



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Korrosion, Beskyttelse og Levetid

Rapportnr 932279



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Korrosion, Beskyttelse og Levetid

RAPPORTNR 932279

Udarbejdet for:
Triplan International A/S
Industriskellet 12
2635 Ishøj

Udarbejdet af:
Teknologisk Institut
Kongsvang Allé 29
8000 Aarhus C
Industriel materialeteknologi
Telefon 72202000
www.Teknologks.dk

Dato for rapporten 23 juni 2020

Benjamin Bjørke
Forretningsleder

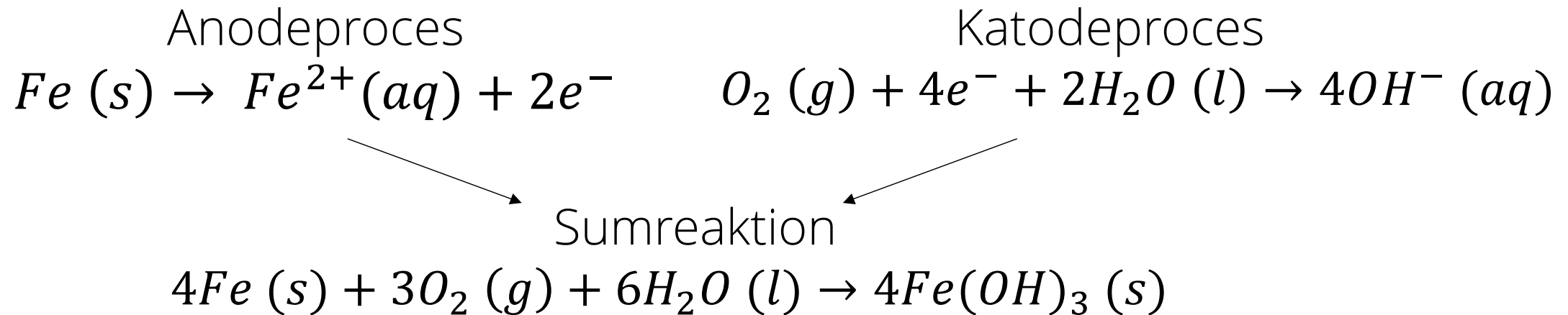


Hvad er korrosion?

TEKNOLOGISK
INSTITUT

Hvad og hvordan?

"Korrosion er en kemisk opløsning af et metal som funktion af en reaktion mellem metallet og dets omgivelser"





Hvordan genkender vi korrosionstyper?

TEKNOLOGISK
INSTITUT

Korrosionstyper

Genkendelse – hvordan ser det ud?

Miljø – hvorfor sker det?

Materialer – hvilke materialer er særligt udsatte?



[Kilde](#)



[Kilde](#)



[Kilde](#)



Hvordan genkender vi korrosionstyper?

TEKNOLOGISK
INSTITUT

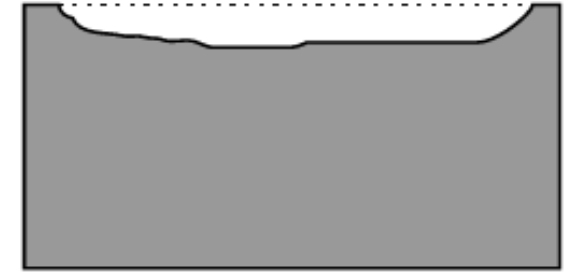
Fladetæring

ENG: Uniform corrosion

Udseende: Jævn fordelt korrosion

Miljø: Atmosfærisk korrosion samt syre

Materialer: Jern, zink, aluminium



Kilde: Handbook of Corrosion Engineering, Pierre R. Roberge



[Kilde](#)



Hvordan genkender vi korrosionstyper?

TEKNOLOGISK
INSTITUT

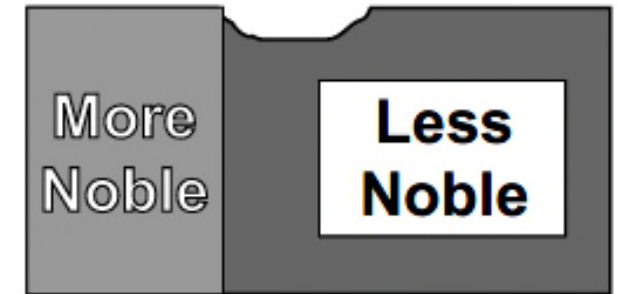
Galvanisk korrosion

ENG: Galvanic corrosion

Udseende: Lokal tæring på grund af kobling mellem ædelt og uædelt metal.

Miljø: $\Delta E_{korr} > 100 \text{ mV}$ eller $A_{Anode} \ll A_{Katode}$

Materialer: Alle



Kilde: Handbook of Corrosion Engineering, Pierre R. Roberge

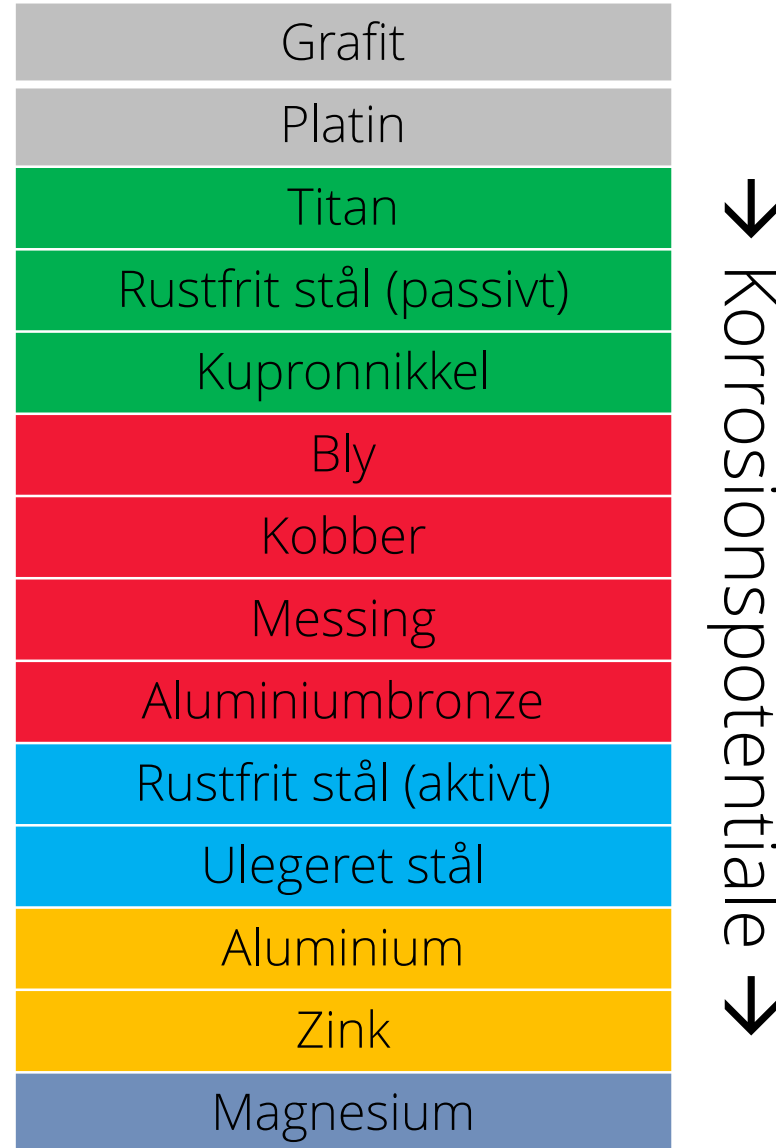


[Kilde](#)



Hvordan genkender vi korrosionstyper?

TEKNOLOGISK
INSTITUT



 Hvordan genkender vi korrosionstyper?

TEKNOLOGISK
INSTITUT

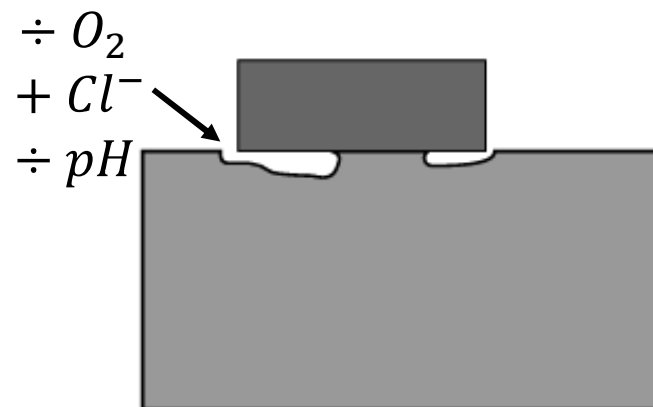
Spaltekorrosion

ENG: Crevice corrosion

Udseende: Lokal korrosion i revner og samlinger

Miljø: Iltkoncentrationscelle => fald i pH => øget anodereaktion

Materialer: Ofte rustfrit stål, aluminium, nikkel og krom



Kilde: Handbook of Corrosion Engineering, Pierre R. Roberge



Kilde



Kilde



Hvordan genkender vi korrosionstyper?

TEKNOLOGISK
INSTITUT

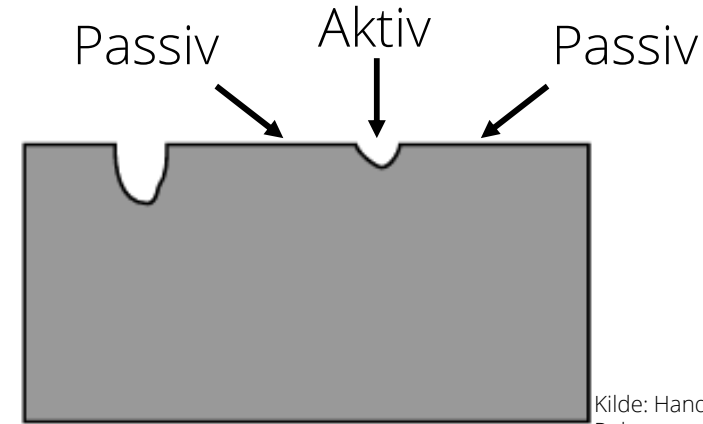
Grubetæringer

ENG: Pitting corrosion

Udseende: Lokal dybtgående korrosion

Miljø: Nedbrydning af passivfilm => galvanisk korrosion

Materialer: Særligt rustfrit stål, aluminium og krom



Kilde: Handbook of Corrosion Engineering, Pierre R. Roberge



Kilde



Kilde



Hvordan genkender vi korrosionstyper?

TEKNOLOGISK
INSTITUT

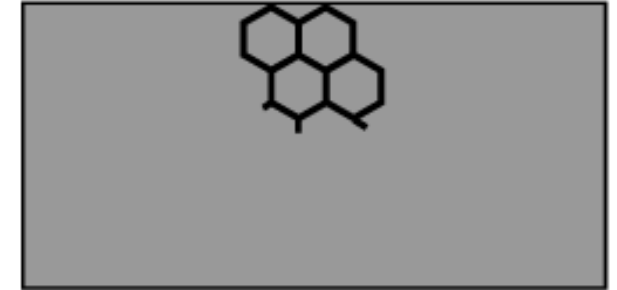
InterkrySTALLINSK korrosion

ENG: Intercrystalline corrosion

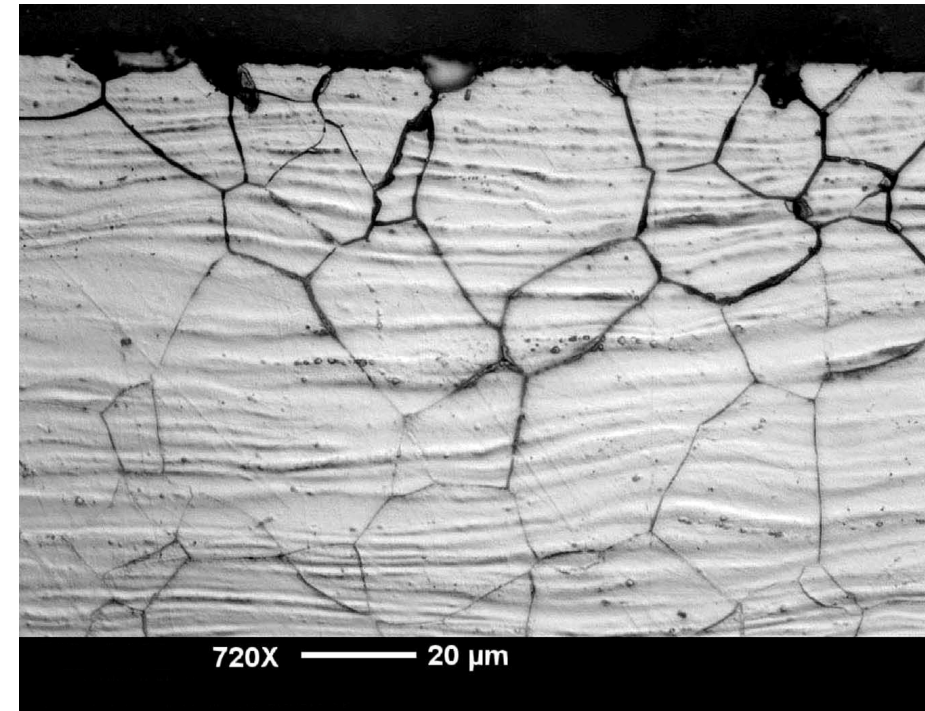
Udseende: Svækkelse af korngrænserne

Miljø: U hensigtsmæssig varmebehandling => galvanisk korrosion

Materialer: Højt legeret stål, messing, elgalvanisering af stål



Kilde: Handbook of Corrosion Engineering, Pierre R. Roberge



Kilde



Hvordan beskytter vi os mod korrosion?

TEKNOLOGISK
INSTITUT

Korrosionsbeskyttelse

1. Ændring af korrosionsmediet
2. Overfladebelægning
3. Ændring af metallets korrosionspotentiale
4. Reaktionshæmmende tillegninger til metallet



Hvordan beskytter vi os mod korrosion?

TEKNOLOGISK
INSTITUT

Ændring af miljøet

- Udtørring
- Fjernelse af ilt (afiltning) eller brint (alkalisering)
- Fjerne passivnedbrydende stoffer



Hvordan beskytter vi os mod korrosion?

TEKNOLOGISK
INSTITUT

Overfladebeskyttelse

Uorganisk

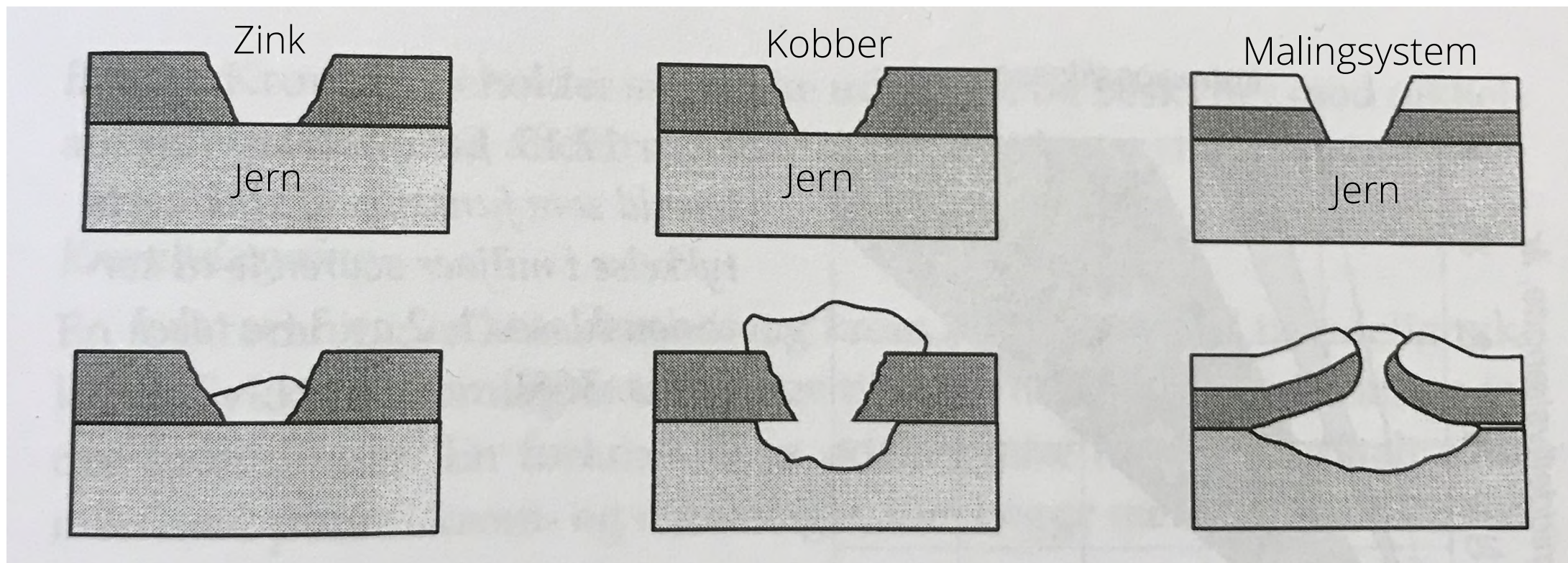
- Metallisk
 - Zink, tin, kobber, nikkel, krom mm.
- Keramisk
 - Emalje (glas)

Organisk

- Maling
 - Præparering, malingsystem, vedligehold
- Polymer/gummi
 - Elektrisk isolering

Hvordan beskytter vi os mod korrosion?

TEKNOLOGISK
INSTITUT



Uædel på ædel

Ædel på uædel

Maling

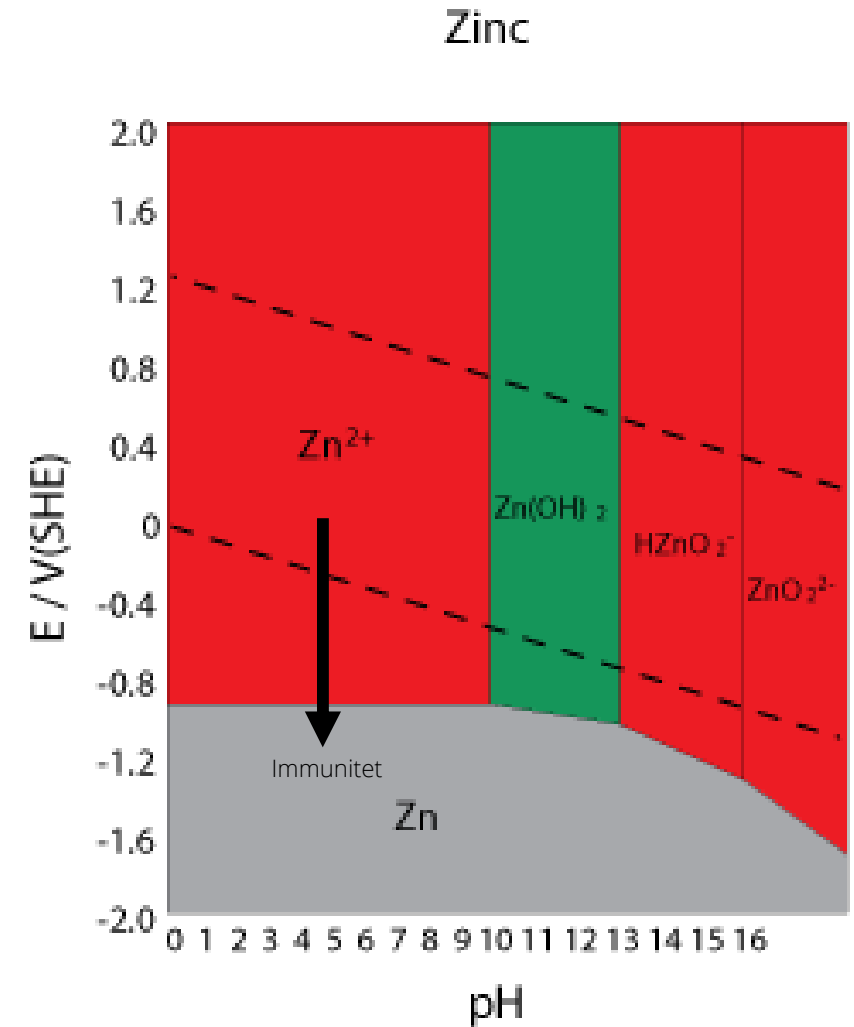


Hvordan beskytter vi os mod korrosion?

TEKNOLOGISK
INSTITUT

Ændring af korrosionspotentiale

- Forbindelse af emne til offeranode
- Direkte polarisering af til det immune område



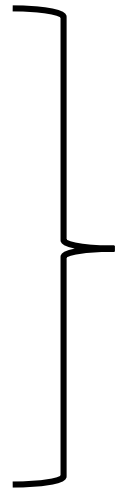


Hvordan beskytter vi os mod korrosion?

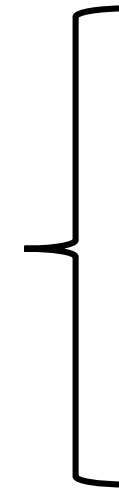
TEKNOLOGISK
INSTITUT

Legeringselementer

- Krom
- Nikkel
- Molybdæn
- Vanadium
- Kobber



Øget korrosionsbestandighed



- 254 SMO
- Super Duplex
- Inconel



Brugbare standarder

- DS/EN ISO 9223/24/25/26 Korrosion af metaller og legeringer
 - Definerer korrosionsklasser og korrosionshastigheder for de mest almindelige konstruktionsmaterialer
- DS/EN ISO 12944 Malinger og lakker
 - Beskrivelse af malingsystemer og forventelig opnåelig korrosionsbeskyttelse
- DS/EN ISO 1461 Varmforzinkning
 - Produktionsguide for varmgalvanisering af stålprodukter
- DS/EN ISO 10713 Zinkbelægninger
 - Retningslinjer og anbefalinger for korrosionsbeskyttelse af jern og stål
- DS/EN 1993-1-4:2006/A1:1015 tabel A.2 Stålkonstruktioner
 - Bilag omkring estimering af korrosionsklasser for stålkonstruktioner baseret på lokation og miljø



Korrosionsklasser og -standarder

TEKNOLOGISK
INSTITUT

Korrosionskategori	Korrosivitet	Typisk miljø (Udendørs)
C1	Meget lav	Tør eller kold zone, atmosfærisk miljø med meget lav forurening og tid udsat for fugt. F.eks. nogle ørkener.
C2	Lav	Tempereret zone, atmosfærisk miljø med lav forurening ($\text{SO}_2 < 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Tør eller kold zone, atmosfærisk miljø med kort tid udsat for fugt. F.eks. landligt område eller mindre byer.
C3	Middel	Tempereret zone, atmosfærisk miljø med middel forurening (SO_2 : $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ til $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) eller nogen effekt af klorider. F.eks. storbyer eller kystområder med lav udfældning af klorider.
C4	Høj	Tempereret zone, atmosfærisk miljø med høj forurening (SO_2 : $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ til $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$) eller væsentlig påvirkning af klorider. F.eks. forurenede storbyområder, industri eller kystnære områder uden havvandssprøjt.
C5	Meget høj	Tempereret eller subtropisk zone, atmosfærisk miljø med meget høj forurening (SO_2 : $91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ til $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$) og/eller markant påvirkning af klorider. F.eks. industri, kystnære områder, bebyggelse/konstruktioner på/ved kystlinjen.
CX	Ekstrem	Subtropisk og tropisk zone (meget lang tid udsat fugt), atmosfærisk miljø med meget høj forurening (SO_2 højere end $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$). inkl. ledsagende produktionsfaktorer og/eller stærk effekt af klorider. F.eks. tung industri, kyst og offshore områder med saltsprøjt.



Korrosionsklasser og -standarder

TEKNOLOGISK
INSTITUT

Korrosionsklasse	Enhed	Kulstof stål	Zink	Kobber
C1	$\mu\text{m}/\text{år}$	<1,3	<0,1	<0,1
C2	$\mu\text{m}/\text{år}$	]1,3-25]	]0,1-0,7]	]0,1-0,6]
C3	$\mu\text{m}/\text{år}$	]25-50]	]0,7-2,1]	]0,6-1,3]
C4	$\mu\text{m}/\text{år}$	]50-80]	]2,1-4,2]	]1,3-2,8]
C5	$\mu\text{m}/\text{år}$	]80-200]	]4,2-8,4]	]2,8-5,6]
CX	$\mu\text{m}/\text{år}$	]200-700]	]8,4-25]	]5,6-10]

DS/EN ISO 9224:2012. Udklip fra Tabel 2. Første års korrosionshastigheder for forskellige korrosionsklasser



Korrosionsklasser og -standarder

TEKNOLOGISK
INSTITUT

Metal	Korrosionsklasse	Eksponerings-tid [år]					
		1	2	5	10	15	20
Kulstof stål	C1	1,3	1,9	3,0	4,3	5,4	6,2
	C2	25	36	58	83	103	120
	C3	50	72	116	167	206	240
	C4	80	115	186	267	330	383
	C5	200	287	464	667	824	958
	CX	700	1006	1624	2334	2885	3354
Zink	C1	0,1	0,2	0,4	0,6	0,9	1,1
	C2	0,7	1,2	2,6	4,5	6,3	8,0
	C3	2,1	3,7	7,8	13,6	19,0	24,0
	C4	4,2	7,4	15,5	27,3	38,0	48,0
	C5	8,4	14,3	31,1	54,6	75,9	95,9
	CX	25	44	93	162	226	286
Kobber	C1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7
	C2	0,6	1,0	1,8	2,8	3,6	4,4
	C3	1,3	2,1	3,8	6,0	7,9	9,6
	C4	2,8	4,4	8,2	13,0	17,0	20,6
	C5	5,6	8,9	16,4	13,0	34,1	41,3
	CX	10	16	29	26,0	61	74

DS/EN ISO 9224:2012 Annex A. Tabel A.2. Eksempel på maksimal korrosion efter forlænget eksponering for forskellige korrosionskategorier. Alle tal er opgivet i μm



Korrosionsklasser og -standarder

TEKNOLOGISK
INSTITUT

F ₁ Risiko for eksponering af klorider fra havvand eller vejsalt		
M er afstand fra kystlinje og S er afstand fra veje med vejsalt		
1	Internt kontrollabelt miljø	
0	Lav risiko for eksponering	M > 10 km eller S > 0,1 km
-3	Medium risiko for eksponering	1 km < M ≤ 10 km eller 0,01 km ≤ S ≤ 0,1 km
-7	Høj risiko for eksponering	0,25 km < M ≤ 1 km eller S ≤ 0,01 km
-10	Meget høj risiko for eksponering	Vejtunnel hvor der bliver brugt vejsalt eller hvor biler aflejrer vejsalt
-10	Meget høj risiko for eksponering	M ≤ 0,25 km Nordsøkyst i Tyskland samt baltiske kyststrækninger
-15	Meget høj risiko for eksponering	M ≤ 0,25 km Alle kyststrækninger i UK, Norge, Danmark og Irland
F ₂ Risiko for eksponering af svovldioxid		
0	Lav risiko for eksponering	< 10 µg/m ³ gennemsnitlig gas koncentration
-5	Medium risiko for eksponering	10-90 µg/m ³ gennemsnitlig gas koncentration
-10	Høj risiko for eksponering	90-250 µg/m ³ gennemsnitlig gas koncentration
F ₃ Rengøring eller eksponering til regnvand (hvis F ₁ + F ₂ ≥ 0 så F ₃ = 0) (inden for en periode af 3 måneder)		
0	Fuld eksponering til regnvand	
-2	Begrænset eksponering til regnvand	
-7	Skærmet for/ingen eksponering til regnvand	

DS/EN 1993-1-4:2006/A1:1015 tabel A.2. Bestemmelse af corrosion resistance factor.

Corrosion Resistance Factor (CRF)	Corrosion Resistance Class (CRC)
CRF = 1	C1
0 ≥ CRF > -7	C2
-7 ≥ CRF > -15	C3
-15 ≥ CRF ≥ -20	C4
CRF < -20	C5

DS/EN 1993-1-4:2006/A1:1015 tabel A.1. Bestemmelse af corrosion resistance factor.



System	Standard	Minimum tykkelse [µm]	Minimum/maksimum levetid (år) Holdbarhedsklasse (VL, L, M, H, VH)							
			C3		C4		C5		CX	
Varmgalvanisering	ISO 1461	85	40/<100	VH	20/40	VH	10/20	H	3/10	M
		140	67/<100	VH	33/67	VH	17/33	VH	6/17	H
		200	95/<100	VH	48/95	VH	24/48	VH	8/24	H
Varmgalvaniseret plade	EN 10346	20	10/29	H	5/10	M	2/5	L	1/2	VL
		42	20/60	VH	10/20	H	6/10	M	2/5	L
Varmgalvaniseret rør	EN 10240	55	26/79	VH	13/26	H	7/13	H	2/7	L

ISO 14713-1:2017. Annex E. Udklip af Tabel 2. Levetid til første vedligeholdelse for udvalgte zink coating systemer