

SEPTEMBER 2021
AARHUS HAVN

ADRESSE COWI A/S
Parallelvej 2
2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00
FAX +45 56 40 99 99
WWW cowi.dk

BILAG 11

UDVIDELSE AF AARHUS HAVN – YDERHAVNEN

UDLEDNING AF OVERFLADEVAND TIL KOMMENDE HAVNEBASSIN

PROJEKTNR.	DOKUMENTNR.				
A104076	A104076-PD-72				
VERSION	UDGIVELSESDATO	BESKRIVELSE	UDARBEJDET	KONTROLLERET	GODKENDT
2.0	17/9/21	Teknisk notat	CRJ	THRY	THGI

INDHOLD

1	Formål	3
2	Metode	3
2.1	Belastninger	3
2.2	Fordeling af belastning på udledninger	4
2.3	Fortynding ved punktudledning til marin recipient	6
2.4	Fortynding ved udledning til havnebassinet	8
3	Resultater	10
3.1	Enkeltudledninger	10
3.2	Udledning fra havnebassinet	10
4	Sammenfatning	10
5	Referencer	11

1 Formål

Formålet med dette notat er at beskrive koncentrationsforholdene ved udledning af overfladevand i det nye havnebassin i Aarhus Havn og eventuelt i den tilstødende Aarhus Bugt.

2 Metode

2.1 Belastninger

Belastninger for BI5, COD, N og Ps vedkommende er taget fra /1/, mens belastninger for opløste tungmetallerne (Cu, Pb, og Zn) er beregnet ud fra de angivne koncentrationer og vandføringer i samme reference.

Tabel 2-1 Belastningsopgørelse angivet for etape 1+2 /1/. Miljøkvalitetskravene er fra /2/. Tungmetalanalyser er udelukkende af filtrerede prøver.

Etape 1+2	BI5	COD	N	P	Cu	Pb	Zn
Belastning [kg/år]	3.694	30.78 4	1.231	185	-	-	-
Udledning efter sandfang [kg/år]	2.955	24.62 7	1.108	148	-	-	-
Atmosfærisk deposition [kg/år]	0	0	-1.196	-13	-	-	-
Mertilledning (med sandfang) [kg/år]	2.955	24.62 7	-88	135	9,23	1,54	39,98
Udløbskoncentration C_o [mg/l]	4,8	40	0,140	0,22	0,015	0,002 5	0,065
Miljøkvalitetskrav C_{crit} [μ g/l]	-	-	-	-	1 ⁵⁾	1,3	7,8 ⁵⁾
Naturlig baggrund [μ g/l]	-	-	-	-	0,25 ¹	-	1 ²
Eksisterende, C_{rec} ³ [μ g/l]	-	-	-	-	0,675	0,563	4,3
Fortyndingen F	-	-	-	-	24	2	12

⁵⁾ Tilføjet naturlig baggrund

¹ DHI 2011. Fokusstoffer på renseanlæggene Lynetten og Damhusåen. Rapport til Lynettefællesskabet.

² I udkastet til EU-risikovurdering (sept. 2006) er angivet følgende baggrunds-værdier for Zn opløst i vandet: Nordsøen 1 μ g/l, Tyskland 1 μ g/l (gennemsnit),

³ København kommune, 2017, pers com: "Udregningskopi af 2017-0118300-5 Monitoring for miljøfremmede stoffer Københavns Havn 2017 22975596_10_0", Regneark.

Bemærk, at miljøkvalitetskravet C_{crit} for visse stoffer skal tillægges den naturlige baggrundkoncentration, den såkaldte "tilføjede naturlige baggrund".

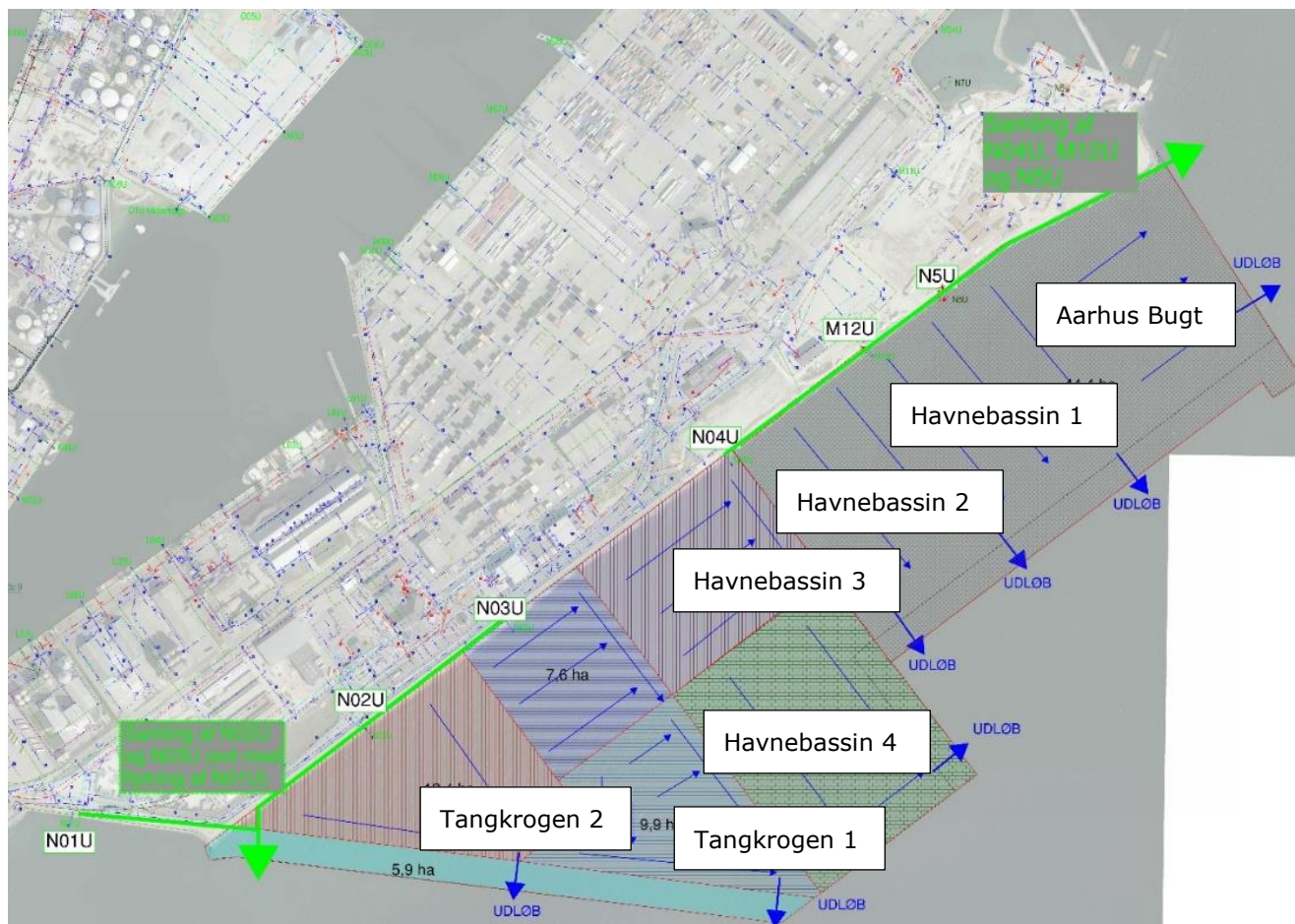
Den nødvendige fortynding F , der skal til for at opfylde miljøkvalitetskravet C_{crit} , beregnes efter formelen for fortynding af udløbskoncentration C_0 i en recipient med en koncentration C_{rec} :

$$F = \frac{C_0 - C_{crit}}{C_{crit} - C_{rec}}$$

2.2 Fordeling af belastning på udledninger

Den årlige afstrømning fra de nye overflader er givet for etape 1 som 270.000 m³/år og for etape 2 som 345.000 m³/år.

Overfladeafstrømningen udledes til de forskellige marine vandområder gennem forskellige udledningspunkter, se Figur 2-1, i /1/.



Figur 2-1 Udledningspunkter for overfladeafstrømning. Kortet er fra /1/, udledningspunkternes benævnelse er tilføjet.

På baggrund af arealangivelserne for udledningernes oplande angivet i Figur 2-1 fordeles de årlige udledninger på de forskellige udledningspunkter.

Etape 1

omfatter udledningerne Aarhus Bugt og Havnebassin 1-3.

Etape 2

Omfatter udledningerne Havnebassin 4 og Tangkrogen 1-2.

Udledningerne fra begge etaper er undersøgt for scenariet uden ydermole (Havnebassinet er dermed ikke etableret endnu) og for scenariet med ydermole (Havnebassinet er etableret).

Fordelingen af vandføringerne på de forskellige udledningspunkter i situationen uden ydermole og med ydermole er givet i nedenstående Tabel 2-2 og Tabel 2-3. Når ydermolen er etableret, vil havnebassinet virke som et blandingskammer, hvor de forskellige punktudledninger blandes, og udledning fra havnebassinet til havområdet uden for havnebassinet vil derefter omfatte bidragene fra alle enkeltbidrag til bassinet.

Tabel 2-2 Uden ydermole: Vandføringer i de forskellige udløbspunkter, se Figur 2-1

Etape	Udløbspunkt	Vandføring (m ³ /år)	Gennemsnitlig vandføring (l/s)
1	Aarhus Bugt	83.077	2,6
1	Havnebassin 1	62.308	2,0
1	Havnebassin 2	62.308	2,0
1	Havnebassin 3	62.308	2,0
2	Havnebassin 4	162.101	5,1
2	Tangkrogen 1	107.048	3,4
2	Tangkrogen 2	75.851	2,4
	kontrol	615.000	19,5

Tabel 2-3 Med ydermole: Vandføringer i de forskellige udløbspunkter, se Figur 2-1

Etape	Udløbspunkt	Vandføring (m ³ /år)	Gennemsnitlig vandføring (l/s)
1	Aarhus Bugt	83.077	2,6
1+2	Havnebassin (4 rør)	349.024	11,1
2	Tangkrogen 1	107.048	3,4
2	Tangkrogen 2	75.851	2,4
	kontrol	615.000	19,5

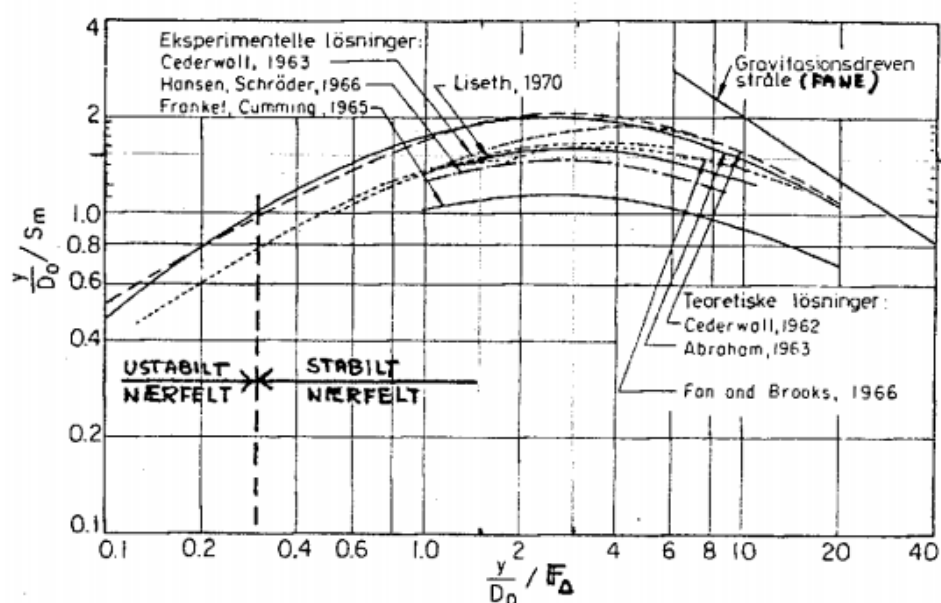
Det ses af ovenstående, at vandføringerne er meget små og fordelt på flere forskellige udløbspunkter.

2.3 Fortyndning ved punktudledning til marin recipient

2.3.1 Fortyndning i initialzone

Som initialzone betegnes den zone, hvor en opstigende fane af ferskvand, der udledes i det salte havvand, vil ramme havoverfladen. Det ferske overfladevand er lettere end det salte havvand og vil derfor stige opad under blanding (og dermed fortynding) med havvand. Den fysiske fortynding i initialzonen er beregnet i foreliggende situation for at belyse udstrækning af påvirkningen og for dermed at fremlægge et grundlag for den videre forvaltning.

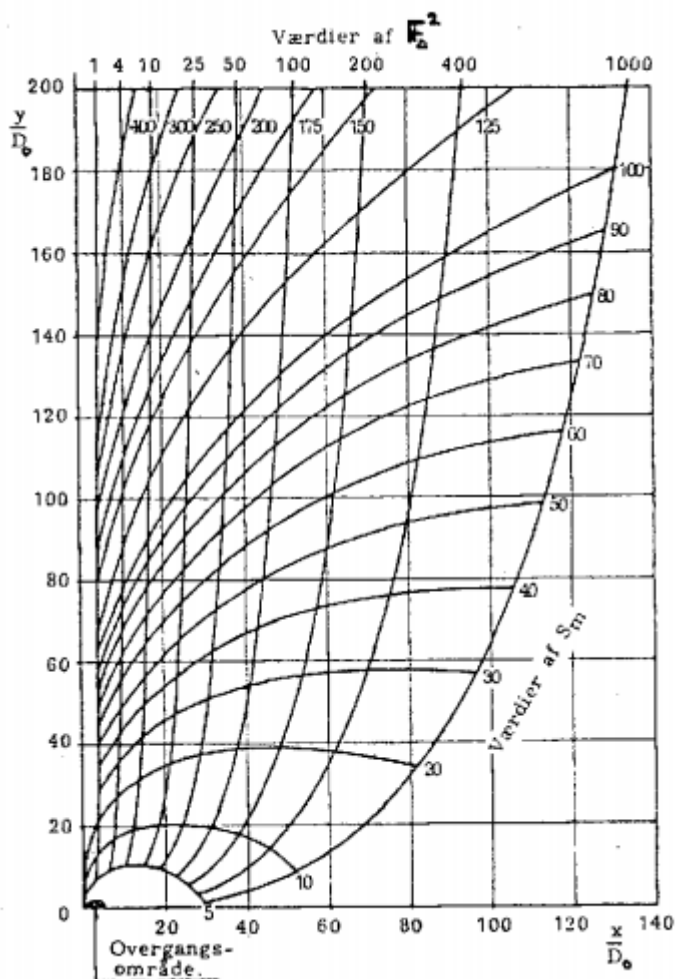
Fortyndingen ved vandret udløb kan beregnes efter /3/ efter Figur 2-2.



Figur 2-2 Fortyndning ved vandret udløb, fra /3/.

Af ovenstående Tabel 2-2 og Tabel 2-3 ses, at den gennemsnitlige vandføring vil variere mellem 2 og 5,1 l/s. Ved at antage, at vandets hastighed i rørsystemet under aflastning vil være ca. 1 m/s, forventes der en diameter på rørene på mellem 160 mm og 400 mm. Ved rørdiameter, der er større end dette, vil der trænge saltvand ind i røret og på den måde reducere det effektive tværsnitsareal. Er røret mindre, vil vandet enten strømme hurtigere end de antagne 1 m/s eller vandet vil stuve op i systemet. Til fortyndingsberegningerne er det derfor passende at regne med diameter mellem 50 og 80 mm. For at opnå den nødvendige fortynding på 24 (for Cu), se Tabel 2-1, skal der derfor udledes i en vanddybde på 2-4 m.

For at det gennemsnitlige fortyndingskrav er opfyldt i initialzonen, vil det derfor være nødvendigt at anbringe udløbet 2-3 m under havoverfladen. Efter /4/, se Figur 2-3



Figur 2-3 Vandret stråle, fortynding og banekurve, efter /4/

Af ovenstående beregnes og aflæses en vandret udstrækning af strålen inden den opnår den nødvendige fortynding i nærzonen på 0,9 og 1,2 m.

Ovenstående viser at miljøkvalitetskravene for de tre undersøgte metaller under gennemsnitlige forhold vil være overholdt inden for en afstand på ca. 1 m fra udløbet, såfremt udløbet er placeret ikke højere end 3 m under havoverfladen.

Placeres udløbene højere, vil der under afstrømning dannes en linse af ferskvand på vandoverfladen, som gennem blanding fra bølger og vind vil fortyndes med tiden.

2.3.2 Tilnærmet beregning initialzone

I de enkelte punktudledninger kan fortyndingen tilnærmet skønnes på baggrund af udledningsdybden Y og udløbsrørets diameter d /3/.

$$F = \frac{2Y}{3d}$$

Den nødvendige fortynding skal være 24 (for Cu), se Tabel 2-1. Vandet vil strømme med en vandføring på 2-5 l/s per udledningsrør. Med en skønnet strømhastighed på ca. 50 cm/s vil det kræve en diameter på ca. 10 cm. Ved

denne diameter kræves en udledningsdybde på ca. 2-3½ m under havoverfladen for at fortyndingen er så stor, at miljøkvalitetskravet er opfyldt når den opstigende fane rammer overfladen, dvs. i umiddelbar nærhed af udledningspositionen (skønnet til mindre end 3 m).

Det kræves derfor, at overfladevandet udledes i en dybde på mindst 2-3½ m. Selv med en rigelig sikkerhedsmargin kan det derfor regnes med at en blandingszone med en radius på 5 m omkring hvert udløb vil kunne beskrive området, hvor der under afstrømning vil kunne forventes en temporær overskridelse af miljøkvalitetskriterierne.

2.3.3 Udledning i overfladen

Antages det at fanen udledes i vandoverfladen, vil fanen brede sig i overfladen og drive med strømmen. Samtidig vil fanen blandes med det omgivende vand. Det antages i det følgende, at fanens bredde vokser med 1:10 i længderetningen, og at fanen rækker ½ m ned i dybden. Derudover antages en typisk strøm langs med kysten på 0,1 m/s. En fortynding på 24 opnås ved følgende forhold, se Tabel 2-4.

Tabel 2-4 Sammenhørende værdier for vandføring, fanebredde og fanelængde ved udledning i overfladen.

Vandføring (l/s)	Maksimal fanebredde (m)	Maksimal fanelængde (m)
2	1	10
5,1	2,5	25

2.4 Fortynding ved udledning til havnebassinet

Udledes overfladevandet efter etablering af ydermolen til havnebassinet, vil havnebassinet blande det udledte overfladevand. Det vand, der så forlader havnebassinet og som vil belaste Aarhus Bugt, vil således bestå af blandingsvand. Til bestemmelse af koncentrationerne i dette blandingsvand anvendes samme metode (lineært reservoir teori) som for vurdering af effekterne på iltforholdene af midlertidig udledning af rensset spildevand fra Marselisborg renseanlæg i det nye Yderhavnsbassin (se bilag 12). Herfra er følgende nøgleværdier overtaget:

Volumen Vol.: $2,10 \cdot 10^7 \text{ m}^3$

Opholdstid T: 6,4 døgn

Koncentrationsforløbet beregnes efter følgende massebevarelse:

Masse til tiden $(t + \Delta t)$

$$= \text{Masse til tiden } (t) + \text{Tilførsel over tiden } \Delta t - \text{Fraførsel over tiden } \Delta t$$

$$\text{Vol} \cdot C_{t+\Delta t} = \text{Vol} \cdot C_t + \frac{dM}{dt} \Delta t + Q_e \cdot \Delta t \cdot C_{hav} - Q_e \cdot \Delta t \cdot C_t$$

hvor

Vol. = $2,10 \cdot 10^7 \text{ m}^3$: Volumen af havnebassinet

C: Koncentrationen af det betragtede stof i havnebassinet

t: Tid

Δt : Tidskridt i beregningen

dM/dt : Tilførsel af stof (kg/år)

$Q_e = \text{Vol}/T$: Udsiftningsvandføring i havnebassinet

T: Opholdstid for 67% opnåelse i havnebassinet (6,4 dage)

C_{hav} : Koncentrationen i havet (Aarhus Bugt)

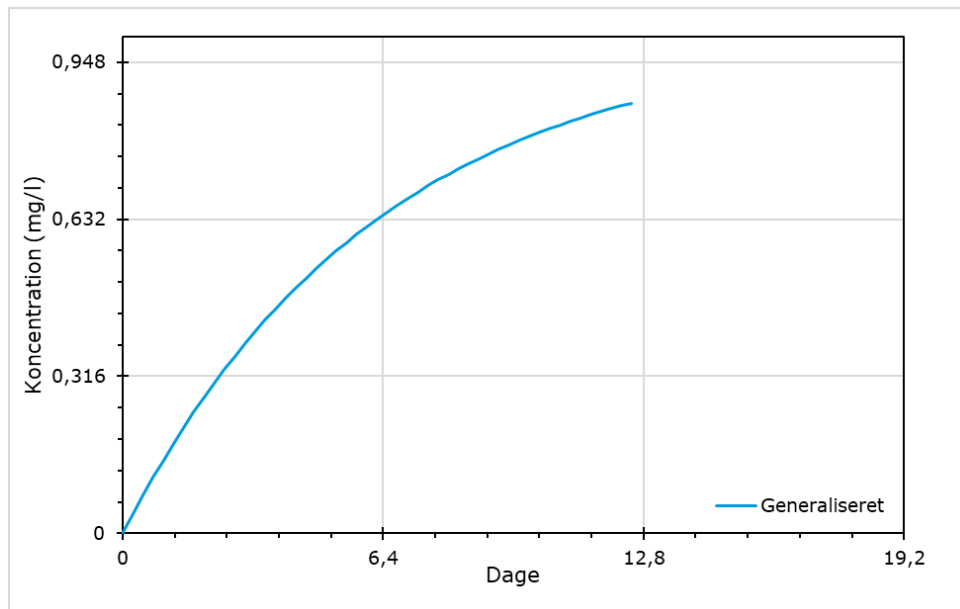
Overstående formel kan omskrives til

$$\text{Vol} \cdot C_{t+\Delta t} = \text{Vol} \cdot C_t + \frac{dM}{dt} \Delta t - \left[\frac{\text{Vol}}{T} C_t - \frac{\text{Vol}}{T} C_{\text{hav}} \right] \Delta t$$

$$C_{t+\Delta t} = C_t + \left\{ \frac{dM}{\text{Vol} \cdot dt} - \frac{1}{T} [C_t - C_{\text{hav}}] \right\} \Delta t$$

Denne formel beskriver en simpel differensligning, som løses numerisk.

En generaliseret fortynding med en opholdstid på 6,4 dage vil derfor opnå en koncentration på ca. 63,2% af ligevægtskoncentrationen i bassinet efter opholdstidens varighed, se Figur 2-4.



Figur 2-4 Illustration af et generaliseret koncentrationsforløb over tiden, hvor slutkoncentration i bassinet er 1 mg/l og hvor opholdstiden er 6,4 dage.

De "skæve" inddelinger i ovenstående figur på den horisontale tidsakse og den vertikale koncentrationsakse er valgt for at illustrere opnåelse af 63% af slutkoncentrationen 1 mg/l efter varigheden svarende til opholdstiden $T=6,4$ dage.

3 Resultater

3.1 Enkeltudledninger

For enkeltudledninger er det fundet, at en overholdelse af miljøkvalitetskravene vil kunne opnås under gennemsnitlige forhold:

- 1 enten ved at sænke udløbet så meget, at kravene er opfyldt, inden fanen når overfladen,
- 2 eller at tillade en blandingszone af en bestemt udstrækning ved udledning til vandoverfladen.

I første tilfælde kræves en udledningsdybde på 2-3 m under havoverfladen, i andet tilfælde vil blandingszonen forventes at være mindre end 25 m lang og 2½ m bred.

3.2 Udledning fra havnebassinet

For udledning fra havnebassinet omfattes de 4 udledningsrør, der udleder til bassinet. Deres konsekvens på blandingskoncentrationen er vist i Tabel 3-1 nedenfor.

Tabel 3-1 Resulterende koncentrationsændringer i havnebassinet på grund af udledning af overfladevand (årligt gennemsnit).

	BI5	COD	N	P	Cu	Pb	Zn
C _{baggrund} (mg/l)	5	15	0,2	0,05	6,75E-4	6,53E-4	4,30E-3
Ændring (mg/l)	2,5E-06	2,1E-05	-7,4E-08	1,1E-07	7,7E-09	1,3E-10	3,3E-08
Relativ ændring (-)	0,00005%	0,00024%	-0,00004%	0,0002%	0,001%	0,0002%	0,008%

4 Sammenfatning

Ovenstående viser de årlige gennemsnitlige påvirkninger af koncentrationerne i den marine recipient ved udledning af overfladevandet fra de nye havnearealer.

Effekten af punktudledningerne er begrænset til en nærzone omkring udledningen på mindre end 1 m, hvis udledningen foregår i 3 m dybde.

Ved udledning til overfladen forventes blandingszoner på under 25 m's længde.

Ved udledning til havnebassinet forventes effekten på koncentrationsstigninger i det vand der forlader bassinet at være uvæsentlig i forhold til niveauet af den eksisterende koncentration.

5 Referencer

- /1/ **COWI**
Udvidelse af Aarhus Havn - Yderhavnen, Miljøkonsekvensrapport (Udkast)
2021.
- /2/ **Miljø- og Fødevareministeriet**
Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand
BEK nr. 1625, 19/12/2017.
- /3/ **Liseth, P.**
Mixing of merging buoyant jets from a manifold o stagnant receiving water of uniform density"
Hydraulics Engineering Laboratory, Universtity of California. HEL 23-1, 1970.
- /4/ **Abraham, G.**
Jet diffusion in stagnant ambient fluid
Delft Hydraulics Laboratory, vol. Publication no. 29, 1963.