

Avtor: Povhe navtika, Tadej Povhe

OMEJITEV KOROZIJE NA PLOVILIH

Kovine lahko korodirajo na različne načine, ki so odvisni od zunanjih pogojev. Pod pojmom »potek korozije« razumemo predvsem hitrost korodiranja materiala na izbranem mestu, nalaganje produktov korozije na površini in odpadanje osnovnega materiala. Potek korozije zelo vpliva na končni izgled, oziroma na »obliko« površine korodirajočega materiala. Zato korozijske pogoje ter ustrezne pojavne oblike korozije pogosto klasificiramo pod skupnim imenom: oblike korozije, ki so sproženi v različnih pogojih in situacijah. Galvanska korozija je morda najbolj pomembna izmed vseh vrst korozije na plovilih, saj jo je težje prepoznati, povzroča pa velike poškodbe, zato jo moramo imeti ob izbiranju materiala pri gradnji plovila ves čas v mislih.

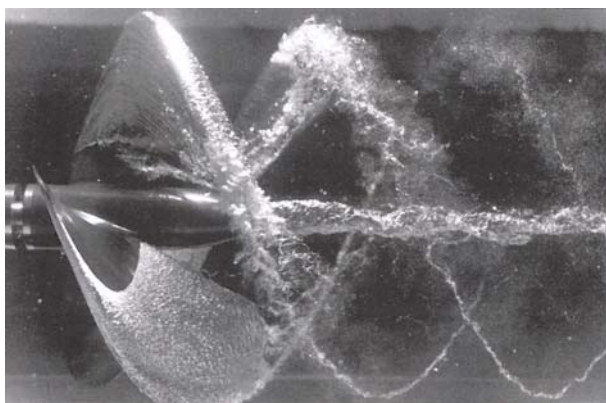
Ne glede na to pa je pomembno, da razumemo tudi druge vrste korozije, ki jih srečujemo na plovilih ali drugod v naravi.

V grobem ločimo:

- enakomerno korozijo
- jamičasto korozijo (angl. pitting)
- korozija, ki je posledica hitrostnih razmer in kavitacije
- galvansko korozijo
- elektrolitsko korozijo
- utrujenostno korozija (angl. corrosion fatigue)...

Enakomerna oz. splošna korozija je najpogostejša oblika korozije, kjer gradiva propadajo v globino materiala. Nastaja zaradi kemičnih in elektrokemičnih reakcij, ki se odvijajo enakomerno po celotni površini. Ni tako nevarna korozija, saj jo hitro opazimo in predvidimo njeno hitrost napredovanja v globino materiala. Na nekaterih mestih materiala se lahko enakomerno tanjšanje materiala pretvori v lokalno korodiranje, takrat govorimo o nastanku **jamičaste oz. luknjičaste korozije**. Vzrok za nastanek le-te je lahko različna vsebnost kisika na različnih področjih površine, neenakomerna razporeditev površinskih defektov, različna temperatura, nezveznost površinskih filmov in podobno.

Material pa lahko prične odpadati tudi zaradi posebnih hitrostnih razmer, ki povzročijo lokalno zmanjšanje tlaka medija. Zmanjšanje tlaka medija povzroči njegovo vrenje, pri čemer nastajajo mehurčki medija, ki implodirajo in pri tem s seboj odnašajo okoliški material. Omenjenemu pojavu pravimo kavitacija, ki se pogosto pojavlja pri ladijskih vijakih, bodisi zaradi neprimernih dimenzij, hitrostni razmer in oblik vijaka. Intuitivno je razumljivo, da na intenzivnost obrabe materiala vplivajo tudi hitrostne razmere medija, saj v splošnem velja višja kot je hitrost medija bolj kovine korozijsko razpadajo. Posebno občutljivi oziroma hitrostno obremenjeni so deli plovila kjer hitrosti medija dosegajo izjemno visoke vrednosti kot so na primer zajemi hladilne vode, hladilne cevi raznih izmenjevalcev in izpušni sistemi. V teh primerih je uporaba čim bolj žlahtnih kovin (npr. nerjavno jeklo) nujna.



Slika 1: Kavitacija propelerja

Galvanska korozija nastane zaradi stika dveh različnih kovin v elektrolitu. Čiste kovine so razvrščene po elektrokemijski napetostni vrsti, iz katere lahko ugotovimo, katera ima večjo tendenco do oksidacije oziroma redukcije. To pomeni, da dve kovini v stiku tvorita nekakšen galvanski člen, zaradi česar manj plemenita kovina (z manjšim potencialom) v stiku z bolj plemenito kovino (z večjim potencialom) običajno hitreje korodira, kot če stika ne bi bilo. Pri tem se generira napetost, ki je zadostna za svetenje male žarnice. Omenjeni pogoji, kjer imamo opravka z dvema različnima kovinama in prevodnim medijem (nastanek galvanskega člena v morski vodi) v navtiki skoraj vedno nastanejo, česar se pogosto niti ne zavedamo. Splošna pravila za omejevanje galvanske korozije na plovilih so naslednja:

- vsi deli naj bodo narejeni iz iste kovine ali litine
- če to ni mogoče, naj bodo pomembnejši, manjši deli iz bolj plemenitega materiala oziroma je potrebno različne materiale električno medsebojno izolirati.
- zagotoviti je potrebno zadostno površino kovine oziroma materiala, za katerega se predvideva korozija, s čimer razpršimo korozijsko delovanje na večjo površino in zmanjšamo intenzivnost korozijskega procesa na enoto površine.
- zagotoviti je potrebno čim manjšo površino kovine, ki jo ščitimo in s tem omejiti korozijo v čim večji meri bodisi s premazom ali električno izolacijo (npr. ustreznega gumi podložka).

Izjemnega pomena je, da za pritrjevanje pomembnih delov uporabljamo vijake in druge spojne elemente, ki so narejeni iz materiala, ki je galvansko čim bolj inerten. V splošnem velja pravilo, da naj bodo vijaki izdelani iz istega materiala kot osnovni material oziroma iz bolj plemenitega. V Tabeli št. 1. prikazujemo kombinacije materialov, ki so primerni za pritrjevanje fittingov s pritrjevalnimi elementi različnih materialov.

Tabela št. 1. Ustrezne kombinacije materialov.

Fitting	spenjalni element (vijak)							
	pocinkano	Al	prevlečeno s kadmijem	jeklo	medenina ₁ , bron	Monel	Type 304	Type 316
pocinkano	N	? ₃	C ₃	C	x	x	C ₄	C ₄
Al-litina	C ₈	N	C ₈	C ₄	x	C ₄	C ₄	C ₄
prevlečeno s kadmijem	x	x	N	C	x	C ₄	C ₄	C ₄
jeklo, železo	x	x	? ₂	N	C ₄	C ₄	C	C
medenina,	x	x		x	N ₁	C	C	C

bron								
90/10 baker/nikelj	x	x	x	x	x	C	C	C
svinec	x	x	x	x	C ₆	C	C	C
70/30 baker / nikelj	x	x	x	x	x	C	C	C
Monel	x	x	x	x	x ₇	N	? ₅	? ₅
Type 304	x	x	x	x	x ₇	C	N	? ₅
Type 316	x	x	x	x	x ₇	? ₅	? ₅	N

N- nevtralnno

x – nekompatibilno, pojavlja se močna korozija vijaka

C - kompatibilno

1- vključuje aluminij bron, silicijev bron, vse medenine, baker, manganov bron

2- prevleka kmalu izgine

3- priporoča se uporaba galvaniziranega

4- lahko prihaja do lokalne korozije fitinga okoli vijaka

5- večja možnost razjedanja oz. tvorjenja jamic pod glavo

6- svinec je relativno inerten material, kar se tiče korozije

7- priporočamo uporabo enakega materiala tako fitinga kot vijaka

Pogosto pa se med laiki zamenjuje galvanska in elektrolitska korozija. **Elektrolitska korozija** se pojavi kot posledica električnega toka, ki izvira iz zunanega vira, zelo pogosto iz npr. akumulatorja ali iz obalne električne napeljave. Vzrok nastanka električnega toka, ki ga imenujemo »blodeči tok« je pogosto slabo ozemljena ali napačno napeljana električna inštalacija. V primeru elektrolitske korozije so lahko materiali enaki ali pa različni, pri čemer vedno eden deluje kot anoda, drugi pa kot katoda. Poškodbe, ki nastanejo so lahko izjemno velike, saj blodeči tokovi lahko izvirajo iz več virov, korozija pa je z velikostjo toka premo sorazmerna. Ukrepi povezani z preprečevanjem elektrolitske korozije so v tesni povezavi z dobro električno napeljavo, kjer se v nobenem primeru ne sme uporabljati ohišja plovila kot sredstva za sklenitev električnega kroga (kot npr. pri avtomobilih), zato je dvožična napeljava pri enosmernem toku nujna. V primeru večjih plovil, kjer imamo opraviti tudi z visokimi in izmeničnimi napetostmi (npr. električni generator) in drugo elektroniko, pa je iz vidika električne varnosti pomembno, da se izvede ozemljitev, vseh pomembnih delov na to imenovano žrtevno ploščo bolj znano kot »ground« ploščo. Omenjeno povezovanje posameznih pomembnih delov je v anglosaški literaturi poznano pod imenom »bonding«.

Utrujenostna korozija je rezultat delovanja sile v korozivnem okolju. Utrujenje materiala povzroči prelom pasivne plasti materiala, s čimer se povečuje hitrost korozijskega procesa. Večina materialov ima v korozivnem mediju slabše lastnosti kot na primer na suhem zraku, zato se v primeru utrujenostne korozije srečamo s hitrimi in nenadnimi lomi materiala, ki so še toliko bolj nevarni zaradi nepredvidljivosti.

Na plovilih imamo opraviti z vsemi opisanimi vrstami korozije, najpogostejša in v mnogih primerih neizogibna pa je galvanska korozija. Izjemno težko je namreč doseči, da bi bili vsi kovinski elementi izdelani iz enake kovine, saj edino v tem primeru ne bili izpostavljeni galvanski koroziji. Zaradi različnih razlogov pa pogosto ne moremo v celoti upoštevati niti zgoraj navedenih splošnih navodil za preprečevanje galvanske korozije, zato za omejevanje galvanske korozije uporabljamo metodo katodne zaščite.

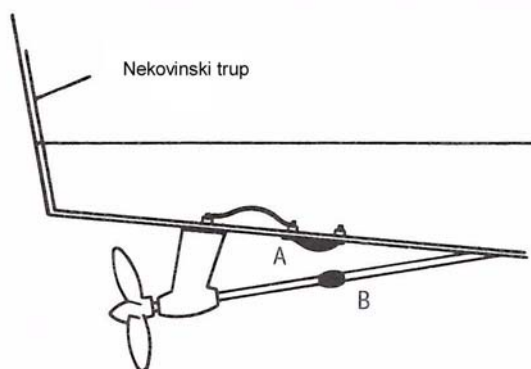
Metoda katodne zaščite

Korozijo lahko zmanjšamo ali v celoti zaustavimo s primerno katodno zaščito. Površina, ki jo ščitimo pridobi katodni značaj, na primer tako, da za anodo, ki jo vežemo v električni krog s katodo, uporabimo material, ki je bolj elektronegativen oziroma je v elektronapetostni vrsti pozicioniran bolj desno od tistega, ki ga želimo zaščititi. Z namestitvijo anode vrinemo električni tok, ki je ravno nasproten toku, ki teče v primeru galvanskega člana. Električni tok je namreč tisti, ki bodisi povzroča ali zavira korozijo. Opisani sistem je sistem katodne zaščite z žrtevno anodo, električni tok ki preprečuje korozijo pa lahko vrinemo tudi z umetnim zunanji električnim virom kot na primer z elektroniko iz akumulatorja ali preko ločilnega transformatorja iz obalnega omrežja. Slednji sistemi omogočajo tudi natančno regulacijo toka, s katerim ščitimo katodo, tovrstni sistemi pa se uporabljajo pri večjih in kompleksnejših plovilih. Ob izpadu toka oziroma napajanja v teh primerih plovilo ostane nazaščiten (npr. izprazenjen akumulator).

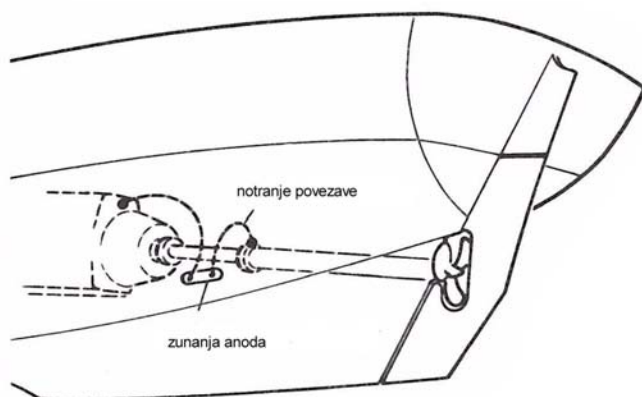
Ne glede na vsa pa je katodna zaščita z žrtvenimi anodami še vedno najbolj razširjena zaščita plovil, saj so stroški v povezavi s tem razmeroma majhni oziroma zanemarljivi s škodo, ki lahko nastane v kolikor je zaščita slaba. Pri zaščiti z žrtvenimi anodami moramo paziti na naslednje:

- zagotoviti moramo dober kontakt med žrtevno anodo in katodo, ki jo ščitimo (varjenje pri železnih plovilih oz. električne povezave), saj so napetosti razmeroma majhne
- izbrati zadostno količino anod
- pravilno namestiti ali razporediti anode
- izbrati pravo vrsto anode (cinkovo, aluminijasto, magnezijevo)

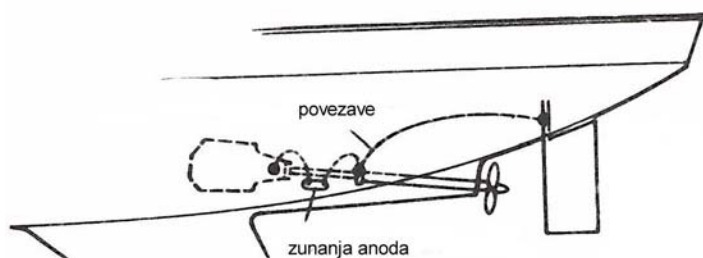
Povezovanje kovinskih delov z žrtvenimi anodami pri različnih vrstah plovil



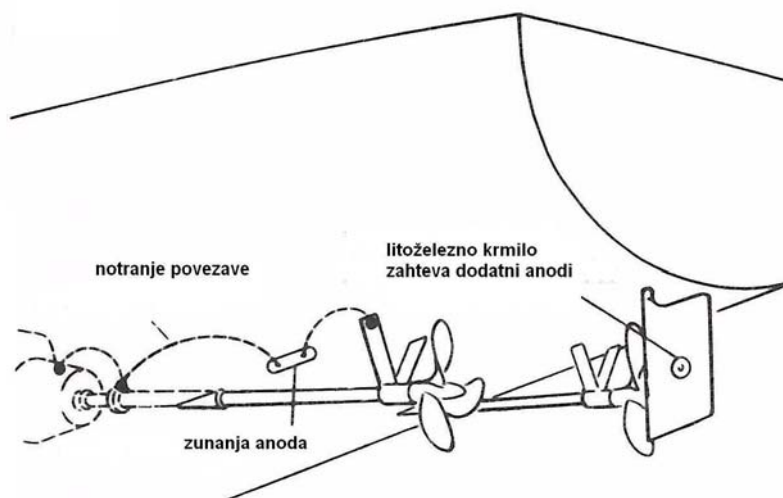
Slika 2: Enostavni primer katodne zaščite z anodami. Anoda A je z žico povezana na nosilec vijaka, anoda B pa je neposredno vijačena na gred plovila



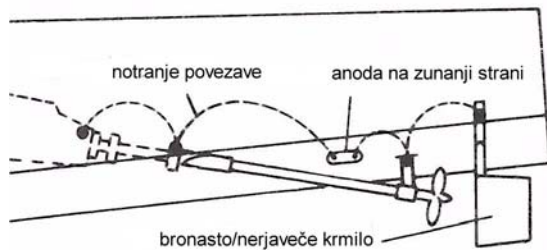
Slika 3: TIP 1 - Namestitev anod za lesena ali plastična plovila z majhno površinsko izpostavljenostjo pogonske gredi, propelerja in krmila iz litega železa slani vodi
 Omenjena plovila zahtevajo eno anodo nameščeno na spodnjem delu trupa za potrebe zaščite propelerja in pogonske gredi, in dve anodi na plovilu za potrebe krmila.



Slika 4: TIP 3 - Namestitev in povezovanje anod za lesena ali plastična plovila z majhno površinsko izpostavljenostjo pogonske gredi, propelerja in krmila iz bronu oz nerjavečega jekla



Slika 5: TIP 2 - Namestitev in povezovanje anod na enogrednih ali dvogrednih plovilih za npr. jadrnice, motorne čolne, ribiška plovila z dolgo pogonsko gredjo izpostavljeno morski vodi in litoželeznim krmilom.



Slika 6: TIP 4 - Namestitev in povezovanje anod na plovila z dolgo pogonsko gredjo izpostavljeno morski vodi enako kot TIP 2, z razliko bronastega oziroma nerjavečega krmila.

Količina in površina žrtvenih anod

Poleg količine žrtvenih anod je izjemno pomembna tudi površina žrtvenih anod, od katere je odvisna velikost električnega toka, ki ga anoda proizvede in s tem omeji, če ne celo izniči škodljive procese korozije. Površina žrtvenih anod je torej generator zadostne velikosti električnega toka, ki zavira naravne procese korozije, medtem ko s količino oziroma težo žrtvenih anod zagotavljamo trajanje ustreznega električnega toka v določeni dobi plovila.

Stopnja korozije in s tem poraba žrtvenih anod je odvisna od velikega števila faktorjev (slanost, temperatura, sestava morja, električni viri, vrsta ščitene materiala...) zato enoličnega odgovora kolikšna površina cinkovih žrtvenih anod ustreza ščitenu železne površine ni. Kljub temu obstajajo izkustvena priporočila, da minimalna površina cinkove žrtvene anode ustreza 1-2 odstotkom železne površine, ki jo želimo ščititi. Količina oziroma masa anod pa je pomembna z vidika trajanja zaščite pred korozijo in je za obdobje enega leta predstavljena v spodnjih tabelah

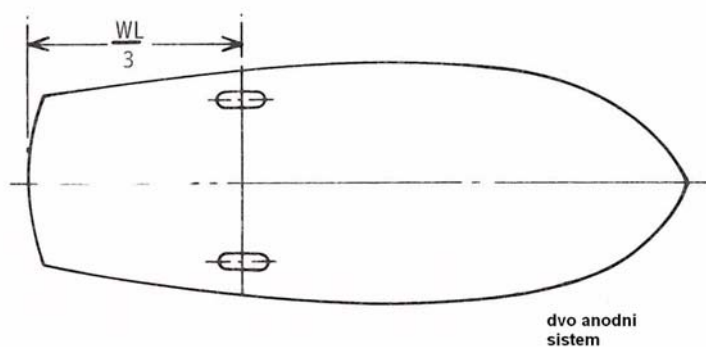
Tabela 2: Potrebna količina cinkovih anod za enoletno zaščito pogonske gredi in propelerja glede na tip plovila in vezave

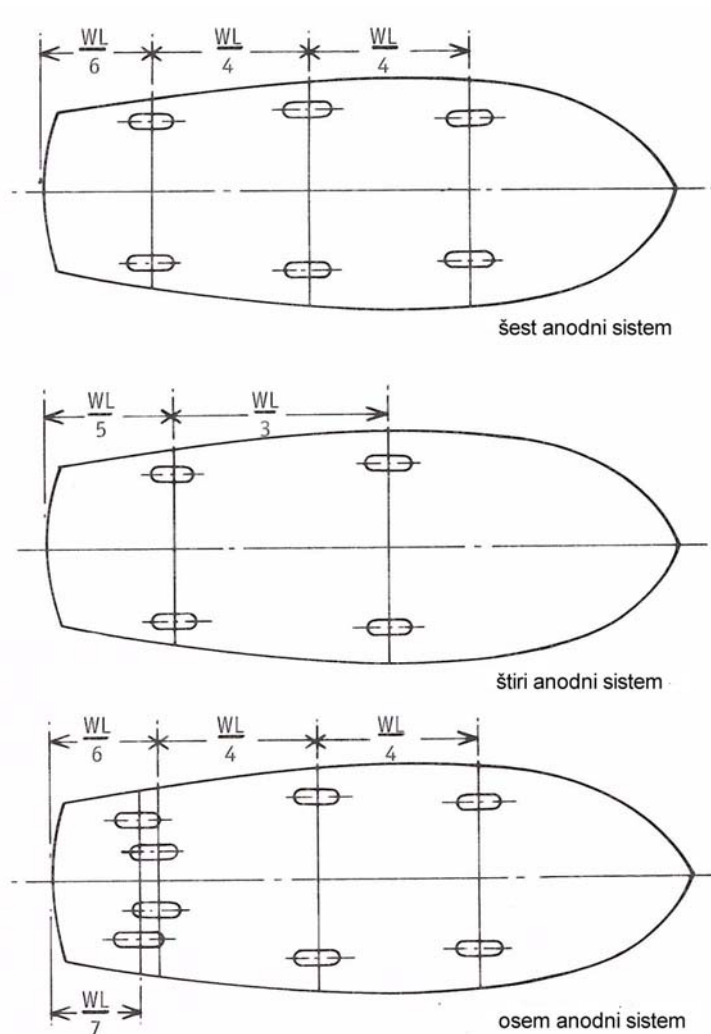
Tip plovila in vezave	Premer propelerja (mm) – rezultat na dnu tabele		
TIP 1	do 350	do 725	750-900
TIP 2	do 275	do 525	550-750
TIP 3	do 300	do 650	675-825
TIP 4	do 250	do 475	500-650
	ena 0,9 kg	ena 2,2 kg	ena 4 kg

Na mesto krmila ali kobilice, ki sta pogosto izdelana iz litega železa se namestita dve cinkovi anodi vsaka s svoje strani, katerih masa vsake se giblje med 0,9 in 2,2 kg, glede na površino krmila (od 1 do 7 m²).

Tabela 3: Potrebna količina cinkovih anod za enoletno zaščito kovinskega trupa plovila

<i>Omočena površina železa (m²)</i>	<i>Anode na stojnih vijakih</i>	<i>Dodatne anode za plovila z dvema gredema</i>
do 28	8 kg	dve po 1kg na krmilo
28 – 56	16 kg	dve po 1kg na krmilo
56 – 84	24 kg	dve po 1kg na krmilo
84 – 102	26 kg	dve po 2,2kg na krmilo
102 – 148	39 kg	dve po 2,2kg na krmilo





Slika 7: Razporeditev anod po trupu plovila z namenom učinkovite korozijske zaščite

Materiali za anode

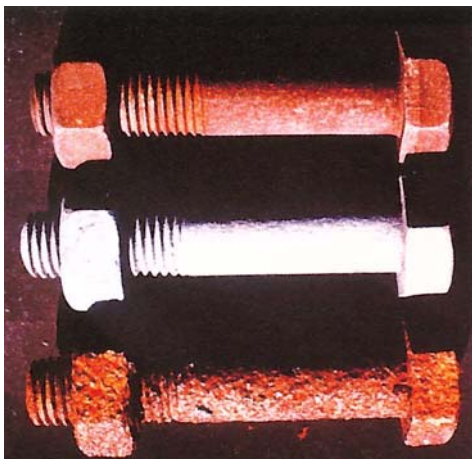
Žrtvene anode so največkrat izdelane iz cinka, aluminija, magnezija in zlitin aluminij-cinka, katerim so dodani posamezni legirni elementi, odvisno od vrste elektrolita (morje, sladka voda) in njegove vegetacije.

Najprimernejše anode za katodno zaščito plovil v morski vodi so cinkove anode, katerih energijska kapaciteta znaša približno 780 Ah/kg. Pri tem je zelo pomembna kvaliteta oziroma čistost osnovnega materiala – cinka, ki mora znašati (99,995 %), pri čemer elementi, kot so železo, baker in svinec, ne smejo presegati nekaj tisočink odstotka. Do prekoračitev zahtevane čistosti pa prav gotovo pride pri pretapljanju starih cinkovih anod, povrh še neznanega porekla, čemur smo pogosto priča pri naših južnih sosedih. Magnezijeve anode, ki imajo energijsko kapaciteto cca. 2200Ah/kg in aluminijeve anode s kapaciteto 2600 Ah/kg so primernejše za medij z večjo električno upornostjo, torej za sladke vode in blatna jezera, kjer je potrebno za enako katodno zaščito imeti na razpolago višji električni potencial. Magnezij z morskovo vodo hitro reagira, kar se odraža v hitri porabi in se zato uporablja za kratkotrajne zaščite in druge namene. Zlitine cinka z dodatki živega srebra, ki so sicer ene od najučinkovitejših med tovrstnimi zlitinami, pa so zaradi izredne toksičnosti prepovedane.

Korozijo na plovilih težko popolnoma preprečimo, če kljub temu upoštevamo vse nasvete v literaturi in izkušnje strokovnjakov pa jo lahko omejimo do take mere, da ne povzroča poškodb na plovilih, kar je tudi namen vsega.



Slika 8: Korozija statvene cevi



Slika 9: Vijaki različnih obdelav po petletni izpostavljenosti morski atmosferi

- a) posrebrni vijaki
- b) vroče cinkani vijaki
- c) cinkani vijaki



Slika 10: Nekakovostni premazi na umetni osnovi