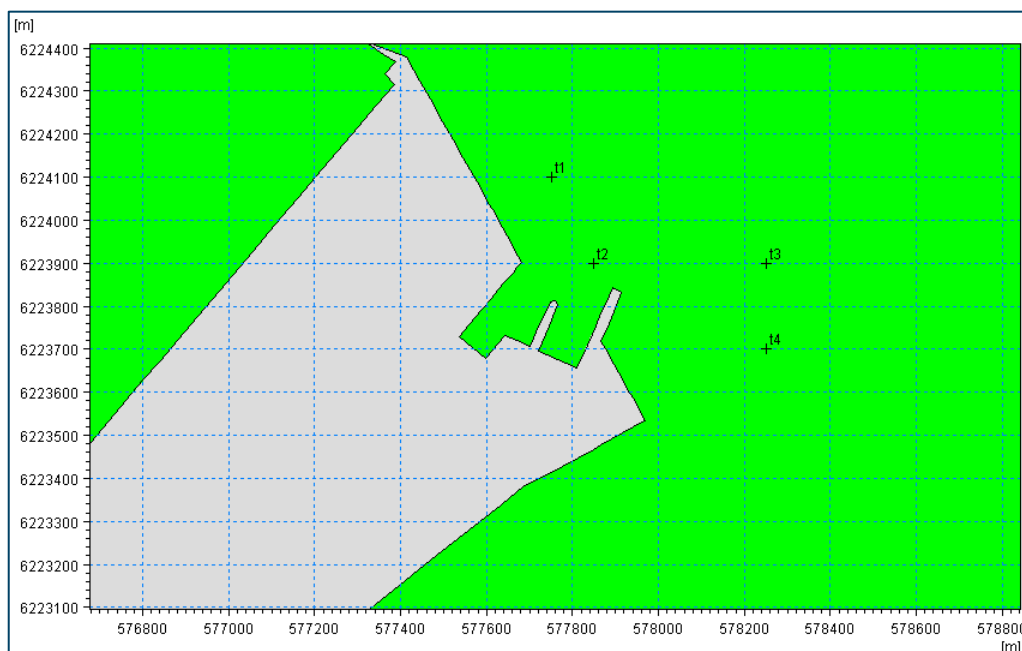
Simulering	Vejrforhold	Havnelayout	Start dato	Slut dato
1	Stille (sommer)	Nuværende situation	01/06/2005	01/07/2005
2	Blæsende (vinter)	Nuværende situation	01/11/2005	01/12/2005
3	Stille (sommer)	Fremtidig situation	01/06/2005	01/07/2005
4	Blæsende (vinter)	Fremtidig situation	01/11/2005	01/12/2005

4.5 Resultat af strømsimuleringer

Fire forskellige punkter, t1-t4, er udvalgt til at undersøge ændringer i strømretninger og strømhastigheder på grund af den nye færgeterminal. Placeringen af de udvalgte punkter i forhold til den nuværende situation og i forhold til den nye færgeterminal er angivet i Figur 4-3 og Figur 4-4. I Appendix A er strømrosediagrammer vist for hvert punkt for situationen både før og efter konstruktionen af den nye færgeterminal.

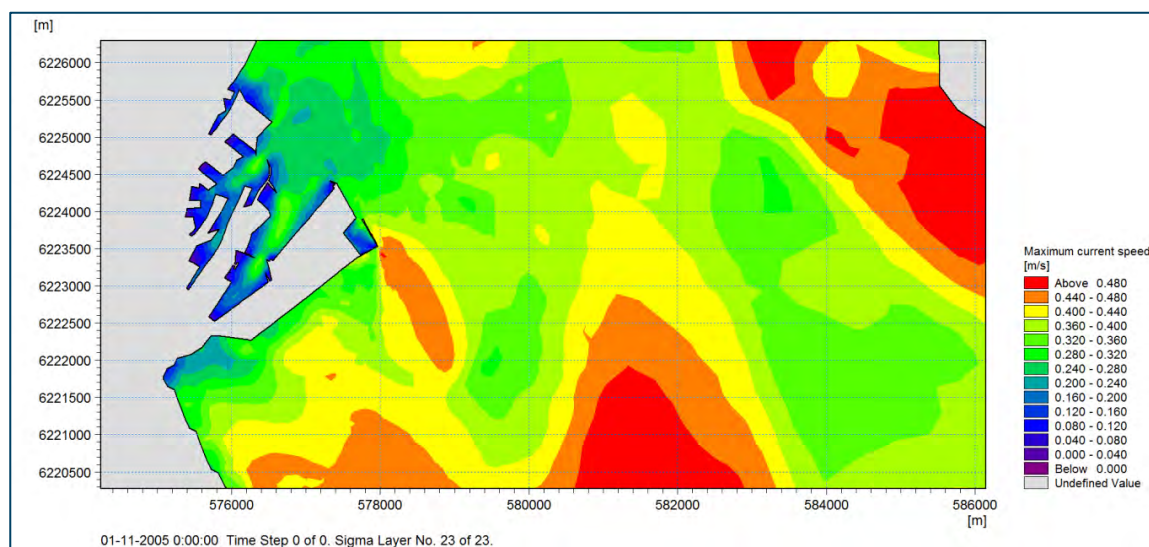


Figur 4-3 Positionen af de punkter, hvor strømmen er udtrukket (nuværende situation)

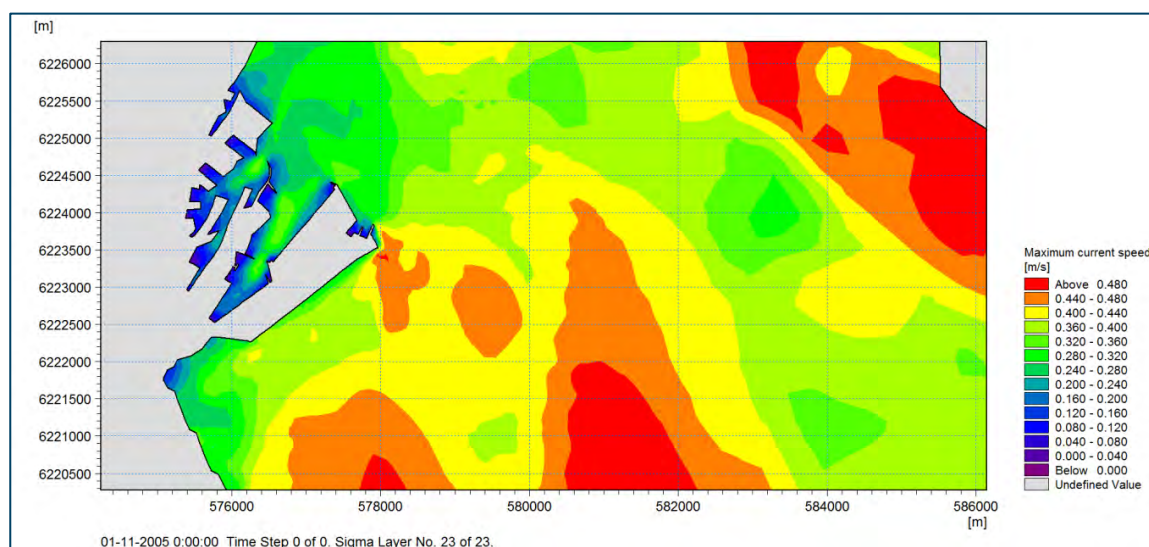


Figur 4-4 Positionen af de punkter, hvor strømmen er udtrukket (fremtidige situation)

Den gennemsnitlige og maksimale værdi af overfladestrømhastighederne over en måned er beregnet for de to vejrforhold før og efter konstruktionen af den nye færgeterminal. Figur 4-5 og Figur 4-6 viser de maksimale strømhastigheder for både den eksisterende havn og den fremtidige havn (for en vinterperiode). Det samlede sæt af figurer findes i Appendix B.



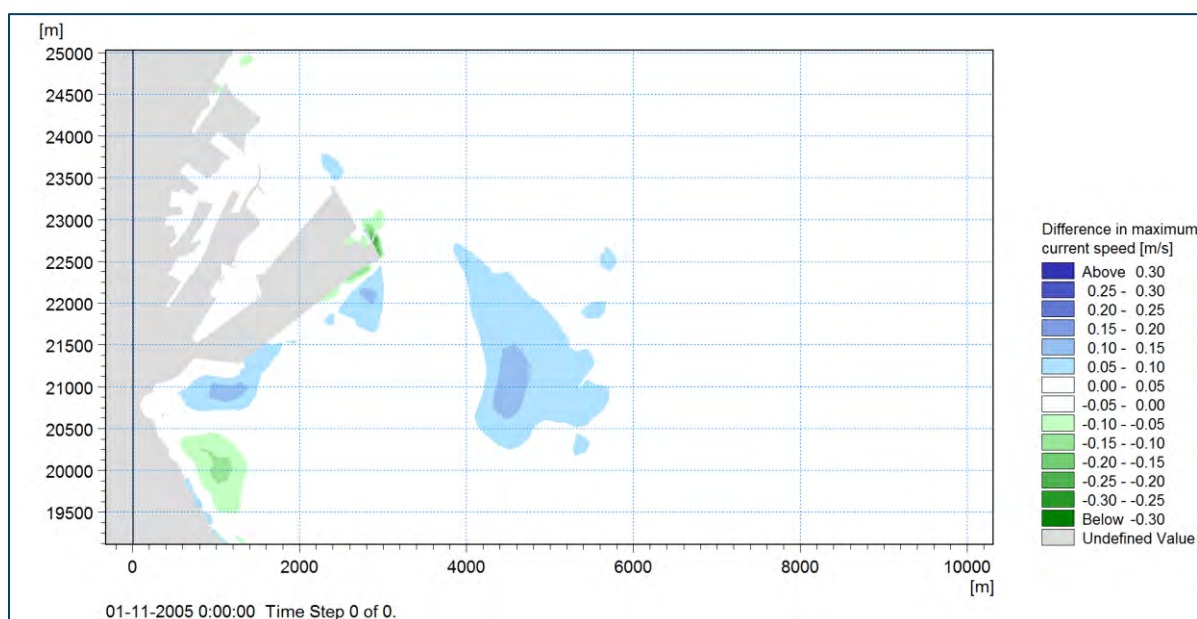
Figur 4-5 Maksimum af strømhastigheder for vinterperioden (nuværende situation)



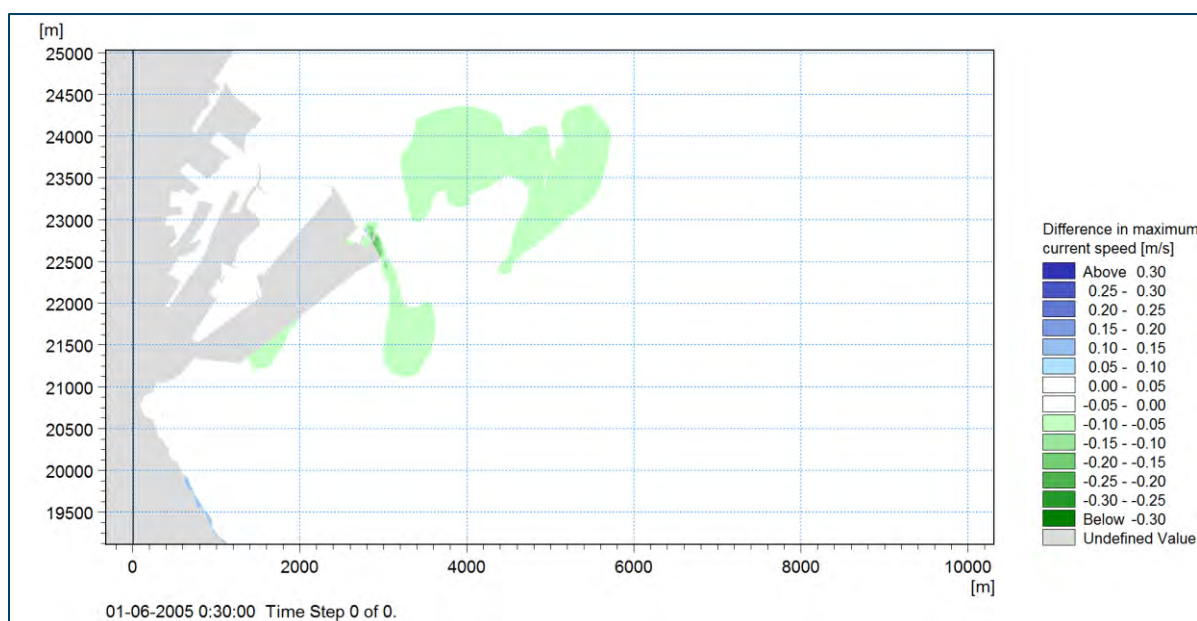
Figur 4-6 Maksimum af strømhastigheder for vinterperioden (fremtidig situation)

Ændringer i maksimum overfladestrømhastigheder efter konstruktion af den nye terminal, er vist i Figur 4-7 og Figur 4-8 (yderligere figurer er vist i Appendix B). Ændringerne er beregnet som maksimal strømhastigheder for den fremtidige situation minus maksimal strømhastigheder for den nuværende situation. Positive værdier svarer derfor til en øget strømhastighed mens negative værdier svarer til en reduceret strømhastighed efter konstruktionen.

Det fremgår, at ændringerne i maksimum strømhastighed er størst ved selve konstruktionsområdet samt i områder syd og sydøst for havnen, hvor der vil være ændringer på op til 15 cm/s. Ændringerne i middelstrømhastigheden er under 5 cm/s.

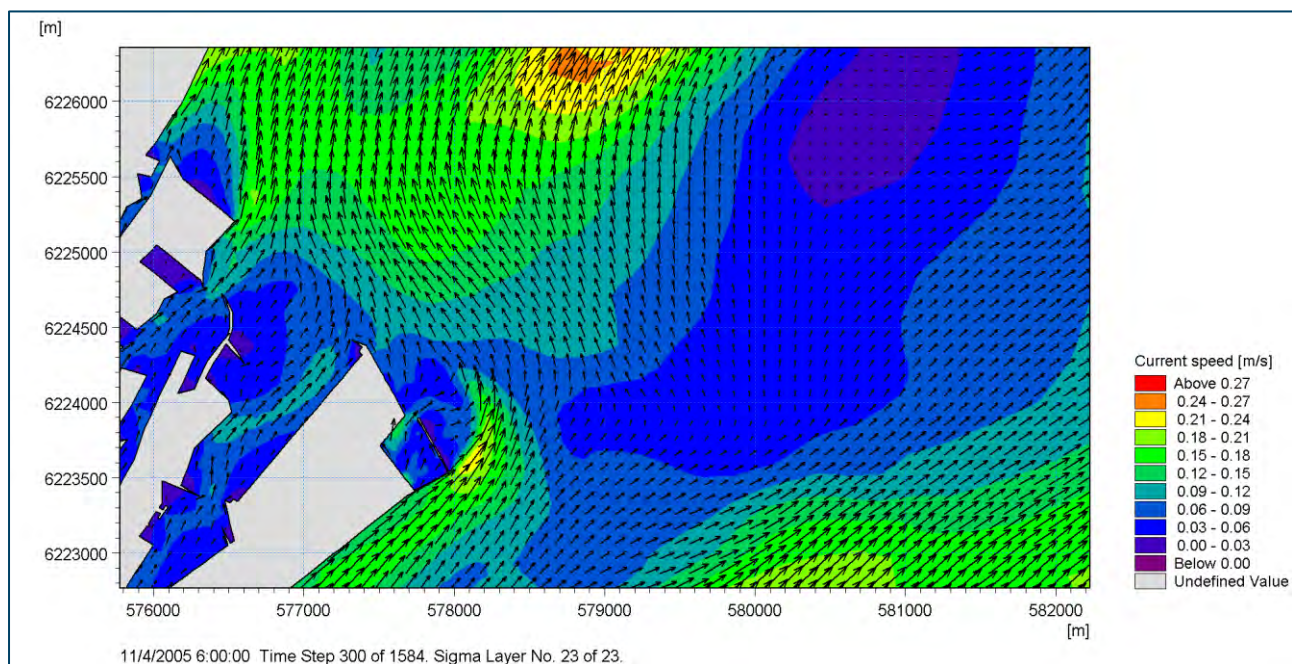


Figur 4-7 Ændring i maksimum af strømhastigheder for vinterperioden

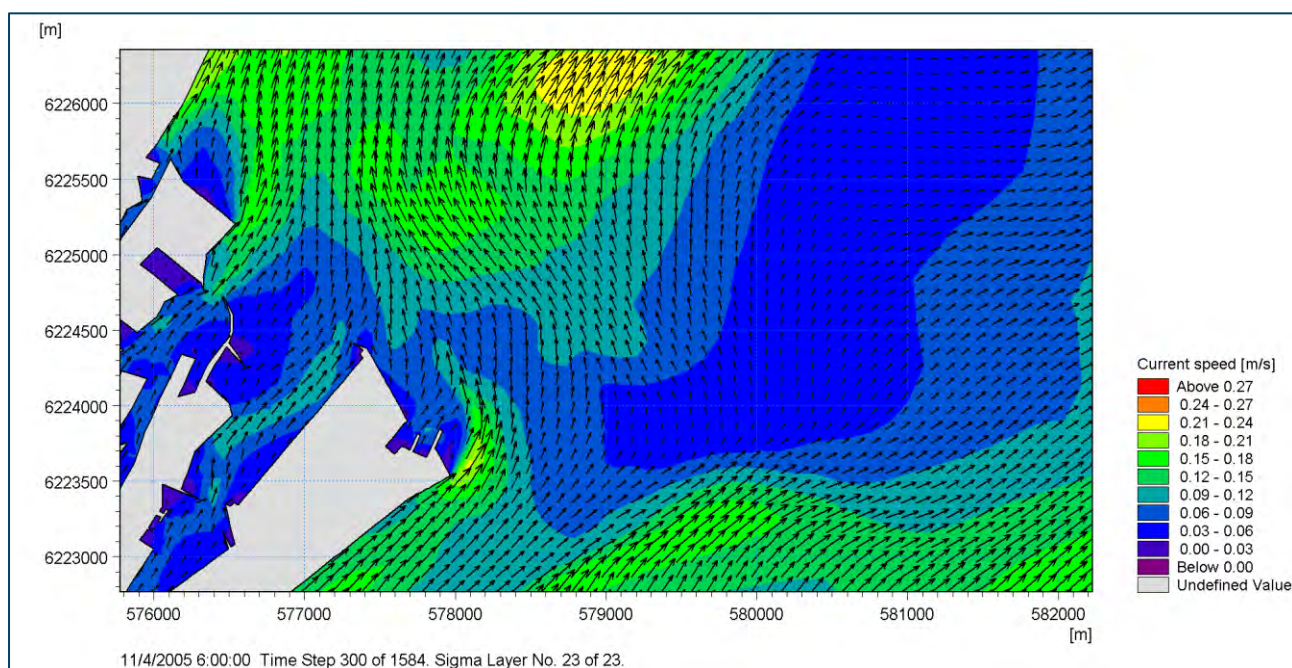


Figur 4-8 Ændring i maksimum af strømhastigheder for sommerperioden

De typiske strømmønstre er vist ud fra få snapshots under hver periode (sommer/vinter) både før og efter konstruktionen af terminalen. Figur 4-9 og Figur 4-10 viser strømmønstrene under en vinterperiode før og efter konstruktionen af terminalen. I Appendix C er vist en komplet serie af snapshots for begge vejrforholdssituationer og layouts.



Figur 4-9 Snapshot af strømhastigheder og strømretninger for vinterperioden (nuværende situation)



Figur 4-10 Snapshot af strømhastigheder og strømretninger for vinterperioden (fremtidige situation)

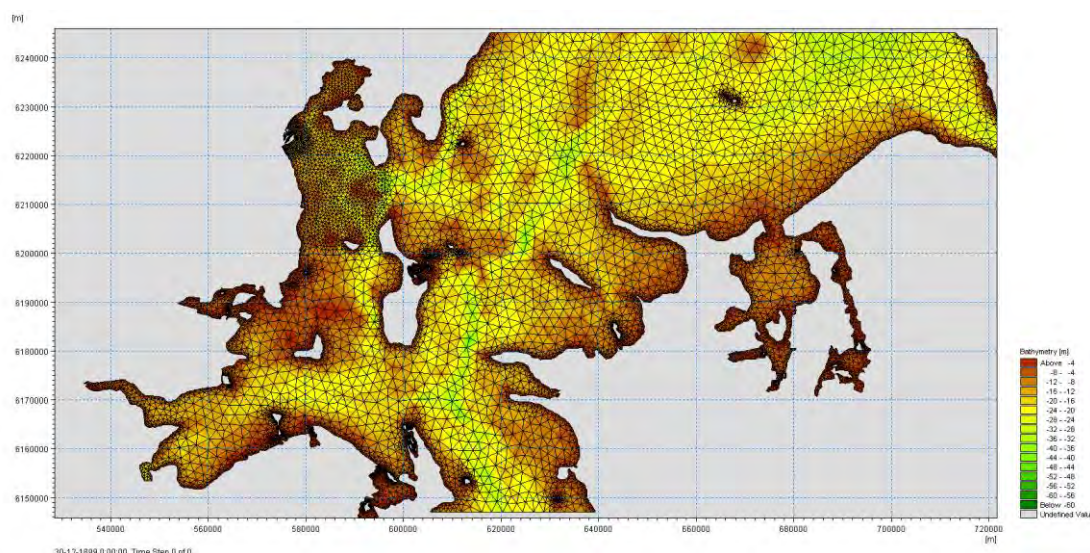
5 Bølgeforhold

5.1 Numerisk model – MIKE 21 SW

En 2D spektral bølgemodel er benyttet til at beregne bølgeklimaet omkring havneområdet. Resultaterne er anvendt som bølgeforcing til transport og spredning i sedimenttransportmodellen. Til dette formål er MIKE 21 SW modellen anvendt under to forskellige vejrforhold. Simuleringerne er kørt med den nuværende havn, og hvor implementeringen af ændringerne (batymetri og havn) på grund af konstruktionen af den nye færgeterminal er medtaget.

5.2 Modeludformning

Bølgemodellen dækker et område på omkring 70 km x 145 km med en maksimum dybde på ca. 60 meter. Det horisontale net består af ustrukturerede celler med fleksible størrelser. I Figur 5-1 er modeldomænet og det ustrukturerede fleksible net vist.



Figur 5-1 Domæne og beregningsnet til bølgemodellen

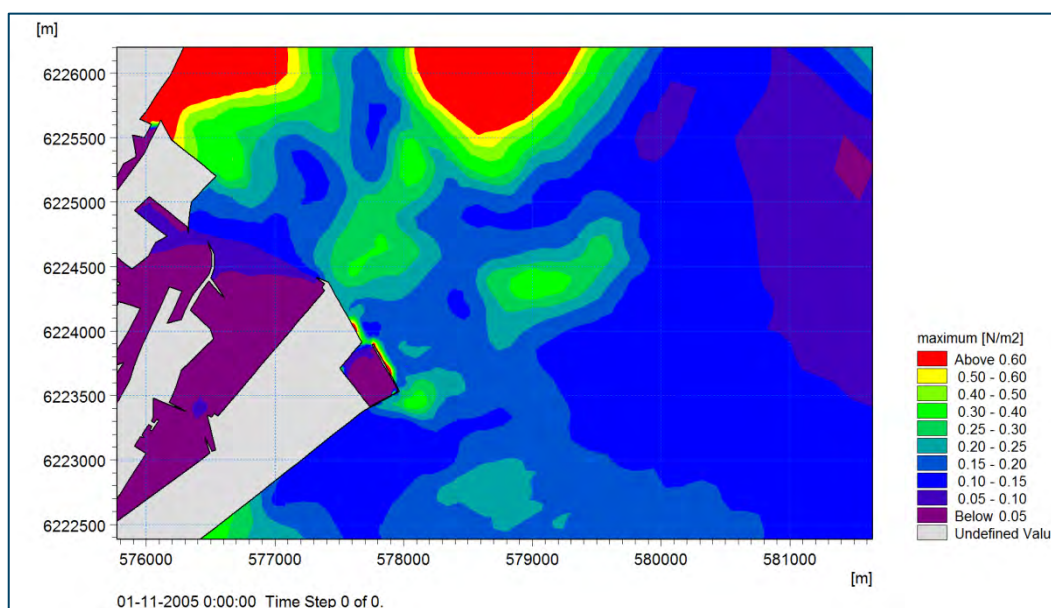
Aarhus Bugt er godt beskyttet fra bølger kommende nordfra og fra Storebælt. Derfor er de bølger, der kommer mod havnen, domineret af bølgerne udviklet i det fri stræk mellem Kattegat og Samsøbælt. Bølger af interesse er udelukkende de bølger, der når havneområdet, og derfor er bølgerne på randene negligeret i modellen (lukkede rande). En fuld spektral metode med ikke-stationær tidsformulering er anvendt.

5.3 Simuleringer

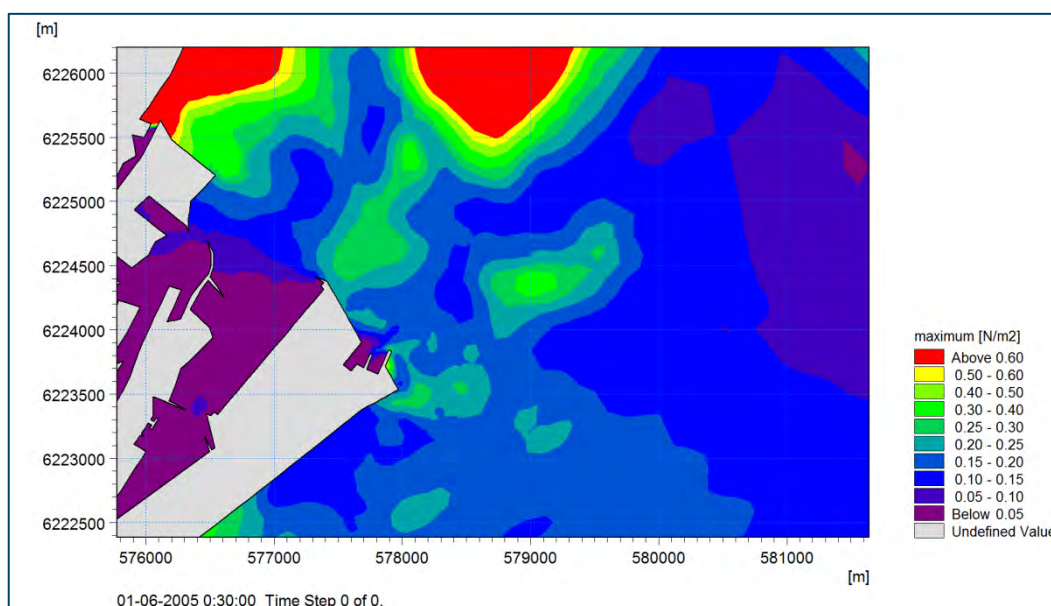
I alt er fire forskellige simuleringer kørt (se Tabel 4-1). Det beregningsmæssige tidskridt er sat til et minimum på 0,01 sekunder. En logaritmisk frekvensdiskretisering af bølgeperioden er anvendt, og retningsdiskretiseringen af bølgerne er 15 grader i en 360 graders rose. Resultaterne er kun anvendt som bølgeforcing til sedimenttransportberegningerne. For yderligere beskrivelse af bølgeforholdene henvises til separat rapport vedrørende bølgeuro (Ref. /1/).

6 Sedimentationsforhold

Bundforskydningsspændingen er den primære parameter til at bestemme sedimenttransporten (erosion/aflejring). Ændringen af havnen influerer potentielt på den lokale batymetri og de hydrodynamiske forhold. For at bestemme effekterne på den lokale sedimenttransport af disse ændringer er det statistiske gennemsnit og maksimum af bundforskydningsspændingen sammenlignet før og efter konstruktionen af den nye terminal, og for de to vejrforhold. Figur 6-1 og Figur 6-2 viser maksimum af bundforskydningsspændingen for vinterperioden for både den nuværende og fremtidige situation. Resultaterne viser, at der ikke vil være nogen væsentlig indflydelse på bundforskydningsspændingen og dermed den naturlige sedimenttransport i området.



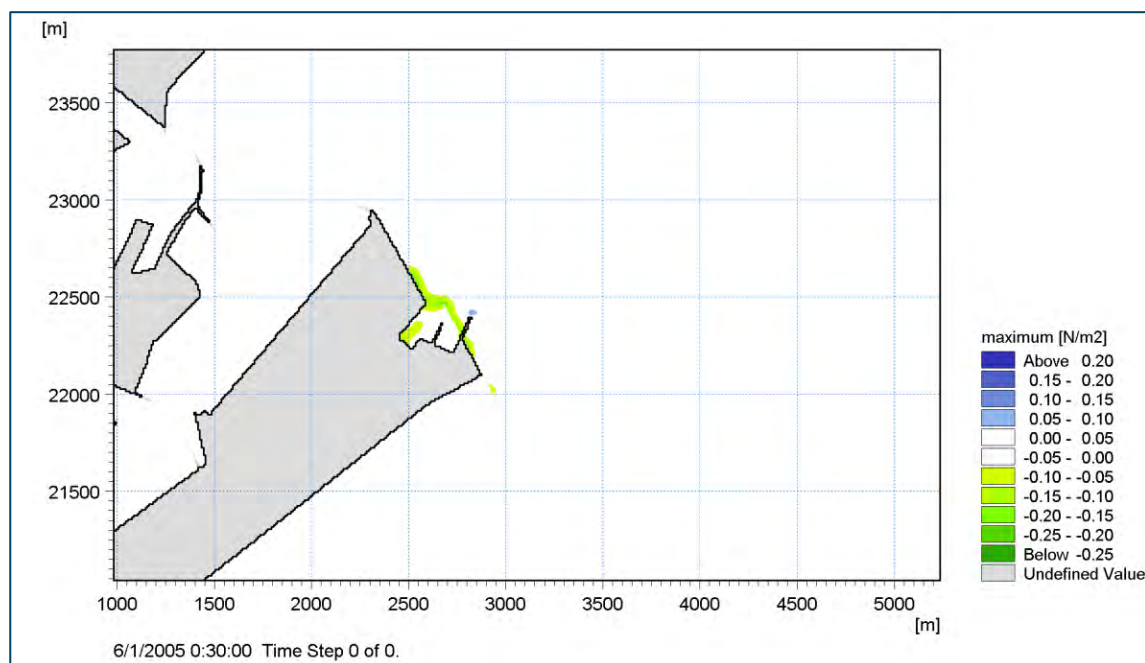
Figur 6-1 Maksimum af bundforskydningsspænding for vinterperioden (nuværende situation)



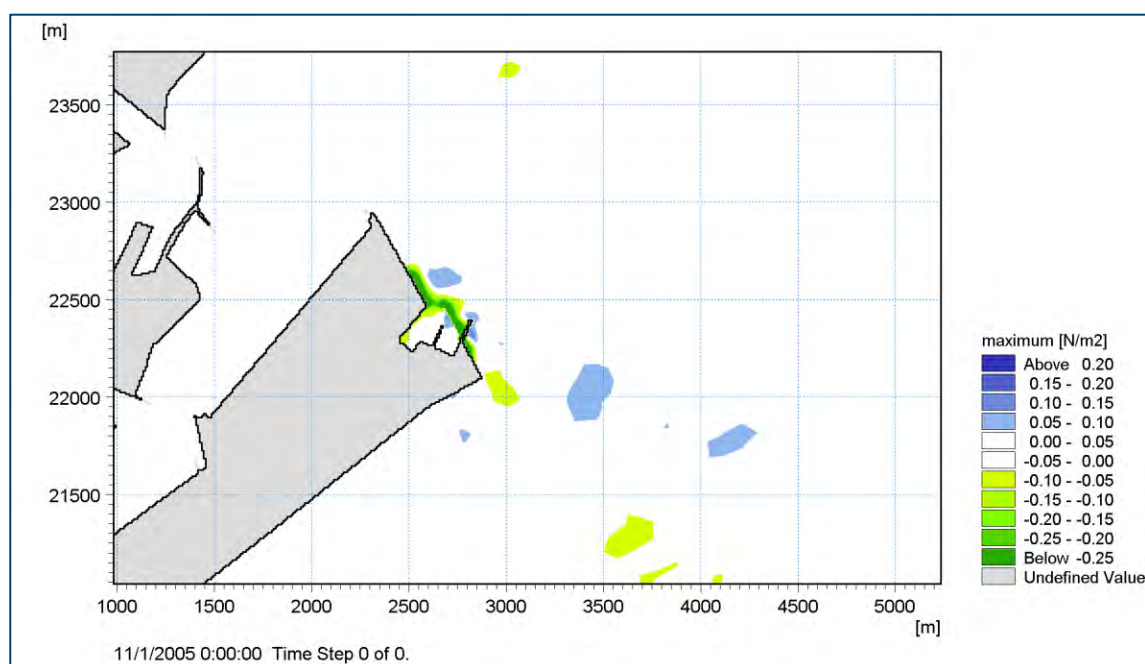
Figur 6-2 Maksimum af bundforskydningsspænding for vinterperioden (fremtidig situation)

I Figur 6-3 og Figur 6-4 er ændringen i maksimum bundforskydningsspænding for hhv. sommer- og vinterperioden vist (fremtidig minus nuværende situation). Det ses, at de største ændringer forekommer ved konstruktionsarbejdet.

I Appendix D er det komplette sæt af figurer vist.



Figur 6-3 Ændring i maksimum bundforskydningsspænding for sommerperioden (fremtidig minus nuværende situation)



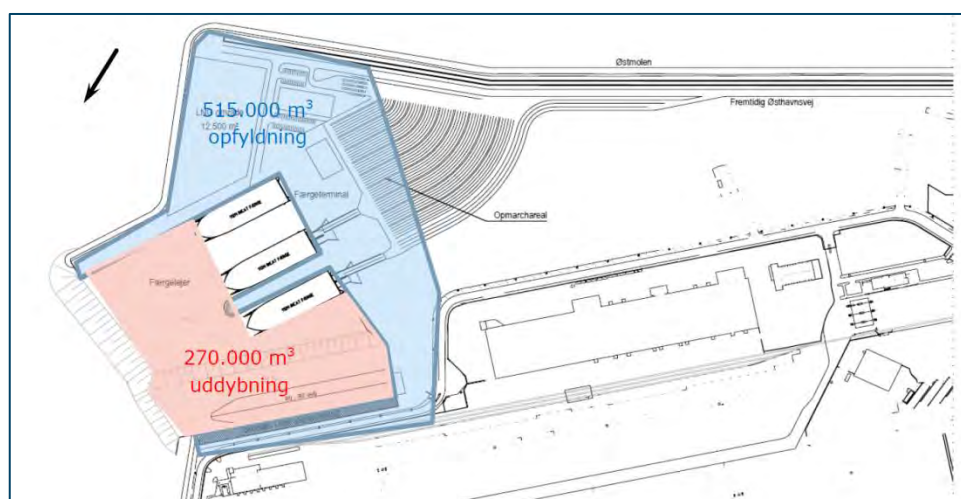
Figur 6-4 Ændring i maksimum bundforskydningsspænding for vinterperioden (fremtidig minus nuværende situation)

7 Sedimentspild i anlægsfasen

7.1 Baggrundsdata

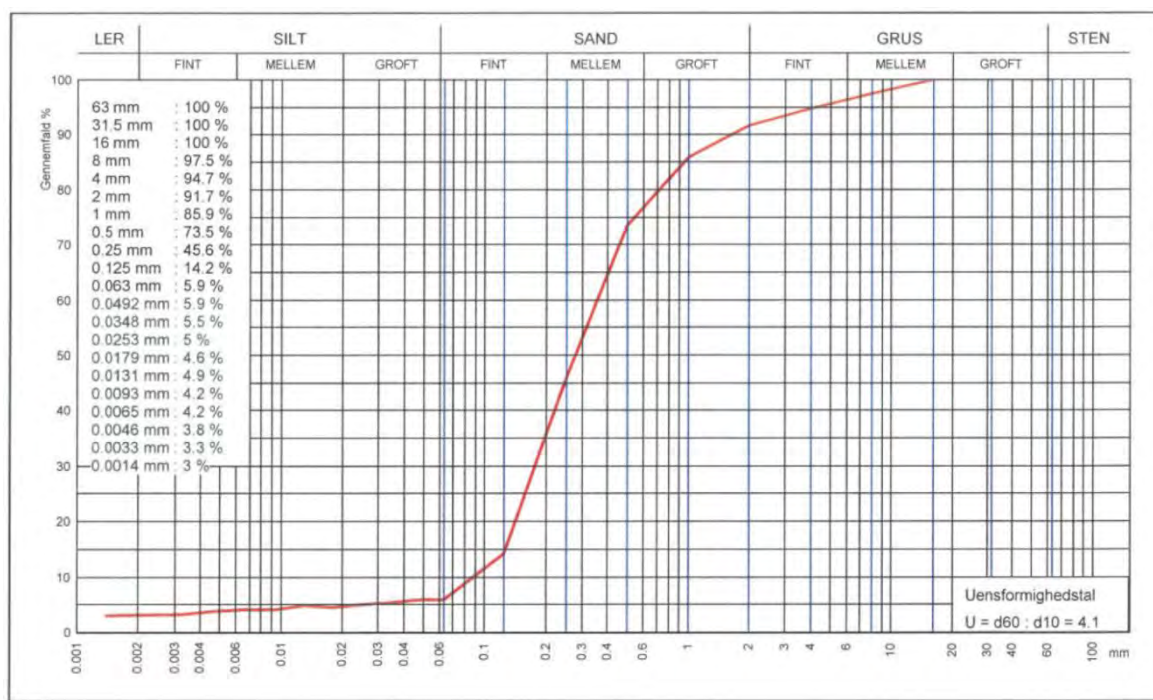
Konstruktionen af den nye færgeterminal involverer både udgravning og landindvinding. Sedimentspild fra udgravning- og landindvindingsarbejdet resulterer i turbiditetsfaner. Bidrag til en VVM-redegørelse (Vurderinger af Virkninger på Miljøet) der belyser intensiteten og omfanget af spild fra udgravningsoperationerne er beskrevet i dette afsnit.

Den følgende beskrivelse af jordbunden, spild karakteristika og udgravningsscenarier er stillet til rådighed af Rambøll. Figur 7-1 viser en skitse af hvorledes anlægget med landindvindingen, den nye færgeterminal (markeret med blå) og uddybningen til det nye bassin (markeret med rødt) tænkes gennemført.

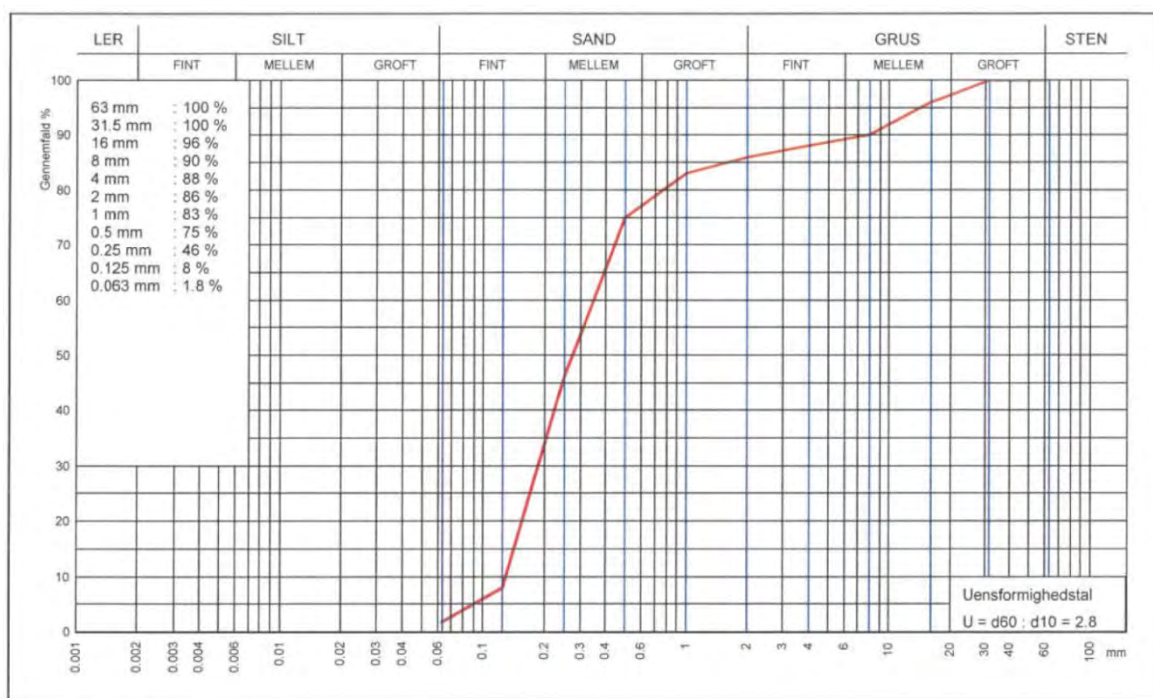


Figur 7-1 Den nye terminal og områder der skal uddybes og opfyldes. Bemærk at figuren er drejet i forhold til N

En sigteanalyse baseret på sedimentprøver fra konstruktionsområdet har vist, at der eksisterer to karakteristiske lag. Det øverste lag (type A) er ca. 20 cm, og det nederste lag (type B) dækker den resterende jordbund ned til den påtænkte vanddybde af det nye bassin. Det øverste lag indeholder mere fint materiale sammenlignet med det nederste lag. I Figur 7-2 og Figur 7-3 ses kornkurverne for de to jordbundstyper.



Figur 7-2 Kornkurvefordeling af jordbundstype A



Figur 7-3 Kornkurvefordeling af jordbundstype B

Som det ses af kornkurverne, kan fire forskellige sedimenttyper bestemmes: Sand, groft silt, fint silt og ler.

Det er antaget at det materiale, der udgraves fra havnebassinet, vil blive anvendt til landindvindingen. Volumen af det udgravede materiale vil dog ikke være tilstrækkeligt til landindvindingen. Det forventes at benytte supplerende materiale (type C) med tilsvarende egenskaber som det, der findes i det dybere lag (type B), men med større mængder af fint materiale (silt og ler). I Tabel 7-1 ses sammensætningen af de tre forskellige jordbundstyper (A, B og C). Faldhastighederne er bestemt ud fra middelværdien i kornstørrelsesintervallerne. Flokkuleringsegenskaberne af de fine partikler (silt og ler) er medtaget ved at benytte Whitehouse et al. (Ref. /3/).

Tabel 7-1 Sedimentegenskaber for de tre jordbundstyper

Sediment	Kornstørrelse (mm)	Jordbundstype			Faldhastighed (m/s)	$\tau_{\text{aflejring}}$ (N/m ²)
		A	B	C		
Sand	> 0,063	94,1%	98,2%	97,0%	0,04320	0,1
Groft silt	0,02-0,063	1,0%	0,3%	0,5%	0,00292	0,1
Fint silt	0,002-0,02	2,0%	0,5%	1,0%	0,00008	0,1
Ler	< 0,002	2,9%	1,0%	1,5%	0,00004	0,1

Udgravningsarbejdet vil blive udført både med bevægende og stationære sandsugere (suction dredgers) med en kapacitet af tørt materiale på op til 10.000 m³/dag. Alternativt vil gravemaskiner med en kapacitet op til 1.000 m³/dag blive anvendt. Der skal i alt udgraves 270.000 m³ i forbindelse med uddybningen af havnen, og der skal anvendes 515.000 m³ til selve landindvindingen.

Det største bidrag af sedimentspild kommer fra overløb fra prammen/skibet. Det grovere materiale vil ofte falde til bunden i prammen (eller indenfor landindvindingsområdet) og sjældent være til stede i den overløbende blanding af vand og sediment. Derfor består den største del af det overløbende spild af de finere fraktioner. For at være på den konservative side er det antaget, at 100% af de fine fraktioner vil blive spildt i det omkringliggende vand, under udgravning og landindvinding. Baseret på den antagne kapacitet af sandsugere/gravemaskiner og den nødvendige volumen af udgravning og landindvinding vil udgravningen af det nye bassin tage ca. 27 dage, hvor det udgravede materiale simultant er aflejret/pumpet ind i landindvindingsområdet. Herefter vil landindvindingsarbejdet tage yderligere 25 dage. Det betyder, at der de første 27 dage vil være spild fra både bevægende sandsugere/gravemaskiner og fra overløb fra landindvindingsområdet. I den anden periode vil der ikke være nogen sandsugere/gravemaskiner, og der vil derfor kun være spild fra landindvindingsområdet.

Volumenet (af tørt materiale) af spildet er beregnet baseret på ovenstående information og antagelser og er i korte træk præsenteret i Tabel 7-2. For flere detaljer, se Ref. /2/.

Tabel 7-2 Sedimentrater i volumen for de to etaper af konstruktionen

		Sedimenttyper		
		A	B	C
Dag 1-27	Spild fra udgravning	10,93 m ³ /dag	86,67 m ³ /dag	0,0 m ³ /dag
	Spild fra landindvinding	10,93 m ³ /dag	86,67 m ³ /dag	0,0 m ³ /dag
Dag 28-52	Spild fra udgravning	0,0 m ³ /dag	0,0 m ³ /dag	0,0 m ³ /dag
	Spild fra landindvinding	0,0 m ³ /dag	0,0 m ³ /dag	300 m ³ /dag

7.2 Numerisk model – MIKE 3 FM MT

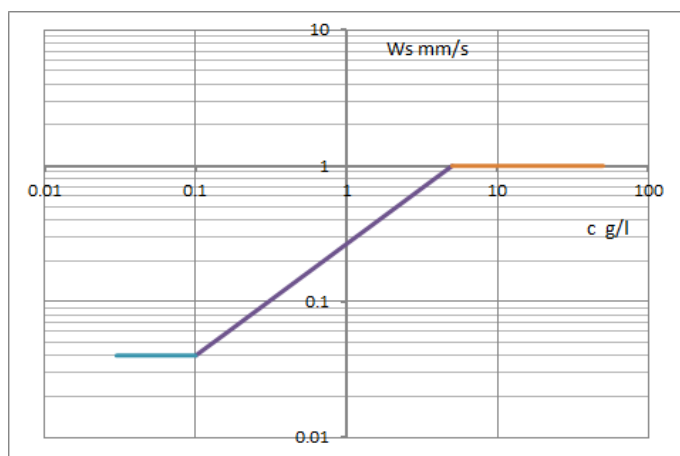
En 3D sedimenttransportmodel (muddertransportmodul, MT, i MIKE3 FM model) er anvendt til at beregne sedimentationen og spredningen af det spildte materiale fra udgravnings- og landindvindingsoperationerne til den nye færgeterminal. Strøm og vandstand er taget fra HD modellen (se Kapitel 4) og bølger er taget fra SW modellen (se Kapitel 5).

7.3 Modeludformning

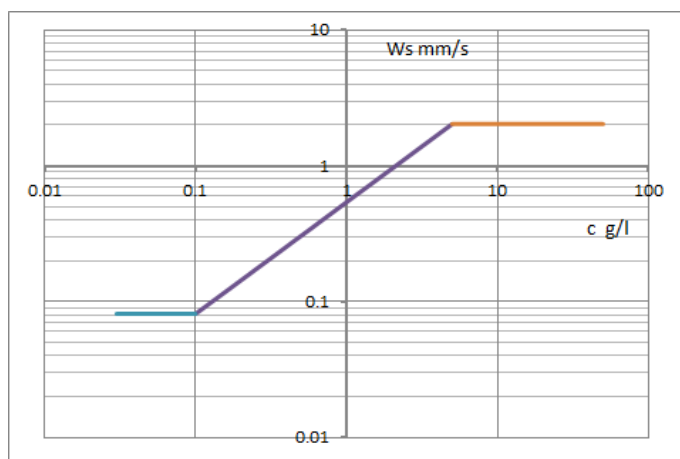
Det samme domæne og beregningsnet (både horisontalt og vertikalt), der er anvendt i den hydrodynamiske model, er også anvendt i sedimenttransportmodellen. Det vertikale net i det nye havneområde består af sigmalag, hvor z-lag er til stede i de dybere dele af domænet. Der er i alt fire forskellige sedimenttyper i området (sand, groft silt, fint silt og ler). Men da de stammer fra tre forskellige jordbundstyper (A, B og C), og for at kunne spore de enkelte konstituenters af hver jordbundstype når de er frigivet, er hver fraktion defineret separat i simuleringerne.

På grund af tilstedeværelsen af fine fraktioner (silt/ler) er flokkuleringsberegninger inkluderet ud fra en koncentration på 0,1 g/l og en øvre grænse på 5 g/l (Whitehouse et al. (Ref. /3/)). Aflejringsraten for hver sedimenttype afhænger af faldhastigheden og den kritiske forskydningsspænding (se Tabel 7-2). Den horisontale og vertikale spredning er skaleret med hvirvelviskositeten, specificeret i den hydrodynamiske model.

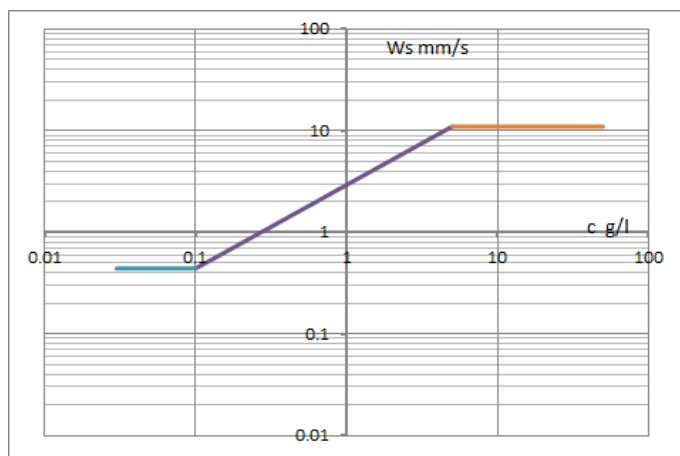
Figur 7-4, Figur 7-5 og Figur 7-6 viser ændringerne, på grund af flokkulering, i faldhastigheder for det fine materiale.



Figur 7-4 Stigning i faldhastighed på grund af flokkulering – ler



Figur 7-5 Stigning i faldhastighed på grund af flokkulering – fint silt.

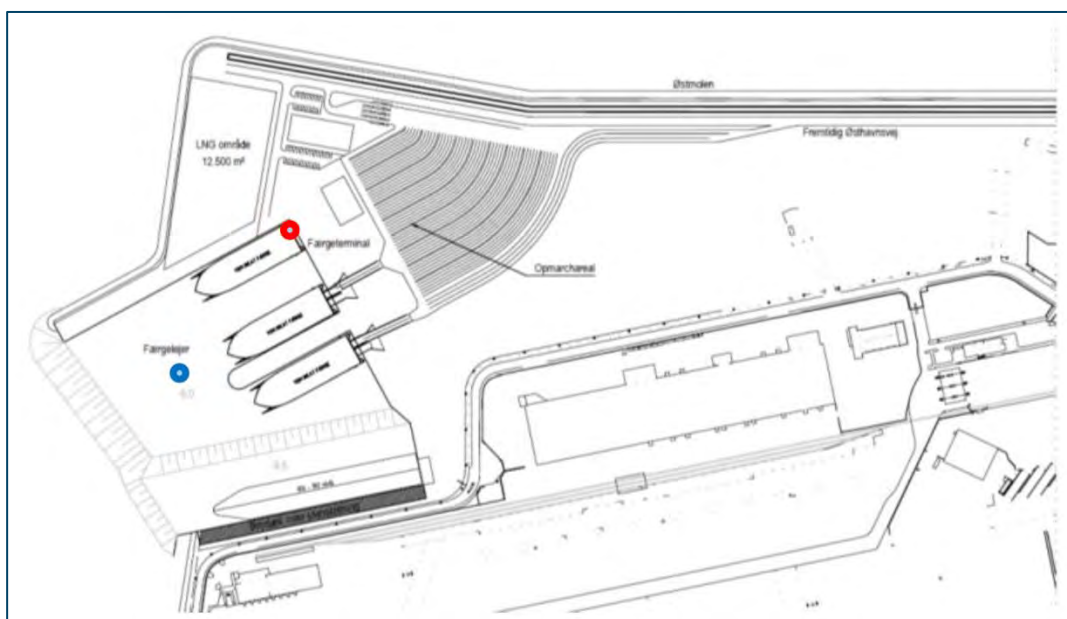


Figur 7-6 Stigning i faldhastighed på grund af flokkulering – groft silt

Som beskrevet i Kapitel 7.3 er der to typer af spildkilder i modellen. En bevægende kilde (blåt punkt i Figur 7-7) som repræsenterer en mobil sandsuger og en stationær kilde (rødt punkt i Figur 7-7), der repræsenterer overløb fra landindvindingsområdet. Beregningerne er baseret på masseraten (kg/s) af det spildte materiale. Derfor er beregnet volumen (Tabel 7-3) konverteret til masse (Tabel 7-4). Densiteten af det udgravede materiale er antaget at have en porøsitet på $e=0,66$, og med en korndensitet på 2650 kg/m^3 er spildintensiteten (kg/s) bestemt.

Tabel 7-3 Sedimentrater i masse for de to etaper af konstruktionen

		Sedimenttyper		
		A	B	C
Dag 1-27	Spild fra udgravning	17,0508 tons/dag	135,2052 ton/dag	0,0 tons/dag
	Spild fra landindvinding	17,0508 tons/dag	135,2052 ton/dag	0,0 tons/dag
Dag 28-52	Spild fra udgravning	0,0 tons/dag	0,0 ton/dag	0,0 tons/dag
	Spild fra landindvinding	0,0 tons/dag	0,0 tons/dag	468 tons/dag



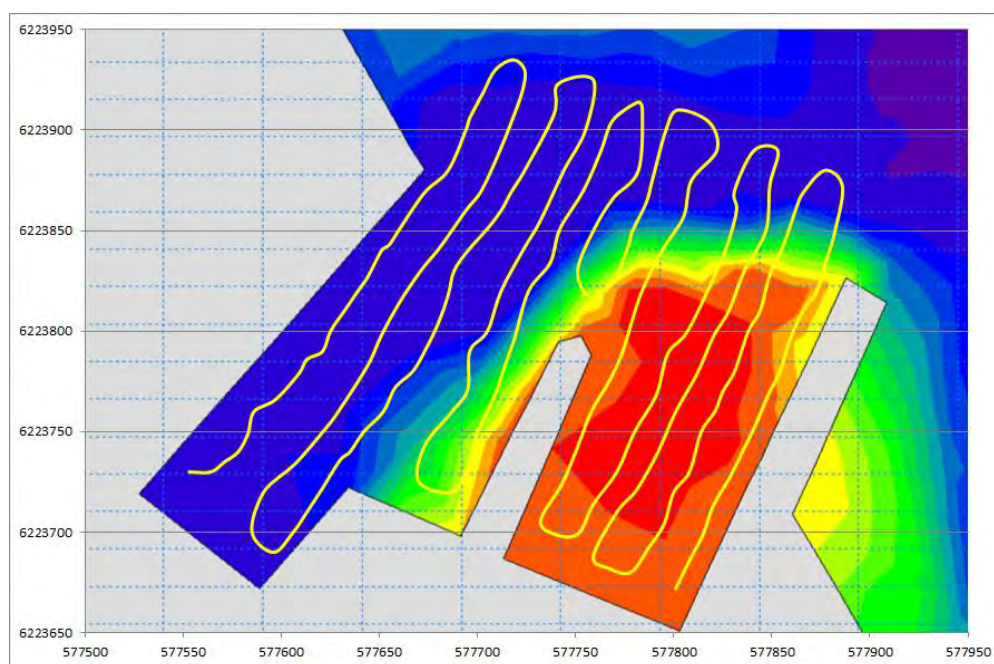
Figur 7-7 Placering af spildkilderne

Konstituenterne af det spildte materiale er beregnet baseret på spildraterne og tilpasning af hver sedimenttype. Tabel 7-4 viser konstituenterne af det spildte materiale i form af procent af den totale spildmasse.

Tabel 7-4 Procent af det totale spild for forskellige sedimenttyper

		A				B				C			
		Sand	Groft silt	Fint silt	Ler	Sand	Groft silt	Fint silt	Ler	Sand	Groft silt	Fint silt	Ler
Dag 1-27	Blå	0%	1,9%	3,8%	5,5%	0%	14,8%	24,7%	49,3%	0%	0%	0%	0%
	Rød	0%	1,9%	3,8%	5,5%	0%	14,8%	24,7%	49,3%	0%	0%	0%	0%
Dag 28-52	Blå	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Rød	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	16,7%	33,3%	50%

Det er antaget, at ruten (spildpunkterne) af den mobile kilde (repræsenterende en mobil sandsuger) er sammenhængende og dækker hele bassinet for en hel simuleringsperiode. Det er antaget, at kilden starter fra sydøst, og at ruten dækker hele området på 27 dage. Ruten (spildpunkterne) som er modelleret kan ses i Figur 7-8.



Figur 7-8 Skitse af spildkildens rute i modellen

7.4 Simuleringer

Simuleringerne for hvert vejrforhold (scenario) er inddelt i to dele. Både mobile og stationære spildkilder er inkluderet i den første del (27 dage), mens anden del (25 dage, som videreførelse af første del) kun inkluderer spild fra en stationær kilde. Det grove silt falder hurtigt til bunden på grund af dets højere faldhastighed, hvorimod de finere fraktioner forbliver i vandsøjlen i længere tid. Derfor er spildet fra de fine fraktioner (silt og ler, type A og B) for første del inkluderet i initialbetingelserne til anden del (simulering 2 og 4 i Tabel 7-5). Der er anvendt højere ordens skemaer for tid- og rumdiskretisering til beregningerne af sedimenttransport og -spredning. Det beregningsmæssige tidskridt følger HD modellen, og resultater er udskrevet hvert 30. minut.

Tabel 7-5 sammenfatter kort simuleringerne. I alt er der defineret 8 fraktioner for hver simulering. For at mindske evalueringen og læsningen af resultatfilerne, er fraktionstyperne også specificerede i Tabel 7-5.

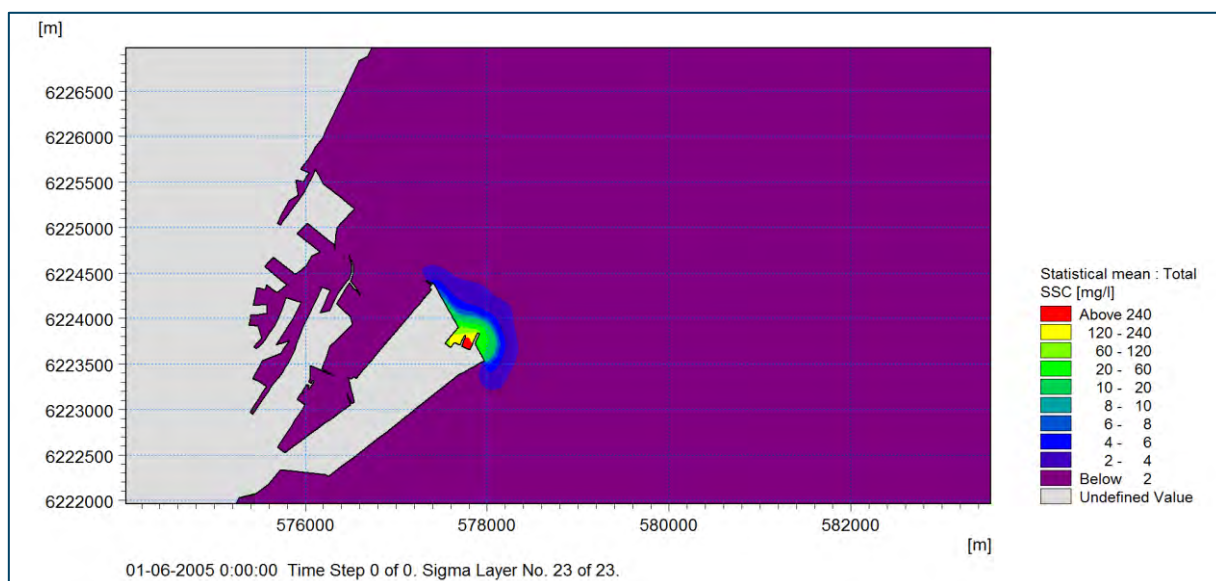
Tabel 7-5 Sammenfatning af spildsimuleringer og definition af fraktioner

Simulering	Vejrforhold	Varighed	Kildetype	Fraktioner	
1	Stille (sommer)	27 dage	Mobil & Stationær	1	Groft silt A
				2	Groft silt B
				3	Fin silt A
				4	Fin silt B
3	Blæsende(vinter)			5	Ler A
				6	Ler B
				7	Sand
				8	Ler C
2	Stille (sommer)	25 dage	Stationær	1	Groft silt C
				2	Fin silt C
				3	Fin silt A
				4	Fin silt B
4	Blæsende(vinter)			5	Ler A
				6	Ler B
				7	Sand
				8	Ler C

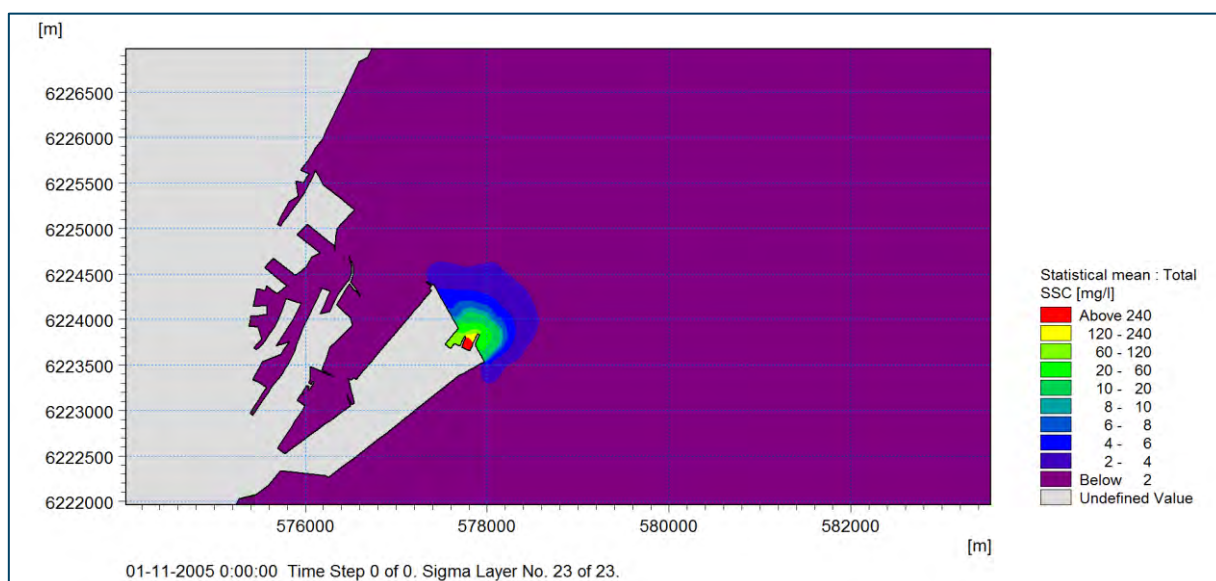
7.5 Resultat af sedimentspildsmodellering

Det tidsmidlede gennemsnit og maksimum af den totale suspenderede sedimentkoncentration (total SSC) er beregnet. Generelt vil de lave strømhastigheder med tilhørende variable retninger sprede det spildte sediment i alle retninger hvilket vil resultere i en hurtig fortynding af overfladefanen. Derfor vil det, i middel, høje koncentrationsniveau kun optræde i nærheden af konstruktionsområdet (Figurer E-1 til E-4).

Figur 7-9 og Figur 7-10 viser middelkoncentrationsniveauerne for sommer- og vinterforhold i den første del af konstruktionsperioden (dag 1-27). Resten af resultaterne er præsenteret i Appendix E.



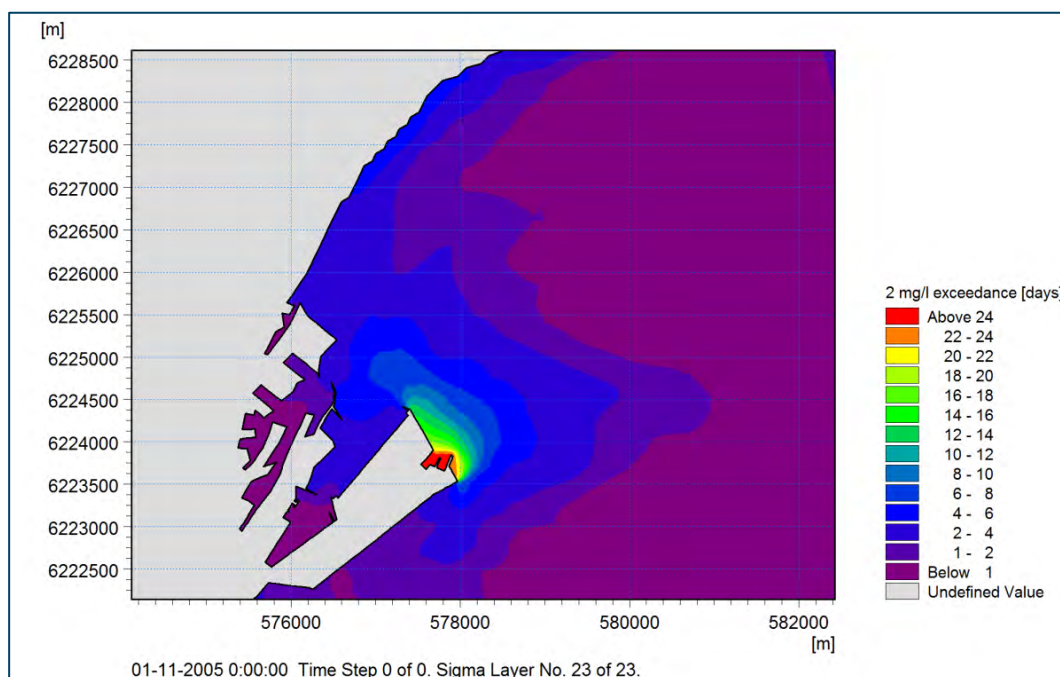
Figur 7-9 Middelkoncentrationer (total SSC) om sommeren (første etape – dag 1-27)



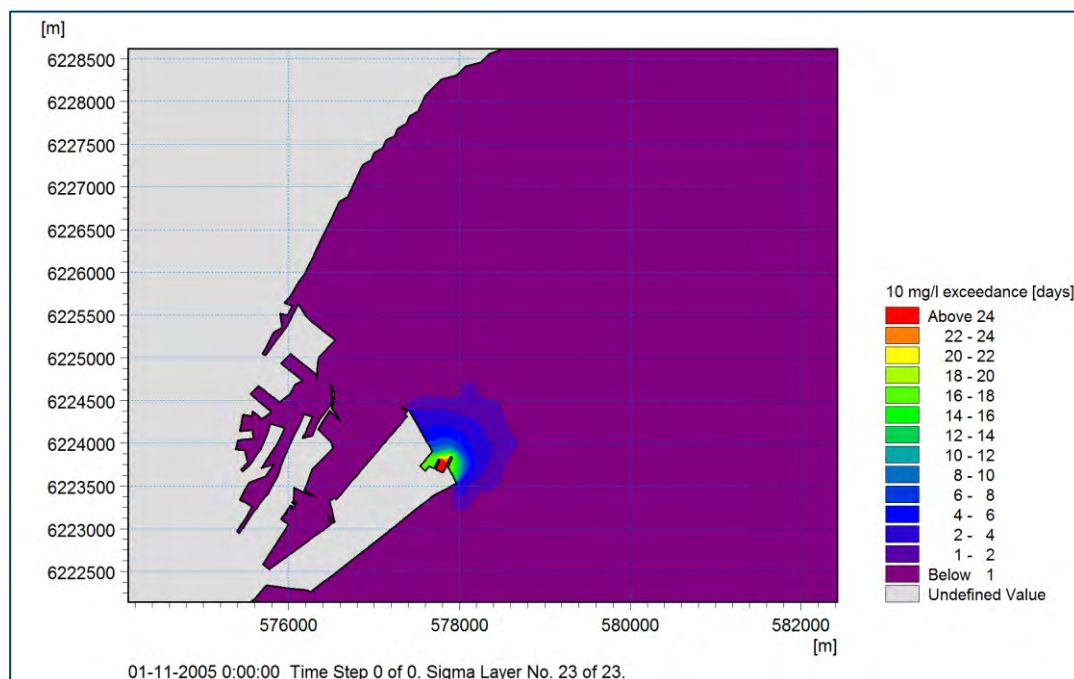
Figur 7-10 Middelkoncentrationer (total SSC) om vinteren (første etape – dag 1-27)

Overskridelsen af koncentrationsniveauerne på 2 og 10 mg/l (prædefinerede niveauer) er bestemt som antal dage, niveauerne overskrides for hver etape. I sommerperioden overskrides koncentrationsniveauet på 2 mg/l i 4-5 dage ved havnemundingen og ved området syd og øst for konstruktionsområdet op til ca. 600m væk. I vinterperioden er overskridelsen af 2mg/l (op til 4-5 dage) yderligere øget i alle retninger. I nordlig retnings nås kystlinjen langs Risskov, mod øst fortyndes det 1-2 km fra kysten og mod syd mindre end 1km fra konstruktionsområdet (Figurer F1 til F-4). Koncentrationsniveauet på 10mg/l overskrides derimod kun op til en afstand på omkring 500m fra konstruktionsområdet.

Figur 7-11 og Figur 7-12 viser overskridelsen af 2 mg/l og 10 mg/l for den første etape (dag 1-27). Figurer for de resterende resultater er præsenteret i Appendix F.

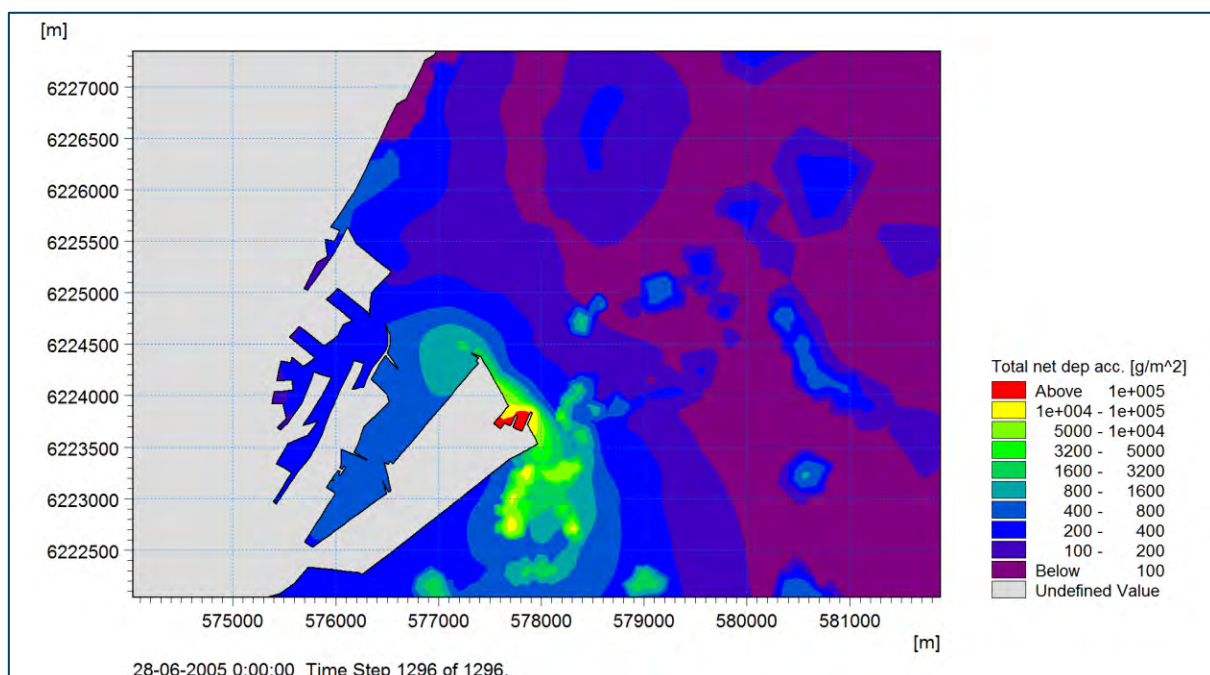


Figur 7-11 Antallet af dage med overskridelse af 2 mg/l (total SSC) om vinteren (første etape – dag 1-27)



Figur 7-12 Antallet af dage med overskridelse af 10 mg/l (total SSC) om vinteren (første etape – dag 1-27)

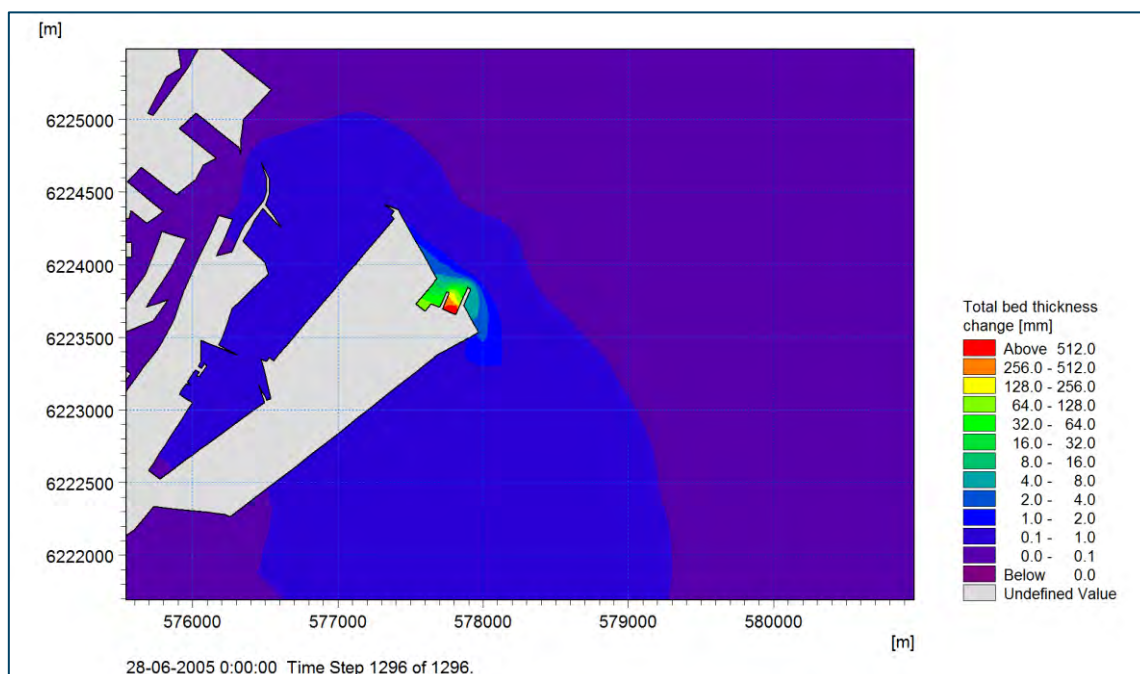
Den akkumulerede aflejring af sediment er beregnet som masse per areal, og resultaterne viser, at i konstruktionsområdet, langs Risskov kyst og i området dækkende Aarhus havnemunding, når den akkumulerede aflejring op mod 10 kg/m^2 . Der er mindre aflejring i vinterperioderne, fordi sedimentet holdes suspenderet i vandsøjlen i længere tid. Nedenfor i Figur 7-13 er den totale net akkumulerede aflejring gennem den første konstruktionsperiode (dag 1-27, hvor bevægende sandsugere/gravemaskiner er i aktion) vist. Øvrige resultater er vist i Appendix G.



Figur 7-13 Aflejring (g/m^2) om sommeren (første etape – dag 1-27)

Den totale aflejring er beregnet som nettoændringen i tykkelsen af bundlaget efter hver simulering. De største ændringer forekommer i umiddelbar nærhed af konstruktionsområdet.

I området syd for havnen og ved havnemundingen er ændringerne mindre end 1mm. De resterende resultater af aflejringen kan ses i Appendix F.



Figur 7-14 Aflejring i form af ændring i bundtykkelsen (mm) om sommeren (første etape – dag 1-27)

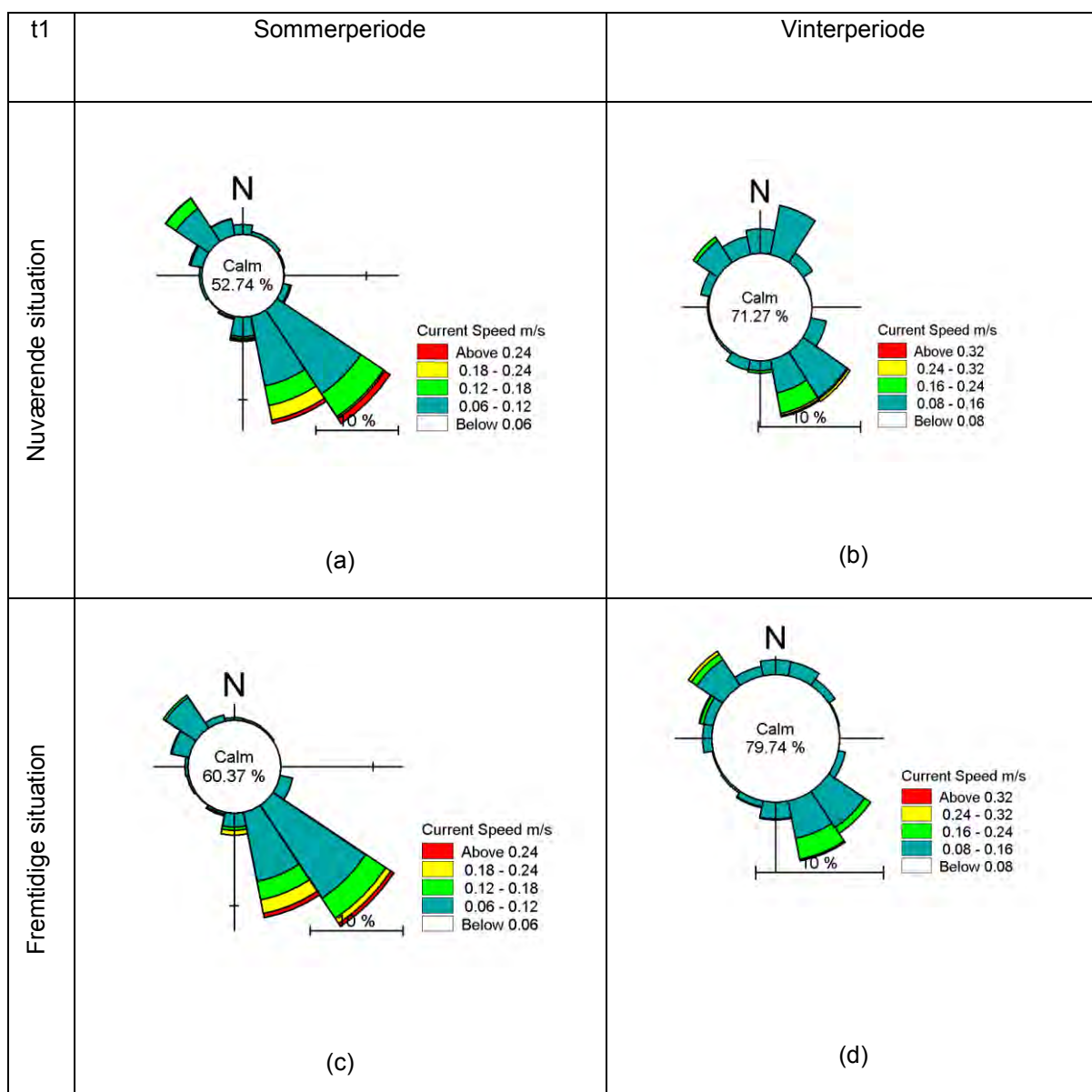
8 Referencer

- /1/ Aarhus havn flytning af færgeterminal, Bølgeuro i ny (2014) udformning af færgeterminalen, 2014, DHI
- /2/ Notat vedr. Forudsætninger for spildscenarier, 2014, Rambøll
- /3/ Whitehouse, R., Soulsby, R., Roberts, W., Mitchener, H., Dynamics of estuarine muds, 2000, HR Walingford Limited

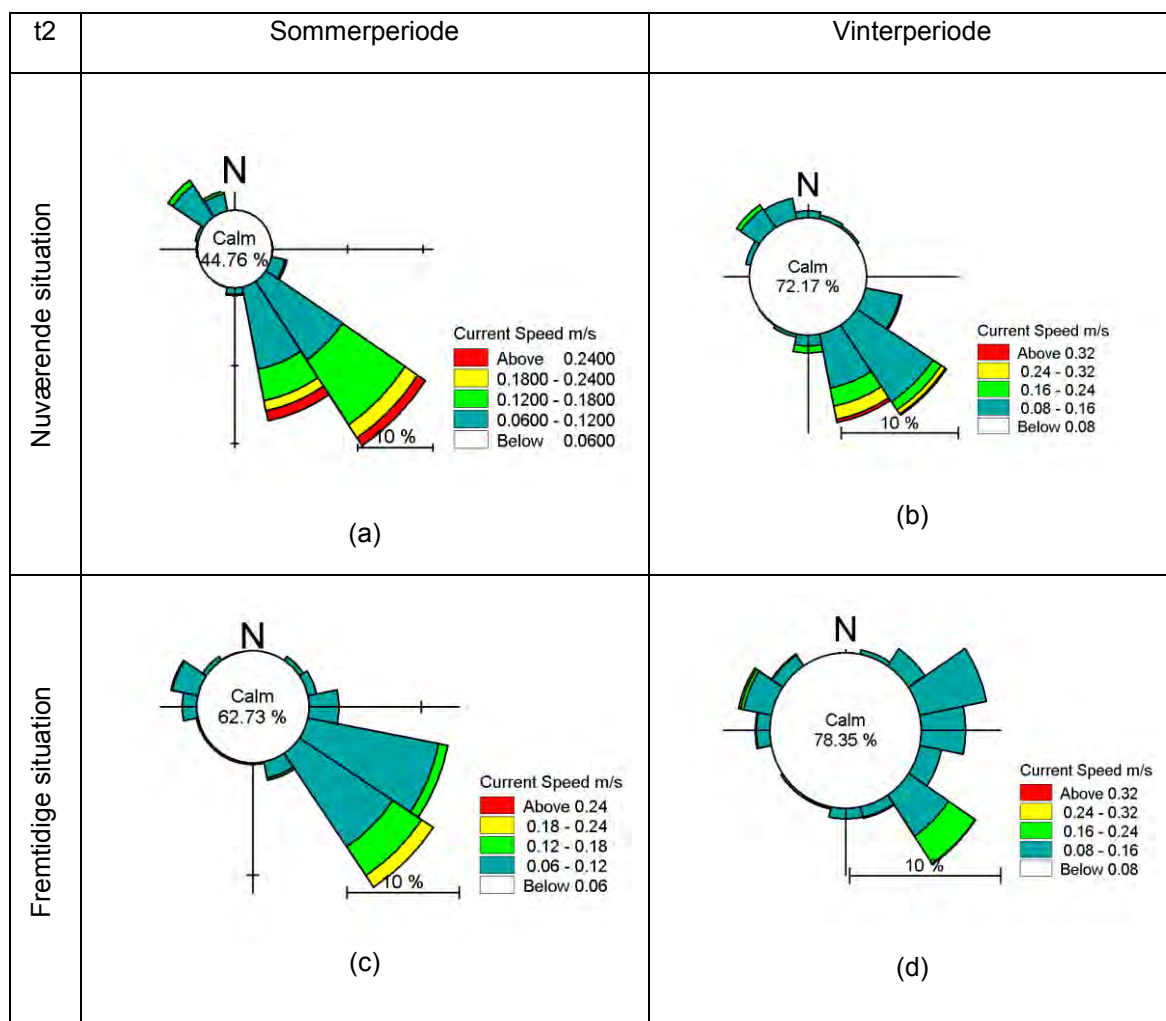
Appendix A

Strømrosediagrammer

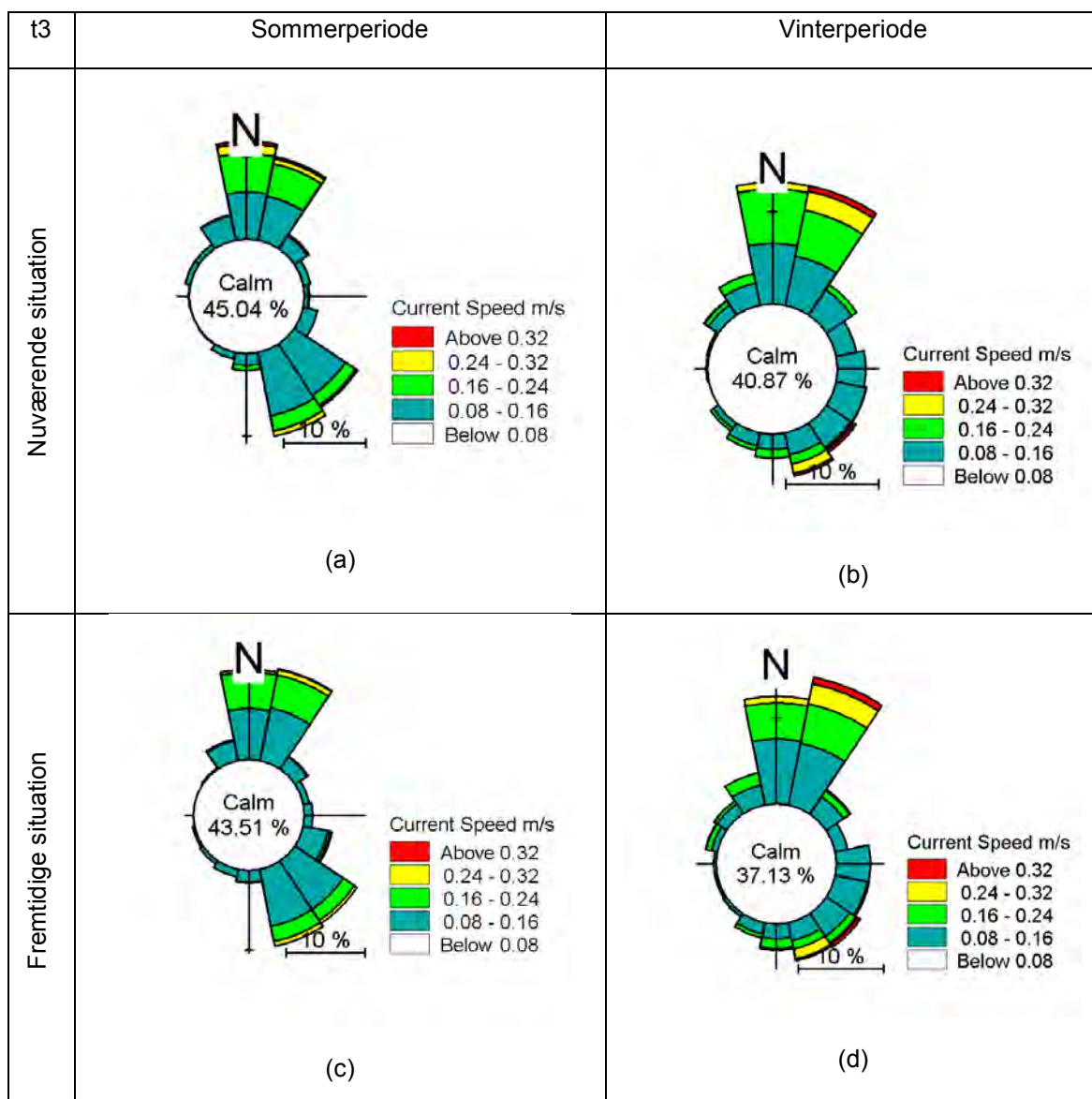
Strømrøsedigrammer er vist for de udvalgte punkter i nedenstående figurer for en sommerperiode og vinterperiode før og efter konstruktionen af den nye havneterminal.



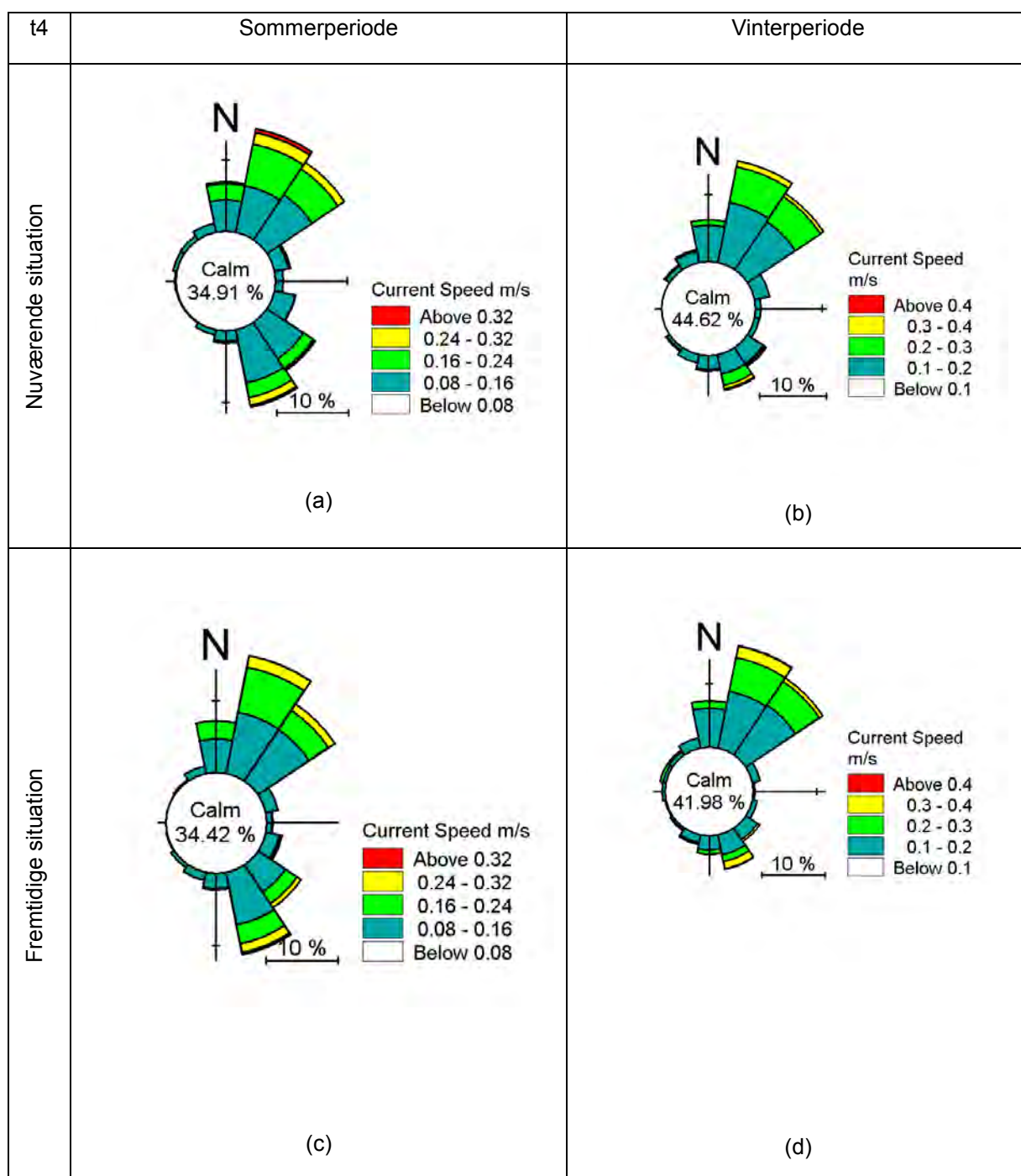
Figur A - 1 Strømrøsedigram [m/s] for punkt t1



Figur A - 2 Strømrosediagram [m/s] for punkt t2



Figur A - 3 Strömrosediagram [m/s] for punkt t3

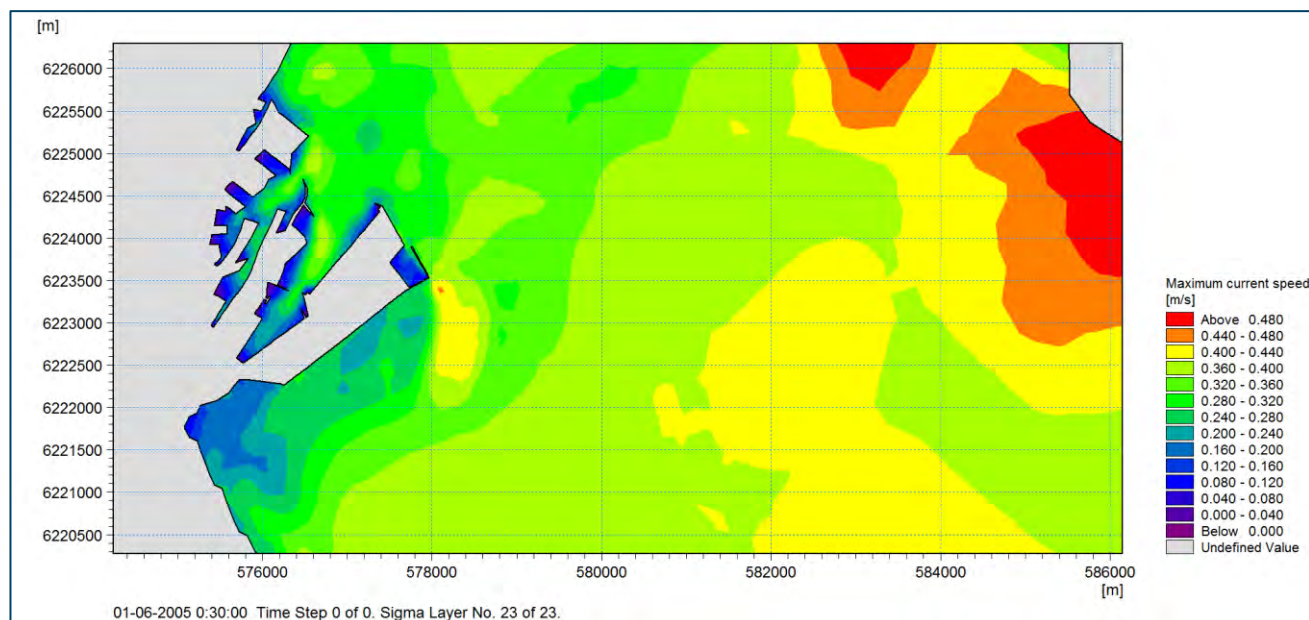


Figur A - 4 Strømrosediagram [m/s] for punkt t4

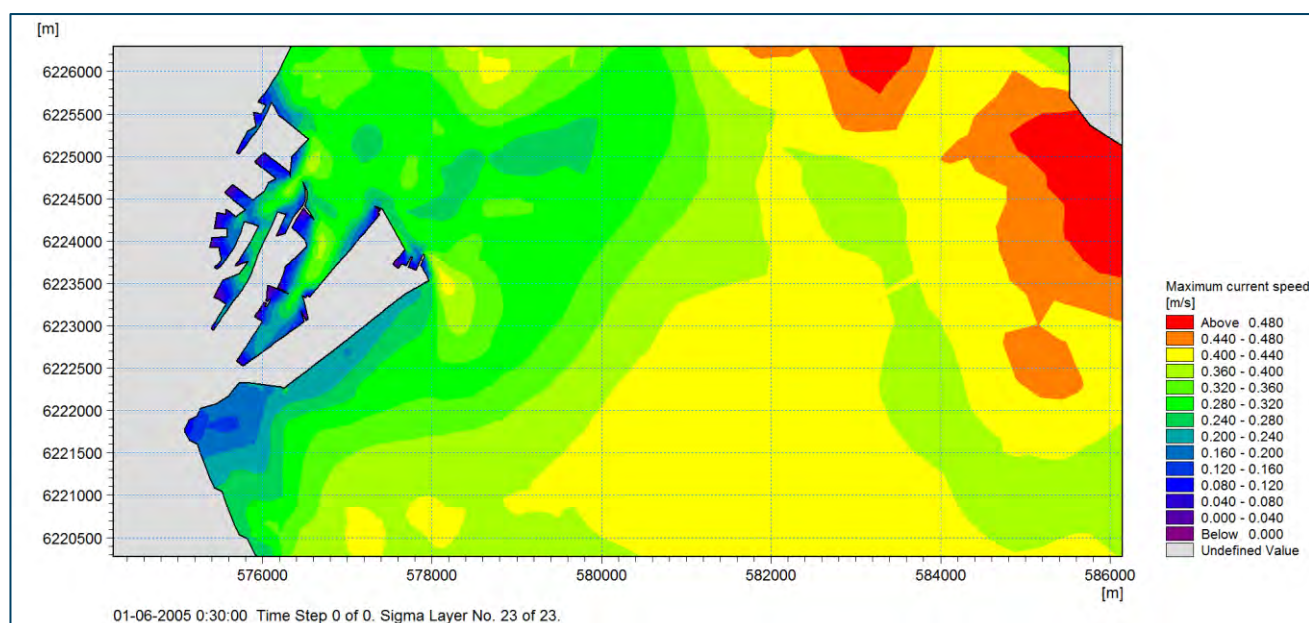
Appendix B

Statistik af strømhastigheder

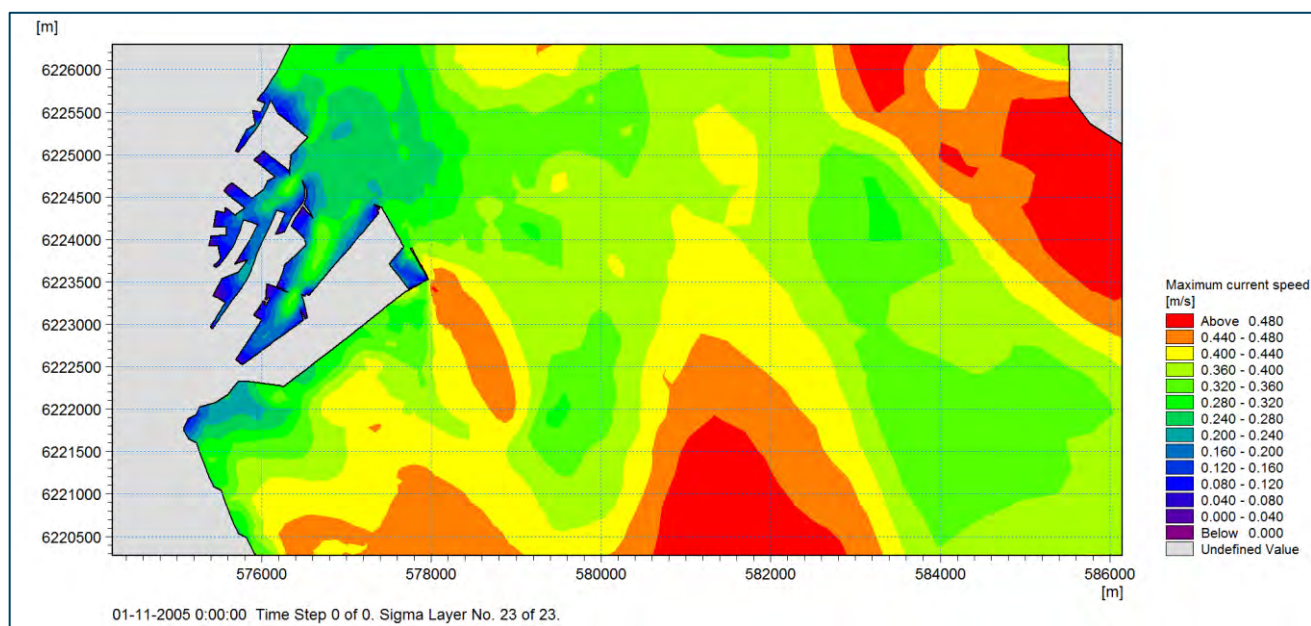
Gennemsnit og maksimum af strømhastigheder over en måned for både den nuværende og fremtidige situation er vist i nedenstående figurer for de to vejrforhold.



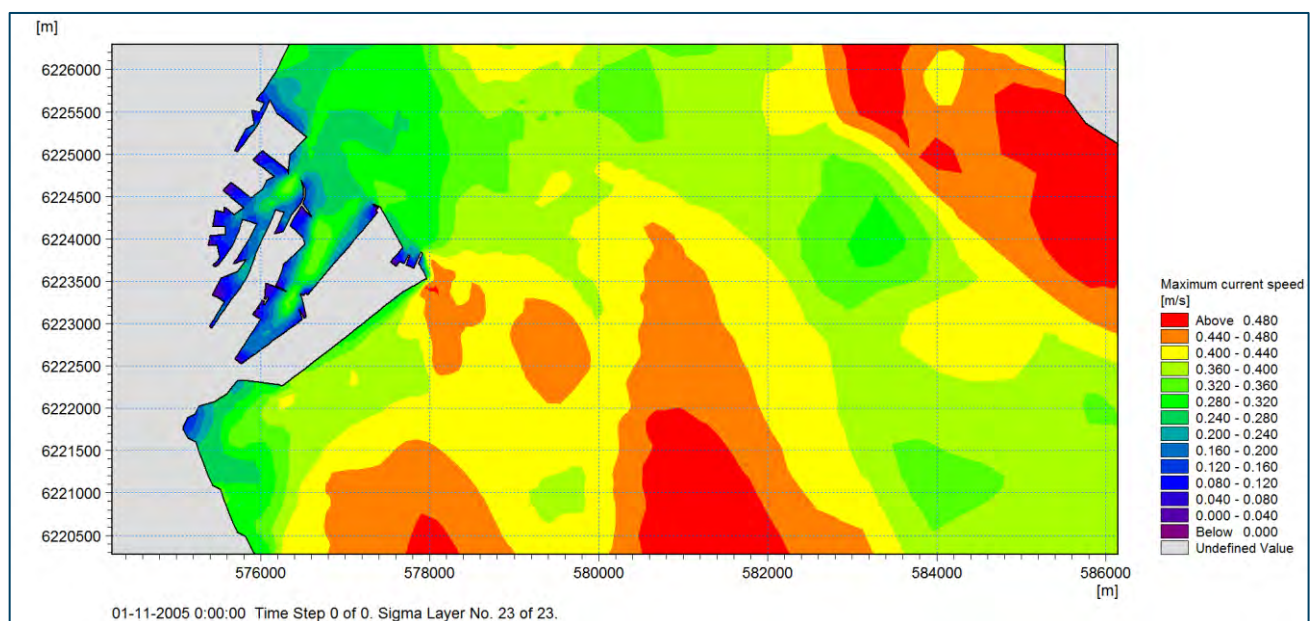
Figur B - 1 Maksimum af strømhastigheder for sommerperioden (nuværende situation)



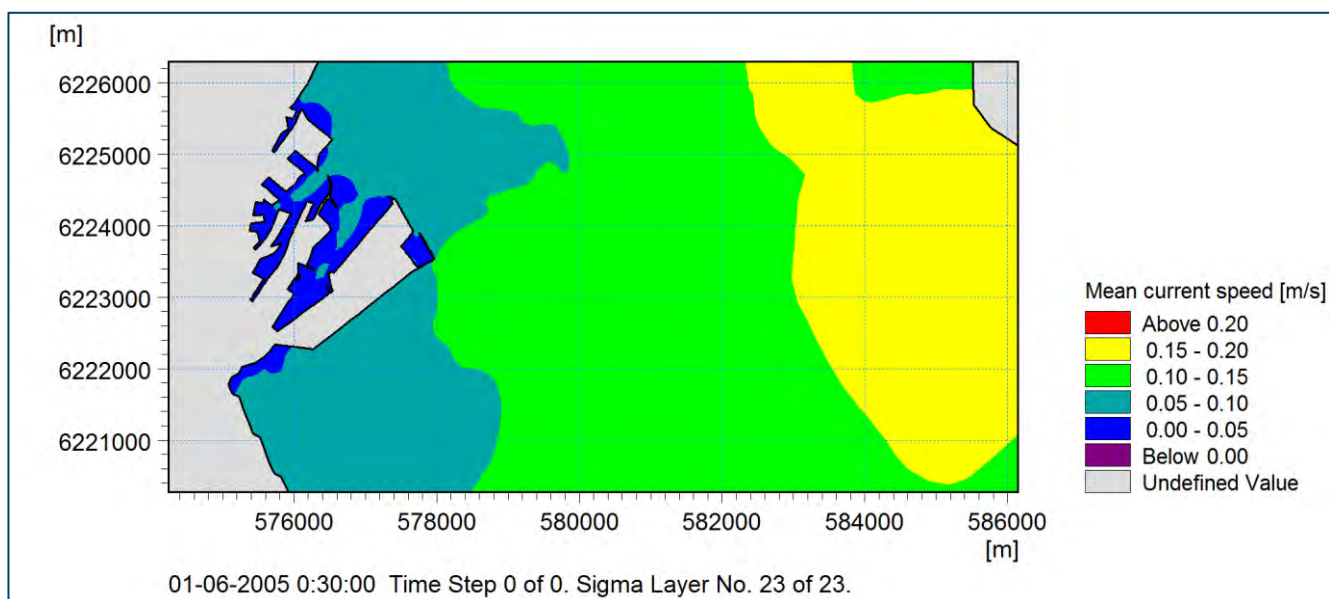
Figur B - 2 Maksimum af strømhastigheder for sommerperioden (fremtidige situation)



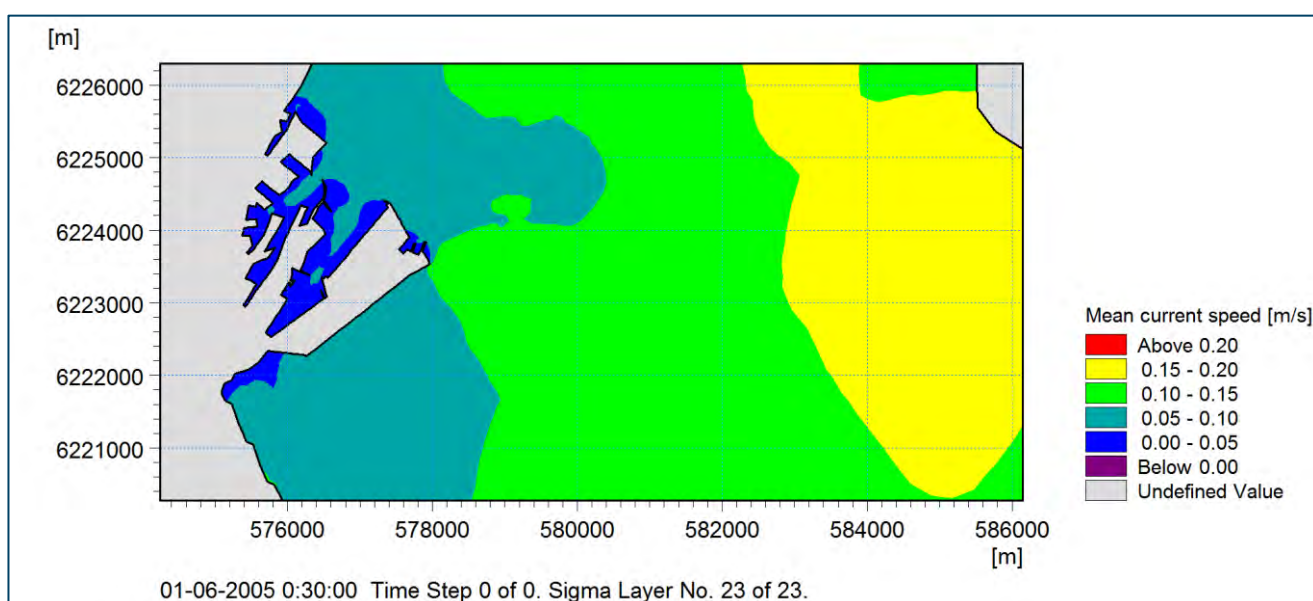
Figur B - 3 Maksimum af strømhastigheder for vinterperioden (nuværende situation)



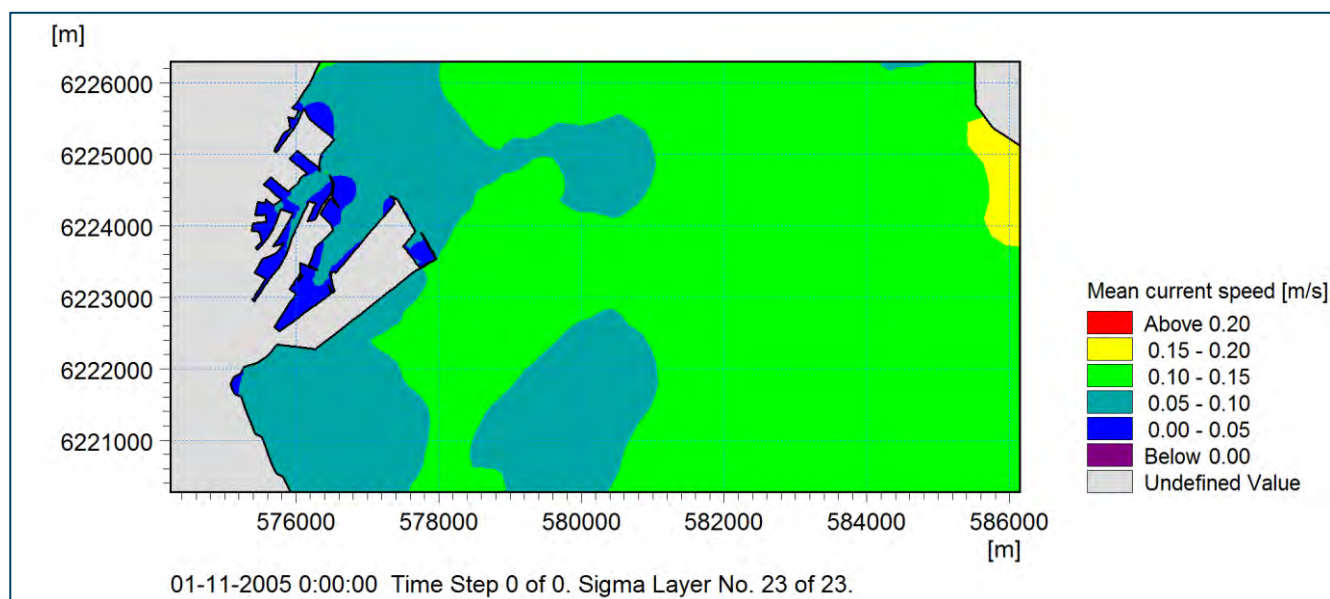
Figur B - 4 Maksimum af strømhastigheder for vinterperioden (fremtidige situation)



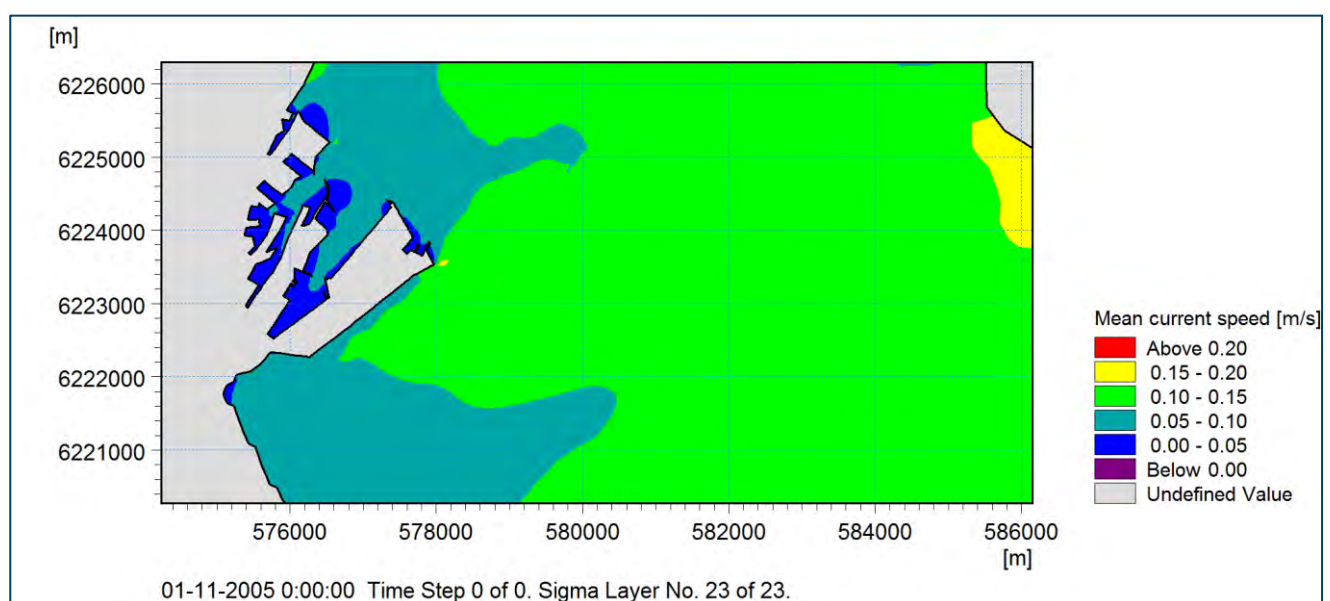
Figur B - 5 Gennemsnit af strømshastigheder for sommerperioden (nuværende situation)



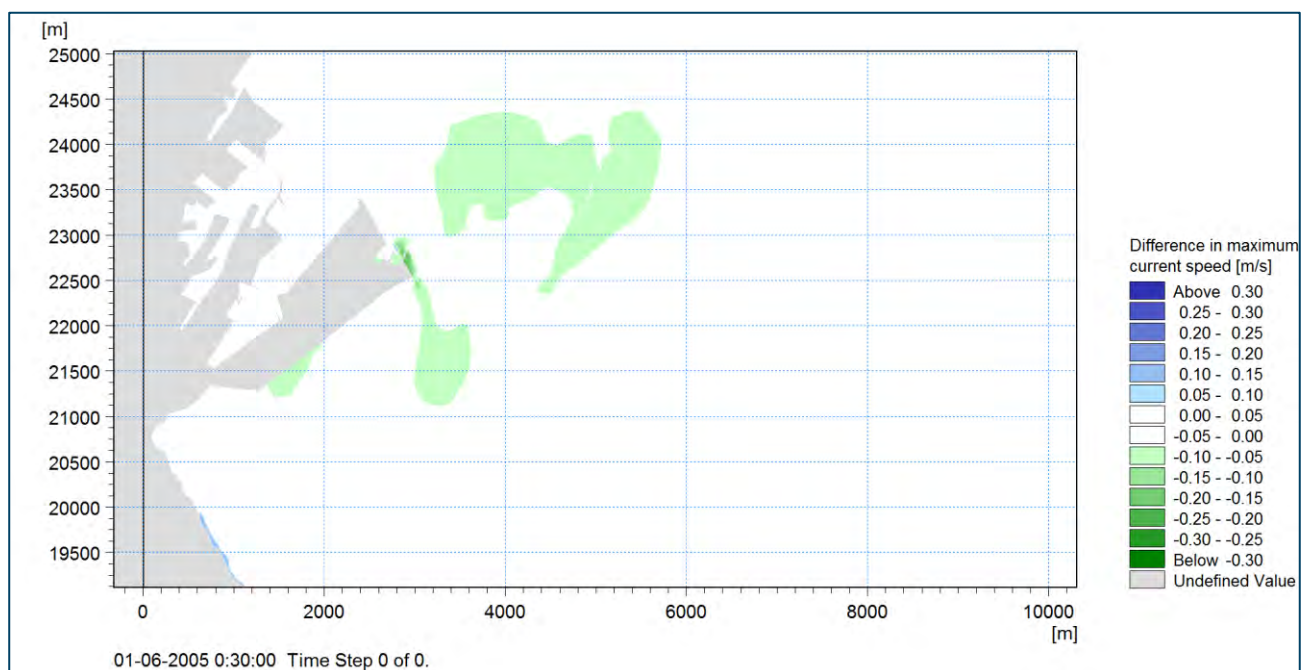
Figur B - 6 Gennemsnit af strømshastigheder for sommerperioden (fremtidige situation)



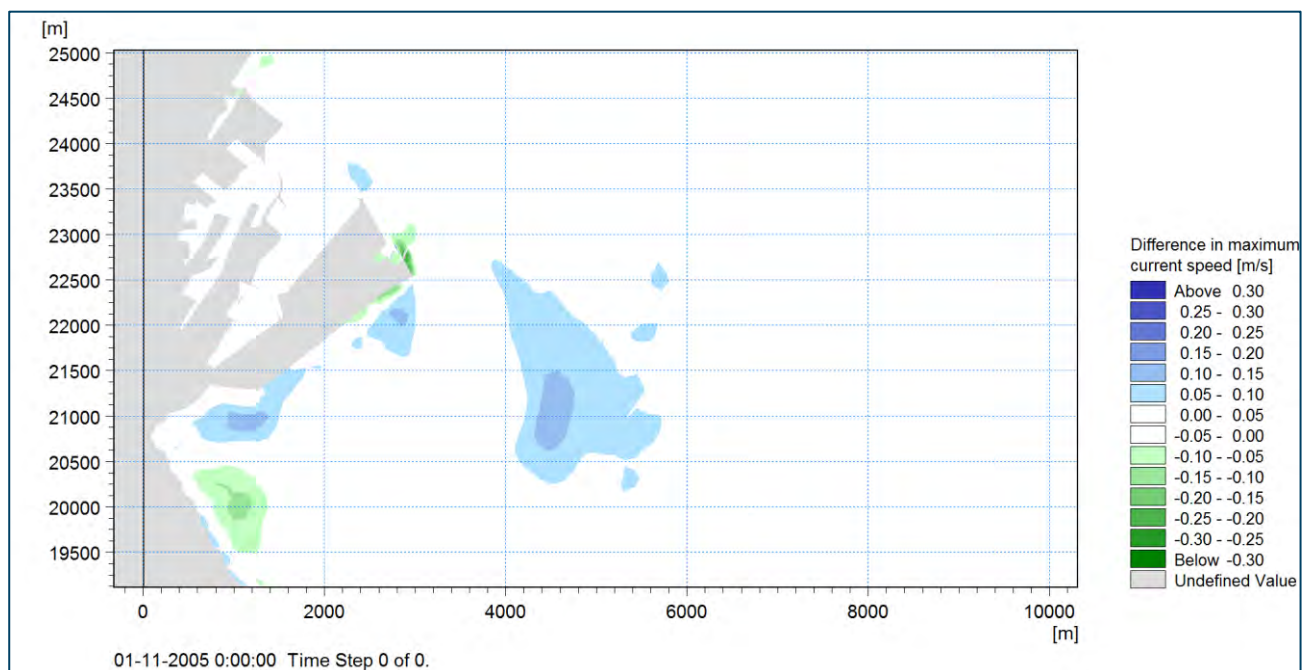
Figur B - 7 Gennemsnit af strømshastigheder for vinterperioden (nuværende situation)



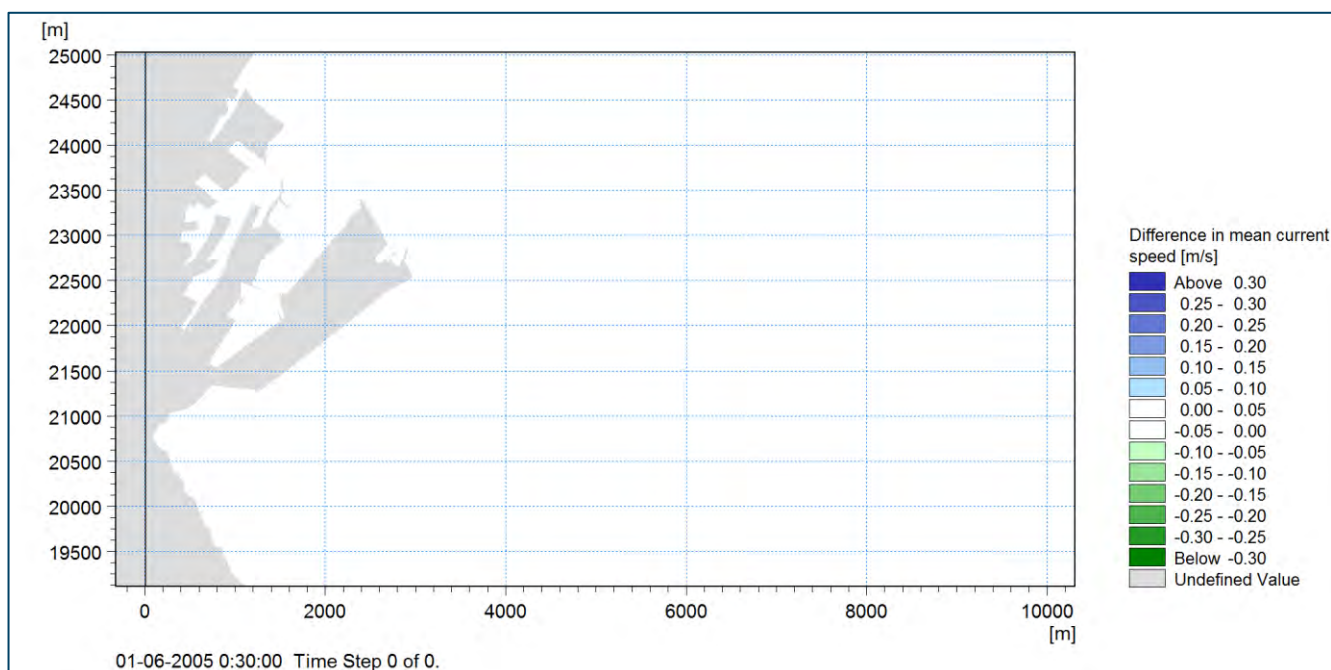
Figur B - 8 Gennemsnit af strømshastigheder for vinterperioden (fremtidige situation)



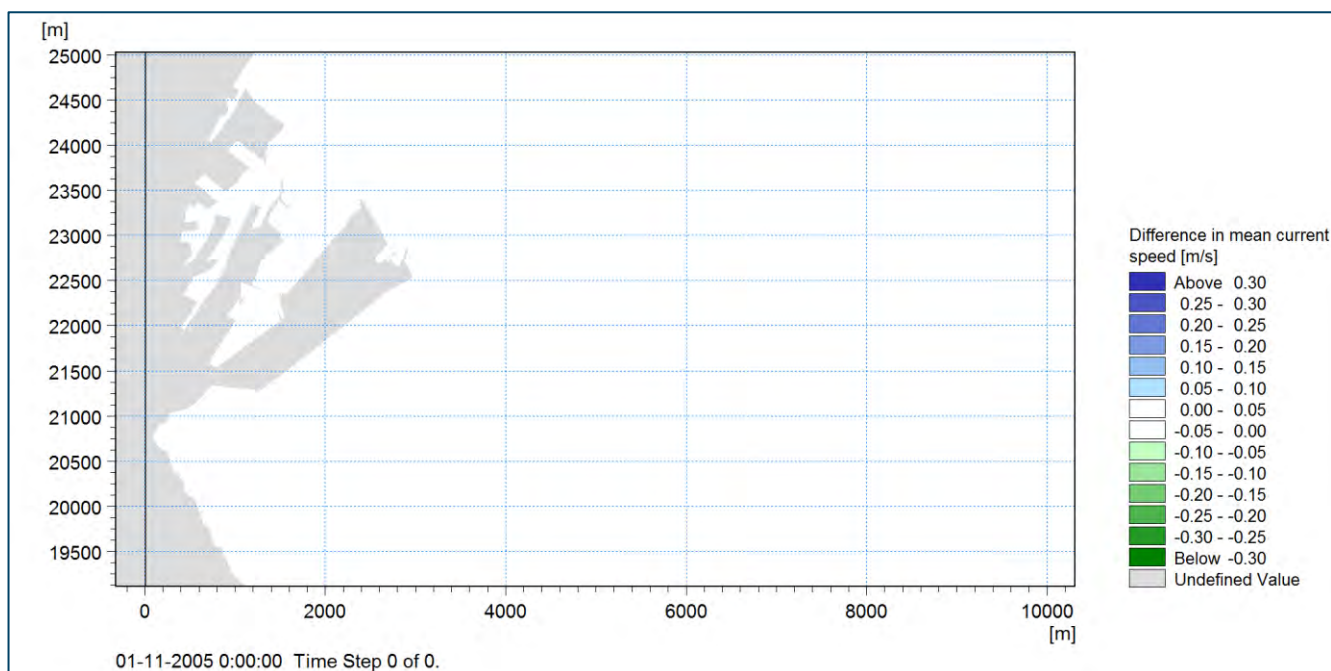
Figur B - 9 Ændring i maksimum af strømhastigheder for sommerperioden



Figur B - 10 Ændring i maksimum af strømhastigheder for vinterperioden



Figur B - 11 Ændring i middelstrømhastigheder for sommerperioden

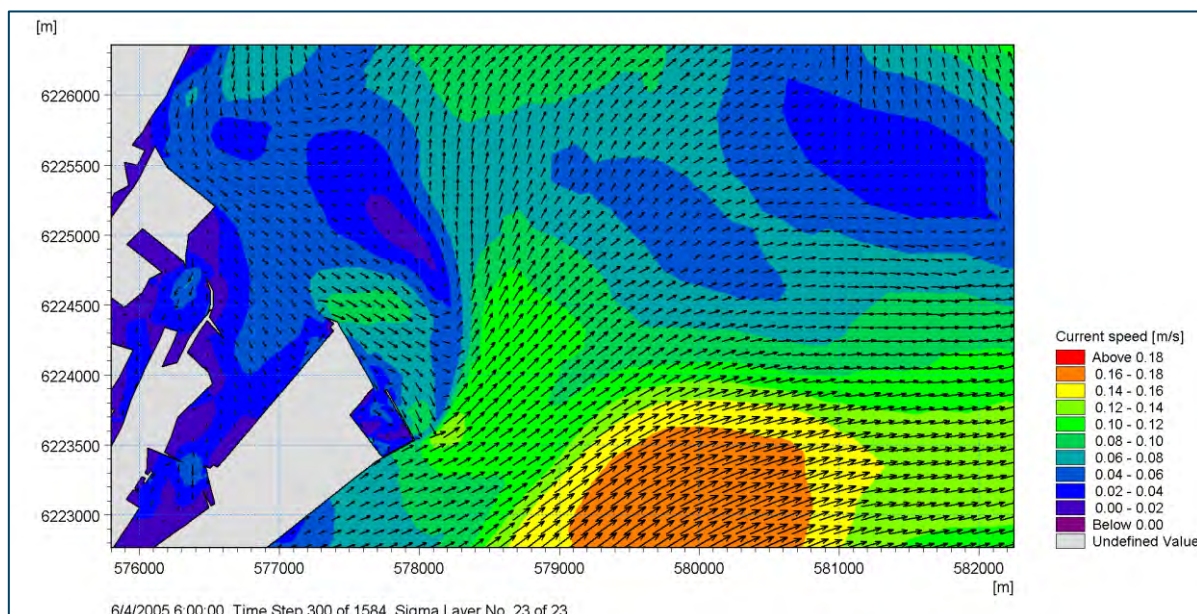


Figur B - 12 Ændring i middelstrømhastigheder for vinterperioden

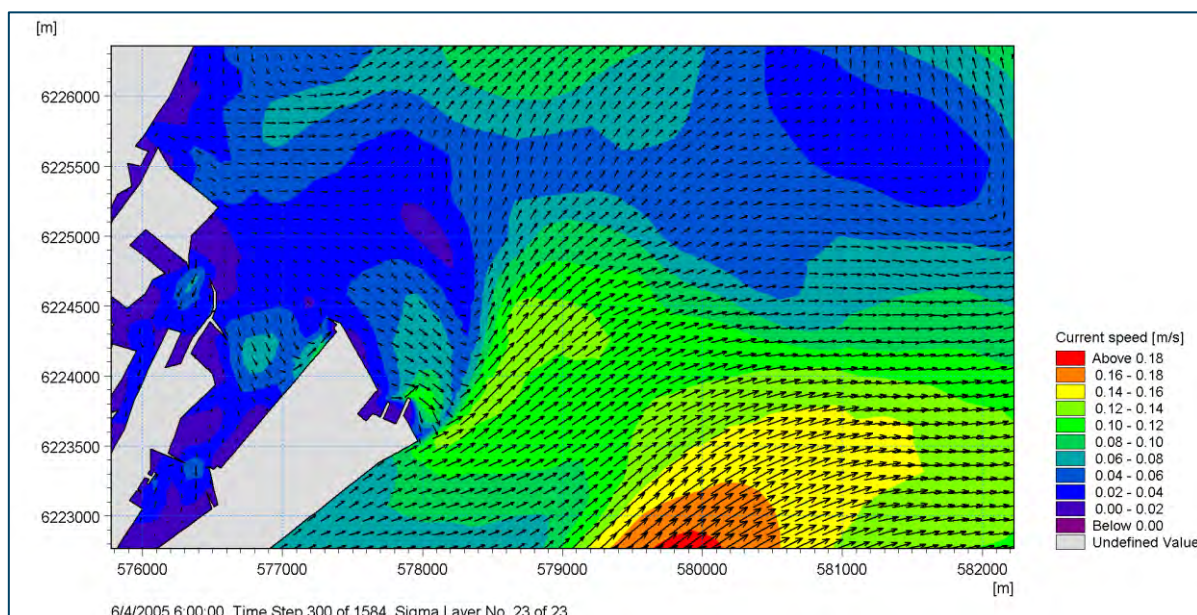
Appendix C

Snapshots af strømhastigheder og strømretninger

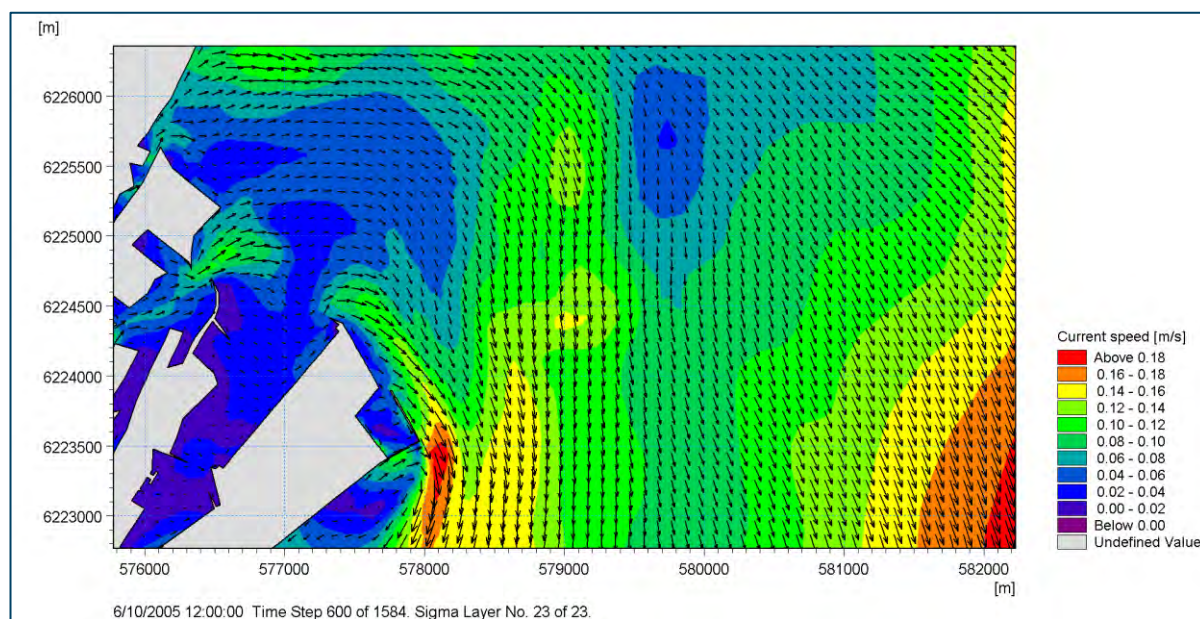
Snapshot af strømhastigheder og strømretninger er vist i dette appendix. For hvert vejrforhold (vinter og sommer) er vist fire snapshots (s1, s2, s3 & s4) med interval af 6 dage før og efter konstruktionen af den nye havneterminal.



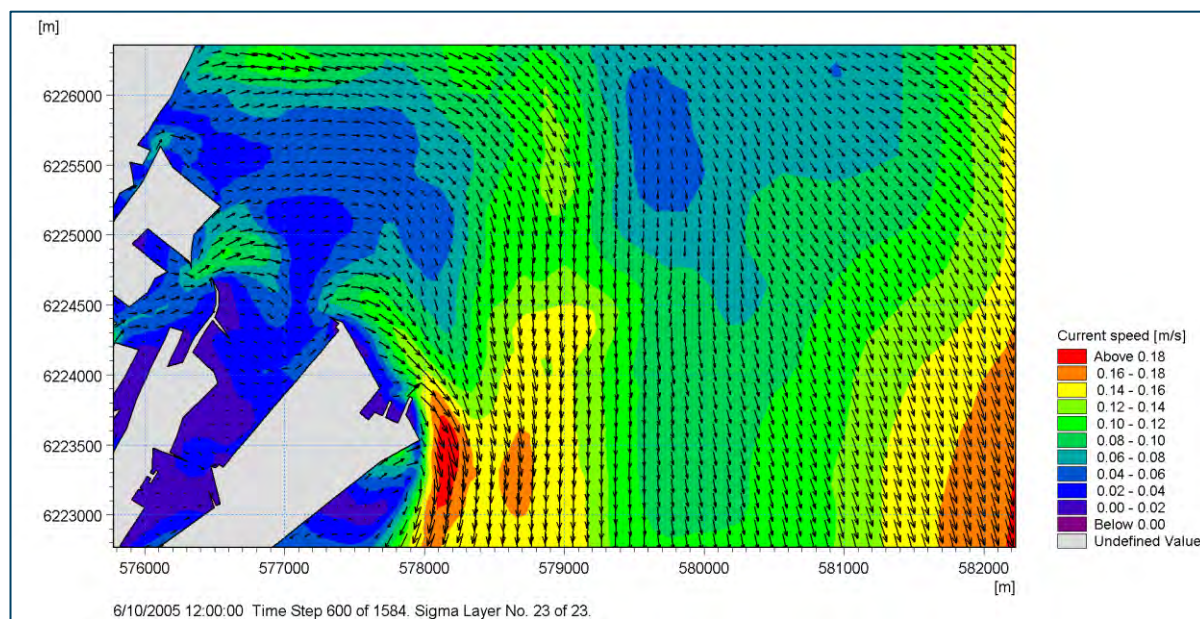
Figur C - 1 Snapshot af strømhastighed og strømretning for sommerperioden (nuværende situation) –s1



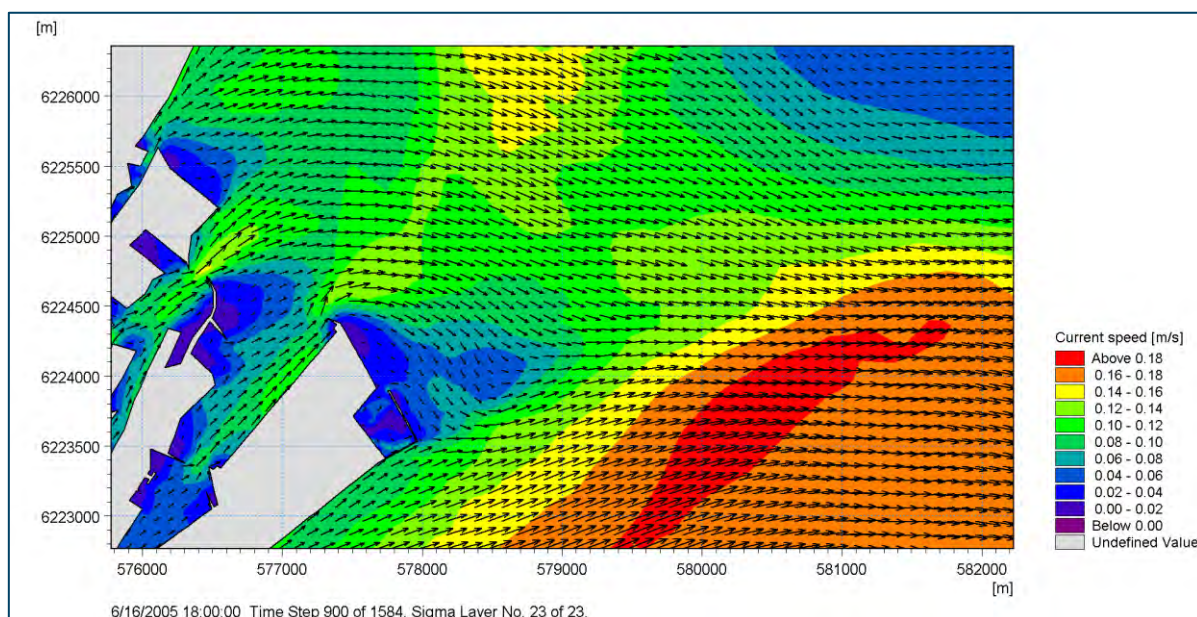
Figur C - 2 Snapshot af strømhastighed og strømretning for sommerperioden (fremtidig situation) – s1



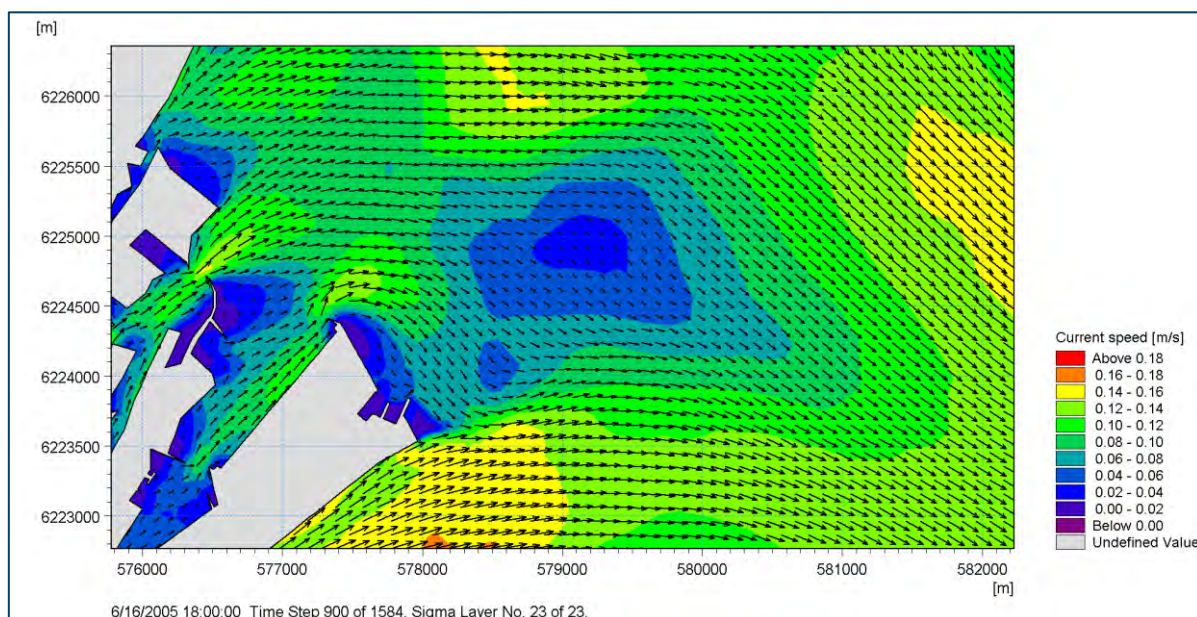
Figur C - 3 Snapshot af strømhastighed og strømretning for sommerperioden (nuværende situation) –s2



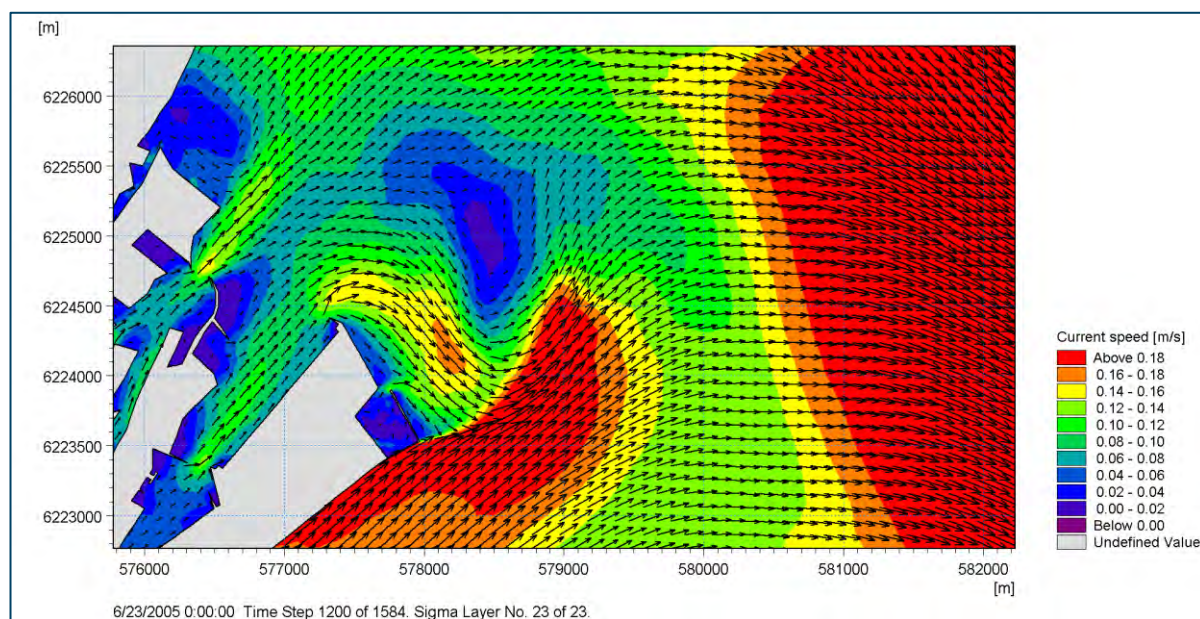
Figur C - 4 Snapshot af strømhastighed og strømretning for sommerperioden (fremtidig situation) – s2



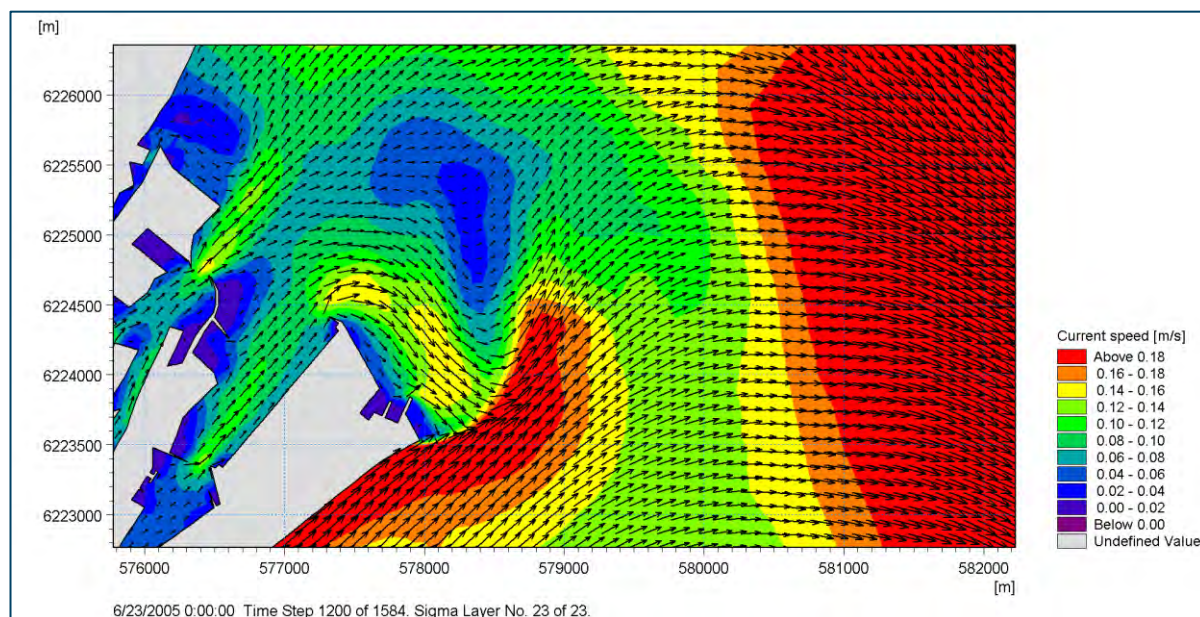
Figur C - 5 Snapshot af strømhastighed og strømretning for sommerperioden (nuværende situation) –s3



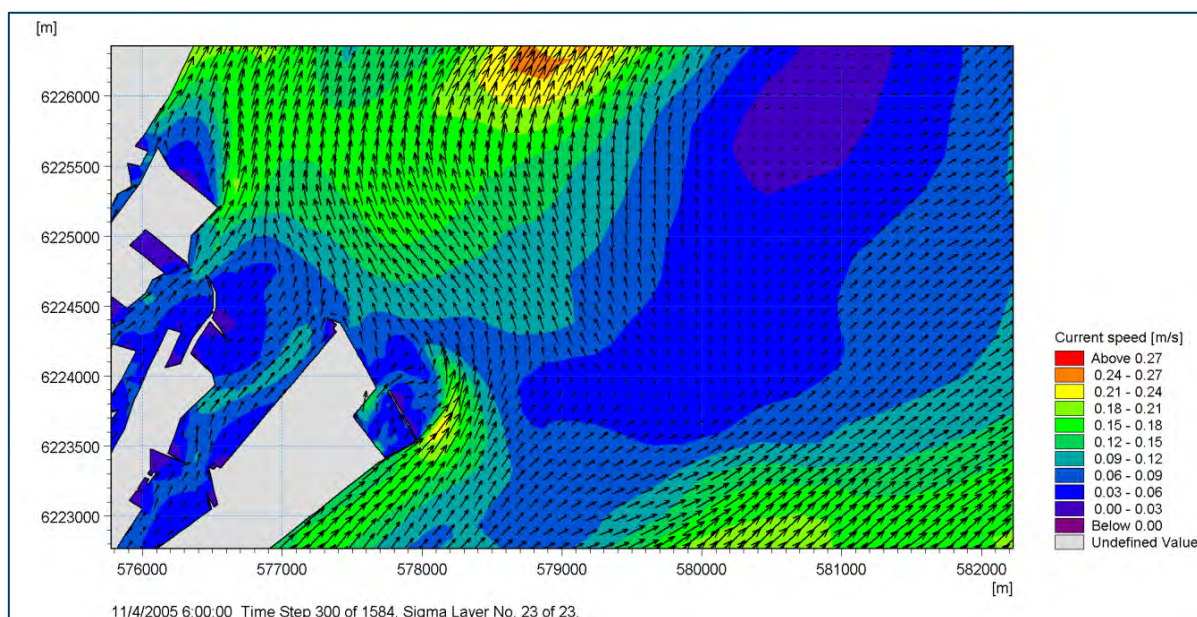
Figur C - 6 Snapshot af strømhastighed og strømretning for sommerperioden (fremtidige situation) – s3



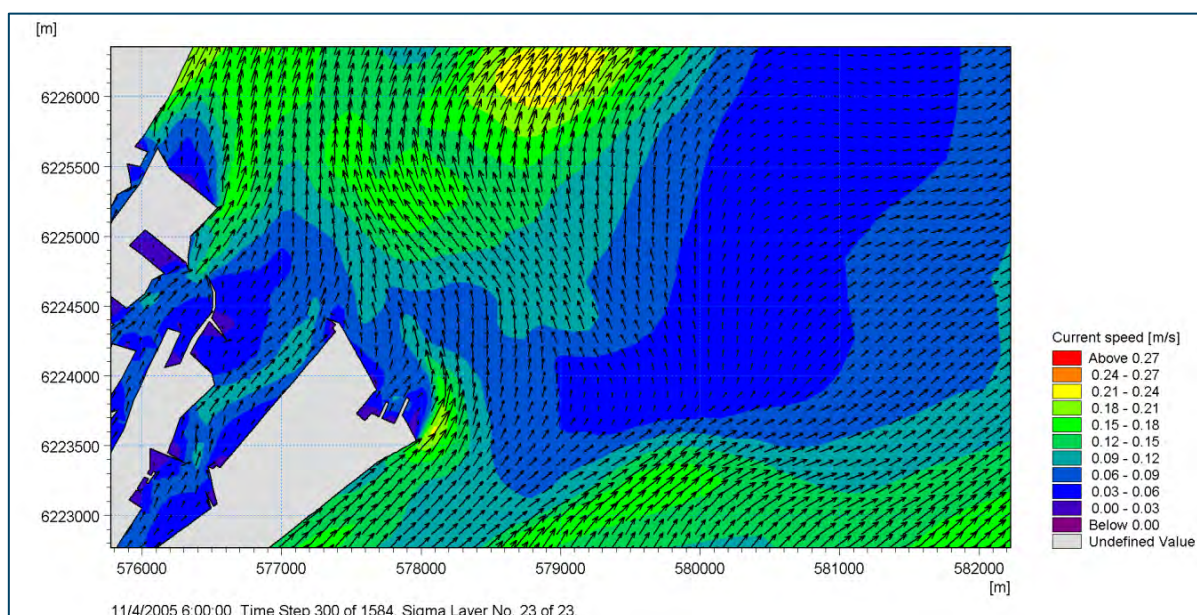
Figur C - 7 Snapshot af strømhastighed og strømretning for sommerperioden (nuværende situation) –s4



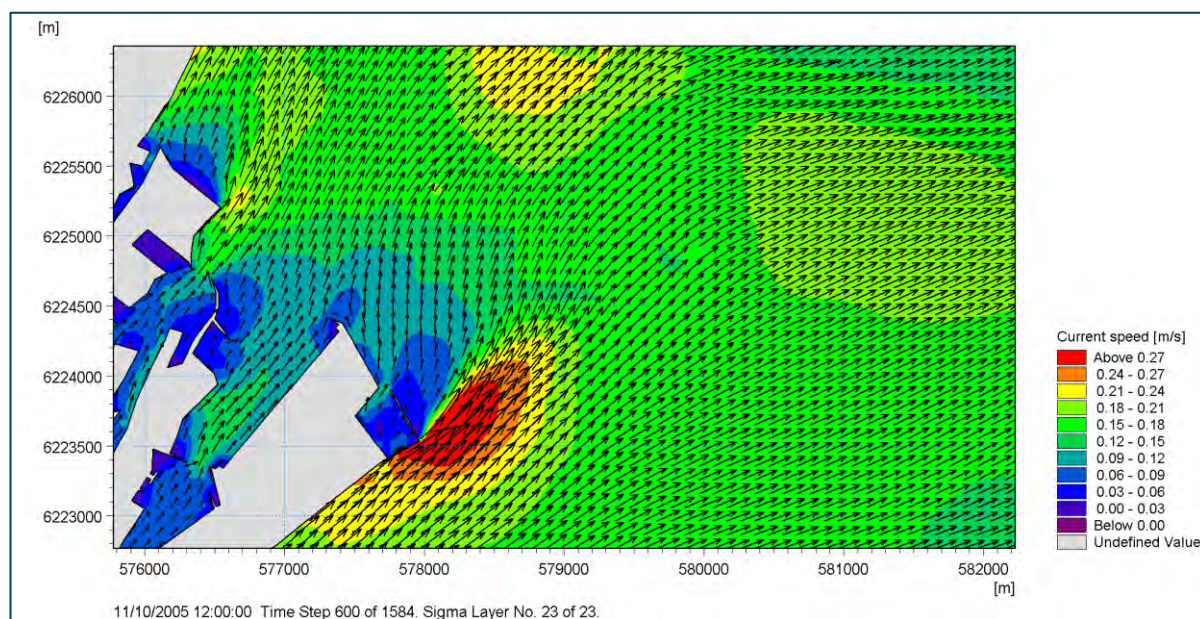
Figur C - 8 Snapshot af strømhastighed og strømretning for sommerperioden (fremtidige situation) – s4



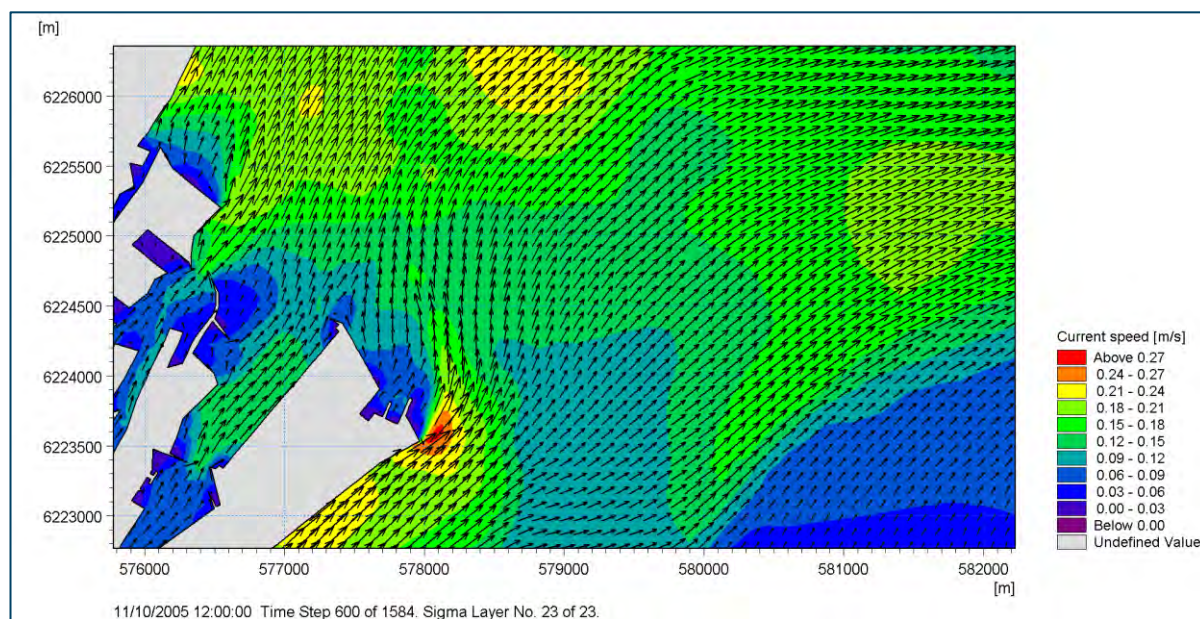
Figur C - 9 Snapshot af strømhastighed og strømretning for vinterperioden (nuværende situation) – s1



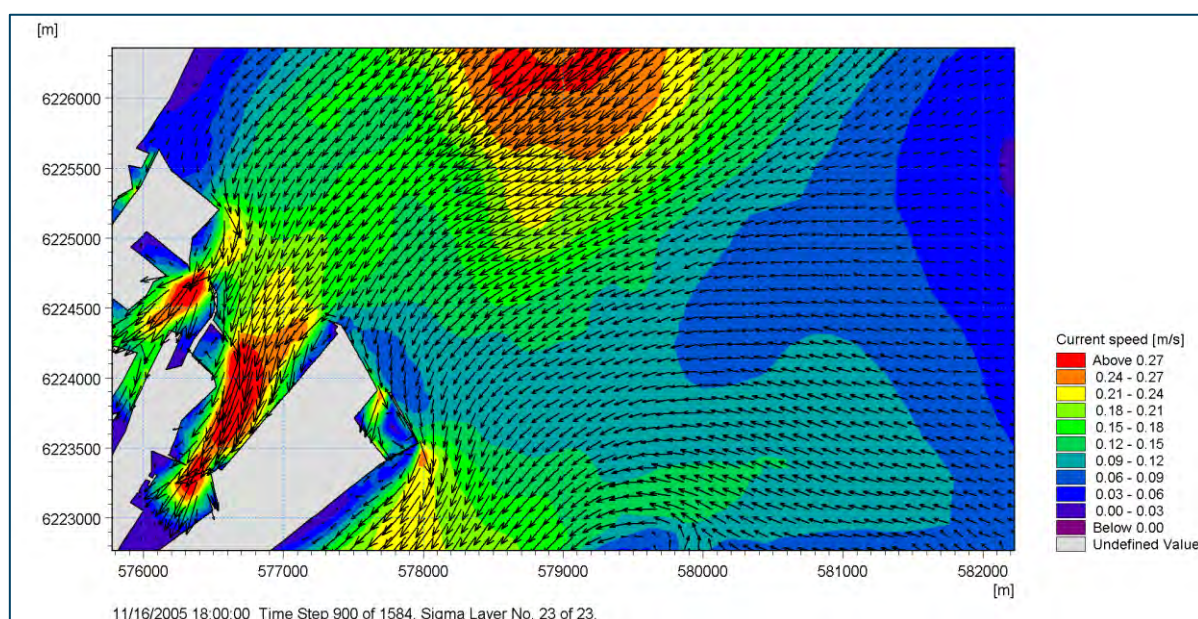
Figur C - 10 Snapshot af strømhastighed og strømretning for vinterperioden (fremtidige situation) – s1



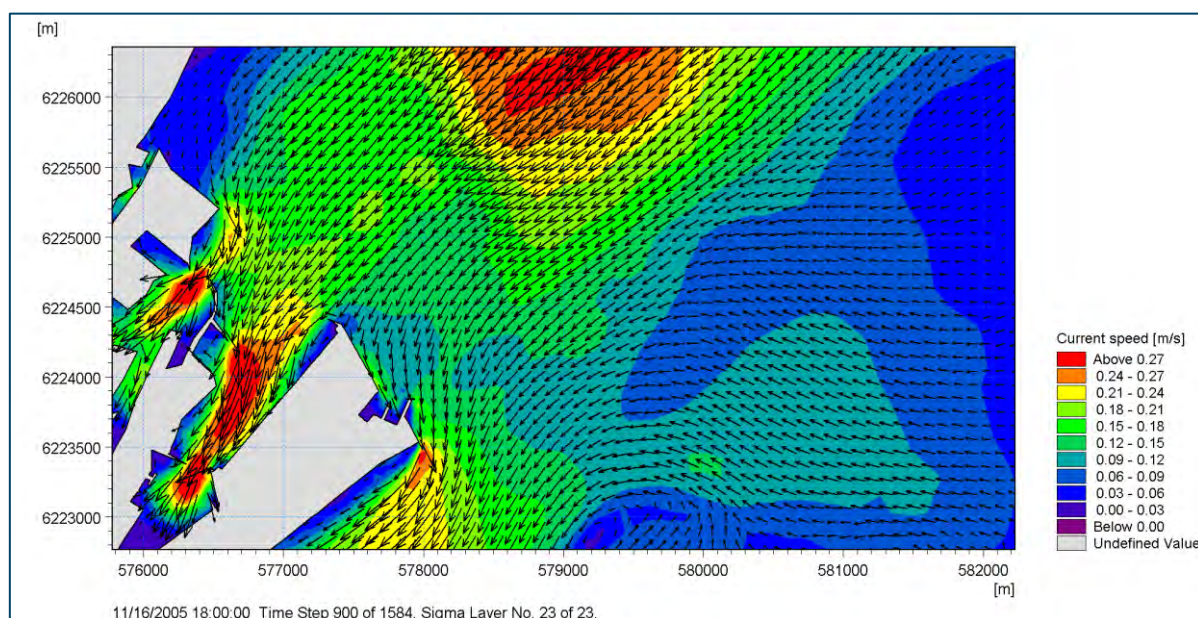
Figur C - 11 Snapshot af strømhastighed og strømretning for vinterperioden (nuværende situation) – s2



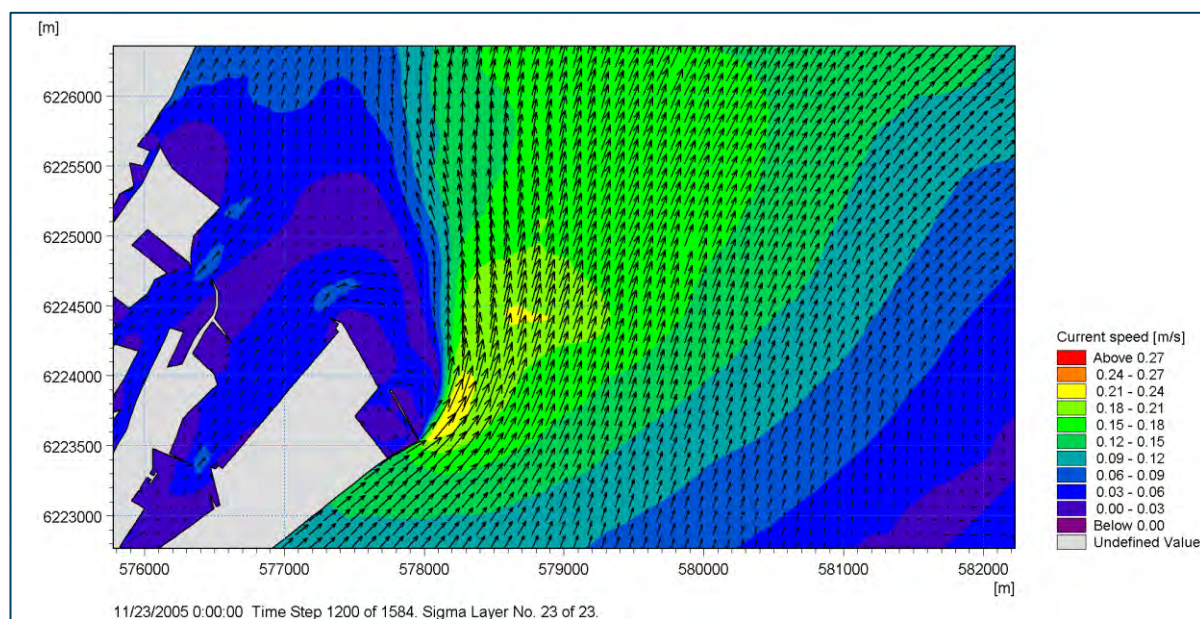
Figur C - 12 Snapshot af strømhastighed og strømretning for vinterperioden (fremtidige situation) – s2



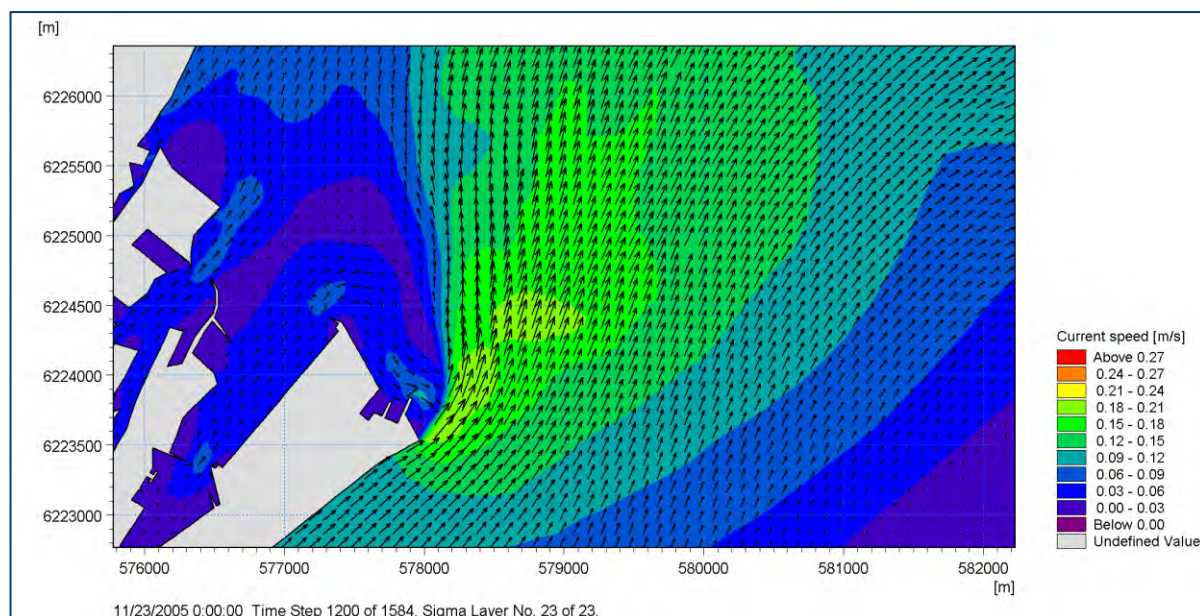
Figur C - 13 Snapshot af strømhastighed og strømretning for vinterperioden (nuværende situation) – s3



Figur C - 14 Snapshot af strømhastighed og strømretning for vinterperioden (fremtidige situation) – s3



Figur C - 15 Snapshot af strømhastighed og strømretning for vinterperioden (nuværende situation) – s4

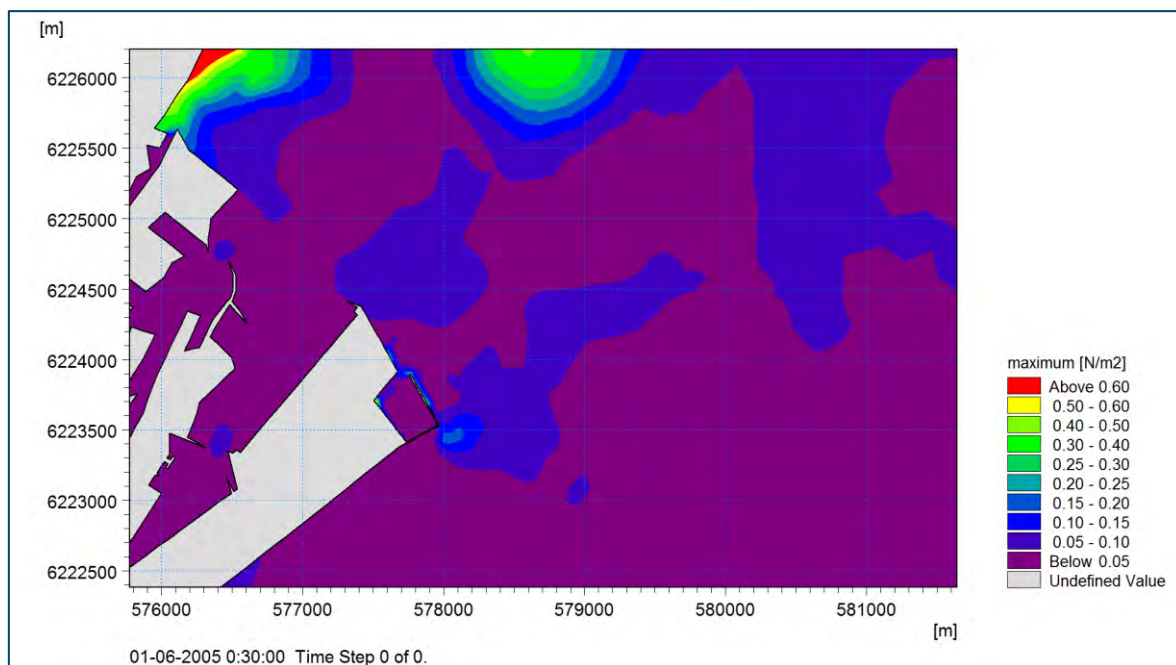


Figur C - 16 Snapshot af strømhastighed og strømretning for vinterperioden (fremtidige situation) – s4

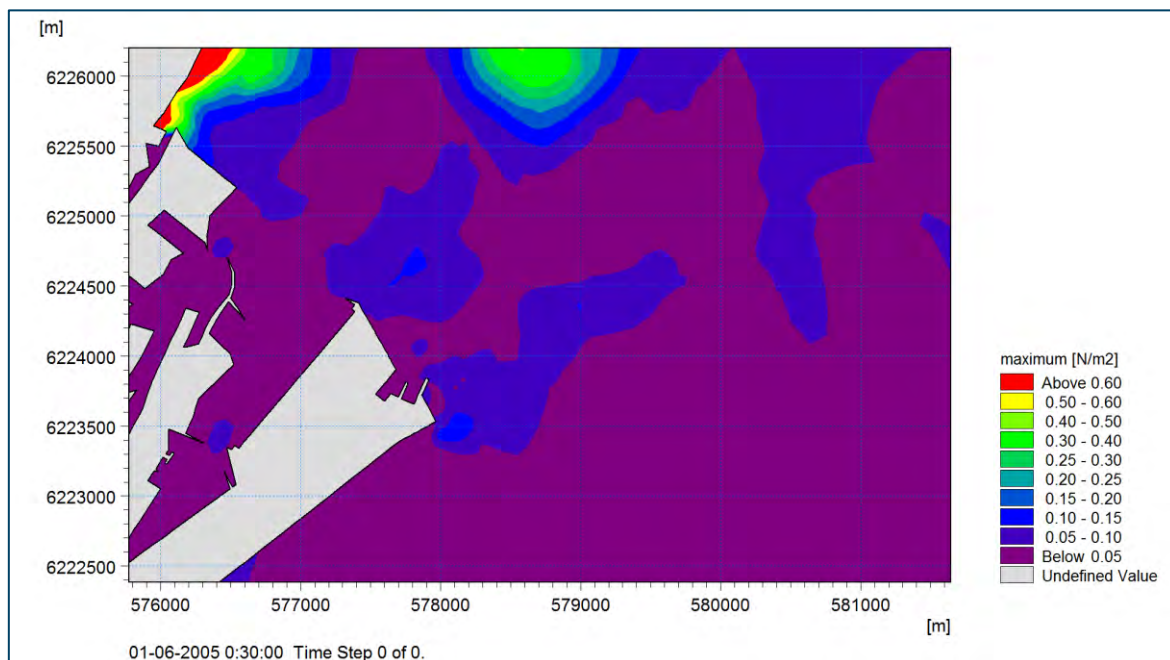
Appendix D

Statistik af bundforskydningsspændinger

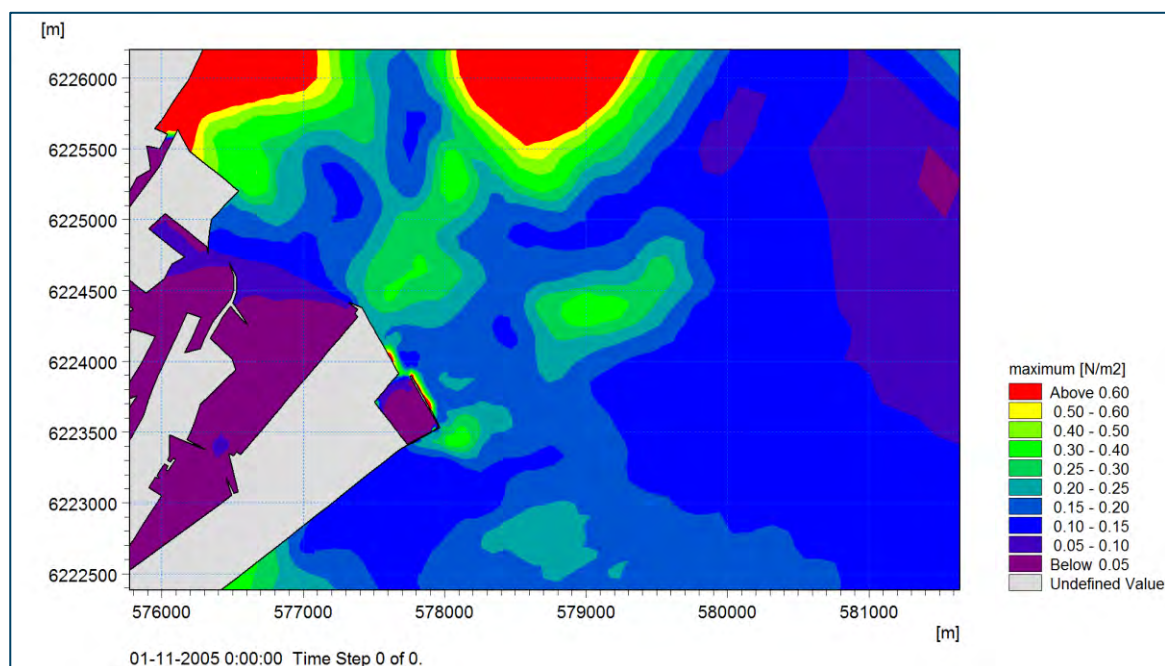
Gennemsnit og maksimum af bundforskydningsspændingen over en måned for både den nuværende og fremtidige situation er vist i nedenstående figurer for de to vejrforhold.



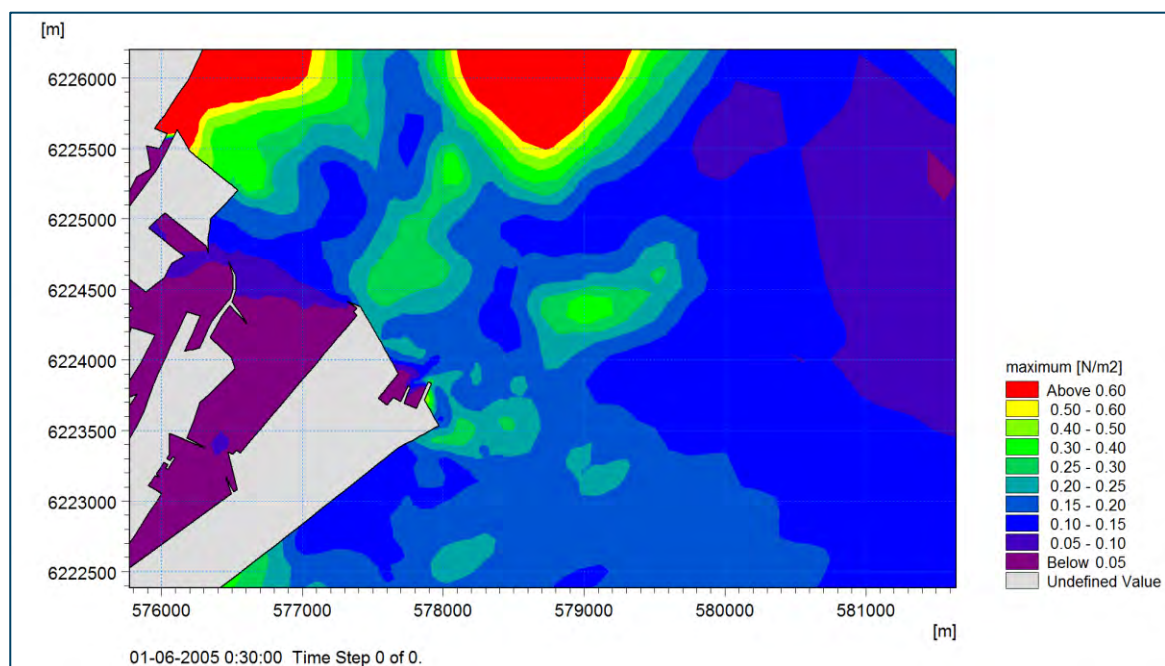
Figur D - 1 Maksimum af bundforskydningsspænding for sommerperioden (nuværende situation)



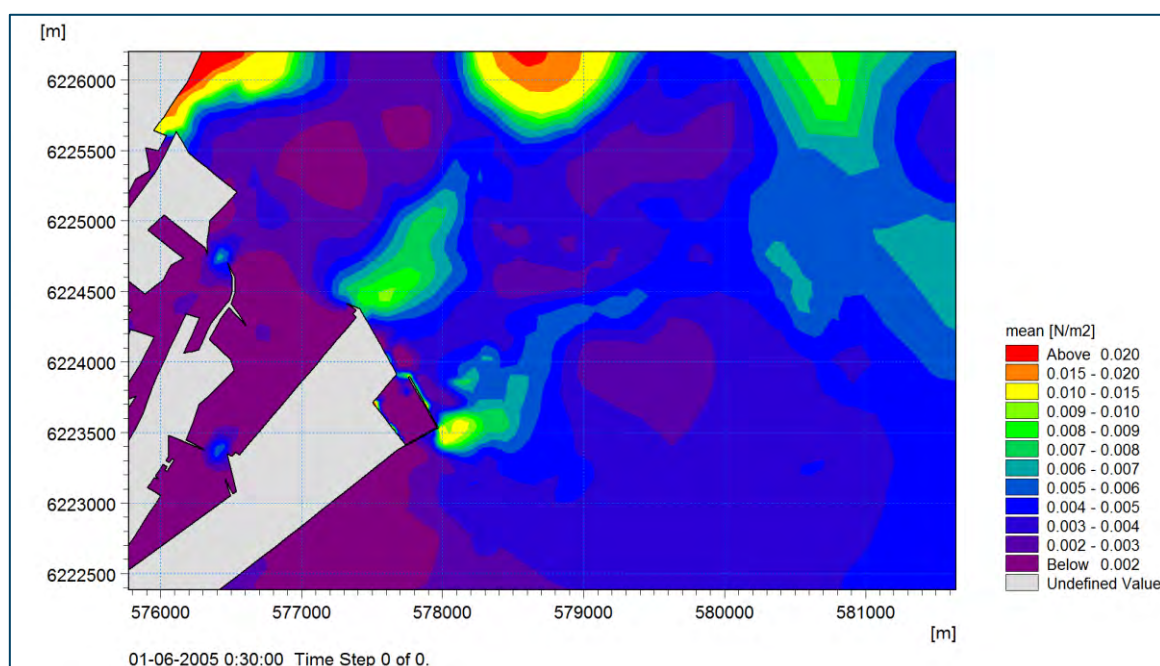
Figur D - 2 Maksimum af bundforskydningsspænding for sommerperioden (fremtidig situation)



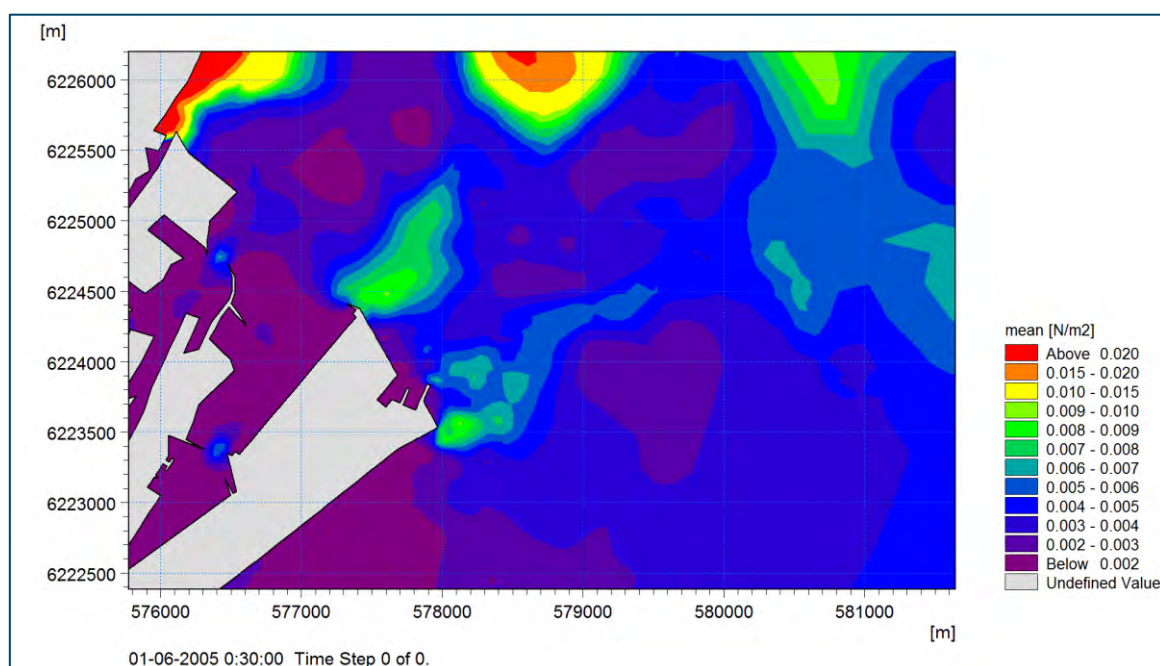
Figur D - 3 Maksimum af bundforskydningsspænding for vinterperioden (nuværende situation)



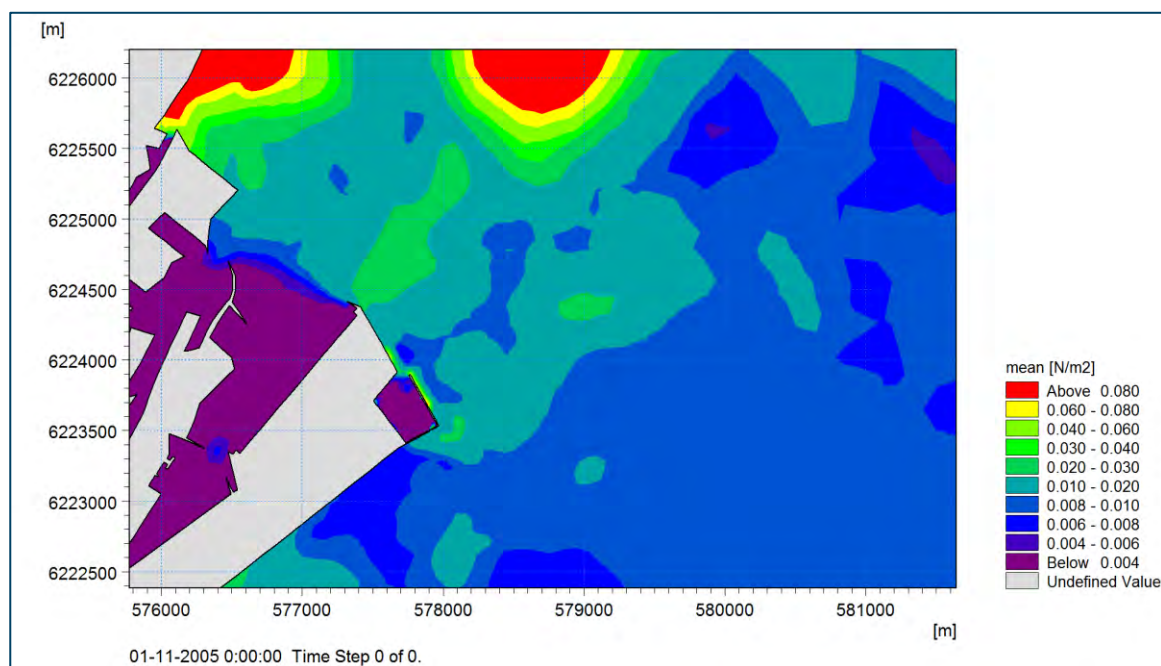
Figur D - 4 Maksimum af bundforskydningsspænding for vinterperioden (fremtidige situation)



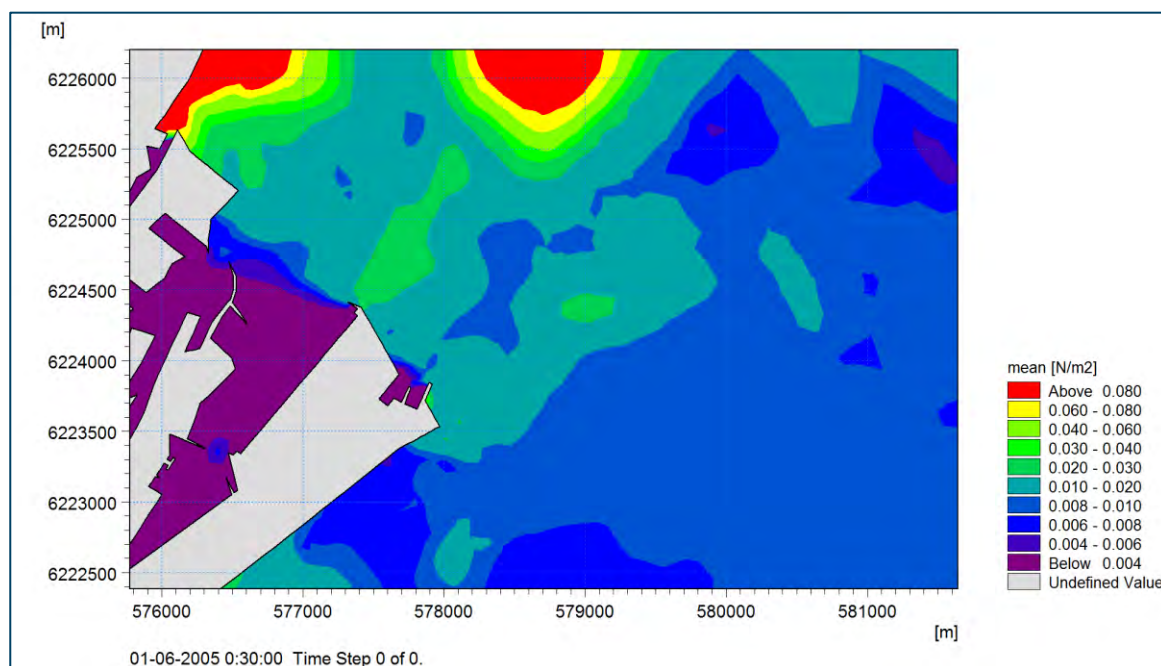
Figur D - 5 Gennemsnit af bundforskydningsspænding for sommerperioden (nuværende situation)



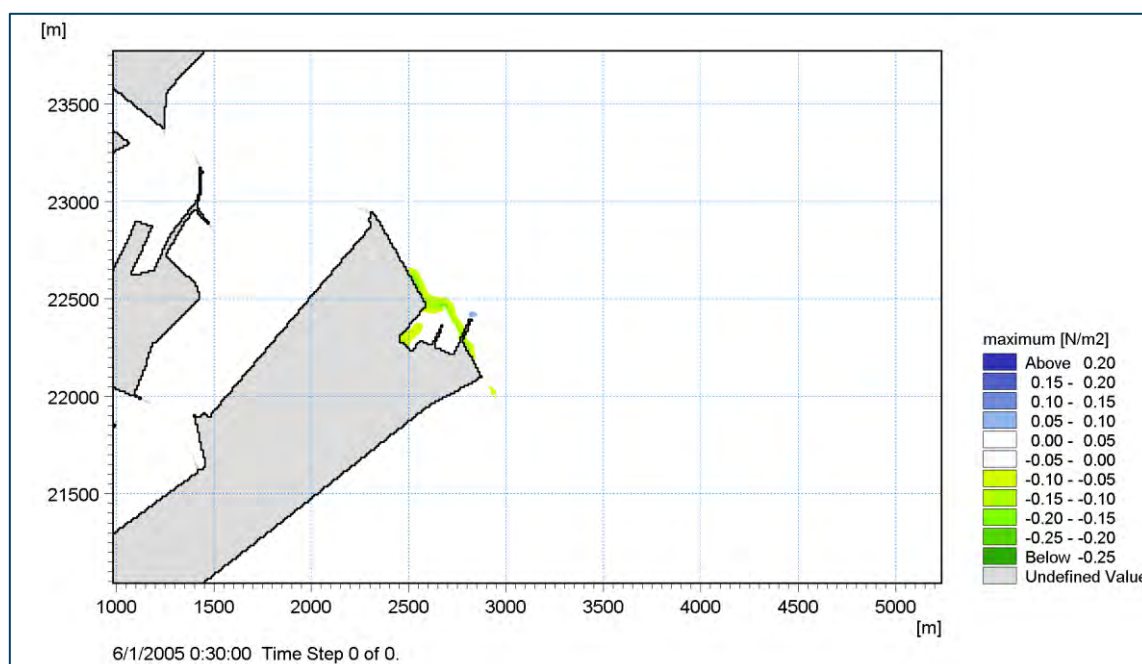
Figur D - 6 Gennemsnit af bundforskydningsspænding for sommerperioden (fremtidig situation)



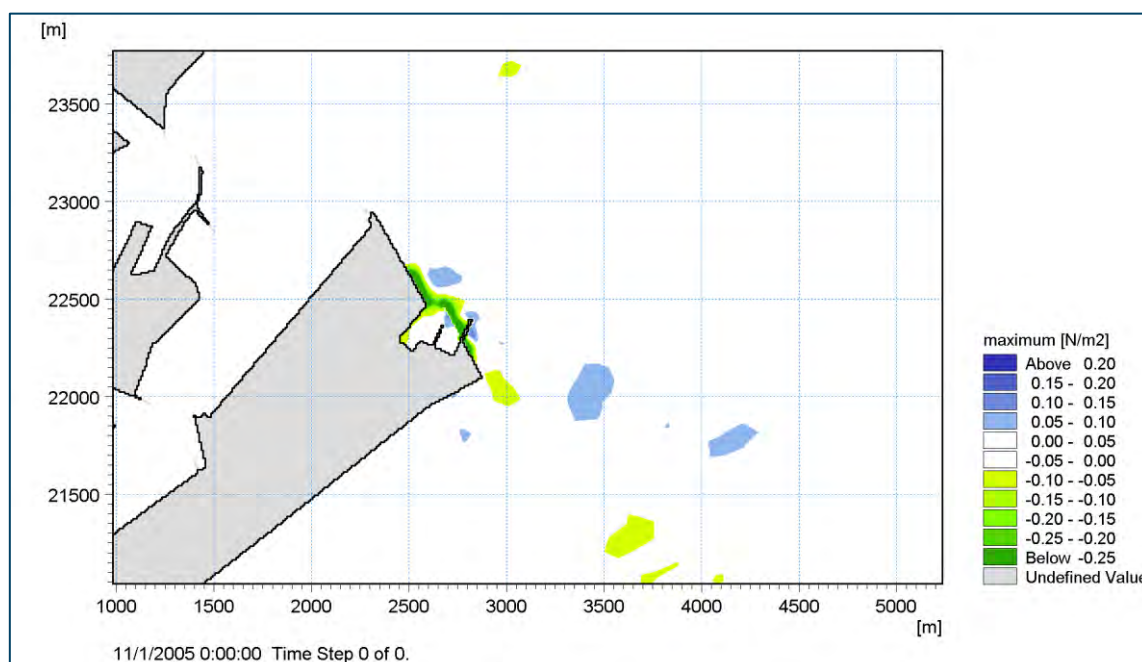
Figur D - 7 Gennemsnit af bundforskydningsspænding for vinterperioden (nuværende situation)



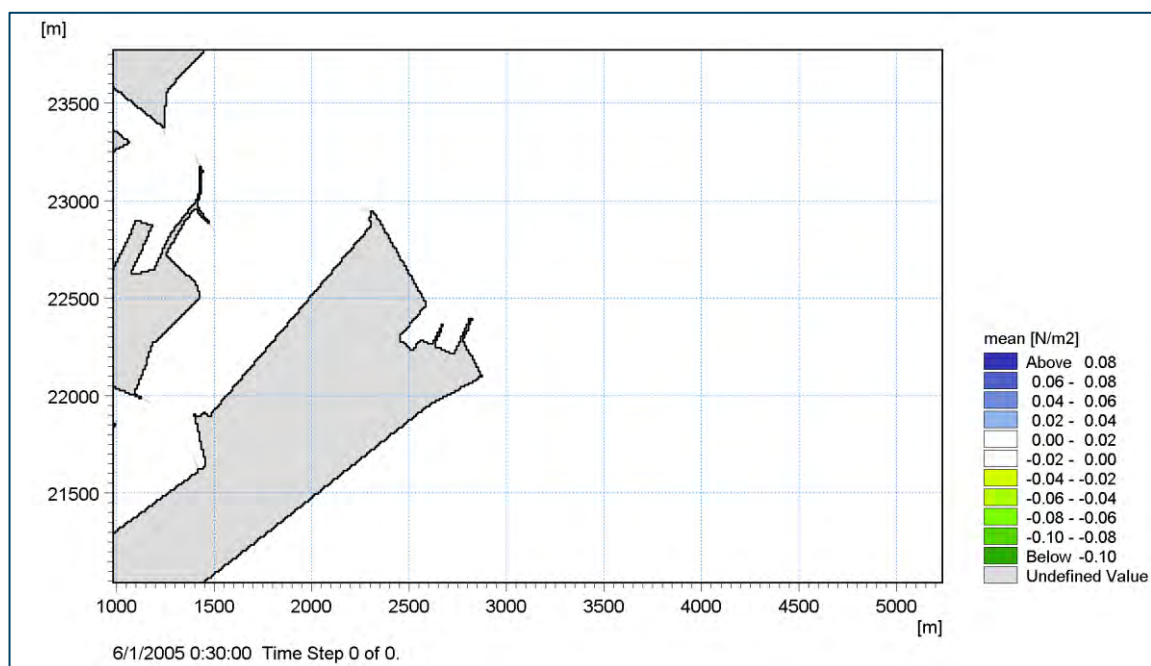
Figur D - 8 Gennemsnit af bundforskydningsspænding for vinterperioden (fremtidige situation)



Figur D - 9 Ændring i maksimum bundforskydningsspænding for sommerperioden (fremtidig minus nuværende situation)



Figur D - 10 Ændring i maksimum bundforskydningsspænding for vinterperioden (fremtidig minus nuværende situation)



Figur D - 11 Ændring i middel-bundforskydningsspænding for sommerperioden (fremtidig minus nuværende situation)

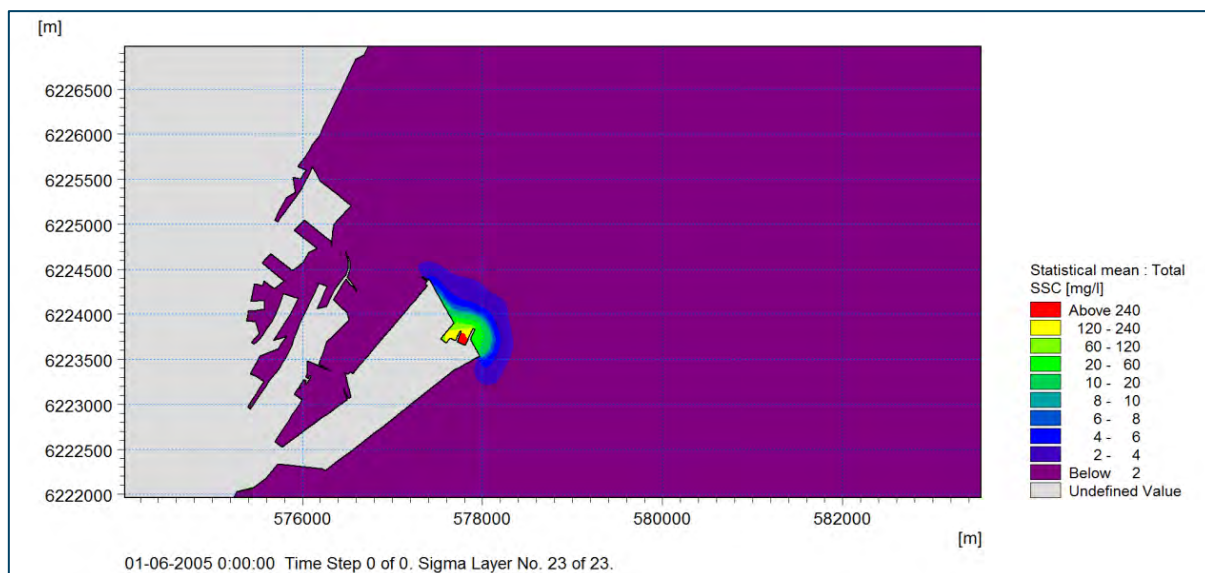


Figur D - 12 Ændring i middel-bundforskydningsspænding for vinterperioden (fremtidig minus nuværende situation)

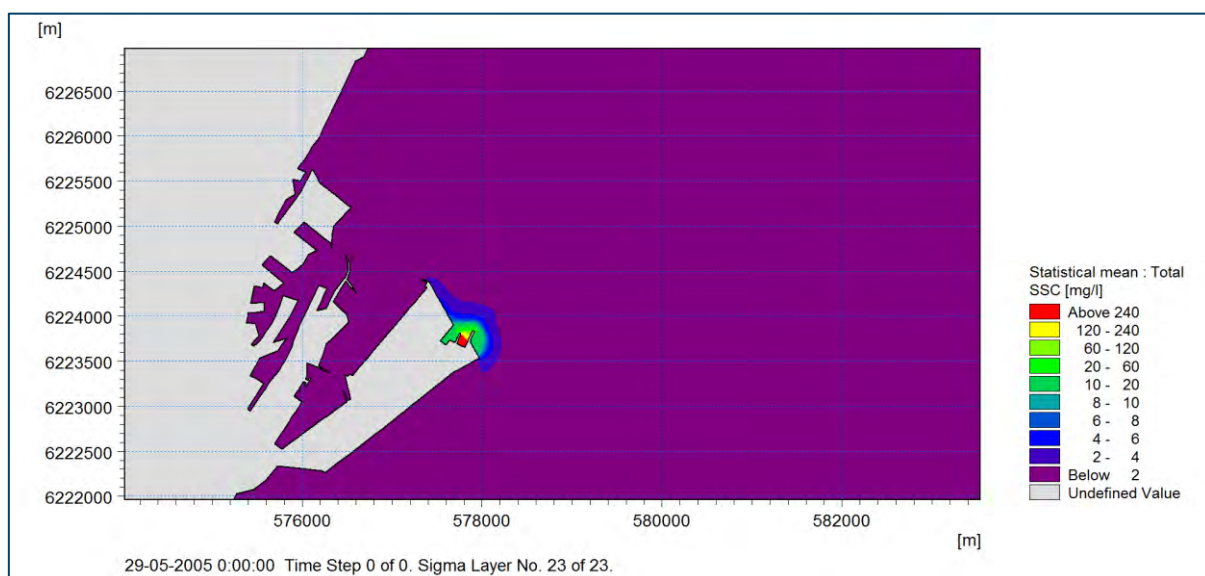
Appendix E

Statistik af total suspenderet sedimentkoncentration

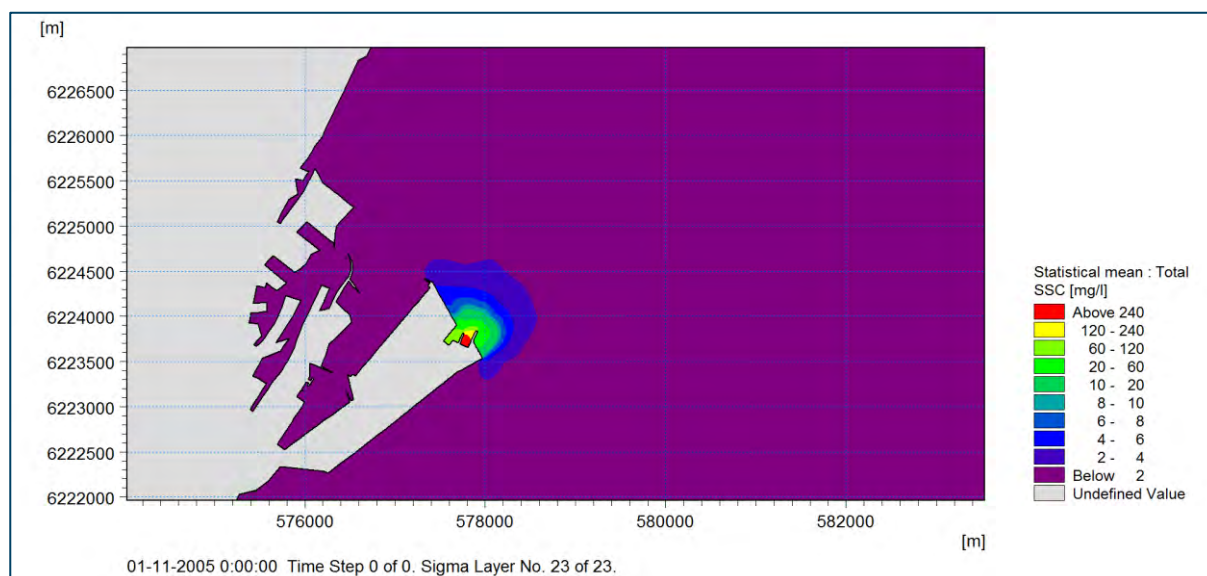
Gennemsnit og maksimum af den totale suspendede sedimentkoncentration (total SSC, overfladelag) for hver simuleringsperiode er vist i nedenstående figurer.



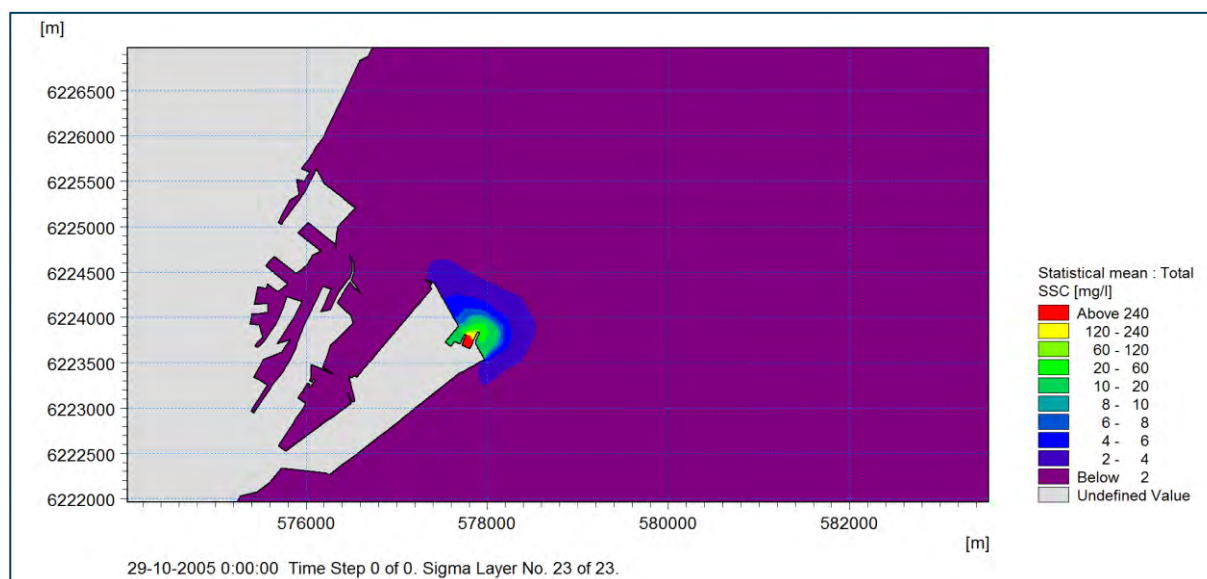
Figur E - 1 Gennemsnit af koncentration (total SSC) for sommerperioden. (første etape – dag 1-27)



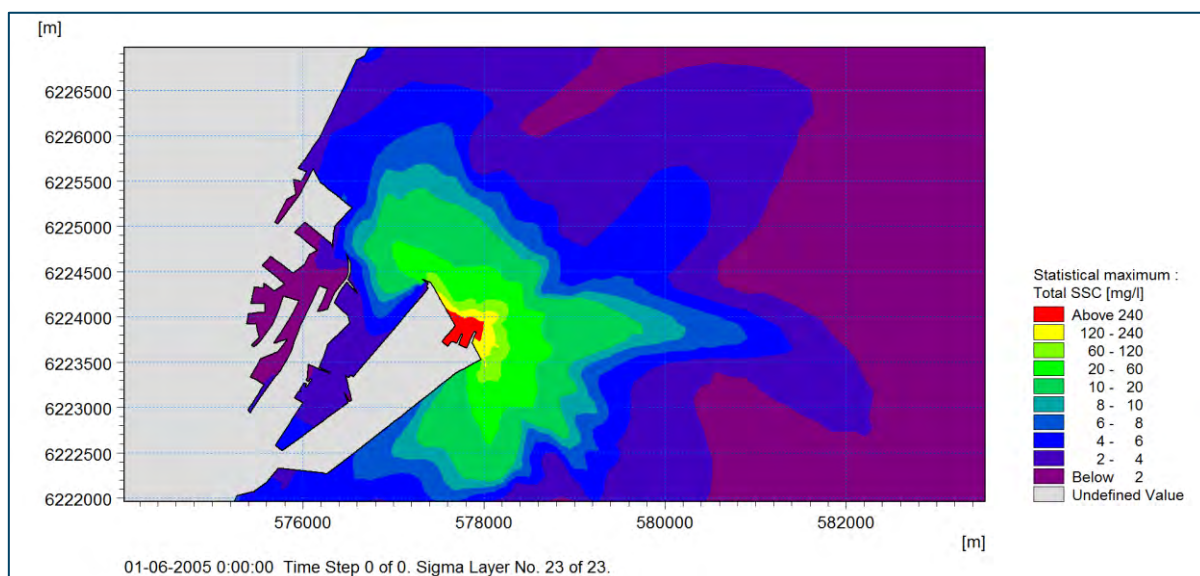
Figur E - 2 Gennemsnit af koncentration (total SSC) for sommerperioden. (anden etape – dag 28-52)



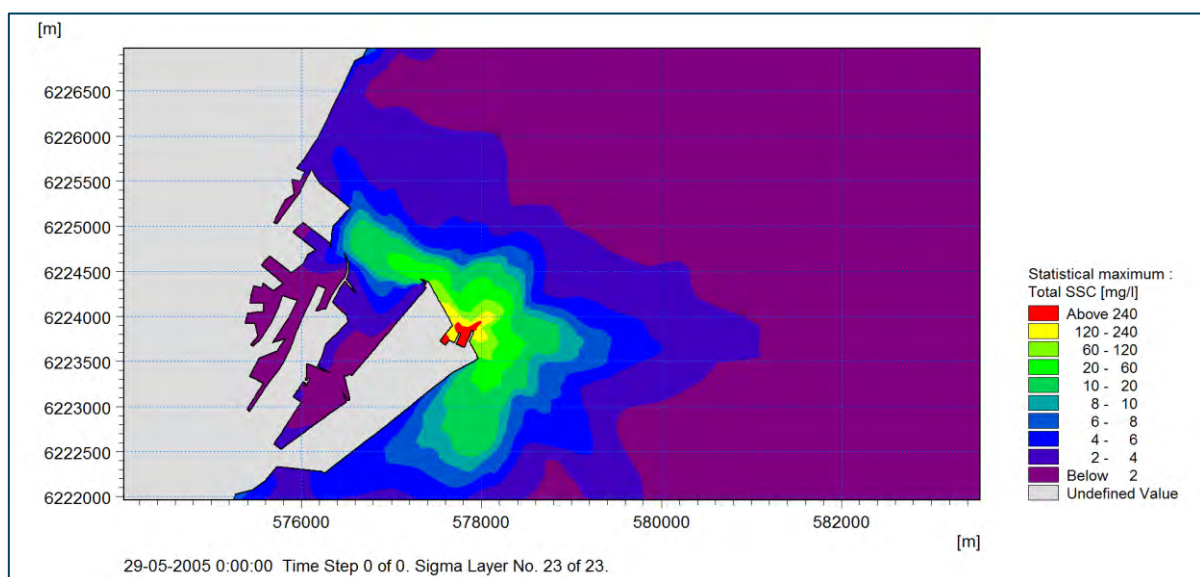
Figur E - 3 Gennemsnit af koncentration (total SSC) for vinterperioden.
(første etape – dag 1-27)



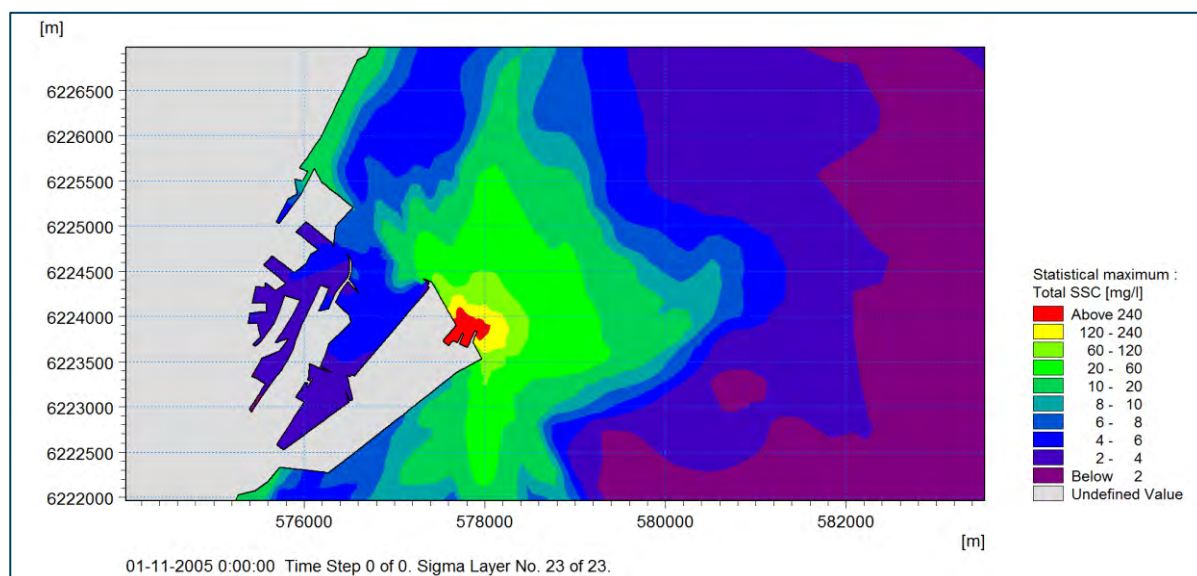
Figur E - 4 Gennemsnit af koncentration (total SSC) for vinterperioden.
(anden etape – dag 28-52)



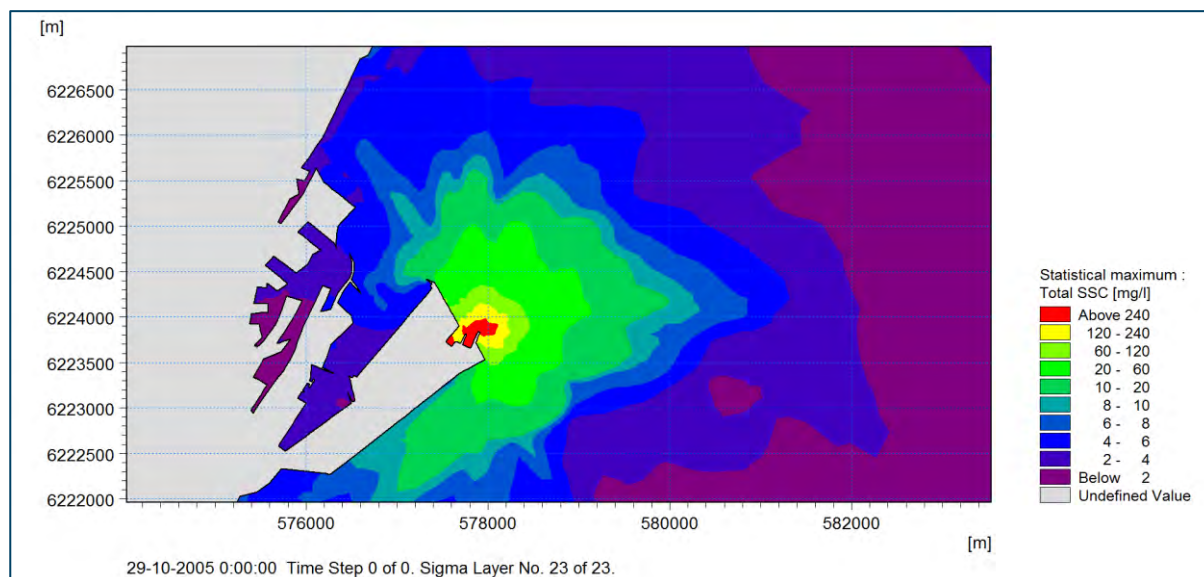
Figur E - 5 Maksimum af koncentration (total SSC) for sommerperioden.
(første etape – dag 1-27)



Figur E - 6 Maksimum af koncentration (total SSC) for sommerperioden.
(anden etape – dag 28-52)



Figur E - 7 Maksimum af koncentration (total SSC) for vinterperioden.
(første etape – dag 1-27)

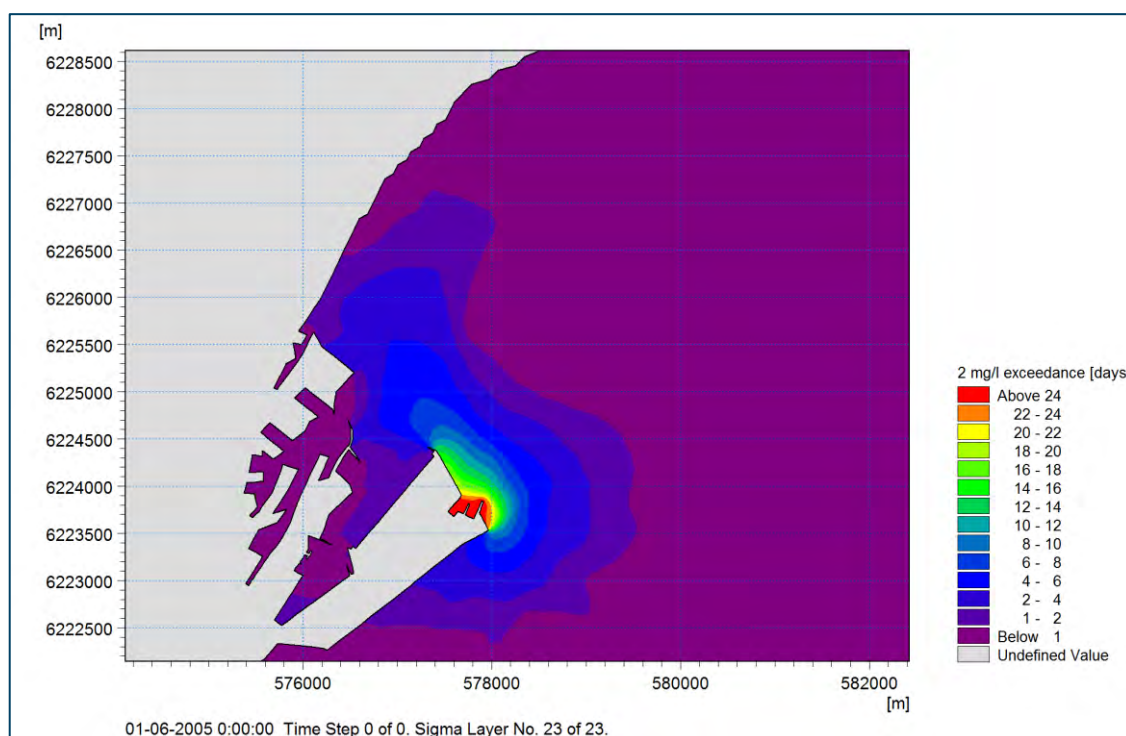


Figur E - 8 Maksimum af koncentration (total SSC) for vinterperioden.
(anden etape – dag 28-52)

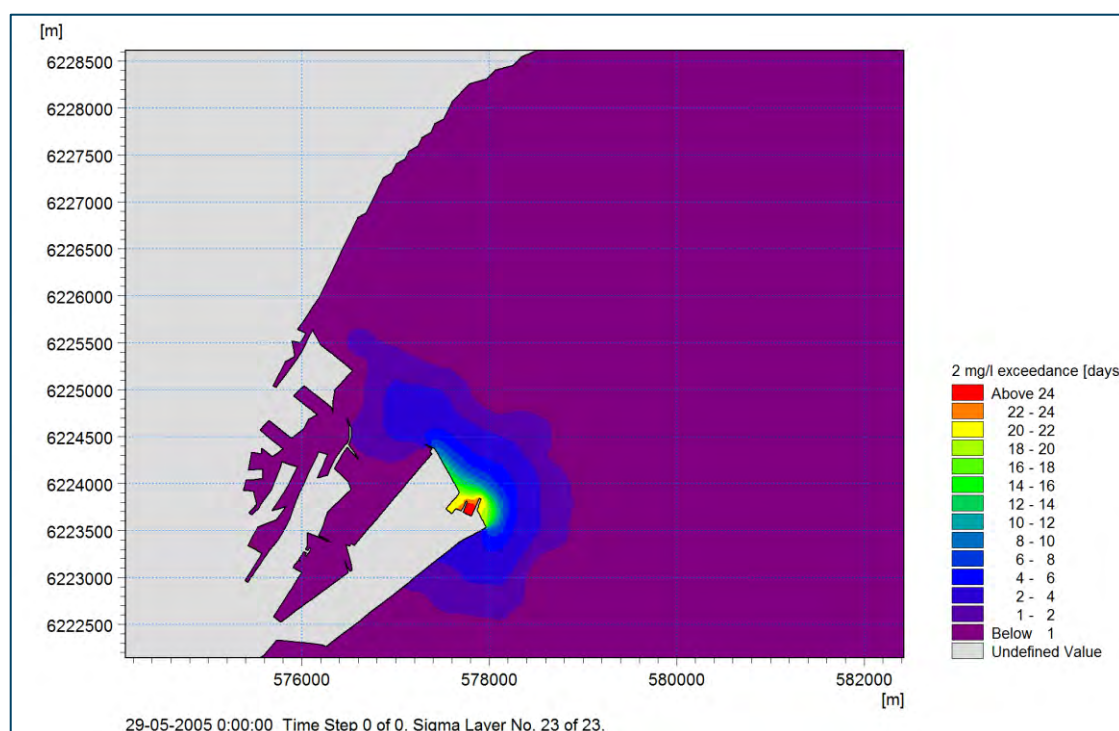
Appendix F

Overskridelse af koncentrationsniveauer

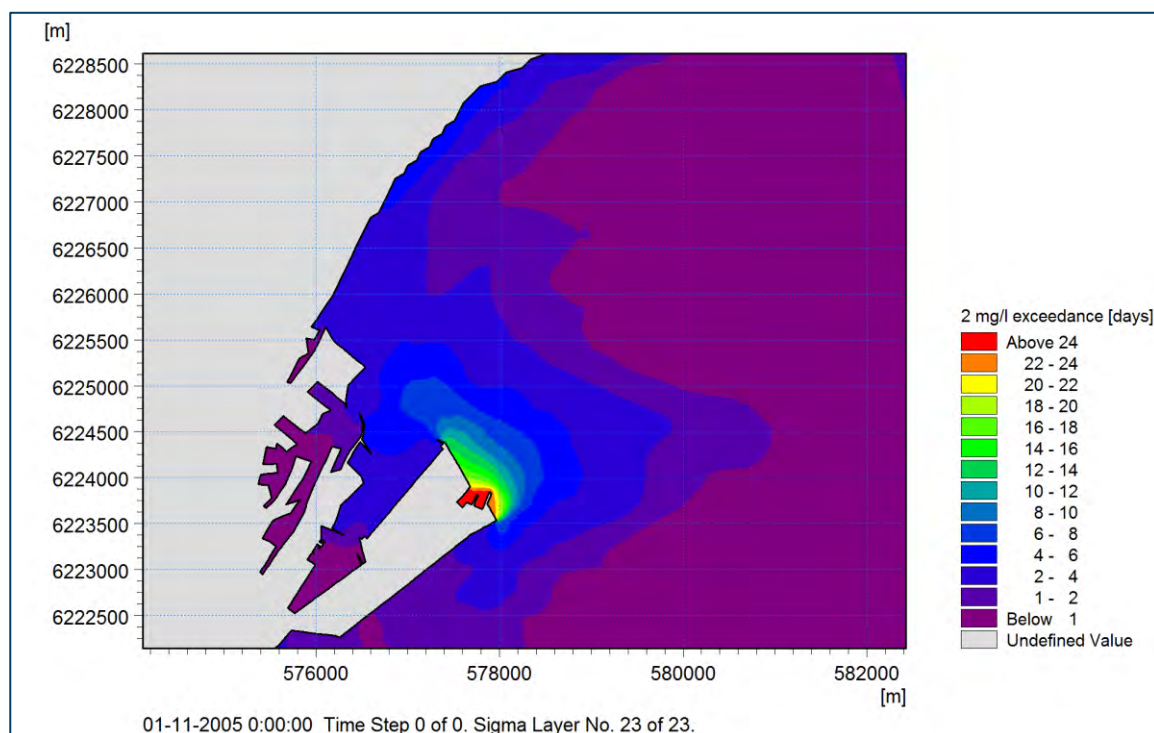
Overskridelse af koncentrationsniveauer på 2 mg/l og 10 mg/l er vist i nedenstående figurer.



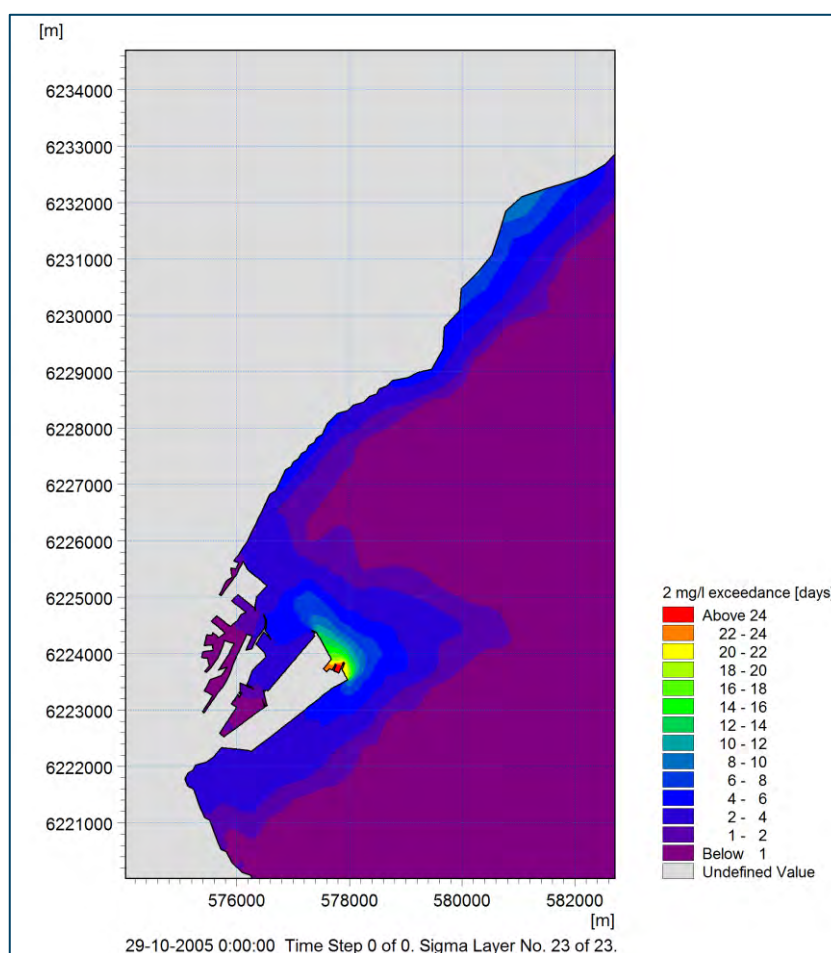
Figur F - 1 Antal dage med overskridelse af 2 mg/l (total SSC) for sommerperioden (første etape – dag 1-27)



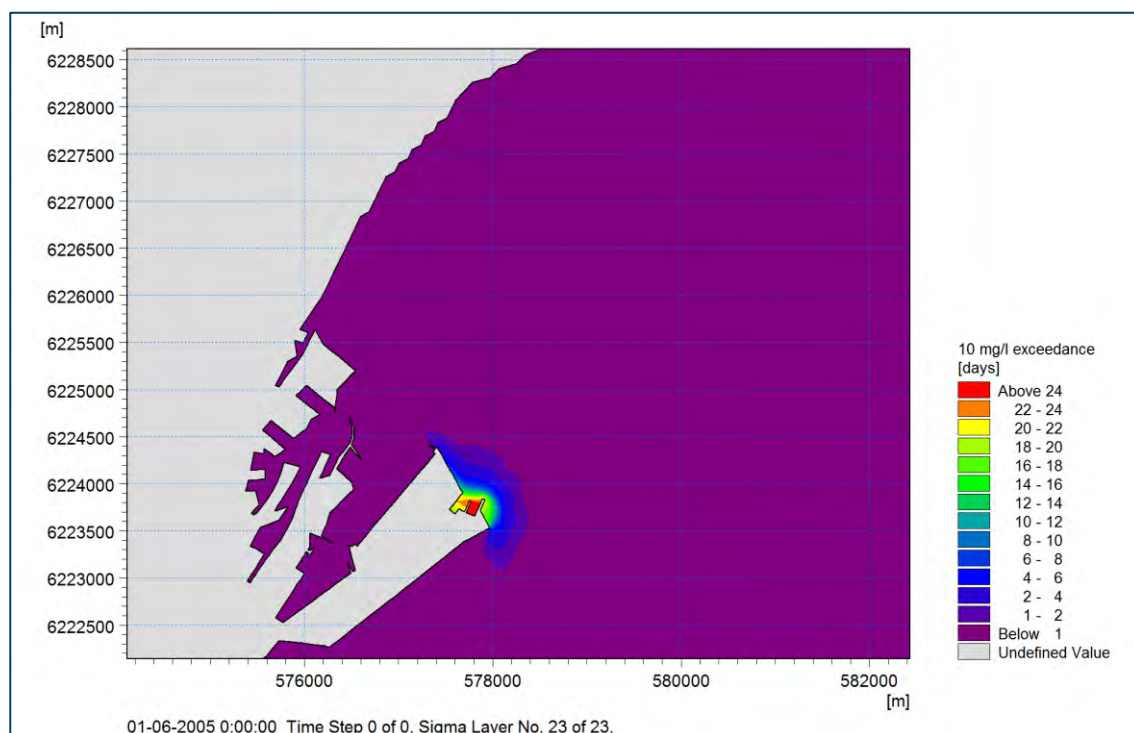
Figur F - 2 Antal dage med overskridelse af 2 mg/l (total SSC) for sommerperioden (anden etape – dag 28-52)



Figur F - 3 Antal dage med overskridelse af 2 mg/l (total SSC) for vinterperioden (første etape – dag 1-27)



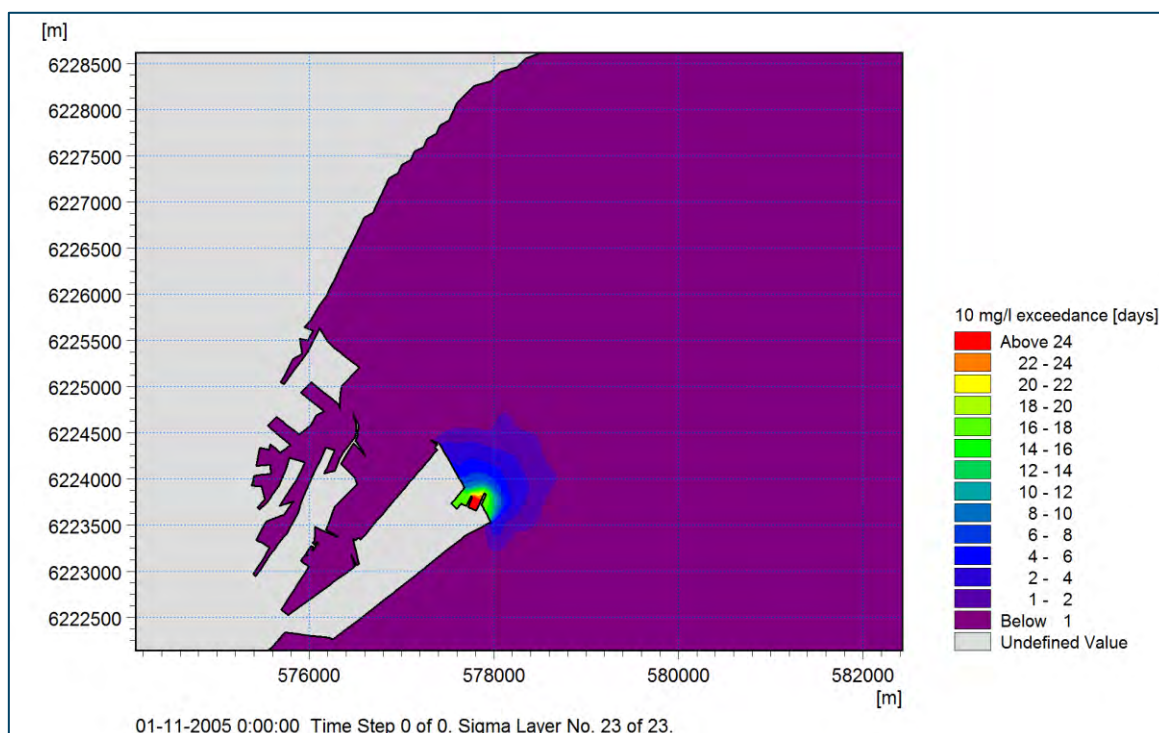
Figur F - 4 Antal dage med overskridelse af 2 mg/l (total SSC) for vinterperioden
(anden etape – dag 28-52)



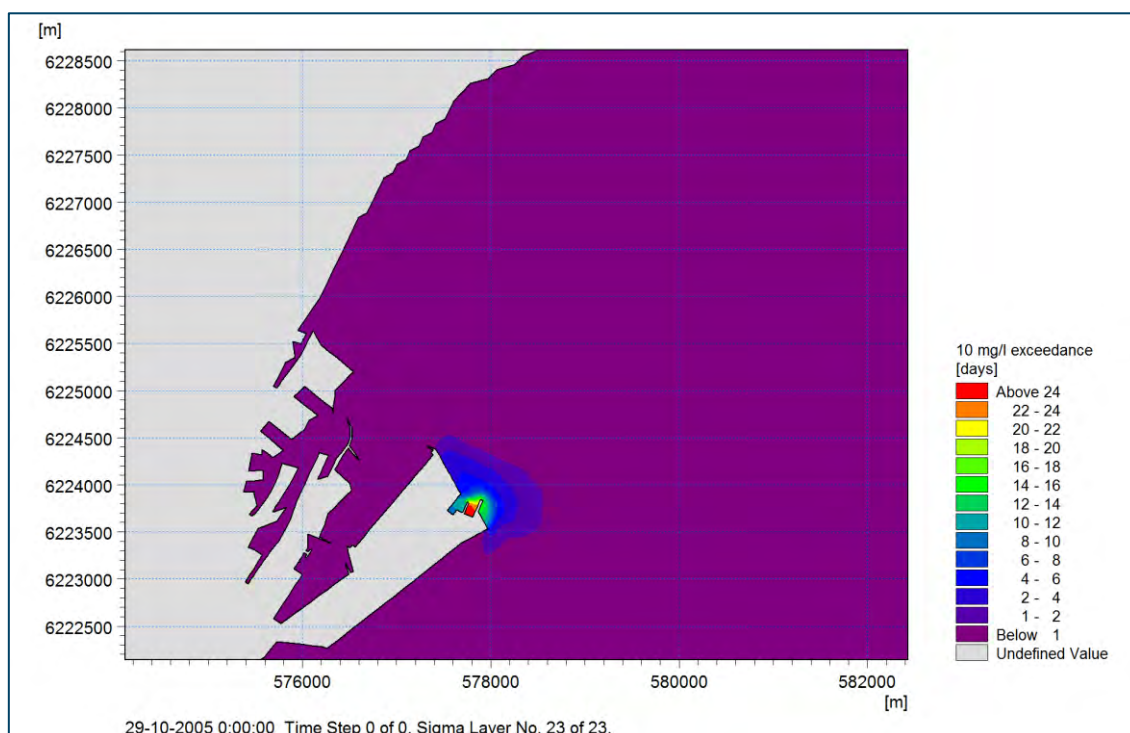
Figur F - 5 Antal dage med overskridelse af 10 mg/l (total SSC) for sommerperioden (første etape – dag 1-27)



Figur F - 6 Antal dage med overskridelse af 10 mg/l (total SSC) for sommerperioden (anden etape – dag 28-52)



Figur F - 7 Antal dage med overskridelse af 10 mg/l (total SSC) for vinterperioden (første etape – dag 1-27)

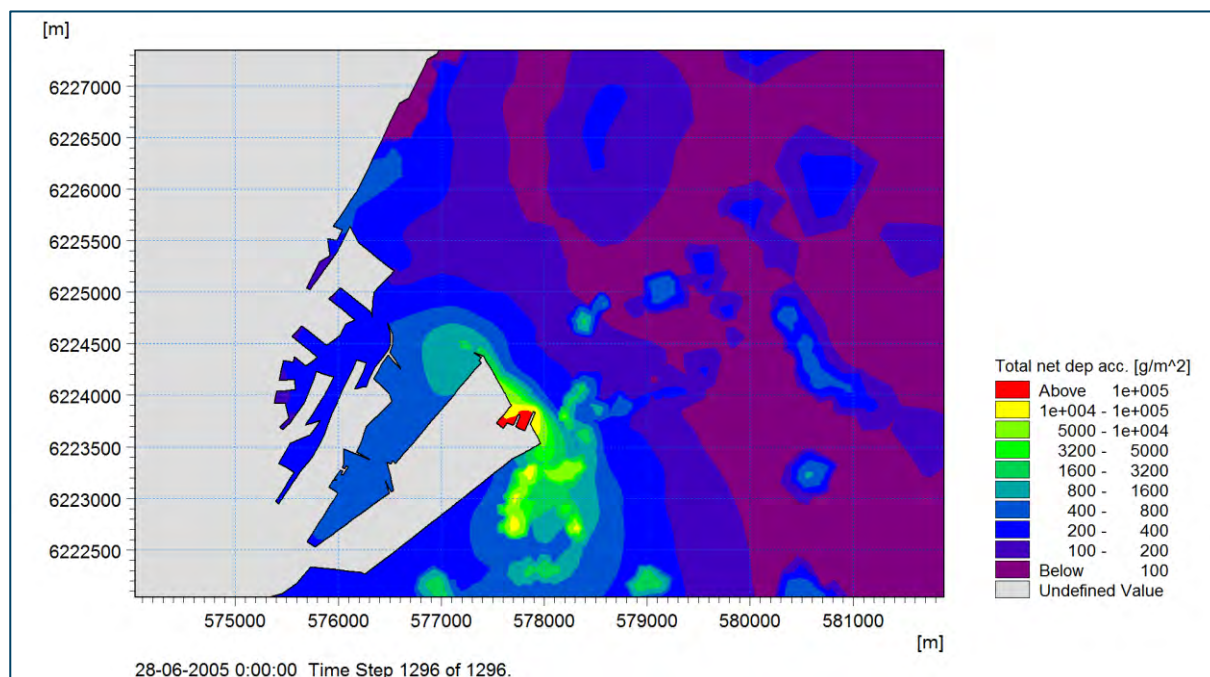


Figur F - 8 Antal dage med overskridelse af 10 mg/l (total SSC) for vinterperioden (anden etape – dag 28-52)

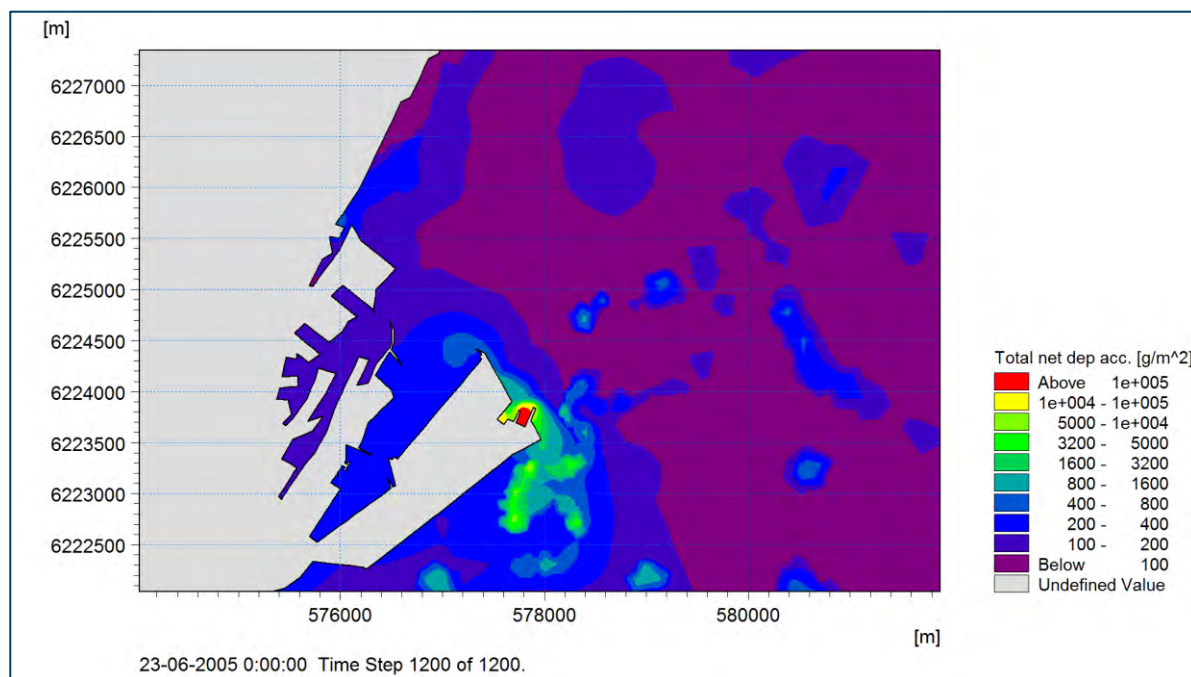
Appendix G

Sedimentaflejring

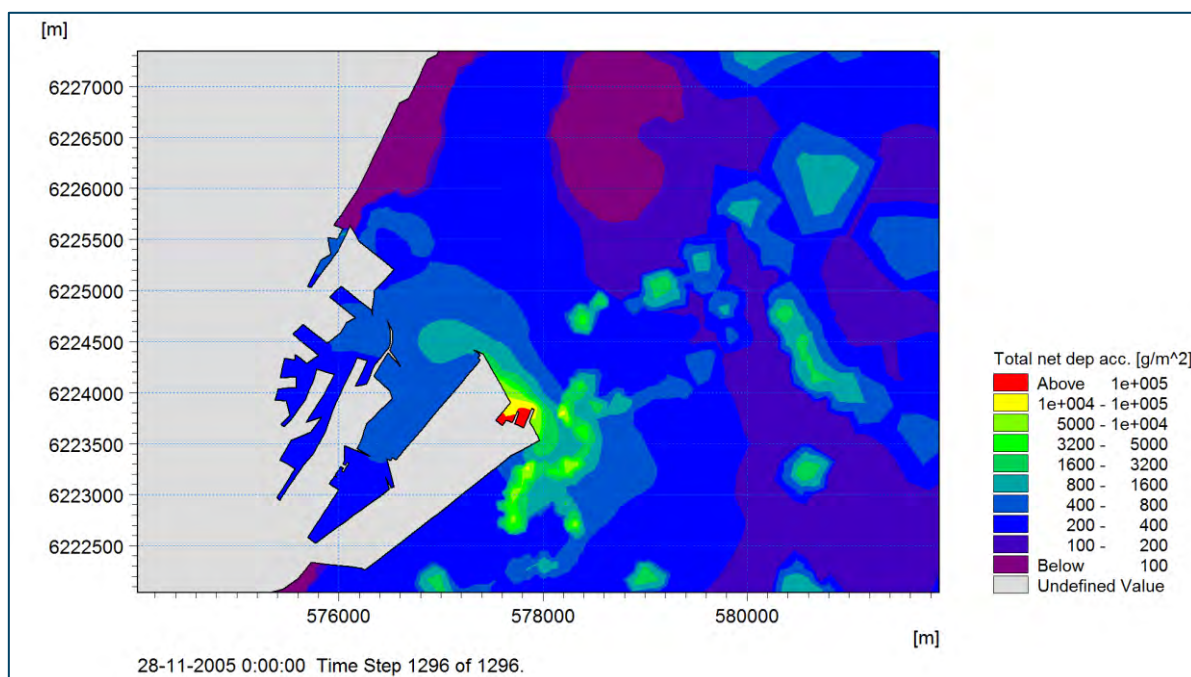
Den akkumulerede aflejring af sediment som masse per areal (g/m^2) og ændring i bundtykkelse (m) efter hver simuleringsperiode er vist i nedenstående figurer.



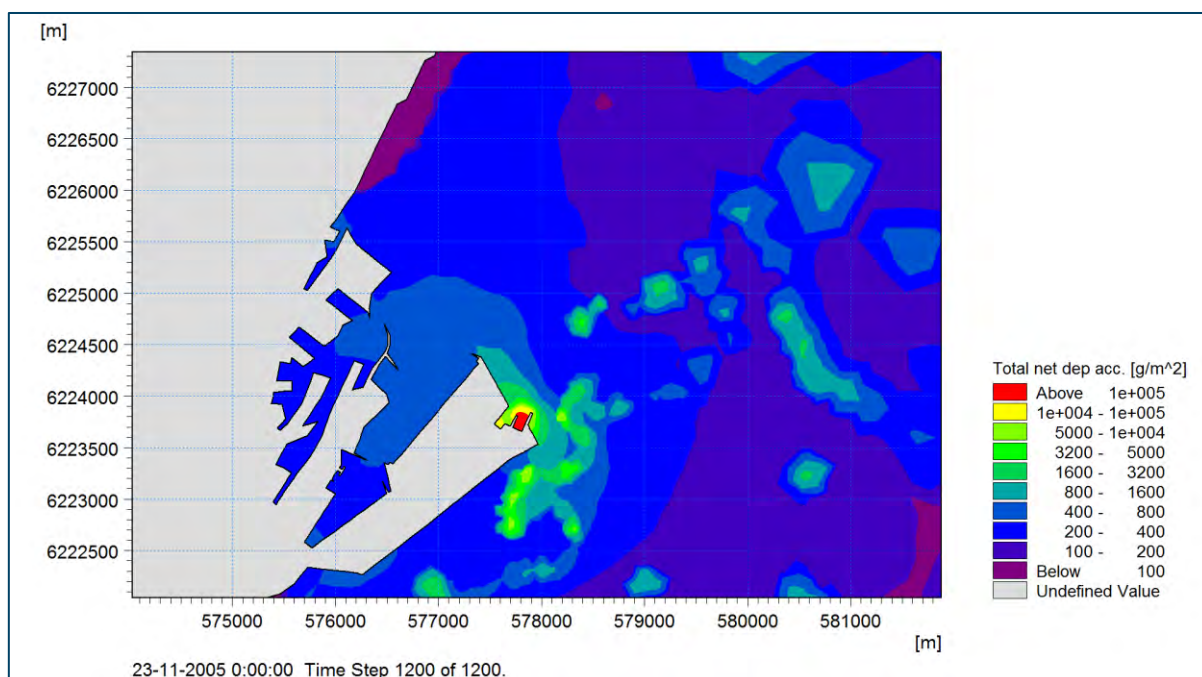
Figur G - 1 Aflejring (g/m^2) for sommerperioden (første etape – dag 1-27)



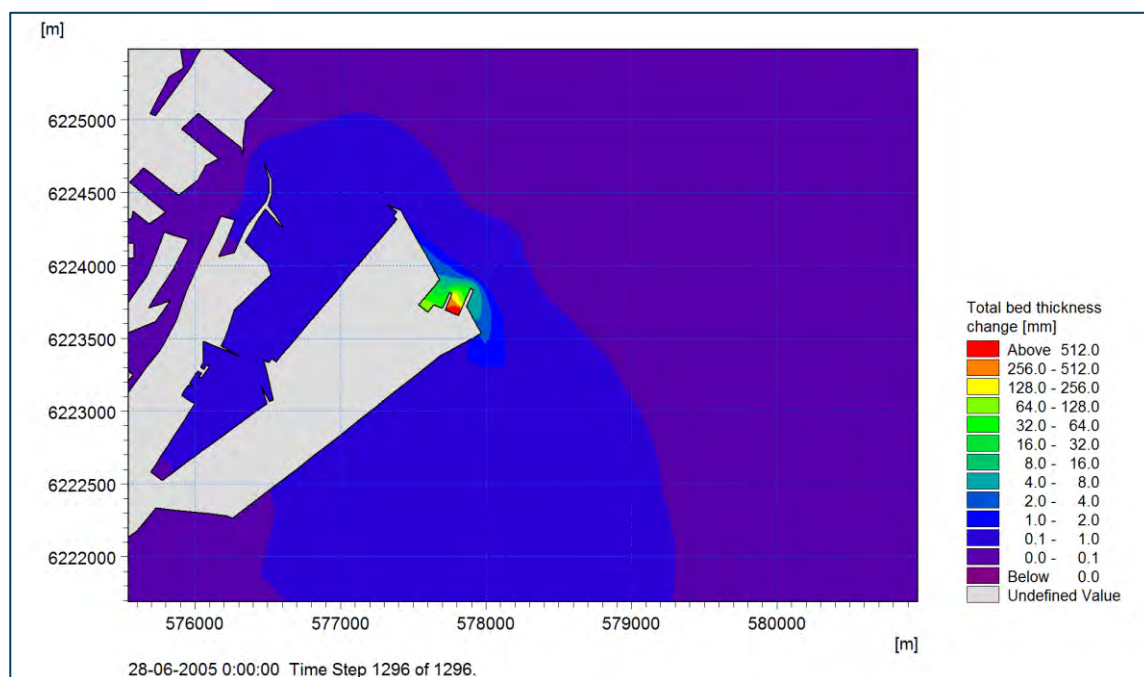
Figur G - 2 Aflejring (g/m^2) for sommerperioden (anden etape – dag 28-52)



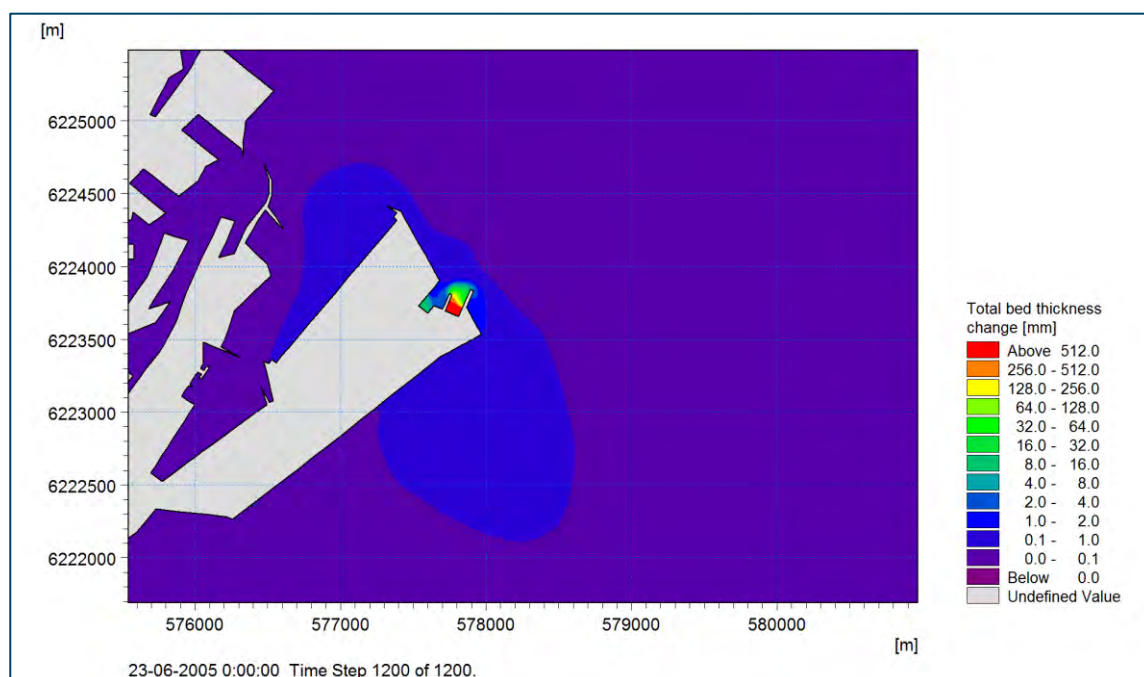
Figur G - 3 Aflejrning (g/m²) for vinterperioden (første etape – dag 1-27)



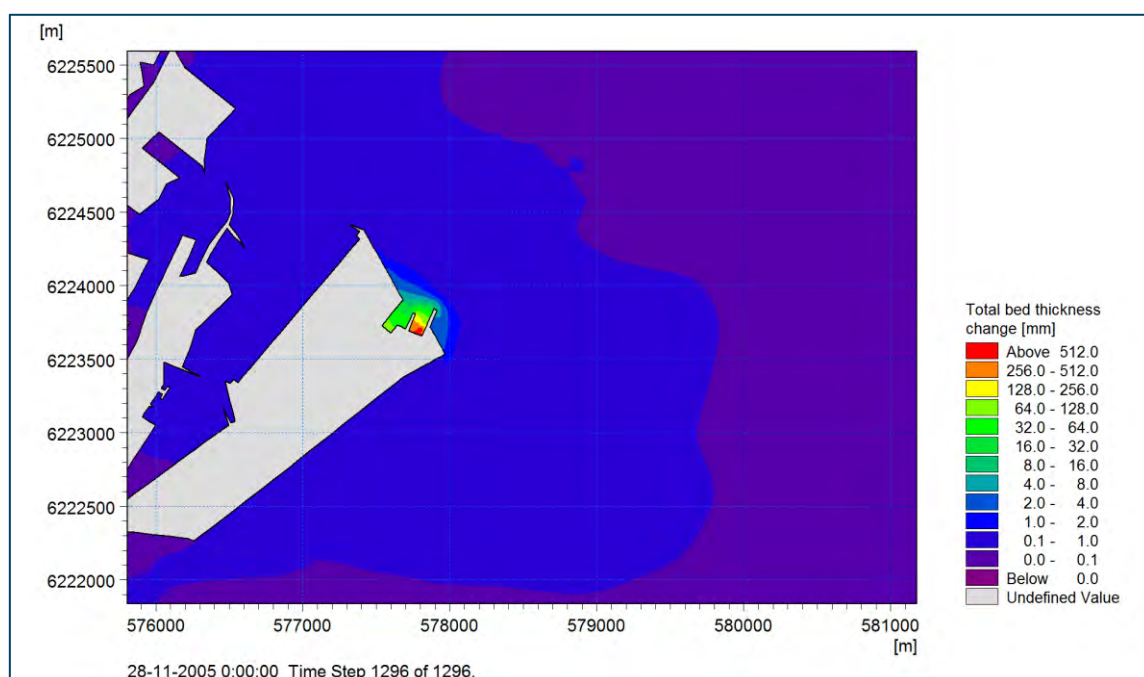
Figur G - 4 Aflejrning (g/m²) for vinterperioden (anden etape – dag 28-52)



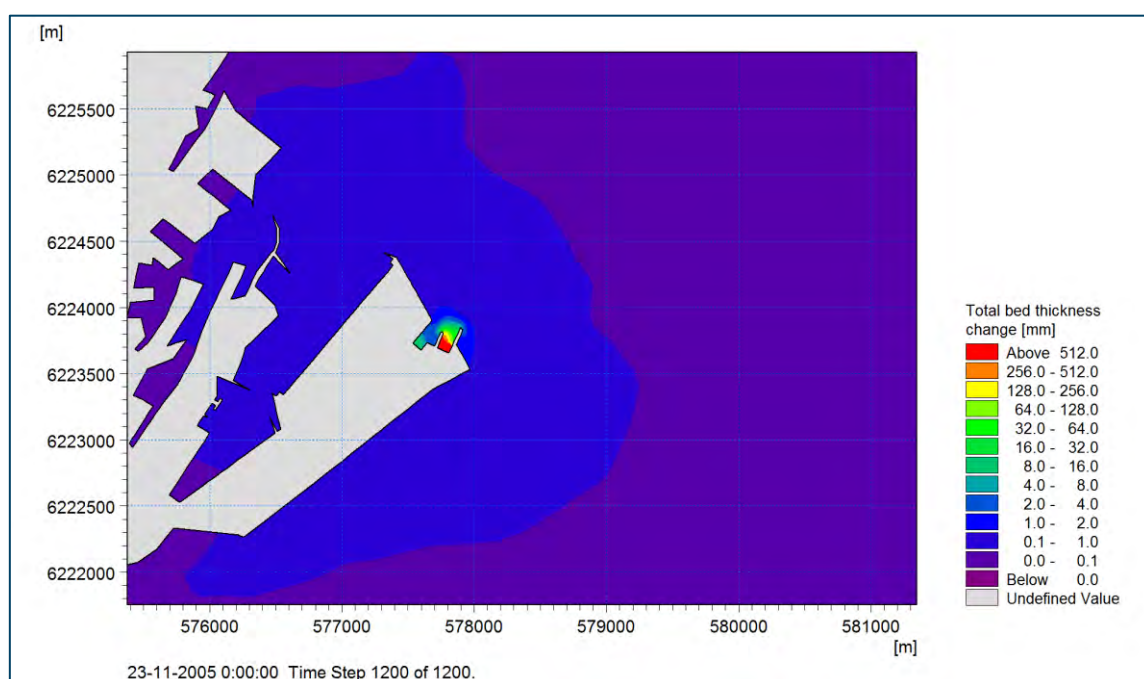
Figur G - 5 Aflejring i form af total bundtykkelse (mm) for sommerperioden (første etape – dag 1-27)



Figur G - 6 Aflejring i form af total bundtykkelse (mm) for sommerperioden (anden etape – dag 28-51)



Figur G - 7 Aflejring i form af total bundtykkelse (mm) for vinterperioden (første etape – dag 1-27)



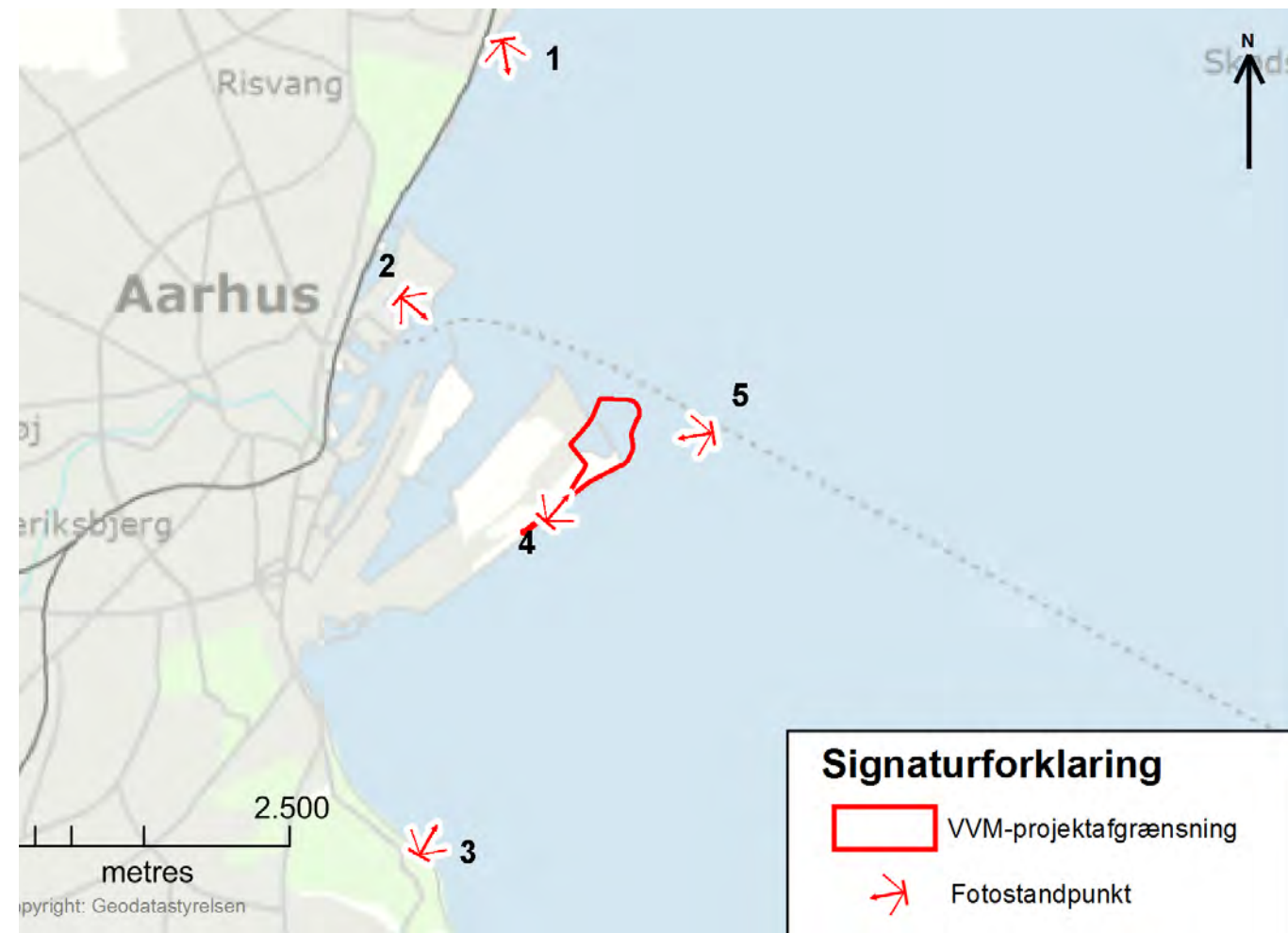
Figur G - 8 Aflejring i form af total bundtykkelse (mm) for vinterperioden (anden etape – dag 28-51)

Bilag 3: Visualiseringsrapport

Aarhus Havn - Miljøreddegørelse for flytning af færgeterminal

Metode til visualisering

Til dette projekt er der taget fem billeder med forskellige fotostandpunkter. Fotostandpunkterne fremgår af kortet nedenfor.



Billederne er taget med et Nikon D800E med full size sensor.

Der er anvendt et: Carl Zeiss f: 1,4 / 50 mm objektiv (fotostandpunkt 3) og et Carl Zeiss f: 2 / 35 mm zoom objektiv (fotostandpunkt 1, 2, 4 og 5).

Der er med udgangspunkt i Aarhus Kommunes krav til visualiseringer målt referenc punkter med GPS og foretaget en orientering af billederne.

3D-modellen er udarbejdet på baggrund af plantegningen for projektområdet. 3D-modellens hovedkomponenter omfatter ændring af moleanlæg, etablering af administrations-/billetbygninger og opmarcharealer samt tre personfærger og en RoRo-færge.

3D-modellen er placeret i koordinatsystemet System 34 Jylland. Fotostandpunkterne er konverteret til samme koordinatsystem, så fremstillingerne af modellen kan positioneres i overensstemmelse med fotografierne. Ligeledes er kameraoptikken overført til 3D-modellen, så brændvidden er korrekt.

Visualiseringerne giver et indtryk af, hvordan anlæggene vil fremstå i landskabet.

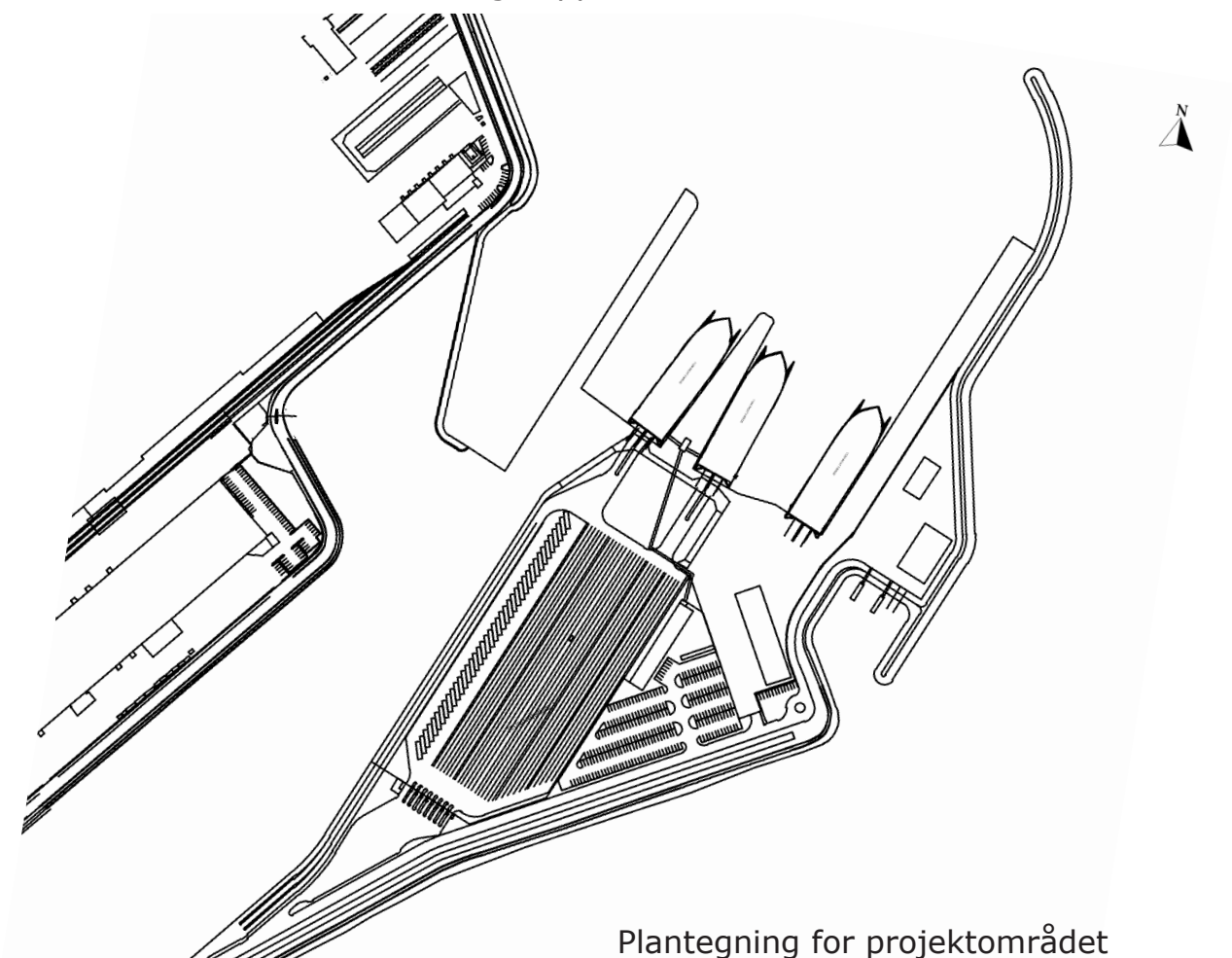
Den optimale betragtningsafstand, hvor visualiseringen bedst muligt viser, hvordan anlægget vil opleves, afhænger af den anvendte brændvidde i forbindelse med optagelsen af fotografiet.

Miljøredegørelsen er beregnet til digital anvendelse og findes kun som en PDF. Der kan derfor ikke angives en optimal betragtningsafstand i cm, da den afhænger af læserens skærmopløsning, skærmstørrelsen og afstand til skærmen.

Da der anvendes en PDF, kan den anbefalede betragtningsafstand let opnås, hvis læseren har en afstand til skærmen, som svarer til diagonalen på skærmen. Under disse betingelser kan den optimale betragtningsafstand opnås ved at vise billedet i fuld skærbredde og derefter ændre zoomfaktoren, så man ser mere af billedet.

Den optimale betragtningsafstand ved print er angivet ved hver visualisering.

Der er ikke angivet brændvidde og betragtningsafstand på visualiseringerne i hovedrapportens afsnit om påvirkningen af landskabet, da billederne er så små, at opløsningen ikke er tilstrækkelig til en realistisk oplevelse af påvirkningen. Der henvises i stedet til denne visualiseringsrapport.



Fotostandpunkt nr. 1. Risikov Strand – eksisterende forhold



Fotostandpunkt nr. 1. Risskov Strand – fremtidige forhold. Færgeterminalen er synlig i billedet



Udstrækning af færgeterminal

Betragtningsafstand ved A3-print: 40 cm

Fotostandpunkt nr. 2. Aarhus Ø – eksisterende forhold



Betragtningsafstand ved A3-print: 40 cm

Fotostandpunkt nr. 2. Aarhus Ø – fremtidige forhold. Færgeterminalen er synlig



Udstrækning af færgeterminal

Fotostandpunkt nr. 3. Ballehage Strand (Marselis Skov) – eksisterende forhold



Betragningsafstand ved A3-print: 40 cm

Fotostandpunkt nr. 3 - fremtidige forhold. Færgeterminalen er synlig fra området



Udstrækning af færgeterminal

Fotostandpunkt nr. 4. Området set fra Østhavnen – eksisterende forhold



Betragningsafstand ved A3-print: 40 cm

Fotostandpunkt nr. 4. Området fra Østhavnen – fremtidige forhold



Betragningsafstand ved A3-print: 40 cm

Fotostandpunkt nr. 5. Aarhus Bugten – eksisterende forhold



Betragtningsafstand ved A3-print: 40 cm

Fotostandpunkt nr. 5 - fremtidige forhold. Den nye færgeterminal med tilhørende færger kan ses fra Aarhusbugten



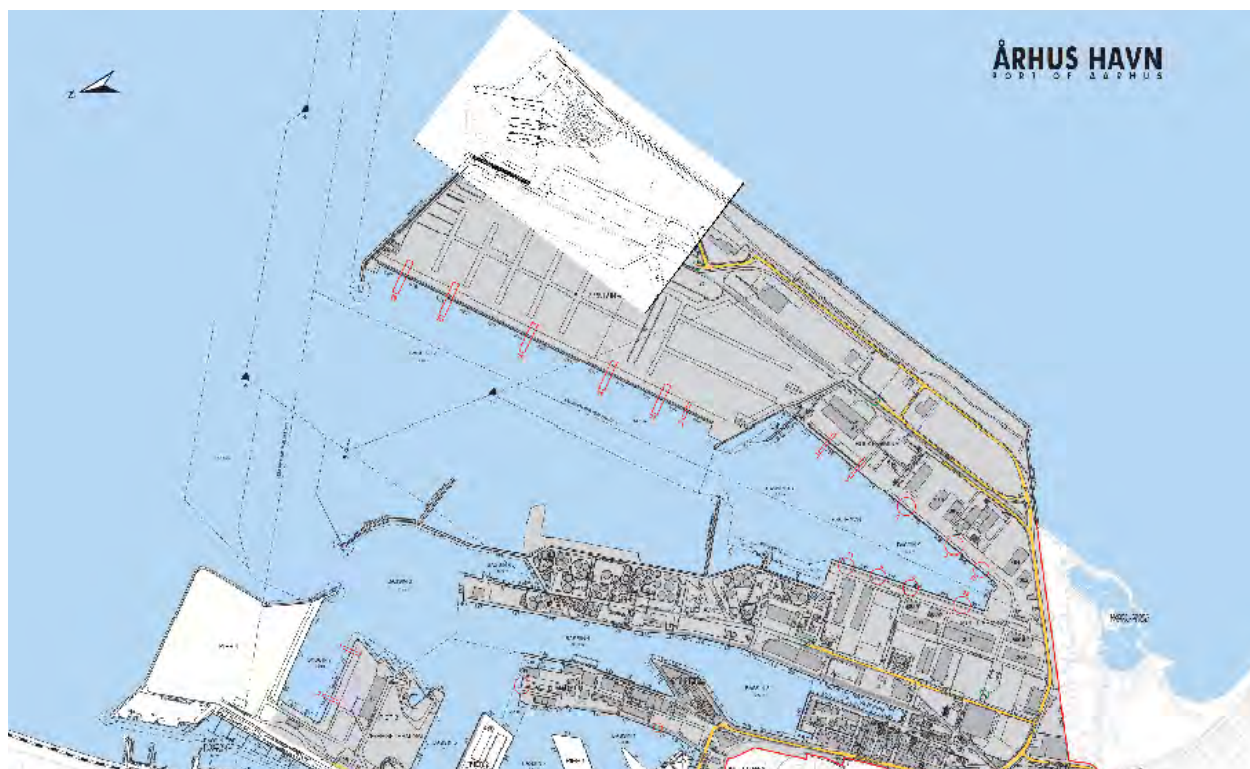
Betragtningsafstand ved A3-print: 40 cm

Til
Aarhus Havn

Dokumenttype
Rapport

Dato
August 2017

RISIKO-SCREENING KONSEKVENSEN FOR AARHUS HAVN FÆRGETERMINAL



RISIKO-SCREENING KONSEKVENSEN FOR AARHUS HAVN FÆRGETERMINAL

Revision **8**
Dato **2017-08-30**
Udarbejdet af **Henrik Fanø Clausen**
Heidi Caroline Sillanpää
Jan Gramkov
Kontrolleret af **Jan Gramkov**
Ole Riger-Kusk
Lene Alstrup
Godkendt af **Ole Riger-Kusk**
Beskrivelse **Konsekvensberegninger for Aarhus Havn Færgetermi-
nal**

Ref. 1100011049\C00286-1-ORK

Rambøll
Hannemanns Allé 53
DK-2300 København S
T +45 5161 1000
F +45 5161 1001
www.ramboll.dk

INDHOLD

1.	INDLEDNING	1
1.1	Afgrænsning	1
2.	SAMMENFATNING OG KONKLUSION	2
3.	METODE OG PARAMETRE	5
3.1	Skadeskriterier	5
3.2	PHAST beregninger	7
3.3	Beregning af konsekvenser	9
3.3.1	Brand i væskepøl	10
3.3.2	Spredning af gasser/dampe	10
3.3.3	Spredning af brandfarlige gasser/dampe og efterfølgende eksplosion	11
3.3.4	Eksplosion som resultat af dekomponering	11
3.3.5	BLEVE eksplosion	11
3.4	Vurdering af maksimal konsekvensafstand	12
3.5	CFD simuleringer	12
4.	KONSEKVENSZONER	13
5.	KONSEKVENSBEREKNINGER	14
5.1	Scenarie for uheld 1	14
5.2	Scenarie for uheld 2	15
5.3	Scenarie for uheld 3	17
5.4	Scenarie for uheld 4	21
5.5	Scenarie for uheld 5	22
5.6	Scenarie for uheld 6	22
5.7	Scenarie for uheld 7	23
5.8	Scenarie for uheld 8	24
5.9	Scenarie for uheld 9	24
5.10	Scenarie for uheld 10	25
5.10.1	Sandsynlighed	26
5.11	Scenarie for uheld 11	26
5.12	Scenarie for uheld 12	26
5.13	Scenarie for uheld 13A og 13B	26
5.14	Scenarie for uheld 14A	27
5.15	Scenarie for uheld 14B	31
6.	REFERENCER	33

1. INDLEDNING

Denne rapport har til formål at screene relevante konsekvenser ved aktiviteterne på APM Terminals – Cargo Service (APM Terminals Aarhus) i forhold til ny placering af færgeterminalen i Aarhus Havn.

VVM-redegørelsen for den nye placering af færgeterminalen omfatter en vurdering af risikoforhold, eftersom området ligger indenfor planlægningszonen omkring risikovirksomheden APM Terminals Aarhus, jf. Tillæg nr. 24 til Kommuneplan 2013 og erhvervs- og vækstministeriets bekendtgørelse nr. 371 af 26.04.2016 om planlægning omkring risikovirksomheder. Planlægningszonen omkring APM Terminals Aarhus er udlagt efter den maksimale konsekvensafstand (tærskelværdier fastlagt i samarbejde med risikomyndighederne, se afsnit 3.1 for en nærmere beskrivelse). I forbindelse med myndighedernes fastlæggelse af indholdet i VVM'en har beredskabet skriftligt udtrykt bekymring for ét af de scenarier som potentielt har konsekvenser, der strækker sig ind over den planlagte færgeterminal. Bekymringen vedrører beredskabets begrænsede muligheder for at evakuere det berørte område kombineret med det potentielle antal af påvirkede personer.

Screeningen er en del af et undersøgelsesforløb for afklaring af beredskabets bekymringer omkring de begrænsede muligheder for at kunne evakuere personer på opmarcharealet på færgeterminalen i tilfælde af et værst tænkeligt uheld. Screeningen skal bruges til vurdering af om, og i så fald hvilke, uheldsscenarioer der skal foretages detaljerede analyser af med CFD (Computational Fluid Dynamic) simuleringer.

1.1 Afgrænsning

Alle beregninger er foretaget ud fra de antagelser, som er anvendt i sikkerhedsrapporten for APM Terminals Aarhus, ref. /1/.

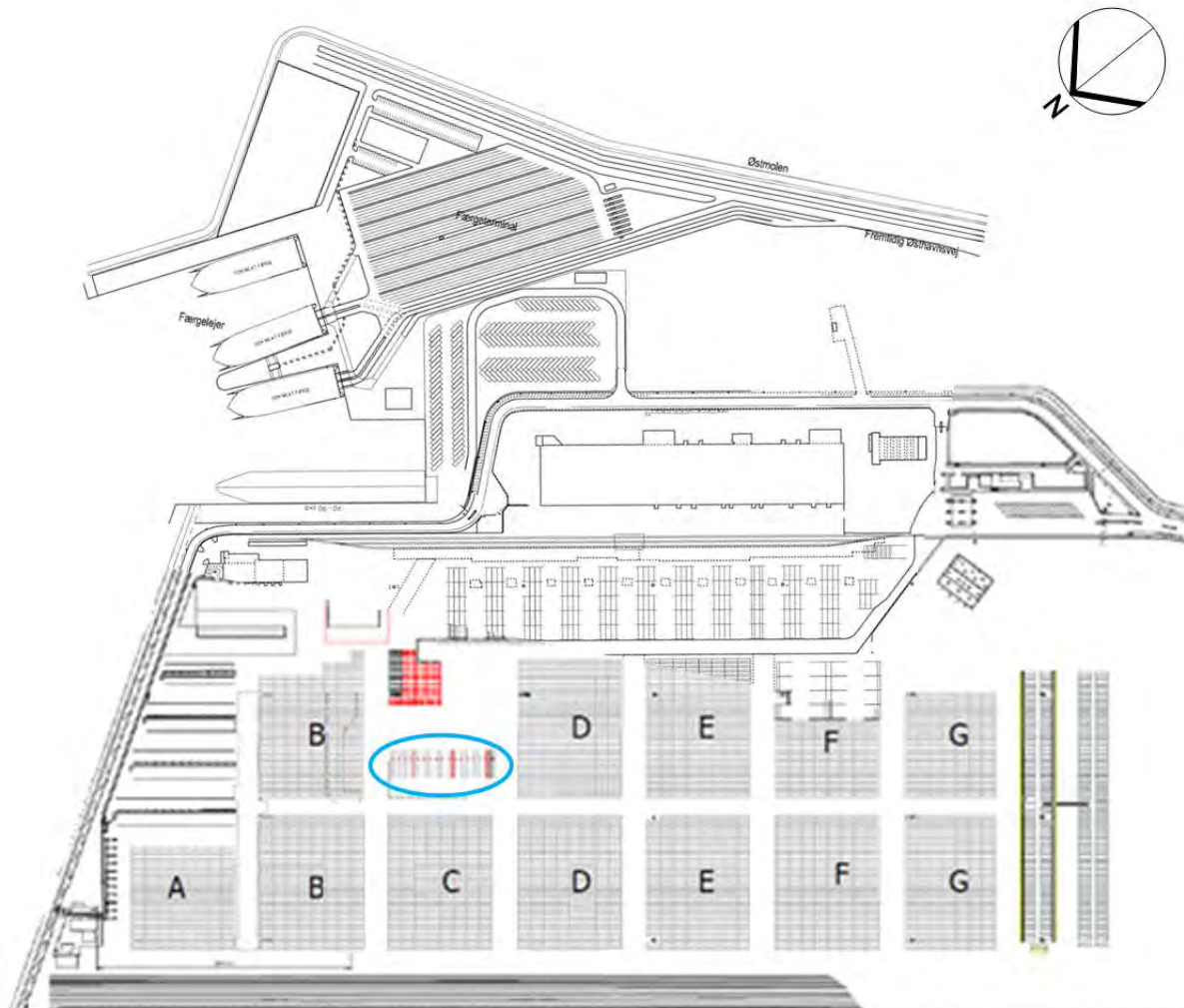
Lastning/losning til og fra skib: Eftersom containerkajen og dermed containerskibene ligger længere væk fra færgeterminalen end opmarcharealet for containere, bliver der ikke vurderet på konsekvenserne i forbindelse med containere om bord eller under lastning/losning fra skibe, da disse konsekvenser er dækket af beregningerne for selve containeroplaget.

Lastning/losning af lastbiler: Eftersom transporten af containerne på lastbil er underlagt ADR som er en international konvention om transport af farligt gods på veje, ref. /8/ & /9/ og derfor ikke er underlagt risikobekendtgørelsens bestemmelser, vurderes der ikke på kørsel med containere på lastbilerne. Kun selve lastnings/losningsoperationen af lastbilen er således omfattet af vurderingerne.

Denne rapport beskæftiger sig alene med større uheld, hvorfor personskade, som resultat af mindre uheld eller trafikuheld, ikke er omfattet. Trafikuheld medtages kun i det omfang containere med farlige stoffer er involveret.

Risikoen som følge af terror, hærværk og tyveri er ikke vurderet. Virksomheden skal dog i henhold til risikobekendtgørelsens § 11 udarbejde en sårbarhedsvurdering med henblik på at forebygge forsætlige skadevoldende handlinger.

I rapporten refereres til områderne på APM Terminals Aarhus i henhold til figur 1-1 kopieret fra sikkerhedsrapporten for APM Terminals Aarhus, ref. /1/.



Figur 1-1. Beskrivelse af områdebetegnelserne (A, B, C, D, E, F og G) på APM Terminals Aarhus. Udvekslingsområdet, hvor containere afleveres og afhentes med lastbiler, forefindes mellem område B og D (markeret med en blå cirkel).

2. SAMMENFATNING OG KONKLUSION

Screeningen er foretaget ved beregning med programmet PHAST RISK version 6.6, ref. /5/, der er en omfattende samling af beregningsmetoder og -modeller for uheld i procesanlæg, beregningsmetoderne er yderligere beskrevet i afsnit 3.3.

De beregnede maksimale konsekvensafstande (se underafsnit i afsnit 5) viser, at udslip af klor (uheld 3, se figur 5-2 og figur 5-4) har konsekvenszoner, der kan dække hele opmarcharealet på færgeterminalen ved visse vindretninger og vindhastigheder.

På baggrund af resultaterne af de indledende beregninger i PHAST RISK anbefales det, at der udføres simuleringer ved hjælp af CFD (Computational Fluid Dynamics) for uheldsscenario 3. Dette vil kunne klarlægge, om bygninger eller andre afværgende forhold vil kunne beskytte opmarcharealet for de toksiske effekter beskrevet i uheld 3.

De beregnede maksimale konsekvensafstande viser, at konsekvenszonerne for overtryk fra eksplosion (uheld 2, 4, 7, 8 og 10), herunder eksplosion som følge af brand, ikke rækker ind over området til ny færgeterminal.

Ligeledes rækker konsekvenszonerne for varmepåvirkning fra brand, ikke uden for containerterminalens eget område.

Nedenfor er vist en samlet tabel med konsekvenser for færgeterminalen ved alle uheld, se tabel 2-1.

Uheld	Stof	Kommentar / Konsekvens for færgeterminal
<i>Uheld 1</i>	<i>Fyrværkeri og TNT</i>	<i>Uheld 1 omhandler kun fyrværkeri i undergruppe 1.1G samt TNT. Andre fyrværkerityper, herunder undergruppe 1.3G og 1.4G, kan i henhold til indplaceringen under ADR, ikke masseeksplodere. Stoffer om er relevante i forhold til uheld 1 straksafhentes. På grund af straks afhentning er sandsynligheden for et uheld med TNT eller fyrværkeri undergruppe 1.1G (også som resultat af domino fra andre uheld) lavere end 10^{-9} pr. år og er derfor så sjældent at det ikke indgår i vurderingen.</i>
Uheld 2	Propan	Konsekvenszonen rækker ikke ind over færgeterminalens område.
Uheld 3	Chlor, 4 beholdere (180 kg)	Konsekvenszonen kan dække hele opmarcharealet ved udvalgte vindretninger.
Uheld 4	Heptan	Konsekvenszonen rækker ikke ind over færgeterminalens område.
<i>Uheld 5</i>	<i>Udslip af natriumhydroxid støv</i>	<i>De beregnede maksimale konsekvensafstande i sikkerhedsdokumentet angiver at konsekvenszonen ikke rækker ind over færgeterminalens område. Hvorfor beregningerne ikke gentages i screeningen.</i>
Uheld 6	Spild af Acetylchlorid efterfulgt af opblanding med regnvand	Det er vurderet at konsekvenszonen ikke når ud over yarden.
Uheld 7	Hydrogenperoxid dekomponering	Konsekvenszonen rækker ikke ind over færgeterminalens område.
Uheld 8	MEKP (Dannelse af MEK og Myresyre)	Konsekvenszonen rækker ikke ind over færgeterminalens område.
<i>Uheld 9</i>	<i>Pesticid i havnen</i>	<i>Ikke relevant at vurdere på i denne forbindelse, da dette er et uheld med miljømæssige konsekvenser</i>
Uheld 10	Butanol 25 m ³ (20,2 tons)	Konsekvenszonen rækker ikke ind over færgeterminalens område.
<i>Uheld 11</i>	<i>Pesticid i havnen</i>	<i>Ikke relevant at vurdere på i denne forbindelse, da dette er et uheld med miljømæssige konsekvenser</i>
<i>Uheld 12</i>	<i>Pesticid i havnen</i>	<i>Ikke relevant at vurdere på i denne forbindelse, da dette er et uheld med miljømæssige konsekvenser</i>
<i>Uheld 13A</i>	<i>Chlor 25 m³ (39 tons) Læk fra tank</i>	<i>Det er blevet oplyst af APM Terminals Aarhus, at materialet ikke modtages i den godsmængde længere.</i>
<i>Uheld 13B</i>	<i>Chlor 25 m³ (39 tons) Opvarmning og tank-sprængning</i>	<i>Det er blevet oplyst af APM Terminals Aarhus, at materialet ikke modtages i den godsmængde længere.</i>
Uheld 14A	Propan (23,5 tons) Eksplosion i afdampet gas fra en læk.	Konsekvenszonen rækker ikke ind over færgeterminalens område.
Uheld 14B	Propan (23,5 tons) BLEVE	Konsekvenszonen rækker ikke ind over færgeterminalens område.

Tabel 2-1. Oversigt over screeningsresultaterne af uheldsscenarier vurderet i afsnit 5 og eventuelt beregnet i PHAST RISK. Uheldsscenarierne med den kursive skrift og grå baggrund angiver uheld, der ikke er genberegnet under screeningen, jf. kommentarer i ovenstående tabel ved de respektive scenarier.

3. METODE OG PARAMETRE

I dette afsnit er de forskellige beregningsmetoder beskrevet samt relevante ikke scenariospecifikke parametre.

Konsekvenser beregnet med forskellige empiriske modeller og versioner af software giver anledning til forskelle i resultaterne på grund af forskellige modelstyrker og –svagheder samt at modeller og software til stadighed bliver sammenlignet og kalibreret i forhold til tilgængelige fuldskala forsøg.

3.1 Skadeskriterier

Uhelbredelig og/eller livstruende personskade (herunder dødsfald) som følge af uheld i forbindelse med oplag (samt produktion og distribution) af farlige stoffer kan opstå som følge af varmepåvirkning fra brand, trykpåvirkning i form af overtryk fra eksplosion eller forgiftning fra giftig gas (eller støv), der spredes med vinden.

De følgende kriterier for varmepåvirkning, overtryk og giftpåvirkning, der skal lægges til grund for beregning af maksimal konsekvensafstand, er en del af den administrative praksis på risikoområdet, som fastlagt i samarbejde mellem industri og risikomyndigheder. Kriterierne for skade er næsten sammenfaldende for sikkerhedsdokumentet og denne screening, kun anvendelse af 17 kW/m² for kortvarige brande er anderledes.

HSE har lavet et arbejde omkring konsekvenserne ved varmeflux påvirkning i forhold til personskade, dette arbejde er i tabel 3-1 sammenholdt med gængse varmeflux påvirkninger anvendt i sikkerhedsrapporter.

Varmeflux	Konsekvens
4 kW/m ²	Alvorlig personskade ved længere varende eksponering (> 2 minutter).
6 kW/m ²	Dødsfald ved længere varende eksponering (> 2 minutter). (4,9 kW/m ² svarer til 5% dødelighed ved 2 minutters eksponering, ref. /10/).
12,5 kW/m ²	Nedre grænse for hvornår domino til ikke brandbare materialer er mulig.
15 kW/m ²	Potentielle dominoeffekter ved langvarig eksponering.
17 kW/m ²	Dødsfald ved kortvarig eksponering (< 20 sekunder). (19 kW/m ² svarer til 5% dødelighed ved 20 sekunders eksponering, ref. /10/). (Fireball og BLEVE har normalt en varighed betydeligt kortere end 20 sekunder).
32 kW/m ²	Potentielle dominoeffekter ved kortvarig eksponering.

Tabel 3-1 Oplisting af gængse varmeflux påvirkninger i forhold til personskade i forhold til HSE rapport (ref. /10/).

Med udgangspunkt i HSE's arbejde er følgende kriterier for skade ved varmestrålingsniveauer, der anvendes i vurdering i forbindelse med brand, angivet i tabel 3-2.

Varmestråling	Konsekvens	Risikohåndbogen (ref. /11/) (06.12.2016)
6 kW/m ²	Alvorlig personskade eller dødsfald ved 2 minutters eksponering Varmestrålingskriterium anvendt ved langvarige brande (pølbrand, jetbrand)	4-6 kW/m ²
17 kW/m ²	Alvorlig personskade eller dødsfald ved 20 sekunders eksponering Varmestrålingskriterium anvendt ved kortvarige brande (skybrand, fireball, BLEVE)	Ikke angivet i risikohåndbogen

Tabel 3-2 Konsekvensafstanden for varmestrålingsintensitet.

Konsekvenser for eksplosionsovertryk fra eksplosioner, er angivet i tabel 3-3.

Eksplosions-overtryk	Konsekvens	Risikohåndbogen (ref. /11/) (06.12.2016)
0,05 bar	Kraftig personskade, risiko for dødsfald, laveste overtryk for alvorlig strukturel bygningsbeskadigelse	0,05 bar

Tabel 3-3 Konsekvens for eksplosionsovertryk fra eksplosion, der er anvendt for beregning af konsekvensafstand.

Ovenstående værdier viser, at en person vil kunne komme til skade eller i værste fald dø hvis personen er i det område, hvor overtrykket er større end 0,05 bar eller varmestrålingen er højere end 6 kW/m² efter 2 minutters eksponering for varmestrålingen eller højere end 17 kW/m² efter 20 sekunders eksponering.

Konsekvensen af toksiske udslip for eksponerede individer er afhængig af både selve koncentrationen og af eksponeringstiden.

Dødeligheden af toksiske udslip beregnes med probit metoden (ref. /3/), som antager en normalfordelt sårbarhed i befolkningen overfor de forskellige toksiske kemikalier. For hvert kemikalie kan beregnes et parametersæt baseret på en række dyreforsøg.

Probit funktionen er: $Pr = a + b \ln(C^n t)$

Hvor Pr er Probit værdien (fra en normalfordeling med middelværdi 5 og spredning 1, således at en koncentration med en dødelighed på 50% svarer til en probit værdi 5) for dødsfald, C er koncentrationen i ppm eller i mg/m^3 , t er eksponeringstiden i minutter. Parametrene a (denne parameter er justeret i forhold til om koncentrationen er i ppm eller i mg/m^3), b og n er stoffspecifikke konstanter. De anvendte probit parametre er listet i tabel 3-4.

Probit parametre	Klorgas	Hydrogenklorid
a (koncentration i ppm)	-4,81	-15,69
b (eksponeringstid i minutter)	0,5	1,69
n	2,75	1,18

Tabel 3-4 Anvendte probit parametre hentet fra PHAST RISK 6.6, ref. /5/.

For konsekvensafstanden for toksiske udslip er det valgt at benytte AEGL-3 værdier, som er Acute Exposure Guideline Level 3 defineret af US EPA, ref. /6/. AEGL-3 er den luftbårne koncentration over hvilken det forventes, at den generelle offentlighed, inklusive sårbare personer, vil kunne opleve livstruende sundhedspåvirkninger eller død. AEGL værdierne gives for flere tidseksponeringer fra 10 minutter til 8 timer, hvor der i denne rapport benyttes værdier for 10 minutters eksponering (fastlagt af risikomyndighederne), se tabel 3-5. Til perspektivering af dødeligheden af AEGL-3 koncentrationerne er den tilsvarende probit dødeligheden beregnet i tabel 3-6.

AEGL tærskelkoncentrationer	Klorgas	Hydrogenklorid
AEGL-3 (10 min.)	50 ppm	620 ppm
AEGL-3 (30 min.)	28 ppm	210 ppm

Tabel 3-5 AEGL-3 værdier for 10 og 30 minutters eksponering af relevante kemikalier for uheldsscenarierne. Værdierne er fundet ved US EPA, ref. /6/.

Probit dødelighed af AEGL	Klorgas	Hydrogenklorid
AEGL-3 (10 min.)	0,052%	0,0035%
AEGL-3 (30 min.)	0,021%	0,00094%

Tabel 3-6 Omregning af AEGL-3 værdier til probit dødelighed.

3.2 PHAST beregninger

PHAST RISK fra DNV er en omfattende samling af empiriske beregningsmetoder og -modeller for uheld i procesanlæg. Disse empiriske beregningsmetoder og -modeller er baseret på en række stofdata og omgivelsesdata og er kalibreret i forhold til en række offentligt tilgængeligt fuldskala forsøg (under kontrollerede betingelser). Disse empiriske beregningsmetoder og -modeller har den fordel, at det er muligt at beregne mange forskellige scenarier på baggrund af et begrænset

sæt af parametre, og har den ulempe, at beregningsmetoderne og –modellerne er valide indenfor et parameterinterval og er invalide udenfor dette interval og at der er en række forhold som beregningsmetoderne og –modellerne ikke kan medtage i konsekvensen.

Empiriske modeller baserer sig på en række forskellige parametre, hvoraf nogle har stor betydning for resultatet og andre har minimal betydning for resultatet. I tabel 3-7 er listet relevante parametre for klorudslippet som har en signifikant betydning for resultatet (listen er ikke udtømmelig).

Parametertype	Parameter	Betydning
Stofparametre	Densitet (gas og væske)	Densiteten har betydning for udslipshastigheden fra klorbeholderne samt betydning for klorgas skyens tyngde under spredning.
	Kogepunkt	Kogepunktet har betydning for klorgasskyens og klorvæskepølen temperatur efter udslip.
	Damptryk	Damptrykket har betydning for underafkøling af klorgasskyen under udslip og dermed for temperaturen af klorvæskepølen. Samtidig har damptrykke betydning for afdampningen fra klorvæskepølen.
Procesparametre	Temperatur (beholder)	Denne parameter har betydning for udslipshastigheden og specielt for fordampningen under udslippet og dermed den resulterende fordeling mellem klorgas og klorvæske.
	Tryk (beholder)	Denne parameter har betydning for udslipshastigheden.
	Udslipshastighed og impingement (kollision af jetstrøm med objekt)	Denne parameter har betydning for udvikling af jetstrømmen og underafkølingen af klorgassen og dermed den resulterende fordeling mellem klorgas og klorvæske.
	Masse	Den samlede masse som indgår i udslippet har betydning for den samlede påvirkning af eksponerede individer.
	Hulstørrelse	Denne parameter har betydning for udslipshastigheden.
	Udslipstiden	Udslipstiden er en funktion af massen og udslipshastigheden og har betydning for eksponeringstiden for eksponerede individer.
Terrænparametre	Vindstyrke	Denne parameter har betydning for spredning af klorgasskyen og for eksponeringstiden for eksponerede individer.
	Ruhedsfaktor (gennemsnitlig størrelse af objekter i klorgasskyens udbredelse)	Denne parameter har betydning for turbulensen i klorgasskyen og dermed fortyndingen.

Tabel 3-7 Relevante parametre i PHAST RISK i forhold til klor udslip som har en signifikant betydning for resultatet (listen er ikke udtømmelig).

I tabel 3-8 er listet de forskellige højder over terræn, som har betydning i forhold til vurdering af skaden på eksponerede individer.

Højde over terræn	Betydning for skaden på eksponerede individer
10 m	Referencehøjden for vindstyrken som angivet vindrosen og i den almindelige vejrudsigt.
2 m	Normalt anvendt terrænhøjde for vurdering af skade på eksponerede individer. Da klorgas er tung, vil koncentrationen af klorgas falde med højden over terræn, specielt ved lave vindstyrker.
1 m	Anvendt højde over terræn i disse analyser til vurderingen af skade på eksponerede individer. Konservativt sat, da koncentrationen af klorgas vil være højere i 1 m end i 2 m.
0 m	Højde for maksimal konsekvens og konsekvenszone, denne højde er en fiktiv højde over terræn og anvendelse af denne højde vil resultere i urealistisk lange konsekvenszoner.

Tabel 3-8 Betydning af forskellige højder over terræn og disses betydning for skaden på eksponerede individer.

3.3 Beregning af konsekvenser

De såkaldte Hollandske bøger er resultatet af et studie omkring beregningsmodeller og metoder til beregning og vurdering af sandsynligheder og konsekvenser i forbindelse med forskellige uheldsscenerier, og de er almindeligt anerkendt som reference i forhold til den type af beregninger, som gennemføres i nærværende projekt. Miljøstyrelsen har fået foretage en dansk genvurdering af modellerne, og denne udgivelse indeholder en række anbefalinger omkring brugen af modeller, se ref. /4/.

Screeningen er foretaget ved beregning med programmet PHAST RISK version 6.6, ref. /5/, der er en omfattende samling af beregningsmetoder og -modeller for uheld i procesanlæg baseret på fysiske modeller, til dels hentet fra den Hollandske Gule Bog, ref. /2/, og delvis udarbejdet af DNV. Alle de efterfølgende vurderinger er foretaget med baggrund i beregninger med anvendelse af dette program, samt programmerne OML-Multikilde v. 5.0, ALOHA v. 5.4.1.2 og PHAST MICRO ver. 6.53.1, som er anvendt i APM Terminals Aarhus' sikkerhedsrapport.

Der anvendes 3 forskellige modelsammensætninger til konsekvensberegningerne i screeningen:

1. Brand i væskepøl
2. Spredning af gasser/dampe
3. Spredning af brandfarlige gasser/dampe og efterfølgende eksplosion
4. Eksplosion som resultat af dekomponering
5. BLEVE eksplosion

3.3.1 Brand i væskepøl

Beregning af varmestrålingen og den maksimale konsekvensafstand (se afsnit 3.1) fra en pølbrand (væske eller fordråbet gas) foretages med 4 koblede beregningsmodeller;

1. Model for udslip af væske (eller fordråbet gas) fra selve beholderen indeholdende den farlige komponent
2. Væskespredningsmodel for udbredningshastigheden af en væske over et plant underlag
3. Pølbrand model med beregning af forbrændingshastighed og overfladetemperatur samt flammens højde og hældning ud fra vindstyrken
4. Model for indstråling af varmestråling til et punkt fra en flammeform

Ofte ses bort fra punkt 1) og 2), hvor branden opgøres for den maksimale pøl udbredelse.

Alle 4 modeller er empiriske modeller hvor hver model føder næste model med udgangsbetingelser.

3.3.2 Spredning af gasser/dampe

Beregningen af spredning af gasser (herunder også fordråbede gasser) foretages med 3 koblede beregningsmodeller;

1. Model for udslip af gas fra selve beholderen indeholdende den farlige komponent
2. Model for turbolens og fortynding i jetstrømmen fra beholderen
3. Model for spredning og fortynding med vind og luftstrømninger

Beregningen af spredning af væsker foretages med 3 koblede beregningsmodeller;

1. Model for udslip af væske fra selve beholderen indeholdende den farlige komponent
2. Model for pøldannelse og fordampning fra ansamlet væske
3. Model for spredning og fortynding med vind og luftstrømninger

Modellerne for udslip, jetstrømning samt pøldannelse og fordampning, er empiriske modeller som angiver udgangsbetingelserne for modellen for spredning.

Den beregnede spredning sammenholdes dernæst med skadeskriterierne for de enkelte komponenter, se afsnit 3.1.

PHAST RISK anvender en statistisk model, gaussisk spredningsmodel, til beregning af spredningen af gasser og dampe med vinden hen over et terræn. Disse statistiske modeller er konservative, da mange terrænmæssige forhold (bygninger, containere, biler, etc.) kun i begrænset omfang kan medtages i beregningen. Da disse beregninger er konservative, vil resultatet være konsekvensafstande, som er større end hvis de faktiske forhold var medtaget i vurderingen.

3.3.3 Spredning af brandfarlige gasser/dampe og efterfølgende eksplosion

For at gasser og afdampede væsker skal kunne eksplodere kræver det opblanding med luft i det rette forhold. Ved et udslip af eksplosive gasser vil der være områder, hvor koncentrationen enten er for høj eller for lav til, at gassen kan antændes og derved eksplodere.

Hvis koncentration er over den øvre explosionsgrænse (Upper Explosion Limit: UEL) er der for lidt ilt til stede. Hvis koncentration derimod er under den nedre explosionsgrænse (Lower Explosion Limit: LEL), er der for lidt gas eller dampe til at kunne eksplodere, se figur 3-1.



Figur 3-1 Illustrativ forklaring af eksplosive atmosfærer, hvor koncentrationen skal ligge mellem den øvre og nedre grænse for, at blanding er eksplosiv.

Ved beregning af eksplosioner i gasskyer fra forskellige scenarier, anvendes først de 3 kobledede modeller for spredning af gasser/dampe i afsnit 3.3.2. Derefter beregnes den mængde, der maksimalt er til stede mellem den øvre og den nedre explosionsgrænse, som er markeret med rødt i figur 3-1 i den situation, hvor udslippet er i ligevægt (raten på "Udslip" og fortyndingen til "Koncentration under LEL" er lige store), således at "Koncentrationen over UEL" og den "Eksplosive atmosfære" er en konstant størrelse. Dette vil i rapporten fremover blive refereret til som eksplosiv mængde.

Til beregning af eksplosioner i gasser eller dampe anvendes multienergimodellen, som er en empirisk model udarbejdet på baggrund af en række forskellige eksplosionsforsøg. Multienergi modellen anvender eksplosionsklasser til vurdering af indesluttetheden af eksplosionen og dermed eksplosionens potentielle styrke og tryk.

3.3.4 Eksplosion som resultat af dekomponering

Dekomponering (spaltning af et større molekyle til to eller flere mindre molekyler) af et stof genererer ofte både gas og varme, hvilket kan resultere i et tydeligt overtryk i beholderen (hvor dekomponering forekommer) og dermed en eksplosion. Kinetikken omkring dekomponeringen er ofte ikke kendt, og der anvendes derfor en model for vurdering af faste sprængstofeksplosioner, TNT-ækvivalent-modellen. Modellen kræver, at energiomsætningen ved dekomponeringen omregnes til den ækvivalente mængde af TNT.

Anvendelsen af TNT-ækvivalent beregningsmodellen er konservativt i forhold til det faktiske uheldsforløb, fordi reaktionstiden for disse dekomponeringsreaktioner er betydeligt langsommere end en eksplosion i fast sprængstof (reaktionstiden for en TNT eksplosion i denne størrelsesorden er < 1 millisekund). Jo kortere reaktionstiden er, jo kraftigere er trykbølgen og jo langsommere reaktionstiden er, jo mere udstrakt er trykbølgen (lavere tryk over længere tid).

3.3.5 BLEVE eksplosion

En Boiling Liquide Expanding Vapour Explosion (BLEVE) kan forekomme, hvis en tank indeholdende en fordråbet brandfarlig gas, opvarmes (ved en ekstern brand) indtil tanken springer på grund af trykophbygningen. Tankens indhold kastes ud fra tanken samtidig med at væsken fordamper og antændes. En BLEVE består af en ildkugle, som ved uheld af denne størrelse, stiger til vejrs under forbrændingen.

Til beregning af resultatet af en BLEVE anvendes en empirisk model.

3.4 Vurdering af maksimal konsekvensafstand

Hvis konsekvensberegningerne for et scenarie angiver, at et givet område ligger udenfor den beregnede maksimale konsekvensafstand, kan dette uheld fjernes fra listen over potentielle uheld, som kan berøre det givne område.

Hvis konsekvensberegningerne i screeningen for et scenarie angiver, at et givet område ligger indenfor den beregnede maksimale konsekvensafstand, er det ikke muligt (med denne type af beregninger) at vurdere om det givne område faktisk kan blive berørt, eller om det ligger indenfor konsekvensafstanden på grund af konservatismen i de anvendte modeller.

Nogle typer af konsekvensberegninger kan tilpasses de reelle forhold i området ved anvendelse af CFD simuleringer, det gælder for beregningen af spredningen af gasser og dampe med luftstrømninger (og ved diffusion), beregning af eksplosionsdynamikken i en sky af dampe eller gasser samt beregning af udbredelsen af trykbølger fra en eksplosion.

3.5 CFD simuleringer

CFD simuleringer foretages i en opbygget (eller tilpasset) 3D model af området hvor terræn og bygninger er indtegnet. CFD simuleringen beregner luftstrømningerne omkring objekter og langs overflader samt kemiske og fysisk/kemiske forhold som gør sig gældende ved et givent uheld. Effekten af mobile objekter (som containere) medtages i vurderingen, for at sikre at konsekvensen ikke undervurderes.

4. KONSEKVENSZONER

Rambøll har tidligere i anden sammenhæng foretaget en stedbunden risikoberegning og en samfundsmæssig risikoberegning vedrørende containerterminalen for Miljøstyrelsen. Som en udløber heraf har APM Terminals Aarhus ændret driften og har fået foretaget nye vurderinger og beregninger. Det har derfor været nødvendigt at genopstille beregningerne i PHAST RISK 6.6, ref. /5/, på baggrund af oplysningerne opgivet i sikkerhedsdokumentet, ref. /1/, og resultaterne er sammenholdt med resultaterne i sikkerhedsdokumentet. Det oplyses fra Det Norske Veritas (DNV), at det ved skift fra én version af PHAST til en anden ikke kan forventes, at resultaterne kan genskabes nøjagtigt, hvilket skyldes at modellerne er forbedret i den nyere version af PHAST i forhold til den tidligere version. Variationen i konsekvensafstandene er af en forventelig størrelse og vurderes til at være acceptable, se ref. /4/.

Ved gennemgangen af uheldsscenarierne er der ikke fundet konsekvensafstande for varmestråling ved brand, der har betydning for opmarcharealet ved den planlagte færgeterminal. Dette skyldes generelt at konsekvensafstande for brande ofte er mindre end eksplosioner og toksiske udslip.

Nedenfor er der anført uheldsscenarier, der vil blive vurderet i konsekvensberegningerne, se tabel 4-1.

Uheld	Stof
Uheld 1	Fyrværkeri og TNT
Uheld 2	Propan
Uheld 3	Chlor, 4 beholdere (180 kg)
Uheld 4	Heptan
Uheld 5	Udslip af natriumhydroxid støv
Uheld 6	Acetylchlorid, 4 beholdere (800 kg) Opblanding med regnvand = 372 kg HCl
Uheld 7	Hydrogenperoxid dekomponering
Uheld 8	MEK og Myresyre
Uheld 9	Pesticid i havnen
Uheld 10	Butanol 25 m ³ (20,2 tons)
Uheld 11	Pesticid i havnen
Uheld 12	Pesticid i havnen
Uheld 13A	Chlor 25 m ³ (39 tons) (Læk fra tank)
Uheld 13B	Chlor 25 m ³ (39 tons) (Opvarmning og tanksprængning)
Uheld 14A	Propan (23,5 tons) Læk og Eksplosion
Uheld 14B	Propan (23,5 tons) BLEVE

Tabel 4-1: Oversigt over uheldsscenarier der vil blive betragtet i konsekvensberegningerne.

Scenarier med en sandsynlighed lavere end 10^{-9} pr år er, i henhold til dansk praksis på risikoområdet, anset for at være så sjældne, at det ikke medtages i betragtning som worst-case uheld. Disse scenarier medtages derfor ikke i konsekvensberegningerne.

5. KONSEKVENSBeregninger

I dette kapitel præsenteres konsekvensberegningernes resultater med anførsel af konsekvensafstande for varmemestråling, eksplosionsovertryk ved eksplosion af dampe eller gasser, samt toksiske effekter for 14 uheldsscenarier i tabel 4-1. Alle uheldsscenarier vil blive kommenteret gennem det følgende kapitel.

Antændelserne af eksplosionsscenarierne (som konsekvens af spredning af brandfarlige gasser eller dampe fra brandfarlige væsker) vurderes at være sandsynlige, da der er aktive antændelseskilder til stede (varme motordele, elektriske dele på køretøj, bygnings-el etc.).

5.1 Scenarie for uheld 1

Sandsynlighedsberegningerne i ref. /7/ er baseret på oplagring af fyrværkeri på opmarcharealet. Da fyrværkeri undergruppe 1.1G straksafhentes, skal oplagringstiden, og uheld i forbindelse med parkering og afhentning af containere på opmarcharealet, udgå.

I nedenstående tekst relaterer alle henvisninger til fyrværkeri kun til undergruppe 1.1G. Fyrværkeri i undergruppe 1.3G og 1.4G er ikke relevante i denne sammenhæng.

Det er vurderet i ref. /7/, at 2 scenarier potentielt vil kunne antænde en container med fyrværkeri;

- Et sammenstød mellem 2 Straddle carriere/ Reachstackere, som håndterer henholdsvis en container med fyrværkeri og en container med brandbare væsker, hvor containeren med brandbare væsker perforeres og resulterer i en pølbrand.
- En eksplosion i en container på opmarcharealet for containere (ikke øjeblikkelig antændelse af uheld 2, uheld 4 eller uheld 10), samtidig med at containeren med fyrværkeri transporteret forbi på vej til straksafhentning.

Sandsynligheden for antændelse af fyrværkeri container (2012 niveau), ved sammenstød:

$$5,43 \cdot 10^{-12} = \left\langle 2,25 \cdot 10^{-3} \cdot 4,29 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{7,06 \cdot 10^{-8} \cdot 360.000}{1.000} \cdot (2\% + 0,15\% + 0,05\%) \right\rangle$$

Sandsynligheden for antændelse af fyrværkeri container (2012 niveau), ved domino og passage-tid på:

$$0,005 \text{ time} = \left\langle \frac{0,1[km]}{20[km/time]} \right\rangle$$

Og den deraf følgende sandsynlighed på:

$$4,27 \cdot 10^{-14} =$$

$$\left\langle (8,69 \cdot 10^{-4} + 4,29 \cdot 10^{-3} + 5,88 \cdot 10^{-6}) \cdot 2,25 \cdot 10^{-3} \cdot (7,06 \cdot 10^{-8} + 2,94 \cdot 10^{-1}) \cdot (2\% + 0,15\% + 0,05\%) \cdot \frac{0,005}{24 \cdot 365} \right\rangle$$

Hvis TNT antages at være lige så antændeligt som fyrværkeri (dette er ikke tilfældet), så er sandsynlighederne for en TNT eksplosion henholdsvis $2,75 \cdot 10^{-12}$ og $2,16 \cdot 10^{-15}$.

På grund af straksafhentning er sandsynligheden for et uheld med TNT eller fyrværkeri (også som resultat af dominoeffekt fra andre uheld) lavere end 10^{-9} pr. år (se ref. /7/) og er derfor så sjældne, at de ikke indgår i vurderingen, og dermed ikke er medtaget i konsekvensberegningen.

5.2 Scenarie for uheld 2

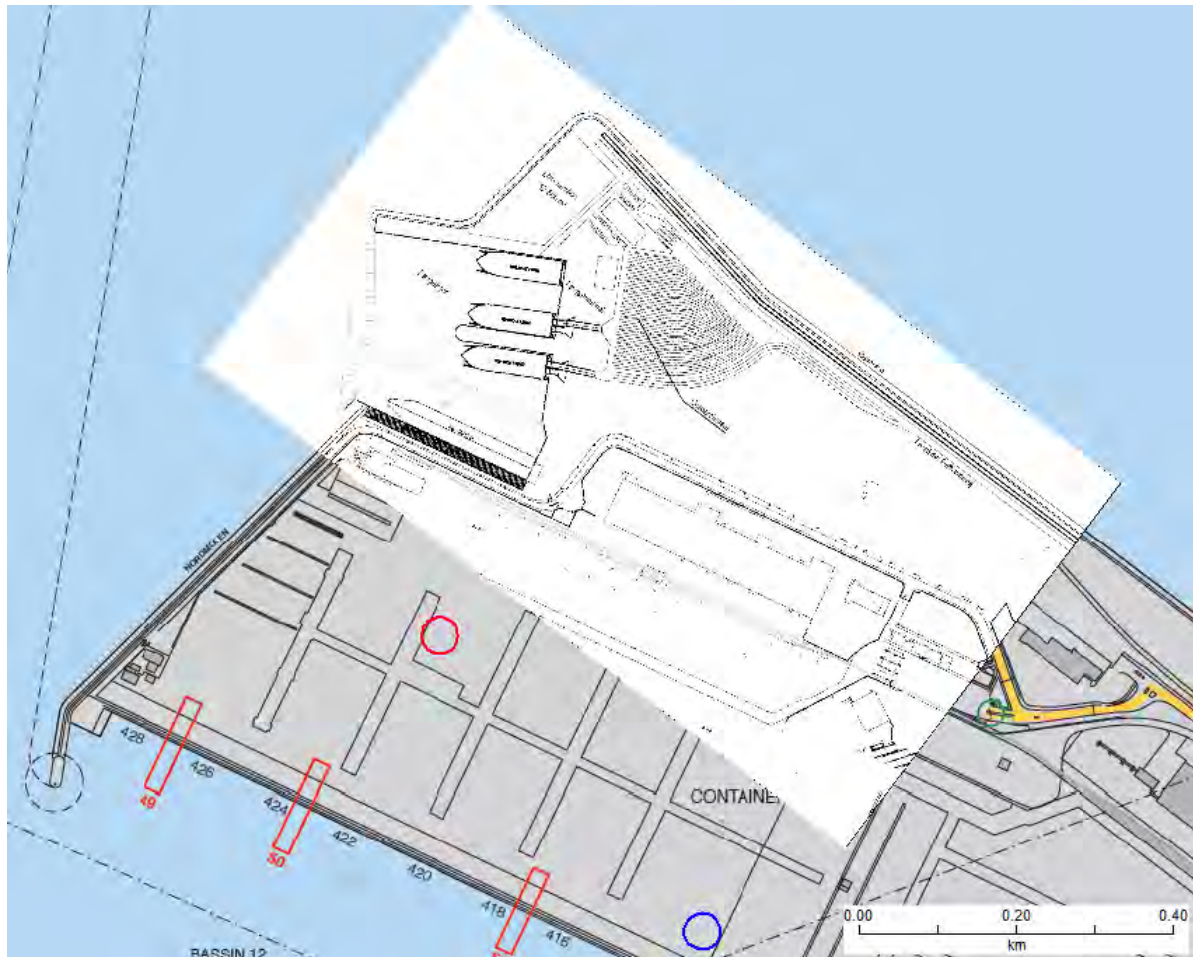
Propan findes to steder på APM Terminals Aarhus i henholdsvis opbevaringsområde F og lastningsområdet, jf. figur 1-1.

Det antages, at maksimalt 4 flasker lækker på samme tid ved en hændelse, hvor en container med propangasflasker bliver beskadiget (se ref./7/). Et sådant uheld med 4 propangasflasker vil involvere 132 kg propan og vil kunne resultere i en eksplosion. Ved et udslip fortyndes propan med luft (se afsnit 3.3.3), og danner derved en eksplosiv sky, der kan antændes. Opblandingen varierer med vind- og vejrforhold, hvorfor der er beregnet eksplosionsmængder ved 3 typer vejrforhold, se tabel 5-1, hvor den teoretiske eksplosive mængde er baseret på steady state, som ikke altid opnås på grund af udslippets varighed.

Stof	Vind	Teoretisk eksplosiv mængde i steady state mængder	Korrigeret eksplosiv mængde
4 beholdere med Propan	2 m/s	18,3 kg	18,3 kg
	5 m/s	63,2 kg	63,2 kg
	11 m/s	138,9 kg	132,0 kg

Tabel 5-1. Eksplosivmængde (se afsnit 3.3.3) der maksimalt opnås ved et udslip af propan ved forskellige vindhastigheder. Den teoretiske eksplosive mængde er korrigeret ned til den maksimale udslipsmængde.

Med multienergi modellen (parametrene for eksplosionen er: lav antændelsesenergi, begrænsning med parallelle planer, lav obstruktionsfaktor; svarende til en eksplosionsklasse på 3-5, klasse 3 er valgt på grund af afstanden mellem containerrækkerne) er beregnet en eksplosion i dampene fra udslip fra 4 beholdere med propan, der giver den største konsekvensradius for opbevaring på område F og ved lastningsområdet, se figur 5-1.

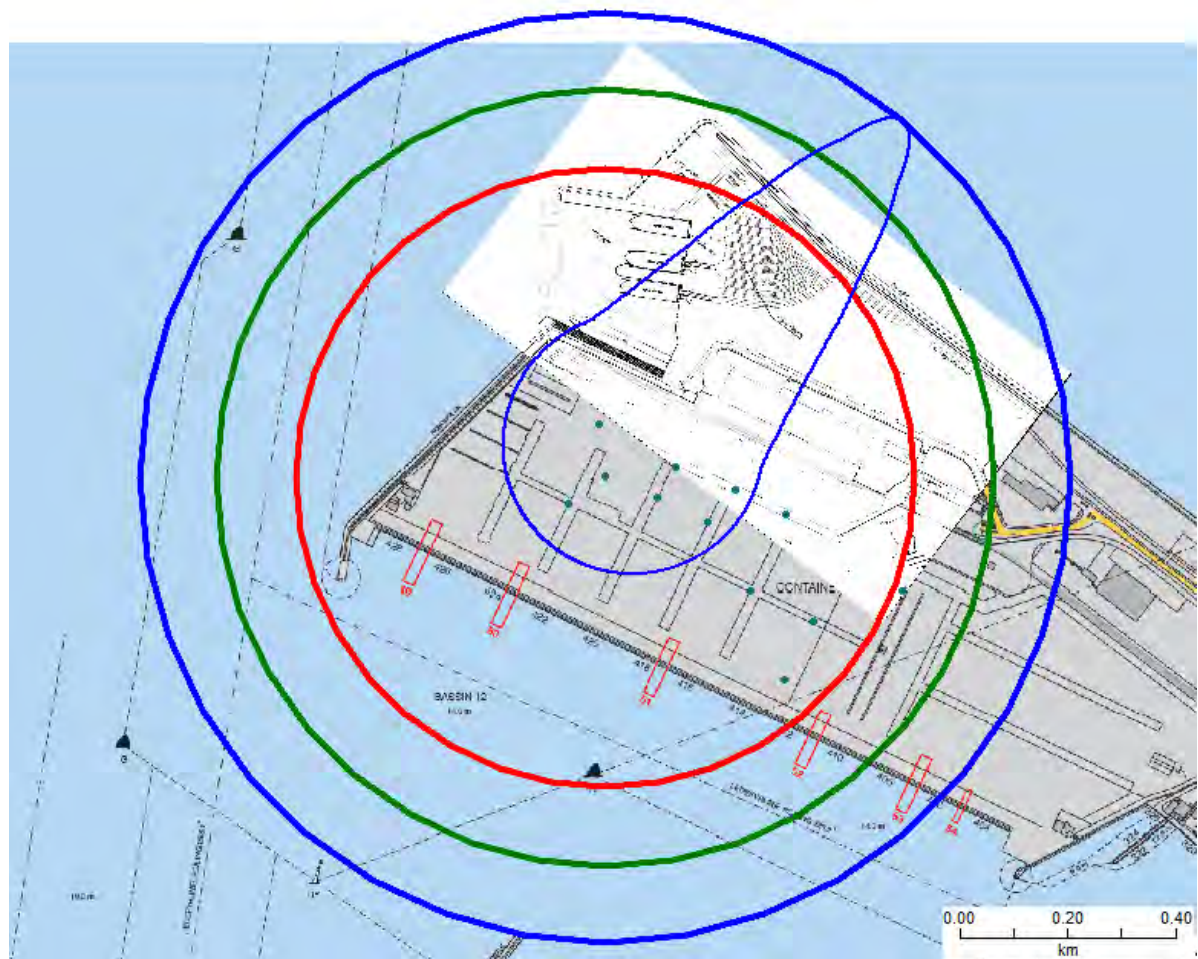


Figur 5-1 Oversigtsplot med konsekvensafstand for et eksplosionsovertryk på 0,05 bar i blå farve for eksplosion af et propanudslip ved opbevaring på område F og rød farve for eksplosion af et propanudslip ved lastningsområdet. Udslippene svarer til 132 kg propan.

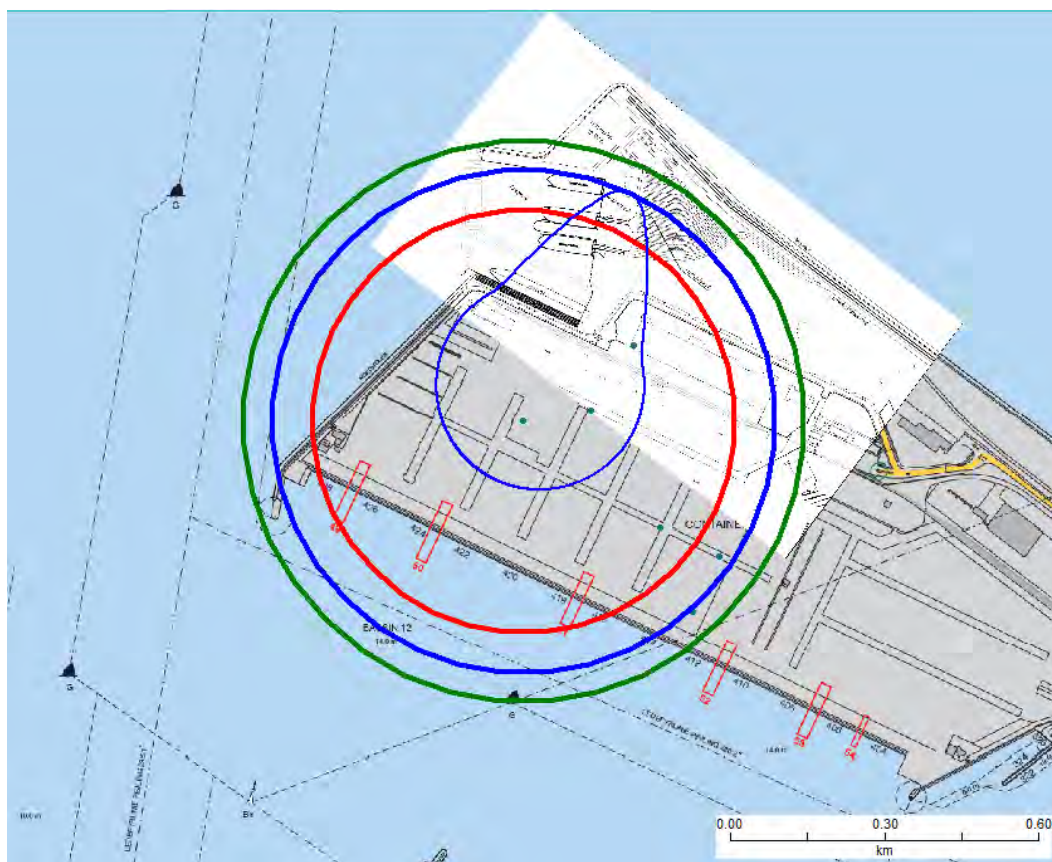
Konsekvenszonen rækker ikke ind over færgeterminalområdet ved de to uheldsscenarier.

5.3 Scenarie for uheld 3

Klor oplagres ikke på APM Terminals Aarhus, men straksafhentes hvilket betyder, at uheld kan ske ved kajen og ved lastningsområdet, se angivelse på figur 1-1. Dermed er risikoen ved modtagelsen og evt. udskibning af klor minimeret, eftersom antallet af håndteringer er lavere og eftersom opholdstiden på terminalen er kortvarig. Endvidere modtages klor ikke i store bulktryktanke, men i mindre klor (tryk) beholdere (flere pakket i samme container) hvilket reducerer sandsynligheden for uheld og reducerer konsekvensen af samme uheld i forhold til store bulktryktanke. I dette scenarie er der gennemført beregninger for to positioner i lastningsområdet (uheld på kajområdet er ikke medtaget på grund af afstanden til færgeterminalen og dermed mindre påvirkning af denne end ved de vurderede scenarier). Et uheld vil kunne resultere i et toksisk udslip af klorgas. Det er igen blevet vurderet, at der maksimalt kan gå hul på 4 beholdere samtidigt (se ref./7/), hvilket vil resultere i et udslip af 180 kg klorgas. Da klorgas er giftigt, vil udbredelsen blive vurderet i forhold til AEGL-3 for klorgas (28 ppm) med 30 minutters eksponering og med 10 minutters eksponering (50 ppm). Nedenfor ses konsekvensområdet for et udslip i venstre side af lastningsområdet, vist på et oversigtskort af Aarhus Havn, se figur 5-2 og figur 5-3. Ved højere vindhastigheder, vil turbolens omkring objekter på terrænet (bygninger, containere, biler, etc.) medføre en hurtigere fortynding af klorgassen end ved lave vindhastigheder. Det kan observeres, at ved et koncentrationsniveau på 28 ppm (AEGL-3 for 30 minutters eksponering) er konsekvensafstanden længst for 2 m/s, mens for 50 ppm (AEGL-3 for 10 minutters eksponering) er konsekvensafstanden længst for 11 m/s. Klorskyens arealdækning er dog stadig mindre for 11 m/s i forhold til 2 m/s og eksponeringstiden er kortere for 11 m/s i forhold til 2 m/s.

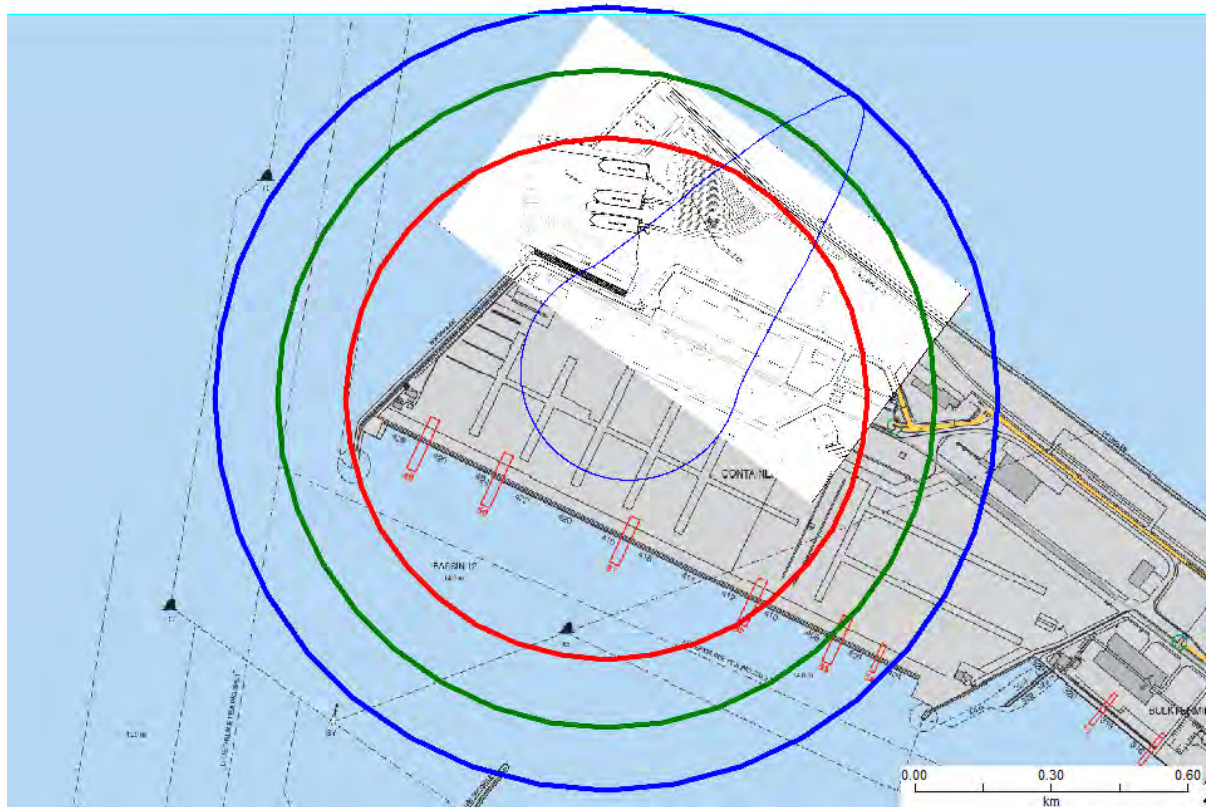


Figur 5-2: Konsekvensafstand (i 1 meter over terræn) for et udslip af klorgas ved venstre side af lastningsområdet, hvor AEGL-3 med 30 min. eksponering er illustreret på et oversigtskort. AEGL-3 koncentrationen for klorgas er 28 ppm og vist for 3 forskellige vindforhold med vindhastigheder på henholdsvis 2 m/s (blå), 5 m/s (rød) og 11 m/s (grøn). Cirklerne med fede linjer viser konsekvensområdet for samtlige vindretninger (effektzone), og den tynde blå linje viser den værst tænkelige vindretning og vindhastighed i forhold til opmarcharealet for den planlagte placering af færgeterminalen.



Figur 5-3: Konsekvensafstand (i 1 meter over terræn) for et udslip af klorgas ved venstre side af lastningsområdet, hvor AEGL-3 med 10 min. eksponering er illustreret på et oversigtskort. AEGL-3 koncentrationen for klorgas er 50 ppm og vist for 3 forskellige vindforhold med vindhastigheder på henholdsvis 2 m/s (blå), 5 m/s (rød) og 11 m/s (grøn). Cirklerne med fede linjer viser konsekvensområdet for samtlige vindretninger (effektzone), og den tynde blå linje viser den værst tænkelige vindretning og vindhastighed i forhold til opmarcharealet for den planlagte placering af færgeterminalen.

Nedenfor ses konsekvensområdet for et udslip i højre side af lastningsområdet vist på et oversigtskort af Aarhus Havn, se figur 5-4. AEGL-3 (28 ppm) med 30 minutters eksponering er benyttet.



Figur 5-4 Konsekvensafstand (i 1 meter over terræn) for et udslip af klorgas ved højre side af lastningsområdet, hvor AEGL-3 med 30 min. eksponering er illustreret på et oversigtskort. AEGL-3 koncentrationen for klorgas er 28 ppm og vist for 3 forskellige vindforhold med vindhastigheder på henholdsvis 2 m/s (blå), 5 m/s (rød) og 11 m/s (grøn). Cirklerne med fede linjer viser konsekvensområdet for samtlige vindretninger (effektzone), og den tynde blå linje viser den værst tænkelige vindretning og vindhastighed i forhold til opmarcharealet for den planlagte placering af færgeterminalen.

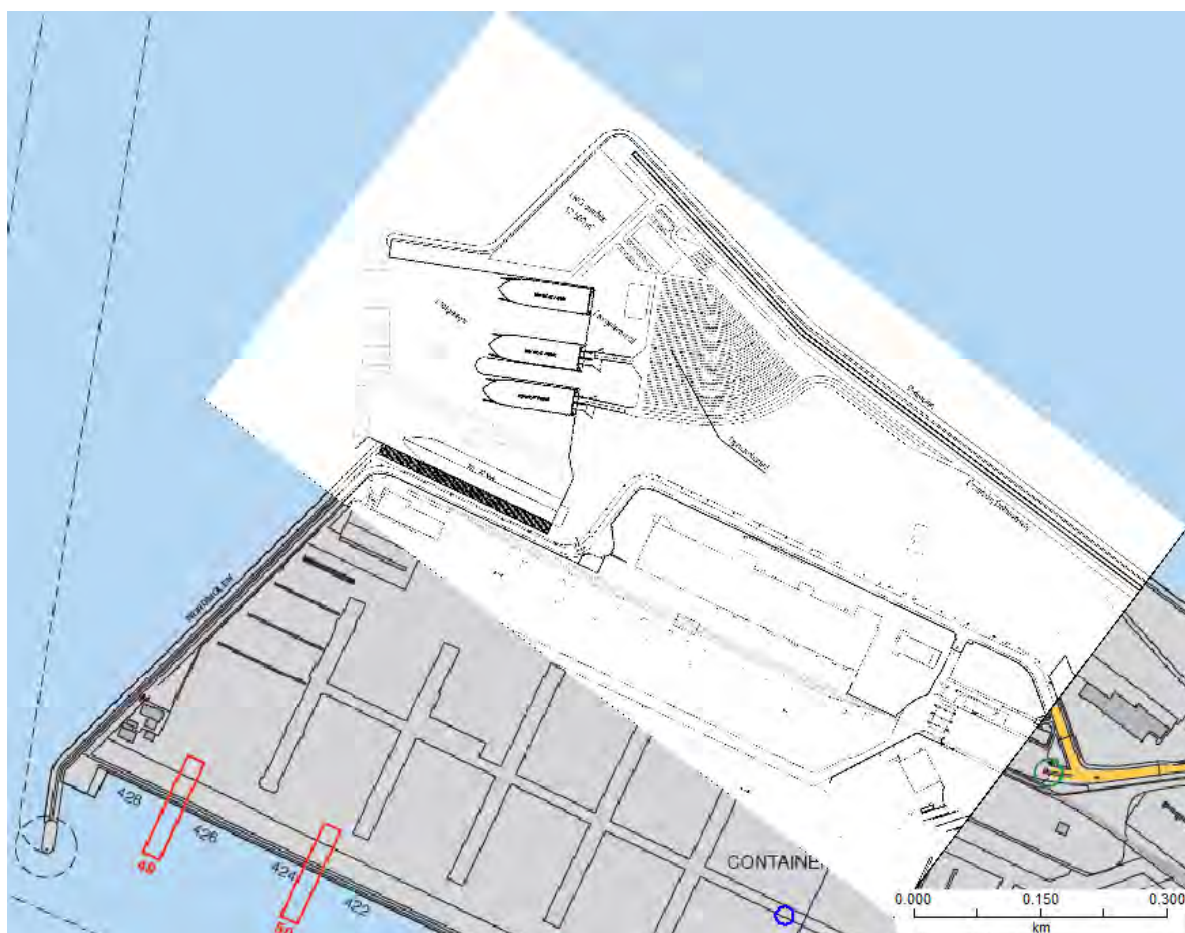
Scenariets samlede varighed er beregnet til lige under 11 minutter, da modellen ikke medregner retention (tilbageholdelse) mellem bygninger, containere og biler, kan den reelle eksponering være længere og der regnes derfor (konservativt) med en standard eksponering på 30 minutter.

Konsekvenszonen kan dække hele opmarcharealet ved bestemte vindretninger og vindhastigheder.

Heptan oplagres kun på område F på APM Terminals Aarhus, og et uheld kan resultere i en eksplosion. Det er blevet vurderet, at der maksimalt kan gå hul på 4 beholdere samtidigt (se ref./7/). Ved et udslip fordampes heptan fra den resulterende væskepøl og disse dampe fortyndes med luft (se afsnit 3.3.3) hvorved der dannes en eksplosiv sky, som kan antændes. Opblandingen varierer med vind- og vejrforhold, og derfor er der beregnet følgende sammenhængende eksplosiv mængde for 3 forskellige vindhastigheder, se tabel 5-2.

Stof	Vind	Eksplosiv mængde
4 beholdere heptan	2 m/s	13,8 kg
	5 m/s	11,0 kg
	11 m/s	7,1 kg

Med multienergimodellen (parametrene for eksplosionen er: lav antændelsesenergi, begrænsning med parallelle planer, lav obstruktionsfaktor; svarende til en eksplosionsklasse på 3-5, klasse 3 er valgt) er beregnet den eksplosion i dampene fra udslip fra 4 beholdere med heptan, der giver den største konsekvensradius for et uheld ved opbevaring på område F, se figur 5-5.



Konsekvenszonen rækker ikke ind over færgeterminalens område.

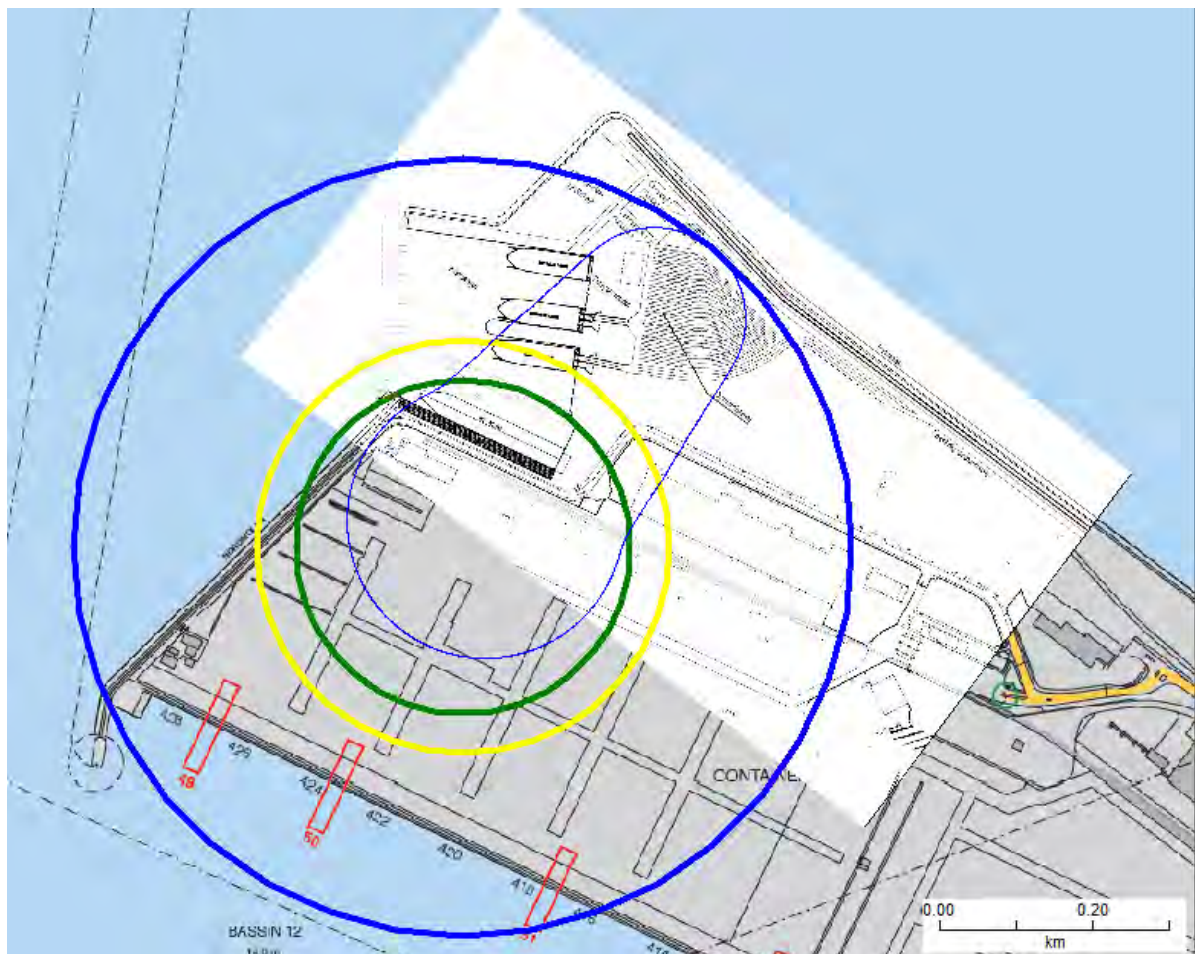
5.5 Scenarie for uheld 5

Da udslip af natriumhydroxidstøv har en beregnet lille udbredelsesradius på maksimalt 71 meter for AEGL-3 (30 minutter) for den værste vindstyrke (se ref. /1/), er konsekvensafstanden for dette uheld ikke vurderet yderligere.

Konsekvenszonen rækker ikke ind over færgeterminalens område.

5.6 Scenarie for uheld 6

Acetylklorid kan opbevares på hele området på APM Terminals Aarhus. Et udslip vil kunne reagere med regnvand og danne hydrogenkloridgas. Det er blevet vurderet, at der maksimalt kan gå hul på 4 beholdere samtidigt (se ref./7/), hvilket vil resultere i et udslip på 800 kg acetylklorid. Reaktionen med vand vil resultere i, at der maksimalt kan dannes 372 kg hydrogenklorid gas. AEGL-3-værdien for hydrogenklorid (210 ppm med 30 minutters eksponering) er benyttet til vurdering af udbredelsen. Nedenfor ses konsekvensområdet for et udslip ved opbevaringsområde B vist på et oversigtskort af Aarhus Havn, se figur 5-6. Beregningen er foretaget for tørvejr (da modellen ikke kan medregne regnvejret i gasspredningen) hvilket vurderes at give en signifikant længere konsekvensrækkevidde end et virkeligt uheld (i regnvejr) bl.a. på grund af den turbolens og dermed opblanding som de faldende regndråber giver anledning til. Spredningsberegningen er dermed ikke retvisende og det er vurderet at konsekvenszonen ikke når ud over yarden.



Figur 5-6 Konsekvensafstand for et udslip af hydrogenklorid ved reaktion af acetylklorid med vand i forbindelse med et regnvejr. AEGL-3 for 30 min. eksponering er illustreret på oversigtskortet. AEGL-3 for hydrogenklorid er 210 ppm og vist for 3 forskellige vindforhold med vindhastigheder på henholdsvis 2 m/s (blå), 5 m/s (gul) og 11 m/s (grøn). Cirklerne med fede linjer viser konsekvensområdet for samtlige vindretninger (effektzone), og den tynde blå linje viser den værst tænkelige vindretning og vindhastighed i forhold til opmarcharealet for den planlagte placering af færgeterminalen.

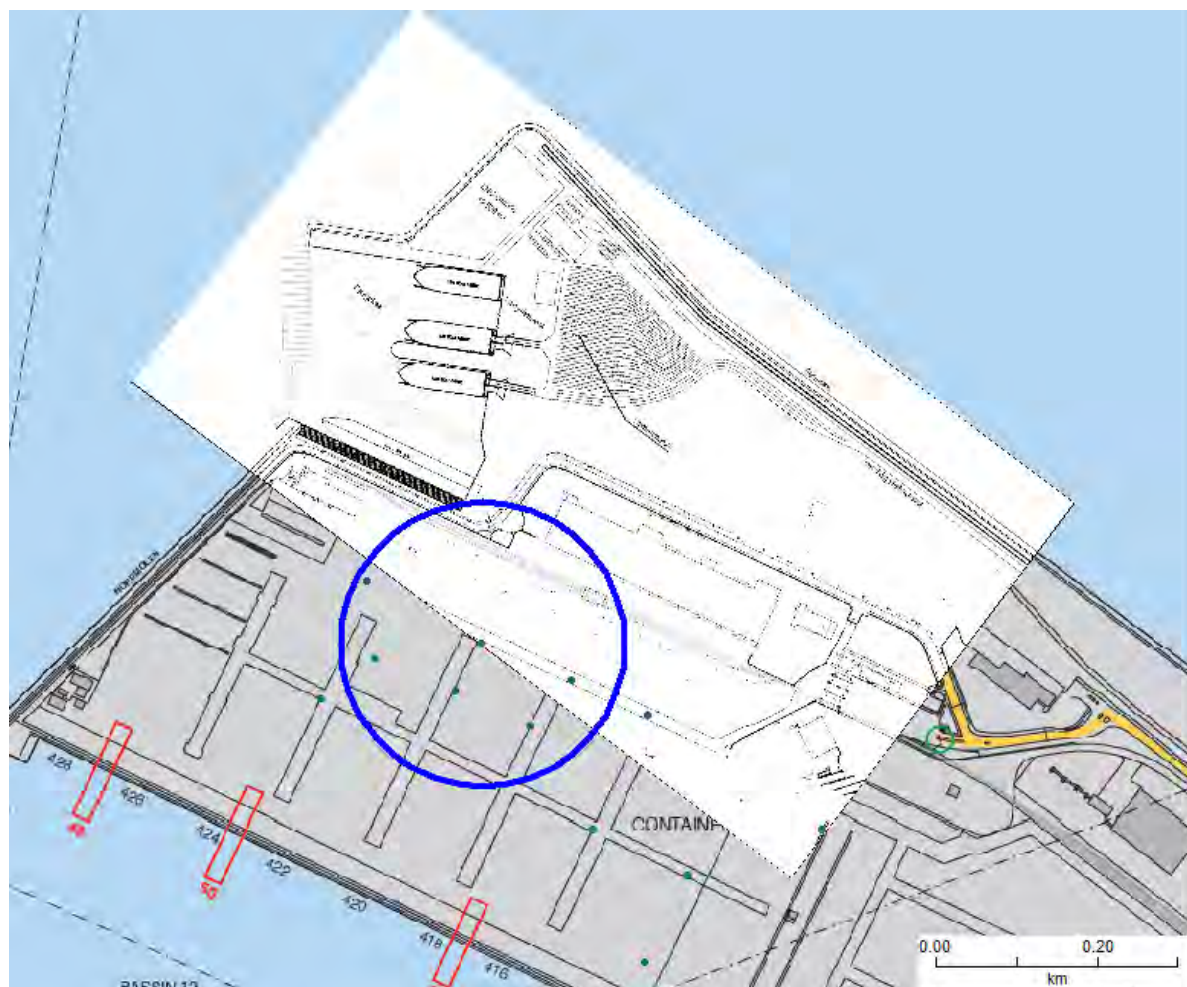
Konsekvenszonen ville kunne dække hele opmarcharealet ved flere vindretninger ved opbevaring i område B. Opbevaring i andre områder på havnen end opbevaringsområde B viser lignende udbredelsesafstand, hvilket ville betyde, at uheld på flere af opbevaringsområderne vil resultere i en konsekvenszone, der kan dække hele opmarcharealet.

Eftersom samtidigheden mellem uheld af denne type og kraftig regn (mere end 50 mm/time) er meget lille (da så voldsomme regnbyger forekommer sjældent i Danmark), vurderes dette scenarie at være sjældnere end 10^{-9} år eller 1 gang pr. 1.000.000.000 år at det ikke skal medtages i vurderingen.

5.7 Scenarie for uheld 7

Hydrogenperoxid opbevares i område D på APM Terminals Aarhus. Dekomponering (se afsnit 3.3.4) af hydrogenperoxid som resultat af opvarmning fra en brand (spaltning til vand og oxygen), vil kunne resultere i en eksplosion. Der er foretaget en beregning af en eksplosion som TNT-ækvivalent.

Nedenfor ses den beregnede eksplosion som resultat af dekomponeringen af 4 stk. 250L tromler med 70% hydrogenperoxid svarende til 530 kg TNT (mængdeberegningerne foreligger i sikkerhedsrapporten for APM Terminals Aarhus), der giver den største konsekvensradius for opbevaring på område D, se figur 5-7.



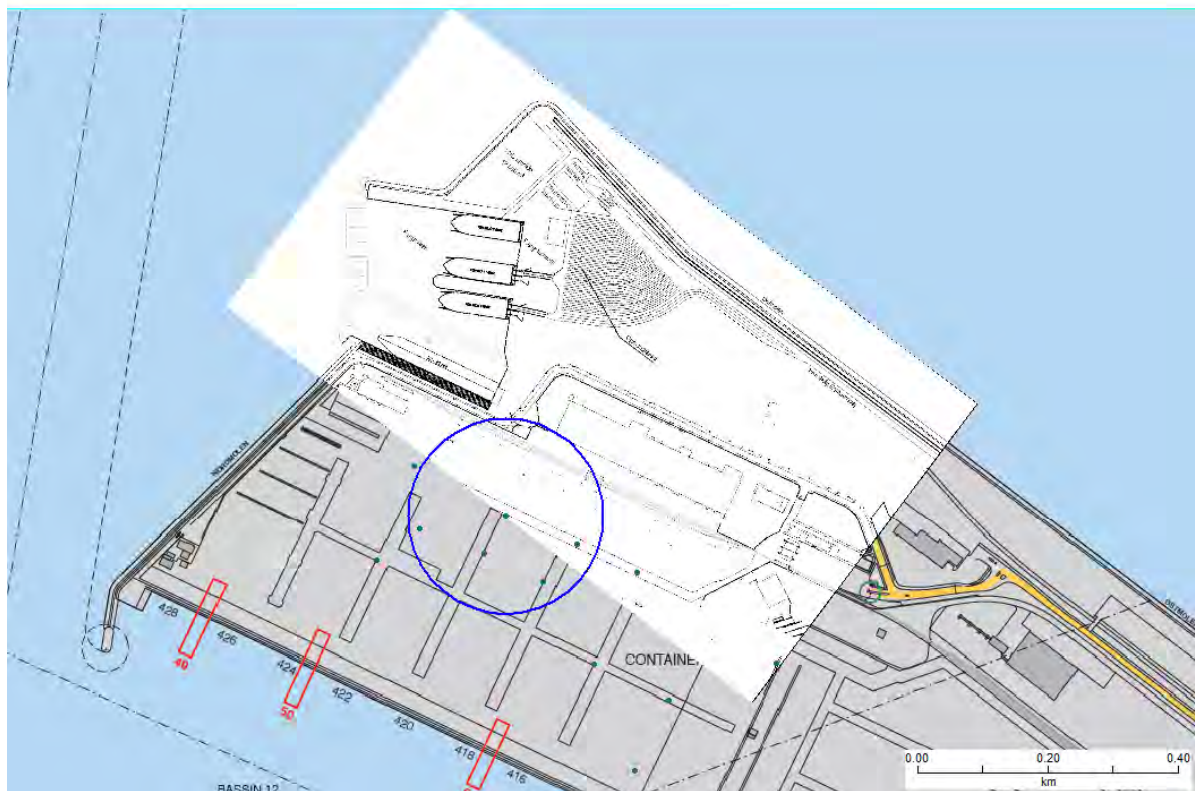
Figur 5-7 Oversigtsplot med konsekvensafstand for et eksplosionsovertryk på 0,05 bar i blå farve for eksplosion ved dekomponering af hydrogenperoxid opbevaret i område D.

Konsekvenszonen rækker ikke ind over færgeterminalens område ved et eksplosionsovertryk på 0,05 bar.

5.8 Scenarie for uheld 8

MEKP opbevares i område D på APM Terminals Aarhus. En ekstern opvarmning, såsom en pølbrand, ville kunne opvarme containeren. MEKP kan delvist dekomponere (se afsnit 3.3.4) (spaltning af MEKP til MEK og eddikesyre) ved opvarmning, hvilket kan ske eksplosivt. Overtrykket fra reaktionen kan skade genstande i omgivelserne. Den ilt, der frigøres ved dekomponeringsprocessen, kan forværre branden. Der er foretaget en beregning af en eksplosion som TNT-ækvivalent.

Nedenfor ses den beregnede eksplosion som resultat af dekomponeringen af udslip fra 4 stk. 250 L tromler med MEKP svarende til 340 kg TNT (mængdeberegningerne foreligger i sikkerhedsrapporten for APM Terminals Aarhus), der giver den største konsekvensradius for opbevaring af MEKP på område D, se figur 5-8.



Figur 5-8 Oversigtsplot med konsekvensafstand for et eksplosionsovertryk på 0,05 bar i blå farve for eksplosion ved dekomponering af MEKP opbevaret i område D.

Konsekvenszonen rækker ikke ind over færgeterminalens område.

5.9 Scenarie for uheld 9

Pesticid i havnen er ikke relevant at vurdere på i denne forbindelse, da der ved udslip ikke er en potentiel fare for personer med ophold på eller ved færgeterminalen.

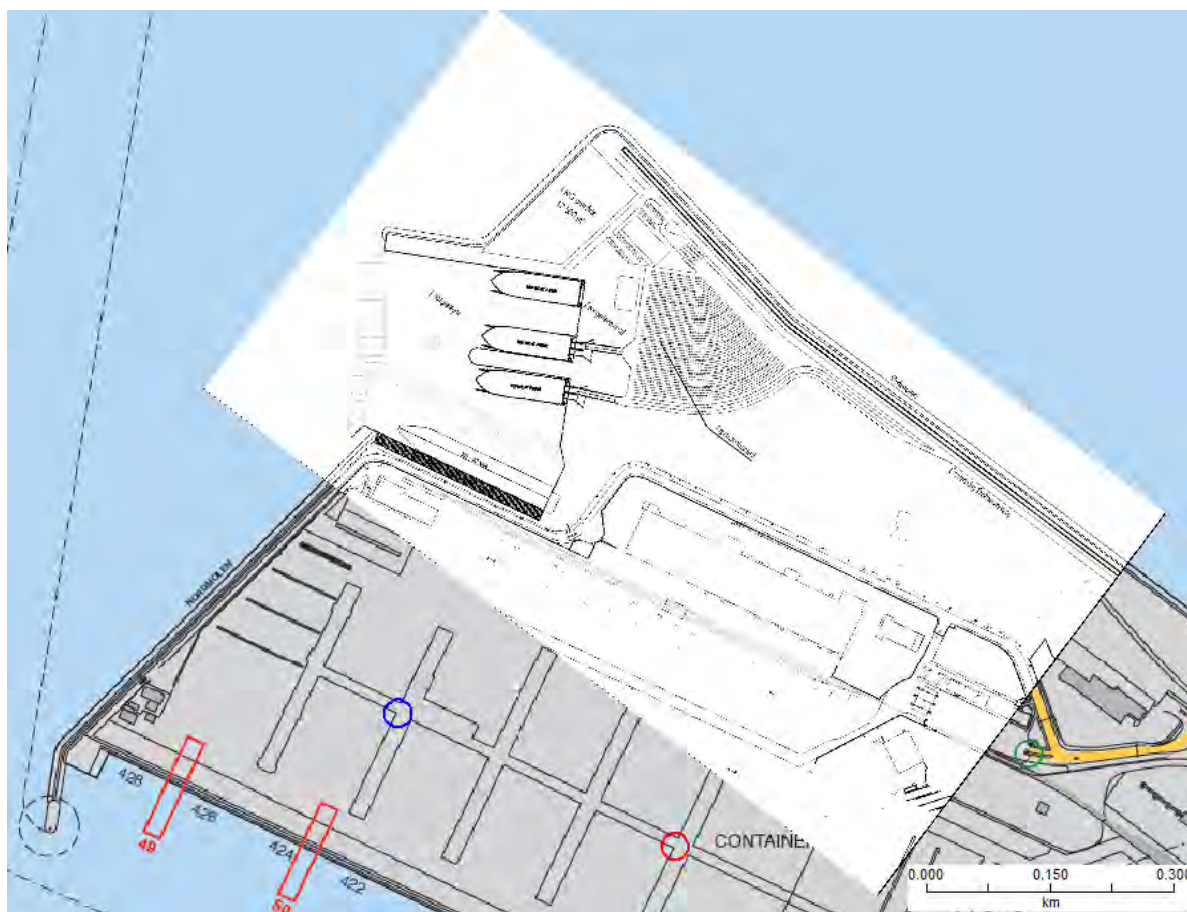
5.10 Scenarie for uheld 10

Butanol opbevares i områderne B og E på APM Terminals Aarhus i store tanke, der kan indeholde op til 25 m³, svarende til 20,2 tons. Ved en udslip fordamper butanol fra den resulterende væskepøl og disse dampe fortyndes med luft (se afsnit 3.3.3), hvorved der dannes en eksplosiv sky, som kan antændes. Opblandingen varierer med vind- og vejrforhold, og derfor er der beregnet følgende sammenhængende eksplosive mængde ved 3 vejrforhold, se tabel 5-2.

Stof	Vind	Eksplosiv mængde
Butanol tank	2 m/s	69,3 kg
	5 m/s	1,5 kg
	11 m/s	3,4 kg

Tabel 5-3 Eksplosivmængde der maksimalt opnås ved afdampning af butanol ved forskellige vejrforhold.

Med multienergi modellen (parametrene for eksplosionen er: lav antændelsesenergi, begrænsning med parallelle planer, lav obstruktionsfaktor; svarende til en eksplosionsklasse på 3-5, klasse 3 er valgt) er beregnet en eksplosion i dampene fra udslip fra en butanol-beholder, der giver den største konsekvensradius for opbevaring på område B og E, se figur 5-9.



Figur 5-9 Oversigtsplot med konsekvensafstand for et eksplosionsovertryk på 0,05 bar for en eksplosion ved afdampning af butanol i henholdsvis opbevaringsområde B (blå) og opbevaringsområde E (rød). Udslippene svarer til 69,3 kg butanol.

Konsekvenszonen rækker ikke ind over færgeterminalens område.

5.10.1 Sandsynlighed

Der håndteres mindre end 1 containertank med butanol per år, dette giver en håndteringsfrekvens på $5,88 \cdot 10^{-6}$.

Følgende uheldsscenarier antages at kunne forårsage en lækage på en containertank med butanol;

- Trafikuheld
- Containersammenstød (inkl. containerbeskadigelse ved lastbil)
- Beskadigelse ved kranhåndtering
- Containertab ved kranløft (tab på skib eller kaj)

Dette giver en samlet sandsynlighed for uheldsscenarierne:

$$1,28 \cdot 10^{-3} \left\langle 5,88 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{360.000}{1.000} \cdot (7,06 \cdot 10^{-8} \cdot 2,94 \cdot 10^{-1} \cdot 2,94 \cdot 10^{-1} \cdot 1,47 \cdot 10^{-2}) \right\rangle$$

I figur 5-10 er vist sandsynligheden for uheld med beskadigelse af containertank.

Beskadigelses kategori	Sandsynlighed	Antændt lækage
1 + 2 + 3	$2,81 \cdot 10^{-5}$	$2,81 \cdot 10^{-6}$

Figur 5-10 Sandsynlighedsfordeling af skadeskategorierne for lækage af butanol beholdere.

5.11 Scenarie for uheld 11

Pesticid i havnen er ikke relevant at vurdere på i denne forbindelse, da der ved udslip ikke er en potentiel fare for personer med ophold på eller ved færgeterminalen.

5.12 Scenarie for uheld 12

Pesticid i havnen er ikke relevant at vurdere på i denne forbindelse, da der ved udslip ikke er en potentiel fare for personer med ophold på eller ved færgeterminalen.

5.13 Scenarie for uheld 13A og 13B

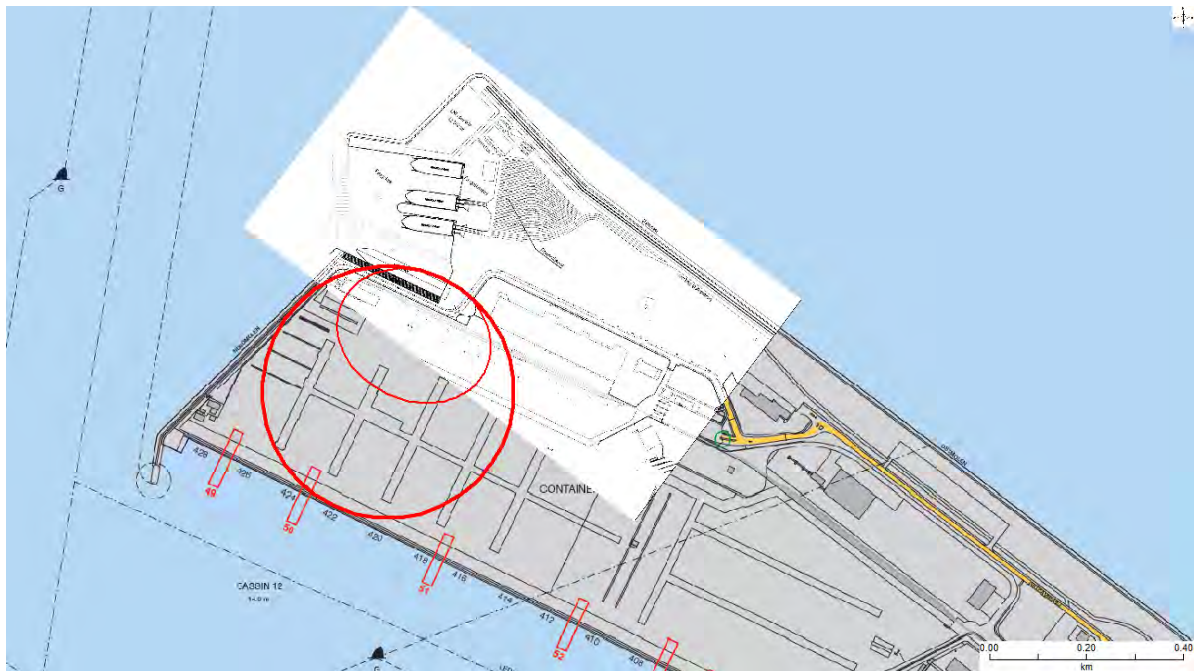
Det er oplyst at APM Terminals Aarhus ikke længere modtager chlor i 25 m³ tanke. Scenariet er inkluderet i sikkerhedsrapporten, da det tidligere har været modtaget, men modtagelse er ikke længere tilladt i henhold til virksomhedens miljøgodkendelse. Scenarierne udgår dermed af screeningen.

5.14 Scenarie for uheld 14A

Propan findes to steder på APM Terminals Aarhus i henholdsvis opbevaringsområde F og lastningsområdet, jf. figur 1-1.

Det antages, at propantanken perforeres med en hulstørrelse på 5", dette scenarie giver en større konsekvens end et tankbrud. Der er beregnet konsekvensen af en umiddelbar antændelse og resulterende jetbrand samt en sen antændelse af en gassky af propan.

For jetbrand er beregnet, at konsekvensafstanden er størst ved 2 m/s, om end forskellene er begrænset) og varmestrålingsniveau på 6 kW/m^2 er angivet på figur 5-11.



Figur 5-11 Oversigtsplot med konsekvensafstand for et varmestrålingsniveau på 6 kW/m^2 (eksposering på 2 minutter) for jetbrand ved en lækage på 5" af propan ved opbevaring på område F. Beregningerne er foretaget ved 2 m/s, hvor konsekvensafstanden er størst. Cirklen med fed linje viser konsekvensområdet for samtlige vindretninger (effektzone), og den tynde linje viser den værste tænkelige vindretning og vindhastighed i forhold til opmarcharealet for den planlagte placering af færgeterminalen.

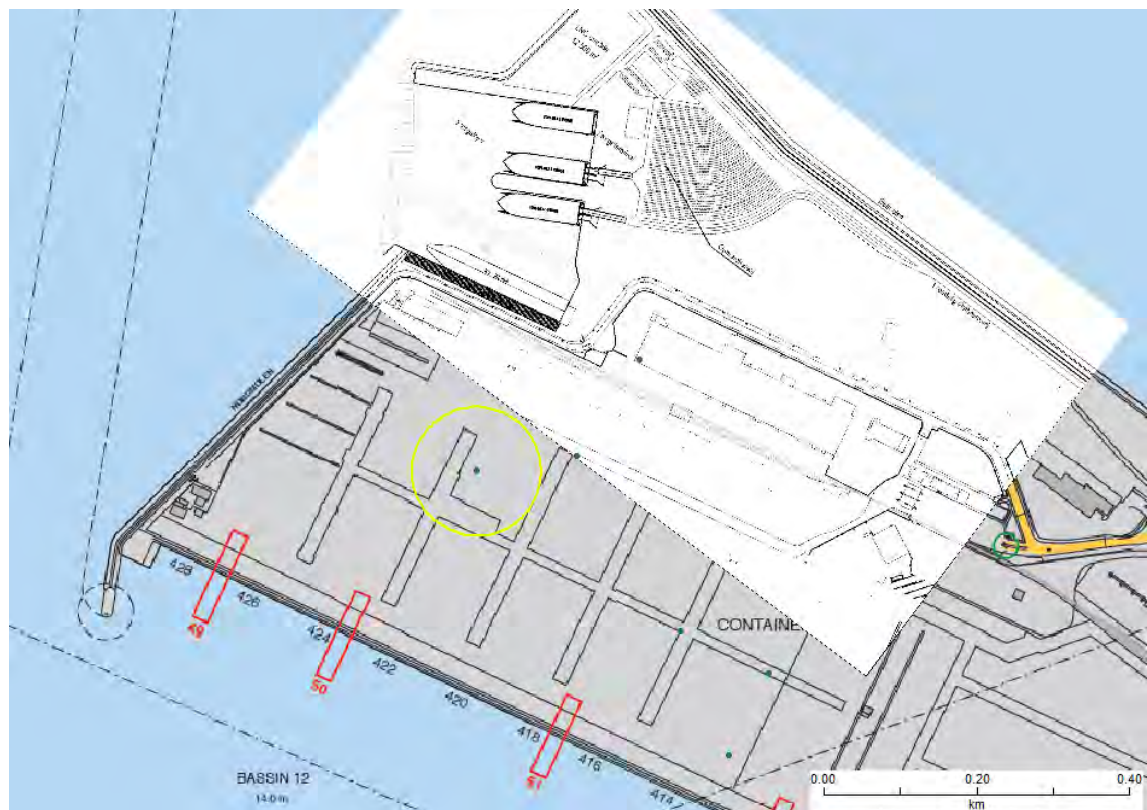
Ved et udslip fortyndes propan med luft (se afsnit 3.3.2 og afsnit 3.3.3), og derved dannes en eksplosiv sky, der kan antændes. Opblandingen varierer med vind- og vejrforhold, hvorfor der er beregnet eksplosionsmængder ved 3 typer vejrforhold, se tabel 5-1, hvor den teoretiske eksplosive mængde er baseret på steady state. Metoden til beregning af den teoretiske eksplosive mængde i under steady state er anderledes i denne screening i forhold til sikkerhedsdokumentet, og de beregnede mængder er her større og beregningen dermed mere konservativ. Den teoretiske eksplosive mængde er baseret på en empirisk model, mens den teoretiske eksplosive mængde i screeningen er beregnet ud fra gassky spredningen (i 3D) i PHAST RISK 6.6.

Stof	Vind	Teoretisk eksplosiv mængde under steady state
Propan læk fra 5" hul	2 m/s	2.346 kg
	5 m/s	1.708 kg
	11 m/s	1.436 kg

Tabel 5-4. Eksplosivmængde (se afsnit 3.3.3) der maksimalt opnås ved et udslip af propan ved forskellige vindhastigheder.

Der findes flere forskellige empiriske modeller for beregning af eksplosionsovertrykket fra en gasskyeksplosion. TNT ækvivalentmetoden baserer sig på det betydelige grundlag for udbredelsen af overtryk fra en faststofeksplosion. Overtrykket beregnes ved at omregne den eksplosive energi til den ækvivalente mængde TNT. Multienergimodellen er specielt udviklet specifikt til gasskyeksplosion, multienergimodellen er mere detaljeret og mere kompliceret at anvende, men giver et resultat som er mere retvisende. Disse 2 forskellige metoder giver 2 forskellige resultater for den samme eksplosion.

Figur 5-12 Oversigtsplot med konsekvensafstand for et eksplosionsovertryk på 0,05 bar i blå farve for eksplosion af et propanudslip ved opbevaring på område F og rød farve for eksplosion af et propanudslip ved lastningsområdet. Beregningerne er foretaget ved 2 m/s, hvor opblandingen (og dermed fortyndingen) er mindst.



Figur 5-13 Oversigtsplot med konsekvensafstand for varmestrålingen fra en skybrand med en intensitet på 17 kW/m^2 (eksponering kortere end 20 sekunder) fra et propanudslip ved lastningsområdet. Beregningerne er foretaget ved 2 m/s , hvor opblandingen (og dermed fortyndingen) er mindst.

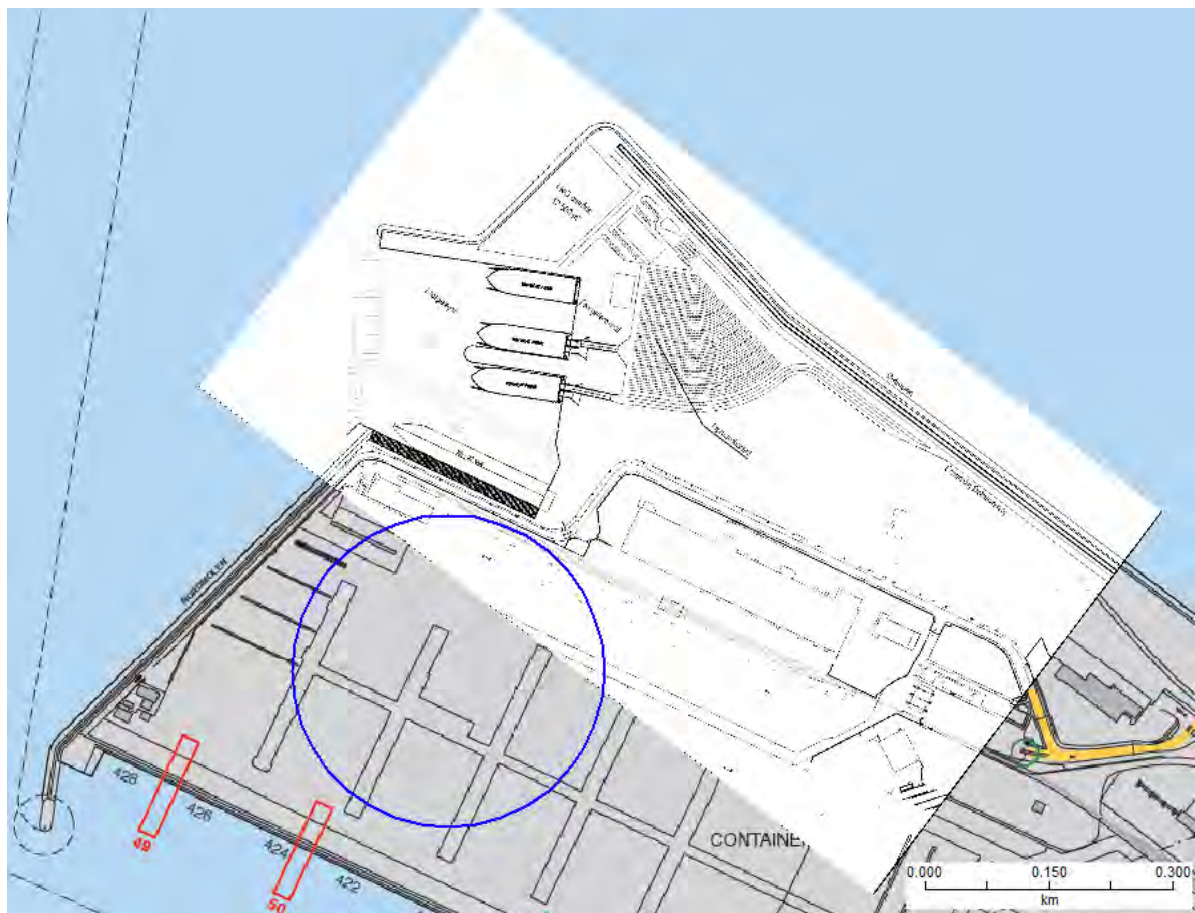
Konsekvenszonen rækker ikke ind over færgeterminalområdet ved de 3 konsekvensberegninger.

5.15 Scenarie for uheld 14B

Propan findes to steder på APM Terminals Aarhus i henholdsvis opbevaringsområde F og lastningsområdet, jf. figur 1-1.

Hvis en propantank er udsat for opvarmning fra brand i et udslip af brandfarlig væske fra en nærtstående container, vil tanken kunne varmes op indtil den brister og resultere i en BLEVE (se afsnit 3.3.5).

Det antages at tanken brister ved 16 barg, dette giver den største konsekvensradius for opbevaring ved lastningsområdet, se figur 5-14 og figur 5-15. Konsekvensafstanden fra varmestråling er angivet ved 17 kW/m^2 (20 sekunders eksponering) modsvarende sikkerhedsdokumentet hvor konsekvensafstanden er angivet for 6 kW/m^2 (2 minutters eksponering). Beregningen i screeningen er korrekt og mindre konservativ end beregningen i sikkerhedsdokumentet.



Figur 5-14 Oversigtsplot med konsekvensafstand for et eksplosionsovertryk på 0,05 bar i blå farve for eksplosion af et propanudslip ved lastningsområdet.



Figur 5-15 Oversigtsplot med konsekvensafstand for varmestrålingen fra en BLEVE (17 kW/m² svarende til 20 sekunders eksponering) ved eksplosion af et propanudslip ved lastningsområdet.

Konsekvenszonen rækker ikke ind over færgeterminalområdet ved uheldsscenariet.

6. REFERENCER

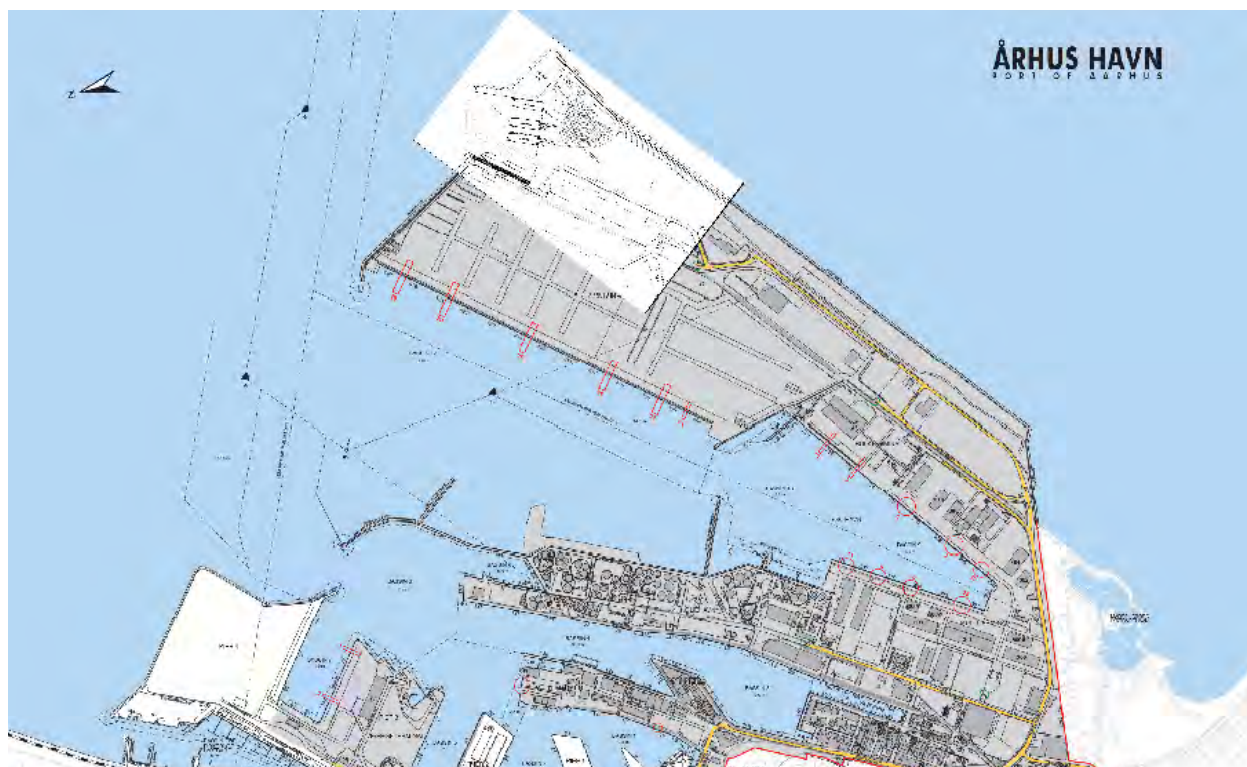
- /1/. Sikkerhedsrapport for APM Terminals – Cargo Service A/S Sikkerhedsdokument, Version 4, 16. december 2014 med tilhørende bilag
- /2/. TNO, "The Yellow Book" Methods for calculation of physical effects resulting from releases of hazardous materials, Holland
- /3/. TNO, "The Green Book" Methods for the determination of possible damage, Holland
- /4/. Standardværktøjer og kriterier til vurdering af sundheds- og miljørisici i forbindelse med større uheld på risikovirksomheder, Rambøll for Miljøstyrelsen, 2006
- /5/. DNV software, The PHAST RISK 6.6 software,
<http://www.dnv.com/software/all/phast/productInfo.asp>
- /6/. <http://www.epa.gov/aegl/access-acute-exposure-guideline-levels-aegls-values#chemicals>
- /7/. Risikoberegning, Containerterminal, August 2009 Miljøcenter Aarhus/Rambøll
- /8/. https://www.politi.dk/NR/rdonlyres/99302797-E407-44CC-B5C5-38C2099F8269/0/ADR_2015.pdf
- /9/. UNECE – About the ADR: http://www.unece.org/trans/danger/publi/adr/adr_e.html
- /10/. *Human Vulnerability to Thermal Radiation Offshore*, Report number: HSL/2004/04, Health and Safety Laboratory (UK HSE), 2004
- /11/. Miljøstyrelsens online risikohåndbog - <http://risikohaandbogen.mst.dk/>

Til
Aarhus Havn

Dokumenttype
Rapport

Dato
August 2017

CFD SIMULERINGER KONSEKVENSEN FOR AARHUS HAVN FÆRGETERMINAL



CFD SIMULERINGER KONSEKVENSEN FOR AARHUS HAVN FÆRGETERMINAL

Revision **7**
Dato **2017-08-23**
Udarbejdet af **Jan Gramkov**
Nina Gall Jørgensen
Jonas Kastrup
Kontrolleret af **Henrik Fanø Clausen**
Christian Matthes Nørgaard
Lene Alstrup
Louise Wedderkopp Bjerrum
Kristina Hoffmann Larsen
Ole Riger-Kusk
Godkendt af **Jan Gramkov**
Beskrivelse **CFD simuleringer af klorudslip for Aarhus Havn Fær-
geterminal**

Ref. 1100011049\C00286-1-ORK

Rambøll
Hannemanns Allé 53
DK-2300 København S
T +45 5161 1000
F +45 5161 1001
www.ramboll.dk

INDHOLD

1.	INDLEDNING	1
1.1	Afgrænsning	4
2.	UNDERSØGELSESFORLØB	5
3.	SAMMENFATNING OG KONKLUSION	8
4.	METODE OG PARAMETRE	10
4.1	Skadeskriterier	10
4.2	PHAST beregninger	10
4.3	CFD simuleringer	12
4.4	Udslipkilde	12
4.5	Vind	18
4.6	Målepunkter i beregningsmodellen	20
4.7	Massebalance for biler på opmarcharealet	22
5.	KONSEKVENSBEREKNINGER	23
5.1	Indledende CFD simuleringer	23
5.2	Simulering 1-16	24
5.3	Simulering 24-28	29
5.4	Simulering 29-38	45
5.5	Simulering 39-44	50
5.6	AEGL-3 konturer	64
6.	VURDERING	65
6.1	Konsekvensvurdering	65
6.2	Risiko for domino	67
6.3	Risikovurdering	68
6.4	Stedbunden risiko og samfundsrisiko	69
6.5	Vurdering i forhold til de 2 kriterier	72
7.	SAMMENLIGNING MELLEM CFD SIMULERIGNER OG PHAST BEREKNIGNER	73
8.	REFERENCER	76

BILAG

A	GENEREL CFD BESKRIVELSE
B	CFD DETALJERET OPSÆTNING
C	CFD RESULTATER
D	ANVENDTE BEFOLKNINGSDATA I SAMFUNDSRISIKOBEREGNINGEN

1. INDLEDNING

Denne rapport har til formål at beskrive og vurdere på konsekvens og risiko ved flytning af færgeterminalen fra den nordlige til den østlige del af Aarhus Havn i forbindelse med aktiviteterne på APM Terminals Aarhus, herunder udslip af klor.

VVM-redegørelsen for den nye placering af færgeterminalen omfatter en vurdering af risikoforhold, eftersom området ligger inden for planlægningszonen omkring risikovirkksomheden APM Terminals Aarhus, jf. Tillæg nr. 24 til Kommuneplan 2013. Planlægningszonen omkring APM Terminals Aarhus er udlagt efter den maksimale konsekvensafstand. I forbindelse med myndighedernes fastlæggelse af indholdet i miljøredegørelsen, har beredskabet skriftligt udtrykt bekymring for ét af de scenarier, som potentielt har konsekvenser, der strækker sig ind over den planlagte færgeterminal. Bekymringen vedrører beredskabets begrænsede muligheder for at evakuere det berørte område, kombineret med det potentielle antal af påvirkede personer.

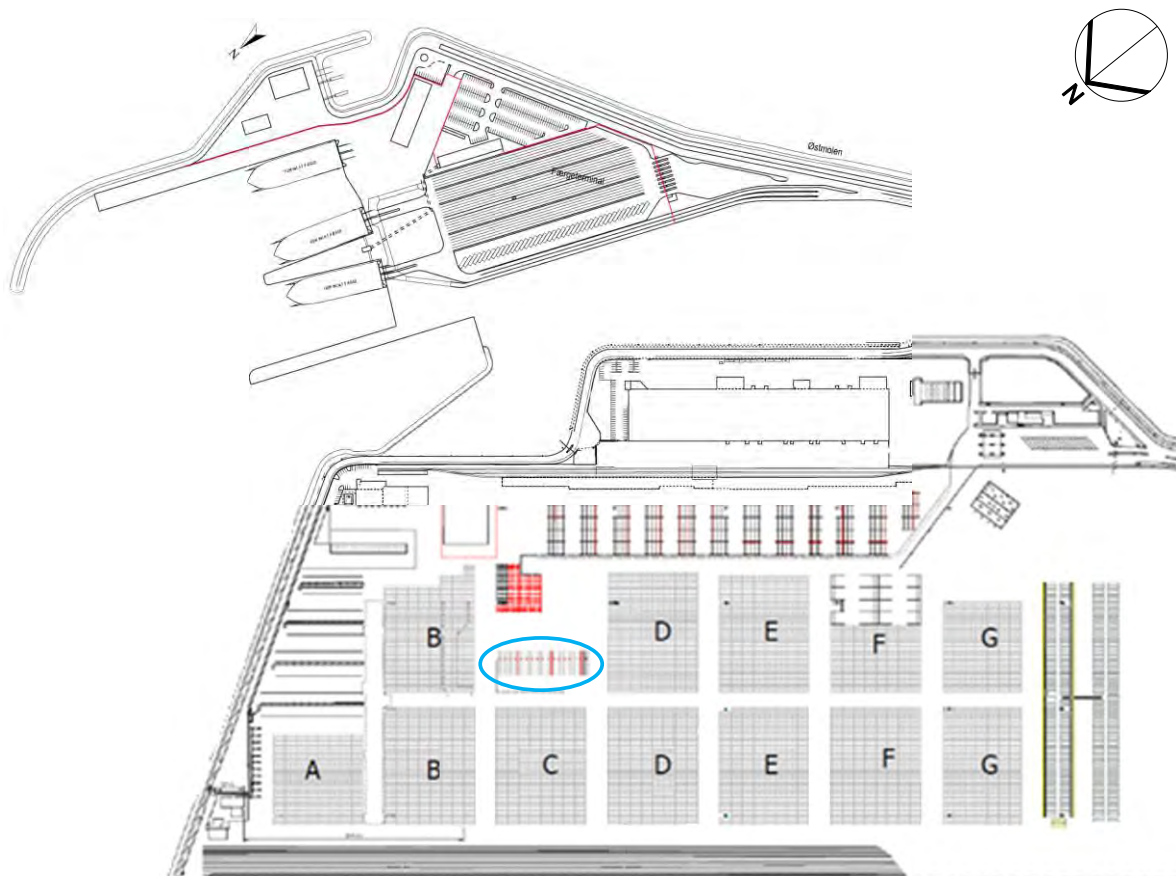
Denne konsekvens- og risikovurdering er en del af et undersøgelsesforløb for afklaring af beredskabets bekymringer omkring de begrænsede muligheder for at kunne evakuere personer på opmarcharealet på færgeterminalen i tilfælde af et værst tænkeligt uheld. Konsekvensvurderingen skal bruges til at identificere det værst tænkelige uheld og de forhold, som skal være opfyldt for, at konsekvensen kan forekomme. Efterfølgende er sandsynlighederne for disse konsekvenser vurderet og sat i forhold til andre alvorlige konsekvenser.

Konsekvensberegningerne er foretaget med CFD (Computational Fluid Dynamic) simuleringer, og ved beregning af stedbunden risiko og samfundsrisikoberegning er CFD simuleringerne sat sammen med beregninger i PHAST 6.6 foretaget i forbindelse med risikoscreeningen af konsekvensen for Aarhus havn færgeterminal (ref. /9/).

Risikoen og konsekvensen vurderes i forhold til 2 kriterier:

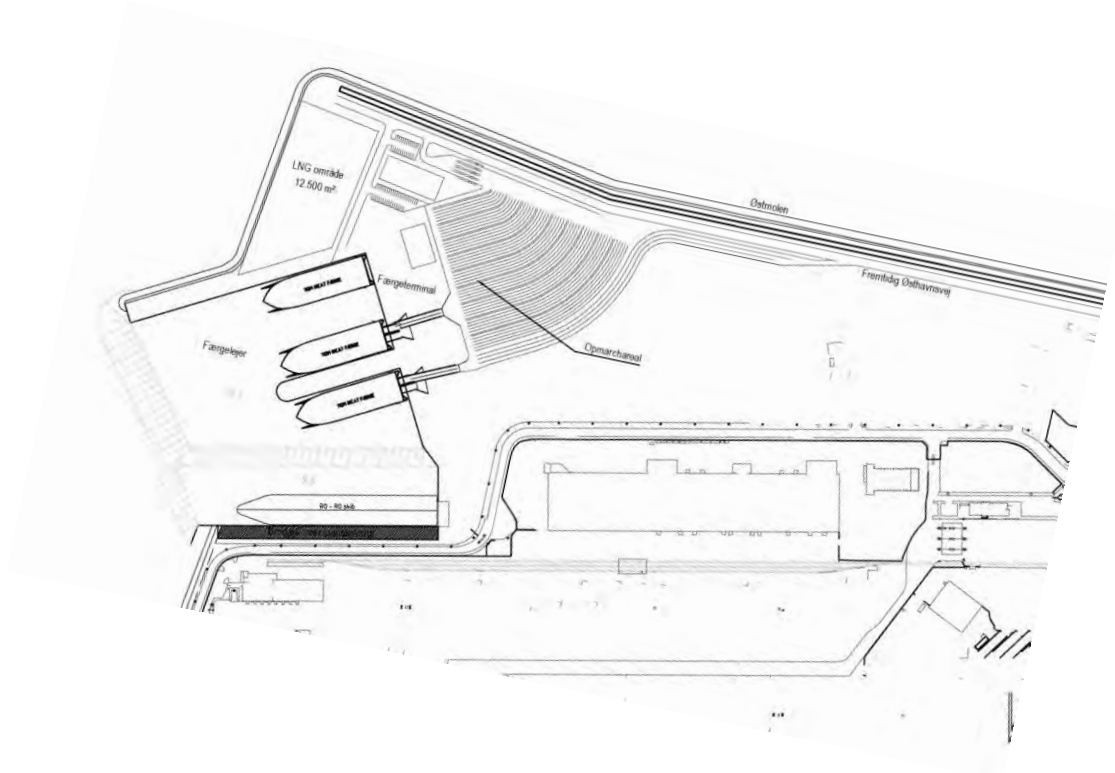
- Risikoen, opgjort som samfundsrisiko, skal være acceptabel i henhold til Miljøstyrelsens praksis på risikoområdet, herunder det acceptkriterium, der (med udgangspunkt i Miljøprojekt nr. 112) er anført i kommuneplanretningslinjen for containerterminalen.
- Det kommunale redningsberedskab skal kunne yde en forsvarlig indsats mod skader på personer, ejendom og miljøet ved ulykker og katastrofer... (som angivet i beredskabslovgivningen, LBK nr 660 af 10/06/2009)

I rapporten refereres til områderne på APM Terminals Aarhus i henhold til figur 1-1 kopieret fra sikkerhedsrapporten for APM Terminals Aarhus, ref. /1/ med havneområdet indsat.

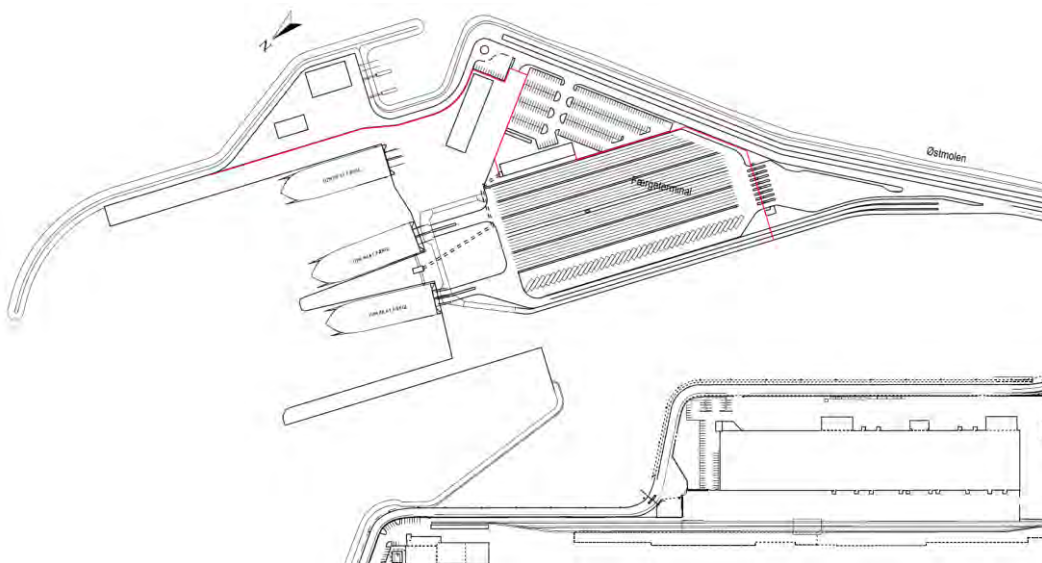


Figur 1-1 Beskrivelse af områdebetegnelserne (A, B, C, D, E, F og G) på APM Terminals Aarhus. Udvekslingsområdet, hvor containere afleveres og afhentes med lastbiler, forefindes mellem område B og D (markeret med en blå cirkel).

Der er anvendt 2 forskellige layout, et tidligere layout (se Figur 1-2) er anvendt til de første CFD simuleringer (simulering 1-38) og er justeret layout (se figur 1-3) til de sidste CFD simuleringer (simulering 39-44). I det justerede layout er opmarcharealet flyttet længere væk fra udslipsskilden og har en mere aflang form. Endvidere er kajkanten flyttet.



Figur 1-2 Tidligere layout af den nye placering af færgeterminalen (drejet, så det passer med figur 1-3). Dette layout er anvendt til simuleringerne 1-38.



Figur 1-3 Justeret layout af den nye placering af færgeterminalen. Dette layout er anvendt til simuleringerne 39-44.

1.1 Afgrænsning

Alle beregninger er foretaget ud fra de antagelser, som er anvendt i sikkerhedsrapporten for APM Terminals Aarhus, ref. /1/.

Vurderingen af risikoforholdene for den nye færgeterminal omfatter konsekvenserne af APM Terminals Aarhus's aktiviteter. I tilknytning til projektet med etablering af den nye færgeterminal indgår også etableringen af en trafik- og godshavn i form af en anløbsplads. Da der ikke aktuelt er en operatør til trafik- og godshavnen, foreligger der ikke detaljeret kendskab til de aktiviteter, som vil være forbundet med driften af anløbspladsen samt trafik- og godshavnen. Den personeksponering, som denne drift vil afføde, ligger udenfor denne vurdering af konsekvenserne og risikoen. I forlængelse af kommuneplanretningslinjen for containerterminalen, er det forudsat, at der på trafik- og godshavnen ikke håndteres farligt gods af typer eller mængder, som kan give anledning til øget risiko for dominoeffekt.

Færgeterminalen og eventuel trafik- og godshavn har oplag af brændstof til færge og skibe. Sandsynligheden for et udslip på APM Terminals Aarhus samtidig med tankning af færge/skib, som resulterer i et overfyldning (i tilfælde af svigt i overfyldningssikringen), er så lille (omkring 10^{-12}), at risikoen ikke medtages i betragtningen, da scenariet betragtes som utænkeligt og kun som en teoretisk risiko.

Lastning/losning til og fra skib: Eftersom APM Terminals containerkaj og dermed container-skibe ligger længere væk fra færgeterminalen end opmarcharealet for containere, bliver der ikke vurderet på konsekvenserne i forbindelse med containere om bord eller under lastning/losning fra skibe, da disse konsekvenser er dækket af beregningerne for selve containeroplaget.

Lastning/losning af lastbiler: Eftersom transporten af containerne på lastbil er underlagt ADR, som er en international konvention om transport af farligt gods på veje, ref. /3/ og ref. /4/, og derfor ikke er underlagt risikobekendtgørelsens bestemmelser, vurderes der ikke på kørsel med containere på lastbilerne. Kun selve lastnings/losningsoperationen af lastbilen er således omfattet af vurderingerne.

Risikoen som følge af terror, hærværk og tyveri er ikke vurderet. APM Terminals Aarhus skal dog i henhold til risikobekendtgørelsens § 11 udarbejde en sårbarhedsvurdering med henblik på at forebygge forsætlige skadevoldende handlinger.

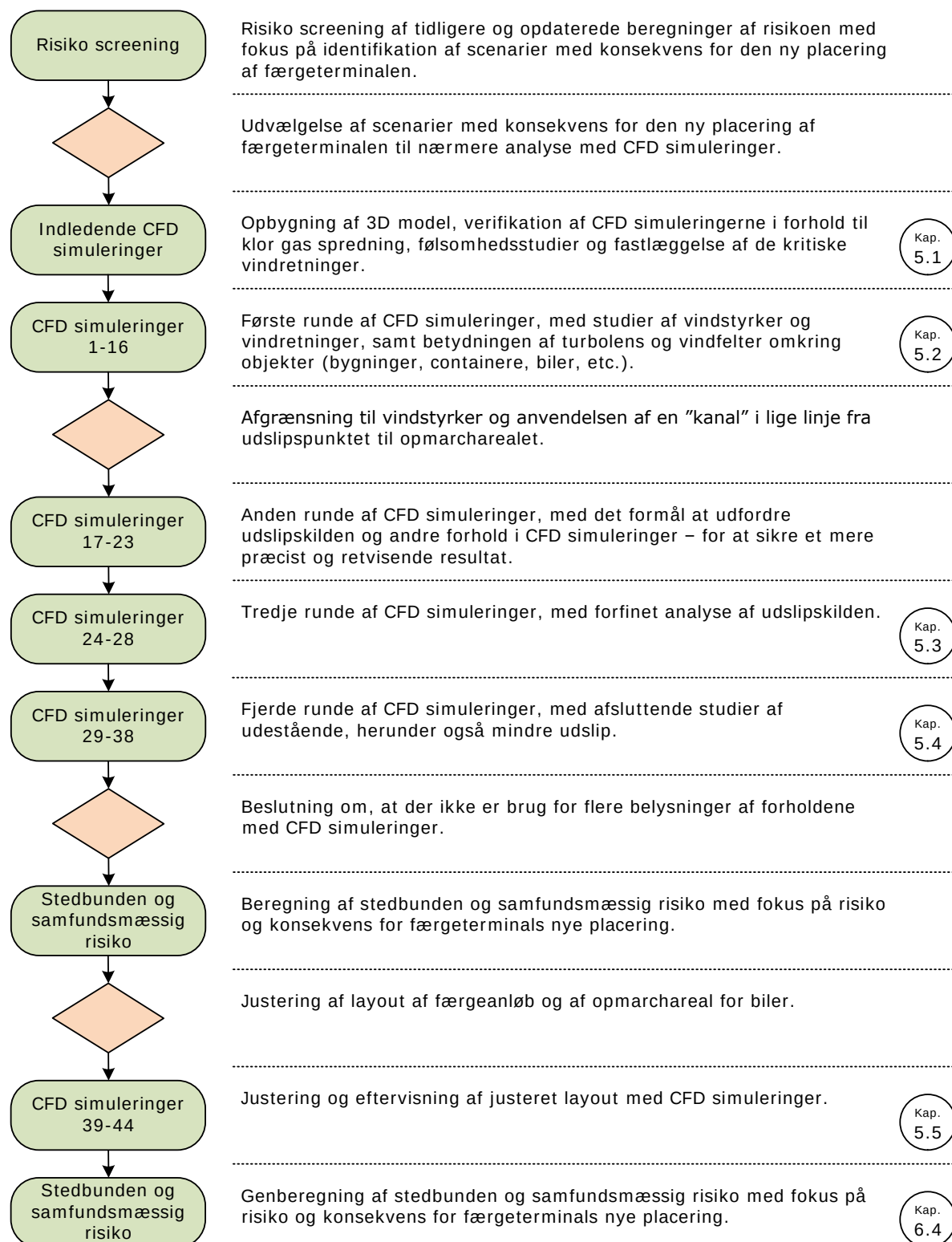
2. UNDERSØGELSESFORLØB

Denne rapport er resultatet af en iterativ proces med et længere forløb med en række undersøgelse, afgrænsninger og tilpasninger.

Layoutet af færgeterminalen har ændret sig under den iterative proces og den sluttelige vurdering af risikoforholdene er baseret på et revideret layout (som også er præsenteret på figur 1-1 og figur 1-3). Denne vurdering bygger på erfaringer og forhold identificeret i alle de indledende studier og CFD simuleringer, gennemført i forhold til det oprindelige layout.. Da der som nævnt i processen er foretaget en ændring af layoutet af færgeterminalen herunder opmarcharealet, kan disse tidligere gennemførte beregninger ikke stå alene. Der er derfor gennemført supplerende beregninger (beregningerne 39-44), som dels skal dokumentere forholdene i forhold til det reviderede design dels eftervise, i hvilket omfang de tidligere beregninger er retvisende for det reviderede design.

Rapporten præsenterer CFD simuleringerne og vurderingerne i den rækkefølge, de er foretaget (i kapitel 5), hvorfor der er en række forhold, vurderinger og sammenligninger, som ikke er medtaget direkte i den sluttelige vurdering, men som er vigtige milepæle eller vurderinger i forhold til processen og afgrænsningerne. I forbindelse med hvert segment af CFD simuleringer er angivet i hvilken grad simuleringerne indgår i vurderingen af risikoforholdene.

Det fulde forløb af den iterative proces er vist på figur 2-1, med angivelse af, hvor resultaterne af de enkelte simuleringer kan findes.



Figur 2-1 Forløbet for vurderingen af risikoen og konsekvensen for færgeterminalens nye placering.

Risikoscreening – Selve risikoscreeningen foreligger i en særskilt rapport (ref. /9/), og baserer sig på risikoidentifikationen fra sikkerhedsrapporten fra APM Terminals Aarhus (tidligere APM Terminals – Cargo Service A/S) (ref. /1/), samt oplysninger i en risikoberegning foretaget for Miljøstyrelsen Aarhus omkring APM Terminals Aarhus omfattende blandt andet en mulig fremtidig

placering af færgeterminalen (ref. /8/). Konklusionen på risikoscreeningen er, at det kun er relevant at foretage CFD simuleringer af klor-scenarierne.

Indledende CFD simuleringer – De indledende CFD simuleringer havde til formål at sikre robustheden af simuleringerne samt at bestemme de kritiske vindretninger og forhold.

CFD Simulering 1-16 - En række CFD simuleringer med en næsten momentan gassky bestående af 20 % klorgas (uden pøldannelse) og 80 % luft (et resultat af en gasjet og efterfølgende fordampning af medrevne dråber) på 180 kg (svarende til 4 klorbeholdere).

CFD Simulering 17-23 – Genovervejelse af udslipskilden og rigtigheden af momentan udslip uden pøl dannelse. Disse simuleringer vurderede robustheden og effekten af en mindre konservativ udslipskilde. Udslipskilden består af en gasjet på 20 % klorgas og en klor væskepøl med de resterende 80 %, som fordampede over tid. Andre tilpasninger af CFD simuleringerne blev endvidere foretaget i forbindelse med disse simuleringer, bl.a. blev den matematiske præcision sat op til det dobbelte, for at sikre korrekt beregning af selv meget lave koncentrationer af klorgas (f.eks. AEGL 1).

CFD Simulering 24-28 – Den revurderede (forfinede) udslipskildeopsætning blev anvendt til simuleringerne 24-28, som anvendes til beregningen af den stedbundne risiko og samfundsrisikoen.

CFD Simulering 29-38 – Det viste sig nødvendigt, at simulere mindre udslip på 2 og 1 klorbeholder, samt at verificere, at vindretningerne udenfor det kritiske vindfelt, ikke giver en konsekvens for færgeterminalens nye placering.

Stedbunden og samfundsmæssig risiko – Ved at kombinere beregningerne fra risikoscreeningerne med CFD simulering 24-26 + 33-38 og kombinere disse med opstillede befolkningseksponeringer for området, er den stedbundne risiko og samfundsrisikoen beregnet.

CFD Simulering 39-44 – Det justerede layout af færgeanlægget har betydning for klorgassens opførsel ved kajkanten og derfor betydning for spredningen i det bagvedliggende terræn. Samtidig er opmarcharealet for biler blevet flyttet længere væk fra udslipskilden. Disse ændringer er vurderet, eftervist og justeret ved nye CFD simuleringer.

Stedbunden og samfundsmæssig risiko – Ved at kombinere beregningerne fra risikoscreeningerne med CFD simulering 26 + 35-44 og kombinere disse med opstillede befolkningseksponeringer for området, er den stedbundne risiko og samfundsrisikoen genberegnet med en forfinet model ved rotation af simuleringerne.

3. SAMMENFATNING OG KONKLUSION

Risikoen i forhold til den planlagte placering af færgeterminal er vurderet på baggrund af oplysninger fra APM Terminals Aarhus' godkendte sikkerhedsrapport fra december 2014.

Som led i risikovurderingen er sandsynligheder for scenarier og beregnede konsekvensafstande suppleret med yderligere analyser i PHAST RISK 6.6 samt CFD simuleringer i Ansys CFX version 14. Af de identificerede scenarier i APM Terminals Aarhus' sikkerhedsrapport, er det kun udslip af klorgas, som er beregnet til at kunne have en potentiel konsekvens (i form af dødsfald) for personer med ophold på færgeterminalens område. De indledende konsekvensberegninger er foretaget med PHAST RISK 6.6. Denne programpakke anvender empiriske modeller til beregningerne. Eftersom de empiriske modeller ikke kan medtage alle de faktuelle forhold som bygninger og opblanding mellem biler, er der foretaget simuleringer af luftstrømningerne og klorgas spredningen med CFD.

Klorgas er en tung gas, som er svær at fortynde og skylle ud med vinden, da gassen kryber langs terræn, hvilket gør, at konsekvensen er værst ved lave vindstyrker, specielt på grund af den længere opholdstid af klorgassen. CFD simuleringerne beregnes tidsmæssigt indtil klorkoncentrationen i hele terminalområdet er mindre end AEGL-2. Dette forekommer efter ca. 27 minutter for lav vindstyrke (2 m/s) og ca. 16 minutter for 5 m/s. Ingen biler er eksponeret i hele scenariets varighed. Den mest udsatte bil er beregnet til at være eksponeret i helholdsvis 16 minutter, 10 minutter og 3 minutter ved henholdsvis 2 m/s, 5 m/s og 11 m/s.

Eksponerede personer på opmarcharealet mødes ikke med en "mur" af høje koncentrationer af klor, men har et forvarsel i form af lavere koncentrationer i den indledende del af scenariet. Dette giver en mulighed for at søge indendørs, evt. i egen bil. Indendørs ophold er sikkert, såfremt ventilationsanlægget slukkes, og døre og vinduer lukkes, mens der kan forekomme høje indendørs koncentrationer ved lave vindstyrker ved forsat ventilerings af bilen.

I tilfælde af et udslip af klor på APM Terminals Aarhus fra 1-4 klorbeholdere samtidig med, at opmarcharealet er fyldt med biler med en kritisk vindretning fra nordvest (mellem 285° og 330°), vil op til 200 biler (hver med gennemsnitlig 2 passagerer, dvs. 400 eksponerede personer) på opmarcharealet kunne blive påvirket ved lav vindstyrke (2 m/s). Denne vurdering er foretaget med den mest uhensigtsmæssige fordeling af biler på færgeterminalens opmarchareal. Ved højere vindstyrker falder konsekvensen til påvirkning af ca. 110 biler (220 eksponerede personer) ved 5 m/s og ca. 70 biler (140 eksponerede personer) ved 11 m/s. Hvis vindretningen ikke ligger mellem 270° og 345° (svarende til CFD simuleringerne for vindretningen 285° og vindretningen 315° og halvdelen af vindretningen 345°), vil opmarcharealet ikke blive berørt.

Sandsynligheden for at omkomme ved udslippet af klor under ophold på opmarcharealet, ved udendørs ophold i det værst tænkelige punkt uden selvevakuerings (personer forbliver udendørs i samme position under hele scenariets varighed), er beregnet til ca. $1,8 \times 10^{-8}$ pr. år. Det er beregnet, at hvis den pågældende passager opholdt sig på den værst tænkelige plads i mere end 56 millioner år, ville vedkommende omkomme af uheldet. Sandsynligheden for at omkomme i forbindelse med 30 minutters ventetid (inden færgeafgang) på opmarcharealet, er beregnet til at være maksimalt ca. 1×10^{-12} pr. år [= 1 gang pr. 1.000 milliarder år] pr. gang, der ventes i 30 minutter. Hvis et individ tager færgen 2 gang hver dag (230 dage pr. år) og venter 30 minutter hver gang, er risikoen for at omkomme beregnet til ca. $2,3 \times 10^{-10}$ pr. år [= 1 gang pr. 4,3 milliard år].

Sandsynligheden for at omkomme i trafikken ved en køretur på 113 km, svarende til turen fra Færgelejet på Sjællands Odde til Rådhuspladsen i København, er $4,09 \times 10^{-7}$ pr. år pr. køretur.

Denne sandsynlighed sammenlignes med sandsynligheden for at omkomme under 30 minutters ventetid på opmarcharealet (1×10^{-12} pr. år pr. gang). Risikoen er dermed omkring 400.000 gange højere for at omkomme i trafikken under transporten fra Færgelejet på Sjællands Odde til Rådhuspladsen, end ved et udslip af klor fra APM Terminals Aarhus, hvis man opholder sig uden-dørs (herunder i bil med åbent vindue) på færgeterminalen og venter 30 minutter.

Der er ikke fundet effektive konsekvensreducerende effekter, som kan implementeres imod klor-gasskyen, undtagen indendørs ophold, herunder ophold i bil, såfremt ventilation er slukket og vinduer og døre er lukket.

I afsnit 5.2 vises det, at vindforholdene har en effekt på udbredelsen omkring bygningen Øst-havnsvej 37-39 mellem APM Terminals Aarhus og opmarcharealet, men for opmarcharealet er forskellene minimale, og det anbefales derfor ikke at indarbejde særlige krav til bygningens tilstedeværelse eller form. Dermed kan det konkluderes, at bygningen Østhavnsvej 37-39 ikke er dimensionerende for konsekvensen. Dette betyder, at en evt. nedrivning af bygningen Østhavnsvej 37-39 vil have minimal betydning for risikobilledet. Dette er endvidere med til at vise, at etablering af en 5 meter høj mur mellem APM Terminals Aarhus og færgeterminalen, ikke vil forhindre klor-gasskyen i at påvirke færgeterminalen (konsekvensen for enkelte områder er reduceret med op til 50 %, alt efter vindretning og udformningen af muren, mens den samlede på-virkning er reduceret lidt, men utilstrækkeligt til at stå mål med krav til bygningen) og dermed ikke vil have en betydelig påvirkning på konsekvensområdet og dermed risikobilledet. Ligeledes vil eventuelle bygninger i området mellem klorudslippet og opmarcharealet kun i mindre omfang tilbageholde og forstærke klorkoncentrationen.

Simuleringerne viser, at afstand er en af de største og vigtigste faktorer i forhold til reduktion af konsekvens og risiko. Konklusionen på simuleringen er, at containerterminalens udvekslingsområde, hvor containere med farligt gods afleveres og afhentes med lastbiler, ikke bør flyttes tættere på opmarcharealet end den nuværende placering. Udvekslingsområdet er på nuværende tidspunkt placeret det næst værste tænkelige sted. Det ville kun være værre, hvis udvekslingsområdet var placeret mellem nuværende udvekslingsområde og opmarcharealet (se tabel 5-4 i afsnit 5.2). Udvekslingsområdet bør derfor ikke flyttes tættere på færgeterminalen. Simuleringerne viser tillige, at erfaringer fra de tidlige simuleringer (indledende CFD simuleringer, simulering 1-16 og simulering 24-38) er gældende, også for de simuleringer, der ikke slutteligt indgår i beregningen af den stedbundne risiko og samfundsrisikoen.

Sandsynlighederne er justeret således, at kranuheld (som er de mest sandsynlige årsager til udslip) kun er gældende for kajområdet. Den stedbundne risiko på 1×10^{-6} findes indenfor hegnet for APM Terminals Aarhus, mens færgeterminalen er dækket af en stedbunden risiko på omkring 1×10^{-7} og lavere. Risikoen ved den nye beregning er koncentreret på kajen, da risikoen er størst ved kranhåndteringen. Den beregnede samfundsrisiko ligger inden for risikomyndighedernes acceptkriterium.

I forhold til de 2 kriterier er det fundet, at disse er opfyldt;

- Kriteriet i forhold til Miljøstyrelsen er opfyldt ved at beregne og vurdere samfundsrisikoen, som er fundet til at være acceptabel med et spænd, som gør, at færgeterminalens drift i praksis ikke er begrænset. Herunder opfyldes Miljøstyrelsens acceptkriterium i kommuneplan-retningslinjen for containerterminalen.
- Kriteriet i forhold til det kommunale redningsberedskab er opfyldt, eftersom redningsberedskab har mulighed for (udenfor farezonen) at dirigere eksponerede personer – (eksempelvis: gå ind i bilerne, luk vinduer og døre og sluk for ventilationen) og i øvrigt har mulighed for at yde assistance, så snart klorskyen er skyllet ud af området.

4. METODE OG PARAMETRE

I dette afsnit er de forskellige beregningsmetoder beskrevet.

4.1 Skadeskriterier

Skade på personer på opmarcharealet fra klorgas kan forekomme under forudsætning af, at personerne er eksponeret. For at en person er eksponeret, skal personen opholde sig udendørs eller i sit køretøj med nedrullede vinduer og forblive udendørs/lade vinduerne stå åbne. Hvis ventilationsanlægget i en bil står på højt niveau og ikke slukkes, når klorglugten inde i bilen opstår, vil der kunne opstå koncentrationer inden i bilen over AEGL-3 niveau ved lave vindstyrker og over AEGL-2 niveau ved middel vindstyrker.

For konsekvensafstanden for toksiske udslip er det valgt at benytte AEGL-3 værdier, som er Acute Exposure Guideline Level 3 defineret af US EPA, ref. /2/. AEGL-3 er den luftbårne koncentration over hvilken, det forventes, at den generelle offentlighed inklusive sårbare personer vil kunne opleve livstruende sundhedspåvirkninger eller død.

Da AEGL koncentrationerne anvendes til beredskabsformål, er der i metoden til fastlæggelse af AEGL koncentrationsniveauerne indlagt en konservativ tilgang hvilket betyder, at sandsynligheden for at dø ved påvirkning af en AEGL-3 koncentration i den aktuelle eksponeringstid er lavere end 1 % (beregnet ved hjælp af Probit funktionen). Da skaden fra en toksisk påvirkning er afhængig af både koncentrationen og af eksponeringstiden, gives AEGL værdierne for flere tidseksponeringer fra 10 minutter op til 8 timer, hvor der i denne rapport benyttes værdier for 10 minutters eksponering (fastlagt af risikomyndighederne), se tabel 4-1.

Det er identificeret, at en af simuleringerne (simulering 24, 2 m/s) potentielt har en eksponering større end 10 minutter. For denne simulering er eksponeringstiden op til 16 minutter for de mest eksponerede biler, idet disse biler er udsat for koncentrationer langt over 50 ppm mens de biler, som ligger i kanten af konsekvenszonerne, og hvor koncentrationen kan ligge mellem 28 ppm og 50 ppm, har en eksponeringstid betydeligt under 10 minutter. Dermed er anvendelsen af en eksponeringstid på 10 minutter korrekt i forhold til angivelsen af AEGL-3 udbredelsen. Det er essentielt for yderkanten af konsekvensarealerne, at der anvendes en korrekt eksponering, som for disse er 10 minutter.

	AEGL-1	AEGL-2	AEGL-3
Eksponering i 10 min.	0,5 ppm	2,8 ppm	50 ppm
Eksponering i 30 min.	0,5 ppm	2,8 ppm	28 ppm

Tabel 4-1 AEGL værdier for eksponering af klorgas for uheldsscenerierne. Værdierne er fundet ved US EPA, ref. /2/.

4.2 PHAST beregninger

PHAST RISK fra DNV er en omfattende samling af empiriske beregningsmetoder og -modeller for uheld i procesanlæg. Disse empiriske beregningsmetoder og -modeller er baseret på en række stofdata og omgivelsesdata og er kalibreret i forhold til en række offentligt tilgængeligt fuldskala forsøg (under kontrollerede betingelser). Disse empiriske beregningsmetoder og -modeller har den fordel, at det er muligt at beregne mange forskellige scenarier på baggrund af et begrænset sæt af parametre, og har den ulempe, at beregningsmetoderne og -modellerne er valide indenfor et parameterinterval og er invalide udenfor dette interval, og at der er en række forhold, som beregningsmetoderne og -modellerne ikke kan medtage i konsekvensen.

Empiriske modeller baserer sig på en række forskellige parametre, hvoraf nogle har stor betydning for resultatet og andre har minimal betydning for resultatet. I tabel 4-2 er listet relevante parametre for klorudslippet, som har en signifikant betydning for resultatet (listen er ikke udtømmelig).

Parametertype	Parameter	Betydning
Stofparametre	Densitet (gas og væske)	Densiteten har betydning for udslipsraten fra klorbeholderne samt betydning for klogasskyens tyngde under spredning.
	Kogepunkt	Kogepunktet har betydning for klogasskyens og klorvæskepølen's temperatur efter udslip.
	Damptryk	Damptrykket har betydning for underafkøling af klogasskyen under udslip og dermed for temperaturen af klorvæskepølen. Samtidig har damptrykket betydning for afdampningen fra klorvæskepølen.
Procesparametre	Temperatur (beholder)	Denne parameter har betydning for udslipsraten og specielt for fordampningen under udslippet og dermed den resulterende fordeling mellem klorgas og klorvæske.
	Tryk (beholder)	Denne parameter har betydning for udslipsraten.
	Udslipsretning og impingement (kollision af jetstrøm med objekt)	Denne parameter har betydning for udvikling af jetstrømningen og underafkølingen af klogassen og dermed den resulterende fordeling mellem klorgas og klorvæske.
	Masse	Den samlede masse, som indgår i udslippet, har betydning for den samlede påvirkning af eksponerede individer.
	Hulstørrelse	Denne parameter har betydning for udslipsraten.
	Udslipstiden	Udslipstiden er en funktion af massen og udslipsraten og har betydning for eksponeringstiden for eksponerede individer.
Terrænparametre	Vindstyrke	Denne parameter har betydning for spredning af klogasskyen og for eksponeringstiden for eksponerede individer.
	Ruhedsfaktor (gennemsnitlig størrelse af objekter i klogasskyens udbredelse)	Denne parameter har betydning for turbulensen i klogasskyen og dermed fortyndingen.

Tabel 4-2 Relevante parameter i PHAST RISK i forhold til klorudslip, som har en signifikant betydning for resultatet (listen er ikke udtømmende).

I tabel 4-3 er listet de forskellige højder over terræn, som har betydning i forhold til vurdering af skaden på eksponerede individer.

Højde over terræn	Betydning for skaden på eksponerede individer
10 m	Referencehøjden for vindstyrken som angivet vindrosen og i den almindelige vejrudsigt.
2 m	Normalt anvendt terrænhøjde for vurdering af skade på eksponerede individer. Da klorgas er tung, vil koncentrationen af klorgas falde med højden over terræn, specielt ved lave vindstyrker.
1 m	Anvendt højde over terræn i disse analyser til vurderingen af skade på eksponerede individer. Konservativt sat, da koncentrationen af klorgas vil være højere i 1 m end i 2 m.
0 m	Højde for maksimal konsekvens og konsekvenszone. Denne højde er en fiktiv højde over terræn, og anvendelse af denne højde vil resultere i urealistisk lange konsekvenszoner.

Tabel 4-3 Betydning af forskellige højder over terræn og disses betydning for skaden på eksponerede individer.

4.3 CFD simuleringer

CFD simuleringer foretages i en opbygget (eller tilpasset) 3D model af området, hvor terræn og bygninger er indtegnet. CFD simuleringen beregner luftstrømningerne omkring objekter og langs overflader samt kemiske og fysisk/kemiske forhold, som gør sig gældende ved et givent uheld (i dette tilfælde bl.a. fordi klor er en tung gas, og at klorgassen er kold). Der er vurderet på effekten af mobile objekter (som f.eks. containere). Det er fundet, at disse har en forstyrrende indflydelse på klorgasskyens udbredelse ved at tilbageholde en mindre del af klorgasskyen og dermed resultere i en (marginalt) lavere koncentration i (marginalt) længere tid. For at sikre at konsekvensen ikke undervurderes, er simuleringen foretaget uden mobile objekter mellem udslipsskilden og færgeterminalens fremtidige placering.

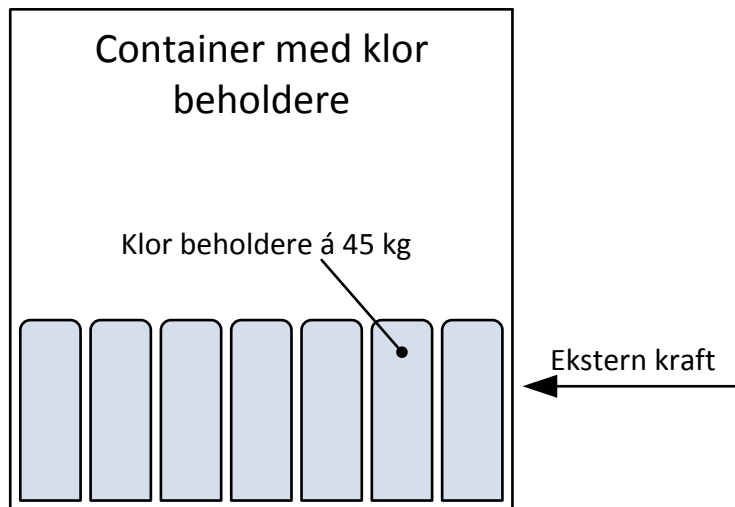
For yderligere beskrivelse af CFD og CFD simuleringer, se bilag A og B.

4.4 Udslipsskilde

I forbindelse med CFD simulering af et udslip er det vigtigt, at selve udslipsskilden er korrekt simuleret. Udslipsskilderne er beregnet ved hjælp af de empiriske formler i PHAST 6.6 og tilpasset CFD simuleringerne baseret på ekspertviden om de fysisk/kemiske forhold i og omkring udslipsskilden.

4.4.1 Simulering 1-16

Klorbeholderne af 45 kg per stk. oplagres i en container, hvilket betyder at klorbeholderne skal påvirkes af en ekstern kraft igennem containeren for at lække og resultere i et udslip. Selve containeren kan modstå en betydelig kraftpåvirkning uden, at klorbeholderne i containeren tager skade. Hver klorbeholder er en trykbeholder, som tåler en kraft, som er større end den kraft, som skal til for, at containeren bliver perforeret. Se figur 4-1.



Figur 4-1 Principiel angivelse af uheldsscenariet med en container med klorbeholdere.

Initielt var det simuleret, at hele indholdet af en perforeret klorbeholder blev frigivet på 5 sekunder som gasjet bestående af klorgas og små dråber. Når gasjetten var decelereret, vil udslippet overgå til en gassky som driver med vinden og derved spredes. Dråber vil ikke regne ud af gasjet/gassky, da dråbestørrelsen er meget små og vil fordampe i takt med, at gassen bliver opvarmet. Dermed vil gasskyen indeholde 100 % af indholdet fra klorbeholderen i gasform med en fordeling på 20 % klor og 80 % luft. Dette var udgangspunktet til den første serie af CFD simuleringer.

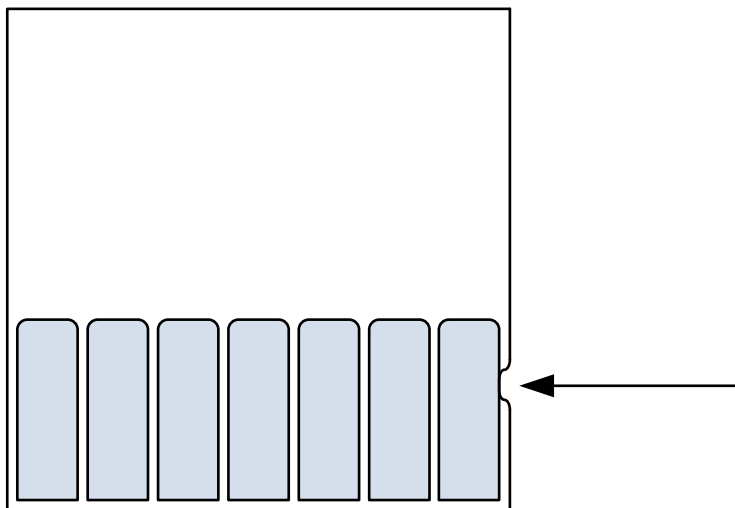
Scenarierne 1-16 er simuleret med ovenstående udslipkilde. Simuleringsnumre er tildelt fortløbende og indeholder også valideringer og test, som ikke er medtaget i denne rapport.

4.4.2 Simulering 24-44

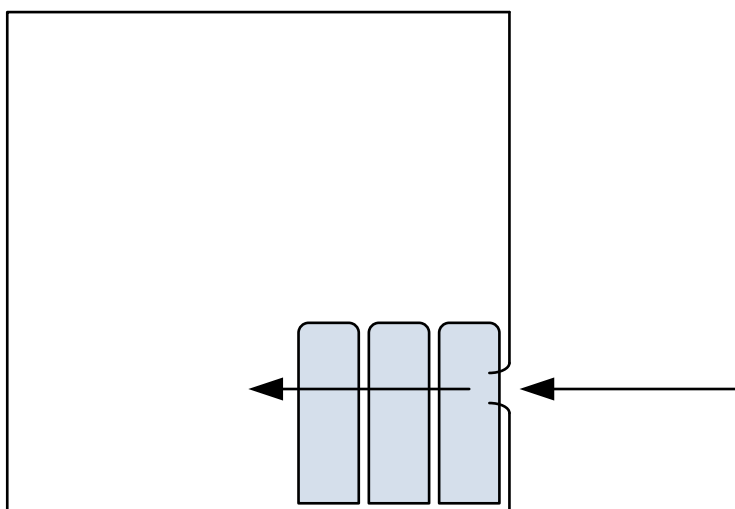
På grund af resultaterne, blev konservatismen i udslipskilden undersøgt og dette resulterede i følgende reviderede definition af udslipskilden.

Hvis en container påvirkes med en ekstern kraft, kan dette resultere i et af de følgende scenarier:

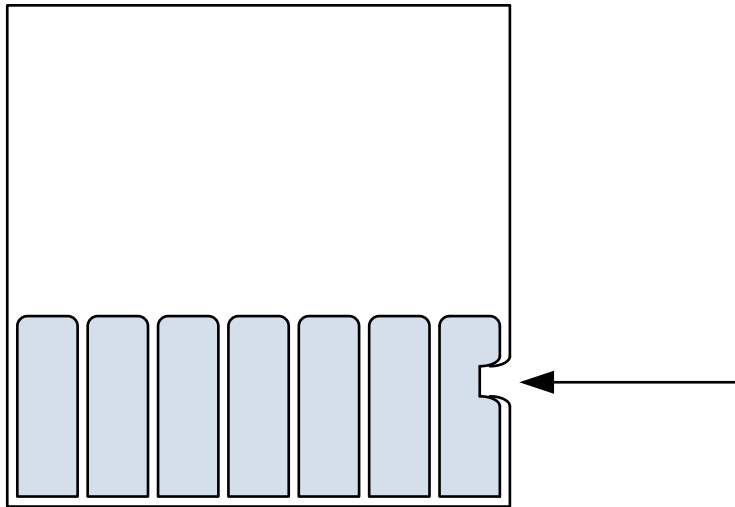
1. Containeren står imod kraften og bliver ikke perforeret. Intet udslip. Se figur 4-2
2. Containeren står ikke imod kraften og bliver perforeret, klorbeholderne forskubbes (bagvedstående last optager kraften). Intet udslip. Se figur 4-3.
3. Containeren står ikke imod kraften og bliver perforeret, klorbeholderne trykkes, men bliver ikke perforeret. Intet udslip. Se figur 4-4.
4. Containeren står ikke imod kraften og bliver perforeret, klorbeholderne trykkes og bliver perforeret. Klorudslip. Se figur 4-5.



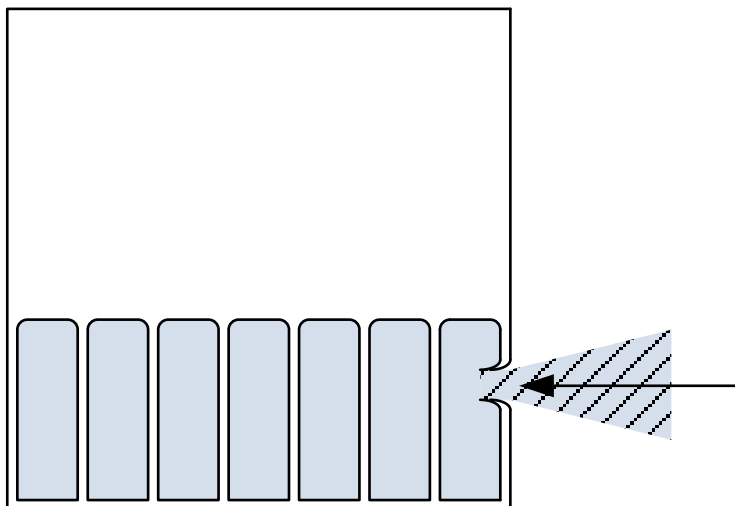
Figur 4-2 Containeren står imod kraften og bliver ikke perforeret. Intet udslip.



Figur 4-3 Containeren står ikke imod kraften og bliver perforeret. Klorbeholderne forskubbes (bagvedstående last optager kraften). Intet udslip.



Figur 4-4 Containeren står ikke imod kraften og bliver perforeret. Klorbeholderne trykkes men bliver ikke perforeret. Intet udslip.

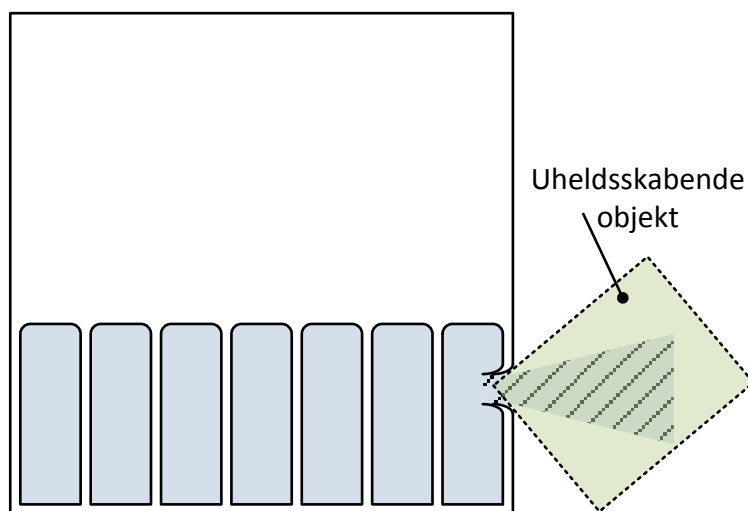


Figur 4-5 Containeren står ikke imod kraften og bliver perforeret. Klorbeholderne trykkes og bliver perforeret. Klorudslip.

Simulering 24-38 er simuleret med den reviderede udslipsskilde. Simuleringsnumre er tildelt forløbende og indeholder også valideringer og test, som ikke er medtaget i denne rapport.

Gennemgangen af scenarierne viser, at klorbeholdere skal stå uden mulighed for at kunne flytte sig (optag af kraften fra det uheldsskabende objekt) for, at der kan forekomme et udslip. En andel af uheld resulterer i udslip inde i containeren, som giver anledning til ingen eller begrænset udslip af klor udenfor containeren. Det er ikke muligt at vurdere fordelingen mellem scenarier med udslip udenfor containeren og scenarier uden udslip udenfor. Konservativt er antaget at alle udslip med den kraft der skal til for at perforere containeren resulterer i udslip udenfor containeren. Det er vurderet, at mængden af klor tilbageholdt i containeren ikke er betydende i forhold til det samlede scenarie, hvorfor der konservativt regnes med, der ikke tilbageholdes klor i containeren.

Samtidig vurderes det, at det uheldsskabende objekt vil blokere fra gasjetten, og dermed sikre optag af dråberne i gasjetten, se figur 4-6.



Figur 4-6 Containeren står ikke imod kraften og bliver perforeret. Klorbeholderne trykkes og bliver perforeret, hvilket resulterer i et klor udslip. Det uheldsskabende objekt er angivet, og dette objekt vil blokere for selve gasjetten.

Udslipsretningen kunne også have betydning for konsekvensen, men dette er undersøgt indirekte, da en ændring i udslipsretningen svarer til at forskyde udslipspunktet til en anden udgangsposition.

Udslippet for 4 samtidige klorbeholdere (4 x 45 kg) opdeles i 2 dele;

- Flashing, stødkogning i selve udslipspunktet som danner en gasjet bestående af 20 % klorgas og 80 % afkølede klordråber.
- Afdampning fra klorpøl dannet af klordråber, som er slået ud af gasjetten af det uheldsskabende objekt.

20 % flashing modsvarer en afkøling af klorvæsken med 60 °C, f.eks. fra 17 °C (produktions-temperaturen for klor ligger på omkring 12 °C) til -43 °C (9 °C under kogepunktet for klor).

Gasjetprofilen er beregnet med de empiriske formler indbygget i PHAST, og 0,63 m (et af de første beregningspunkter i PHAST samt punktet, hvor gasjetten består af 20 % gas og 80 % væske) fra udslipspunktet er valgt som input parametre til CFD simuleringerne, se tabel 4-4 og tabel 4-5.

Gasjet (flashing)	
Væskefraktion i 0,63 m	0,80 (20 % klorgas)
Gasmængde	36 kg
Tidsforløb	2 sekunder
Temperatur i 0,63 m	-42 °C
Gas jet hastighed i 0,63 m	27,72 m/s
Koncentration i 0,63 m	929.377 ppm (93 % klor, 7 % luft)

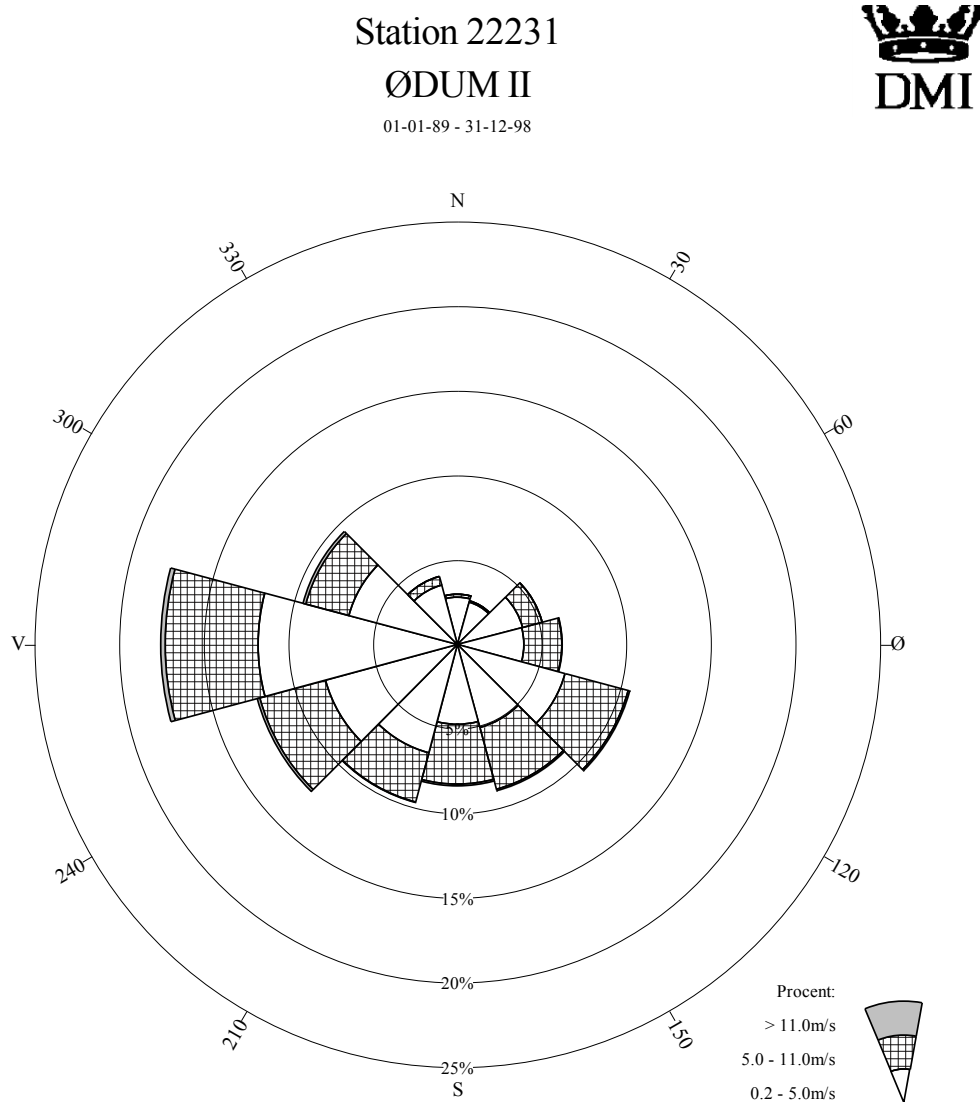
Tabel 4-4 Input parametre til CFD simuleringer på baggrund af empiriske formler i PHAST 6.6.

Pøl (afdampning)	
Væskemængde	144 kg
Tidsforløb	ca. 300-800 sekunder, afhængig af vindstyrken.
Pøltemperatur	-42 °C
Pøl radius	2,4 m
Klor afdampning fra pøl	Opstillet efter pølspredningsberegning i PHAST, se bilag B.

Tabel 4-5 Input parametre til CFD simuleringer på baggrund af empiriske formler i PHAST 6.6.

4.5 Vind

Som vindrose anvendes målestationen i Ødum (se figur 4-7) placeret ca. 18 km nordnordøst for APM Terminals Aarhus. Ødum er placeret lidt inde på land, og det er vurderet, at Ødum vindrose kan anvendes, da APM Terminals Aarhus ligger i læ i Aarhus Bugt og vindrosen derved er sammenlignelig med forholdene på Aarhus Havn. At vinden kan være lidt lavere i Ødum end på APM Terminals Aarhus resulterer i en konservativ vurdering af risikoen, da lavere vind resulterer i længere påvirkning og dermed en forværring af konsekvensen.



Figur 4-7 Vindrosen for Ødum II, ca. 18 km nordnordøst for APM Terminals Aarhus (ref. /11/).

Der er valgt at arbejde med vindstyrkerne 2 m/s, 5 m/s og 11 m/s i 10 m højde i beregningen, da disse repræsenterer bredden i vindfeltet. I tabel 4-6 er intervallerne fra DMI (ref. /11/) fordelt på de valgte vindstyrker (2, 5, og 11 m/s) ved at antage en lineær fordeling i vindintervallerne. I tabel 4-7 er vindsandsynlighederne omregnet efter nøglen i tabel 4-6.

Fordeling af vindsandsynligheder				
Vindspænd	Vindstille ($< 0,2$ m/s)	0,2 – 5,0 m/s	5,0 – 11,0 m/s	> 11 m/s
2 m/s = 0,0 – 3,5 m/s	100%	68%	0%	0%
5 m/s = 3,5 – 10,1 m/s	0%	32%	85%	0%
11 m/s = 10,1+ m/s	0%	0%	15%	100%

Tabel 4-6 Omsætning af sandsynligheden i vindrosen til de valgte vindstyrker.

Forstudierne viser, at vindretningen skal være fra nordvest mellem 300° og 330° for, at konsekvensen dækker over opmarcharealet. CFD simulering af det justerede layout (simulering 39-44) viser, at en vinkel mellem 270° og 345° vil kunne dække opmarcharealet i en eller anden grad. Af hensyn til samfundsrisikoberegningen (herunder terminalpersonale), samt for at sikre, at CFD resultaterne er repræsentative, beregnes CFD for vindretninger mellem 270° og $360/0^\circ$ repræsenteret ved beregninger for 285° , 315° og 345° .

	N	30	60	Ø	120	150	S	210	240	V	300	330
2 m/s	2,1	1,9	2,9	2,9	4,6	3,6	3,3	4,6	5,7	8,2	4,7	2,6
5 m/s	1,1	0,9	2,3	3,2	5,4	4,9	4,5	4,7	6,0	8,5	4,4	1,6
11 m/s	0,0	0,0	0,2	0,3	0,7	0,7	0,6	0,5	0,8	1,1	0,6	0,1

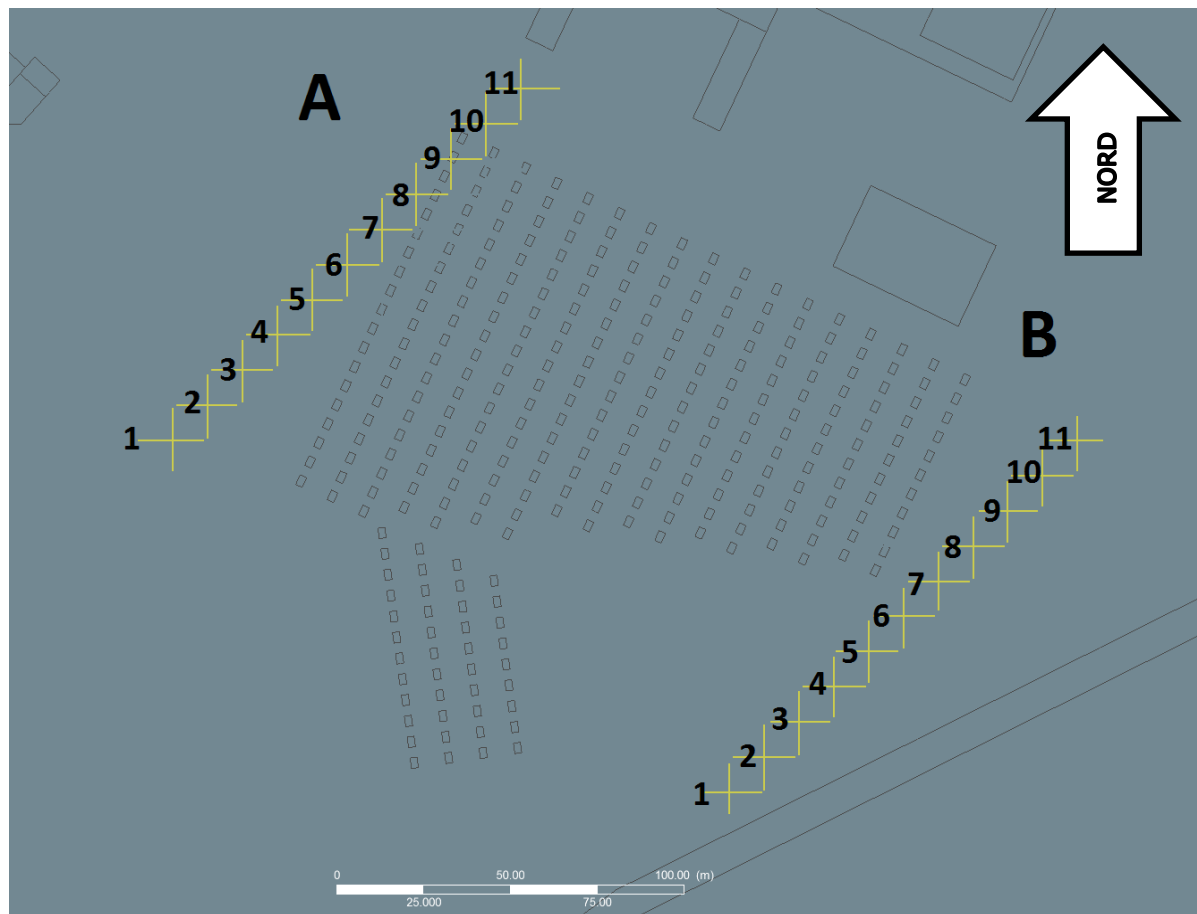
Tabel 4-7 Omregnet vindsandsynlighed i % for de valgte vindstyrker.

Vindstyrken på 2 m/s, 5 m/s og 11 m/s er angivet for en højde på 10 m over terræn (referencehøjden), på lige fod med vindstyrken angivet i vindrosen og i den almindelige vejrudsigt. Da klorgasser er tunge og vil krybe langs terrænet, er vindstyrken i de nederste meter over terræn vigtige, og i bilag B er vist, hvordan vindstyrken bliver lavere ved lavere højder. Turbulens, læ-felter og kanalisering ændrer på den faktuelle vindstyrke og retninger, også i de lavere højder, og har derfor stor betydning for spredningen eller tilbageholdelsen af klorgasser. Denne generelt lavere vindstyrke i de nederste meter over terræn resulterer i den langsommere spredning til området og den langsommere udskylning fra området af klorgasser, og dermed øges den tid, der går, inden personer bliver påvirket og den tid, hvor personer kan blive påvirket af gassen. Idet opholdet på opmarcharealet typisk vil foregå udendørs eller i bil i 1-2 meters højde over terræn, vises beregningsresultaterne for henholdsvis 1 og 2 m over terræn.

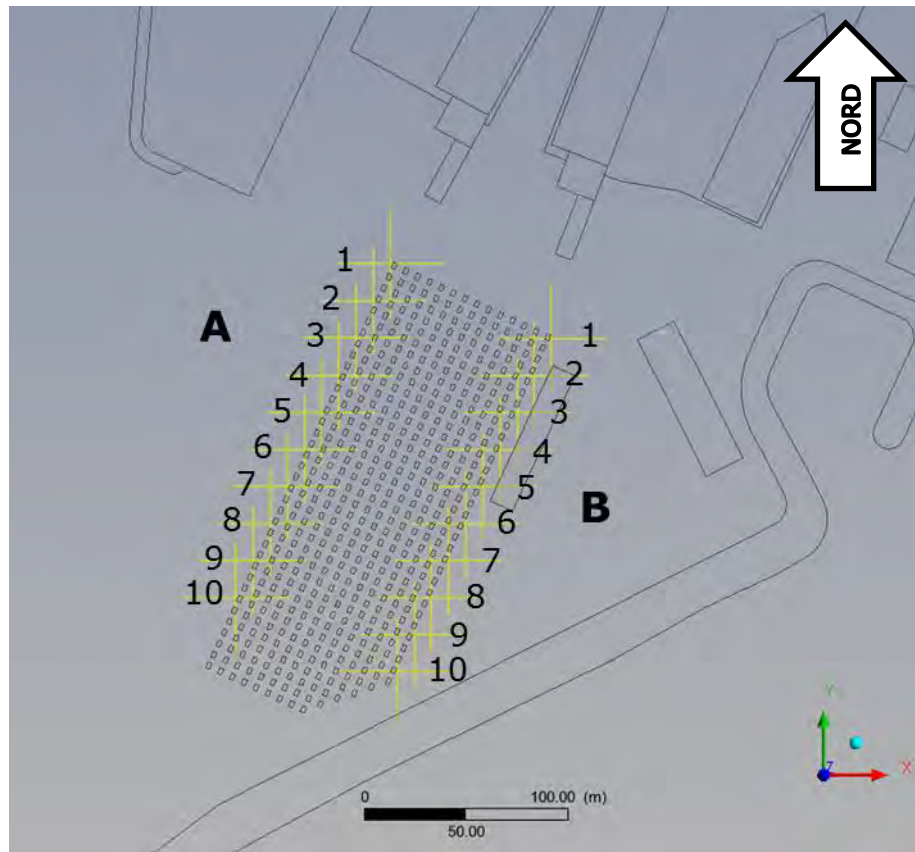
PHAST beregninger og CFD simuleringerne viser (som forventet), at vindretningen er kritisk. Hvis vindretningen skifter blot 30° , så vil klorgasfanen glide forbi et givent område og ind over et andet område, f.eks. ud over vandet, ind imellem containere, imod havnekontoret, etc.

4.6 Målepunkter i beregningsmodellen

Der er i modellen indsat en række målepunkter (særlig opsamling af beregnede værdier) i geometrien for, at kunne følge beregningen detaljeret og for at kunne sikre, at beregningen er kørt tilstrækkeligt længe til, at den maksimale klorkoncentration er passeret opmarcharealet (se figur 4-8 for simulering 1-38 og figur 4-9 for simulering 39-44). Da orienteringen af opmarcharealet er ændret i simuleringer 39-44, er målepunkterne anderledes her. Monitoreringspunkterne i simuleringer 1-38 er sat i en højde af 2 m over terræn, mens de i simuleringer 39-44 er sat i 1 m højde. Tilpasningen af monitoreringspunkterne giver en mere konservativ vurdering af påvirkningen af biler på opmarcharealet, da klorgas er tung (og dermed ligger lavt) og luftindtag til biler ligger tættere på 1 meter over terræn end 2 meter over terræn.



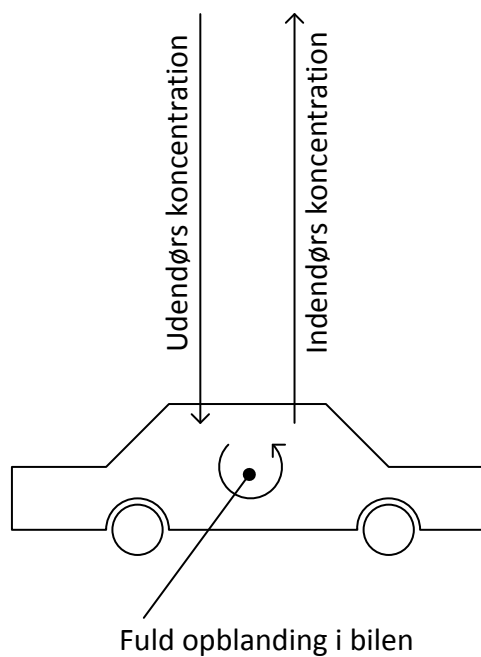
Figur 4-8 (kopi af Figur 3 i bilag C) Placeringen af målepunkter omkring opmarcharealet for simuleringer 1-38. Punkterne er alle placeret 2 m over terræn. De firkantede kasser indikerer den forventede placering af biler (små kasser) og bygninger (store kasser).



Figur 4-9 (kopi af Figur 4 i bilag C) Placeringen af målepunkter omkring opmarcharealet for simuleringer 39-44 med den opdaterede havnegeometri. Punkterne er alle placeret 1 m over terræn. De firkantede kasser indikerer den forventede placering af biler (små kasser) og bygninger (store kasser).

4.7 Massebalance for biler på opmarcharealet

Koncentrationen i biler på opmarcharealet er beregnet i Excel ved hjælp af en simpel massebalance, se figur 4-10, med en indblæsning af udendørs koncentration af klor, som trykker den indendørs koncentration af klor ud. Der er antaget forskellige luftskifter fra 5 gange per time til $\frac{1}{2}$ gang per time.



Figur 4-10 Massebalancen for en bil på opmarcharealet.

5. KONSEKVENSBEREGNINGER

De præsenterede resultater og konsekvenser er et resultat af en iterativ proces, hvor parametrene for konsekvensen er vurderet i forhold til resultaterne af CFD simuleringerne. Dette betyder, at resultaterne og vurderingen af de sidste CFD simuleringer med det justerede layout bygger på erfaringer og vurderingen af alle de forudgående simuleringer. En række af simuleringerne er foretaget for at sikre at resultaterne ligger så tæt på virkeligheden som muligt, dog stadig på den konservative side (så risiko og konsekvens ikke undervurderes) Underafsnittene i dette kapitel følger forløbet som beskrevet i figur 2-1 i afsnit 2.

5.1 Indledende CFD simuleringer

Ingen af de indledende CFD simuleringer indgår direkte i vurderingen af risikoen. Resultaterne af beregningerne har dog bl.a. betydning for valget af vindstyrker og vurderingen af objekter (mur, containere, etc.) mellem udslipskilden og færgeterminalen.

Disse simuleringer er foretaget enten i en tom geometri eller i en geometri af et tidligere layout af færgeterminalen.

Parametrene for beregningen er bestemt i en forundersøgelse, der også til dels har undersøgt følsomheden af flere af disse parametre. Forstudiet har resulteret i følgende:

- Der simuleres med CFD i et vindfelt på 90° i forhold til færgeterminalen. Der er ingen konsekvens for færgeterminalen ved vinkler større end 60-90°. De resterende 270° regnes fortsat i PHAST.
- CFD simuleringen af en lav (5 meter høj) mur på tværs af strømmingen af klorgas, resulterede i en begrænset reduktion i konsekvensen efter muren, på grund af tilbageholdelse af klorgas på begge sider af muren. Effekten var begrænset, da udbredelsen målt som AEGL-3 samt eksponeringstiden for berørte områder kun var marginalt mindre, hvorved et krav om etableringen af en fysisk barriere (f.eks. en mur) er urealistisk. De resterende beregninger er foretaget uden objekter i strømmingen af klor, hvilket resulterer i den største konsekvens. Dermed er beregningerne konservative. Containere på et eventuelt RO/RO-færgeterminalområde, vil have samme effekt som en lav mur.
- Der er foretaget CFD simuleringer af forskellige objektplaceringer i strømmingen af klor. Disse har en minimal konsekvensreduktion. Det er konservativt at regne uden objekter i strømmingen.
- Der er beregnet på følsomheden af udslip i venstre side (set fra færgeterminalen) af containerterminalens udvekslingsområde (position 1), midt i udvekslingsområdet (position 2) og i højre side af udvekslingsområdet (position 3). Simuleringerne viser, at strømmingen fra position 2 imod færgeterminalen er mindst forstyrret af andre objekter, dog er forskellene minimale. Ved justering af udslippet til at indeholde en jetstrøm af klorgas ud af siden på en container samt en klorvæskepøl, vil position 1 (nu kaldet 1b) være mest centreret. Der regnes efterfølgende kun med position 2 og 1b.
- Det er vurderet ud fra CFD simuleringerne, at højden på containerne på terminalens område (i området før udslippet) ingen betydning har for spredningen af klor imod færgeterminalen. Containerne er for små til at skabe en reel modstand i vindprofilen. Der er ikke indsat mobile objekter (herunder containere) i området efter udslippet (med vinden).

5.2 Simulering 1-16

Ingen af simuleringerne 1-16 indgår direkte i vurderingen af risikoen, men var direkte årsag til revurdering af udslipskilden (se afsnit 4.4.1 og 4.4.2). Resultaterne har bl.a. betydning for valget af vindretninger og frafald af krav til bygningen Østhavnsvej 37-39.

Alle disse simuleringer er foretaget med et tidligere layout af færgeterminalen.

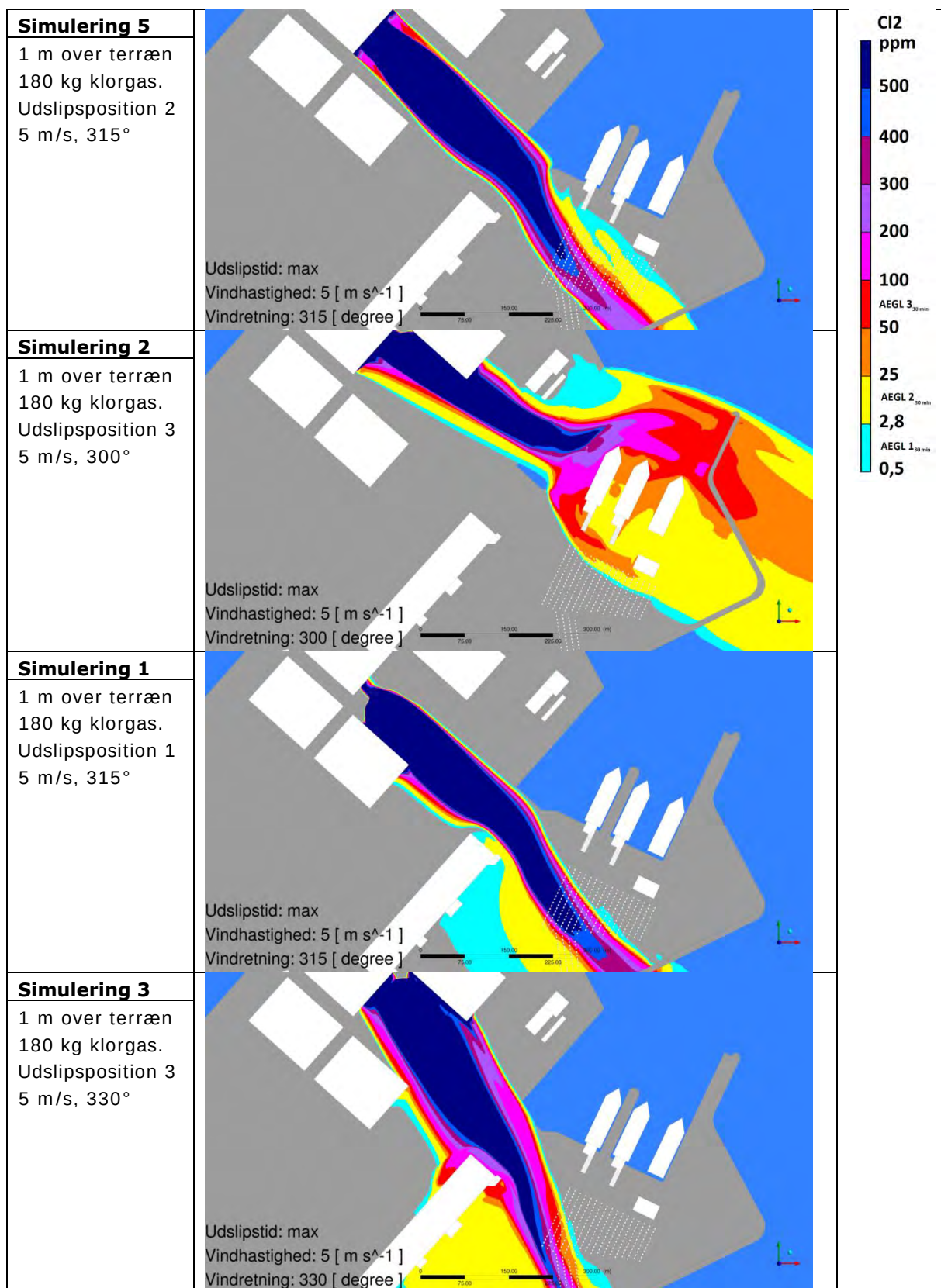
De indledende CFD simuleringer, simulering 1-16, var udført med et hurtigt udslip af 180 kg klorgas, hvor gassen frigives på 5 sekunder (se afsnit 4.4.1). Disse simuleringer er anvendt i den iterative proces (se figur 2-1) til at identificere hvilke beregninger, som er relevante for opmarcharealet og derigennem indsnævre de detaljerede beregninger.

I det følgende vises udvalgte resultater i form af plot, der viser den beregnede koncentration i et plan 1 m over terræn. Billederne viser den maksimalt beregnede koncentration, der er opnået over den simulerede tidsserie. Dvs. de viser ikke hvor længe, området er beregnet til at være påvirket af en given koncentration, men blot hvad den højeste koncentration i området er beregnet til at være.

I bilag C er vist yderligere plot, herunder for koncentration i et plan 2 m over terræn, ligesom der for udvalgte simuleringer er vist lodrette snit for den maksimale beregnede koncentration.

Alle scenarier i dette afsnit sammenholdes med simulering 5, som er referencesimulering.

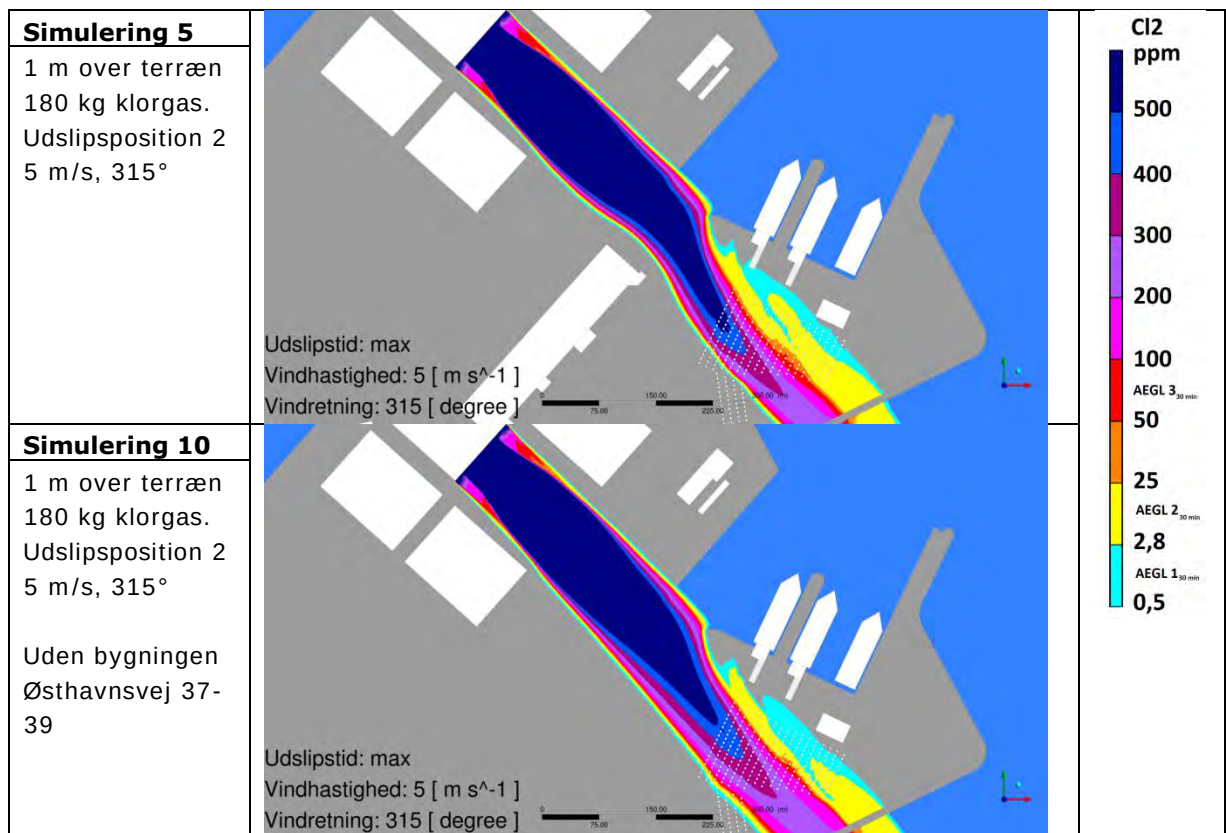
Simulering 1, 2 og 3 i bilag C er en vurdering af vindretningen i forhold til udslipskildens placering og gasfanens sti hen over opmarcharealet (se tabel 5-1). Scenarierne 1, 2 og 3 er foretaget med 180 kg klorgas og har en bredere gasfane end den reviderede udslipskilde, men vindfeltet og måden klorgassen bliver påvirket af vinden er uændret. Dermed kan scenarierne 1, 2 og 3 anvendes til at konkludere, at der er tale om en snæver kritisk vindretning fra nordvest (mellem 300° og 330°), og dermed, som beskrevet i afsnit 4.5, er det fundet, at hvis vinden ikke ligger mellem 300° og 330°, vil opmarcharealet ikke blive berørt.



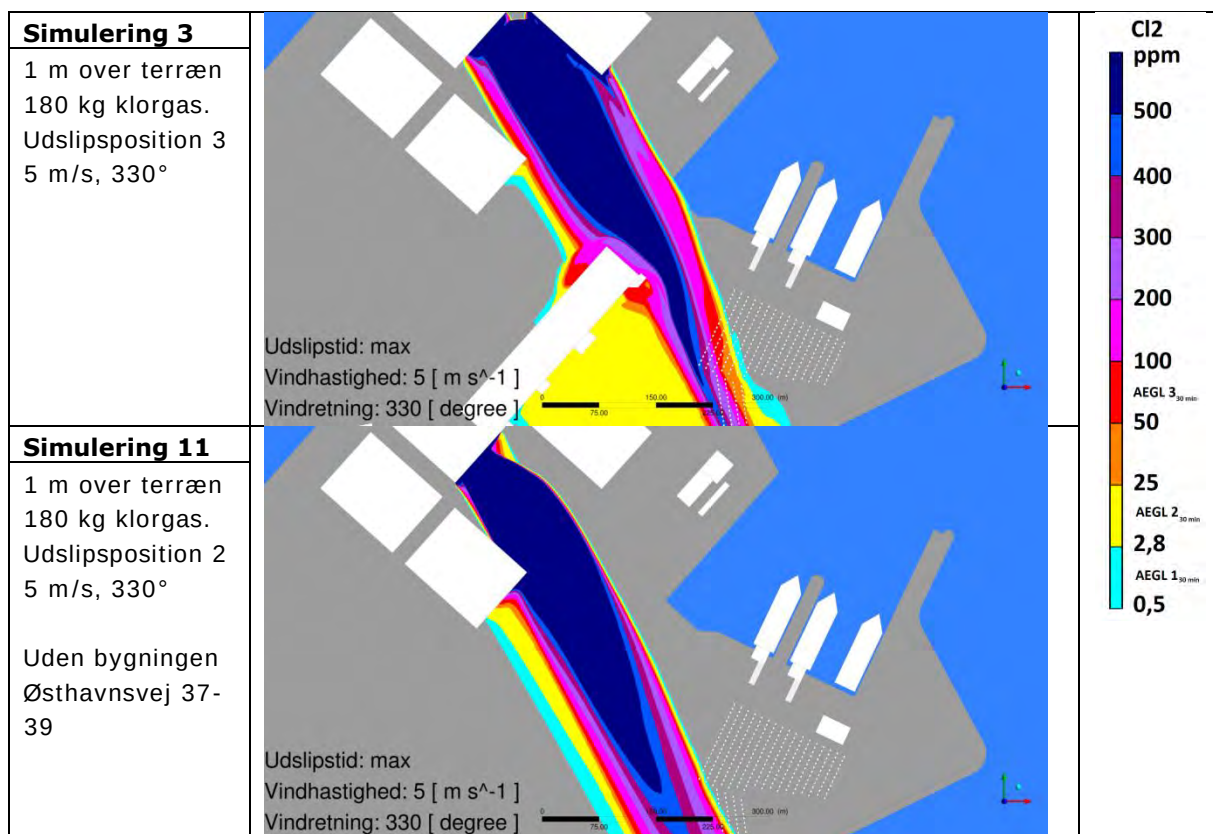
Tabel 5-1 Simuleringerne 2, 1 og 3 sammenholdt med simulering 5.

Simulering 4, 5 og 6 i bilag C repræsenterer de 3 valgte vindstyrker. Eftersom udslipskilden er revideret, vurderes forskellene mellem vindstyrkerne ikke her for denne udslipskilde. I stedet henvises til sammenstilling af simulering 24, 25 og 26 i afsnit 4.6.

Simulering 10 og 11 i bilag C er foretaget for, at undersøge den risikomæssige vigtighed af bygningen Østhavnsvej 37-39 mellem APM Terminals Aarhus og opmarcharealet og herunder konsekvensen af beliggenheden af bygningen. Simulering 10 sammenholdes med simulering 5 og simulering 11 med simulering 3 (se tabel 5-2 og tabel 5-3). Sammenligningen viser en effekt af vindforholdene omkring bygningen, men for opmarcharealet er forskellene minimale, og det anbefales derfor ikke at indarbejde særlige krav til bygningens tilstedeværelse eller form. Dette gør sig også gældende ved lavere vindhastigheder.



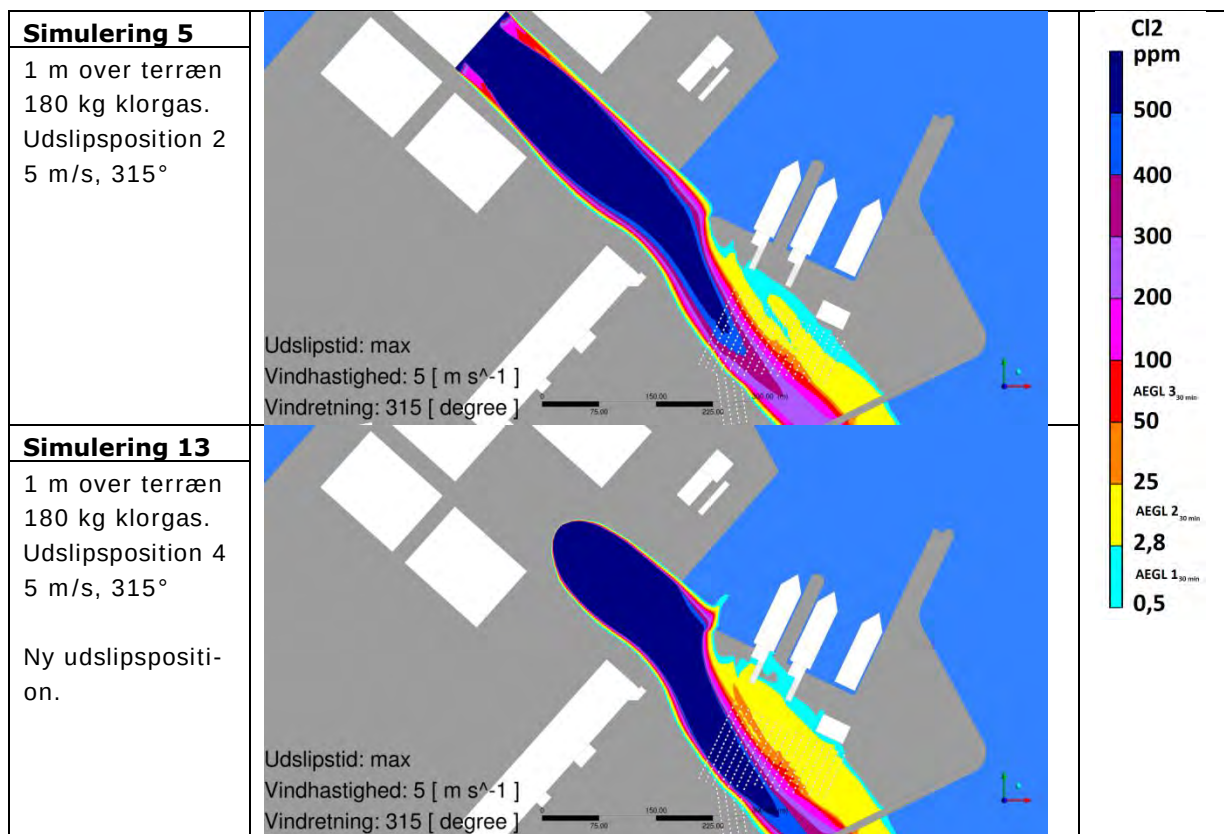
Tabel 5-2 Simulering 10 sammenholdt med simulering 5.



Tabel 5-3 Simulering 11 sammenholdt med simulering 3.

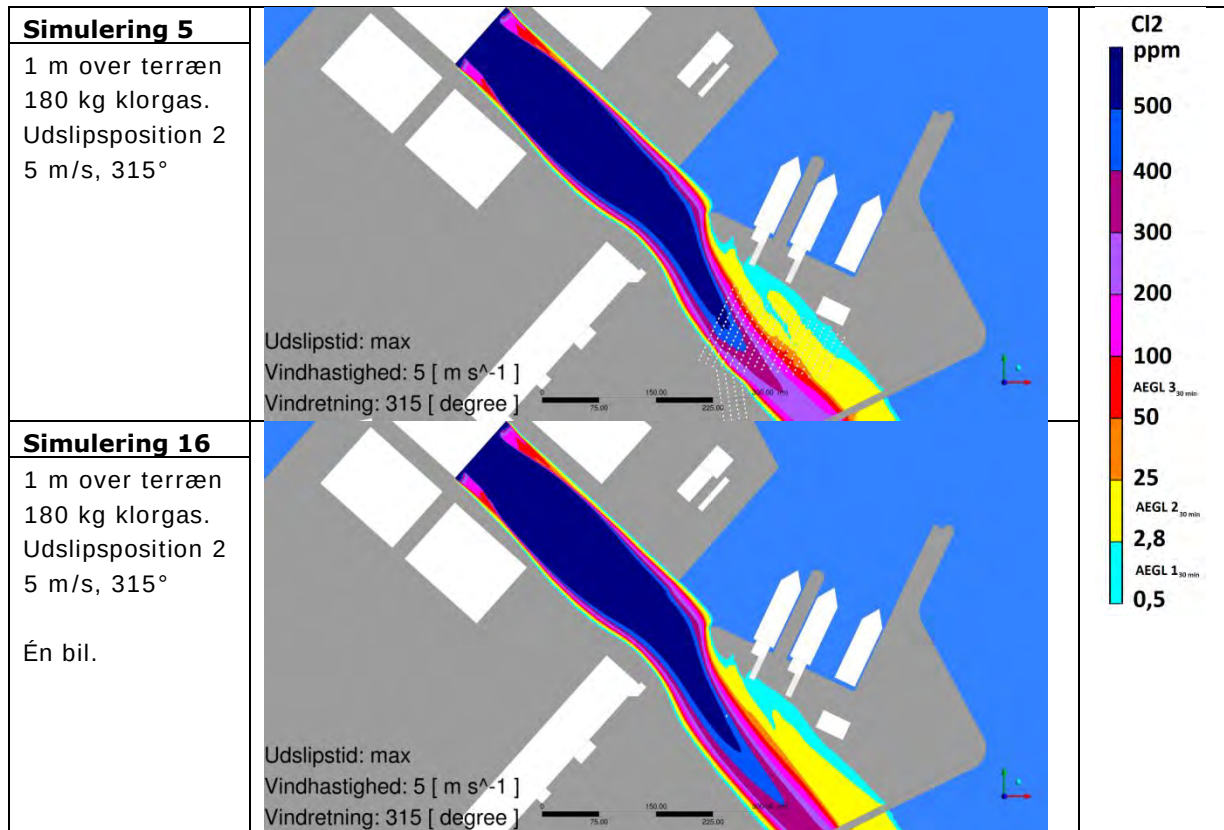
For at undersøge, hvordan konsekvensen ændrer sig ved en ændring i placeringen af containerterminalens udvekslingsområde, er simulering 13 udført med en udslipsposition tættest muligt (indenfor den nuværende kommuneplanretningslinje) på opmarcharealet, se tabel 5-4. Positionen i simulering 13 er den værst tænkelige mulige position for containerterminalens udvekslingsområde, set i forhold til den nye færgeterminal da simuleringen viser (som forventet), at afstand er en af de største og vigtigste faktorer i forhold til reduktion af konsekvens og risiko, og konklusionen på simuleringen er, at containerterminalens udvekslingsområde, hvor containere med farligt gods afleveres og afhentes med lastbiler, ikke bør flyttes tættere på opmarcharealet end den nuværende placering.

Hvis containerterminalens udvekslingsområde flyttes et eller flere felter imod sydvest, vurderes det, at konsekvensen for opmarcharealet vil blive mindre, da bygningen Østhavnsvej 37-39 vil få en mere fremtrædende risikoreducerende rolle. Hvis containerterminalens udvekslingsområde flyttes et felt imod nordøst, vil afstanden til opmarcharealet øges, hvilket vil reducere konsekvensen, og samtidig falder sandsynligheden for den kritiske vindretning. Det vurderes samlet, at flytning af containerterminalens udvekslingsområde imod sydvest, nordvest (afstand øges) eller nordøst, vil reducere risikoen på opmarcharealet og den nye færgeterminal.



Tabel 5-4 Simulering 13 sammenholdt med simulering 5.

For at undersøge, hvordan konsekvensen ændrer sig, hvis opmarcharealet er næsten tomt i forhold til fyldt, er simulering 16 udført med kun én bil på opmarcharealet (se tabel 5-5). Simuleringen viser, at konsekvensen kun i begrænset omfang er følsom over for antallet af biler på opmarcharealet.



Tabel 5-5 Simulering 16 sammenholdt med simulering 5.

5.3 Simulering 24-28

Følgende simuleringer indgår direkte i vurderingen af risikoen:

- Simulering 26 (11 m/s, 315°)

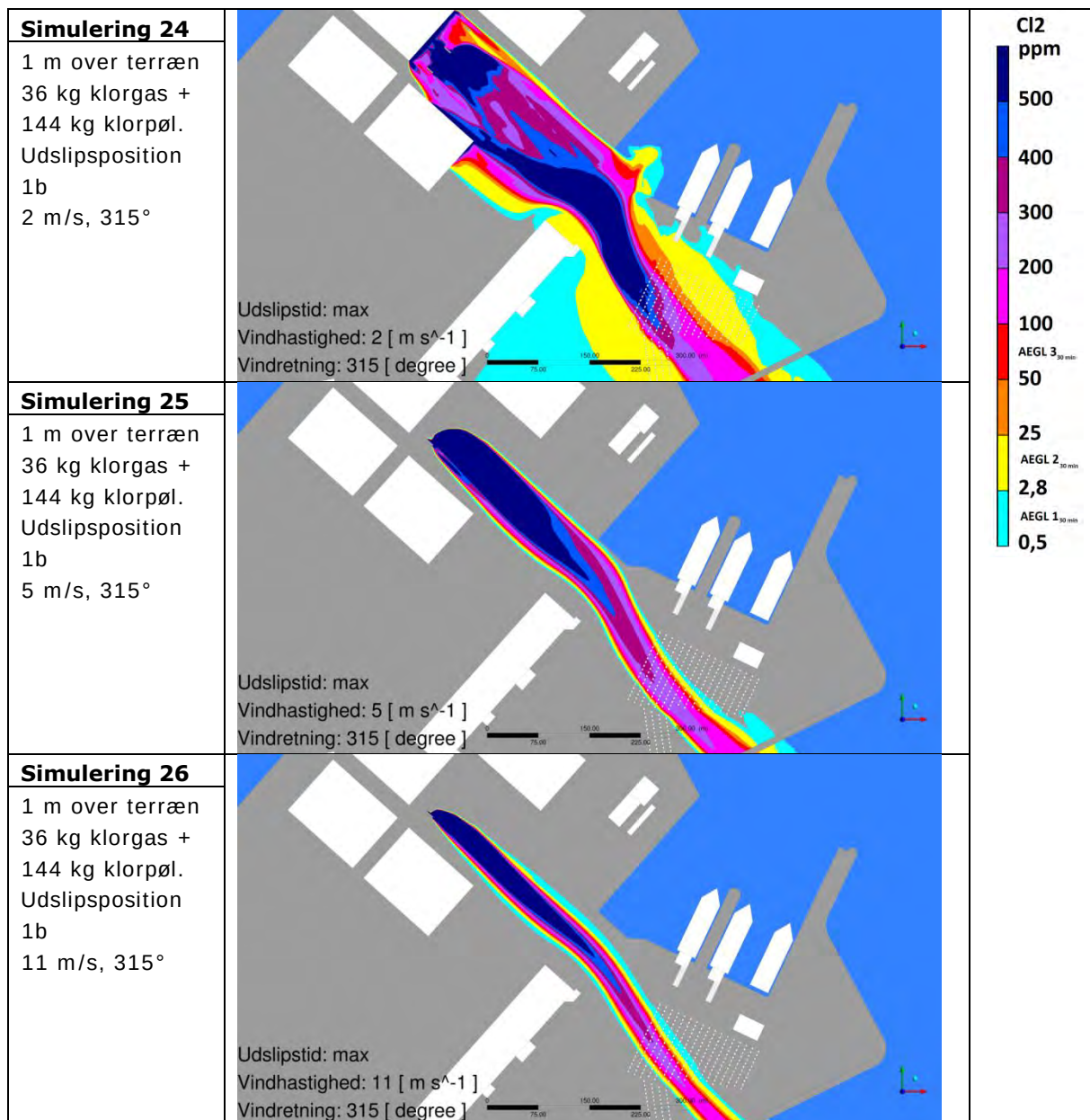
De resterende simuleringer i dette afsnit indgår ikke direkte i vurderingen af risikoen, men indgår i vurderingen af simuleringer i det justerede layout.

Alle disse simuleringer er foretaget med et tidligere layout af færgeterminalen.

Simuleringerne 24-28 er baseret på den reviderede udslipsskilde (se afsnit 4.4.2), hvor der på ca. 2 sekunder frigives 20 % klor som gas, og resten efterfølgende afdamper fra en klorpøl på jorden. Der er på opmarcharealet indsat 335 kasser, som repræsenterer bilerne på arealet.

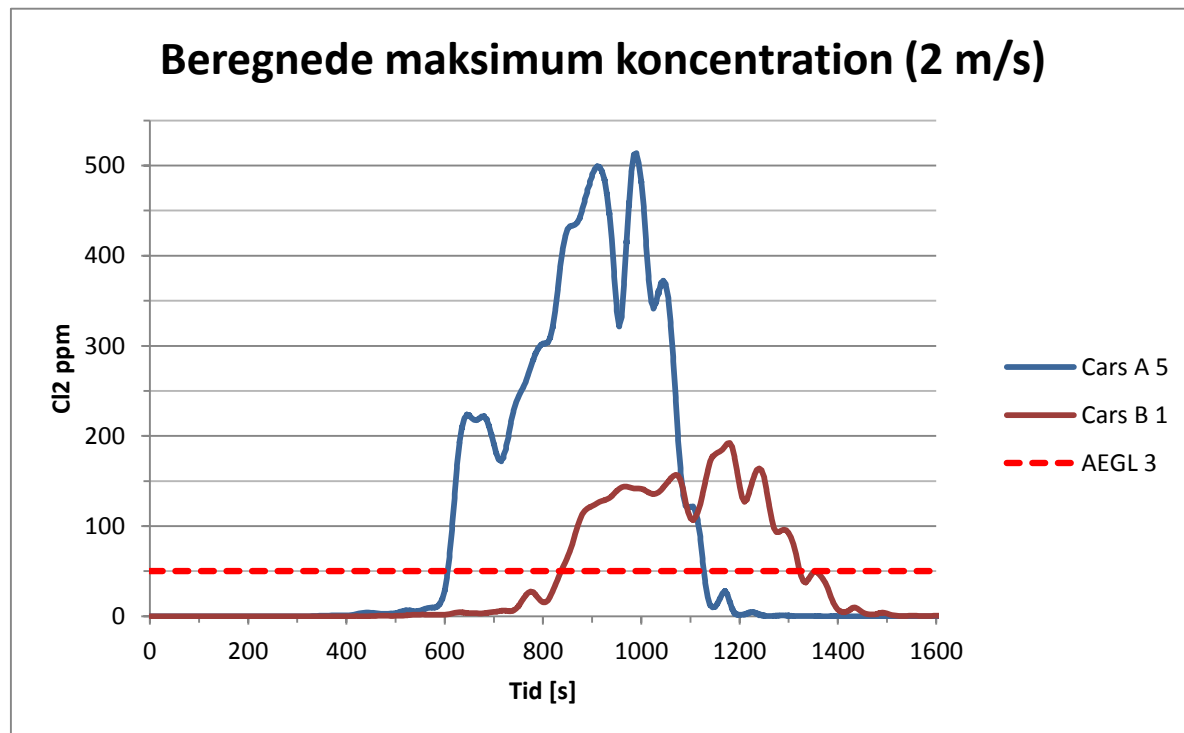
5.3.1 Grundlæggende simuleringer (simulering 24-26)

Simulering 24, 25 og 26 i bilag C viser spredningen ved de 3 udvalgte vindstyrker (se tabel 5-6). For en vindstyrke på 2 m/s, er koncentrationen i 1 meter over terræn vist (som for alle plot), og plottet viser en lavere koncentration mellem udslipsspositionen og bygningen Østhavnsvej 37-39 (i forhold til nær udslipsskilden og udfor Østhavnsvej 37-39). Årsagen hertil er, at klorgassen enten ligger lavere end 1 m for en vindstyrke på 2 m/s og/eller, at vindfeltet for de kraftigere vindstyrker omkring bygning og skibene skaber turbolens, som skubber større mængder af udslippet op i 1 m højde.



Tabel 5-6 Simuleringerne 24, 25 og 26.

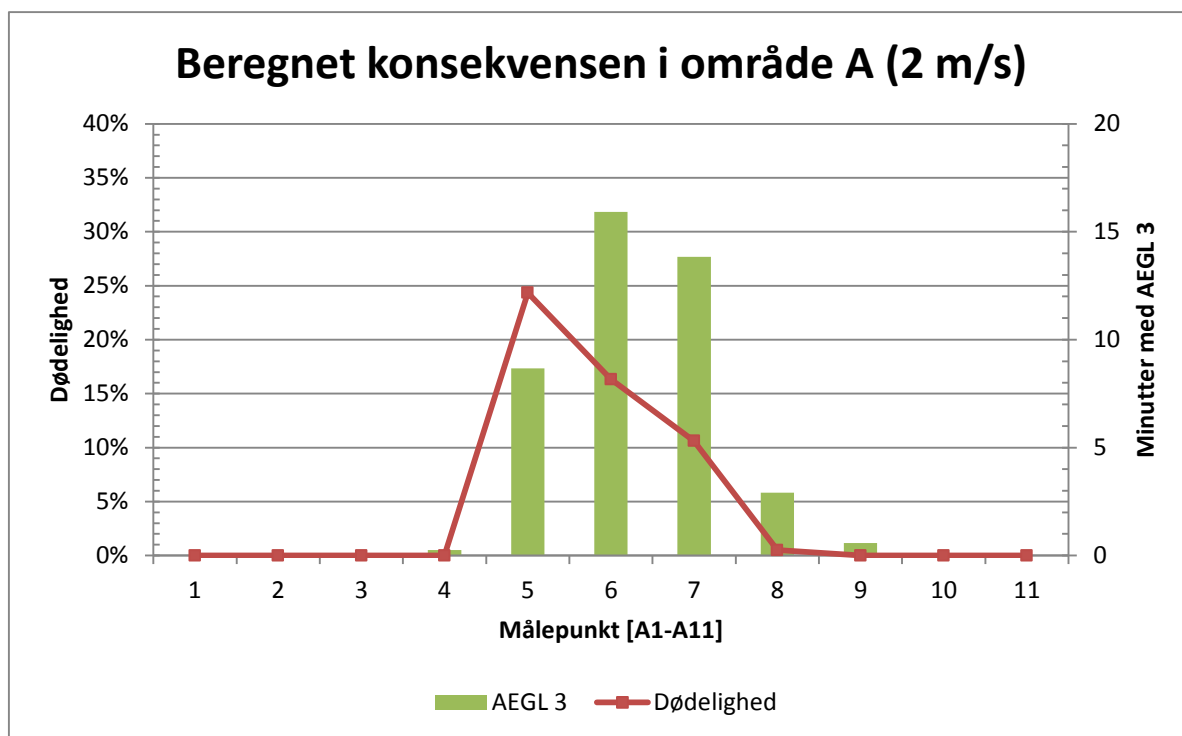
Koncentrationen i de to mest eksponerede målepunkter i måleområde A og måleområde B er angivet på figur 5-1 for 2 m/s, hvor det kan ses, at koncentrationen i en periode er højere end AEGL-3.



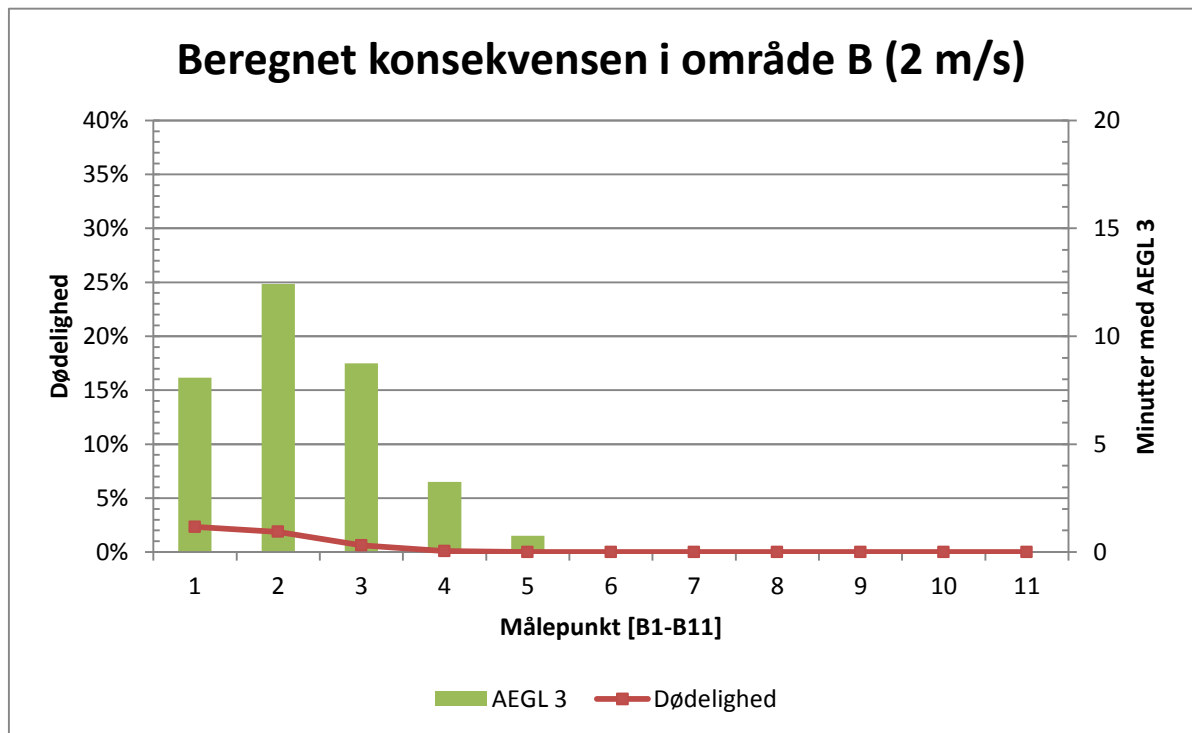
Figur 5-1 Koncentrationen over tid i målepunkt 5 i område A og målepunkt 1 i område B ved 2 m/s, simulering 24.

Efterfølgende er der for målepunkterne i område A og i område B (se figur 4-8) beregnet dødelighed for fuldt eksponerede personer og antal minutter, disse er udsat for koncentrationer højere end AEGL-3 (uanset om det er 28 ppm [30 minutters eksponering] eller 50 ppm [10 minutters eksponering]). Dødeligheden angiver, hvor stor en andel af personer i målepunktet, der forventes at dø. Dødeligheden er beregnet som en akkumulering af eksponeringen, hvilket betyder, at påvirkningen af klor er summeret over tid for personer i det givne område og ikke bestemt i forhold til en specifik koncentrationsgrænse (som eksempelvis AEGL-3).

Resultaterne for 2 m/s er vist på figur 5-2 for område A og figur 5-3 for område B, hvor de grønne søjler viser, hvor længe koncentrationen er over AEGL-3 i det pågældende målepunkt, og hvor de røde linjer viser dødeligheden (hvor stor en andel af personer i målepunktet, der forventes at dø i tilfælde af klorudslip ved lav vind (2 m/s)). Det er tydeligt, at område A er mest påvirket, og hvis dette ekstrapoleres til hele opmarcharealet mellem målepunkterne, er ca. 200 biler (ved simpel optælling), svarende til 400 potentielt eksponerede passagerer, eksponeret for AEGL-3 ved den konsekvensmæssigt mest u hensigtsmæssige fordeling af biler.

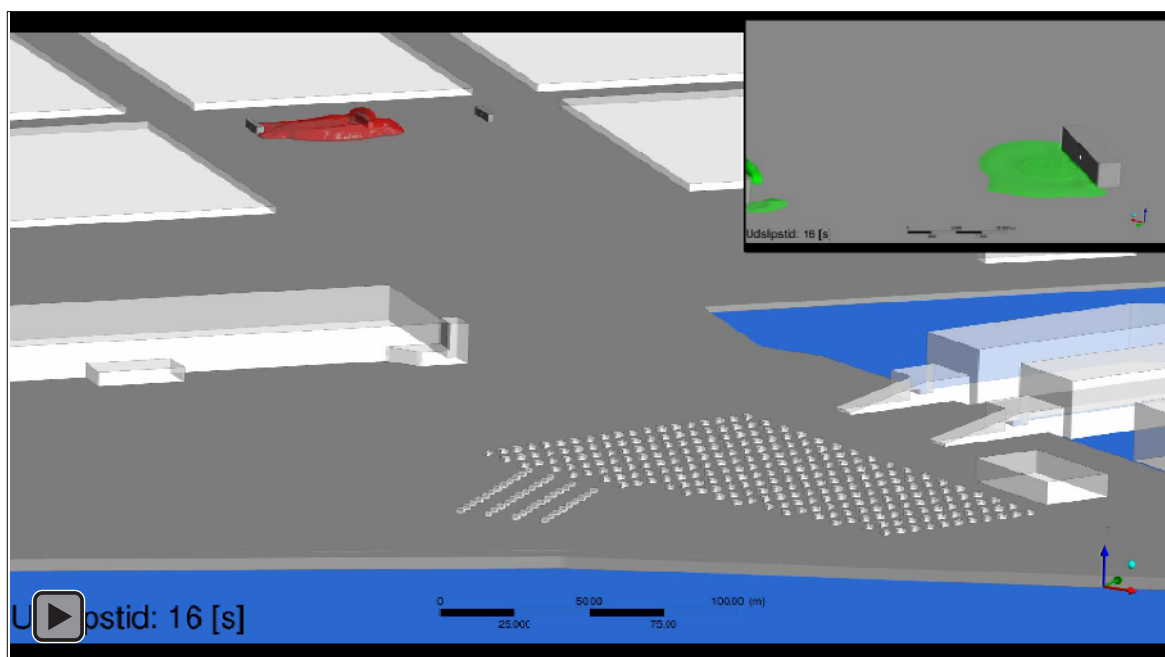


Figur 5-2 For område A ved 2 m/s: Dødelighed af fuldt eksponerede personer og antal minutter disse er udsat for koncentrationer højere end AEGL-3 (uanset om det er 28 ppm eller 50 ppm), simulering 24.



Figur 5-3 For område B ved 2 m/s: Dødelighed af fuldt eksponerede personer og antal minutter disse er udsat for koncentrationer højere end AEGL-3 (uanset om det er 28 ppm eller 50 ppm), simulering 24.

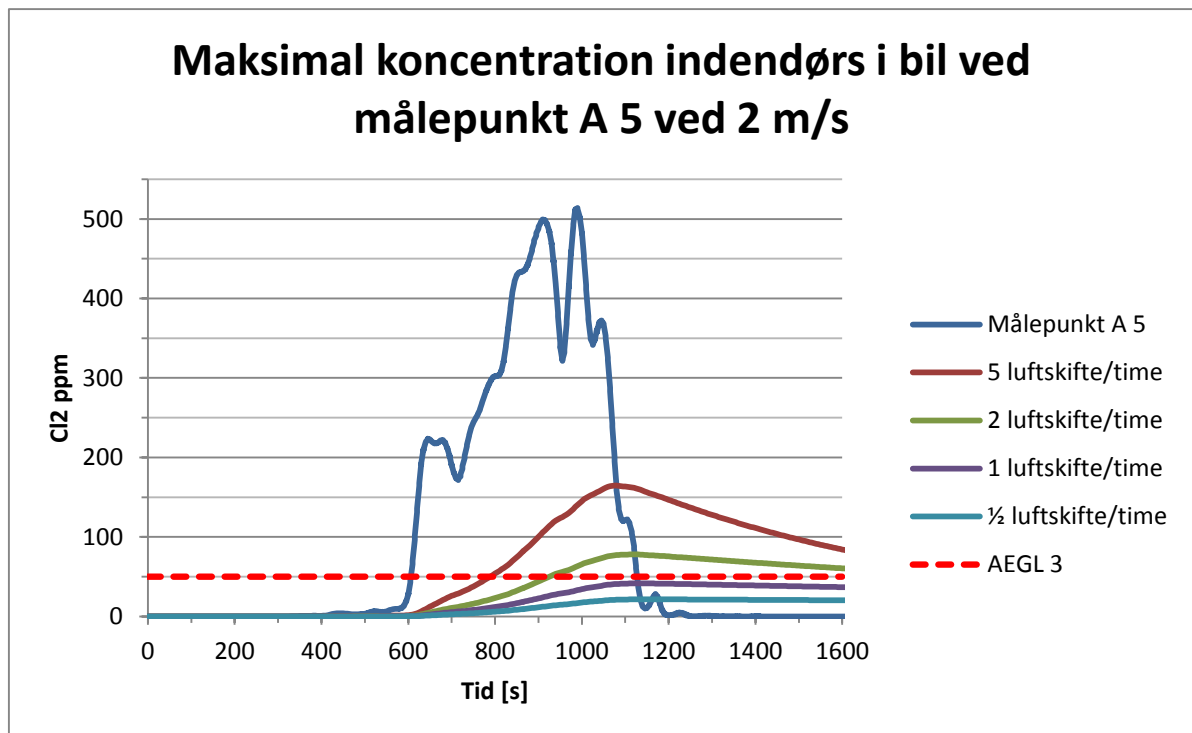
På animationen på figur 5-4 kan det ses, hvordan klorgasskyen udbreder sig fra udslipspunktet og hen over området ved 2 m/s (simulering 24) samt, at opholdstiden for klorgasskyen varierer.



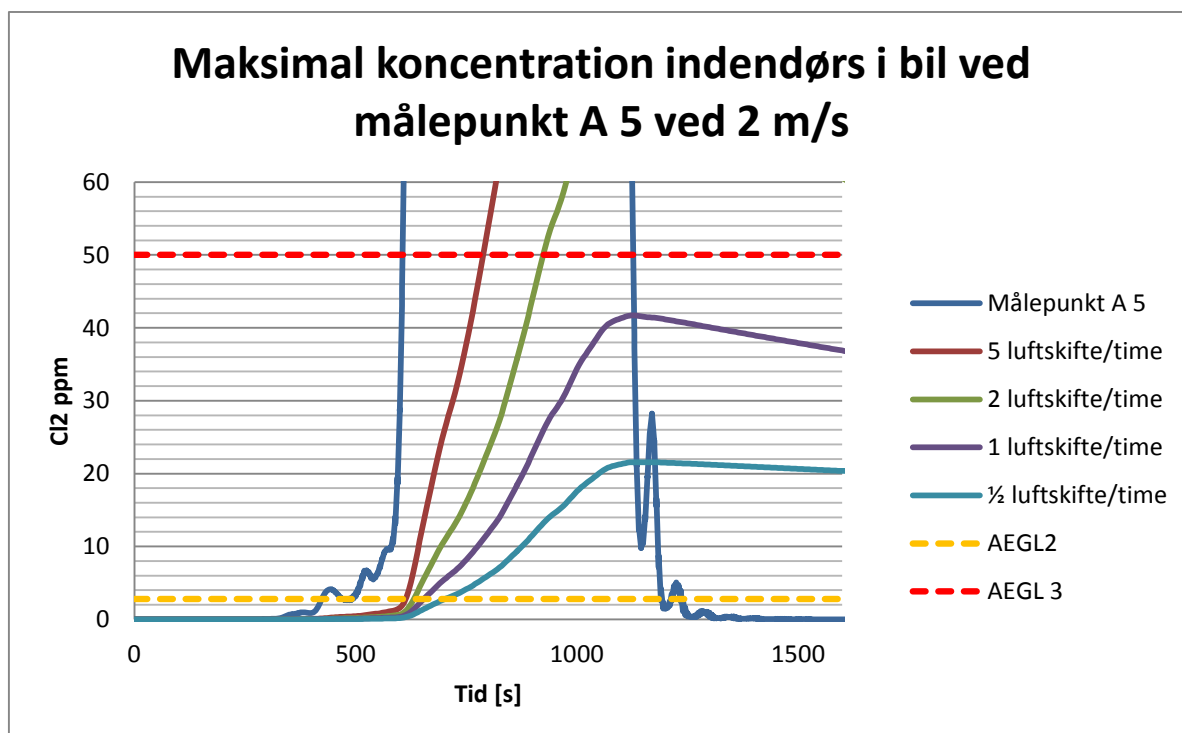
Figur 5-4 Animation af klorgas udbredelsen angives med den røde kurve som AEGL-3 (50 ppm, 10 minutters eksponering) ved 2 m/s, simulering 24. Den grønne kurve angiver meget høje koncentrationer af klor og viser dermed pøddannelsen og afdampningen herfra.

Ved lav vindhastighed (2 m/s) rammer AEGL-3 opmarcharealets nordvest-side ca. 10 minutter efter udslippet (se figur 5-5), og forlader opmarcharealet ca. 26 minutter efter udslippet. AEGL-3 optræder derfor på dele af opmarcharealet i op til 16 minutter.

Udviklingen af den indendørs koncentration i en bil (se afsnit 4.7) på det værste målepunkt (nr. 5) ved forskellige luftskifte per time er beregnet (se figur 5-5 og figur 5-6) for 2 m/s. Sikkert ophold i sin bil ved lav vind (2 m/s) beror på, at ventilationen stoppes, når klorlugten optræder inde i bilen.

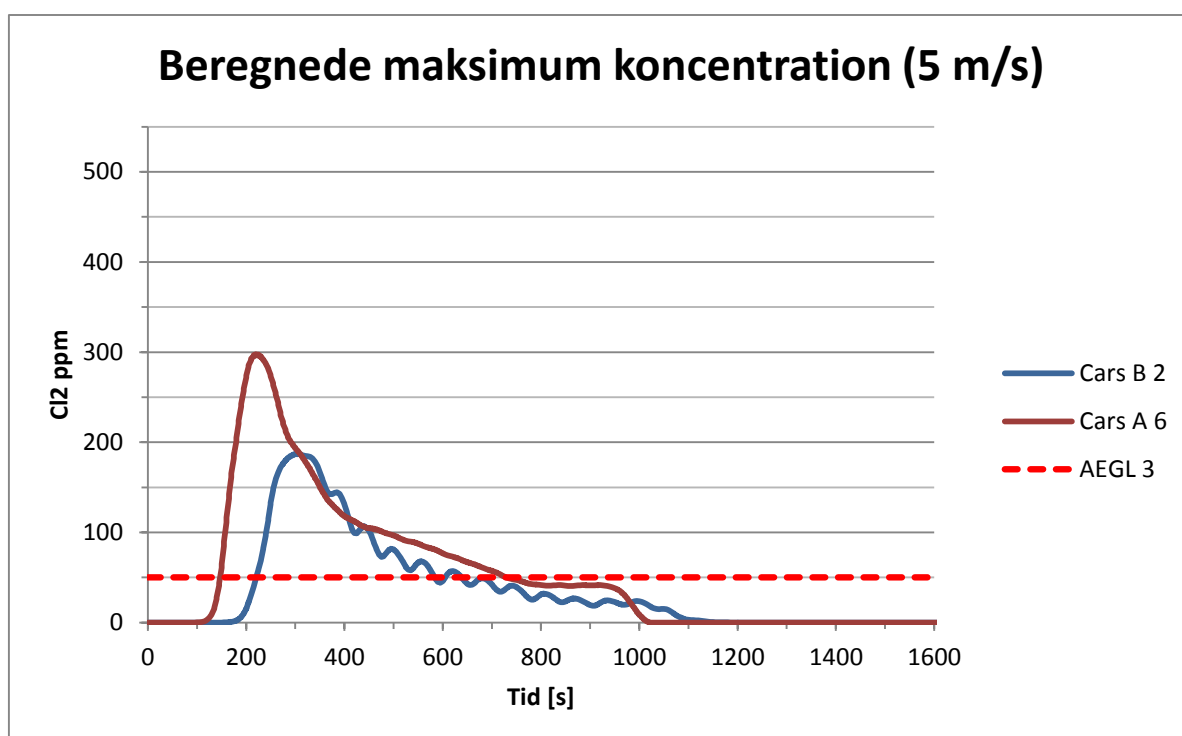


Figur 5-5 Beregnet indendørs koncentration i en bil ved målepunkt 5 i område A ved 2 m/s ved forskellige luftskifte per time i bilen (simulering 24).



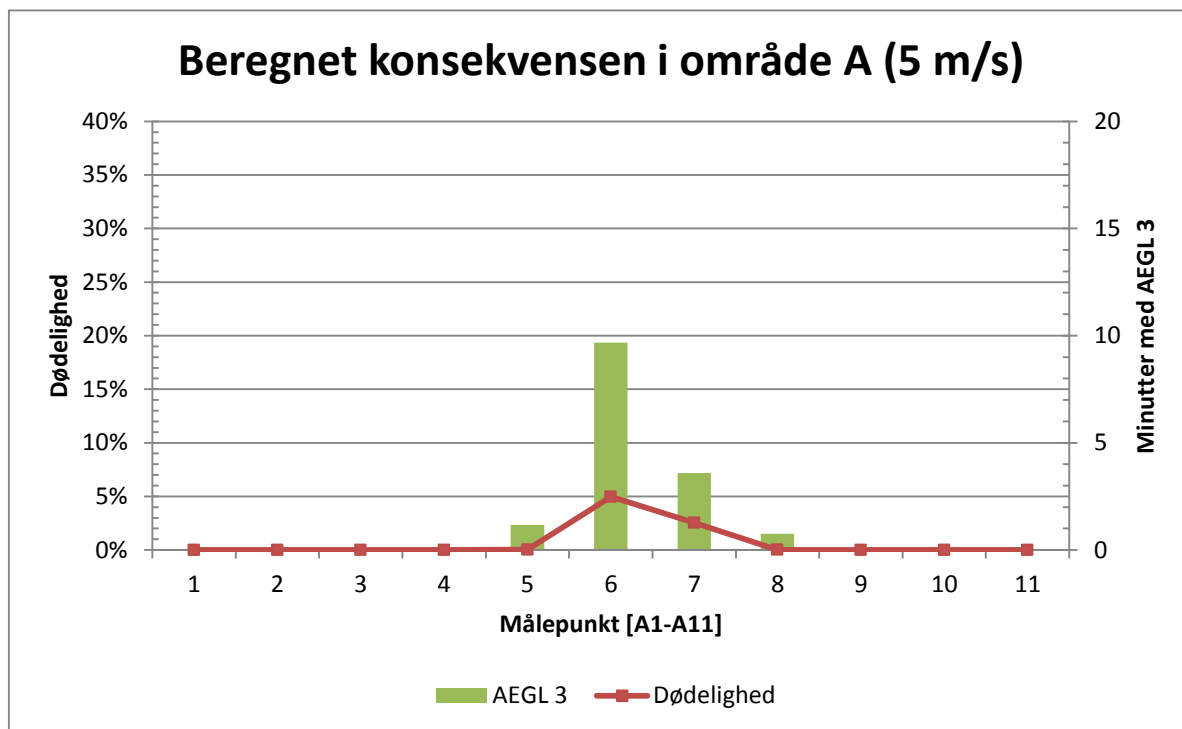
Figur 5-6 (figur 5-5 med anden skala) Beregnet indendørs koncentration i en bil ved målepunkt 5 i område A ved 2 m/s ved forskellige luftskifte per time i bilen, simulering 24.

De to mest eksponerede målepunkter i måleområde A og måleområde B er angivet på figur 5-7 for 5 m/s, hvor det kan ses, at koncentrationen i en periode er højere end AEGL-3. Når disse målepunkter for 5 m/s sammenlignes med målepunkterne for 2 m/s (figur 5-1), ses en tydelig tidlig forskel i eksponeringer for forskellige vindstyrker.

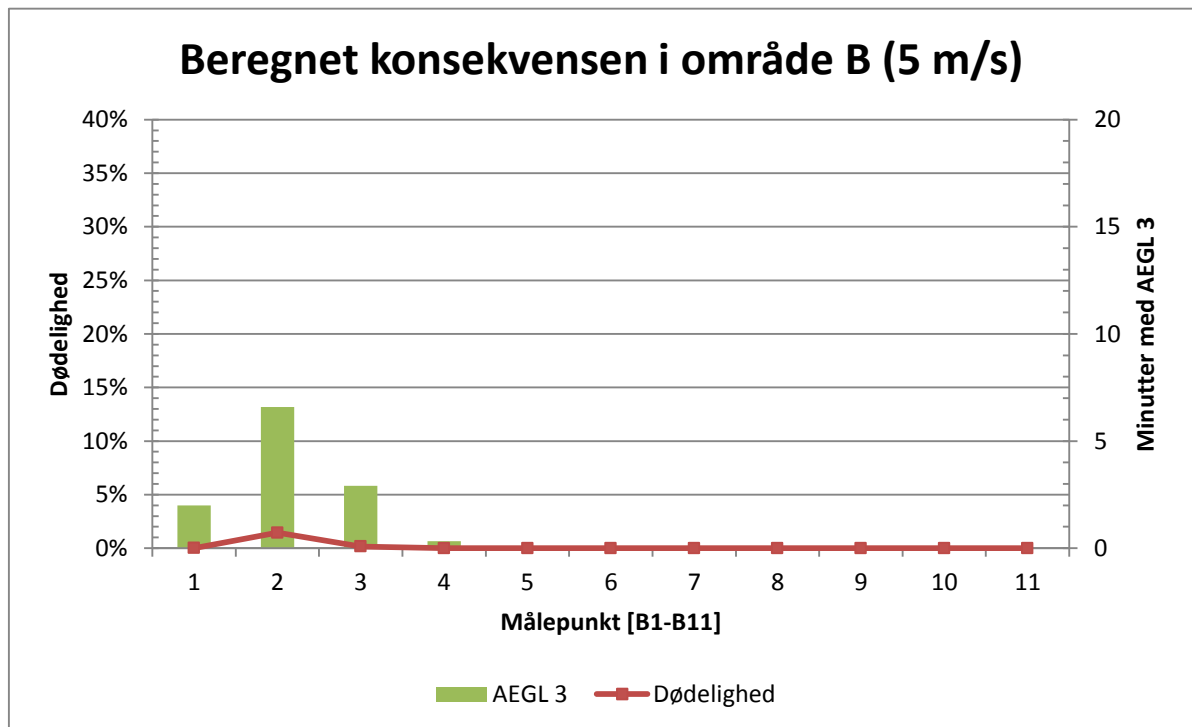


Figur 5-7 Koncentrationen over tid i målepunkt 6 i område A og målepunkt 2 i område B ved 5 m/s, simulering 25.

Resultaterne for 5 m/s er vist på figur 5-8 for område A og figur 5-9 for område B. Det er tydeligt, at dødeligheden og AEGL-3 eksponeringen falder betydeligt ved en højere vindstyrke. Dette kan ekstrapoleres til at ca. 110 biler (ved simpel optælling), svarende til 220 potentielt eksponerede passagerer, er eksponeret for AEGL-3 ved den konsekvensmæssigt mest u hensigtsmæssige fordeling af biler.

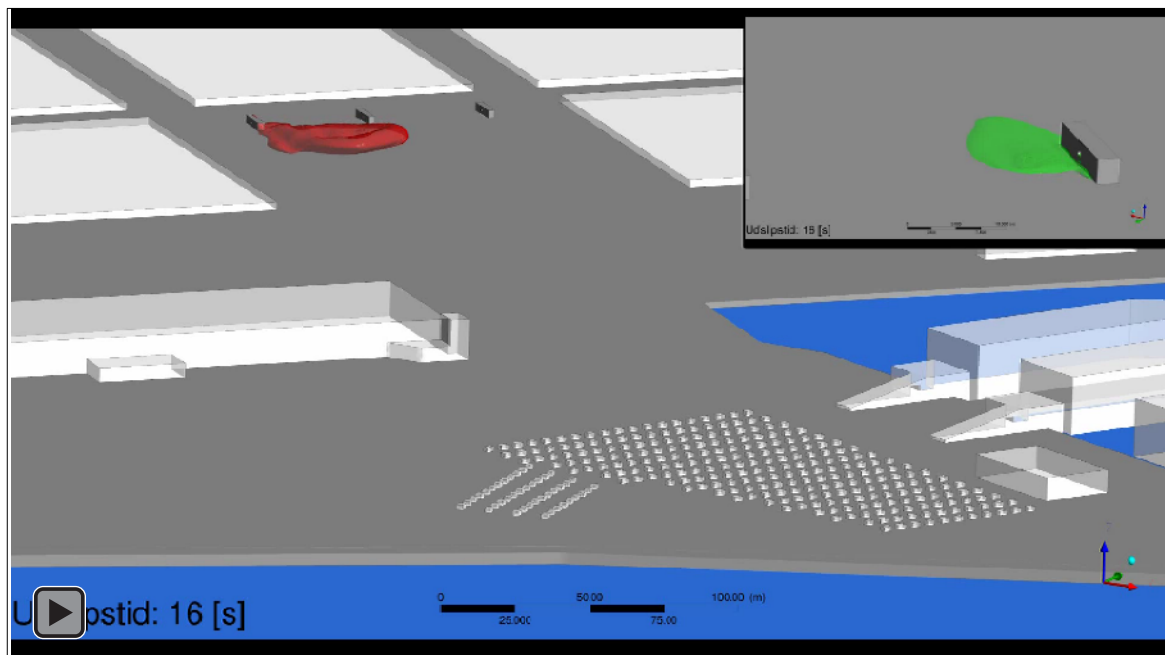


Figur 5-8 For område A ved 5 m/s. Dødelighed af fuldt eksponerede personer og antal minutter disse er udsat for koncentrationer højere end AEGL-3 (uanset om det er 28 ppm eller 50 ppm), simulering 25.



Figur 5-9 For område B ved 5 m/s. Dødelighed af fuldt eksponerede personer og antal minutter disse er udsat for koncentrationer højere end AEGL-3 (uanset om det er 28 ppm eller 50 ppm), simulering 25.

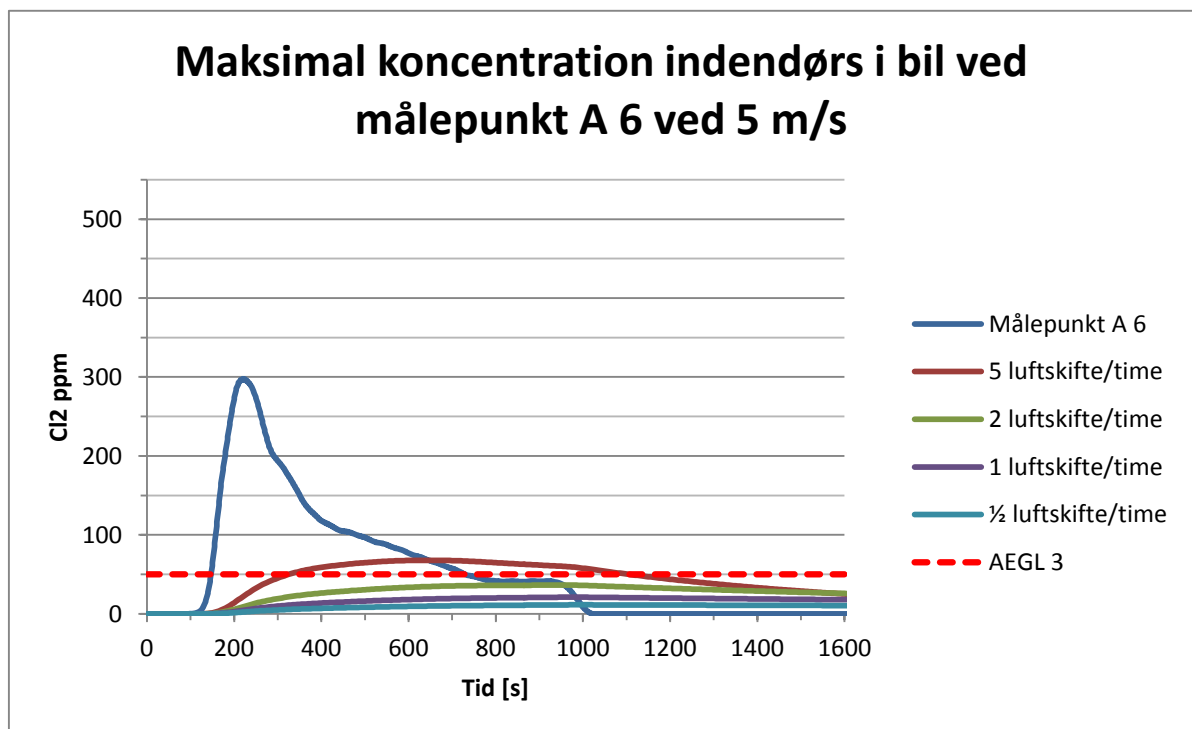
På animationen på figur 5-10 kan det ses, hvordan klorgasskyen udbreder sig fra udslipspunktet og hen over området ved 5 m/s (simulering 25) samt at opholdstiden for klorgasskyen varierer.



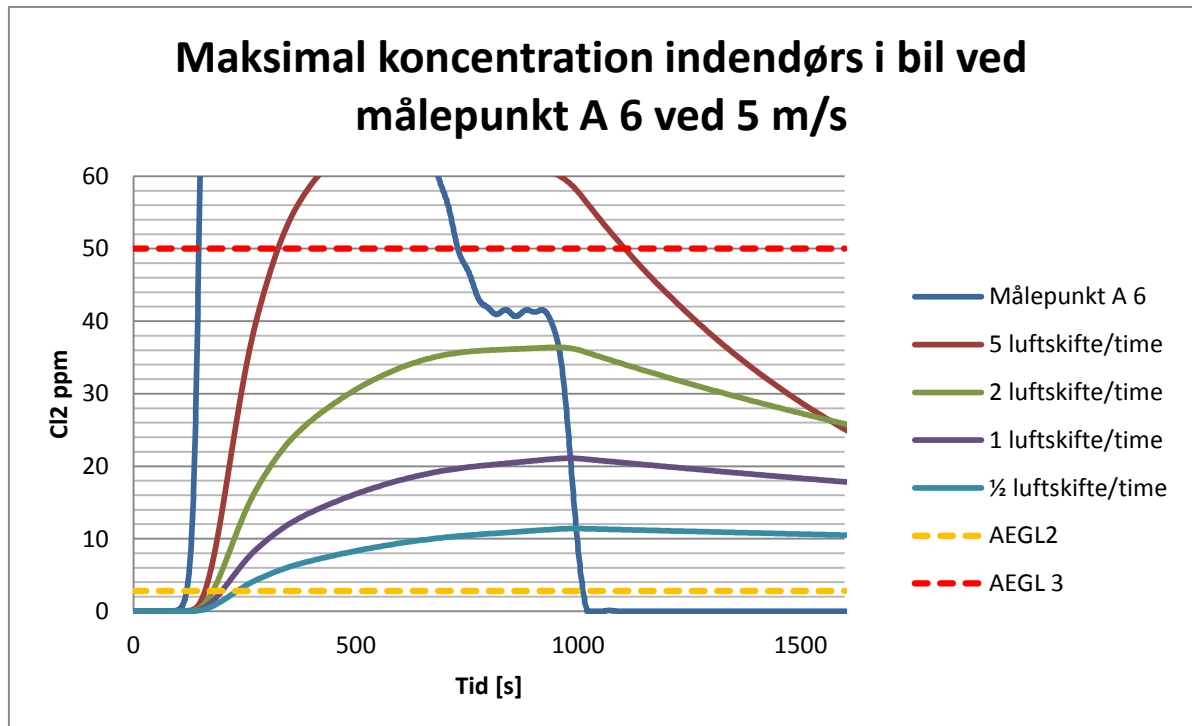
Figur 5-10 Animation af klorgasudbredelsen angives med den røde kurve som AEGL-3 (50 ppm, 10 minutters eksponering) ved 5 m/s, simulering 25. Den grønne kurve angiver meget høje koncentrationer af klor og viser dermed pøldannelsen og afdampningen herfra.

Ved middel vindhastighed (5 m/s) rammer AEGL-3 opmarcharealets nordvest-side ca. 2 minutter efter udslippet, og forlader opmarcharealet ca. 12 minutter efter udslippet. AEGL-3 optræder derfor på dele af opmarcharealet i op til 10 minutter.

Udviklingen i den indendørs koncentration i en bil (se afsnit 4.7) på det værste målepunkt ved forskellige luftskifte per time er beregnet (se figur 5-11 og figur 5-12) for 5 m/s. Sikkert ophold i en bil ved middel vind (5 m/s) beror delvist på, at ventilationen stoppes, når klorlugten optræder inde i bilen, men i mindre grad end ved 2 m/s og ved $\frac{1}{2}$ luftskifte per time i hele perioden opnås AEGL-2 koncentration.

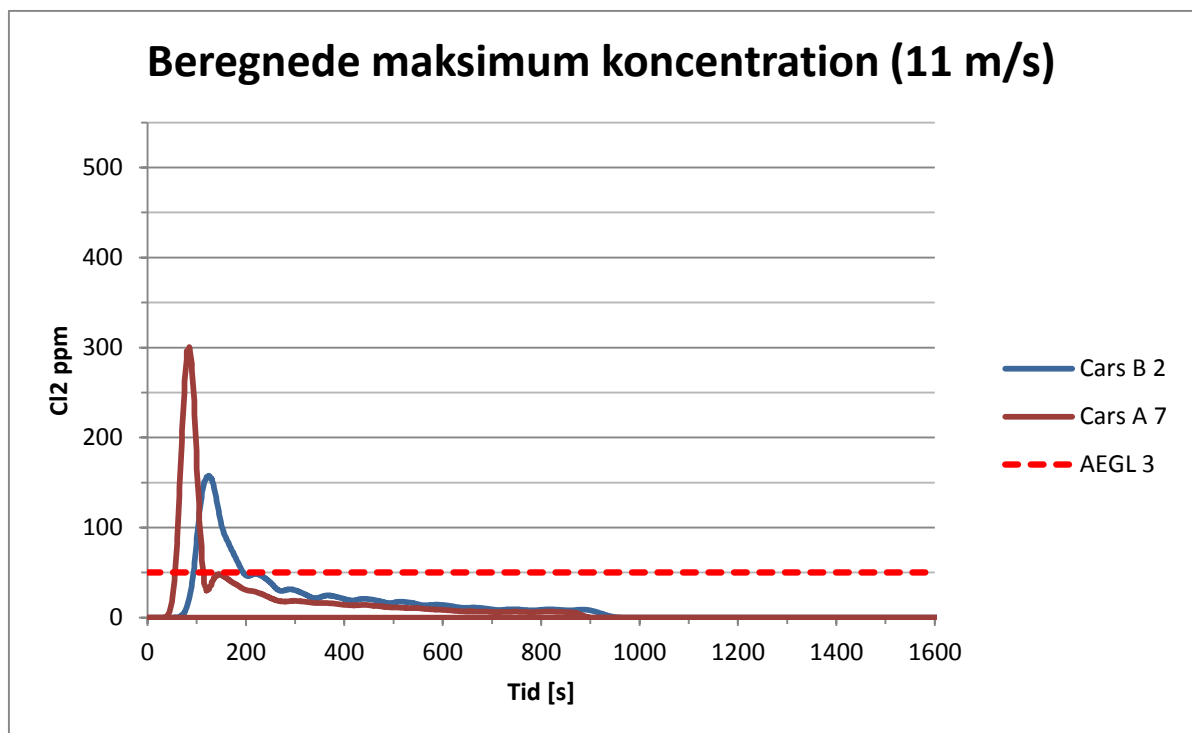


Figur 5-11 Beregnet indendørs koncentration i en bil ved målepunkt 6 i område A ved 5 m/s ved forskellige luftskifte per time i bilen, simulering 25.



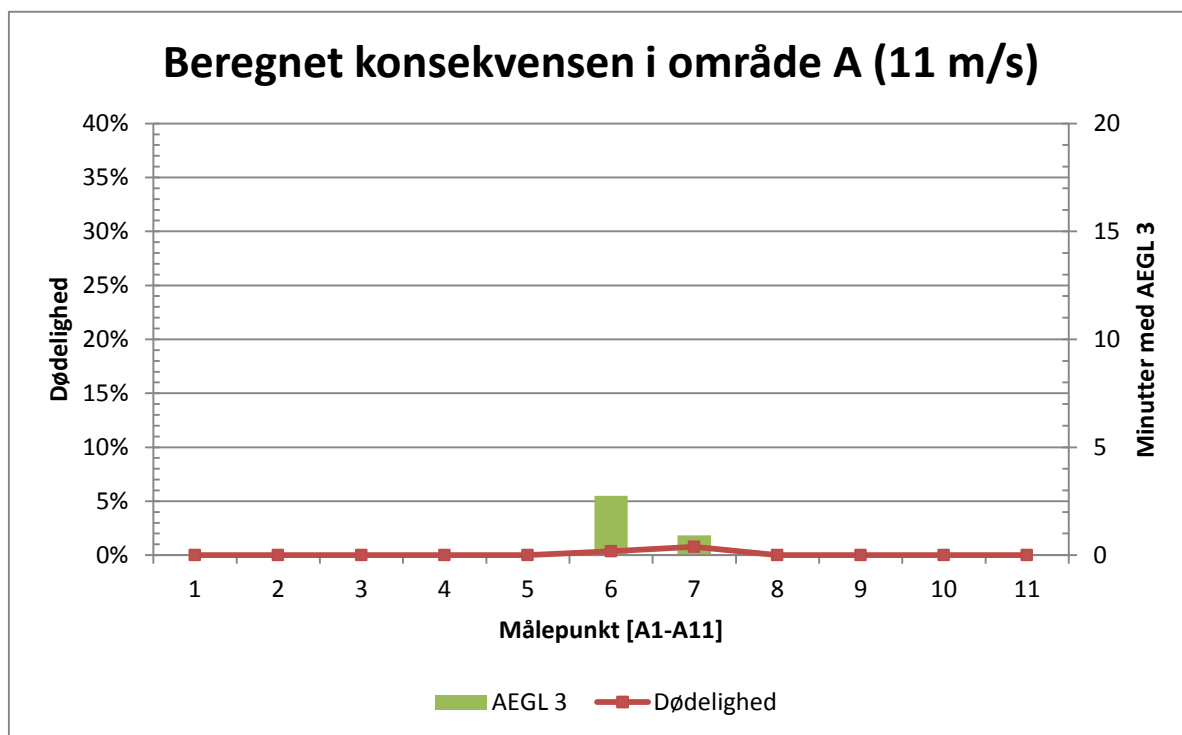
Figur 5-12 (figur 5-11 med anden skala) Beregnet indendørs koncentration i en bil ved målepunkt 6 i område A ved 5 m/s ved forskellige luftskifte per time i bilen, simulering 25.

De to mest eksponerede målepunkter i måleområde A og måleområde B er angivet på figur 5-13 for 11 m/s, hvor det kan ses at koncentrationen, i en periode er højere end AEGL-3.

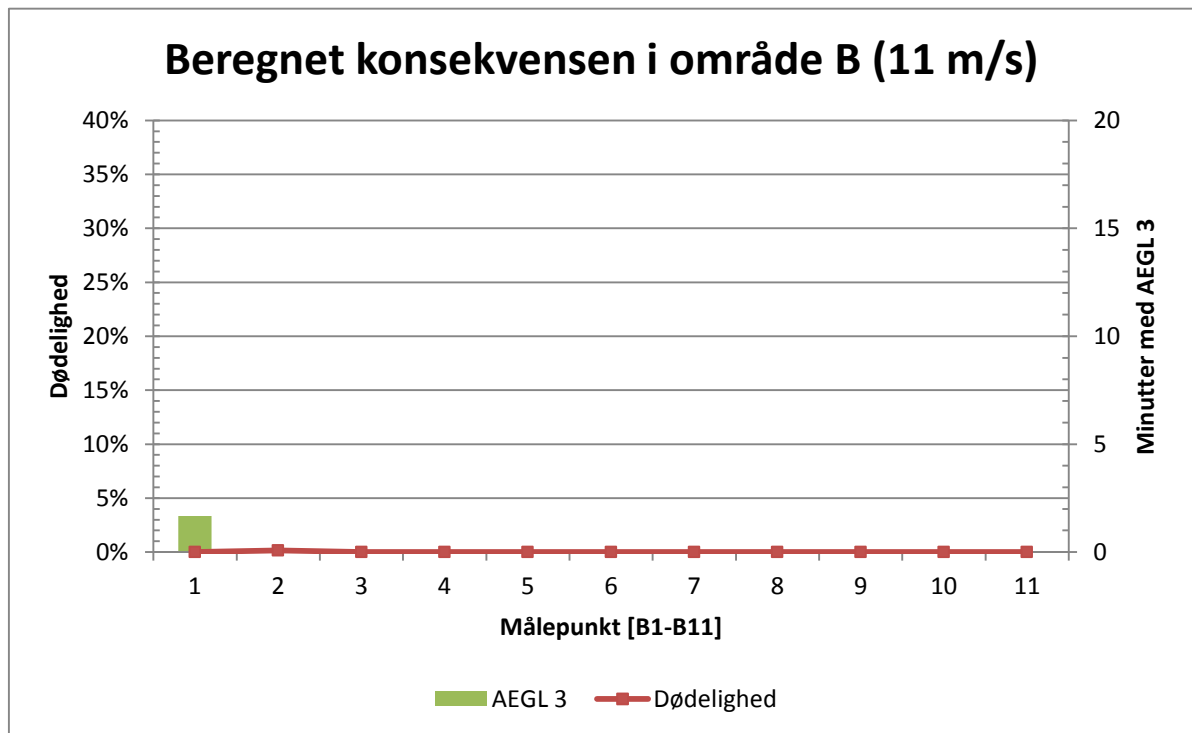


Figur 5-13 Koncentrationen over tid i målepunkt 6 i område A og målepunkt 2 i område B ved 11 m/s, simulering 26.

Resultaterne for 11 m/s er vist på figur 5-14 for område A og figur 5-15 for område B. Det er tydeligt, at dødeligheden og AEGL-3 eksponeringen falder betydeligt ved en højere vindstyrke. Dette kan ekstrapoleres til, at ca. 70 biler (ved simpel optælling), svarende til 140 potentielt eksponerede passagerer, er eksponeret for AEGL-3 ved den konsekvensmæssigt mest uhen-sigtsmæssige fordeling af biler.



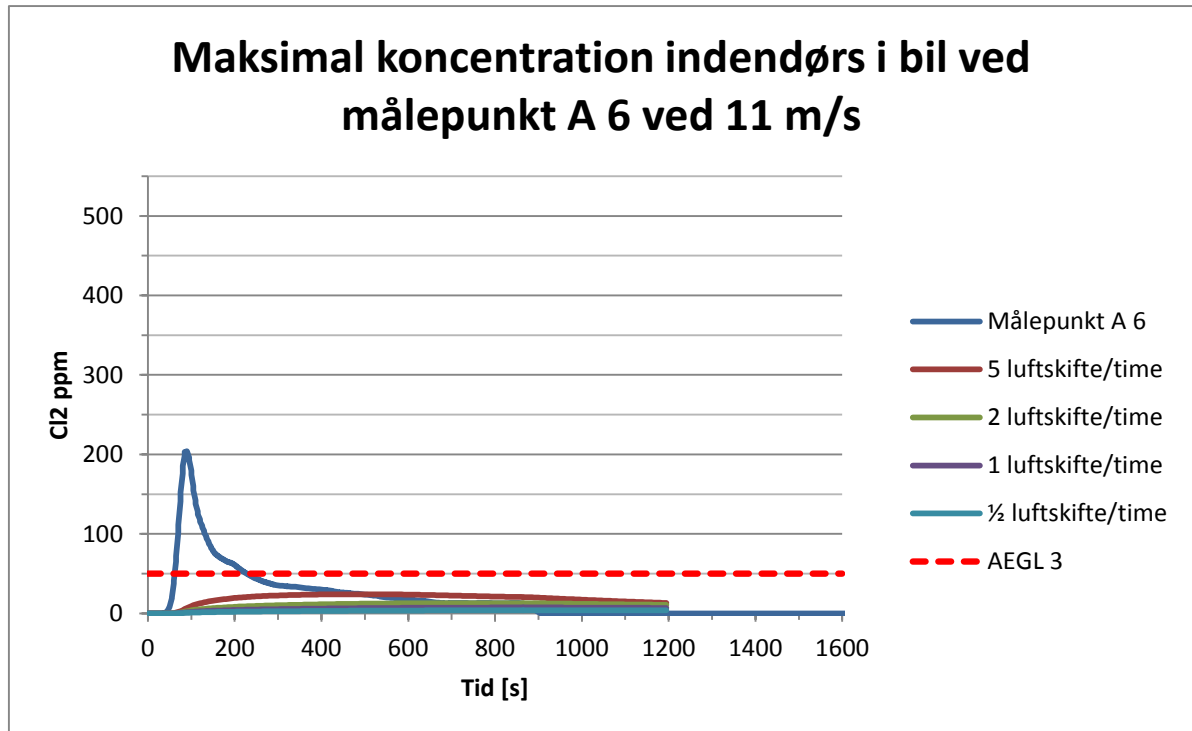
Figur 5-14 For område A ved 11 m/s. Dødelighed af fuldt eksponerede personer og antal minutter disse er udsat for koncentrationer højere end AEGL-3 (uanset om det er 28 ppm eller 50 ppm), simulering 26.



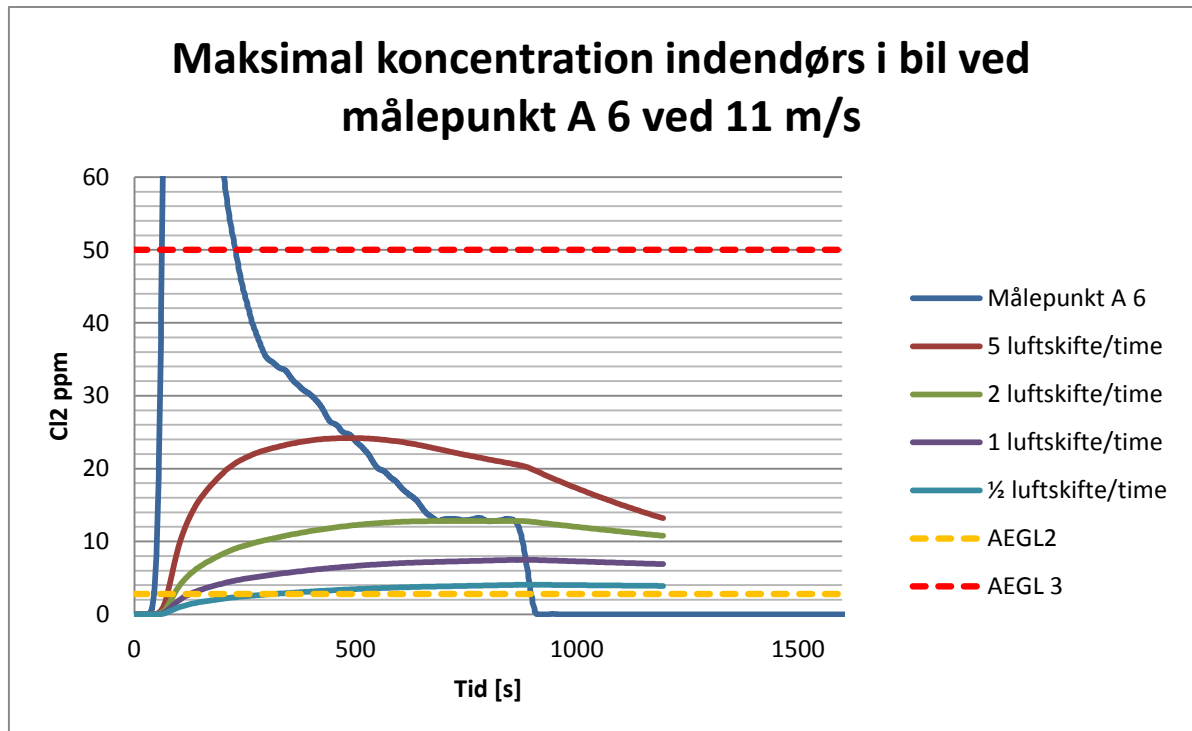
Figur 5-15 For område B ved 11 m/s. Dødelighed af fuldt eksponerede personer og antal minutter disse er udsat for koncentrationer højere end AEGL-3 (uanset om det er 28 ppm eller 50 ppm), simulering 26.

Ved høj vindhastighed (11 m/s) rammer AEGL-3 opmarcharealets nordvest-side ca. 1 minut efter udslippet og forlader opmarcharealet ca. 4 minutter efter udslippet. AEGL-3 optræder derfor på dele af opmarcharealet i op til 3 minutter.

Udviklingen i en indendørs koncentration i en bil (se afsnit 4.7) på det værste målepunkt ved forskellige luftskifte per time er beregnet (se figur 5-16 og figur 5-17) for 11 m/s. Ved 11 m/s opnås en indendørs koncentration i bilen ved 5 luftskifte per time på 24 ppm, og en mindre indsats (lukke vinduer og døre) vil gøre indendørs ophold i bilen til et sikkert ophold (dvs. uden nødvendigvis at skulle slukke ventilationen).



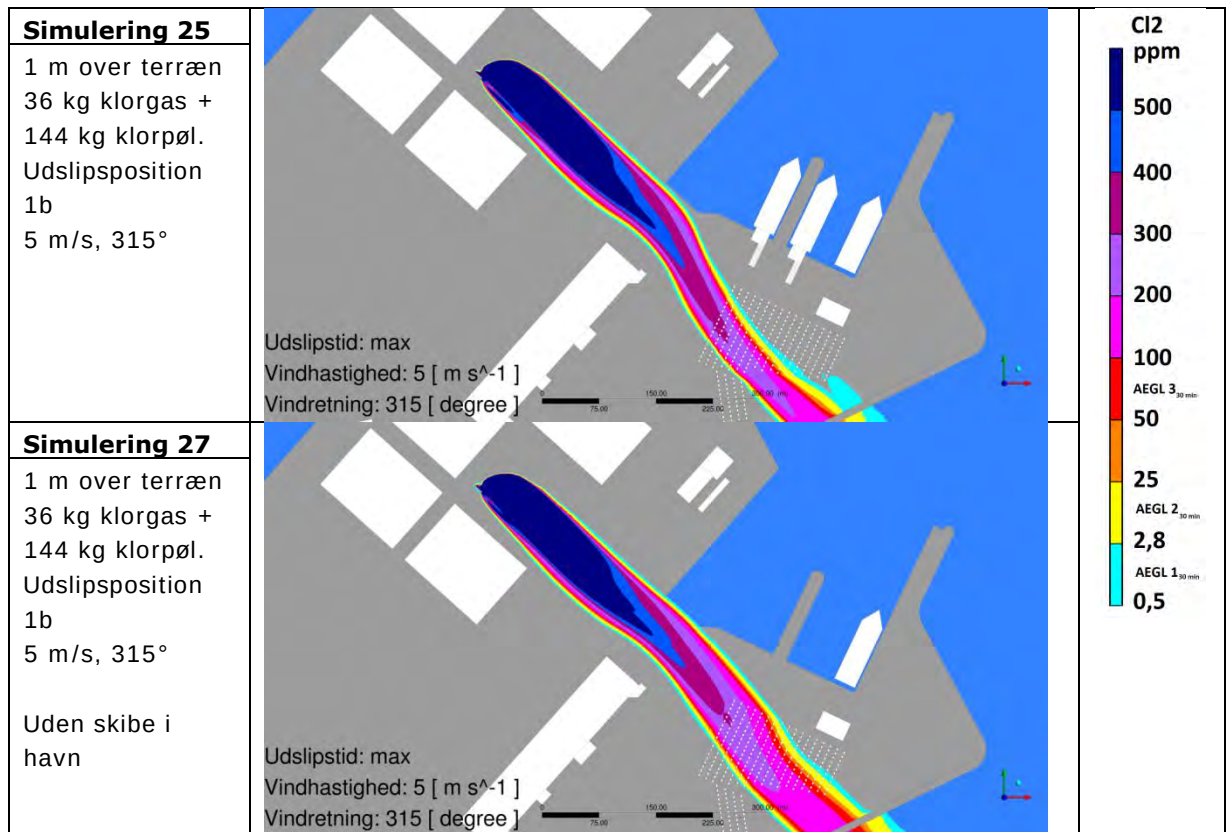
Figur 5-16 Beregnet indendørs koncentration i en bil ved målepunkt 6 i område A ved 11 m/s ved forskellige luftskifte per time i bilen (simulering 26).



Figur 5-17 (figur 5-16 med anden skala) Beregnet indendørs koncentration i en bil ved målepunkt 6 i område A ved 11 m/s ved forskellige luftskifte per time i bilen (simulering 26).

5.3.2 Vindfelt omkring skibe (simulering 27)

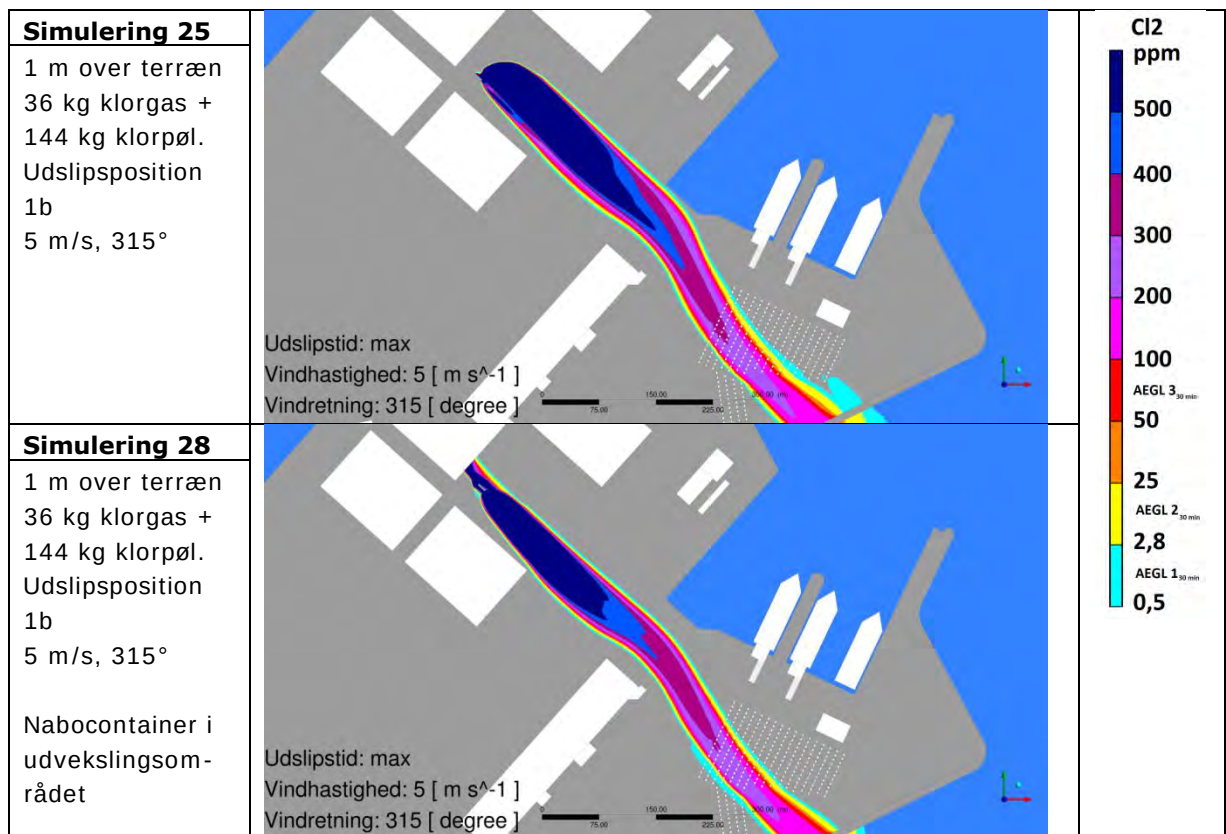
For at undersøge effekten af vindfeltet omkring skibene, er simulering 27 i bilag C foretaget uden skibe (se tabel 5-7). Gasfanen flytter sig lidt med forekomsten af skibene, men effekten er begrænset. Det er sandsynligt, at vindfeltet mellem bygningen Østhavnsvej 37-39 og skib er medvirkende til at skubbe gasfanen op i højden (fra lavere end 1 m) ved lave vindstyrker (2 m/s og lavere). At bygning og skib er med i beregningen er mere konservativ i forhold til eksponeringen i 1 m højde.



Tabel 5-7 Simulering 27 sammenholdt med simulering 25.

5.3.3 Nabocontainer (simulering 28)

Med simulering 28 i bilag C er det undersøgt, om en nabocontainer i udvekslingsområdet har indvirkning på spredningen (se tabel 5-8). Objekter i udvekslingsområdet giver anledning til større retention (tilbageholdelse) af klorgasser, hvilket resulterer i en lavere konsekvens på opmarcharealet. At regne med et tomt udvekslingsområde på containerterminalen er dermed konservativt.



Tabel 5-8 Simuleringer 28 sammenholdt med simulering 25.

5.4 Simulering 29-38

Følgende simuleringer indgår direkte i vurderingen af risikoen:

- Simulering 35 (11 m/s, 285°)
- Simulering 36 (2 m/s, 345°)
- Simulering 37 (5 m/s, 345°)
- Simulering 38 (11 m/s, 345°)

De resterende simuleringer i dette afsnit indgår ikke direkte i vurderingen af risikoen, men indgår i vurderingen af simuleringer i det justerede layout.

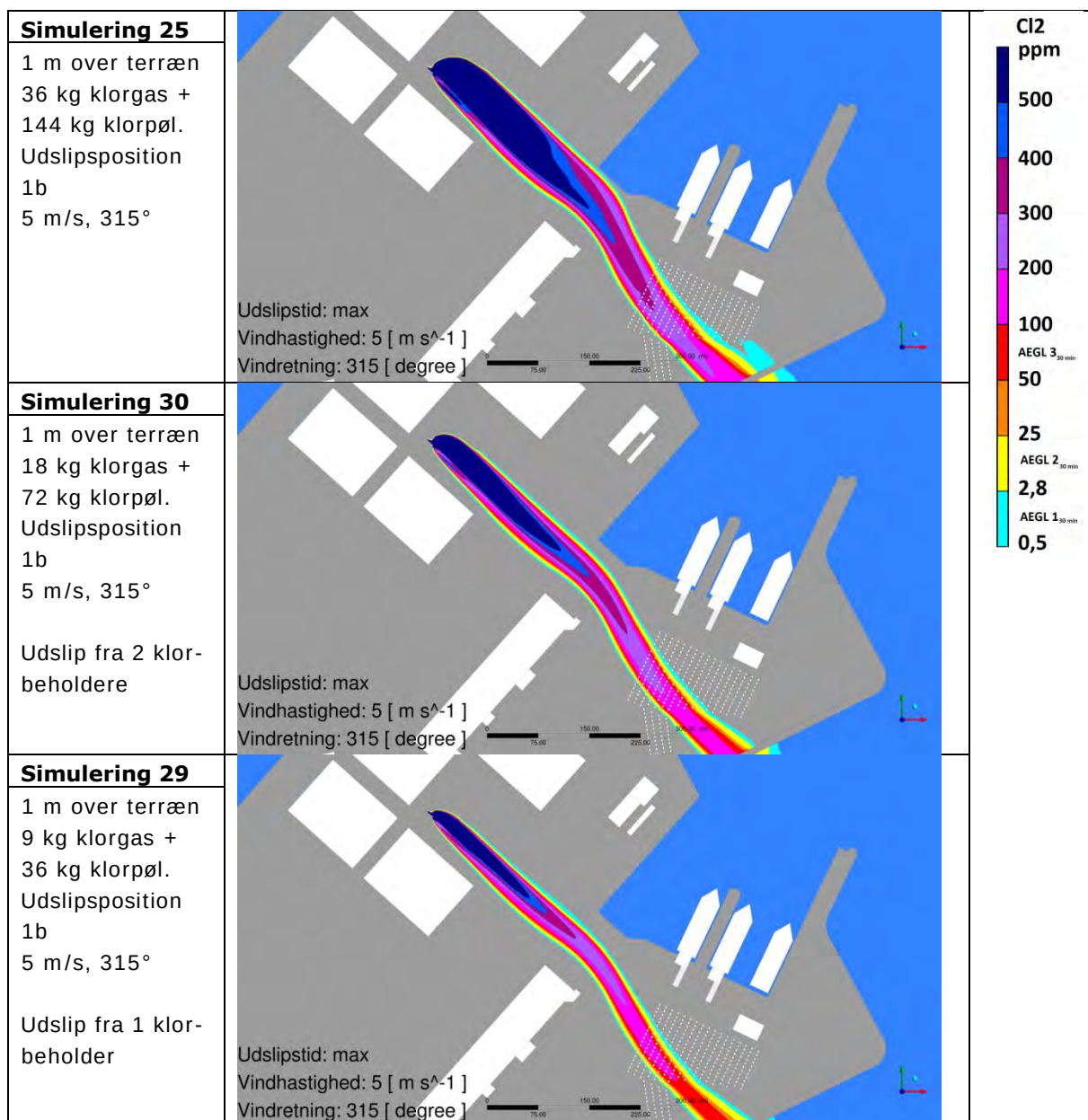
Alle disse simuleringer er foretaget med et tidligere layout af færgeterminalen.

Simuleringerne 29-38 er baseret på den reviderede udslipsskilde (se afsnit 4.4.2), hvor der på ca. 2 sekunder frigives 20 % klor som gas, og resten efterfølgende afdamper fra en klorpøl på jorden. Der er på opmarcharealet indsat 335 kasser, som repræsenterer bilerne på arealet.

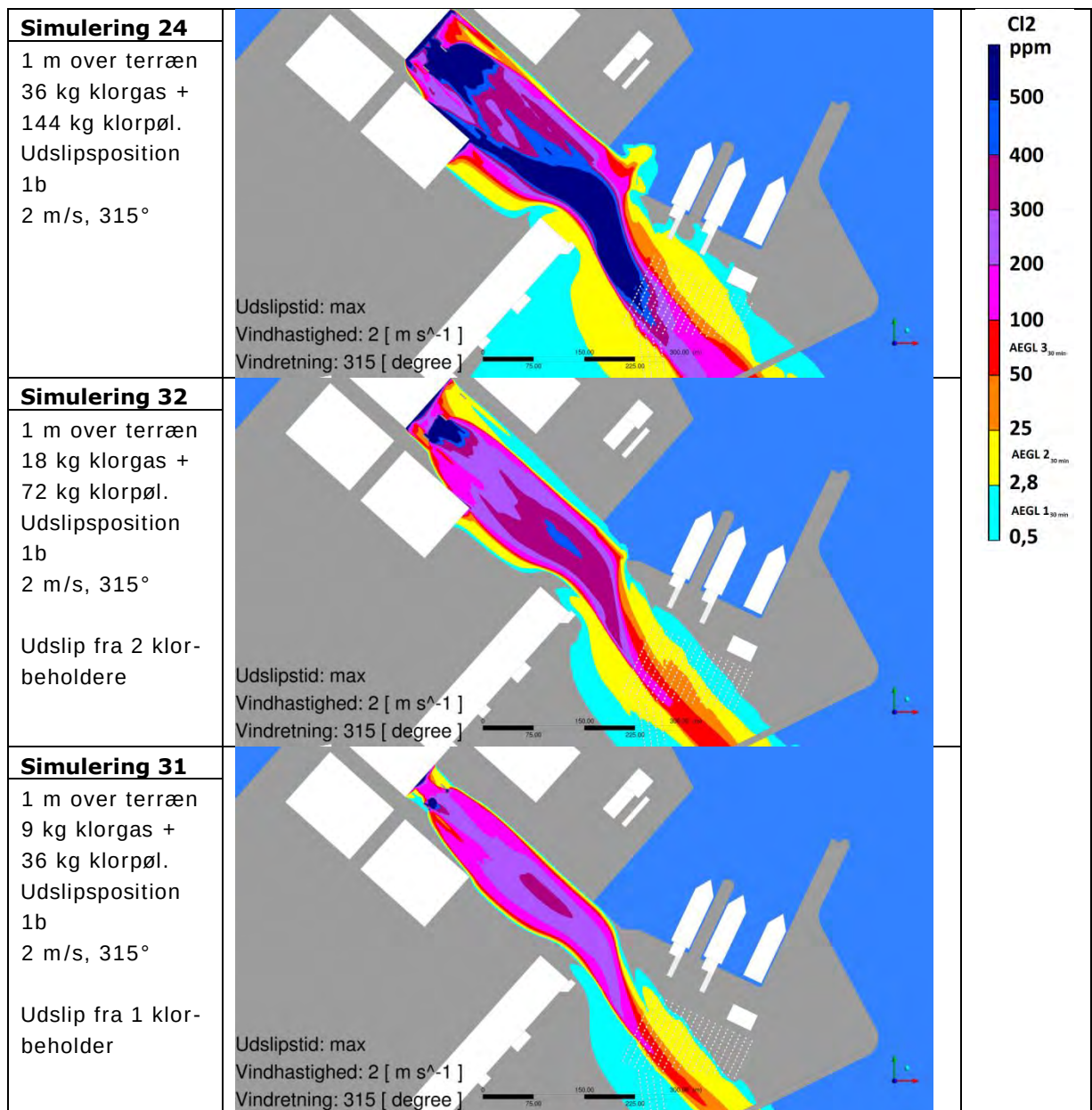
Alle scenarier i dette afsnit sammenholdes med simulering 24-26 (efter beskrivelsen i afsnit 5.3.1), som er referencesimuleringerne, der oftest er sammenlignet med simulering 25 (5 m/s; kritisk vindretning; 4 klorbeholdere).

5.4.1 Konsekvensen af 2 og 1 klorbeholdere (simulering 29-32) ved 5 m/s og 2 m/s

Simuleringerne 29-32 i bilag C er foretaget for at verificere, om de mindre udslip kan give anledning til konsekvenser på opmarcharealet - se tabel 5-9 for 5 m/s og tabel 5-10 for 2 m/s. Udslip fra henholdsvis 2 og 1 klorbeholdere giver anledning til AEGL-3-koncentrationer på opmarcharealet og koncentrationer med meget lav dødelighed.



Tabel 5-9 Simuleringerne 30 og 29 sammenholdt med simulering 25.



Tabel 5-10 Simuleringerne 32 og 31 sammenholdt med simulering 24.

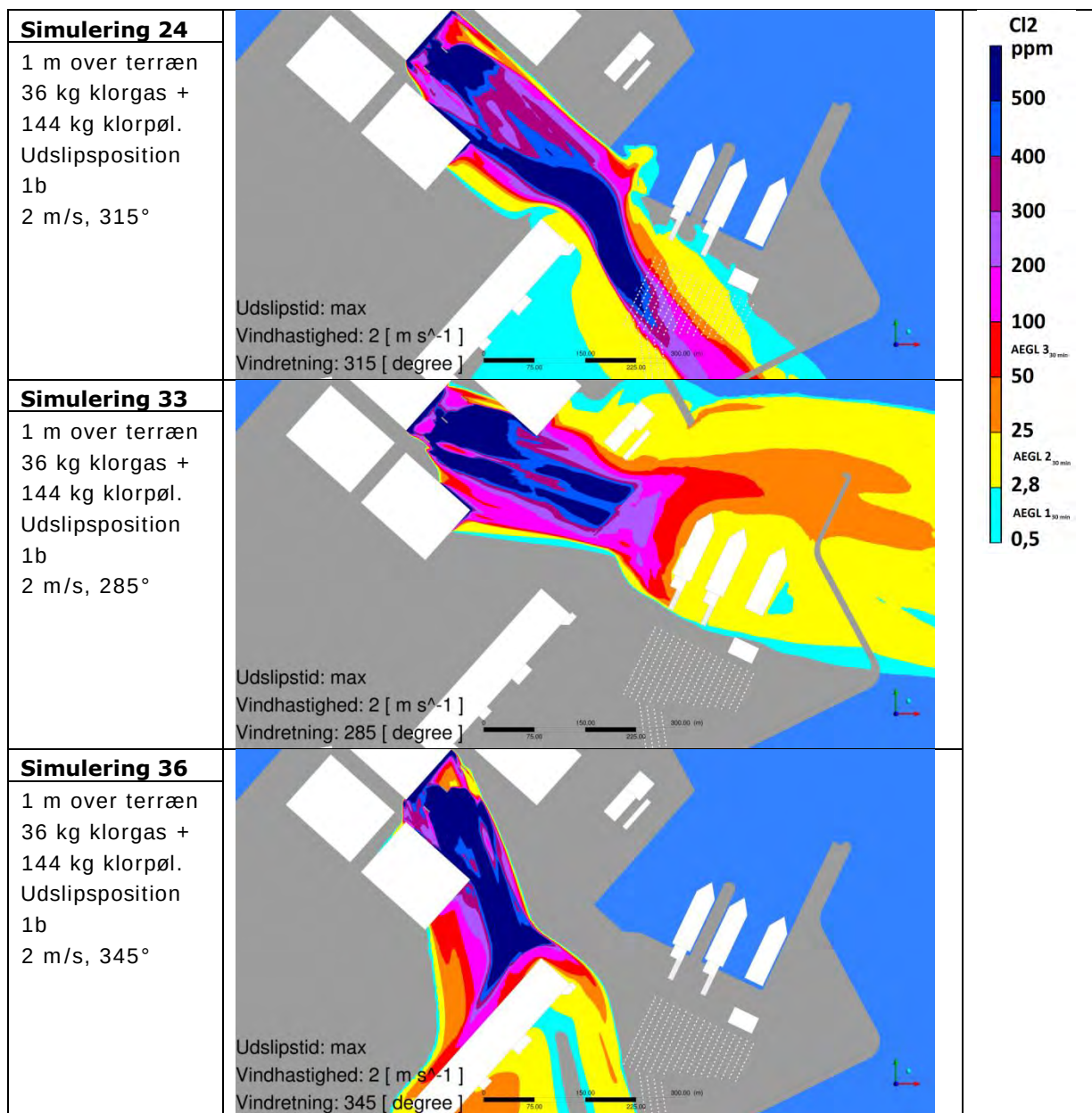
5.4.2 Konsekvensen af 1 klorbeholder og 2 klorbeholdere ved 11 m/s

Den beregnede dødelighed for udslip fra 4 klorbeholdere ved 11 m/s er beregnet til at være mindre end 1 % for den bil, som er mest eksponeret. Samtidig er sandsynligheden for en vindhastighed på 11 m/s 1,8 % for de relevante vindretninger, som er anvendt til CFD simuleringerne. Risikobidraget fra et udslip fra 4 klorbeholderen ved en vindhastighed på 11 m/s er på få procent ud af det samlede risikobillede, og det er derfor valgt at alle risikobidrag (1 klorbeholder, 2 klorbeholdere og 4 klorbeholdere) for 11 m/s er repræsenteret ved udslip fra 4 klorbeholdere. Dette er modsat vindhastigheder på 2 m/s og 5 m/s, hvor forskellene til risikobidraget fra henholdsvis 4, 2 og 1 klorbeholdere er signifikant.

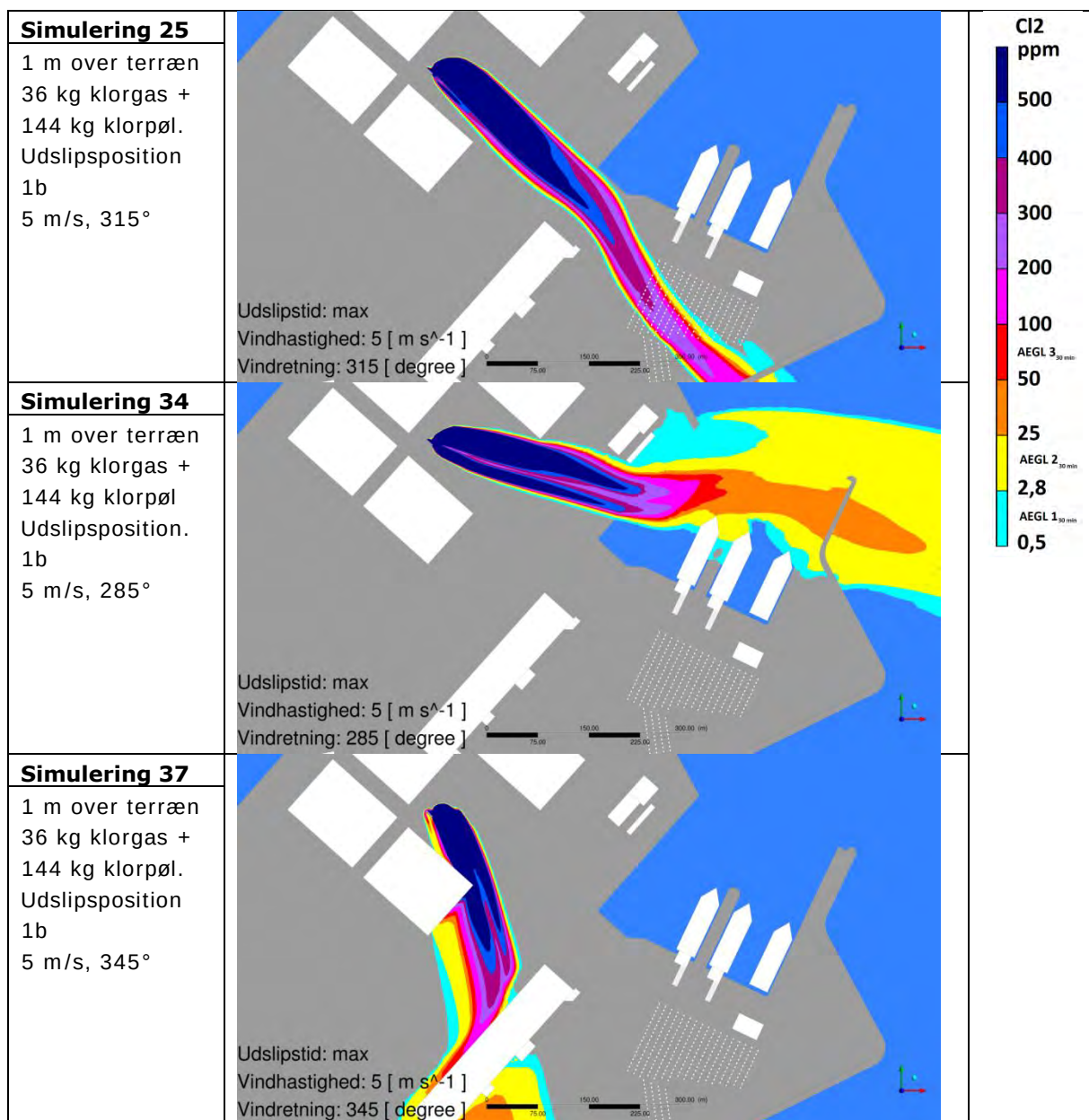
5.4.3 Konsekvensen i en vinkel på +/-30° fra 315° (simulering 33-38)

Simuleringerne 33-38 i bilag C er foretaget for at verificere det kritiske vinkelspænd på +/-30° i forhold til konsekvenser på opmarcharealet - se tabel 5-11 for 2 m/s, tabel 5-12 for 5 m/s og tabel 5-13 for 11 m/s.

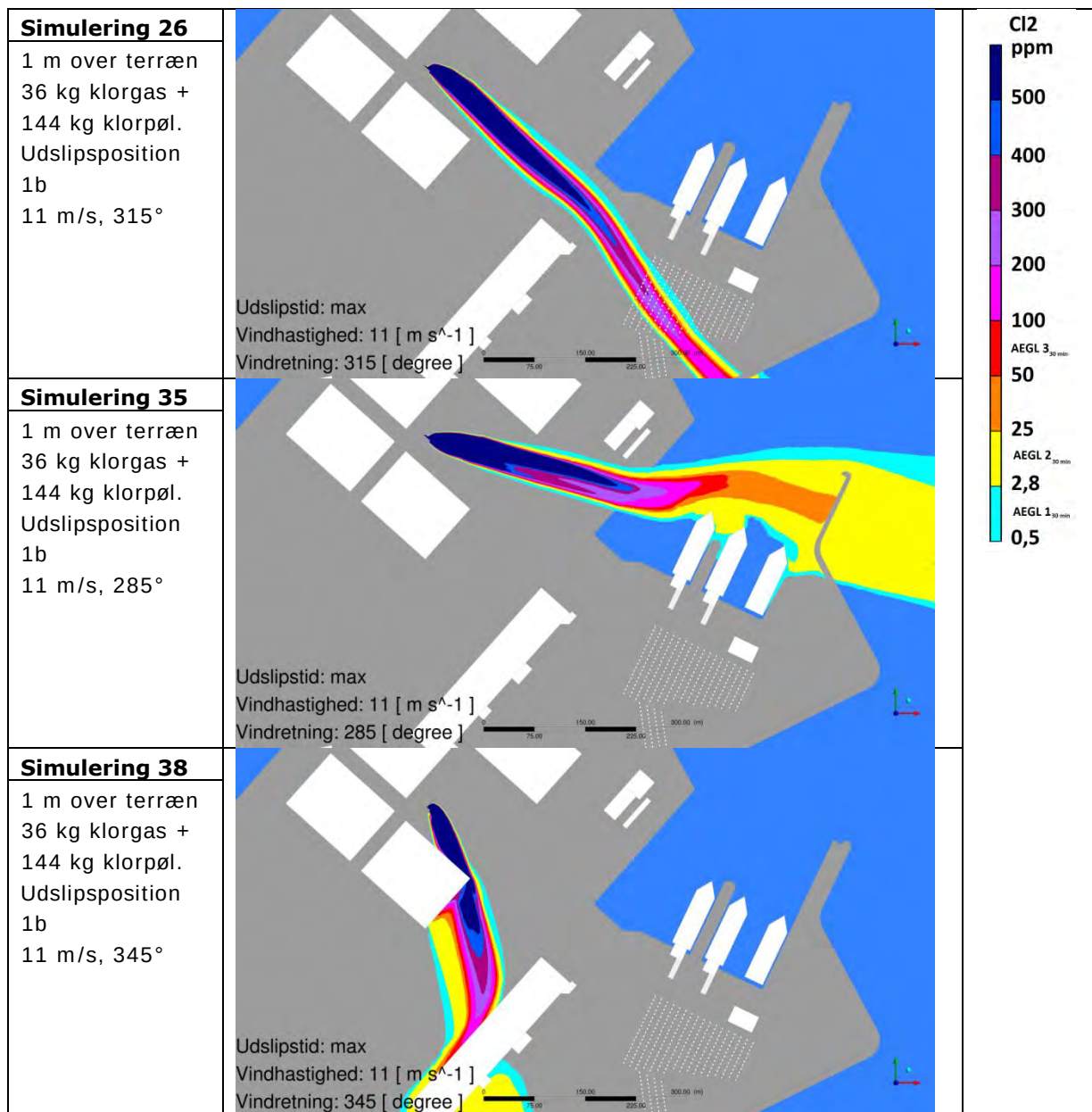
I henhold til beregningerne vil udslip med en vinkel på mere end 30° i forhold til 315°, passere forbi opmarcharealet. Det ses endvidere, at disse forhold er meget udpræget ved højere vindstyrker (5 m/s og 11 m/s) og i mere begrænset omfang ved lave vindstyrker (2 m/s) på grund af klorskyens udbredelse på tværs af vindretningen. Dermed er 315° den kritiske vindretning ud af de 12 vindretninger (som hver dækker 30°), som der findes vindsandsynlighed for.



Tabel 5-11 Simuleringerne 33 og 36 sammenholdt med simulering 24.



Tabel 5-12 Simuleringerne 34 og 37 sammenholdt med simulering 25.



Tabel 5-13 Simuleringerne 35 og 38 sammenholdt med simulering 26.

5.5 Simulering 39-44

Alle simuleringerne 39-44 indgår direkte i vurderingen af risikoen.

Simuleringerne 39-44 er (lige som simuleringerne 24-38) baseret på den reviderede udslipskilde (se afsnit 4.4.2) med en revideret geometri på basis af det justerede layout. Der er på opmarch-arealet indsat 503 kasser, som repræsenterer bilernes placering på arealet. Antallet af biler i geometrien har ingen praktisk effekt på klorgasfanens udbredelse (se simulering 16 i tabel 5-5).

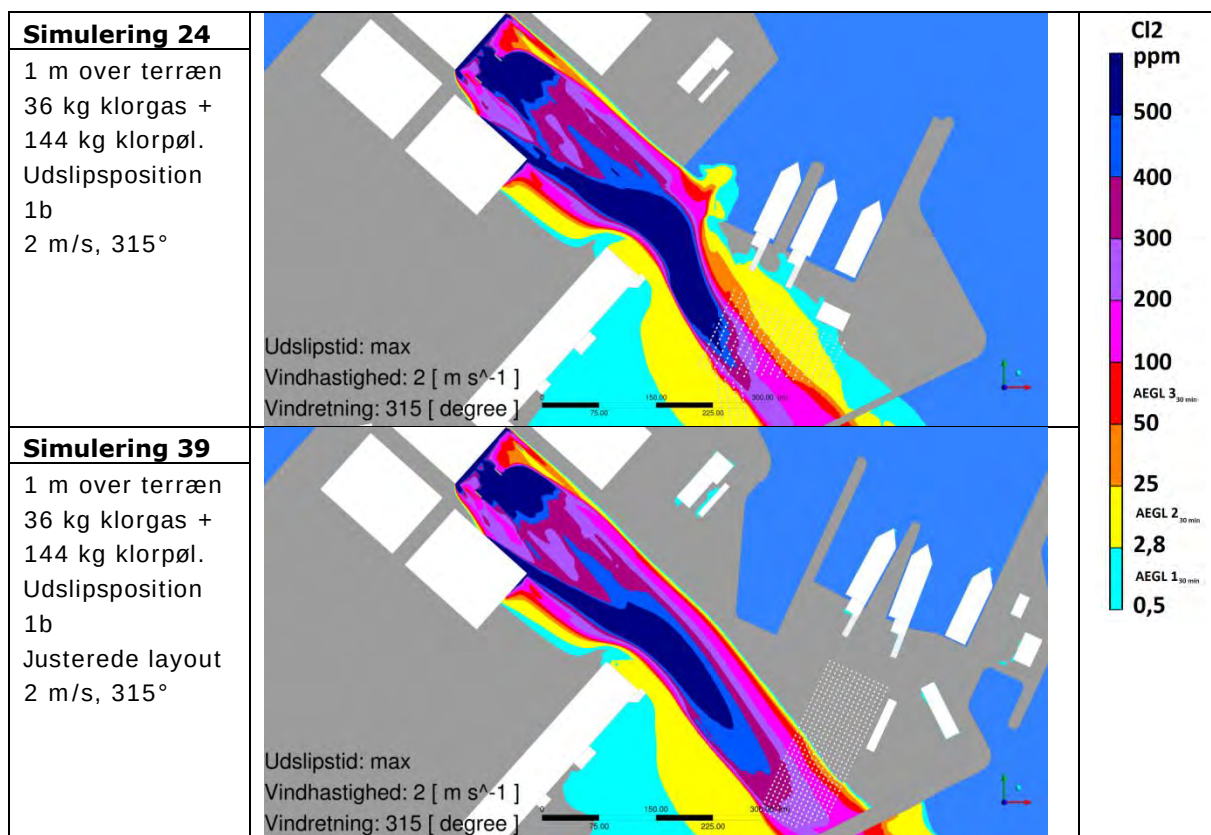
Alle scenarier i dette afsnit sammenholdes med simulering 39 og 40 (efter beskrivelse i afsnit 5.5.1), som er referencesimuleringerne.

5.5.1 Grundlæggende simuleringer (simulering 39-40)

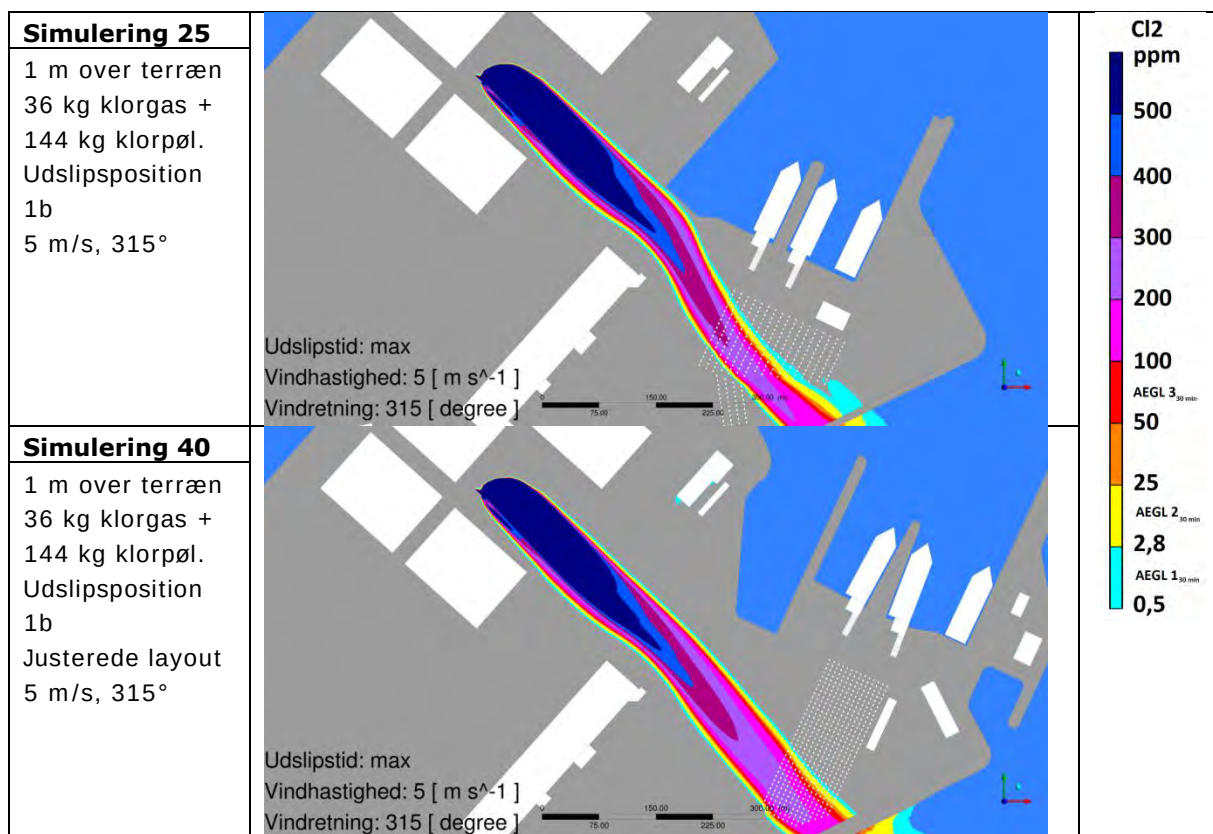
Simulering 39 og 40 i bilag C viser spredningen ved henholdsvis 2 m/s og 5 m/s direkte imod opmarcharealet (315°). Da vindsandsynligheden for 11 m/s kun udgør ca. 5 % af den samlede vindsandsynlighed, og eftersom udslip ved 11 m/s har en mindre konsekvens (bedre opblanding og fortynding af klorgas) i forhold til 2 m/s og 5 m/s, har scenarierne med 11 m/s et betydeligt mindre bidrag til den samlede risiko. Det er derfor valgt ikke at opdatere CFD simuleringerne for 11 m/s for det justerede layout. I tabel 5-14 er vist CFD resultaterne for de 2 forskellige layout for en vindstyrke på 2 m/s og i tabel 5-15 for en vindstyrke på 5 m/s.

I simuleringen med en vindstyrke på 2 m/s er det tydeligt, at det justerede layout ikke længere resulterer i en spredning af den nordlige kant af klorgasfanen som resultat af kajkanten (som i simulering 24 hvor klorgassen spredes udover havnebassenet). Hvis opmarcharealet ikke var flyttet i det justerede layout, ville risikoen være lidt større end for den tidligere placering af opmarcharealet.

CFD simuleringerne udført med vindstyrker på 2 m/s og 5 m/s resulterer i en reduktion af vindens afbøjning af klorgasfanen syd om skibene. Desuden er klorgasfanen mere samlet (koncentreret) og mindre opblandet, hvilket betyder, at risikoen for samme areal er lidt større. I og med at opmarcharealet er flyttet længere væk fra udslipskilden i det justerede layout, er det endelige resultat, at risikoen for personer med ophold i opmarcharealet er mindre end ved det tidligere layout. Resultaterne viser tillige, at erfaringer fra de tidligere simuleringer (indledende CFD simuleringer, simulering 1-16 og simulering 24-38) stadig er gældende.

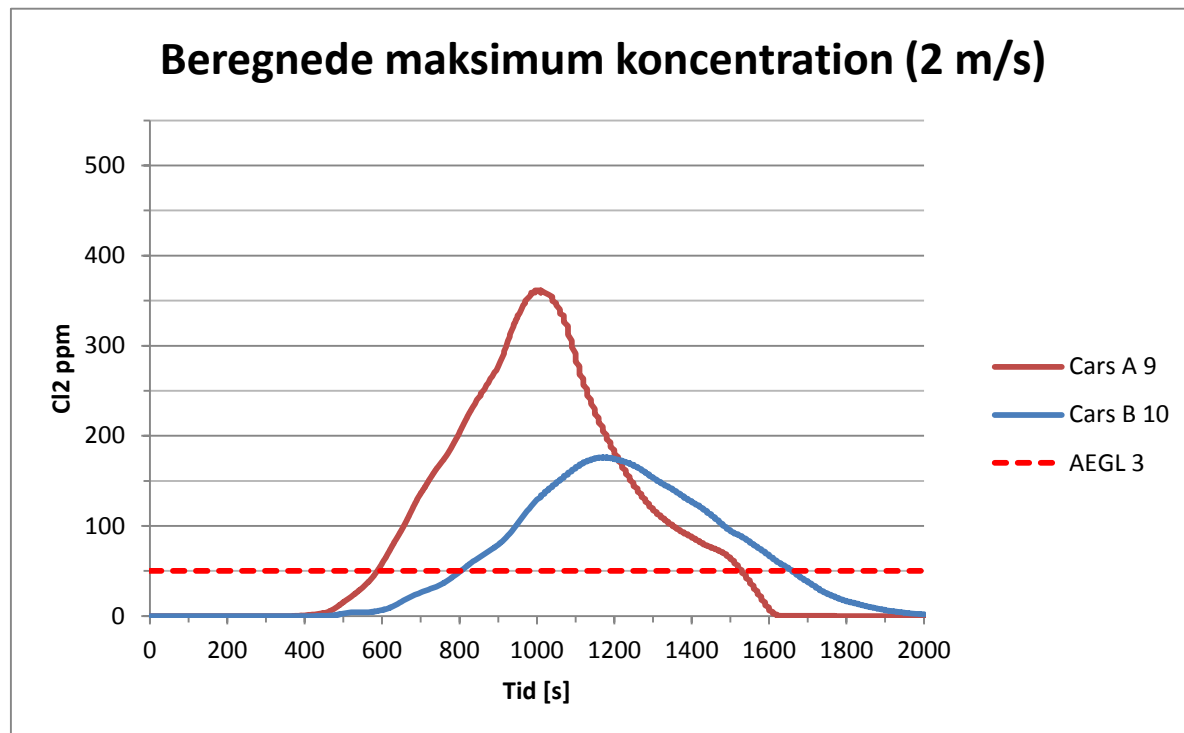


Tabel 5-14 Simulering 39 sammenholdt med simulering 24.



Tabel 5-15 Simulering 40 sammenholdt med simulering 25.

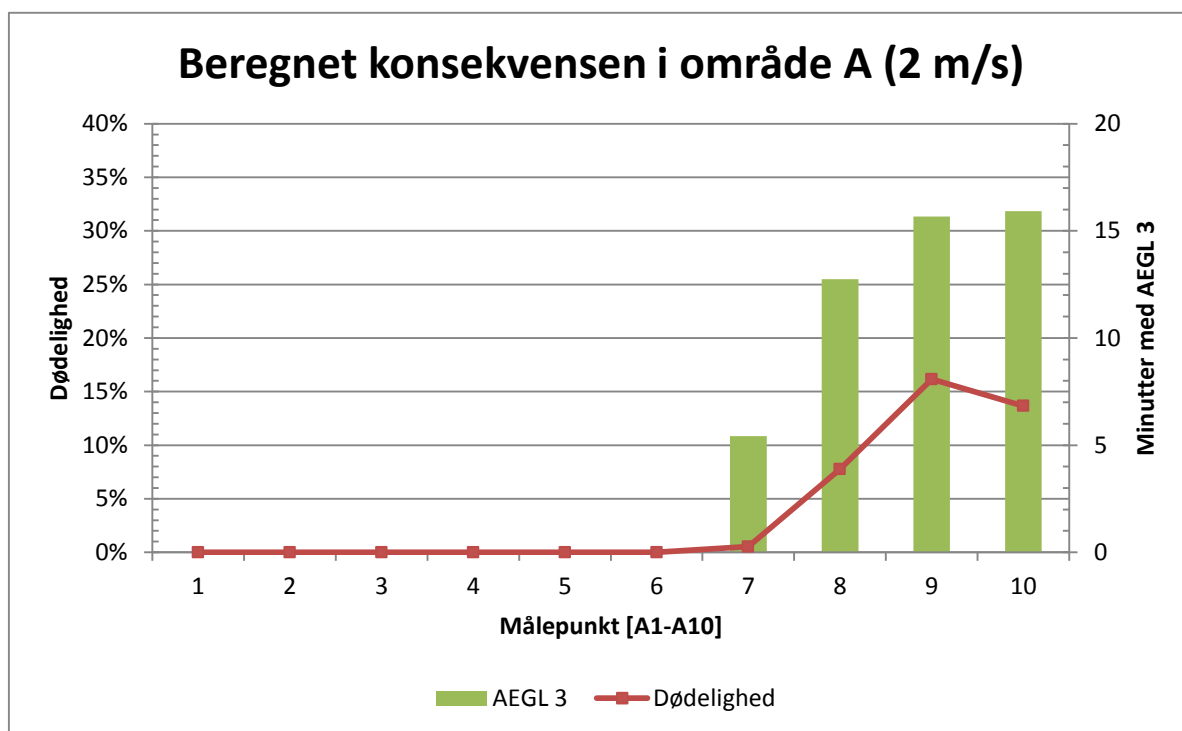
Koncentrationen af klor over tid ved de to mest eksponerede målepunkter (måleområde A og måleområde B) er vist på figur 5-18 for 2 m/s. Det ses, at koncentrationen i en periode er højere end AEGL-3.



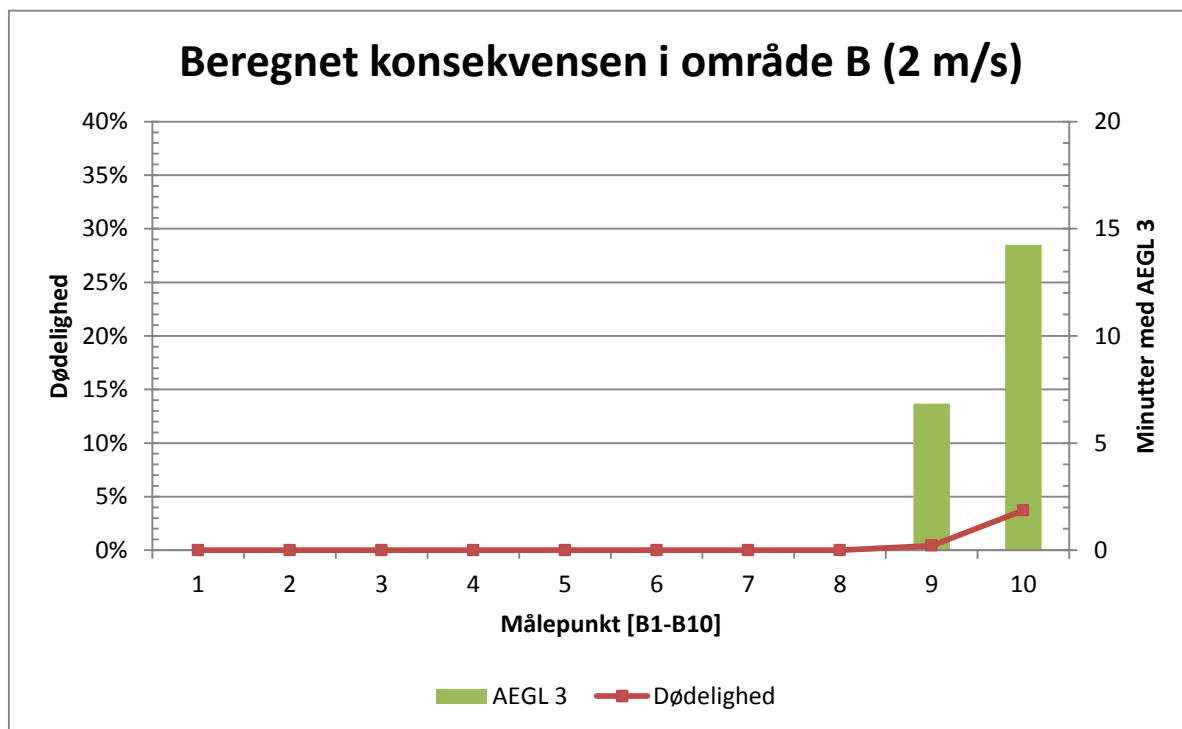
Figur 5-18 Koncentrationen over tid i målepunkt 9 i område A og målepunkt 10 i område B ved 2 m/s, simulering 39.

Der er for målepunkterne i område A og i område B (se figur 4-9) beregnet dødelighed for fuldt eksponerede personer og antal minutter, disse er udsat for koncentrationer højere end AEGL-3 (uanset om det er 28 ppm [30 minutters eksponering] eller 50 ppm [10 minutters eksponering]). Dødeligheden angiver hvor stor en andel af personer i målepunktet, der forventes at dø. Dødeligheden er beregnet som en akkumulering af eksponeringen, hvilket betyder, at påvirkningen af klor er summeret over tid for personer i det givne område og ikke bestemt i forhold til en specifik koncentrationsgrænse (som eksempelvis AEGL-3).

Resultaterne for dødelighed ved en vindstyrke på 2 m/s er vist på figur 5-19 for område A og på figur 5-20 for område B. De grønne søjler viser, hvor længe koncentrationen er over AEGL-3 i det pågældende målepunkt i minutter, og de røde linjer viser dødeligheden (hvor stor en andel af personer i målepunktet, der forventes at dø i tilfælde af klorudslip ved lav vind). I det mest eksponerede målepunkt for det tidligere layout (se figur 5-2) er dødeligheden beregnet til ca. 24 % ved 2 m/s. Med det justerede layout (hvor opmarcharealer, og dermed målepunkterne, er flyttet længere bort fra udslipspunktet) er dødeligheden beregnet til ca. 16 %. Antallet af minutter med AEGL-3-eksponering er uændret på 16 minutter for mest de mest eksponerede målepunkter.



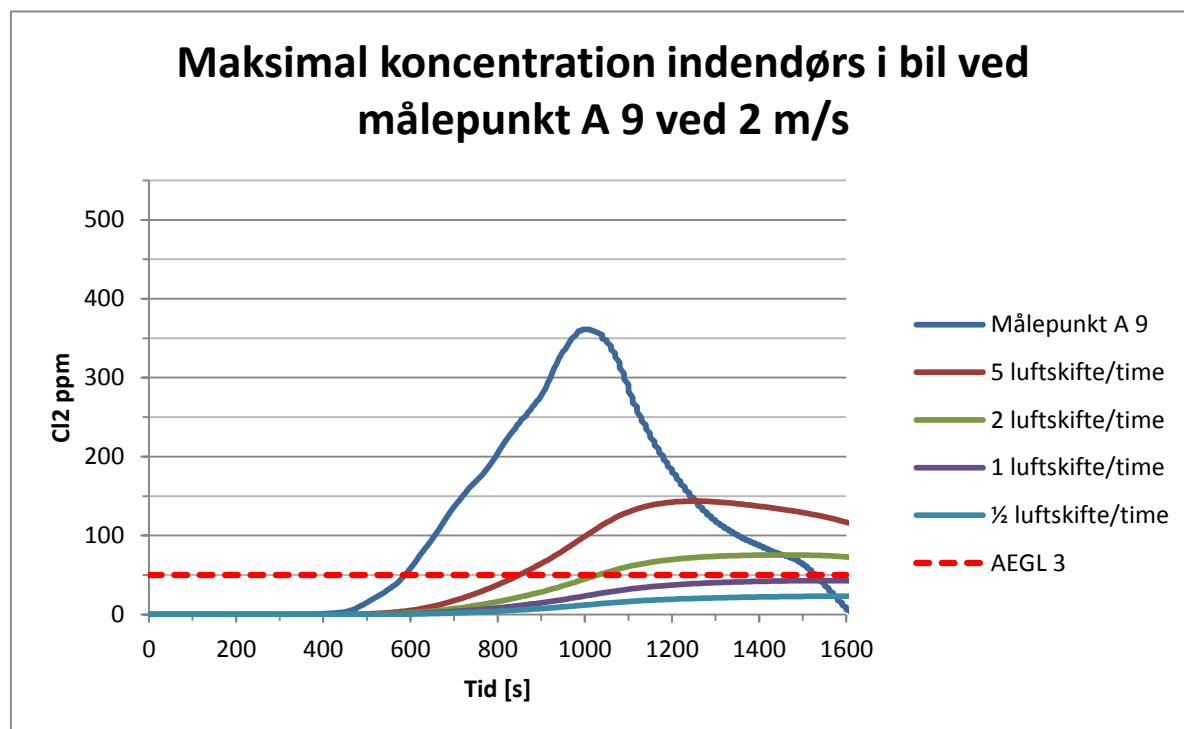
Figur 5-19 For område A ved 2 m/s. Dødelighed af fuldt eksponerede personer og antal minutter disse er udsat for koncentrationer højere end AEGL-3 (uanset om det er 28 ppm eller 50 ppm), simulering 39.



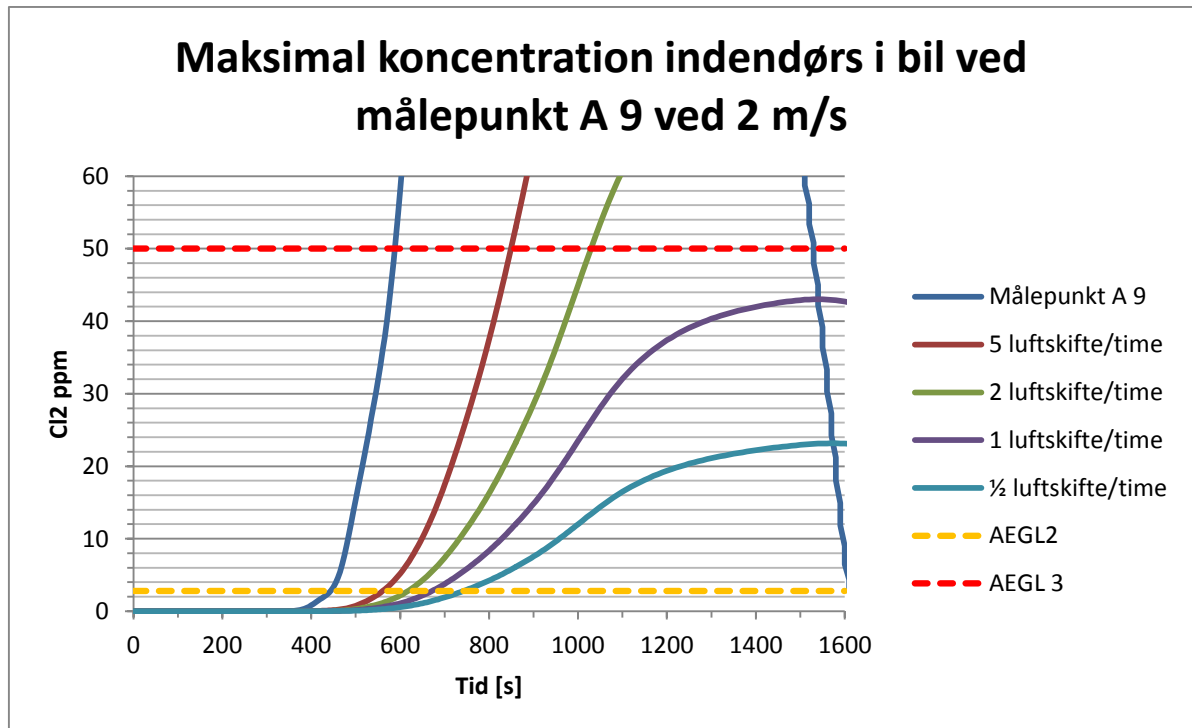
Figur 5-20 For område B ved 2 m/s. Dødelighed af fuldt eksponerede personer og antal minutter disse er udsat for koncentrationer højere end AEGL-3 (uanset om det er 28 ppm eller 50 ppm), simulering 39.

Ved lav vindhastighed (2 m/s) eksponeres opmarcharealets nordvest-side for AEGL-3-niveau ca. 10 minutter efter udslippet (se figur 5-5). Koncentrationen af klor på opmarcharealet falder til under AEGL-3 niveau ca. 26 minutter efter udslippet. AEGL-3-niveau af klorkoncentrationen optræder altså på dele af opmarcharealet i op til 16 minutter.

Udviklingen af den indendørs koncentration i en bil (se afsnit 4.7) på det værste målepunkt (nr. 9) ved forskellige luftskifte per time er beregnet (se figur 5-21 og figur 5-22 for 2 m/s). Sikkert ophold i en bil ved lav vind (2 m/s) beror på, at bilens ventilation stoppes, så snart klorlugten optræder inde i bilen. Beregningen for det justerede layout angiver de samme tendenser for 2 m/s i forhold til maksimal koncentration indendørs i bil som det tidligere layout.

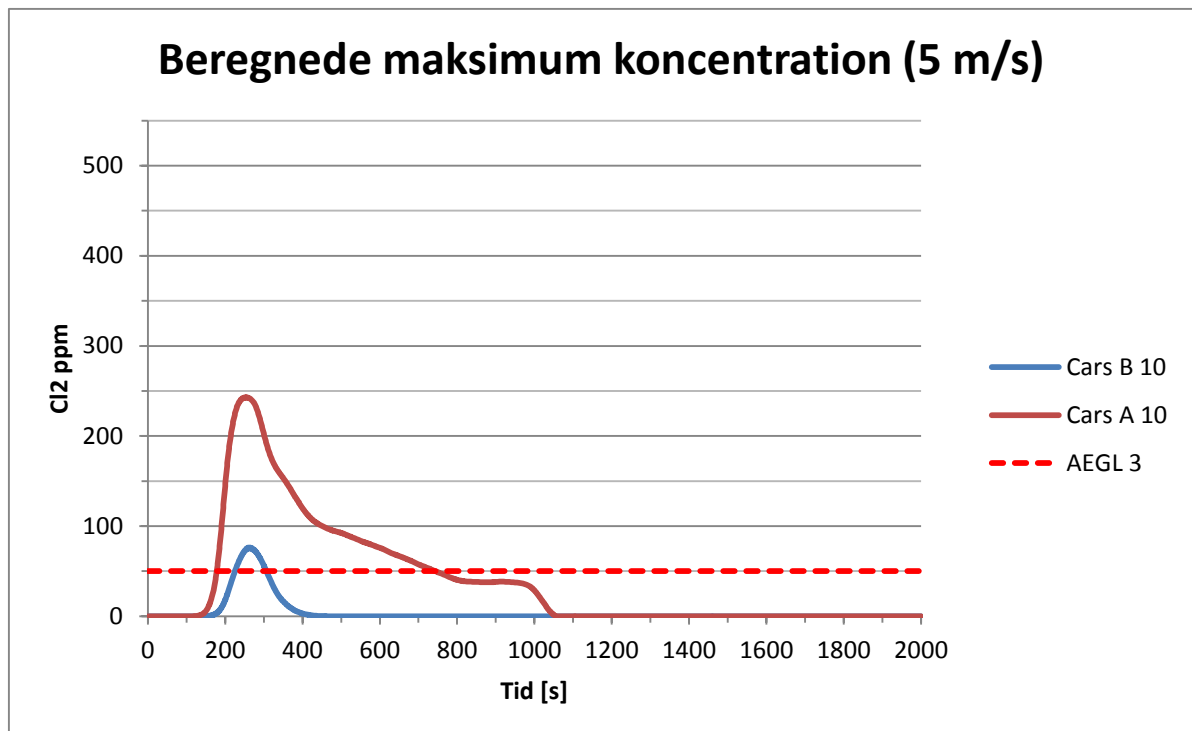


Figur 5-21 Beregnet indendørs koncentration i en bil ved målepunkt 9 i område A ved 2 m/s ved forskellige luftskifte per time i bilen, simulering 39.



Figur 5-22 (figur 5-21 med anden skala) Beregnet indendørs koncentration i en bil ved målepunkt 9 i område A ved 2 m/s ved forskellige luftskifte per time i bilen, simulering 39.

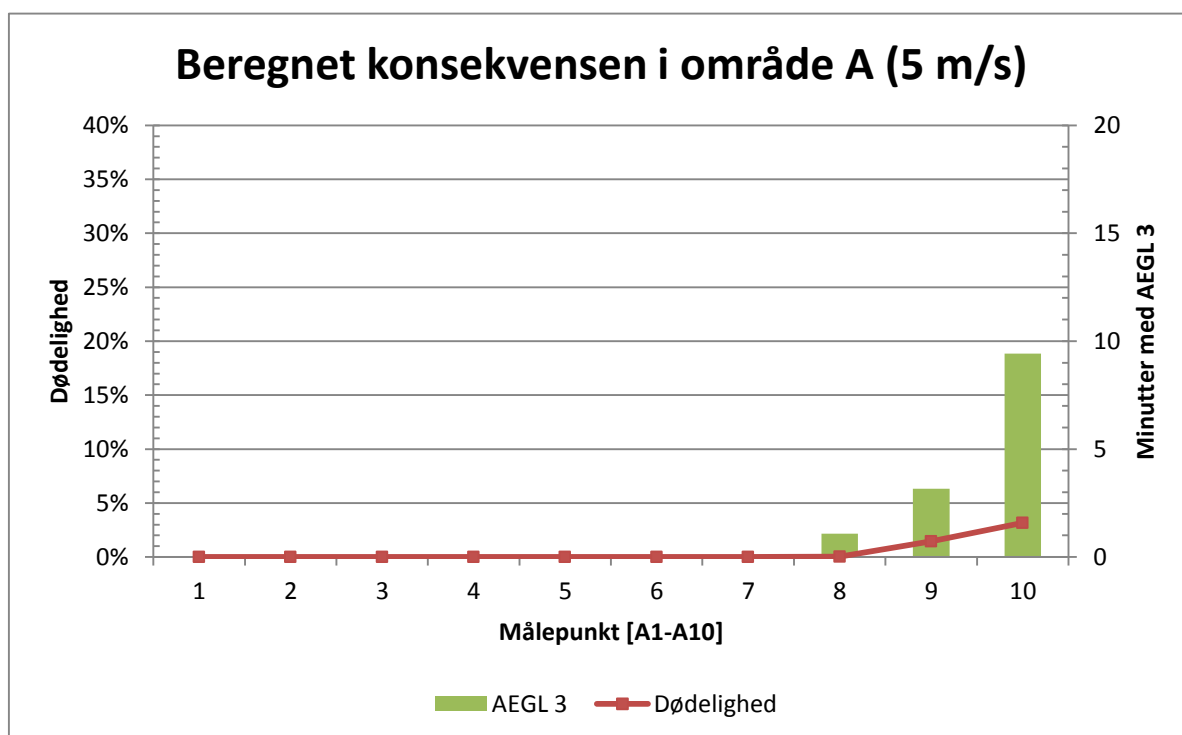
De to mest eksponerede målepunkter i måleområde A og måleområde B er angivet på figur 5-23 for 5 m/s. Det kan ses, at koncentrationen i en periode er højere end AEGL-3.



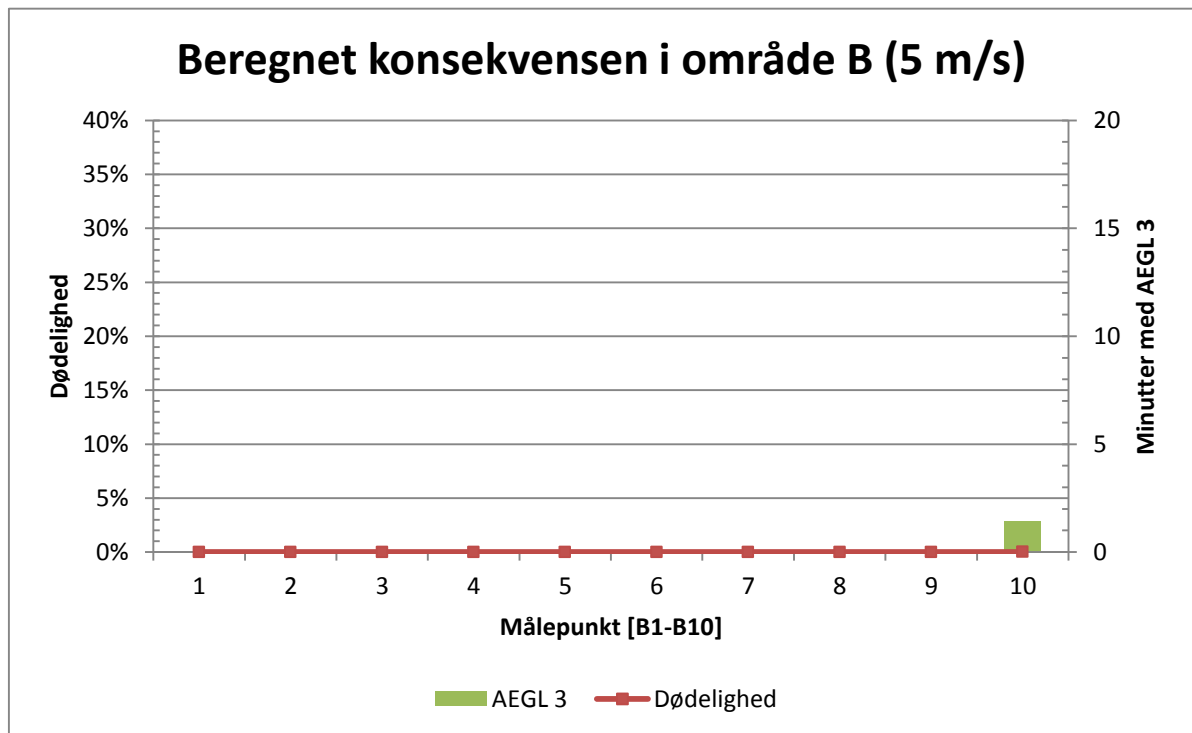
Figur 5-23 Koncentrationen over tid i målepunkt 10 i område A og målepunkt 10 i område B ved 2 m/s, simulering 40.

For målepunkterne i område A og i område B (se figur 4-9) er der beregnet dødelighed for fuldt eksponerede personer som funktion af antal minutter, disse er udsat for koncentrationer højere end AEGL-3 (uanset om det er 28 ppm [30 minutters eksponering] eller 50 ppm [10 minutters eksponering]). Dødeligheden angiver hvor stor en andel af personer i målepunktet, der forventes at dø. Dødeligheden er beregnet som en akkumulering af eksponeringen, hvilket betyder, at påvirkningen af klor er summeret over tid for personer i det givne område og ikke bestemt i forhold til en specifik koncentrationsgrænse (som eksempelvis AEGL-3). Ved analysen af simulering 24 og 25 er det tydeligt, at dødeligheden og AEGL-3 eksponeringen falder betydeligt ved en højere vindstyrke.

Resultaterne for 5 m/s er vist i figur 5-24 for område A og figur 5-25 for område B. De grønne søjler viser, hvor længe koncentrationen er over AEGL-3 i det pågældende målepunkt, og de røde linjer viser dødeligheden (hvor stor en andel af personer i målepunktet, der forventes at dø i tilfælde af klorudslip ved 5 m/s). I det mest eksponerede målepunkt for det tidligere layout (se figur 5-8) er dødeligheden beregnet til ca. 5,0 % ved 5 m/s og med det justerede layout (hvor opmarcharealer, og dermed de nye målepunkter, er flyttet længere bort fra udslipspunktet), er dødeligheden beregnet til ca. 3,2 %. Antallet af minutter med AEGL-3-eksponering er nærmest uændret på 9-10 minutter for de mest eksponerede målepunkter.



Figur 5-24 For område A ved 5 m/s. Dødelighed af fuldt eksponerede personer og antal minutter disse er udsat for koncentrationer højere end AEGL-3 (uanset om det er 28 ppm eller 50 ppm), simulering 40.



Figur 5-25 For område B ved 5 m/s. Dødelighed af fuldt eksponerede personer og antal minutter disse er udsat for koncentrationer højere end AEGL-3 (uanset om det er 28 ppm eller 50 ppm), simulering 40.

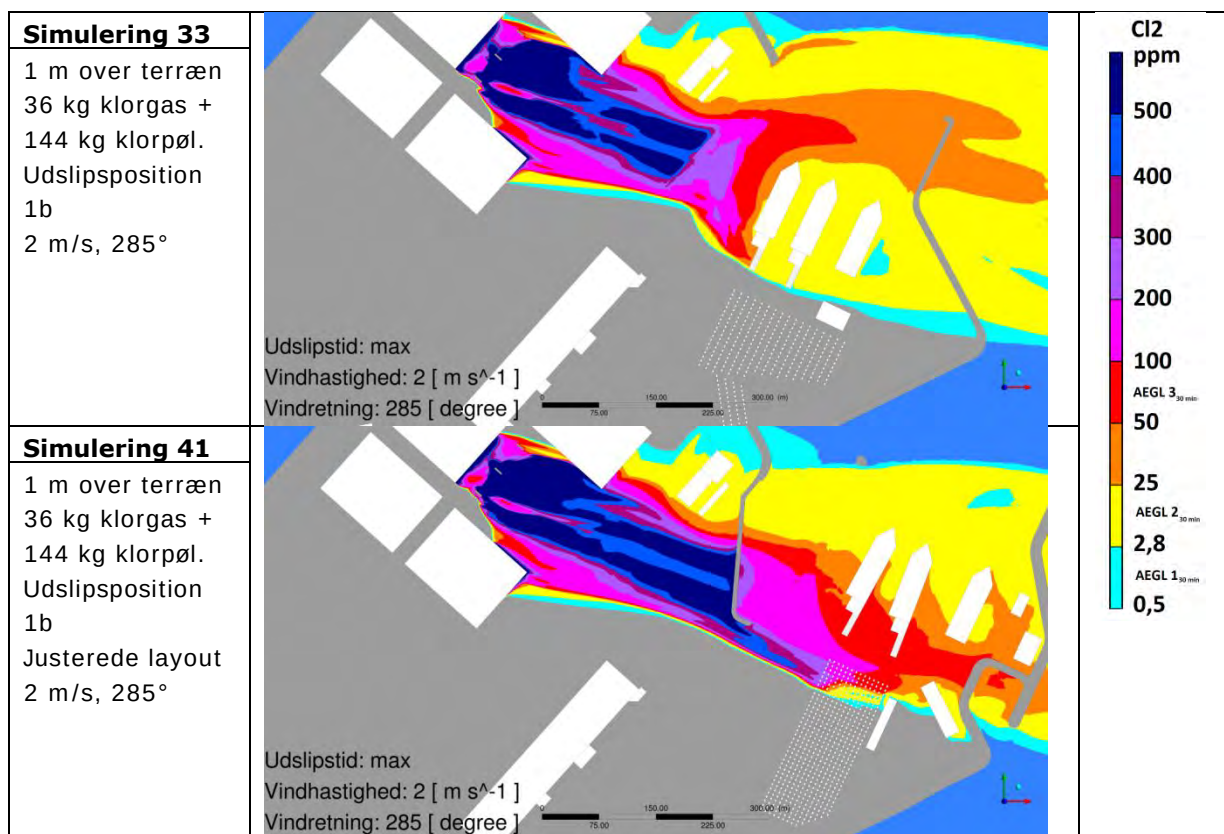
Udviklingen i den indendørs koncentration i en bil på det værste målepunkt ved forskellige luftskifte per time for en vindstyrke på 5 m/s er beregnet. Da resultaterne i praksis er de samme for det justerede og det tidligere layout (se figur 5-11 og figur 5-12), er disse ikke gengivet.

5.5.2 Konsekvensen i en vinkel på -30° fra 315° (simulering 40-41)

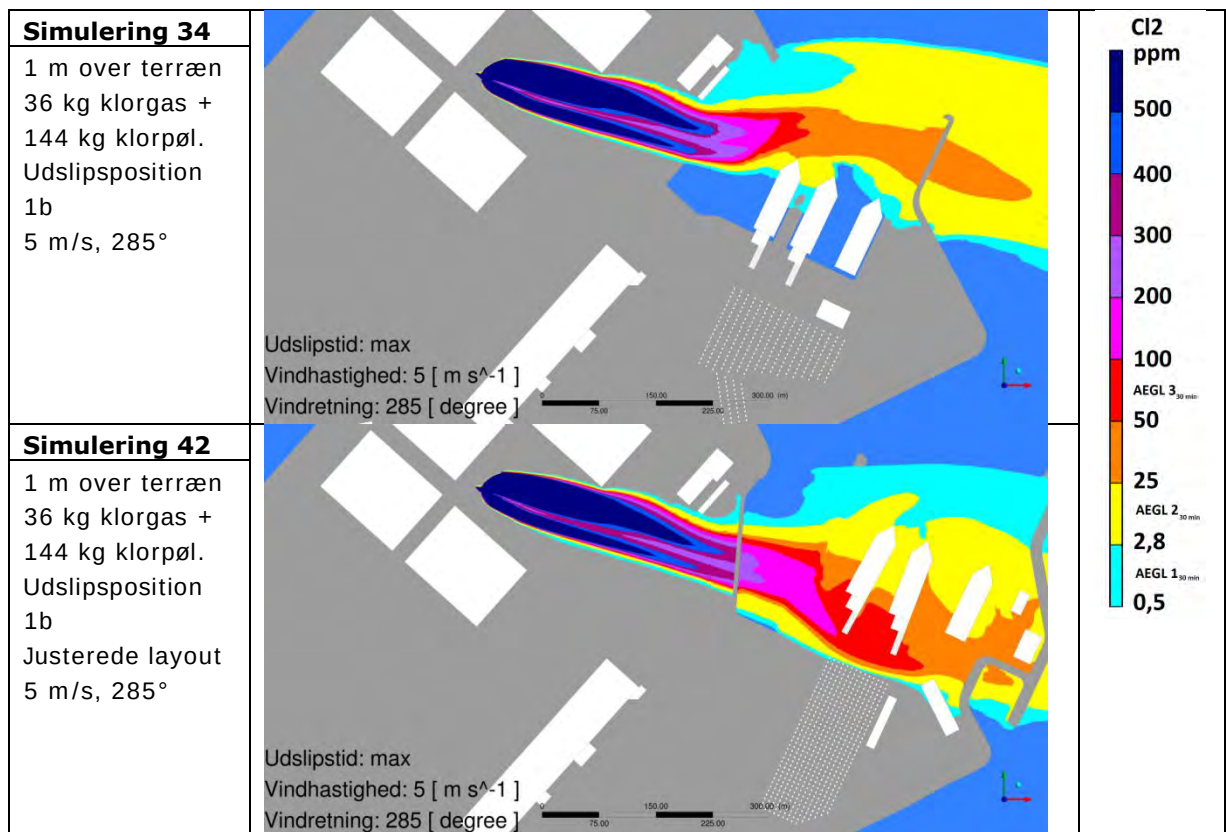
Simulering 41 og 42 i bilag C viser spredningen ved henholdsvis 2 m/s og 5 m/s nord om opmarcharealet (285°). I tabel 5-16 er vist CFD resultaterne for de 2 forskellige layout for en vindstyrke på 2 m/s og i tabel 5-17 for en vindstyrke på 5 m/s.

I henhold til simulering 33 og 34 blev opmarcharealet ikke påvirket ved det tidligere layout. I simuleringer med det justerede layout, hvor formen og placeringen af opmarcharealet er ændret, viser CFD simuleringerne, at den nordlige ende af opmarcharealet bliver påvirket ved en vindretning på 285°. Samtidig bliver klorgasfanen i højere grad dirigeret syd om skibene (når disse er i havn), hvilket har betydning for disse nordligt placerede biler. Ved udslip uden skibe vil klorgasfanen blive mindre opblandet og mindre spredt og dermed følge vindretningen mere direkte, dog medvirker kajkanten til, at de nordligste biler stadig vil være indenfor konsekvenszonen.

Simuleringen af klorgasfanens udbredelse ved 5 m/s (simulering 41) viser, at opmarcharealet næsten går fri. Dette sammenholdt med klorgasfanens udbredelse ved 11 m/s ved 285° ved simulering 35 viser, at risikoen ved 11 m/s reelt ikke har noget vægt i det samlede risikobillede. Det er dermed ikke nødvendigt at genberegne 11 m/s med det justerede layout. Samlet betyder det, at risikoen for opmarcharealet medtages korrekt ved at indregne risikoen (stedbunden og samfundsmæssig risiko) fra en vindretning på 2 m/s og 5 m/s, samt at anvende den tidligere simulering 35 for 11 m/s.



Tabel 5-16 Simulering 41 sammenholdt med simulering 33.



Tabel 5-17 Simulering 42 sammenholdt med simulering 34.

5.5.3 Konsekvensen i en vinkel på +30° fra 315°

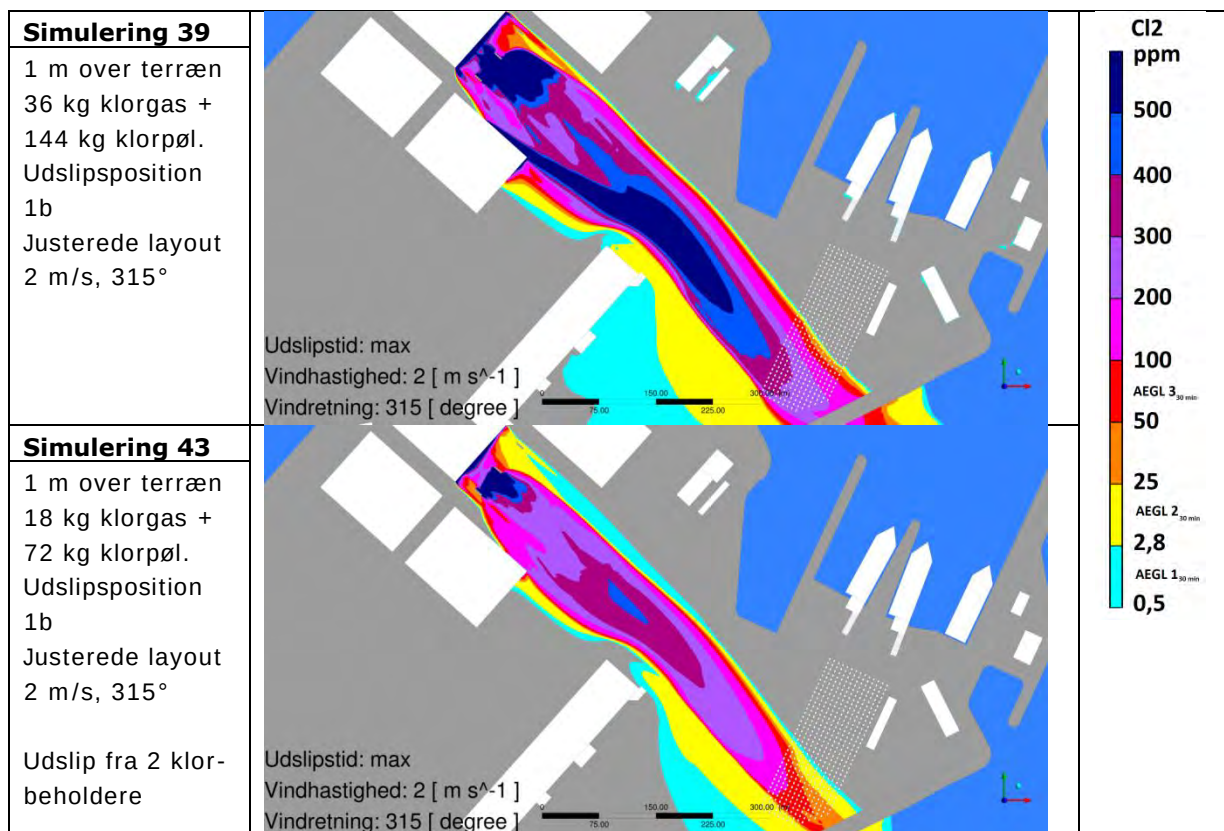
Der er vurderet ud fra ændringerne ved overgang fra tidligere layout til justeret layout for vindretningen 315° (fra simulering 24 til simulering 39 og fra simulering 25 til simulering 40), at klorgasfanens udbredelse i 345° er upåvirket af flytningen af opmarchareal og skibe (simulering 36, 37 og 38), og at når befolkningsgrupperne er tilpasset det justerede layout, vil stedbunden og samfundsmæssig risiko blive beregnet korrekt med de tidligere CFD simuleringer, og disse er dermed ikke nødvendige at gentage.

5.5.4 Konsekvensen af 2 klorbeholdere (simulering 43-44) ved 2 m/s og 5 m/s

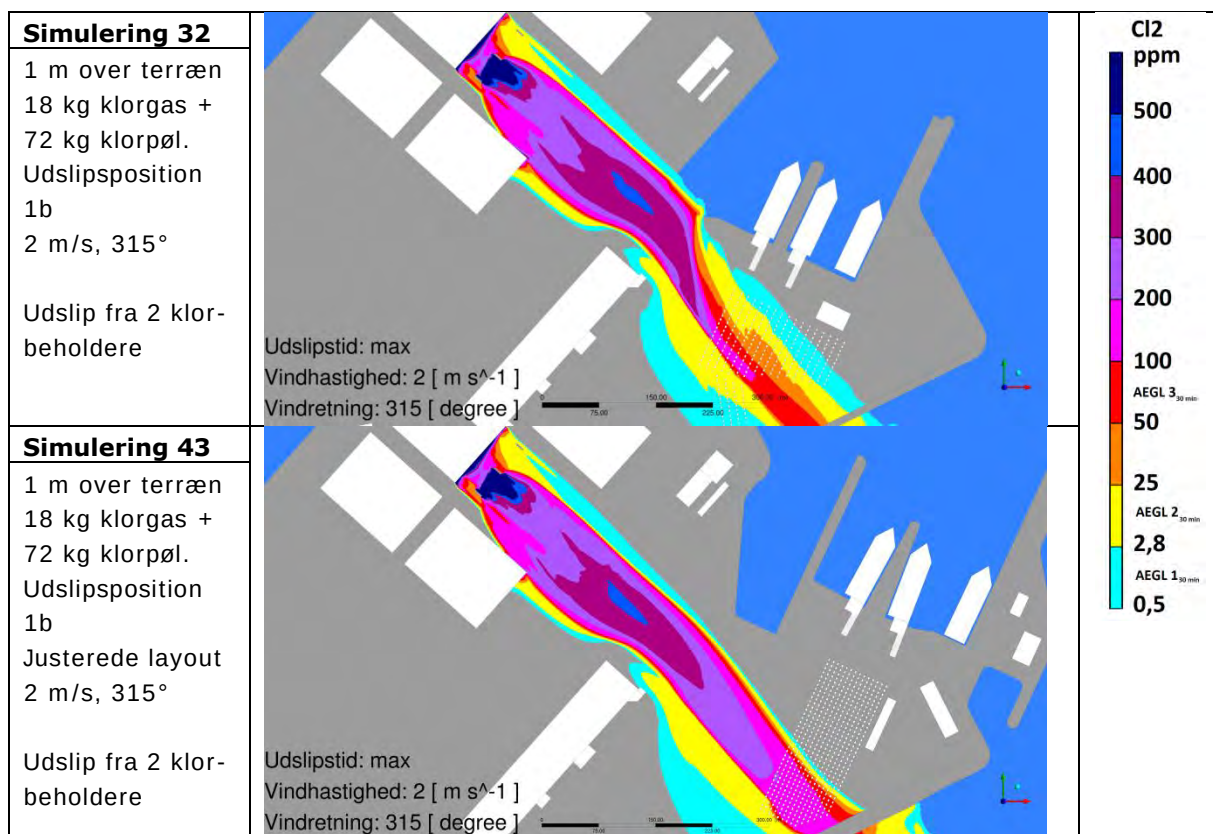
Simulering 43 og 44 i bilag C viser spredningen fra et udslip fra 2 klorbeholdere ved henholdsvis 2 m/s og 5 m/s mod opmarcharealet (315°). I tabel 5-19 er resultatet for 2 klorbeholdere (simulering 32) ved det tidligere layout sammenholdt med resultatet for 2 klorbeholdere (simulering 43) ved det justerede layout.

Resultaterne for den nye simulering for 2 klorbeholdere ved 2 m/s (simulering 43) viser god overensstemmelse med resultaterne for 4 klorbeholdere. Geometrien for det justerede layout giver dog anledning til mindre turbulens og opblanding i forhold til det tidligere layout, hvorved klorkoncentrationen ved en vindstyrke på 2 m/s er højere i opmarcharealet i det justerede layout. Dette gælder også, selvom der tages højde for, at opmarcharealet ligger længere fra udslipskilden.

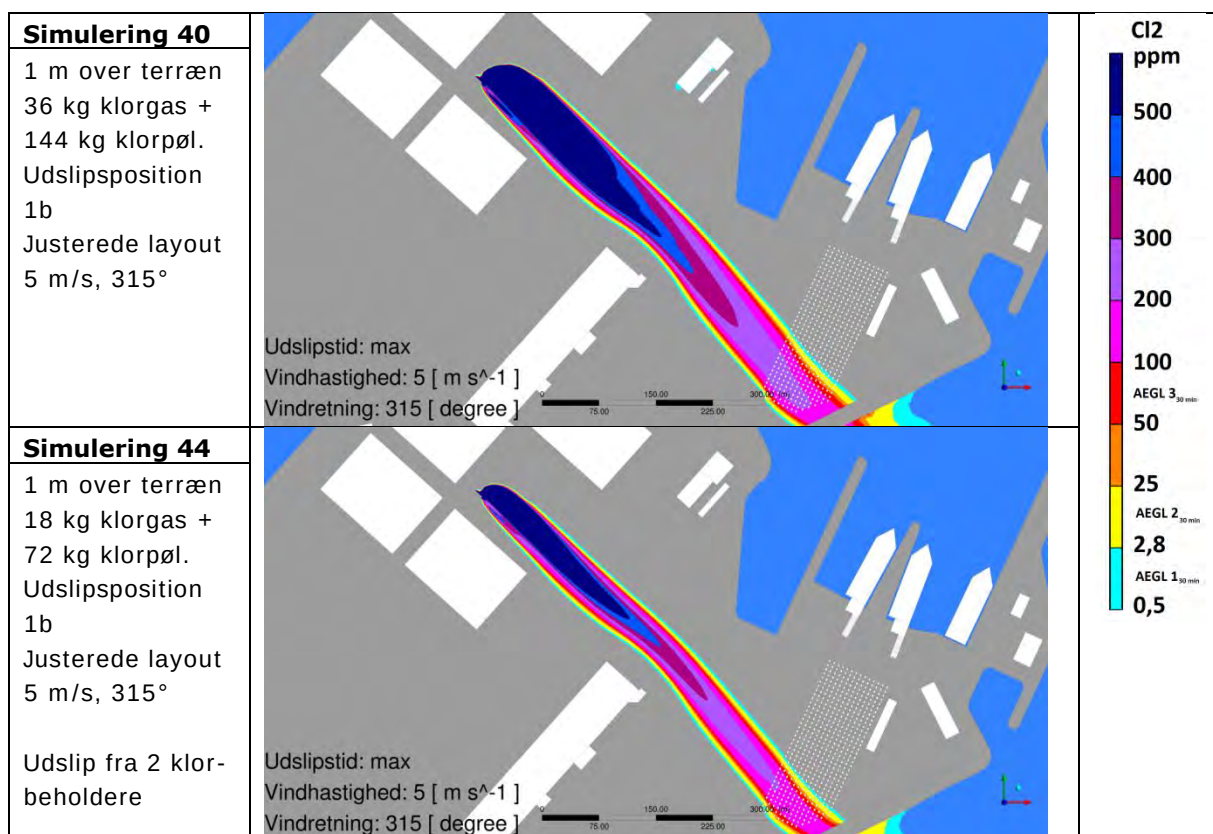
I tabel 5-20 er vist CFD resultaterne ved en vindstyrke på 5 m/s for henholdsvis 4 klorbeholdere (simulering 40) og 2 klorbeholdere (simulering 44) i forhold til geometrien ved det justerede layout. tabel 5-21 viser resultatet for 2 klorbeholdere ved det tidligere layout (simulering 30), sammenholdt med resultatet for 2 klorbeholdere ved det justerede layout (simulering 44). Resultaterne for den nye simulering for 2 klorbeholdere ved en vindstyrke på 5 m/s (simulering 44) viser god overensstemmelse med resultaterne for 4 klorbeholdere og det tidligere layout. I tabel 5-18 er vist CFD resultaterne ved en vindstyrke på 2 m/s for henholdsvis 4 klorbeholdere (simulering 39) og 2 klorbeholdere (simulering 43).



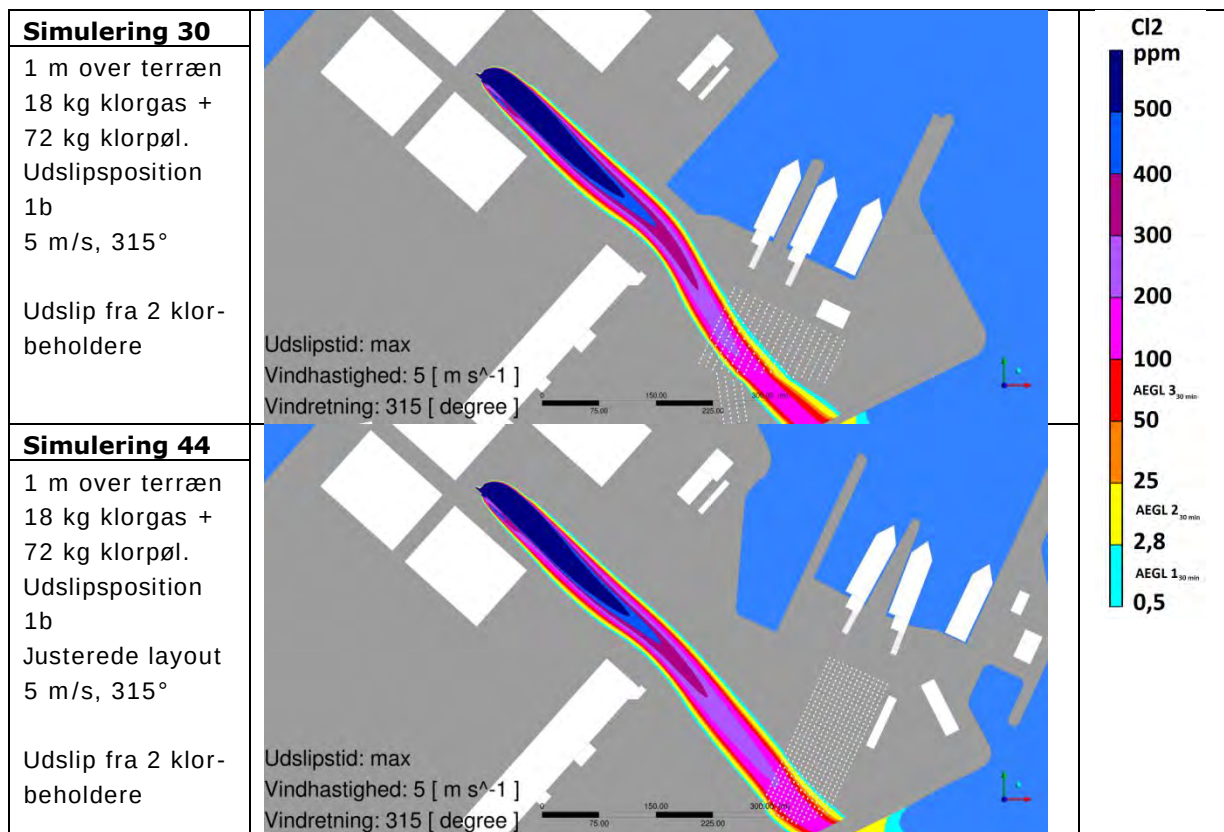
Tabel 5-18 Simuleringer 43 sammenholdt med simulering 39.



Tabel 5-19 Simuleringer 43 sammenholdt med simulering 32.



Tabel 5-20 Simuleringer 44 sammenholdt med simulering 40.



Tabel 5-21 Simuleringer 44 sammenholdt med simulering 30.

5.5.5 Konsekvensen af 1 klorbeholder ved 5 m/s og 2 m/s

Den beregnede dødelighed for udslip fra 2 klorbeholdere ved en vindstyrke på 2 m/s er beregnet til at være 0,2 % for den mest eksponerede bil og til at være 0,7 % ved 5 m/s. Risikobidraget fra 2 klorbeholdere er på få procent ud af det samlede risikobillede, og det er derfor valgt at simuleringen for udslip fra 2 klorbeholdere er repræsentativt for udslip fra både 1 og 2 klorbeholdere.

5.6 AEGL-3 konturer

Summen af ISO konturer for alle vindretningerne fra 285° til 345° (for vindhastigheder på 2 m/s, 5 m/s og 11 m/s) for AEGL-3 er plottet på figur 5-26. Vindstyrken på 2 m/s er dimensionerende for den maksimale konsekvensafstand. Den beregnede konsekvensafstand fra udslipspunktet til AEGL-3 konturen er målt til 930 m i 315°, mens den er målt til 890 m og 590 m for henholdsvis 285° og 345°. Årsagen til den længere afstand til AEGL-3 for 315° er, at beregningen er foretaget konservativt uden objekter i klorgasskyens vej og helt fladt vand (selv en begrænset bølgestruktur på vandet vil reducere udbredelsen af klorgasskyen). De resterende kompasretninger dækkes af PHAST beregninger, og de er ikke medtaget i figur 5-26.



Figur 5-26 Den samlede ISO kontur for AEGL-3 (50 ppm, 10 minutters eksponering) for udslip fra 4 klorbeholdere ved 2 m/s samlet fra vindretningerne 285°, 315° og 345°, simulering 41, 39 og 36. PHAST konsekvensen er ikke medtaget. ISO konturerne for simuleringerne for 41, 39 og 36 er medtaget (for 315° ved simulering 39 er medtaget for summen af vindretningerne 290° til 345°).

6. VURDERING

Vurderingen af risikoen for færgeterminalen er foretaget i forhold til det justerede layout, men er vurderet ud fra samtlige CFD simuleringer, både for det tidligere layout og for det justerede layout.

6.1 Konsekvensvurdering

For færgeterminalen viser både PHAST beregningerne og CFD simuleringerne, at gasspredningen fra et klorudslip er delt op i 2 faser, CFD simuleringerne viser endvidere en 3. fase;

1. Initial fase – klogassen spredtes med vinden imod færgeterminalen, på dette tidspunkt er området upåvirket af klogassen.
2. Passage – koncentrationen af klogas på færgeterminalen er forhøjet, og er sundhedsskadelig eller dødelig ved udendørs ophold.
3. Udskylning (kun CFD simuleringer) – koncentrationen af klogas på færgeterminalen er lav (men ikke 0), mens klogassen bliver skyllet væk fra området med vinden. Klogas-koncentration er ikke sundhedsskadelig på dette tidspunkt.

Effekten af dette ses mest tydeligt på koncentrationskurverne for målepunkterne, f.eks. figur 5-7.

Der er til både PHAST og CFD anvendt en vindrose med 12 vindretninger med hver sin sandsynlighed. Af beregningskapacitetsmæssige årsager er vindstyrkerne begrænset til 2 m/s, 5 m/s og 11 m/s. PHAST beregninger og CFD simuleringerne viser (som forventet), at vindretningen er kritisk. De vindretninger, som vil kunne resultere i en konsekvens, i større eller mindre grad på færgeterminalen, ligger mellem 270° og 345° (samlet 75°). Opmarcharealet har en største koncentration af samtidige personer på færgeterminalen, og de vindretninger som kan resultere i en konsekvens dette opmarcharealet, ligger mellem 285° og 330° (samlet 45°). Det er beregnet, at

hvis vindretningen ligger udenfor disse kritiske retninger vil klorgasfanen glide forbi færgeterminalen og ind over et andet område f.eks. ud over vandet, ind imellem containere, imod havnekontoret, etc.

Endvidere viser PHAST beregningerne og CFD simuleringerne (som forventet), at vindstyrken er kritisk. Hvis vindstyrken er lav (her regnet som 2 m/s), er opblandingen og fortyndingen af klorgassen lav. Resultatet er en langsommere drivende mere koncentreret klorgassky i forhold til højere vindstyrker. Langsommere drivende betyder, at skyen er længere tid om at nå ud til færgeterminalen samt, at skyens opholdstid på færgeterminalen er længere. Hvis vindstyrken er høj (her regnet som 11 m/s), er opblandingen og fortyndingen af klorgassen højere. Resultatet er en hurtigere drivende og mere opblandet klorgassky.

I tilfælde af et udslip af klor på APM Terminals Aarhus fra 1-4 klorbeholdere, med en kritisk vindretning fra nordvest (mellem 300° og 330°), vil op til 200 biler (ved fuld udnyttelse af samtlige rækker, hvilket ikke forventes at forekomme), hver med gennemsnitlig 2 passagerer, dvs. at op til 400 eksponerede personer (med 100 % udendørs ophold), på opmarcharealet kunne blive påvirket (AEGL-3 eller højere koncentration) ved lav vindstyrke (2 m/s). Ved højere vindstyrker falder konsekvensen til påvirkning af ca. 110 biler (220 eksponerede personer) ved 5 m/s og ca. 70 biler (140 eksponerede personer) ved 11 m/s.

De fulde scenarier (fase 1-3) for såvel tidligere som justeret layout fra klorudslippet forekommer til klorkoncentrationen i hele terminalområdet er mindre end AEGL-2, er ca. 27 minutter for lav vindstyrke (2 m/s) og ca. 16 minutter for 5 m/s. Ingen biler er eksponeret i hele scenariets varighed. Den mest udsatte bil er beregnet til at være eksponeret i henholdsvis 16 minutter, 10 minutter og 3 minutter ved henholdsvis 2 m/s, 5 m/s og 11 m/s. Indendørs ophold i bil er sikkert, såfremt ventilationen slukkes og døre og vinduer lukkes. Det er i praksis kun afstand og vind (samt indendørs ophold), som virker konsekvensreducerende i forhold til opmarcharealet.

Ved udendørs eksponering vil personer være fuldt udsatte for effekten af klorgassen (ved det aktuelle koncentrationsniveau), men ville kunne søge indendørs (i bygning, bil, etc.) og være beskyttet. Niveauet af beskyttelsen indendørs beror på mængden af klor, som tilføres igennem ventilation fra omgivelserne. Til simulering af dette, er opbygget en model af en bil (kunne også være en bygning) - se figur 4-10. Modellen tager højde for variationen i koncentrationen udenfor bilen samt ventilationen (blæseren) i bilen. Beregningen viser en betydelig beskyttelse imod den udendørs koncentration, samt at et lavt blæserniveau yder en betydelig forsinkelse i forhold til et højt niveau. Modellen viser også den langsomme udskylning af klorgas fra bilen efter, at gasskyen er passeret. Modellens resultat passer godt overens med almindelige bilisters observation, når der passerer en mark, hvor der spredes gylle, hvor lugten kommer ind i bilen og er svær at bortventilere igen. Hvis blæseren stoppes, vil koncentrationen inde i bilen forblive tilnærmelsesvis uændret, hvorved bilens indre er vurderet til at være et sikkert opholdssted, hvis vinduer og døre holdes lukket og ventilationen stoppes.

6.2 Risiko for dominoeffekt

Der er i dette afsnit vurderet på risikoen for dominoeffekt for de eksisterende forhold med fokus på de dominoeffekter, som måtte have betydning for den justerede placering af færgeterminalen.

Da der på færgerne reelt ikke transporteres farligt gods, og der dermed ikke er farligt gods på opmarcharealet samt, at oplaget af brændstof til færgerne er af begrænset størrelse, vurderes færgeterminalen ikke at kunne give anledning til uheld på færgeterminalen og ligeledes, at der dermed ikke kan forekomme reelle dominoeffekter til oplag på færgeterminalen.

Trafik- og godshavn, som indgår i projektet, er ikke inddraget i vurderingen af domino, da der ikke foreligger detaljeret kendskab til de aktiviteter, som denne drift vil afføde. I forlængelse af kommuneplanretningslinjen for containerterminalen, er det forudsat, at der på trafik- og godshavnen ikke håndteres farligt gods af typer eller mængder, som kan give anledning til øget risiko for dominoeffekt.

En påvirkning af færgeterminalen med klorgas vil primært have betydning for, hvordan de forskellige individer responderes. I tabel 6-1 er listet de basale handlemuligheder for eksponerede individer. Hvis der vælges at køre bort, udsættes individet og andre individer for risikoen for kollision (køretøj/køretøj, køretøj/objekt samt køretøj/person) eller risikoen for at køre ud over kajkant.

Position	Basal handlemulighed	Forklaring
I eller ved stillestående køretøjer	Flugt	Løbe udendørs igennem klorgasskyen.
	Indeslutning	Lukke sig inde i køretøjet med lukkede vinduer og slukket ventilation (det sikreste valg).
	Køre bort	Starter køretøjet og forsøge at forlade området.
I køretøj i bevægelse	Fortsæt kørsel (ventilation tændt)	Normal kørsel som om intet var hændt.
	Fortsæt kørsel (ventilation slukkes)	Normal kørsel som om intet var hændt, dog slukkes ventilationen (det næst sikreste valg).
	Køre bort	Forsøge at forlade området ved at vende.
	Standse (ventilation tændt)	Stoppe køretøjet, dette kunne resultere i flugt udendørs igennem klorgasskyen.
	Standse (ventilation slukkes)	Stoppe køretøjet, dog slukkes ventilationen (det sikreste valg).
Udendørs i det åbne (gående, ansatte, vandrere)	Flugt	Løbe udendørs igennem klorgasskyen.
	Indeslutning	Søge imod indendørs forhold (bygning, køretøj, etc.) (det sikreste valg).
	Hoppe i vandet	Forsøge at undgå eksponeringen ved at hoppe i vandet, dette øger eksponeringen da vejtrækning øges og vil foregå i den højeste koncentration af klorgas.

Tabel 6-1 Basale handlemuligheder for personer eksponeret for klorgas på færgeterminalen.

Risikoen for domino består af trafikale konsekvenser og deraf afledte konsekvenser. Da der reelt ikke transporteres farligt gods med færgerne, vil konsekvenserne primært være materielskade, personskade og evt. brand.

6.3 Risikovurdering

Sandsynligheden for et udslip af klor, som er beregnet i sikkerhedsrapporten for APM Terminals Aarhus, fremgår af tabel 6-2. Sandsynligheden for de 4 klorbeholdere er repræsentativ for 3 – 4 beholderne, men da udslippet er størst ved 4 beholdere er udslipsmængden fra denne benyttet.

Antal klorbeholdere	Sandsynlighed [pr. år]	Returperiode [år]
1	$6,80 \times 10^{-5}$	~15.000
2	$5,10 \times 10^{-6}$	~200.000
4 (og 3 beholdere)	$1,70 \times 10^{-6}$	~600.000

Tabel 6-2 Uheldssandsynligheden for klorudslip på APM Terminals Aarhus.

Sandsynligheden for at omkomme ved udslippet af klor under ophold på opmarcharealet, ved udendørs ophold i det værst tænkelige punkt, uden selvevakuering (forbliver udendørs i samme position under hele scenariets varighed), når vindstyrke og vindretning (ca. 11 %) tages med i betragtningen og sandsynligheden for at overleve scenariet (75 % - 100 % overlevelse alt efter forholdene), er beregnet til ca. $1,8 \times 10^{-8}$ pr. år. Det er beregnet, at hvis den pågældende passager holdt på den værst tænkelige plads i mere end 56 millioner år, ville vedkommende omkomme af uheldet. Sandsynligheden for at omkomme i forbindelse med 30 minutters ventetid (inden færgeafgang) på opmarcharealet er beregnet til at være maksimalt ca. 1×10^{-12} pr. år [= 1 gang pr. 1.000 milliarder år] pr. gang, der ventes i 30 minutter. Hvis et individ tager færgen 2 gang hver dag (230 dage pr. år) og venter 30 minutter hver gang, er risikoen beregnet til ca. $2,3 \times 10^{-10}$ pr. år [= 1 gang pr. 4,3 milliard år].

Sandsynligheden for at omkomme i trafikken ved en køretur på 113 km svarende til turen fra Færgelejet på Sjællands Odde til Rådhuspladsen i København, er $4,09 \times 10^{-7}$ pr. år pr. køretur. Denne sandsynlighed sammenlignes med sandsynligheden for at omkomme under 30 minutters ventetid på opmarcharealet (1×10^{-12} pr. år pr. gang). Risikoen er dermed omkring 400.000 gange højere for at omkomme i trafikken i forbindelse med kørsel fra Færgelejet på Sjællands Odde til Rådhuspladsen, end ved et udslip af klor fra APM Terminals Aarhus, hvis man opholder sig udendørs (herunder i bil med åbent vindue) på færgeterminalen og venter 30 minutter.

Til perspektivering af disse risikoacceptkriterier præsenteres i tabel 6-3 nogle typiske risici som personer udsættes for i samfundet.

Risiko type	Risiko niveau (dødsfald)	Returperiode [år]	Kilde
Ikke smitsomme sygdomme (DK 2004)	$2,93 \times 10^{-3}$ pr. år	341	Ref. /7/
Smitsomme sygdomme (DK 2004)	$3,99 \times 10^{-4}$ pr. år	2.506	Ref. /7/
Trafik (DK 2011)	$3,86 \times 10^{-4}$ pr. år	2.591	Ref. /5/
Forgiftning (DK 2004)	$3,9 \times 10^{-5}$ pr. år	25.641	Ref. /7/
Brand (DK 2004)	$1,2 \times 10^{-5}$ pr. år	83.333	Ref. /7/
Almindelige arbejdsulykker	$1,14 \times 10^{-5}$ pr. år	87.719	Ref. /6/
Flytrafik (verdensplan, 1993-2002)	$5,4 \times 10^{-7}$ pr. år	1.851.852	
Lyn, direkte nedslag (DK)	ca. 9×10^{-8} pr. år	11.111.111	
London Maraton (ekskl. træning op til)	$1,5 \times 10^{-5}$ pr. deltagelse		

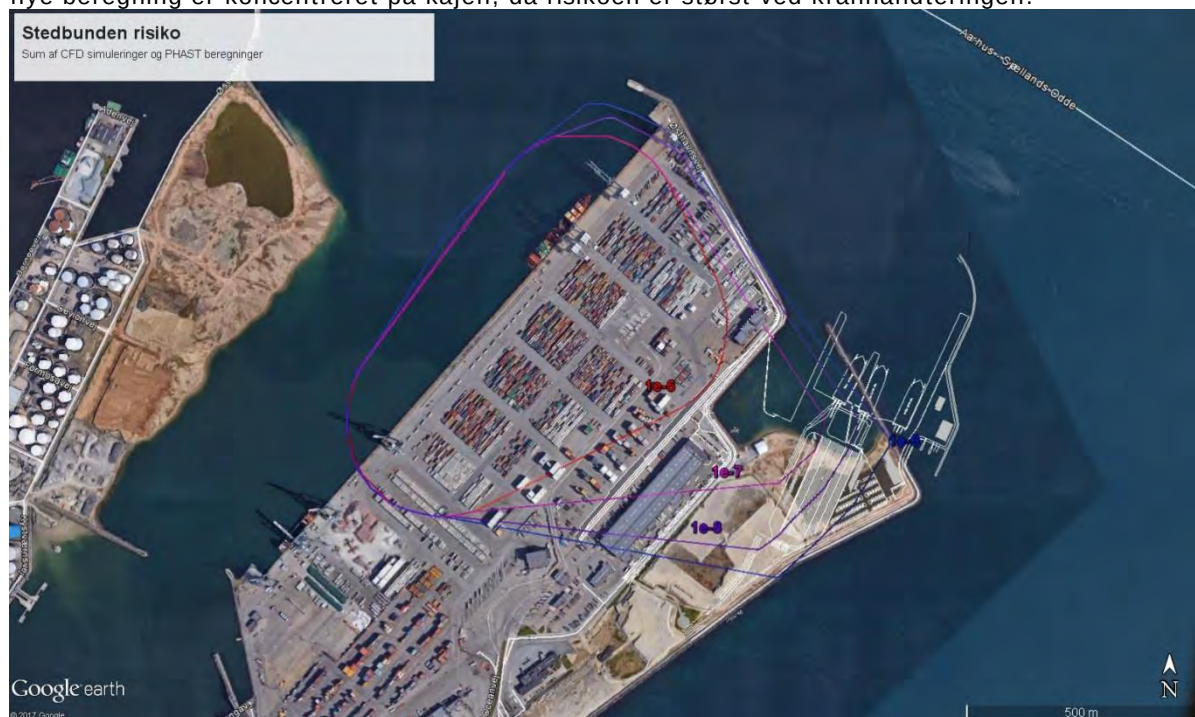
Tabel 6-3 Risiko niveau for forskellige (frivillige) samfundsrelaterede risiko typer, som individet udsættes for.

6.4 Stedbunden risiko og samfundsrisiko

For at vurdere risikoen i forbindelse med ændring af plangrundlaget til at inkludere en færgeterminal, er det nødvendigt at beregne samfundsrisikobidraget fra ændringen. I den forbindelse beregnes den stedbundne risiko normalt også og hertil kommer, at Miljøstyrelsen har ønsket den korrigerede stedbundne risiko angivet i tillæg til samfundsrisikoen.

Summen af scenarier beregnet i CFD for 3 vindretninger samt scenarier beregnet i PHAST er anvendt til beregningen af den stedbundne risiko. Alle beregninger er baseret på sikkerhedsrapporten for APM Terminals Aarhus. I forhold til tidligere, er sandsynlighederne diskreteret yderligere i forhold til tidligere beregninger, da risikoen for de forskellige scenarier er størst ved kranhåndteringer på kajen. Sandsynlighederne for de enkelte uheldsscenarier er de samme som i tidligere beregninger, men der er justeret på sandsynlighederne for, hvor uheldene kan optræde, da risikoen er størst ved kranhåndteringen ved kaj. Den beregnede stedbundne risiko er vist på figur 6-1. Til kontrol af beregningen er den beregnede stedbundne risiko ned til 1×10^{-13} sammen med beregningsnettet angivet på figur 6-2.

Den stedbundne risiko 1×10^{-6} er holdt indenfor hegnet for APM Terminals Aarhus, mens færgeterminalen er dækket af en stedbunden risiko på omkring 1×10^{-7} og lavere, risikoen ved den nye beregning er koncentreret på kajen, da risikoen er størst ved kranhåndteringen.



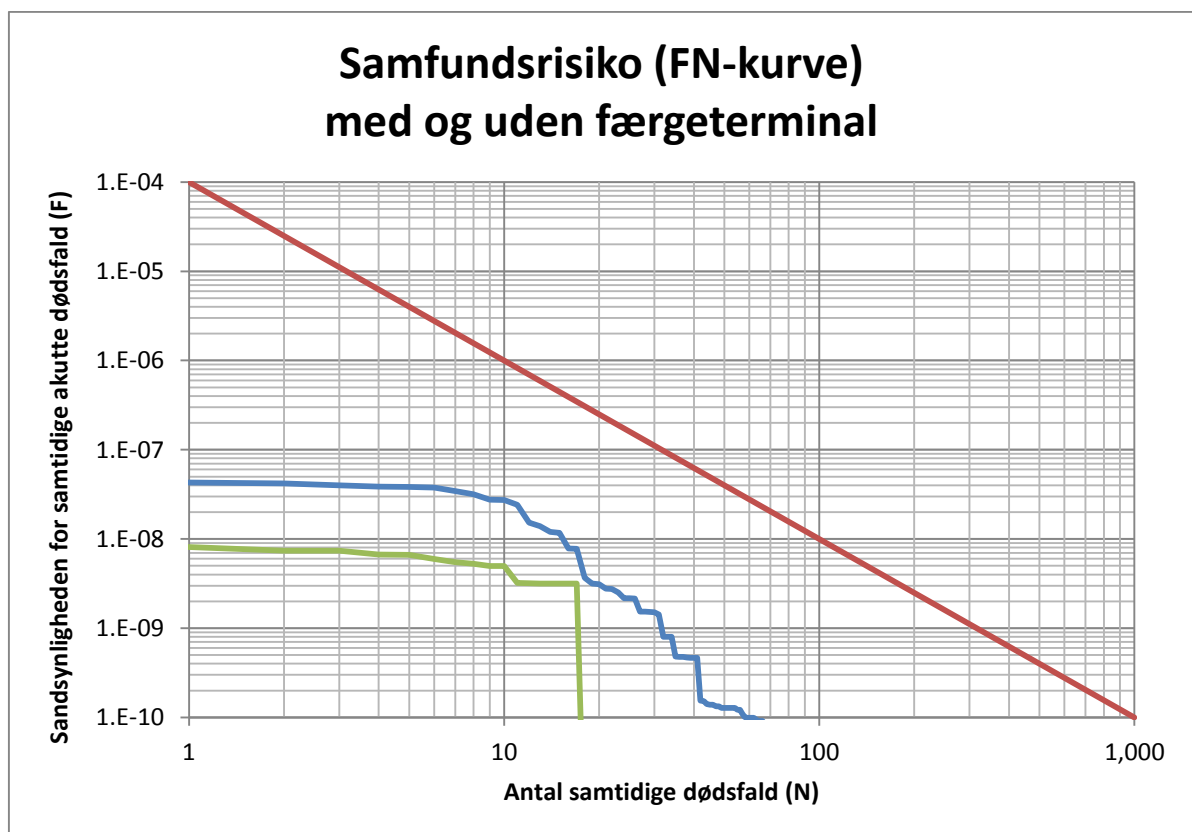
Figur 6-1 Stedbunden risiko beregnet som en sum af CFD simuleringer og PHAST beregninger.



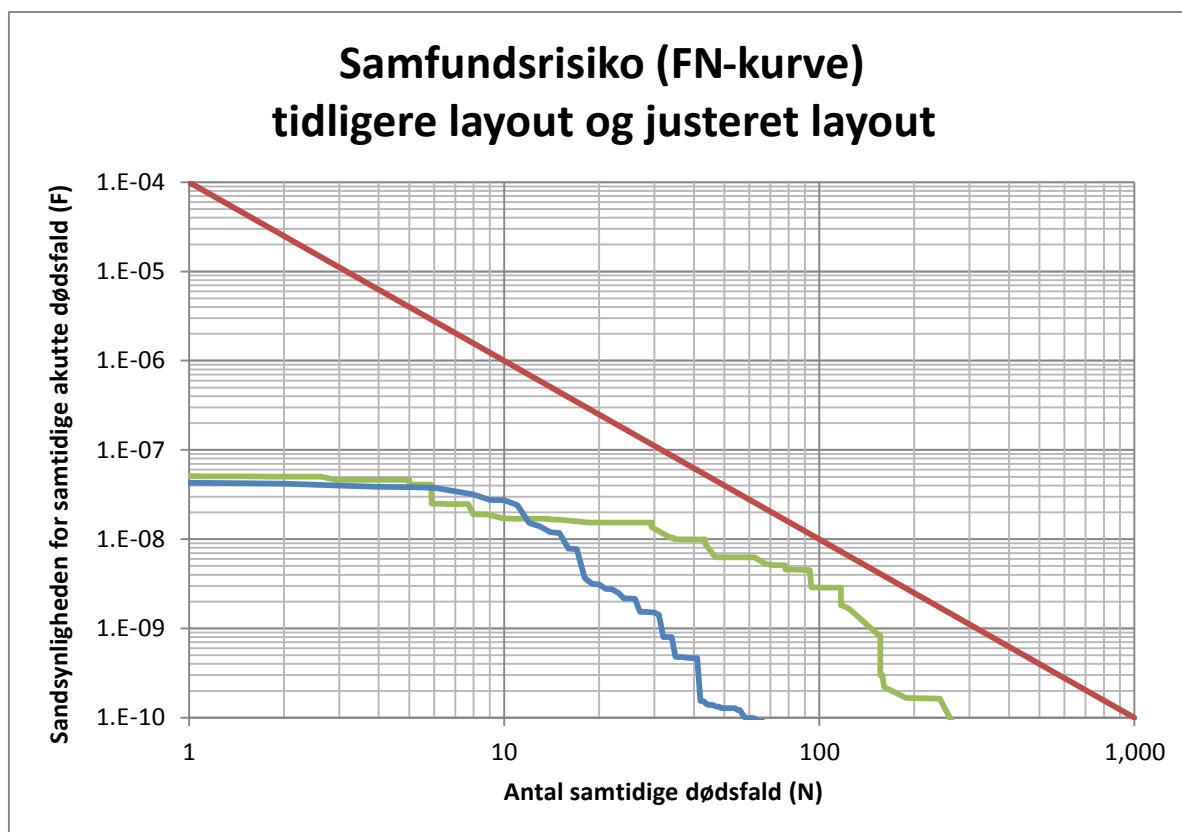
Figur 6-2 Stedbunden risiko beregnet som en sum af CFD simuleringer og PHAST beregninger. Selve beregningsfelterne er medtaget og ISO-kurverne ned til 1×10^{-13} er angivet (ISO-kurverne for 1×10^{-13} og 1×10^{-15} er sammenfaldende med ISO-kurven for 1×10^{-13}).

På baggrund af befolkningsdataene i bilag D er den samfundsmæssige risiko beregnet (se figur 6-3) og sammenholdt med acceptkriteriet fra Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen Nr. 8 2008 (ref. /10/). Beregningen viser, at den samfundsmæssige risiko er acceptabel ved den justerede placering af færgeterminalen. Samtidig viser beregningen, at bidraget til samfundsmæssige risici primært er afstedkommet af færgeterminalens aktiviteter. figur 6-4 viser ændringen i samfundsrisikoen ved justering af layout herunder, at opmarcharealet flyttes længere bort fra udslipsskilden. Beregningen viser et betydeligt fald i risikobidraget fra færgeterminalens drift ved det justerede layout.

Afstanden mellem den resulterende samfundsrisiko (ved det justerede layout) og acceptkriteriet viser, at der ikke er nogen reel grænse for vækst eller driftsjusteringer for færgeterminalen. Med mindre en ændring af driften giver en betydelig ændring i layout, eller at større befolkningsgrupper flyttes tættere på udslipsskilden eller etableres tættere på udslipsskilden. Det betyder, at der i samfundsrisikoen er luft op til acceptkriteriet til, at justeringer i layout af opmarcharealet og justeringer i sejloplanen ikke giver anledning til en revurdering af risikobilledet.



Figur 6-3 Den Samfundsmæssige risiko beregnet som en sum af CFD simuleringer og PHAST beregninger. Den blå kurve angiver den samfundsmæssige risiko inkl. færgeterminalens bidrag og den grønne kurve angiver den samfundsmæssige risiko uden færgeterminalens bidrag.



Figur 6-4 Den Samfundsmæssige risiko beregnet som en sum af CFD simuleringer og PHAST beregninger. Den blå kurve angiver den samfundsmæssige risiko baseret på det justerede layout og den grønne kurve angiver den samfundsmæssige risiko baseret på det tidligere layout.

6.5 Vurdering i forhold til de 2 kriterier

Risikoen, opgjort som samfundsrisiko, skal være acceptabel (i henhold til Miljøstyrelsens parksis på risikoområdet, med udgangspunkt i Miljøprojekt 112).

Samfundsrisikoen beregnes ved konservativt at beregne antallet af dødsfald som resultat af hvert scenarie for hver en vindretning og hver en vindstyrke. Scenarierne er identificeret i APM Terminals Aarhus' sikkerhedsrapport og er spredt ud på et mindre antal punkter (f.eks. kaj, opmagasineringsplads, udvekslingsområde).

Der er udarbejdet et kort med placering af forskellige persongrupper udendørs eksponering (f.eks. medarbejdere hos nabovirksomheder, personer på promenaden, småbådssejlere, biler på opmarcharealet på færgeterminalen, etc.) - se bilag D. Disse beregninger kombineres og resultatet er en FN-kurve (se figur 6-3), som angiver sandsynligheden for ét eller flere samtidige akutte dødsfald, for to eller flere samtidige akutte dødsfald, for tre eller flere... Sandsynligheden for mere end 58 samtidige akutte dødsfald er lavere end én gang pr. 10 milliarder år svarende til 1×10^{-10} (= 1.E-10 på figur 6-3 og figur 6-4), og vises derfor ikke. Som det ses af FN-kurven (se figur 6-3), ligger samfundsrisikoen betydeligt under acceptkriteriet.

Det kommunale redningsberedskab skal kunne yde en forsvarlig indsats mod skader på personer, ejendom og miljøet ved ulykker og katastrofer... (som angivet i beredskabslovgivningen, LBK nr 660 af 10/06/2009).

Det kommunale beredskabs mulighed for at yde en forsvarlig indsats er afhængig af beredskabs mulighed for at tilgå området under og efter en farlig situation. I forbindelse med et klorudslip, er det tvivlsomt, om beredskabet har mulighed for at nå frem til færgeterminalen i den initi-

ale fase (som har en varighed på 1-10 minutter), da beredskabet først skal tilkaldes og dernæst mobiliseres og køre ud til terminalen.

Mens klorskyen passerer, har beredskabet mulighed for (udenfor farezonen) at dirigere (med megafoner eller færgeterminalens højtaleralæg og/eller informationsskærme) eksponerede personer – (gå ind i bilerne, luk vinduer og døre og sluk for ventilationen) – da klorskyen er beregnet til at have passeret efter maksimum 12 minutter (målt med AEGL-3-niveau). Herefter kan beredskabet bistå tilskadekomne på området.

Ved højere vindstyrker er scenariet hurtigere passeret, ca. 15 minutter (initialfase og passage) ved 5 m/s og ca. 5 minutter ved 11 m/s. Det kommunale beredskabs mulighed for at yde en forsvarlig indsats er dermed ikke hindret af færgeterminalens placering, kun af scenarietypen. Det kommunale beredskabs mulighed for at yde en forsvarlig indsats er dermed vurderet til at være acceptabel.

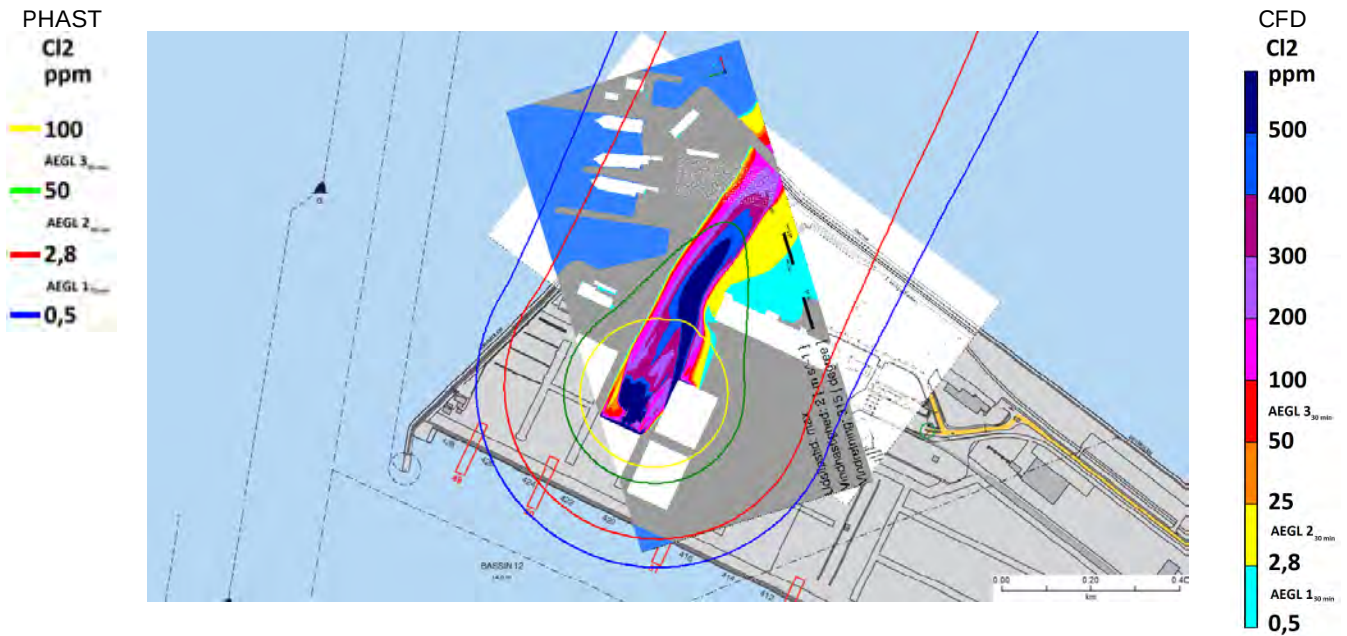
7. SAMMENLIGNING MELLEM CFD SIMULERINGER OG PHAST BEREKNINGER

De oprindelige beregninger i forbindelse med miljøredegørelsen for containerterminalen og den nye risikoscreening af konsekvensen for en ny færgeterminal er foretaget med PHAST. Det er derfor relevant at vurdere forskellen mellem resultaterne af PHAST beregningerne og resultaterne af CFD simuleringerne, for at tilvejebringe en forståelse for forskellene og validiteten af beregningerne.

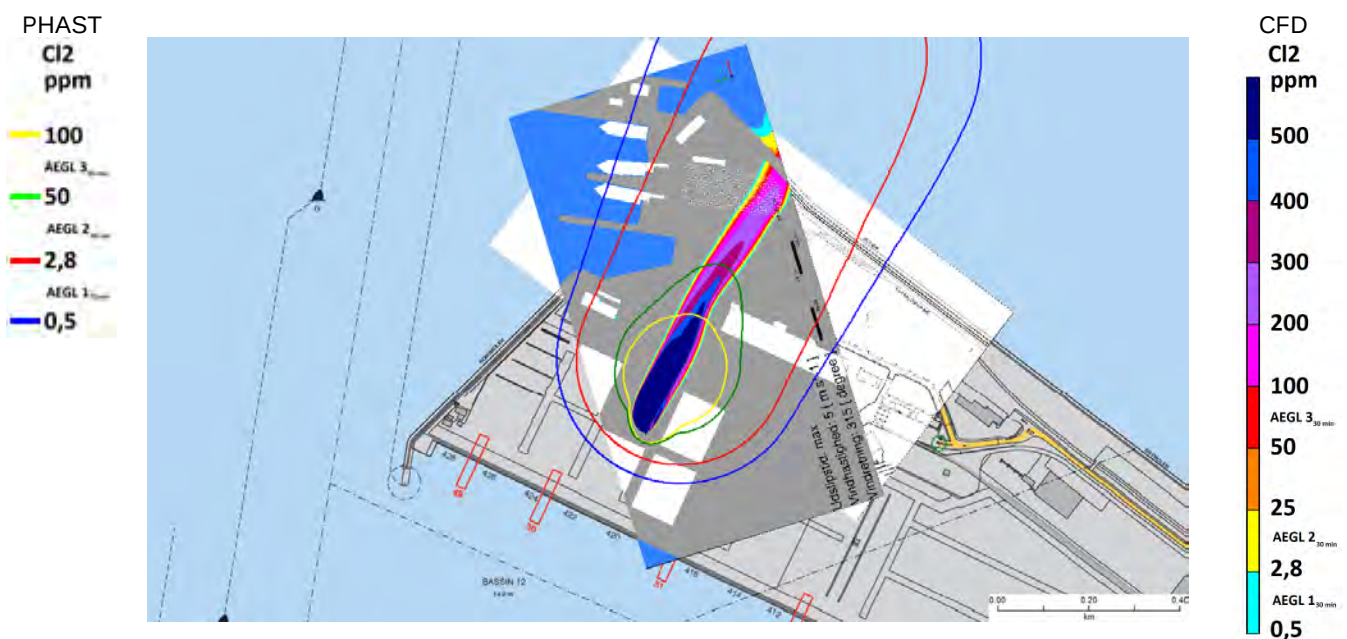
CFD simuleringerne og PHAST beregningerne (begge plottet som maksimal koncentration 1 meter over jorden) er plottet og vist på samme kort for 2 m/s og 5 m/s på henholdsvis figur 7-1 og figur 7-2. Sammenligningen viser, at CFD simuleringen er betydeligt smallere i udviklingen og har en betydelig kortere rækkevidde for de lave koncentrationer (AEGL-2 og lavere), men at rækkevidden er signifikant længere for AEGL-3 og højere koncentration.

Dødelige/skadelige koncentrationer af klor forventes at have en betydeligt længere rækkevidde ved CFD simuleringerne i forhold til PHAST beregningerne, dog er bæltet med den høje koncentration ved CFD simuleringerne smalt, hvorved et mindre areal er eksponeret (og dermed færre individer udsat). Forskellene kan tilskrives forhold tæt ved terræn, hvor PHAST kan overestimere udskylningshastigheden af klordampene lige over terrænoverfladen. Hertil kommer, at PHAST estimerer en betydeligt kraftigere opblanding på tværs af vindfeltet. Samlet set overestimerer PHAST risiko (ved høje koncentrationer) på tværs af vindretningen og underestimerer

PHAST risikoen (ved høje koncentrationer) på land med vindretningen ved klorudslip sammenlignet med CFD simuleringer. Disse forhold er dog kun gældende for 315°, hvor der ikke er bygninger og kajkanter, som forstyrrer klogasskyens udbredelse. I de andre retninger er konsekvensafstanden kortere og bredere ved CFD simuleringerne (sammenlignet med CFD simuleringerne for 315°) for de lave koncentrationer og mere udpræget for de høje koncentrationer.



Figur 7-1 Sammenligning mellem PHAST og CFD for 2 m/s (simulering 39, 1 m over terrænen). Den blå linje (PHAST) er AEGL-1 svarende til den lyseblå flade. Den røde linje (PHAST) er AEGL- 2 svarende til den gule og den orange flade. Den grønne linje (PHAST) er AEGL- 3 svarer til den orange og røde flade (og alle koncentrationer højere). Den gule linje (PHAST) er 100 ppm svarende til den lyserøde/pink flade.



Figur 7-2 Sammenligning mellem PHAST og CFD for 5 m/s (simulering 40, 1 m over terrænen). Den blå linje (PHAST) er AEGL-1 svarende til den lyseblå flade. Den røde linje (PHAST) er AEGL- 2 svarende til den gule og den orange flade. Den grønne linje (PHAST) er AEGL- 3 svarer til den orange og røde flade (og alle koncentrationer højere). Den gule linje (PHAST) er 100 ppm svarende til den lyserøde/pink flade.

Konklusionen på sammenligningen er, at i vindretningen 315° direkte imod færgeterminalen, hvor der ikke er objekter og kajkant, er den beregnede risiko (i forhold til akut dødsfald) for eksponerede individer på færgeterminalen højere ved CFD simuleringerne end ved PHAST-beregningerne, og samtidig er den maksimale konsekvenszone (målt ved AEGL-3) længere. I andre vindretninger, hvor objekter eller kajkant forstyrrer gasspredningen, er den beregnede

risiko (i forhold til akut dødsfald) for eksponerede individer på færgeterminalen ikke til stede ved CFD simuleringerne lige som ved PHAST beregningerne, og samtidig er den maksimale konsekvenszone (målt ved AEGL-3) omtrentlig den samme.

CFD simuleringerne har bidraget med at belyse en række forhold omkring udslip af klor, som de empiriske formler ikke har kunnet tilvejebringe, men den beregnede risiko er ikke mindsket. CFD simuleringerne har endvidere belyst, at de empiriske formler har en begrænset anvendelse på meget tunge gasser og at risikoen kan risikere at være undervurderet for disse.

For risikoen i andre retninger end færgeterminalen er det vurderet, at effekten af kajkanten vil bidrage betydeligt til reduktion af konsekvensafstanden og dermed sikre, at dødelige koncentrationer ikke når over til andre områder på havnen, eftersom klorgassen bliver opblandet og delvist tilbageholdt ved faldet over kajkanten, og ligeledes kun langsomt bliver skyllet op over den efterfølgende kajkant.

8. REFERENCER

- /1/. Sikkerhedsrapport for APM Terminals – Cargo Service A/S Sikkerhedsdokument, Version 4, 16. december 2014 med tilhørende bilag
- /2/. <http://www.epa.gov/aegl/access-acute-exposure-guideline-levels-aegls-values#chemicals>
- /3/. https://www.politi.dk/NR/rdonlyres/99302797-E407-44CC-B5C5-38C2099F8269/0/ADR_2015.pdf
- /4/. UNECE – About the ADR: http://www.unece.org/trans/danger/publi/adr/adr_e.html
- /5/. Danmarksstatistik, <http://www.dst.dk>
- /6/. Ulykker i Danmark 1990-2009, Statens Institut for Folkesundhed, marts 2012.
- /7/. WHO:
http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/estimates_country/en/index.html
- /8/. Risikoberegning, Containerterminal, August 2009 Miljøcenter Aarhus/Rambøll
- /9/. Risiko-screening konsekvensen for Aarhus havn færgeterminal, December 2016
- /10/. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen Nr. 8 2008, Acceptkriterier i Danmark og EU
- /11/. DMI, John Cappelen og Bent Jørgensen, Teknisk rapport 99-13. Observeret vindhastighed og – retning i Danmark –med klimanormaler 1961-90, København, 1999

BILAG A

GENEREL BESKRIVELSE AF CFD

1.1 Computational Fluid Dynamic

Computational Fluid Dynamic (CFD) er et kraftfuld værktøj til analyse af fluidstrømninger. Som navnet indikerer, er det en computerbaseret metode, der bruges til løsning af de styrende ligninger for fluidbevægelser. Dette gøres i alle tre dimensioner.

Det første trin i CFD modellering er at skabe en 3D CAD model af det komplette gennemstrømmede område, der ønskes simuleret. Derefter skabes et beregningsnet ved at inddеле området i meget mindre volumener - såkaldte kontrolvolumener. I teorien er der ingen begrænsning for størrelsen af CAD-modellen og detaljeringsgraden i nettet, men i praksis sætter computerkraften en grænse.

Det næste trin er at sætte den egentlige CFD-model op på det genererede net. CFD-softwaren, som anvendes af Rambøll, er Ansys CFX v. 14. Dette er et generelt 3D CFD-program, som kan håndtere fluidstrømninger, turbulens, kemiske reaktioner, gasspredning og stråling. Kombinationen af modeller, som anvendes i en given model, vælges således, at al betydningsfuld fysik inkluderes i det simulerede system.

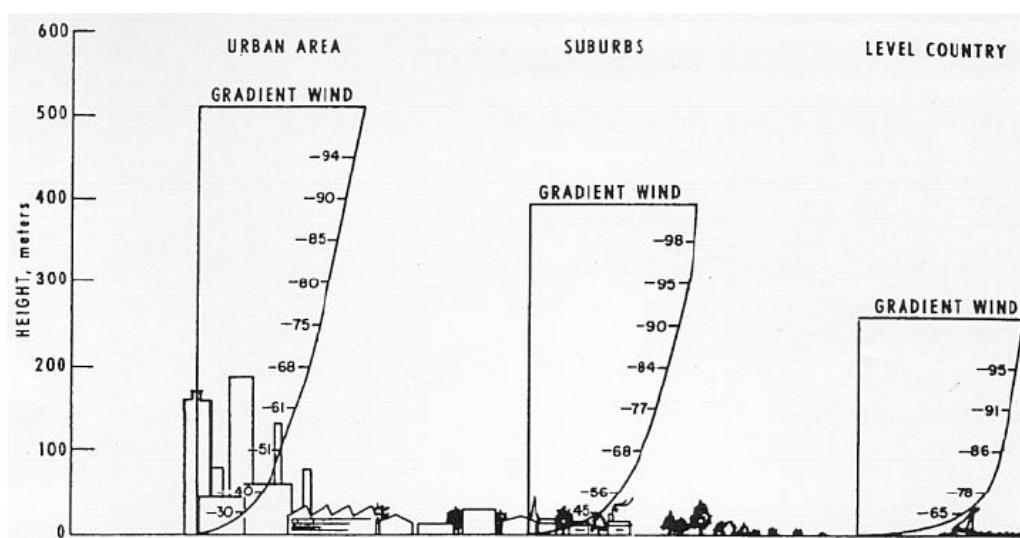
CFD-modellen løses endelig på en iterativ måde. Resultatet fra simuleringerne er værdier for alle vigtige variable såsom tryk, lufthastighed og turbulens niveau i hver eneste kontrolvolumen. Disse værdier kan repræsenteres både kvalitativt i form af plots på planer eller overflader og kvantitativt i form af beregnede værdier f.eks. kraften på en flade.

1.2 Vindrelaterede randbetingelser

Randbetingelserne bestemmer vindens opførsel og er derfor vigtig for at modellere korrekt vind over byområder, åbent terræn og åbent hav. Rambøll anvender den seneste anerkendte forskning indenfor området, der er udgivet i (Richards, et al., 2011) og (Richards, et al., 2015). Følgende beskrives overordnet de grundlæggende fysiske randbetingelser for vindsimuleringerne.

Indløb

Når vind passerer over et landskab, vil der gradvist opbygges et såkaldt atmosfærisk grænselag (AGL) dvs. et vindprofil, hvor lufthastigheden stiger gradvist som funktion af højden over jorden. Formen på grænselaget er en funktion af ændringer i terrænhøjde, bevoksning og bebyggelse (se Figur 1).



Figur 1. Eksempler på atmosfæriske grænselag over forskellige områder med forskellig terrænuhed.

Bilag A

I en uforstyrret strømning, der passerer over et terræn, vil der opbygges et logaritmisk grænselag givet ud fra følgende udtryk:

$$U(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)$$

Hvor:

$U(z)$	er vindhastigheden ved afstanden z over jordniveau [m/s]
u_*	er friktionshastigheden [m/s]
κ	er von Karman konstanten (0.419 [-])
z	er højden over jorden [m]
z_0	er terrænets aerodynamiske ruhedsfaktor [m]

Friktionshastigheden er givet ud fra referencevindhastigheden i 10 m højde:

$$u_* = \frac{\kappa \cdot u_{ref}}{\ln \left(\frac{z_{ref}}{z_0} \right)}$$

Hvor:

u_{ref}	er referencehastigheden [m/s]
z_{ref}	Referencehøjden, den højde hvor målinger af vindhastigheden typisk foretages (10 m) [m]

Disse udtryk bruges til at definere hastighedsprofilet på indløbet til beregningsdomænet, men nøjagtigheden af dette udtryk er meget afhængigt af den valgte aerodynamiske ruhedsfaktor, der normalt vælges ud fra betragtninger om den omkringliggende bebyggelse og beplantning f.eks. højde og tæthed. Dette valg kommer af sagens natur altid til at være subjektivt.

Udløb

På udløbsranden anvendes en såkaldt "Outlet" randbetingelse, som er et randvilkår, der tillader strømning at passere både ud og ind af domæne. På randen specificeres et statisk referencetryk på 0 [Pa].

Sider

På disse rande vælges friktionsfrie vægrande.

Top

På toppen er sat en væg med et shear stress, der trækker vinden fremad og efterligner den naturlige proces i atmosfæren. Shear stresset er specificeret som:

$$\tau = \rho u_*^2$$

Jord

For at medtage effekten af diverse bygninger, beplantninger og andre objekter i vindens bane, pålægges der en ruhed på jordranden. Ruheden stemmer overens med grænselagsprofilet og er sat til $30 \cdot z_0$.

Bygninger

Det er valgt at sætte glatte vægge eller en lille ruhed på alle bygningsflader.

1.3 Simuleringsdomæne

I forhold til simuleringsdomænets størrelse anvender Rambøll de seneste standarder indenfor vindberegninger, som er opsummeret og sammenfattet i (Tominaga, et al., 2008). Dette afsnit indeholder et kort udsnit af de anvendte standarder. Afstanden mellem fokusområdet og simuleringsdomænets kanter er vigtig, da der ellers kan forekomme såkaldte randeffekter, der giver et forkert simuleringsresultat.

Afstand til top

Afstanden til top grænsebetingelsen er mellem 10 og 15 $H_{\max}$, hvor $H_{\max}$ er højden på den højeste bygning i domænet. For domæner med kun 1 bygning bør top grænsebetingelsen være 5 $H_{\max}$ væk fra området af interesse.

Afstand til sider

Sidegrænsebetingelserne er minimum 5 $H_{\max}$ væk fra det bebyggede område.

Afstand til udløb

Afstanden til udløbet er mindst 15 $H_{\max}$ væk fra det bebyggede område.

Afstand til indløb

Afstanden til indløbet er mindst 5 $H_{\max}$ fra det bebyggede område.

1.4 Beregningsnet

Beregningsnettet kan have stor indflydelse på kvaliteten af resultaterne fra en CFD simulering. Derfor gør Rambøll meget ud af at følge gældende standarder og udfører løbene test af beregningsnettet, for at sikre de mest stabile og optimale løsninger. De seneste standarder indenfor beregningsnet er opsummeret i (Tominaga, et al., 2008). Nedenfor beskrives de grundlæggende krav til beregningsnet, som Rambøll følger.

I interesseområdet, hvor høj opløsning er krævet, skal netopløsningen være på ca. 1/10 af bygnings-skalaen. Dvs. typisk i størrelsesordenen 0,5 m.

Generelt anbefales det, at bygningssider har mindst 10 beregningsceller på hver led. Desuden bør opholdszonen (1,5-2 m over terræn) ligge i den 3. eller 4. celle over terræn.

Det anbefales at lave en net-uafhængighedstest, der viser, om resultaterne ændres afhængigt af beregningsnettet. Det anbefales at forfine nettet med en faktor 1,5 i alle tre retninger. Rambøll laver løbende net-forfiningstest for at sikre et godt udgangspunkt for alle simuleringer.

På alle vægge (bygninger, jord, vand mm.) sættes passende prismelag for at opløse vindens grænselag over fladen. Rambøll anvender som udgangspunkt 5 eller flere prismelag på alle væg-overflader.

REFERENCER

Richards P. J. og Norris S. E. Appropriate boundary conditions for a pressure driven boundary layer [Tidsskrift] // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. - [s.l.] : Elsevier, 2015. - Årg. 142. - s. 43-52.

Richards P. J. og Norris S. E. Appropriate boundary conditions for computational wind engineering models revisited [Tidsskrift] // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. - [s.l.] : Elsevier, 2011. - 4 : Årg. 99. - s. 257-266.

Tominaga Yoshihide [et al.] AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings [Tidsskrift] // Journal of wind engineering and industrial aerodynamics. - [s.l.] : Elsevier, 2008. - 10 : Årg. 96. - s. 1749-1761.

BILAG B

CFD – DETALJERET OPSÆTNING

Bilag B

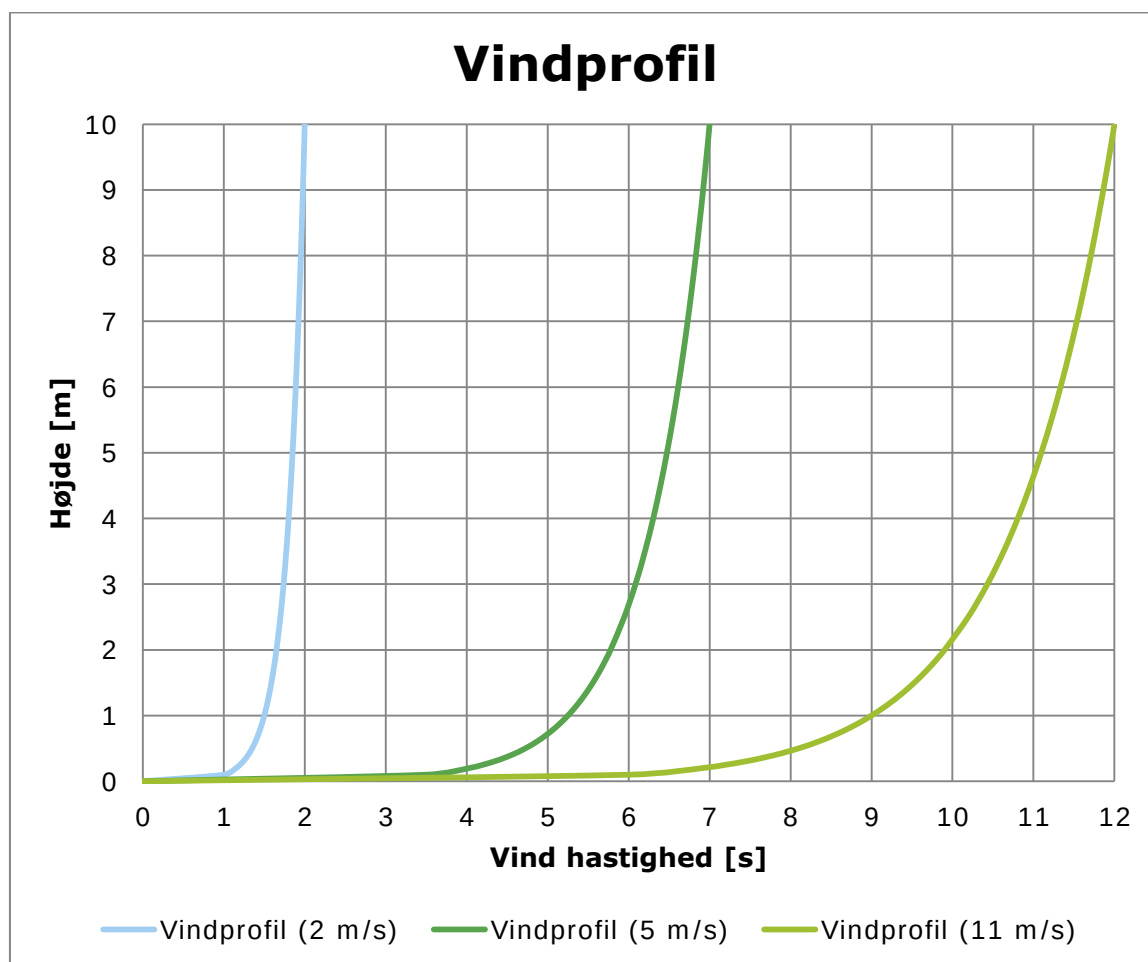
1.1 Forudsætninger

Dette bilag indeholder detaljer om specifikke parametre, der er brugt i simuleringerne. Se Bilag A for en generel introduktion til CFD samt en gennemgang af de generelle modelforudsætninger for vindsimuleringer.

1.2 Vind

Vinden modelleres med et logaritmisk grænselagsprofil. Grænselagsprofilet er afhængig af den aerodynamiske ruhed (z_0) på jorden og referencehastigheden i 10 m højde. Denne er sat til 0,0033 m, hvilket er en lav ruhed der repræsenterer åbne landskaber eller der svarer til den modstand vinden oplever fra objekter med en karakteristisk længde eller diameter på 10 cm. Det er vurderet, at denne ruhed er realistisk for området omkring opmarcharealet og containerterminalen.

Simuleringerne er lavet ved tre forskellige referencehastigheder. Lav vind (2 m/s), middel vind (5 m/s) og kraftig vind (11 m/s).



Figur 1: Vindprofiler for $u_{ref} = 2$ m/s, 5 m/s og 11 m/s. Det ses, at vindhastigheden i opholdszonen (1,5 m – 2 m) er væsentlig lavere end referencehastigheden.

1.3 Tyngkekraft

Tyngkekraft samt opdrift (temperaturafhængig) er medtaget for at få effekten af klors høje densitet med i betragtning.

1.4 Temperatur

Alle simuleringer er foretaget med en omgivende temperatur på 15 °C og en udslipstemperatur på gas (pøl og gasfase) på -42 °C. Eftersom klorgas er tungere end luft, både når den er kold, og

Bilag B

når den har omgivelsestemperatur, har den omgivende temperatur ingen praktisk betydning for densiteten af klorgas. Ligeledes er varmekapaciteten af klorgas lavere end varmekapaciteten af luft, hvorved klorgassen hurtigt antager omgivelsestemperatur, og densitetsforskellene mellem klor og luft er tilnærmelsesvis den samme ved normale omgivelsestemperatur i Danmark.

1.5 Simuleringstype

Alle medtagede simuleringer er foretaget som transiente (dvs. eksplicit tidsafhængige). Transiente simuleringer er nødvendige for at få effekten fra de relativt kortvarige udslip med.

1.6 Dobbelt præcision

Eftersom koncentrationsgrænserne for giftigheden af klor er lave, har det været nødvendigt at anvende dobbelt præcision i beregningerne for at sikre mere korrekt beregning af udbredelsen af disse lave koncentrationsniveauer. Ved dobbelt præcision beregninger er hukommelsesforbruget det dobbelte og beregningshastigheden omtrent den halve i forhold til single præcision beregninger.

1.7 Turbulens

Alle simuleringer er foretaget med turbulensmodellen SAS SST med et turbulent Schmidt tal på 0,5.

1.8 Gas

Alle medtagede gasser (luft og klor) er modelleret som idealgas. Væskefasen af klor er ikke medtaget eksplicit i simuleringen. Derimod er gasmængden fra henholdsvis direkte udslip og sekundære afdampninger fra eventuelle pøldannelser (se næste afsnit) medregnet med input fra PHAST.

I Tabel 1 er gasfasen af udslippet vist. Gasfasen er antaget at foregå over et kort tidsinterval, der er valgt ud fra en simuleringstabilitets-vurdering. For simulering 24-44 er der foretaget yderligere pølafdampling, så den totale klormængde bliver sammenlignelig med simulering 1-16.

Simulering nr.	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Sum [kg]	Udslipstid [s]	Flowrate [kg/s]
1-16	180	0	180	5	36
24-28	36	144	180	2	18
29	9	36	45	2	4,5
30	18	72	90	2	9
31	9	36	45	2	4,5
32	18	72	90	2	9
33-42	36	144	180	2	18
43-44	18	72	90	2	9

Tabel 1: Data for gasfasen simuleret i de enkelte simuleringer.

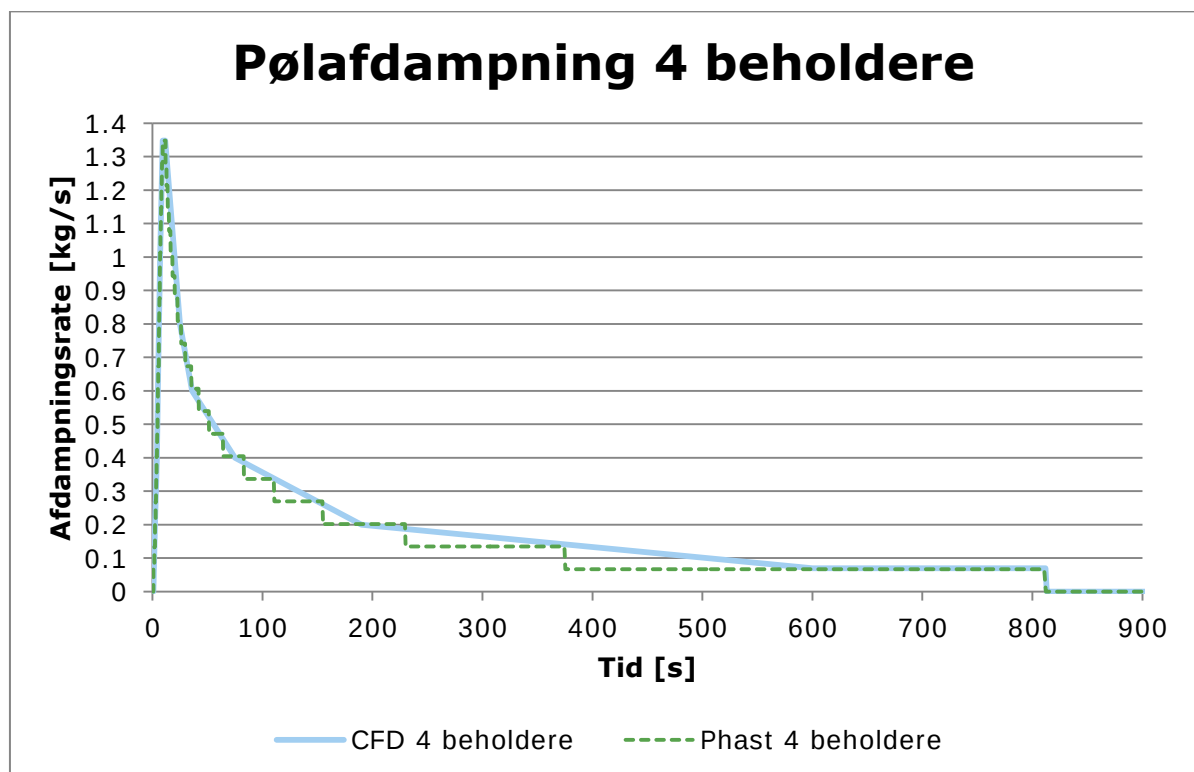
1.9 Pølafdampning

Enkelte simuleringer har medtaget, at en del af klorudslippet kommer ud som væske og danner en pøl. Pølen vil afdampe over tid. Afdampningen er beregnet i PHAST og omdannet til en funktion, der kan anvendes i CFD simuleringerne. Pølafdampningsraten for uheld med 4 beholdere, 2 beholdere og 1 beholder er vist i Figur 2, Figur 3 og Figur 4.

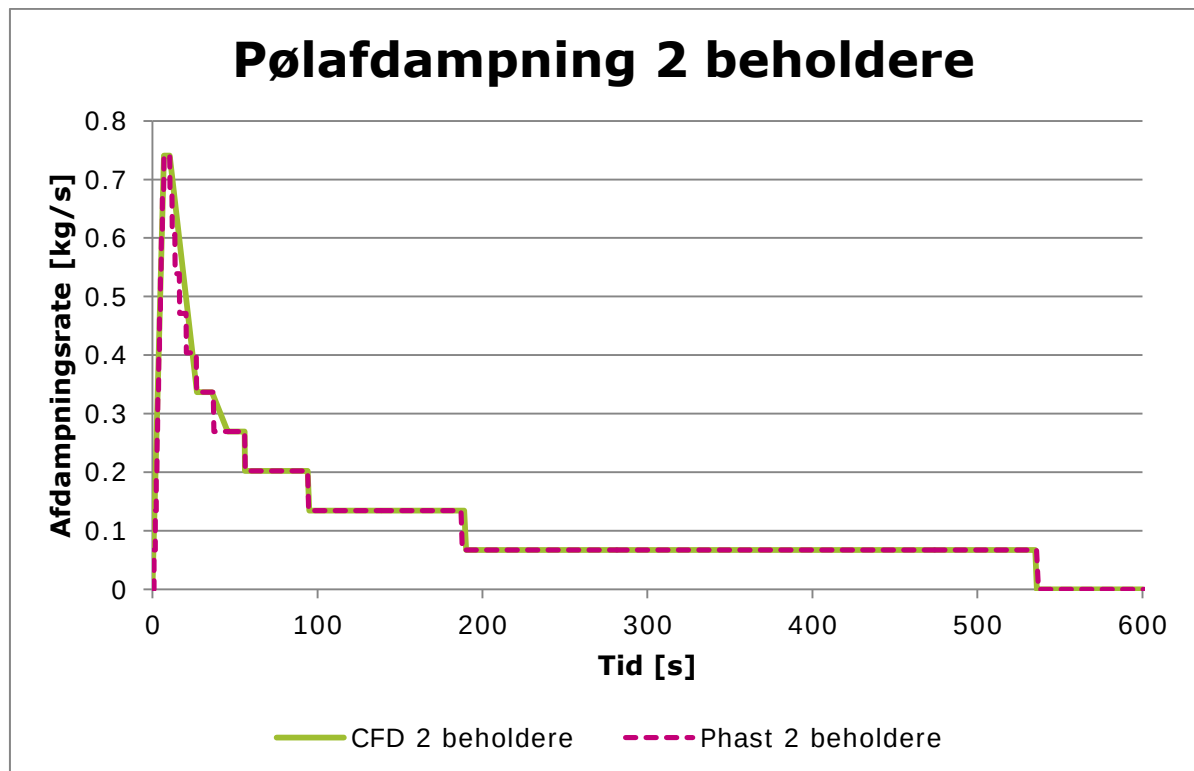
Uheldet med 4 beholdere afdamper 144 kg klor over ca. 800 sekunder.

Uheldet med 2 beholdere afdamper 72 kg klor over ca. 550 sekunder.

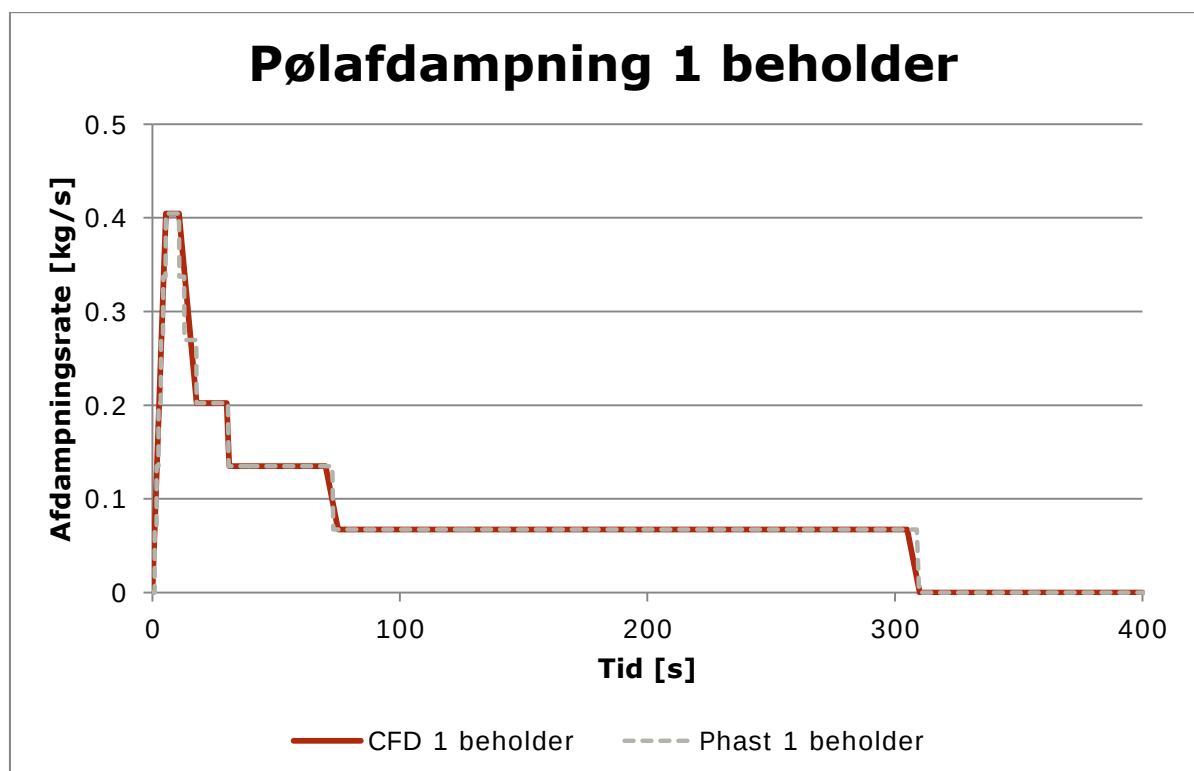
Uheldet med 1 beholder afdamper 36 kg klor over ca. 300 sekunder.



Figur 2. Pølafdampning ved uheld, hvor der går hul på 4 beholdere med klor.



Figur 3. Pølafdampning ved uheld, hvor der går hul på 2 beholdere med klor.

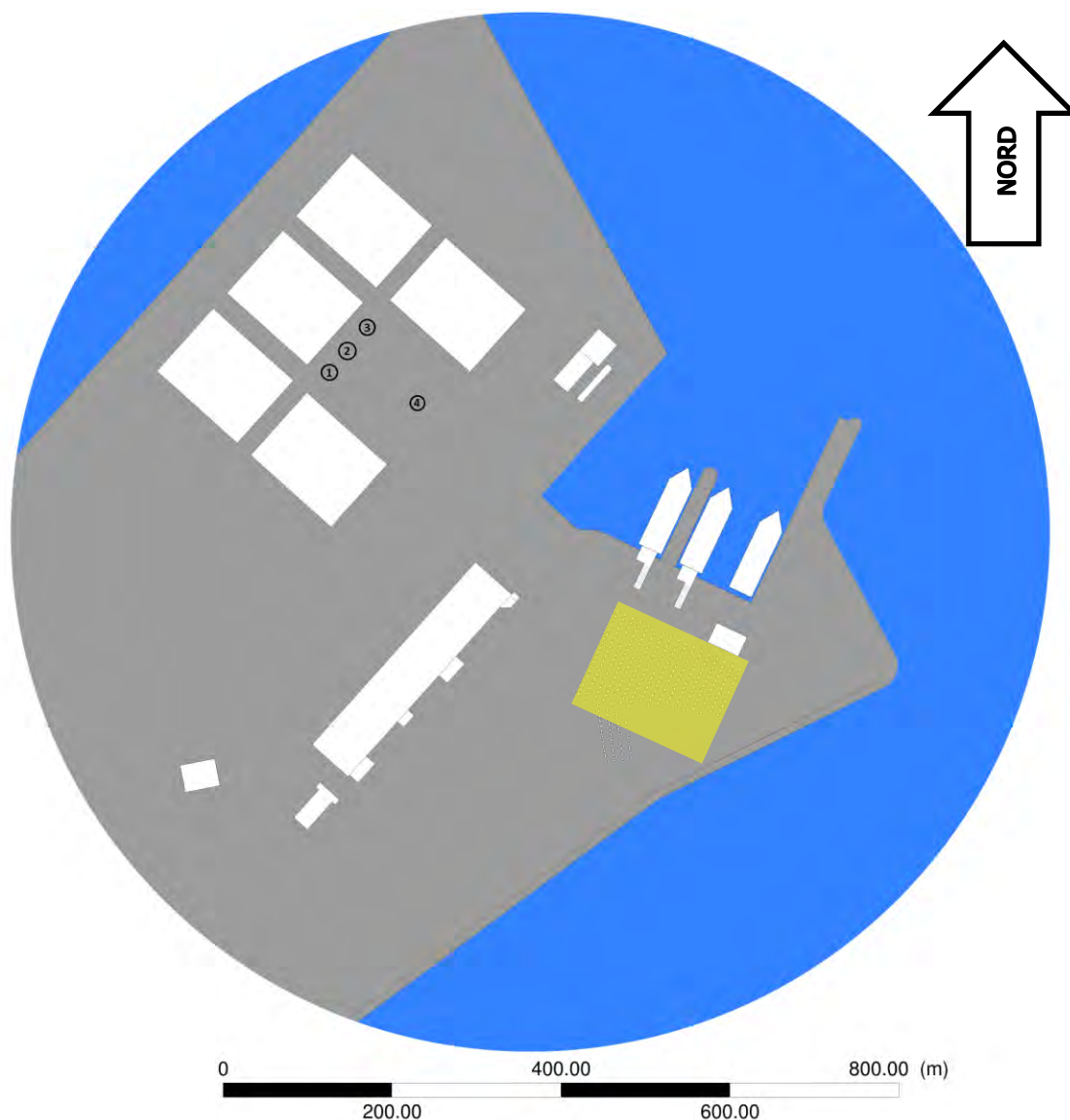


Figur 4. Pølafdampning ved uheld, hvor der går hul på 1 beholder med klor.

Pølafdampningen er i CFD-simuleringerne medtaget som et gasindløb med en specificeret gasmængde givet ud fra de præsenterede afdampningsrater.

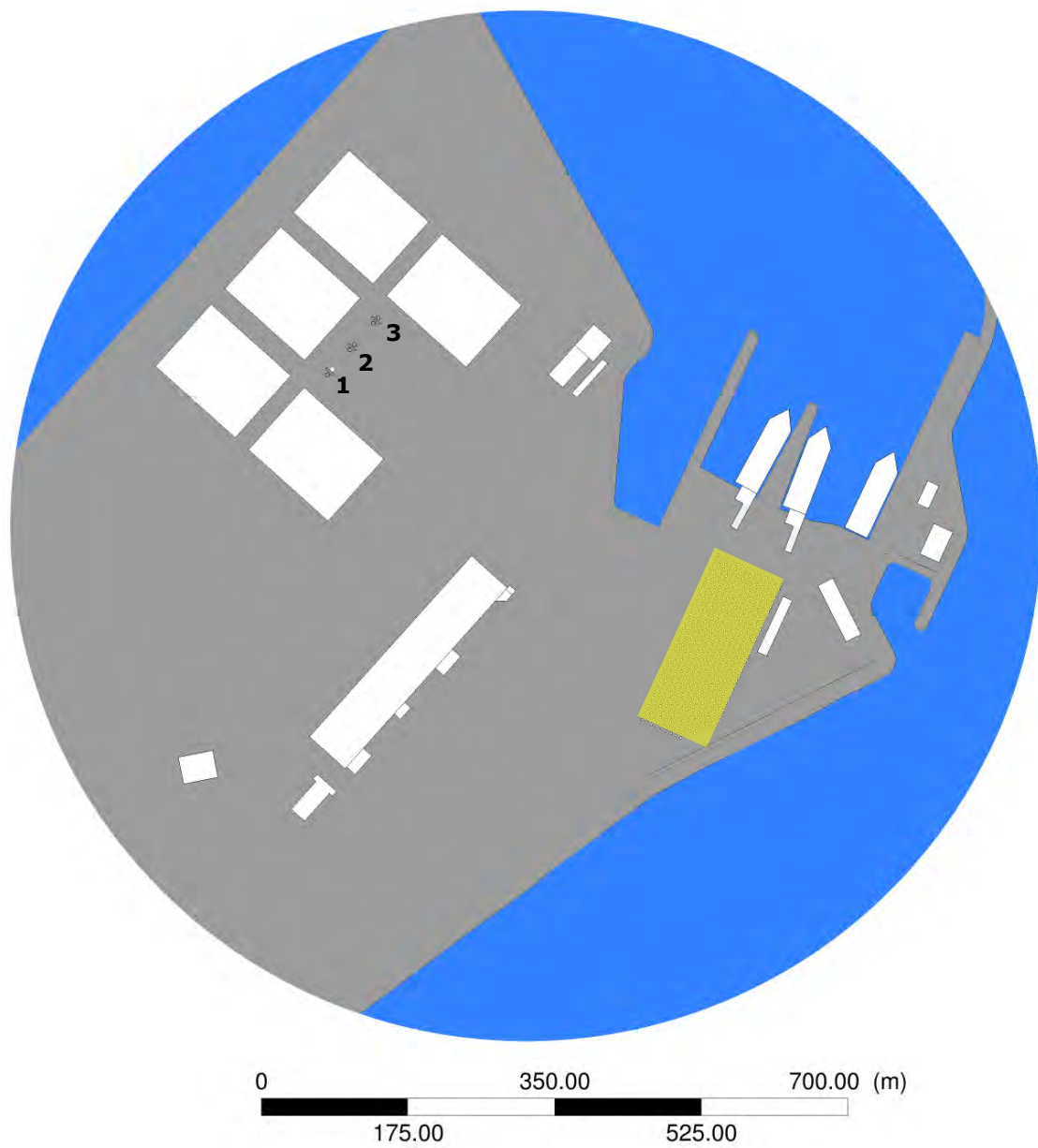
1.10 Geometri og udslipsplaceringer

Geometrien brugt i CFD-modellen er bygget som en simplificeret model af Aarhus Havn. Geometrien er bygget på baggrund af satellitbilleder, billeder fra det eksisterende område samt tegninger af det kommende område. Der er anvendt 2 forskellige layout, et tidligere layout er anvendt til de første CFD simuleringer og er justeret layout til de sidste CFD simuleringer. Forledes de forskellige layout anvendes er beskrevet i selve rapporten. Den generelle geometri for det tidligere layout kan ses på Figur 5 og Figur 7. Den generelle geometri for det justerede layout kan ses på Figur 6 og Figur 8. På Figur 5/Figur 6 er opmarcharealet samt de henholdsvis 4 og 3 undersøgte udslipsplaceringer markeret.



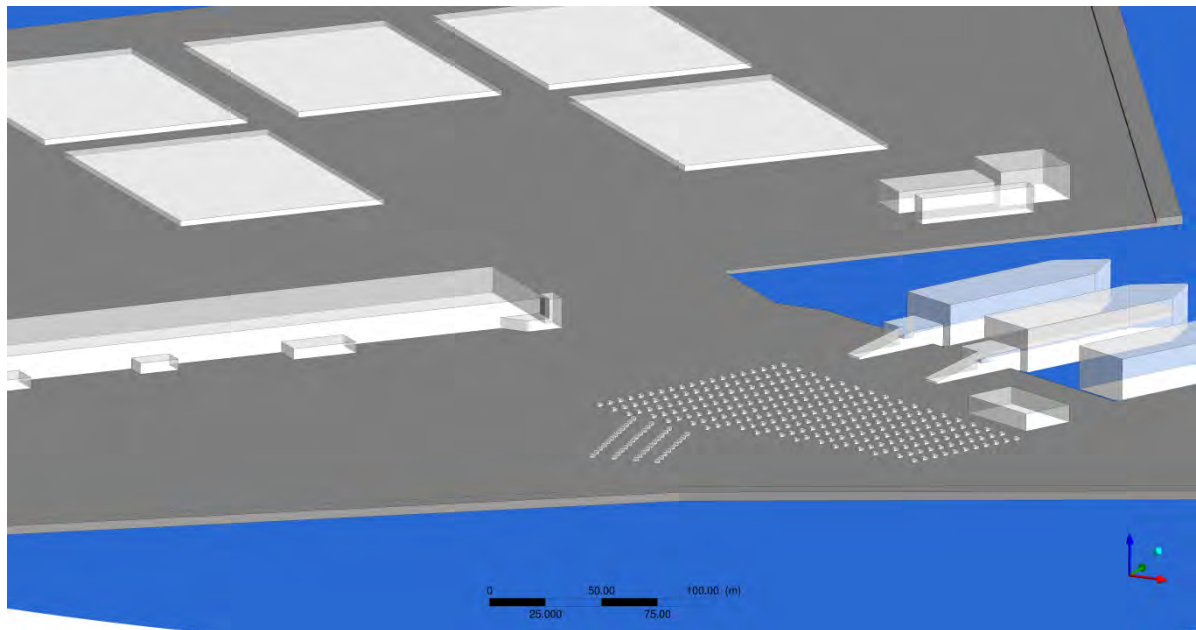
Figur 5. Oversigt over simuleringsdomænet for simuleringer nr. 1-38. Udslipspunkter er markeret med tal fra 1 til 4. Opmarcharealet er markeret med en gul firkant. Grå områder er modelleret som jord/asfalt mens blå områder er vand. Hvide områder indikerer positionen af bygninger, containere, skibe og biler.

Bilag B

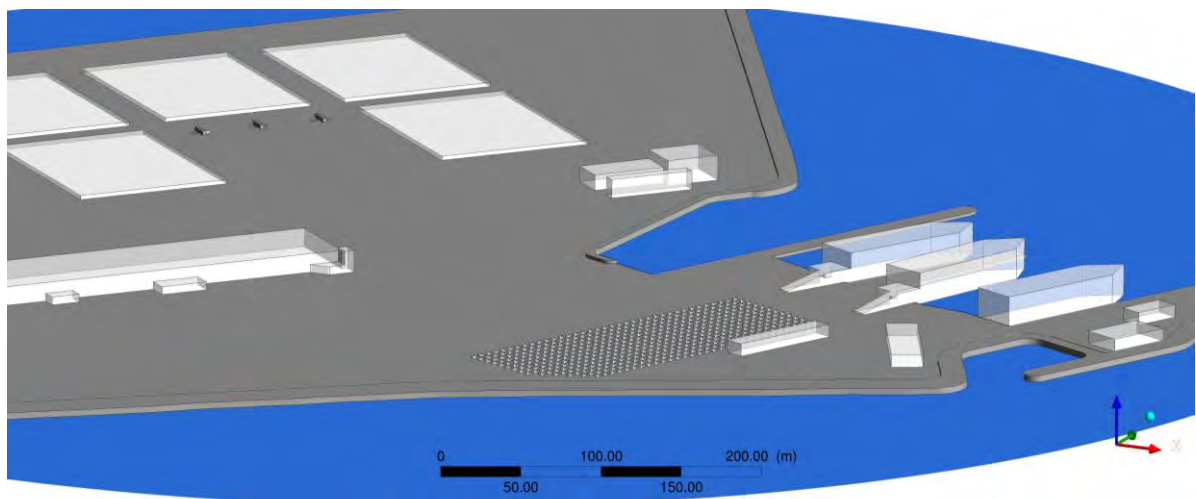


Figur 6. Oversigt over simuleringsdomænet for simuleringer nr. 39-44. Udslipspunkter er markeret med tal fra 1 til 3. Opmarscharealet er markeret med en gul firkant. Grå områder er modelleret som jord/asfalt mens blå områder er vand. Hvide områder indikerer positionen af bygninger, containere, skibe og biler.

Bilag B



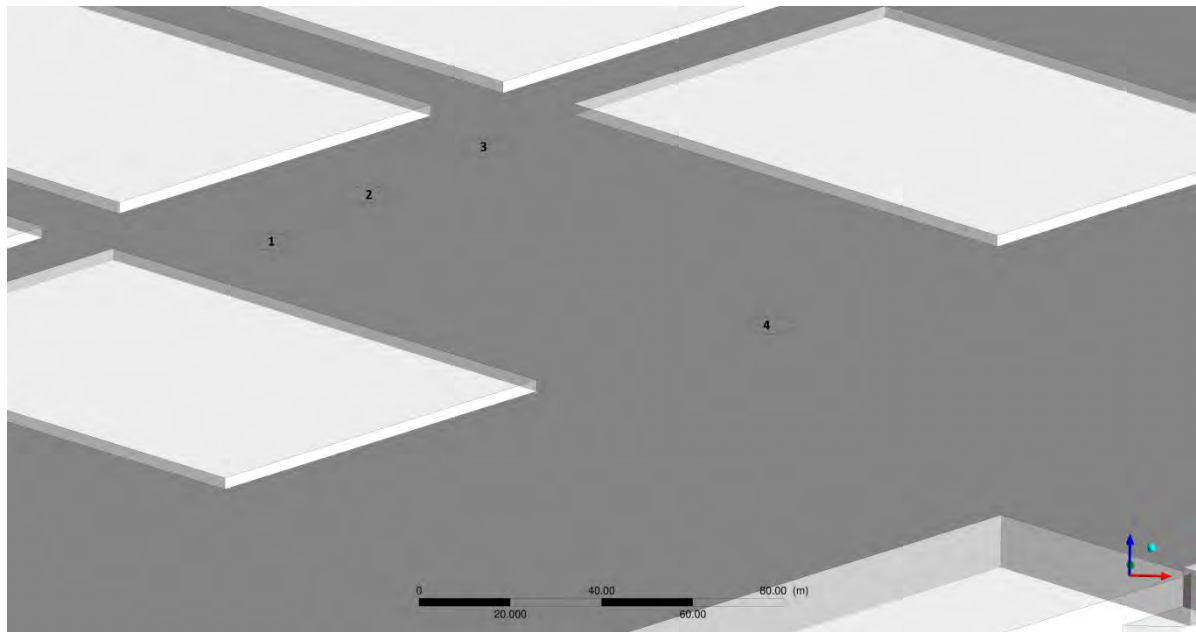
Figur 7. Geometrien brugt i simuleringer nr. 1-38 set i perspektiv.



Figur 8. Geometrien brugt i simuleringer nr. 39-44 set i perspektiv.

Udslip er for simulering nr. 1-16 (se Tabel 1 i Bilag C) foretaget lodret over en flade med en radius på 6 m (se Figur 9). Dette giver en langsom udslipshastighed, der lægger klogassen tæt på jordoverfladen i området med lav vindhastighed. Dette vurderes som en meget konservativ modellering.

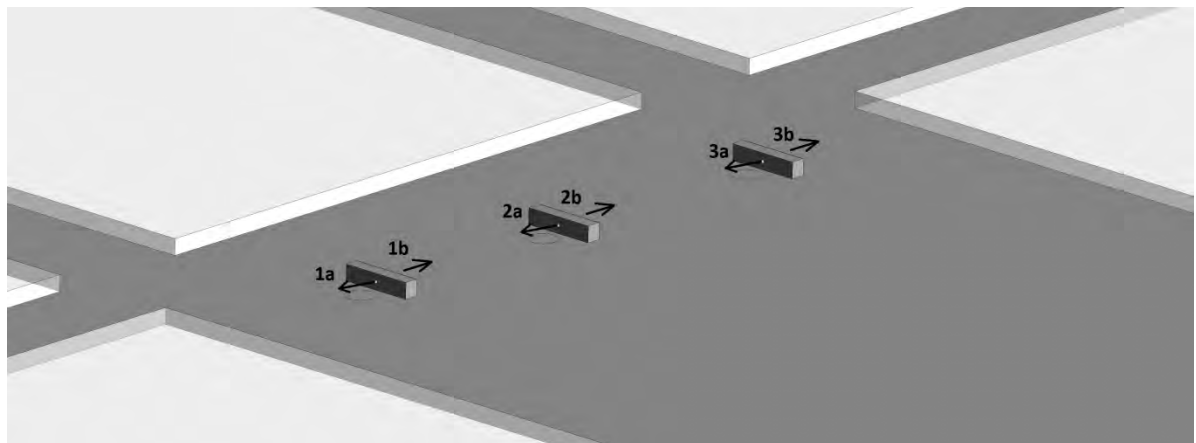
Bilag B



Figur 9. Udslips placeringer simulering nr. 1-16.

For simulering nr. 24-44 (se Tabel 1 i Bilag C) er udslippet foretaget fra siden af en container med en cirkulær pøldannelse med radius 2,4 m ud for udslips-punktet (se Figur 10). Det vurderes som en mere realistisk modelleringsmetode end den meget konservative modellering benyttet i simulering nr. 1-16.

I Bilag C under resultaterne for hver simulering findes detaljerne, der adskiller de enkelte simuleringer fra hinanden.



Figur 10. Udslips placeringer for simulering 24-38 samt 39-44. Udslippene består af en gasfase, der kommer fra siden af en container og en pøl, der kommer fra et cirkulært indløb udfor containeren.

1.11 Beregningsnet

Geometrien er delt op i et antal beregningsceller. Disse celler har ikke samme størrelse eller form og afspejler kanter og overflader i geometrien. Eftersom de fysiske forhold omkring udslipspunkterne er kritiske, er beregningsnettet finere i dette område, mens beregningsnettet er grovere i yderkanten af geometrien, hvor forholdene er mere stabile.

Anvendelsen af et differentieret beregningsnet er normalt og har ingen praktisk betydning for resultatet. Det har dog stor betydning for beregningshastigheden, som kan reduceres betydeligt ved denne differentiering.

Konsekvensen for
Aarhus Havn
Færgeterminal

Bilag C

BILAG C

CFD – RESULTATER

Bilag C

1.1 Simuleringsoversigt

Der er foretaget en række CFD simuleringer for at klarlægge konsekvenserne ved et uheld, hvor der går hul på 1 eller flere klorbeholdere. Der er anvendt 2 forskellige layout, et tidligere layout er anvendt til de første CFD simuleringer og er justeret layout til de sidste CFD simuleringer. Alle simuleringerne er vist med det layout som modsvarer den geometri de er simuleret i. Forledes de forskellige layout anvendes er beskrevet i selve rapporten. I Tabel 1, Tabel 2 og Tabel 3 nedenfor er en samlet oversigt over simuleringer medtaget her.

Simuleringsoversigten er delt i tre dele, hvilket afspejler processen i undersøgelserne. I del 1 og del 2 betragtes det gamle havnelayout mens at i del 3 genkøres nogle af de udførte simuleringer men med det justerede havnelayout.

Del 1 er foretaget som en screening med meget konservative antagelser. Del 1's referencescenarie (scenariet som alle andre bør sammenlignes med) er simulering nr. 5. Del 2 har medtaget en del flere detaljer i udslipfysikken (bl.a. pølafdamning og containerstruktur), men er foretaget på baggrund af de opnåede erfaringer fra del 1. Referencesimuleringen for del 2 (der med fordel kan sammenlignes med reference simuleringen for del 1) er simulering nr. 25.

Der er efter udførsel af simuleringer 1-38 foretaget en justering i havnelayoutet. Der er derfor kørt yderligere simuleringer (39-44) med den ændrede geometri af havnen. Her svarer simulering nr. 40 til reference simulering nr. 25.

Det skal noteres, at nummereringen ikke er fortløbende. Dette skyldes den interne simulering nummerering, der har nummereret løbende test samt ikke udførte simuleringer. Det vurderes at de medtagne simuleringresultater giver et klart og fyldestgørende billede af de undersøgte scenarier.

Under resultaterne af hver enkelt simulering findes en kort forklaring til, hvordan simuleringen adskiller sig fra resten af simuleringerne.

Nr.	Udslipsplacering (figur 5 og 7 i bilag B)	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vindhastighed [m/s]	Vindretning [°]	Layout/geometri	Noter
1	1	180	0	5	315	Tidligere	Vindscreening
2	3			5	300		
3	3			5	330		
4	2			2	315		
5	2	180	0	5	315	Tidligere	180 kg, reference scenarie
6	2	180	0	11	315	Tidligere	180 kg, høj vind
10	2			5	315		180 kg, uden 12 m bygning
11				5	330		
13	4			5	315		180 kg, nærmeste udslips punkt
16	2			5	315		180 kg, kun 1 bil

Tabel 1. CFD simuleringmatrix del 1. Reference scenariet for del 1 er fremhævet med blå.

Bilag C

Nr.	Udslipsplacering (figur 5 og 7 i bilag B)	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vindhastighed [m/s]	Vindretning [°]	Layout/geometri	Noter
24	1b	36	144	2	315	Tidligere	4 beholdere punkteret, lav vind
25	1b	36	144	5	315	Tidligere	4 beholdere punkteret, reference scenarie
26	1b	36	144	11	315	Tidligere	4 beholdere punkteret, høj vind
27				5			4 beholdere punkteret, uden skib
28				5			4 beholdere punkteret, container ved siden ad udslip
29		9	36	5	315		1 beholder punkteret
30		18	72				2 beholdere punkteret
31		9	36				1 beholder punkteret
32		18	72	2			2 beholdere punkteret
33		36	144	2	285		4 beholdere punkteret, varieret vindretning
34				5			
35				11			
36				2	345		
37				5			
38	11						

Tabel 2. CFD simuleringsmatrice del 2. Reference scenariet for del 2 er fremhævet med blå.

Nr.	Udslipsplacering (figur 5 og 7 i bilag B)	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vindhastighed [m/s]	Vindretning [°]	Layout/geometri	Noter
39	1b	36	144	2	315	Justeret	4 beholdere punkteret, lav vind
40	1b	36	144	5	315	Justeret	4 beholdere punkteret, reference scenarie
41	1b	36	144	2	285	Justeret	4 beholdere punkteret, varieret vindretning
42				5			
43		18	72	2	315		2 beholdere punkteret
44				5			

Tabel 3. CFD simuleringsmatrice del 3. Reference scenariet for del 3 er fremhævet med blå.

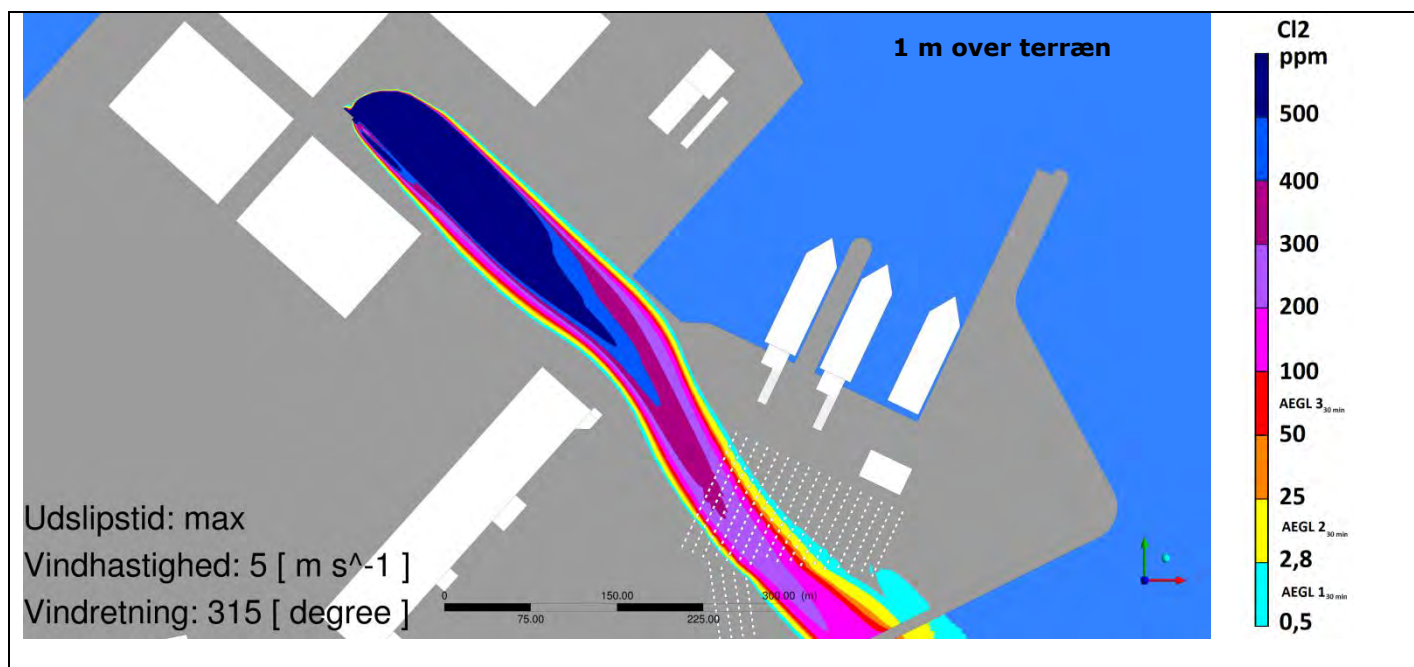
1.2 Plot

Alle plot er foretaget for de viste koncentrationer i et plan 2 m (normalt anvendt terrænhøjde for vurdering af skade på eksponerede individer - da klorgas er tung, vil koncentrationen af klorgas falde med højden over terræn, specielt ved lave vindstyrker) og 1 m (anvendt højde over terræn i disse analyser til vurderingen af skade på eksponerede individer - konservativt sat, da koncentrationen af klorgas vil være højere i 1 m end i 2 m) over terræn for personer med udendørs ophold eller i bil med åbne vinduer eller dør. Billederne viser den maksimalt målte koncentration, der er opnået over den simulerede tidsserie. Dvs. de viser ikke hvor længe området er påvirket af en given koncentration, men blot hvad den værste koncentration i området har været.

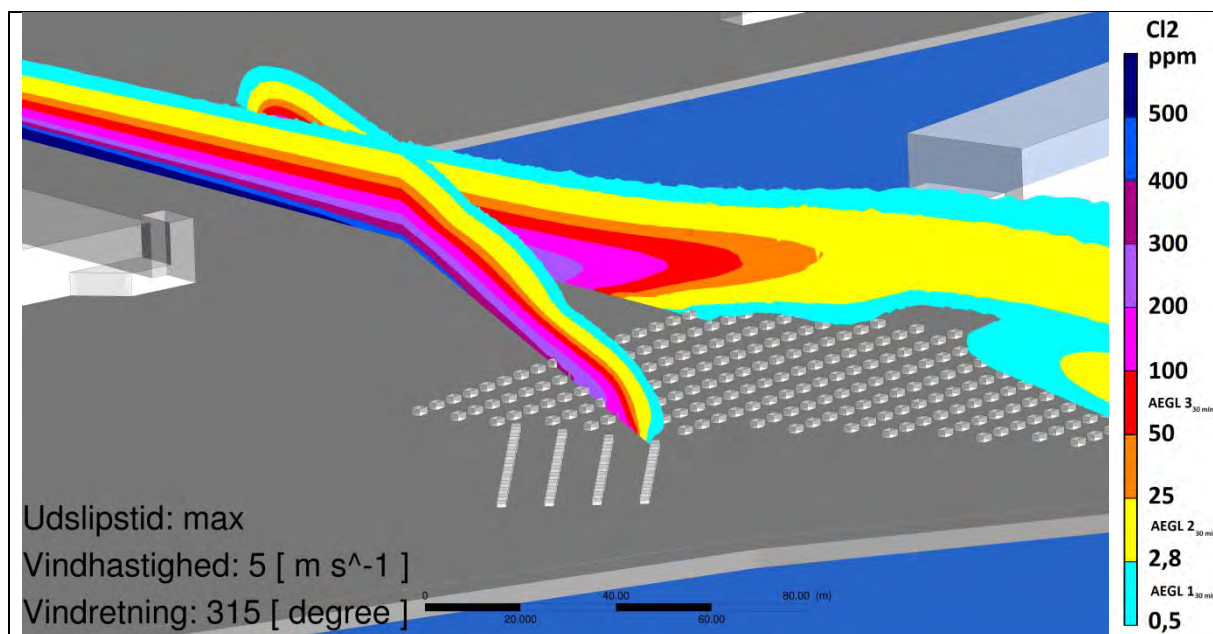
For simuleringer ved vindretning 315° er et lodret tværsnit af maksimumkoncentrationen vist ned gennem klorskyen.

CFD simuleringerne er angivet med 1 plot og for nogle simuleringer 2 forskellige typer plot:

- Horisontalt snit igennem de beregnede værdier (se figur 1) – figuren viser koncentrationen i forskellige niveauer; koncentrationer lavere end 0,5 ppm er ikke vist, koncentrationer mellem 0,5 ppm og 2,8 ppm er lyseblå, osv., koncentrationer højere end 500 ppm er mørkeblå. Hvis dele af geometrien gennemskærer det horisontalt snit vil disse fremstå som huller i koncentrationen (f.eks. bilerne på opmarcharealet og diget). Koncentrationen i en anden højde end det anvendte snit kan være højere eller lavere, hvilket ikke kan læses af figuren.
- Vertikale snit igennem de beregnede værdier (se figur 2) – figuren viser koncentrationen i forskellige niveauer (se horisontalt snit). Koncentrationen kan med dette snit ses i forskellige højder over terræn langs den anvendte snitlinje, da klorskyen ikke følger en lige linje, viser de vertikale snit ikke den maksimale udbredelse.



Figur 1. Kopi af dele af figur 26 for simulering 25, 1 meter over terræn.

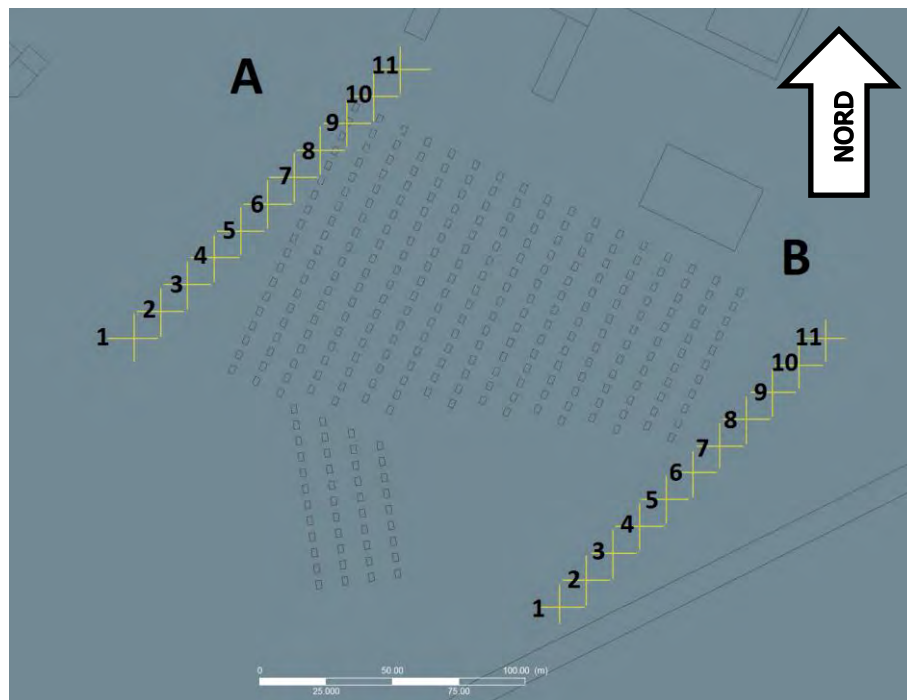


Figur 2. Kopi af figur 27, simulering nr. 25.

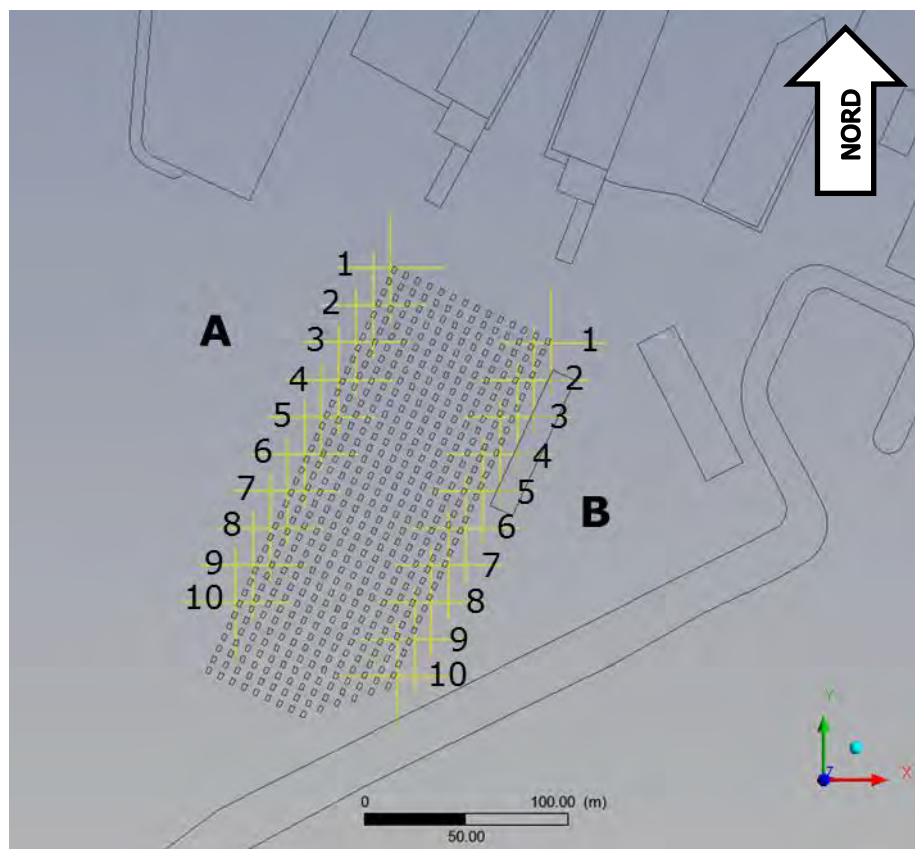
1.3 Målepunkter

En række målepunkter, der løbende monitorerer klorkoncentrationen, er sat op omkring opmarcharealet. Da orientering af opmarcharealet er ændret i simuleringer 39-44 er målepunkterne anderledes her. Monitoreringspunkterne i simuleringer 1-38 er sat i en højde af 2 m over terræn mens de i simuleringer 39-44 er sat i 1m højde.

Målepunkterne for simuleringer 1-38 er fordelt i en gruppe A placeret før opmarcharealet og en gruppe B placeret efter. For simuleringer 39-44 er målepunkterne tilsvarende delt i en gruppe C og D. På figur 3 og Figur 4 ses placeringen af målepunkterne. For udvalgte simuleringer er målingerne fra målepunkterne medtaget for at give et billede af den tidslige udvikling af klorkoncentration i området omkring opmarcharealet.



Figur 3. Placering af målepunkter omkring opmarcharealet for simuleringer 1-38. Punkterne er alle placeret 2 m over terræn. De firkantede kasser indikerer den forventede placering af biler (små kasser) og bygninger (store kasser).

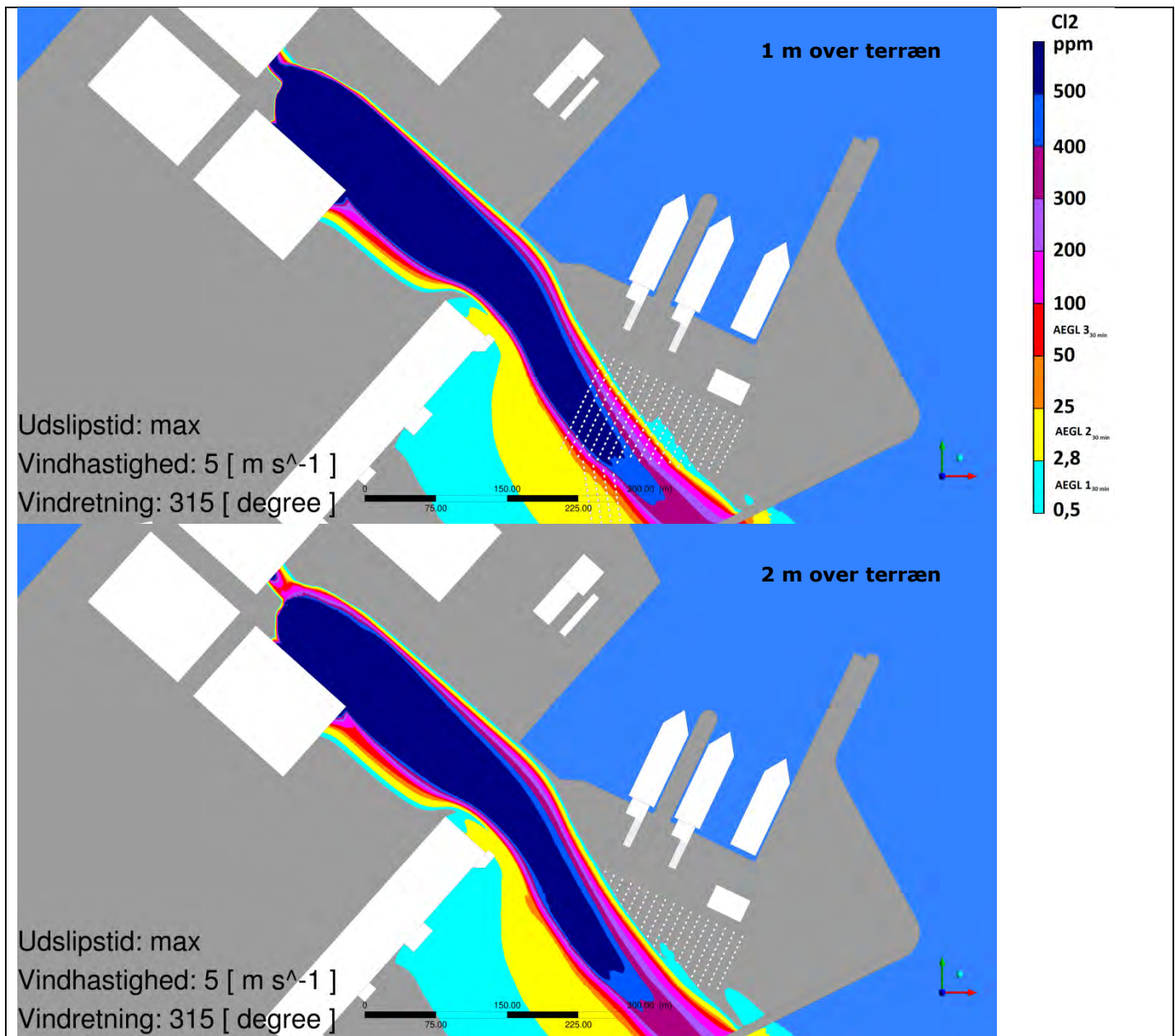


Figur 4. Placering af målepunkter omkring opmarcharealet for simulationer 39-44 med den opdaterede havnegeometri. Punkterne er alle placeret 1 m over terræn. De firkantede kasser indikerer den forventede placering af biler (små kasser) og bygninger (store kasser).

1.4 Simulering nr. 1

Simulering nr. 1-3 er foretaget for at klarlægge udslipsplaceringens indflydelse ved varierende vindretning.

Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
1	1	180	0	5	315	Vindscreening

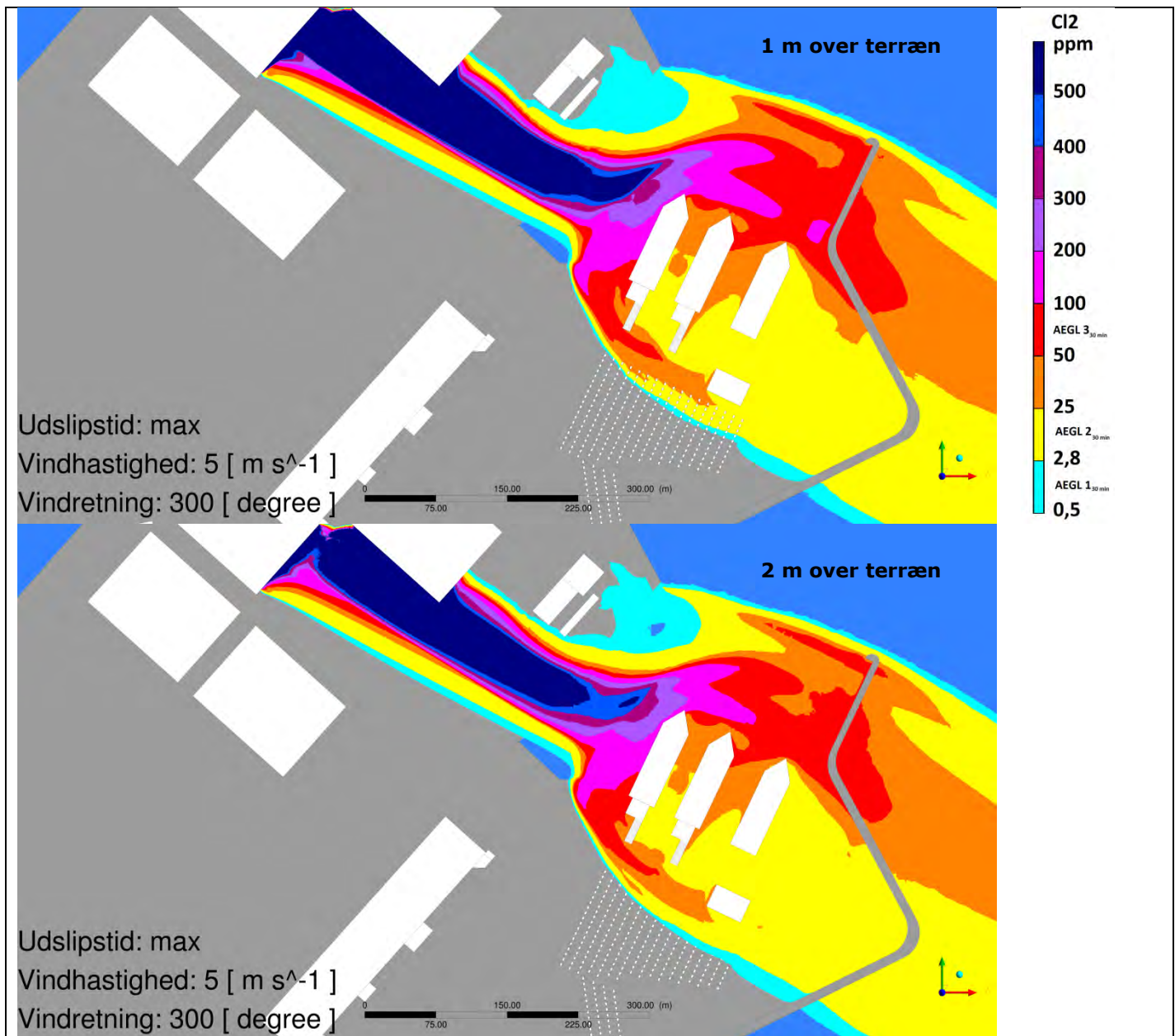


Figur 5. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 1

1.5 Simulering nr. 2

Simulering nr. 1-3 er foretaget for at klarlægge udslipsplaceringens indflydelse ved varierende vindretning.

Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
2	3	180	0	5	300	Vindscreening

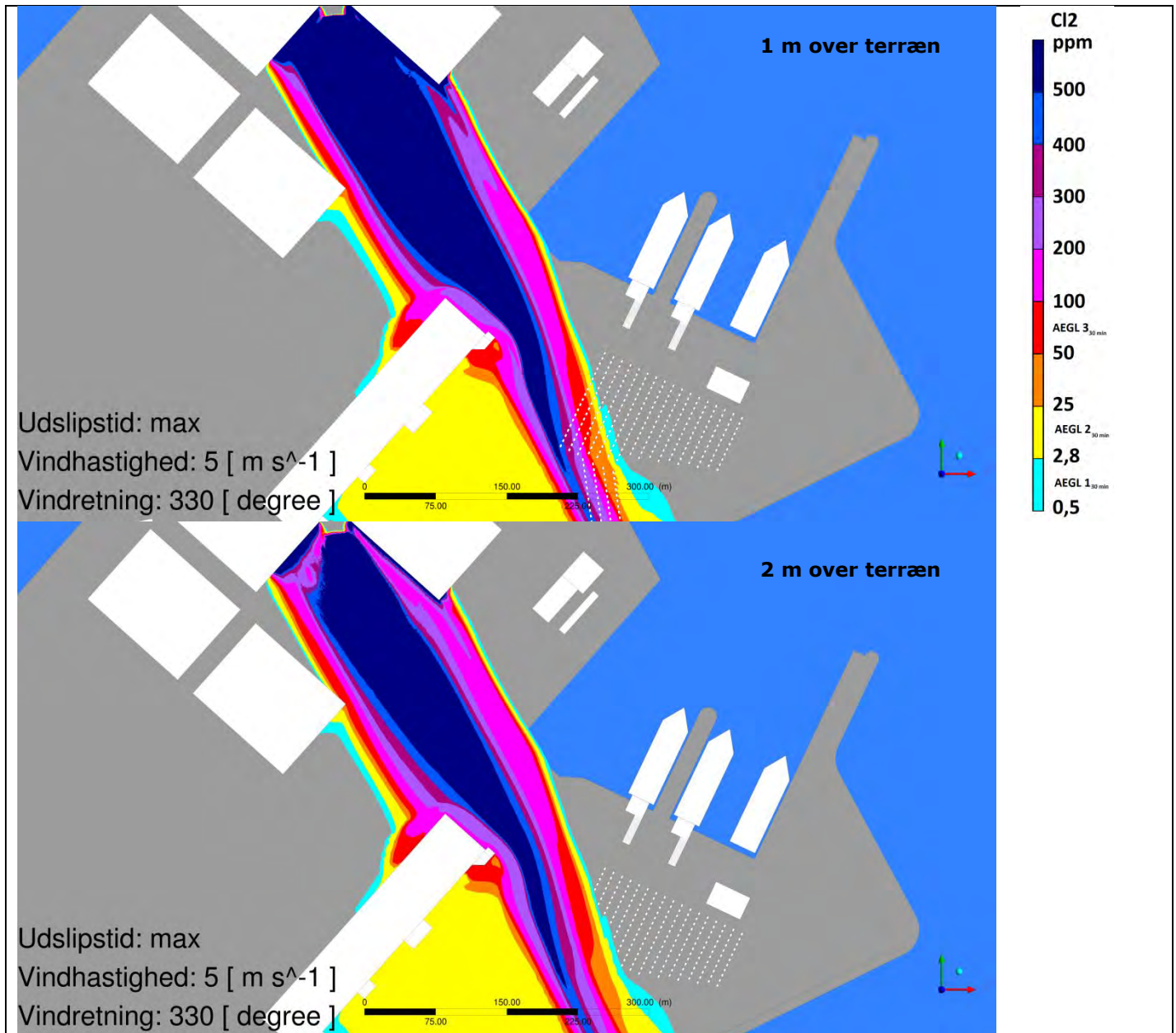


Figur 6. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 2

1.6 Simulering nr. 3

Simulering nr. 1-3 er foretaget for at klarlægge udslipsplaceringens indflydelse ved varierende vindretning.

Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
3	3	180	0	5	330	Vindscreening

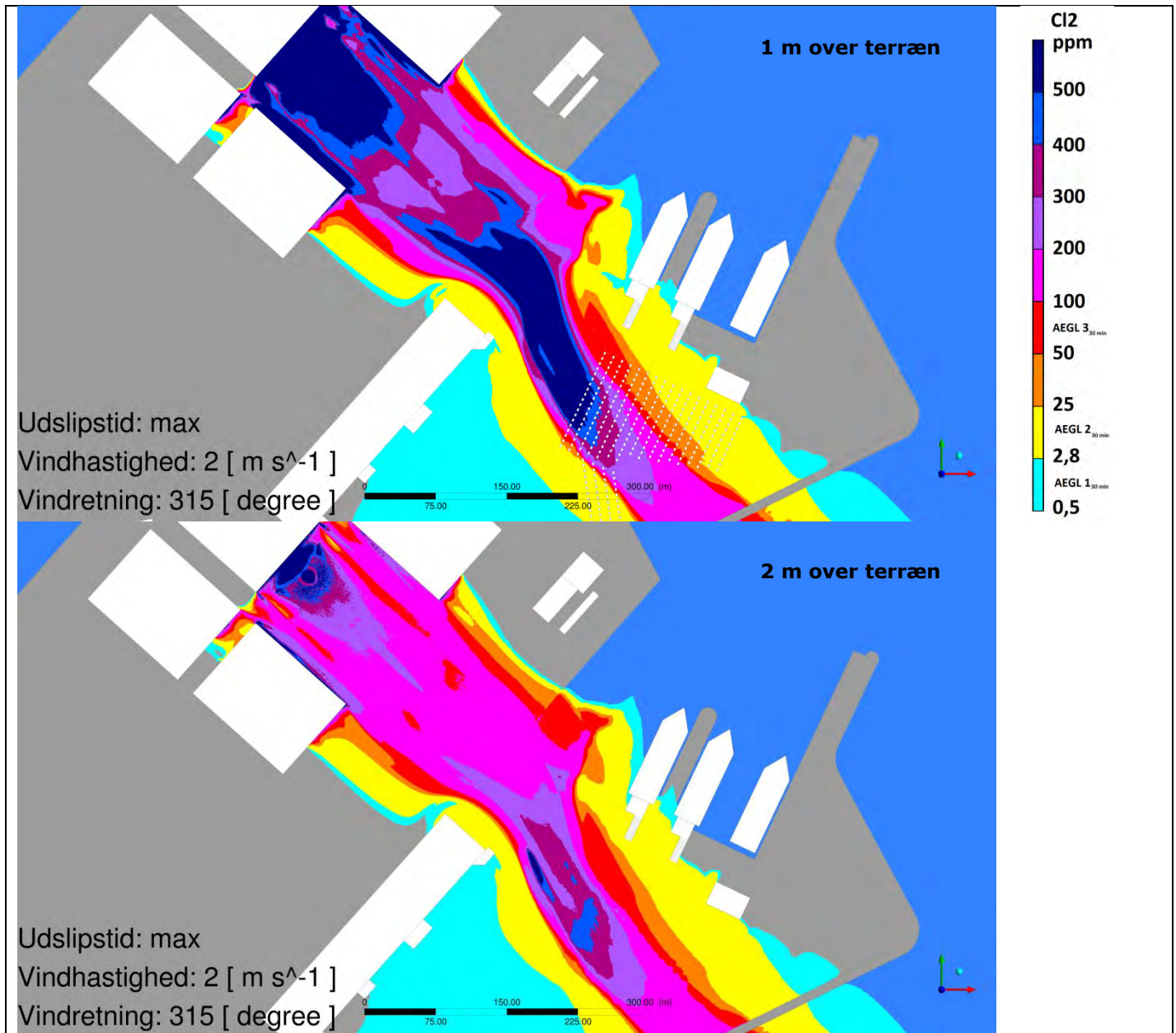


Figur 7. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 3

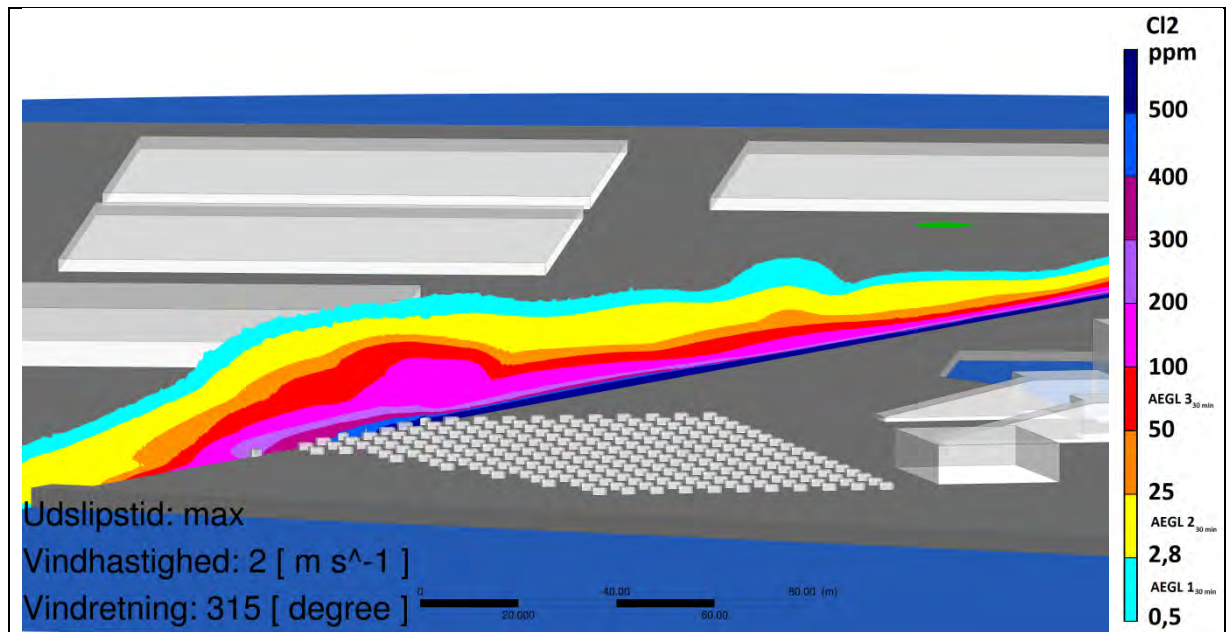
1.7 Simulering nr. 4

Simulering nr. 4 er opsat som referencescenariet (simulering nr. 5) men ved vind på 2 m/s (se Bilag B).

Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
4	2	180	0	2	315	180 kg, lav vind



Figur 8. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 4

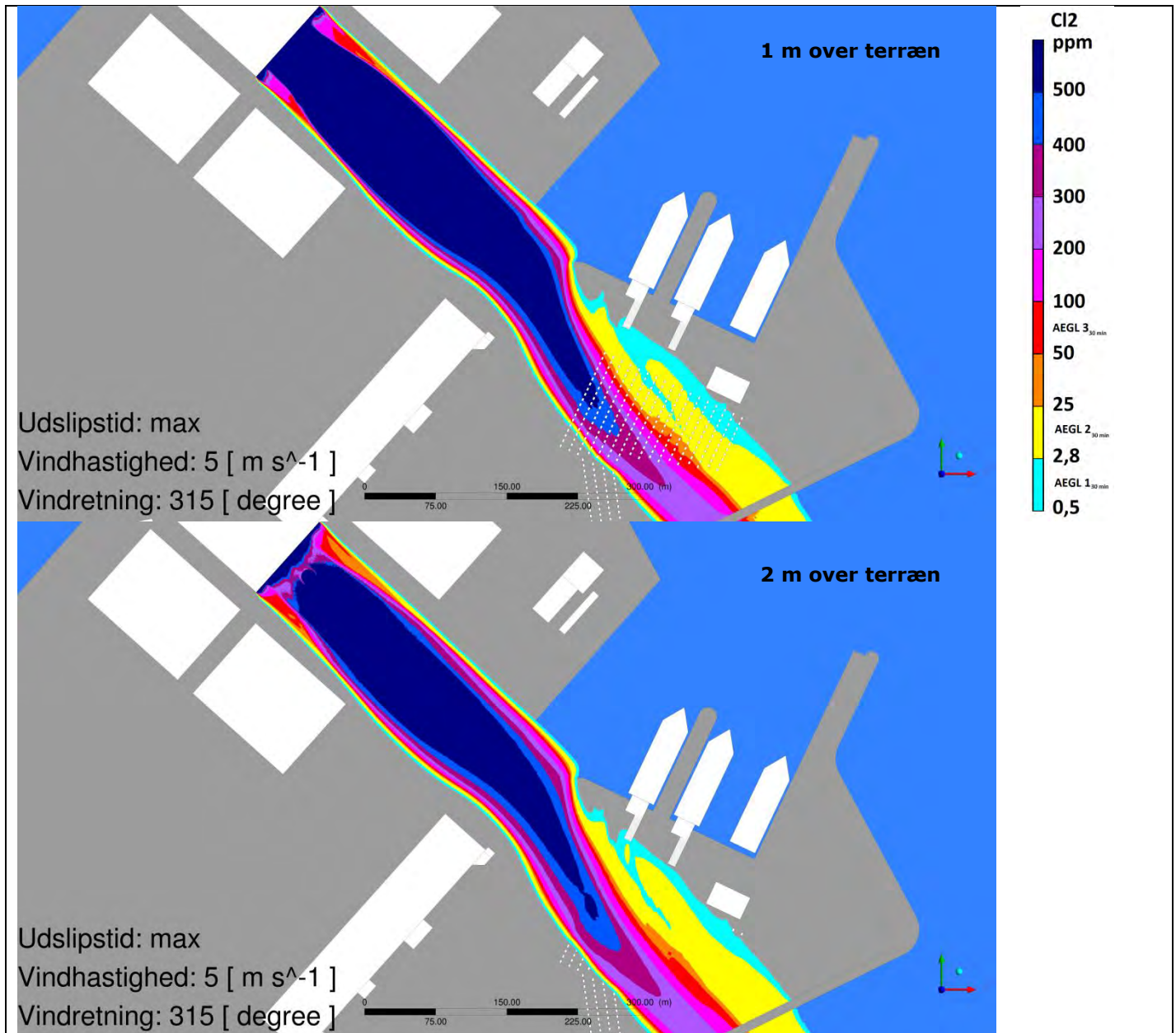


Figur 9. Lodret tværsnit på langs af klorudbredelsen. Plottet viser maksimal opnået koncentration, simulering nr. 4.

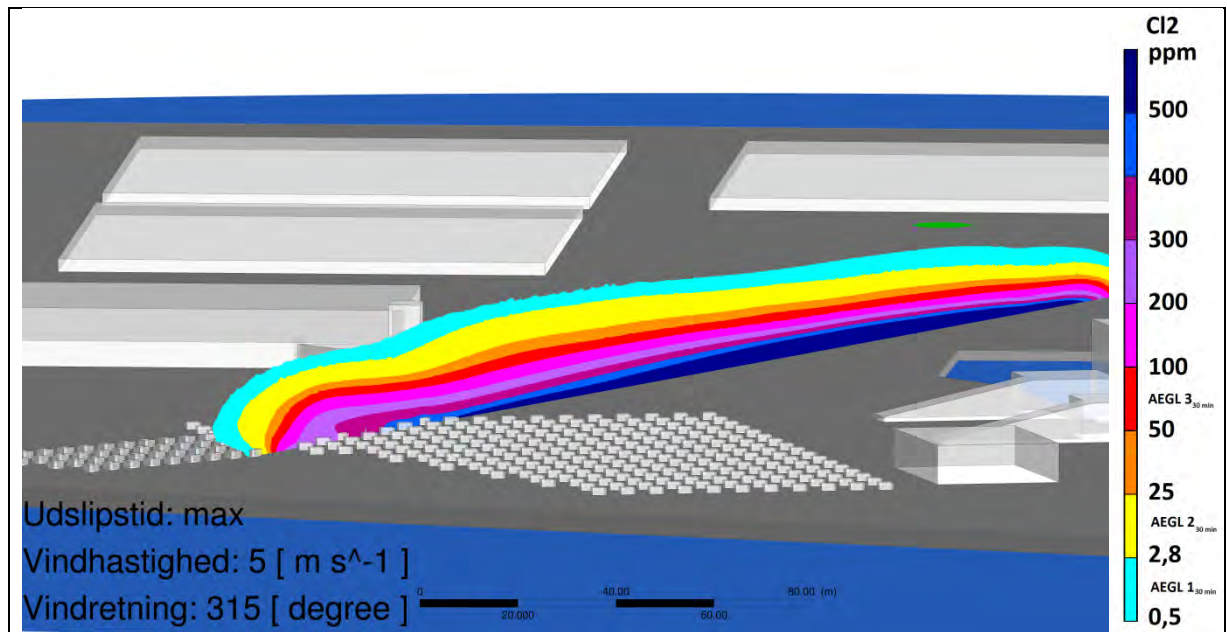
1.8 Simulering nr. 5

Simulering nr. 5 er referencescenariet for simuleringerne foretaget i del 1. Den viser effekten af et 180 kg rent gas udslip ved en middel referencevind på 5 m/s.

Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
5	2	180	0	5	315	180 kg reference scenarie



Figur 10. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 5

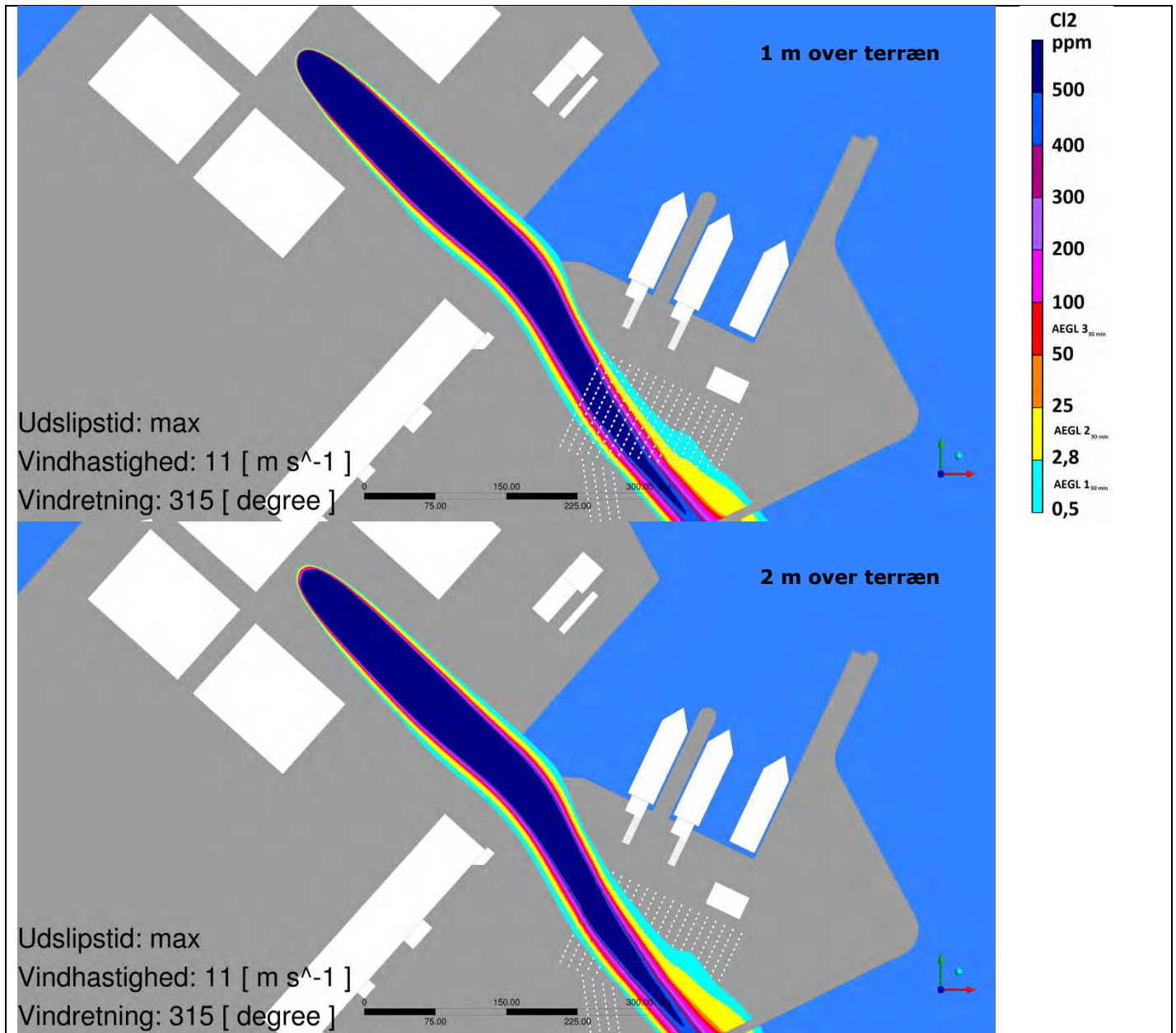


Figur 11. Lodret tværsnit på langs af klorudbredelsen. Plottet viser maksimal opnået koncentration, simulering nr. 5.

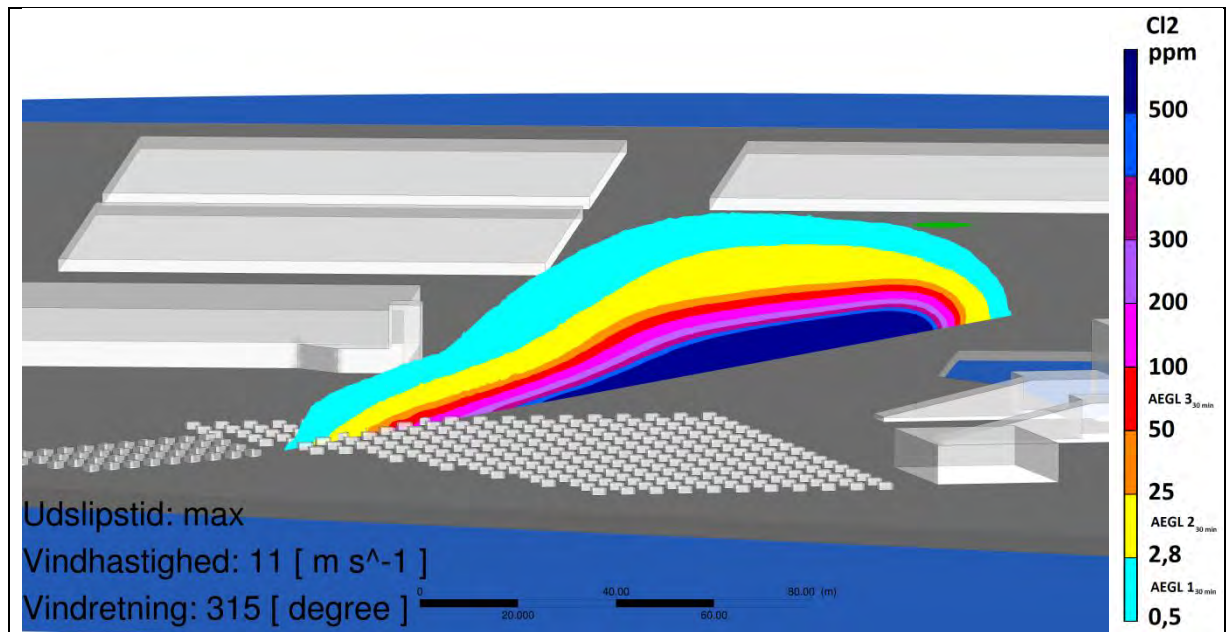
1.9 Simulering nr. 6

Simulering nr. 6 er opsat som referencescenariet (simulering nr. 5) men ved kraftig vind på 11 m/s (se Bilag B).

Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
6	2	180	0	11	315	180 kg, høj vind



Figur 12. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 6

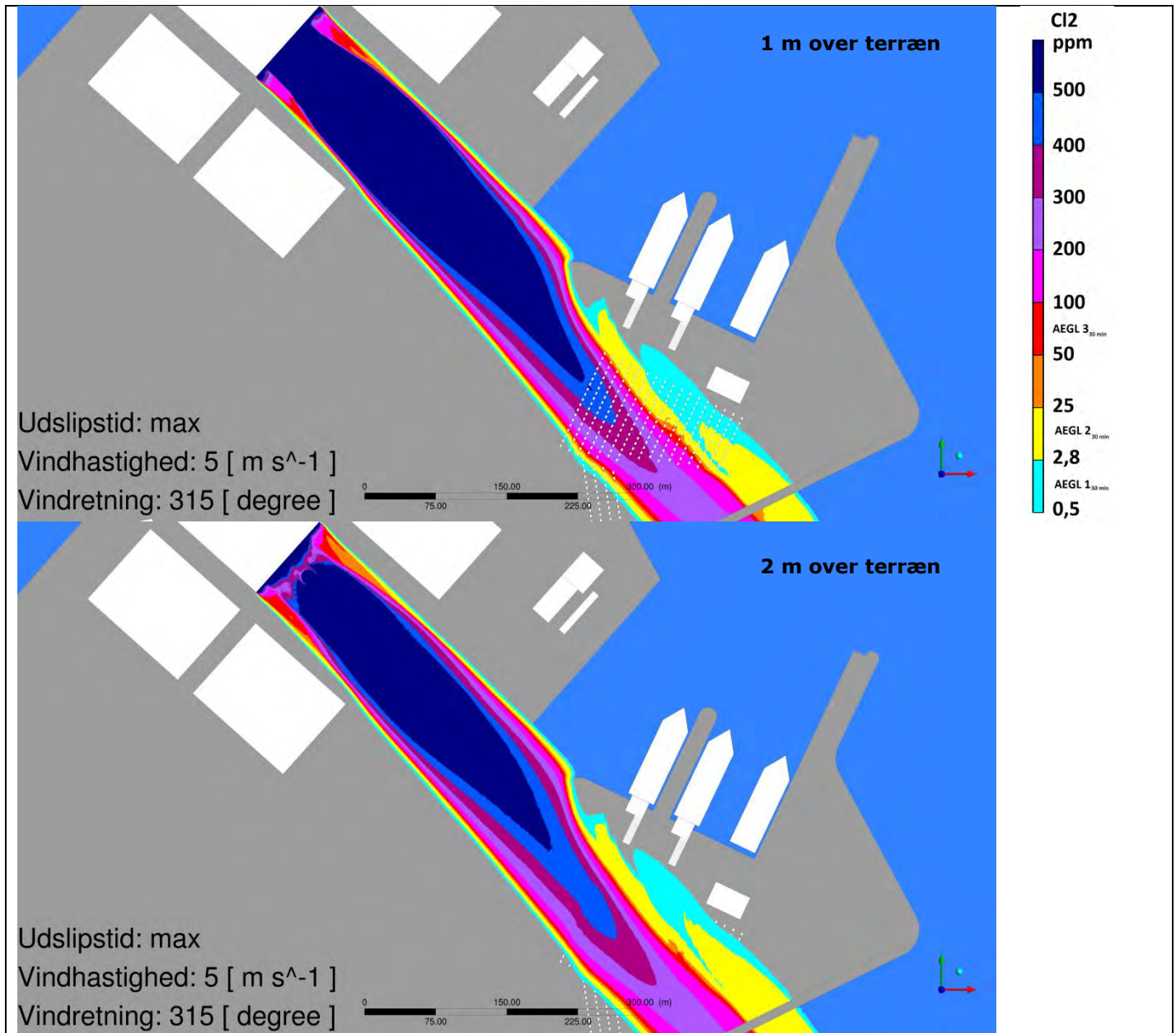


Figur 13. Lodret tværsnit på langs af klorudbredelsen. Plottet viser maksimal opnået koncentration, simulering nr. 6.

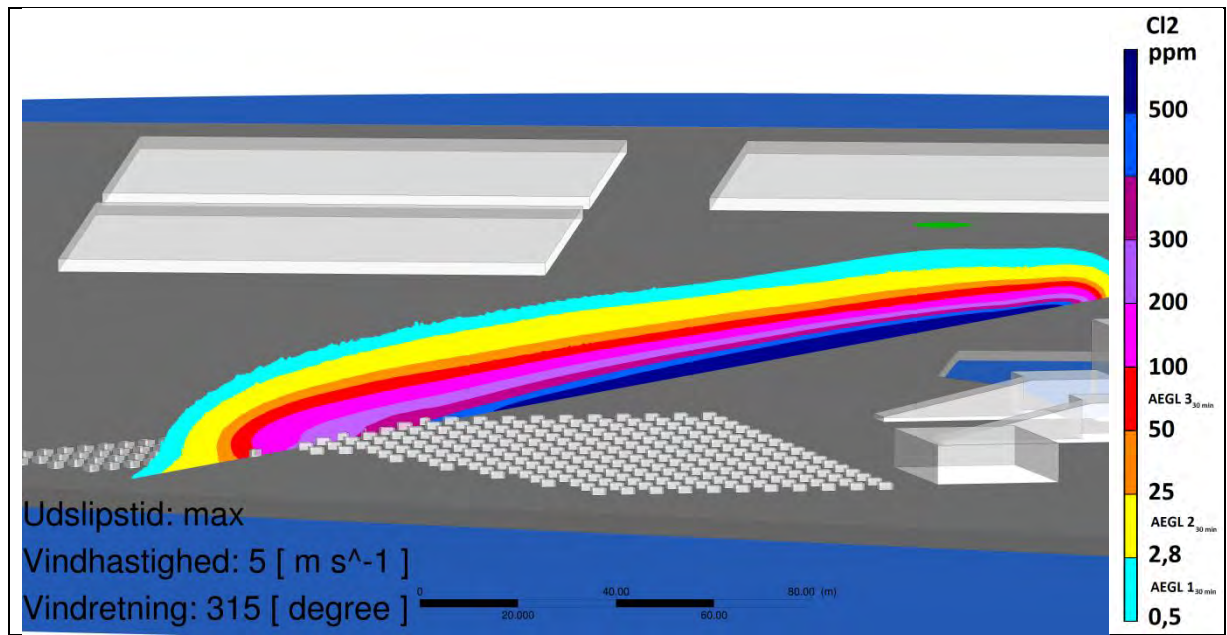
1.10 Simulering nr. 10

Simulering nr. 10 viser effekten på referencescenariet (nr. 5), hvis den 12 m høje bygning, der delvis ligger mellem containerterminalen og opmarcharealet, ikke længere findes.

Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
10	2	180	0	5	315	180 kg, uden 12 m bygning



Figur 14. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 10

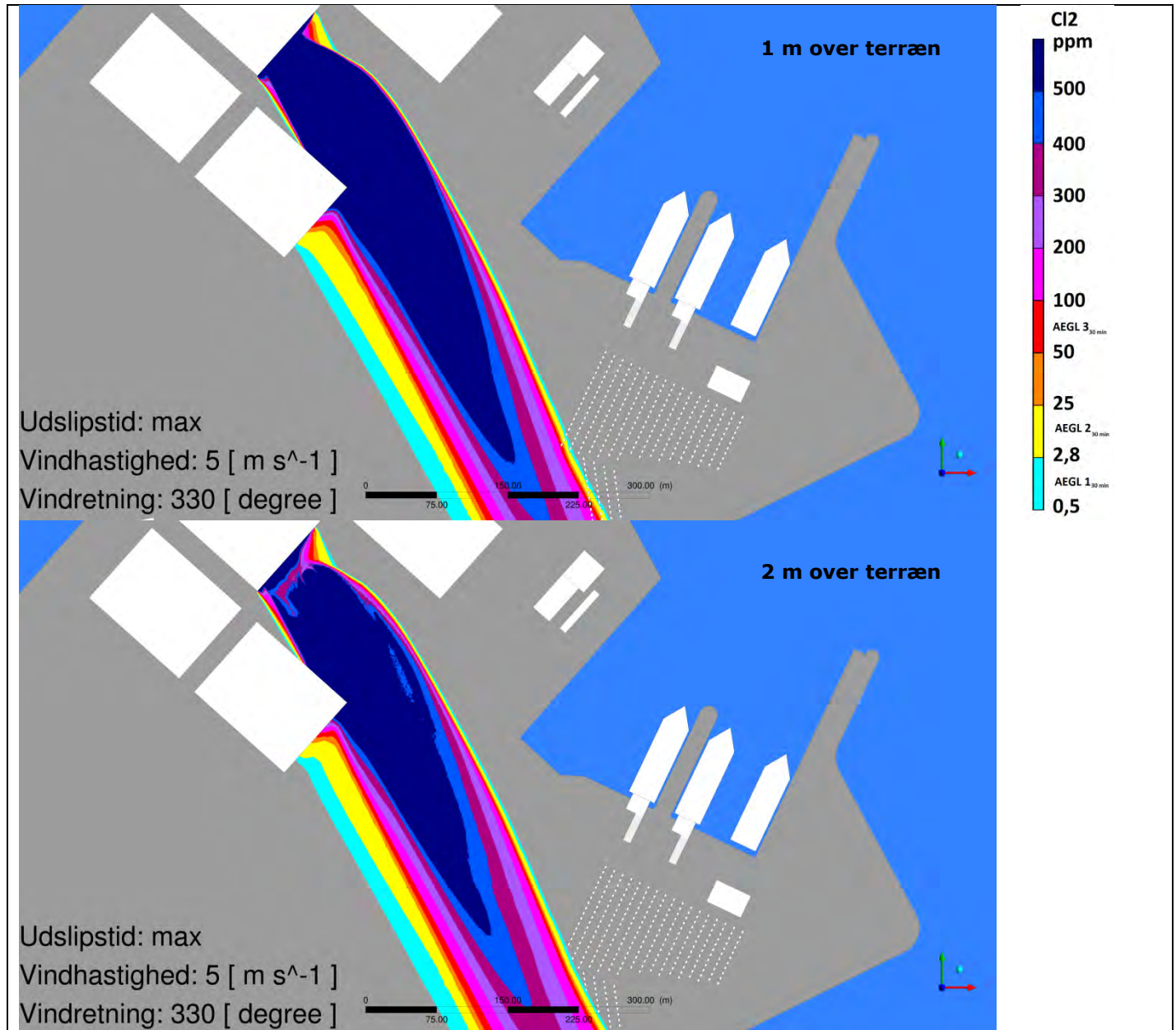


Figur 15. Lodret tværsnit på langs af klorudbredelsen. Plottet viser maksimal opnået koncentration, simulering nr. 10.

1.11 Simulering nr. 11

Simulering nr. 11 viser effekten på referencescenariet (nr. 5), hvis den 12 m høje bygning (der delvis ligger mellem containerterminalen og opmarcharealet) ikke længere findes. Vindretningen er ændret i forhold til simulering nr. 10.

Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
11	2	180	0	5	330	180 kg, uden 12 m bygning

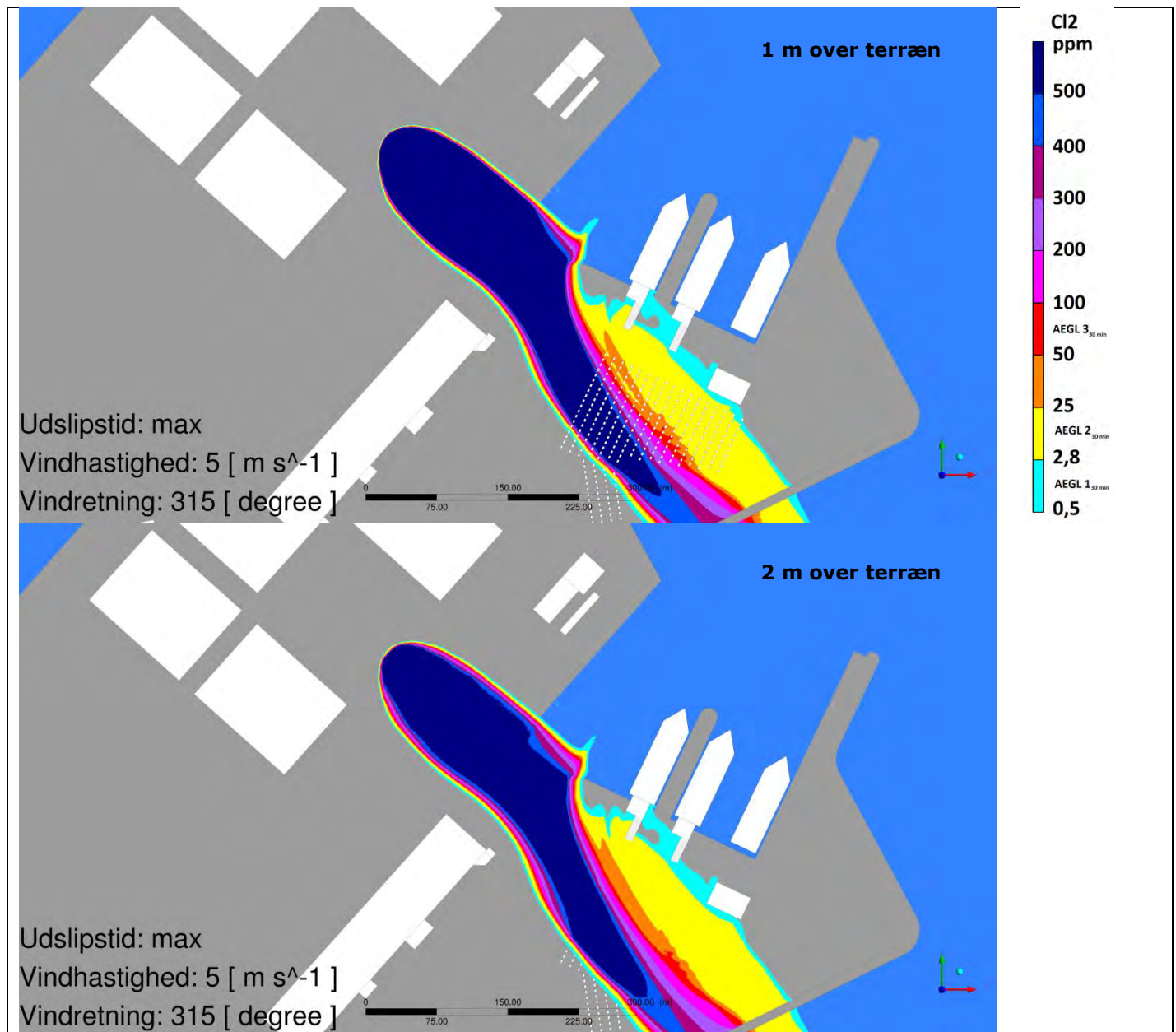


Figur 16. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 11

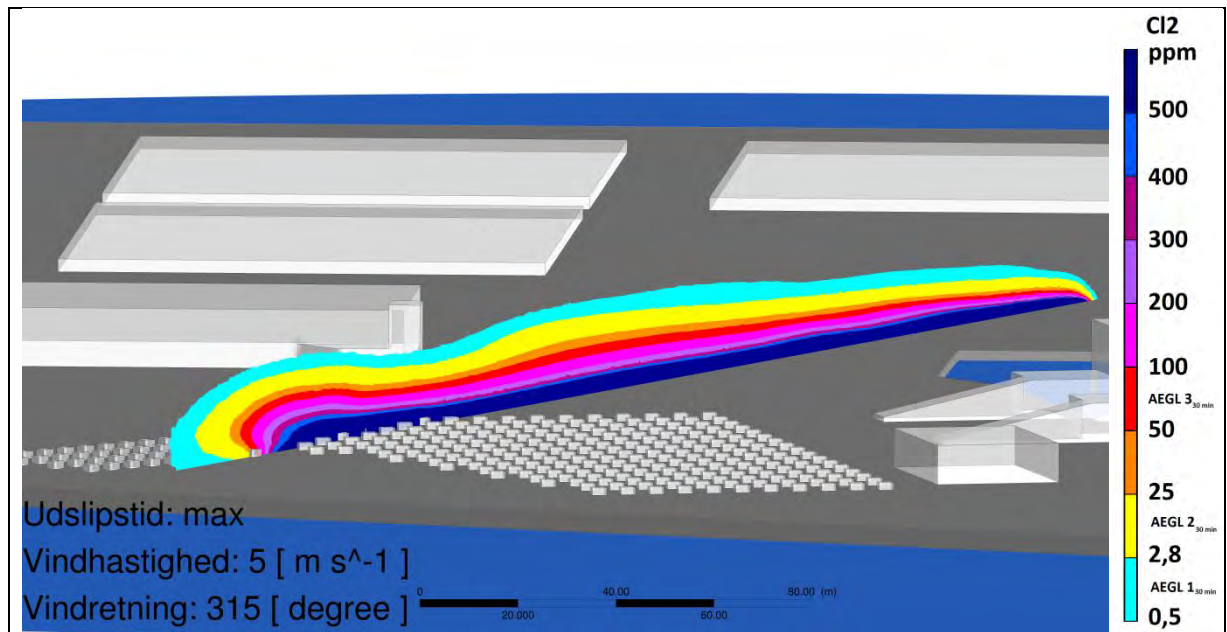
1.12 Simulering nr. 13

Simulering nr. 13 viser effekten på referencescenariet (nr. 5), hvis det flyttes til nærmest mulige placering nær opmarcharealet (udslips placering 4).

Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
13	4	180	0	5	315	180 kg, nærmeste udslips punkt



Figur 17. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 13

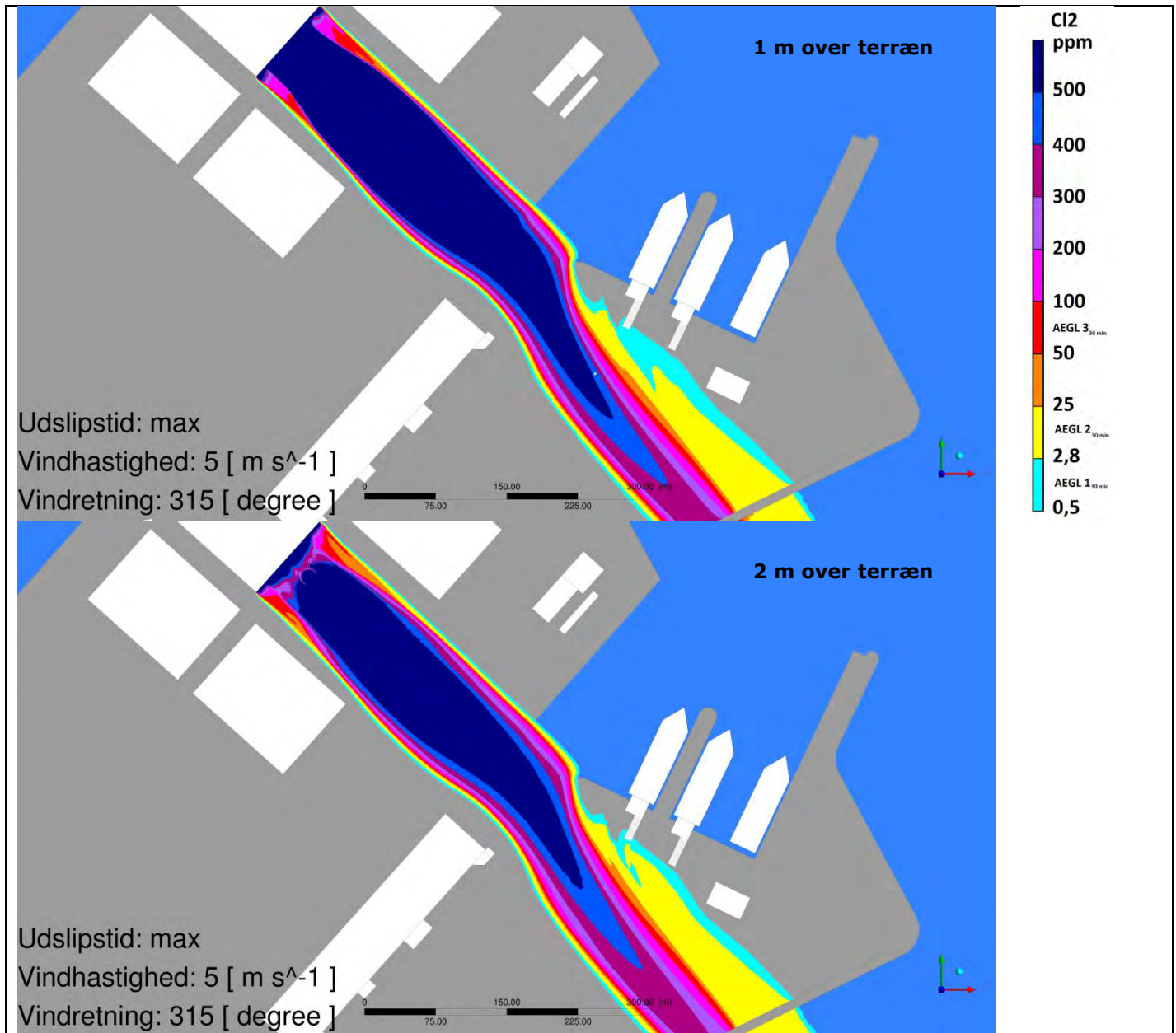


Figur 18. Lodret tværsnit på langs af klorudbredelsen. Plottet viser maksimal opnået koncentration, simulering nr. 13.

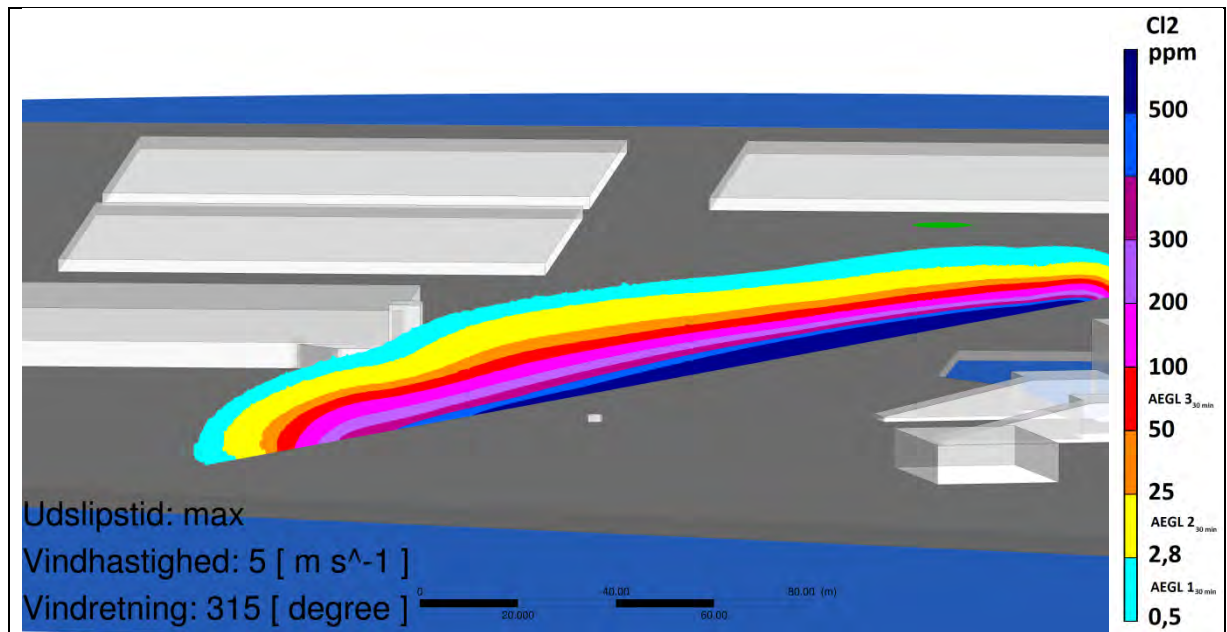
1.13 Simulering nr. 16

Simulering nr. 16 viser effekten på referencescenariet (nr. 5), hvis der kun står 1 bil på op-marcharealet.

Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
16	2	180	0	5	315	180 kg, kun 1 bil



Figur 19. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 16

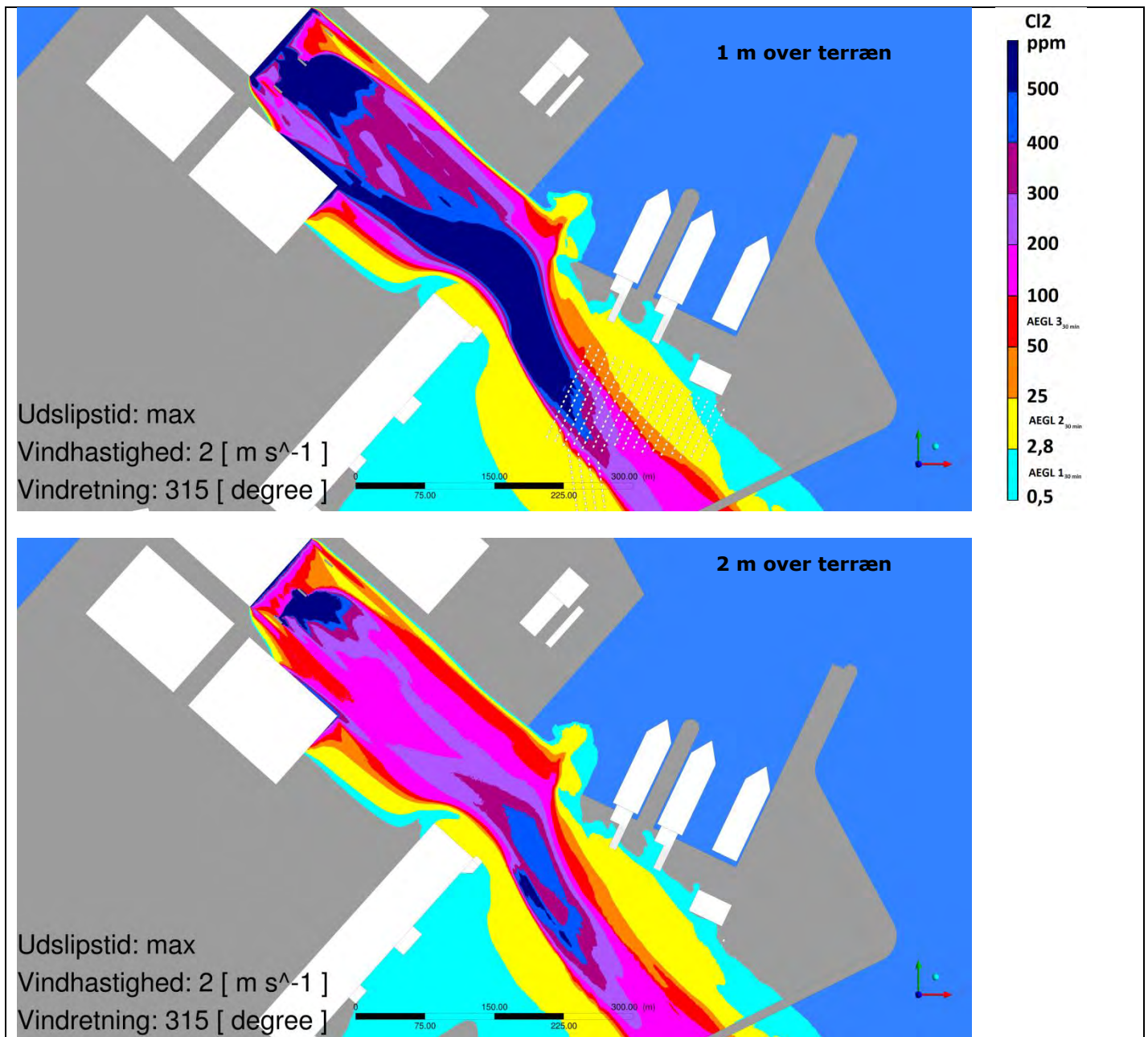


Figur 20. Lodret tværsnit på langs af klorudbredelsen. Plottet viser maksimal opnået koncentration, simulering nr. 16.

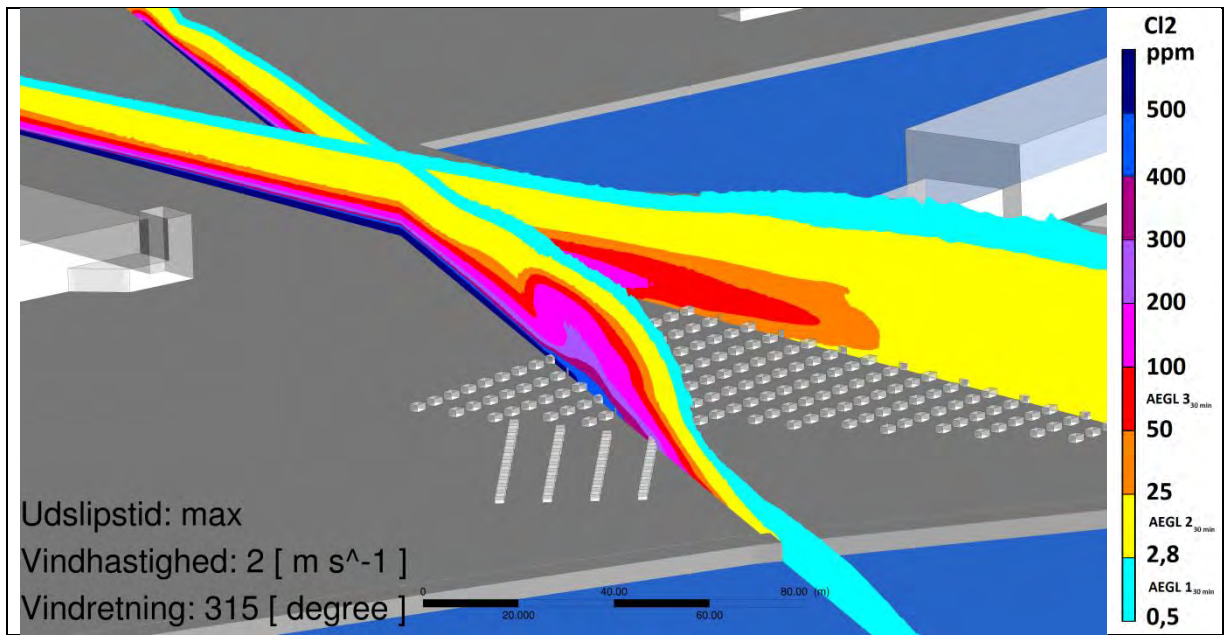
1.14 Simulering nr. 24

Simulering nr. 24 viser effekten af lav vindhastighed (2 m/s) i forhold til referencescenariet simulering nr. 25.

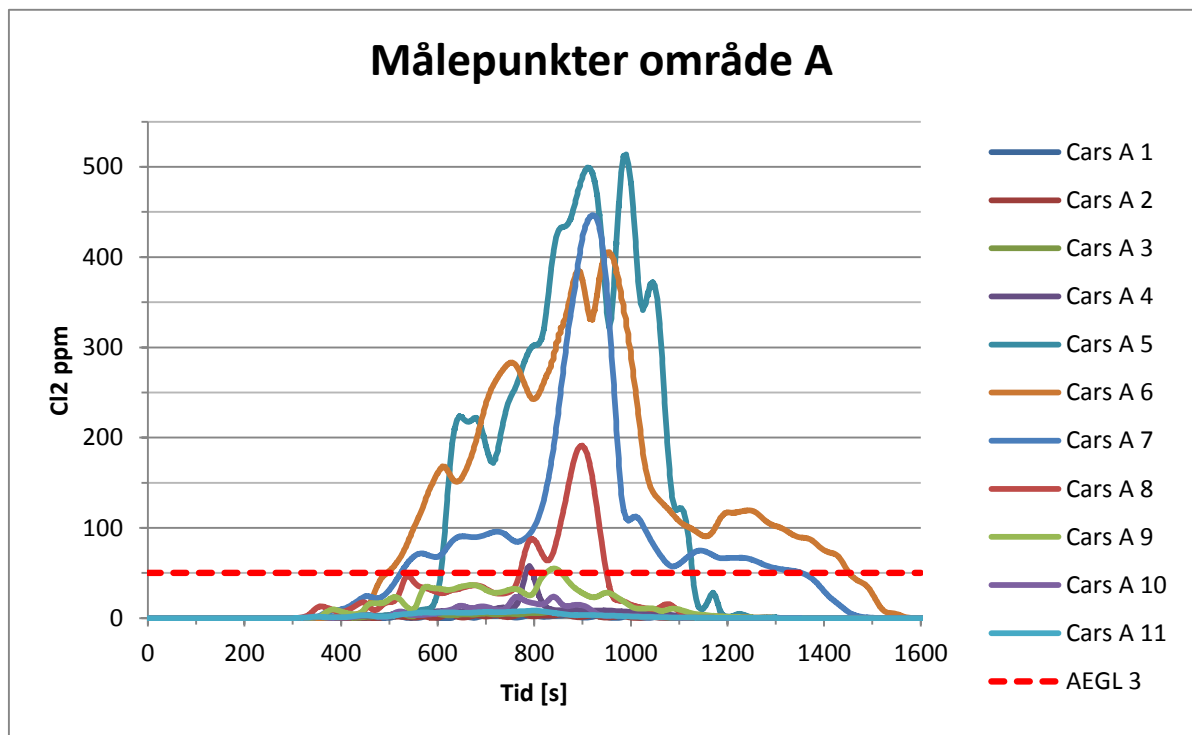
Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
24	1b	36	144	2	315	4 beholdere punkteret, lav vind



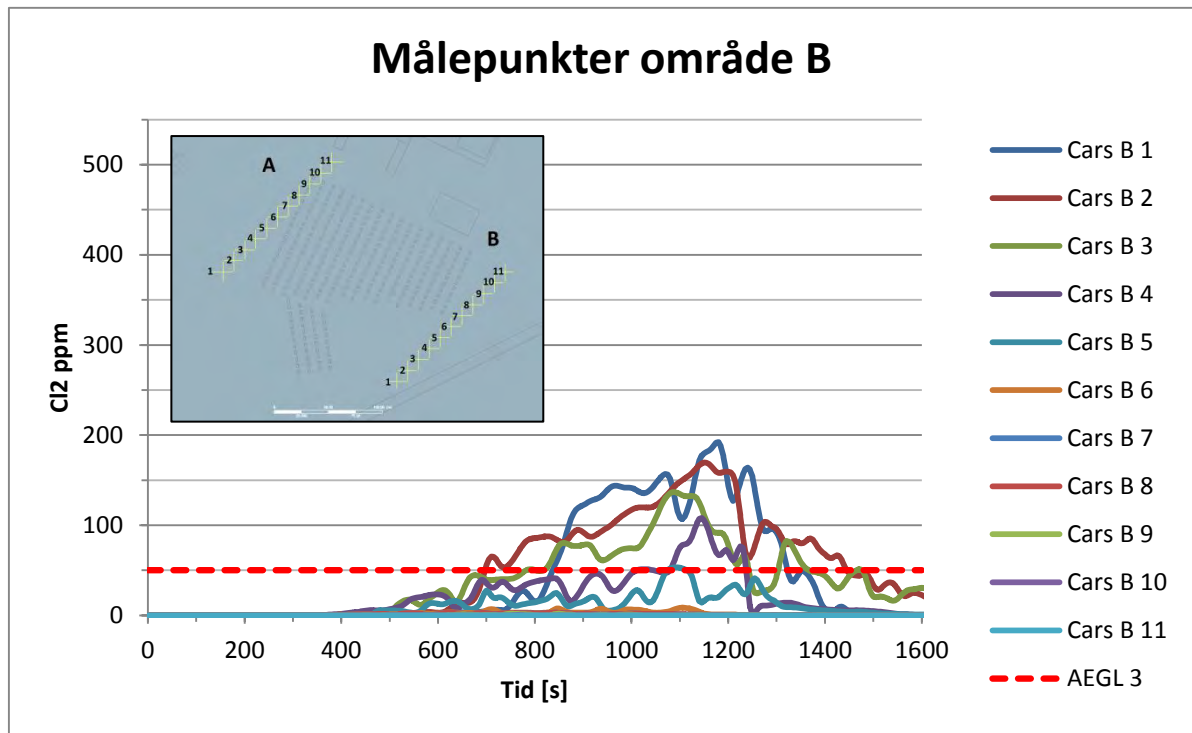
Figur 21. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 24



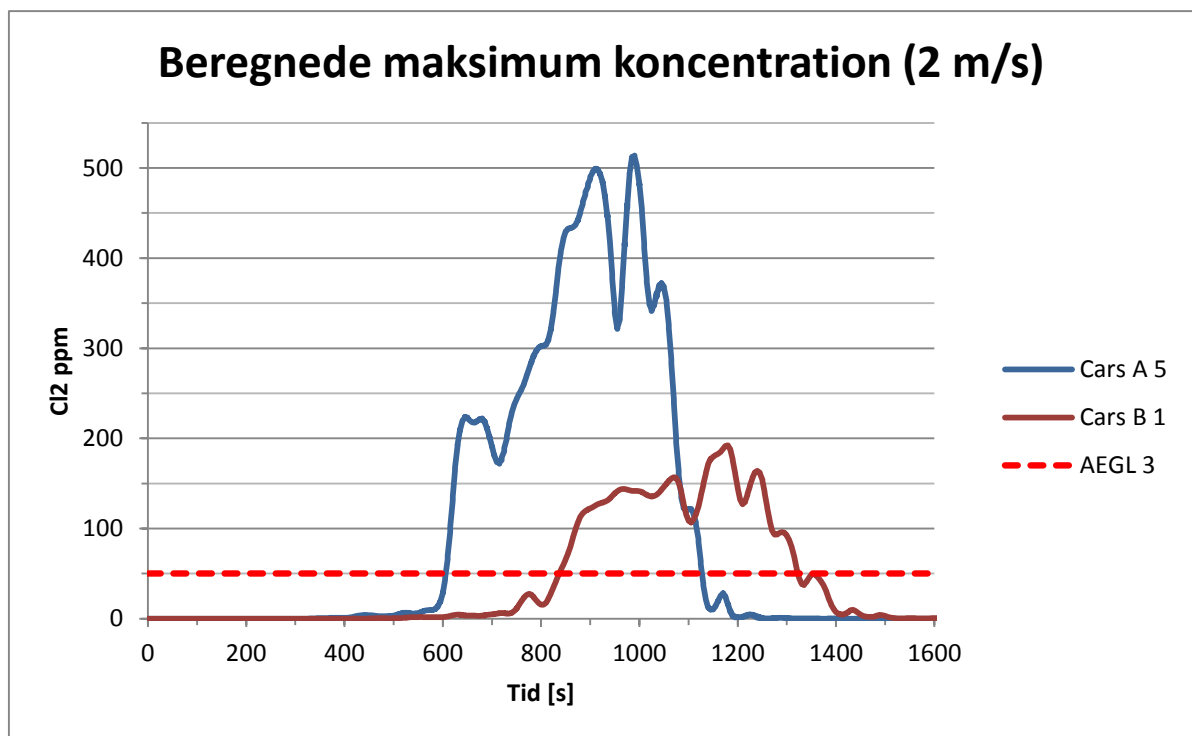
Figur 22. Lodret tværsnit på langs af klorudbredelsen. Plottet viser maksimal opnået koncentration, simulering nr. 24.



Figur 23. Målepunkter område A, simulering nr. 24.



Figur 24. Målepunkter område B, simulering nr. 24.

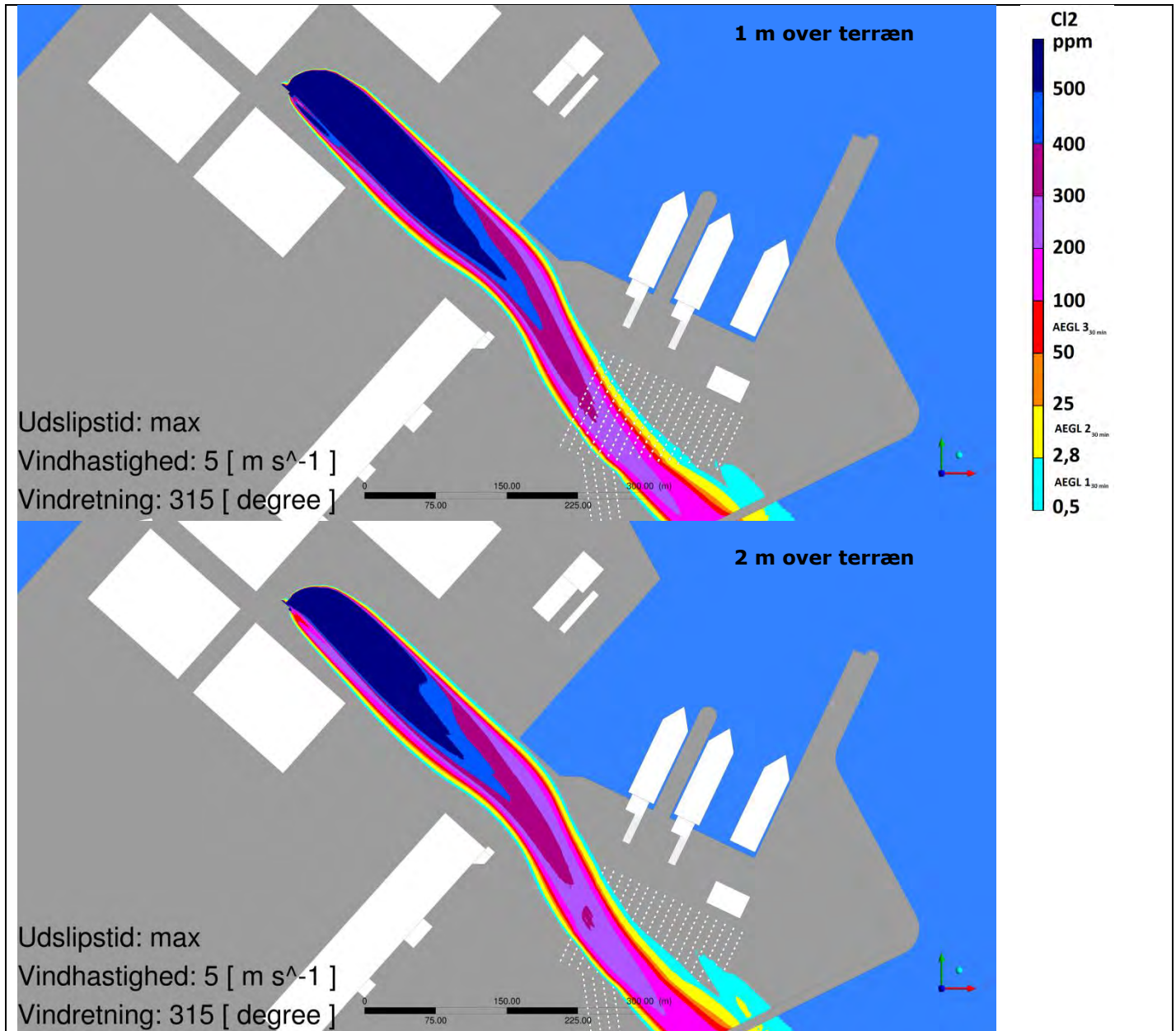


Figur 25. Koncentrationen over tid i målepunkt 5 i område A og målepunkt 1 i område B ved 2 m/s, simulering nr. 24.

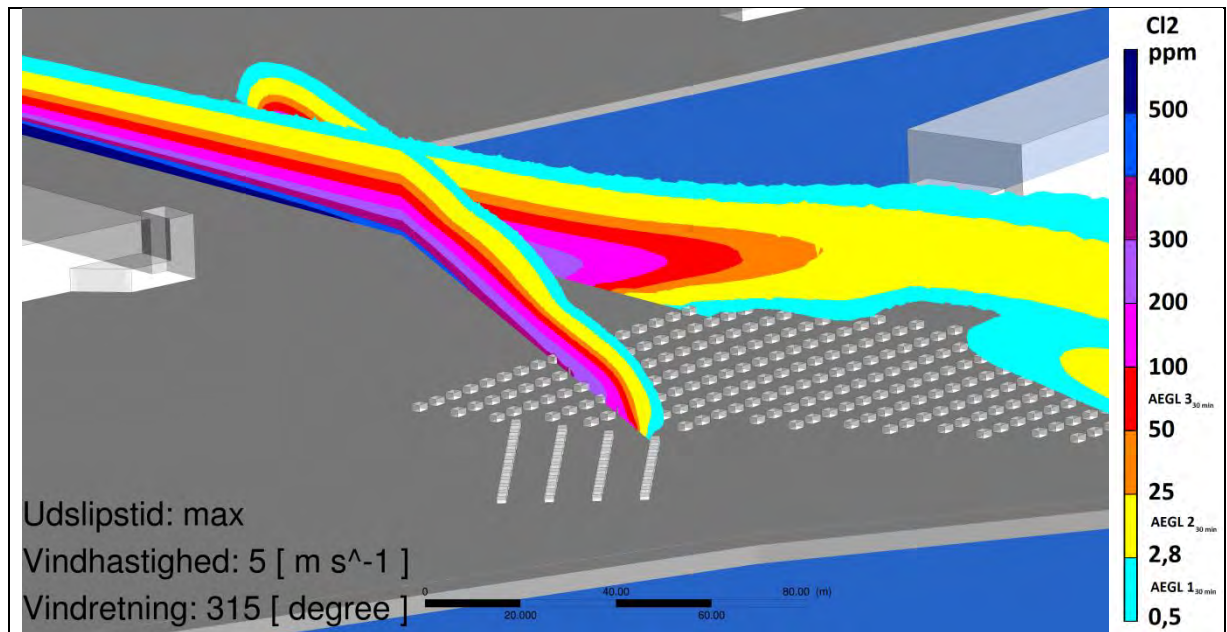
1.15 Simulering nr. 25

Simulering nr. 25 er referencesimuleringen ved middel vind for det detaljerede udslip med punktering af 4 klorbeholdere.

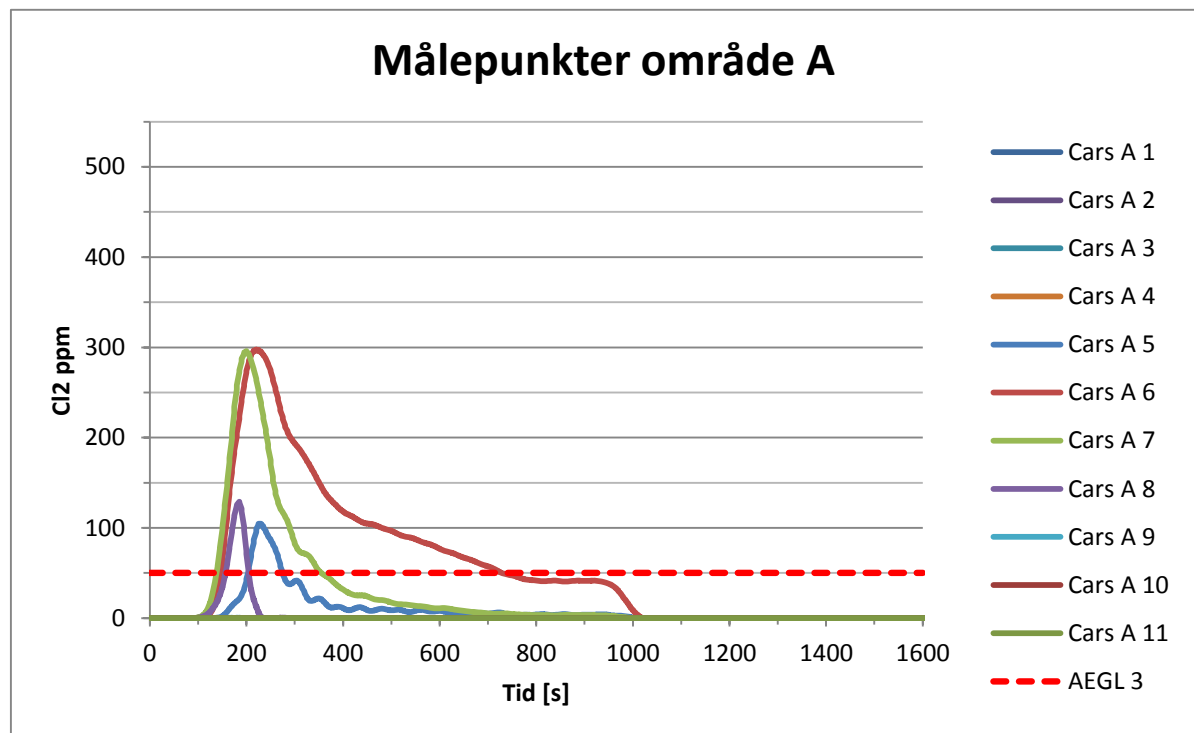
Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
25	1b	36	144	5	315	4 beholdere punkteret, reference scenarie



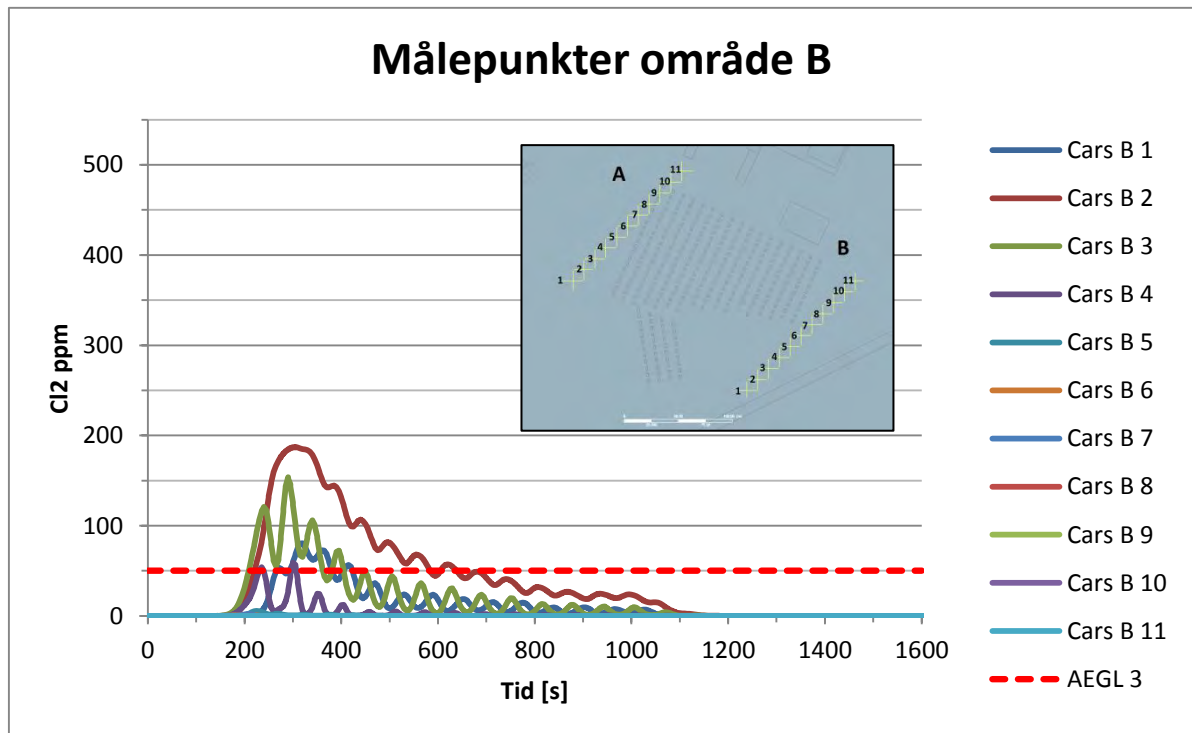
Figur 26. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 25



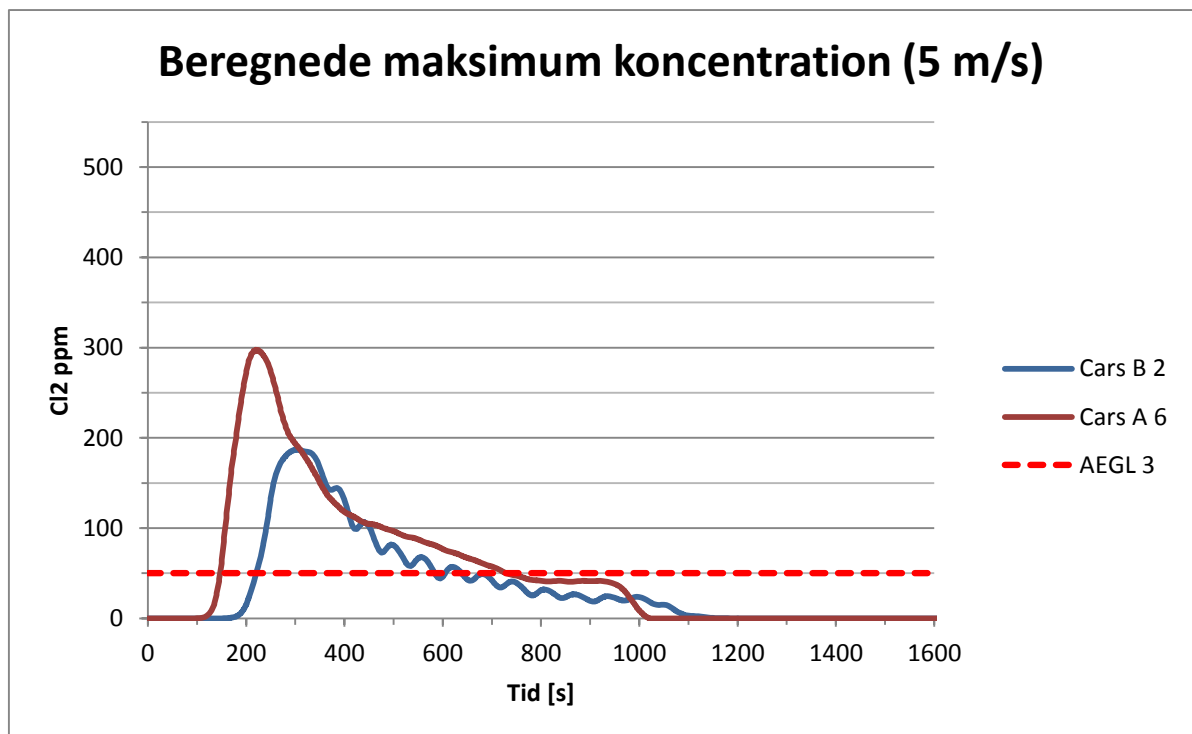
Figur 27. Lodret tværsnit på langs af klorudbredelsen. Plottet viser maksimal opnået koncentration, simulering nr. 25.



Figur 28. Målepunkter område A, simulering nr. 25.



Figur 29. Målepunkter område B, simulering nr. 25.

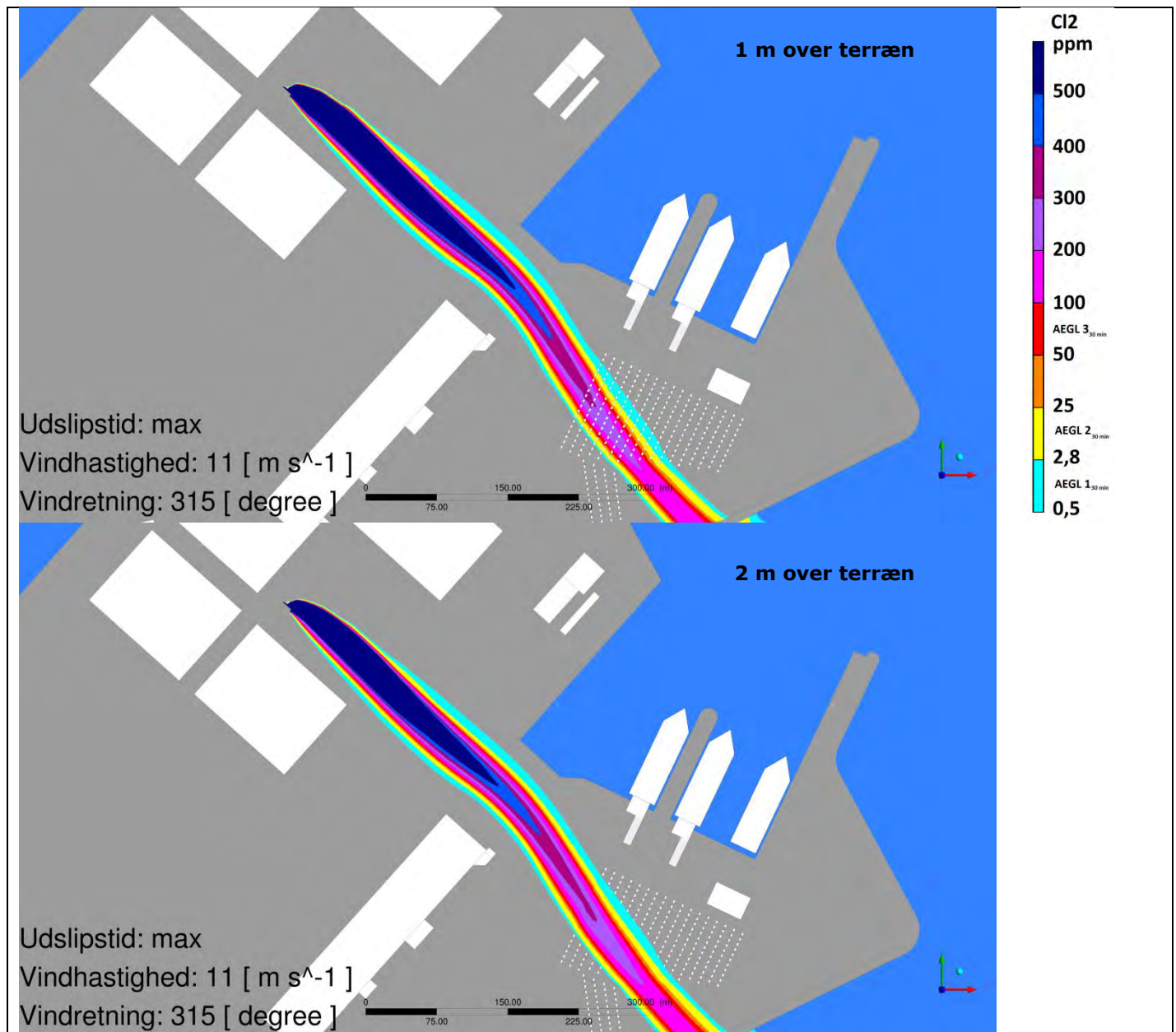


Figur 30. Koncentrationen over tid i målepunkt 6 i område A og målepunkt 2 i område B ved 5 m/s, simulering nr. 25.

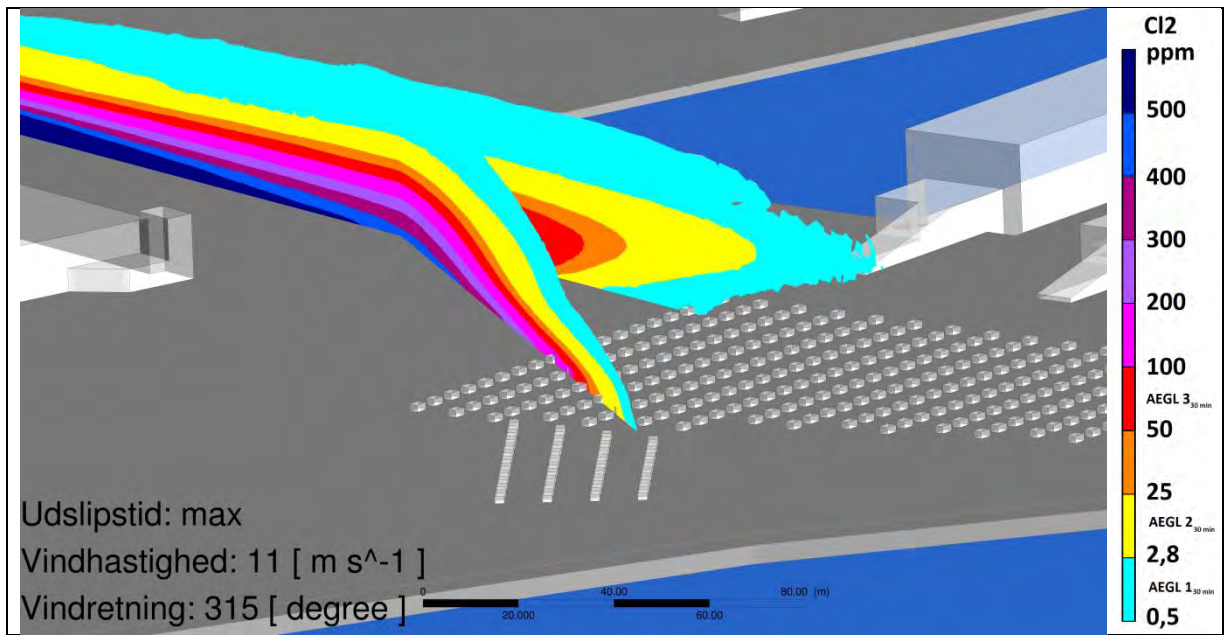
1.16 Simulering nr. 26

Simulering nr. 26 viser effekten af høj vindhastighed (11 m/s) i forhold til referencescenariet simulering nr. 25.

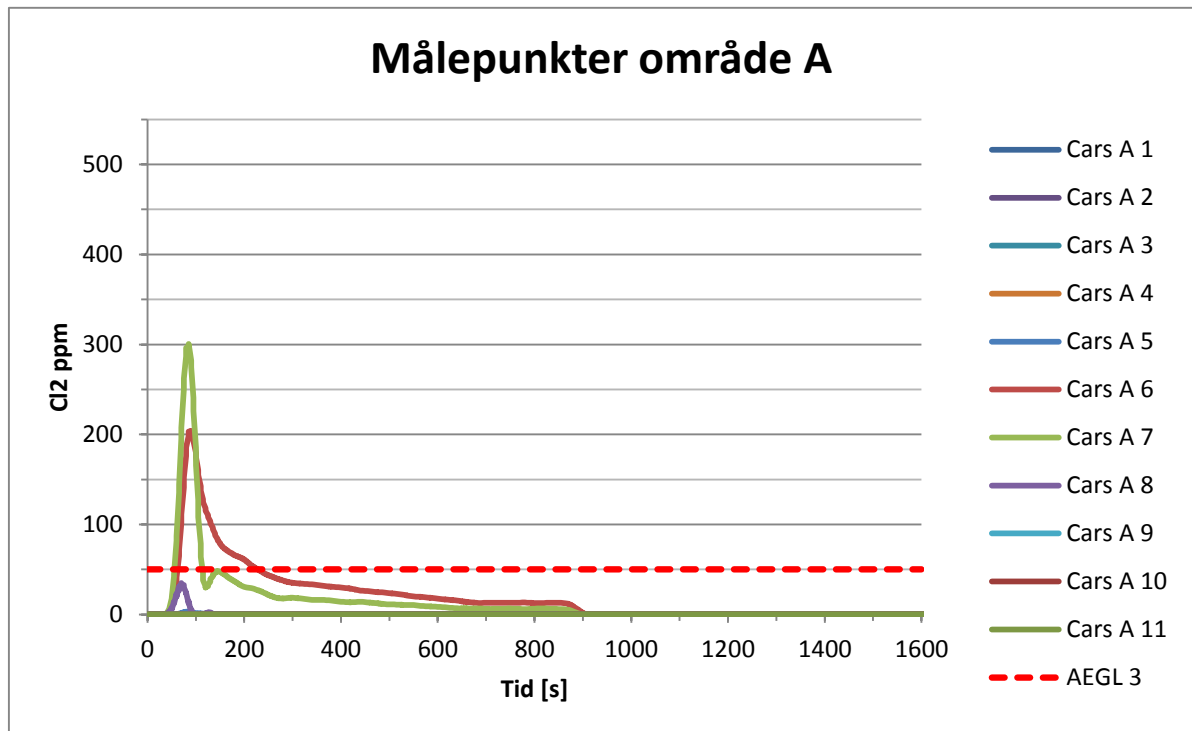
Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
26	1b	36	144	11	315	4 beholdere punkteret, høj vind



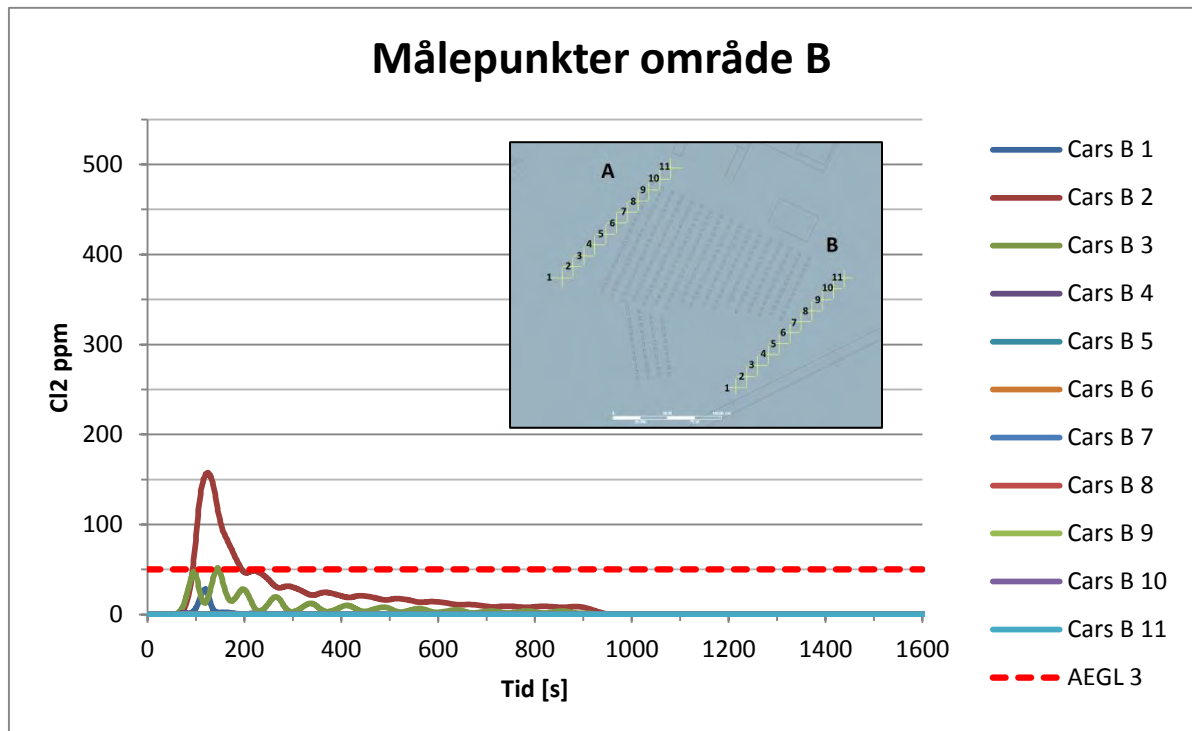
Figur 31. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 26



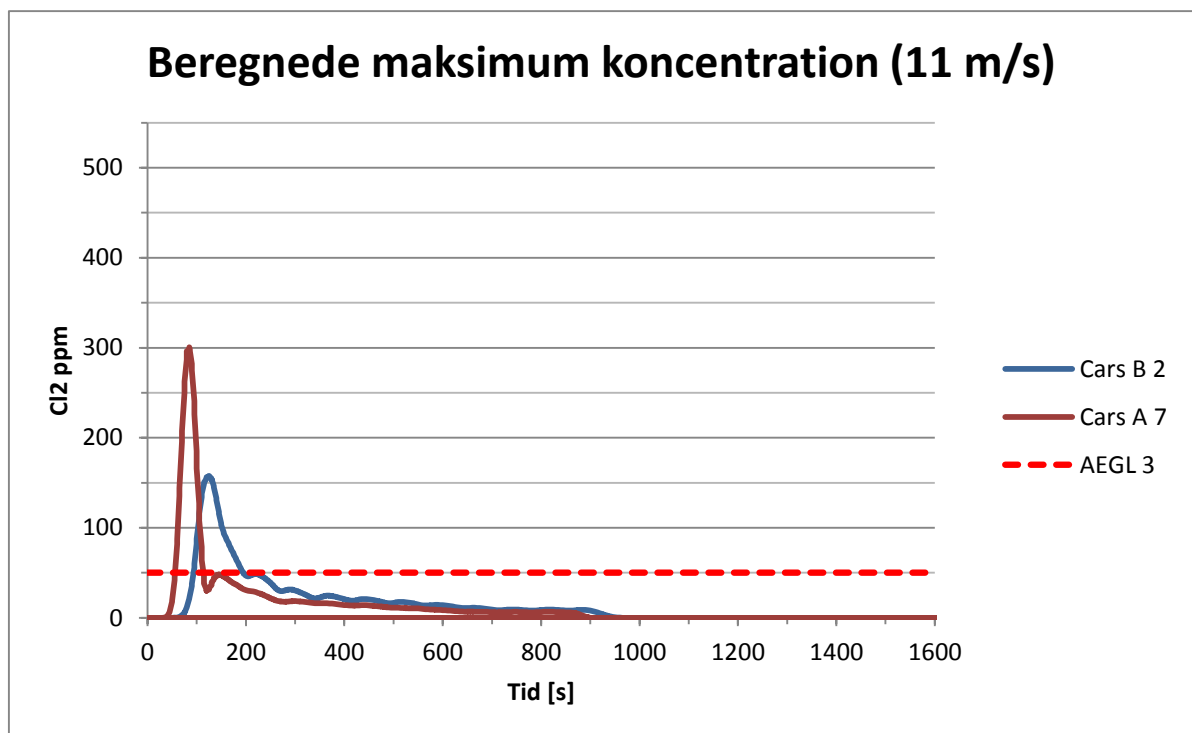
Figur 32. Lodret tværsnit på langs af klorudbredelsen. Plottet viser maksimal opnået koncentration, simulering nr. 26.



Figur 33. Målepunkter område A, simulering nr. 26.



Figur 34. Målepunkter område B, simulering nr. 26.

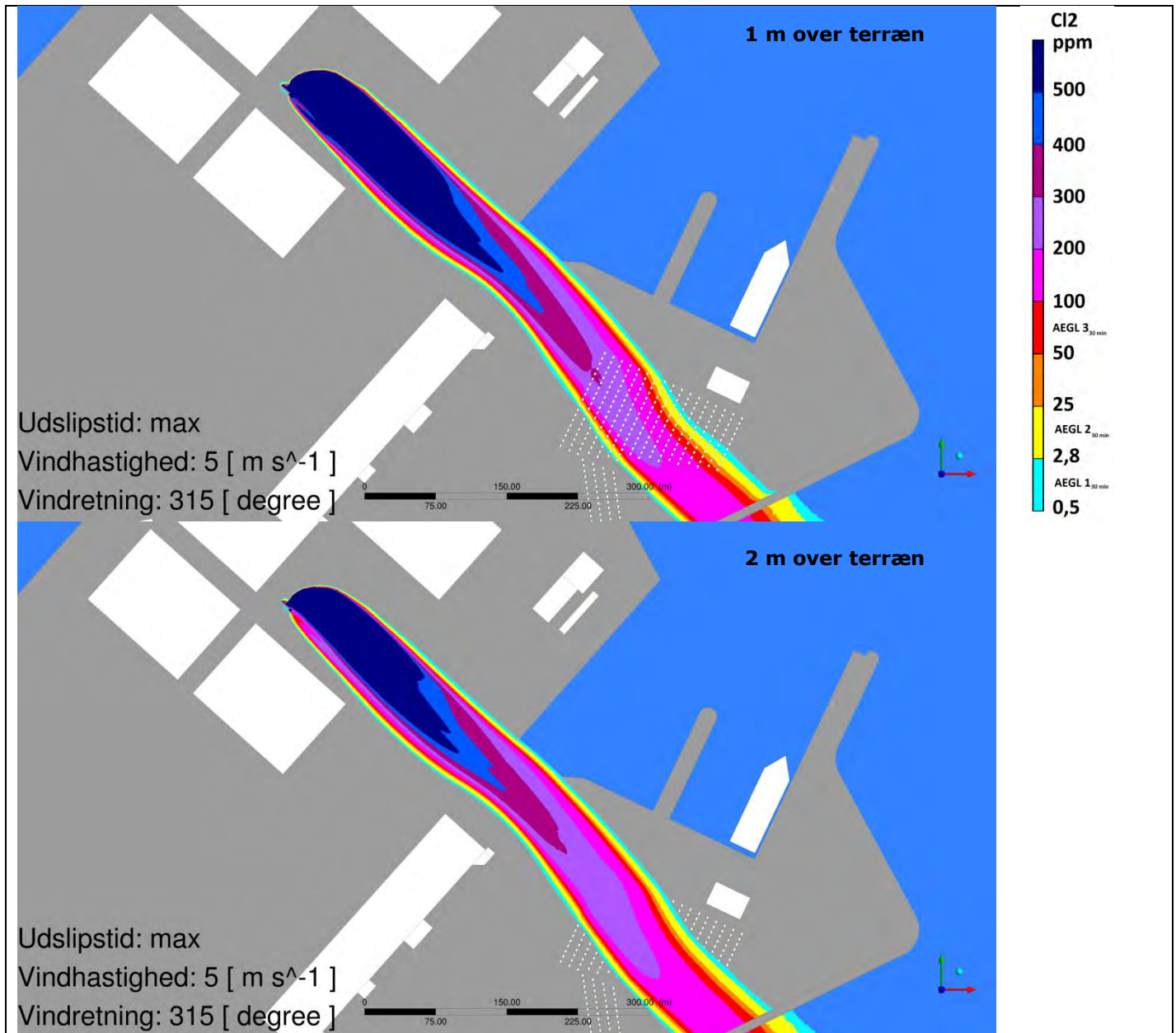


Figur 35. Koncentrationen over tid i målepunkt 7 i område A og målepunkt 2 i område B ved 11 m/s, simulering nr. 26.

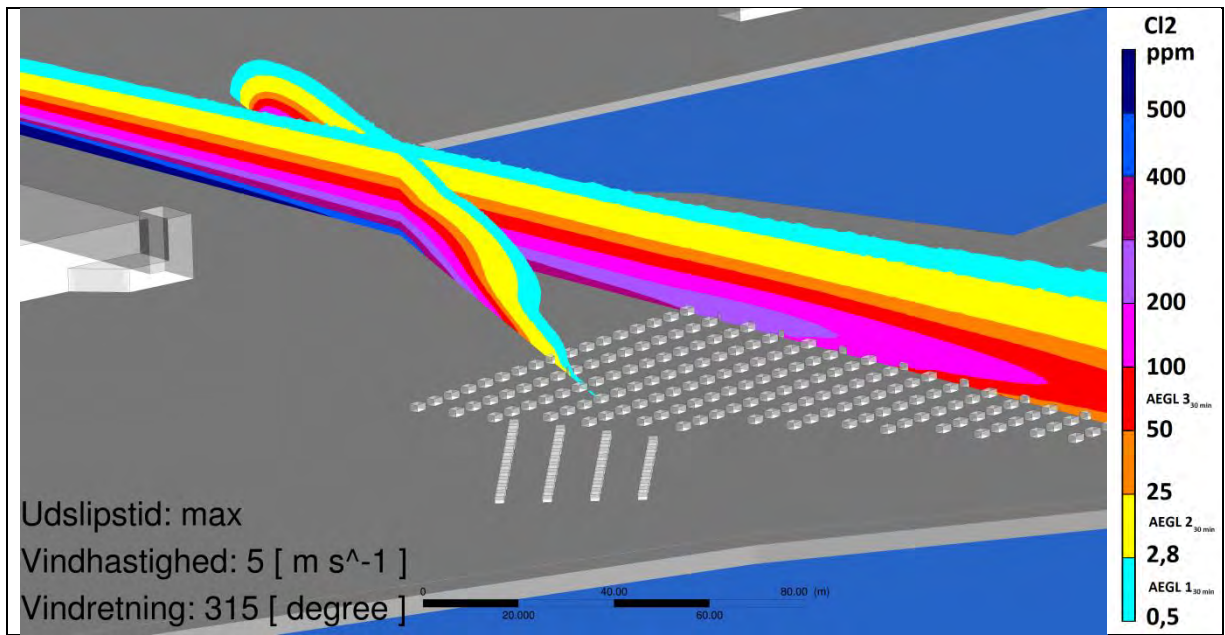
1.17 Simulering nr. 27

I simulering nr. 27 er antallet af skibe i havene reduceret til et skib.

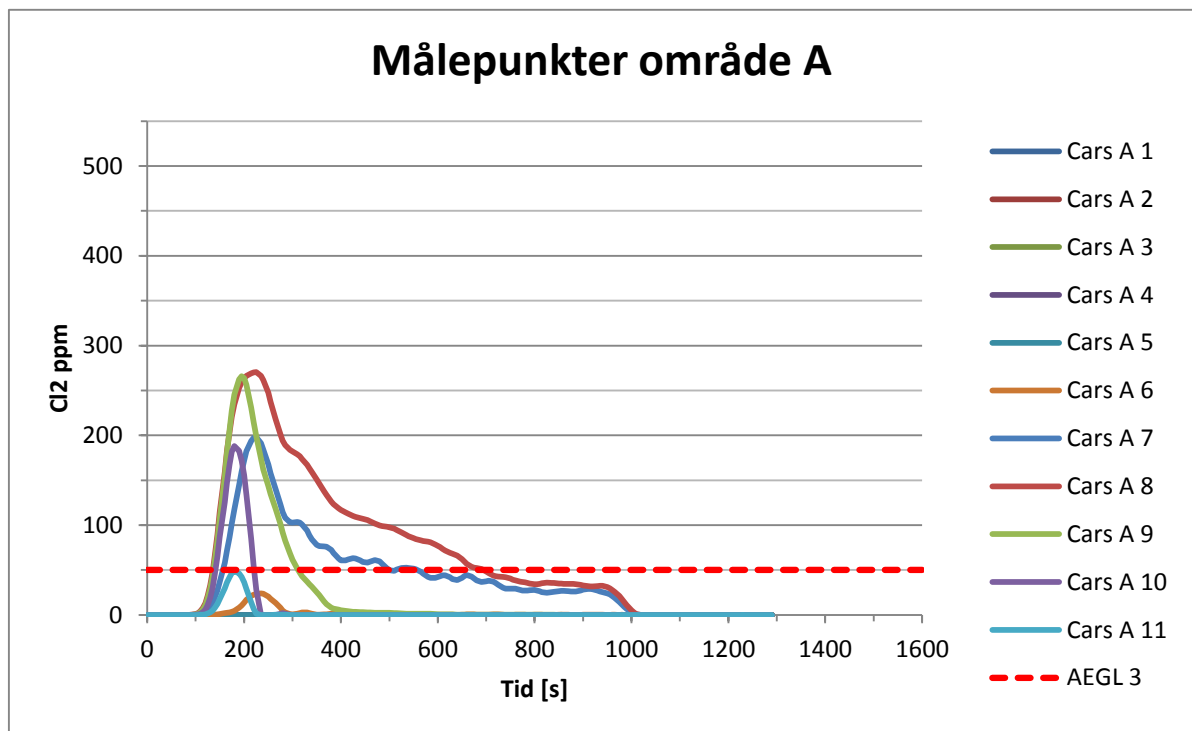
Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
27	1b	36	144	5	315	4 beholdere punkteret, uden skib



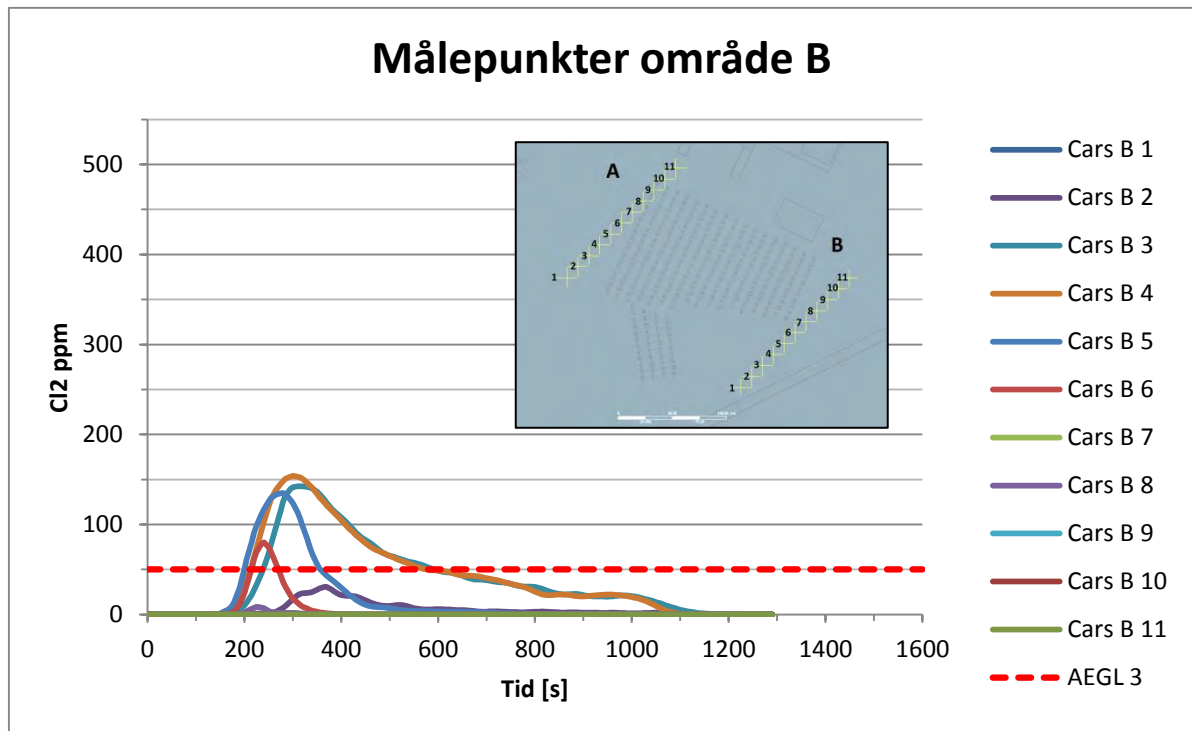
Figur 36. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 27



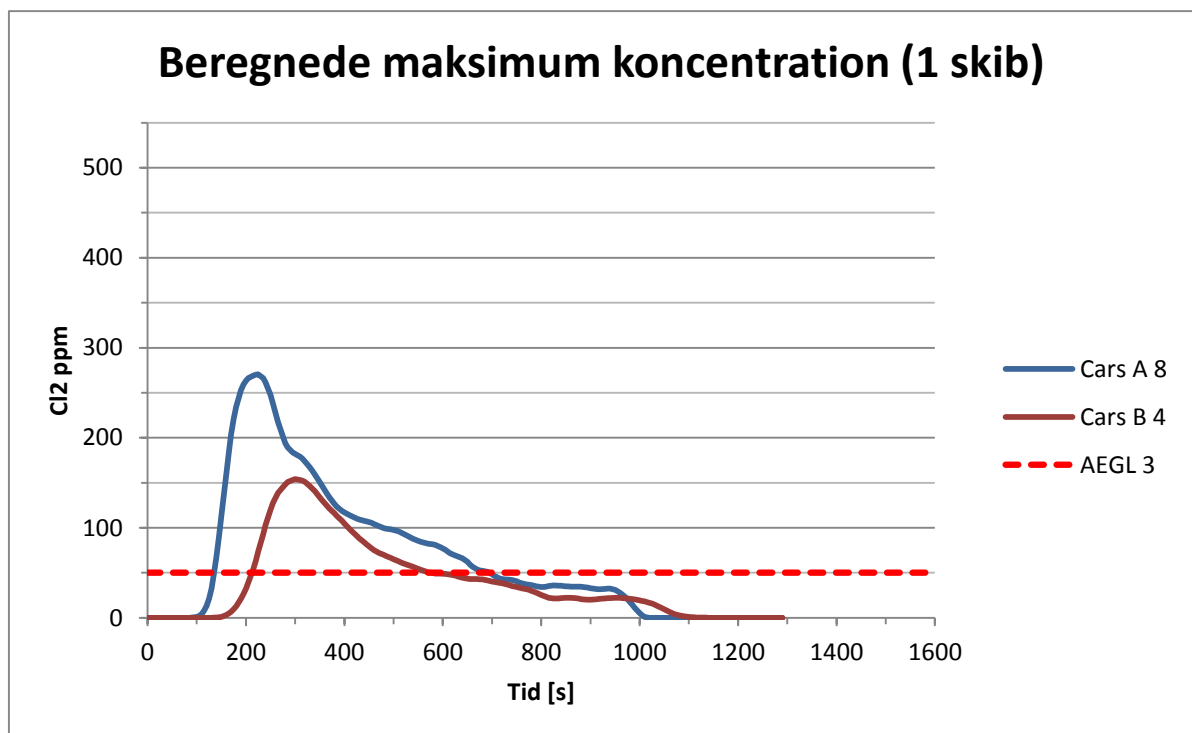
Figur 37. Lodret tværsnit på langs af klorudbredelsen. Plottet viser maksimal opnået koncentration, simulering nr. 27.



Figur 38. Målepunkter område A, simulering nr. 27.



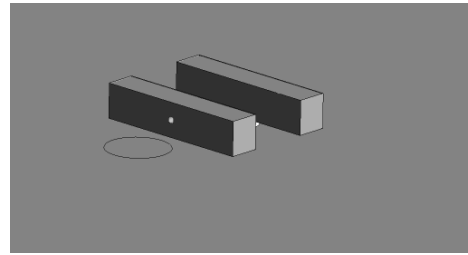
Figur 39. Målepunkter område B, simulering nr. 27.



Figur 40. Koncentrationen over tid i målepunkt 8 i område A og målepunkt 4 i område B ved 1 skib, simulering nr. 27.

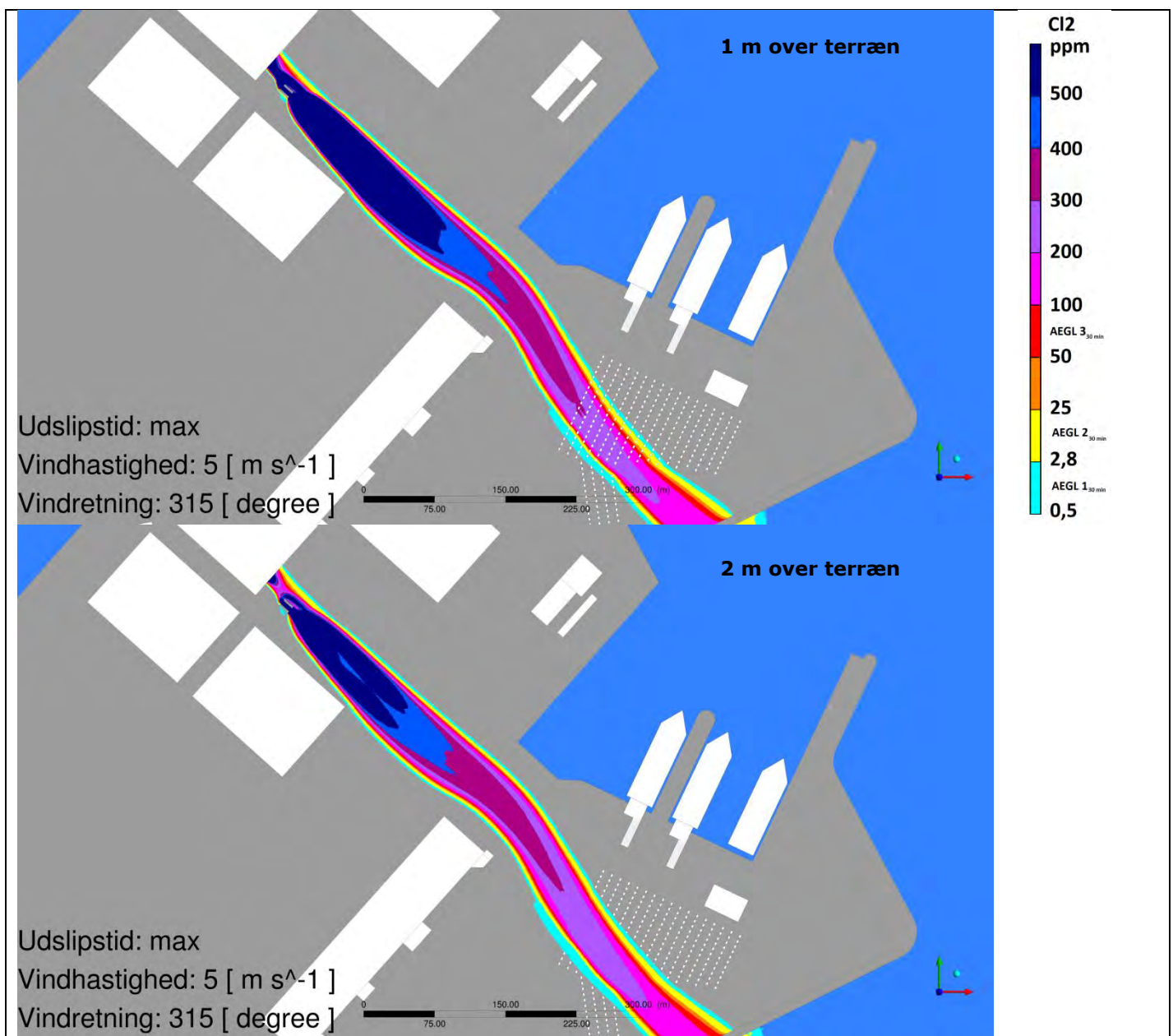
1.18 Simulering nr. 28

Simulering nr. 28 viser effekten af at placere en container tæt på udslipspunktet i gasjetten (se Figur 41). Der er ca. 2 containerbredder (~ 4,5 m) mellem containeren med udslips- og nabocontaineren.

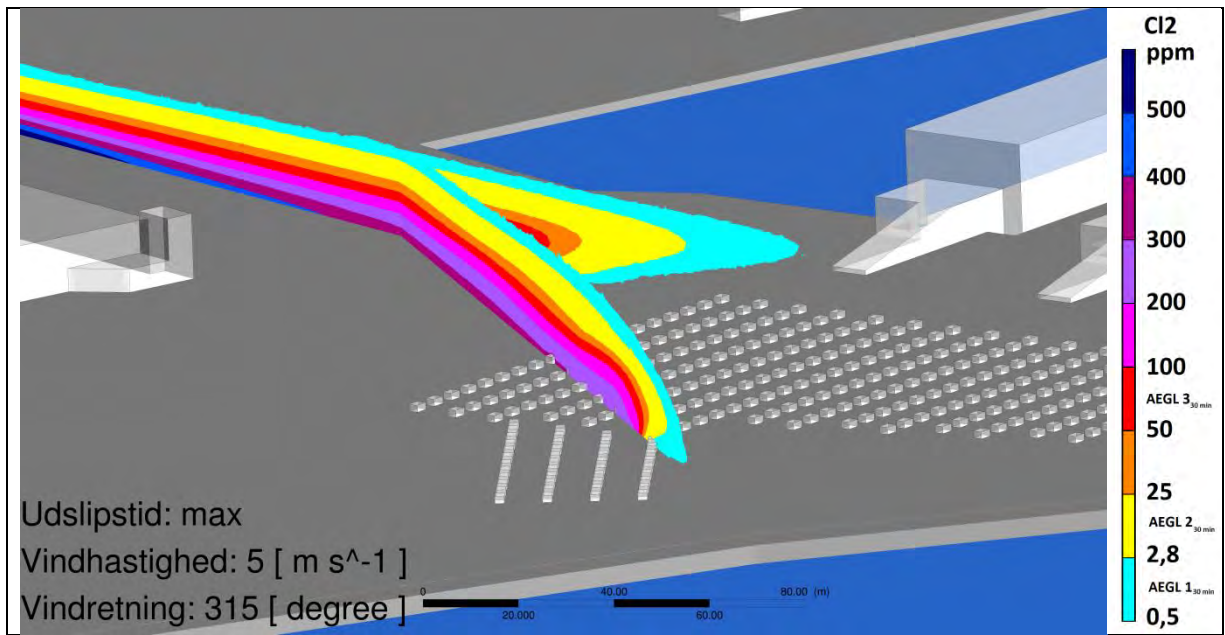


Figur 41. Nærbillede af udslipsområdet for simulering nr. 28.

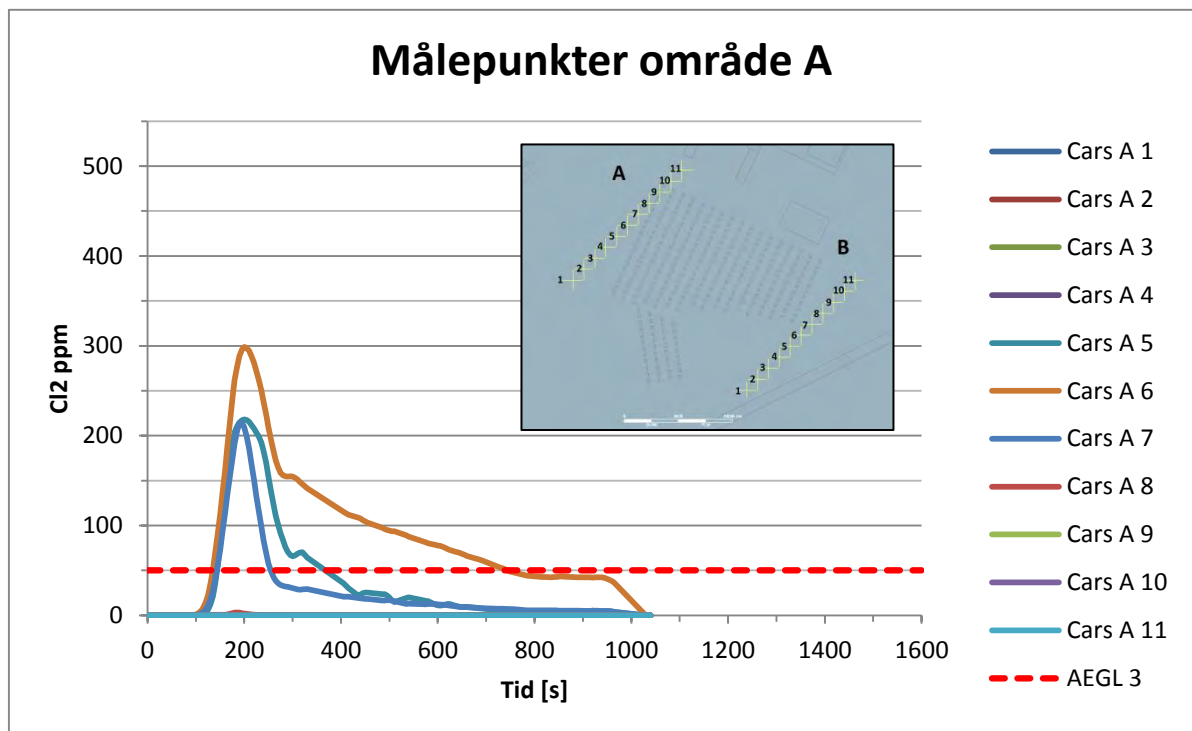
Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vindhastighed [m/s]	Vindretning [°]	Noter
28	1b	36	144	5	315	4 beholdere punkteret, container ved siden af udslip



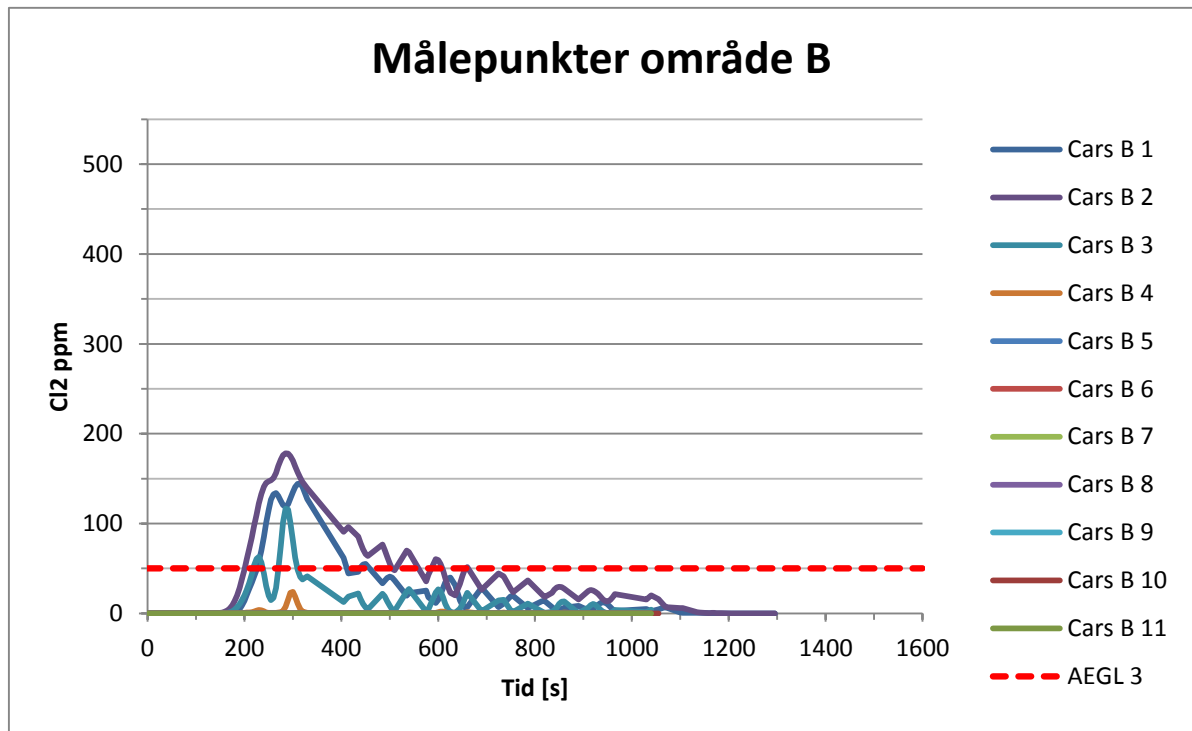
Figur 42. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 28



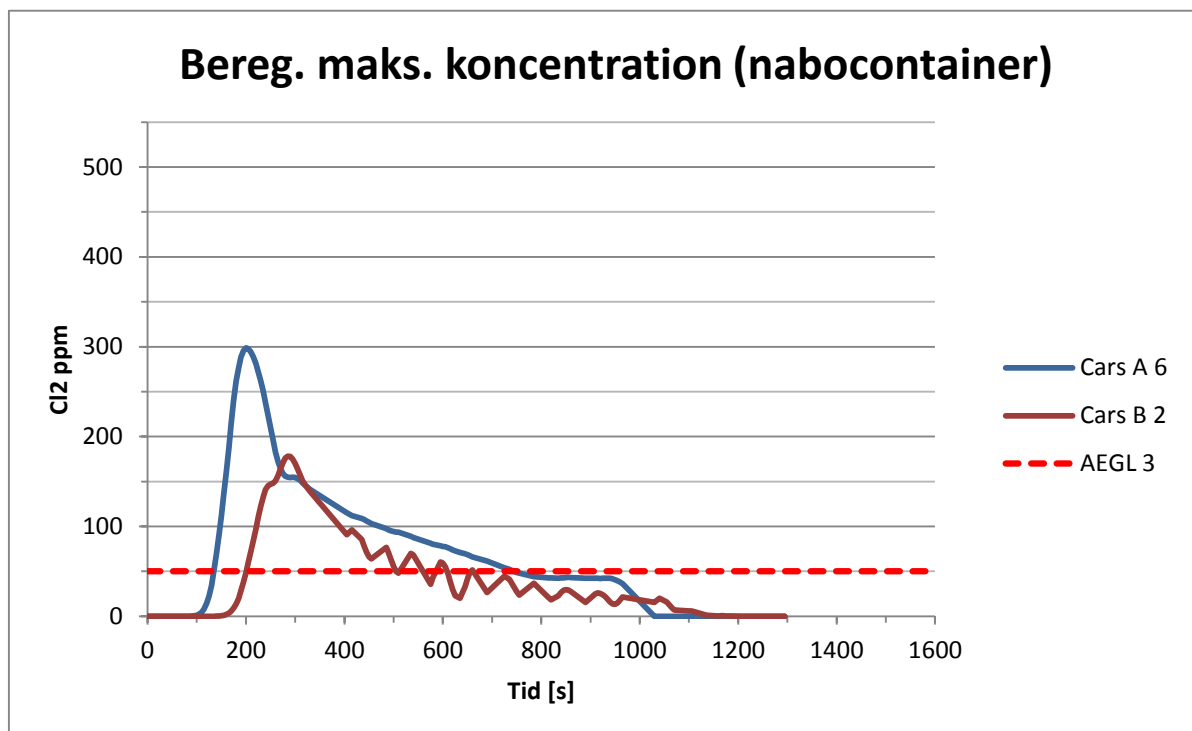
Figur 43. Lodret tværsnit på langs af klorudbredelsen. Plottet viser maksimal opnået koncentration, simulering nr. 28.



Figur 44. Målepunkter område A, simulering nr. 28.



Figur 45. Målepunkter område B, simulering nr. 28.

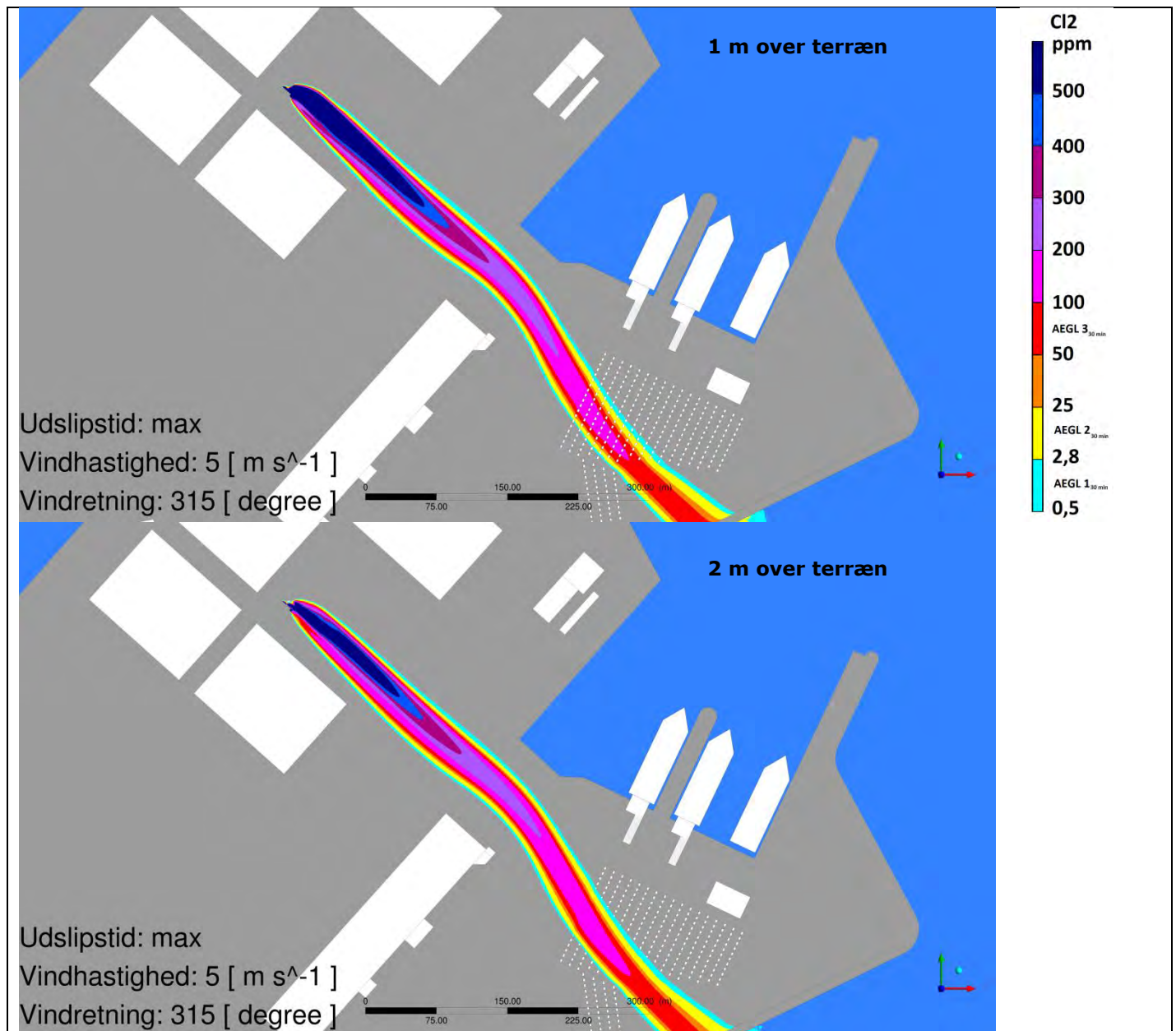


Figur 46. Koncentrationen over tid i målepunkt 6 i område A og målepunkt 2 i område B ved udslip imod en nærtstående container, simulering nr. 28.

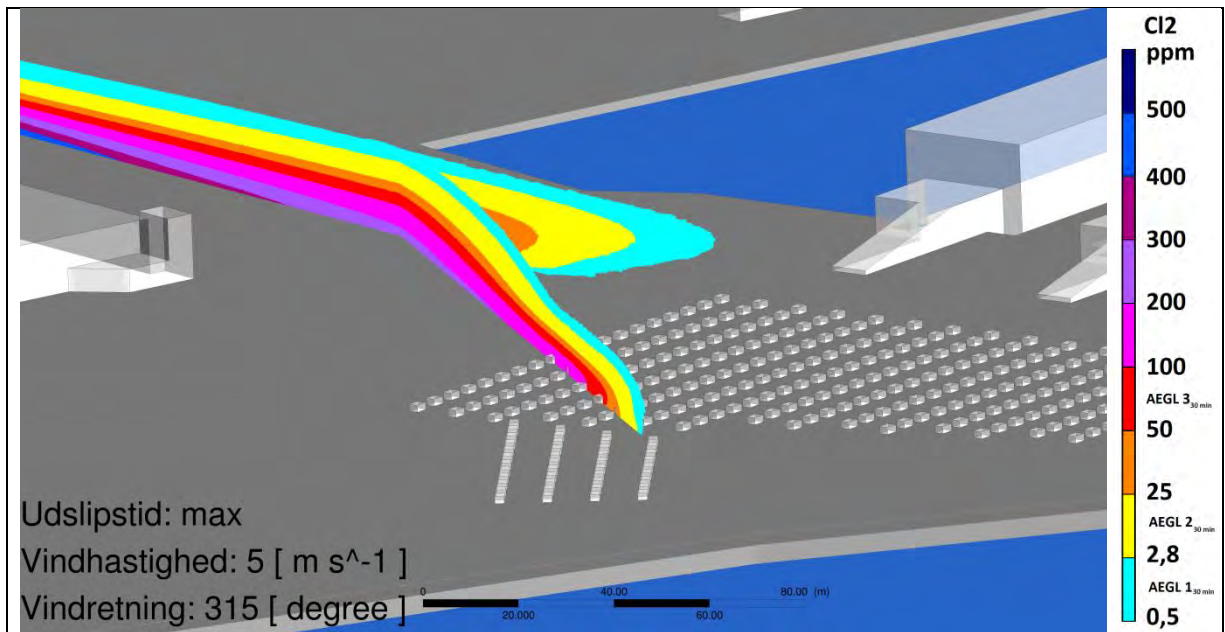
1.19 Simulering nr. 29

Simulering nr. 29 er som referencesimulering nr. 25, blot her kun med klormængden fra 1 beholder og ikke 4 som i reference scenariet.

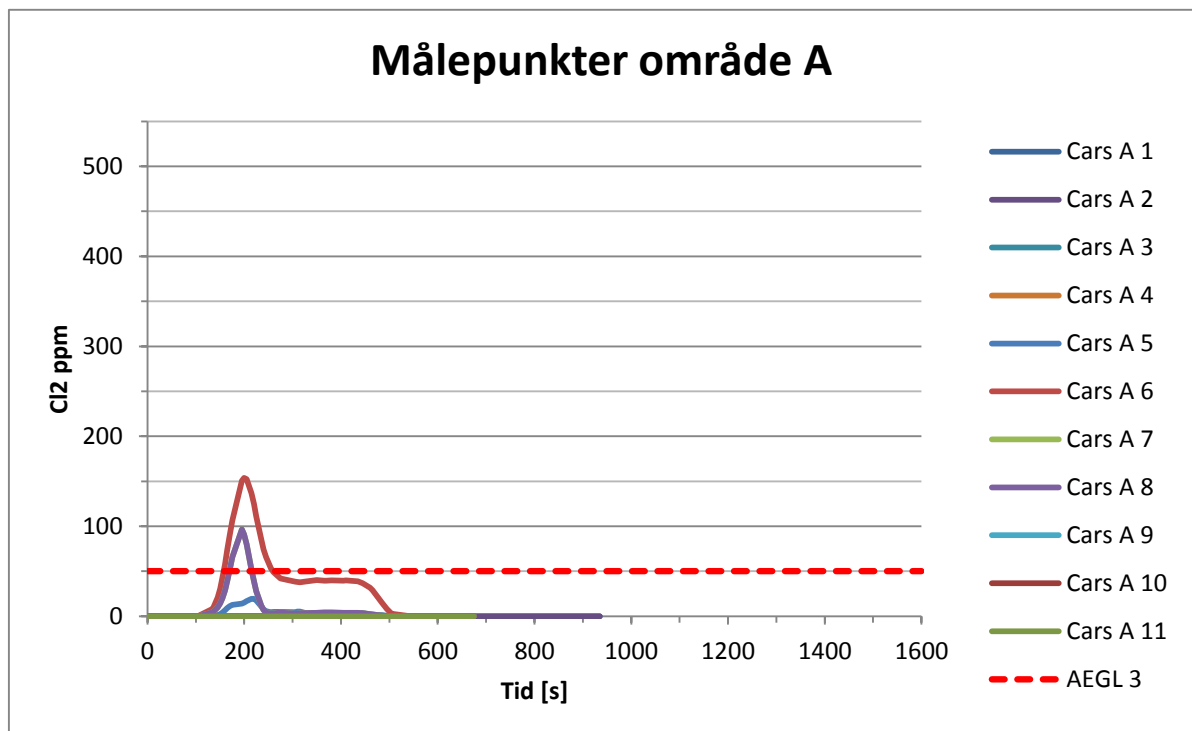
Nr.	Udslips- placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind- hastighed [m/s]	Vind- retning [°]	Noter
29	1b	9	36	5	315	1 beholder punkteret



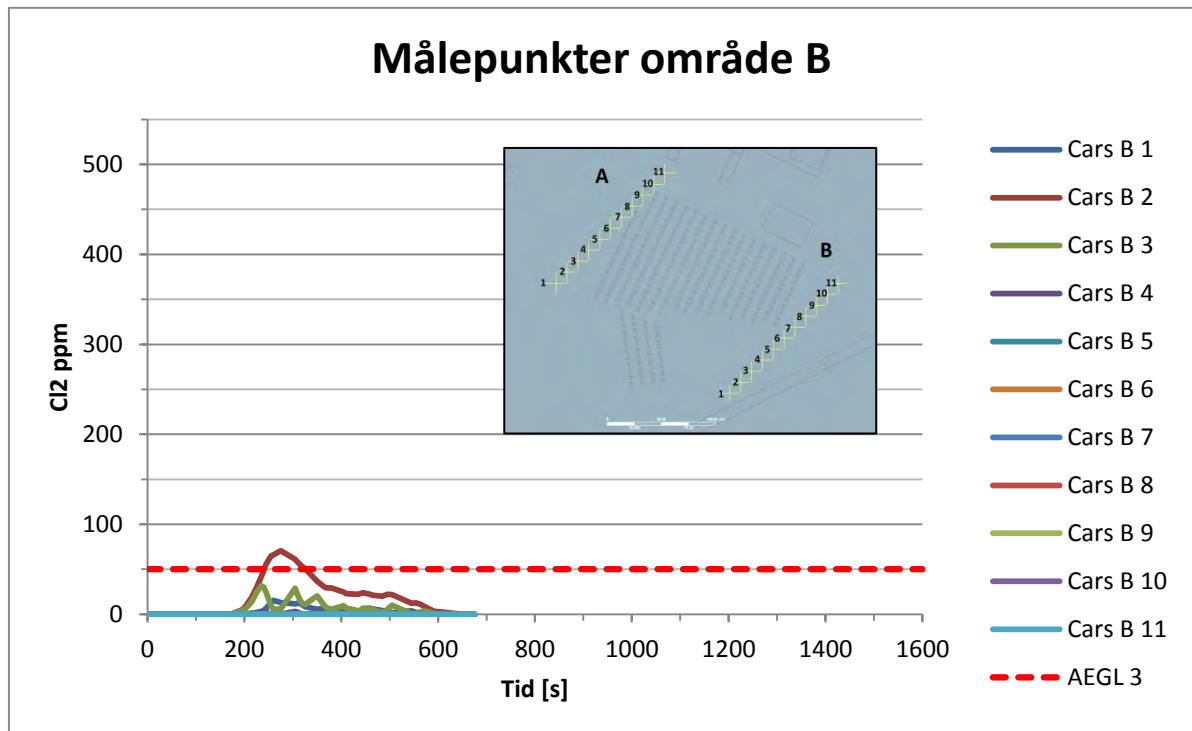
Figur 47. Maksimal klor koncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 29



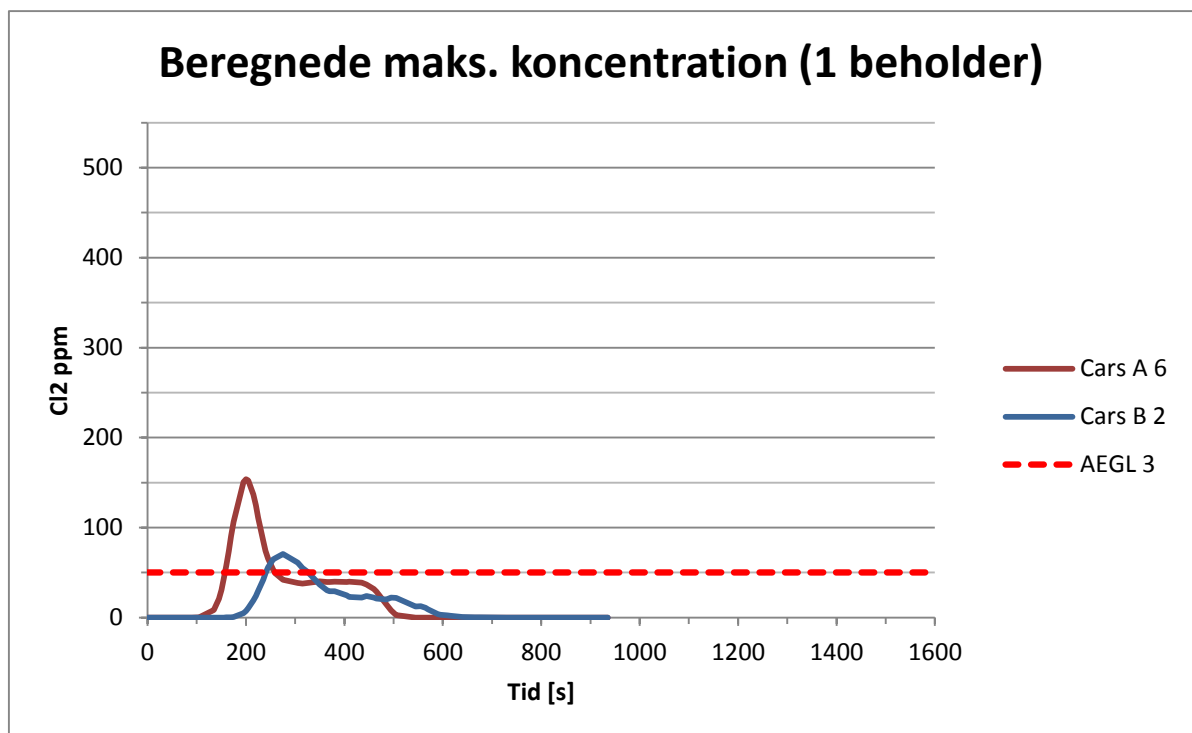
Figur 48. Lodret tværsnit på langs af klorudbredelsen. Plottet viser maksimal opnået koncentration, simulering nr. 29.



Figur 49. Målepunkter område A, simulering nr. 29.



Figur 50. Målepunkter område B, simulering nr. 29.

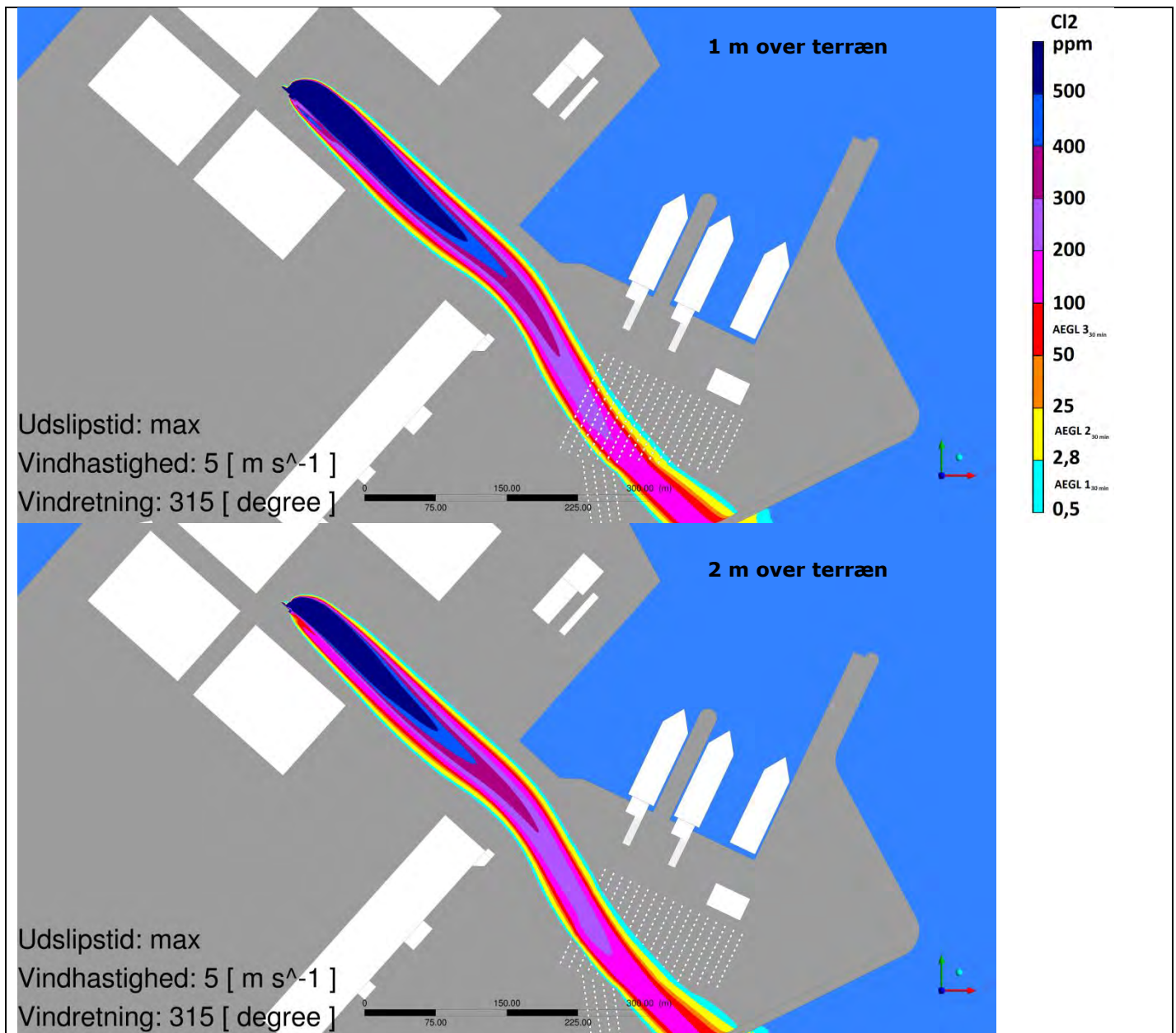


Figur 51. Koncentrationen over tid ved 5 m/s i målepunkt 6 i område A og målepunkt 2 i område B ved udslip fra 1 klor beholder, simulering nr. 29.

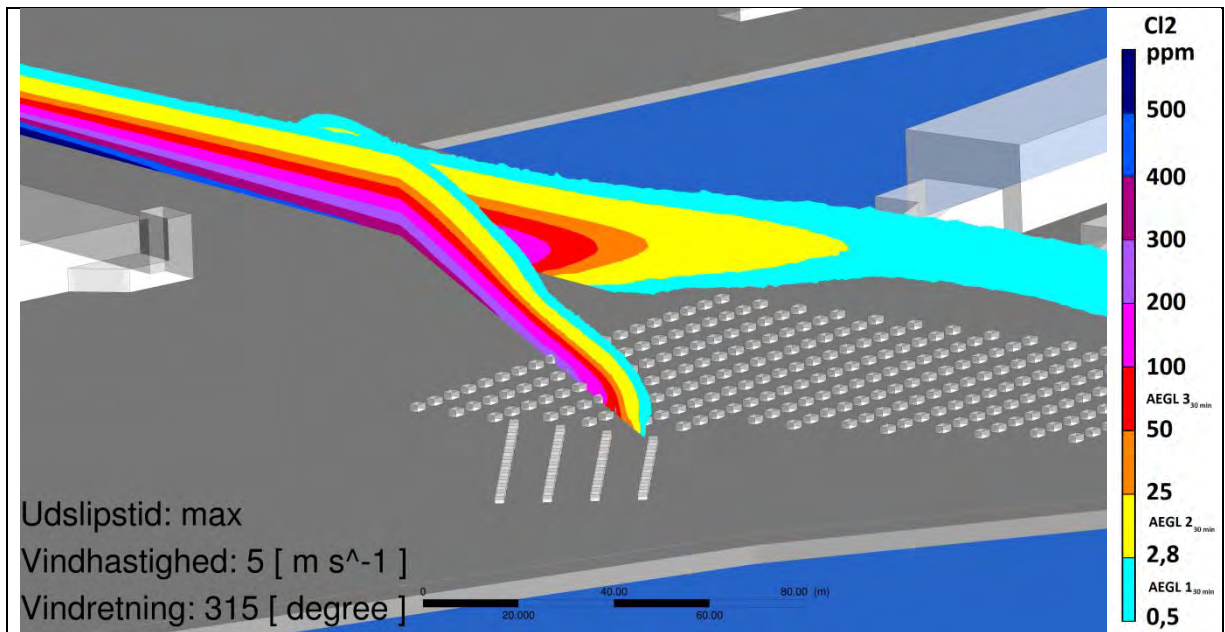
1.20 Simulering nr. 30

Simulering nr. 30 er som referencesimulering nr. 25, blot her kun med klormængden fra 2 beholdere og ikke 4 som i reference scenariet.

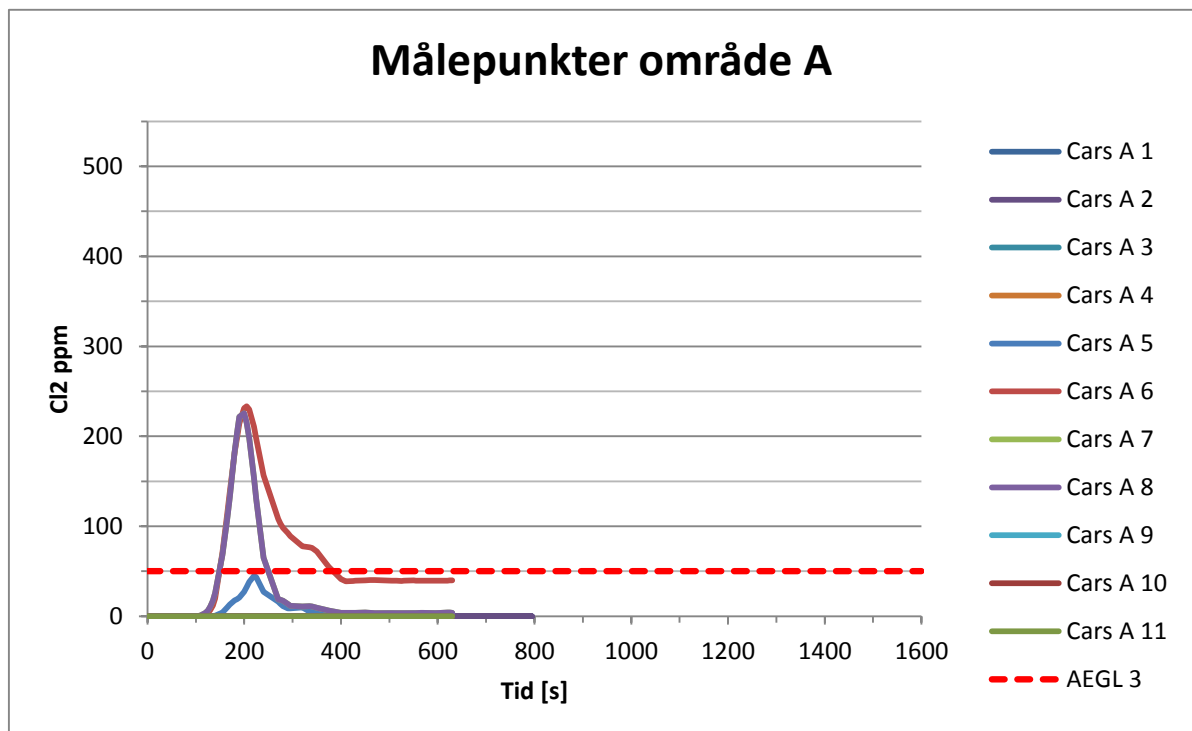
Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
30	1b	18	72	5	315	2 beholdere punkteret



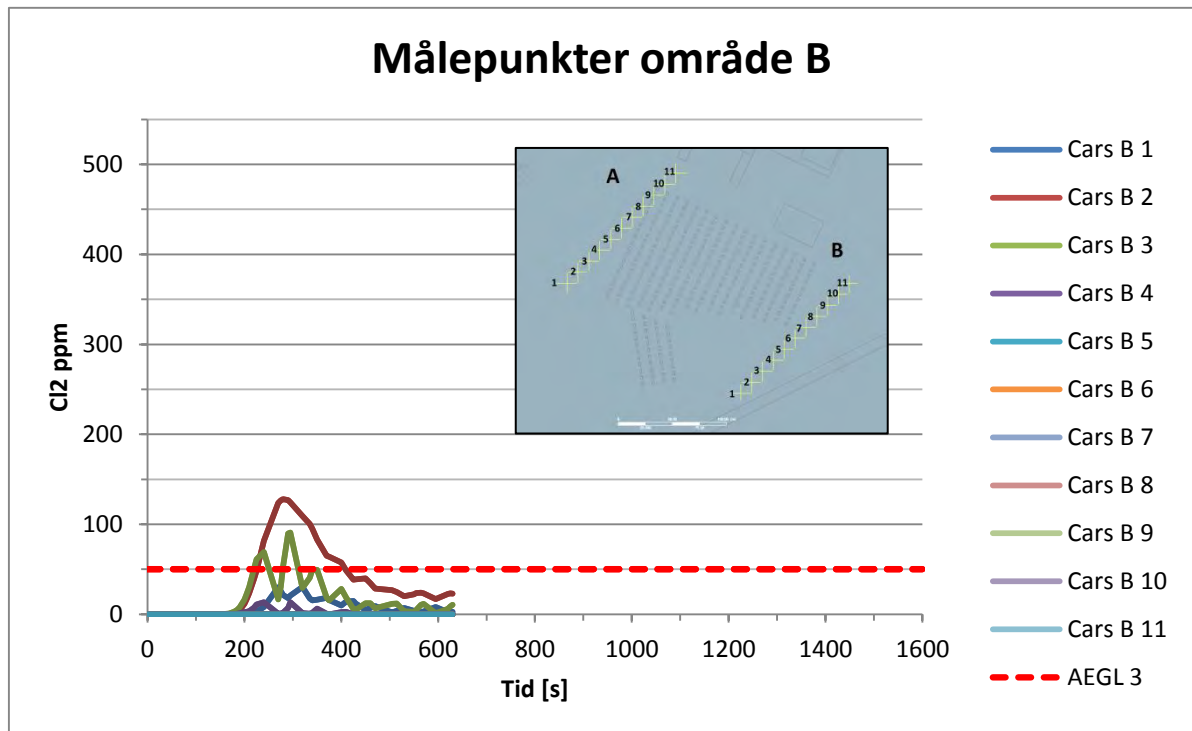
Figur 52. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 30



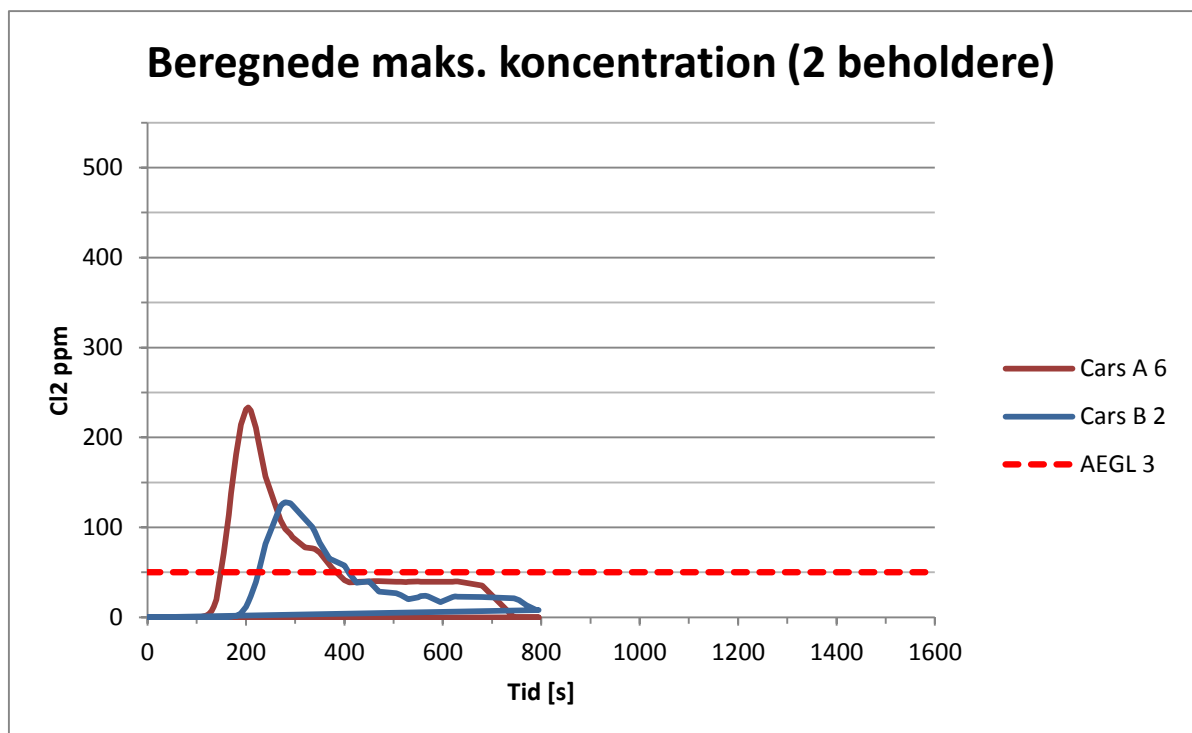
Figur 53. Lodret tværsnit på langs af klorudbredelsen. Plottet viser maksimal opnået koncentration, simulering nr. 30.



Figur 54. Målepunkter område A, simulering nr. 30.



Figur 55. Målepunkter område B, simulering nr. 30.

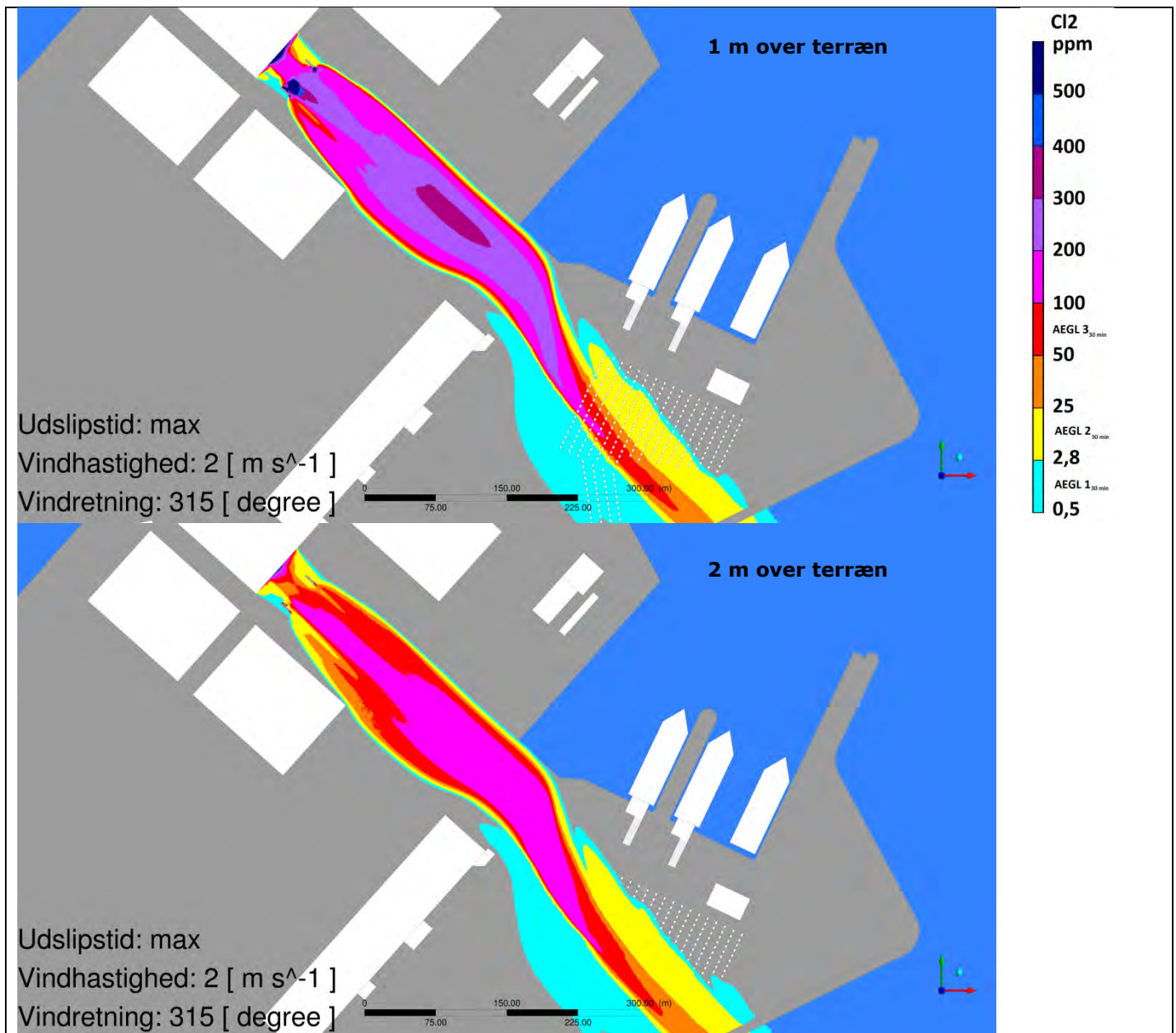


Figur 56. Koncentrationen over tid ved 5 m/s i målepunkt 6 i område A og målepunkt 2 i område B ved udslip fra 2 klor beholdere, simulering nr. 30.

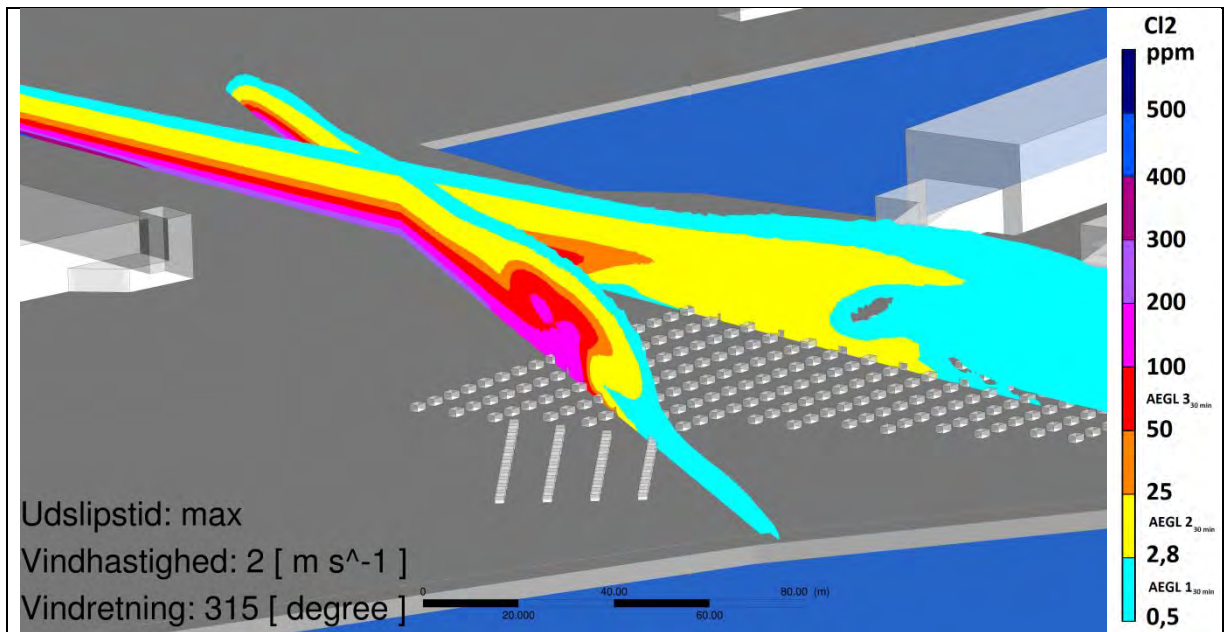
1.21 Simulering nr. 31

Simulering nr. 31 er som referencesimulering nr. 24, blot her kun med klormængden fra 1 beholder og ikke 4 som i referencescenariet.

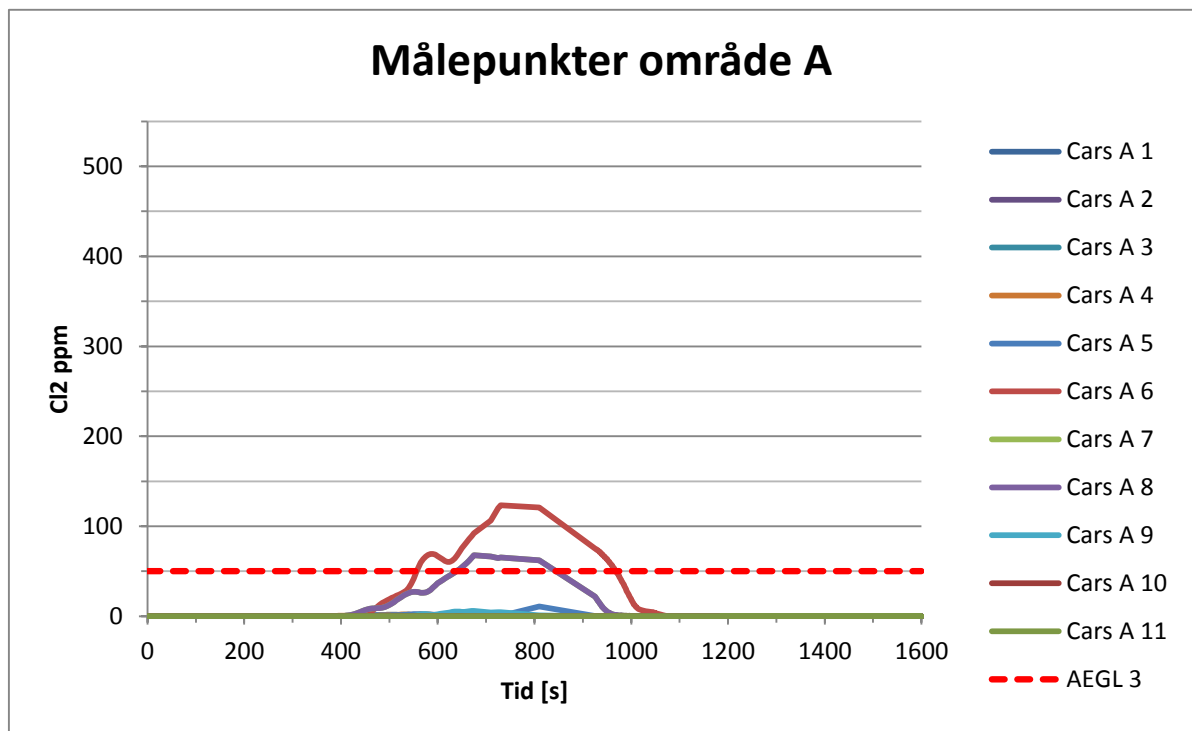
Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
31	1b	9	36	2	315	1 beholder punkteret



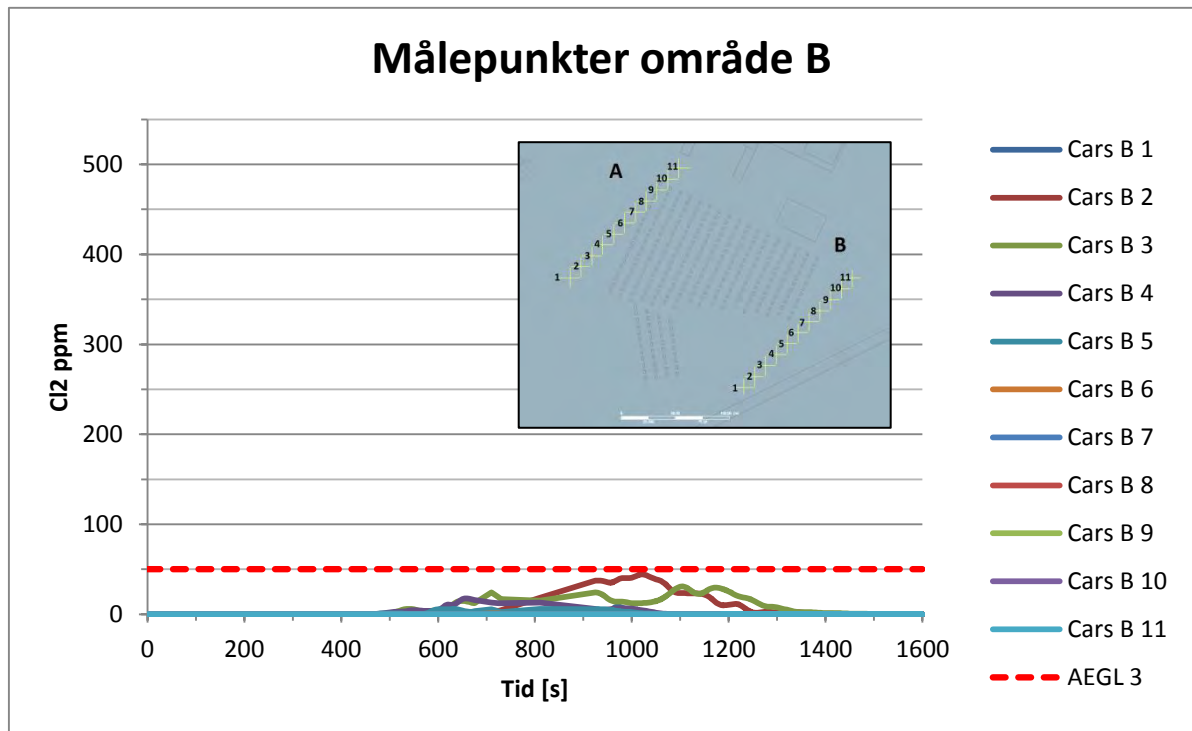
Figur 57. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 31



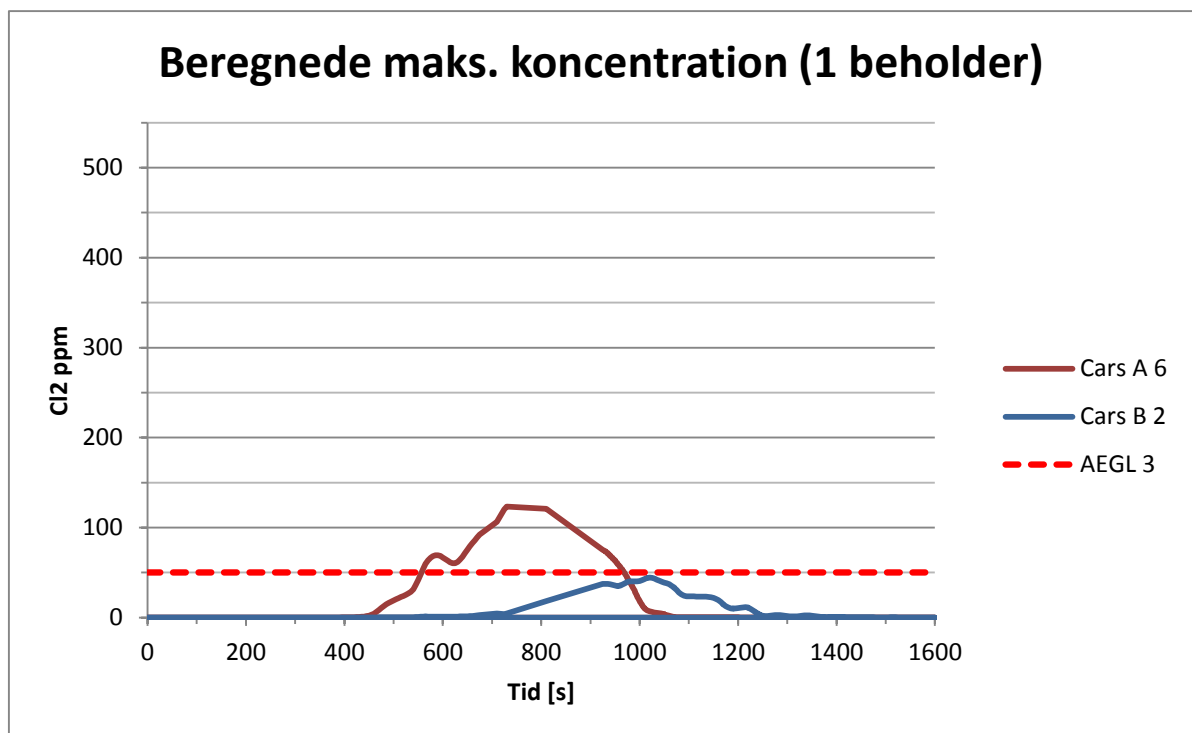
Figur 58. Lodret tværsnit på langs af klorudbredelsen. Plottet viser maksimal opnået koncentration, simulering nr. 31.



Figur 59. Målepunkter område A, simulering nr. 31.



Figur 60. Målepunkter område B, simulering nr. 31.

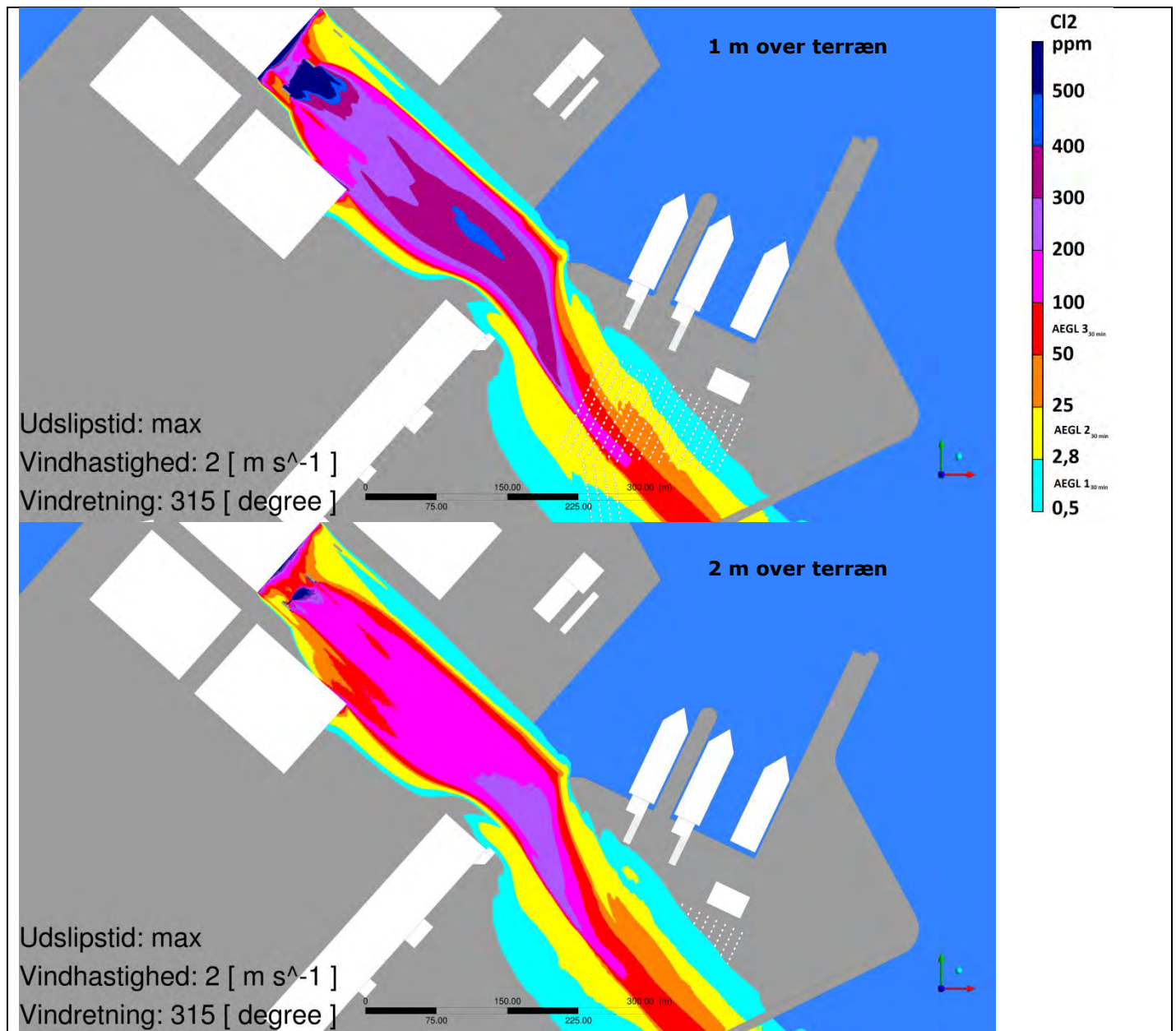


Figur 61. Koncentrationen over tid ved 2 m/s i målepunkt 6 i område A og målepunkt 2 i område B ved udslip fra 1 klorbeholder, simulering nr. 31.

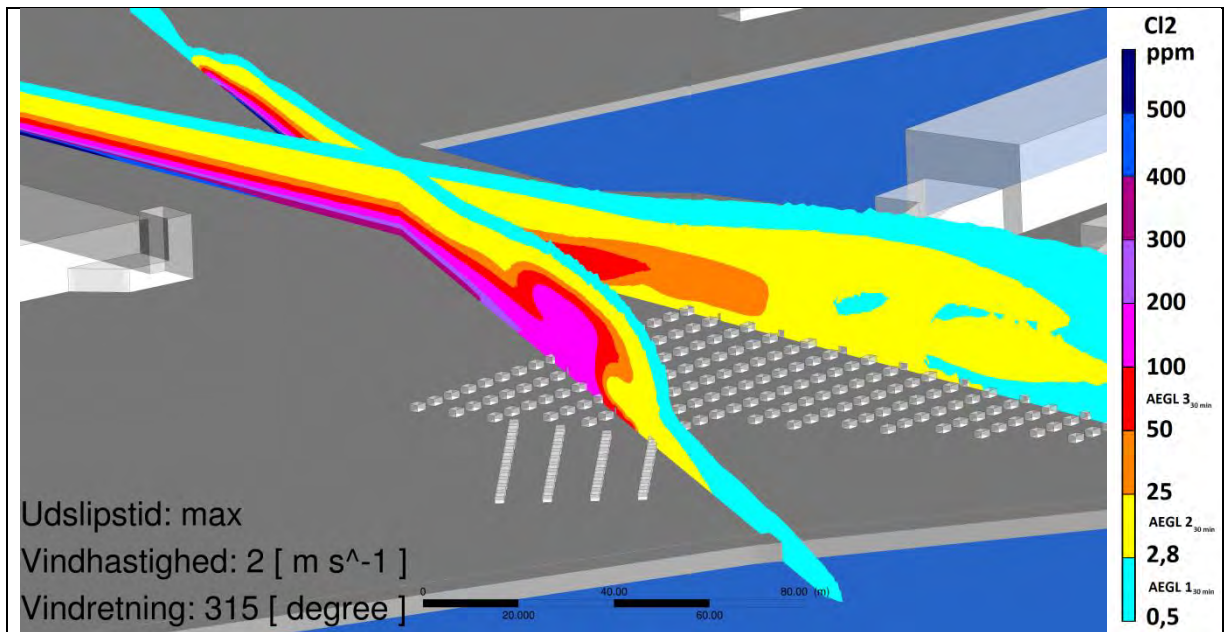
1.22 Simulering nr. 32

Simulering nr. 32 er som referencesimulering nr. 24, blot her kun med klormængden fra 2 beholdere og ikke 4 som i referencescenariet.

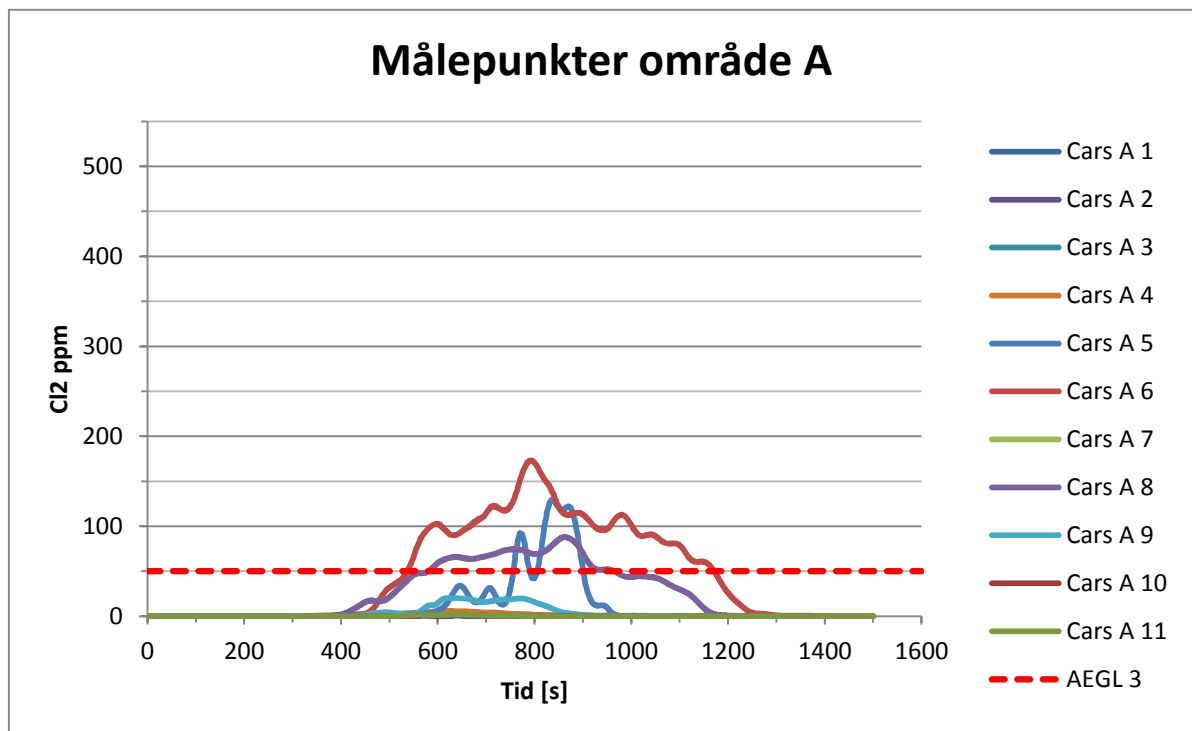
Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
32	1b	18	72	2	315	2 beholdere punkteret



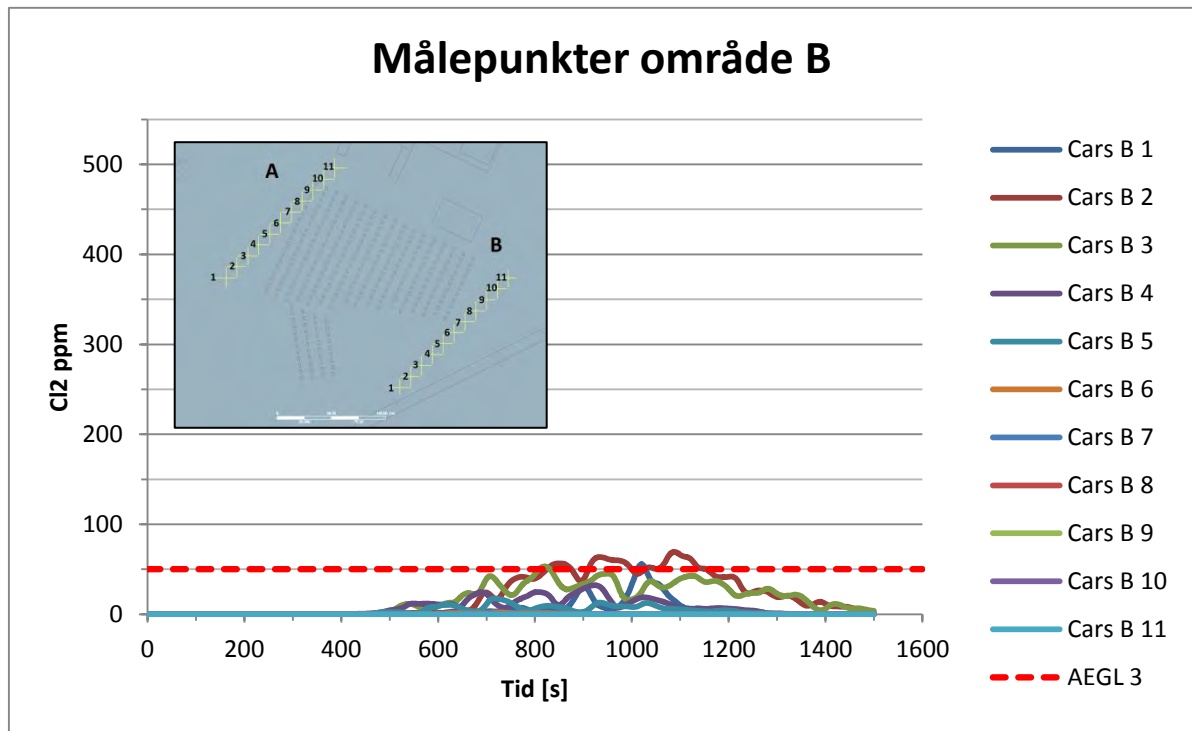
Figur 62. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 32



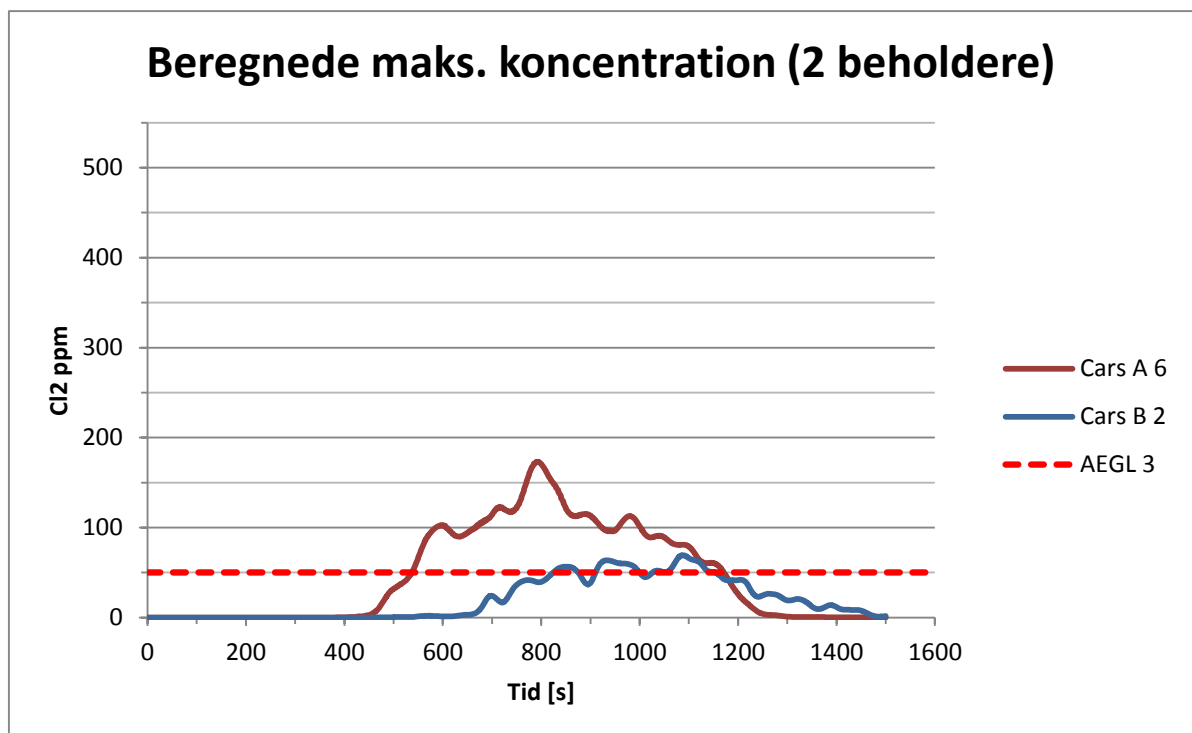
Figur 63. Lodret tværsnit på langs af klorudbredelsen. Plottet viser maksimal opnået koncentration, simulering nr. 32.



Figur 64. Målepunkter område A, simulering nr. 32.



Figur 65. Målepunkter område B, simulering nr. 32.

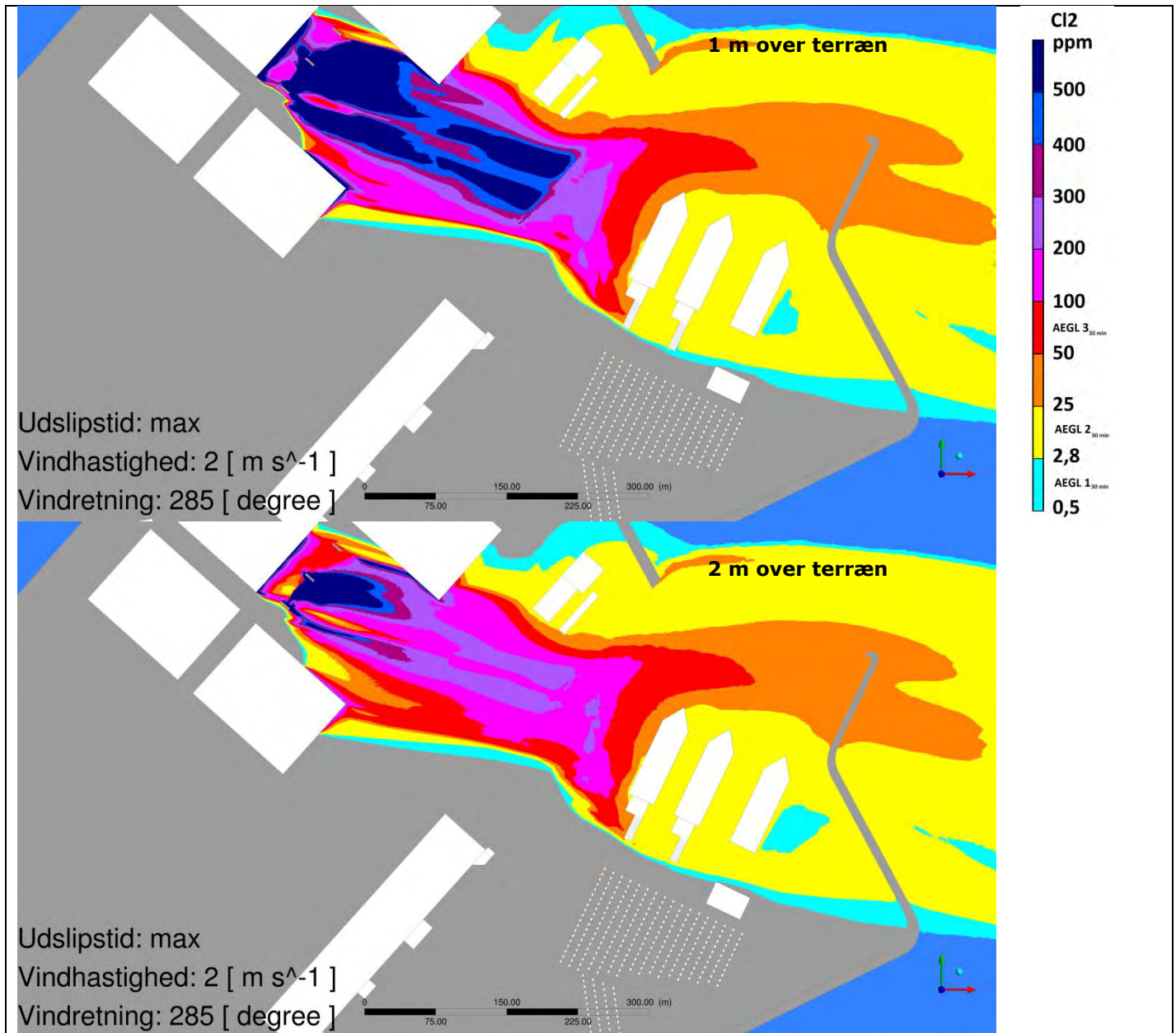


Figur 66. Koncentrationen over tid ved 2 m/s i målepunkt 6 i område A og målepunkt 2 i område B ved udslip fra 2 klorbeholdere, simulering nr. 32.

1.23 Simulering nr. 33

Simulering nr. 33 er som referencesimulering nr. 24 med en roteret vindretning.

Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
33	1b	36	144	2	285	4 beholdere punkteret, varieret vindretning

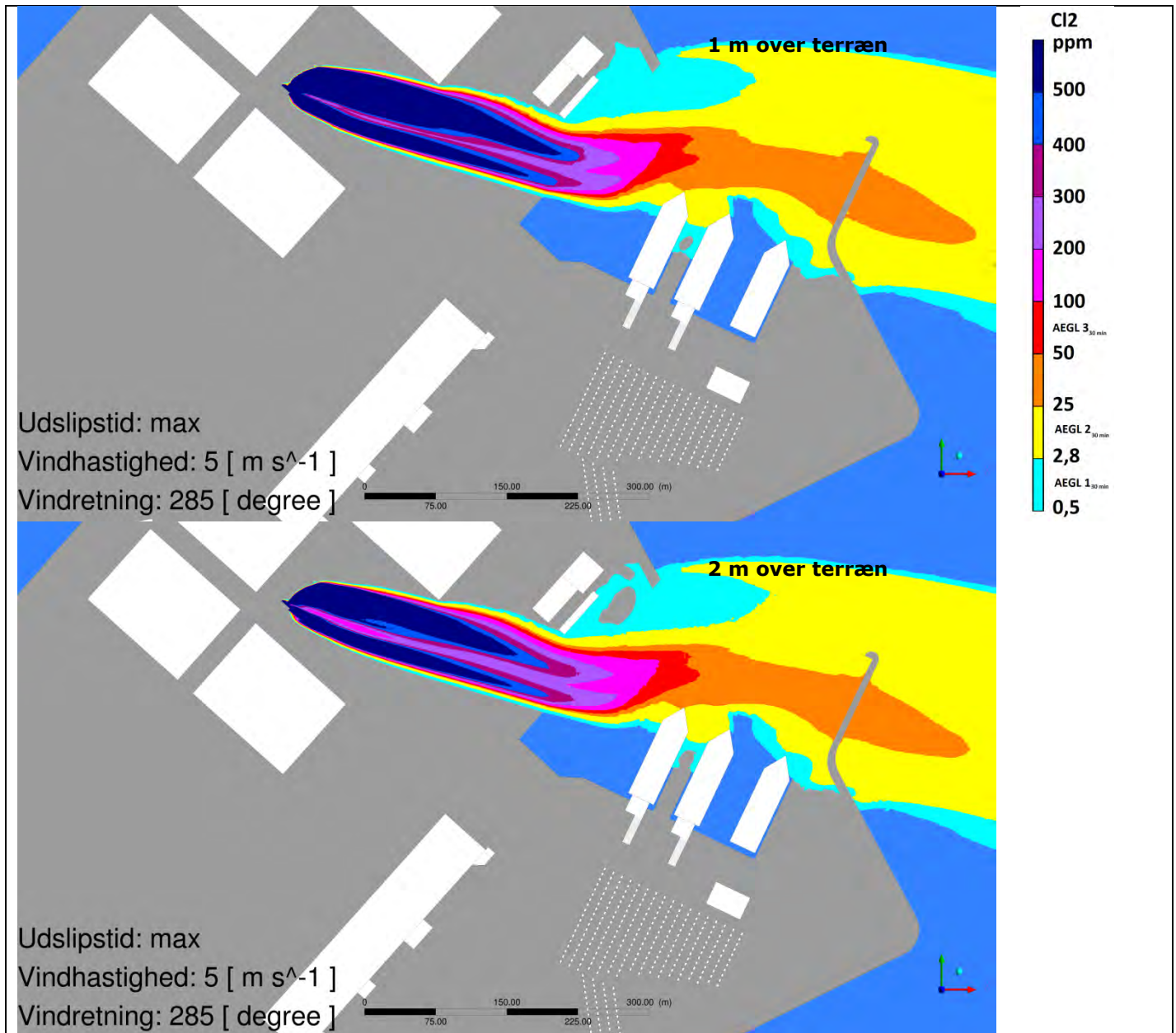


Figur 67. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 33

1.24 Simulering nr. 34

Simulering nr. 34 er som referencesimulering nr. 25 med en roteret vindretning.

Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
34	1b	36	144	5	285	4 beholdere punkteret, varieret vindretning

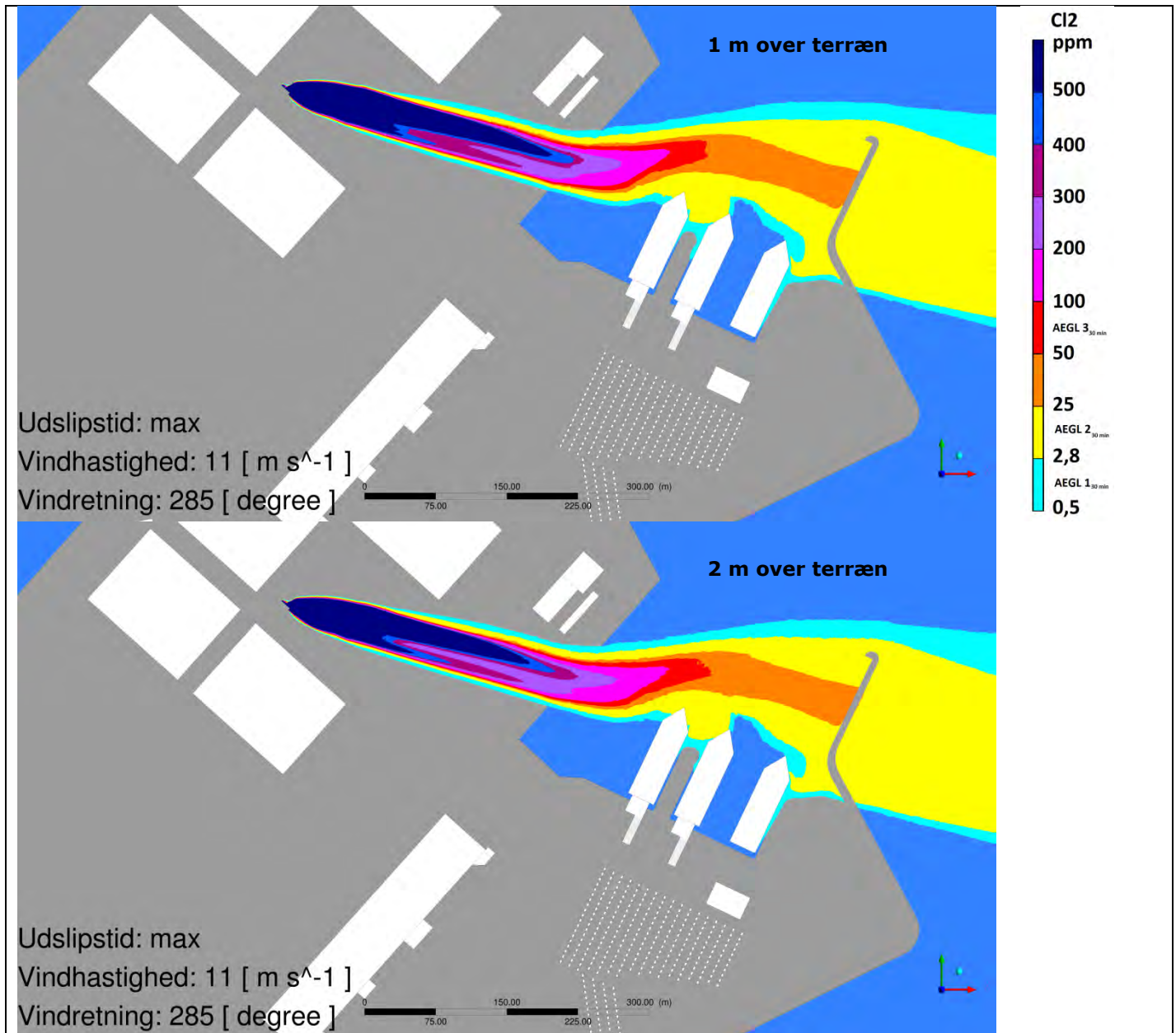


Figur 68. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 34

1.25 Simulering nr. 35

Simulering nr. 35 er som referencesimulering nr. 26 med en roteret vindretning.

Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
35	1b	36	144	11	285	4 beholdere punkteret, varieret vindretning

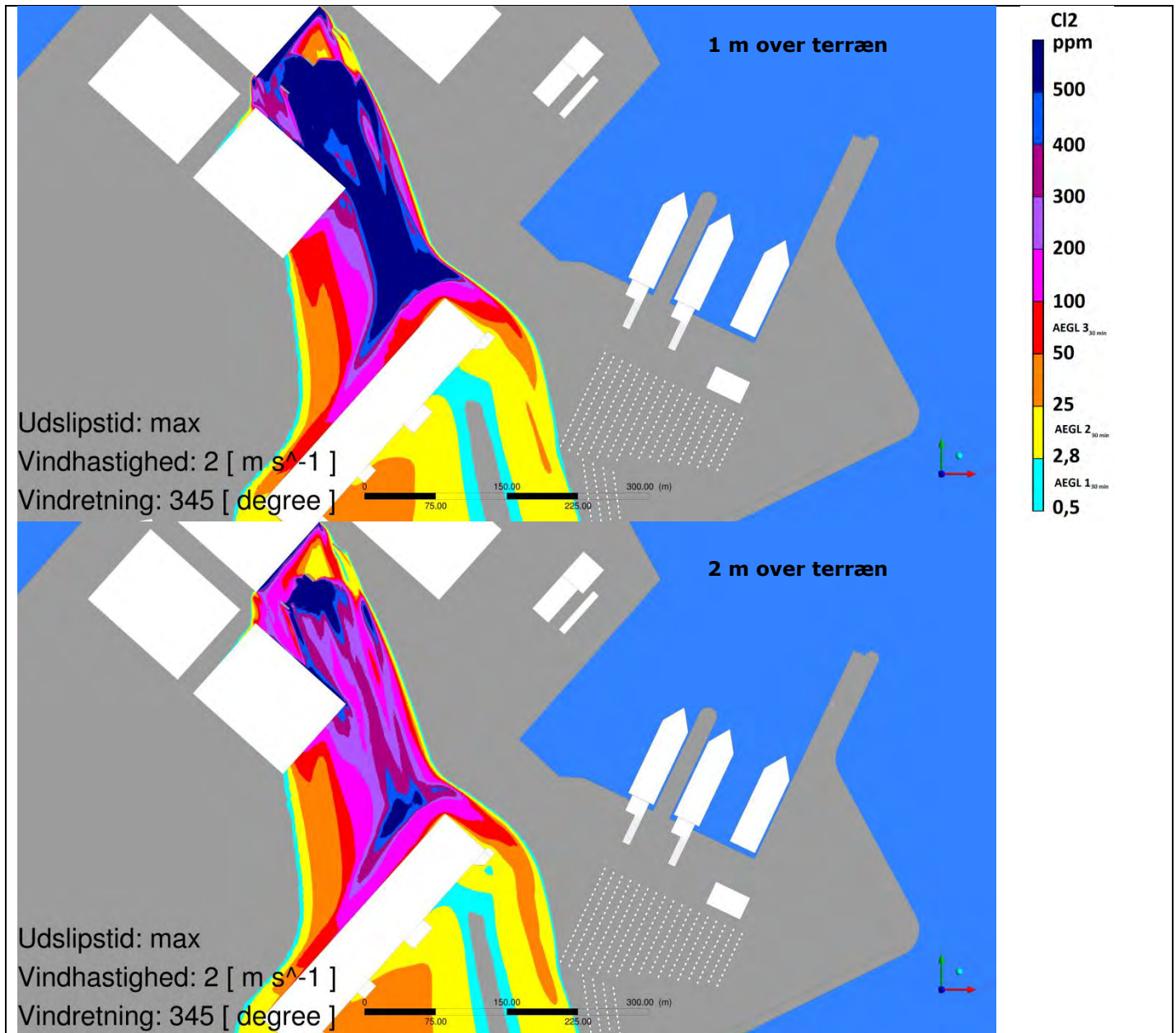


Figur 69. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 35

1.26 Simulering nr. 36

Simulering nr. 36 er som referencesimulering nr. 24 med en roteret vindretning.

Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
36	1b	36	144	2	345	4 beholdere punkteret, varieret vindretning

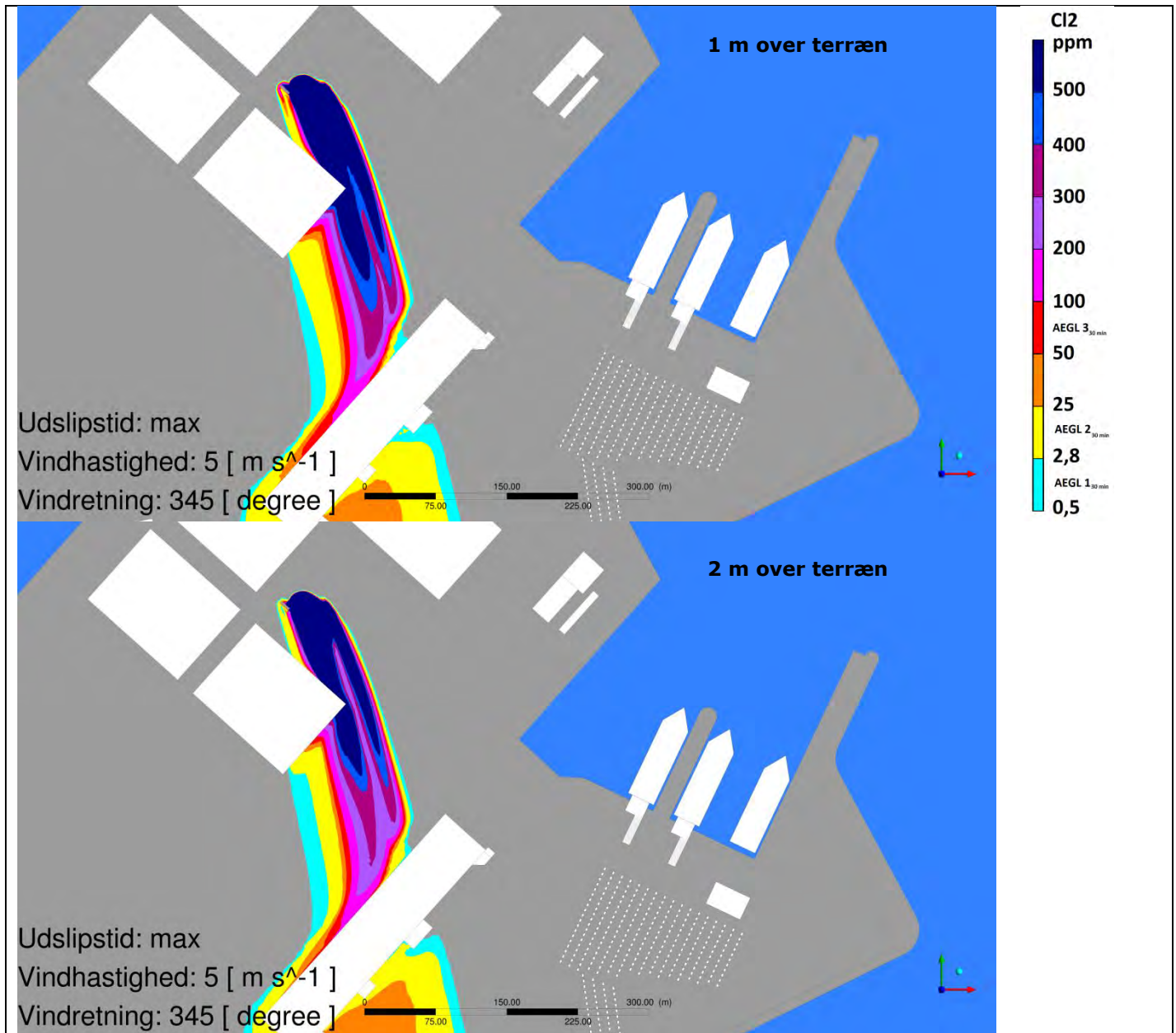


Figur 70. Maksimal klor koncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 36

1.27 Simulering nr. 37

Simulering nr. 37 er som referencesimulering nr. 25 med en roteret vindretning.

Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
37	1b	36	144	5	345	4 beholdere punkteret, varieret vindretning

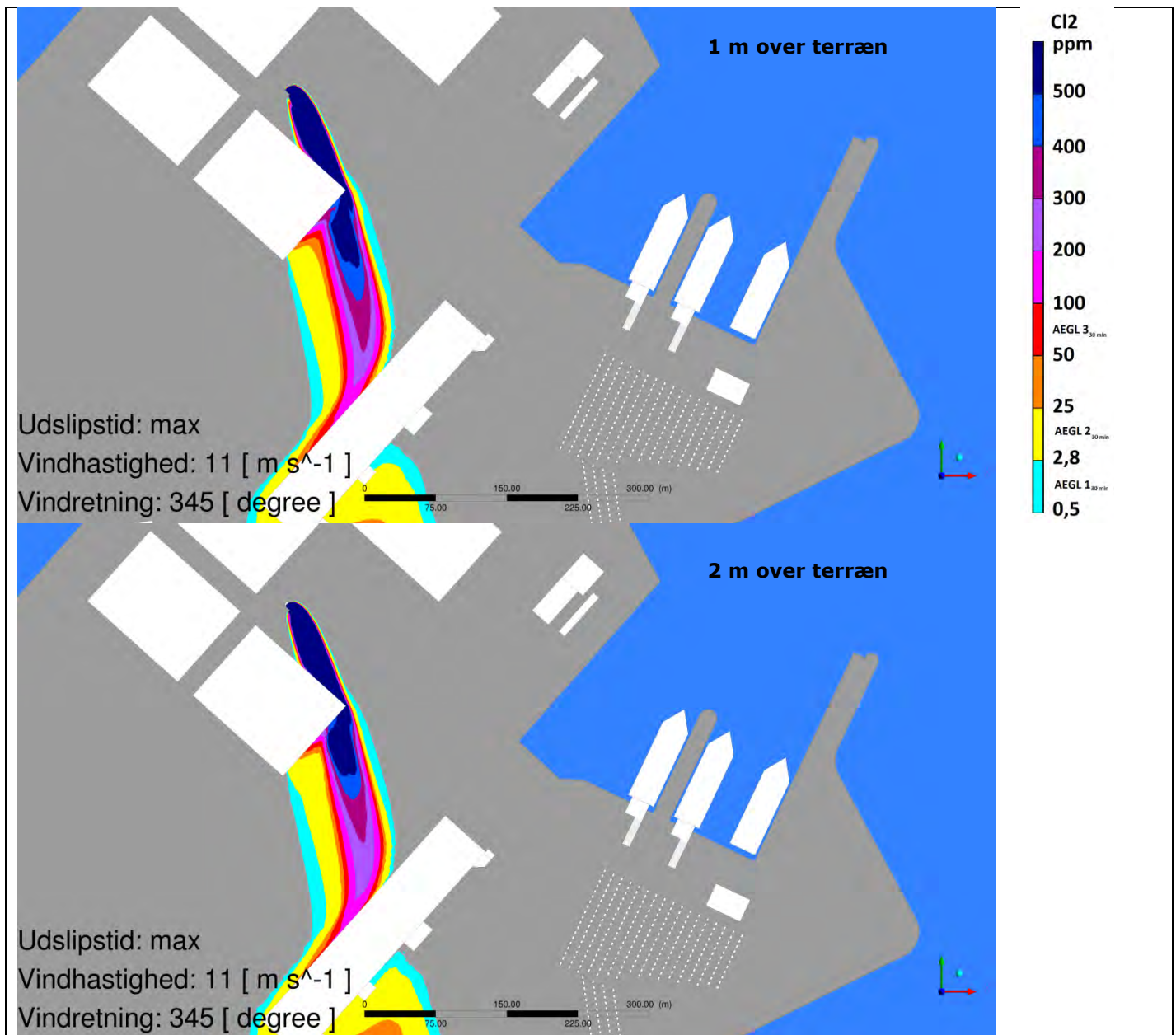


Figur 71. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 37

1.28 Simulering nr. 38

Simulering nr. 38 er som referencesimulering nr. 26 med en roteret vindretning.

Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
38	1b	36	144	11	345	4 beholdere punkteret, varieret vindretning

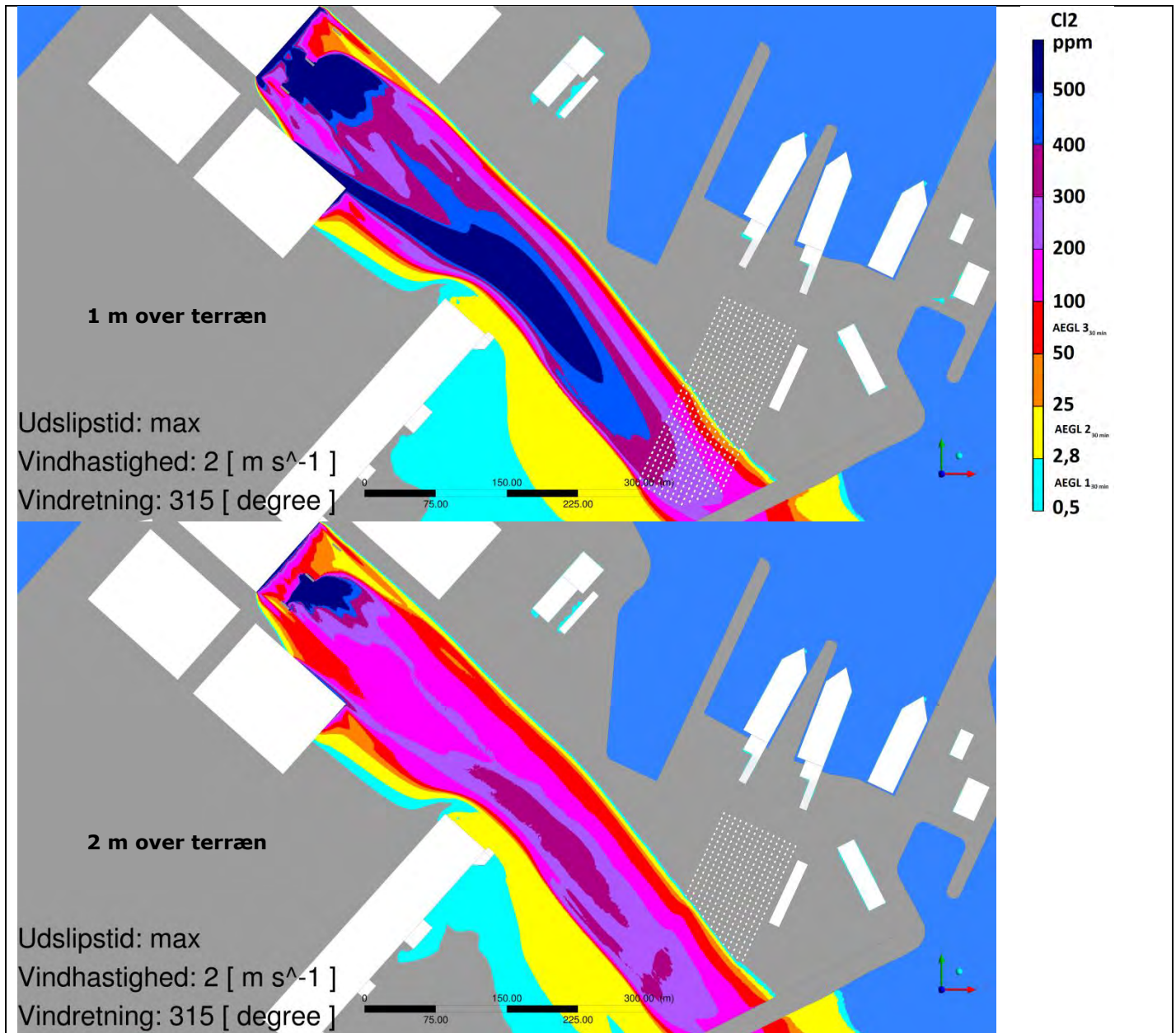


Figur 72. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 38

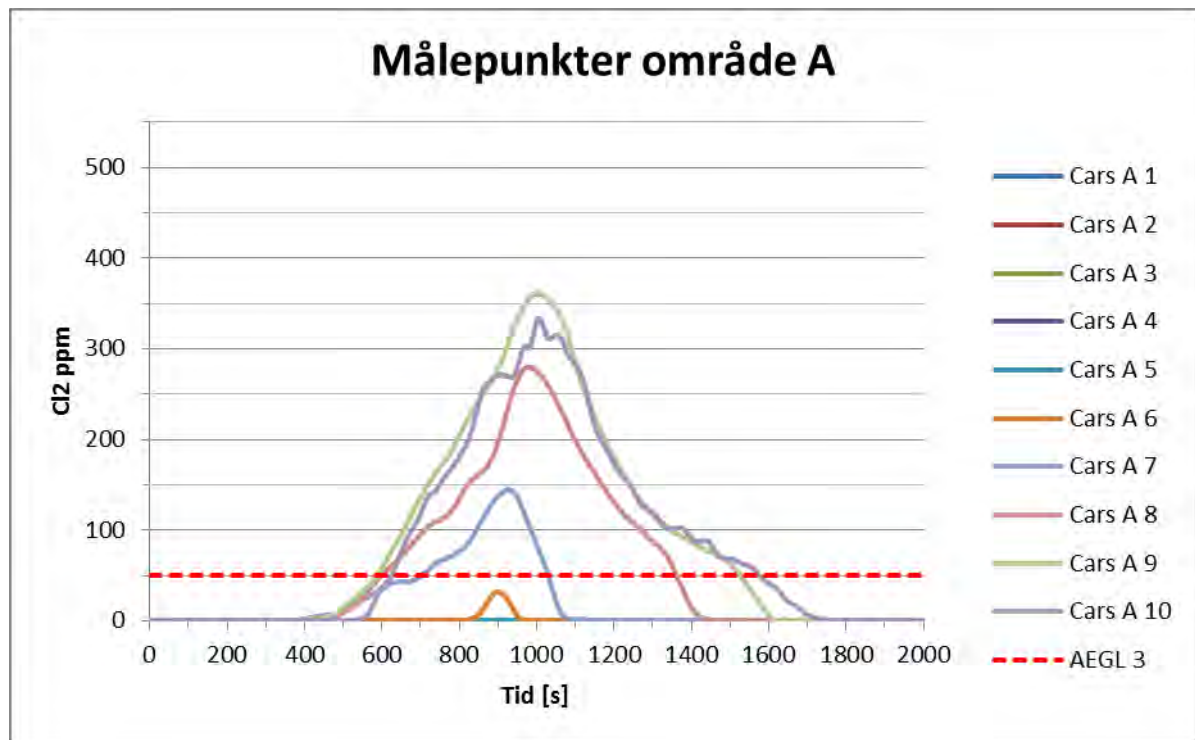
1.29 Simulering nr. 39

Simulering nr. 39 er som referencesimulering nr. 40 med lavere vindhastighed.

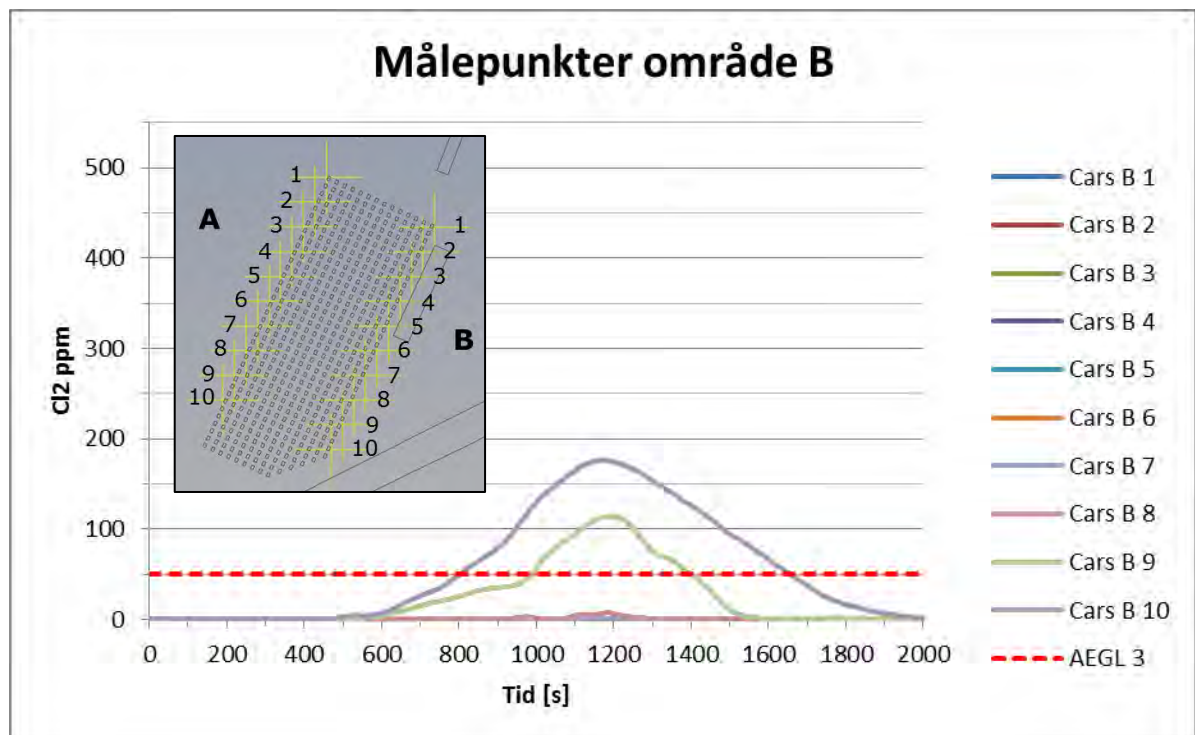
Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
39	1b	36	144	2	315	4 beholdere punkteret, lav vind, nyt layout



Figur 73. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 39



Figur 74. Målepunkter område A, simulering nr. 39.

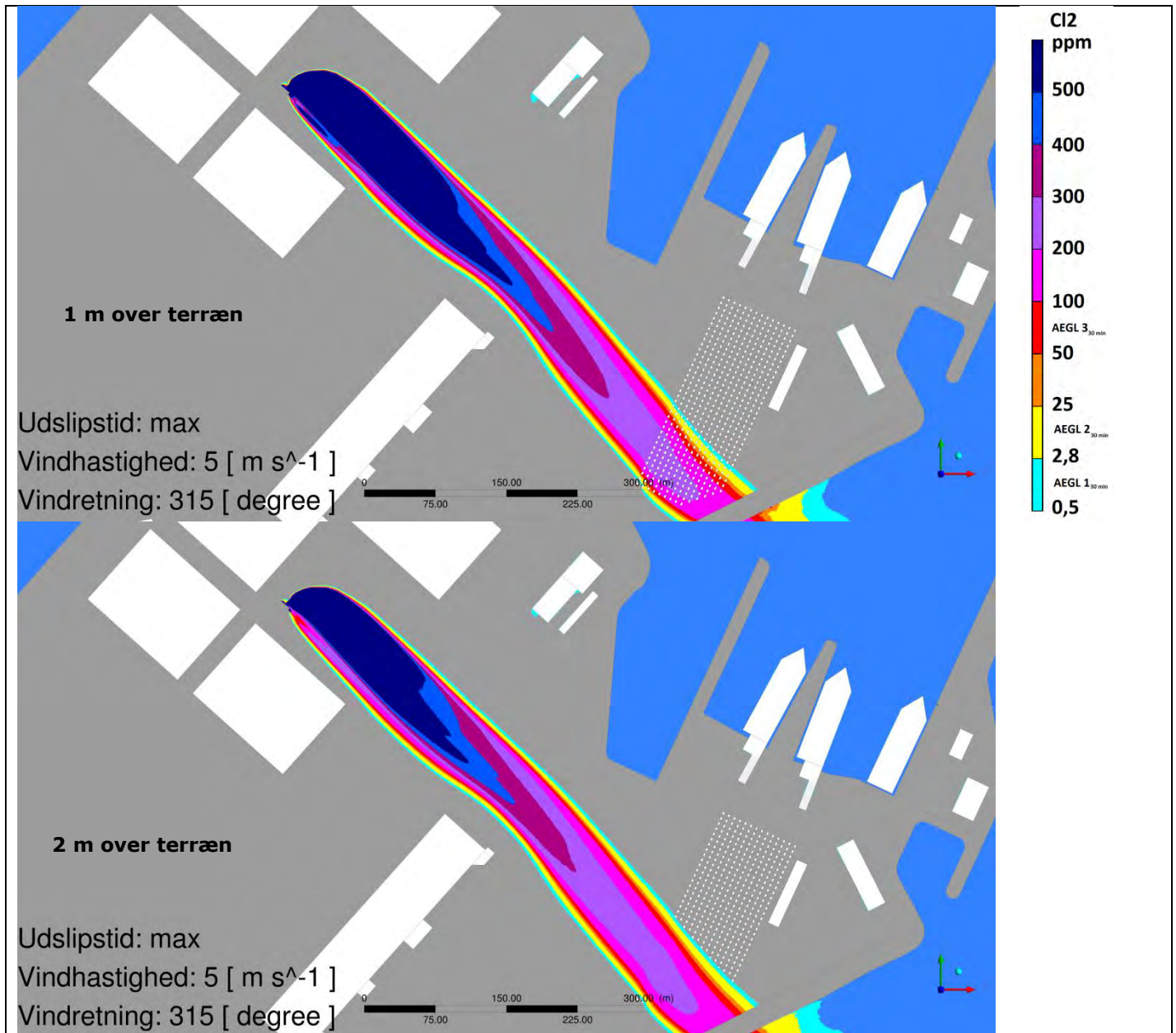


Figur 75. Målepunkter område B, simulering nr. 39.

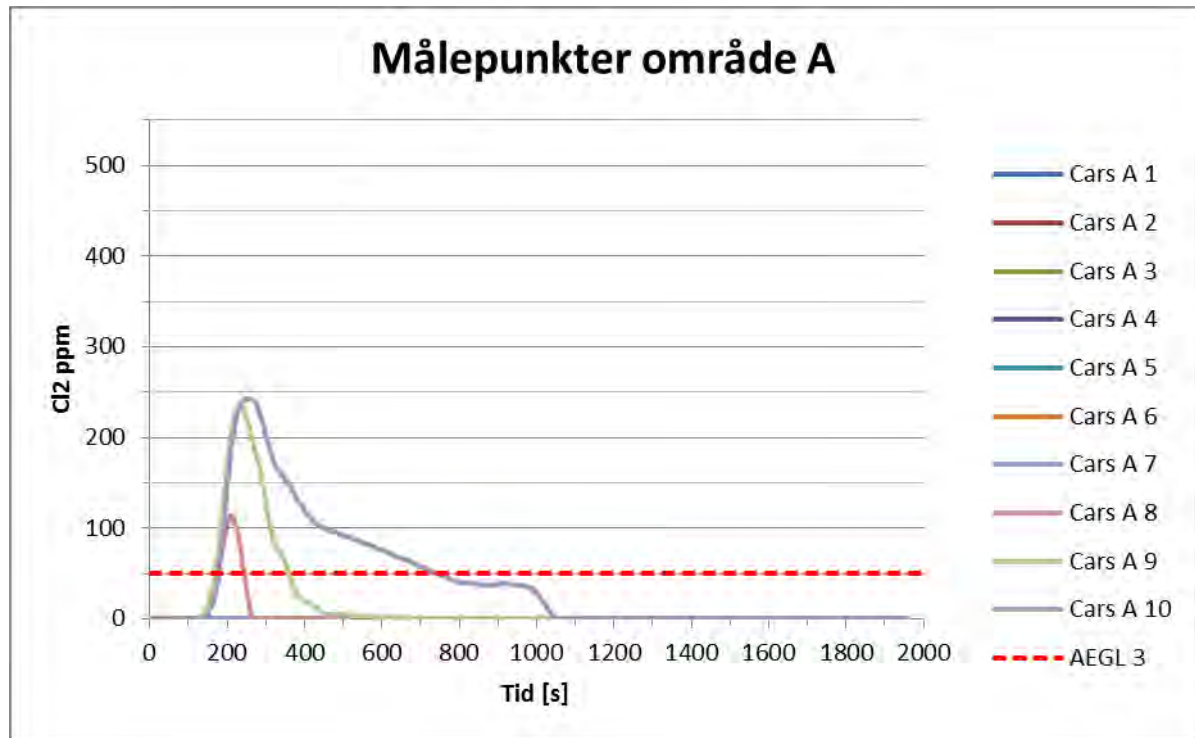
1.30 Simulering nr. 40

Simulering nr. 40 er referencesimuleringen.

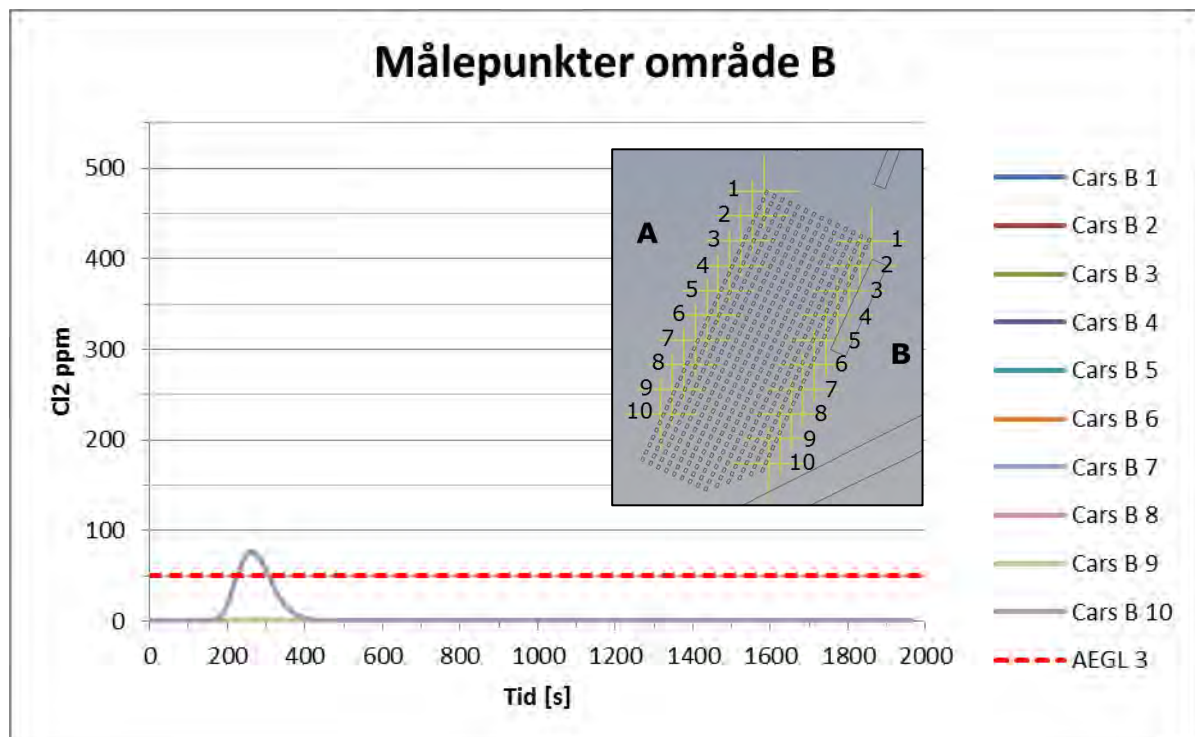
Nr.	Udslips- placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind- hastighed [m/s]	Vind- retning [°]	Noter
40	1b	36	144	5	315	4 beholdere punkteret, reference scenarie, nyt layout



Figur 76. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 40



Figur 77. Målepunkter område A, simulering nr. 40.

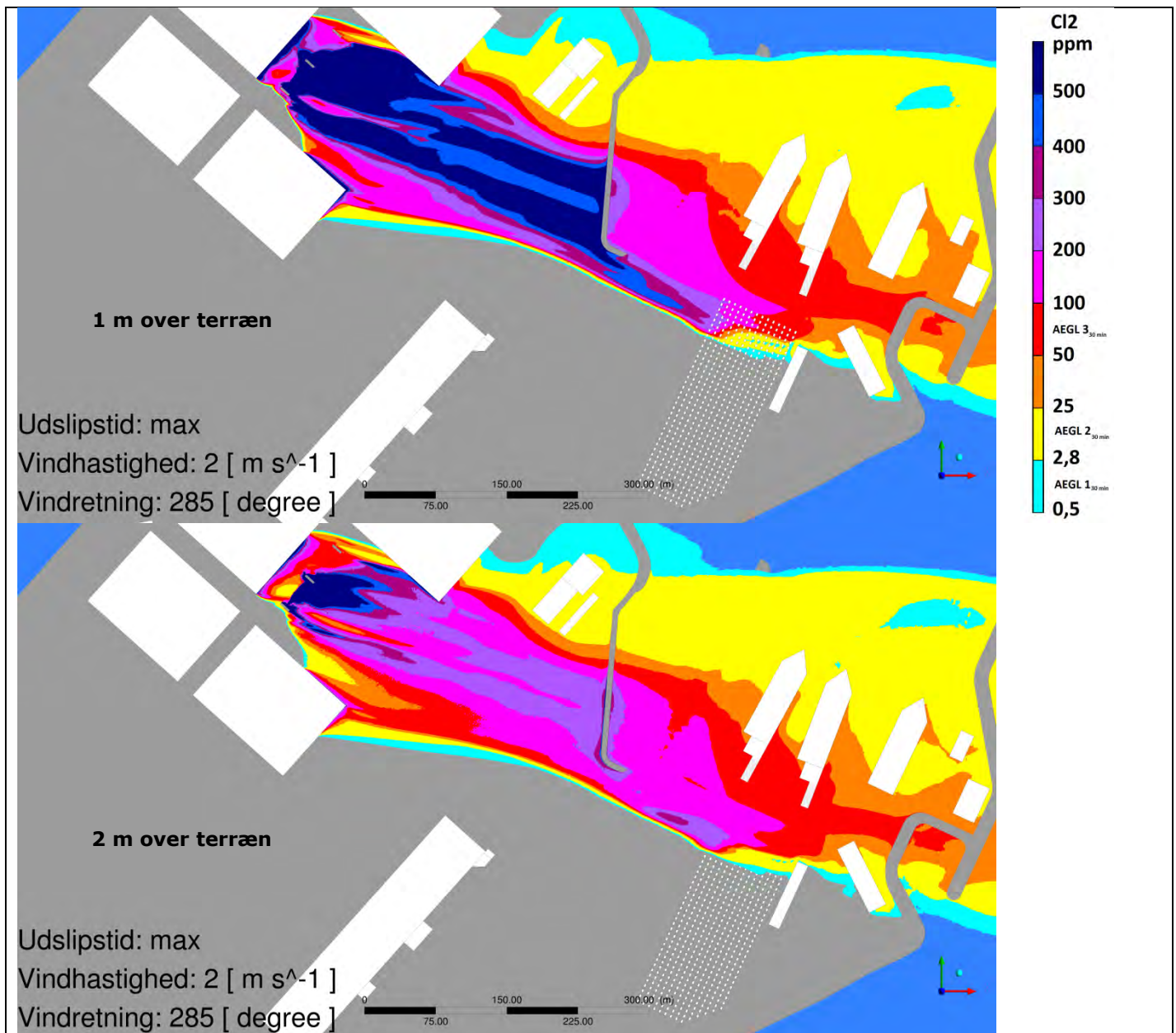


Figur 78. Målepunkter område B, simulering nr. 40.

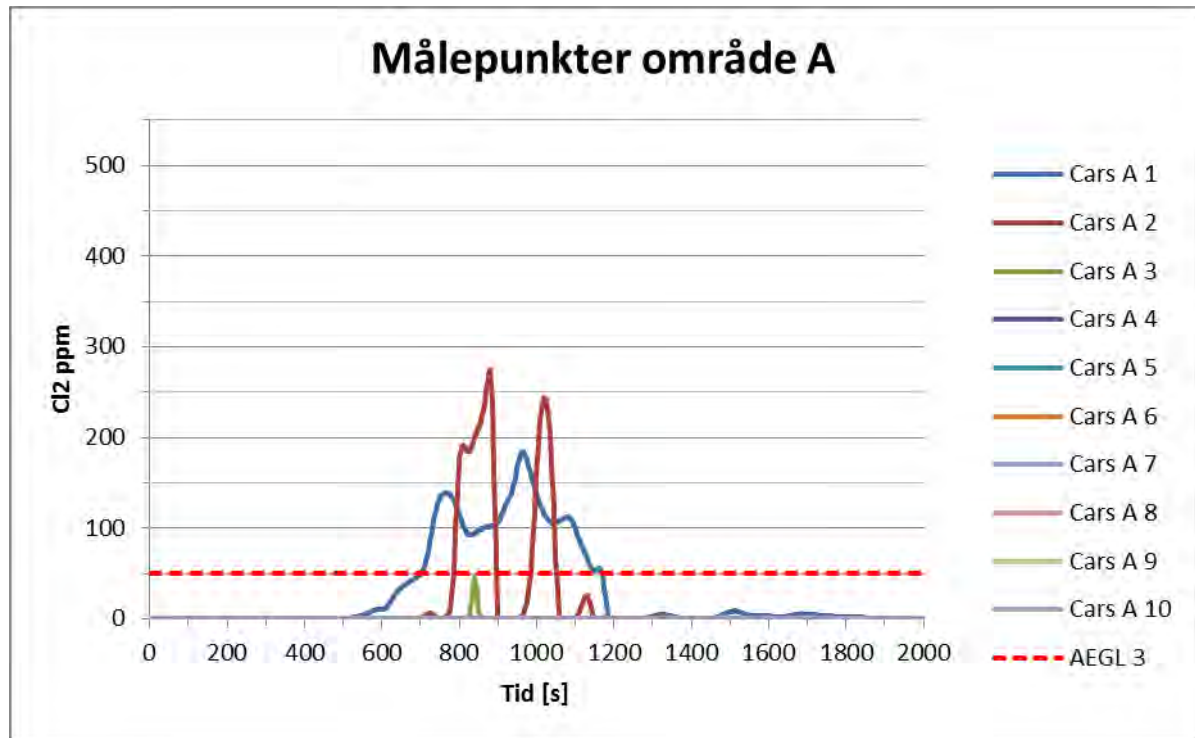
1.31 Simulering nr. 41

Simulering nr. 41 er som referencesimulering nr. 40 med lavere vindhastighed og ændret vindretning.

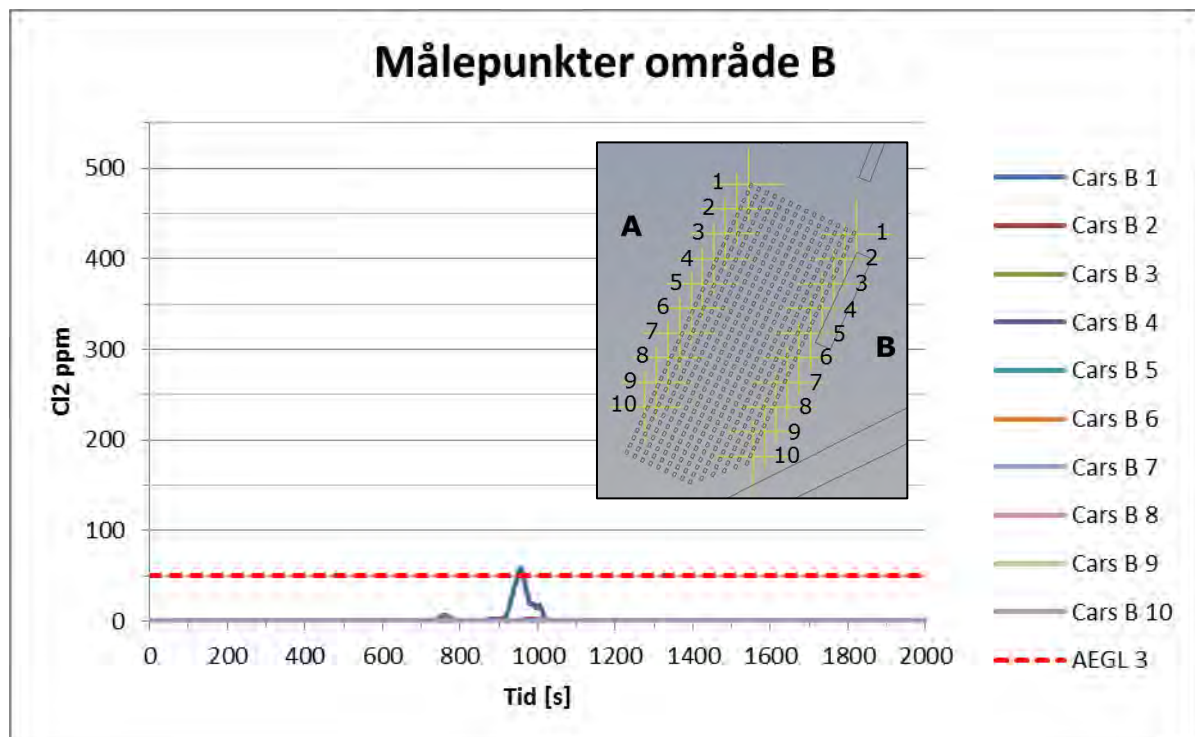
Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
41	1b	36	144	2	285	4 beholdere punkteret, varieret vindretning , nyt layout



Figur 79. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 41



Figur 80. Målepunkter område A, simulering nr. 41.

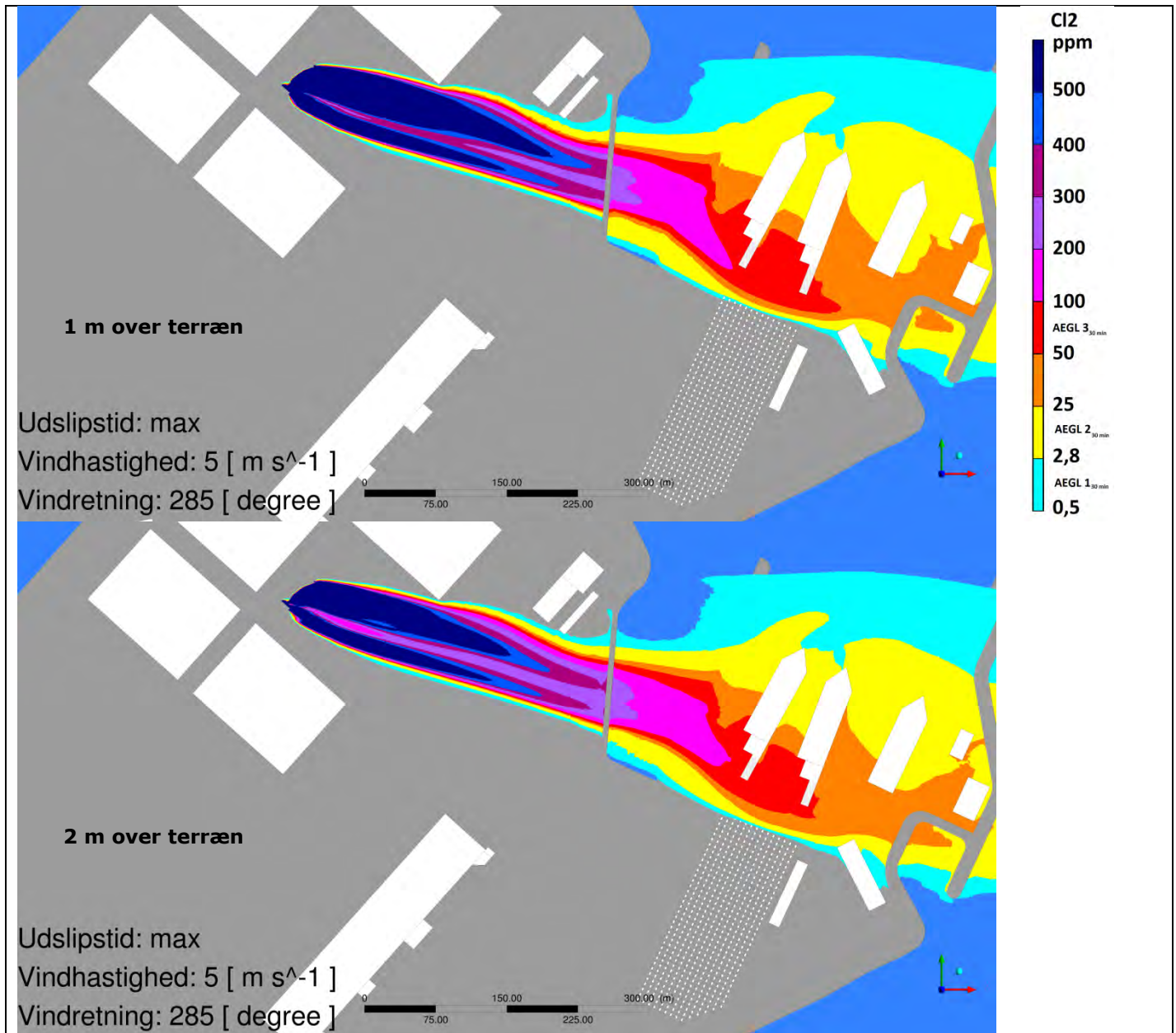


Figur 81. Målepunkter område B, simulering nr. 41.

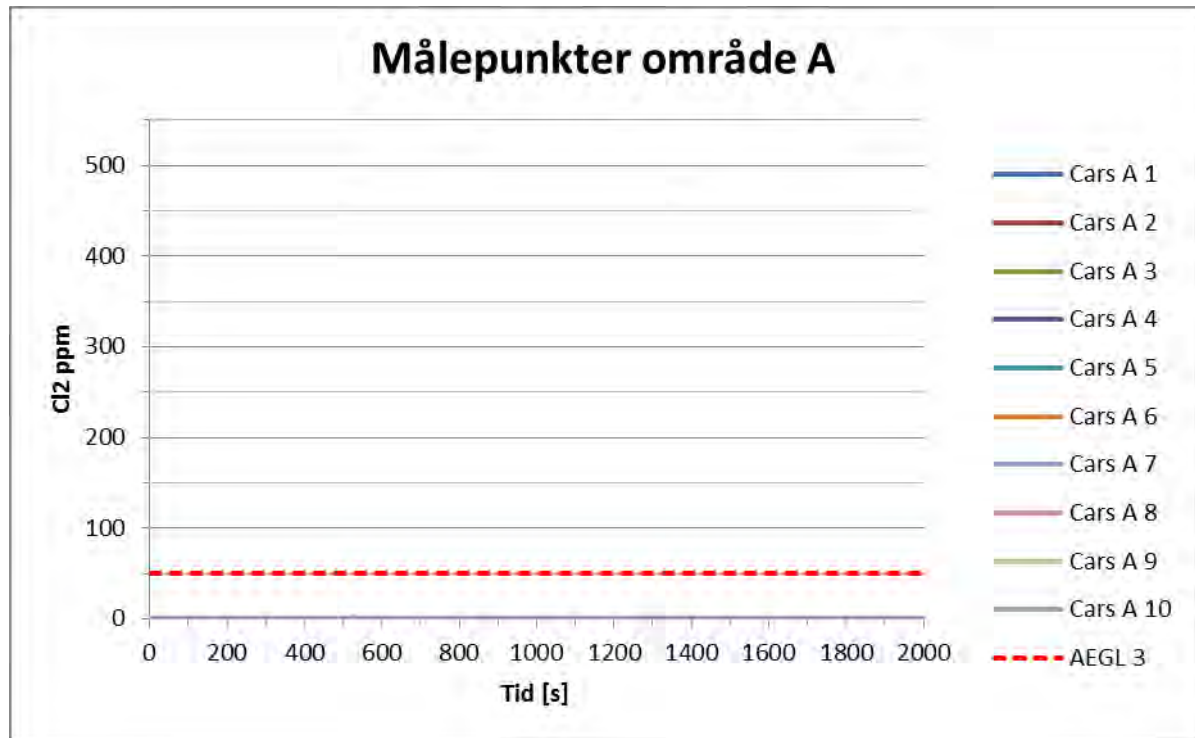
1.32 Simulering nr. 42

Simulering nr. 42 er som referencesimulering nr. 40 med ændret vindretning.

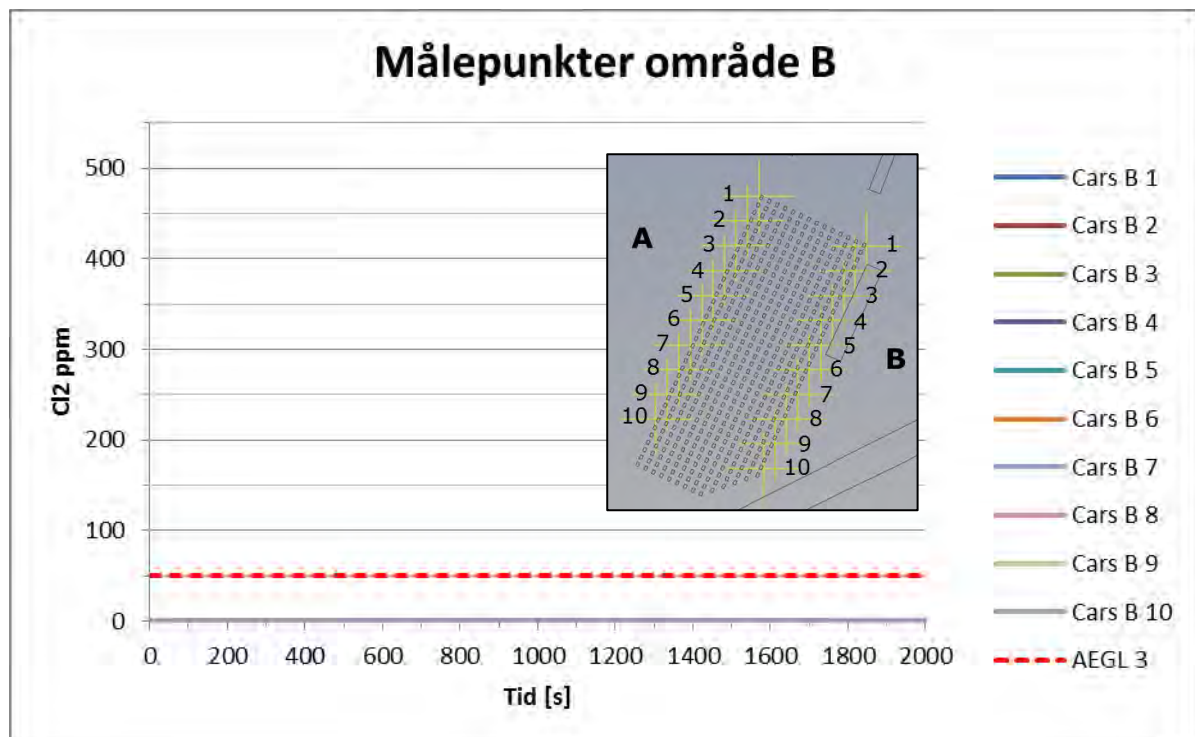
Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
41	1b	36	144	5	285	4 beholdere punkteret, varieret vindretning, nyt layout



Figur 82. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 42



Figur 83. Målepunkter område A, simulering nr. 42.

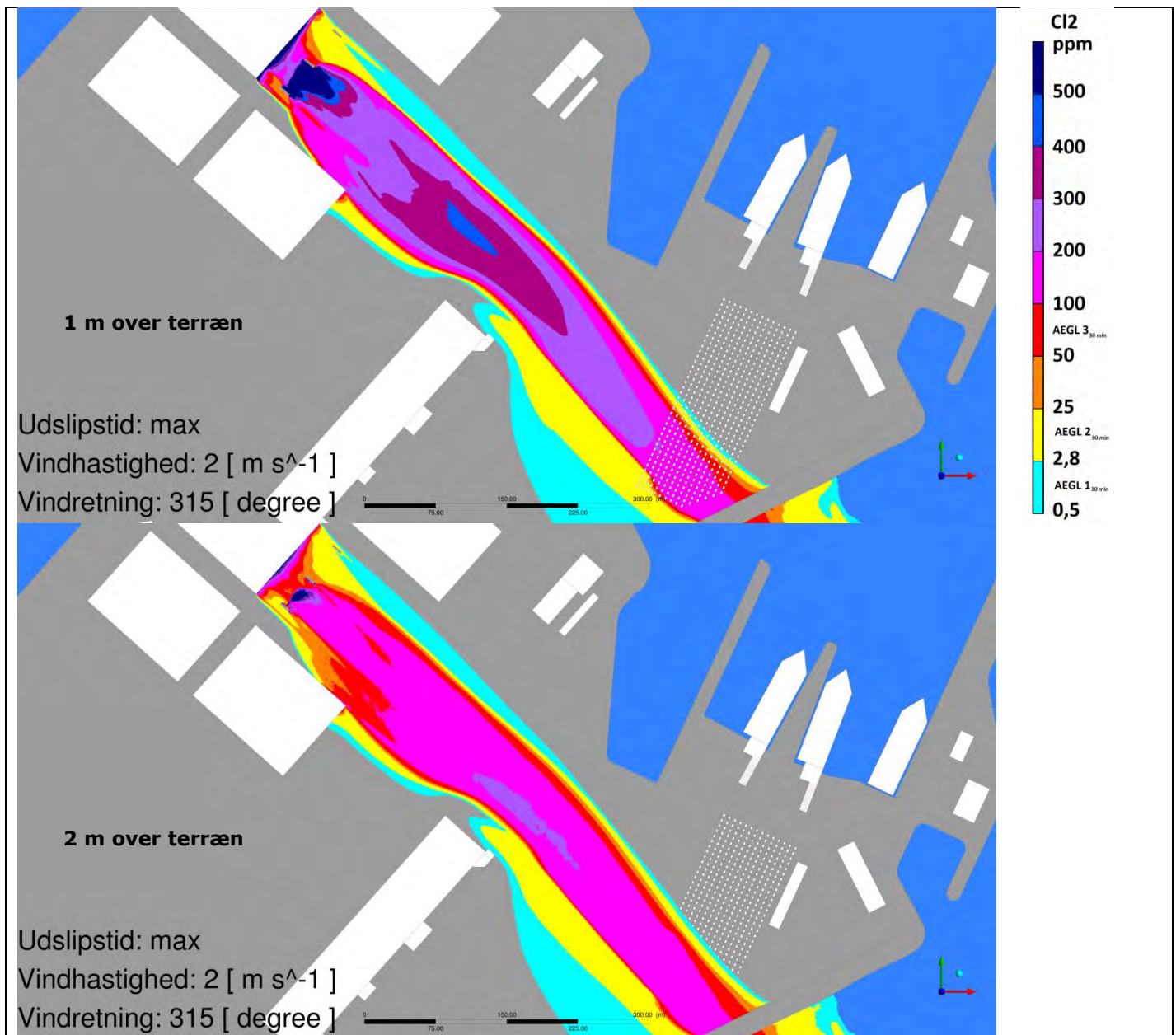


Figur 84. Målepunkter område B, simulering nr. 42.

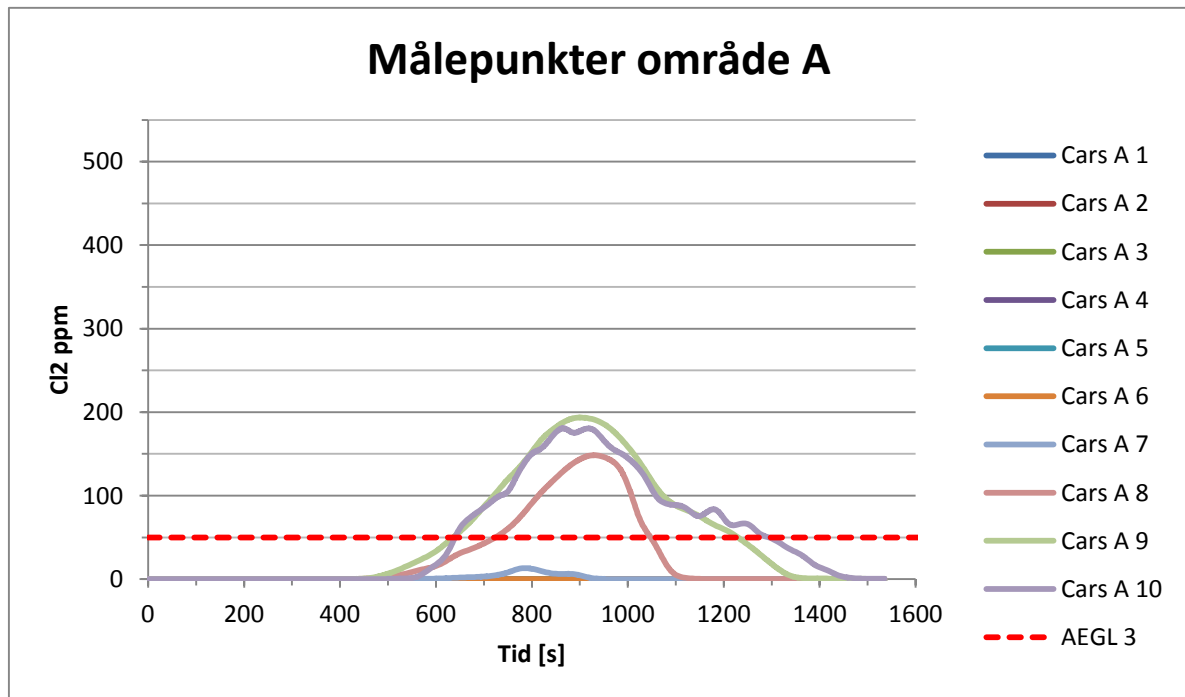
1.33 Simulering nr. 43

Simulering nr. 43 er som referencesimulering nr. 40 med lavere vindhastighed og udslip fra kun 2 beholdere.

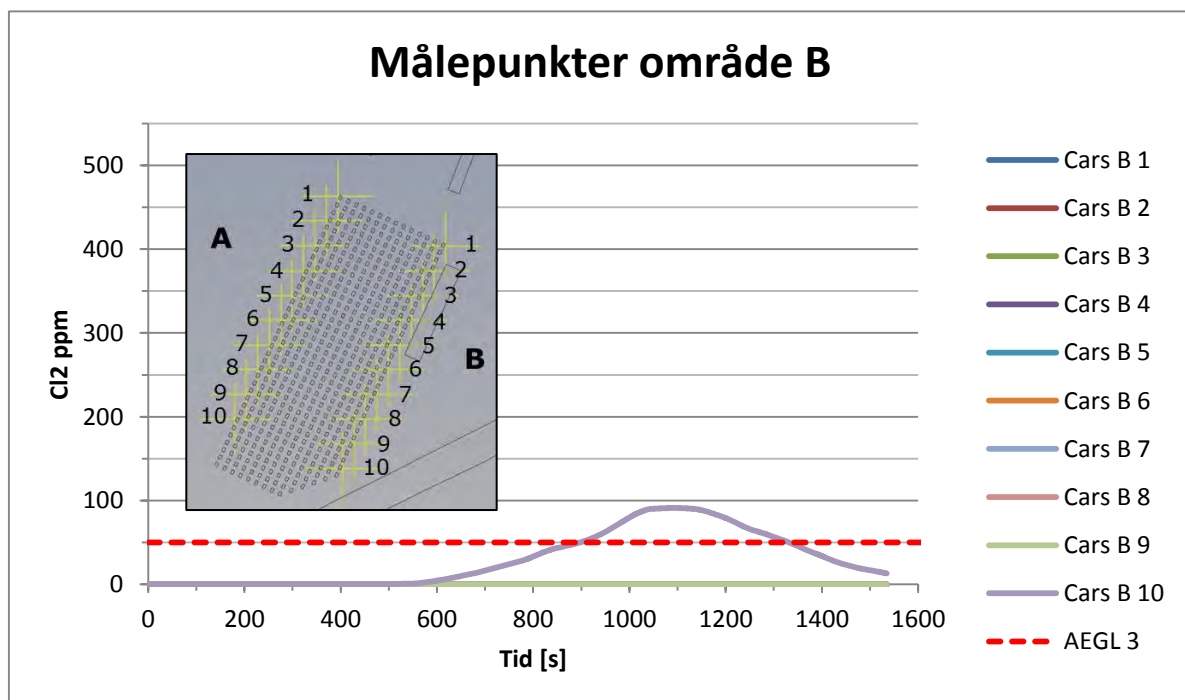
Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
43	1b	18	72	2	315	2 beholdere punkteret, nyt layout



Figur 85. Maksimal klorkoncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 43



Figur 86. Målepunkter område A, simulering nr. 43.

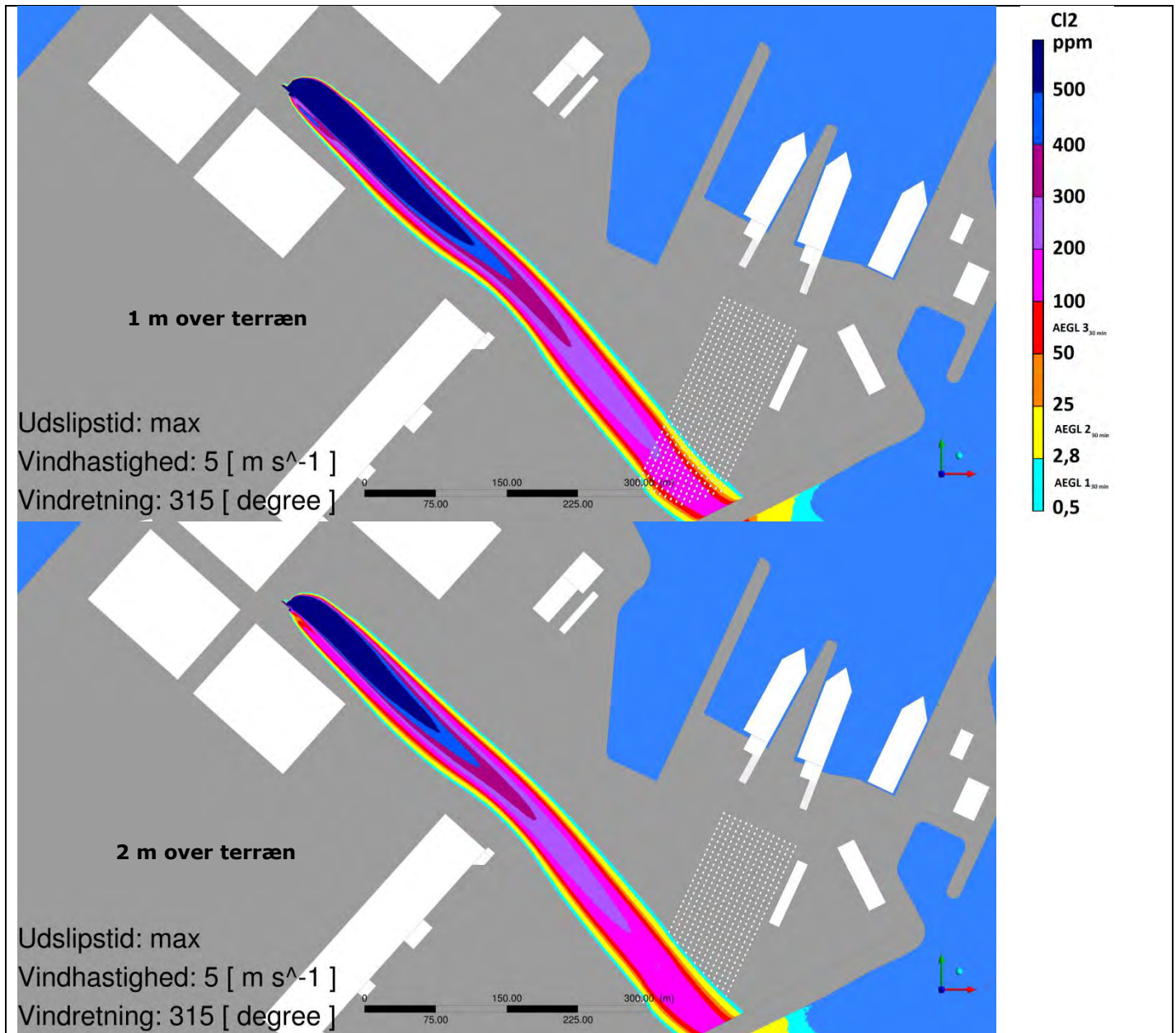


Figur 87. Målepunkter område B, simulering nr. 43.

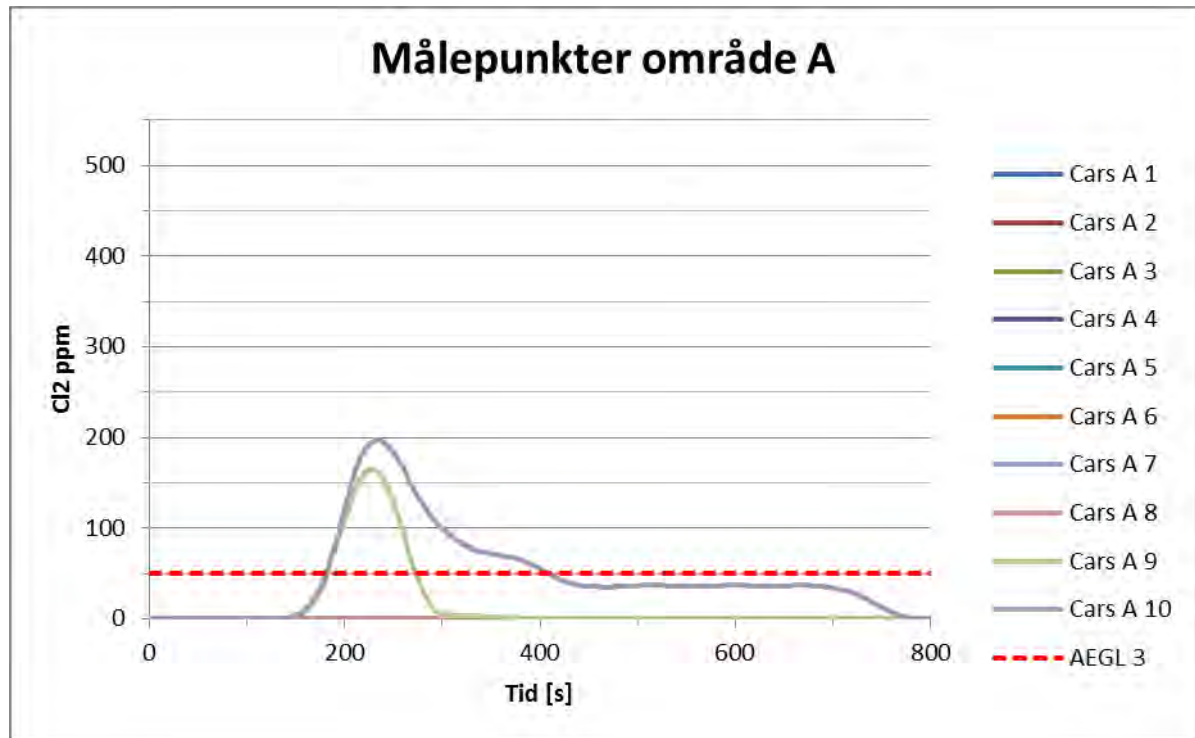
1.34 Simulering nr. 44

Simulering nr. 44 er som referencesimulering nr. 40 med udslip fra kun 2 beholdere.

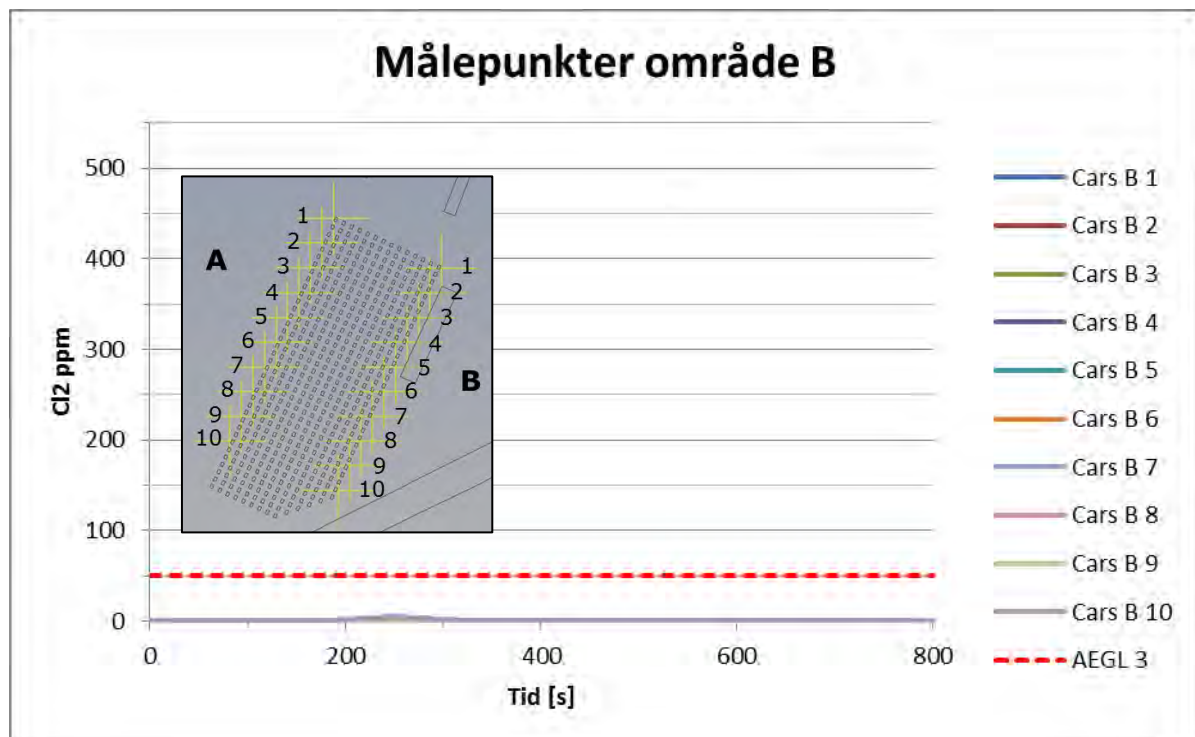
Nr.	Udslips-placering	Klor gas [kg]	Klor pøl [kg]	Vind-hastighed [m/s]	Vind-retning [°]	Noter
44	1b	18	72	5	315	2 beholdere punkteret, nyt layout



Figur 88. Maksimal klor koncentration vist i et vandret plan 1 m og 2 m over terræn, simulering nr. 44



Figur 89. Målepunkter område A, simulering nr. 44.



Figur 90. Målepunkter område B, simulering nr. 44.

BILAG D

ANVENDTE BEFOLKNINGSDATA I SAMFUNDSRISIKOBeregningen



Nr.	Farvekode	Område/Aktivitet	Estimeret antal samtidigt eksponerede personer	Estimeret udendørs eksponering	kommentarer
III		Area III, ventende biler 74 afgang pr. uge	548	74 gange pr. uge ½ timer/gang, 52 uger/år, udendørs ophold fordelt på årstiden: • Forår: 75 % • Sommer: 100 % • Efterår: 75 % • Vinter: 50 %	Optælling viser 74 afgang pr. uge i uge 38 i 2016. 74 afgang pr. uge give 600 personer i biler pr. afgang fordelt over gennemsnitligt 274 biler. Opholdstiden er udvidet fra 15 minutter til 30 minutter.
III		Area III, gående passagerer 74 afgang pr. uge	138	74 gange pr. uge ½ timer/gang, 52 uger/år, 100 % udendørs ophold	Det oprindelige opsæt var på 10.200 personer pr. uge fordelt over 76 afgang. Optælling viser 74 afgang pr. uge i uge 38 i 2016. 74 afgang pr. uge give 138 gående pr. afgang.
III		Area III, ansatte Hverdage	30	12 timer/døgn, 5 dage/uge, 52 uger/år, 100 % udendørs ophold	
III		Area III, ansatte Weekend	10	16 timer/døgn, 2 dage/uge, 52 uger/år, 100 % udendørs ophold	
III		Area III, billetsluse	25	74 gange pr. uge ½ timer/gang, 52 uger/år, 100 % udendørs ophold	Der er antaget 10 ventende biler. 5 ansatte er tilføjet
III		Area III, Terminalkontoran- satte	50	½ timer/døgn, 5 dage/uge, 52 uger/år, 100 % udendørs ophold	

Nr.	Farvekode	Område/Aktivitet	Estimeret antal samtidigt eksponerede personer	Estimeret udendørs eksponering	kommentarer
x		Area X, Virksomhed, Hverdag	200	8 timer/døgn, 5 dage/uge, 52 uger/år, 50 % udendørs ophold	
x		Area X, Virksomhed, Weekend	20	8 timer/døgn, 2 dage/uge, 52 uger/år, 50 % udendørs ophold	
x		Area X, Virksomhed (Kontor), Hverdage	20	8 timer/døgn, 5 dage/uge, 52 uger/år, 10 % udendørs ophold	
x		Area X (vejareal) Færgetræk	600 (opdeles efter tæthed på vejen)	74 gange pr. uge ¼ timer/gang, 52 uger/år, 100 % udendørs ophold	Tæthed på 2 biler (4 personer) pr. 4 meter vej
x		Area X (vejareal) Tilkørsel	600 (opdeles efter tæthed på vejen)	74 gange pr. uge ½ timer/gang, 52 uger/år, 100 % udendørs ophold	Tæthed på 1 bil (2 personer) pr. 4 meter vej
		Omniterminal Arbejdere Hverdage	200	8 timer/døgn, 5 dage/uge, 52 uger/år, 50 % udendørs ophold	
		Omniterminal Kontorpersonale Hverdage	20	8 timer/døgn, 5 dage/uge, 52 uger/år, 10 % udendørs ophold	

Nr.	Farvekode	Område/Aktivitet	Estimeret antal samtidigt eksponerede personer	Estimeret udendørs eksponering	kommentarer
		Omniterminal Arbejdere Weekend	20	8 timer/døgn, 2 dage/uge, 52 uger/år, 50 % udendørs ophold	
		Omniterminal Kontorpersonale Weekend	5	8 timer/døgn, 2 dage/uge, 52 uger/år, 10 % udendørs ophold	
		Bulkterminal	50	8 timer/døgn, 5 dage/uge, 52 uger/år, 80 % udendørs ophold	Tidligere kaldet "Multiterminalen", ophold justeret fra 4 til 8 timer/dag
		Bulkterminal	5	8 timer/døgn, 2 dage/uge, 52 uger/år, 80 % udendørs ophold	Tidligere kaldet "Multiterminalen", weekendophold tilføjet.
		Havnekontor	400	½ timer/døgn, 5 dage/uge, 52 uger/år, 100 % udendørs ophold	Tilføjet
		Oliehavnen	75	12 timer/døgn, 7 dage/uge, 52 uger/år, 80 % udendørs ophold	
	 (2 punkter)	Havnepromenaden	10	12 timer/døgn, 7 dage/uge, 52 uger/år, 100 % udendørs ophold	Opsættes som 2 punkter af 5 personer tæt ved terminalen.

Nr.	Farvekode	Område/Aktivitet	Estimeret antal samtidigt eksponerede personer	Estimeret udendørs eksponering	kommentarer
	 (7 punkter)	Sejlad	6	280 sekunder/passage (2 både) 3500 passager (2 både)/år	Samlet vurdering: 2x3.500 både af 3 personer krydser terminalområdet (inderste 1.000 m) pr. år med en hastighed på 4 knob (opholdstid på lidt under 1.960 sekunder pr. båd (=2.000 m)). grundet det lave antal personer indplaceres bådene som 7 punkter af 2 både af 3 personer med en opholdstid på 280 sekunder ((2*980)/7). Punkt nr. 1 er ikke vist på kortet, det ligger nord for APM Terminals Aarhus.
		Vandflyverterminal	17	7,5 time/døgn, 7 dage/uge, 52 uger/år, 100 % udendørs ophold	Der er antaget 45 minutters eksponering pr. afgang eller ankomst samt 5 daglige afgang og 5 daglige ankomster. Nuværende fly har plads til 12 mænd, 15 kvinder eller 17 børn. Gennemsnitligt 15 passagerer er antaget for hver afgang/ankomst, hertil kommer 2 besætningsmedlemmer. Placeringen er den risikomæssige værst tænkelige, placeringen er ikke mulig i dag, eftersom placeringen er inde på APM Terminals Aarhus område.
		Vandflyverterminal Mulig ny placering	Se ovenfor	Se ovenfor	Se ovenfor

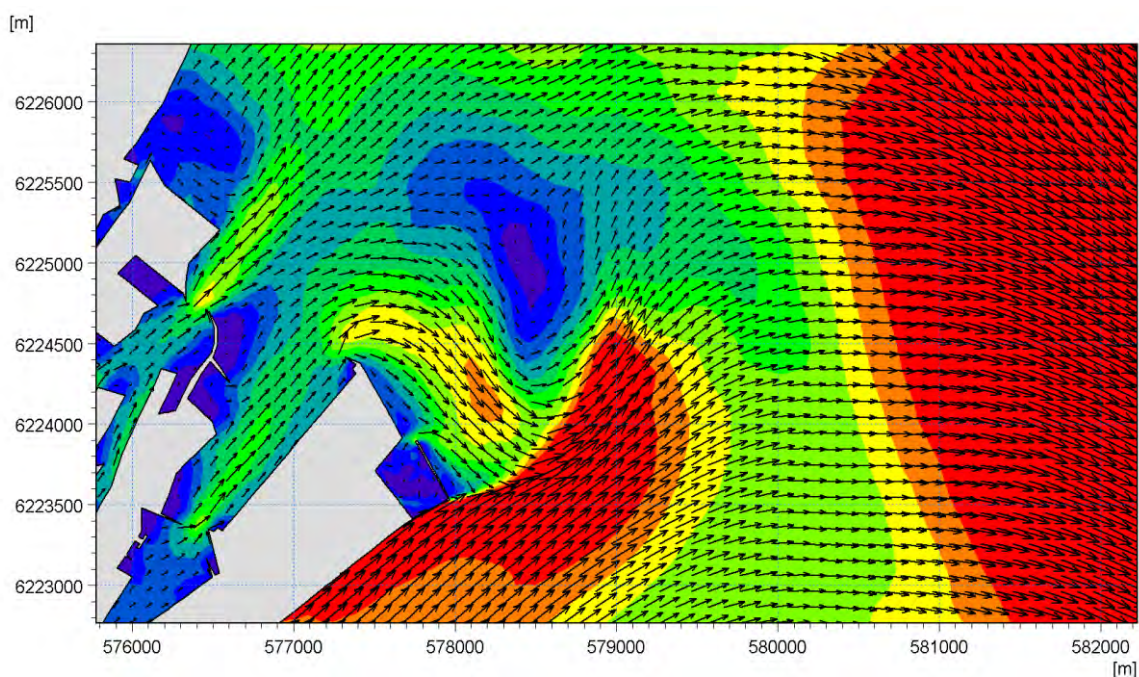
Til
Aarhus Havn

Dokumenttype
Bilag til miljøredegørelse

Dato
August 2017

FLYTNING AF FÆRGE- TERMINAL PÅ AARHUS HAVN

HYDRAULISKE FORHOLD FOR JUSTERET LAYOUT



FLYTNING AF FÆRGETERMINAL PÅ AARHUS HAVN

HYDRAULISKE FORHOLD FOR JUSTERET LAYOUT

Revision **01**
Dato **2017-08-16**
Udarbejdet af **JQHN og HSN**
Kontrolleret af **ORK**
Godkendt af **ORK**

Ref. 1100011049\Q00488-3-ORK

INDHOLD

1.	BAGGRUND	1
2.	NYFORTOLKNING AF MODELRESULTATER FRA HYDRAULISKE VURDERINGER	3
2.1	Middelkoncentration af suspenderet stof	3
2.2	Maksimumkoncentration af suspenderet stof	4
2.3	Varighed af overskridelse af given koncentration af suspenderet stof	4
2.4	Sedimentation	4
3.	KONKLUSION	5
4.	REFERENCER	6

1. BAGGRUND

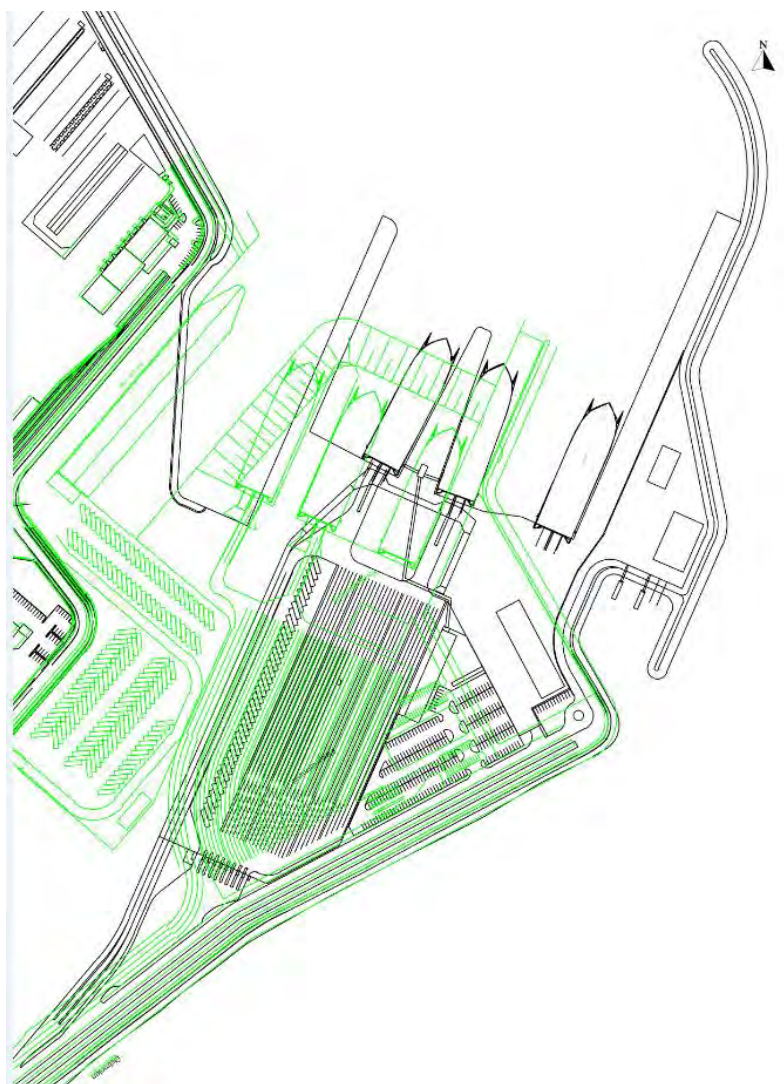
Siden færdiggørelsen af DHI-rapporten (ref. /1/) vedr. vurdering af strøm- og sedimentationsforhold er projektet blevet justeret. Denne proces har medført, at opfyldningsmængderne er forøget, mens uddybningsmængderne i miljøhavnen er reduceret. Herudover etableres der en sandpude for en østlige bølgebryder og færgelejerne er rykket ud på dybere vand.

I den efterfølgende Tabel 1-1 er der angivet kvantiteter for at sammenligne de to projekter, henholdsvis:

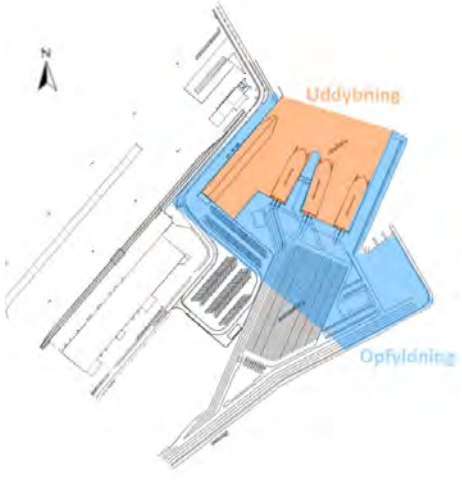
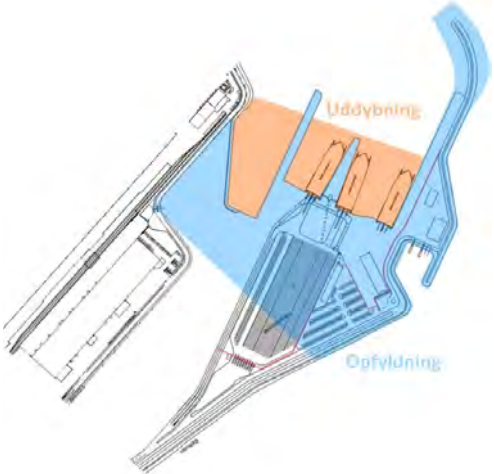
1. Projektgrundlag for de tidligere hydrauliske vurderinger
2. Det justerede projekt

I kapitel 2 er der angivet nyfortolkning af modelresultaterne fra hydrauliske vurderinger i ref. /1/, som således danner grundlag for miljøredegørelsen for det justerede projekt.

Forskellen mellem projektgrundlaget i DHI-notatet og det justerede projekt, som vurderes i denne rapport, er vist i Figur 1-1.



Figur 1-1. Forskellen mellem de to projekter. Det grønne projekt er det, der er forudsætningen for de tidligere gennemført hydrauliske beregninger mens projektet vist med sort, er det justerede projekt.

	Projektgrundlag for modelleringer i DHI-notat	Justeret projekt
		
Uddybning	270.000 m ³	150.000 m ³
Opfyldning	515.000 m ³	850.000 m ³
Uddybning	27 dage	10-15 dage
Opfyldning	25 dage	65-90 dage

Tabel 1-1. Sammenligning mellem projektgrundlaget for modelleringerne i DHI-notatet og for det justerede projekt.

2. NYFORTOLKNING AF MODELRESULTATER FRA HYDRAULISKE VURDERINGER

Som tidligere nævnt er der i ref. /1/ gennemført modellering af indflydelsen fra færgeterminalen på sedimentspredning samt hydrauliske forhold. Resultaterne omfatter:

- Middelkoncentration af suspenderet stof [mg/l]
- Maksimumkoncentration af suspenderet stof [mg/l]
- Varighed af overskridelse af koncentration suspenderet stof på 2 og 10 mg/l [timer]
- Sedimentation [g/m²]

I de efterfølgende afsnit gennemgås, hvorledes resultaterne, der ligger til grund for modelleringerne i ref. /1/, kan vurderes og fortolkes således, at de også kan beskrive det justerede projekt.

Der ligger en række grundlæggende antagelser til grund for disse vurderinger og fortolkninger af det justerede projekt i forhold til de tidligere beregninger:

- Der graves ved begge projekter med en intensitet på 10.000 m³/døgn. En ændring af volumener ift. uddybning og opfyldning vil således ikke have betydning for spildrater, men alene varigheden af spildet. Dette er ganske sikkert, da der forventes anvendt samme materiel i begge projekter.
- Sammensætningen af de håndterede materialer er den samme for de to projekter. Dette er relativt sikkert, da det overordnet er samme område, der afgraves i. Tilførelsen af opfyldningsmateriale er baseret på samme forudsætninger for begge projekter.
- Etableringen af en sandpude vil ikke medføre forøget spild, selv om der vil være en øget strømeksposering. Dette er en fair antagelse, da det i ref. /1/ allerede antages, at hele ler- og silt-fraktionen spildes. (materialet kan kun spildes én gang, og der er tale om materiale, der udgraves i indvindingsområdet i Aarhus Bugt).
- De ændrede placeringer af hvor spildet sker, som følge af den ændrede udformning af færgeterminalen, vil ikke påvirke resultatet væsentligt.
- Den fysiske forskel på de to projekter er så små, set i det store perspektiv, at der ikke sker væsentlige ændringer i strømfeltet. Der er tydeligvis en forskel i den fysiske udformning af de to projekter (se Tabel 1-1). Denne forskel vil have en indflydelse på strømforholdene. Antagelsen om, at ændringerne i strømfeltet er begrænsede, vil derfor kun i et begrænset omfang være opfyldt i umiddelbar nærhed af projektet, men effekten vil aftage med afstanden.

2.1 Middelkoncentration af suspenderet stof

Middelkoncentrationen vil være bestemt af kildestyrken af spildt materiale, dvs. hvor meget sediment der spildes per tidsenhed (f.eks. dag eller time). Som tidligere nævnt vil kildestyrken være uændret men have en længere varighed.

Desuden kan der optræde mindre forskelle ift. det areal, der bliver eksponeret med suspenderet stof i vandsøjlen som følge af de lokalt ændrede strømforhold samt grundet de ændrede placeringer af, hvor spildet sker.

2.2 Maksimumkoncentration af suspenderet stof

Maksimumkoncentrationen vil ligesom middelkoncentrationen være bestemt af kildestyrken for spildt materiale, dvs. hvor meget sediment der spildes per tidsenhed (f.eks. dag eller time). Som tidligere nævnt, vil kildestyrken være uændret men have en længere varighed.

Det vil være således, at den længere varighed vil medføre, at flere forskellige hydrografiske forhold vil være repræsenteret i den lidt længere anlægsperiode for det reviderede projekt. Derfor må der påregnes lidt højere øjeblikkelige maks. koncentrationer for det reviderede projekt sammenlignet med det tidligere vurderede projekt i ref. /1/.

2.3 Varighed af overskridelse af given koncentration af suspenderet stof

Som nævnt ovenfor vil koncentrationerne primært være bestemt af kildestyrken, som er uændret. Ved de reviderede scenarier øges alene varigheden.

Det må derfor forventes, at overskridelseshyppigheden forøges proportionalt med varigheden af anlægsperiodens længde. Da graveintensiteten er uændret, bliver overskridelsesvarigheden proportional med de håndterede volumener.

2.4 Sedimentation

Sedimentation er et billede på, hvordan materiale, der er spildt gennem graveperioden, er fordelt ved dens afslutning. Sedimentationen er således proportional med den spildte mængde, som igen er porportional med den håndterede mængde.

3. KONKLUSION

Det konkluderes at de tidligere udførte modelsimuleringer i DHI-rapporten ref. /1/ med nogen sikkerhed kan danne grundlag, og dermed være repræsentative, for de hydrauliske forhold/sediment forhold for det justerede projekt.

Det skal dog påpeges, at en ny-fortolkning af resultaterne i ref. /1/ ift. at dække konsekvenserne for det justerede projekt, vurderes at medføre en større usikkerhed, end hvis der blev gennemført en fornyet modellering for det aktuelle scenarie. Dette imødegås dog ved, at de estimerede/fortolkede påvirkninger forøges med et tillæg, som kompensation for denne usikkerhed. Nedenfor ses de procentvise tillæg til resultaterne fra ref. /1/:

- Der tillægges 30 % til middelkoncentration af suspenderet stof [mg/l]
- Der tillægges 50 % til maksimumkoncentration af suspenderet stof [mg/l]
- Der tillægges 50 % til varigheden af overskridelse af koncentration suspenderet stof på 2 og 10 mg/l [timer]
- Der tillægges 30 % til sedimentation [g/m²]

Ved anvendelse af de ovenfor anførte tillæg vurderes det, at den resulterende miljøpåvirkning som anført i miljøredegørelsen, for så vidt angår strømning og sedimentation, vil udgøre en forholdsvis god beskrivelse af påvirkningen ved gennemførelse af projektet.

4. **REFERENCER**

- /1/ Aarhus Havn, Flytning af færgeterminal, Vurdering af strøm- og sedimentforhold, DHI, rev. 1.1. 03-02-2015.