



ICES
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija

Program: Strojništvo

Modul: Orodjarstvo

PRIPRAVA KOTLOVSKE NAPAVALNE VODE ZA MNOGOVODNE KOTLE

Mentor: mag. Slavko Božič, univ. dipl. inž. stroj.

Lektorica: Natalija Furman, prof. slov. s knjiž.

Kandidat: David Maselj

Ljubljana, junij 2018

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju mag. Slavku Božiču za vso njegovo pomoč, ažurnost in deljenje dobrih strokovnih nasvetov in s tem vlivanje nadaljnje motivacije za uspešno dokončanje diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi Višji strokovni šoli Ices in njenim profesorjem za pridobljeno novo znanje ter prijetno in dobro vzdušje v trajanju študija, kar velja tudi pripisati sošolcem, s katerimi smo se dobro razumeli in sodelovali kot ekipa; v čast mi je, da sem jih spoznal.

Še zlasti se zahvaljujem sodelavcem in kooperantom za deljenje znanja, da je diplomsko delo znotraj te teme lahko nastalo, in predvsem vsem prijateljem, sošolcem in znancem, ki so me v zadnjem obdobju podpirali in spodbujali v vihravih časih. Ker bi v primeru poimenskega naštevanja zagotovo koga krivično izpustil, se vam vsem skupaj zahvaljujem.

Posebna zahvala moji družini in ožjim sorodnikom za vso spodbudo in naj bo to diplomsko delo medalja za njih.

IZJAVA

»Študent David Maselj izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Slavka Božiča, univ. dipl. inž. stroj.«

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

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

V diplomskem delu je predstavljen sistem parnega postrojenja s pripadajočim sistemom priprave vode in možnimi izboljšavami za dvig kakovosti slednjega. V industriji za potrebe tehnologije in ogrevanja potrebujejo lastno oskrbo s paro, zato večina podjetij zadosti potrebam s parnimi kotli. Za proizvodnjo pare potrebujejo parno postrojenje, ki v grobem obsega pripravo vode, kotel in razvodne inštalacije do porabnikov. Da parni sistem lahko obratuje, mora zadovoljevati zahtevam, ki jih narekujejo za to predpisani pravilniki in proizvajalci z ustreznim obratovalnim upravljanjem in nadzorovanjem ter vzdrževanjem. Tukaj je pomembna tudi priprava vode, saj je ta ključni člen pri parnem sistemu in sami kakovosti obratovanja.

V prvem delu diplomskega dela so predstavljene teoretične osnove področja vse od delovanju in zakonskih zahtevah samih kotlov do priprave napajalne vode ter postopkov za njeno proizvodnjo. S tem dobimo lažjo predstavo o celotnem parnem sistemu s procesno opremo in obsegu od opravljanja do različnih možnih procesov za pripravo vode v odvisnosti od potrebne kakovosti vode.

V drugem delu diplomskega dela smo morali zaradi nepridobljenih podatkov iz realnega okolja za praktični del uporabiti zgolj navidezen parni sistem, ki smo ga predstavili; opisali smo, kako deluje in katere systemske elemente ima za delovanje. Nato smo za ta sistem na podlagi inšpekcijskega pregleda in smernic po izboljšanju kakovosti predlagali pet izboljšav sistema, za katere predpostavljamo, da bi izboljšale parni sistem ter kakovost napajalne vode. Rešitve so bile podane na osnovi praktičnih izkušenj in bi se lahko tudi uporabile na realnem sistemu.

KLJUČNE BESEDE

- parni kotel
- mehčanje vode
- energetska učinkovitost
- priprava vode
- membranske tehnike
- kotlovska voda

ABSTRACT

This diploma, presents a process of steam systems with the associated system of water treatment and possible improvements to improve the quality of this. In the industry for the needs of technology and heating, they need their own steam supply, which is why most of the companies have the needs of them own steam boilers. In order to produce a steam, they need a steam system that roughly comprises the

preparation of water, boiler and distribution installations to consumers. In order for a steam system to operate, it must satisfy the requirements imposed by regulated policies and manufacturers accordingly, with appropriate operational control and monitoring and maintenance. The preparation of water plays a major role as it is a key element in the steam system and the quality of operation itself.

Therefore, in the first part of the thesis, are represented the theoretical basics of the field are presented from the operation and legal requirements of the boilers themselves to the preparation of the make water and the processes for producing it. This gives us an easier idea of what the entire steam system looks like with the process equipment, and what it all involves from carrying out to various possible processes for water preparation in dependence on the required water quality.

In the second part of the diploma thesis, unfortunately, due to unavailable data from the real environment, we have to use the virtual steam system for the practical part of which we presented how it works and what kind of system elements it has for operating. We then proposed five improvements to the system, based on the inspection and guidelines for improving quality, in order to improve the steam system and the quality of the feed water. The solutions were based on practical experience and could also be used on the real system.

KEYWORDS

- water supply
- steam boiler
- water softening
- energy efficiency
- preparation of water
- membrane techniques
- boiler water

KAZALO

1	UVOD.....	1
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Cilji diplomskega dela.....	1
1.3	Predstavitev okolja	2
1.4	Predpostavke in omejitve	2
1.5	Metode dela	2
2	SISTEM PARNEGA POSTROJENJA.....	3
2.1	Nastanek kotlov.....	3
2.2	Zakonska podlaga.....	4
2.3	Vrste parnih kotlov.....	5
2.4	Mnogovodni kotel	6
2.4.1	Konstruktivski elementi	7
2.4.2	Regulacijska oprema	8
3	POSTOPKI MEHČANJA IN ODPLINJEVANJA NAPAVALNE VODE.....	9
3.1	Periodični pregledi in metode preiskav	11
3.2	Korozije.....	12
3.3	Kotlovec	15
3.4	Mehanska filtracija vode	18
3.5	Mehčanje vode.....	19
3.5.1	Obarjalni postopki.....	20
3.5.2	Membranske tlačne tehnike	20
3.5.3	Električna dializa (ED)	24
3.5.4	Ionska izmenjava.....	25
3.5.5	Termični postopki	28
3.6	Zahteve za kakovost napajalne in kotelne vode pri mnogovodnih kotlih ..	28
4	OBSTOJEČI NAVIDEZNI SISTEM ZA PRIPRAVO NAPAVALNE VODE.....	31
4.1	Opis in predstavitev navideznega sistema za pripravo vode.....	32
4.2	Redni inšpekcijski pregled	40
5	PREDLAGANE MOŽNE IZBOLJŠAVE.....	41
5.1	Dogradnja reverzne osmoze v obstoječ sistem	42
5.2	Dogradnja mehčalca povratnega kondenzata in napojne vode.....	43
5.3	Merjenje prevodnosti slanice in merjenje trdote vode za mehčalno napravo ter vzpostavitev alarmiranja	45
5.4	Uporaba demineralizirane vode.....	46
5.5	Energetska učinkovitost z vgradnjo izmenjevalca za koriščenje odpadne toplote kaluženja in odsoljevanja	47
6	ZAKLJUČEK	48
7	LITERATURA IN VIRI.....	49

KAZALO SLIK

Slika 1: Parni stroj Jamesa Watta iz leta 1788.....	4
Slika 2: Prikaz delovanja mnogovodnih in vodocevnih kotlov	6
Slika 3: Mnogovodni kotel.....	7
Slika 4: Prerez mnogovodnega kotla, kjer je viden vlek dimnih plinov	8
Slika 5: Inšpektor ob notranjem pregledu kotla	12
Slika 6: Površinska korozija na vodni strani dimnih cevi	13
Slika 7: Skica napajalnega rezervoarja s termičnim odplinjevalnikom.....	15
Slika 8: Obloge kotlovca.....	16
Slika 9: Merjenje trdote vode s tritracijskim postopkom	17
Slika 10: Merjenje prevodnosti vode.....	18
Slika 11: Ultrafilter	21
Slika 12: Filtracija delcev glede na velikost por.....	22
Slika 13: Princip delovanja reverzne osmoze	24
Slika 14: Shematični prikaz delovanja elektrodialize.....	25
Slika 15: Shematični prikaz delovanja ionskega izmenjevalca	28
Slika 16: Zahtevani parametri za kakovost vode, ki jih narekuje pravilnik, Tabela1.	30
Slika 17: Zahtevani parametri za kakovost vode, ki jih narekuje pravilnik, Tabela 2	31
Slika 18: Shema navideznega sistema.....	32
Slika 19: Črpališče prikazan na sistemu SCADA.....	33
Slika 20: Vrečast filter.....	33
Slika 21: Mehčalna naprava	34
Slika 22: Kondenčni rezervoar.....	35
Slika 23: Napajalni rezervoar s termičnim odplinjevalcem	36
Slika 24: Kemikalije za kondicioniranje	37
Slika 25: Ekonomajzer.....	38
Slika 26: Parna kotla	38
Slika 27: Razvod pare	39
Slika 28: Nadzorni sistem SCADA.....	40
Slika 29: Vodna stran mnogovodnega kotla	41
Slika 30: Shema parnega sistema z vgrajeno reverzno osmozo.....	43
Slika 31: Shema parnega sistema z vgrajenim mehčalcem kondenzata	44
Slika 32: Merilec prevodnosti slanice.....	46
Slika 33: Shema parnega sistema z vgrajenim izmenjevalcem za koriščenje odpadne toplote.....	48

KRATICE IN AKRONIMI

ED:	Električna dializa
EDI:	Elektrodeionizacija
EU:	Evropska unija

EZ:	Energetski zakon
HVAC:	Sistem klimatizacije, angl. Heating, Ventilation and Air Conditioning
MF:	Mikrofiltracija
NF:	Nanofiltracija
RO:	Reverzna osmoza
RS:	Republika Slovenije
SCADA:	Sistem za nadzor in zajemanje podatkov, angl. Supervisory Control And Data Acquisition
UF:	Ultrafiltracija

1 UVOD

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

V diplomskem delu v ospredje problematike predstavljamo kakovost napajalne vode in z njo povezane probleme slabe kakovosti. Ti se kažejo kot korozijski procesi, nalaganje kotlovskih oblog, kvarjenje systemske opreme in poslabšanje termičnih izkoristkov parnega sistema.

Za potrebe tehnoloških procesov v industriji in ogrevanje potrebujemo paro, ki jo proizvajamo s kotli. V industrijskih obratih ali sistemih z manjšim zahtevanim tlakom so zato najbolj primerni mnogovodni kotli, ki imajo najbolj primerno karakteristiko delovanja za dane zahteve. Da kotli oziroma parni sistem dobro delujejo in dolgoročno, potrebujemo primerno pripravo napajalne vode, ki mora ustrezati danim zakonskim in proizvajalčevim zahtevam za kakovost vode. Kakovost napajalne vode je nadvse pomemben element v parnem procesu, saj zagotavlja zaščito in optimalno delovanje parnega sistema ter zagotavlja čisto paro porabnikom. V nasprotnem primeru lahko imamo zelo hitro težave z velikimi toplotnimi izgubami, okvare na opremi in inštalaciji, kar nam zelo močno poveča obratovalne in vzdrževalne stroške, posledično pa tudi krajšo življenjsko dobo parnega sistema.

Ker mora biti voda, ki jo imamo namen uporabiti, v parnem sistemu ustrezno pripravljena in kemijsko tretirana, bomo predstavili postopke, ki omogočajo doseg zahtevane kakovosti vode. Zaradi varovanja poslovnih podatkov nismo pridobili podatkov primera iz konkretnega okolja. Tako bomo uporabili navidezen primer, ki ima elemente realnih problemov in možnih izboljšav za kakovost sistema.

1.2 CILJI DIPLOMSKEGA DELA

Cilji diplomskega dela je predstaviti možne teoretične izboljšave, ki bi se lahko vgradile v sistem priprave vode, s katerimi bi dvignili kakovost vode. S predlaganimi rešitvami pričakujemo, da bi se lahko implementirale v realno okolje, kjer bi se pokazala njihova učinkovitost.

Z izboljšavami bi lahko izboljšali in zmanjšali obratovalne in vzdrževalne stroške parnega sistema in povečali njegovo življenjsko dobo.

Poleg predstavitve možnih izboljšav pa želimo tudi z navideznim sistemom predstaviti, kako deluje splošni sistem parnega postrojenja in njegova procesna oprema v določenem povprečnem industrijskem obratu, kjer uporabljajo paro za tehnološke potrebe in ogrevanje objektov.

1.3 PREDSTAVITEV OKOLJA

V zadnjih letih je čedalje bolj v ospredju tematika povečevanje izkoristkov, tj. z vidika ekonomije, okoljevarstva in energetike. Na vseh področjih se iščejo možne izboljšave za doseg tega cilja. Ker je področje energetike in proizvodnja pare stičišče vseh teh zahtev, se na omenjenem področju vedno iščejo izboljšave za dvig kakovosti energetskih sistemov.

V marsikateri industriji potrebujejo za lastne potrebe tehnologije in ogrevanja lastno oskrbo s paro. Tako ima večina podjetij svojo kotlarno s pripadajočim celotnim parnim sistemom in pripravo vode za oskrbo porabnikov. Tovrstni sistemi so lahko energetsko zelo potratni, če niso dobro sprojektirani, vzdrževani in v koraku s časom z implementacijo novejših tehnologij ali predelav sistema, če tako pokažejo novejša smernice in procesne potrebe. Da vse to dosežemo, moramo upoštevati celoten parni proces od pridobivanja vode, pridelave pare do končnega porabnika. V diplomskem delu smo se bolj posvetili pripravi vode, ki je zelo široko področje in so zahteve za kakovost pretežno odvisne od sistema do sistema. To velja vključno z možnimi izboljšavami, saj je treba upoštevati kakovost vstopne vode, obstoječi parni sistem in doseganje potrebne kakovosti glede na zahteve proizvajalca kotlov in državne regulative.

1.4 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE

Predpostavljamo, da bodo omejitve nepridobljenih podatkov iz realnega okolja zaradi varovanja poslovnih skrivnosti znatno omejile realen prikaz možnih tehničnih rešitev. Tukaj smo omejeni zgolj na teorijo in praktično znanje. Tako bodo rešitve lahko predlagane teoretično brez konkretnih izračunov smotrnosti.

Za prikaz možnih rešitev in nekega parnega sistema smo uporabili namišljen primer parnega sistema s pripravo vode.

1.5 METODE DELA

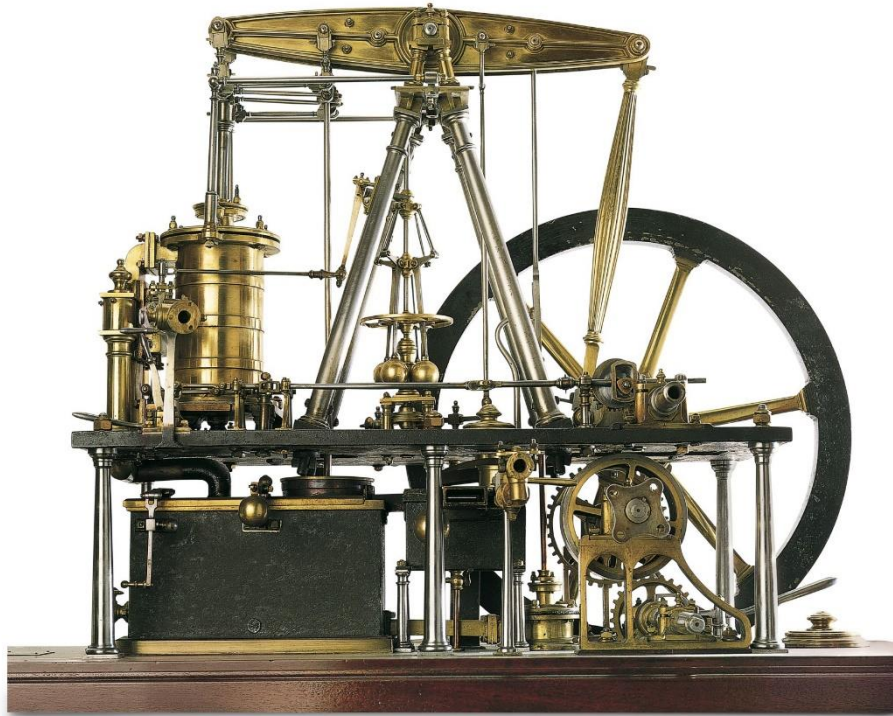
Pri izdelavi diplomskega dela bomo uporabili primerjalno in induktivno-deduktivno metodo. Ti dve metodi sta za nas še najbolj primerni, saj smo na podlagi praktičnih izkušenj skušali prikazati teoretična ozadja in rešitve problemov. Primerjali smo različne procese in sisteme med seboj.

Predhodne raziskave smo opravili v teoretičnem smislu z iskanjem možnih procesov, ki bi jih lahko uporabili kot rešitev za izboljšavo skozi različne vire literature. Pri tem nam je koristilo tudi praktično znanje s področja energetike, s čimer smo lažje predlagali rešitve za dotičen sistem.

2 SISTEM PARNEGA POSTROJENJA

2.1 NASTANEK KOTLOV

Skozi zgodovino človeštva je človek vedno stremel k temu, da opravi čim več dela s čim manj truda. S pričetkom industrijske revolucije v 18. stoletju in izumom prvih parnih strojev, ki so pretvarjali toplotno energijo v mehansko delo, se prične tudi zgodovina parnih kotlov, ki so še danes zelo pomembni za pridobivanje toplotne energije. Prvi uporabni parni stroj je leta 1712 izumil Thomas Newcomen. Od pričetka so jih uporabljali za črpanje vode iz rudnikov, saj jim je grozilo zaprtje zaradi zalitja z vodo. Izum parnega stroja je posledično omogočil napredek gospodarstva. Leta 1788 je James Watt tehnično izboljšal Newcomenovo izvedbo parnega stroja, ki je omogočila širšo možnost uporabe parnega stroja na različne panoge industrije. Za delovanje vsakega parnega stroja je bila potrebna para, ki se je proizvajala v kotlu. Parni kotel je naprava, v kateri se voda z dovajanjem toplote spreminja v paro, s tlakom, višjim od atmosferskega. Voda se segreva preko konvekcijskega prenosa toplote vročih dimnih plinov, ki se sproščajo pri pretvarjanju kemične energije goriv v toploto; lahko pa tudi z drugimi tehnološkimi procesi, ki sproščajo toploto, kot denimo jedrske reakcije. Toplotna energija je danes najpomembnejši vir energije v vseh vejah industrije in življenja, kajti uporablja se v tehnoloških procesih ali energetskih napravah za pretvorbo v mehansko delo in električno energijo. Nosilec toplotne energije v teh procesih je ravno para, ki ima lastnost prenašanja večje količine toplotne kapacitete (James Watt, 2017; Lavrič, 2013; Tacer, 2016).



*Slika 1: Parni stroj Jamesa Watta iz leta 1788
(Vir: Inventions, 2017)*

2.2 ZAKONSKA PODLAGA

Pod definicijo parnega kotla smatramo vsako zaprto posodo, ki proizvaja vodno paro ali vročo vodo s tlakom, ki je za 0,5 bara večji od atmosferskega tlaka (1013 mbar), dosežene temperature, večje od 110 °C, in volumna vsaj 2 l. Pod to spadajo tudi električni parni kotli. Definicijo parnega kotla določa nova evropska Direktiva o tlačni opremi 2014/68/EU oziroma slovenski Pravilnik o tlačni opremi (2016), v katerem je to področje predpisano.

Direktiva narekuje predpisane smernice glede postopkov ugotavljanja skladnosti, uporabe materialov, varnostne opreme, preizkuse med proizvodnjo, varnostne zahteve za načrtovanje in proizvodnjo. Te smernice pa vsaka država EU na svoj način implementira v svojo zakonodajo. V slovenskem primeru je to Pravilnik o tlačni opremi, v katerem so povzeti cilji direktive in zakonsko velja za naše ozemlje. Kotli se delijo na različne kategorije, odvisne glede na tlak in velikost kotla, za katere so opredeljeni način konstrukcije, izdelava, preizkušanje in prevzem, ki ga opravi priglašeni organ, tj. za ugotavljanje skladnosti glede na kategorijo kotla. Po montaži kotla na mesto obratovanja predpisani pogoji obratovanja niso vezani na direktivo. Pogoje obratovanja, nadzor, periodične preglede in druge pogoje obratovanja

določajo predpisi, sprejeti na podlagi Energetskega zakona (Bauman, Pobrežnik in Lobnik, 2014; Direktiva 2014/68/eu evropskega parlamenta in sveta, 2014; Lavrič, 2013).

Primer dveh pravilnikov:

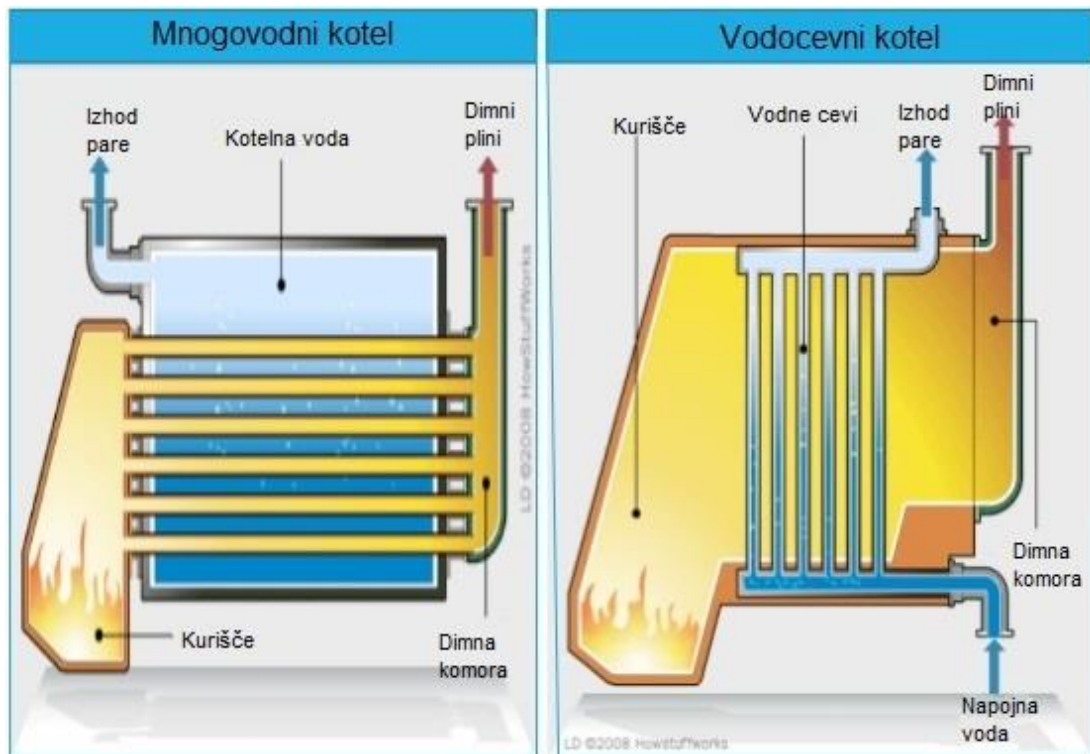
- Pravilnik o strokovnem usposabljanju in preizkusu znanja za upravljalca energetskih naprav (2015).
- Pravilnik o tehničnih normativih za postavitve, nadzor in obratovanje parnih kotlov in naprav (2003).

Kotle sme upravljati denimo ustrezno usposobljeno osebje, kot je navedeno v Pravilniku o tehničnih normativih za postavitve, nadzor in obratovanje parnih kotlov in naprav (2003). Pravilnik o strokovnem usposabljanju in preizkusu znanja za upravljalca energetskih naprav (2015) pa določa pogoje izobraževanja ter opravljanje del in nalog upravljanja (Pravilnik o tlačni opremi, 2016).

2.3 VRSTE PARNIH KOTLOV

Najbolj idealna oblika kotlov bi bila sferična, pri čemer se zaradi tlačnih in temperaturnih obremenitev napetosti na konstrukciji kotla enakomerno razporedijo. Vendar se zaradi dražjega in zahtevnejšega postopka izdelave, slabše izrabe prostora ter posledično slabše termodinamike uparjanja namesto sferične oblike uporablja valjasta. Valjasta oblika ponuja dobro sorazmerje med tlačno trdnostjo, prostorsko razporeditvijo, postopkom izdelave ter termodinamiko procesa uparjanja. Ker so kotli poleg tlačnih in termičnih napetosti obremenjeni tudi z drugimi zunanjimi vplivi, kot je korozija, moramo kotle skrbno dimenzionirati, da ne pride do njihove porušitve (Lavrič, 2013).

V grobem poznamo dve vrsti parnih kotlov, ki jih imenujemo vodocevni kotli in mnogovodni kotli. Razlika med njima je v tem, na kateri strani površine izmenjevalne cevi v parnem kotlu se pretaka voda. Pri vodocevnih kotlih se voda pretaka na notranji strani cevi, dimni plini pa jo obdajajo na zunanji. V primeru mnogovodnih kotlov pa je ravno obratno, pri čemer voda obdaja zunanjo stran cevi, dimni plini pa se pretakajo v notranjosti. Za drugačne zahteve postrojenja od običajnih poznamo tudi posebne izvedbe kotlov obeh vrst. V nadaljevanju bo podrobneje opisan mnogovodni kotel, ki je tematsko povezan z diplomskim delom (Oman, 2015).



Slika 2: Prikaz delovanja mnogovodnih in vodocevnih kotlov
(Vir: Jamshaid, 2015)

2.4 MNOGOVODNI KOTEL

Značilnost mnogovodnih kotlov ali blok-kotlov je nezahtevno upravljanje in prilagajanje hitrim spremembam v odjemu pare ter velika zmožnost akumulacije. Njegove slabosti so daljši zagonski čas in manjša sposobnost velikih tlakov in toplotnih moči. Mnogovodni kotel je z vsemi priključki že izdelan v tovarni. Nato se ga s transportom postavi na izdelan betonski temelj na mestu obratovanja, kjer se ga priklopi na razvod parnega sistema in preostale inštalacijske vode. Mnogovodni kotel je namenjen za proizvodnjo pare za tehnološke namene v industriji in ogrevanje. Najbolj primerni so za sisteme tlaka pare do 16 barov in temperature 200 °C (Oman, 2015).

Za zgorevanje uporabljajo različne vrste goriv (Oman, 2015):

- trda goriva (premog, lesno biomaso)
- tekoča goriva (kurilno olje)
- plinasta goriva (zemeljski plin, utekočinjen naftni plin, biopljin)

Včasih so bile najbolj razširjene tri vrste mnogovodnih kotlov (Oman, 2015):

- mnogovodni valjasti kotel

- lokomobilski parni kotel
- ladijski parni kotli

Danes se bolj razširjeno uporablja mnogovodni trovlečni plamenično dimnocevni kotel oziroma na kratko rečeno mnogovodni kotel. Tako se imenuje zaradi svoje konstrukcijske zgradbe dimnih cevi, ki dosegajo boljši izkoristek. Kotel ima tako imenovane tri vleke. Prvi se zgodi v plamenici, kjer poteka izgorevanje in prenese 50 % toplote dimnih plinov na vodo. Nato dimni plini potujejo preko zadnje in sprednje obračalne komore v drugi in tretji vlek dimnih cevi, kjer se prenese še preostalih 50 % toplote. Dimni plini nato potujejo v dimnico in pred izpustom v okolje lahko tudi skozi grelnik napajalne vode (Lavrič, 2013).



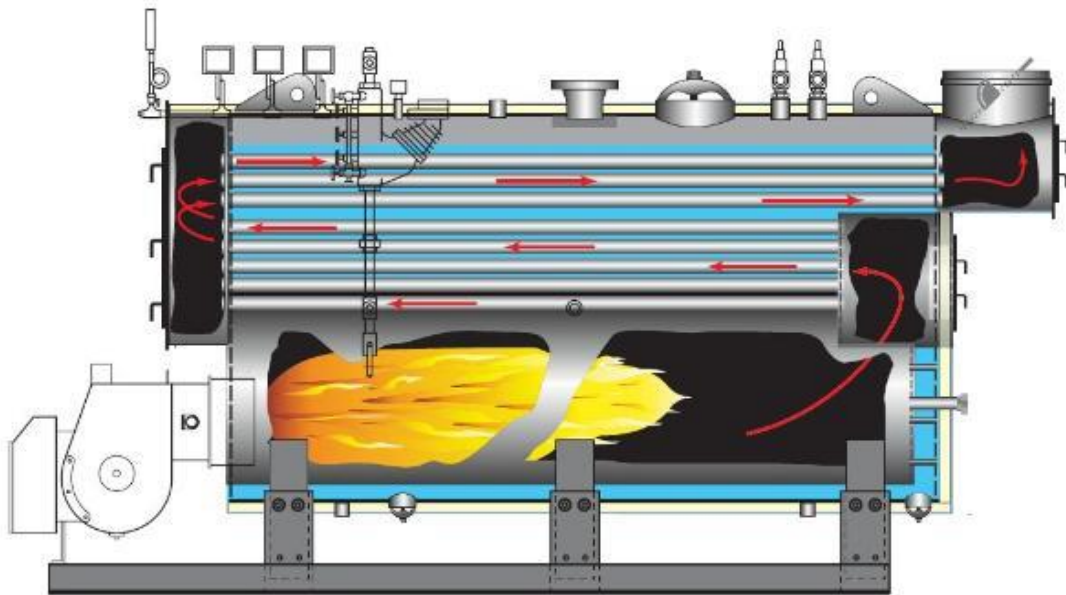
Slika 3: Mnogovodni kotel
(Vir: Dampfkessel: auslegung, b. I.)

2.4.1 Konstrukcijski elementi

Mnogovodni trovlečni kotli so preproste valjaste konstrukcije in so zanesljivi pri obratovanju ob upoštevanju vseh predpisov in pogojev obratovanja, podanih od proizvajalca. Kotli dosegajo izkoristke do 92 % in več ob vgrajenem grelniku vode oz. ekonomajzerju. Kotel ima zaradi oblike konstrukcije in zaloge vode v plašču naravno cirkulacijo vode. To pomeni, da za kroženje vode pri uparjanju ni treba imeti obtočne črpalke in kroži povsem naravno gravitačno s segrevanjem vode, ki se dviguje in s tem kroži (Oman, 2015).

Konstruktivni elementi kotla so (Lavrič, 2013):

- Plašč kotla, ki je valjaste oblike in je največji ter edini konstrukcijski element ter ni v stiku z dimnimi plini. Na plašču so navarjeni vsi inštalacijski priključki, kontrolne odprtine in tudi okvir kotla.
- Plamenica oz. kurišče, ki služi izmenjavi toplote in je med obratovanjem najbolj obremenjen del kotla glede na tlak in temperaturo. Odvisno od moči kotla je plamenica lahko ravna ali valovita. Valovita plamenica ima 14 % večjo površino in trdnost od ravne. Glede na število in postavitev plamenice ločimo različne vrste mnogovodnih kotlov.
- Sprednja in zadnja obračalna komora, ki služita obračanju dimnih plinov v drugi in tretji vlek dimnih cevi, kjer se izmenjuje toplota.
- Cevi drugega in tretjega vleka dimnih plinov, ki služijo izmenjavi toplote. Postavljene so v nepravokotno linijo (oblika satovja) zaradi boljše cirkulacije vode.
- Dimna komora, ki je prostor, kjer prehajajo dimni plini z ventilatorjem ali preko naravnega vleka, če je dimnik dovolj velik, skozi grelnik napajalne vode oz. ekonomajzer ali pa kar neposredno v dimnik.



Slika 4: Prerez mnogovodnega kotla, kjer je viden vlek dimnih plinov
(Vir: Functionality of marine boilers, 2016)

2.4.2 Regulacijska oprema

Poleg konstrukcijskih elementov je pomembna tudi varnostna, merilna in regulacijska oprema. Brez nje ne bi imeli varnega in zanesljivega upravljanja kotlov

v predpisanih obratovalnih mejah. Preseganje obratovalnih mej posledično pripelje do poškodb na opremi sistema in samega parnega kotla, kar ni spremenljivo z ekonomskega in varnostnega vidika (Lavrič, 2013).

Elementi varnostne opreme so (Lavrič, 2013):

- Tlačna regulacija, ki se izvaja z regulatorjem tlaka, presostatom in manometrom. Vsi elementi so vgrajeni na posebnem nosilcu armatur na sprednji strani kotla in omogočajo poleg računalniškega tudi vizualno kontrolo.
- Varnostni ventil, ki zagotavlja mehansko varovanje pred previsokim tlakom v kotlu v primeru odpovedi elektronske regulacije tlaka. Varnostni ventil je nastavljen tako, da sprosti paro na odprto, ko je tlak višji od nastavljenega na vzmeti. Dimenzioniran mora biti tako, da zagotavlja pretok izstopa pare vsaj tolikšen, kolikšna je zmogljivost kotla.
- Regulacija in kontrola nivoja vode je zelo pomembna, saj lahko v primeru prenizkega nivoja vode v kotlu to privede do povišanja temperature in tlaka, kar zniža trdnost tlačno obremenjenih delov. Posledično se kotel uniči. Zato ima vsak kotel vsaj dva vodokaza za vizualno kontrolo nivoja vode v kotlu. Regulacija je izvedena z nivojskimi sondami, ki so vgrajene na zgornji del kotla.
- Kaluženje kotla služi zniževanju vsebnosti nakopičenih koncentracij soli in oborin v vodi, ki se usedejo na dno kotla. Kaluženje poteka avtomatsko glede na časovni interval ali ročno. Preko ventila se izpusti del kotlovske vode iz sistema in tako omogoči dotok sveže napajalne vode.
- Odsoljevanje prav tako kot kaluženje služi odvajanju soli iz kotla, ki plava na gladini vode. To je nameščeno v zgornjem delu kotla pod najnižjim dovoljenim nivojem vode v kotlu. Deluje avtomatsko s sondo, ki zaznava prevodnost kotelne vode.
- Napajanje kotla je zelo pomemben del sistema, saj zagotavlja dobavo sveže napajalne vode s pomočjo črpalk, ki je pred tem ustrezno termično in kemično obdelana, kakor predpisujejo pravilniki (Pravilnik o tehničnih normativih za postavitve, nadzor in obratovanje parnih kotlov in naprav, 2003) ter proizvajalec parnega kotla (Pravilnik o tehničnih normativih za postavitve, nadzor in obratovanje parnih kotlov in naprav, 2003).

3 POSTOPKI MEHČANJA IN ODPLINJEVANJA NAPAVALNE VODE

Voda je najpomembnejša surovina, ki jo poznamo na Zemlji, saj brez nje ne bi bilo življenja. Sestavljena je iz dveh atomov vodika in enega atoma kisika, njen kemijski zapis je H_2O . V normalnih pogojih je v tekočem agregatnem stanju (dež, morja, jezera, reke), lahko pa je tudi prisotna v trdnem in plinastem stanju (led, sneg, para).

Poleg tega, da je pomembna za življenje, je v današnjem času pomembna tudi v različnih tehnoloških procesih v industriji. V našem primeru je tehten energetski medij, ki prenaša toploto v obliki pare. Voda ima to slabost, da je v naravi ne moremo dobiti v čisti obliki, saj ima značilnost, da drugih snovi kemijsko ne spreminja, pač pa jih raztaplja. Posledično so zaradi tega v njej raztopljene najrazličnejše primesi. Celo deževnica, ki je najčistejša oblika vode v naravi, ima raztopljene različne pline, ki so v ozračju. Tako se sestava vode bistveno spreminja glede na to, ali je voda površinska ali podzemna. Pri površinskih vodah je sestava odvisna zlasti od letnega časa, vremena in geografske lege, kar posledično močno spreminja sestavo vode. Za razliko od površinskih voda imajo podzemne vode sicer bolj stabilno sestavo vode, imajo pa zato večje koncentracije raztopljenih snovi v vodi zaradi pronicanja skozi različne plasti zemlje (Boyd, 2015; Felzer, 2016; Sever, 2003).

Glede na stroge zahteve, ki jih mora imeti napajalna voda v energetiki, so bolj primerne podzemne vode z vidika stabilne sestave in čistosti grobih delcev v vodi. Zaradi preverjanja sestave vode je treba opravljati občasne kontrolne analize surovih voda (Bauman idr., 2014).

- Za podzemne vode je treba enkrat letno opraviti kontrolno analizo sestave vode.
- Za površinske vode je treba dvakrat letno opraviti kontrolno analizo v suhem in vlažnem vremenu.

Sestava vode je pomembna z vidika tehnologije priprave vode. Ko v fazi projektiranja poznamo zahteve kakovosti napajalne vode in sestavo surove vode, lahko pričnemo dimenzionirati kak sistem in tehnologijo mehčanja vode bomo uporabili za pripravo vode. V primeru dovajanja neustrezne vode v sistem lahko nastane korozija v sistemu in izločanje vodnih oblog. Zato je treba analize pripravljene napajalne vode izvajati dnevno. Zahteve za kakovost napajalne vode se razlikujejo od vrste kotla in samih obratovalnih parametrov sistema (Flynn, 2009; Sever, 2003).

Pri tem moramo ločiti oziroma razložiti izraza napajalna voda in kotlovska voda. Namen napajalne vode je pokrivati izgube v parnem sistemu, kot so kaluženje, odsoljevanje ter razna puščanja v sistemu. Napajalna voda je torej sveža pripravljena mehčana voda iz surove vode, ki dopolnjuje nivo vode v napajalnem rezervoarju. Kotlovska voda se nahaja v kotlu oz. v parnem sistemu in se po uparjanju kondenzirana vrača nazaj v kondenčni rezervoar. Kondenzirano vodo je treba ponovno prečistiti in pripraviti pred vstopom v kotel, kajti med vračanjem nazaj v kondenčni rezervoar se v njej ponovno raztopijo nečistoče in plini (Oman, 2015; Sever, 2003).

3.1 PERIODIČNI PREGLEDI IN METODE PREISKAV

»Kotli so med obratovanjem izpostavljeni velikim mehanskim in toplotnim in tlačnim obremenitvam, ki ob neupoštevanju predpisov in obratovalnih navodil lahko dovedejo do poškodb kotla, kot so deformacije ogrevalnih površin, netesnosti ali celo eksplozije kotla.« (Lavrič, 2013, str. 111).

Večina poškodb kotla se zgodi ob neupoštevanju zahtev za pripravo napajalne in kotlovske vode, okvarah varnostno regulacijske opreme, nepravilno nastavljenem gorilcu in izbiri goriva, nepazljivosti upravljalcev kotlov in vzdrževalcev ob remontih delih ter nepravilnih konzerviranjih kotlov in neupoštevanju življenjske dobe kotlov (Lavrič, 2013, str. 111).

Zato so za kotle določeni predpisi in pravilniki, kot je že opisano v naslovu 2.2, kjer so določeni pogoji obratovanja, nadzor, periodični pregledi in drugi predpisi obratovanja, ki so sprejeti na podlagi Energetskega zakona (EZ-1) (2014). V okviru Pravilnika o tehničnih normativih za postavitve, nadzor in obratovanje parnih kotlov in naprav (2003) so predvideni periodični in izredni inšpekcijski pregledi, ki se vpisujejo v kotelno knjižico z namenom zagotovitve varnega in tehnično pravilnega delovanja postrojenja. Pri pregledih se pregledajo vsa oprema, ki pripada kotlu (varnostna, regulacijska, merilna itd.), in njegovi konstrukcijski deli (Lavrič, 2013; Pravilnik o tlačni opremi, 2016).

Pregledi se opravljajo po naslednjih periodah (Pravilnik o tehničnih normativih za postavitve, nadzor in obratovanje parnih kotlov in naprav, 2003):

- zunanji pregled (enkrat na leto)
- notranji pregled (vsaka tri leta od prvega pregleda)
- tlačni preizkus (vsakih šest let od prvega pregleda)

Inšpektorji pri periodičnem pregledu možnih poškodb na kotlu večinoma uporabljajo neporušitvene metode.

Najpogostejše so naslednje metode (Lavrič, 2013):

- Vizualna preiskava se uporablja za odkrivanje površinskih napak s pomočjo prostega očesa in po možnosti dodatnega svetila, katerega napetost ne sme presegati 24 V. Je najbolj razširjena in osnovna metoda odkrivanja napak, s katero se večinoma odkrijejo večje nepravilnosti.
- Preiskava s tekočimi penetranti omogoča vizualno odkrivanje površinskih razpok v materialu. Penetrant deluje tako, da ga na čim bolj gladko površino nanese po navodilih proizvajalca, nato pa se nam po določenem času prikaže obarvana morebitna razpoka. Pomanjkljivost te metode je, da ne prikaže globine razpoke.

- Preiskava z magnetnimi delci je primerna zgolj za feromagnetne materiale, s čimer odkrivamo površinske napake. Deluje po principu magnetnega polja, pri čemer se delci magnetnega prahu na mestu razpoke prerazporedijo in tako pokažejo mesto, obliko in velikost razpoke. Preiskava z magnetnimi delci je boljša od penetracijske, saj nam omogoča boljšo oceno stanja.
- Ultrazvočna preiskava deluje po principu zvočnega valovanja visoke frekvence, ki potuje skozi preizkušanec in se odbije nazaj proti sondi ter tako pokaže nepravilnosti na ekranu. S to tehniko hitro ugotovimo obliko, lego in globino napake. Pomanjkljivost metode je, da je zaradi kompleksnejšega procesa treba imeti izkušenega operaterja.
- Radiografska preiskava deluje po principu rentgenskih gama žarkov in odkriva napake v materialu. Rentgenski žarki pokažejo nepravilnosti med prehajanjem skozi material na sliki. Tudi za to metodo potrebujemo izkušenega operaterja, ki je izpostavljen radioaktivnemu sevanju.
- Poznamo tudi druge metode pregledovanja, kot so odvzem replik, metoda vrtilčnih tokov, akustična emisija, preiskava tesnosti in porušitvene preiskave, ki pa se v praksi redko uporabljajo.



Slika 5: Inšpektor ob notranjem pregledu kotla
(Vir: Water problems, 2016)

3.2 KOROZIJE

Kotli in celotno parno postrojenje je med delovanjem in mirovanjem izpostavljeno korozijskim reakcijam, ki so posledica kemičnih in elektrokemičnih reakcij med kovino in medijem. Korozija poteka na površini kovine, med kristalno strukturo materiala in v njej. Posledice korozije so lahko poškodbe materiala ali pa celo popoln razkroj, odvisno od stopnje korozije. Korozijske reakcije največkrat nastopajo

ob prisotnosti vode, agresivnost vode pa je odvisna od njene sestave. Za kotle so korozijsko najbolj neugodne raztopljene nečistoče v vodi, ki vsebujejo kisline, soli in kisik (Sestava vode za parne kotlovne naprave: navodila za projektiranje, b. l.; Sever, 2003).

Poleg vode je za korozivnost v kotlu pomembna vrsta goriva, ki ga uporabljamo, saj nekatera vsebujejo žveplo. To pride do izraza v nizkotemperaturnih predelih postrojenja, kjer iz dima kondenzira žveplo v žvepleno kislino, ki poveča potencial za korozivno okolje. Pred tem se zaščitimo z ustrezno izbiro materiala, ki je odporen na kislo okolje oziroma z dodajanjem aditivov v gorivo (Sever, 2003).

Najpogostejše vrste korozij so (Sever, 2003):

- površinska korozija
- luknjasta korozija
- pikčasta (pitting) korozija
- napetostna korozija

Posledice Korozij so (Sever, 2003):

- poslabšanje mehanskih lastnosti materialov, kar lahko privede do razpok v materialu
- hrapavost in luknjičavost površine kovine
- kontaminacija vode s korozijskimi produkti
- sprememba toplotne prevodnosti



Slika 6: Površinska korozija na vodni strani dimnih cevi

(Vir: Solutions for hot water boiler systems, 2015)

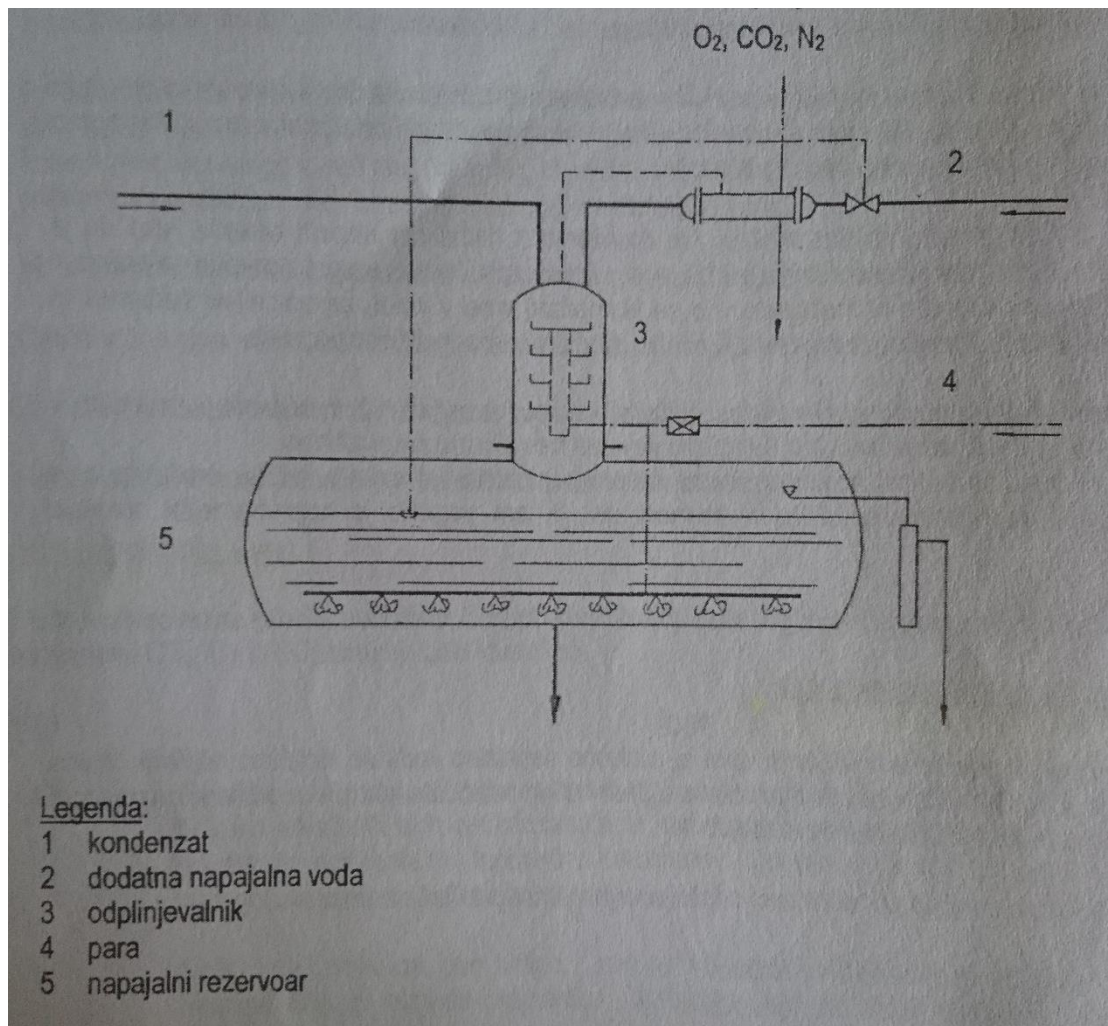
Pri kotlih korozijo preprečujemo tako, da kotlovsko napajalno vodo kondicioniramo po alkalnem postopku. Alkalni postopek pomeni, da dodajamo razne kemikalije v kotelno in napajalno vodo za izboljšanje stabilnosti. Tako z dodajanjem natrijevega hidroksida (NaOH) zelo dobro vplivamo na tvorbo oksidne magnetitne plasti na

površini kovine. Ta ščiti kovino pred najbolj problematično kisikovo korozijo, saj je magnetitna oblika železa, ki ima dodatno vezan kisik, bolj odporna na kisikovo korozijo. Z NaOH uravnavamo tudi pH kotelne vode med priporočeno vrednostjo 10,5 in 12. S tem, ko imamo bazičen pH, pripomoremo tudi k stabiliziranju trdote in zmanjšanju izločanja kotlovca ter usedlin v kotlu. Paziti moramo, da se ne pojavijo večje lokalne koncentracije NaOH, saj lahko ima to nasproten učinek in povzroči nastanek napetostne korozije.

Poleg NaOH uporabljamo tudi razne amine za uravnavanje pH, ki se dodajajo v napajalno vodo, na primer amonijak. Vendar moramo pri izbiri paziti na to, da s tem ne povzročimo dodatne težave, kot je korozija bakra in njegovih zlitin (Flynn, 2009; Sever, 2003).

S procesom termičnega odplinjevanja v napajalni vodi očistimo v vodi raztopljene pline. Najbolj kritična sta plina kisik (O_2) in ogljikov dioksid (CO_2), ki sta zelo agresivna in povzročata korozijo. Odplinjevanje se dogaja v razplinjevalniku, ki je nameščen na napajalnem rezervoarju, kjer napajalna voda razpršena pada po pladnju od zgoraj navzdol. Para piha iz nasprotne smeri in segreva napajalno vodo ter jo s tem odplinjuje, saj so plini pri višji temperaturi slabše topni v vodi in se tako izločujejo. Ostanke plinov odstranimo s hidrazinom ali natrijevim sulfitom.

Za manjše ostanke soli dodajamo fosfate, ki stabilizirajo trdoto vode. Delujejo tako, da se manjši delci soli združijo in se nato odvedejo s kaluženjem in odsoljevanjem (Flynn, 2009; Sever, 2003).



Slika 7: Skica napajalnega rezervoarja s termičnim odplinjevalnikom
(Vir: Sever, 2003)

3.3 KOTLOVEC

Pod sestavo vode razumemo soli, ki so raztopljene v njej. Soli, denimo natrijeve, kalijeve, kalcijeve, magnezijeve in druge, povečujejo elektoprevodnost vode. To so soli mineralnih snovi, in sicer karbonati, sulfati, nitrati in kloridi. Posledica omenjenih raztopljenih soli je trda voda, ki se deli na začasno in trajno trdoto. Začasno trdoto povzročajo kalcijevi in magnezijevi hidrogenkarbonati, trajno pa kalcijevi in magnezijevi sulfati. Ti dve vrsti trdote tvorita skupno trdoto vode, ki je odvisna od deleža kalcijevih in magnezijevih soli (Sever, 2003; Trdota vode, 2018).

Skupna trdota = karbonatna trdota + nekarbonatna trdota

- Karbonatna trdota: kalcijevi in magnezijevi hidrogenkarbonati
 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ (Sever, 2003).

- Nekarbonatna trdota: kalcijevi in magnezijevi sulfati, nitrati in kloridi
 CaSO_4 , MgSO_4 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, CaCl_2 , MgCl_2 (Sever, 2003).

Od teh soli so najbolj problematične začasne soli kalcijevega in magnezijevega hidrogenkarbonata, saj skupaj z mehanskimi nečistočami in korozijskimi produkti pri segrevanju vode razpadejo v netopne karbonate, ki se izločajo na stenah kotla v obliki trdnih oblog – kotlovca.

Obloge, ki jih imenujemo kotlovec, so nezaželene. Izločanje in nalaganje kotlovca na stenah kotla povzroča slabšo toplotno prevodnost in s tem zmanjša izkoristek kotla. Poleg tega pa se zaradi izolacijskega sloja kotlovca pločevina kotla pregreva, kar poslabša njeno trdnost.

Zato je zelo pomembno, da upoštevamo predpisane zahteve za pripravo napajalne in kotlovske vode ter obratovalne parametre uporabe kaluženja in odsoljevanja (Flynn, 2009; Sever, 2003).



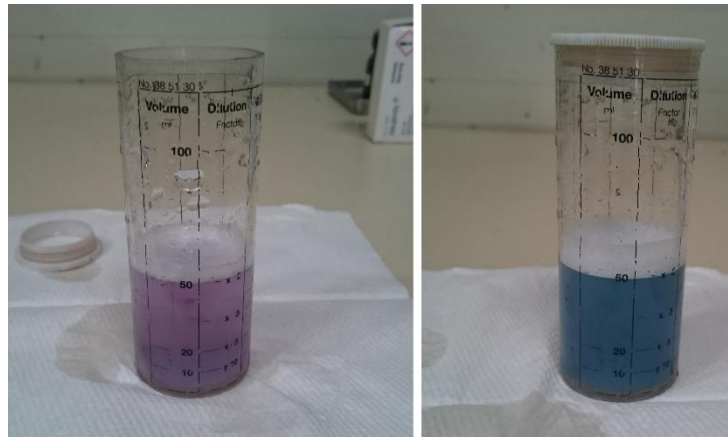
Slika 8: Obloge kotlovca

(Vir: Solutions for hot water boiler systems, 2015)

Trdoto vode večinoma merimo s kemijskim postopkom titracije, za izražanje vednosti pa v našem prostoru najpogosteje uporabljamo naslednje enote (Sever, 2003; Koristni nasveti: trdota vode, 2018):

- masni delež karbonata (mmol CaO/kg ali mekv CaO/kg)
 - 1 mmol CaO/kg = 56 mg CaO/kg
 - 1 mekv CaO/kg = 28 mg CaO/kg
- nemške stopinje
 - 1 nemška stopinja (n°) = 10 mg CaO/kg

- 1 mmol CaO/kg = 56 mg CaO/kg = 5,6 °dH
- 1 mekv CaO/kg = 28 mg CaO/kg = 2,8 °dH
- francoske stopinje
 - 1 francoska stopinja (°fH) = 10 mg CaCO₃/kg = 5,6 mg CaO/kg
 - 1 °fH = 0,560 °dH
 - 1 mmol CaO/kg = 56 mg CaO/kg = 100 mg CaCO₃/kg = 10 °fH
 - 1 mekv CaO/kg = 28 mg CaO/kg = 50 mg CaCO₃/kg = 5 °fH



Slika 9: Merjenje trdote vode s tritracijskim postopkom
(Lastni vir)

V vodi so prisotne tudi alkalne soli natrija in kalija. Skupno vsebnost soli v vodi sestavljajo skupni kationi in anioni. Vsebnost soli v vodi izražamo v mmol/kg in mekv/kg. Vsebnost soli v vodi merimo v $\mu\text{S}/\text{cm}$ in mg/kg (Sever, 2003).

Merjenje specifične elektroprevodnosti je pomemben indikator, ki nam pove koncentracijo raztopljenih soli v vodi. Na prevodnost vode vpliva koncentracija ionov Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻. S proizvodnjo pare v kotlu ostajajo ostanki soli v vodi, ki se ne uplinijo. Posledično narašča koncentracija ionov v vodi in s tem sorazmerno prevodnost. Iz tega razloga imamo v rednem časovnem intervalu vzpostavljeno kaluženje in odsoljevanje, da se soli ne pričnejo izločati na stene kotla. Prevodnost se enako povečuje z zvišanjem temperature.

Specifično elektroprevodnost merimo s konduktometrom, kot enoto pa uporabljamo mikrosimens na centimeter ($\mu\text{S}/\text{cm}$). 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pomeni, da voda vsebuje približno 0,5 mg soli/l (Sever, 2003).



Slika 10: Merjenje prevodnosti vode
(Lastni vir)

3.4 MEHANSKA FILTRACIJA VODE

Čeprav je vode na zemlji v ogromnih količinah, popolnoma čiste vode v naravi ni. Dežne kapljice, ki so najčistejša naravna oblika vode, imajo absorbirane raztopljene pline, organske in neorganske primesi iz ozračja. Površinske in podzemne vode pa vsebujejo neraztopljene organske in neorganske primesi ter raztopljene soli (Boyd, 2015).

Primesi delimo v naslednje skupine (Burgar, 1996; Čemažar, 2013):

- Primesi v obliki grobih trdnih delcev, ki so do velikosti 10^{-7} m in lebdijo v vodi ter se v mirujočem stanju s časoma usedejo na tla. To so delci mulja, mivke, listja itd.
- Koloidne primesi, ki so velikosti od 10^{-7} m do 10^{-9} m, v vodi lebdijo, se ne usedajo tudi pri daljšem mirovanju. Naravne primesi v obliki koloidov so spojine silicija, železa, aluminija, organske snovi.
- Raztopljene primesi, ki so velikosti manjše od 10^{-9} m. To so ioni in molekule plinov, kislin, baz in soli, kar je že zelo čista voda.

Različne primesi v vodi, ki jo črpamo iz vodnega vira, moramo s filtriranjem odstraniti. S filtriranjem se tako prične priprava napajalne vode. Pri vodnih virih, črpanih iz podtalnice, navadno ni posebnih težav, saj je že naravno prefiltrirana med pronicanjem skozi plasti zemlje. Vendar je treba imeti vgrajen fin filter, saj voda vsebuje manjše primesi in koloidne delce. Pri površinskih vodah pa voda ni naravno

prefiltrirana in vsebuje razne grobe in koloidne delce. Ti delci imajo elektro statičen naboj, ki s svojimi odbojnimi silami drži koloide v gibanju. Da lahko koloidne delce s filtracijo odstranimo, vodi dodamo koloidno disperzijsko sredstvo, ki dva delca privlači skupaj in združi v večji nevtralni delec. Ta delec ni več sposoben lebdenja v vodi, ampak se posede ali izplava na površje vode. Ta postopek imenujemo koagulacija. Sočasno s postopkom koagulacije se prične dogajati tudi proces flokulacije. Pri flokulaciji se pričnejo koagulirani delci zaradi privlačnosti združevati v večje delce, ki jih imenujemo kosmiči ali flokule. Na ta način fine celce spremenimo v usedline ali grobe disperzije, ki jih nato lahko filtriramo. Poznamo več vrst filtracijskih načinov. Izbira je odvisna od onesnaženosti vode in zahtevane pretočnosti in kakovost vode (Burgar, 1996; Sever, 2003).

Postopki grobega filtriranja (Burgar, 1996):

- rešetka s potujočimi grabljami
- mehanski usedalnik
- rotirajoče sito
- odprti peščeni filtri
- zaprti tlačni peščeni filtri

Postopki finega filtriranja (Burgar, 1996):

- naplavni filter
- svečasti filter
- ultra filter

3.5 MEHČANJE VODE

Namen mehčanja vode je tehnološki postopek odstranitve trdote iz vode oziroma zmanjšanje vsebnosti soli v njej ter jo prečiščeno pripraviti, da ustreza zahtevam sistema, ki jo uporablja; v našem primeru za napajalno vodo. Mehčanje vode pomeni, da iz vode odstranimo soli mineralnih snovi, in sicer karbonate, sulfate, nitrati in kloride. Posledica raztopljenih soli zlasti karbonatnih soli Ca in Mg je trda voda, ki se pod določenimi pogoji izločajo kot vodni kamen – kotlovec. Trdota se deli na začasno in trajno. Začasno trdoto oz. karbonatno trdoto povzroča kalcijev in magnezijev hidrogenkarbonat, ki se odstrani že s segrevanjem vode.

Trajno oz. nekarbonatno trdoto **sestavljajo** kloridi, sulfati, nitrati in silikati kalcija in magnezija. Ti dve vrsti trdote tvorita skupno trdoto vode, ki je odvisna od deleža kalcijevih in magnezijevih soli (Burgar, 1996; Flynn, 2009).

Glede na kakovost obdelane vode poznamo popolnoma in delno mehčano vodo, delno demineralizirano vodo in demineralizirano vodo (Čemažar, 2013; Sever, 2003).

- Voda, ki je popolnoma mehčana, ji s pomočjo postopkov kemijskega obarjanja, ionske izmenjave ali membranske tehnike popolnoma odstranimo soli Mg in Ca. Pri delno mehčani vodi pa zmanjšamo karbonatno trdoto.
- Demineralizirano vodo imenujemo tudi deionat, tj. destilirana voda. Pri demineralizirani vodi odstranimo vse raztopljene mineralne snovi in soli z metodo demineralizacije. Postopek, ki ga uporabljamo za demineralizacijo vode, je ionska izmenjava, za predobdelavo vode pa lahko uporabimo tudi membranske tehnike in kemijsko obarjanje. Delno demineralizirana voda nima odstranjenih vseh mineralov in ima še vedno prisotne ostanke kremenice, natrijeve ione in CO₂.

Za pridobivanje želene kakovosti vode poznamo več vrst fizikalnih in kemijskih postopkov

3.5.1 Obarjalni postopki

Je starejši postopek kemičnega obarjanja, pri katerem z dekarbonatizacijo vodi odstranimo kalcijev karbonat in kovinske hidrokside z dodajanjem kemikalji, kot so apno, soda, lug in fosfati. Obarjanje pretvarja topne soli v netopne, ki se nato odstranijo s postopki flokulacije, sedimentacije, flotacije ali filtracije. Za odstranjevanje trdote se normalno uporabljata apno ali soda z vročim ali hladnim postopkom. Pri hladnem postopku odstranimo samo kalcijeve soli in ogljikovo kislino, pri vročem pa celotno karbonatno trdoto in magnezijevo nekarbonatno trdoto. Uspešnost mehčanja je odvisna od same trdote surove vode. Postopek kot stranski produkt proizvaja velike količine blata, ki ga je treba odstraniti. Z obarjanjem pridobimo delno mehčano vodo za pripravo večjih količin mehke tehnološke, hladilne ali napajalne vode. Ta postopek nam ne more zagotoviti popolnoma čiste vode, kot jo danes zahtevajo parni kotli, zato se ga danes za potrebe kotlovski napajalnih voda ne uporablja več oziroma če se ekonomično izplača, služi kot predpriprava vode v večjih sistemih pred vstopom vode v ionske izmenjevalce (Burgar, 1996; Mirošević, 2015).

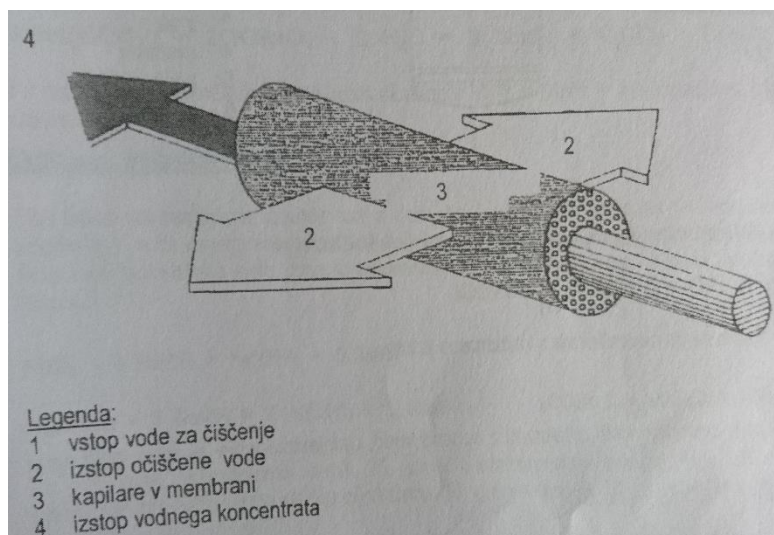
3.5.2 Membranske tlačne tehnike

Membranske tehnike spadajo med metode filtracije, kjer ločimo raztopljene delce od tekočine s pomočjo membran. Glede na velikost por membran se delci filtracijsko ločujejo ali pa snovi prehajajo skozi njih z difuzijo. Ker membrana deluje kot pregrada in s tem omejuje gibanje določenih komponent skozi membrano, ločuje raztopino na dve frakciji, ki jima pravimo permeat in koncentrat.

Permeat je očiščena voda, ki prehaja skozi membrano.

Koncentrat oziroma retentat pa je odpadna voda, katere snovi membrana ni pustila skozi membrano.

S to metodo lahko iz vode odstranimo veliko različnih vrst raztopljenih snovi iz vode. Membranske tehnike so zelo široko uporabne pri pripravi tehnološke vode v industriji, pitne vode in obdelavi odpadnih voda (Li, Fane, Winston Ho in Matsuura, 2008; Miroševič, 2015).



Slika 11: Ultrafilter

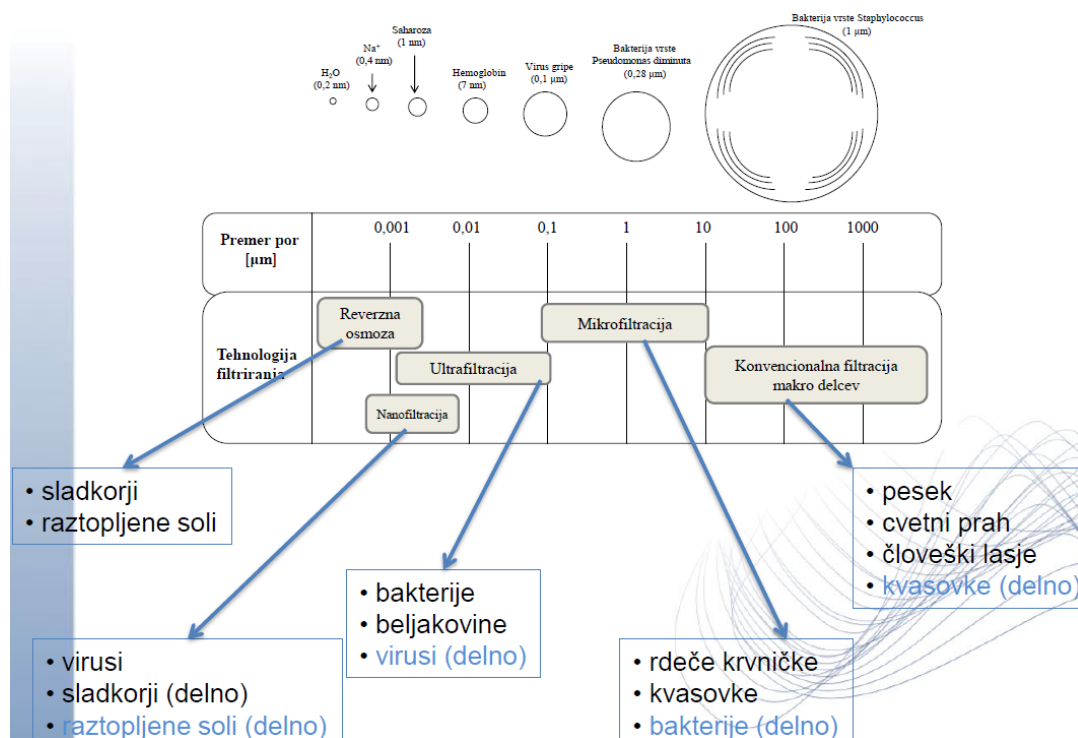
(Vir: Sever, 2003)

Membranske tlačne tehnike delujejo po principu tlaka, ko tlak potiska raztopino skozi membrano. Kako uspešno bomo raztopino prečistili, je zlasti odvisno od lastnosti izbrane membrane in velikosti njenih por ter ni določeno s kakovostjo vstopne vode. Membrane so si med seboj različne po strukturi izdelave, velikosti por, tehnoloških lastnostih in materiala izdelave. Lahko so izdelane iz celuloznega acetata, keramike, kovinskih materialov, poroznega stekla in polimernih materialov. Da membranam ne skrajšamo življenjske dobe, moramo tako izbrati primeren material glede na naše končne zahteve in lastnosti vstopne vode (Čemažar, 2013; Sever, 2003).

Kakor imamo različne materiale membran, imamo tudi različne oblike membran, kot so: spiralasti filtri, filtri iz votlih vlaken, filtri s finimi votlimi vlakni, cevni filtri in ploščni filtri.

Spiralni filter, ki se najpogosteje uporablja za procese nanofiltracije (NF) in reverzne osmoze RO, deluje po principu prečne filtracije. Tlačna črpalka potiska vstopno raztopino vzdolž membranske površine s prečnim pretokom, namesto pravokotno na površino membrane. Prečna filtracija zmanjša nabiranje delcev na površini

membrane z odnašanjem sloja delcev s površine. Izkoristek naprave je odvisen od nastavitve filtrov, lastnosti surove vode in lastnosti membran. Definiran je kot kvocient povprečnega pretoka permeata in povprečnega pretoka surove vode. Ta se giblje med 80–95 % (Cigut, 2015; Li idr., 2008).



Slika 12: Filtracija delcev glede na velikost por
(Vir: Zupančič, 2018)

Dobre lastnosti membranskih tehnik so, da odstranijo veliko število raztopljenih snovi, mikroorganizmov in druge primesi, ki so nezaželene v vodi in jih želimo odstraniti. Je okolju prijazna tehnika, saj ne potrebuje kemikalij za delovanje, poraba energije je dokaj majhna, postopek pa je tudi avtomatiziran in ga lahko vključimo v različne druge tehnološke procese prečiščevanja. V primerjavi s preostalimi postopki membranske tehnike zahtevajo in zavzemajo manjši prostor od preostalih postopkov.

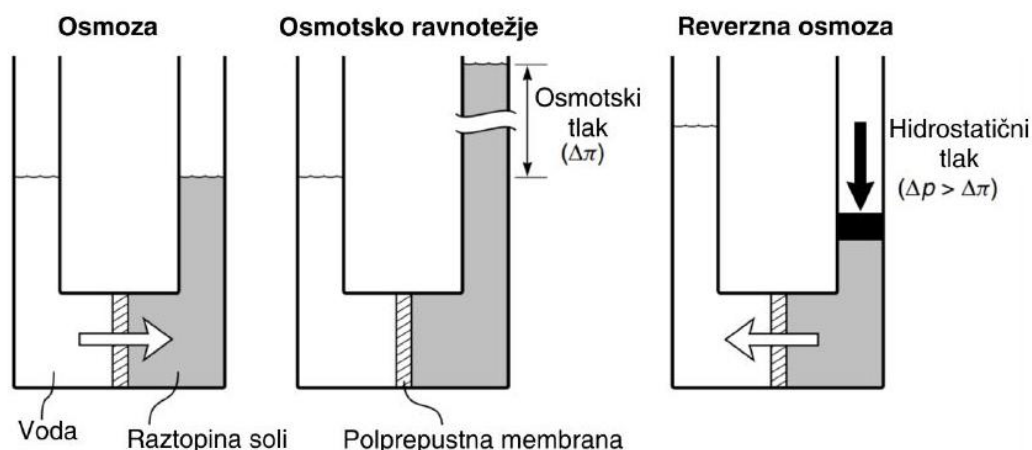
Slabosti membranskih tehnik so problemi z mašenjem membran in tako krajša življenjska doba membran ter slabša pretočnost čiste vode (Li idr., 2008; Nemeč, 2016).

Glede na delovni tlak in velikost membranski por ter s tem učinkovito zmožnost odstranjevanja nečistoč v vodi poznamo štiri najbolj uveljavljene membranske postopke čiščenja vode:

- **Mikrofiltracija (MF)** je fizikalni proces separacije, ki lahko iz vode odstrani delce velikosti med 5 in 0,05 μm . Obratovalni tlak, pod katerim se voda filtrira skozi membrane, znaša od 1 do 4 bare. Membranski moduli, ki se uporabljajo, so običajno cevni z votlimi vlakni, izdelani iz tankega polimernega filma z enotno velikostjo in visoko gostoto por. Z mikrofiltracijo se lahko odstranijo večji koloidni delci, emulzije, praživali, bakterije in mikroorganizmi, odporni na klor. Mikrofiltracija se uporablja tudi kot sterilna filtracija za pripravo čiste vode v elektronski, kemični, farmacevtski in prehrabni industriji. Njene prednosti so zmanjševanje začetnih stroškov v poznejših procesih obdelave vode (Čemažar, 2013, Sever, 2003).
- **Ultrafiltracija (UF)** je podoben proces kot mikrofiltracija, vendar s to razliko, da se v procesu uporabljajo membrane z manjšimi porami ter večjim obratovalnim tlakom. Velikost por znaša med 0,05 do 0,01 μm , obratovalni tlak, ob katerem poteka proces, pa znaša od 1 do 10 barov. Zaradi manjših membranskih por ultrafiltracija omogoča ločevanje delcev na makromolekularni ravni. To pomeni, da lahko odstrani tudi proteine, mikroorganizme, suspendirane snovi in večje molekule. Ultrafiltracijo uporabljamo v vseh vrstah industrije za pripravo tehnološke ali pitne vode in jo lahko kombiniramo z drugimi tehnološkimi procesi. Ultrafiltracija nam zagotavlja konstantno kakovost permeata, ne glede na kakovost surove vstopne vode (Cigut, 2015; Li idr., 2008).
- **Nanofiltracija (NF)** je proces, podoben reverzni osmozi, in deluje pri nižjem obratovalnem tlaku od 5 do 35 barov. Velikost membranskih por znašajo od 0,01 do 0,001 μm . Nanofiltracija odstranjuje večje molekule, večvalentne ione, viruse in različne soli. Lahko se jo uporablja tudi za mehčanje vode, saj odstranjuje trdoto vode, poleg tega pa tudi odstranjuje raztopljene organske snovi, barve, ostanke soli, sulfate, težke kovine, pesticide in mikroorganizme. Z nanofiltracijo lahko tako izboljšamo okus, barvo in vonj vode. Proces se uporablja v vseh vrstah industrije za pripravo vode (Čemažar, 2013; Sever, 2003).
- **Reverzna osmoza (RO)** je obraten postopek naravnega procesa osmoze, ki poteka pri živalskih in rastlinskih organizmih. Princip procesa je izenačevanje koncentracije dveh različnih raztopin, ki sta ločeni s polprepustno membrano. Vodne molekule potujejo difuzijsko skozi membrano iz manj koncentrirane raztopine k bolj koncentrirani, in sicer toliko časa, da pride do ravnotežja osmotskega tlaka raztopin. Velikost osmotskega tlaka je odvisna od difference vsebnosti soli obeh raztopin. Če na bolj koncentrirano raztopino delujemo s tlakom, ki je večji od osmotskega tlaka, poteka obraten osmotski proces, ki ga imenujemo reverzna osmoza.

Velikosti membranskih por znašajo od 0,001 do 0,0001 μm ter delujejo v razponu delovnega tlaka med 5 do 150 barov. Z RO lahko zmanjšamo vsebnost soli v vodi za več kot 95 % kajti uspešno odstranjuje vse mikroorganizme, raztopljene minerale, enovalentne ione, klor, pesticide, viruse, bakterije in elemente v sledovih.

Pri postopku nastane približno 25 % odpadne vode, ki jo imenujemo koncentrat in ima visoko prevodnost. Preostali produkt permeat je čista voda, ki ima prevodnost vode $<10 \mu\text{S}$. Če želimo pridobiti popolnoma demineralizirano vodo, moramo vodo dodatno obdelati preko mešanega ionskega filtra, da odstranimo preostale soli. Uporabnost RO je zelo široka od pridobivanja pitne vode iz morske vode do priprave ultra čiste vode v industriji (Čemažar, 2013; Li idr., 2008).



Slika 13: Princip delovanja reverzne osmoze
(Vir: Zupančič, 2018)

3.5.3 Elektrodializa (ED)

Postopek elektrodialize poznamo že več desetletij in se uporablja predvsem za pridobivanje pitne vode iz morske vode, uporaben pa je tudi za pridobivanje demineralizirane vode za potrebe industrije in energetike (Sever, 2003).

Osnovni postopek elektrodialize je ločevanje ionov v električnem polju. V polju istosmerne napetosti potujejo kationi h katodi in anioni k anodi s ciljem, da se razelektrijo. Specialne membrane, imenovane ionsko selektivne, so nanizane izmenoma, paralelno med obema poloma. Ene membrane prepuščajo katione, druge pa anione. V enih komorah se zasoljenost povečuje, v drugih pa zmanjšuje. Da preprečimo kristalizacijo, je treba ustvariti turbulenco in odvajati koncentrat (Sever, 2003).

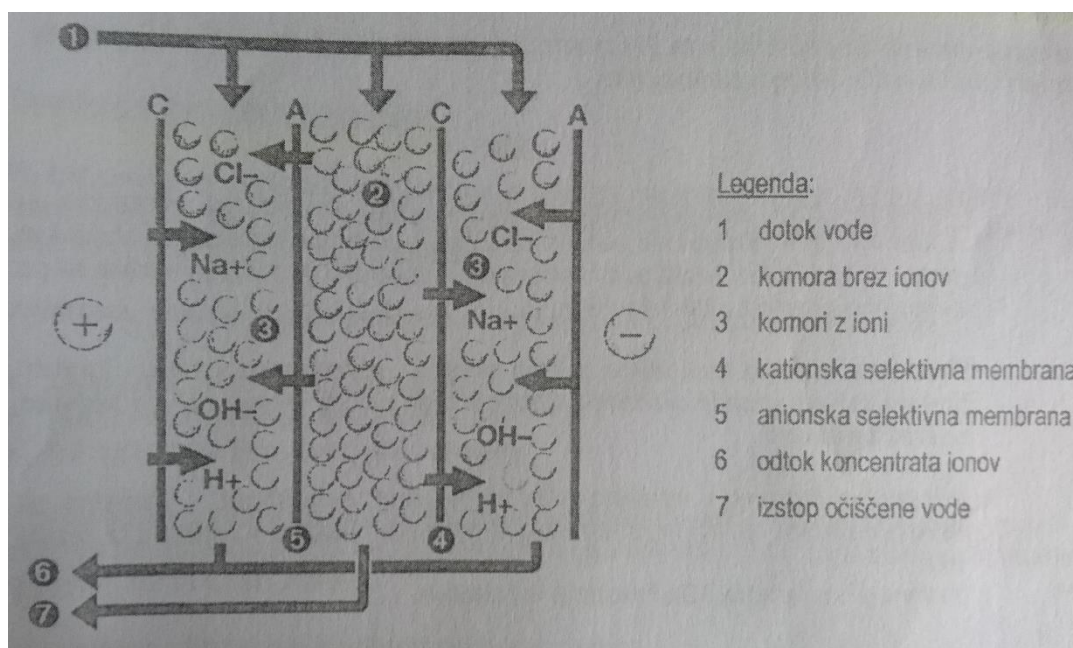
V praksi uporabljamo elektrodializo s periodično izmenjavo obeh polov. To je reverzna elektrodializa. Vsakih 15 do 30 minut se spremeni pol in istočasno se zamenjata tudi produkt in koncentrat, tako ne pride do blokiranja membran s CaCO_3 in CaSO_4 . Dosežemo celo, da se že izločeni depoziti razstopijo.

Po tem postopku lahko zmanjšamo zasoljenost vode za več kot 90 %.

Postopek se od preostalih običajnih razlikuje po tem, da nima odpadkov in ne uporablja kemične obdelave.

Slaba stran postopka je, da odstrani omejeno število organskih ionov. Reverzno elektrodializo je treba kombinirati z mešanim ionskim filtrom, tako kot pri RO. Zahteva pa tudi dobro kakovost vstopne vode in je zato običajno nameščena za tehnološkim postopkom RO (Dejak, 2016; Sever, 2003).

Podoben postopek elektrodialize je tudi elektrodeionizacija (EDI), ki se razlikuje po tem, da so plasti, kjer vmes teče voda, napolnjene z anionskimi in kationskimi smolami. Ta tehnika združuje proces elektrodialize in ionske izmenjave. Regeneracija smole kemijsko tukaj ni potrebna, saj se smole regenerirajo z električno napetostjo med anodo in katodo. S tem postopkom dosežemo zelo visoke čistoto vode, večje od osnovnega procesa elektrodialize (Dejak, 2016).



Slika 14: Shematični prikaz delovanja elektrodialize

(Vir: Sever, 2003)

3.5.4 Ionska izmenjava

Postopek ionske izmenjave pretežno uporabljamo za odstranjevanje nezaželenih primesi v vodah v različnih vejah industrije in spada med adsorpcijske procese.

Ionski izmenjevalci so uporabni za pripravo mehčane, dekarbonatizirano in demineralizirano vodo ali pa čiščenje strupenih snovi iz odpadnih voda in lahko

deluje v hladnem temperaturnem režimu. Naprave so majhnih dimenzij, postopek ima hitre reakcijske hitrosti, možna je enostavna kontrola procesa in omogočajo v celoti odstranitev vseh primesi iz vode. S postopkom lahko odstranimo primesi raztopljenih soli, organskih snovi in plinov, kar nam omogoča zadovoljiti vsem zahtevam za kakovost vode v industriji. Naprave pri tem do neke mere niso občutljive na spremembo pretoka in sestavo surove vode (Burgar, 1996; Ignatowitz, 1996).

Pod ionsko izmenjavo razumemo reverzibilno difuzijsko izmenjavo ionov med ionsko maso in raztopino elektrolitov. Ker gre pri tem zgolj za medsebojno izmenjavo ionov, ki podležejo zakonu o delovanju mas, imenujemo take snovi ionske izmenjevalce, sam pojav pa ionska izmenjava. Odvisno od tega, ali gre za izmenjavo kationov ali anionov, delimo izmenjevalce na kationske in anionske izmenjevalce (Ignatowitz, 1996).

Ionsko izmenjavo omogočajo ionske mase, ki so v vodi netopne snovi. Te so zmožne, da iz raztopine elektrolita vežejo nase pozitivne in negativne ione in jih zamenjajo za ekvivalentno količino lastnih ionov. Ionske mase so izdelane iz sintetičnih materialov, kot sta polistiren in poliakril, in so v obliki kroglic s premerom cca. 1 do 3 mm. Za ionske mase je značilno, da imajo porozno strukturo in s tem posledično veliko površino za izmenjavo ionov. Ionske mase najbolj učinkovito delujejo v nabrekli stanju, saj lahko sprejmejo do 50 % vode.

Ionski izmenjevalci imajo na svoji površini aktivne ionske skupine in šibko vezane, za izmenjavo primernih ionov. Ionska izmenjava je možna zgolj med ioni, ki imajo enak naboj – kationski izmenjevalec izmenja le katione, anionski pa anione (Burgar, 1996; Ignatowitz, 1996).

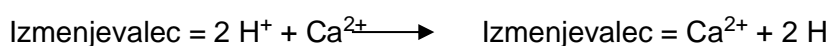
Kationski izmenjevalci imajo kisel karakter in izmenjujejo naslednje ione: Na^+ , K^+ , Ca^+ , Mg^+ , H^+ itd.

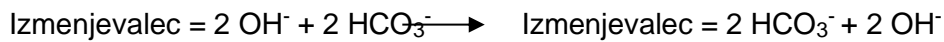
Anionski izmenjevalci pa imajo bazičen karakter in izmenjujejo naslednje ione: Cl^- , SO_4^{2-} , OH^- , SiO_2 , CO_2 itd.

Potek ionske enačbe lahko opišemo na naslednjem primeru z enačbo.

Kadar odstranjujemo katione Ca^{2+} in anione HCO_3^- iz surove vode, lahko potekajo naslednje reakcije (Ignatowitz, 1996):

Kationski izmenjevalec:



Anionski izmenjevalec:

Na kationskih izmenjevalcih oddane ione H_3O^+ in na anionskih izmenjevalcih sproščene ione OH^- lahko medsebojno pomešamo in znova dobimo vodo:

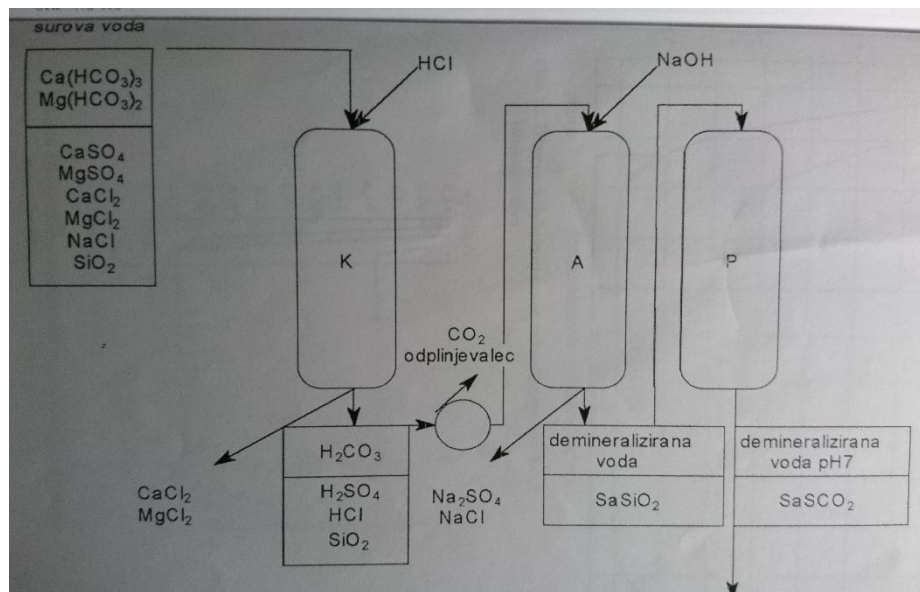
$\text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^- \longrightarrow 2 \text{ H}_2\text{O}$, tako da voda, ki teče skozi obe ionsko izmenjalni koloni, ne vsebuje tujih ionov (Ignatowitz, 1996).

Glede na funkcionalno skupino delimo ionske izmenjevalce na šibko kisle, šibko bazične, močno kisle in močno bazične.

Kapaciteta oziroma množina ionov, ki jo posamezna vrsta ionskega izmenjevalca lahko veže, je omejena. Ko se vsi ioni, ki jih posamezne aktivne skupine na površini ionskega izmenjevalca imajo, zamenjajo, je sposobnost vezave tujih ionov za takšen ionski izmenjevalec izčrpana, ionski izmenjevalec je nasičen.

Regeneracija, ionska izmenjava, je obrnljiv (reverzibilen) postopek. Iztrošeno ionsko maso lahko regeneriramo. Pri kationskih izmenjevalcih lahko to dosežemo s kislino, kot je denimo solna kislina (HCl). Pri anionskih pa to dosežemo z lugom, najpogosteje z natrijevim lugom (NaOH) (Burgar, 1996; Ignatowitz, 1996; Sever, 2003).

Pri regeneraciji odteka reagent, ki vsebuje poleg prebite kisline oziroma luga še izmenjane ione, ki so bili vezani na ionskem izmenjevalcu. Ti ioni imajo višjo koncentracijo, kot je bila prvotno v tekočini, ki smo jo obdelovali z ionskim izmenjevalnikom (Burgar, 1996).



Slika 15: Shematični prikaz delovanja ionskega izmenjevalca
(Vir: Burgar, 1996)

3.5.5 Termični postopki

Termični procesi se uporabljajo za vode, ki vsebujejo veliko soli, kot na primer morska voda. Voda se prečisti s procesom destilacije, pri čemer voda izpari in se ponovno kondenzira kot čista voda. Ta metoda pri nas ni v uporabi, saj imamo dovolj velike zaloge podzemnih voda. Hkrati pa je ta metoda ekonomično in energijsko zelo potratna (Boyd, 2015).

3.6 ZAHTEVE ZA KAKOVOST NAPAVALNE IN KOTELNE VODE PRI MNOGOVODNIH KOTLIH

Zahteve za kakovost vode nam predpisujejo oba pravilnika (Pravilnik o tehničnih normativih za postavitev, nadzor in obratovanje parnih kotlov in naprav, 2003; EZ-1, 2014) in proizvajalec parnega kotla. Glede na pravilnik so vodje in upravljalci energetskih naprav dolžni izvajati kontrolo nad napajalno in kotelno vodo v skladu s tehničnimi navodili proizvajalca kotla. Obvezna je 1- do 2-krat na leto opraviti analizo surove vode, ki služi za pripravo vode. Na podlagi pravilnika je treba obvezno opravljati tudi dnevne analize kotlovnih in napajalnih voda. Rezultati analize so zadovoljivi, če so vrednosti v podanih mejah, ki jih določa pravilnik glede na režim obratovanja. Število dnevnih analiz predpišeta proizvajalec in uporabnik glede na specifične razmere obratovanja. Rezultati analiz se vpišejo v knjigo analiz, s katero spremljamo obratovalne pogoje. Vedno mora biti na razpolago inšpektorju parnih kotlov. Na podlagi rezultatov analiz nato tudi korigiramo količino dovedenih kemikalij

(Pravilnik o tehničnih normativih za postavitve, nadzor in obratovanje parnih kotlov in naprav, 2003; Sever, 2003; Sestava vode za parne kotlovne naprave: navodila za projektiranje, b. l.).

Ob upoštevanju zahtevanih parametrov zmanjšamo tveganje za nastanek korozij, tvorjenje usedlin in za lažje izločevanje kotlovskega mulja, s čimer zagotovimo varno, gospodarno in daljšo življenjsko dobo obratovanja kotla ter njegovega sistema.

Kakovost napajalne vode zagotovimo z ustreznimi izbranimi postopki priprave vode, termičnim odplinjevanjem, ustreznim kondicioniranjem kemikalij ter odstranjevanjem preostalih nečistoč med obratovanjem kotla z odsoljevanjem in kaluženjem (Sestava vode za parne kotlovne naprave: navodila za projektiranje, b. l.; Sever, 2003).

Analize opravljamo tako, da na vzorčnem mestu preko hladilnega izmenjevalca vodo nekaj časa spuščamo, da speremo vod. Nato vzamemo vzorec, ohlajen na 25 °C, in takoj po odvzemu opravimo analizo, saj se lahko po daljšem mirovanju vrednosti lahko spremenijo. Analize opravljamo z ustreznimi kalibriranimi pripravami na zato namenjeni delovni površini (Sestava vode za parne kotlovne naprave: navodila za projektiranje, b. l. Sever, 2003).

V analizah Napajalne vode merimo vsebnost naslednjih parametrov (Pravilnik o tehničnih normativih za postavitve, nadzor in obratovanje parnih kotlov in naprav, 2003):

- Prevodnost, baker, železo, kisik, vrednost pH, organske snovi, skupna trdota (Mg + Ca), Izgled vode, vsebnost olj in maščob in silicija.

V analizah kotlovne vode merimo vsebnost naslednjih parametrov (Pravilnik o tehničnih normativih za postavitve, nadzor in obratovanje parnih kotlov in naprav, 2003):

- Kislinska kapaciteta (alkaliteteta), prevodnost, vrednost pH, izgled vode, fosfate, silicij, organske snovi.

Tabela 1: Napajalna voda za parne in vročevodne mnogovodne kotle

Parameter	Enota	Napajalna voda za pame kotle		Dodatna voda za vročevodne kotle
Obratovalni tlak	bar 0,1 MPa	> 0,5 – 20	> 20	celotno območje
Izgled	-	bistra, brez suspendiranih delcev		
Direktna prevodnost pri 25°C	μS/cm	ni specificirano, upoštevamo smernice za kotelno vodo, glej tabelo 2		
Vrednost pH pri 25°C*	-	> 9,2 ^b	> 9,2 ^b	> 7,0
Skupna trdota (Ca+Mg)	mmol/l	< 0,01 ^c	< 0,01	< 0,05
Vsebnost železa (Fe)	mg/l	< 0,3	< 0,1	< 0,2
Vsebnost bakra (Cu)	mg/l	< 0,05	< 0,03	< 0,1
Vsebnost silicija (SiO ₂)	mg/l	ni specificirano, upoštevamo smernice za kotelno vodo, glej tabelo 2		-
Vsebnost kisika (O ₂)	mg/l	< 0,05 ^d	< 0,02	-
Vsebnost olja/maščobo	mg/l	< 1	< 1	< 1
Vsebnost organskih snovi	-	glej spodaj pod črto ^e		

- * Če imamo v sistemu zlitine bakra, moramo vzdrževati vrednost pH v območju 8,7 – 9,2.
- ^b Mehčana voda ima pH > 7, pH kotelne vode pa mora biti usklajen s tabelo 2.
- ^c Pri obratovalnem tlaku < 1 bar je skupna trdota lahko maksimalno 0,05 mmol/l.
- ^d Namesto teh vrednosti pri nekontinuiranem obratovanju ali obratovanju brez odplinjevalnika opazujemo vrednosti za sredstva, ki jih doziramo in tvorijo bodisi zaščitni film ali pribitek agensa.
- ^e Organske substance so navadno mešanice več različnih spojin. Sestavo takih mešanic in obnašanje njihovih posameznih komponent pod obratovalnimi pogoji kotla je težko napovedati. Organske substance lahko razpadejo v ogljikovo kislino ali druge kisle razkrojne produkte, ki zvišujejo kislino prevodnost in povzročajo korozijo ali obloge. Te snovi lahko vodijo do penjenja ali vžigov in jih moramo držati na najnižjem možnem nivoju.

Slika 16: Zahtevani parametri za kakovost vode, ki jih narekuje pravilnik, Tabela 1 (Vir: Pravilnik o tehničnih normativih za postavitev, nadzor in obratovanje parnih kotlov in naprav, 2003)

Tabela 2: Kotelna voda za parne in vročevodne mnogovodne kotle

Parameter	Enota	Kotelna voda za parne kotle, ki uporabljajo								Kotelna voda za vročevodne kotle			
		napajalno vodo, ki vsebuje soli				demineralizirano napajalno vodo s kisloto prevodnostjo < 0,2 µS/cm ^a							
		direktna prevodnost > 30 µS/cm				direktna prevodnost ≤ 30 µS/cm				alkaliziranje kotelne vode:			
						s trdnimi sredstvi				z hlapnimi			
Obratovalni tlak	bar	>0,5-20	>20-40	>40-60	>0,5-60	>60-100	≤ 100	>100	celotno območje	celotno območje			
Izgled	-	bistra, brez stalnih pen											
Direktna prevodnost pri 25°C	µS/cm	po diagram µS/cm /bar ^a				Priporočljive vrednosti so v diagramu µS/cm/bar				< 100	< 30	-	< 1500
Kisla prevodnost pri 25°C - brez doziranja fosfata - z doziranjem fosfata	µS/cm						< 50	< 30 < 40	< 5 ^e	-	-	-	
Vrednost pH pri 25°C	-	10,5-12,0	10,5-11,8	10,3-11,5	10,0-11,0	9,8-10,5	9,5-10,5	9,3-9,7	≥ 8,0 ^f	9,0-11,5 ^g			
Alkaliteta	mmol/l	1-15 ^b	1-10 ^b	0,5-5 ^b	0,1-1,0	0,1-0,3	0,05-0,3	-	-	-	< 5		
Vsebnost silicija SiO ₂	mg/l	odvisno od tlaka po podatku proizvajalca									-		
Vsebnost fosfata PO ₄ ^f	mg/l	10-20	8-15	8-15	5-10	< 6	< 6	< 3	-	-	-	-	
Organske snovi	-	glej spodaj pod črto ^a											

^a Brez sredstev za kondicioniranje.

^b Pri kotlu s pregrevnikom je maksimalna dopustna vrednost 50 % zgornje vrednosti.

^c Kisla prevodnost < 3 µS/cm, če je toplotni tok > 250 kW/m².

^d Vrednost pH v napajalni vodi naj bo ≥ 8,5 pri obratovalnem tlaku > 60 bar.

^e Če so v sistemu prisotne tudi druge kovine poleg železa, npr. aluminij, je potrebno znižati vrednost pH in direktno prevodnost. Zaščita kotla ima prednost.

^f Pri koordinirani fosfatni obdelavi so sprejemljive tudi višje vrednosti za vsebnost PO₄.

^g Glej^b tabelo 1.

Slika 17: Zahtevani parametri za kakovost vode, ki jih narekuje pravilnik, Tabela 2
(Vir: Pravilnik o tehničnih normativih za postavitve, nadzor in obratovanje parnih kotlov in naprav, 2003)

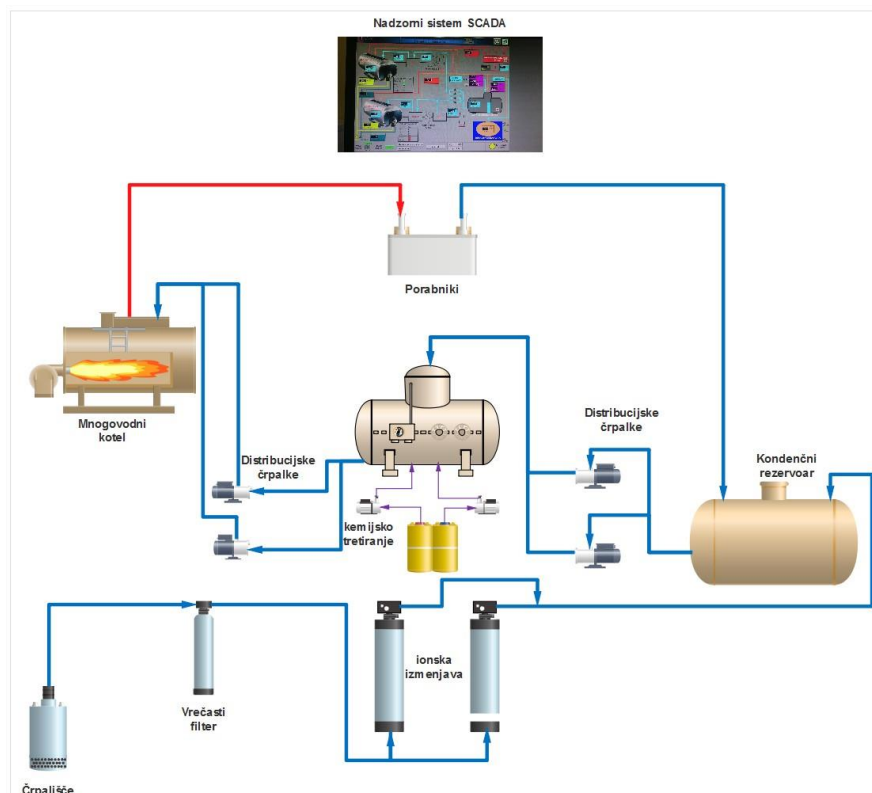
4 OBSTOJEČI NAVIDEZNI SISTEM ZA PRIPRAVO NAPAVALNE VODE

Zaradi poslovnih skrivnosti nismo uspeli pridobiti realnih podatkov iz podjetja, zato bomo predstavili navidezen sistem z realnimi problemi, na podlagi katerega bomo

predpostavljali možne izboljšave za dvig kakovosti priprave vode v navideznem sistemu, ki bi se lahko implementirale tudi v realnem sistemu.

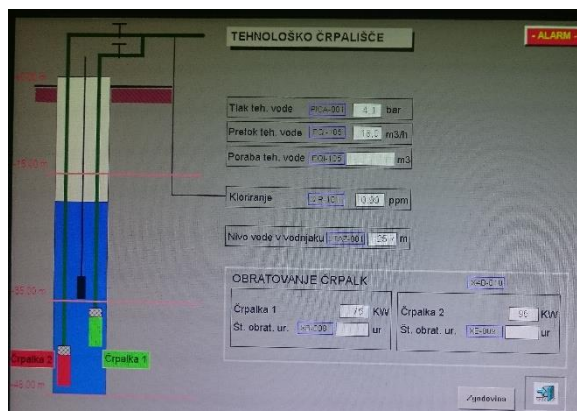
4.1 OPIS IN PREDSTAVITEV NAVIDEZNEGA SISTEMA ZA PRIPRAVO VODE

V našem podjetju proizvodimo industrijsko paro za lastne potrebe v proizvodnih obratih pri procesih izdelave produktov, ogrevanja objektov v zimskem času ter klimatizacijskih sistemov HVAC. Obratovalne zahteve našega parnega sistema je doseganje tlaka pare 6 barov in 165 °C s povprečnim letnim odjemom 10 T/h pare ter v zimskih mesecih 14 T/h. Paro nam zagotavljata mnogovodna kotla, ki obratujeta izmenično 24 h na dan vse dni v tednu. Da kotla lahko obratujeta, potrebujemo konstantno zadostno oskrbo kotlov z napajalno vodo, ki mora biti ustrezno pripravljena in kondicionirana. Za delovanje celotnega parnega procesa imamo naslednje procesne elemente in obratovalno opremo, ki nam zagotavljajo nemoteno oskrbo napajalne vode ter pare.



Slika 18: Shema navideznega sistema
(Lastni vir)

Črpališče: surovo vodo za pripravo napajalne vode primarno pridobivamo iz vrtine podtalnice, ki je postavljena na lokaciji. Z njo napajamo tudi hladilne sisteme za tehnološke potrebe pohlajevanja. V primeru izpada črpališča lahko sistem napajanja surove vode prelopimo na sistem pitne vode. Voda iz črpališča se filtrira skozi grobi filter, ki ima vgrajen vložek velikosti perforacije 3,5 mm. Voda ima trdoto 16 °dH.



Slika 19: Črpališče prikazan na sistemu SCADA
(Lastni vir)

Vrečasti filter: preden voda priteče v mehčalno napravo, teče skozi vrečasti filter velikosti 50 µm, ki odstrani vse večje delce, prisotne v vodi z namenom, da prepreči poškodbe ionskega izmenjevalca.



Slika 20: Vrečast filter
(Lastni vir)

Mehčalna naprava: prefiltrirana surova voda nato vstopi v mehčalno napravo, ki nam zagotavlja do 20 m³/h mehčane vode, kar je več kot dovolj za zagotavljanje nemotene oskrbe kotlov z napajalno vodo v času, ko so zahteve po porabi vode največje. Da proizvodnja mehke vode poteka nemoteno, imamo vgrajeni dve avtomatsko delujoči mehčalni napravi, ki sta vezani vzporedno ter delujeta izmenično. To imamo narejeno z namenom, da ko se ionska masa delujoče mehčalne naprave nasiti, ta vstopi v regeneracijo, medtem pa prične delovati druga naprava, ki zagotovi nemoteno dobavo mehke vode.

Pri mehčani vodi z ionsko izmenjavo odstranimo ione Ca in Mg ter jih nadomestimo z ioni Na. S tem dosežemo, da smo vodi odstranili trdoto, vsebuje pa še vedno druge soli in ione. Nasičeno ali izčrpano ionski izmenjevalec regeneriramo z raztopino natrijevega klorida ali bolj znano pod imenom kuhinjska sol brez vsebnosti joda. Regeneracija se povprečno zgodi enkrat na dan, odvisno od potreb dnevnega odjema pare. Mehčana voda ima podobno prevodnost, kot jo ima vstopna voda. Primerna je za napajalno vodo, pri čemer kotli dopuščajo vsebnost preostalih soli. Vendar mora dodajna voda predstavljati zelo majhen delež napajalne vode, poleg tega je tovrsten sistem treba pogosteje odsoljevati in kalužiti. Pri nas uspemo pridobivati mehčano vodo trdote 0,01 do 0,05 °dH, odvisno od iztrošenosti izmenjevalca.



*Slika 21: Mehčalna naprava
(Lastni vir)*

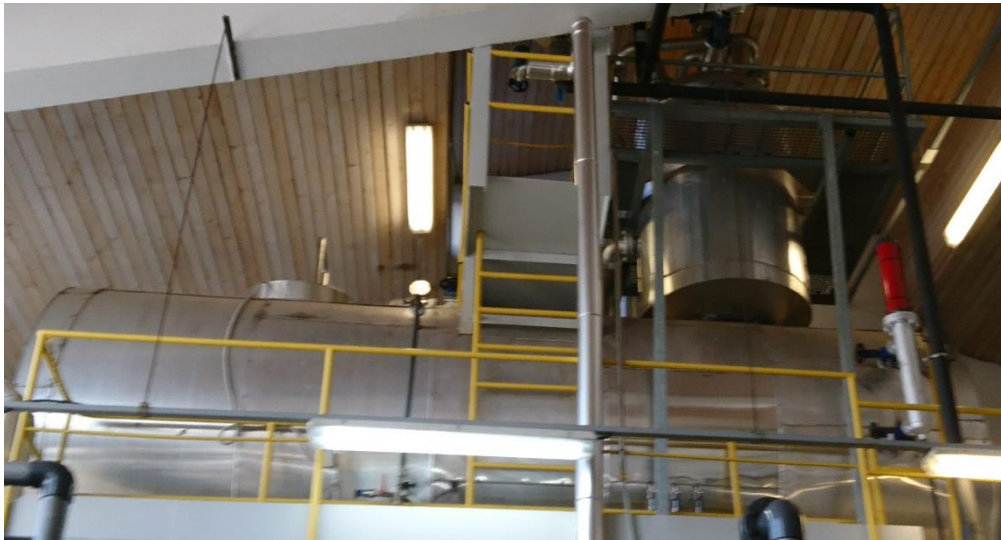
Dopolnjevanje kondenčnega rezervoarja: s proizvedeno mehčano vodo nato dopolnjujemo kondenčni rezervoar, ki ima funkcijo, da zbira povratek kondenzata od vseh porabnikov pare ter da zagotavlja zalogo napajalne vode. Mehčana voda

pokriva izgube kondenzata v sistemu zaradi različnih vzrokov puščanja ali izpusta pare/kondenzata v okolico, kjer skupno znašajo 30 %. Kondenčni rezervoar je velikosti 30 m³, kar zadostuje našim potrebam, da v primeru okvare mehčalne naprave zagotavlja nekajurno zalogo napajalne vode za delovanje kotlov ter čas za odpravo napake.



*Slika 22: Kondenčni rezervoar
(Lastni vir)*

Dopolnjevanje napajalnega rezervoarja in termično odplinjevanje: preden vodo prečrpamo iz kondenčnega rezervoarja v napajalni rezervoar, vodo spustimo skozi termični odplinjevalnik, s katerim iz napajalne vode odstranimo raztopljene pline, da preprečimo nastanek korozijskih procesov na parnih inštalacijah. Odplinjevalnik je nameščen na vrh napajalnega rezervoarja in voda prosto pada od zgoraj navzdol. Od spodaj navzgor pa dovajamo paro, da segreje vodo in odstrani pline iz vode. S procesom termičnega odplinjevanja vodo ne samo razplinimo, marveč jo med procesom tudi segrejemo na ustrezno temperaturo obratovanja, ki je od 102 °C do 105 °C. Preostale sledi agresivnih plinov nato odstranimo s kemikalijami, ki jih dovajamo v napajalni rezervoar. Naloga napajalnega rezervoarja je, da zagotavlja zalogo kemijsko kondicionirane in temperaturno pripravljene napajalne vode za dopolnjevanje nivoja vode v kotlih. V napajalni rezervoar doziramo kemikalije, da napajalno vodo še ustrezno kemijsko kondicioniramo.



*Slika 23: Napajalni rezervoar s termičnim odplinjevalcem
(Lastni vir)*

Kondicioniranje kemikalij: v našem sistemu kotlovsko napajalno vodo kondicioniramo po alkalnem postopku za izboljšanje stabilnosti vode. Z dodajanjem natrijevega hidroksida NaOH uravnavamo pH vode na okoli 9,5 do 10 pH, s čimer preprečimo nastanek korozijskega procesa v kotlu in stabiliziramo trdoto vode. Ker NaOH ne učinkuje na pH pare, uporabljamo za uravnavanje pH tudi amine, saj potujejo skupaj s paro in z njimi stabiliziramo pH kondenzata, da ne prihaja do korozije na kondenčnem vodu. Kljub termičnemu odplinjevanju so vedno prisotne manjše sledi plinov, ki jih odstranjujemo s hidrazinom. Za manjše ostanke soli pa dodajamo fosfate, ki stabilizirajo trdoto vode tako, da se ostanki soli združijo. Ti se nato odvedejo s kaluženjem in odsoljevanjem v kotlu.



*Slika 24: Kemikalije za kondicioniranje
(Lastni vir)*

Ekonomajzer: tik preden voda steče v kotel, mora steči še skozi izmenjevalec, imenovan ekonomajzer, ki je postavljen na izhodu dimnih plinov iz kotla. Ekonomajzer nam omogoča dogrevanje napajalne vode pred vstopom v kotel z izkoriščanjem toplotne energije dimnih plinov. S tem dosežemo večje termične izkoristke dimnih plinov, boljše delovanje kotla in posledično vplivamo na varovanje okolja z znižanjem emisij.



*Slika 25: Ekonomajzer
(Lastni vir)*

Kotel: za zagotavljanje oskrbe lokacije s paro imamo vgrajena dva mnogovodna kotla proizvajalca Viessman z nazivno parno kapaciteto 16 T/h. Parna kotla obratujeta izmenično 24 h na dan vse dni v tednu in za gorivo uporabljata zemeljski plin. Kotla delujeta v skladu z direktivo EU o tlačni opremi in nacionalnimi predpisi.



*Slika 26: Parna kotla
(Lastni vir)*

Para in kondenzat: paro, ki jo proizvedemo, distribuiramo do porabnikov preko parnega razvoda na cevnem mostu ali kineti. Ko porabniki pari odvzamejo energijo za svoje potrebe, para kondenzira. Kondenzat je zelo dragocena surovina, zato ga ne spuščamo v okolje, ampak ga zbiramo v kondenčnem rezervoarju za ponovno uporabo v parnem sistemu za napajalno vodo. V kondenčnem rezervoarju se zbira kondenzat iz celotne lokacije, vendar so v parnem sistemu vedno prisotne posamezne okvare ali prevezave inštalacije. Iz sledečega vzroka imamo v sistemu vedno prisotne približno 30 % izgube kondenzata, kar pokrivamo s svežo pripravljeno napajalno vodo.

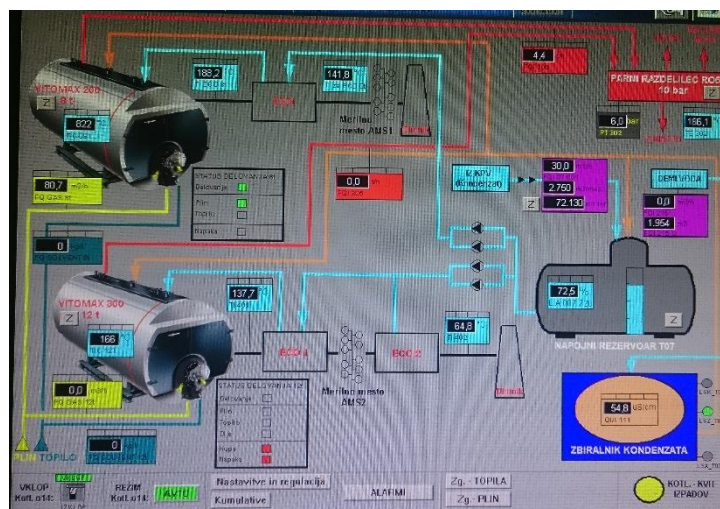


*Slika 27 Razvod pare
(Lastni vir)*

Nadzor nad obratovanjem: kontrolo in vzdrževanje sistema vršimo 24 ur na dan vse dni v tednu. To delo opravljamo za to delo posebno izobraževani in usposobljeni delavci. Naša naloga je, da upravljamo s sistemom, ga nadzorujemo in izvedemo nujna vzdrževana dela.

Nadzor vršimo z nadzornim sistemom SCADA in z vizualno kontrolo ob obhodih. Ob obhodih se popisujejo in beležijo parametri delovanja opreme za celoten sistem. V primeru odstopanja parametrov ali okvar na sistemih moramo ustrezno ukrepati, da zagotavljamo nemoteno poznejše obratovanje sistema in dobavo energenta.

Naloga upravljalcev je tudi opravljanje dnevni analiz kakovosti kotlovske in napajalne vode tj. ali ta ustreza vsem danim zahtevam in parametrom, ki se vpisujejo v za to namenjen dnevnik. Glede na rezultate analiz se priredijo količine dodatnih kemikalij, s katerimi kondicioniramo vodo.



Slika 28: Nadzorni sistem SCADA
(Lastni vir)

4.2 REDNI INŠPEKCIJSKI PREGLED

Na podlagi Pravilnika o tehničnih normativih za postavitve, nadzor in obratovanje parnih kotlov in naprav (2003) je bil opravljen redni periodični pregled parnega kotla, za katerega je bil opravljen notranji in zunanji pregled ter tlačni preizkus v skladu s Pravilnikom o pregledovanju in preizkušanju opreme pod tlakom.

Pri pregledu se je ugotovilo, da je kotel od zunaj ustrezno toplotno izoliran z ustrezno varnostno in tlačno opremo. Kotel je pravilno montiran, saj na inštalacijah ni opaziti sledi netesnosti in nepravilnosti.

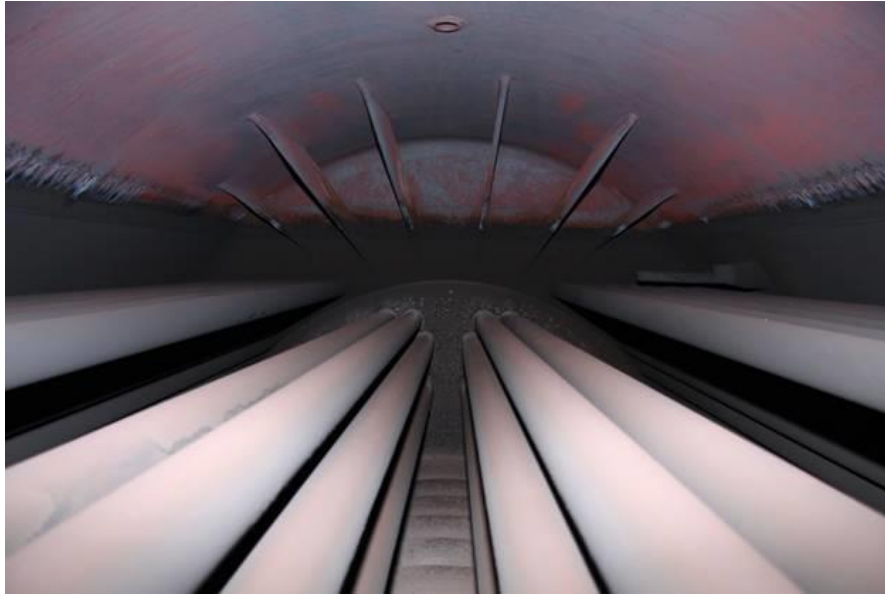
V notranjosti kotla, na vodni strani, se opazi, da so magnetitne plasti ustrezne velikosti, vendar so prisotne manjše plasti oblog kotlovca.

Meja voda–para je dobro vidna in nad to mejo je zaščitna plast rdeče barve. Sestavni deli kotla in zvari so pravilnih oblik in dimenzij ter brez napak.

Na dimni strani kotla so cevi in zvari dobro ohranjeni in brez dimenzijskih odstopanj. Na gorilniku je mogoče zaznati delno poškodovani usmerjevalnik zraka. Tesnila preglednih odprtin so še dobro ohranjena in brez napak, enako sprednja vrata, z obnovljeno toplotno izolacijo.

Tlačni preizkus se je opravil z vodo pod tlakom 13 barov, kar je trajalo 1 h. Preizkus ni pokazal nobenih odstopanj samega kotla in ni bilo mogoče zaznati puščanj ali deformacij.

Pri celotnem pregledu kotla se je ugotovilo, da kotel z vso opremo izpolnjuje zahteve za varno obratovanje, določene v Pravilniku o pregledovanju in preizkušanju opreme pod tlakom. Kljub manjšim oblogam kotlovnice, ki jih bo treba čim prej odstraniti s kislino, se izda potrdilo o obratovanju.



*Slika 29: Vodna stran mnogovodnega kotla
(Vir: Water Pix, 2015)*

5 PREDLAGANE MOŽNE IZBOLJŠAVE

Uspešno opravljen inšpekcijski pregled daje upravljalcem potrdilo, da uspešno in kakovostno opravljamo svoje delo nad kontrolo priprave vode in upravljanjem kotla kljub prisotnosti manjših oblog.

Obloge so se pojavile znotraj dovoljenih parametrov kakovosti vode, kar pomeni, da opravljamo delo kakovostno. Ne moremo pa vplivati na zmožnost danega sistema priprave vode, ne da bi s sistemskimi izboljšavami dvignili kakovost pripravljene vode ter s tem v bodoče preprečili nastanek oblog in še izboljšali kakovost napajalne vode in kakovost našega dela.

Naš dosedanji sistem dopušča možnost vgradnje nekaterim različnim izboljšavam, ki bi se lahko realno implementirale v obstoječi sistem priprave vode. Izboljšave smo predlagali na osnovi praktičnih izkušenj. Za njih bi bilo treba izdelati še analizo smotnosti izvedbe in ekonomske opravičljivosti. Predlagane rešitve bi zadovoljevale vsem zahtevam, ki jih narekujejo regulative in lastne potrebe po kakovosti.

5.1 DOGRADNJA REVERZNE OSMOZE V OBSTOJEČ SISTEM

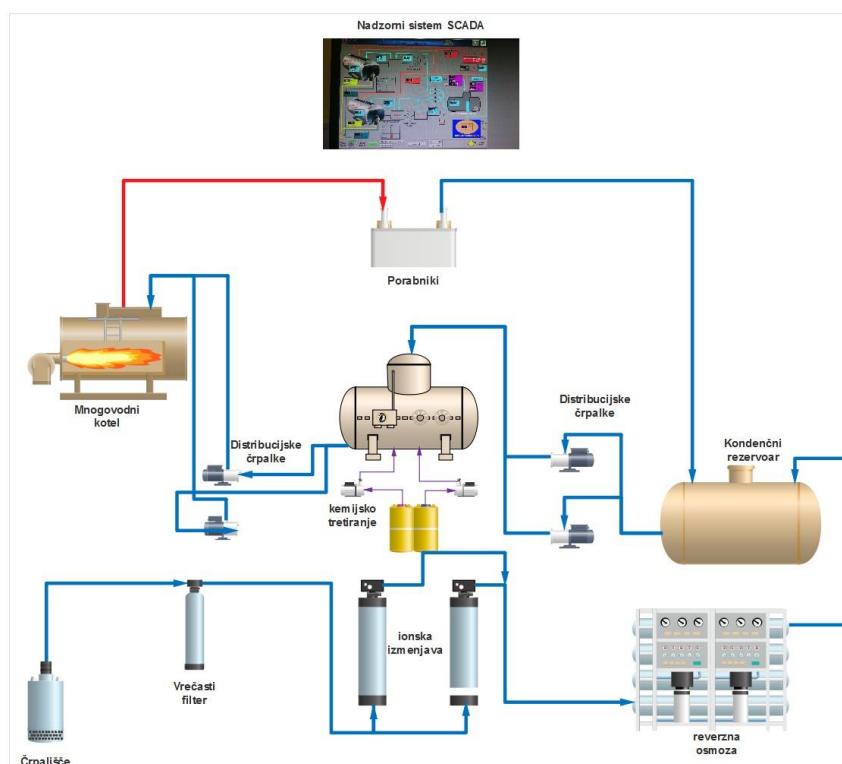
Čeprav naš sistem priprave vode in sama kakovost pripravljene vode zadostuje vsem predpisanim zahtevam in je v okviru določenih parametrov, bi bilo smotno razmisliti o izboljšanju celotnega sistema priprave vode z vgraditvijo RO. Dosedanji sistem priprave vode z mehčalno napravo deluje po principu ionske izmenjave in je že preverjen delujoč sistem. Njegova pomanjkljivost je, da ne zmore odstraniti vseh raztopljenih snovi v vodi in posledično tudi trdote. Čeprav mnogovodni kotli ne zahtevajo tako kakovostne vode v primerjavi z vodocevnimi kotli, ki zahtevajo povsem čisto demineralizirano vodo, bi bilo smiselno povečati kakovost napajalne vode in poizkusiti približati kakovost vode demineralizirani.

Ker ima trenutno voda raztopljene razne primesi in nihajočo trdoto vode, se v kotlu nabirajo manjše obloge, ki jih ob servisnih ustavitvah odstranimo in je kotel pripravljen za poznejšo uporabo. Poleg tega moramo kotel pogosto kalužiti in odsoljevati, kar nam povečuje toplotne izgube. Zaradi same kakovosti vode imamo tudi večjo porabo kemikalij za kondicioniranje, kakor če bi imeli bolj kakovostno napajalno vodo.

Za dvig kakovosti napajalne vode predlagamo vgraditev RO, ki se čedalje bolj uporablja v tehnologiji priprave vode in predstavlja dobro alternativo ionskim izmenjevalcem. Z RO lahko zmanjšamo vsebnost soli in drugih raztopljenih primesi v vodi za več kot 95 %, saj uspešno odstranjuje številne raztopljene snovi, mikroorganizme in druge primesi, ki so nezaželene v vodi. Pri postopku nastane približno 25 % odpadne vode, to je koncentrat. Preostali produkt permeat je čista voda, ki ima prevodnost $<10 \mu\text{S}$. Če želimo pridobiti popolnoma demineralizirano vodo, moramo vodo dodatno obdelati preko mešanega ionskega filtra, da odstranimo preostale soli.

Za delovanje ne potrebuje kemikalij, porabi malo energije, celotni postopek je avtomatiziran, zato ga ne bi bilo težko vključiti v obstoječi sistem za pripravo vode.

Slabosti RO so problemi z mašenjem membran in s tem povezana krajša življenjska doba membran ter slabša pretočnost čiste vode. Zadnje bi bilo smotno uporabiti za surovo vodo mehčano vodo, ki bi jo pridobivali z dosedanjimi ionskimi izmenjevalci. Tako bi lahko še bolj povečali učinkovitost sistema za pripravo vode in prihranili pri porabi vode in energije.



Slika 30: Shema parnega sistema z vgrajeno reverzno osmozo
(Lastni vir)

5.2 DOGRADNJA MEHČALCA POVRATNEGA KONDENZATA IN NAPOJNE VODE

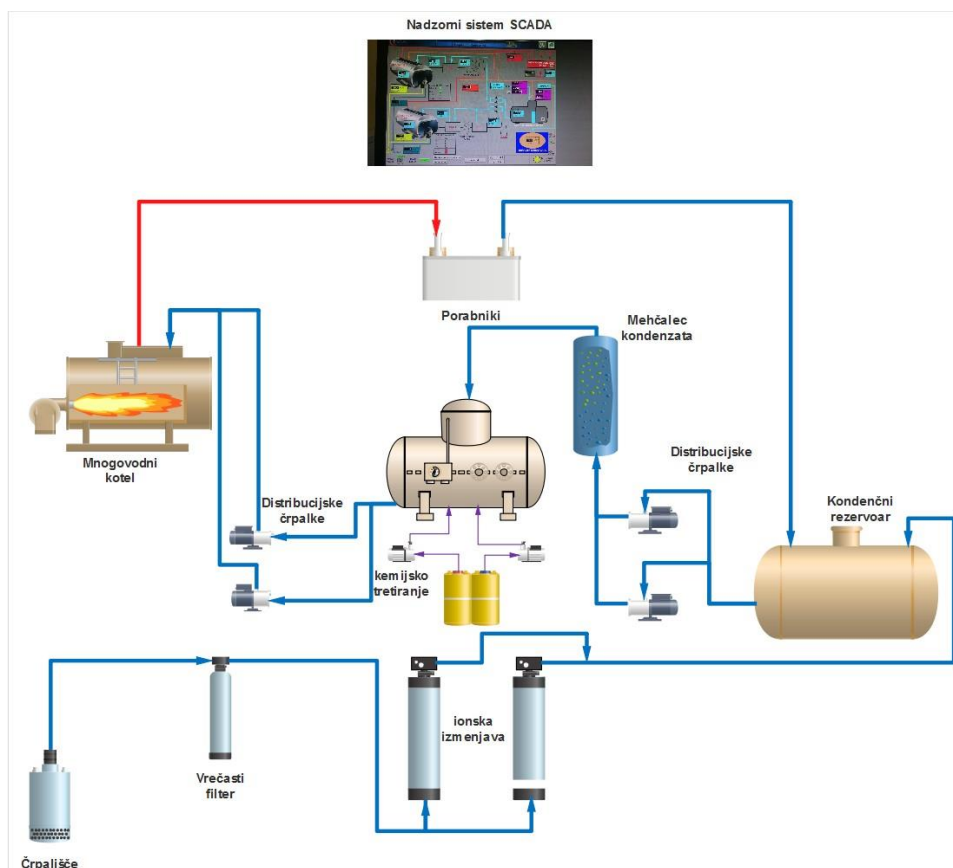
Ena izmed možnih izboljšav dosedanjega sistema bi bila vgraditev mehčalne naprave za čiščenje povratnega kondenzata pred vstopom vode v napajalni rezervoar. S tem bi dosegli, da bi v kotel prišla bolj konstantno čista in manj trda pripravljena voda.

V kondenzatu se ob povratku v kondenčni rezervoar raztapljajo plini in druge primesi ter nečistoče. Sveže pripravljena mehka voda ima nihajočo izhodno kakovost vode iz ionskega izmenjevalca priprave vode. Do tega pride zaradi občasnih napak na opremi ionskega izmenjevalca, bolj pogosto pa zaradi iztrošenosti ionske mase pred regeneracijo. Ko se ti dve vodi zmešata skupaj v kondenčnem rezervoarju imata potem neko skupno lastnost. Distribucija trenutno poteka neposredno do napajalnega rezervoarja. Če pa bi vmes dogradili mehčalec povratka kondenzata, bi z njim lahko izboljšali kakovost vode v samem sistemu, saj bi ionski izmenjevalec pobral delež preostale trdote v vodi in bi tako lahko lažje dosegali konstantno trdoto vode $0,01 \text{ dH}^\circ$. Ta bi več kot dovolj zadostovala našim potrebam po kakovosti vode.

Mehčalec kondenzata deluje na istem principu kot mehčalna naprava, ki jo že imamo za pripravo vode in se regenerira s soljo NaCl.

Mehčalec bi deloval kot samostojna enota z vgrajenim filtrom perforirane velikosti 50 μm , ki zadrži večje grobe delce v vodi, navadno korozijske produkte. Ker vhodna voda ni tako zasičena s primesmi, ni potrebe po tako pogostih regeneracijah in bi se lahko izvajale na tedenski ravni oziroma po potrebi pogosteje, odvisno od zasičenosti izmenjevalca.

Možni pozitivni učinki vgradnje mehčalca povratnega kondenzata bi se lahko pokazali v bolj konstantni trdoti in čistosti dovedene napajalne vode, s čimer bi lahko prihranili pri porabi kemikalij za stabiliziranje trdote. V kotlu bi lahko povečali zgoščevalno število, kar pomeni, da bi zmanjšali toplotne izgube kotla skozi kaluženje in odsoljevanje v okolje. Posledično bi tudi zmanjšali možnost odlaganja kotlovca, kajti povprečje trde vode bi bilo manjše kakor doslej.



Slika 31: Shema parnega sistema z vgrajenim mehčalcem kondenzata
(Lastni vir)

5.3 MERJENJE PREVODNOSTI SLANICE IN MERJENJE TRDOTE VODE ZA MEHČALNO NAPRAVO TER VZPOSTAVITEV ALARMIRANJA

Naš dosedanji sistem priprave vode prideluje mehko vodo z mehčalno napravo. Mehčalna naprava ima to slabost, da nam zaradi samega principa delovanja mehčalne naprave in zunanjih vplivov ne zmore zagotavljati konstantne kakovosti mehčane vode. Velikokrat se zgodi, da zaradi obrabe opreme zatajijo krmilni ventili, ki preklaplajo mehčalno napravo med različnimi obratovalnimi cikli. Ta ventil nam omogoča, da je naprava v ciklih regeneracije, izpiranju, rahljanju ionske mase ali normalnem obratovanju pridelave mehke vode. Če ventil ne deluje pravilno, tudi mehčalna naprava ne deluje pravilno in priteka iz nje trda voda. Enak problem nastane tudi, ko se ionska masa iztroši in se slabo opravi regeneracija ali pa kateri koli drugi vitalni del armature ionskega izmenjevalca. Da napako odkrijemo, včasih traja dolgo. Odkrijemo jo namreč tako, da ob izmenah merimo trdoto vode, pri čemer se takoj vidijo odstopanja. Ker je tukaj vmes prisoten človeški dejavnik in se analize ne opravijo vedno v predvidenem terminu, je čas, ki preteče do odkritja napake, že lahko usoden, in nastanejo problemi na parnem sistemu.

Poleg omenjenih vzrokov se nam lahko pripeti tudi, da nam v rezervoarju slanice, ki se uporablja za regeneracijo ionske mase, zataji plovec, ki regulira nivo vode. Posledica je, da nam voda in posledično koncentrirana tekočina soli uhaja skozi preliv v kanalizacijo ter nam v nekem času, če napake ne opazimo dovolj zgodaj, pobere vso sol iz rezervoarja ter s tem onemogoči izvedbo cikla regeneracije. Drugi dovolj pogost problem pri slanici je pomankanje soli v rezervoarju. Zadnje nastane zaradi človeškega dejavnika in nepazljivosti pri kontroliranju še preostale količine soli v rezervoarju slanice.

Da bi zmanjšali možnost napak in vpliv posledic, bi lahko v naš sistem dogradili sistem alarmnega obveščanja na sistem SCADA ter na dežurni telefon upravljalca. Alarmni sistem bi deloval tako, da bi merili dve veličini, in sicer trdoto vode in koncentracijo raztopine solnice.

Trdoto vode bi merili na izhodu vode iz mehčalne naprave preko posebne testne proge, ki meri trdoto vode. Tester bi nato, ko bi zaznal preseženo vrednost od nastavljene meje, poslal nadzornemu sistemu signal za alarm ter takoj obvestil dežurnega upravljalca, da se nekaj dogaja na sistemu mehčane vode.

Podobno bi storili v rezervoarju slanice, kjer bi nastavili nivojsko alarmiranje ter merili koncentracijo slanice v rezervoarju. Ko bi prišlo do presežka od nastavljenih alarmnih mej, bi signal sporočil nadzornemu sistemu in telefonu dežurnega upravljalca o neobičajni aktivnosti v rezervoarju slanice.



Slika 32: Merilec prevodnosti slaniice
(Lastni vir)

5.4 UPORABA DEMINERALIZIRANE VODE

V našem industrijskem obratu uporabljamo tudi demineralizirano vodo za potrebe proizvodnje in laboratorijske tehnike. Pridelujemo jo s pomočjo anionskega in kationskega ionskega izmenjevalca, ki gre nato še skozi mešani ionski izmenjevalec. Ta nam zagotavlja povsem čisto demineralizirano vodo. Ker te vode v veliki meri že proizvajamo, bi bilo smotno razmisliti o uporabi te vode za pripravo kotelne vode.

Ker je demineralizirana voda povsem čista voda, brez vseh primesi, je najbolj idealna vrsta vode za uporabo v energetskih sistemih. Čeprav mnogovodni kotli ne zahtevajo tako visoke kakovosti čiste vode, kot je demineralizirana voda, ni nič narobe, če jo uporabimo v našem parnem sistemu.

Z uporabo demineralizirane vode bi nivo kakovosti v parnem sistemu dvignili na zelo visok nivo, saj bi lahko močno zmanjšali možnost težav z nalaganjem kotlovca v sistemu, zmanjšali porabo kemikalij za tretiranje napajalne vode in povečali termične izkoristke kotlov.

Kljub temu da demineralizirana voda na prvi pogled deluje kot dobra alternativna izbira, moramo tukaj upoštevati obratovalne stroške takega procesa in ekonomska opravičljivost ter smotnosti te izvedbe. Ob vsem je treba tudi proučiti, ali bi sedanji sistem zadostoval vsem količinam, ki bi jih potrebovali.

Treba je upoštevati tudi okoljski vidik, saj za proizvodnjo demineralizirane vode potrebujemo kemikalije, ki onesnažujejo okolje.

Kakovost vode bi tudi že izboljšali, če bi zgolj odstotni delež demineralizirane vode primešavali napajalni vodi in jo tako poboljšali. Tj. ob predpostavki, če bi se izkazalo, da dosedanja količina proizvedene demineralizirane vode to dovoljuje.

5.5 ENERGETSKA UČINKOVITOST Z VGRADNJO IZMENJEVALCA ZA KORIŠČENJE ODPADNE TOPLOTE KALUŽENJA IN ODSOLJEVANJA

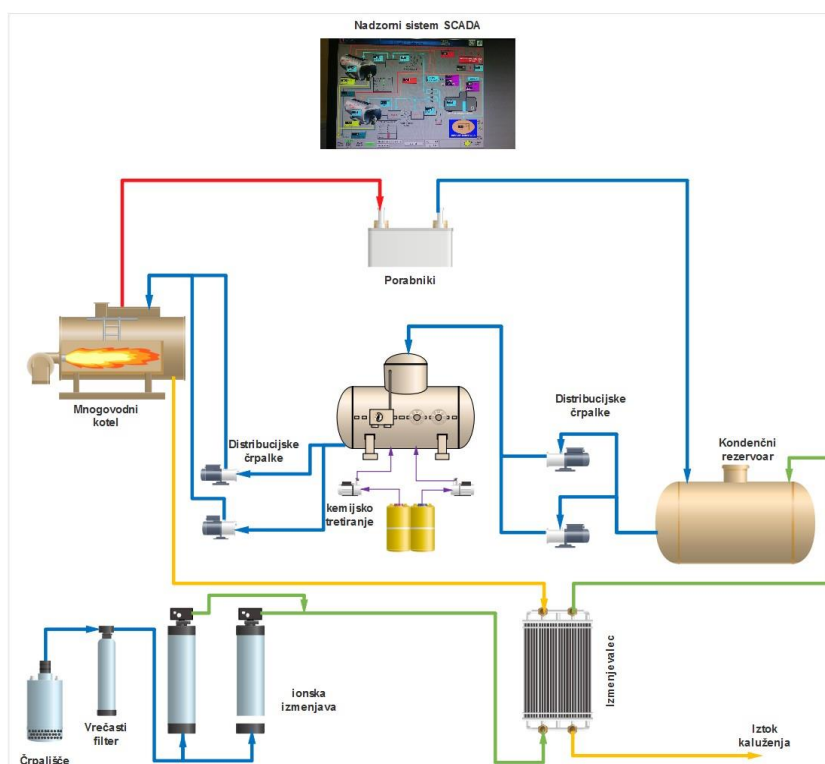
Trenutno v našem sistemu odvajamo vsebino odtoka odsoljevanja in kaluženja preko hladilnika neposredno v odtočno kanalizacijo. Ker je ta odtok neposredno iz kotla prevroč (ima temperaturo približno 100 °C), ga moramo ohladiti in nevtralizirati, da ga lahko zaradi okoljskih zahtev spustimo v kanalizacijo. Ker je to zelo očitna pomankljivost trenutnega sistema z okoljskega vidika in toplotnih izkoristkov, vidimo tukaj dobro in smotno možnost za izboljšanje našega sistema.

Sistem bi izboljšali tako, da bi vgradili izmenjevalec v katerega bi napeljali skupni odtok kaluženja in odsoljevanja. Toplotno energijo odpadne vode bi preko izmenjevalca lahko koristila mehčana voda pred odtokom v kondenčni rezervoar. Tukaj vidimo več pozitivnih učinkov, ki bi jih dosegli z izboljšavo.

Kot prvi in največji bi bil prihranek pri porabljeni količini vode, energiji in varovanju okolja, saj moramo trenutno odtok hladiti s tehnološko vodo, ki jo nato odvedemo v kanalizacijo.

Z izboljšavo bi to zmanjšali tako, da bi za vir hlajenja uporabili mehčalno vodo. To bi nato uporabili za napajalno vodo. S tem bi tudi dosegli, da v kondenčnem rezervoarju ne bi bilo več toplotnih šokov, saj ima mehka voda konstantno temperaturo 12 °C, povratek kondenzata pa približno 85–90 °C. Razlika temperature med polnjenjem rezervoarja privede do temperaturnega šoka in včasih celo do t. i. pokanja v rezervoarju. Če bi mehčano vodo peljali skozi izmenjevalec in jo predgreli, bi ta slab učinek izginil, poleg tega pa bi napajalna voda imela potem višjo osnovno temperaturo v kondenčnem rezervoarju. Zadnje bi se poznalo pri porabljeni energiji, ko moramo napajalno vodo segreti na obratovalno temperaturo pred vstopom v kotel v napajalnem rezervoarju.

S tem, ko bi koristno izkoristili toploto odpadne vode, ne bi bilo več potrebe po starem hlajenju s tehnološko vodo. Prihranili bi pri porabi tehnološke vode.



Slika 33: Shema parnega sistema z vgrajenim izmenjevalcem za koriščenje odpadne toplote
(Lastni vir)

6 ZAKLJUČEK

Pogoj za ustrezno in dolgoročno delovanje parnega sistema je primerna priprava napajalne vode. Ta mora ustrezati danim zakonskim in proizvajalčevim zahtevam za kakovost vode. Kakovost napajalne vode je zelo pomemben element v parnem procesu, saj zagotavlja zaščito in optimalno delovanje parnega sistema ter čisto paro porabnikom. V nasprotnem primeru lahko nastanejo težave z velikimi toplotnimi izgubami, okvare na opremi in inštalaciji, kar nam zelo močno poveča obratovalne in vzdrževalne stroške, posledično pa se krajša življenjska doba parnega sistema.

Na podlagi predpostavk smo ugotovili, da so dani predlogi za izboljšanje kakovosti napajalne vode in parnega procesa smiselni. Za nobeno od danih izboljšav ne moremo reči in trditi, da je najboljša ali najslabša, saj ima vsaka svoje koristi, s katerimi bi izboljšali celotni sistem za dvig kakovosti in slabosti. Z nekaterimi bi bolje dosegli boljšo kakovost vode, z nekaterimi lažje upravljanje in hitrejšo reagiranje ob pojavu napak, druge bi izboljšale toplotne izkoristke parnega kotla itd. Tehno moramo razmisliti in opraviti ustrezne analize o smotnosti izvedbe izboljšav

sistema, dognati, katere so prioritete in katere ne. Zagotovo pa je skupno to, da vsaka na svoj način prispeva k dvigu kakovosti.

Predlagamo uvedbo prve navedene izboljšave. Z vgradnjo RO bi namreč dvignili kakovost napajalne vode do te mere, da bi nalaganje kotlovskih oblog minimalizirali ali celo izničili. Poleg tega ne bi predstavljala večjega posega v sistem, saj bi se vgradila v že obstoječi sistem. To bi dopolnjevalo dosednji sistem priprave vode. S tem bi dosegli tudi boljše in lažje upravljanje sistema, povečali toplotno učinkovitost, zmanjšali porabo kemikalij in vpliv na okolje. RO bi imela največji pozitiven učinek na parni sistem od vseh izbranih rešitev. Opraviti je treba konkretne analize, ki bi to tezo potrdile.

Vse rešitve so bile podane na podlagi praktičnih izkušenj in bi se lahko tudi uporabile na realnem parnem sistemu, v katerem paro proizvajajo z mnogovodnimi kotli. Treba se je prilagoditi vsakemu sistemu individualno, kajti vsak sistem ima svoje zahteve in karakteristike.

7 LITERATURA IN VIRI

Bauman, M., Pobrežnik, M. in Lobnik, A. (2014). *Tehnološke smernice in zakonodajske podlage za kakovost tehnološke vode v sistemih daljnjskega ogrevanja*. 10. Eko dan. Maribor: Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo.

Boyd, C. E. (2015). *Water Quality*. London: Springer.

Burgar, S. (1996). *Priprava in kontrola napajalnih voda*. Ljubljana: ZTI.

Cigut, T. (2015). *Predlog sanacije vodarne mrzlek*. Diplomsko delo, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Čemažar, M. (2013). *Uporaba reverzne osmoze za pripravo kotlovske napajalne vode*. Diplomsko delo, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo.

Dampfkessel: auslegung. (b. l.). Berlin: Viessmann Werke.

Dejak, U. (2016). *Kvalifikacija sistema za pripravo laboratorijske vode*. Diplomsko delo, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko.

Direktiva 2014/68/eu evropskega parlamenta in sveta. (2014). Uradni list Evropske unije, št. 189. Pridobljeno 15. 9. 2017 z naslova <http://publications.europa.eu/portal2012-portlet/html/downloadHandler.jsp?identifier=1ddec7ca-0e96-11e4-a7d0->

01aa75ed71a1&format=pdfa1a&language=sl&productionSystem=cellar&documentIdentifier=planjo:20140513-024.

Energetski zakon /EZ-1/. (2014). Uradni list RS, št. 17/14, 81/15. Pridobljeno 27. 9. 2017 z naslova <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO6665>.

Felzer, G. (2016). *Vodenje procesa elektrolize za pripravo alkalno ionizirane vode*. Diplomsko delo, Maribor: Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko.

Flynn, D. J. (ur.). (2009). *The nalco water handbook*. New York: McGraw-Hill.

Functionality of marine boilers. (2016). Pridobljeno 25. 9. 2017 z naslova <http://www.kainonboiler.com/functionality-marine-boilers/>.

Ignatowitz, E. (1996). *Kemijska tehnika*. Ljubljana: Jutro.

Inventions. (2017). Pridobljeno 16. 9. 2017 z naslova https://res.cloudinary.com/dk-find-out/image/upload/q_80,w_1920,f_auto/l-ed107_inventions_032-33-c_svr1th.jpg.

James Watt. (2017). Pridobljeno 3. 9. 2017 z naslova https://sl.wikipedia.org/wiki/James_Watt.

Jamshaid, T. (2015). *Water and fire tube boilers*. Pridobljeno 25. 9. 2017 z naslova <https://www.slideshare.net/tariqjamshaid5/water-and-fire-tube-boilers>.

Koristni nasveti: trdota vode. (2018) Komunala Novo mesto. Pridobljeno 17. 2. 2018 z naslova <https://www.komunala-nm.si/Dejavnosti/Oskrba-s-pitno-vodo/Koristni-nasveti>.

Lavrič, J. (2013). Delovno gradivo iz seminarja: *Kotli*.

Li, N. N., Fane, A. G., Winston Ho, W. S. in Matsuura, T. (ur.). (2008). *Advance membrane technology and applications*. New Jersey: John Wiley & Sons.

Miroševič, S. (2015). *Uporaba fizikalno-kemijskih postopkov za doseganje zahtevanih parametrov tehnoloških odpadnih voda pred priključevanjem na komunalni sistem*. Diplomsko delo, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Nemec, N. (2016). *Možnost ponovne uporabe regeneracijske odpadne vode pri ionskem izmenjevalcu za mehčanje vode v pivovarni Laško*. Diplomsko delo, Maribor: Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo.

Oman, J. (2015). *Generatorji toplote*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo.

Pravilnik o strokovnem usposabljanju in preizkusu znanja za upravljalca energetskih naprav. (2015). Uradni list RS, št. 92/15. Pridobljeno 4. 9. 2017 z naslova <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV12292>.

Pravilnik o tehničnih normativih za postavitev, nadzor in obratovanje parnih kotlov in naprav. (2003). Uradni list RS, št. 114/03, 14/14 – EZ-1. Pridobljeno 31. 5 2018 z naslova <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV5306> Uradni list RS, št. 114/03 in 17/14 – EZ-1.

Pravilnik o tlačni opremi. (2016). Uradni list RS, št. 66/16. Pridobljeno 4. 9. 2017 z naslova <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV12642#>.

Sestava vode za parne kotlovene naprave: navodila za projektiranje. (b. l.) Maribor: Viessmann.

Sever, J. (2003). Delovno gradivo iz seminarja: *Priprava vode*. Ljubljana: ZDES.

Solutions for hot water boiler systems. (2015). Pridobljeno 7. 6. 2018 z naslova http://www.powertechipc.com/technologies/Hydropath/applications/hot_water_boilers.htm.

Tacer, M. (2016). Zapiski predavanj: *Energetika*.

Trdota vode. (2018). Pridobljeno 17. 2. 2018 z naslova <http://www.kraski-vodovod.si/?stran=voda-trdota>.

Water Pix. (2015). Pridobljeno 8. 6 2018 z naslova <https://www.flickr.com/photos/28833592@N02/20887142011>.

Water problems. (2016). Pridobljeno 6. 6. 2018 z naslova <http://www.spthermal.com/WTPROBLEMS.html>.

Zupančič, M. (2018). *Okoljsko procesno tehnike. Avditorne vaje*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo.