C1	21/03/08	EMISSIONE PER APPROVAZIONE E A SEGUITO COMMENTI CVN	JRA	SZ	YE
C0	01/10/04	EMISSIONE PER APPROVAZIONE	JRA	MN	YE
REVISIONE		DESCRIZIONE	EL.	CON.	APP.

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE

MAGISTRATO ALLE ACQUE

NUOVI INTERVENTI PER LA SALVAGUARDIA DI VENEZIA

CONVENZIONE REP. 7191 DEL 04-10-1991
ATTO ATTUATIVO REP. 8249 DEL 28-12-2007

INTERVENTI ALLE BOCCHE LAGUNARI PER LA REGOLAZIONE DEI FLUSSI DI MAREA

CUP: D51B02000050001

PROGETTO ESECUTIVO

WBS: MA.E1.14.PE

BOCCA DI MALAMOCCO
CONCA DI NAVIGAZIONE
PORTE E OPERE ELETTROMECCANICHE

STRUTTURA DELLE PORTE
RELAZIONE TECNICA SULLE MISURE DI PROTEZIONE DALLA CORROSIONE

ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO
J.R. Augustijn	S. Zampierin	Y. Eprim
N. ELABORATO	CODICE FILE	DATA
MV036P-PE-MAR-4500-C1	MV036P-PE-MAR-4500-C1.DOC	21 Marzo 2008

CONSORZIO "VENEZIA NUOVA"

COORDINAMENTO PROGETTAZIONE

VERIFICATO: S. Dalla Villa

CONTROLLATO: M. Brotto

CONSORZIO VENEZIA NUOVA

PROGETTAZIONE

TECHNITAL

IL RESPONSABILE: Ing. A. SCOTTI

CONSULENZA SPECIALISTICA

ALIVE

OPERA PROTETTA AI SENSI DELLA LEGGE 22 APRILE 1941 N° 633 TUTTI I DIRITTI RISERVATI
QUALSIASI RIPRODUZIONE ED UTILIZZAZIONE NON AUTORIZZATE SARANNO PERSEGUITE A RIGORE DI LEGGE

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE

MAGISTRATO ALLE ACQUE

NUOVI INTERVENTI PER LA SALVAGUARDIA DI VENEZIA

CONVENZIONE REP. 7191 DEL 04-10-1991
ATTO ATTUATIVO REP. 8249 DEL 28-12-2007

CONSORZIO VENEZIA NUOVA

INTERVENTI ALLE BOCCHE LAGUNARI PER LA REGOLAZIONE DEI FLUSSI DI MAREA

- PROGETTO ESECUTIVO -

BOCCA DI MALAMOCCO – CONCA DI NAVIGAZIONE
PORTE E OPERE ELETTROMECCANICHE

STRUTTURA DELLE PORTE

RELAZIONE TECNICA SULLE MISURE DI PROTEZIONE DALLA CORROSIONE

INDICE

ALLEGATI

1. INTRODUZIONE

1.1. Generalità

Le opere di difesa dall'acqua alta per la laguna di Venezia comprendono, per la bocca di Malamocco, la realizzazione di una conca di navigazione per grandi navi che consenta il transito dei vettori quando la barriera sia alzata, ovviando all'interdizione di ingresso nel canale della bocca e limitando i tempi di attesa per varco chiuso.

La conca è dotata di un sistema di porte scorrevoli. Ogni porta è installata all'inter-no di una struttura di alloggiamento che costituisce la battuta a porta chiusa e il ri-covero quando sia aperta.

Della progettazione strutturale della porta fanno parte la struttura in acciaio del rivestimento e delle travature reticolari, le camere di galleggiamento, gli spazi di controllo, gli idrogetti, il sistema di trazione, le valvole di livellamento e la rampa per autoveicoli in sommità.

Questo documento descrive e dimensiona il sistema attuato per la prevenzione degli effetti della corrosione; in particolare, si tratta della combinazione di un trattamento superficiale (rivestimento anticorrosivo ed antivegetativo) e di protezione catodica passiva (ad anodi sacrificali).

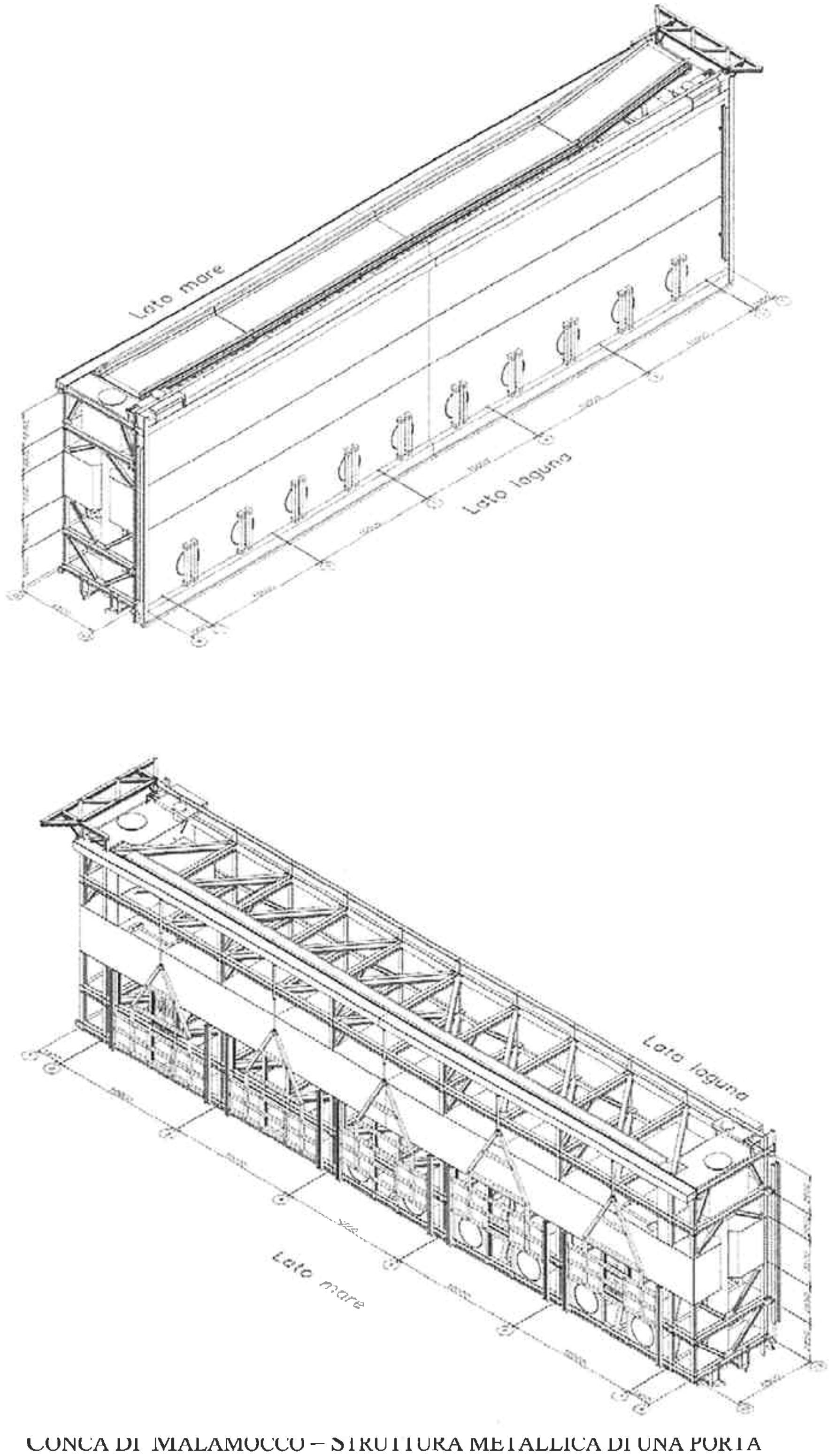


FIG. 1.1 - CONCA DI MALAMOCCO – STRUTTURA METALLICA DI UNA PORTA

1.2. Documenti di riferimento

Nel seguito, si farà riferimento ai seguenti documenti:

- MV036P-PE-MAD-4xxx - Struttura delle porte – Elaborati grafici;
- MV036P-PE-MAR-4600 - Struttura delle porte – Specifica di fabbricazione e montaggio;
- MV036P-PE-MCR-4700 - Procedura di manutenzione.

In particolare, i due disegni seguenti illustrano il sistema di protezione catodica oggetto di questa relazione:

- MV036P-PE-MAD-4601; Struttura delle porte – Protezione catodica;
- MV036P-PE-MAD-4602; Struttura delle porte – Rivestimenti protettivi e trattamenti superficiali.

1.3. Scopo

Il sistema di difesa dalla corrosione proposto per le porte della conca, si articola in un trattamento superficiale unito a un sistema di protezione catodica.

Il rivestimento è progettato per una vita utile di 10 anni, trascorsi i quali la porta deve essere messa in galleggiamento e trasportata, durante periodo di fermo stagionale, in cantiere per le attività di manutenzione straordinaria.

Tali attività consistono essenzialmente in:

a) ispezione dello stato della superficie esposta e la pianificazione degli interventi di ritocco o ripristino (ne sono interessate quelle parti in cui risultano scoperti all'ispezione visiva gli strati di rivestimento sottostanti e/o si riscontra un assottigliamento del rivestimento);

b) pulitura delle superfici sia dai prodotti della corrosione che dal fouling;

c) preparazione (sgrassatura, sabbiatura, ecc.) delle superfici da sottoporre a ritocco

d) ritocco o la riverniciatura secondo specifiche di capitolato.

Il sistema di protezione catodica è, invece, progettato per durare 20 anni. Ogni 10 anni gli anodi verranno comunque verificati e dovranno essere sostituiti qualora l'ispezione metta in luce un deterioramento superiore al 50%.

1.4. Normative e documenti di riferimento

Il progetto della protezione catodica fa riferimento alla seguente normativa:

[1] DNV RP B 401 Cathodic Protection Design

2. VERNICIATURA

In questo paragrafo è descritto il sistema di verniciatura basato avente funzione anticorrosiva ed antivegetativa per la struttura delle porte, che si trovano in ambiente marino.

Sono stati distinti diversi cicli di verniciatura in funzione della differente esposizione agli agenti corrosivi (che essenzialmente sono legati al contatto con l'acqua e alla quota di immersione). In particolare vengono individuate quattro soglie a differente aggressività dell'ambiente:

- zona permanentemente immersa e zona degli spruzzi (da quota -5.00m s.l.m.m.a quota +1.00m s.l.m.m.)
- zone emerse (sopra la quota +1.00m s.l.m.m)
- zone interne (spazi di lavoro stagni)
- zone interne (camere di galleggiamento)

Ciascun sistema di protezione è stato scelto con riferimento alle condizioni ambientali dell'area della bocca di Malamocco.

Esistono in commercio due tipologie di trattamenti antivegetativi (anti-fouling): trattamenti a rilascio progressivo e trattamenti che agevolano il distacco meccanico; l'impiego della prima categoria è stato scartato per ragioni ambientali. Il secondo sistema agisce creando una superficie molto dura, compatta e liscia che minimizza la possibilità di adesione; in tal modo è il peso stesso della patina di organismi marini attecchiti a determinarne il distacco.

Tali trattamenti mantengono una piena funzionalità per almeno dieci-quindici anni, trascorsi i quali la loro efficacia va riducendosi e deve essere verificata con periodiche ispezioni. Si assume, cautelativamente, che il trattamento abbia una efficacia del 100% per i primi cinque anni e che essa vada riducendosi, in base alle indicazioni del produttore, all'80% in dieci anni. Di questa ridotta efficacia si è tenuto in conto valutando, nei dimensionamenti e nelle specifiche di taratura dell'assetto di galleggiamento della porta, un peso aggiuntivo dato dal fouling di 0.1kN/m^2 per il fouling attecchito sull'intera superficie della porta posta al di sotto della quota medio mare.

Per il controllo (e la limitazione) di questo peso aggiuntivo, specie negli ultimi anni dell'intervallo di manutenzione all'asciutto, è previsto che, con periodicità annuale, dovranno essere comunque effettuate delle puliture, eventualmente limitate a quelle zone che si dimostrano più ricettive allo sviluppo del fouling stesso.

La manutenzione straordinaria dei rivestimenti antifouling è prevista con cadenza decennale.

A seguito di quanto sopra, proprio per la particolare attenzione rivolta all'efficienza del sistema protettivo più esterno, l'antifouling appunto, aumenta la vita di servizio della verniciatura con funzione anticorrosiva degli strati sottostanti; essa può ragionevolmente estendersi a 20 anni. La vita utile delle verniciature è di almeno 20 anni, fermo restando la necessità di prevedere ogni 10 anni la manutenzione e l'eventuale ripristino dello stato antifouling a distacco meccanico previsto per le parti immerse in acqua.

Si riporta nel seguito la suddivisione delle zone con differente tipologia di rivestimento e si stima l'estensione delle relative superfici da proteggere per ciascuna porta:

- Fuori acqua (sopra quota +1.00) 2075 m^2 (CICLO 2)
- Zona degli spruzzi (da quota m.m. a quota +1.00) 1295 m^2 (CICLO 1)
- Sott'acqua (sotto quota m.m.) 5692 m^2 (CICLO 1)
- Casse di zavorra (riempite d'acqua) 1920 m^2 (CICLO 4)
- Comparti asciutti \ casse d'aria 3120 m^2 (CICLO 3)
- Spazi di lavoro 468 m^2 (CICLO 3)

Nella tabella seguente si dettagliano le caratteristiche dei quattro cicli previsti in progetto. Gli spessori nominali secchi sono indicativi e andranno precisati in funzione delle prescri-zioni del produttore selezionato (si veda a questo la specifica di fabbricazione e montaggio).

TAB. 2.1 - TRATTAMENTO DELLE SUPERFICI DELLE PORTE

Ciclo	Tipologia di prodotto	Spessore (µm)
(1) anticorrosione in ambiente marino e antifouling a distacco meccanico; per porta da quota -14.00m s.l.m.m. a quota +1.00m s.l.m.m.	Sabbiatura ISO Sa 2 ½	
	Primer zincante epossidico	25
	Anticorrosivo epossidico	600
	Antivegetativo a base siliconica monocomponente	150
	Spessore totale	**775**
(2) anticorrosione in ambiente marino; per porta da quota +1.00m s.l.m.m. a quota +3.00m s.l.m.m.	Sabbiatura ISO Sa 2 ½	
	Primer zincante epossidico	25
	Anticorrosivo epossidico	600
	Spessore totale	**625**
(3) anticorrosione zone interne (spazi di lavoro stagni)	Sabbiatura ISO Sa 2 ½	
	Primer zincante epossidico	25
	Anticorrosivo epossidico	350
	Spessore totale	**375**
(4) anticorrosione zone interne (camere di galleggiamento)	Sabbiatura ISO Sa 2 ½	
	Primer zincante epossidico	25
	Anticorrosivo epossidico	600
	Spessore totale	**625**

Nei calcoli delle superfici da rivestire non sono inclusi i grigliati pedonali ed i grigliati carrabili presenti nelle aree accessibili interne e sulla struttura stradale superiore, essendo previsto per tali elementi di attuare la protezione anticorrosione mediante trattamenti di zincatura a caldo.

3. PROTEZIONE CATODICA

La progettazione della protezione catodica rispetta la DNV RP B 401. I calcoli della superficie da proteggere sono contenuti nei tabulati riportati nell'allegato B.

Dati di progetto:

- Fattore di sfruttamento degli anodi 0.85 per un alto flusso
- Fattore di sfruttamento degli anodi 0.80 per un basso flusso
- Resistività dell'acqua marina 30 Ωm (Regioni temperate)
- Potenziale protettivo di progetto dell'acqua 0.80 mV
- Potenziale del circuito chiuso di progetto -1.05 mV
- Corrente iniziale necessaria 200 mA/m^2 Regioni temperate
- Corrente media necessaria 100 mA/m^2 Regioni temperate
- Corrente finale necessaria 130 mA/m^2 Regioni temperate
- Costante k1 di riduzione del rivestimento 0.020 – Cat. Ext. rivestimento IV
- Costante k2 di riduzione del rivestimento 0.012 – Cat. Ext. rivestimento IV
- Costante k1 di riduzione del rivestimento 0.020 – Cat. Int. rivestimento III
- Costante k2 di riduzione del rivestimento 0.015 – Cat. Int. rivestimento III
- Efficienza elettrochimica 2500 Ah/kg Anodi di alluminio
- Vita utile 20 anni

Lo spessore del rivestimento è pari a 450 e 300 μm rispettivamente per la categoria IV e III. La resistività dell'acqua marina così come l'intensità di corrente richiesta sono valori determinati dal DNV per mari temperati quali l'Adriatico, che gode di una temperatura media superficiale di 7-12°.

A favore di sicurezza si considera, nel calcolo delle superfici da proteggere, una quota-parte di superficie con rivestimento assente/difettoso pari al 2.5% dell'area totale, per tenere in conto un possibile danno/detensionamento localizzato del rivestimento anticorrosivo.

Gli anodi di progetto, del tipo IMPALLOY Hull 124 XH, hanno le seguenti caratteristiche:

- Lunghezza del corpo dell'anodo 605 mm
- Larghezza media del corpo dell'anodo 138 mm
- Altezza media del corpo dell'anodo 65 mm
- Peso netto (peso dell'alluminio) 12.4 mm
- Peso effettivo (inclusi i dispositivi in acciaio) 13.9 Kg

I requisiti degli anodi sono calcolati in funzione dell'area di interesse e distribuiti di conseguenza.

In dettagli si avrà:

– Esterno della camera di galleggiamento	119
– Valvole della porta della conca	77
	(applicato intorno all'ingresso\uscita)
– Fasciame lato mare (lato irrigidito)	124
– Fasciame lato laguna	56
– Telai sui fili 1 e 8	28
– Telai sui fili 2 e 7	33
– Telai sui fili 3 e 6	23
– Telai sui fili 4 e 5	22
– Telaio orizzontale a quota -12.60 m	41
– Telaio orizzontale a quota -9.75 m	41
– Telaio orizzontale a quota -1.4 m	45
– Interno della camera di galleggiamento	217
	rivestimento di categoria III
Totale	826 = 10242 Kg massa anodo
	= 11481 Kg peso effettivo

Gli anodi devono essere saldati alla struttura e la faccia a vista sarà rivestita in accordo con il DNV RP B 401.

ALLEGATO A

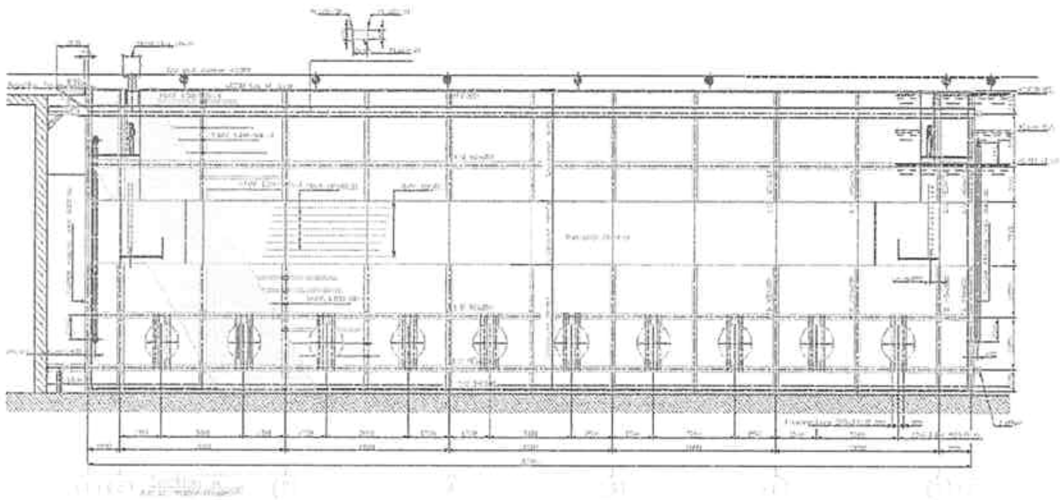
Calcoli della superficie da rivestire

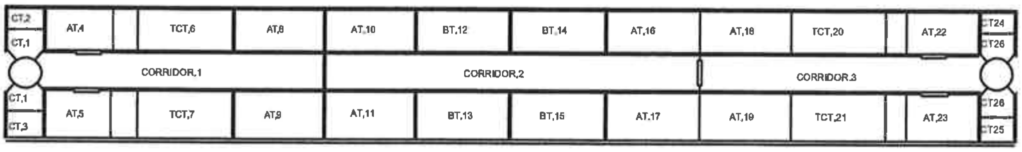
Total coating area

Description area below waterlevel	*area*	
Outside buoyancy chamber	1125	m^2
Lock gate valves	717	m^2
Wallplata	1683	m^2
Frame 1-8	261	m^2
Frame 2-7	308	m^2
Frame 3-6	218	m^2
Frame 4-5	206	m^2
Hor truss -12600	379	m^2
Hor truss -9750	379	m^2
Hor truss -1400	415	m^2
	5692	m^2

Description area above waterlevel / splash zone	*area*	
Roadway	1530	m^2
Outside control space	284	m^2
Outside working area	216	m^3
Hor truss +1500	461	m^2
Wallplate	643	m^2
Frame 1-8	76	m^2
Frame 2-7	65	m^2
Frame 3-6	48	m^2
Frame 4-5	48	m^2
	3370	m^2

Inside area's		
Water filled buoyancy tank	1920	m^2
Air filled buoyancy tank	3120	m^2
Inside control space	195	m^2
Inside working area	274	m^2
	5508	m^2





AT4 = AT5 = AT22 = AT23 =	845	m^2
AT8 = AT10 = AT16 AT18 =	774	m^2
AT9 = AT11 = AT17 = AT19 =	774	m^2
BT12 = BT13 = BT14 = BT15 =	774	m^2
CT2 = CT3 = CT24 = CT25 =	260	m^2
CT1 = CT26 =	111	m^2
TCT6 = TCT7 = TCT20 = TCT21 =	774	m^2
Corridor 1+3 =	488	m^2
Corridor 2 =	237	m^2
Total dry area =	**3120**	m^2
Total wet area =	**1920**	m^2
Total area =	**5039**	m^2

number	description	paint area m^2/m	length m	total paint area m^2
	Chamber AT4			
1	Floor pl 2540x5000x20			12,70
2	Floor stiffener HP300x14	0,687	5	6,87
4	Floor stiffener HP340x15	0,778	5	15,56
1	Roof pl 2540x5000x20			12,7
2	Roof stiffener HP300x14	0,687	5	6,87
4	Roof stiffener HP340x15	0,778	5	15,56
2	Wall 3460x5000x20			34,60
4	Wall stiffener HP300x14	0,687	5	13,74
12	Wall stiffener HP340x15	0,778	5	46,68
4	Wall 2540x3460x20			35,15
4	Wall stiffener HP340x15	0,778	3,46	10,77
			Total	**211**

number	description	paint area m^2/m	length m	total paint area m^2
	Chamber AT8			
1	Floor pl 2540x5000x20			12,7
2	Floor stiffener HP300x14	0,687	5	6,87
4	Floor stiffener HP340x15	0,778	5	15,56
1	Roof pl 2540x5000x20			12,7
2	Roof stiffener HP300x14	0,687	5	6,87
4	Roof stiffener HP340x15	0,778	5	15,56
2	Wall 3460x5000x20			34,60
4	Wall stiffener HP300x14	0,687	5	13,74
12	Wall stiffener HP340x15	0,778	5	46,68
2	Wall 2540x3460x20			17,58
4	Wall stiffener HP340x15	0,778	3,46	10,77
			Total	**194**

number	description	paint area m^2/m	length m	total paint area m^2
	Chamber CT2			
1	Floor 1950x1590x20			3,10
1	Floor stiffener HP300x14	0,687	1,95	1,34
3	Floor stiffener HP340x15	0,778	1,95	4,55
1	Roof 1950x1590x20			3,10
1	Roof stiffener HP300x14	0,687	1,95	1,34
3	Roof stiffener HP340x15	0,778	1,95	4,55
2	Wall 1950x3460			13,49
2	Wall 1590x3460			11,00
4	Wall stiffener HP340x15	0,778	3,46	10,77
2	Wall stiffener HP300x14	0,687	1,95	2,68
6	Wall stiffener HP340x15	0,778	1,95	9,10
			Total	**65**

number	description	paint area m^2/m	length m	total paint area m^2
	Chamber CT1			
1	Floor 950x1950			1,85
2	Floor stiffener HP300x14	0,687	1,95	2,68
2	Floor stiffener HP340x15	0,778	1,95	3,03
1	Roof 950x1950			1,85
2	Roof stiffener HP300x14	0,687	1,95	2,68
2	Roof stiffener HP340x15	0,778	1,95	3,03
1	Floor 800x1950			1,56
1	Deducted floor area			-0,56
1	Wall 1950x3460			6,75
2	Wall stiffener HP300x14	0,687	3,46	4,75
5	Wall stiffener HP340x15	0,778	3,46	13,46
2	Wall 950x3460			6,57
2	Wall 600x3460			4,15
1	Wall 1/4 of round 660		3,46	3,59
			Total	**55**

number	description	paint area m^2/m	length m	total paint area m^2
	Corridor 1			
1	Floor 15000x1555			23,25
3	Floor stiffener HP340x15	0,778	15	35,01
2	Floor near tube			0,52
1	Roof 15000x1555			23,25
3	Roof stiffener HP340x15	0,778	15	35,01
2	Roof near tube			0,52
2	Wall 15000x3460			103,8
1	Wall 1555x3460			5,38
2	Wall 601*3460			4,16
1	Wall near tube			7,17
2	Wall 1555x410			1,28
2	Wall 1500x450			1,35
1	L60x8	0,233	15	3,50
			Total	**244**

number	description	paint area m^2/m	length m	total paint area m^2
	Corridor 2			
1	Floor 15000x1555			23,33
3	Floor stiffener HP340x15	0,778	15	35,01
1	Roof 15000x1555			23,33
3	Roof stiffener HP340x15	0,778	15	35,01
2	Wall 15000x3460			103,8
2	Wall 1555x3460			10,76
2	Wall 1555x410			1,28
2	Wall 1500x450			1,35
1	L60x8	0,233	15	3,50
			Total	**237**

ID	number	description	paint area m^2/m	length m	total paint area m^2	
		Outside buoyancy chambers				
		Bottomplate				
132a	1	pl 20*53900*6500	350350000		350,35	
	2	hole round 1320	1368478		2,74	
	2	triangle	1217881		2,44	
					345	
		Topplate				
	1	pl 20*53900*6500	350350000		350,35	
	2	hole round 1320	1368478		2,74	
	2	triangle	1217881		2,44	
					345	
		Wall LS				
	1	53900*3460	186494000		186,49	
		Wall SS				
	1	53900*3460	186494000		186,49	
		Wall axis 1				
	1	2540*3460	8788400		8,79	
	1	2405*3460	8321300		8,32	
	1	601*3460	2079460		2,08	
	1	1/4 round 1320	1368478		1,37	
					21	
		Wall axis 8				
	1	2540*3460	8788400		8,79	
	1	2405*3460	8321300		8,32	
	1	601*3460	2079460		2,08	
	1	1/4 round 1320	1368478		1,37	
					21	
					1104457840	mm^2
					1104	m^2

ID	number	description		paint area m^2/m	length m	total paint area m^2	
		Lock Gate valves					
172	10	Levelling sluices tube 2060*30	outside	6472	6500	0,06	
			inside	6283	6500	0,06	
173	20	Flow-breaker 300*300*8		1200	2850	68,40	
174	10	pl 12 *2850*2850		8122500		81,23	
175	30	kk 200*10		846	2850	72,33	
176	15	kk 200*10		846	7850	99,62	
177	10	kk 200*10		846	1000	8,46	
178	15	kk 200*10		846	5000	63,45	
179	5	kk 200*10		846	2500	10,58	
180	5	hydraulic cylinder 200/110 lg 3000		21231	3000		
181	20	HEB 260		1500	5700	171,00	
182	10	pl 12 L 255*130		770	5700	43,89	
183	10	pl 12 *2850*2850/dia 2030		9771905		97,72	
						716796104	mm^2
						717	m^2

ID	number	description		paint area m^2/m	length m	total paint area m^2	
		wallplate under water					
1	2	wallplate 6900*53900 + 3400*53900		555170000	12	1110,34	
3	-10	holes in de wallplate		6283185		-62,83	
	1	L200*100*14 stiffener +750		587	53900	31,64	
5	1	L200*100*14stiffener+1925	(-11,875)	587	39600	23,25	
6	1	L200*100*14stiffener+2625	(-11,175)	587	33900	19,90	
7	1	L200*100*14stiffener+3325	(-10,475)	587	39600	23,25	
8	1	L200*100*14stiffener+4775	(- 9,025)	587	53900	31,64	
9	1	L200*100*14stiffener+5475	(- 8,325)	587	53900	31,64	
10	1	L200*100*14stiffener+6175	(- 7,625)	587	53900	31,64	
11	1	L200*100*14stiffener+11075	(- 2,725)	587	53900	31,64	
12	1	L200*100*14stiffener+11725	(- 2,075)	587	53900	31,64	
13	1	L200*100*14stiffener+13085	(- 0,715)	587	53900	31,64	
18	1	bearing bottom 1/2 IPE 500	(-13,800)	870	53900	46,89	
20	1	bearing vert. flange 400*40		880	10300	9,06	
21	1	bearing vert. web 580*20		1200	10300	12,36	
22	1	bearing vert. flange 400*40		800	10300	8,24	
23	1	bearing vert. web 635*20		1310	10300	13,49	
25	5	1/2 HEA650		1205	10300	62,06	
26	1	1e hor.truss 1/2 HEA650	(-12,6m)	1205	53900	64,95	
27	1	2e hor.truss 1/2 HEA650	(-9,750)	1205	53900	64,95	
28	1	3e hor.truss 1/2 HEA650	(-1,400)	1205	53900	64,95	
						1683000000	mm^2
						1683	**m^2**

		wallplate above water					
1	2	wallplate 2700*53900		145530000	12	291,06	
14	1	L200*100*14stiffener+13770	(- 0,030)	587	53900	31,64	
15	1	L200*100*14stiffener+14455	(+0,655)	587	53900	31,64	
16	1	L200*100*14stiffener+15900	(+2,100)	587	53900	31,64	
17	1	Unp 320 stiffener+16500 (+2,700)		984	53900	53,04	
19	1	bearing topside box girder	(+1,500)	3268	53900	176,15	
20	1	bearing vert. flange 400*40		880	2700	2,38	
21	1	bearing vert. web 580*20		1200	2700	3,24	
22	1	bearing vert. flange 400*40		800	2700	2,16	
23	1	bearing vert. web 635*20		1310	2700	3,54	
24	5	1/2 HEA650		1205	2700	16,27	
						643000000	mm^2
						643	**m^2**

ID	number	description	paint area m^2/m	length m	total paint area m^2	
		Frame 1/8 under water				
30	2	1/2 HEA650 vert.	1205	10300	24,82	
32	2	HEA 320 vert.	1760	9100	32,03	
33a	4	HEB 500 support	2120	1200	10,18	
33b	4	HEB 500 beam	2120	1950	16,54	
33c	2	HEB500 hor. 1st truss	2120	6166	26,14	
34	2	HEA 500 hor.2e truss	2110	6166	26,02	
35	2	HEB 500 hor.3e truss	2120	6166	26,14	
37	4	HEA240 dia.1st/2e truss	1370	3900	21,37	
38	4	HEA240 dia.2e truss buoyancy chambers	1370	3900	21,37	
39	4	HEA240 dia.buoyancy chambers/ 3e truss	1370	3400	18,63	
40a	4	HEA240 dia.3e/4e truss	1370	1397	7,65	
40b	2	pl 12*2410*3500	4217500	12	8,44	
40c	10	plate 150*12	1800	1205	21,69	
					261029020	mm^2
					261	**m^2**

		Frame 1/8 above water				
29	2	1/2 HEA650 vert.	1205	2700	6,51	
31	2	HEA 320 vert.	1760	1500	5,28	
36	2	HEB 500 hor.4e truss	2120	6166	26,14	
40a	4	HEA240 dia.3e/4e truss	1370	1397	7,65	
40b	2	pl 12*2410*3500	4217500	12	8,44	
40c	10	plate 150*12	1800	1205	21,69	
					75708660	mm^2
					76	**m^2**

ID	number	description	paint area m^2/m	length m	total paint area m^2	
		Frame 2/7 under water				
50	2	1/2 HEA650 vert.	1205	10300	24,82	
52	2	HEA 320 vert.	1760	9100	32,03	
53a	4	HEB 500 support	2120	1200	10,18	
53b	2	HEB 500 hor.1st truss	2120	6166	26,14	
54	2	HEA 500 hor.2e truss	2110	6166	26,02	
55	2	HEB 500 hor.3e truss	2120	6166	26,14	
57	4	HEA240 dia.1st/2e truss	1370	3900	21,37	
58	4	HEA240 dia.2e truss buoyancy chambers	1370	3900	21,37	
59	2	pl 12*1755*6025	10573875	12	21,15	
60a	6	plate 150 * 12	1800	6605	71,33	
60b	4	pl 12*2410*2525	304263	12	1,22	
60c	12	plate 150 * 12	1800	1205	26,03	
					307810000	mm^2
					308	m^2

ID	number	description	paint area m^2/m	length m	total paint area m^2	
		Frame 2/7 above water				
49	2	1/2 HEA650 vert.	1205	2700	6,507	
51	2	HEA 320 vert.	1760	1500	5,28	
56	2	HEB 500 hor.4e truss	2120	6166	26,14	
60b	4	pl 12*2410*2525	304263	12	1,22	
60c	12	plate 150 * 12	1800	1205	26,03	
					65175890	mm^2
					65	m^2

ID	number	description	paint area	length	total paint area	
			m^2/m	m	m^2	
		Frame 3/6 under water				
70	2	1/2 HEA650 vert.	1205	10300	24,82	
72	2	HEA 320 vert.	1760	9100	32,03	
73	2	HEA 500 hor.1st truss	2110	6166	26,02	
74	2	HEA 500 hor.2e truss	2110	6166	26,02	
75	2	HEA 500 hor.3e truss	2110	6166	26,02	
77	4	HEB500 dia.1st/2e truss	2120	3900	33,07	
78	4	HEA240 dia.2e truss buoyancy chambers	1370	3900	21,37	
79	4	HEA240 dia.buoyancy chambers/ 3e truss	1370	3400	18,63	
80	4	HEA240 dia.3e/4e truss	1370	1855	10,17	
					218157960	mm^2
					218	$\mathbf{m^2}$

		Frame 3/6 above water				
69	2	1/2 HEA650 vert.	1205	2700	6,51	
71	2	HEA 320 vert.	1760	1500	5,28	
76	2	HEA 500 hor.4e truss	2110	6166	26,02	
80	4	HEA240 dia.3e/4e truss	1370	1855	10,17	
					47972920	mm^2
					48	$\mathbf{m^2}$

ID	number	description	paint area m^2/m	length m	total paint area m^2	
		Frame 4/5 under water				
90	2	1/2 HEA650 vert.	1205	10300	24,82	
92	2	HEA 320 vert.	1760	9100	32,03	
93	2	HEA 500 hor.1st truss	2110	6166	26,02	
94	2	HEA 500 hor.2e truss	2110	6166	26,02	
95	2	HEA 500 hor.3e truss	2110	6166	26,02	
97	4	HEA240 dia.1st/2e truss	1370	3900	21,37	
98	4	HEA240 dia.2e truss buoyancy chambers	1370	3900	21,37	
99	4	HEA240 dia.buoyancy chambers/ 3e truss	1360	3400	18,50	
100	4	HEA240 dia.3e/4e truss	1360	1855	10,09	
					206247760	mm^2
					206	m^2

	Frame 4/5 above water					
89	2	1/2 HEA650 vert.	1205	2700	6,51	
91	2	HEA 320 vert.	1760	1500	5,28	
96	2	HEA 500 hor.4e truss	2110	6166	26,02	
100	4	HEA240 dia.3e/4e truss	1360	1855	10,09	
					47898720	mm^2
					48	m^2

ID	number	description	paint area m^2/m	length m	total paint area m^2	
		1st Hor. truss -12600 under water				
109	10	HEB500 dia.	2120	8200	173,84	
110	5	HEA500 vert.	2110	6166	65,05	
111a	2	pl 20*1950*6195	10496590	20	20,99	
111b	2	L 120*120*15	469	1950	1,83	
112	1	HEM500	2180	53900	117,50	
					379215579	mm^2
					379	m^2

		2d Hor. truss -9750 under water				
113	10	HEB500 dia.	2120	8200	173,84	
114	5	HEA500 vert.	2110	6166	65,05	
115a	2	pl 20*1950*6195	10496590	20	20,99	
115b	2	L 120*120*15	469	1950	1,83	
116	1	HEM500	2180	53900	117,50	
					379215579	mm^2
					379	m^2

		3d Hor. truss -1400 under water				
117	10	HEB500 dia.	2120	8200	173,84	
118	5	HEA500 vert.	2110	6166	65,05	
119a	2	pl 20*1950*6195	10496590	20	20,99	
119b	2	pl 20*1150*6195	7124250	20	14,25	
119c	4	L 80*80*8	311	1950	2,43	
119d	4	HEB 200	1150	1950	8,97	
119e	8	HEB 200	1150	1150	10,58	
119f	2	HEA 140	794	1150	1,83	
120	1	HEM500	2180	53900	117,50	
120a	2	L 80*80*8	311	2800	1,74	
120b	2	L 80*80*8	311	5300	3,30	
					415436979	mm^2
					415	m^2

		4d Hor. truss +1500 above				
121	10	HEB500 dia.	2120	8200	173,84	
122	5	HEA500 vert.	2110	6166	65,05	
123a	2	pl 20*1950*6300	12051000	20	24,10	
123b	2	pl 20*1150*6300	7107000	20	14,21	
123c	0	L 80*80*8	311	1950	0	
123d	0	L 80*80*8	311	1150	0	
123e	0	stiffener	311	1950	0	
123f	0	stiffener	311	1150	0	
123g	2	Hatch 813*16	519124	12	1,04	
123h	0	flanch 130*12	231771	12	0	
123i	2	plate 12 dia 1200	2307186	12	4,61	
124	1	Box girder	3300	53900	177,87	
					460729920	mm^2
					461	m^2

ID	number	description	paint area m^2/m	length m	total paint area m^2	
		Roadway +2000				
125	5	HEB200	1150	30000	172,50	
128	48	HEB200	1150	937,5	51,75	
129	2	UNP200	661	3750	4,96	
129a	12	L50x50x5	194	6250	14,55	
130	2	Barrier	6012	30000	360,72	
131c	50	HEB100	567	510	14,46	
131d	50	plate 10mm	30413	0	1,52	
					620456650	mm^2
					620	m^2

		Road ramp				
127	10	HEB240	1380	11950	164,91	
130	2	Barrier	6012	53900	648,09	
131	4	UNP240	775	3750	11,63	
131a	8	L50x50x5	194	3750	5,82	
131b	52	HEB240	1380	937,5	67,28	
131c	36	HEB100	567	510	10,41	
131d	36	plate 10mm	30413	0	1,09	
					909228588	mm^2
					909	m^2

ID	number	description	paint area	length	total paint area	
			m^2/m	m	m^2	
		Inside control space (container 3500*2800*2320)				
184	2	roofplate 2800x3500x12		3500	39,50	
184i	0	stiffeners web/flange 120x12		2800	0,00	
184j	0	frame bottom HEB180	1040	12600	0,00	
184k	2	Wall plate inside	1698,8	32928	111,88	
184l	2	grating a 35 kg/m2				
184m	0	frame roof HEB180	1040	12600	0,00	
184n	2	bottomplate 2800x3500x12		3500	39,50	
184p	2	hydraulic				
184q	2	plc				
184r	0	corner block			2,61	
184s	0	Drain sump	3500	3500	0	
184t	0	bottom girders HEB180	1040	2800	0,00	
184u	0	Columns K160x160x10		5742	0,0020	
184v	2	pl 50x12			0,70	
	4	pl 50x12			0,44	
					194632733	mm^2
					195	m^2
		Outside control space (container 3500*2800*2320)				
184	2	roofplate 2800x3500x12		3500	39,50	
184i	12	stiffeners web/flange 120x12		2800	17,81	
184j	2	frame bottom HEB180	1040	12600	26,21	
184k	2	Wall plate outside	1698,8	32928	111,88	
184l	2	grating a 35 kg/m2				
184m	2	frame roof HEB180	1040	12600	26,21	
184n	2	bottomplate 2800x3500x12		3500	39,50	
184p	2	hydraulic				
184q	2	plc				
184r	8	corner block			2,61	
184s	2	Drain sump	3500	3500	0,007	
184t	4	HEB300	1730	2800	19,38	
184u	4	Columns K160x160x10		5742	0,0020	
184v	2	pl 50x12			0,72	
					283825653	mm^2
					284	m^2

ID	number	description	paint area m^2/m	length m	total paint area m^2	
		Inside working area				
184a1	2	pl 12*2000*6500		6500	52,41	
184a2	16	plate 150 * 12		6500	33,75	
184a3	2	pl 12*2900*6500		2900	75,85	
184a4	10	plate 150 * 12		2900	9,43	
184a5	4	pl 12*2250*1150		1150	21,03	
184a6	16	plate 150 * 12		1150	6,02	
184a7	2	pl 12*1150*2900		2900	13,53	
184a8	2	plate 150 * 12		2900	1,89	
184a9	2	pl 12*2400*1950		2400	18,93	
184a10	4	plate 150 * 12		2400	3,12	
184a11	2	pl 12*2900*1950		2900	22,85	
184a12	4	plate 150 * 12		2900	3,77	
184a13	0	pl 12*3500*2900		2900	0	
184a14	0	plate 150 * 12		2900	0	
184a15	2	pl 12*1150*2400		2400	11,21	
184a16	0	pl 12*1210*2400		2400	0	
184a17	2	grating a 25kg/m2				
184a18	2	pump a 400kg				
184a19	0	pl12*1590*2900		2900	0	
184a20	0	plate 150 * 12		2900	0	
184a21	2	pump a 400kg				
					273800800	mm^2
					274	m^2
		Outside working area				
184a1	2	pl 12*2000*6500		6500	52,41	
184a2	0	plate 150 * 12		6500	0,00	
184a3	2	pl 12*2900*6500		2900	75,85	
184a4	0	plate 150 * 12		2900	0,00	
184a5	4	pl 12*2250*1150		1150	21,03	
184a6	0	plate 150 * 12		1150	0,00	
184a7	2	pl 12*1150*2900		2900	13,53	
184a8	0	plate 150 * 12		2900	0,00	
184a9	2	pl 12*2400*1950		2400	18,93	
184a10	0	plate 150 * 12		2400	0,00	
184a11	2	pl 12*2900*1950		2900	22,85	
184a12	0	plate 150 * 12		2900	0,00	
184a13	0	pl 12*3500*2900		2900	0	
184a14	0	plate 150 * 12		2900	0	
184a15	2	pl 12*1150*2400		2400	11,21	
184a16	0	pl 12*1210*2400		2400	0	
184a17	2	grating a 25kg/m2				
184a18	2	pump a 400kg				
184a19	0	pl12*1590*2900		2900	0	
184a20	0	plate 150 * 12		2900	0	
184a21	2	pump a 400kg				
					215812000	mm^2
					216	m^2

ALLEGATO B
Fogli di calcolo della protezione catodica

L'allegato riporta tutti i calcoli inerenti il sistema di protezione catodica per ogni sub-area, includendo svariati fogli di calcolo.

La distribuzione degli anodi sarà funzione del calcolo degli anodi per ciascuna sub-area.

B.1 Calcolo anodi lastre di parete

B.2 Calcolo anodi valvole della porta

B.3 Calcolo anodi camera di galleggiamento

B.4 Calcolo anodi traliccio orizzontale

B.5 Calcolo anodi strutture 1-8 e 2-7

B.6 Calcolo anodi strutture 3-6 e 4-5

B.7 Scheda caratteristiche anodi

Input parameter sheet:

Note: a) A flush mounted anode is assumed for the calculations.

Parameters for structure:

$A_{zone1} := 524 \cdot m^2$ **Zone 1 Wall Sea S**

$A_{1\%} := 97.5$ **Percentage zone 1 coated**

$A_{zone2} := 1159 \cdot m^2$ **Zone 2 Wall Lagoon S**

$A_{2\%} := 97.5$ **Percentage zone 2 coated**

$\text{Designlife} := 20$ **Design life (years)**

Parameters of anode:

$L := 0.605 \cdot m$ **Anode length**

$W := 0.138 \cdot m$ **Anode avg width**

$H := 0.065 \cdot m$ **Anode height**

$\text{mass} := 12.4 \cdot kg$ **Anode nett weight**

$\varepsilon := 2500 \cdot amp \cdot hr \cdot kg^{-1}$ **Electrochemical efficiency**

$$u := \begin{cases} 0.85 & \text{if } \frac{L}{W} \geq 4 \wedge \frac{L}{H} \geq 4 \\ 0.80 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$u = 0.85$ **Anode utilization factor**

Current requirements *(DNV RP B401)*

Zone1:	Zone 2:	
$i_{a1} := 0.100 \cdot \frac{A}{m^2}$	$i_{a2} := 0.100 \cdot \frac{A}{m^2}$	**Average requirement**
$i_{i1} := 0.200 \cdot \frac{A}{m^2}$	$i_{i2} := 0.200 \cdot \frac{A}{m^2}$	**Initial requirement**
$i_{f1} := 0.130 \cdot \frac{A}{m^2}$	$i_{f2} := 0.130 \cdot \frac{A}{m^2}$	**Final requirement**

Electrical parameters

$\rho := 0.30 \cdot \Omega \cdot m$ **Seawater resistivity**

$E_a := -1.05 \cdot volt$ **Design closed circuit potential Seawater** *(DNV-6.6.2)*

$E_c := -0.80 \cdot volt$ **Design protective potential water** *(DNV-5.4.1)*

$E_{c3} := -0.90 \cdot volt$ **Design protective potential mud** *(DNV-5.4.2)*

Coating parameters:

(coating factors of 1 are equivalent with no coating - i.o.w. bare steel surface)
(Design life of coating system assumed to be at least equal to cathodic protection system)

Zone 1

$k_{1.1} := 0.02$ **Coating factor K1**

$k_{2.1} := 0.012$ **Coating factor K2**

Coating factor for calculations:

$f_{ca.1} := k_{1.1} + k_{2.1} \cdot \frac{Designlife}{2}$ $f_{ca.1} = 0.14$ $F_{ca.1} := (f_{ca.1} \ \ 1)$ $\min(F_{ca.1}) = 0.14$ average

$f_{ci.1} := k_{1.1}$ $f_{ci.1} = 0.02$ $F_{ci.1} := f_{ci.1}$ $F_{ci.1} = 0.02$ inital

$f_{cf.1} := k_{1.1} + k_{2.1} \cdot Designlife$ $f_{cf.1} = 0.26$ $F_{cf.1} := (f_{cf.1} \ \ 1)$ $\min(F_{cf.1}) = 0.26$ final

Zone 2

$k_{1.2} := 0.02$ **Coating factor K1**

$k_{2.2} := 0.012$ **Coating factor K2**

Coating factor for calculations:

$f_{ca.2} := k_{1.2} + k_{2.2} \cdot \frac{Designlife}{2}$ $f_{ca.2} = 0.14$ $F_{ca.2} := (f_{ca.2} \ \ 1)$ $\min(F_{ca.2}) = 0.14$ average

$f_{ci.2} := k_{1.2}$ $f_{ci.2} = 0.02$ $F_{ci.2} := f_{ci.2}$ $F_{ci.2} = 0.02$ inital

$f_{cf.2} := k_{1.2} + k_{2.2} \cdot Designlife$ $f_{cf.2} = 0.26$ $F_{cf.2} := (f_{cf.2} \ \ 1)$ $\min(F_{cf.2}) = 0.26$ final

Calculations:

Average anode requirement

$$I_{avg1} := \left[A_{zone1}\cdot\left(\min(F_{ca.1})\cdot\frac{A_{1\%}}{100} + \frac{100 - A_{1\%}}{100}\right)\right]\cdot i_{a1}$$ $I_{avg1} = 8.5\,\text{amp}$

$$M_{reqd1} := I_{avg1}\cdot Designlife\cdot\frac{8760\cdot hr}{u\cdot\varepsilon}$$ $M_{reqd1} = 698\,\text{kg}$

$$I_{avg2} := \left[A_{zone2}\cdot\left(\min(F_{ca.2})\cdot\frac{A_{2\%}}{100} + \frac{100 - A_{2\%}}{100}\right)\right]\cdot i_{a2}$$ $I_{avg2} = 18.7\,\text{amp}$

$$M_{reqd2} := I_{avg2}\cdot Designlife\cdot\frac{8760\cdot hr}{u\cdot\varepsilon}$$ $M_{reqd2} = 1543\,\text{kg}$

$$n_{a1} := \frac{M_{reqd1}}{mass}$$ $n_{a1} = 56$ **Req'd anodes zone 1**

$$n_{a2} := \frac{M_{reqd2}}{mass}$$ $n_{a2} = 124$ **Req'd anodes zone 2**

Inital anode requirement

$S := \frac{(L + W)}{2}$ $S = 0.371\,m$ **Mean of length and width long flush 6.7.1**

$A := L \cdot W + 2 \cdot (L + W) \cdot H$ $A = 0.18\,m^2$ **Exposed anode surface area short flush anodes**

$R_{ai} := \begin{cases} \frac{\rho}{2 \cdot S} & \text{if } \frac{L}{W} \geq 4 \wedge \frac{L}{H} > 4 \\ \frac{0.315 \cdot \rho}{\sqrt{A}} & \text{otherwise} \end{cases}$ $R_{ai} = 0.404\,\Omega$ **Anode resistance** *(DNV-6.7.1)*

$I_{ai} := \frac{E_c - E_a}{R_{ai}}$ **Anode current output in seawater** $I_{ai} = 0.619\,A$

$I_{inital1} := \left[A_{zone1} \cdot \left(F_{ci.1} \cdot \frac{A_{1\%}}{100} + \frac{100 - A_{1\%}}{100}\right)\right] \cdot i_{i1}$ **Current requiremtn Z1** $I_{inital1} = 4.7\,A$

$I_{inital2} := \left[A_{zone2} \cdot \left(F_{ci.2} \cdot \frac{A_{2\%}}{100} + \frac{100 - A_{2\%}}{100}\right)\right] \cdot i_{i2}$ **Current requiremtn Z2** $I_{inital2} = 10.3\,A$

$n_{i1} := \frac{I_{inital1}}{I_{ai}}$ **Req'd anodes zone 1** $n_{i1} = 8$

$n_{i2} := \frac{I_{inital2}}{I_{ai}}$ **Req'd anodes zone 2** $n_{i2} = 17$

Input parameter sheet:

Note: a) A flush mounted anode is assumed for the calculations.

Parameters for structure:

$A_{zone1} := 524 \cdot m^2$ **Zone 1 Wall Sea S**

$A_{1\%} := 97.5$ **Percentage zone 1 coated**

$A_{zone2} := 1159 \cdot m^2$ **Zone 2 Wall Lagoon S**

$A_{2\%} := 97.5$ **Percentage zone 2 coated**

$Designlife := 20$ **Design life (years)**

Parameters of anode:

$L := 0.605 \cdot m$ **Anode length**

$W := 0.138 \cdot m$ **Anode avg width**

$H := 0.065 \cdot m$ **Anode height**

$mass := 12.4 \cdot kg$ **Anode nett weight**

$\varepsilon := 2500 \cdot amp \cdot hr \cdot kg^{-1}$ **Electrochemical efficiency**

$$u := \begin{cases} 0.85 & \text{if } \frac{L}{W} \geq 4 \wedge \frac{L}{H} \geq 4 \\ 0.80 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$u = 0.85$ **Anode utilization factor**

Current requirements *(DNV RP B401)*

Zone1:	Zone 2:	
$i_{a1} := 0.100 \cdot \frac{A}{m^2}$	$i_{a2} := 0.100 \cdot \frac{A}{m^2}$	**Average requirement**
$i_{i1} := 0.200 \cdot \frac{A}{m^2}$	$i_{i2} := 0.200 \cdot \frac{A}{m^2}$	**Initial requirement**
$i_{f1} := 0.130 \cdot \frac{A}{m^2}$	$i_{f2} := 0.130 \cdot \frac{A}{m^2}$	**Final requirement**

Electrical parameters

$\rho := 0.30 \cdot \Omega \cdot m$ **Seawater resistivity**

$E_a := -1.05 \cdot volt$ **Design closed circuit potential Seawater** *(DNV-6.6.2)*

$E_c := -0.80 \cdot volt$ **Design protective potential water** *(DNV-5.4.1)*

$E_{c3} := -0.90 \cdot volt$ **Design protective potential mud** *(DNV-5.4.2)*

Coating parameters:

(coating factors of 1 are equivalent with no coating - i.o.w. bare steel surface)
(Design life of coating system assumed to be at least equal to cathodic protection system)

Zone 1

$k_{1.1} := 0.02$ **Coating factor K1**

$k_{2.1} := 0.012$ **Coating factor K2**

Coating factor for calculations:

$f_{ca.1} := k_{1.1} + k_{2.1} \cdot \frac{Designlife}{2}$ $f_{ca.1} = 0.14$ $F_{ca.1} := \left(f_{ca.1} \;\; 1\right)$ $\min\left(F_{ca.1}\right) = 0.14$ average

$f_{ci.1} := k_{1.1}$ $f_{ci.1} = 0.02$ $F_{ci.1} := f_{ci.1}$ $F_{ci.1} = 0.02$ inital

$f_{cf.1} := k_{1.1} + k_{2.1} \cdot Designlife$ $f_{cf.1} = 0.26$ $F_{cf.1} := \left(f_{cf.1} \;\; 1\right)$ $\min\left(F_{cf.1}\right) = 0.26$ final

Zone 2

$k_{1.2} := 0.02$ **Coating factor K1**

$k_{2.2} := 0.012$ **Coating factor K2**

Coating factor for calculations:

$f_{ca.2} := k_{1.2} + k_{2.2} \cdot \frac{Designlife}{2}$ $f_{ca.2} = 0.14$ $F_{ca.2} := \left(f_{ca.2} \;\; 1\right)$ $\min\left(F_{ca.2}\right) = 0.14$ average

$f_{ci.2} := k_{1.2}$ $f_{ci.2} = 0.02$ $F_{ci.2} := f_{ci.2}$ $F_{ci.2} = 0.02$ inital

$f_{cf.2} := k_{1.2} + k_{2.2} \cdot Designlife$ $f_{cf.2} = 0.26$ $F_{cf.2} := \left(f_{cf.2} \;\; 1\right)$ $\min\left(F_{cf.2}\right) = 0.26$ final

Calculations:

Average anode requirement

$$I_{avg1} := \left[A_{zone1} \cdot \left(\min(F_{ca.1}) \cdot \frac{A_{1\%}}{100} + \frac{100 - A_{1\%}}{100} \right) \right] \cdot i_{a1}$$ $I_{avg1} = 8.5\,amp$

$$M_{reqd1} := I_{avg1} \cdot Designlife \cdot \frac{8760 \cdot hr}{u \cdot \varepsilon}$$ $M_{reqd1} = 698\,kg$

$$I_{avg2} := \left[A_{zone2} \cdot \left(\min(F_{ca.2}) \cdot \frac{A_{2\%}}{100} + \frac{100 - A_{2\%}}{100} \right) \right] \cdot i_{a2}$$ $I_{avg2} = 18.7\,amp$

$$M_{reqd2} := I_{avg2} \cdot Designlife \cdot \frac{8760 \cdot hr}{u \cdot \varepsilon}$$ $M_{reqd2} = 1543\,kg$

$n_{a1} := \frac{M_{reqd1}}{mass}$ $n_{a1} = 56$ **Req'd anodes zone 1**

$n_{a2} := \frac{M_{reqd2}}{mass}$ $n_{a2} = 124$ **Req'd anodes zone 2**

Inital anode requirement

$S := \frac{(L + W)}{2}$ $S = 0.371\,m$ **Mean of length and width long flush 6.7.1**

$A := L \cdot W + 2 \cdot (L + W) \cdot H$ $A = 0.18\,m^2$ **Exposed anode surface area short flush anodes**

$$R_{ai} := \begin{cases} \frac{\rho}{2 \cdot S} & \text{if } \frac{L}{W} \ge 4 \wedge \frac{L}{H} > 4 \\ \frac{0.315 \cdot \rho}{\sqrt{A}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$R_{ai} = 0.404\,\Omega$ **Anode resistance** *(DNV-6.7.1)*

$I_{ai} := \frac{E_c - E_a}{R_{ai}}$ **Anode current output in seawater** $I_{ai} = 0.619\,A$

$I_{inital1} := \left[A_{zone1} \cdot \left(F_{ci.1} \cdot \frac{A_{1\%}}{100} + \frac{100 - A_{1\%}}{100}\right)\right] \cdot i_{i1}$ **Current requiremtn Z1** $I_{inital1} = 4.7\,A$

$I_{inital2} := \left[A_{zone2} \cdot \left(F_{ci.2} \cdot \frac{A_{2\%}}{100} + \frac{100 - A_{2\%}}{100}\right)\right] \cdot i_{i2}$ **Current requiremtn Z2** $I_{inital2} = 10.3\,A$

$n_{i1} := \frac{I_{inital1}}{I_{ai}}$ **Req'd anodes zone 1** $n_{i1} = 8$

$n_{i2} := \frac{I_{inital2}}{I_{ai}}$ **Req'd anodes zone 2** $n_{i2} = 17$

Final anode requirement

$mass_{final} := mass \cdot (1 - u)$ $mass_{final} = 1.86\,kg$ **Depleted mass**

$\gamma_{anode} := \frac{mass}{H \cdot W \cdot L}$ $\gamma_{anode} = 2284.9\,\frac{kg}{m^3}$ **Anode density**

$L_{final} := L - (0.1 \cdot u \cdot L)$ $L_{final} = 554\,mm$ **Depleted length**

$A_{crossf} := \frac{mass_{final}}{\gamma_{anode} \cdot L_{final}}$ $A_{crossf} = 14.7\,cm^2$ **Final cross section long flush anodes**

$r_{final} := \sqrt{\frac{2A_{crossf}}{\pi}}$ $r_{final} = 31\,mm$ **Radius final semi cylinder**

$S_{final} := \frac{L_{final} + 2 \cdot r_{final}}{2}$ $S_{final} = 307\,mm$ **Mean of final length and width (6.7.1)**

$A_f := W \cdot L$ $A_f = 0.083\,m^2$ **Exposed Area for short flush anodes**

$$R_{af} := \begin{cases} \frac{\rho}{2 \cdot S_{final}} & \text{if } \frac{L}{W} \geq 4 \wedge \frac{L}{H} > 4 \\ \frac{0.315 \cdot \rho}{\sqrt{A_f}} & \text{otherwise} \end{cases} \qquad R_{af} = 0.488\,\Omega$$

$I_{af} := \frac{E_c - E_a}{R_{af}}$ **Anode current output** $I_{af} = 0.512\,A$

$$I_{final1} := \left[A_{zone1} \cdot \left(\min(F_{cf.1}) \cdot \frac{A_{1\%}}{100} + \frac{100 - A_{1\%}}{100}\right)\right] \cdot i_{f1}$$ **Current requiremtn Z1** $I_{final1} = 19\,A$

$$I_{final2} := \left[A_{zone2} \cdot \left(\min(F_{cf.2}) \cdot \frac{A_{2\%}}{100} + \frac{100 - A_{2\%}}{100}\right)\right] \cdot i_{f2}$$ **Current requiremtn Z2** $I_{final2} = 42\,A$

$n_{f1} := \frac{I_{final1}}{I_{af}}$ **Req'd anodes zone 1** $n_{f1} = 37$

$n_{f2} := \frac{I_{final2}}{I_{af}}$ **Req'd anodes zone 2** $n_{f2} = 82$

Summary of required anodes:

$Zone1 := (n_{a1} \;\; n_{i1} \;\; n_{f1})$ $\quad$ $max(Zone1) = 56$

$Zone2 := (n_{a2} \;\; n_{i2} \;\; n_{f2})$ $\quad$ $max(Zone2) = 124$

$AnodesTotal := max(Zone1) + max(Zone2)$ $\quad$ $\boxed{AnodesTotal = 181}$

$AnodesTotal \cdot mass = 2241\,kg$

Input parameter sheet:

Note: a) A flush mounted anode is assumed for the calculations.

Parameters for structure:

$A_{zone1} := 717 \cdot m^2$ **Zone 1 Lock gate**

$A_{1\%} := 97.5$ **Percentage zone 1 coated**

$A_{zone2} := 0 \cdot m^2$ **Zone 2**

$A_{2\%} := 100.0$ **Percentage zone 2 coated**

$Designlife := 20$ **Design life (years)**

Parameters of anode:

$L := 0.605 \cdot m$ **Anode length**

$W := 0.138 \cdot m$ **Anode avg width**

$H := 0.065 \cdot m$ **Anode height**

$mass := 12.4 \cdot kg$ **Anode nett weight**

$\varepsilon := 2500 \cdot amp \cdot hr \cdot kg^{-1}$ **Electrochemical efficiency**

$$u := \begin{cases} 0.85 & \text{if } \frac{L}{W} \ge 4 \wedge \frac{L}{H} \ge 4 \\ 0.80 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$u = 0.85$ **Anode utilization factor**

Current requirements *(DNV RP B401)*

Zone1:	Zone 2:	
$i_{a1} := 0.100 \cdot \frac{A}{m^2}$	$i_{a2} := 0.100 \cdot \frac{A}{m^2}$	**Average requirement**
$i_{i1} := 0.200 \cdot \frac{A}{m^2}$	$i_{i2} := 0.200 \cdot \frac{A}{m^2}$	**Initial requirement**
$i_{f1} := 0.130 \cdot \frac{A}{m^2}$	$i_{f2} := 0.130 \cdot \frac{A}{m^2}$	**Final requirement**

Electrical parameters

$\rho := 0.30 \cdot \Omega \cdot m$ **Seawater resistivity**

$E_a := -1.05 \cdot volt$ **Design closed circuit potential Seawater** *(DNV-6.6.2)*

$E_c := -0.80 \cdot volt$ **Design protective potential water** *(DNV-5.4.1)*

$E_{c3} := -0.90 \cdot volt$ **Design protective potential mud** *(DNV-5.4.2)*

Coating parameters:

(coating factors of 1 are equivalent with no coating - i.o.w. bare steel surface)
(Design life of coating system assumed to be at least equal to cathodic protection system)

Zone 1

$k_{1.1} := 0.02$ **Coating factor K1**

$k_{2.1} := 0.012$ **Coating factor K2**

Coating factor for calculations:

$f_{ca.1} := k_{1.1} + k_{2.1} \cdot \frac{Designlife}{2}$ $f_{ca.1} = 0.14$ $F_{ca.1} := (f_{ca.1} \ \ 1)$ $\min(F_{ca.1}) = 0.14$ average

$f_{ci.1} := k_{1.1}$ $f_{ci.1} = 0.02$ $F_{ci.1} := f_{ci.1}$ $F_{ci.1} = 0.02$ inital

$f_{cf.1} := k_{1.1} + k_{2.1} \cdot Designlife$ $f_{cf.1} = 0.26$ $F_{cf.1} := (f_{cf.1} \ \ 1)$ $\min(F_{cf.1}) = 0.26$ final

Zone 2

$k_{1.2} := 0.02$ **Coating factor K1**

$k_{2.2} := 0.015$ **Coating factor K2**

Coating factor for calculations:

$f_{ca.2} := k_{1.2} + k_{2.2} \cdot \frac{Designlife}{2}$ $f_{ca.2} = 0.17$ $F_{ca.2} := (f_{ca.2} \ \ 1)$ $\min(F_{ca.2}) = 0.17$ average

$f_{ci.2} := k_{1.2}$ $f_{ci.2} = 0.02$ $F_{ci.2} := f_{ci.2}$ $F_{ci.2} = 0.02$ inital

$f_{cf.2} := k_{1.2} + k_{2.2} \cdot Designlife$ $f_{cf.2} = 0.32$ $F_{cf.2} := (f_{cf.2} \ \ 1)$ $\min(F_{cf.2}) = 0.32$ final

Calculations:

Average anode requirement

$$I_{avg1} := \left[A_{zone1} \cdot \left(\min(F_{ca.1}) \cdot \frac{A_{1\%}}{100} + \frac{100 - A_{1\%}}{100}\right)\right] \cdot i_{a1}$$ $I_{avg1} = 11.6\,\text{amp}$

$$M_{reqd1} := I_{avg1} \cdot \text{Designlife} \cdot \frac{8760 \cdot hr}{u \cdot \varepsilon}$$ $M_{reqd1} = 955\,\text{kg}$

$$I_{avg2} := \left[A_{zone2} \cdot \left(\min(F_{ca.2}) \cdot \frac{A_{2\%}}{100} + \frac{100 - A_{2\%}}{100}\right)\right] \cdot i_{a2}$$ $I_{avg2} = 0\,\text{amp}$

$$M_{reqd2} := I_{avg2} \cdot \text{Designlife} \cdot \frac{8760 \cdot hr}{u \cdot \varepsilon}$$ $M_{reqd2} = 0\,\text{kg}$

$$n_{a1} := \frac{M_{reqd1}}{mass}$$ $n_{a1} = 77$ **Req'd anodes zone 1**

$$n_{a2} := \frac{M_{reqd2}}{mass}$$ $n_{a2} = 0$ **Req'd anodes zone 2**

Inital anode requirement

$S := \frac{(L + W)}{2}$ $S = 0.371\,m$ **Mean of length and width long flush 6.7.1**

$A := L \cdot W + 2 \cdot (L + W) \cdot H$ $A = 0.18\,m^2$ **Exposed anode surface area short flush anodes**

$R_{ai} := \begin{cases} \frac{\rho}{2 \cdot S} & \text{if } \frac{L}{W} \geq 4 \wedge \frac{L}{H} > 4 \\ \frac{0.315 \cdot \rho}{\sqrt{A}} & \text{otherwise} \end{cases}$ $R_{ai} = 0.404\,\Omega$ **Anode resistance** *(DNV-6.7.1)*

$I_{ai} := \frac{E_c - E_a}{R_{ai}}$ **Anode current output in seawater** $I_{ai} = 0.619\,A$

$I_{inital1} := \left[A_{zone1} \cdot \left(F_{ci.1} \cdot \frac{A_{1\%}}{100} + \frac{100 - A_{1\%}}{100}\right)\right] \cdot i_{i1}$ **Current requiremtn Z1** $I_{inital1} = 6.4\,A$

$I_{inital2} := \left[A_{zone2} \cdot \left(F_{ci.2} \cdot \frac{A_{2\%}}{100} + \frac{100 - A_{2\%}}{100}\right)\right] \cdot i_{i2}$ **Current requiremtn Z2** $I_{inital2} = 0\,A$

$n_{i1} := \frac{I_{inital1}}{I_{ai}}$ **Req'd anodes zone 1** $n_{i1} = 10$

$n_{i2} := \frac{I_{inital2}}{I_{ai}}$ **Req'd anodes zone 2** $n_{i2} = 0$

Final anode requirement

$mass_{final} := mass \cdot (1 - u)$ $\quad mass_{final} = 1.86\,kg$ **Depleted mass**

$\gamma_{anode} := \dfrac{mass}{H \cdot W \cdot L}$ $\quad \gamma_{anode} = 2284.9\,\dfrac{kg}{m^3}$ **Anode density**

$L_{final} := L - (0.1 \cdot u \cdot L)$ $\quad L_{final} = 554\,mm$ **Depleted length**

$A_{crossf} := \dfrac{mass_{final}}{\gamma_{anode} \cdot L_{final}}$ $\quad A_{crossf} = 14.7\,cm^2$ **Final cross section long flush anodes**

$r_{final} := \sqrt{\dfrac{2A_{crossf}}{\pi}}$ $\quad r_{final} = 31\,mm$ **Radius final semi cylinder**

$S_{final} := \dfrac{L_{final} + 2 \cdot r_{final}}{2}$ $\quad S_{final} = 307\,mm$ **Mean of final length and width (6.7.1)**

$A_f := W \cdot L$ $\quad A_f = 0.083\,m^2$ **Exposed Area for short flush anodes**

$$R_{af} := \begin{cases} \dfrac{\rho}{2 \cdot S_{final}} & \text{if } \dfrac{L}{W} \ge 4 \wedge \dfrac{L}{H} > 4 \\ \dfrac{0.315 \cdot \rho}{\sqrt{A_f}} & \text{otherwise} \end{cases} \qquad R_{af} = 0.488\,\Omega$$

$I_{af} := \dfrac{E_c - E_a}{R_{af}}$ **Anode current output** $\quad I_{af} = 0.512\,A$

$$I_{final1} := \left[A_{zone1} \cdot \left(\min(F_{cf.1}) \cdot \frac{A_{1\%}}{100} + \frac{100 - A_{1\%}}{100}\right)\right] \cdot i_{f1}$$ **Current requiremtn Z1** $\quad I_{final1} = 26\,A$

$$I_{final2} := \left[A_{zone2} \cdot \left(\min(F_{cf.2}) \cdot \frac{A_{2\%}}{100} + \frac{100 - A_{2\%}}{100}\right)\right] \cdot i_{f2}$$ **Current requiremtn Z2** $\quad I_{final2} = 0\,A$

$n_{f1} := \dfrac{I_{final1}}{I_{af}}$ **Req'd anodes zone 1** $\quad n_{f1} = 51$

$n_{f2} := \dfrac{I_{final2}}{I_{af}}$ **Req'd anodes zone 2** $\quad n_{f2} = 0$

Summary of required anodes:

$Zone1 := (n_{a1}\ \ n_{i1}\ \ n_{f1})$ $\max(Zone1) = 77$

$Zone2 := (n_{a2}\ \ n_{i2}\ \ n_{f2})$ $\max(Zone2) = 0$

$AnodesTotal := \max(Zone1) + \max(Zone2)$ $\boxed{AnodesTotal = 77}$

$AnodesTotal \cdot mass = 955\,kg$

Input parameter sheet:

Note: a) A flush mounted anode is assumed for the calculations.

Parameters for structure:

$A_{zone1} := 1104 \cdot m^2$ **Zone 1 Outside B C**

$A_{1\%} := 97.5$ **Percentage zone 1 coated**

$A_{zone2} := 1920 \cdot m^2$ **Zone 2 Inside B C**

$A_{2\%} := 100.0$ **Percentage zone 2 coated**

$Designlife := 20$ **Design life (years)**

Parameters of anode:

$L := 0.605 \cdot m$ **Anode length**

$W := 0.138 \cdot m$ **Anode avg width**

$H := 0.065 \cdot m$ **Anode height**

$mass := 12.4 \cdot kg$ **Anode nett weight**

$\varepsilon := 2500 \cdot amp \cdot hr \cdot kg^{-1}$ **Electrochemical efficiency**

$$u := \begin{cases} 0.85 & \text{if } \frac{L}{W} \geq 4 \wedge \frac{L}{H} \geq 4 \\ 0.80 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$u = 0.85$ **Anode utilization factor**

Current requirements *(DNV RP B401)*

Zone1:	Zone 2:	
$i_{a1} := 0.100 \cdot \frac{A}{m^2}$	$i_{a2} := 0.100 \cdot \frac{A}{m^2}$	**Average requirement**
$i_{i1} := 0.200 \cdot \frac{A}{m^2}$	$i_{i2} := 0.200 \cdot \frac{A}{m^2}$	**Initial requirement**
$i_{f1} := 0.130 \cdot \frac{A}{m^2}$	$i_{f2} := 0.130 \cdot \frac{A}{m^2}$	**Final requirement**

Electrical parameters

$\rho := 0.30 \cdot \Omega \cdot m$ **Seawater resistivity**

$E_a := -1.05 \cdot volt$ **Design closed circuit potential Seawater** *(DNV-6.6.2)*

$E_c := -0.80 \cdot volt$ **Design protective potential water** *(DNV-5.4.1)*

$E_{c3} := -0.90 \cdot volt$ **Design protective potential mud** *(DNV-5.4.2)*

Coating parameters:

(coating factors of 1 are equivalent with no coating - i.o.w. bare steel surface)
(Design life of coating system assumed to be at least equal to cathodic protection system)

Zone 1

$k_{1.1} := 0.02$ **Coating factor K1**

$k_{2.1} := 0.012$ **Coating factor K2**

Coating factor for calculations:

$f_{ca.1} := k_{1.1} + k_{2.1} \cdot \frac{Designlife}{2}$ $f_{ca.1} = 0.14$ $F_{ca.1} := (f_{ca.1} \;\; 1)$ $\min(F_{ca.1}) = 0.14$ average

$f_{ci.1} := k_{1.1}$ $f_{ci.1} = 0.02$ $F_{ci.1} := f_{ci.1}$ $F_{ci.1} = 0.02$ inital

$f_{cf.1} := k_{1.1} + k_{2.1} \cdot Designlife$ $f_{cf.1} = 0.26$ $F_{cf.1} := (f_{cf.1} \;\; 1)$ $\min(F_{cf.1}) = 0.26$ final

Zone 2

$k_{1.2} := 0.02$ **Coating factor K1**

$k_{2.2} := 0.015$ **Coating factor K2**

Coating factor for calculations:

$f_{ca.2} := k_{1.2} + k_{2.2} \cdot \frac{Designlife}{2}$ $f_{ca.2} = 0.17$ $F_{ca.2} := (f_{ca.2} \;\; 1)$ $\min(F_{ca.2}) = 0.17$ average

$f_{ci.2} := k_{1.2}$ $f_{ci.2} = 0.02$ $F_{ci.2} := f_{ci.2}$ $F_{ci.2} = 0.02$ inital

$f_{cf.2} := k_{1.2} + k_{2.2} \cdot Designlife$ $f_{cf.2} = 0.32$ $F_{cf.2} := (f_{cf.2} \;\; 1)$ $\min(F_{cf.2}) = 0.32$ final

Calculations:

Average anode requirement

$$I_{avg1} := \left[A_{zone1} \cdot \left(\min(F_{ca.1}) \cdot \frac{A_{1\%}}{100} + \frac{100 - A_{1\%}}{100} \right) \right] \cdot i_{a1}$$ $I_{avg1} = 17.8\,\text{amp}$

$$M_{reqd1} := I_{avg1} \cdot \text{Designlife} \cdot \frac{8760 \cdot hr}{u \cdot \varepsilon}$$ $M_{reqd1} = 1470\,\text{kg}$

$$I_{avg2} := \left[A_{zone2} \cdot \left(\min(F_{ca.2}) \cdot \frac{A_{2\%}}{100} + \frac{100 - A_{2\%}}{100} \right) \right] \cdot i_{a2}$$ $I_{avg2} = 32.6\,\text{amp}$

$$M_{reqd2} := I_{avg2} \cdot \text{Designlife} \cdot \frac{8760 \cdot hr}{u \cdot \varepsilon}$$ $M_{reqd2} = 2691\,\text{kg}$

$n_{a1} := \frac{M_{reqd1}}{mass}$ $n_{a1} = 119$ **Req'd anodes zone 1**

$n_{a2} := \frac{M_{reqd2}}{mass}$ $n_{a2} = 217$ **Req'd anodes zone 2**

Inital anode requirement

$S := \frac{(L + W)}{2}$	$S = 0.371\,m$	**Mean of length and width long flush 6.7.1**	
$A := L \cdot W + 2 \cdot (L + W) \cdot H$	$A = 0.18\,m^2$	**Exposed anode surface area short flush anodes**	
$R_{ai} := \begin{cases} \frac{\rho}{2 \cdot S} & \text{if } \frac{L}{W} \geq 4 \wedge \frac{L}{H} > 4 \\ \frac{0.315 \cdot \rho}{\sqrt{A}} & \text{otherwise} \end{cases}$	$R_{ai} = 0.404\,\Omega$	**Anode resistance** *(DNV-6.7.1)*	
$I_{ai} := \frac{E_c - E_a}{R_{ai}}$		**Anode current output in seawater**	$I_{ai} = 0.619\,A$
$I_{inital1} := \left[A_{zone1} \cdot \left(F_{ci.1} \cdot \frac{A_{1\%}}{100} + \frac{100 - A_{1\%}}{100} \right) \right] \cdot i_{i1}$		**Current requiremtn Z1**	$I_{inital1} = 9.8\,A$
$I_{inital2} := \left[A_{zone2} \cdot \left(F_{ci.2} \cdot \frac{A_{2\%}}{100} + \frac{100 - A_{2\%}}{100} \right) \right] \cdot i_{i2}$		**Current requiremtn Z2**	$I_{inital2} = 7.7\,A$
$n_{i1} := \frac{I_{inital1}}{I_{ai}}$		**Req'd anodes zone 1**	$n_{i1} = 16$
$n_{i2} := \frac{I_{inital2}}{I_{ai}}$		**Req'd anodes zone 2**	$n_{i2} = 12$

Final anode requirement

$mass_{final} := mass \cdot (1 - u)$	$mass_{final} = 1.86\,kg$	**Depleted mass**
$\gamma_{anode} := \frac{mass}{H \cdot W \cdot L}$	$\gamma_{anode} = 2284.9\,\frac{kg}{m^3}$	**Anode density**
$L_{final} := L - (0.1 \cdot u \cdot L)$	$L_{final} = 554\,mm$	**Depleted length**
$A_{crossf} := \frac{mass_{final}}{\gamma_{anode} \cdot L_{final}}$	$A_{crossf} = 14.7\,cm^2$	**Final cross section long flush anodes**
$r_{final} := \sqrt{\frac{2A_{crossf}}{\pi}}$	$r_{final} = 31\,mm$	**Radius final semi cylinder**
$S_{final} := \frac{L_{final} + 2 \cdot r_{final}}{2}$	$S_{final} = 307\,mm$	**Mean of final length and width (6.7.1)**
$A_f := W \cdot L$	$A_f = 0.083\,m^2$	**Exposed Area for short flush anodes**

$$R_{af} := \begin{cases} \frac{\rho}{2 \cdot S_{final}} & \text{if } \frac{L}{W} \geq 4 \wedge \frac{L}{H} > 4 \\ \frac{0.315 \cdot \rho}{\sqrt{A_f}} & \text{otherwise} \end{cases} \qquad R_{af} = 0.488\,\Omega$$

$$I_{af} := \frac{E_c - E_a}{R_{af}}$$ **Anode current output** $I_{af} = 0.512\,A$

$$I_{final1} := \left[A_{zone1} \cdot \left(\min(F_{cf.1}) \cdot \frac{A_{1\%}}{100} + \frac{100 - A_{1\%}}{100}\right)\right] \cdot i_{f1}$$ **Current requiremtn Z1** $I_{final1} = 40\,A$

$$I_{final2} := \left[A_{zone2} \cdot \left(\min(F_{cf.2}) \cdot \frac{A_{2\%}}{100} + \frac{100 - A_{2\%}}{100}\right)\right] \cdot i_{f2}$$ **Current requiremtn Z2** $I_{final2} = 79.9\,A$

$$n_{f1} := \frac{I_{final1}}{I_{af}}$$ **Req'd anodes zone 1** $n_{f1} = 78$

$$n_{f2} := \frac{I_{final2}}{I_{af}}$$ **Req'd anodes zone 2** $n_{f2} = 156$

Summary of required anodes:

$Zone1 := (n_{a1}\ \ n_{i1}\ \ n_{f1})$ $\max(Zone1) = 119$

$Zone2 := (n_{a2}\ \ n_{i2}\ \ n_{f2})$ $\max(Zone2) = 217$

$AnodesTotal := \max(Zone1) + \max(Zone2)$ $\boxed{AnodesTotal = 336}$

$AnodesTotal \cdot mass = 4161\,kg$

Input parameter sheet:

Note: a) A flush mounted anode is assumed for the calculations.

Parameters for structure:

$A_{zone1} := 379 \cdot m^2$ **Zone 1 -12.6 & -9.75 (Each)**

$A_{1\%} := 97.5$ **Percentage zone 1 coated**

$A_{zone2} := 415 \cdot m^2$ **Zone 2 -1.4**

$A_{2\%} := 97.5$ **Percentage zone 2 coated**

$Designlife := 20$ **Design life (years)**

Parameters of anode:

$L := 0.605 \cdot m$ **Anode length**

$W := 0.138 \cdot m$ **Anode avg width**

$H := 0.065 \cdot m$ **Anode height**

$mass := 12.4 \cdot kg$ **Anode nett weight**

$\varepsilon := 2500 \cdot amp \cdot hr \cdot kg^{-1}$ **Electrochemical efficiency**

$$u := \begin{cases} 0.85 & \text{if } \frac{L}{W} \geq 4 \wedge \frac{L}{H} \geq 4 \\ 0.80 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$u = 0.85$ **Anode utilization factor**

Current requirements *(DNV RP B401)*

Zone1:	Zone 2:	
$i_{a1} := 0.100 \cdot \frac{A}{m^2}$	$i_{a2} := 0.100 \cdot \frac{A}{m^2}$	**Average requirement**
$i_{i1} := 0.200 \cdot \frac{A}{m^2}$	$i_{i2} := 0.200 \cdot \frac{A}{m^2}$	**Initial requirement**
$i_{f1} := 0.130 \cdot \frac{A}{m^2}$	$i_{f2} := 0.130 \cdot \frac{A}{m^2}$	**Final requirement**

Electrical parameters

$\rho := 0.30 \cdot \Omega \cdot m$ **Seawater resistivity**

$E_a := -1.05 \cdot volt$ **Design closed circuit potential Seawater** *(DNV-6.6.2)*

$E_c := -0.80 \cdot volt$ **Design protective potential water** *(DNV-5.4.1)*

$E_{c3} := -0.90 \cdot volt$ **Design protective potential mud** *(DNV-5.4.2)*

Coating parameters:

(coating factors of 1 are equivalent with no coating - i.o.w. bare steel surface)
(Design life of coating system assumed to be at least equal to cathodic protection system)

Zone 1

$k_{1.1} := 0.02$ **Coating factor K1**

$k_{2.1} := 0.012$ **Coating factor K2**

Coating factor for calculations:

$f_{ca.1} := k_{1.1} + k_{2.1} \cdot \frac{Designlife}{2}$ $f_{ca.1} = 0.14$ $F_{ca.1} := (f_{ca.1} \;\; 1)$ $\min(F_{ca.1}) = 0.14$ average

$f_{ci.1} := k_{1.1}$ $f_{ci.1} = 0.02$ $F_{ci.1} := f_{ci.1}$ $F_{ci.1} = 0.02$ inital

$f_{cf.1} := k_{1.1} + k_{2.1} \cdot Designlife$ $f_{cf.1} = 0.26$ $F_{cf.1} := (f_{cf.1} \;\; 1)$ $\min(F_{cf.1}) = 0.26$ final

Zone 2

$k_{1.2} := 0.02$ **Coating factor K1**

$k_{2.2} := 0.012$ **Coating factor K2**

Coating factor for calculations:

$f_{ca.2} := k_{1.2} + k_{2.2} \cdot \frac{Designlife}{2}$ $f_{ca.2} = 0.14$ $F_{ca.2} := (f_{ca.2} \;\; 1)$ $\min(F_{ca.2}) = 0.14$ average

$f_{ci.2} := k_{1.2}$ $f_{ci.2} = 0.02$ $F_{ci.2} := f_{ci.2}$ $F_{ci.2} = 0.02$ inital

$f_{cf.2} := k_{1.2} + k_{2.2} \cdot Designlife$ $f_{cf.2} = 0.26$ $F_{cf.2} := (f_{cf.2} \;\; 1)$ $\min(F_{cf.2}) = 0.26$ final

Calculations:

Average anode requirement

$$I_{avg1} := \left[A_{zone1}\cdot\left(\min(F_{ca.1})\cdot\frac{A_{1\%}}{100} + \frac{100 - A_{1\%}}{100}\right)\right]\cdot i_{a1}$$ $I_{avg1} = 6.1\,\text{amp}$

$$M_{reqd1} := I_{avg1}\cdot \text{Designlife}\cdot\frac{8760\cdot \text{hr}}{u\cdot\varepsilon}$$ $M_{reqd1} = 505\,\text{kg}$

$$I_{avg2} := \left[A_{zone2}\cdot\left(\min(F_{ca.2})\cdot\frac{A_{2\%}}{100} + \frac{100 - A_{2\%}}{100}\right)\right]\cdot i_{a2}$$ $I_{avg2} = 6.7\,\text{amp}$

$$M_{reqd2} := I_{avg2}\cdot \text{Designlife}\cdot\frac{8760\cdot \text{hr}}{u\cdot\varepsilon}$$ $M_{reqd2} = 553\,\text{kg}$

$$n_{a1} := \frac{M_{reqd1}}{\text{mass}}$$ $n_{a1} = 41$ **Req'd anodes zone 1**

$$n_{a2} := \frac{M_{reqd2}}{\text{mass}}$$ $n_{a2} = 45$ **Req'd anodes zone 2**

Inital anode requirement

$S := \frac{(L + W)}{2}$ $S = 0.371\,m$ **Mean of length and width long flush 6.7.1**

$A := L \cdot W + 2 \cdot (L + W) \cdot H$ $A = 0.18\,m^2$ **Exposed anode surface area short flush anodes**

$R_{ai} := \begin{cases} \frac{\rho}{2 \cdot S} & \text{if } \frac{L}{W} \geq 4 \wedge \frac{L}{H} > 4 \\ \frac{0.315 \cdot \rho}{\sqrt{A}} & \text{otherwise} \end{cases}$ $R_{ai} = 0.404\,\Omega$ **Anode resistance** *(DNV-6.7.1)*

$I_{ai} := \frac{E_c - E_a}{R_{ai}}$ **Anode current output in seawater** $I_{ai} = 0.619\,A$

$I_{inital1} := \left[A_{zone1} \cdot \left(F_{ci.1} \cdot \frac{A_{1\%}}{100} + \frac{100 - A_{1\%}}{100}\right)\right] \cdot i_{i1}$ **Current requiremtn Z1** $I_{inital1} = 3.4\,A$

$I_{inital2} := \left[A_{zone2} \cdot \left(F_{ci.2} \cdot \frac{A_{2\%}}{100} + \frac{100 - A_{2\%}}{100}\right)\right] \cdot i_{i2}$ **Current requiremtn Z2** $I_{inital2} = 3.7\,A$

$n_{i1} := \frac{I_{inital1}}{I_{ai}}$ **Req'd anodes zone 1** $n_{i1} = 5$

$n_{i2} := \frac{I_{inital2}}{I_{ai}}$ **Req'd anodes zone 2** $n_{i2} = 6$

Final anode requirement

$mass_{final} := mass\cdot(1-u)$ $mass_{final} = 1.86\,kg$ **Depleted mass**

$\gamma_{anode} := \frac{mass}{H\cdot W\cdot L}$ $\gamma_{anode} = 2284.9\,\frac{kg}{m^3}$ **Anode density**

$L_{final} := L - (0.1\cdot u\cdot L)$ $L_{final} = 554\,mm$ **Depleted length**

$A_{crossf} := \frac{mass_{final}}{\gamma_{anode}\cdot L_{final}}$ $A_{crossf} = 14.7\,cm^2$ **Final cross section long flush anodes**

$r_{final} := \sqrt{\frac{2A_{crossf}}{\pi}}$ $r_{final} = 31\,mm$ **Radius final semi cylinder**

$S_{final} := \frac{L_{final} + 2\cdot r_{final}}{2}$ $S_{final} = 307\,mm$ **Mean of final length and width (6.7.1)**

$A_f := W\cdot L$ $A_f = 0.083\,m^2$ **Exposed Area for short flush anodes**

$$R_{af} := \begin{cases} \frac{\rho}{2\cdot S_{final}} & \text{if } \frac{L}{W} \ge 4 \wedge \frac{L}{H} > 4 \\ \frac{0.315\cdot\rho}{\sqrt{A_f}} & \text{otherwise} \end{cases} \qquad R_{af} = 0.488\,\Omega$$

$I_{af} := \frac{E_c - E_a}{R_{af}}$ **Anode current output** $I_{af} = 0.512\,A$

$$I_{final1} := \left[A_{zone1}\cdot\left(\min(F_{cf.1})\cdot\frac{A_{1\%}}{100} + \frac{100 - A_{1\%}}{100}\right)\right]\cdot i_{f1}$$ **Current requiremtn Z1** $I_{final1} = 13.7\,A$

$$I_{final2} := \left[A_{zone2}\cdot\left(\min(F_{cf.2})\cdot\frac{A_{2\%}}{100} + \frac{100 - A_{2\%}}{100}\right)\right]\cdot i_{f2}$$ **Current requiremtn Z2** $I_{final2} = 15\,A$

$n_{f1} := \frac{I_{final1}}{I_{af}}$ **Req'd anodes zone 1** $n_{f1} = 27$

$n_{f2} := \frac{I_{final2}}{I_{af}}$ **Req'd anodes zone 2** $n_{f2} = 29$

Summary of required anodes:

$Zone1 := (n_{a1} \;\; n_{i1} \;\; n_{f1})$ $\max(Zone1) = 41$

$Zone2 := (n_{a2} \;\; n_{i2} \;\; n_{f2})$ $\max(Zone2) = 45$

$AnodesTotal := \max(Zone1) + \max(Zone2)$ $AnodesTotal = 85$

$AnodesTotal \cdot mass = 1057\,kg$

Input parameter sheet:

Note: a) A flush mounted anode is assumed for the calculations.

Parameters for structure:

$A_{zone1} := 261 \cdot m^2$	**Zone 1 Fr 1-8**
$A_{1\%} := 97.5$	**Percentage zone 1 coated**
$A_{zone2} := 308 \cdot m^2$	**Zone 2 Fr 2-7**
$A_{2\%} := 97.5$	**Percentage zone 2 coated**
$Designlife := 20$	**Design life (years)**

Parameters of anode:

$L := 0.605 \cdot m$	**Anode length**
$W := 0.138 \cdot m$	**Anode avg width**
$H := 0.065 \cdot m$	**Anode height**
$mass := 12.4 \cdot kg$	**Anode nett weight**
$\varepsilon := 2500 \cdot amp \cdot hr \cdot kg^{-1}$	**Electrochemical efficiency**

$$u := \begin{cases} 0.85 & \text{if } \frac{L}{W} \geq 4 \wedge \frac{L}{H} \geq 4 \\ 0.80 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$u = 0.85$ **Anode utilization factor**

Current requirements *(DNV RP B401)*

Zone1:	Zone 2:	
$i_{a1} := 0.100 \cdot \frac{A}{m^2}$	$i_{a2} := 0.100 \cdot \frac{A}{m^2}$	**Average requirement**
$i_{i1} := 0.200 \cdot \frac{A}{m^2}$	$i_{i2} := 0.200 \cdot \frac{A}{m^2}$	**Initial requirement**
$i_{f1} := 0.130 \cdot \frac{A}{m^2}$	$i_{f2} := 0.130 \cdot \frac{A}{m^2}$	**Final requirement**

Electrical parameters

$\rho := 0.30 \cdot \Omega \cdot m$	**Seawater resistivity**
$E_a := -1.05 \cdot volt$	**Design closed circuit potential Seawater** *(DNV-6.6.2)*
$E_c := -0.80 \cdot volt$	**Design protective potential water** *(DNV-5.4.1)*
$E_{c3} := -0.90 \cdot volt$	**Design protective potential mud** *(DNV-5.4.2)*

Coating parameters:

(coating factors of 1 are equivalent with no coating - i.o.w. bare steel surface)
(Design life of coating system assumed to be at least equal to cathodic protection system)

Zone 1

$k_{1.1} := 0.02$ **Coating factor K1**

$k_{2.1} := 0.012$ **Coating factor K2**

Coating factor for calculations:

$f_{ca.1} := k_{1.1} + k_{2.1} \cdot \frac{Designlife}{2}$ $f_{ca.1} = 0.14$ $F_{ca.1} := (f_{ca.1} \;\; 1)$ $\min(F_{ca.1}) = 0.14$ average

$f_{ci.1} := k_{1.1}$ $f_{ci.1} = 0.02$ $F_{ci.1} := f_{ci.1}$ $F_{ci.1} = 0.02$ inital

$f_{cf.1} := k_{1.1} + k_{2.1} \cdot Designlife$ $f_{cf.1} = 0.26$ $F_{cf.1} := (f_{cf.1} \;\; 1)$ $\min(F_{cf.1}) = 0.26$ final

Zone 2

$k_{1.2} := 0.02$ **Coating factor K1**

$k_{2.2} := 0.012$ **Coating factor K2**

Coating factor for calculations:

$f_{ca.2} := k_{1.2} + k_{2.2} \cdot \frac{Designlife}{2}$ $f_{ca.2} = 0.14$ $F_{ca.2} := (f_{ca.2} \;\; 1)$ $\min(F_{ca.2}) = 0.14$ average

$f_{ci.2} := k_{1.2}$ $f_{ci.2} = 0.02$ $F_{ci.2} := f_{ci.2}$ $F_{ci.2} = 0.02$ inital

$f_{cf.2} := k_{1.2} + k_{2.2} \cdot Designlife$ $f_{cf.2} = 0.26$ $F_{cf.2} := (f_{cf.2} \;\; 1)$ $\min(F_{cf.2}) = 0.26$ final

Calculations:

Average anode requirement

$$I_{avg1} := \left[A_{zone1}\cdot\left(\min(F_{ca.1})\cdot\frac{A_{1\%}}{100} + \frac{100 - A_{1\%}}{100}\right)\right]\cdot i_{a1} \qquad I_{avg1} = 4.2\,\mathrm{amp}$$

$$M_{reqd1} := I_{avg1}\cdot Designlife\cdot\frac{8760\cdot hr}{u\cdot\varepsilon} \qquad M_{reqd1} = 348\,\mathrm{kg}$$

$$I_{avg2} := \left[A_{zone2}\cdot\left(\min(F_{ca.2})\cdot\frac{A_{2\%}}{100} + \frac{100 - A_{2\%}}{100}\right)\right]\cdot i_{a2} \qquad I_{avg2} = 5\,\mathrm{amp}$$

$$M_{reqd2} := I_{avg2}\cdot Designlife\cdot\frac{8760\cdot hr}{u\cdot\varepsilon} \qquad M_{reqd2} = 410\,\mathrm{kg}$$

$$n_{a1} := \frac{M_{reqd1}}{mass} \qquad n_{a1} = 28$$ **Req'd anodes zone 1**

$$n_{a2} := \frac{M_{reqd2}}{mass} \qquad n_{a2} = 33$$ **Req'd anodes zone 2**

Inital anode requirement

$S := \frac{(L + W)}{2}$ $S = 0.371\,m$ **Mean of length and width long flush 6.7.1**

$A := L \cdot W + 2 \cdot (L + W) \cdot H$ $A = 0.18\,m^2$ **Exposed anode surface area short flush anodes**

$$R_{ai} := \begin{cases} \frac{\rho}{2 \cdot S} & \text{if } \frac{L}{W} \geq 4 \wedge \frac{L}{H} > 4 \\ \frac{0.315 \cdot \rho}{\sqrt{A}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$R_{ai} = 0.404\,\Omega$ **Anode resistance** *(DNV-6.7.1)*

$I_{ai} := \frac{E_c - E_a}{R_{ai}}$ **Anode current output in seawater** $I_{ai} = 0.619\,A$

$I_{inital1} := \left[A_{zone1} \cdot \left(F_{ci.1} \cdot \frac{A_{1\%}}{100} + \frac{100 - A_{1\%}}{100}\right)\right] \cdot i_{i1}$ **Current requiremtn Z1** $I_{inital1} = 2.3\,A$

$I_{inital2} := \left[A_{zone2} \cdot \left(F_{ci.2} \cdot \frac{A_{2\%}}{100} + \frac{100 - A_{2\%}}{100}\right)\right] \cdot i_{i2}$ **Current requiremtn Z2** $I_{inital2} = 2.7\,A$

$n_{i1} := \frac{I_{inital1}}{I_{ai}}$ **Req'd anodes zone 1** $n_{i1} = 4$

$n_{i2} := \frac{I_{inital2}}{I_{ai}}$ **Req'd anodes zone 2** $n_{i2} = 4$

Final anode requirement

$mass_{final} := mass \cdot (1 - u)$ — $mass_{final} = 1.86\,kg$ — **Depleted mass**

$\gamma_{anode} := \frac{mass}{H \cdot W \cdot L}$ — $\gamma_{anode} = 2284.9\,\frac{kg}{m^3}$ — **Anode density**

$L_{final} := L - (0.1 \cdot u \cdot L)$ — $L_{final} = 554\,mm$ — **Depleted length**

$A_{crossf} := \frac{mass_{final}}{\gamma_{anode} \cdot L_{final}}$ — $A_{crossf} = 14.7\,cm^2$ — **Final cross section long flush anodes**

$r_{final} := \sqrt{\frac{2A_{crossf}}{\pi}}$ — $r_{final} = 31\,mm$ — **Radius final semi cylinder**

$S_{final} := \frac{L_{final} + 2 \cdot r_{final}}{2}$ — $S_{final} = 307\,mm$ — **Mean of final length and width (6.7.1)**

$A_f := W \cdot L$ — $A_f = 0.083\,m^2$ — **Exposed Area for short flush anodes**

$$R_{af} := \begin{cases} \frac{\rho}{2 \cdot S_{final}} & \text{if } \frac{L}{W} \geq 4 \wedge \frac{L}{H} > 4 \\ \frac{0.315 \cdot \rho}{\sqrt{A_f}} & \text{otherwise} \end{cases} \qquad R_{af} = 0.488\,\Omega$$

$I_{af} := \frac{E_c - E_a}{R_{af}}$ — **Anode current output** — $I_{af} = 0.512\,A$

$$I_{final1} := \left[A_{zone1} \cdot \left(\min(F_{cf.1}) \cdot \frac{A_{1\%}}{100} + \frac{100 - A_{1\%}}{100}\right)\right] \cdot i_{f1}$$

Current requiremtn Z1 — $I_{final1} = 9.4\,A$

$$I_{final2} := \left[A_{zone2} \cdot \left(\min(F_{cf.2}) \cdot \frac{A_{2\%}}{100} + \frac{100 - A_{2\%}}{100}\right)\right] \cdot i_{f2}$$

Current requiremtn Z2 — $I_{final2} = 11.2\,A$

$n_{f1} := \frac{I_{final1}}{I_{af}}$ — **Req'd anodes zone 1** — $n_{f1} = 18$

$n_{f2} := \frac{I_{final2}}{I_{af}}$ — **Req'd anodes zone 2** — $n_{f2} = 22$

Summary of required anodes:

$Zone1 := (n_{a1}\ \ n_{i1}\ \ n_{f1})$ $\max(Zone1) = 28$

$Zone2 := (n_{a2}\ \ n_{i2}\ \ n_{f2})$ $\max(Zone2) = 33$

$AnodesTotal := \max(Zone1) + \max(Zone2)$ $\boxed{AnodesTotal = 61}$

$AnodesTotal \cdot mass = 758\,kg$

Input parameter sheet:

Note: a) A flush mounted anode is assumed for the calculations.

Parameters for structure:

$A_{zone1} := 218 \cdot m^2$ **Zone 1 Fr 3-6**

$A_{1\%} := 97.5$ **Percentage zone 1 coated**

$A_{zone2} := 206 \cdot m^2$ **Zone 2 Fr 4-5**

$A_{2\%} := 97.5$ **Percentage zone 2 coated**

Parameters of anode:

$L := 0.605 \cdot m$ **Anode length**

$W := 0.138 \cdot m$ **Anode avg width**

$H := 0.065 \cdot m$ **Anode height**

$mass := 12.4 \cdot kg$ **Anode nett weight**

$\varepsilon := 2500 \cdot amp \cdot hr \cdot kg^{-1}$ **Electrochemical efficiency**

$Designlife := 20$ **Design life (years)**

$$u := \begin{cases} 0.85 & \text{if } \frac{L}{W} \geq 4 \wedge \frac{L}{H} \geq 4 \\ 0.80 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$u = 0.85$ **Anode utilization factor**

Current requirements *(DNV RP B401)*

Zone1:	Zone 2:	
$i_{a1} := 0.100 \cdot \frac{A}{m^2}$	$i_{a2} := 0.100 \cdot \frac{A}{m^2}$	**Average requirement**
$i_{i1} := 0.200 \cdot \frac{A}{m^2}$	$i_{i2} := 0.200 \cdot \frac{A}{m^2}$	**Initial requirement**
$i_{f1} := 0.130 \cdot \frac{A}{m^2}$	$i_{f2} := 0.130 \cdot \frac{A}{m^2}$	**Final requirement**

Electrical parameters

$\rho := 0.30 \cdot \Omega \cdot m$ **Seawater resistivity**

$E_a := -1.05 \cdot volt$ **Design closed circuit potential Seawater** *(DNV-6.6.2)*

$E_c := -0.80 \cdot volt$ **Design protective potential water** *(DNV-5.4.1)*

$E_{c3} := -0.90 \cdot volt$ **Design protective potential mud** *(DNV-5.4.2)*

Coating parameters:

(coating factors of 1 are equivalent with no coating - i.o.w. bare steel surface)
(Design life of coating system assumed to be at least equal to cathodic protection system)

Zone 1

$k_{1.1} := 0.02$ **Coating factor K1**

$k_{2.1} := 0.012$ **Coating factor K2**

Coating factor for calculations:

$f_{ca.1} := k_{1.1} + k_{2.1} \cdot \frac{Designlife}{2}$ $f_{ca.1} = 0.14$ $F_{ca.1} := \left(f_{ca.1} \quad 1 \right)$ $\min(F_{ca.1}) = 0.14$ average

$f_{ci.1} := k_{1.1}$ $f_{ci.1} = 0.02$ $F_{ci.1} := f_{ci.1}$ $F_{ci.1} = 0.02$ inital

$f_{cf.1} := k_{1.1} + k_{2.1} \cdot Designlife$ $f_{cf.1} = 0.26$ $F_{cf.1} := \left(f_{cf.1} \quad 1 \right)$ $\min(F_{cf.1}) = 0.26$ final

Zone 2

$k_{1.2} := 0.02$ **Coating factor K1**

$k_{2.2} := 0.012$ **Coating factor K2**

Coating factor for calculations:

$f_{ca.2} := k_{1.2} + k_{2.2} \cdot \frac{Designlife}{2}$ $f_{ca.2} = 0.14$ $F_{ca.2} := \left(f_{ca.2} \quad 1 \right)$ $\min(F_{ca.2}) = 0.14$ average

$f_{ci.2} := k_{1.2}$ $f_{ci.2} = 0.02$ $F_{ci.2} := f_{ci.2}$ $F_{ci.2} = 0.02$ inital

$f_{cf.2} := k_{1.2} + k_{2.2} \cdot Designlife$ $f_{cf.2} = 0.26$ $F_{cf.2} := \left(f_{cf.2} \quad 1 \right)$ $\min(F_{cf.2}) = 0.26$ final

Calculations:

Average anode requirement

$I_{avg1} := \left[A_{zone1} \cdot \left(\min(F_{ca.1}) \cdot \frac{A_{1\%}}{100} + \frac{100 - A_{1\%}}{100}\right)\right] \cdot i_{a1}$ $I_{avg1} = 3.5\,amp$

$M_{reqd1} := I_{avg1} \cdot Designlife \cdot \frac{8760 \cdot hr}{u \cdot \varepsilon}$ $M_{reqd1} = 290\,kg$

$I_{avg2} := \left[A_{zone2} \cdot \left(\min(F_{ca.2}) \cdot \frac{A_{2\%}}{100} + \frac{100 - A_{2\%}}{100}\right)\right] \cdot i_{a2}$ $I_{avg2} = 3.3\,amp$

$M_{reqd2} := I_{avg2} \cdot Designlife \cdot \frac{8760 \cdot hr}{u \cdot \varepsilon}$ $M_{reqd2} = 274\,kg$

$n_{a1} := \frac{M_{reqd1}}{mass}$ $n_{a1} = 23$ **Req'd anodes zone 1**

$n_{a2} := \frac{M_{reqd2}}{mass}$ $n_{a2} = 22$ **Req'd anodes zone 2**

Inital anode requirement

$S := \frac{(L + W)}{2}$ $S = 0.371\,m$ **Mean of length and width long flush 6.7.1**

$A := L \cdot W + 2 \cdot (L + W) \cdot H$ $A = 0.18\,m^2$ **Exposed anode surface area short flush anodes**

$R_{ai} := \begin{cases} \frac{\rho}{2 \cdot S} & \text{if } \frac{L}{W} \geq 4 \wedge \frac{L}{H} > 4 \\ \frac{0.315 \cdot \rho}{\sqrt{A}} & \text{otherwise} \end{cases}$ $R_{ai} = 0.404\,\Omega$ **Anode resistance** *(DNV-6.7.1)*

$I_{ai} := \frac{E_c - E_a}{R_{ai}}$ **Anode current output in seawater** $I_{ai} = 0.619\,A$

$I_{inital1} := \left[A_{zone1} \cdot \left(F_{ci.1} \cdot \frac{A_{1\%}}{100} + \frac{100 - A_{1\%}}{100} \right) \right] \cdot i_{i1}$ **Current requiremtn Z1** $I_{inital1} = 1.9\,A$

$I_{inital2} := \left[A_{zone2} \cdot \left(F_{ci.2} \cdot \frac{A_{2\%}}{100} + \frac{100 - A_{2\%}}{100} \right) \right] \cdot i_{i2}$ **Current requiremtn Z2** $I_{inital2} = 1.8\,A$

$n_{i1} := \frac{I_{inital1}}{I_{ai}}$ **Req'd anodes zone 1** $n_{i1} = 3$

$n_{i2} := \frac{I_{inital2}}{I_{ai}}$ **Req'd anodes zone 2** $n_{i2} = 3$

Final anode requirement

$mass_{final} := mass \cdot (1 - u)$	$mass_{final} = 1.86\,kg$	**Depleted mass**
$\gamma_{anode} := \dfrac{mass}{H \cdot W \cdot L}$	$\gamma_{anode} = 2284.9\,\dfrac{kg}{m^3}$	**Anode density**
$L_{final} := L - (0.1 \cdot u \cdot L)$	$L_{final} = 554\,mm$	**Depleted length**
$A_{crossf} := \dfrac{mass_{final}}{\gamma_{anode} \cdot L_{final}}$	$A_{crossf} = 14.7\,cm^2$	**Final cross section long flush anodes**
$r_{final} := \sqrt{\dfrac{2A_{crossf}}{\pi}}$	$r_{final} = 31\,mm$	**Radius final semi cylinder**
$S_{final} := \dfrac{L_{final} + 2 \cdot r_{final}}{2}$	$S_{final} = 307\,mm$	**Mean of final length and width (6.7.1)**
$A_f := W \cdot L$	$A_f = 0.083\,m^2$	**Exposed Area for short flush anodes**

$$R_{af} := \begin{cases} \dfrac{\rho}{2 \cdot S_{final}} & \text{if } \dfrac{L}{W} \geq 4 \wedge \dfrac{L}{H} > 4 \\ \dfrac{0.315 \cdot \rho}{\sqrt{A_f}} & \text{otherwise} \end{cases} \qquad R_{af} = 0.488\,\Omega$$

$$I_{af} := \frac{E_c - E_a}{R_{af}}$$

Anode current output $I_{af} = 0.512\,A$

$$I_{final1} := \left[A_{zone1} \cdot \left(\min(F_{cf.1}) \cdot \frac{A_{1\%}}{100} + \frac{100 - A_{1\%}}{100}\right)\right] \cdot i_{f1}$$

Current requiremtn Z1 $I_{final1} = 7.9\,A$

$$I_{final2} := \left[A_{zone2} \cdot \left(\min(F_{cf.2}) \cdot \frac{A_{2\%}}{100} + \frac{100 - A_{2\%}}{100}\right)\right] \cdot i_{f2}$$

Current requiremtn Z2 $I_{final2} = 7.5\,A$

$$n_{f1} := \frac{I_{final1}}{I_{af}}$$

Req'd anodes zone 1 $n_{f1} = 15$

$$n_{f2} := \frac{I_{final2}}{I_{af}}$$

Req'd anodes zone 2 $n_{f2} = 15$

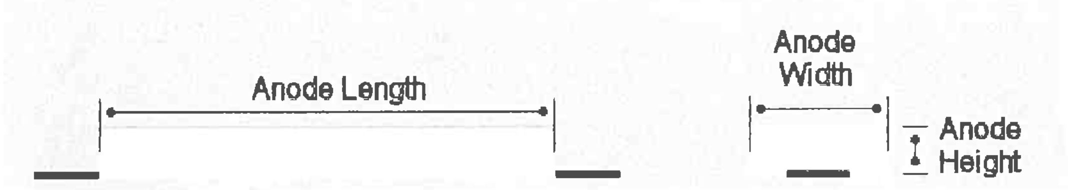
Summary of required anodes:

$\text{Zone1} := \left(n_{a1} \;\; n_{i1} \;\; n_{f1} \right)$ $\max(\text{Zone1}) = 23$

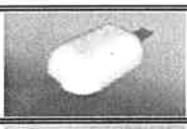
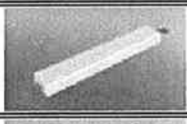
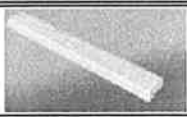
$\text{Zone2} := \left(n_{a2} \;\; n_{i2} \;\; n_{f2} \right)$ $\max(\text{Zone2}) = 22$

$\text{AnodesTotal} := \max(\text{Zone1}) + \max(\text{Zone2})$ $\boxed{\text{AnodesTotal} = 46}$

$\text{AnodesTotal} \cdot \text{mass} = 565\,\text{kg}$



Attention is drawn to a variety of anode mountings in common use today.
When specifying a particular aluminium anodic material, the numbered code must be followed by the appropraite suffix, e.g. 13 XH..

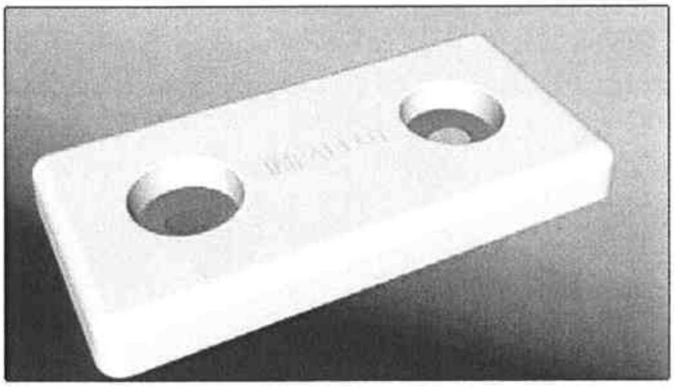
		Overall Dimensions (mm)			Anode Body (mm)			Weights (kg)	
Anode Type XH AH	View	Length	Width	Depth	Length	Width	Depth	Net	Gross
13		254	102	38	152	102	38	1.3	1.6
28		394	127	32	318	127	32	2.8	3.5
36		457	152	32	355	152	32	3.6	4.5
63		826	85	49	610	85	49	6.3	7.8
76		826	102	49	610	102	49	7.6	9.1
93		826	140	43	610	140	43	9.3	10.8
124		826	138	65	605	138	65	12.4	13.9
200		826	286	80	838	133	80	20.0	22.5
320		1422	152	64	1219	152	64	32.0	35.4
352		1435	175	65.5	1219	175	65.5	35.2	38.6

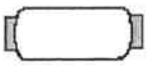
All weights and dimensions are nominal subject to variation in material densities.
The standard anode illustrated above can be produced in various configurations
Alternative configurations may be cast to requirements.

MV036P-PE-MAR-4500

Specification Code	Impalloy III XH	Alanode AH
Fe	0.12 max	0.13 max
Si	0.10 max	0.10 max
Cu	0.006 max	0.01 max
Zn	2.8 - 6.5	0.5 - 5.0
In	0.01 - 0.02	0.005 - 0.05
Ti	0.025 max	0.025 max
Ga	0.005 - 0.020	0.005 - 0.020
Others (each)	0.02 max	0.02 max
Aluminiun	Remainder	Remainder
Potential Ag/AgCl	-1.05 Volts	-1.05 Volts
Min Capacity ampere hours*	2500	2500

* Based on extrapolations of various data including simulated deep ocean studies and seawater trials.



		Overall Dimensions (mm)			Anode Body (mm)			Weights (kg)	
Anode Type	View	Length	Width	Depth	Length	Width	Depth	Net	Gross
28ZH		238	83	41	171	83	41	2.8	2.9
41ZH		381	76	38	305	76	38	4.1	4.5
55ZH		440	90	40	330	90	40	5.5	6.1
86ZH		458	152	32	356	152	32	8.6	9.6
141ZH		557	100	62	457	100	62	14.1	15.0

MV036P-PE-MAR-4500