



B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Strojništvo
Modul: Orodjarstvo

PROJEKT ZAMENJAVE STAREGA PARNEGA KOTLA Z NOVIM

Mentor: mag. Matiček Tacer, dipl. inž. str.
Lektor: Marijan Pušavec, prof. slov. jezika

Kandidat: Jasmin Seferović

Kranj, december 2023

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju g. Tacerju za usmerjanje in pomoč pri izdelavi diplomske naloge.

Hvala g. Štruklju, g. Dagarinu in ostalim iz podjetja za pomoč in nasvete pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi lektorju Marijanu Pušavcu, ki je jezikovno pregledal diplomsko nalogo.

Posebna zahvala gre moji družini za vso pomoč in podporo pri študiju ob delu.

IZJAVA

Študent Jasmin Seferović izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Matička Tacerja, dipl. inž. str.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

Diplomska naloga obravnava osnove parnega kotla, njegovo razdelitev glede na konstrukcijo, ter prikaz oziroma predstavitev postopka uvedbe novega parnega kotla. Obravnavali bomo problem izrabljenega stroja, zakaj se ne splača popraviti stroja in kaj pridobimo z nakupom novega. Cilj naloge je prikazati postopek uvedbe novega stroja, zakaj je smiseln nakup novega in kaj je največja prednost s strani ekonomičnosti in varovanja okolja. Analizirali bomo izkoristke delovanja starega postrojenja in novega. Primerjali bomo rezultate in zaključili, kaj smo pridobili z uvedbo novega stroja.

KLJUČNE BESEDE

- Parni kotel
- Primerjava parnih kotlov
- Izkoristek parnega kotla
- Obraba parnega kotla
- Projekt zamenjave parnega kotla

ABSTRACT

The topic of the diploma thesis deals with the basics of the steam boiler, its division according to construction, and the presentation of the process of introducing a new steam boiler. We will discuss the problem of a used machine, why it is not worth repairing the machine and what we gain by buying a new one. The aim of the task is to show the process of introducing a new machine, why it makes sense to buy a new one and what is the biggest advantage from the point of view of economy and environmental protection. We will analyze the efficiency of the operation of the old plant and the new one. We will compare the results and conclude what we have gained by introducing the new machine.

KEYWORDS

- Steam boiler
- Comparison of steam boilers
- Efficiency of steam boiler
- Steam boiler wear
- Steam boiler replacement project

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Cilji naloge	1
1.3	Predstavitev okolja	1
1.4	Predpostavke in omejitve	1
1.5	Metode dela	2
2	PARNI KOTLI.....	2
2.1	Razdelitev parnih kotlov glede na konstrukcijo	3
2.2	Mnogovodni (dimnocevni) kotli	4
2.3	Vodocevni kotli	5
2.4	Oprema kotlov.....	6
3	OBRABA KOTLA	8
3.1	Prikaz stanja	8
4	IZBIRA TIPA KOTLA (ANALIZA PRIMERNE KONSTRUKCIJE KOTLA).....	11
5	ANALIZA PONUDB	14
6	IZVEDBENA DELA NA PROJEKTU ZAMENJAVE KOTLA	17
6.1	Zakonske osnove za izvedbo projekta vgradnje novega parnega kotla	17
6.2	Opis obstoječega stanja	21
6.3	Vgradnja novega parnega kotla - tehnološke zahteve	22
6.3	Pripravljalna dela projekta za vgradnjo novega kotla.....	23
6.4	Izvedba montažnih del	24
6.5	Zagon novega kotla in dokazovanje parametrov	26
6.6	Prekuhavanje kotla.....	29
6.7	Izobraževanje zaposlenih.....	31
6.8	Napake pri montaži in zagonu	31
6.9	Nadgradnja obstoječega sistema	32
7	ANALIZA IZKORISTKOV	34
7.1	Analiza izkoristkov.....	36
8	ZAKLJUČEK	39
9	LITERATURA IN VIRI	39

KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz osnove kotla.....	3
Slika 2: Prikaz mnogovodnega kotla.....	5
Slika 3: Prikaz vodocevnega kotla	6
Slika 4: Prikaz poškodbe/obrabe kotla.....	10
Slika 5: Rezultati meritev emisij kotla TPK.....	11
Slika 6: Prikaz delovanja vodocevnega kotla ERI v podjetju	12
Slika 7: Slika tabele primerjave konstrukcije kotlov.....	13
Slika 8: Slika izseka izjave o skladnosti kotla.....	18
Slika 9: Slika izseka obvestila ARSO.....	19
Slika 10: Shema tlorisa kurilnice.....	22
Slika 11: Pripravljalna dela temelja za nov dimnik in utrjevanje terena za dvigalo ..	24
Slika 12: Slika kotla med transportom	25
Slika 13: Slika dvigovanja kotla in pripravljene odprtine v stavbo.....	25
Slika 14: Slika kotla med montažo.....	26
Slika 15: Slika izseka iz zapisnika zagona gorilnikov (vir: arhiv podjetja)	28
Slika 16: Potrdilo o pregledu varnostnega ventila	28
Slika 17: Slika prve strani varnostnega lista	30
Slika 18: Kotel z dodatno izolacijo	33
Slika 19: Slika grafa primerjave izkoristkov.....	37

KAZALO TABEL

Tabela 1: Podatki o napravi.....	8
Tabela 2: Podatki o napravi.....	9
Tabela 3: Primerjava ponudb	16
Tabela 4: Izkoristek kotlov glede na tip kotla	35
Tabela 5: Izračun in primerjava postrojenj	37

POJMOVNIK

Vodokaz:	priprava za vizualni nadzor nivoja napajalne vode v kotlu
Kaluženje, odsoljevanje:	način izločanja usedlin in soli iz napajalne vode kotla
Ekonomajzer:	toplotni izmenjevalec (prehajanje toplote dimnih plinov na napajalno vodo)
Presostat:	stikalo, ki reagira na dani vrednosti tlaka
SCADA:	sistemi, ki so namenjeni nadzoru in krmiljenju tehnoloških procesov

KRATICE IN AKRONIMI

PKG:	Tip starega odsluženega kotla
ERI:	Tip kotla, ki je še zmeraj v obratovanju (vodocevni)
ORO:	Novi kotel, ki bo nadomestil kotel PKG
ECO:	Ekonomizer
VSD:	Variable speed drive (regulator obratov)

1 UVOD

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Tako kot vsi stroji tudi parni kotli sčasoma zastarajo in se obrabijo, odslužijo svoje (obraba materialov). Vsak material ne glede na kakovost ima svojo uporabno dobo. Para z leti odnaša material in cevi se obrabijo. Popravilo se finančno ne splača. Potreba po pari se je glede na razvoj podjetja povečala, kar nam še dodatno otežuje položaj. Glede na vse to se odpre možnost za nakup novega kotla, s katerim bi nadomestili stari kotel ter dodatno optimizirali proizvodnjo pare.

1.2 CILJI NALOGE

Cilj naloge je raziskati, kako je prišlo do okvare in predstaviti postopek projekta novega kotla. Kakšne vrste kotel je za nas primeren, kakšen je postopek pridobitve novega kotla (ponudbe, dobava, dokumentacija, montaža, preizkus).

Rezultat diplomske naloge bomo prikazali kot optimiziranje proizvodnje pare ob nakupu novega kotla, saj bomo primerjali izkoristek starega postrojenja z novim (izračun in primerjava izkoristkov).

1.3 PREDSTAVITEV OKOLJA

Naloga se nanaša na projekt, ki se je odvijal v večjem podjetju za proizvodnjo pnevmatik, za katerega je proizvodnja pare bistvenega pomena. Para je ključni del procesa vulkanizacije, saj z njo ogrevamo kalupe in ostali material v proizvodnji. Kapaciteta potrebne pare se zelo razlikuje, zato moramo imeti tudi dobro postrojenje parnih kotlov. Pozimi se zaradi ogrevanja potrebe po pari povečajo tudi do približno 35 %. Z leti se je proizvodnja širila (montaže novih stiskalnic in hal -ogrevanje), zato se je tudi potreba po novem kotlu še povečala.

1.4 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE

Iz izkušenj vemo, da so novi stroji bolj tehnološko in ekološko dovršeni. V času je tehnologija napredovala in nakup novega stroja ni več samo strošek, ampak tudi prihranek. Izkoristki novejših kotlov so veliko večji. Namesto, da bi odpravili kritično napako na starem kotlu, smo se odločili za nakup novega. Z nakupom novega smo prihranili pri izkoristku samega delovanja, manjših emisijah (novi boljši gorilci) in vzdrževanju (garancija proizvajalca).

Pri pisanju diplomske naloge bomo omejeni s slikovnim gradivom in podatki zaradi varovanja podatkov podjetja, kjer se je izvajal projekt. V nalogi ne bomo omenjali imena podjetja ter izdajali podatkov, s katerimi bi ogrozili njegove poslovne skrivnosti. V prikazu ponudb ne bomo izdajali cen ter točnih informacij o ponudbi. Omejili se

bomo le na grobe podatke v ponudbah ter tako izvlekli bistvo, zakaj smo izbrali določenega ponudnika. Pri splošnem opisu kotlov se bomo osredotočili na kotle s kurjavo na plin.

1.5 METODE DELA

Uporabili bomo analitično raziskovalno metodo, s katero bomo raziskali, kako je projekt potekal in kako smo reševali napake in težave ob samem postopku. S primerjalno metodo bomo primerjali porabo in izkoristke novega in starega postrojenja. Z deskriptivno metodo bomo opisali, katere vrste kotlov poznamo in katera je pripadajoča oprema za pravilno delovanje sistema. Povzeli bomo predhodne raziskave glede primernosti vrste kotla (analiza zunanjega izvajalca), idejni projekt za izvedbo del in pridobitev dokumentacije ter varnostno testiranje pred zagonom.

2 PARNI KOTLI

Skozi zgodovino smo spoznali, da je človek vedno stremel k izboljšavam dela. Trudil se je povečati učinkovitost dela ter tako vpregel različne živali za več opravljenega dela, kakor ga lahko sam zmore. Čez čas je ugotovil, da se lahko uporablja tudi druge energetske vire. Hitro je začel uporabljati vodne vire (vodno kolo) in tako naselil ter začel razvijati industrijo okoli vodnih področij. Taka vrsta energije je imela pomanjkljivost, saj je bila vezana na samo lokacijo. Slutili so, da obstajajo še druge vrste energije, ki pa jih še niso znali izkoristiti.

»Parni kotel je naprava, v kateri se voda z dovajanjem toplote spreminja v paro.« (Lavrič, 2013, str. 1).

To je zaprta posoda, kjer se voda pod tlakom, višjim od atmosferskega, segreva in spreminja v paro. Segrevamo lahko z različnimi viri energije (plinasta, trda in kapljevita goriva, elektrika, jedrska reakcija).

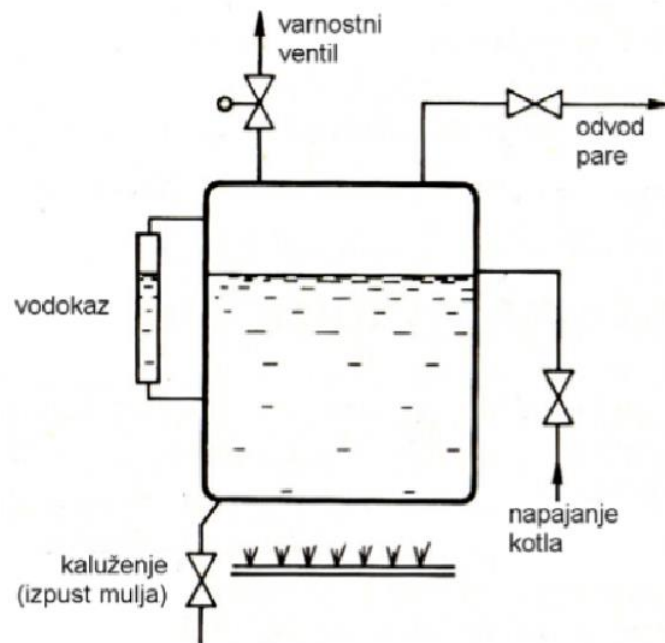
»Definicijo parnega kotla določa evropska Direktiva o tlačni opremi 97/23/ES, ki določa, da je tlačna oprema vsa oprema, za katero je dovoljen tlak 0,5 bara višji od standardnega atmosferskega tlaka.« (Lavrič, 2013, str. 45). Tako so kotli kurjene ali drugače ogrevane tlačne posode, namenjene pridobivanju pare ali pod tlakom segrete vode nad 110 °C ter prostornino nad 2 litra.

V osnovi je parni kotel sestavljen iz:

- tlačne posode, v kateri je voda (boben)
- vira toplote (kurišče ali kakšen drug vir toplote)
- napajalnega dela (napajalna voda)
- vodokaza (za kontrolo nivoja vode)
- kaluženja, odsoljevanja
- varnostnega ventila (v primeru presežka tlaka)
- odvoda pare

Poznamo več vrst parnih kotlov v kombinaciji z različnimi viri toplote. Katero vrsto kotla potrebujemo in kateri vir toplote je za nas optimalen, je odvisno od naših potreb po pari.

V našem podjetju je ključnega pomena konstanten tlak, ki nam zagotavlja enakomerno vzdrževanje temperature ogrevanih kalupov. Glede na zahteve proizvodnje si ne moremo privoščiti nihanja tlaka in ogrevanja kotlov z gorivi, ki nimajo enakomernega izgorevanja zaradi neenakomerne kakovosti goriva (npr. biomasa).



Slika 1: Prikaz osnove kotla

(Vir: Energetska proizvodnja-parni kotli, b.l.)

2.1 RAZDELITEV PARNIH KOTLOV GLEDE NA KONSTRUKCIJO

V osnovi parne kotle delimo na:

- mnogovodne kotle (ali tudi dimnocevni)
- vodocevne kotle

Glavna razlika med enim in drugim tipom je v sami konstrukciji. Pri vodocevnih se po ceveh pretaka voda in para ter vsebujejo manjšo količino vode kot dimnocevni kotli. Pri mnogovodnih kotlih se po ceveh pretakajo dimni plini (dimnocevni) in načeloma vsebujejo večjo količino vode v bobnu. Ena in druga vrsta kotla imata svoje prednosti in slabosti, kakšno vrsto kotla bomo izbrali, pa je odvisno od potrebe po tlaku in pretoku pare v proizvodnji.

Poznamo pa tudi posebne izvedbe kotlov, ki predstavljajo konstrukcijsko kombinacijo obeh vrst (parni generatorji v jedrskih elektrarnah). So neke vrste toplotni izmenjevalci (zaradi varnosti pred direktnim stikom z jedrskim reaktorjem) s funkcijo generatorjev pare.

2.2 MNOGOVODNI (DIMNOCEVNI) KOTLI

Mnogovodni kotli so danes najbolj razširjen tip parnega kotla za industrijsko uporabo. Zgrajeni so iz plašča, plamenice, obračalne komore (sprednja in zadnja) in treh vlekov dimnih plinov. Uporabljajo se za proizvodnjo pare in vroče vode, vanje je možno vgraditi tudi ekonomizer (grelnik vode) in pregrevalnik pare za še boljši izkoristek.

Dimni plini se pretakajo v notranjosti cevi, ki jih obliva voda, največkrat so trovlečni (trije toki plina). Vsi mnogovodni kotli imajo naravno cirkulacijo, ki je odvisna od postavitve plamenice oziroma plamenic.

Primerni so predvsem za kurjenje tekočih in plinastih goriv, ki zgorevajo v plamenici. Za kurjenje trdih goriv je potrebno predkurišče, kjer gorivo zgori tako, da v plamenico dobimo le dimne pline. Zaradi konstrukcije sta tlak in zmogljivost kotla omejena. Kotel z eno plamenico naj bi dosegal pretok do 28 t/h pri tlakih do 20 barov ter 50 t/h in 30 barov pri kotlu z dvema plamenicama. Je enostavna konstrukcija, zanesljiva za obratovanje, dosegajo izkoristke do 92 % oziroma z vgrajenimi grelniki vode do nekaj odstotkov več.

Toplotno najbolj obremenjena je plamenica, kjer iz dimnih plinov prenese 50 % toplote na vodo, ostala dva vleka pa še ostalih 50 % (drugi vlek 40 % in tretji 10 %). Temperatura dimnih plinov v plamenici je okoli 1200 °C, na izhodu iz kotla pa le še 160 - 240 °C.

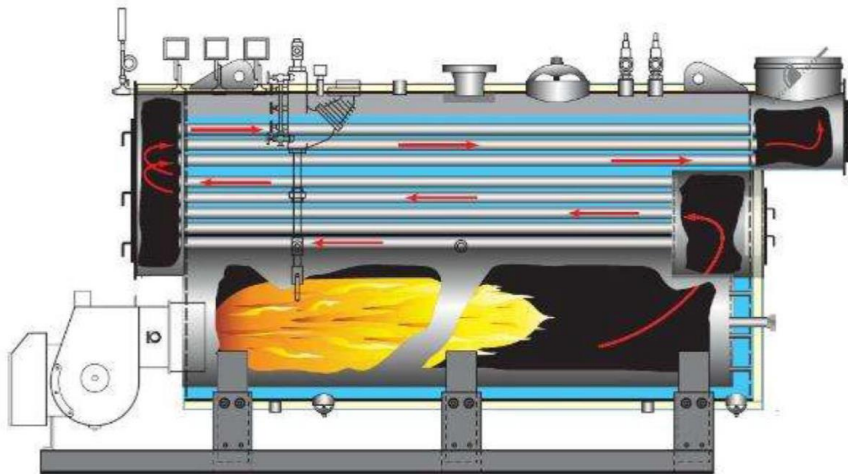
Poznamo enoplamenične in dvoplamenične mnogovodne kotle. Razlika je v moči kotla ter prilagajanju potrebam proizvodnje (obratuje lahko le ena plamenica ali obe).

Prednosti:

- blok izvedba - naprava v kompletu (enostavna montaža in transport)
- velika količina vode - velika akumulacija
- enostavna konstrukcija - enostavno vzdrževanje
- enostaven nadzorno-upravljalni sistem
- možna vgradnja pregrevalnika pare v zadnjo ali sprednjo obračalno komoro

Slabosti:

- maksimalna zmogljivost do 50 t/h in 30 barov z dvema plamenicama
- velika površina plašča omejuje maksimalni tlak
- velika količina vode - težje prilagajanje razmeram omrežja (zaganjanje)



Slika 2: Prikaz mnogovodnega kotla
(Vir: Čeperlin, 2021, str.6)

2.3 VODOCEVNI KOTLI

Pri vodocevnih kotlih se za razliko od dimnocevnih v notranjosti po ceveh pretaka voda, dimni plini pa jih ogrevajo po zunanji strani. Cevi so tlačno obremenjene in so tako bolj primerne za višje tlake. Vodocevni kotli zahtevajo bolj kvalitetno napajalno vodo, ker se voda nahaja v ceveh, ki je bolj zahtevna za vzdrževanje.

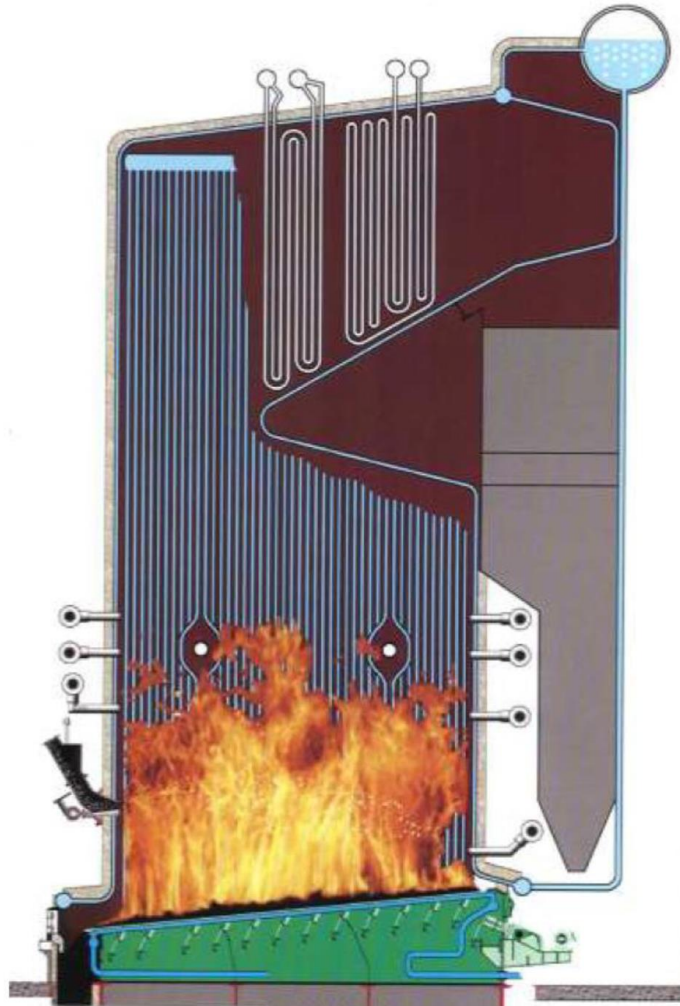
V osnovi vodocevne kotle delimo na:

- Kotle z naravno cirkulacijo
- Kotle s prisilno cirkulacijo (za največje tlake in pretoke)

Med kotli z naravno cirkulacijo je strmocevni kotel z enim bobnom postal eden izmed najbolj pogostih vodocevnih kotlov, kjer so potrebni tlaki nad 30 barov. V takem kotlu je količina vode majhna, kar pomeni krajši čas zagona obratovanja in večjo prilagodljivost porabniku pare. Zaradi majhne količine vode pa nima velike akumulacije in zahteva natančno in hitro regulacijo nivoja vode v bobnu. Pri strmocevnem kotlu je boben veliko manjši kot pri dimnocevnem kotlu, njegova naloga je zbiranje in razdeljevanje vode na paro in vodo. Najprej dimni plini pogrejejo uparjalne cevi, ki so razporejene okrog sevalne površine (uparjalnik), nato se tok dimnih plinov na vrhu obrne navzdol, kjer sta grelnika vode in grelnik zraka, pregrevalnik (eden ali več) pa je vgrajen na vrhu kotla na prehodu iz kurišča v drugi tok dimnih plinov. Voda potuje najprej v grelnik vode kjer se voda z dimnimi plini pogreje lahko celo do vrelišča, nato pot nadaljuje v boben kotla, od koder nadaljuje pot v uparjalne cevi (naravna cirkulacija), v uparjalnih ceveh se segreje in z naravno cirkulacijo se para dviguje po ceveh ter v bobnu izloči v paro, od koder nadaljuje svojo pot v pregrevalnik, da dobimo čim bolj suho paro.

Prednosti:

- Primeren za tlake do 180 barov in pretoke celo do 1000 t/h (z naravno cirkulacijo) ter 221 bara (kritični tlak) in nekaj 1000 t/h pri kotlih s prisilno cirkulacijo



Slika 3: Prikaz vodocevnega kotla
(Vir: Čeperlin, 2021, str. 5)

2.4 OPREMA KOTLOV

Kotli so narejeni, da delujejo pod določenim tlakom, pretokom in temperaturo. Vsi parametri morajo biti v določenih mejah, za kar poskrbi oprema kotla. Varnostno in regulacijsko opremo morajo imeti vsi kotli ne glede na vrsto kurjave. Ostalo opremo pa določa vrsta kurjave.

Kotli so opremljeni z različnimi napravami in pripravami za:

- Napajanje kotla

Regulacijski ventil za vzdrževanje nivoja napajalne vode v kotlu. Ventil po potrebi odpira in zapira dotok napajalne vode v boben kotla.

Napajalna črpalka dovaja vodo v kotel s tlakom, ki je večji od tlaka v bobnu kotla.

- Regulacijo (moči kotla)

Kotli imajo svojo elektronsko regulacijo, vezano na tlak v sistemu ali bobnu (odvisno od proizvodnje). Sistem povečuje ali zmanjšuje moč gorilcev glede na potreben tlak v sistemu proizvodnje (avtomatika).

- Varnostne naprave

Varnostni ventili (mehanski) kot obvezna varnostna oprema. Njihov namen je preprečiti previsok tlak v bobnu. V primeru previsokega tlaka ventil spusti paro v okolje ter razbremeni kotel.

Regulator tlaka, omejevalnik maksimalnega tlaka (»presostat«) in manometer za vizualno kontrolo.

Regulator nivoja vode v primeru previsokega ali prenizkega nivoja vode v bobnu in vodokaz za vizualno kontrolo.

Pri kotlih, kurjenih na plin, imamo na plinski progi varnostni zaporni ventil, ki v primeru nenadne spremembe pretoka plina zapre dovod.

- Priprave za zgorevanje, dovajanje in pripravo goriva

Naprave za dovajanje (rešetke), pripravo (mlin za premog, biomaso) in zgorevanje goriva (predkurišča, gorilci).

Najmanj opreme imajo kotli z gorilci na plin, saj je zgorevanje zelo »čisto«, plin se dovaja preko cevovoda in zato ni nobenih potrebnih priprav za dovajanje, zalogo in pripravo goriva.

Ker je zgorevanje zelo »čisto«, ni nobene potrebe po raznih lovilcih pepela, filtrih in drugih čistilnih napravah.

- Odstranjevanje soli in usedlin iz kotelne vode

Kljub pripravi vode, kjer odstranimo soli in druge nečistoče, odstranjujemo preostale soli, ki se nahajajo na površini kotelne vode in na dnu kotla (usedline). Odpadno vodo odstranjujemo z odsoljevalnim ventilom (na gladini) in kaluženjem (dno bobna).

- Oddušnik

Odvajanje plinov ob zagonih, ko določen čas kotel ne obratuje. Oddušnik se odpre tudi ob ročni manipulaciji nivoja vode v kotlu (preprečimo podtlak v bobnu). Skozi oddušnik lahko tudi dovajamo razne kemikalije za konzerviranje in zaščito bobna.

- Vzorčenje

Odvajanje kotelne vode z namenom kontrole kvalitete napajalne vode.

3 OBRABA KOTLA

Za dolgo življenjsko dobo kotlov je pomembna primerna kvaliteta napajalne vode in primerni obratovalni pogoji. S slabo napajalno vodo lahko povzročimo pojav kotlovca (nabiranje vodnega kamna), korozijo (slabo odplinjevanje napajalne vode) in še razne poškodbe kotla zaradi netesnosti, povezanih s korozijo. Zaradi slabih obratovalnih pogojev (okvare regulacije nivojev vode in moči kotla) pa lahko pride do presežka tlaka in temperature, ki povzročijo različne poškodbe cevi in konstrukcije kotla.

Kljub temu, da primerno skrbimo za dobre obratovalne pogoje kotla, se z leti material obrabi, saj dimni plini, voda in para uničujejo material. Vse skupaj pripelje do tanjšanja materiala in morebitne porušitve kotla.

3.1 PRIKAZ STANJA

V kotlarni podjetja smo imeli postrojenje štirih kotlov za potrebe vulkanizacije in ogrevanja:

- dva kotla¹ s konstantnim delovanjem ne glede na zimsko ali poletno obdobje.

Podatki o napravi	Opis
Vrsta kotla	Vodocevni
Leto izdelave	2000
Vhodna toplotna moč	17,2 MW
Nazivna proizvodnja pare	24 t/h ²
Vrsta goriva	Zemeljski plin
Število gorilcev	1

Tabela 1: Podatki o napravi
(Vir: Podjetje X, 2021)

- dva kotla³ z manjšo močjo katera smo uporabljali predvsem v zimskem obdobju, ko se je potreba po pari povečala zaradi potreb ogrevanja

¹ V nadaljevanju ju bomo imenovali kotla ERI-1 in ERI-2.

² Zaradi stanja naprave (starost gorilcev in vrste vpiha zraka) je dejansko kotel proizvedel maksimalno 18 t/h pare.

³ V nadaljevanju ju bomo imenovali kotla PKG-1 in PKG-2.

Podatki o napravi	Opis
Vrsta kotla	Vodocevni
Leto izdelave	1968
Vhodna toplotna moč	5,5 MW
Nazivna proizvodnja pare	8 t/h
Vrsta goriva	Zemeljski plin
Število gorilcev	1

Tabela 2: Podatki o napravi
(Vir: Podjetje X, 2021)

PKG kotla smo uporabljali le občasno, ko je bila potreba po pari približno nad 35 t/h, ali med vzdrževalnimi deli kotlov ERI. S širjenjem proizvodnje se je potreba po pari le povečevala in pojavljala se je ideja o novem kotlu. Ob ugotovitvi okvare kotla PKG-2 smo projektu bili še bližje. V kotlu smo ugotovili puščanje vode in z nadaljnjim raziskovanjem ugotovili, da so cevi kotla PKG-2 obrabljene in sanacija ni bila smiselna.

Ker je kotel starejšega tipa, je bil dodatno obzidan s šamotno opeko (za zadrževanje toplote). Ob odstranitvi opeke smo našli mesto puščanja in ugotovili debelino materiala cevi ter korozijo na mestu puščanja. Normalna debelina stene cevi naj bi bila 3.2 milimetra, zaradi dotrajanosti in korozije pa so bile debele le 2,0 - 1,7 milimetra, kar je onemogočalo obratovanje kotla. Za postopek popravila bi morali:

- odstraniti inštalacije
- odstraniti opeke
- pripraviti vse za varjenje novih cevi
- odstraniti vseh 118 uparjalnih cevi
- pregledati stanje spodnjega vodnega bobna
- pregled kurišča
- varjenje novih cevi
- rentgenska kontrola novih varov
- pozidava opek
- certificiranje popravila
- vrniti inštalacije na prvotno mesto
- tlačni preizkus



*Slika 4: Prikaz poškodbe/obrabe kotla
(Vir: Podjetje X, 2021)*

Celotno popravilo smo ocenili na približno 200 000 EUR, kar pa ni končna ocena, saj bi ob ugotovitvi poškodb kurišča in bobna strošek še dodatno narastel. Dodatni pomisleki glede sanacije so bili še glede na:

- starost kotla (52 let)
- ob celotnem vložku bomo še vedno imeli star kotel
- izvajalec sanacije bi nam nudil garancijo le za popravljene del kotla
- kotel bo imel še zmeraj slabši izkoristek⁴ zaradi samih gorilcev in starosti
- po uredbi o emisijah⁵ naj bi kotla PKG lahko obratovala le do leta 2025 (zaradi presežka NO_x)
- nadgradnja gorilcev za doseganje meje odloka o emisijah bi dvignil strošek za še dodatnih 400 000 EUR za oba gorilca kotla TPK

⁴ Več o izkoristkih kotlov bomo analizirali v poglavju, kjer bomo prikazali boljšo učinkovitost novega kotla.

⁵ NO_x naj ne bi presegali meje 110 mg/m³

<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED6098>

Parameter	Rezultati meritev
	Koncentracija mg/m ³
Ogljikov monoksid (CO) (3%)	<2,5 (1,2)
Dušikovi oksidi NO _x (izraženi kot NO ₂) (3%)	132,6
Žveplovi oksidi SO _x (izraženi kot SO ₂) (3%)	<14,3 (3,6)

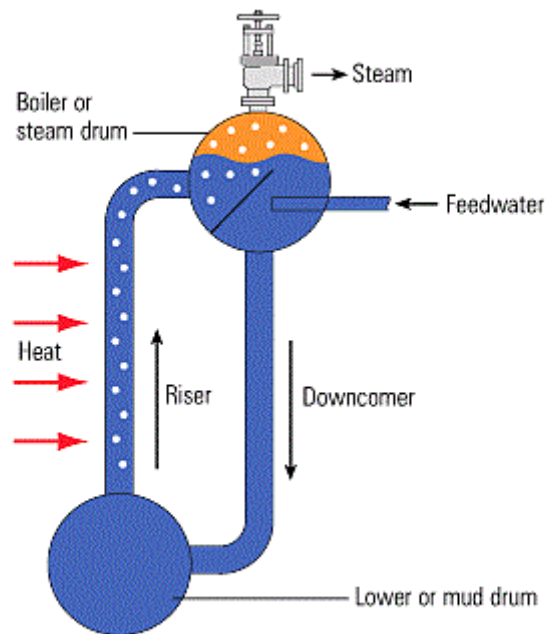
Slika 5: Rezultati meritev emisij kotla TPK
(Vir: Podjetje X, 2021)

Rešitev je vgradnja novega kotla (moči 10 - 15 MW in pretoka pare 15-20 t/h), s katerim bi pridobili:

- izboljšano zanesljivost zagotavljanja pare (manjše možnosti okvar)
- manjša poraba plina, boljši izkoristek
- manj emisij

4 IZBIRA TIPA KOTLA (ANALIZA PRIMERNE KONSTRUKCIJE KOTLA)

Kot smo spoznali, kotle po konstrukciji delimo na vodocevne in dimnocevne kotle. Vsak ima svoje prednosti in slabosti, vendar so se s časom dimnocevni (blok izvedba) bolj uveljavili v industrijski rabi, kjer ne potrebujemo visokih tlakov in pretokov. Do sedaj smo v podjetju uporabljali posebne vrste vodocevnih kotlov, kjer sta dva bobna povezana s cevmi. V spodnjem bobnu je napajalna voda, povezana s cevmi, ki vodijo v zgornji boben, kjer se generira para.



Slika 6: Prikaz delovanja vodocevnega kotla ERI v podjetju
(Vir: Mechanical engineering, 2022)

Glede na to, da smo v podjetju vajeni posebnega tipa vodocevnega kotla in da se na trgu priporoča dimnocevni, se poraja vprašanje, kateri tip kotla je optimalen za naše potrebe.

Najeli smo zunanjega izvajalca za projektno nalogo analize konstrukcije kotlov ter prišli do zaključkov, s katerimi se lahko osredotočimo le na ponudbe za določen tip kotla, ki bo optimalen za naše potrebe. V diplomski nalogi smo povzeli projektno nalogo analize konstrukcije kotlov.

1. Določili smo osnovne konstrukcijske podatke:

- Vstopna moč kotla 16 MW
- Gorivo zemeljski plin
- Koristna moč kotla 14,4 MW
- Pretok pare 22 t/h
- Kvaliteta pare - nasičena
- Računski tlak 20 bar
- Računska temperatura 215 °C
- Obratovalni tlak 17,3 bar
- Obratovalna temperatura 210 °C
- Temperatura napajalne vode 105 °C

Uporaba parnega kotla ni namenjena izkoriščanju odpadne toplote ali kogeneracijskemu procesu, ampak le za pokrivanje energetskih potreb gumarske

industrije. Analiza pravilnega izbora konstrukcije bo predstavila primerjavo med različnimi konstrukcijami z njihovimi prednostmi in slabostmi. Namen analize je pomoč pri odločitvi glede investicije.

2. Konstrukcije kotlov:

- Vodocevni v skladu s standardom EN 12952, kjer je vodna stran združena v ceveh membranske stene in se zbira v parni posodi, ki je na vrhu kotla (boben).
- Dimnocevni s plaščem s standardom EN 12953, kjer dimni plini tečejo skozi dimne cevi, vrelo voda pa jih obdaja v tlačni posodi kotla. Pomemben je nivo vode, da pokrije dimnocevne cevi in ločuje vrelo vodo in paro.
- Dimnocevni so v skladu s standardom povezani z ekonomizerji (grelniki vode) in povečajo izkoristek
- Primerjava je narejena na primeru kotla, kurjenega z zemeljskim plinom

3. Primerjava konstrukcij:

Št. No	Opis Designation	Vodo-cevni kotel Water Tube Boiler	Dimno-cevni kotel Fire Tube Shell Boiler	Opomba Note
1	Izvedba kotla Boiler Execution	Sestava na objektu Assembly at site	Kompaktna izvedba Compact in size	
2	Zahtevan prostor Required Space	Visoka kotlovnica Tall Boiler Room	Nižji pravokotni prostor Lower Rectangular Place	
3	Območje tlaka obratovanja Range of operating pressure	> 25 barg ... max 250 barg	< 25 barg	
4	Kapaciteta pare Steam capacity	10 t/h ... 2500 t/h	< 30 t/h	
5	Kotli velike kapacitete High Capacity Boilers	Da Yes	Ne No	Meja / Limit 25 barg ... 30 t/h
6	Stanje pare Steam condition	Nasičena in pregreta Saturated & superheated	Samo nasičena Saturated only	
7	Priprava napajalne vode Feed water treatment	Višje zahteve Higher requirements	Standardne zahteve Standard requirements	0 ... 0,1 dN / pH > 8 < 10 µS/cm ²
8	Zagon kotla Boiler start - up	Hitrejši Faster	Počasnejši Slower	
9	Pokrivanje konic porabe Covering capacity peaks	Manjša akumulacija kapacitete Smaller power accumulation	Večja akumulacija kapacitete Higher capacity accumulation	Dimno-cevni boljši Fire Tube in advantage
10	Izkoristek Efficiency	Višji Higher	Nižji Lower	Odvisen od opreme Depends on equipment
11	Investicijska vrednost Investment Value	Višja Higher	Nižja Lower	Cena / Price € / ton pare / steam
12	Čiščenje površin kotla Cleaning of the boiler surfaces	Zahtevno čiščenje Demanding cleaning	Enostavno čiščenje Easy for cleaning	Ročno, avtomatsko Manual, automatic
13	Zamenjava cevi in cevni snopov Tube and tube bundles replacement	Zahtevna Demanding	Enostavna Easy	Cenovna primerjava Price comparison
14	Vzdrževalni stroški Maintenance costs	Višji Higher	Nižji Lower	Cena / Price € / ton pare / steam
15	Obratovalna teža Operating weight	Nižja Lower	Večja Higher	kg / ton pare / steam
16	Področje uporabe Field for application	Energetika / Industrija Energetic / Industrial	Industrija / Energetika Industrial / Energetic	¹ / ² / ^{1st} / ^{2nd}

Slika 7: Slika tabele primerjave konstrukcije kotlov
(Vir: Čeperlin, 2021, str. 7)

4. Zaključek

Za naše zahteve proizvodnje nasičene pare je priporočen dimnocevni kotel. To stališče podpirajo naslednja dejstva:

- Kompaktna (paket) izvedba kotla s pripadajočo opremo (1⁶)
- Enostavna izvedba kotla, ki je bolj primerna za načrtovani prostor v kotlarni tovarne (2)
- Manj zahtevna, bolj enostavna priprava napajalne vode (7)
- Boljše pokrivanje konic proizvodnje in večja akumulacija (9)
- Manjši investicijski stroški (11)
- Enostavno čiščenje in vzdrževanje (12)
- Nižji vzdrževalni stroški (14)

Za optimizirano proizvodnjo so nam priporočali dimnocevni kotel s kombinacijo ekonomizerja ali po možnosti ekonomizer z dvojnimi krogi (še boljši izkoristek). Z dvojnimi ekonomizerji bi izkoristili več toplote dimnih plinov ter tako izboljšali izkoristek kotla. Z namestitvijo ekonomizerja je lahko izkoristek dimnocevnega kotla enak ali večji od vodocevnega.

5 ANALIZA PONUDB

Kot je razvidno iz analize, je za nas optimalna izbira dimnocevni kotel z dvojnimi ekonomizerji. Tako smo se lahko osredotočili na investicijo določenega tipa kotla ter začeli zbirati ponudbe različnih proizvajalcev.

V ožji izbor smo vzeli tri najboljše ponudbe znanih proizvajalcev kotlov in kotlovne opreme. Iskali smo »ponudbo na ključ«. Poleg dobave kotla mora ponudnik zagotoviti še ostalo opremo za pravilno delovanje parnega sistema. Za zbiranje ponudb smo imeli sledeče zahteve:

- Blok vodoravna, cilindrična oblika kotla
- Dimnocevni kotel
- Dva plinska gorilnika
- Opcija obratovanja tudi le z enim gorilnikom
- Kapaciteta kotla 22 t/h
- Nazivni tlak 22 barov
- Delovni tlak 17,5 bara
- Nasičena para pri 210 °C
- Vgrajena oprema za vzdrževanje tople pripravljenosti za čas ne obratovanja

⁶ Številka vrstice v sliki tabele primerjave med konstrukcijama

- 2 gorilnika z VSD pogonom zraka in dušilcema hrupa in plinska proga z vso regulacijo, varnostno zaporo in merilno tehniko plina
- Emisije NO_x manj od 100 mg/m³
- Ekonomizer 1⁷ za ogrevanje napajalne vode in ekonomizer 2⁸ za ogrevanje kemično pripravljene vode (sveža voda)
- Učinkovitost kotla nad 95 % z ECO 1 in 97 % z ECO 2
- Dimnik, ki mora ustrezati veljavni zakonodaji in tehničnim predpisom. Pred postavitvijo dimnika moramo zagotoviti ustrezno podlago (temelj)
- Napajalne črpalke 2 kosa z VSD pogonom in avtomatiko za zagon rezervne v primeru izpada
- Razbremenilni vod napajalnih črpalk
- Varnostne kontrole in elementi parnega kotla
- Avtomatizacija (PLC krmilniki - povezava z obstoječo SCADO, programska aplikacija)
- Vgradnja vseh tehnoloških meritev (merilniki pretoka, temperature, tlaka)
- Avtomatsko kaluženje in odsoljevanje
- Varnostni preizkus
- Nanos zaščitnega filtra bobna (prekuhanje kotla)
- Transport in postavitvev kotla
- Montaža in zagon kotla
- Montaža obeh ekonomizerjev
- Montaža dimnika
- Toplotna izolacija
- Krmilna omara in kompletna elektroinštalacija
- Postavitev podestov za kontrolo in vzdrževanje ekonomizerjev in kotla
- Projektna dokumentacija
- Izobraževanje zaposlenih

Zaradi zaščite podatkov smo ponudbe razvrstili po črkah A, B in C. Skupno jim je, da so vsi trije ponudniki ponujali gorilce proizvajalca Weishaupt in vsi so morali izpolnjevati naše zahteve glede ustreznega delovanja parnega sistema v tovarni. Glede na to, da smo zaradi kritične okvare ostali brez pomožnega kotla, smo dali prednost ponudniku z najkrajšim dobavnim rokom. V naslednji razpredelnici smo povzeli bistvene elemente treh ponudb ter naredili primerjavo med njimi.

⁷ V nadaljevanju ECO 1

⁸ V nadaljevanju ECO 2

KOTEL	A	B	C
VRSTA KOTLA	dvoplamenični, cilindrično ležeči	dvoplamenični, cilindrično ležeči	dvoplamenični, cilindrično ležeči
MOČ KOTLA	14,50 MW	14,39 MW	14,28 MW
NOMINALNA KAPACITETA PARE	22.000 kg/h	22.000 kg/h	22.000 kg/h
IMENSKI TLAK	23 bar	22 bar	23 bar
OGREVALNA POVRŠINA	482 m ²	408 m ²	439 m ²
IZKORISTEK KOTLA Z ECO 1 IN 2	97%	97%	98%
MASA KOTLA (KOTLOVNO TELO)	60 t	50 t	51 t
SEVALNE IZGUBE		0,24%	0,28%
DELOVNA PROSTORNINA	39,9 m ³	38,5 m ³	28,6 m ³ (vsebnost vode do vodokaza)
DEBELINA IZOLACIJE KOTLA	120 mm	150 mm	100 mm
EKONOMIZER			
TERMIČNA NOMINALNA KAPACITETA ECO1	900 kW	592 kW	1034 kW (integriran v kotlu)
TERMIČNA NOMINALNA KAPACITETA ECO2	400 Kw	246 kW	361 kW
PRETOK VODE	12 t/h	11 t/h	12 t/h
GORILNIK			
TIP GORILNIKA	duoblock	monoblock	duoblock
NAZIVNA KAPACITETA GORILNIKA	17 000 kW	15 086 kW	14 968 kW
EMISIJE NO _x	< 100 mg/nm ³	< 100 mg/nm ³	< 100 mg/nm ³
SPLOŠNO			
GARANCIJA	60 mesecev kotel in 24 mesecev gorilca	12 mesecev kotel in gorilca	60 mesecev kotel in 24 mesecev gorilca (ob doplačilu rizika)
DOBAVNI ROK	120 dni	168 dni	175 dni
PORABA GORIVA	1800 Nm ³ /h (oba gorilca)	1524 Nm ³ /h (oba gorilca)	1520 Nm ³ /h (oba gorilca)
CENA	1.005.640 €	1.019.571 €	952.958 €

Tabela 3: Primerjava ponudb
(Lastni vir)

V primerjavi ponudb vidimo, da so po nazivni moči vsi kotli primerljivi in vsi v grobem izpolnjuje naše zahteve. Glede samega izkoristka praktično skoraj ni razlike ali pa so zanemarljivo majhne. Stroškovno gledano je ponudba C najbolj ugodna, vendar je podaljšana garancija ob doplačilu, kar pomeni, da tudi razlike v ceni niso tako velike. Kotel C ima integriran ECO 1, kar pomeni več težav v primeru popravil (ustaviti moramo kotel). Če bi želeli kotel predelati za delovanje na kurilno olje (glede na politično dogajanje po svetu), bi integriran ECO 1 to onemogočil, saj moramo za delovanje na kurilno olje imeti drugačen ekonomizer.

Na končno odločitev je odločal dobavni rok, garancija in masa samega kotla.

Odločili smo se za ponudbo A.

Dobavni rok smo želeli čim krajši, saj je kotel PKG odpovedal nenadoma in to pred kurilno sezono (takrat je raba pare še večja). Masa kotla je pri enaki moči za približno 10 ton večja, kar pomeni več materiala. Po masi lahko sklepamo, da so vari močnejši, kotlovski plašč debelejši, kar pomeni daljšo življenjsko dobo. Ponudnik je geografsko

lociran relativno blizu, kar pomeni dodatne prednosti v primeru okvar in vzdrževanja. V preteklosti smo imeli kotla istega proizvajalca, kar se je pokazalo kot dobra odločitev. Glede na to, da je nakup novega kotla draga investicija, ne moremo prezreti tudi dolgoletne garancije, ki seveda velja ob pravilni uporabi kotla.

6 IZVEDBENA DELA NA PROJEKTU ZAMENJAVE KOTLA

V podjetju je locirana glavna kotlovnica, ki zagotavlja proizvodnjo pare za tri različne odjemalce (tri podjetja). Podjetje, ki je lastnik kotlarne, na lokaciji zagotavlja še ostale medije za proizvodnjo (komprimiran zrak, zemeljski plin, hladilno vodo, tehnološko mehko vodo, rečno vodo, odvod kondenzata, kanalizacija, vakuum). Obstoječi parni kotli za delovanje uporabljajo zemeljski plin iz plinske postaje, ki je locirana v neposredni bližini kotlarne. Parni kotli se uporabljajo za proizvodnjo nasičene pare, ki se uporablja za proizvodnjo gumenih izdelkov in ogrevanje objektov. Zaradi dotrajanosti obstoječega sistema dveh PKG kotlov smo se ga odločili nadomestiti z novim parnim kotlom, ki bo zagotavljal varno in nemoteno proizvodnjo pare.

6.1 ZAKONSKE OSNOVE ZA IZVEDBO PROJEKTA VGRADNJE NOVEGA PARNEGA KOTLA

ARSO

Agencija Republike Slovenije za okolje je pred leti izdala podjetju dovoljenje za izpuščanje toplogrednih plinov za naprave na lokaciji. Podjetje mora nemudoma ARSO pisno obvestiti o:

- nameravani spremembi vrste ali delovanja naprave in vsako razširitev ali zmanjšanje zmogljivosti (vse spremembe)
- vsako bistveno spremembo načrta monitoringa emisij toplogrednih plinov

Zaradi načrta investicije smo pisali na ARSO, kjer smo jih obvestili o nameravani spremembi izpuščanja toplogrednih plinov. V obvestilu smo opisali novo napravo (moč na izhodu novega kotla, moč ekonomizerjev, skupna moč kotlovnice, izkoristek novega kotla, načrtovane emisije ter načrtovana odstranitev starih kotlov).

K spremembi smo poslali še Izjavo o skladnosti nove naprave, kjer smo dokazali skladnost nove naprave z zahtevami standardov ter kratek tehnični opis kotla.

**Ovime izjavljuje, da je tlačna oprema
/ herewith declares, that the pressure equipment /**

Naziv / Name /	PARNI KOTAO ORO-22SA
Oznaka / Designation /	30-10264
Tv.broj / Manufacturer No. /	5769
Radni medij / Medium /	Para / voda
Ispitni medij / Pressure test medium /	voda
Kategorija / Category /	IV
Grupa fluida / Fluid group	2
Volumen (V) / Volume (V) /	35000 L
Snaga / Heat Output /	13400 kW
Ogrjevna površina / Heating surface /	482 m ²
Najveći dopušteni pretlak PS /Max allowable pressure PS /	23 bar(g)
Dopuštena temperatura TS / Allowable temperature TS /	+5 / +222°C
Ispitni pretlak PT / Test pressure PT /	46,6 bar(g)
Godina proizvodnje / Year of Manufacture /	2021.

sukladna svim bitnim zahtjevima direktive PED 2014/68/EU
/ in accordance with all relevant requirements of PED 2014/68/EU /

Tijelo za ocjenu sukladnosti / Engaged Notified Body / :	TÜV Croatia d.o.o.
Identifikacijski br. TOS-i / Id. Number of the Notified Body / :	2464
Postupak ocjene sukladnosti / Applied conformity assessment procedures / :	Modul G
Certifikat o sukladnosti / Certificate of conformity Nr. / :	
Izveštaje o tlačnoj probi / Test report No. /	
Primjenjene norme i tehničke specifikacije: / Applied standards and technical specification /	EN 12953:2016 EN 12952:2012 EN 13445:2021

*Slika 8: Slika izseka izjave o skladnosti kotla
(Vir: TPK Orometal, 2021)*

**OBVESTILO O NAMERAVANI SPREMEMBI DOVOLJENJA
ZA IZPUŠČANJE TOPLOGREDNIH PLINOV**

1. UPRAVLJAVEC
1.1 Naziv upravljavca: [REDACTED]

2. POSLOVNI NASLOV UPRAVLJAVCA
2.1 Ulica: [REDACTED]
2.2 Hišna [REDACTED]
2.3 Pošta [REDACTED]
2.4 Poštna številka: [REDACTED]

3. PODATKI O NAPRAVI
3.1 Oznaka naprave: SI [REDACTED]
3.2 Lokacija naprave
Ulica / hišna številka: [REDACTED]
Poštna številka in pošta: [REDACTED]
3.3 Dovoljenje za izpuščanje toplogrednih plinov
Številka odločbe: [REDACTED]
Datum izdaje odločbe: 7.12.2020

4. OPIS NAMERAVANE SPREMEMBE
4.1 Označite vrsto spremembe:

1.	Sprememba firme upravljavca (naziv upravljavca, ulica,...)
2.	Sprememba enot naprav na lokaciji (nove enote, rekonstrukcija obstoječih,...)
3.	Drugo _____

Opis: Moč novega kotla bo 13,4 MW. To je moč na izhodu kotla brez ekonomajzerjev. Moč ekonomajzerjev je **1,3 MW** (ECO #1 = 0,9 MW, ECO #2 = 0,4 MW).
Skupna moč kotlovnice bo tako **49,13 MW** (Parni kotel 1 [14,7 MW] + Parni kotel 3 [17,215 MW] + Parni kotel 4 [17,215 MW]). Izkoristek novega kotla bo **97 %**, emisije NOX pod **100 mg/m³**. Po uspešnem zagonu novega kotla se odstanita dva kotla vsak moči 5,5 MW.

5. KONTAKTNA OSEBA
5.1 Ime in priimek: [REDACTED]
5.2 Telefonska številka: [REDACTED]
5.3 Elektronski naslov: [REDACTED]

6. KRAJ IN DATUM
V Kranju, 4.1.2022.

*Slika 9: Slika izseka obvestila ARSO⁹
(Vir: Podjetje X, 2021)*

GRADBENI ZAKON

Skladno z določilom 4. člena Gradbenega zakona¹⁰ je potrebno pred izvajanjem gradnje in uporabe objekta za novogradnjo, rekonstrukcijo in spremembo namembnosti objekta pridobiti pravnomočno gradbeno dovoljenje in začetek gradnje prijaviti in izvajati skladno z gradbenim dovoljenjem.

Na začetku smo:

- pooblastili podizvajalca
- imenovali nadzornika gradbišča
- pridobili predhodno soglasje Javne agencije za civilno letalstvo Republike Slovenije (zaradi višine dimnika)
- Pridobili mnenje glede skladnosti s prostorskimi akti (skladnost z mestno občino in prostorskim načrtom)
- pridobili gradbeno dovoljenje (dovoljenje upravne enote za začetek gradnje)
- prijava začetka gradnje (prijava gradbišča)

⁹ Zaradi zasebnosti podjetja so nekateri podatki skriti.

¹⁰ Uradni list RS, št. 61/17 in 72/17, v nadaljevanju GZ.

- obvestilo inšpektoratu o postavitvi novega kotla (inšpekcija za energetiko in rudarstvo)

OKOLJSKE ZADEVE

Glede na prilogo 4, Uredba o emisiji snovi v zraku iz nepremičnih virov onesnaževanja¹¹, spadajo kurilne naprave na zemeljski plin in vhodno toplotno močjo manjšo od 50 MW v točko 1.2a, 2. stolpec:

- plinska goriva kot so zemeljski plin, utekočinjeni naftni plin, vodik, koksni plin, plavžni plin, rudniški plin, sintetični plin, rafinerijski plin, plin iz blata čistilnih naprav, deponijski plin ali bioplin z vhodno močjo, enako ali večjo od 10 MW in manjšo od 50 MW

Za te naprave je treba pridobiti okoljevarstveno dovoljenje, če je zanje obvezna presoja vplivov na okolje. To pomeni, da trenutno okoljevarstveno dovoljenje ni dovolj in ga moramo na novo pridobiti, ker se pripravljamo na zagon novega kotla, ki bo na drugačen način vplival na okolje, kot sta do sedaj vplivala kotla PKG.

ŠTUDIJA POŽARNE VARNOSTI

Pred montažo novega kotla se izvede študija požarne varnosti, kjer so opisani:

- zakonodaja
- naloga načrta požarne varnosti
- opis posegov
- požarni scenarij
- možni vzroki za požar
- vrste ter količina nevarnih snovi
- pričakovani potek požara ter njegove posledice
- požarni scenarij
- gasilske enote in oprema
- projektne rešitve za omejevanje požara na sosednje objekte
- projektne rešitve za omejevanje požara znotraj objekta
- požarna odpornost nosilnih elementov
- napeljave
- plinska instalacija
- kotlovnica
- odvod dimnih plinov
- elektro oprema
- strelovodi
- projektne rešitve za varno evakuacijo, javljanje in alarmiranje
- varnostna razsvetljava

¹¹ Uradni list RS, št. 31/07, 70/08, 61/09 in 50/13)

- požarni javljalniki, evakuacijske poti in maksimalno število ljudi v objektu
- projektne rešitve za učinkovito intervencijo in gašenje
- voda za gašenje in hidranti
- gasilni aparati
- dovozne in dostopne poti
- delovna površina
- izkaz požarne varnosti stavbe

6.2 OPIS OBSTOJEČEGA STANJA

Sistem proizvodnje pare je sestavljen iz sledečih sistemov:

- Kemična priprava vode
- Napajalni sistem in sistem termičnega in kemičnega odplinjevanja
- Proizvodnja pare
- Razvod pare (na tri odjemalce)
- Sistem dovoda plina
- Odvod dimnih plinov
- Sekundarni sistemi kotlovnice (ogrevanje, vodovodno omrežje, kanalizacija, hidrantno omrežje, prezračevanje)

Kotlarna ima primeren obstoječi sistem priprave napajalne vode, ki jo zahteva zakonodaja za obratovanje kotlov. Priprava vode se izvaja ločeno na drugem objektu poleg kotlarne.

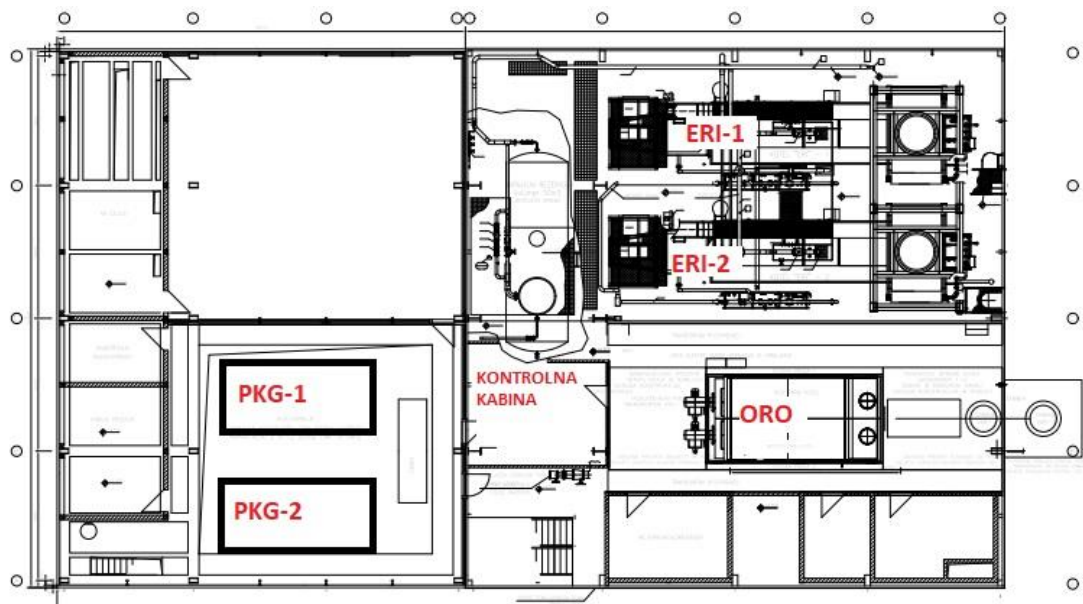
Kemično pripravljena voda se meša s povratkom kondenzata in shranjuje v zbirni rezervoar v kotlarni. Mešanici kemično pripravljene vode in kondenzata dodajamo hidrazin in amonijak za kemično odplinjevanje. Kemično odplinjeni vodi dodamo še paro, s katero vodo termično dokončno odplinimo in shranjujemo v napajalnem rezervoarju. Napajalna voda iz rezervoarja preko črpalk polni nivo kotla s tlakom, večjim od tlaka v kotlu.

Zajem zgorevalnega zraka je iz prostorov kotlarne (naravno zračenje) in poteka preko ventilatorjev, ločeno za vsak kotel.

Para iz kotlov (17,3 bara) se zbira v razdelilcu, kjer se deli na tri odjemalce (podjetja), odplinjevalnik in kemično priprave vode (ogrevanje rezervoarja luga in gretje vode). Kondenzat se odvaja preko prog za odvajanje (kondenčni lončki in cevovod).

Kotla ERI imata svoja ločena dimnika, stara PKG kotla pa imata svoj poseben dimnik (skupen).

Celoten sistem kotlov je povezan s krmilniki in nadzornim sistemom SCADA, kjer ima lahko operater nadzor iz nadzornega prostora.



Slika 10: Shema tlorisa kurilnice
(Vir: Podjetje X, 2021)

Iz sheme je razvidna postavitve obstoječega stanja. Na mestu, kjer je »ORO«, je temelj predhodnega kotla, ki se je obdržal v dobrem stanju¹² in je idealno mesto za postavitve novega kotla ORO. Načrt postavitve kotla ORO je bil izveden vzporedno z obstoječima delujočima kotloma ERI.

6.3 VGRADNJA NOVEGA PARNEGA KOTLA - TEHNOLOŠKE ZAHTEVE

Kotel smo postavili na obstoječi temelj iz armiranega betona, kjer je včasih stal večji kotel, kurjen na mazut. Dimnik bi lahko postavili znotraj konstrukcije na nosilno etažo, vendar smo se zaradi prostorske stiske odločili za zunanjo konstrukcijo izven stavbe. Ker smo se odločili za zunanji dimnik, je bilo potrebno zgraditi še temelj za novi dimnik.

Tehnološke zahteve za nov kotel so:

- Blok vodoravna, cilindrična oblika kotla
- Dve zgorevalni komori (ločeni), trije vleki dimnih plinov
- Dva gorilnika
- Opcija obratovanja tudi le z enim gorilnikom
- Kapaciteta kotla 22 t/h

¹² Na tem mestu je včasih stal zmogljiv pokončno ležeč kotel Wagnerbiro, ki je gnal turbino in dosegel zmogljivost tudi do 80 t/h pare. Temelj je bil na nosilni konstrukciji idealen za postavitve novega kotla.

- Moč kotla 14,5 MW (nazivna moč)
- Nazivni tlak 22 barov
- Delovni tlak 17,5 bara
- Energent zemeljski plin
- Nasičena para pri 210 °C
- Vgrajena oprema za vzdrževanje tople pripravljenosti za čas neobratovanja
- 2 Weisshaupt gorilnika z VSD pogonom zraka in dušilcema hrupa ter plinska proga z vso regulacijo, varnostno zaporo in merilno tehniko plina
- Emisije NO_x manj od 100 mg/m³
- EKO 1 za ogrevanje napajalne vode in EKO 2 za ogrevanje kemično pripravljene vode (sveža voda)
- Učinkovitost kotla nad 95 % z ECO 1 in 97 % z ECO 2
- Dimnik s troslojno jekleno konstrukcijo, inox vložkom in izolacijo. Dimnik mora ustrezati veljavni zakonodaji in tehničnim predpisom. Pred postavitvijo dimnika moramo zagotoviti ustrezno podlago (temelj)
- Napajalne črpalke - 2 kosa z VSD¹³ pogonom in avtomatiko za zagon rezervne v primeru izpada
- Razbremenilni vod napajalnih črpalk
- Varnostne kontrole in elementi parnega kotla
- Avtomatizacija (PLC krmilniki - povezava z obstoječo SCADO, programska aplikacija)
- Vgradnja vseh tehnoloških meritev (merilniki pretoka, temperature, tlaka)
- Avtomatsko kaluženje in odsoljevanje

Tehnološke zahteve so bile osnova za iskanje ponudb novega kotla.

6.3 PRIPRAVLJALNA DELA PROJEKTA ZA VGRADNJO NOVEGA KOTLA

Pred samo montažo novega kotla je bilo potrebno izdelati nov priključek zemeljskega plina na obstoječem cevovodu. Dela so se izvajala v času zaustavitve proizvodnje. Vgradnja novih merilnih sistemov napajalne vode, ki bodo delovali neodvisno glede na obstoječi sistem. Vgradi se tudi nov priključek za napajalno vodo in za povratni vod napajalnih črpalk. Novi kotel mora delovati neposredno, brez vpliva na obstoječi sistem. Pripraviti moramo cevovod za dovod sveže vode v ECO 2, priklop kalužne vode v ekspander kaluže in odsoljevanja. Pred transportom je potrebno urediti dovoz, pripraviti teren, ki bo zelo obremenjen, saj le kotlovno telo znaša 60 ton brez dvigala. Pred montažo se pripravi temelj za nov dimnik in podstavka za novi napajalni črpalke. Za samo izgradnjo dimnika je bilo potrebno izdelati geotehnični elaborat, s katerim smo ugotovili ali je podlaga primerna za nov dimnik. V času zaustavitve proizvodnje so se vgradili tudi vsi novi priključki (parni ventili), da smo med samim delovanjem

¹³ Variable speed drive - regulacija vrtljajev črpalke

proizvodnje lahko izvajali montažna dela in poizkusne zagone. Zagotovili smo tudi priključna mesta za samo elektro napajanje, ločeno od ostalih kotlov. Pred samim transportom se je uredil tudi dostop v stavbo. Za vnos kotla in ekonomizerjev smo morali odpirati streho stavbe in podreti del stene.



*Slika 11: Pripravljalna dela temelja za nov dimnik in utrjevanje terena za dvigalo
(Lastni vir)*

6.4 IZVEDBA MONTAŽNIH DEL

Ko smo izpolnili vse zakonske osnove za vgradnjo kotla, izpeljali vsa pripravljalna dela za samo postavitve in priključitev, uredili vhod v stavbo, smo lahko pričeli z montažo. Kotel je proizvajalec dostavil z izrednim prevozom.



*Slika 12: Slika kotla med transportom
(Lastni vir)*

Kotel so dostavili »gol«, brez izolacije in ostale opreme. Na sliki vidimo osnovno kotlovno telo z dvema revizijskima odprtinama za dve zgorevalni komori.



*Slika 13: Slika dvigovanja kotla in pripravljene odprtine v stavbo
(Lastni vir)*

Za dvigovanje izredno težkega bremena je poskrbel izvajalec, specializiran za dvigovanje težkih bremen. Kotel in ostalo opremo so v stavbo vnesli skozi pripravljene odprtine ter nato nazaj zaprli vse odprtine za vnos. Potem so kotel in ostalo opremo sestavili v za to načrtovanem prostoru ter povezali z vsemi pripravljenimi priključki.



*Slika 14: Slika kotla med montažo
(Lastni vir)*

Na sliki 14 je kotel med samo montažo, brez izolacije in ostale opreme.

6.5 ZAGON NOVEGA KOTLA IN DOKAZOVANJE PARAMETROV

IZVEDBA IN PREIZKUŠANJE NAPELJAVE

Notranjosti cevi morajo biti čiste. Izvajalec je dolžan odstraniti vse morebitne nečistoče. Cevi morajo biti zaprte vse do končnega spajanja.

Varjenje cevi lahko opravljajo le pooblaščen izvajalci z ustreznimi atesti. Pred pričetkom del je moral izvajalec predložiti naročniku podatke o uporabljenem varilnem postopku (varilni dnevnik), ateste za cevni material in ostale elemente v cevovodu.

Izvajalec je moral po končanem delu opraviti tlačni test. Pri tlačnem testu napolnimo cevovod z inertnim plinom in povečamo tlak za 1.5-kratnik obratovalnega tlaka. Po 10

minutah se preizkusni tlak ne sme spremeniti. Izvedla se je tudi rentgenska kontrola varov. Naredijo se rentgenski posnetki varov, s katerimi smo preverili kakovost varov v notranjosti materiala. O celem postopku je bil izdelan zapisnik, v katerem so zapisani podatki o izvajalcu, preizkusnem tlaku, času bremenitve in potrdilo, da je omrežje tesno in brez deformacij.

PREIZKUSNO OBRATOVANJE

Pri preizkusnem obratovanju so bili navzoči predstavniki izvajalca in nadzorni organ. Preizkusno obratovanje je trajalo neprekinjeno od 8 ur do 72 ur (odvisno od velikosti inštalacije). Med preizkusnim delovanjem so se preizkusili varnostni ventili, presostati in ostala oprema. Po končanem preizkusu se je sestavil zapisnik.

Opravil se je pregled in testni zagon gorilcev. Gorilca se je nastavilo na delovanje 2,5 bara (tlak v bobnu), zaradi postopka sušenja šamota (v notranjosti zgorevalne komore) in prekuhanja kotla s kemikalijami. Po preizkusu se je nastavilo gorilce na delovni tlak, blokadni tlak (v primeru previsokega tlaka). Testirali so se zagoni gorilnikov (približno 10 zagonov). Preverilo se je delovanje varnostne verige, napajalnih črpalk in ostalih parametrov za pravilno delovanje kotla. Nastavilo se je gorilnike z regulacijo dovoda kisika od minimalne do maksimalne moči. V testni fazi se je izvedlo tudi merjenje emisij dimnih plinov in hrupa, ter sestavilo zapisnik.

Na sliki 14 iz izseka zapisnika imamo podatke o različnih meritvah emisij pri preizkusu gorilnika. Gorilnik se je preizkušal in nastavljal na optimalno delovanje od minimalne do maksimalne pozicije delovanja. Po preizkušnji se je izdelalo poročilo o prvih meritvah emisij. To nam omogoča skladnost z zahtevami Uredbe o emisiji snovi v zrak (Ur. 1. RS, št. 17/18 in 59/18).

SRE 02.03.2022		SRE 02.03.2022		SRE 02.03.2022	
Zem.plin E	10:58:36	Zem.plin E	11:12:17	Zem.plin E	12.1 %
Merjenje plinov	15%	Merjenje plinov	30%	Merjenje plinov	50%
T-plin [°C]	212.5	T-plin [°C]	226.9	T-plin [°C]	240.8
T-zrak [°C]	22.8	T-zrak [°C]	23.9	T-zrak [°C]	25.3
CO2 [%]	10.0	CO2 [%]	10.2	CO2 [%]	10.4
Izgube [%]	3.7	Izgube [%]	9.1	Izgube [%]	9.6
O2 [%]	3.6	O2 [%]	3.2	O2 [%]	3.0
Vlek [mbar]	0.41	Vlek [mbar]	1.33	Vlek [mbar]	2.53
CO [mg/3%O2]	1	CO [mg/3%O2]	0	CO [mg/3%O2]	0
CO [ppm]	1	CO [ppm]	0	CO [ppm]	0
CO [mg/kWh]	1	CO [mg/kWh]	0	CO [mg/kWh]	0
Lambda []	1.21	Lambda []	1.18	Lambda []	1.17
ETA [%]	91.3	ETA [%]	90.9	ETA [%]	90.4
NO [ppm]	26	NO [ppm]	19	NO [ppm]	21
NO [mg/3%O2]	36	NO [mg/3%O2]	26	NO [mg/3%O2]	29
NO [ppm/3%O2]	27	NO [ppm/3%O2]	20	NO [ppm/3%O2]	21
NOx [mg/3%O2]	57	NOx [mg/3%O2]	42	NOx [mg/3%O2]	46
Pres. zraku [%]	21	Pres. zraku [%]	18	Pres. zraku [%]	17
T-kotla	200°C	T-kotla	200°C	T-kotla	200°C

Slika 15: Slika izseka iz zapisa zagona gorilnikov (vir: Robocom, 2022, str.4)

POTRDILO O PREGLEDU TLAČNO VARNOSTNE OPREME VARNOSTNEGA VENTILA				Datum: 24.02.2022	
				Št. [REDACTED]	
				Tov.št. [REDACTED]	
Vrsta opreme:	Vzmetni prirobnični				
Uporabnik:	[REDACTED]				
Mesto obratovanja:	Kotlarna_kotel št.5769				
Mesto vgradnje:	Kurjena oprema št.5769				
Proizvajalec (ime in naslov):	ARI ARMATUREN				
Dimenzija:	DN40	Tip:	912		
OSNOVNI TEHNIČNI PODATKI OPREME POD TLAKOM					
Obratovalni medij: para					
OBRATOVALNI PARAMETRI		enote	Vrednost		
Tlak nastavitve varnostnega ventila:		[bar]	23		
Zgornja meja odpiranja varnostnega ventila:		[bar]	23,69		
Spodnja meja odpiranja varnostnega ventila:		[bar]	22,31		
Maksimalni tlak zapiranja varnostnega ventila		[bar]	22,54		
Minimalni tlak zapiranja varnostnega ventila		[bar]	19,55		

Na podlagi rezultatov pregleda in preskusa varnostnega ventila, Inštitut za varstvo pri delu in varstvo okolja Maribor v zvezi s poročilom št. CTP-10472/2022-01V, z dne 24.02.2022, ugotavlja, da varnostni ventil ustrezno opravlja svojo funkcijo glede na predpisane standarde.

Datum naslednjega pregleda: 24.02.2023

OPOMBA: Periodični pregled je opravljen v roku, če je opravljen v skladu s programom periodičnih pregledov do konca leta, v katerem je potrebno periodični pregled opraviti (Ur. l. RS št. 8/19. člen).

Pooblaščen strokovni izvajalec:
Bojan Drame, univ.dipl.inž.str.

Vodja kontrolnega organa:
Branko Sattler, univ.dipl.inž.el.

Slika 16: Potrdilo o pregledu varnostnega ventila
(Vir: IVD Maribor, 2022, str.1)

6.6 PREKUHAVANJE KOTLA

Prekuhavanje kotla pomeni polnjenje kotla z vodo in dodajanje kemikalij za preprečevanje korozije in zaščito notranjosti bobna kotla. Z dodajanjem kemikalij se na stenah bobna ustvari zaščitni film, ki kotel varuje pred korozijo in nalaganjem usedlin, seveda pod pogojem, da uporabljamo napajalno vodo ustrezne kvalitete (zahteve proizvajalca). Zaščitni film tako podaljša življenjsko dobo kotla. V kotel smo v napajalno vodo dodajali raztopino trinatrijevega fosfata¹⁴ in mešanico morfolina in 2-dietilaminoetanol¹⁵ za pripravo kotlovskega kondenzata. Pred dovajanjem kemikalij je izvajalec poslal varnostne liste kemikalij, da smo se varnostno seznanili, kako ravnati v primeru nesreč. V varnostnem listu kemikalij najdemo vse informacije o sestavi raztopine, o ravnanju v primeru nesreč, identifikacijo snovi, namen snovi, o ukrepih v primeru nenamernega izpusta, skladiščenje, osebna zaščita, toksikološki podatki in drugo.


Postopek prekuhavanja je sledeč:

- Kotel smo napolnili s primerno napajalno vodo do višine 1 cm nad minimalnim nivojem vodokaza
- Skozi odzračevalni ventil na vrhu kotla smo uvedli kemikalije v količini, ki je predpisana glede na tip kotla - po navodilih proizvajalca (kemikalije se dovaja z dozirno črpalko)
- Zapreti vse ventile razen odzračevalnega
- Zagon kotla na minimalni poziciji in gretje napajalne vode s kemikalijami
- Ko se začne izločati para skozi odzračevalni ventil, ga zapremo
- Kotel prekuhavamo do tlaka 3 barov
- Ko tlak v kotlu doseže 3 bare, ga ugasnemo in ponovno odpremo odzračevalni ventil
- Po dveh dneh mirovanja kotel spraznimo skozi ventil za kaluženje (nujno mora biti odprt ventil za odzračevanje)
- Voda je kontaminirana s kemikalijami, zato jo prečrpamo iz kalužne jame v cisterno ali nevtralizacijski bazen, kjer nevtraliziramo odpadno vodo
- Kotel speremo s svežo napajalno vodo
- Po prekuhavanju se izmeri pH vode s kemikalijami in tlak v bobnu ter naredi zapisnik o prekuhavanju

¹⁴ Inhibitor korozije za uravnavanje pH vrednosti v vročevodnih in hladilnih sistemih.

¹⁵ Trgovski naziv: NALCO B43 in STEAMATE NA6540

VARNOSTNI LISTStran 1 od 7
Dat.izdaje: 01.06.2016

1. IDENTIFIKACIJA SNOVI/ZMESI IN DRUŽBE/PODJETJA	
1.1. Identifikacija snovi	
Trgovski naziv:	Raztopina trinatrijevega fosfata
Kemijsko ime snovi:	Trinatrijev monofosfat dodekahidrat – Na ₃ PO ₄ 12H ₂ O
CAS številka:	7601-54-9 (brezvodni)
EC številka:	231-509-8
INDEKS številka:	
Registracijska št. snovi:	01-2119489800-32-0006
1.2. Pomembne identificirane uporabe snovi/zmesi in odsvetovane uporabe	
	Za uravnavanje pH vrednosti v vročevodnih sistemih in hladilnih sistemih, inhibitor korozije v parnih sistemih.
1.3. Podatki o dobavitelju varnostnega lista	
	IMS TECH, d.o.o. Breznikova ulica 15 SI-1230 DOMŽALE tel : +386 (0) 1 724 83 10 fax : +386 (0) 1 724 83 09 imstech@siol.net
1.4. Telefonska številka za nujne primere	
	V primeru zdravstvene ogroženosti se takoj posvetovati z zdravnikom, v primeru življenjske ogroženosti poklicati tel. 112. Dodatne informacije na tel.: +386 41 703 533.
2. UGOTOVITEV NEVARNOSTI	
2.1. Razvrstitev snovi ali zmesi Razvrstitev po uredbi (ES) št. 1272/2008 s spremembami:	
	Draženje oči kategorije 2 (Eye Irrit. 2) – H319: Povzroča hudo draženje oči. Draženje kože kategorije 2 (Skin Irrit. 2) – H315: Povzroča draženje kože. Dračilno za dihalne poti kategorije 3 (STOT SE. 3) – H335: Lahko povzroči draženje dihalnih poti.
Razvrstitev v skladu z direktivo 67/548/EGS ali 1999/45/ES s spremembami:	
	R36/37/38 – Draži oči, dihala in kožo.
Neugodni fizikalno-kemijski učinki na zdravje ljudi in okolje:	
	S kislinami se sprošča nevaren plin – klor. V stiku s kovinami je korozivna. Visok pH - jedkost. Povzroča opekline na koži ter poškodbe oči. Nevaren pri zaužitju. V večjih količinah je nevaren za okolje zaradi zvišanja pH in možnosti tvorbe klora.
2.2. Elementi etikete	
Oznaka v skladu z uredbo (ES) št. 1272/2008 s spremembami	
Trgovsko ime:	TRINATRIJEV FOSFAT, 10 % RAZTOPINA
Indeks številka:	Se ne uporablja.
CAS številka:	7601-54-9 (brezvodni)
Piktogrami za nevarnost	
Opozorilna beseda	Pozor

Slika 17: Slika prve strani varnostnega lista
(Vir: TPK Orometal d.d., 2022)

6.7 IZOBRAŽEVANJE ZAPOSLENIH

Po končani montaži, tlačnih testih, prekuhavanju in umerjanju gorilnikov je kotel nared za delovanje. Kotel je dimnocevne vrste, drugačen od ERI-jev, s katerimi so zaposleni vajeni obratovati. Sam postopek zagona in oprema je drugačna ter zahteva drugačen pristop in postopek kakor vodocevni ERI. V skladu s ponudbo smo izvedli izobraževanje za zaposlene. Zaposleni so se informirali o sami sestavi kotla, napajalnih črpalkah, SCADA, gorilnikov, o regulacijski ter varnostni opremi. Prevezela so se navodila za uporabo in zaposlene se je poučilo vse o zagonu, uporabi in vzdrževanju kotla. Po koncu izobraževanja se je sestavil zapisnik o izobraževanju z evidenco in podpisi prisotnih.

6.8 NAPAKE PRI MONTAŽI IN ZAGONU

Ker je kotel in ves sistem proizvodnje pare zelo kompleksen sistem, lahko pride do določenih napak pri montaži, zagonih in obratovanju sistema. Zato izvajamo razne tlačne preizkuse in testne zagone. Pri zagonu je prišlo do manjših puščanj na nekaterih mestih, ki so bila slabo tesnjena (npr. navoj pri manometrih, regulacijski ventil za napajalno vodo, slabo zatesnjena plinska proga). Vsa puščanja in slabe tesnitve so bile posredovane izvajalcu del ter naknadno odpravljene.

V času usklajevanja sistema SCADA za nadzor kotla je bilo veliko usklajevanja, prilagajanja in komunikacije z izvajalcem, da se je uredilo primerno alarmiranje in nadzor nad delovanje novega kotla. Med montažo smo ugotovili, da manjka delovni presostat gorilca 2. Napaka je bila javljena proizvajalcu in manjkajoči presostat smo dobili v najkrajšem možnem času. Prišlo je do določenih napak zaradi človeškega faktorja (poškodba manometrov zaradi vijačenja z roko namesto s ključem). Ob testiranju z elektronskim merilnikom smo ugotovili manjše puščanje plinske proge. Napako so odpravili z namestitvijo novega tesnila. Ob začetnem startu in povezovanju kotla ORO s proizvodnjo smo ugotovili, da so gorilci zelo počasi odzivni, saj je poraba pare v podjetju zelo dinamična¹⁶. Izvajalec del je gorilnike optimiziral z novo nastavitvijo, ki je omogočala, da se gorilci bolje in hitreje odzovejo na spremembo tlaka v omrežju. Ob testiranjih smo ugotovili, da je varnostni parni ventil nastavljen prenizko (ob večjem odvzemu pare se tlak kotla poveča do kritične meje varnostnega ventila), ter tako ponovno nastavili tlak varnostnega ventila. Pri obratovanju smo ugotovili zastajanje kondenzata dimnih plinov pred vstopom v zunanji dimnik in težavo rešili z dodatnim odvodom kondenzata. Na začetku delovanja kotla se je napajalni ventil odzival z zamudo. Posledično je nivo napajalne vode v kotlu zelo nihal in včasih je tudi alarm opozoril na nizek nivo vode. Težavo smo rešili z novimi nastavitvami v logiki delovanja avtomatike regulacijskega ventila napajalne vode.

Ob montaži gorilcev je prišlo do poškodbe tesnila med kotlom in gorilcem. Montaža gorilca se je prestavila za par dni, saj smo čakali na novo tesnilo, ki je bilo naročeno.

¹⁶ Poraba pare se lahko v času dveh minut razlikuje tudi za slabih 10 t/h zaradi ne konstantne porabe odjemalca

6.9 NADGRADNJA OBSTOJEČEGA SISTEMA

Novi kotel smo sčasoma nadgradili z dodatno izolacijo za še boljši izkoristek. Proizvajalec je izoliral kotel in zaščitil izolacijo s pločevino. Ker smo opazili, da je obračalna komora neizolirana, smo jo dodatno izolirali s posebno izolacijo, krojeno po meri. V primeru vzdrževalnih del se izolacija enostavno odpre in odstrani, po končanih delih pa postavi nazaj in zapne.

Po postavitvi in končanih delih so se pojavili politični pritiski in težave z dobavo in ceno zemeljskega plina. Zaradi zanesljivosti samega obratovanja smo kotel nadgradili z novima gorilcema, ki lahko delujeta kombinirano na plin ali kurilno olje. Tako v primeru težav dobave plina lahko obratujemo tudi na kurilno olje. Nadgradnja je zahtevala tudi postavitev novega ekonomajzera, saj predhodni ni primeren za dimne pline kurilnega olja. Nakup kotla ORO je bila dobra odločitev, saj v primeru integriranega ekonomizerja (iz druge ponudbe) predelava nebi bila možna. Preklop energentov opravimo enostavno s stikalom na krmilni omari, lopute dimnih plinov se avtomatsko postavijo za odvajanje dimnih plinov preko ekonomizerja za kurilno olje. V poletnih mesecih se prostor v okolici kotlov dodatno segreje. Krmilno omaro kotla smo dodatno nadgradili s klimatsko napravo, da preprečimo segrevanje komponent krmilnika ter se tako izognemo morebitnim težavam.



*Slika 18: Kotel z dodatno izolacijo
(Lastni vir)*

7 ANALIZA IZKORISTKOV

Pri vsakem pretvarjanju energij pride do določenih izgub. Pri delovanju kotlov, ko pride do prenosa toplote na vodo, se vedno nekaj energije izgubi ali ne izkoristi. Nekaj energije se izgubi v okolje (kotel izoliramo za čim manjše izgube toplote v okolico), nekaj pa se je odvede z neizkoriščeno toploto dimnih plinov. V našem primeru imamo dva ekonomajzerja, da čim bolje izkoristimo toploto dimnih plinov ter tako čim manj toplote odvedemo v okolje.

Izkoristek kotla je razmerje med koristno pridobljeno toploto in z gorivom dovedeno toploto.

Izračunamo ga na dva različna načina:

- Z direktno metodo
- Z indirektno metodo

Z direktno metodo izračunamo po enačbi:

$$\eta = \frac{\text{koristno pridobljena toplota}}{\text{z gorivom pridobljena toplota}} < 100\%$$

»Koristno pridobljena toplota v kotlu je toplota, ki je potrebna za segrevanje vode, uparjanje vode in pregrevanje pare, to je produkt masnega toka pare m_p v kg/s in entalpije pare ($h_2 - h_1$) v kJ/kg, če entalpijo pregrete pare označimo s h_2 in entalpijo vode s h_1 . Z gorivom dovedena toplota je produkt masnega toka goriva m_g in njegove spodnje kurilnosti. Enačbo za izkoristek kotla po direktni metodi lahko zapišemo tudi:« (Lavrič, 2013, str. 41)

$$\eta = \frac{m_p * (h_2 - h_1)}{m_g * H_i}$$

Ker velja zakon o ohranitvi energije (1. glavni zakon termodinamike), izkoristek ne more biti večji od 100 %. V formuli upoštevamo, da ne pride do kondenzacije dimnih plinov, zato računamo s podatki spodnje kurilnosti. V primeru, da izkoristimo še energijo toplote uparjalnih plinov, je potrebno računati s podatki zgornje kurilnosti H_s .

Pri zgorevanju se sprosti kemično vezana energija goriva, ki se izkoristi le delno. Izgube nastanejo zaradi:

- Izgube s premogom, ki pade skozi rešetko x_r
- Izgube zaradi nezgorelega goriva v žlindri x_n
- Izgube zaradi nezgorelega goriva v letečih delcih x_l
- Izgube zaradi nezgorelih plinov x_p
- Izgube zaradi nezgorelih saj x_s
- Izgube s toploto žlindre x_t
- Izgube zaradi sevanja toplote skozi stene v okolico kotla x_d

- Izgube s toploto dimnih plinov (dinamične izgube) x_z

Enačbo po indirektni metodi zapišemo:

$$\eta = 100 - x_r - x_n - x_l - x_p - x_s - x_t - x_d - x_z < 100 \%$$

Navedene izgube so prisotne v kotlu, kurjenem na trda goriva (premog). Pri kotlih, kurjenih na plinasta in tekoča goriva, so prisotne izgube predvsem zaradi nezgorelih plinov, sevanje toplote skozi stene in dinamične izgube. Pri vseh kotlih so prisotne sevalne izgube skozi stene v okolico. Boljša kot je toplotna izolacija sten, manjše so te izgube. S starostjo kotla se sevalne izgube večajo.

Dinamične izgube so prisotne pri vseh kotlih (razen pri električnih kotlih, kjer ni dimnih plinov) in so tudi največje od vseh, ter praktično določajo izkoristek kotlov. Zato je zelo pomembno, da je temperatura dimnih plinov na izhodu kotla čim nižja. Izkoristki kotlov niso enaki v vseh območjih delovanja. Najvišji izkoristek je pri približno 80 % delovanja. Pri vodocevnih je najnižja točka bremenitve okrog 50 % (zaradi temperaturnih bremenitev), dimnocevni pa niso tako občutljivi na obremenitev, ker je drugačna cirkulacija vode in dimnih plinov. Kar se v našem primeru ponovno izkaže za pametno odločitev glede tipa kotla. Dimnocevni kotli imajo lahko tudi zelo majhno bremenitev, vendar je izkoristek temu primerno manjši. Plinski kotli imajo dober izkoristek tudi po daljšem časovnem obdobju obratovanja, saj so ogrevalne površine zaradi dobrega izgorevanja čiste.

VRSTA KOTLA IN GORIVO	IZKORISTEK η (%)
Vodocevni, večjih moči:	
Kurilno olje	90-92
Zemeljski plin	90-93
Premog (prašna kurjava)	80-90
Mnogovodni kotli:	
Kurilno olje	86-90
Zemeljski plin	86-90
Premog s pred kuriščem	80-85
Lesni ostanki	75-83

Tabela 4: Izkoristek kotlov glede na tip kotla
(Vir: Lavrič, 2013, str.42)

7.1 ANALIZA IZKORISTKOV

V diplomski nalogi smo primerjali dva izkoristka na letnem nivoju. Primerjali smo staro postrojenje v režimu delovanja kotlov ERI in odsluženima PKG, ter kotla ERI v režimu z novim ORO kotlom. Preračunavali smo podatke na mesečnem nivoju v obdobju enega leta zaradi različnih načinov delovanja in odjema. V zimskem režimu zaradi potreb ogrevanja kotli delujejo na višjih pozicijah in so tako tudi izkoristki boljši.

Pri računanju entalpij smo zaradi večje natančnosti uporabili tabele¹⁷ za izračun entalpije pare ali kapljevine (napajalna voda) glede na tlak in temperaturo.

V podjetju na vsako uro popisujemo vse parametre za kontrolo parnega kotla (para, plin, napajalna voda, ekonomizer, dimni plini), ki smo jih uporabili za računanje izkoristka. Uporabili smo mesečni seštevek proizvedene pare v tonah, mesečni seštevek porabe plina, tlak napajalne vode, temperaturo napajalne vode, tlak nasičene pare in povprečje mesečnih kurilnih vrednosti od leta 2022 do danes (ker ni na voljo podatkov za leto 2021¹⁸). Izkoristek smo izračunali s pomočjo direktne metode, saj smo imeli na razpolago vse podatke o količini porabljenega plina in pridobljene pare (arhiv podjetja iz popisa za leto 2021 in 2022).

Primer izračuna za januar 2022:

$$\eta = \frac{m_{pare} * (h_2 - h_1)}{m_{goriva} * H_i}$$

$$\eta = \frac{20304000 \text{ kg} * (2796,52 \text{ kJ/kg} - 467,42 \text{ kJ/kg})}{1400126 \text{ m}^3 * \left(\frac{11,493 \frac{\text{kWh}}{\text{Nm}^3}}{1,108} \right) * 3600} = 0,904$$

Iz primera izračuna je razvidno, da smo uporabili zgornjo kurilno vrednost, ki smo jo delili s pretvorbenim faktorjem 1,108, da smo dobili spodnjo kurilno vrednost.¹⁹

V števcu ulomka formule imamo količino pare, ki smo jo proizvedli, ter jo zmnožili z razliko entalpij pare in napajalne vode. Entalpije smo izračunali s pomočjo podatkov o tlaku nasičene pare, temperature in tlaka napajalne vode.

V imenovalcu smo količino plina, ki smo ga porabili za proizvodnjo pare, množili s kurilno vrednostjo in pretvornikom 3600. 1 watt/ura je enaka 3600 joulov.

¹⁷ <https://xsteam.sourceforge.net/> (dostopno dne 12. 11. 2023)

¹⁸ https://www.plinovodi.si/wp-content/uploads/2017/09/Mesecna_povprečna_zgornja_kurilnost_v_Sloveniji.pdf (dostopno dne 12. 11. 2023)

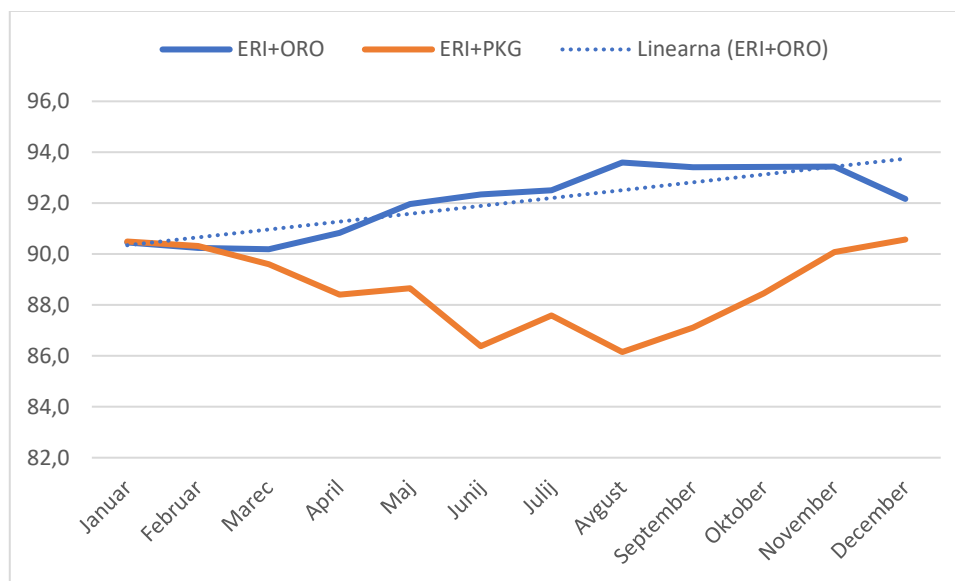
¹⁹ https://www.plinovodi.si/wp-content/uploads/2017/01/Letna_povprečna_kurilnost_v_Sloveniji.pdf (dostopno dne 15. 11. 2023)

2022 ERI + ORO	Januar	Februar	Marec	April	Maj	Junij	Julij	Avgust	September	Oktober	November	December
Mesečno proizvedena para [t/mesec]	20304	17499	18490	15499	14170	13424	11047	12443	13976	14195	16282	15227
Mesečno porabljen plin za kotle [Nm ³ /mesec]	1400126	1209752	1278692	1064706	962255	906710	745085	829318	933577	947814	1087410	1030783
Zgornja kurila vrednost zemeljskega plina [kWh/Nm ³]	11,493	11,493	11,493	11,493	11,493	11,493	11,493	11,493	11,493	11,493	11,493	11,493
Temperatura vode v kotel [°C]	111,0	110,9	111,0	110,8	110,3	111,0	110,8	110,9	110,8	110,9	110,7	110,8
Tlak vode v kotel [bar_g]	25,6	25,7	26,4	26,5	26,9	26,7	26,7	26,8	26,6	27,1	26,3	26,0
Tlak nasičene pare [bar_g]	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4
Izkoristek kotla [%]	90,4	90,2	90,2	90,8	92,0	92,3	92,5	93,6	93,4	93,4	93,4	92,2

2021 ERI + PKG	Januar	Februar	Marec	April	Maj	Junij	Julij	Avgust	September	Oktober	November	December
Mesečno proizvedena para [t/mesec]	20102	16148	16334	15229	15789	12451	8350	12307	12687	15088	17406	18155
Mesečno porabljen plin za kotle [Nm ³ /mesec]	1386233	1115480	1137463	1074791	1110897	898934	594993	891428	908318	1063859	1205390	1250871
Zgornja kurila vrednost zemeljskega plina [kWh/Nm ³]	11,493	11,493	11,493	11,493	11,493	11,493	11,493	11,493	11,493	11,493	11,493	11,493
Temperatura vode v kotel [°C]	110,7	110,8	110,8	110,8	110,9	111,0	110,6	110,7	111,0	111,0	110,9	110,7
Tlak vode v kotel [bar_g]	25,6	25,8	25,8	25,9	26,0	26,4	26,5	26,3	25,9	25,2	25,3	25,8
Tlak nasičene pare [bar_g]	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3
Izkoristek kotla [%]	90,5	90,3	89,6	88,4	88,7	86,4	87,6	86,2	87,1	88,5	90,1	90,6

Tabela 5: Izračun in primerjava postrojenj
(Lastni vir)

Novi kotel smo povezali v proizvodnjo 8. 3. 2022. Iz tabel je razvidno, da so izkoristki prva dva meseca v letu (januar in februar 2021 in 2022) skoraj identični. Po povezavi novega kotla v omrežje se že kažejo izboljšani izkoristki. Od marca 2022 je iz tabel razviden napredek v izkoristku sistema. Prvi mesec je novi kotel obratoval še z različnimi preizkusi in prekinitvami (prilagajanja obstoječemu sistemu), preostanek obdobja je deloval brez večjih prekinitvev. Ugotovili smo izboljšanje izkoristka celotnega sistema proizvodnje pare, kar je tudi grafično prikazano na grafu slike 19.



Slika 19: Slika grafa primerjave izkoristkov
(Lastni vir)

8 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo spoznali bistvene dele parnega kotla ter kakšne vrste parnih kotlov poznamo. Ugotovili smo, da ima vsaka vrsta parnega kotla svoje prednosti in slabosti. Z leti se vsak stroj izrabi in včasih se popravilo ne splača. Vedno moramo analizirati, koliko nas bo finančno stalo popravilo, ali pa je bolj smiseln nakup novega kotla. V našem primeru smo ugotovili, da stari kotel ne bo dolgo ustrezal emisijskim standardom, tudi, če ga popravimo. S strokovno analizo smo ugotovili, katere vrste kotla je primerna za naše potrebe. Glede na analizo in tehnične zahteve smo lahko poiskali ponudbe na trgu. Ponudbe so se razlikovale glede na več faktorjev, izbrali smo tisto, ki nam je najbolj ustrezala. Videli smo, da nas loči od izbire ponudbe do realizacije projekta kar nekaj postopkov in dela, izpolniti smo morali vse pogoje za uspešno realizacijo (gradbeno dovoljenje, požarna študija, okoljske zadeve, ARSO). Projekt zamenjave kotla je kompleksna zadeva, sprti so se nam pojavljale težave ob montaži in zagonu nove naprave. Po koncu montaže so sledili različni preizkusi in nastavitve za optimalno delovanje kotla.

V daljšem časovnem obdobju smo iz primerjave izkoristkov starega in novega kotla ugotovili in prikazali bistveno izboljšanje v sami učinkovitosti postrojenja. Z novim parnim kotlom smo z manj plina proizvedli več pare z dodatnim izpolnjevanjem emisijskih standardov. Nakup novega stroja se je tako izkazal smiseln, izbrali smo pravi tip kotla, ki dosega standarde in ga je bilo mogoče tudi nadgraditi, prilagoditi drugi vrsti energenta.

9 LITERATURA IN VIRI

CIP d.o.o. (2021). *Načrt požarne varnosti* (interni vir).

Čeperlin, B. (2021). *Analize primerne konstrukcije kotla* (interni vir).

Hegedič, A. (2019). *Tehnični predpisi in standardi*. Ljubljana: Zveza društev energetikov Slovenije.

IVD Maribor. (2022). *Potrdilo o pregledu tlačno varnostne opreme* (interni vir).

KOVA d.o.o. (2022). *Poročilo o prvih meritvah emisije snovi v zrak* (interni vir).

Lavrič, J. (2013). *Kotli*. Ljubljana: Zveza društev energetikov Slovenije.

Oman, J. (2019). *Generatorji toplote*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani.

Petek, F. (2011). *Varnost in zdravje pri delu*. Ljubljana: Zveza društev energetikov Slovenije.

Podjetje X. (2021). *Ponudbe dobaviteljev kotlov* (interni vir).

Podjetje X. (2021, 2022). *Interni popis parametrov kotlov* (interni vir).

Podjetje X. (2021). *Idejni projekt: vgradnja novega parnega plinskega kotla v kotlovnici* (interni vir).

Podjetje X. (2021). *Arhiv slik in podatkov obstoječega sistema* (interni vir).

Robocom d.o.o. (2022). *Zapisnik izvedbe zagona gorilnikov* (interni vir).

Sever, J. (2003). *Priprava vode*. Ljubljana: Zveza društev energetikov Slovenije.

Tuma, M., Sekavčnik, M. (2005). *Energetski stroji in naprave*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani.

TPK Orometal d.d. (2022). *Tehnična dokumentacija kotla ORO* (interni vir).

TPK Orometal d.d. (2022). *Zapisnik izobraževanja zaposlenih* (interni vir).

Energetska proizvodnja-Parni kotli. (b.l.) Pridobljeno 5. 7. 2023 z naslova <https://dokumen.tips/documents/parni-kotli-i-labfsuni-ljsilabfsuni-ljsikesenergetskaproizvodnjaep-predavanje-t05pdf.html>

Mechanical engineering water tube boiler. (2022). Pridobljeno 29. 7. 2023 z naslova <http://www.mecha-engineeringbd.com/2016/07/water-tube-boiler.html>