

ŠOLSKI CENTER VELENJE  
ŠOLA ZA STROJNIŠTVO, GEOTEHNIKO IN OKOLJE  
Trg mladosti 3, 3320 Velenje

MLADI RAZISKOVALCI ZA RAZVOJ SAŠA REGIJE

RAZISKOVALNA NALOGA  
**METODE ANODNE ZAŠČITE**

Tematsko področje: TEHNIKA/ENERGETIKA

Avtor:

Domen Tajnšek, 3. letnik

Mentor:

Radovan Repnik, univ. dipl. inž. stroj.

Velenje, 2025

Raziskovalna naloga je bila opravljena na Šolskem centru Velenje, Šoli za strojništvo, geotehniko in okolje.

Mentor: Radovan Repnik, univ. dipl. inž. stroj.

Datum predavitve: marec 2025

**KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA**

ŠD	ŠSSGO Velenje, šolsko leto 2024/2025
KG	Energija/korozija/ohranitev/voda
AV	TAJNŠEK, Domen
KZ	3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3
ZA	ŠC Velenje, Šola za Strojništvo, Geotehniko in okolje, 2024
LI	2024
IN	ZAŠČITA GRELNIKOV SANITARNE VODE PROTI KOROZIJI Z UPORABO ANODNE ZAŠČITE
TD	RAZISKOVALNA NALOGA
OP	14
AI	<p>V tej raziskovalni nalogi so predstavljeni dejavniki, ki pomembno vplivajo na vsakodnevno življenje vsakega posameznika, ki ima grelnik sanitarne vode (v nadaljevanju: bojler), saj se v boilerju mnogokrat pojavi korozija kljub anodni zaščiti, ki naj bi to preprečevala. Opazovali bomo vpliv različnih materialov anod in njihove reakcije v simuliranem okolju grelnika (v posodo za smeti smo nalili vodo, vstavili emajlirano železno ploščo) in nanj priklopili napravo, ki nam pokaže, kolikšna je zaščita boilerja pred korozijo. Želeli smo dekodirati napravo in ugotoviti minimalne vrednosti, ki dajejo optimalno zaščito.</p>

**KEY DOCUMENTATION INFORMATION**

ND	ŠSGO Velenje, school year 2024/2025
CX	Energy/corrosion/conservation/water
AV	TAJNŠEK, Domen
PP	3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3
PB	ŠC Velenje, Šola za Strojništvo, Geotehniko in okolje, 2024
PY	2024
TI	CORROSION PROTECTION OF WATER TANKS
DT	RESEARCH THESIS
NO	
AL	sl/en
AB	<p>This research thesis presents the factors that have a significant impact on the daily life of everyone who has a boiler, as corrosion often occurs in a boiler despite the anode protection that is supposed to prevent it. We will observe the influence of different anode materials and their reactions in a simulated environment of a boiler (we poured water into a garbage can, inserted an enamelled iron plate) and connected a device that shows how well the boiler is protected against corrosion to it. We wanted to decode the device and find out the minimum values that give optimum protection.</p>

## KAZALO VSEBINE

1. UVOD.....	1
2. HIPOTEZE .....	2
3. KAJ JE KOROZIJA.....	2
3.1. Mehanizmi korozije.....	2
3.2. Oblike korozije.....	2
4. ANODE ZA ZAŠČITO PROTI KOROZIJI V GRELNIKI SANITARNE VODE ..	3
4.1. Kaj so žrtvene anode .....	3
4.2. Materiali za izdelavo žrtvenih anod: .....	4
5. DELOVANJE ANOD .....	4
5.1. Uporaba titana v sistemih za zaščito proti korozij v sistemih ICCP .....	5
6. KAKO DELUJEJO GRELNIKI SANITARNE VODE.....	6
6.1. Dovod hladne vode.....	6
6.2. Ogrevanje vode .....	6
6.3. Slojenje (stratifikacija) vode v bojlerju .....	7
6.4. Izolacija in vzdrževanje toplote.....	7
7. PREPREČEVANJE KOROZIJE .....	8
7.1. Varnostni elementi.....	8
7.2. Preklopni termostat .....	8
7.3. Odvzem tople vode.....	9
8. ENERGIJSKA UČINKOVITOST GRELNIKOV VODE.....	9
9. PODLAGA IZRAČUNA ZA KAKOVOST ZAŠČITE.....	10
9.1. Sistem ACE .....	10
9.2. Poskusi, narejeni v podjetju TIKI HVAC, d. o. o., in povzetek ugotovitev .....	10
9.3. Testiranje plošč.....	11
9.4. Meritve napetosti.....	11
10. ZAKLJUČEK .....	12
11. ZAHVALE .....	13
12. VIRI IN LITERATURA: .....	14
12.1. Spletni viri.....	14
12.2. Pisni viri .....	14

## KAZALO SLIK

Slika 1: Bojler v prerezu (Vir: <a href="https://www.vsi.si/thr/bojlerji-za-centralno-ogrevanje">https://www.vsi.si/thr/bojlerji-za-centralno-ogrevanje</a> ) ..	1
Slika 2: Magnezijeve anode (Vir: <a href="https://www.repuestosclima.com/ANODOS-DE-MAGNESIO/255-ANODO-MAGNESIO-400MM-C-TAPON-1--M.html">https://www.repuestosclima.com/ANODOS-DE-MAGNESIO/255-ANODO-MAGNESIO-400MM-C-TAPON-1--M.html</a> ).....	3
Slika 3: Titanova anoda (Vir: <a href="https://www.klimaworld.com/set-3-correxr-fremdstromanode.html">https://www.klimaworld.com/set-3-correxr-fremdstromanode.html</a> ) .....	5
Slika 4: Grelni vodni v gretju vode na lestvici od A do G (Vir: <a href="https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2013/812/oj/eng">https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2013/812/oj/eng</a> ).....	7
Slika 5: Vodni termostat (Vir: <a href="https://img.joomcdn.net/f7443a47aa30c90e597f131f5eca09dbe3762237_original.jpeg">https://img.joomcdn.net/f7443a47aa30c90e597f131f5eca09dbe3762237_original.jpeg</a> ) 7	
Slika 6: Varnostni ventil (Vir: <a href="https://www.herz-kovina.si/si/ogrevanje/varovalni-elementi/varnostni-ventil-vv-612-fxm-97.html">https://www.herz-kovina.si/si/ogrevanje/varovalni-elementi/varnostni-ventil-vv-612-fxm-97.html</a> ).....	8
Slika 7: Raztezna posoda za sanitarno vodo v prerezu (Vir: <a href="https://libertysupply.com/blogs/hvac-news/bladder-tank-vs-diaphragm-tank">https://libertysupply.com/blogs/hvac-news/bladder-tank-vs-diaphragm-tank</a> ) .....	8
Slika 8: Primer nalepke (Vir: <a href="https://www.lontech.si/tiki-hvac-crpalke-za-sanitarno-vodo">https://www.lontech.si/tiki-hvac-crpalke-za-sanitarno-vodo</a> ).....	9
Slika 9: Emajlirana plošča, zaščitena proti koroziji .....	10
Slika 10: Emajlirana plošča, nezaščitena proti koroziji.....	11
Slika 11: ACES tester (Vir: <a href="https://mg-anodi.com/en/aces-en/">https://mg-anodi.com/en/aces-en/</a> ) .....	11

## KAZALO TABEL

Tabela 1: Voltova napetostna lestvica.....	4
Tabela 2: Primerjava žrtvenih in titanovih anod.....	6
Tabela 3: Opredelitev oznake učinkovitosti bojlerja .....	9
Tabela 4: Anoda ACES .....	12
Tabela 5: MG-anoda .....	12

## KAZALO DIAGRAMOV IN SHEM

Diagram 1: Stanje konstrukcije v odvisnosti od korozijskih poškodb (Vir: <a href="https://www.finance.si/topgradbenistvo/korozija-draga-in-nadlezna-sovraznica-kovin/a/8985509">https://www.finance.si/topgradbenistvo/korozija-draga-in-nadlezna-sovraznica-kovin/a/8985509</a> ).....	3
Shema 1: Delovanje magnezijeve anode .....	4

## 1. UVOD

Grelniki sanitarne vode ali bojlerji so naprave, ki se uporabljajo za ogrevanje vode v gospodinjstvih, industriji in na drugih področjih. Njihova glavna funkcija je zagotavljanje stalne zaloge tople vode za vsakodnevno uporabo. Bojlerji uporabljajo različne vire energije, kot so elektrika, plin, olje ali obnovljivi viri, ter so zasnovani za zagotavljanje energetske učinkovitosti in zanesljivega delovanja. Bojlerji so pogosto podvrženi koroziji, ki lahko skrajša njihovo življenjsko dobo. Ena izmed ključnih metod za preprečevanje korozije v bojlerjih je uporaba anod, ki delujejo kot zaščitni elementi.

Raziskava na tem področju vključuje analizo različnih vrst bojlerjev. Namen naloge je prikazati pomembnost pravilne izbire materialov za anode ter oceniti njihov vpliv na učinkovitost in življenjsko dobo teh bojlerjev.

Bojlerji so sestavljeni iz naslednjih ključnih komponent:



Slika 1: Bojler v prerezu (Vir: <https://www.vsi.si/th/s/bojlerji-za-centralno-ogrevanje>)

- rezervoar za vodo – glavni del bojlerja, izdelan iz jekla, ki je pogosto prevlečen z emajlom ali drugo zaščitno plastjo za preprečevanje korozije;
- grelec – električni grelni element ali toplotni izmenjevalec (cevna kača), ki zagotavlja ogrevanje vode;
- toplotna izolacija – plasti izolacijskega materiala, ki zmanjšujejo toplotne izgube in povečajo energetske učinkovitost;
- anoda – ključni element za preprečevanje korozije rezervoarja;
- termostat – uravnava temperaturo vode in preprečuje pregrevanje;
- varnostni ventil – izpušča volumski raztezek vode, ki nastane zaradi segrevanja, s čimer preprečuje poškodbe rezervoarja.

## **2. HIPOTEZE**

- Odpornost proti korozivnosti je mogoče izmeriti z enoto in to enoto opredeliti.
- Korozija je odvisna od napetosti in prevodnosti.
- Korozija je odvisna od materiala in dolgotrajnosti samih materialov.
- Z merjenjem fizikalnih veličin je mogoče ugotoviti površino koroziji izpostavljene površine.

## **3. KAJ JE KOROZIJA**

Korozija je naravni proces, pri katerem materiali reagirajo z okoljem in se postopoma razgrajujejo, hkrati pa se slabšajo njihove lastnosti. Ta pojav je posledica elektrokemijskih reakcij med materialom in njegovim okoljem, kar vodi do nastanka stabilnejših spojin, kot so oksidi, hidroksidi ali sulfidi.

### **3.1. Mehanizmi korozije**

Korozija se pogosto začne z elektrokemijskimi reakcijami na površini kovine, na kateri nastanejo anodna in katodna območja. V anodnih območjih kovina izgublja elektrone (oksidacija), medtem ko v katodnih območjih poteka redukcija. Ta proces vodi do postopne degradacije kovine.

### **3.2. Oblike korozije**

Obstaja več oblik korozije, ki se razlikujejo glede na vzorce in pogoje nastanka:

- enakomerna korozija – enakomerna izguba materiala po celotni površini kovine; ta oblika je manj škodljiva, saj omogoča enostavno načrtovanje zaščite;
- točkovna korozija (pitting) – nastanek majhnih, a globokih lukenj na površini kovine; ta oblika je nevarna, saj lahko povzroči nenadne in nepričakovane okvare;
- medzrnska korozija – pojavi se vzdolž mej zrn v kovinskih materialih, kar lahko privede do oslabitve strukture brez vidnih površinskih znakov;
- napetostna korozija – kombinacija mehanskih napetosti in korozivnega okolja povzroči nastanek razpok v materialu; ta oblika je še posebej nevarna v konstrukcijah, ki so izpostavljene stalnim obremenitvam;

- korozijska utrujenost – nastane zaradi kombinacije cikličnih mehanskih obremenitev in korozivnega okolja, kar vodi do prezgodnje odpovedi materiala;
- fret korozija – pojavi se na stikih med dvema površinama, ki sta izpostavljeni ponavljajočim se majhnim premikom, kar povzroči obrabo in korozijo;
- eksfoliacijska korozija – posebna oblika medzrnate korozije, kjer pride do luščenja plasti materiala, pogosto pri aluminijastih zlitinah.

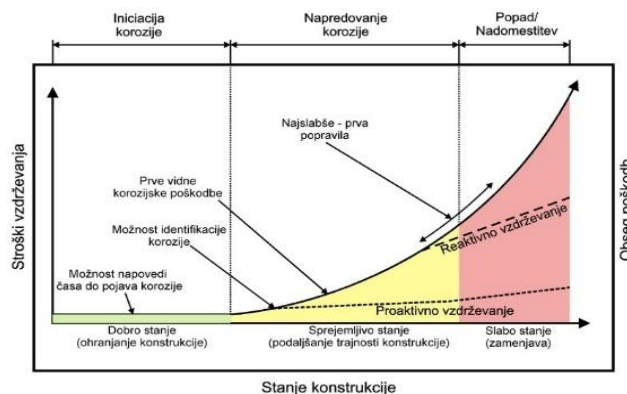


Diagram 1: Stanje konstrukcije v odvisnosti od korozijskih poškodb (Vir:

<https://www.finance.si/topgradbenistvo/korozija-draga-in-nadlezna-sovraznica-kovin/a/8985509>)

#### 4. ANODE ZA ZAŠČITO PROTI KOROZIJI V GRELNIKI SANITARNE VODE

V bojlerjih, ki so namenjeni hrambi sanitarne vode, je zaščita pred korozijo ključnega pomena, saj podaljša življenjsko dobo naprave in preprečuje poškodbe zaradi rjavenja. Korodirane površine lahko hkrati vplivajo na higiensko neoporečnost sanitarne vode. Najpogostejša metoda zaščite proti koroziji je uporaba žrtvenih anod, ki so posebej zasnovane za zaščito notranjih površin rezervoarja. Poleg teh anod poznamo še sisteme ICCP (Impressed current cathodic protection).



Slika 2: Magnezijeve anode (Vir: <https://www.repuestosclima.com/ANODOS-DE-MAGNESIO/255-ANODO-MAGNESIO-400MM-C-TAPON-1--M.html>)

##### 4.1. Kaj so žrtvene anode

Žrtvene anode so kovinski elementi, izdelani iz materialov, ki so bolj reaktivni kot kovine, uporabljene za konstrukcijo bojlerja (npr. jeklo ali emajlirane površine). Njihova naloga

je prevzeti korozijo namesto rezervoarja, s čimer preprečijo poškodbe notranjih delov boilerja.

#### 4.2. Materiali za izdelavo žrtvenih anod:

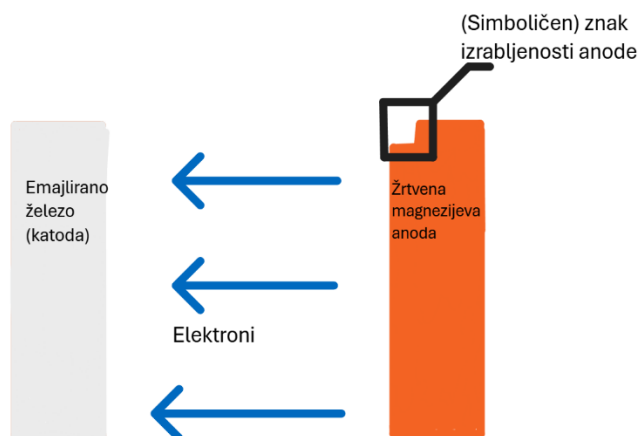
- magnezij je učinkovit pri zaščiti pred korozijo zaradi svoje visoke elektrokemijske reaktivnosti, magnezijeve anode so pogosto uporabljene v območjih z mehkejšo vodo;
- aluminij je primeren za boilerje, kjer je voda bolj agresivna ali vsebuje višje koncentracije soli, a zaradi strupenosti ni uporaben v gospodinjskih boilerjih;
- cink je redkejša izbira, ki se uporablja v specifičnih pogojih, v katerih so potrebne izredne lastnosti zaščite.

Tabela 1: Voltova napetostna lestvica

#### Tok v tekočinah (primarni in sekundarni galvanski členi)

zlato	+1,38 V	plemenite kovine
platina	+1,26 V	
živo	+0,85 V	
srebro		
srebro	+0,80 V	
ogljje	+0,74 V	0,00 V neplemenite kovine
baker	+0,35 V	
vodik		
svinec	-0,13 V	
kositer	-0,14 V	
nikelj	-0,25 V	
kadmij	-0,40 V	
železo	-0,44 V	
krom	-0,56 V	
cink	-0,76 V	
mangan	-1,07 V	
aluminij	-1,67 V	
magnezij	-2,34 V	
natrij	-2,71 V	
kalcij	-2,76 V	

## 5. DELOVANJE ANOD



Shema 1: Delovanje magnezijeve anode

Magnezijeva anoda deluje na principu galvanske korozije in zaščite katodnih kovin, kar je razvidno iz Voltove napetostne lestvice. Na tej lestvici so kovine razdeljene glede na njihov elektrodni potencial, torej bolj kot je kovina negativna, večjo nagnjenost ima proti koroziji.

Ker ima magnezij zelo nizek standardni elektrodni potencial ( $-2.37\text{ V}$ ), se poveže z manj reaktivno kovino (emajliranim jeklom) in deluje kot žrtvena anoda.

Magnezij (anoda) in zaščitena kovina (katoda) tvorita galvanski člen v prisotnosti elektrolita (vode), nato pa se oksidira in oddaja elektrone, ki tečejo proti katodi in preprečijo njeno oksidacijo. Zaradi elektronov, ki se izmenjujejo med magnezijem in emajliranim jeklom, se anoda izrabi in jo je treba sčasoma zamenjati.

### 5.1. Uporaba titana v sistemih za zaščito proti korozij v sistemih ICCP

Funkcija titana: v sistemih ICCP se titan uporablja kot inertni (nereaktivni) anodni material. Ti sistemi ne temeljijo na žrtvenih anodah, ampak na uporabi zunanje električne energije za zagotavljanje katodne zaščite kovinskih delov.



Slika 3: Titanova anoda (Vir: <https://www.klimaworld.com/set-3-correx-fremdstromanode.html>)

Prednosti titana v ICCP:

- visoka odpornost na korozijo: titan ne korodira, kar mu omogoča dolgo življenjsko dobo tudi v agresivnih okoljih;
- nizki vzdrževalni stroški: zaradi svoje vzdržljivosti titan zahteva minimalno vzdrževanje;
- visoka učinkovitost: titanove elektrode učinkovito prenašajo električni tok, ki preprečuje korozijo osnovnega materiala boilerja.

Tabela 2: Primerjava žrtvenih in titanovih anod

Lastnost	Žrtvene anode (Mg, Al, Zn)	Titan (ICCP)
Material	Bolj reaktiven material	Inertni, visoko odporen
Vzdrževanje	Višje (občasna menjava)	Nizko
Stroški	Nižji začetni stroški	Višji začetni stroški
Učinkovitost	Odvisna od obrabe anode	Visoka, konstantna zaščita
Namestitev	Enostavnejša, primerna za večino sistemov	Zapletena, zahteva strokovno znanje

## 6. KAKO DELUJEJO GRELNIKI SANITARNE VODE

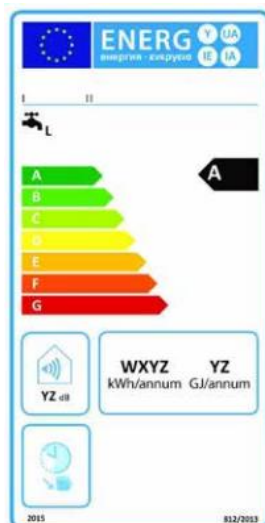
### 6.1. Dovod hladne vode

Hladna voda vstopi v grelnik preko vstopnega priključka, ki je opremljen z varnostnim ventilom za preprečevanje prekomernega tlaka. Na varnostni vod je priključena tudi raztezna posoda. Hladna voda vstopa na spodnjem delu in se nato razporedi po spodnjem delu rezervoarja.

### 6.2. Ogrevanje vode

Vodo v bojlerju lahko ogrevamo na različne načine.

Uporabimo lahko električni grelec, pri katerem električna tuljava ali grelna palica uporablja električno energijo za segrevanje vode. Pri bojlerjih z večjo prostornino je bolj pogosta uporaba prenosnika toplote, ki je v obliki cevne kače vgrajen v bojler. Prenosnik toplote je priključen na vir toplote, ki je lahko toplovodni kotel, toplotna črpalka ali sončni kolektor.



Slika 4: Grelci vode v gretju vode na lestvici od A do G (Vir: [https://eur-lex.europa.eu/eli/reg\\_del/2013/812/oj/eng](https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2013/812/oj/eng))

Temperaturo vode nadzira termostat, ki zagotavlja optimalno in varno delovanje.



Slika 5: Vodni termostat (Vir: <https://www.merkur.si/del-za-grelnik-vode-siccabo-termostat-za-grelnik-vode-nt-165/>)

### 6.3. Slojenje (stratifikacija) vode v bojlerju

Segreta voda se zaradi nižje gostote dvigne na vrh rezervoarja, kjer je pripravljena za iztok. Termični sloji v rezervoarju preprečujejo mešanje hladne in tople vode. Slojenje vode nam omogoča priključitev cirkulacijskega voda v zgornjem delu rezervoarja.

### 6.4. Izolacija in vzdrževanje toplote

Grelnik je obdan s toplotnoizolacijskim materialom, ki zmanjšuje toplotne izgube. Sodobni grelniki uporabljajo poliuretansko peno, ki omogoča dolgotrajno zadrževanje toplote.

## 7. PREPREČEVANJE KOROZIJE

Za zaščito notranje površine rezervoarja pred korozijo so vgrajene žrtvene anode ali naprednejše titanove anode (pri sistemih ICCP). Anode nevtralizirajo električno korozijo, ki bi sicer poškodovala kovinski rezervoar.

### 7.1. Varnostni elementi

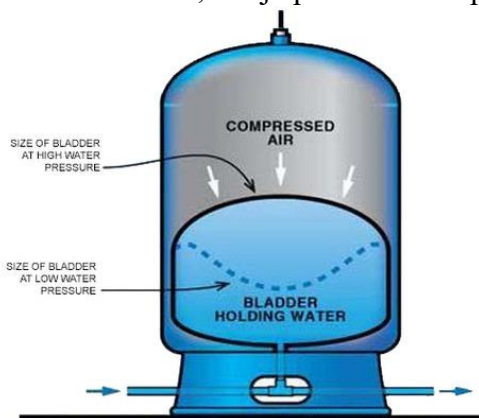
Grelniki vsebujejo varnostne elemente za zaščito pred pregrevanjem in prekomernim tlakom.

Varnostni ventil: izpušča odvečno vodo, če tlak v rezervoarju preseže nastavljeno vrednost – nastavitve so običajno med 6 in 10 bar.



Slika 6: Varnostni ventil (Vir: <https://www.herz-kovina.si/si/ogrevanje/varovalni-elementi/varnostni-ventil-vv-612-fxm-97.html>)

V raztezno posodo se izloči del vode, kar je posledica temperaturnega raztezanja.



Slika 7: Raztezna posoda za sanitarno vodo v prerezu (Vir: <https://libertysupply.com/blogs/hvac-news/bladder-tank-vs-diaphragm-tank>)

### 7.2. Preklopni termostat

Prekine delovanje električnega grelca, če temperatura preseže nastavljeno temperaturo.

### 7.3. Odvzem tople vode

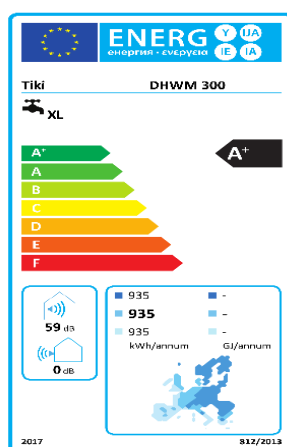
Ko je voda segreta na nastavljeno temperaturo, je pripravljena za uporabo. Voda steče skozi izstopno cev, ko na odjemnem mestu odpremo npr. mešalno baterijo umivalnika, tuš kabine itd.

Ko se del tople vode porabi, se nadomesti z novo hladno vodo, ki na priključku hladne vode priteče v rezervoar. Postopek segrevanja se ponovno začne, kar zagotavlja stalno zalogo tople vode.

## 8. ENERGIJSKA UČINKOVITOST GRELNIKOV VODE

Tabela 3: Opredelitev oznake učinkovitosti bojlerja

Energy efficiency class	Standing loss $S$ in Watts, with storage volume $V$ in litres
A+	$S < 5,5 + 3,16 \cdot V^{0,4}$
A	$5,5 + 3,16 \cdot V^{0,4} \leq S < 8,5 + 4,25 \cdot V^{0,4}$
B	$8,5 + 4,25 \cdot V^{0,4} \leq S < 12 + 5,93 \cdot V^{0,4}$
C	$12 + 5,93 \cdot V^{0,4} \leq S < 16,66 + 8,33 \cdot V^{0,4}$
D	$16,66 + 8,33 \cdot V^{0,4} \leq S < 21 + 10,33 \cdot V^{0,4}$
E	$21 + 10,33 \cdot V^{0,4} \leq S < 26 + 13,66 \cdot V^{0,4}$
F	$26 + 13,66 \cdot V^{0,4} \leq S < 31 + 16,66 \cdot V^{0,4}$
G	$S > 31 + 16,66 \cdot V^{0,4}$



Slika 8: Primer energijske nalepke ogrevalnika sanitarne vode (Vir: <https://www.lontech.si/tiki-hvac-crpalka-za-sanitarno-vodo>)

## 9. PODLAGA IZRAČUNA ZA KAKOVOST ZAŠČITE

### 9.1. Sistem ACE

Sistem ACE (Anodic Corrosion Protection) z anodno zaščito preprečuje korozijo v bojlerjih in drugih napravah z vodo, kar podaljša njihovo življenjsko dobo in zmanjša stroške vzdrževanja. Sistem je primeren za različne tipe bojlerjev (plinske, električne, solarne) in prispeva k ekološki trajnosti z zmanjševanjem odpadkov ter porabe surovin. Kljub višji začetni investiciji se stroški povrnejo zaradi nižjih stroškov vzdrževanja in daljše življenjske dobe naprave.

### 9.2. Poskusi, narejeni v podjetju TIKI HVAC, d. o. o., in povzetek ugotovitev

V analizi anod je bilo ugotovljeno, da titanovi anodi PRC 1 in PRC 2 nista uspešno preprečili korozije, saj sta povzročili globinsko razgradnjo kovine, kar je bilo potrjeno s primagnetenjem delcev korodirane kovine na magnet. Povprečna napetost pri PRC 1 je bila 1,9 V, pri PRC 2 pa 8,4 V, vendar obe nista zadostovali za zaščito pred elektrokemijskimi reakcijami. Med testiranjem je bila voda zelo umazana. Nasprotno pa je titanova anoda (MG-anoda) z napetostjo 16,85 V uspešno preprečila globinsko korozijo, pri čemer je nastala le površinska korozija brez potrebe po uporabi magneta. Sklep je, da MG-anoda zagotavlja boljšo zaščito pred korozijo in je bolj primerna za dolgotrajno uporabo v primerjavi s titanovimi anodami oznak PRC 1 in 2.



*Slika 9: Emajlirana plošča, zaščiteni proti koroziji*



Slika 10: Emajlirana plošča, nezaščiten proti koroziji

### 9.3. Testiranje plošč

Plošča 1 je samo natolčena s poškodovano (odstranjeno) zaščito površine 1 cm<sup>2</sup>, plošča 2 pa ima odstranjeno zaščitno plast emajla s površino 36 cm<sup>2</sup>. Plošče na preizkusu v podjetju Tiki so imele nezaščiten – brez emajla celotno površino. Posledično sklepamo, da so bile napetosti med elektrodama zaradi tega višje (16,85 V).



Slika 11: Tester ACES (Vir: <https://mg-anodi.com/en/aces-en/>)

### 9.4. Meritve napetosti

Pri poskusu smo merili napetosti na anodah ACES in MG G2, pri katerih smo merili električno napetost med elektrodama. Za preizkus s tema dvema tipoma anod smo se odločili, ker sta pri poskusu v podjetju TIKI HVAC, d. o. o., dosegli dobre rezultate pri zaščiti kovine. Anodo predstavljata titanovi elektrodi, katodo pa pločevina, ki jo želimo zaščititi. Napetosti so se spreminjale v odvisnosti od površine omočene anode in nezaščiten površine pločevine. V primeru ustrezne zaščite naprava signalizira ustreznost z utripajočo zeleno lučko, kadar pa zaščita ni ustrezna, pa z rdečo oz. z ustrezno kombinacijo rdeče in zelene lučke. Napetost se je manjšala sorazmerno s omočenostjo oz. potopljenostjo anode, predvsem pa nas je zanimala odvisnost med napetostjo in nezaščiten površino pločevine.

Tabela 4: Anoda ACES

	ACES			
	Plošča 1		Plošča 2	
Pogoji:	Napetost[V] DC	Oznaka na usmerniku	Napetost[V] DC	Oznaka na usmerniku
1/4 potopljena	5,2	zelena	5,5	zelena
1/2 potopljena	3,2	zelena	3,8	zelena
popolnoma potopljena	2,8	zelena	2,7	zelena

Tabela 5: MG-anoda

	MG ANODA					
	Plošča 1			Plošča 2		
Pogoji:	Napetost[V] DC	Oznaka na usmerniku	Razlaga	Napetost[V] DC	Oznaka na usmerniku	Razlaga
1/4 potopljena	4,2	zelena - zelena - zelena	zaščiten	4,5	zelena - zelena - zelena	zaščiten
1/2 potopljena	2,8	zelena - zelena - zelena	zaščiten	4	zelena - zelena - zelena	zaščiten
popolnoma potopljena	2,5	zelena - zelena - zelena	zaščiten	3,5	zelena - zelena - zelena	zaščiten

## 10. ZAKLJUČEK

Z raziskavo je bilo ugotovljeno, da je napetost med elektrodama odvisna od površine omočene anode, poleg tega pa tudi od površine nezaščitene plošče – površine, s katere smo odstranili zaščitno plast (emajl). Mojo ugotovitev potrjujejo tudi meritve, opravljene v podjetju TIKI, v katerem so zaščito izvajali z enakimi napravami (ACES) in so, po mojem mnenju, zaradi bistveno večje (v celoti) nezaščitene površine izmerili bistveno večjo napetost med elektrodama (16,85 V). Predpostavljam, da bi bilo mogoče pri večkrat ponovljenem preizkusu na večjem številu preizkušancev z različnimi površinami poškodovane površine ugotoviti bolj natančno odvisnost med napetostjo, ki se pojavi med elektrodama, in poškodbami zaščitne plasti rezervoarja. Na podlagi tega bi bilo mogoče z meritvijo na bojlerjih, ki so v uporabi, ugotoviti, v kolikšni meri so se že približali izteku svoje življenjske dobe. Mogoče bi bilo ugotoviti, kdaj je potrebno bojler, predvsem večjih prostornin, zamenjati preventivno in ne šele takrat, ko se dejansko pojavi okvara.

## **11. ZAHVALE**

Za pomoč pri raziskovalni nalogi se zahvaljujem:

- g. Radovanu Repniku za mentorstvo in številne nasvete,
- g. Jožetu Lukancu za pomoč pri izvajanju meritev,
- podjetju TIKI HVAC, d. o. o., za materialno pomoč,
- g. Z. Višnjiču, g. B. Rednaku in g. A. Varošancu za koristne nasvete pri izdelavi raziskovalne naloge in vsestransko pomoč glede teorije.
- ge. Urški Mazej in ge. Silvi Hudournik za lektoriranje naloge in pomoč pri prevajanju.

## 12. VIRI IN LITERATURA:

### 12.1. Spletni viri

- <https://epcmholdings.com/cathodic-protection-basics/> (22/11/2024).
- <https://corrosion-doctors.org/> (07/11/2024).
- [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-representation-of-the-most-common-corrosion-mechanism-6\\_fig5\\_322627227](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-representation-of-the-most-common-corrosion-mechanism-6_fig5_322627227) (19/10/2024).
- <https://www.ampp.org/technical-research/what-is-corrosion/forms-of-corrosion#uniform> (27/12/2024).
- <https://corrosion-doctors.org/Forms-pitting/aluminum-sample.htm> (20/01/2025).
- [https://www.researchgate.net/figure/Example-of-the-colony-of-stress-corrosion-cracks-on-the-external-surface-of-the\\_fig1\\_305623271](https://www.researchgate.net/figure/Example-of-the-colony-of-stress-corrosion-cracks-on-the-external-surface-of-the_fig1_305623271) (15/01/2025).
- <https://steelfabservices.com.au/intergranular-corrosion/> (05/12/2024).
- <https://mohammad0044.wordpress.com/corrosion/two-form-of-corrosion/corrosion-fatigue/> (04/10/2024).
- <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/fretting-corrosion> (14/10/2024).
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978085709540450003X> (11/11/2024).
- [https://www.corrosionclinic.com/types\\_of\\_corrosion/aluminium\\_exfoliation\\_corrosion.htm](https://www.corrosionclinic.com/types_of_corrosion/aluminium_exfoliation_corrosion.htm) (04/01/2025).
- <https://cathwell.com/cathodic-protection-explained/> (22/10/2024).
- <https://slideplayer.com/slide/10873169/39/images/47/Anodic+Protection+of+a+Steel+Tank.jpg> (24/11/2024).
- <https://www.keysight.com/us/en/product/U1272A/handheld-digital-multimeter-4-5-digit-ip54.html> (23/11/2024).

### 12.2. Pisni viri

- Legenda merilnika ACES
- Priročnik merilnika ACES
- Milošev Ingrid, Korozija materialov, Vakuumist, 1994
- Tadeja Kosec Mikić, Milošev Ingrid, Korozijski procesi, vrste korozije in njihove zaščite, Vakuumist, 2004