VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

OPTIMIZACIJA PROCESA V OBRATU VPARILNICE Z MENJAVO CENTRIFUGALNE ČRPALKE

Kandidatka: Anja Perša

Vrsta študija: študentka izrednega študija

Študijski program: Strojništvo

Mentor predavatelj: dr. Darko Friščić, univ. dipl. gosp. inž.

Mentor v podjetju: dr. Gregor Sagadin, univ. dipl. inž. str.

Lektorica: Mateja Drevenšek, prof. slov.

Maribor, 2024

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisana Anja Perša sem avtorica diplomskega dela z naslovom Optimizacija procesa v obratu Vparilnica z menjavo centrifugalne črpalke, ki sem ga napisala pod mentorstvom dr. Darka Friščića, univ. dipl. gosp. inž.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbela, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor,
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli kot moje lastne, kaznivo po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Uradni list RS, št. 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/13, 56/15 in 63/16 – ZKUASP); prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia Maribor skladno z njenimi pravili,
- skladno z 32.a členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Maribor, september 2024 Podpis študentke:

ZAHVALA

Zahvalila bi se profesorju dr. Darku Friščiću, univ. dipl. gosp. inž., za vso izkazano podporo, čas in vodenje skozi celotno diplomsko delo, predvsem pa za hitro odzivnost pri morebitnih vprašanjih glede potrebne dokumentacije o diplomskem delu.

Zahvaljujem se tudi drugim profesorjem na šoli Academia, saj so mi s predavanji dali potrebno znanje, ki sem ga lahko uporabila pri samem pisanju diplomskega dela. Zahvala gre tudi moji družini, ki so me zmeraj podpirali.

Hvala mojemu mentorju v podjetju dr. Gregorju Sagadinu, univ. dipl. ing. str., vodji vzdrževanja in energetike v podjetju SILKEM, d. o. o., pri izbiri problematike znotraj podjetja in drugim sodelavcem kolektiva SILKEM, d. o. o., za dovoljeno uporabo internega gradiva podjetja.

POVZETEK

Podjetje, v katerem sem zaposlena, je širše prepoznavni proizvajalec specialnih materialov na področju zeolitov, specialnih glinic, silikatov in boemitov. Zajema 14 proizvodnih obratov. Za diplomsko delo sem si izbrala problematiko v obratu Vparilnica. Pri samem delu smo morali biti pazljivi, saj smo manipulirali z natrijevim lugom (NaOH), ki je znan tudi kot lužni kamen in kavstična soda. Natrijev hidroksid je zelo bazičen in lahko povzroči nevarne opekline, zato smo uporabljali obvezno zaščitno opremo, s katero smo zaščitili svoje zdravje in celotno telo. V obratu je treba opozarjati na nujnost zaščitne opreme – delavci morajo najprej sami poskrbeti za svojo varnost ter varnost drugih zaposlenih in šele nato se lahko lotijo dela, dolžnost delodajalca pa je delavce opremiti z vso potrebno zaščitno delovno opremo in jih na uporabo te opozarjati. V diplomskem delu bodo navedene vrste vzdrževanja in spoznali bomo, kakšno vrsto vzdrževanja opravljajo v podjetju Silkem. Ker so v preteklosti delavci sami regulirali pretok vode z zapiranjem in odpiranjem ventilov, so se sedaj odločili, da bodo naredili optimizacijo podjetja in da bo to delo opravljala črpalka. Tako so posluževalcem v obratu Vparilnica olajšali delo, saj jim je odpiranje in zapiranje ventilov odvzelo veliko časa in tako niso bili dovolj produktivni pri samem delu. V podjetju so se odločili za novejšo črpalko z možnostjo priključitve na frekvenčni pretvornik in merilnik pretoka. Prejšnja centrifugalna črpalka te možnosti ni imela, porabila je veliko več električne energije in posledično se je to poznalo na mesečnih stroških električne energije. V nadaljevanju bo naveden problem: v primerjavo bosta zajeti obe črpalki in prikazano bo, vzdrževanje katere je čez leto ugodnejše. Prikazan bo izračun porabe električne energije in kakšna je razlike pri uporabi stare in nove črpalke. Nato bo opisano podjetje Silkem, ki se lahko pohvali z večletnim uspešnim poslovanjem. Spoznali bomo, s čim se podjetje ukvarja, kako je nastalo in kaj prinaša glavni dobiček. Na koncu diplomskega dela se bomo osredotočili na konstruiranje osnovne plošče za pritrditev in demontažo centrifugalne črpalke na temelje, ki so v vparilnici. Prikazan bo material, ki je za takšno vrsto proizvodnje in gospodarstvo ugoden oziroma zdrži takšno korozijo, saj vedno, ko izbiramo material ali strojno opremo, moramo imeti v mislih, da delamo v proizvodnji, ki je podvržena raznim korozijam, in hitro se lahko zgodi, da material ne prestane korozije, ki se pojavlja. S tem povzročimo hitrejšo zamenjavo strojne opreme, kar se pozna tudi na dobičku in izgubi v podjetju.

Ključne besede: centrifugalna črpalka, obrat Vparilnica, zaščitna oprema, frekvenčni pretvornik, merilnik pretoka.

ABSTRACT

Optimisation of the process in the "Vparilnica" plant

The company in which im employed is a widley known manufacturer of specialised materials in the field of zeolites, special alumina, silicates and boehmites. It spans across 14 productions facilities, for my thesis i choose a problem in the Evaporator facility. In the process we had to be careful since we were working with sodium hydroxide (NaOH), also known as. Caustic soda. Sodium hydroxide is very basic and can cause very severe burns, that's why we used the mandatory protective equipment which protected our health and body. The protective equipment will be described later. In the facility it is important to warn of the obligations to wear safety equipment, workers have to ensure their own safety and and the safety of other employees, only after that they can start working, the duty of the employer is to provide the necessary safety equipment for the workers and to remind them to use is. In the thesis there will be a list of different types of maintenance and we will find out what types of maintenance they do in the Silkem company. Because in the past the workers regulated the flow of water by opening and closing valves, they have now decided they will do an optimisation of the company so the work will be done by a pump. That's how they made the work of the Evaporator facilities crew easier since the work with valves took alot of time and they weren't productive enough at their assigned tasks. The company decided to get a newer pump that has a frequency converter and flow meter. The previous centrifugal pump didn't have those which caused a bigger usage of electrical energy and because of that there was an impact on the monthly electricity expenses. In the following i will describe the problems we faced in this thesis, both pumps will be compared to see which is will be cheaper to maintain throughout the year. I will include an equation that compares the usage of electricity between the new and the old pump. After that there will be a description of the company Silkem, which has been successfully running it's business for years, we will learn what the company does, what is the main source of profit and how it was founded. We will find out what are the benefits, drawbacks and the components of the centrifugal pump. At the end of the thesis we will focus on designing the main board for mounting and dismounting the centrifugal pump to the foundations in the Evaporator facility, there will be a list of materials which are appropriate for this production i.e can withstand such corrosion, because every time we are choosing materials or work equipment we need to keep in mind that we are working in an environment that is susceptible to corrosion and it can happen that a material doesn't withstand the corrosion in the Silkem facilities.

With that we prevent quicker part replacement of the machines, which can impact the financial losses of the company .

Keywords: centrifugal pump, Evaporator facility, safety equipment, frequency converter, flow meter.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD 10

1.1 Opis področja in opredelitev problema 11
1.2 Namen, cilji in osnovne trditve 11
1.3 Predpostavke in omejitve 12
1.4 Uporabljene raziskovalne metode 13

2 OPIS PROBLEMA 14

2.1 Predstavitev podjetja Silkem, d. o. o. 14
2.2 Varnost pri delu 15
2.3 Proizvodni program 17
2.4 Opis procesa v oddelku Vparilnica 19
2.5 Vzdrževanje in oblike vzdrževanja 25
2.5.1 Kurativno vzdrževanje 25
2.5.2 Preventivno vzdrževanje 26
2.5.3 Vzdrževanje po stanju 27
2.5.4 TPM (Total Productive Maintenance) 27
2.5.5 Samovzdrževanje 27
2.6 Opis in delovanje centrifugalne črpalke, frekvenčnega pretvornika in merilnika pretoka 28
2.6.1 Opis in delovanje centrifugalne črpalke 28
2.6.2 Sodobni pogon z asinhronskim motorjem 33
2.6.3 Opis frekvenčnega pretvornika in merilnika pretoka 33

3 MENJAVA ČRPALKE IN OPTIMIZACIJA PROCESA 36

3.1 OPIS STANJA PRED IN PO OPTIMIZACIJI 39
3.1.1 Izračun za dimenzioniranje črpalke 43
3.1.2 Izračun tedenskega prihranka električne energije z menjavo nove centrifugalne črpalke 43
3.2 Terminski plan 47
3.3 Predvideni resursi, orodja in oprema 48
3.4 Demontaža stare črpalke 49
3.5 Izvedba menjave z novo centrifugalno črpalko 51
3.6 Izdelava v osnovne plošče v CAD programu za črpalko Wilo NLG 200/315 - 37/4 51
3.7 Izdelava načrta preventivnega vzdrževanja 54

4 SKLEP 55

5 VIRI, LITERATURA 57

6 PRILOGE 58

KAZALO SLIK

SLIKA 1: LOGOTIP PODJETJA SILKEM 15
SLIKA 2: ZAŠČITNA OPREMA 16
SLIKA 3: ZAŠČITNA OPREMA 17
SLIKA 4 : ODDELEK VPARILNICA 19
SLIKA 6: PRILOGA K PROGRAMU USPOSABLJANJA ZA DELO NA VPAREVANJU LUGA 20
SLIKA 7 : PRESEK 21
SLIKA 8 : ZUNANJI BAZEN 23
SLIKA 9 : REZERVAT MEHKE VODE 23
SLIKA 10 : KOTA 0 V OBRATU VPARILNICA 24
SLIKA 11 : KONDENZAT VODE 24
SLIKA 12: PREREZ CENTRIFUGALNE ČRPALKE Z ASINHRONSKIM MOTORJEM 29
SLIKA 13 : SESTAVNI DELI CENTRIFUGALNE ČRPALKE 29
SLIKA 14: RADIALNA ČRPALKA 30
SLIKA 15: AKSIALNA ČRPALKA 30
SLIKA 16: POL AKSIALNA ČRPALKA 31
SLIKA 17: MERILNIK PRETOKA 35
SLIKA 18: ČRPALKA PROIZVAJALCA ATB SEVER TIP ZK 225 M6 38
SLIKA 19: ČRPALKA LITOSTROJ 250 KW 38
SLIKA 20: MERE CENTRIFUGALNE ČRPALKE WILO 42
SLIKA 21: ČRPALKA PRED DEMONTAŽO 49
SLIKA 22: ČRPALKA PRED DEMONTAŽO 50
SLIKA 23: POZICIJA MENJAVE ČRPALK 50
SLIKA 24: DIMENZIJE PLOČEVINE 52
SLIKA 25: OSNOVNA PLOŠČA 52
SLIKA 26: PODSTAVEK 53
SLIKA 27: KONČNI IZGLED ČRPALKE NA OSNOVNI PLOŠČI 53

KAZALO TABEL

TABELA 1 : SPECIFIČNI PODATKI FREKVENČNEGA PRETVORNIKA 34
TABELA 2: EKONOMSKI IZRAČUN ZAMENJAVE ČRPALK HLADILNEGA SISTEMA 37
TABELA 3: PODATKI CENTRIFUGALNE ČRPALKE WILO NORM NLG 200/315-37/4 40

TABELA 4: SPECIFIKACIJE VPARILNICE 45
TABELA 5: EKONOMSKI IZRAČUN ZAMENJAVE ČRPALK HLADILNEGA SISTEMA VPARILNICE 46
TABELA 6: IZRAČUN ELEKTRIČNE ENERGIJE 46
TABELA 7: RAZČLEMBA STROŠKOV INVESTICIJE 47
TABELA 8: TERMINSKI PLAN 48
TABELA 9: TERMINSKI PLAN PREGLEDA ČRPALK 54

1 UVOD

Podjetje Silkem se je čez čas naučilo, kako postopati pri popravilih v obratih, saj vsako popravilo prinaša zakasnitev procesa v podjetju, tako se mesečne kapacitete materiala za odjemalce naredijo toliko vnaprej, da ne pride do pomanjkanja pri odjemalcih. Popravila so nujna za podjetje, saj le tako lahko stremijo k uspešnosti podjetja in nemotenega delovanja v obratih. Predvsem delavci in posluževalci stroja morajo paziti na pravilno posluževanje, vzdrževanje in rokovanje z delovnimi orodji oziroma delovnimi stroji, pregledati vso priloženo dokumentacijo glede rokovanja z njimi in izdelovalca ali dobavitelja opozoriti na neprilo̍eno dokumentacijo, ki bi jo potrebovali.

Proces v gospodarski panogi je naravnan tako, da se čim bolj nagiba k ekološkemu in ekonomičnemu delovanju naprav v obratu podjetja, saj vsi stremijo k manjši porabi električne energije in varovanju okolja, kar je za podjetja še posebej pomembno, hkrati pa s smernicami skušajo povečati energetske učinkovitosti v podjetju. Tako so se tudi v podjetju SILKEM, D. O. O., (v nadaljevanju Silkem) odločili za menjavo črpalke Litostroj kW 250 z elektromotorjem moči 52 kW, narejeno leta 1950, z novo Wilo Norm črpalko (v nadaljevanju Wilo črpalka) s suhim rotorjem NLG 200/315-37/4. Enostopenjska centrifugalna črpalka, ki je manjših dimenzij, vendar je novejša, porabi manj električne energije, ima močnejšo delovno moč in daljšo življenjsko dobo. Na odločitev glede izbire črpalke ima velik vpliv proizvodna dejavnost v podjetju, saj moramo vedeti, da za abrazivne in bazične tekočine ne moremo uporabljati črpalk, ki nimajo funkcije črpanja abrazivnih in bazičnih tekočin. Pri nekaterih centrifugalnih črpalkah imamo to prednost, da so hermetično zaprte in zato 100-odstotno neprepustne. Če ne bi imele te prednosti, bi se lahko zgodilo, da bi jo same tekočine prehitro uničile oziroma bi prišlo do propada črpalke. Zato se najprej pozanimamo o varnostno-tehničnih specifikacijah dotične črpalke.

Diplomsko delo bo obravnavalo prednosti nove in stare črpalke in povzelo, katera nam čez leto obratovanja prinaša večje prihranke. Računsko bo dokazano, da je bila smiselna menjava črpalk in nakup frekvenčnega pretvornika in merilnika pretoka in da so v podjetju tako lahko naredili optimizacijo v obratu Vparilnica. Za dolgo življenjsko dobo črpalke moramo to pravilno vzdrževati. V nadaljevanju bo opisano, kakšne vrste vzdrževanja poznamo in kako lahko vsakodnevno pripomoremo k dolgotrajnemu delovanju črpalk. Poizvedeno bo, katerega

vzdrževanja se v podjetju Silkem poslužujejo in katero bi bilo primerno za vnaprej, da proizvodnja ne bi doživela večjih izpadov zaradi vzdrževanja nedelujočih delovnih sredstev.

V optimizacijo bo vključeno, kako smo v podjetju Silkem poskrbeli za regulacijo pretoka vode med ventili, saj so v začetku morali posluževalci odpirati in zapirati ventile, ki so regulirali hladilno vodo, sedaj ima to funkcijo črpalka. Opisan bo obrat Vparilnica, kakšen je potek hladilne vode in vse, kar je povezano z obratom. V nadaljevanju bo poudarek na zaščitni varovalni opremi v proizvodnih podjetjih in katera je priporočena, da se je poslužujejo v podjetju Silkem.

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Podjetje stremi k vsakodnevni izboljšavi in avtomatizaciji procesa, zato diplomsko delo temelji na obratu Vparilnica. Za problem se mi je zdelo smiselno izbrati zamenjavo centrifugalne črpalke Litostroj kW 250 z novo Wilo črpalko ter priključitev in montažo frekvenčnega pretvornika in merilnika pretoka. Nato bo opisan postopek optimizacije obrata Vparilnica, kaj smo z optimizacijo pridobili, kakšne so dobre lastnosti optimizacije v obratu in s kakšnimi ovirami smo se srečevali, da smo lahko optimizacijo tudi uspešno zaključili. Problem, ki bo obravnavan, je dimenzioniranje nove črpalke na temelje stare črpalke, saj se dimenzije razlikujejo. Izbrati smo morali centrifugalno črpalko, ki ima pravo tlačno višino. Za optimizacijo podjetja smo izbrali merilnik pretoka in frekvenčni pretvornik, saj bomo tako lahko pravilno regulirali pretok hladilne vode v štirih vparilnikih, v celotnem obratu Vparilnica in kondenzatorju. Izračun ekonomike investicije menjave črpalke je moral biti smiseln in dokazati smo morali, kaj je podjetje z optimizacijo pridobilo.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Namen diplomskega dela je prikazati postopek zamenjave in proučiti strokovno literaturo glede centrifugalnih črpalk, dimenzioniranje merilnika pretoka in frekvenčnega pretvornika, dokazati ekonomičnost in cenovno ugodnost novejše črpalke, predstaviti različne vrste črpalk in prikazati smiselnosti menjave črpalke ter predstaviti pravilno uporabo zaščitne varovalne opreme in pred kakšnim delom nas varuje, če jo pravilno uporabljamo, in konstruirati osnovno ploščo, ki bo imela dolgotrajno življenjsko dobo v podjetju.

Cilj diplomskega dela je pravilna izbira in postavitev črpalke, saj se v obratu srečujemo z lugom, ki je abraziven in je visoke bazičnosti, zato vse črpalke ne pridejo v poštev. Cilji so prav

tako zmanjšati porabo električne energije na letni ravni, pravilna nastavitev tlačne višine na črpalki, ki ima možnost priključitve na merilnik pretoka in frekvenčni pretvornik, posluževalce v obratu informirati glede zaščitne opreme, ki pripomore k varnosti vsakodnevnega dela v proizvodni dejavnosti, in vzpostaviti pravo vzdrževanje v obratu.

TRDITVE/HIPOTEZE

Hipoteza 1

Dobljeni rezultati bodo dokazali smiselnost menjave stare črpalke z novo.

Hipoteza 2

Za novo črpalko je treba definirati nov sistem vzdrževanja.

Hipoteza 3

Z novo črpalko bo olajšano delo posluževalcem v obratu Vparilnica.

Hipoteza 4

Dodatna hipoteza – BTEC 2024 »Trajnost« – Menjava črpalke bo zmanjšala stroške električne energije na letni ravni in izboljšala življenjsko dobo črpalke.

1.3 Predpostavke in omejitve

O črpalkah najdemo kar nekaj literature, vendar je zelo malo napisanega glede centrifugalne črpalke, zato je bila literatura iskana iz tujih virov ali ugotovitve dodane na podlagi pogovora v podjetju Silkem. Nekaj literature sem črpala tudi pri samem podjetju, ki je črpalko proizvedlo. Omejitve, na katere sem naletela pri sami izdelavi diplomskega dela, so:

- kislinjenje – pravimo mu kemijsko čiščenje, saj tako odstranijo abrazivne snovi, ki so ostale v ceveh in vsaj malo preprečijo korozijo cevi. Takrat je omejen dostop do obrata Vparilnica zaradi nevarnih hlapov, ki se proizvedejo pri samem kislinjenju;
- zaupnost podatkov v podjetju – zaradi podatkov, ki morajo ostati v podjetju in niso dostopni za širšo množico, sem morala paziti, katere lahko uporabim pri svojem diplomskem delu;
- omejenost na prosto dostopno literaturo v podjetju;
- dolg časovni rok dobave črpalke.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

Pri diplomskem delu se ugotavlja, koliko se bo menjava črpalke poznala pri porabljeni električni energiji na letni ravni in ali je smiselna menjava z novo, saj je stara črpalka še zmeraj v pogonu, ter kako bosta postavitev merilnika pretoka in frekvenčnega pretvornika vplivali na porabo električne energije. Raziskovalne metode, ki so bile uporabljene pri pisanju diplomskega dela, so:

- kvantitativne raziskave – uporabljene so predvsem za ugotavljanje porabe električne energije, ko se primerja poraba med prejšnjim stanjem in stanjem po izpeljanem delu. Raziskovalna metoda vključuje merjenje in analizo številčnih podatkov;
- eksperimentalne raziskave – predvsem pri sami izbiri črpalke, pri tem, ali je smiselna menjava in kako bo ta vplivala na dolgotrajnost poslovanja v podjetju;
- metoda komparacije ali primerjalna metoda – izbirali smo med tujimi in slovenskimi viri. Zanimale so nas podrobnosti glede centrifugalnih črpalk.

2 OPIS PROBLEMA

2.1 Predstavitev podjetja Silkem, d. o. o.

Družba Silkem je s svojimi večletnimi izkušnjami proizvodnje metalurške glinice bila ustanovljena leta 1992 v Kidričevem. Odcepili so se od takratnega TGA, najprej sta bila zagnana osnovna proizvodna programa: sintetični zeoliti s silikati in specialne glinice. Proizvodnja sintetičnih zeolitov je omogočila hitro uveljavitev v proizvodnji pralnih sredstev. Nato so razvili proizvodnjo super čistega sintetičnega zeolita, kar je prineslo nove proizvode in prodajo plastičnih materialov. Leta 2011, ko se je končal postopek razvoja granuliranja in kalciniranja zeolitnih prahov, se je položaj družbe na tem trgu še okrepil, odprle so se tudi možnosti na drugih uporabnih področjih. Nato se je leta 2017 program granulatov razširil na sušene silikate z visoko nasipno težo, razvoj specialnih glinic pa so usmerili na področje uporabe v ognjevzdržnih materialih. Postali so pomemben dobavitelj visoko kalciniranih in fino mletih glinic. Leta 2003 je začela delovati prva linija za proizvodnjo tabularne glinice, proizvodne zmogljivosti na tem področju so se kar podvojile. Leta 2007 se je prodajni program za industrijo ognjevzdržnih proizvodov razširil s sintranjem špinelov. Z uporabo posebnih postopkov pri pripravi surovin in dodatni obdelavi končnih proizvodov je bil proizvodni program razširjen na kalcinirane in tabularne glinice posebnih lastnosti, kar omogoča njihovo uporabo tudi na drugih uporabnih področjih. Spremembe v skupini MAL, katere član je Silkem postal leta 2001.Lastniški delež v družbi Silkem Hungary je skupini Silkem omogočil širitev palete proizvodov iz programa specialnih glinic. Leta 2015 so proizvodne zmogljivosti in lasten razvoj omogočili zagon proizvodnega programa (Silkem, d. o. o., 2024a).

Tako kot vsako podjetje ima tudi Silkem svoje letne cilje:

- cilji na ekonomsko-poslovnem področju,
- cilji na energetskem področju,
- cilji na področju prodaje,
- cilji na področju nabave,
- cilji na proizvodnem področju,
- cilji na organizacijsko-kadrovskem področju,
- cilji na področju kakovosti in razvoja.



Slika 1: Logotip podjetja Silkem

Vir: (https://silkem.si/sl/)

2.2 Varnost pri delu

Nevarnosti in problemi, s katerimi se srečujemo v podjetju Silkem, in kako se jim lahko izognemo:

- nevarnosti pri delu (lug – kisline, pare, hrup, električni tok, mehanske poškodbe);
- pomembnost uporabe zaščitnih sredstev, odgovornost, ki iz tega izhaja, odnos do teh sredstev in sankcije v primeru neuporabe zahtevanih zaščitnih sredstev;
- navodila za varno delo in posluževanje;
- vzdrževanje reda in čistoče v delovnih prostorih.

V vparilnici se nahaja kislina natrijev lug, ki predstavlja veliko nevarnost, saj opeče že v hladnem stanju. Povzroči lahko hitro razkrajanje tkiva, bolečina ni takojšnja, umivanje s samo vodo ne pomaga, spirati moramo z borovo kislino, ki se nahaja v obratu na dostopnem mestu. Za delo v vparilnici so potrebna tudi zaščitna očala, saj nam lahko lug pride v oči, kar povzroči opeklino, lahko pa privede tudi do izgube vida. V obratu najdemo tudi druge kisline: žveplena, solna, dodecil benzen sulfonska. Nato imamo paro in vrelo vodo, ki povzročata opekline. Zato moramo obvezno uporabljati osebno varovalno opremo. V primeru opeklin nudimo prvo pomoč. Pri odpiranju in zapiranju ventilov je obvezna uporaba zaščitnih očal. Uporabljati jih moramo tudi pri vsem opravilih, pri katerih bi se znalo zgoditi, da se poškropimo s kislino ali z lugom, posebno pri tesnjenju prirobnic, črpalk in delu z ventili. Uporabljati moramo tudi zaščitne rokavice, kjer je možnost dotika z natrijevim lugom. Na delavce in vse, ki se nahajajo v obratu, preži hrup, kar lahko povzroči okvaro sluha, zato so predpisani obvezni antifoni (posebni zamaški za ušesa). V obratu moramo zaradi prisotnosti električne napetosti biti

pazljivi, saj je električni tok zelo nevaren in lahko povzroči smrtne poškodbe. Nekaj napotkov, da preprečimo udar električnega toka:

- ne dotikaj se električnih naprav, četudi so izolirane;
- električnih naprav ne popravljaj sam;
- okvare na električnih inštalacijah, za katere si usposobljen, takoj popravi;
- dostopi do elektroenergetskih postaj morajo biti vedno prehodni;
- če pride do poškodbe z električnim tokom, nudimo poškodovancu pravilno in takojšnjo pomoč – najprej izklopimo električno napetost, nudimo ustrezno prvo pomoč in pokličemo zdravniško pomoč.

Srečamo se lahko tudi z vsakodnevnimi nevarnostmi, kot so padci, zdrsi zaradi mokrih tal ali nepospravljenega delovnega okolja, zato vedno pazimo, da smo pri pospravljanju dosledni.

Nekaj zaščitne opreme, ki je za takšno vrsto proizvodnega obrata, kot je v Silkemu, najprimernejša, je prikazane na slikah 2 in 3 (Silkem, d. o. o., 2021a).



Slika 2: Zaščitna oprema

Vir: (https://hlapec.si/products/celada/)



Slika 3: Zaščitna oprema

Vir: (https://www.delovna-oblacila.si/)

2.3 Proizvodni program

Podjetje Silkem se ukvarja s proizvodnjo:

- zeolitov: že več kot 25 let aktivno razvijajo in proizvajajo zeolitne proizvode, z njimi sta tudi neposredno povezana nastanek in razvoj družbe. Najpomembnejši zeolit je 4A, ki je s svojimi posebnimi lastnostmi povzročil ekološko revolucijo, saj je uspešno nadomestil okolju škodljive snovi v detergentih. Zeoliti so uporabljeni v detergentih, PVC-stabilizatorjih, pri proizvodnji zavornih ploščic, čiščenju vod, v gradbeništvu, kmetijstvu, kot adsorbenti in molekularna sita, v polnilih pri proizvodnji barv, premazov papirja, za odstranjevanje neprijetnih vonjav v gospodinjstvu, npr. dodatek k peskom za stranišča malih živali;
- silikatov: natrijeva vodna stekla v tekoči obliki so silikatni material, raztopljen v alkalnih natrijevih lužinah. Imajo lastnosti stekla, hkrati pa so zaradi močne alkalnosti topni v vodi. Uporabljeni so v detergentih, keramiki, naftni industriji, cementu, pri obdelavi odpadkov in voda, za utrjevanje in stabiliziranje zemljišč, v vezivih, ognjevzdržnih kitih, ognjevzdržnih ploščah, livarski industriji, kemični industriji;
- granulatov, ki jih sestavljajo zeolitni korundi in premiksi, ki se uporabljajo pri proizvodnji detergentov, ter sušilni silikati DRYSIL.

V nadaljevanju so zapisani še nekateri proizvodi podjetja:

- aktivirani zeoliti – podjetje Silkem je razvilo program aktiviranih zeolitov pod blagovno znamko ASORBIO. Paleta proizvodov ASORBIO zajema več vrst aktiviranega zeolitnega prahu (ZAP) in aktivirane zeolitne granulate (ZAG). Uporabljajo se v poliuretanu, katalizatorjih, kemični industriji, za čiščenje plinov, kot desikanti, polimerni adsorbenti, za recikliranje plastike, čiščenje voda, v kozmetiki, barvah in premazih;
- kalcinirane glinice – so aluminijevi oksidi, pridobljeni s haluciniranjem metalurške glinice ali aluminijevega hidroksida. Proizvodni program zajema ognjevzdržne materiale in keramično industrijo;
- tabularne glinice – so aluminijevi oksidi, pridobljeni s sintranjem kalcinirane glinice. Nahajajo se v ognjevzdržnih materialih, keramiki, epoksi smoli, naftni industriji, livarski industriji;
- sintrani špineli – so kompoziti aluminijevega in magnezijevega oksida v različnih razmerjih (ognjevzdržni materiali);
- boemiti nastajajo s hidrotermalnim sintranjem aluminijevega hidroksida (ognjevzdržni materiali, keramika, katalizatorji, barve in premazi) (Silkem, d. o. o., 2024b).

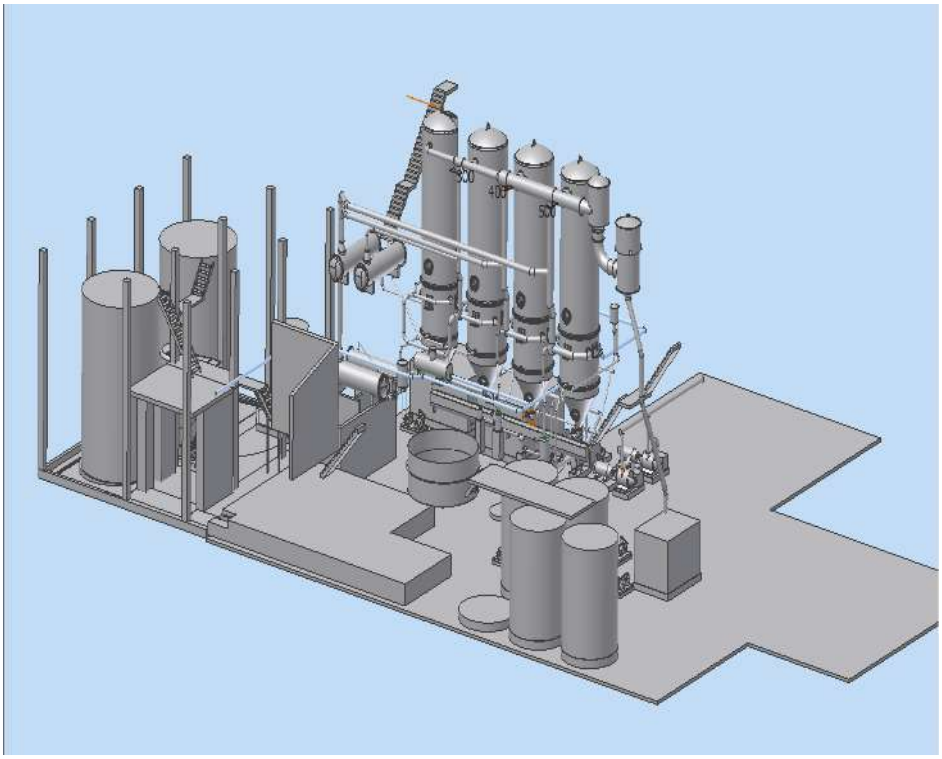
Tako kot vsako podjetje ima tudi Silkem dva standarda, s katerima se lahko pohvali. Zahteve standarda ISO 9001:2015 se osredotočajo predvsem na uspešnosti in učinkovitosti sistema vodenja kakovosti pri izpolnjevanju zahtev odjemalcev in pri tem ne zanemarjajo deležnikov, ki lahko vplivajo na sistem vode (SIQ, 2023a).

ISO 50001:2011 je standard upravljanja z energijo, ki podjetjem omogoča:

- zasnovati energetsko politiko;
- prepoznati značilna področja porabe energije in področja za povečanje energetske učinkovitosti ter tveganja in priložnosti z rabo energije;
- prepoznati in spremljati zakonodajne obveznosti in druge zahteve;
- postaviti energetske cilje in prioritetne akcije;
- zagotoviti vire, funkcije, odgovornost in pristojnost na področju upravljanja z energijo;

- vzpostaviti nadzor, pregled in oceno energetskih aktivnosti za doseganje energetskih ciljev in nenehno izboljševanje energetske učinkovitosti (SIQ, 2023b).

2.4 Opis procesa v oddelku Vparilnica



Slika 4: Oddelek Vparilnica

Vir: (Interno gradivo Silkem)

V obratu Vparilnica poteka vparevanje vode iz natrijevega luga (matične lužnice), pomeni zgoščevanje tega (NaOH) – večanje koncentracije. Matična lužnica je razredčen lug s koncentracijo ca. 65–80 g/l. Proces proizvodnje zeolita poteka v največji meri v »mokri« fazi, katere osnova je natrijev lug (NaOH). Lužina (NaOH) se za proces pripravi v določeni koncentraciji, nato se skozi proces razredči. Ko opravi svojo nalogo, jo razredčeno odfiltriramo na produkcijskih filtrih in jo pripravimo za ponovno koncentriranje (vparevanje). Proces vparevanja matične lužnice zajema:

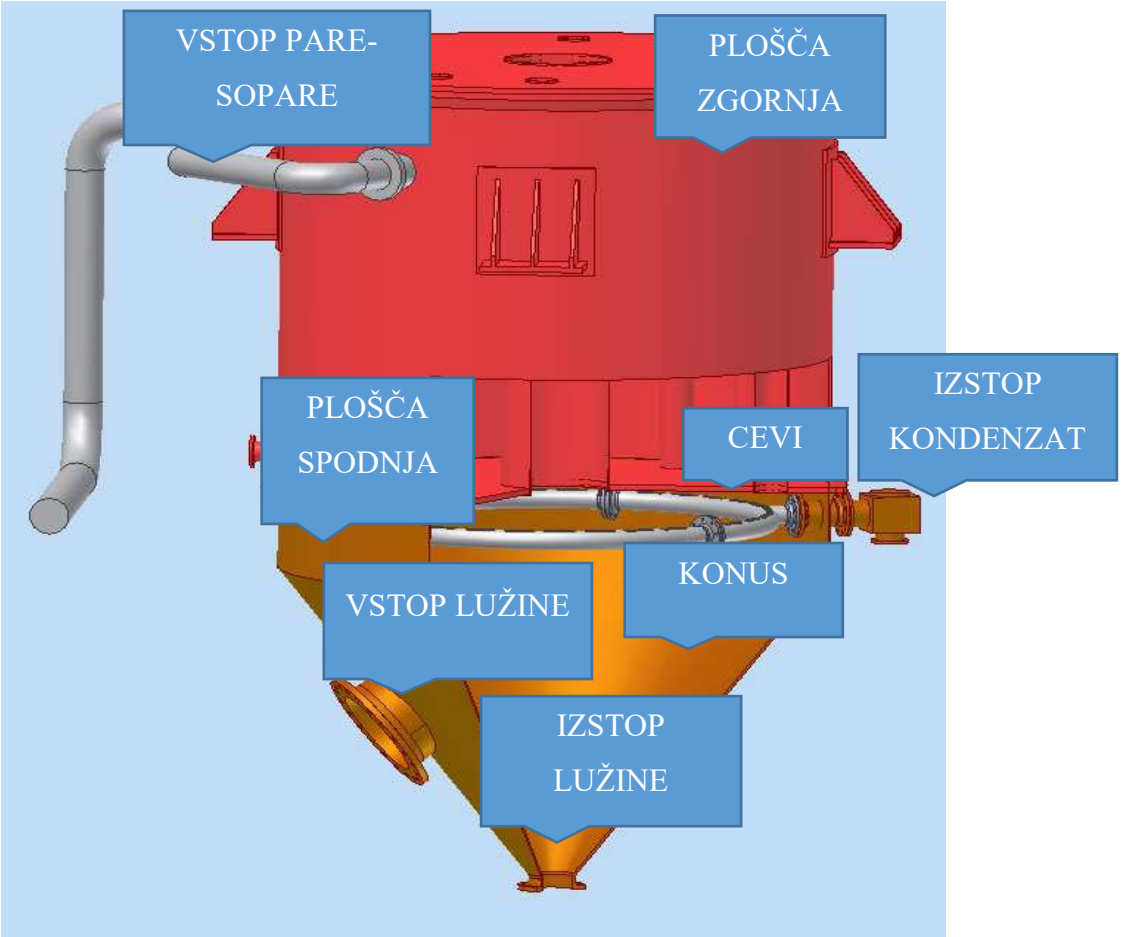
- pripravo lužnice za vparevanje,
- polnjenje sistema,

- vparevanje z vmesnimi kontrolami koncentracije,
- praznjenje sistema.

Polnjenje sistema je pomembno opisati, saj lahko tukaj predstavimo, za kaj točno se črpalka uporablja. Najprej imamo zagon sistema za hlajenje:

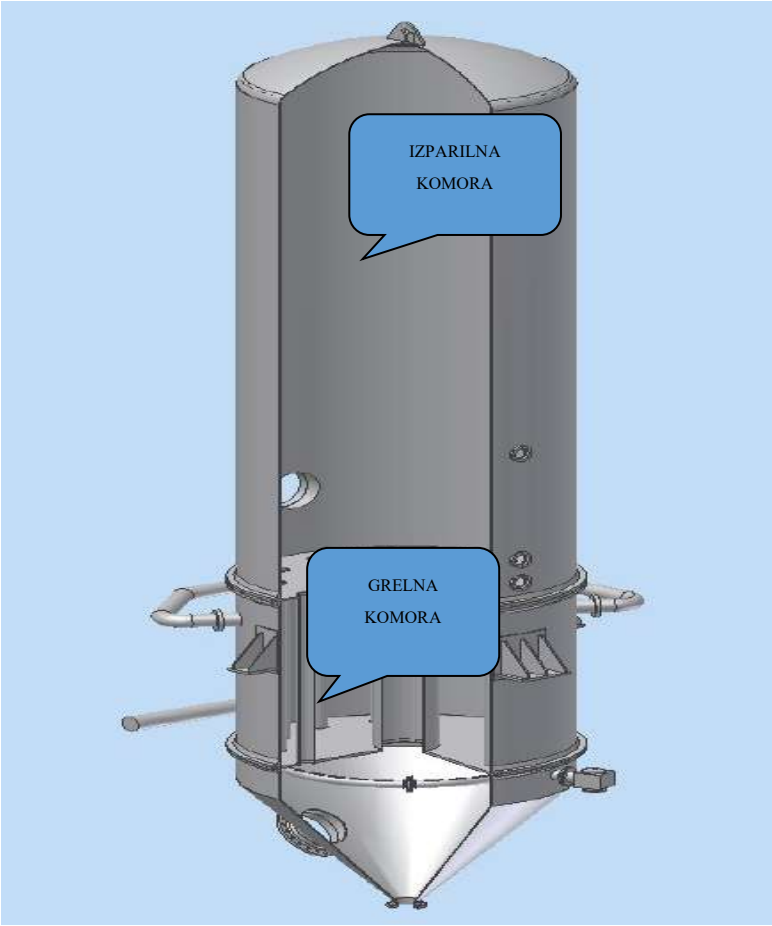
- vklopimo eno izmed črpalk, pretok uravnavamo z ventili.

Vklopimo črpalko pri rezervoarju za matično lužnico. Na ta način začnemo polniti vparilnika tri in štiri. Ko se dvigne nivo luga na nivojski posodi pri četrtem vparilniku do opazovalnega okenca, vklopimo črpalko za vmesni lug in začnemo preko predgrelcev druge stopnje polniti vparilnika. Ko se pokaže nivo pri opazovalnem okencu na nivojski posodi pri drugem vparilniku, je sistem poln. Vklopimo črpalke za krožni lug in gosti lug. Pretok skozi sistem uravnavamo z ventili.



Slika 5: Priloga k programu usposabljanja za delo na vparevanju luga

Vir: (Interno gradivo Silkem)



Slika 6: Presek

Vir: (Interno gradivo Silkem)

PARA – ČISTI KONDENZAT

Osnovna surovina za vparevanje je para. Para mora biti ustrezne kakovosti. Imeti mora tlak najmanj 4 bare in temperaturo 170 ^{0}C. Če para ne ustreza tem kriterijem, vparevanje ni mogoče, oziroma je zelo moteno, izkoristki pa slabi (visoka specifična poraba pare). Svežo paro vodimo v prvi vparilnik, kjer odda toploto lugu. Sistema lug-para sta ločena. Lug se pretaka po ceveh, para pa kroži okrog cevi. S tem ko para odda toploto lugu, se sama ohlaja in kondenzira. Mešanico para-kondenzat vodimo.

SOPARA – ALKALNI KONDENZAT

Odpareta voda iz luga nosi s seboj tudi lužne hlape. Takšna para ni čista, je alkalna in ni uporabna v kotlarni. Imenujemo jo sopara. Soparo, ki nastane pri vretju luga v prvem vparilniku, odvajamo iz njega preko cevovoda delno v drugi vparilnik za vparevanje luga v tem vparilniku, del te sopare pa vodimo v četrti predgrelec za segrevanje luga. Sopara se pri oddaji

toplote ohlaja in kondenzira. Nastaja mešanica alkalnega kondenzata in sopare. Vparilnik in predgorilnik sta vezana na zaporedno povezane kondenzne lonce, v katerih kondenzira še preostala sopara in nastaja alkalni kondenzat. Z batnimi črpalkami ustvarjamo potreben vakuum v grelnem delu drugega, tretjega in četrtega vparilnika in vakuum oziroma odvajanje sopare v prvem, drugem in tretjem vparilniku na izparilni strani. Soparo iz izparilnega dela četrtega vparilnika odvajamo preko kondenzatorja, v katerem soparo ohlajamo z vodo. Na ta način ustvarjamo vakuum v izparilnem delu in znižanje vrelišča luga. Za vzdrževanje stalnega vakuuma imamo na kondenzator priključeno še vakuum črpalko. Na enak način ustvarjamo vakuum tudi na četrtem vparilniku vparilnega sistema ESCHW, kjer lug dodatno vparevamo. Na kondenzator nimamo priključenega vakuuma od vakuum črpalk. Pri tem procesu se tudi uporablja omenjena črpalka.

VODA

Za ustvarjanje potrebnega vakuuma na kondenzatorjih pri sistemih SNGH in ESCHW uporabljamo vodo. Voda sopare ohlaja in kondenzira, sama pa se pri tem segreva, zato jo moramo ohlajati. Če je ne bi ohlajali, bi jo morali zavreči, saj v proizvodnem procesu nimamo porabnika za takšno vodo. Vodo ohlajamo na razpršilnem vodnem stolpu s prisilno cirkulacijo. Sistem je zaprt, to pa pomeni, da voda kroži, dopolnjujemo samo izgube vode zaradi izhlapevanja na hladilnem stolpu. Vodo črpamo iz bazena starega hladilnega stolpa preko ene izmed črpalk na vparilni sistem SNGH in ene izmed črpalk na kondenzator. Po prehodu skozi kondenzator pri SNGH se voda zbira v zahodnem štirikotnem rezervoarju, voda po hlajenju prosto odteka v bazen starega hladilnega stolpa. Vodo iz studenca na hladilni stolp črpamo z eno izmed treh črpalk. V nadaljevanju bo opisano, za kaj točno se bo uporabljala nova Wilo črpalka.

POSAMEZNI SKLOPI V VPARILNICI:

- rezervoar za matično lužnico in prizidek k vparilnici (rezervoar za kislinjenje);
- predgrelci – izmenjevalci toplote: matična lužnica, namenjena za vparevanje, se segreva v predgrelcih;
- v sistem so vezani štirje vparilniki in trije kondenzatorji. Režim pretoka skozi vparilnike in temperaturni ravnovesni režim sta predvsem odvisna od temperature vhodnega luga.

Ostale pomožne naprave v vparilnici:

- batne črpalke,
- črpalke za vmesni lug,
- vakuum črpalke.



Slika 7: Zunanji bazen

Vir: (Lastni vir)



Slika 8: Rezervoar mehke vode

Vir: (Lastni vir)



Slika 9: Kota 0 v obratu Vparilnica

Vir: (Lastni vir)



Slika 10: Kondenzat vode

Vir: (Lastni vir)

Po filtraciji suspenzije zeolita se filtrat zbira v rezervoarju za matično lužino. S črpalko ga črpamo na predgrelce. Na vrhu imamo 4 vparilnike, vparilniki so pod vakuumom –0,07 bara, tako da lug vre pri ca. 70 °C. Že delno vpareti lug vodimo v četrti vparilnik, ki je prav tako pod vakuumom –0,08 bara.

Pri tem je naš cilj pri optimizaciji in menjavi črpalke, da zmanjšamo tlake pri vseh

4 vparilnikih in omogočimo, da bi se sopara hitreje ohlajevala pri vseh vparilnikih. To pomeni, da bi v 4. vparilnik prišla z manjšimi tlaki in hladnejša voda, pri tem je vparevanje luga v vparilnem sistemu končano. Lug iz njega vodimo preko nivojske posode (ima enako funkcijo kot nivojska posoda) v rezervoar za gosti lug. Če je lug dovolj koncentriran, ga vodimo neposredno v proizvodnjo ali na skladiščenje v vzhodni rezervoar za gosti lug v prizidku vparilnice. Če ni dovolj koncentriran, ga vodimo nazaj v rezervoar za matično lužnico, od tam pa ponovno na vparevanje. Matična lužnica se s tem segreje in dekoncentrira, na ta način lahko po več ciklusih dobimo želeno koncentracijo luga, ki je ponovno primerna za sintezo zeolita.

2.5 Vzdrževanje in oblike vzdrževanja

Ko govorimo o brezhibnem delovanju v proizvodnji, moramo dati velik poudarek ravno na vzdrževanje naprav in strojev ter kako bomo uredili trenutni zastoj samega proizvodnega procesa in nedelovanje stroja, saj le tako lahko podjetje deluje brezhibno in brez nepotrebnih ustavitev. Vzdrževanje delimo na razne časovne intervale, pri tem pa se moramo pozanimati, kakšen interval je predpisal strokovni delavec za razne stroje in naprave. Med vzdrževanje sodijo razna mazanja sklopov, privitje vijakov, vsakodnevno čiščenje elementov, ki so nam dostopni. V nadaljevanju bodo opisane različne vrste vzdrževanja, ker pa je vrst vzdrževanja kar nekaj, so opisane in v ospredju samo tiste vrste vzdrževanj, ki so za podjetje Silkem najprimernejše.

2.5.1 Kurativno vzdrževanje

Kurativnemu vzdrževanju se v gospodarski panogi ne moremo izogniti, saj se vsakodnevno dogaja. Kurativno vzdrževanje odpravi posledice loma, zastojev itd., ne privede pa do loma v proizvodnji, zastoja strojev zaradi obrabe ali okvare na sistemu. Je najstarejša oblika vzdrževanja, imenujemo ga tudi klasična oblika vzdrževanja. Največkrat nastopi kot vzdrževanje po preventivnem vzdrževanju, saj nastopi, ko je napaka že prišla v sistem ali se je proizvodnja zaradi okvare že zaustavila. Lahko rečemo, da gre za intervencijski način vzdrževanja, katero napako je treba hitro prepoznati in odpraviti, da ne bi prišlo do daljšega zastoja na delovnem mestu. Torej, vračamo iz stanja v okvari v stanje dela. Vzroki za takšno vzdrževanje so lahko pomanjkanje časa za vzdrževanje pri stalnem delovanju sredstev,

neustrezno ovrednotenje nastanka okvar ali mišljenje za dolgotrajno delovanje delovnih sredstev, slabo načrtovanje vzdrževanja in pomanjkanje denarne zmožnosti v podjetju.

2.5.2 Preventivno vzdrževanje

Preventivno vzdrževanje je vseeno boljše kot kurativno vzdrževanje. Govorimo o vzdrževanju, ki nastopi pred kurativnim vzdrževanjem. Značilno zanj je, da dela uredimo, še preden pride do okvar ali zastoja, torej vsakodnevno vodimo vzdrževanje po planu dela, tako zmanjšujemo obrabo orodij, strojev in naprav. Tako kot je to vzdrževanje dobro za podjetje, je tudi slabo glede finančnega stanja, saj je drago, če pa pomislimo, koliko bi nas stalo popravilo določenih delov stroja, je za podjetje zagotovo ugodnejše. Lahko se zgodi, da se zaradi preventivnega vzdrževanja cena izdelkov zviša. Pri tem vzdrževanju moramo predvideti, katere naprave je smiselno vzdrževati, saj ne vzdržujemo vseh. Naslednja preventivna vzdrževalna dela so:

- **periodični pregledi** – nanaša se na planirano periodiko vzdrževanja, ki jo hkrati zapisujemo oz. vodimo tabele, obrazce. Gre predvsem za tekoča vzdrževanja delovnih sredstev, strojev, katerih vzdrževanje opravljamo vsakodnevno glede na stanje delovnih sredstev;
- **tera tehnološko vzdrževanje.**

  Ta pristop zahteva sodelovanje strokovnjakov za vzdrževanje, da so s svojim znanjem vključeni v vseh fazah življenjske dobe opreme ali naprav, to je od ideje za nabavo do odpisa. Osnovne naloge tera tehnologije so:

- iskanje ponudb,
- odločitev o izgradnji ali nabavi,
- izbira proizvajalca (dobavitelja),
- sklepanje kupoprodajne pogodbe,
- skladiščenje,
- montaža,
- zagon.

2.5.3 Vzdrževanje po stanju

Uvrščamo ga med preventivno vzdrževanje, pri katerem prihaja do odločitve med samim kontrolnim ali periodičnim pregledom strojne opreme in delovnih strojev v podjetju. Pri takem vzdrževanju predvidevamo že v naprej, kaj bomo v določenem obdobju morali zamenjati in kako dolgo bo ta menjava trajala, zato redno pregledujemo, kakšna je stopnja obrabe, iztrošenosti ali poškodb. S takšnim vzdrževanjem lahko ugotovimo stanje parametra, mejne vrednosti stanja, prepoznamo naravne obrabe, trošenje in porabe. Delovno sredstvo lahko nadzorujemo, ko ni v delovanju ali ko je v obratovanju.

2.5.4 TPM (Total Productive Maintenance)

To vzdrževanje še ni tako poznano, gre za novejši pristop vzdrževanja. Temelji na nenehnem iskanju izboljšav učinkovitosti proizvodnje, da bi proces lahko deloval brez napak, brez zastojev, brez zalog in brez nepotrebnih popravil. Pomaga izboljšati učinkovitost proizvodnje, zmogljivost izdelave, izboljšati kakovost, zmanjšati stroške vzdrževanja, zmanjšati število nesreč pri delu in odpravljati pomanjkljivosti med obratovanjem. Vzdrževanje opravljajo delavci sami. Delavce se usposobi oziroma pouči, kako je treba delati na delovnih strojih in kako je treba vzdrževati delovna sredstva. K temu lahko štejemo razna čiščenja in red na delovnem mestu. V podjetju Silkem večinoma pod tekoče vzdrževanje štejejo mazanje naprav in čiščenje. Za mazanje delovnih sredstev sta zaposlena 2 delavca. Njune naloge so, da vsakodnevno pregledata mazalna mesta na vsaki vrsti opreme in opravita preventivni pregled, vrste maziv prilagodita glede na proizvajalčev predpis o mazalnih sredstvih, skrbita za pravočasno dobavo in zamenljivost maziv in časovno razporedita intervale mazalnih sredstev.

2.5.5 Samovzdrževanje

Za samovzdrževanje lahko največ poskrbi delavec sam, saj z vsakodnevnim pregledovanjem delovanja stroja poskrbi za nemoteno delovanje. Območje stroja vsakodnevno čisti in skrbi za očiščeno območje, zamenjuje oziroma doliva tekočine, za katere je bil usposobljen, in dela z navodili, ki so mu bila predstavljena na samem začetku dela (Jemec, 2004).

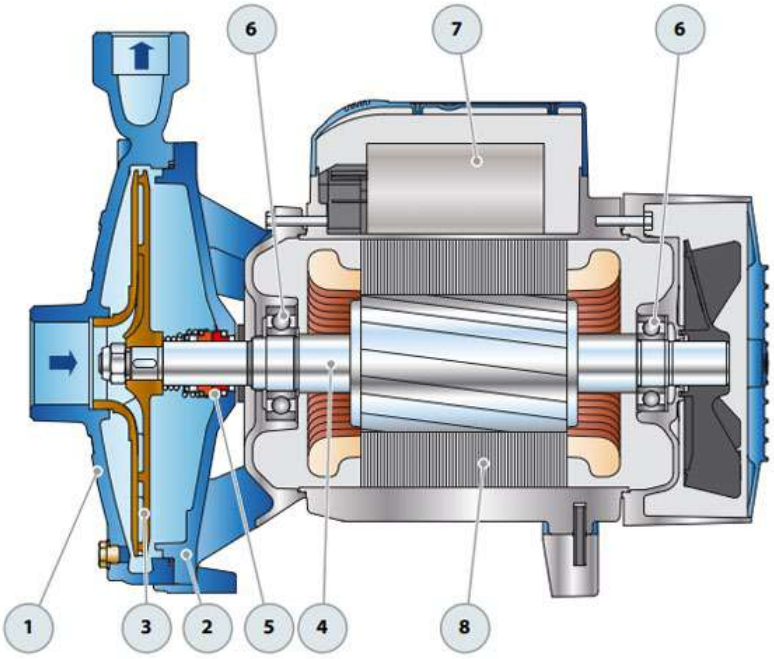
Vsako podjetje bi moralo slediti smernicam vzdrževanja, ki so za podjetje najprimernejše, in delati po teh načelih, saj le tako lahko poskrbijo za nemoteno delovanje v podjetju in večji dobiček, pomembno pa je tudi, da ne vlagajo denarja v vzdrževanja, ki niso smiselna, temveč poskrbijo za popravila in vzdrževanja, ki podjetju prinesejo dobiček in uspešno delovanje podjetja.

2.6 Opis in delovanje centrifugalne črpalke, frekvenčnega pretvornika in merilnika pretoka

V nadaljevanju sledi opis centrifugalne črpalke, kakšne so njene prednosti, kje se uporablja ter kakšne so njene specifične lastnosti, sledita tudi opisa frekvenčnega merilnika in merilnika pretoka.

2.6.1 Opis in delovanje centrifugalne črpalke

Črpalke so delovni stroji, ki nam pomagajo medij (tekočino ali plin) iz nižjega mesta prenesti na višje mesto. Za delovanje vodne črpalke moramo paziti, da je zadosti napolnjena z vodo, saj le tako lahko ustvari na vhodni strani podtlak, s katerim tekočino sesa, in na izhodni strani ustvari nadtlak, ki potisne tekočino naprej. Za različne naloge poznamo različne vrste črpalk, ki se med seboj razlikujejo po svojih specifikacijah. V nadaljevanju sledi opis centrifugalne črpalke in specifikacij, ki se nanašajo na centrifugalne črpalke. Za svoje delovanje uporabljajo rotodinamično načelo, ki poganja tekočino v enakomernem krogu naprej. Rotor v črpalki povzroči centrifugalno silo, ki ustvari potreben nadtlak. Tekočina na vhodni strani priteka k rotorju v smeri osi in nato spremeni smer in radialno odteka skozi kanale. Na izhodu je tlak precej višji, saj se mora v sami črpalki pospešiti in povzročiti tlak, da lahko tekočino prenese v drugo raven. Ko tekočina izstopi iz delovnega kolesa, se preusmeri ter pospeši v razširjajoči se difuzor, kjer se hitrost tekočine zmanjšuje in spreminja kinetično energijo v tlačno. To spreminjanje se konča v okovju, ki je za vodilnikom (Bratun, 2023).



Slika 11: Prerez centrifugalne črpalke z asinhronskim motorjem

Vir: (Kračun, Študija energijske učinkovitosti električnega pogona centrifugalne črpalke, 2021)

1	Ohišje črpalke	5	Mehansko tesnilo
2	Ohišje črpalke	6	Ležaji
3	Rotor črpalke	7	Kondenzator
4	Gred motorja	8	Električni motor

Slika 12: Sestavni deli centrifugalne črpalke

Vir: (Kračun, Študija energijske učinkovitosti električnega pogona centrifugalne črpalke, 2020)

Vrste centrifugalne črpalke

Centrifugalne črpalke so:

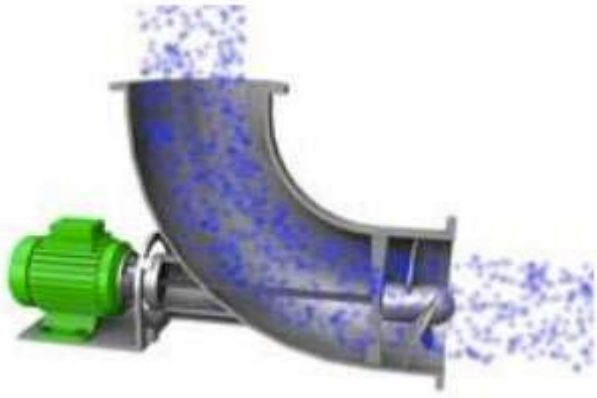
- radialna črpalka – gonilni medij izstopa pravokotno glede na rotor na osi;



Slika 13: Radialna črpalka

Vir: (https://www.directindustry.com/, 2017)

- aksialna črpalka – črpanje tekočine poteka vzporedno na os črpalke;



Slika 14: Aksialna črpalka

Vir: (https://www.industrystock.com/en)

- periferna črpalka – medij se posesa skozi sesalni nastavek, ki je doveden v kanal obročaste oblike, kjer se vrti rotor črpalke. Rdeče obarvano polje prikazuje porast tlaka tekočine;

- polaksialna črpalka – črpani medij izstopa poševno od osi črpalke iz rotorja.



Slika 15: Polaksialna črpalka

Vir: (https://www.hfm.tugraz.at/, 2017)

Pri menjavi nove črpalke je bil poudarek na dimenzioniranju črpalke, zato je bila poiskana literatura glede dimenzioniranja same črpalke.

Črpalke lahko dimenzioniramo glede na tlačno višino črpalke, pretok, hidravlično moč ter izkoristek črpalke ali izkoristek sklopa. Pravilno dimenzioniranje je pomembno zaradi pravilnega delovanja črpalke, tako tudi dosežemo manjše vzdrževalne stroške ter učinkovitejšo rabo energije. Tlačna višina je tlak, ki skrbi za pretok tekočine od točke A do točke B. Izkoristek črpalke je razmerje med hidravlično (izstopno) in mehansko (izstopno) močjo na gredi, katero dovaja elektromotor. Izkoristek sklopa določamo za postroj, ki ga sestavljajo frekvenčni pretvornik, centrifugalna črpalka in asinhronski motor, merilnik pretoka. Izkoristek sklopa izračunamo iz razmerja med izhodno hidravlično močjo črpalke in vhodno električno močjo.

$$H = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} \qquad (4.1)$$

$$Phi = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta č} \qquad (4.2)$$ Enačba za izračun hidravlične moči

$$\eta č = \frac{Phi}{Pm} \qquad (4.3)$$ Enačba za izračun izkoristka črpalke

$$\eta s = \frac{Phi}{Pel} \qquad (4.4)$$ Enačba za izračun sklopa po enačbi (Kračun, 2021b).

Kjer je:

H – tlačna višina (m),

Δp – tlačna razlika med sesalno in tlačno stranjo črpalke (bar),

ρ – specifična gostota medija (kg/m^3),

g – gravitacijski pospešek,

Phi – hidravlična moč črpalke,

Q – pretok medija skozi črpalko (m^3/h),,

ηč – izkoristek črpalke (ima vrednost med 0 in < 1),

Pm – mehanska moč gredi (W),

ηs – izkoristek sklopa (ima vrednost med 0 in < 1),

Pel – električna moč (W) (Kračun, 2020c).

Centrifugalne črpalke so dokaj zanesljive, čeprav so manj pokvarljive kot ostale črpalke. Tudi pri njih lahko pride do nekaterih okvar in obrab mehanskega tesnila, okvar ležaja, obrab ali poškodb rotorja, neusklajenosti gredi, zamašitve ali blokade, neustreznega mazanja. Poskrbeti moramo za preventivno redno vzdrževanje in spremljati analizo vibracij temperature ležajev, tesnil, nadzorovati pretok in tlak, hrup in temperaturo ohišja, redno preverjati privitje vijakov, vodovodna cev mora dobro tesniti, držati se moramo frekvence polnjenja ležajev, saj se le tako lahko izognemo pregretju. Nenavadni zvoki lahko kažejo na kavitacijo. Držati se moramo frekvence polnjenja ležajev, delovanje črpalk mora preverjati usposobljena oseba. Tako kot vse vrste črpalk imajo tudi centrifugalne črpalke svoje prednosti:

- dolgo življenjsko dobo,
- poceni vzdrževanje, saj ima črpalka zelo malo gibljivih delov,
- stalen pretok, tako da ne pride do nihanja pretoka.

Slabosti so naslednje:

- ni zmožna sesati tekočine, ki jo želimo prečrpavati,
- pojav kavitacije, ki se pojavi, ko je kapljevina izpostavljena hitrim spremembam tlaka, mehurčki se pojavijo na mestu, kjer je nizek tlak,
- zmogljivost črpalke je odvisna od tlaka, ki ga črpalka ustvari,

- ni primerna za prečrpavanje večfaznih tekočin,
- hitra obraba rotorja in spiralnega ohišja pri črpanju abrazivnih tekočin,
- ni primerna za prečrpavanje tekočin z visoko viskoznostjo (Empowering pumps & equipment, 2024).

2.6.2 Sodobni pogon z asinhronskim motorjem

Asinhronski motorji so dandanes najpogosteje uporabljeni električni motorji v industriji, poganjajo najrazličnejše delovne stroje kot tudi črpalke. Narejeni so s preprosto konstrukcijo, iz vzdržljivih materialov, so zelo zanesljivi in cenovno dostopni. Večinoma se uporabljajo v trifazni izvedbi, za majhne moči pa v enofazni izvedbi, njihova uporaba se je s frekvenčnimi pretvorniki in mehkimi zagoni samo še povečala in razširila v različne vrste pogonov. Nudijo izredno učinkovito in obsežno nastavljanje hitrosti vrtenja (Hvastja, 2022).

2.6.3 Opis frekvenčnega pretvornika in merilnika pretoka

V nadaljevanju sledi opis merilnika pretoka in frekvenčnega pretvornika, ki imata pri sami optimizaciji v obratu Vparilnica pomembno vlogo, saj črpalki omogočata regulacijo pretoka hladilne vode. Kadar ni v delovanju vakuumska črpalka in bo za zagon hladilne vode delovala samo centrifugalna črpalka, bomo merilniku pretoka in frekvenčnemu pretvorniku prilagodili pretok in tako preprečili, da bi v vparilniku prišlo do prevelikega odstotka sopare.

Frekvenčni pretvornik

Frekvenčni pretvorniki so naprave, ki pretvarjajo električno energijo ene frekvence v izmenično napetost druge frekvence, parametre lahko nastavljamo preko računalnika ali pa jih nastavimo ročno preko kontrolnega panela. Uporabljajo se lahko pri črpalkah, ventilatorjih, tekočih trakovih. Pri tem je možno drugačno ali enako število faz in različno fazno zaporedje. Najpogosteje se uporabljajo za krmiljenje vrtljajev izmeničnih trifaznih elektromotorjev. Po načinu delovanja lahko frekvenčne pretvornike razdelimo na tiste z vmesnim napetostnim oz. tokovnim regulatorjem in direktne pretvornike. Frekvenčni pretvornik sestoji iz usmernika, enosmernega tokokroga, razsmernika ter krmilnega dela. Usmerniški del pretvori vhodno

izmenično napetost v enosmerno napetost. Razsmernik s vklapljanjem elektronskih stikal oblikuje izhodno napetost spremenljive frekvence (Štravs, 2008).

Naloga krmilnega dela je, da upravlja razsmernik in zagotavlja konstantno hitrost vrtenja motorja ne glede na spreminjajoči se navor. To je najpogosteje izvedeno s tako imenovano pulzno širinsko modulacijo (angl. Pulse with modulation oziroma PWM) izhodne napetosti razsmernika, kjer s širino pulzov prilagajamo napetost sinusni obliki. Na ta način frekvenčni pretvornik zvezno spreminja izhodno napetost in frekvenco.

Za frekvenčni pretvornik smo se odločili, ker obremenitev ne bo konstanta, vendar jo bomo regulirali glede na potrebe, zato bomo nastavljali hitrost vrtenja. Izbrali in naročili smo ga pri podjetju RBT Technologies, ki je zastopnik za prodajo opreme za avtomatizacijo in digitalizacijo. Frekvenčni pretvornik smo izbrali glede na Wilo črpalko, katere nazivna moč je 37 kW, in tako smo izbrali frekvenčni pretvornik CFW 500, nazivne moči 37 kW.

Tabela 1: Specifični podatki frekvenčnega pretvornika

Specifični podatki frekvenčnega pretvornika	
Proizvajalec	RBT Technologies
Tip	FR-AF840-00770-60
Nazivna moč	37 kW
Nazivni tok	57 A
Napajalna napetost	3-fazna 380–550 VAC
Vhodna frekvenca	50 Hz
Izhodna frekvenca	od 0 Hz do 132 Hz
Izkoristek	0,96
Hlajenje	Samostojno hlajenje, ventilator

Vir: (https://rbt-technologies.si/, 2024)

Merilnik pretoka/tlaka

Izbrati smo še morali merilnik pretoka, s katerim bodo posluževalci v obratu regulirali pretok hladilne vode oz. koliko bo centrifugalna črpalka prečrpala. Izbrali smo merilnik pretoka Promag W10, 5WBB2F, DN250, saj lahko kontrolira pretoke do 37 kW. Ima tudi priključek na cev DN 250, saj je tudi cev za hladilno vodo, na katero smo ta merilnik pretoka pritrdili, takšnih dimenzij.



Slika 16: Merilnik pretoka

Vir: (Lasten vir)

Montažo merilnika pretoka na sesalni strani črpalke smo najprej dimenzionirali na cev, ki ni bila v obratovanju, in izmerili mero, koliko je moramo odrezati, da lahko pritrdimo merilnik pretoka. Ko smo dobili mero, smo na vsako stran cevi zavarili prirobnico DN250, da smo potem lahko na to montirali merilnik pretoka. Pri prirobnici smo potrebovali tudi prirobnično tesnilo DN200 273/220 mm. Vse skupaj smo pritrdili s šestrobnimi vijaki in maticami. Ker je šlo za delo na višini, smo potrebovali dvižni oder, katerega območje smo pravilno zavarovali in označili na samem delovnem območju. Merilnik pretoka smo nato samo še priklopili na električno omrežje. Pri tem delu smo morali biti previdni, saj smo rokovali pod električno napetostjo. To pomeni, da smo morali pravilno vezati merilnik, da ni prišlo do kratkega stika, kar bi lahko povzročilo dodatna dela na vzdrževanju. Pregledali smo še delovanje merilnika pretoka in ga nastavili na pravilne oziroma priporočene nastavitve.

3 MENJAVA ČRPALKE IN OPTIMIZACIJA PROCESA

Optimizacija procesa v obratu Vparilnica temelji na prejšnjem in sedanjem času. V podjetju smo želeli omejiti stroške električne energije na letni ravni in omejiti prevelike izpuste sopare v kondenzator, kar smo po tehtnem razmisleku dosegli z menjavo stare črpalke, ki ni imela frekvenčnega pretvornika in možnosti merilnika pretoka. Pri procesu koncentriranja natrijevega luga iz gostote ca. 65 g/l na 170 g/l se za ohlajanje ter kondenziranje sopare uporablja hladilna voda, katero črpa črpalka Litostroj 250 kW z elektromotorjem moči 52 kW za črpanje hladilne vode iz hladilnega bazena v sistem koncentriranja. Skrajna točka obratovanja črpalke je 20 mVS. Črpalka je bila proizvedena leta 1950, v preteklosti so v podjetju že naredili menjavo črpalke podjetja Amag, ki je črpala hladilno vodo iz vodnjaka na hladilni stolp, novo Wilo črpalko, ki se je obrestovala, kar je razvidno iz tabele 2.

Tabela 2: Ekonomski izračun zamenjave črpalk hladilnega sistema

Ekonomski izračun zamenjave črpalk hladilnega sistema Vparilnice		
Ustrezna črpalka za hladilno vodo za sistem Sangerhausen	**WILO NLG 250/315-37/4**	
Netto nabavna vrednost črpalke za sistem	**10.179,59 €**	
Tlačna višina na obratovalni točki	17,6	m
Volumski pretok na obratovalni točki	509	m3/h
Poraba električne energije v obratovalni točki	35,2	kW
Trenutna poraba električne energije	54,73	kW
Prihranek energije z zamenjavo črpalk	19,53	kW
Ustrezna črpalka za hladilno vodo za hladilni stolp	**WILO NLG 200/315-37/4**	
Netto nabavna vrednost črpalke za hladilni stolp	**8.211,19 €**	
Tlačna višina na obratovalni točki	15,6	m
Volumski pretok na obratovalni točki	500	m3/h
Poraba električne energije v obratovalni točki	28,5	kW
Trenutna poraba električne energije	85,91	kW
Prihranek energije z zamenjavo črpalk	57,41	kW
Skupen prihranek energije z zamenjavo črpalk	76,94	kW
Cena električne energije	0,0557 €	/kWh
Vrednost prihranka na obratovalno uro	4,29 €	/h
Število obratovalnih ur letno (povprečje 2010-2013)	4600	
Prihranek	**19.714,21 €**	/leto
Razčlemba stroškov investicije		
Netto nabavna vrednost črpalke za sistem	10.179,59 €	
Netto nabavna vrednost črpalke za hladilni stolp	8.211,19 €	

Vir: (Sagadin, 2014)

Problem že montirane Litostroj črpalke je v tem, da nima možnosti preklopa na merilnik pretoka in frekvenčni pretvornik. Zato se je podjetje odločilo, da bo to črpalko zamenjalo z novo Norm NLG 200/315-37/4 s suhim rotorjem, proizvajalca Wilo Adriatic, d. o. o.. Ta ima možnost priključitve na merilnik in frekvenčni pretvornik, saj bodo s tem lahko regulirali pretok hladilne vode v kondenzator in tako preprečili prevelike izgube, kar se bo poznalo na porabljeni električni energiji. S tem bodo poskrbeli tudi za manj onesnaženo okolje, kar je velik poudarek v današnji industriji. Pri tem bomo uporabili za zagon Wilo črpalke vakuum črpalko proizvajalca ATB Sever.

To pomeni, da takšna črpalka na dan porabi 30 kW x 24 h = 720 kWh.



Slika 17: Črpalka proizvajalca ATB Sever tip ZK 225 M6

Vir: (Lastni vir)



Slika 18: Črpalka Litostroj 250 kW

Vir: (Lastni vir)

3.1 OPIS STANJA PRED IN PO OPTIMIZACIJI

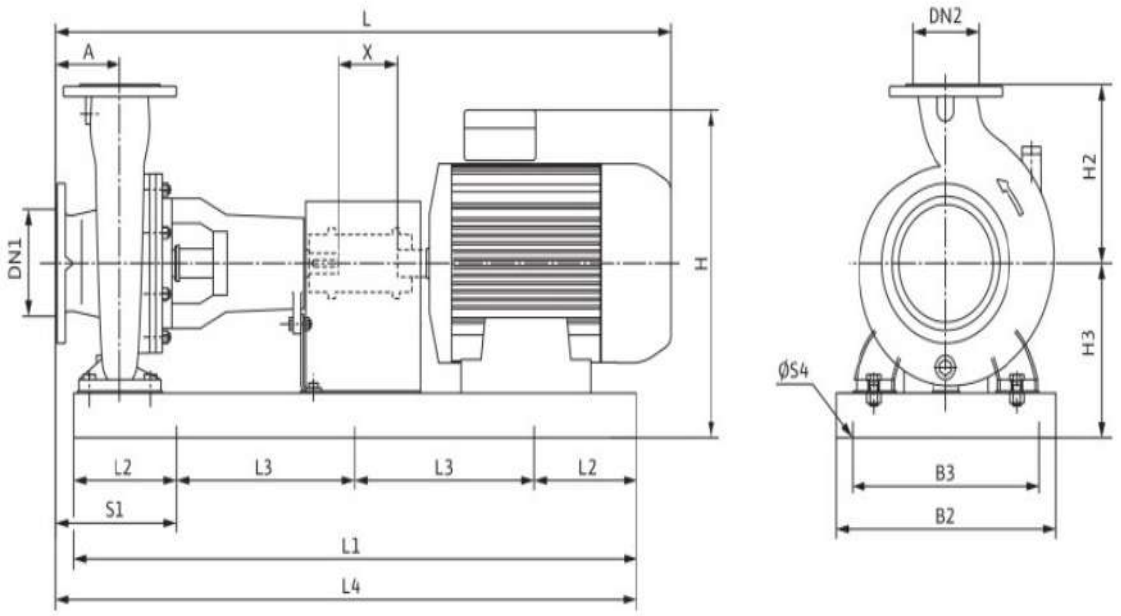
Za hlajenje in kondenziranje vode so hladilno vodo črpali iz bazena, ki je bil zunaj obrata vparilnice, s črpalko Litostroj 250 kW z elektromotorjem moči 52 kW. Črpalka je bila proizvedena leta 1950. Ob pregledu stanja je bil izmerjen električni tok, ki ga je porabljala črpalka, 79 A, kar ob trifaznem elektromotorju ter 400 V nazivni napetosti v sistem pomeni ca. 54,7 kW. Črpalka je prečrpavala vodo iz bazena, vakuum črpalka pa je nato prečrpavala vodo do kondenzatov, ki so na višinski razliki 18 mVS. Vodo iz bazena bomo črpali z novo Wilo Norm črpalko 37 kW, ki prečrpava vodo iz bazena s pomočjo vakuum črpalke do kondenzata. Za začetek smo vakuum črpalki izmerili električni tok, slednji je bil 46 A, kar ob trifaznem elektromotorju ter 400 V nazivni napetosti v sistem pomeni 30 kW, pri tem lahko tlak pri črpalki sami reguliramo s pomočjo merilnika pretoka in frekvenčnega pretvornika. Kadar vakuum črpalka ne bo delovala, lahko povečamo nastavitev pretvornika in merilnika in tako omogočimo prečrpavanje vode do kondenzata. S tem bomo prihranili na električni energiji in preprečili, da bi v štirih vparilnikih nastajala prevelika količina sopare.

Tabela 3: Podatki centrifugalne črpalke Wilo NORM NLG 200/315-37/4

OBRATOVALNI PODATKI	
Transportni medij	Voda 100 %
Temperatura medija	20,00 °C
Pretok	500,00 m3/h
Tlačna višina	20,00 m
Najnižja temperatura medija	–20
Najvišja temperatura medija	120°C
Najnižja temperatura okolice	–15
Najvišja temperatura okolice	40 °C
Največji obratovalni tlak	16 bar
Minimalni indeks učinkovitosti (MEI)	≥ 0,4
PODATKI O MOTORJU	
Razred energijske učinkovitosti motorja	IE3
Omrežni priključek	3~400 V/50 Hz
Toleranca napetosti	–0,1
Nazivna moč	37 kW
Nazivno število vrtljajev	1485 1/min
Nazivni tok	78,4 A
Faktor moči	0,81
Stopnja učinkovitosti motorja ηm	50 % : 0,0 %
Stopnja učinkovitosti motorja ηm	75 % : 0,0 %
Stopnja učinkovitosti motorja ηm	100 % : 0,0 %
Razred izolacije	F

Zaščita motorja	Tipalo PTC integrirano
MATERIAL	
Ohišje črpalke	EN-GJS-500-7
Tekač	5.1301/EN-GJL-250
Gred	14.028
Tesnilo gredi	AQ1EGG
VGRADNE MERE	
Sesalni priključek	DN 250, PN 16
Priključek cevi na tlačni strani	DN 200, PN 16

Vir: (Podjetje Wilo, 2024)



Priključek z distančnikom

Sesalna stran	DN 250, PN 16
Tlačna stran	DN 200, PN 16

Dimenzije mm

Ime	Podatek	Ime	Podatek	Ime	Podatek	Ime	Podatek
A	180	H	717	S1	370		
A1	14	H2	450	S4	29		
A2	180	H3	438	X	180		
B2	730	L	1804				
B3	670	L1	1840				
DN1	DN 250, PN 16	L2	320				
DN2	DN 200, PN 16	L4	1890				

Slika 19: Mere centrifugalne črpalke Wilo

Vir: (Podjetje Wilo, 2024)

Glede na pregled obstoječega stanja smo naredili stroškovne porazdelitve obratovanja vparilnega sistema in pripravili osnovne podatke za določitev obratovalnih točk črpališč, ki jih bo treba upoštevati za določitev nove črpalke. Glede na ekonomski izračun lahko predvidimo, ali je smiselna menjava črpalke. V izračun smo zajeli ceno črpalke, prihranek energije z menjavo črpalke na letni ravni, ceno električne energije in število obratovalnih ur letno – podatki glede na leto 2023.

3.1.1 Izračun za dimenzioniranje črpalke

Po enačbah, ki so bile opredeljene v diplomskem delu na strani 33 in strani 34 smo izračunali hidravlično moč črpalke:

pretok (Q) : 500 (m^3/h).

Potrebna črpalna višina je označena s črko H. Črpalka deluje na absolutnem tlaku ca. 0,3 bara, ki je na višini 18 m, če odštejemo razliko tlakov ter hidrostatično višino, dobimo potrebno višino ca. 11 m. m/s^2

Izračun hidravlične moči črpalke:

P= 1000 kg/m^3 x 9,81 m/s^2 x 0,1389 m^3/s x 11 m

P = 14988,699 W

Hidravlična moč črpalke je 15 kW.

Izračun izkoristka črpalke:

$$\eta = \frac{\text{Phid}}{\text{Pelektr}} \times 100\ \%$$

$$\eta = \frac{15\text{kW}}{28{,}5\text{kW}} = 0{,}5263$$

Izkoristek črpalke je torej približno 0,5263 ali 52,63-%.

3.1.2 Izračun tedenskega prihranka električne energije z menjavo nove centrifugalne črpalke

Najprej smo izračunali tedenski prihranek, saj smo nato lahko dobili mesečni in nato letni prihranek.

Enačba za izračun električne energije na porabljeno enoto:

$E = P \times t/1000.$

Izračun za črpalko Litostroj 250 kW, kateri smo izmerili električni tok:

Izmerjen električen tok, ki ga je porabljala črpalka. Slednji je bil 79 A, kar ob trifaznem elektromotorju ter 400 V nazivni napetosti v sistemu pomeni ca. 54,7 kW.

$$54{,}7\ \text{kW} \times 168\ h\ =\ 9189{,}6\ \text{kWh/teden}$$

Izračun za črpalko WILO NLG 200/315-37/4

$$28{,}5\ \text{kW} \times 168\ \text{h}\ =\ 4788\ \text{kWh/teden}$$

Izračun prihranka na električni energiji – ker črpalka ATB Sever, tip črpalke ZK 225 M6, ne bo neprestano v obratovanju, smo naredili preračun za črpalko Wilo NLG in črpalko Litostroj 250 kW.

$$9189{,}6\ -\ 4788\ =\ 4401{,}6\ \text{kWh/teden}$$

Izračunano je, da se s črpalko WILO NLG prihrani 4401,6 kWh tedensko.

Za začetek smo vakuum ATB Sever črpalki izmerili električni tok. Slednji je bil 46 A, kar ob trifaznem elektromotorju ter 400 V nazivni napetosti v sistem pomeni 30 kW.

To pomeni, da takšna črpalka na dan porabi:

$$30\ \text{kW} \times 24\ \text{h}\ =\ 720\ \text{kWh}.$$

Nato nas je zanimalo, koliko bi poraba električne energije znašala za črpalko Wilo na letni ravni.

Čas obratovanja črpalke:

$$\text{t}\ =\ 365\ \text{dni} \times 24\ \text{h}\ =\ 8760\ \text{h}$$

Poraba električne energije v želeni točki:

Pel, primer = 28,5 kW

Poraba električne energije:

$$\text{Wel. primer}\ =\ \text{Pel} \times \text{t}\ =\ 28{,}5\ \text{kW} \times 8760\ \text{h}\ =\ 249.660\ \text{kWh/leto}$$

Črpalka je v delovanju 24 ur na dan vse dni v letu – ker vakuum črpalka ne bo vedno v pogonu, smo za izračun vzeli samo Wilo NLG črpalko.

Tabela 4: Specifikacije Vparilnice

Toplotne bilance hladilnega sistema Vparilnice		
Temperatura hladilne vode na izstopu	47	°C
Želena temperatura hladilne vode na vstopu	27	°C
Specifična toplotna kapacitivnost vode [40 °C]	4,178	kJ/kgK
Gostota vode [40 °C]	992	kg/m^3
Absolutni tlak v sistemu izliva hladilne vode	0,35	atm
Toplotna moč hladilnega sistema	11.512,70	kW
Obstoječa črpalka hladilne vode na hladilni sistem		
Tlačna višina obratovalne točke	17	mVs
Volumski pretok obratovalne točke	500	m^3/h
Elektromotor nazivne moči	52	kW
Napetost	400	V
Izmerjeni tok električne energije	79	A
Obremenitev na motorju	54,73	kW
Določitev črpalke hladilne vode v sistem koncentriranja		
Višina izliva hladilne vode nad koto 0,0	18	m
Volumski pretok hladilne vode	500	m^3/h
Tlačne izgube v sistemu	2	m
Potreben nadtlak na šobi za razprševanje	5	m
Tlačna višina na črpalki	20	m

Vir: (Podjetje Silkem, 2021)

Iz tabele 4 izhaja, da mora imeti črpalka za črpanje hladilne vode v sistem koncentriranja tlačno višino 18 m ter volumski pretok 500 m^3/h. Na podlagi teh parametrov se je podjetje odločilo,

da za menjavo uporabijo črpalko proizvajalca Wilo, in sicer tipa NLG 200/315-37/4. Hkrati bi ob zamenjavi črpalk izvedli tudi regulacijo črpalke za črpanje hladilne vode v sistem koncentriranja tako, da bi tlačni pretvornik podajal informacijo o pretoku hladilne vode neposredno na frekvenčni pretvornik. Slednji bi z regulacijo pretoka pripomogel, da se bi hladilna voda hitreje ohlajala in ne bi prišlo do previsoke sopare in pritiska v kondenzat in vparilnike.

Tabela 5: Ekonomski izračun zamenjave črpalk hladilnega sistema Vparilnice

Ekonomski izračun zamenjave črpalk hladilnega sistema Vparilnice		
Ustrezna črpalka	WILO NLG 200/315-37/4	
Neto nabavna vrednost	15.441,99 €	
Tlačna višina na obratovalni točki	20.00	m
Volumski pretok na obratovalni točki	500	m^3/h
Poraba električne energije v obratovalni točki	36,33	kW
Trenutna poraba električne energije	54,73	kW
Prihranek energije z zamenjavo črpalke	18,40	kW

Vir: (Lastni vir)

Tabela 6: Izračun električne energije

Cena električne energije	0,087 €	kW/h
Vrednost prihranka na obratovalno uro	1,60 €	/h
Število obratovalnih ur letno	5200	/h
Prihranek	8.320,00 €	/leto

Vir: (Lastni Vir)

Iz tabele 6 je razvidno, da bi bila smiselna menjave črpalke, saj bi bila vrednost prihranka na obratovalno uro 1,60 €. Na letni ravni bi doprineslo 8.320,00 € prihranka glede električne energije.

Tabela 7: Razčlemba stroškov investicije

Razčlemba stroškov investicije		
Neto nabavna vrednost črpalke	15.441,99 €	
Demontaža obstoječe črpalke, predelava priključkov ter montaža novih črpalk	1.500,00 €	
Merilnik pretoka	4.300,02 €	
Frekvenčni pretvornik	3.493,84 €	
Skupaj cena	24.735,83 €	
Doba vračanja investicije	4,55	leta

Vir: (Lastni vir)

Izračun ekonomike investicije pokaže smiselnost investiranja v zamenjavo črpalke s sodobnejšo ter z energetsko varčnejšo. V izračunu ni upoštevan efekt zmanjšanja vzdrževanja črpalk (tako stroškovno kot tudi časovno), katere v obstoječem stanju porabijo kar precej omenjenih resursov. Menimo, da bi se obrestovalo v 4 letih in 5 mesecih, smiselno bi bilo že zato, ker imajo centrifugalna črpalka, frekvenčni pretvornik in merilnik tlaka dolgo življenjsko dobo.

3.2 Terminski plan

Vse se je začelo s pridobivanjem ponudbe od ustreznega dobavitelja za dobavo črpalke. Po posvetu z vodjo smo kontaktirali podjetje Wilo, saj je podjetje Silkem že sodelovalo z njimi. Ker je dobavni rok črpalke kar precej dolg, saj se čaka približno 3 mesece, se je tudi delo diplomskega dela podaljšalo. Najprej smo proučili črpalko in pregledali prostor za namestitev črpalke. Ugotovili smo, da tlačni priključek na črpalki ne paše na tlačno stran cevi, ki skrbi za hladilno vodo, zato smo potrebovali reducir za priključitev črpalke. Ker reducir iz mere Φ 200 na Φ 250 ne obstaja, smo izbrali reducir mere Φ 267, ki smo ga nato prilagajali na mero dimenzije Φ 250. Najprej smo demontirali staro črpalko.

Tabela 8: Terminski plan

Št.	Aktivnost	Začetek	Trajanje (dni)	Konec
1	Iskanje ponudb	10. 5. 2024	2	12. 5. 2024
2	Kontaktiranje dobaviteljev	12. 5. 2024	0	12. 5. 2024
3	Pridobivanje ponudb	12. 5. 2024	2	14. 5. 2024
4	Iskanje najboljšega dobavitelja glede na dano ponudbo	14. 5. 2024	0	14. 5. 2024
5	Čakanje na črpalko in merilna orodja	14. 5. 2024	31	14. 6. 2024
6	Skladiščenje in dobava merilnika pretoka in frekvenčnega pretvornika	20. 6. 2024	5	25. 6. 2024
7	Skladiščenje in dobava centrifugalne Wilo črpalke	9. 5. 2024	95	9. 8. 2024
8	Demontaža stare črpalke	20. 6. 2024	5	25. 6. 2024
9	Montaža merilnika pretoka in frekvenčnega pretvornika	20. 6. 2024	5	25. 6. 2024
10	Montaža centrifugalne Wilo črpalke	10. 8. 2024	2	12. 8. 2024

Vir: (Lastni vir)

3.3 Predvideni resursi, orodja in oprema

Pri demontaži in montaži predvsem pa optimizaciji v obratu Vparilnica smo morali paziti na varnost vseh zaposlenih, ki so bili takrat v bližini obrata Vparilnica. Predvideli smo, da bomo za optimizacijo potrebovali dvižno dvigalo za delo na višini, ročno orodje, kot so izvijači, kladivo, kotno brusilko z zarezno ploščo, vijake za pritrditev črpalke, merilnik pretoka in frekvenčni pretvornik. Pomembno je bilo predvideti zaščito delovnega območja s pravilno razsvetljavo in odstranitvijo motečih elementov na območju montaže črpalke.

3.4 Demontaža stare črpalke

Najprej smo naredili kislinjenje vseh cevi, da ne bi prišlo do razlitja abrazivne tekočine, saj bi s tem tvegali poškodbo delovne površine ali delavcev, ki so črpalko Litostroj 250 kW demontirali. Imeli smo srečo, saj črpalka ni več delovala, tako smo lahko poskrbeli za varno odstranitev. Motor smo odstranili z mostnim dvigalom tako, da smo ga pritrdili s kavljem. Nato smo isto naredili tudi s črpalko. Črpalko smo nato peljali na odlagalno mesto in tako preprečili, da bi kakšna abrazivna snov onesnaževala proizvodnjo oziroma okolje. Ko smo imeli prostor demontaže črpalke čist, smo lahko naredili temelje za osnovno ploščo, ki smo jo konstruirali za črpalko Wilo NLG 200. Ko smo imeli vse montirano, smo črpalko še samo priključili na električno omrežje in jo povezali s frekvenčnim pretvornikom in merilnikom pretoka.



Slika 20: Črpalka pred demontažo

Vir: (Lastni vir)



Slika 21: Črpalka pred demontažo

Vir: (Lastni vir)



Slika 22: Pozicija menjave črpalk

Vir: (Lastni vir)

3.5 Izvedba menjave z novo centrifugalno črpalko

Pri vsaki menjavi črpalke je potreben dober pregled nove črpalke. Poučiti se je treba glede dokumentacije, ki je prispela od dobavitelja. Ta mora vsebovati splošni opis, sliko krmilnih vezij, navodila glede varnosti in zaščitne opreme pri rokovanju s črpalko in predvideti, na kaj je treba biti pozoren pri sami demontaži. Opraviti moramo dober pregled tehnološke risbe in sestavne risbe črpalke, da ne pride pri samem delu do nepravilnosti pri zagonu oziroma pri upravljanju s črpalko. Proučiti in načrtovati moramo območje montaže cevi, na katere se bo črpalka montirala, jih posebej pregledati, očistiti morebitnih tekočin, to so lahko odpadne vode in kemikalije, s tem preprečimo poškodbe delavca, ki bo črpalko montiral. Zato smo najprej pregledali cevi, jih očistili morebitnih kemikalij, ki bi se lahko nahajale v ceveh, ki služijo za ohlajanje hladilne vode. Območje črpalke so najprej zaščitili, ustrezno označili, da so delavci v obratu vedeli, da se izvajajo vzdrževalna dela, in tako preprečili morebitne posege v delovno območje montaže. Delovno območje smo pobrisali, da se na tleh ne bi nahajale tekočine, olja ali maziva, in tako preprečili padce in zdrse. Problem prostora demontaže smo uredili s pravilno osvetlitvijo. Za takšno delo smo za čas montaže uredili razsvetljavo z odprtimi vrati v obrat in delovnimi lučmi, ki so poskrbele za pravilno delovno svetlobo. Treba je bilo paziti tudi glede temeljev, kjer bo postavljena črpalka, in poskrbeti za evakuacijske poti, da so prosto dostopne.

3.6 Izdelava v osnovne plošče v programu CAD za črpalko Wilo NLG 200/315-37/4

Osnovna plošča, ki je bila kupljena v kompletu z Wilo črpalko NLG 200/315-37/4, ni bila primerna za pritrditev na temelje, zato je bilo treba konstruirati takšno, ki bo primerna za montažo na obstoječe temelje. Najprej smo izbrali material, ki je moral biti odporen na abrazivne snovi, to pomeni, da bo lahko dlje časa zdržal v proizvodnji. Izbrali smo nerjavečo pločevino standard 1.4301, ki se lahko uporablja za večje obremenitve in zagotavlja večjo trdnost, pločevina je tudi odporna na korozijo. Na izbiro smo imeli dve možnosti debeline, izbrali smo ploščo dimenzije 1000 mm × 2000 mm, debeline 12 mm. Cena za takšno ploščo je bila 518,05 €. Ploščo smo nato morali odrezati na pravilno velikost. Pri tem smo sodelovali z zunanjimi podjetji, saj v podjetju Silkem nimajo možnosti obdelave pločevin. S konstrukcijo smo ugotovili, da bi osnovna plošča zadostovala dimenzijam 620 mm × 1820 mm ×x 8 mm.

Nerjaveča pločevina	6,00 mm	620 × 1820	388,56 €	×	1	kos	388,56 €	V voziček
Nerjaveča pločevina	8,00 mm	620 × 1820	518,05 €	×	1	kos	518,05 €	V voziček

Slika 23: Dimenzije pločevine

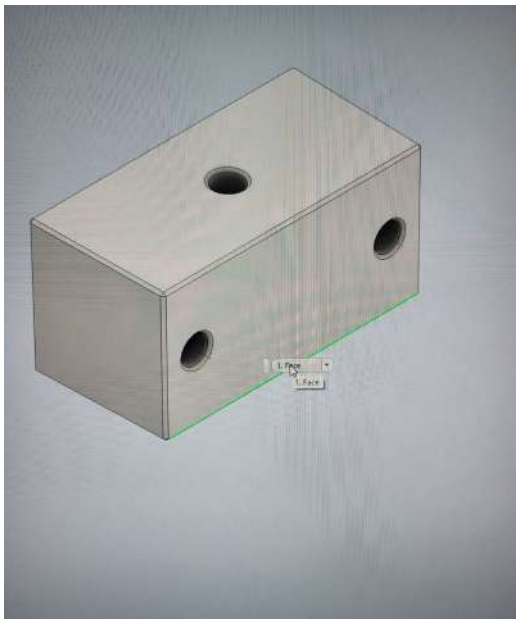
Vir: (https://www.plocevine.si/#sirina=1000&dolzina=2000)



Slika 24: Osnovna plošča

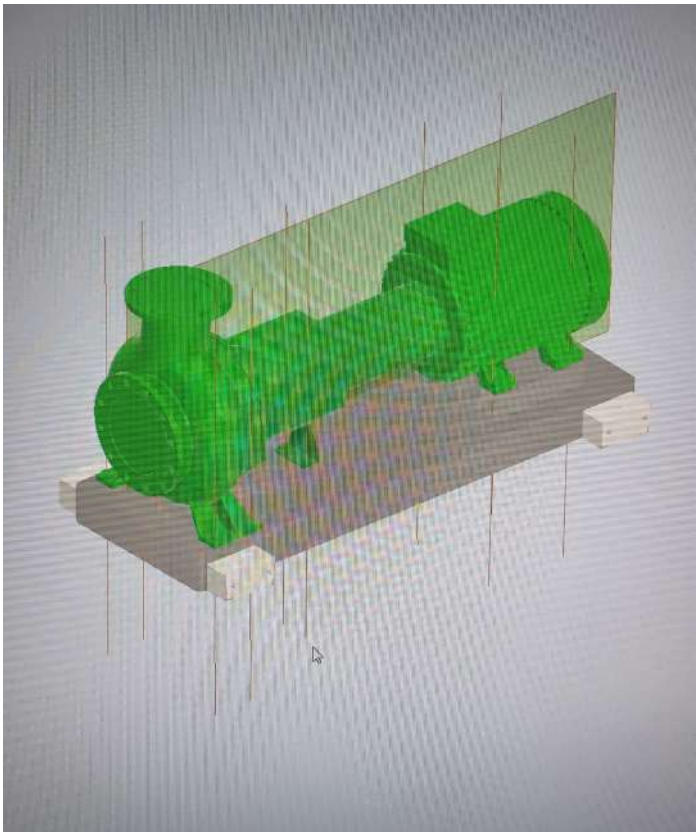
Vir: (Lastni vir)

Potrebovali smo tudi stranske podporne elemente, ki smo jih poimenovali podstavek, s katerimi smo lahko pritrdili osnovno ploščo na temelje v obratu Vparilnica. Za to smo potrebovali štiri, istih dimenzij, in jih pritrdili s šestrobnimi vijaki M20 x 100 z matico. Tako kot osnovno ploščo so tudi ta podstavek odrezali na mere s pomočjo zunanjega podjetja – dimenzija 200 mm × 100 mm × 100 mm. V osnovno ploščo smo nato izvrtali na ročnem vrtalniku luknje Φ 21 mm.



Slika 25: Podstavek

Vir: (Lastni vir)



Slika 26: Končni izgled črpalke na osnovni plošči

Vir: (Lastni vir)

Potrebovali smo še samo profil za zadnji del podpore črpalke. Izbrali smo profil kvadratne cevi. Profila nismo konstruirali, saj za njega nismo potrebovali laserskega razreza. Potrebovali smo samo dva profila dimenzij 40 mm × 100 mm × 1,5 mm.

3.7 Izdelava načrta preventivnega vzdrževanja

V podjetju imajo usposobljene vzdrževalce za pregled delovanja in preventivnega vzdrževanja delovnih strojev. Pri vzdrževanju črpalk je dober pregled po tedenskih intervalih, pregledati morajo popuščanje vijakov, saj lahko pride zaradi netesnjenja vijakov do vibracij, kar pa zmanjša delovanje in dobo same črpalke. Preventivno morajo pregledati poškodbe površin zaradi odrgnine, erozije in kemične prisotnosti pri sami črpalki. Dober načrt pregleda črpalk je ključnega pomena, saj se le tako lahko izognejo dragim menjavam črpalk. Zato smo naredili terminski plan vzdrževanja črpalke, ki je bil predstavljen tudi vodji na področju vzdrževanja.

Tabela 9: Terminski plan pregleda črpalk

TERMINSKI PLAN PREGLEDA ČRPALK			
TEDENSKI INTERVAL			
DATUM	URA	VZDRŽEVALEC	PODPIS

Vir: (Lastni vir)

4 SKLEP

V diplomskem delu je opisana zgradba centrifugalne črpalke, kako jo pravilno dimenzioniramo v procesne obrate, kakšna je obvezna priložena dokumentacija pri sami dobavi centrifugalne črpalke. Pri tem nam je prebrana in poiskana literatura bila v veliko pomoč, saj pri samem delu s centrifugalno ali kakšno drugo črpalko potrebujemo veliko znanja, da prepoznamo problematiko, vezano na delovanje črpalk. Dobro vzdrževanje črpalk in redno spremljanje delovanja črpalke vodi v dolgotrajno delovanje, zato je pomembno, da se o vzdrževanju poučimo (kako vzdrževati in s čim lahko vplivamo na hitrejšo obrabo črpalke). Če bomo upoštevali predpisane predloge za vzdrževanje črpalke, jo bomo lahko dalj časa uporabljali brez dragih vzdrževanj, ki vplivajo na ekonomičnost podjetja. Dobro je predvideti tudi, kdaj bo stara črpalka potrebovala menjavo za novo črpalko ali menjavo rezervnih delov rotorja ali statorja in drugih.

Cilj in naloga diplomskega dela je bilo ugotoviti in prikazati, kako pripomoremo k manjši porabi električne energije s pomočjo optimizacije procesnega obrata in menjave delovnih strojev, črpalk. Tako lahko pridemo do postavljenih ciljev in hipotez, da smo z optimizacijo in menjavo črpalke, frekvenčnega pretvornika in merilnika pretoka pripomogli k manjši rabi električne energije. Prikazano je, da se bo optimizacija obrestovala v krajšem časovnem obdobju – v štirih letih in petih mesecih.

Cilj je bil potrditi ali ovreči hipoteze, ki so bili zastavljene že na začetku dela.

H1: Dobljeni rezultati bodo dokazali smiselnost menjave stare črpalke z novo.

Hipoteza je bila dobro izpeljana in dokazala, da nam stara črpalka v obratu ni dala tistega, kar so smernice današnjega časa v gospodarski proizvodnji, ko temelji vse na manjši porabi in skrbnem ravnanju z električno energijo. Iz izračuna je razvidno, da nova centrifugalna črpalka porabi manj električne energije, kar pa lahko s frekvenčnim pretvornikom in merilnikom tlaka tudi reguliramo.

H2: Za novo črpalko je treba definirati nov sistem vzdrževanja.

Na podlagi zbrane literature smo lahko predvideli pravilen vrstni red vzdrževanja, ki smo ga lahko nato predstavili v samem podjetju. Pri tem smo se osredotočali tudi na predpisane intervale vzdrževanja črpalke proizvajalcev. Naredili smo seznam vodenja vseh del vzdrževanja črpalk, na katerega se bodo dnevno ta dela tudi zapisovala.

H3: Z novo črpalko bo olajšano delo posluževalcem v obratu Vparilnica.

Ta hipoteza se bo pokazala skozi čas ali čez nekaj let delovanja nove črpalke v obratu Vparilnica. Zaenkrat je uredila nižji vstop sopare v kondenzator s pomočjo frekvenčnega pretvornika in merilnika pretoka in tako tudi olajšala delo posluževalcem, saj ne rabijo fizično spremljati in regulirati pretoka hladilne vode.

H4: Menjava črpalke bo zmanjšala stroške električne energije na letni ravni in izboljšala življenjsko dobo črpalke.

Ugotovitev, da je nova črpalka zmanjšala stroške električne energije, smo potrdili z izračunom, v katerem je razvidno, da se bo optimizacija obrestovala v štirih letih.

Na začetku optimizacije dela je bilo vsem v ospredju dejstvo, da večji kot je pretok, nižje so temperature kondenzacije sopar, to pomeni, da smo lahko z regulacijo pretoka vode v kondenzator zmanjšali kondenzacijo sopare v vrelce. V diplomskem delu smo lahko potrdili hipoteze, kar je bil tudi cilj samega dela, veliko pa smo se naučili tudi o črpalkah, predvsem o centrifugalni črpalki.

5 VIRI, LITERATURA

Bratun, M. (2023). *Eksperimentalni sistem dveh centrifugalnih črpalk* (Zaključna naloga). Fakulteta za strojništvo, Ljubljana.

Empowering Pumps & Equipment (2024). *Proactive maintenance for centrifugal pumps: How to identify and prevent failures*. Pridobljeno s https://empoweringpumps.com/sepco-proactive-maintenance-for-centrifugal-pumps-how-to-identify-and-prevent-failures/

Hvastja, L. (2022). *Krmiljenje asinhronskega elektromotorja s pulzno-širinsko modulacijo* (Diplomsko delo). Fakulteta za strojništvo, Ljubljana.

Jemec, V. (2004). *Vrste vzdrževanj*. Pridobljeno s

https://www2.arnes.si/~sspvjeme/vzdrzevanje/vrstevzdrzevanj.htm

Kračun, L. (2021a). *Študija energijske učinkovitosti električnega pogona centrifugalne črpalke* (Magistrska naloga). Fakulteta za Elektrotehniko, Ljubljana.

Kračun, L. (2021b). *Študija energijske učinkovitosti električnega pogona centrifugalne črpalke* (Magistrska naloga). Fakulteta za Elektrotehniko, Ljubljana.

Silkem, d. o. o., (2021a). *Interno gradivo*. Kidričevo: Silkem, d. o. o.

Silkem, d. o. o., (2024a). *Predstavitev podjetja*. Pridobljeno s http://silkem.si/sl/onas/o-nas

Silkem, d. o. o., (2024b). *Predstavitev podjetja*. Pridobljeno s http://silkem.si/sl/onas/o-nas

SIQ (2023a). *ISO 9001*. Pridobljeno s https://www.siq.si/nase-dejavnosti/certificiranje-organizacij/predstavitev/kakovost/iso-9001/

SIQ (2023b). *Sistem upravljanja z energijo*. Pridobljeno s https://www.siq.si/nase-dejavnosti/certificiranje-organizacij/predstavitev/okolje/iso-50001/?gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMI_snbo6qwhwMV_qloCR05qg31EAAYASAAEgJb-PD_BwE

Štravs, S. (2008) *Elektronski elementi* Učbenik – ELE. Delovni osnutek kot predhodno gradivo. Šolski center Velenje.

6 PRILOGE

Priloga 1: Tehnična risba Osnovna plošča

Priloga 2: Tehnična risba Podstavek

Priloga 3: Sestavna risba Osnovna plošča črpalke