



B&B  
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija  
Program: Strojništvo  
Modul: Orodjarstvo

## **OBNOVA KOMPRESORSKE POSTAJE**

Mentor: mag. Matija Tacer  
Lektorica: Mija Čuk, univ. dipl. spl. jez.

Kandidat: Martin Gorenc

Ljubljana, september 2024

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mag. Matiji Tacerju za mentorstvo, saj mi je s svojimi nasveti pomagal pri izdelavi naloge. Hvala tudi g. Matiji Burji iz podjetja Filc, d. o. o., za strokovno in nesebično pomoč.

Za jezikovni in slovnični pregled se zahvaljujem lektorici Miji Čuk.

Zahvaljujem se družini za podporo med študijem in vztrajno spodbudo med nastajanjem diplomskega dela. Posebna zahvala gre Njemu, ki me spremlja celo življenje.

## IZJAVA

Študent Martin Gorenc izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Matije Tacerja in Matije Burje.

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

Dne \_\_\_\_\_

Podpis: \_\_\_\_\_

## **POVZETEK**

Projekt obnove kompresorske postaje v podjetju je osnova za nastanek diplomskega dela. Zaradi širitve podjetja smo bili prisiljeni zamenjati kompresorje z novejšimi in bolj zmogljivejšimi. Obnova kompresorske postaje in vanjo umeščena sodobnejša oprema sta pripomogli k bolj učinkoviti rabi energije.

Primarni cilj projekta je bil zagotoviti zadostne količine komprimiranega zraka za potrebe proizvodnega procesa v podjetju. Zastojev v proizvodnem procesu zaradi izpada preobremenjenih kompresorjev in posledično izpada načrtovane produkcije si zaradi močne konkurence ne moremo in ne smemo privoščiti. Obnova kompresorske postaje nam omogoča eliminiranje težav in stabilizacijo omrežja pridobivanja oz. dobavljanja komprimiranega zraka.

Pridobivanje komprimiranega zraka je zelo potratna oblika energije. Zato je vsaka izboljšava, nadgradnja in vzdrževanje sistema pridobivanja komprimiranega zraka korak v pravo smer k učinkovitejši rabi energije.

Pri analizi uspešnosti projekta smo preverili, kako uspešni smo bili pri odpravi preobremenjenosti omrežja. Primerjali smo stanje učinkovite rabe energije pred obnovo in po njej.

## **KLJUČNE BESEDE**

- kompresorska postaja
- kompresorji
- učinkovita raba energije
- obnova kompresorske postaje
- vijačni kompresorji

## **ABSTRACT**

The project of renovation of the compressor station in the company is fundamental for the creation of the diploma thesis. Due to the expansion of the company, we were forced to replace the compressors with newer and more powerful ones. The renovation of the compressor station and the more modern equipment installed in it contributed to a more efficient use of energy.

The primary goal of the project was to provide sufficient quantities of compressed air for the needs of the company's production process. Stoppages in the production process, due to the outage of overloaded compressors and the resulting outage of planned production due to strong competition, we cannot and should not afford. The replacement of the compressor station allows us to eliminate the problem and have a stable compressed air supply network.

Obtaining compressed air is a very wasteful form of energy. Every improvement, upgrade and maintenance of the compressed air extraction system is therefore a step in the right direction and contributes to the efficient use of energy.

When analyzing the success of the project, we checked how successful we were in eliminating network congestion. We compared the state of efficient energy use before and after renovation.

## **KEYWORDS**

- compressor stations
- compressors
- efficient use of energy
- renovation of the compressor station
- screw compressors

## KAZALO

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Cilji naloge.....	1
1.3	Podjetje Filc, d. o. o. ....	2
1.4	Predpostavke in omejitve.....	3
1.5	Metode dela.....	3
<b>2</b>	<b>KOMPRESORJI IN KOMPRESORSKA POSTAJA</b> .....	<b>4</b>
2.1	Batni kompresorji .....	5
2.2	Vijačni kompresorji.....	5
2.3	Turbokompresorji .....	6
2.4	Kompresorska postaja .....	7
2.5	Komprimiran zrak .....	7
<b>3</b>	<b>OBNOVA KOMPRESORSKE POSTAJE</b> .....	<b>8</b>
3.1	Stanje pred obnovo .....	9
3.2	Obnova .....	13
3.3	Stanje po obnovi.....	18
<b>4</b>	<b>ANALIZA OBNOVE</b> .....	<b>21</b>
4.1	Opis razmerij pred obnovo in po njej .....	22
4.2	Učinkovita raba električne energije .....	25
4.3	Temperatura kompresorske postaje.....	32
<b>5</b>	<b>ZAKLJUČEK</b> .....	<b>33</b>
<b>6</b>	<b>LITERATURA IN VIRI</b> .....	<b>34</b>

## KAZALO SLIK

Slika 1: Podjetje Filc, lokacija Škofja Loka .....	2
Slika 2: p-V in T-s diagram.....	4
Slika 3: Prikaz delovanja vijačnega kompresorja.....	6
Slika 4: Tlačna posoda.....	10
Slika 5: Separator voda-olja .....	11
Slika 6: Kompresorska postaja pred obnovo .....	12
Slika 7: Shema postavitve v kompresorski postaji.....	13
Slika 8: Začasni priklop starega kompresorja .....	14
Slika 9: Priklop novih kompresorjev .....	15
Slika 10: Žaluzije za nastavitve temperature v postaji .....	16
Slika 11: Kompresorska postaja pred zagonom .....	17
Slika 12: Shema kompresorske postaje .....	20
Slika 13: Monitoring v programu RC Ware .....	21
Slika 14: Mesečno stanje tlaka pred obnovo .....	23
Slika 15: Mesečno stanje tlaka po obnovi .....	23
Slika 16: Dnevno stanje tlaka pred obnovo .....	24
Slika 17: Dnevno stanje tlaka po obnovi.....	25
Slika 18: Poraba električne energije v letu 2022.....	27
Slika 19: Poraba električne energije v letu 2023.....	29
Slika 20: Primerjava porabe električne energije med letoma 2022 in 2023.....	31
Slika 21: Temperatura kompresorske postaje po obnovi.....	32

## KAZALO TABEL

Tabela 1: Tehnični podatki kompresorja v drugi postaji.....	9
Tabela 2: Tehnični podatki kompresorjev v prvi postaji .....	10
Tabela 4: Tehnični podatki novega kompresorja .....	18
Tabela 5: Tehnični podatki novega kompresorja .....	18
Tabela 6: Poraba električne energije v letu 2022 .....	26
Tabela 7: Poraba električne energije v letu 2023 .....	28
Tabela 8: Primerjava specifične porabe električne energije.....	30

# 1 UVOD

## 1.1 Predstavitev problema

V današnjem hitro spreminjajočem se svetu se razmere v gospodarstvu nenehno spreminjajo. Zaradi povpraševanja po novih izdelkih so podjetja prisiljena investirati v sodobnejšo in energijsko varčnejšo tehnologijo. V zadnjem času so stroški energentov in energije močno zrasli, kar predstavlja dodaten izziv pri varčevanju z energijo.

V industriji so potrebe po komprimiranem zraku velike, saj brez pnevmatskih segmentov v proizvodnem obratu ni moč avtomatizirati proizvodnje. Pri pridobivanju komprimiranega zraka v podjetju, kjer je hitra rast neizbežna, trenutna kompresorska postaja težko zagotavlja zadostno količino stisnjenega zraka.

V kompresorski postaji sta vgrajena dva kompresorja, ki delujeta v izmenični soproizvodnji z novejšim kompresorjem v drugi kompresorski postaji. V zadnjih petih letih se je proizvodnja razširila še za nekaj obratov, kar za trenutno kompresorsko postrojenje predstavlja večjo obremenitev in oteženo doseganje zadostne količine komprimiranega zraka, zlasti pri večjih obremenitvah omrežja.

S pomočjo monitoringa kompresorskih postaj se spremlja delovanje kompresorjev. Rezultati spremljanja so pokazali preobremenjeno delovanje kompresorjev, iz česar izhaja, da proizvedena kapaciteta stisnjenega zraka ni zadostna. Pri polnem delovanju proizvodnih linij ali že pri večjih obremenitvah v proizvodnem procesu se na omrežju stisnjenega zraka kljub polnemu delovanju obeh kompresorskih postaj zaznava težava v zmogljivosti zagotavljanja zadostne količine komprimiranega zraka.

Zaradi potrebe po večji količini komprimiranega zraka se je sprejela odločitev za investicijo v zmogljivejše kompresorje.

## 1.2 Cilji naloge

Cilj diplomskega dela je obravnava procesa snovanja in obnove kompresorske postaje s poudarkom na menjavi starih, iztrošenih kompresorjev s sodobnejšimi in zmogljivejšimi. Namen projekta obnove je v doseganju nemotenega delovanja kompresorske postaje, zagotavljanju zahtevane količine komprimiranega zraka in stanovitnem delovanju kompresorjev.

S ciljem, da se obnova kompresorske postaje zaključi uspešno in zaradi zaostrenih razmer na energetskih trgih, se vmesno zastavljata dve vprašanji, in sicer ali bo menjava kompresorjev uresničila primarni cilj zagotoviti zadostno količino



komprimiranega zraka in ali bo novejša tehnologija kompresorjev pripomogla k energetsko varčnejšemu delovanju.

### 1.3 Podjetje Filc, d. o. o.

Filc, d. o. o., je slovensko podjetje s sedežem v Škofji Loki ter z dvema proizvodnima enotama v Mengšu in Lendavi. Od leta 2020 je lastništvo prevzela nemška družba Freudenberg Grupe. Trenutno je zaposlenih 370 delavcev.



*Slika 1: Podjetje Filc, lokacija Škofja Loka  
(Vir: podjetje Filc, 2018)*

Podjetje je hitro rastoče in sledi zastavljenemu trajnostnemu razvoju. Usmerjeno je h kupcem, kar pomeni, da sodelovanje z njimi omogoča nenehni razvoj podjetja in produktov, reševanje problemov proizvodnih postopkov, ki pripeljejo do inovacij, vse našteto pa spodbuja nenehno rast podjetja.

Podjetje proizvaja iglane, netkane, laminirne in tekstilne materiale kot osnovo za nadaljnjo obdelavo ali kot končni produkt. Svoje produkte trži po celem svetu. Večina produktov se uporablja v gradbeništvu. Poleg prodaje v gradbeno dejavnost svoje izdelke trži tudi v avtomobilski industriji, filtraciji in industriji, kjer se uporabljajo posebni netkani materiali.

Vzdrževalni oddelek podjetja šteje 13 članov, ki skrbijo za vzdrževalna dela celotnega podjetja na lokacijah Škofje Loke in Mengša. Oddelek je razdeljen na elektro in strojno vzdrževanje. Zaposleni v oddelku vzdrževanja s svojim znanjem in strokovno tehničnimi izkušnjami zagotavljajo nemoteno delovanje proizvodnje s podporo pri letnih remontih, raznih popravilih, strojelomih in pri vzdrževanju pomožnih naprav, kot so plinske in termo oljne kotlovnice, kompresorske postaje, klima naprave in drugo.

## 1.4 Predpostavke in omejitve

Z obnovo kompresorskih postaj pričakujemo nemoteno delovanje le-teh, doseganje zahtevanih količin komprimiranega zraka in stanovitno delovanje kompresorjev. Menjava kompresorjev bo zagotovila manjše nihanje tlaka v omrežju tudi v času večjih potreb po komprimiranem zraku.

Projekt obnove kompresorskih postaj omejujeta prostor in izbira kompresorjev. Med načrtovanjem in izbiro prostora za optimalno postavitev kompresorjev se je pokazala prostorska stiska. Izbrana postavitev se je zato prilagajala prostoru, kar ni najustreznejše, saj premajhen dovod svežega zraka ne omogoča optimalnega delovanja kompresorjev. Zaradi ciljno izbranega dobavitelja kompresorjev je izbira omejena zgolj na njihove produkte in njihove tehnične karakteristike.

## 1.5 Metode dela

Diplomsko delo je sestavljeno iz dveh delov. V prvem delu so opisana teoretična dejstva, predstavitev problematike in raziskovalnega dela naloge. Teoretična dejstva in problematiko raziskovalnega dela bomo poskušali razložiti z metodo deskripcije in predstavili problematiko naloge.

S sintezo v drugem delu naloge bomo združili teoretična načela s praktičnimi izvedbami in prišli do sklepa s pomočjo induktivne metode, kjer bomo s posamičnimi dejstvi utemeljili zaključek naloge.

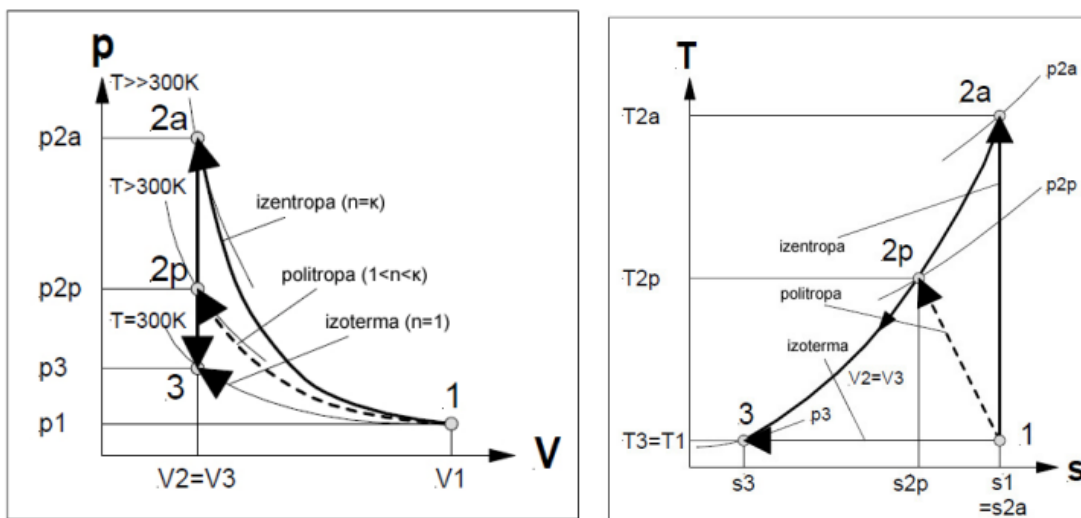
Z raziskovanjem literature smo pridobili teoretično podlago za nastanek naloge. Terensko delo nam je omogočilo vpogled v potek projekta, pri katerem smo pridobili tudi slikovno gradivo. S strokovnimi posveti smo prišli do informacij in pomoči za analiziranje projekta in zaključka naloge.

## 2 KOMPRESORJI IN KOMPRESORSKA POSTAJA

»Kompresorji so delovni stroji, ki jih uporabljamo za komprimiranje in transportiranje plinov in par. Pri tem se mehanska energija pretvarja v energijo plina. Ker se med kompresijo pogonska mehanska energija delno spremeni v toploto, so kompresorji tudi toplotni stroji.« (Čudina, 1987, str. 71)

»Kompresor stiska delovno snov na višji tlak, za kar je treba dovajati delo. To delo je v teoretičnem primeru tehnično delo kompresorja, od katerega je odšteto ekspanzijsko delo preostanka delovne snovi v škodljivem prostoru.« (Puhar, Stropnik; 2002, str. 263)

Da dobimo največji možni izkoristek kompresije, mora kompresor opraviti čim manj dela, da doseže želeno stanje plina ali zraka. Kompresijo lahko izvajamo med dvema skrajnima teoretičnima procesoma. Prvi je adiabatni proces (na diagramu relacija 1 do 2a), drugi pa izotermni (1 do 3 v diagramu). V praksi potekajo procesi med obema skrajnostma, prizadevati pa si moramo proces izvesti tako, da se čim bolj približamo izotermni kompresiji, saj ta zahteva najmanj vloženegega tehničnega dela. Največji približek pri izotermnem procesu lahko dosežemo z vmesnim ohlajanjem in z večstopenjsko kompresijo. Vendar tudi pri tem smo omejeni s številom stopenj zaradi tlačnih in mehanskih izgub.



Slika 2:  $p$ - $V$  in  $T$ - $s$  diagram  
(Vir: Zorko, 2010)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> V seznamu virov: Zorko B. (2010). Termodinamični preračun vijačnega in batnega kompresorja. Pridobljeno dne 20. 2. 2023 z naslova: <https://core.ac.uk/download/pdf/67542798.pdf>.

Zahtevo po visokem tlaku plina z enostopenjskim stiskanjem je včasih nemogoče doseči, zato uporabljamo večstopenjsko kompresijo. Vsesanemu plinu se skozi več stopenj kompresije povečuje tlak. Pozitivne lastnosti večstopenjske kompresije so vsekakor nižja končna temperatura plina oz. zraka, manjša poraba energije in s tem manjša moč pogonskega motorja ter zlasti pri batnih kompresorjih manjše sile na ročičnem mehanizmu. Negativne posledice so višja cena, zahtevna izvedba, večje potrebe po energiji za hlajenje in večja možnost okvare.

## 2.1 Batni kompresorji

Prvi kompresorji, ki so se pojavili, so bili batni kompresorji, narejeni po vzorcu parnega stroja. Uporaba batnih kompresorjev je danes široka. Najbolj razširjena in raznolika je pri uporabi pogona za pnevmatska orodja, v industrijskih obratih, kot so lakiranje, izpihovanje in tlačno polnjenje motorjev z notranjim izgorevanjem.

Ločimo enostransko in dvostransko delujoče batne kompresorje. Princip delovanja nam pove že ime, z delom bata v cevi pridobivamo stisnjen zrak. Bat iz ročične mrtve lege stisne vsesani zrak z nižjim tlakom na višji tlak v nasprotno mrtvo lego bata in s tem potisne zrak v sistem oziroma tlačno posodo. Pri dvostranski izvedbi kompresorja bat opravlja delo v obe smeri.

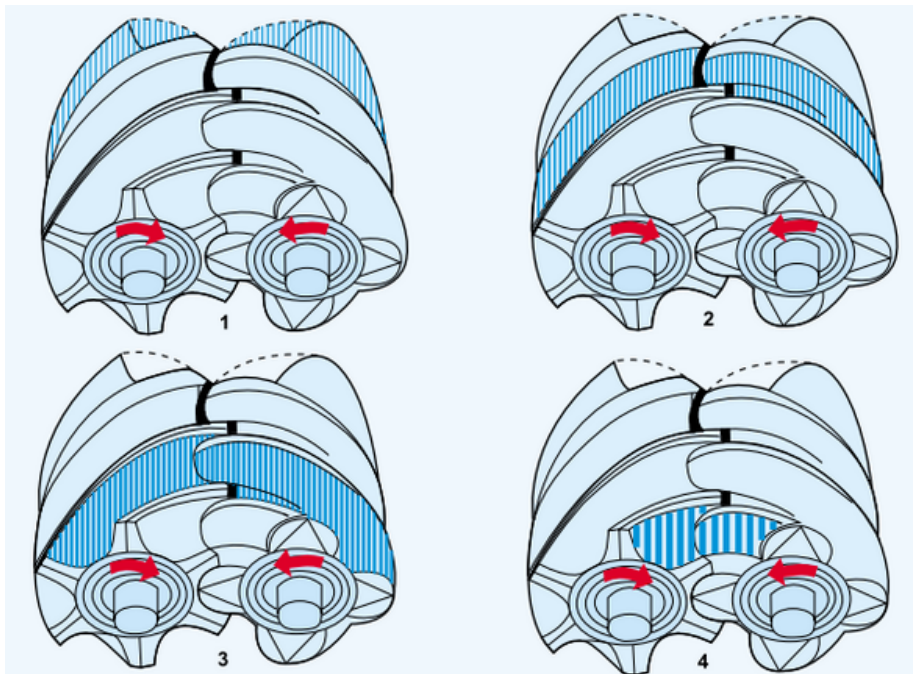
## 2.2 Vijačni kompresorji

Delovanje kompresorjev v vijačni obliki je bilo zasnovano po principu razvoja modernejših plinskih turbin. Spadajo pod rotirajoče stroje s pozitivnim volumskim pomikom, kar pomeni, da z zmanjšanjem volumna povečamo tlak. Glavni del kompresorja sta nasproti vrteča se delovna rotorja in razvodni rotor, ki imata različna profila zavita v spiralo z ravnim ozobjem.

»Uporabljamo dve vrsti vijačnih kompresorjev, in sicer z neposrednim dotikanjem vijakov in neposrednim prenosom gibanja med vijaki ter brez dotikanja vijakov s pogonom prek para zobnikov zunaj ohišja. V prvem primeru je treba vijaka mazati z oljem, ki maže, tesni med vijaki in hladi. Tako komprimiran zrak vsebuje precejšno količino olja, ki se za kompresorjem izloča v posebnih čistilcih (separatorjih). Pri drugi vrsti je zrak suh brez olja in je v industriji bolj v rabi.« (Čudina, 1987, str. 92)

Princip delovanja je vrtenje rotorjev v nasprotno smer, pri čemer stiskamo zrak iz večjega volumna proti manjšemu in s tem povečujemo tlak. Pri vходу zraka v prostor med rotorjema, kjer sta spirali delovnega in razvodnega rotorja med seboj najbolj oddaljeni, imamo najmanjši tlak in največji volumen. Med vrtenjem, ko se spirali zapirata ena v drugo po principu zapiranja zoba v utor, se volumen zraka manjša in tlak narašča. Ko zrak zapusti prostor med rotorjema, ima največji tlak. Razvodni rotor

je delno gnan od gonilnega zaradi tlaka, ki ga ustvarja. Tako potrebujemo le 10 % celotne moči za pogon razvodnega rotorja.



Slika 3: Prikaz delovanja vijačnega kompresorja  
(Vir: prochom-comp, 2023)<sup>2</sup>

## 2.3 Turbokompresorji

»Turbokompresorji so dinamični stroji, saj je plin med kompresijo ves čas v gibanju. Mehansko delo se s pogojskega stroja prenaša na pretakajoči se plin preko lopatic rotorja.

Po zgradbi jih delimo na radialne in aksialne:

- pri radialnih se plin pretaka od aksialne v radialno smer,
- pri aksialnih pa se ves čas v aksialni smeri.« (Čudina, 1987, str. 93)

»Turbokompresorji delujejo po enakem principu kot turbočrpalke: z rotacijo rotorja se ustvari podtlak v sesalnem ustju kompresorja in vanj doteka nov plin. Lopatice zajamejo plin in ga potiskajo proti izstopu v vodnik oz. spiralno ohišje pri radialnih turbokompresorjih. Pri radialnih turbokompresorjih za višje tlake je med rotorjem in spiralo vodilnik z lopaticami ali vodilni obroč. Naloga vodnika je, da pretvarja odvečno hitrostno energijo plina v tlačno. Hitrosti plina na izstopu iz kompresorja (tlačni

<sup>2</sup> V seznamu virov: spletna stran Prochom-komp. Princip delovanja vijačnega kompresorja. Pridobljeno dne 24. 2. 2023 z naslova <https://www.prochrom-comp.si/izobrazevalne-strani/kompresorji1/princip-delovanja-vijacnega-kompresorja>.

cevovod) so od 6 do 30 m/s. Na vstopu v kompresor (sesalni cevovod) so hitrosti plina od 5 do 20 m/s.« (Čudina, 1987, str. 94)

## 2.4 Kompresorska postaja

Kompresorska postaja je prostor, v katerem so vgrajene naprave za pridobivanje stisnjenega zraka.

Glavni del postaje je seveda kompresor, ki stiska zrak oziroma plin na večji tlak. Za učinkovito delovanje kompresor skozi sesalni filter sesa svež in čist zrak. Med kompresijo se zrak segreje. Segreti stisnjen zrak moramo v hladilniku ohladiti na temperaturo, kjer se vodne in oljne pare kondenzirajo. Skozi grobi separator se izločijo kapljice vode in olja iz stisnjenega zraka. V finem separatorju dokončno izločimo še preostanek vode in olja v zraku. Za porabo stisnjenega zraka brez izpadov omrežja uporabljamo tlačne posode. Za varnost med ustavitvijo ali v višji sili imamo varnostne ventile, zaporne ventile in proti povratno loputo, ki so prav tako del postaje.

»Najbolj občutljiv del kompresorske postaje je tlačna posoda. Ta predstavlja potencialno bombo z veliko rušilno močjo, zato veljajo strogi predpisi. Imeti mora atest o opravljenem preizkusu na tlak, ki je 30 % večji od obratovalnega.« (Čudina, 1987, str. 106)

Pri večjem številu kompresorjev v postaji moramo imeti dovolj veliko medsebojno razdaljo in razdaljo med stenami postaje za učinkovito hlajenje kompresorjev. Z zadrževanjem visokih temperatur v kompresorju močno zmanjšujemo življenjsko dobo in povečamo tveganje mehanskih poškodb kompresorja. Prostor kompresorske postaje mora biti čist, suh in hladen.

## 2.5 Komprimiran zrak

»Komprimiran zrak se zelo široko uporablja, kot nosilec energije ali kot proizvodno sredstvo. Njegova univerzalnost in varnost pri uporabi pa nas staneta zelo veliko. Komprimiran zrak je kot energija 50-krat dražji od zemeljskega plina in olja ter 10-krat od elektrike. Da je problem še bolj očiten, pove podatek, da se večina komprimiranega zraka (95 %) proizvede s kompresorji, gnanimi z električno energijo, in zato niti ni tako nenavadno, da se kar 10 % vse v industriji porabljene električne energije porabi prav za pripravo komprimiranega zraka. Sestava stroškov za kompresorje je pri povprečni življenjski dobi kompresorja naslednja:

- 10 % vzdrževanje,
- 15 % kapital,
- 75 % energija.« (Kožuh, Špendal, n.l., str. 2)

### 3 OBNOVA KOMPRESORSKE POSTAJE

Najpomembnejši dejavnik za odločitev za investicijo v projekt obnove kompresorske postaje je zadoščanje zadostne količine komprimiranega zraka za potrebe v proizvodnji. Predmet obnove bo menjava starih kompresorjev z novimi, zmogljivejšimi in tehnološko novejšimi kompresorji.

Med snovanjem in planiranjem del obnove smo predvideli, da so dela povezana z obnovo manjšega obsega, zato smo se odločili, da izberemo preverjena izvajalca, s katerima imamo že sklenjeno pogodbo. Izdelala se je projektna dokumentacija za izvedbo gradbenih del. Za strojne inštalacije in izdelavo ter montažo prezračevalnih kanalov je storitev izvedlo podjetje KM inštalacije iz Škofje Vasi. Električno vezavo in postavitve elektro inštalacij ter splošna elektro dela pa je opravilo podjetje MBC iz Grosuplja. Ponudbi obeh izvajalcev sta bili primerjani z drugimi podjetji na trgu in sprejeti kot najprimernejši. Izvaja se redni nadzor nad opravljenimi storitvami obeh izvajalcev, prav tako pa se spremljajo s projektom povezani stroški.

Izbira kompresorjev je bila že ciljno določena. Z dobaviteljevimi priporočili in nasveti smo se odločili za izbrane kompresorje in njihove tehnične lastnosti, način izvedbe delovanja ter možnosti umestitve v naš sistem in prostor kompresorske postaje. Ključna odločitev za izbrano kompresorsko opremo ponudbenega podjetja pa je bila dobra tehnična podpora ter dostopnost in odzivnost pri servisnih storitvah pogodbene servisne službe.

Z vsakim podizvajalcem v podjetju Filc je treba skleniti sporazum na skupnem delovišču. S podpisanim sporazumom se tako podizvajalec kot investitor oziroma odgovorni vodja del investitorja obvezujeta spoštovati veljavno zakonodajo s področja varnosti in zdravja pri delu, požarnega varstva in ravnanja z okoljem.

Investitor, naročnik in izvajalec se s sporazumom dogovorijo, da bo izvajalec pri svojem delu ravnal skladno z naročnikovo politiko, zahtevami do okolja, varnosti delavcev ter upošteval interne zahteve družbe Filc s področja zdravega in varnega dela ter ravnanja z okoljem. Sporazum se sklene od datuma začetka do zaključka del, izjemoma se sporazum sklene za letno obdobje s pogodbenimi podizvajalci.

Kot naročnik zunanjih izvajalcev smo odgovorni, da se sporazum izvaja tako, da priskrbimo ustrezno dokumentacijo in ustrezna dovoljenja ter poskrbimo, da se dela izvajajo varno. V primerih, ko gre za specifična dela, kot primer vročih del, je dokumentacija dopolnjena z dovoljenjem za varjenje, brušenje, segrevanje, uporabo odprtega ognja, treba pa je zagotoviti tudi požarno stražo.

Usklajeno izvajanje varnostnih ukrepov zagotavlja strokovni delavec za varno delo. Odgovorne osebe morajo stalno medsebojno sodelovati ter upoštevati nasvete in navodila oseb, ki zagotavljajo usklajeno izvajanje ukrepov, strokovnega delavca za varno delo oziroma predstavnika vodstva za ravnanje z okoljem.

### 3.1 Stanje pred obnovo

Proizvodni proces v podjetju oskrbujemo s komprimiranim zrakom, pridobljenim iz dveh kompresorskih postaj. Starejšo, prvo postajo bomo obravnavali podrobnejše, saj je predmet obravnave te naloge. Druga postaja predstavlja trenutno glavni vir priprave komprimiranega zraka in jo bomo obravnavali s tega vidika.

V drugi postaji se nahaja kompresor novejše izvedbe, proizvajalca Atlas Copco, tip GA 26 VSD FF. Kompresor je enostopenjski vijačni z brizganjem olja, ki ga poganja notranji motor s trajnim magnetom. Kompresor je frekvenčno reguliran, kar pomeni, da samodejno prilagaja hitrosti motorja glede na potrebe po kapacitetah komprimiranega zraka z optimalnim delovanjem. Znotraj zvočno izoliranega ohišja se nahajajo poleg kompresorskega elementa še vse ostale komponente, kot so sušilnik zraka, hladilnik olja in zraka, ventilator, pogonski motor, oljni in zračni filter, izločevalnik olja in krmilnik. Kompresor je zračno hlajen.

<b>GA 26 VSD+</b>		
Normalen dejanski delovni tlak	bar	7
Najvišja hitrost motorne gredi	r/min	6500
Najnižja hitrost motorne gredi	r/min	1300
Nazivna moč motorja	kW	26
Nazivna moč motorja	KM	34,9
Količina olja	l	15,5

*Tabela 1: Tehnični podatki kompresorja v drugi postaji  
(Vir: Atlas Copco, 2018)<sup>3</sup>*

Kompresorska postaja se nahaja v bližini proizvodne linije, kjer se zaradi pranja določenih komponent v proizvodnji porabi več sanitarne vode. Izvedba kompresorja nam omogoča, da lahko izkoriščamo odpadno toploto iz kompresorja za dogrevanje oziroma predgretje sanitarne vode. Kompresor v vrhah porabe ne zadostuje količinam stisnjenega zraka za proizvodnjo.

Kompresorski postaji sta med seboj povezani in delujeta izmenično ali skupaj glede na zagotavljanje nujnih kapacitet stisnjenega zraka v proizvodnji.

<sup>3</sup> V seznamu virov: Navodila za uporabo Atlas Copco.



V prvi kompresorski postaji pa imamo dva kompresorja starejše izdelave, proizvajalca Atlas Copco, tipa GA18+FF. Kompresorja sta enostopenjska vijačna z oljnim vbrizgom in gnana z elektromotorjem ter sta zračno hlajena. Kompresorja imata znotraj zvočno izoliranega ohišja komponente, kot so kompresorski element, elektromotor, oljni in zračni filter, ventilator, sušilnik in krmilnik. Vsebujeta tudi posodo za kondenzat s samodejnim odvodom.

<b>GA 18+</b>		
Maksimalen pritisk	bar	7,5
Nazivni delovni pritisk	bar	7
Hitrost motorne gredi	r/min	2940
Vhodna moč	kW	24,3
Vhodna moč	KM	32,59
Količina olja	l	7,5

*Tabela 2: Tehnični podatki kompresorjev v prvi postaji  
(Vir: Atlas Copco, 2006)<sup>4</sup>*

Za bolj konstanten pretok in stabilno omrežje komprimiranega zraka imamo tlačno posodo, s katero skušamo izničiti tlačne razlike v omrežju. Velikost tlačne posode je 2000 litrov, najvišji dovoljen tlak posode je 10 barov, najnižji pa 0 barov. Tlačno posodo redno pregleda in testira pooblaščen institucija.



*Slika 4: Tlačna posoda  
(Lastni vir)*

<sup>4</sup> V seznamu virov: Navodila za uporabo Atlas Copco.

Za dobavo neonesnaženega komprimiranega zraka v proizvodnjo uporabljamo razne filtre in avtomatske ventile za izločitev kondenzata. Napeljava za odvod kondenzata je izvedena iz pocinkanih cevi. Nanjo so priključeni odvodi kondenzata iz kompresorjev, tlačne posode in filtri. Napeljava je speljana v zbiralnik kondenzata oziroma separator voda-olje, iz zbiralnika pa prek talnega sifona v fekalno kanalizacijo.



*Slika 5: Separator voda-olje  
(Lastni vir)*

Prezračevanje oziroma dovod svežega zraka v postajo poteka neposredno iz zunanje okolice skozi rešetke v vratih, kar zadošča za izmenično delovanje kompresorjev. Temperatura dovodnega zraka za delovanje kompresorjev mora biti nad 5 °C. Dotok zraka iz okolice smo omejili, saj v mrzlih zimskih dneh lahko predstavlja težavo. Zaradi majhnosti prostora in zaradi delovanja obeh kompresorjev imamo vstavljen ventilator za dodaten prisiljen odvod zraka iz prostora postaje. Ventilator je krmiljen avtomatsko prek termostata znotraj postaje. Odvod toplote je voden skozi kanale na prosto.

Zaradi širitve in gradnje petega modula podjetja se je potreba po komprimiranem zraku povečala. Do novo zgrajenega modula je bilo treba postaviti povezavo z omrežjem komprimiranega zraka. Zaradi nove povezave zemeljskega plina v podjetje smo imeli prost opuščen zemeljski razvod, ki vodi v sosednji prostor postaje v plinsko kotlovnico. Opuščen plinski razvod smo izkoristili, ga prevezali iz plinske kotlovnice v omrežje v kompresorski postaji in izvedli oskrbo petega modula s komprimiranim

zrakom. Z novo zanko smo povezali in sklenili celotni krog omrežja komprimiranega zraka v proizvodnji, tako smo dobili krožno omrežje, ki obsega vse proizvodne linije.



*Slika 6: Kompresorska postaja pred obnovo  
(Lastni vir)*

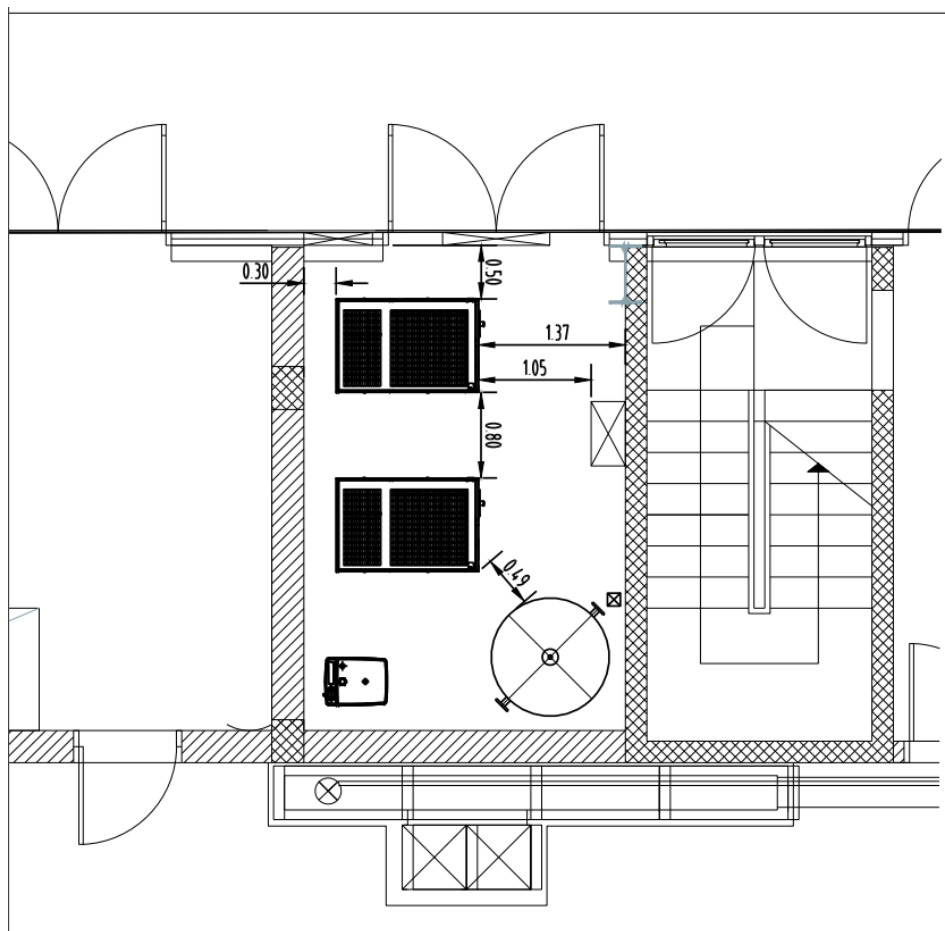
Shema oziroma režim delovanja proizvodnje komprimiranega zraka povezuje obe kompresorski postaji s primarnim delovanjem kompresorja v drugi kompresorski postaji. Poleg zagotavljanja kapacitet komprimiranega zraka nam je prioriteto tudi izkoriščanje možnosti uporabe odpadne toplote.

V času večje porabe komprimiranega zraka se vklopi eden od kompresorjev v prvi kompresorski postaji. Če delovanje kompresorja v drugi in enega v prvi postaji ne zadošča pokritju potreb, se vklopi še drugi kompresor v prvi postaji. Regulacija vklopjanja kompresorjev v prvi postaji je nastavljena s pogojem prednostnega vklopa kompresorja z manjšim številom obratovalnih ur delovanja. Enkrat tedensko preventivno in za dobro kondicijsko stanje kompresorjev prevzame primarno vlogo delovanja prva kompresorska postaja. Kompresor v drugi postaji je ta dan v stanju pripravljenosti za vklop v primeru pokritja prenizke kapacitete zraka v sistemu.

## 3.2 Obnova

Dela obnove kompresorske postaje smo skrbno načrtovali. Primarna naloga obnove je zagotavljanje neprekinjene dobave komprimiranega zraka za nemoteno delovanje proizvodnje ter skladna in tekoča izvedba dela različnih podizvajalcev v kompresorski postaji.

Med deli in snovanjem obnove smo se morali prilagoditi predvsem prostoru kompresorske postaje. Prostor je majhen, zato smo imeli nekaj ovir pri delu s postavitvijo opreme in naprav v kompresorski postaji. Z optimalno postavitvijo kompresorjev in tlačne posode se je zagotovilo minimalnim tehničnim zahtevam glede velikosti prostora za servisiranje in delovanje kompresorjev.



Slika 7: Shema postavitve v kompresorski postaji  
(Vir: podjetje Filc, 2022)

Oskrbo proizvodnje z nemoteno dobavo komprimiranega zraka med obnovo smo izvedli v dveh delih. V drugi kompresorski postaji je vodilni kompresor, kar pomeni, da zagotavlja večji del kapacitet. Z varnim odklopom iz sistema in električnega omrežja

smo kompresor iz prve postaje prestavili v najbolj oddaljeno točko druge kompresorske postaje in ga priklopili neposredno v omrežje komprimiranega zraka in električno omrežje.

Po vzpostavitvi delovanja kompresorja v omrežja smo kompresorsko postajo varno izločili iz sistema in odzračili oziroma izpraznili tlačno posodo. Vse stare kanale za odvod toplote iz kompresorjev v postaji se je odstranilo. Podizvajalec elektro del je odklopil drugi kompresor iz električnega omrežja in odstranil vso nepotrebno elektro inštalacijo ter vgradil novo elektro omaro. Kompresor se je odstranil iz prostora postaje.



*Slika 8: Začasni priklop starega kompresorja  
(Lastni vir)*

Obnovo del smo nadaljevali s strojnimi inštalacijami. Stara strojna inštalacija se je minimalno odstranila, tlačno posodo smo prestavili na novo mesto. Razvode nove inštalacije komprimiranega zraka smo izvedli z vzdolžnimi varjenimi cevmi in cevni priključki po SIST EN 10217-1/ DIN 1626 / DIN 2440. Razvode se je moralo speljati s padcem proti mestom, ki so bili predvideni za odvod kondenzata. Zahtevana tlačna stopnja armatur in cevovodov je PN16.

Ko so bili priključki s cevovodi in kombiniranimi filtri zvezani in pritrjeni, se je kompresor umestil v prostor. Zatem so jih strojni inštalaterji priključili v sistem. Po priključitvi kompresorjev v omrežje je bilo treba poskrbeti še za odvod kondenzata.

Obstoječ cevovod za odvod kondenzata je iz pocinkanih cevi, nanj so se priključili odvodi iz kompresorjev in filtrov. Z novim avtomatskim ventilom se je uredilo samodejno izločanje kondenzata iz tlačne posode. Zbiralni ločevalnik za izločevanje olja se je zamenjal z novim, odvod kondenzata pa se je speljal prek cevovoda v fekalno kanalizacijo.

Po končani grobi montaži inštalacije se je izvedel tlačni preizkus tesnosti. Preizkus je bil izveden tudi s pregledom dokumentacije. Po prestanem preizkusu se je sestavil zapisnik, ki ga je podpisal nadzorni organ.



*Slika 9: Priklop novih kompresorjev  
(Lastni vir)*

Po namestitvi kompresorjev, priklopov na cevovod omrežja komprimiranega zraka ter tlačnega in tesnilnega preizkusa se je pričelo z montažo kanalov za prezračevanje.

Kanali za razvod zraka so vodeni vidno in izdelani iz pocinkane pločevine po veljavnih predpisih. Debeline sten kanalov, šivov kanalov in prirobnični spoji so izvedeni iz

pocinkane pločevine, skladno z zahtevami standarda DIN 24190/1, prav tako pa tudi debelina in oblika kanalov, oblika šivov in prirobnic. Vsi kanali morajo biti pri prehodu skozi stene ustrezno protihrupno izolirani, da se hrup skozi gradbeno konstrukcijo ne prenaša v ostale prostore.

Za ogrevanje prostora, zlasti v zimskem času, sta v odvodnem kanalu vsake naprave nameščeni dve žaluziji z elektromotornim pogonom. Delovanje žaluzij na odvodnem kanalu in protiprostoru je protismerno. Za delovanje pogonov je namenjen krmilnik, ki glede na temperaturo zapira ali odpira žaluzije za doseganje nastavljene temperature v prostoru.



*Slika 10: Žaluzije za nastavitev temperature v postaji  
(Lastni vir)*

Centralni krmilni sistem je nameščen na steno, v prostor kompresorske postaje, pri čemer se upošteva dolžina za omrežje CAN. Na tlačno posodo je pritrjen tlačni pretvornik, ki s signalom sporoča krmilnemu sistemu informacijo tlačnega stanja v posodi.

Zagon kompresorjev je izvedel serviser, nastavil mejne vrednosti tlaka in delovno območje kompresorjev.

Pred prvim zagonom se je odstranilo varnostne distančnike za transport in vijake pod rezervoarjem za zrak. Preverila se je vsa električna napeljava, ali ustreza predpisom. Prav tako so se preverili vsi ventili in priključki na omrežje. Pri vklopu v napetost se je najprej preverila pravilna smer vrtenja, da ne bi prišlo do poškodb na ventilatorju sušilnika.

Pri zagonu kompresorjev so bili prisotni serviserji dobavitelja kompresorja. Nastavili so območje ter režime delovanja kompresorjev in sinhronizacijo delovanja s kompresorjem v drugi kompresorski postaji. Serviserji so dodatno preverili vso

dokumentacijo, napeljavo in delovanje. Nastavili so računalniško opremo po predpisanih parametrih za optimalno in varčno delovanje ter vzpostavili zveze vseh treh kompresorjev v skupni centralni krmilni sistem. Po vzpostavitvi komunikacije med kompresorskimi postajami in centralnim krmilnim sistemom so se določili in nastavili časovnik in režim oziroma sheme delovanja kompresorjev po zahtevah proizvodnje. Programirale so se tudi žaluzije za nastavitve temperature v postaji, delujoče na elektro pogon. Žaluzije se nastavijo avtomatsko glede na temperaturo v prostoru in delovanje kompresorjev. V času, ko je kompresor v stanju pripravljenosti, ima zunanjo žaluzijo zaprto, z namenom, da ne pride do podhladitve kompresorjev v zimskem času. Zaprtje notranje žaluzije pa se izvede, ko doseže in prekorači nastavljeno temperaturo v prostoru.



*Slika 11: Kompresorska postaja pred zagonom  
(Lastni vir)*

Cevovod se prebarva z zaščitno barvo proti koroziji in ustrezno označi z medijem in smerjo toka.

Za zunanji videz se izvede sanacija epoksi tlaka in pleskarska dela. Na koncu obnove se postajo oprepi s shemo strojnih inštalacij, z elektro načrtom in z navodili za varno uporabo naprav v kompresorski postaji.



### 3.3 Stanje po obnovi

Nova vgrajena kompresorja proizvajalca Atlas Copco sta enostopenjska vijačna z brizganjem olja, gnana z elektromotorjem s trajnostnim magnetom. V kompresorju je vgrajena tehnologija s prilagodljivo hitrostjo obratovanja. Hitrost elektromotorja in ventilatorja se samodejno prilagaja glede na trenutno potrebo po rabi komprimiranega zraka. Kompresorja sta zračno hlajena in obdana z zvočno izoliranim ohišjem. Močnejši kompresor ima nazivno moč 37 kW, manjši kompresor pa ima nazivno moč 22 kW. Kompresorja sta opremljena z integriranim sušilnikom zraka.

<b>GA 37 VSD<sup>s</sup></b>		
Normalen dejanski delovni tlak	bar	7
Najvišja hitrost motorne gredi	r/min	6675
Najnižja hitrost motorne gredi	r/min	1000
Nazivna moč motorja	kW	37
Nazivna moč motorja	KM	49,6
Količina olja	l	21,4

*Tabela 3: Tehnični podatki novega kompresorja  
(Vir: Atlas Copco, 2022)<sup>5</sup>*

Manjši novi kompresor bomo uporabljali kot pomoč pri pokritju končne rabe stisnjenega zraka med izmeničnim delovanjem novega močnejšega kompresorja in kompresorja v drugi kompresorski postaji.

<b>GA 22 VSD<sup>s</sup></b>		
Normalen dejanski delovni tlak	bar	7
Najvišja hitrost motorne gredi	r/min	4350
Najnižja hitrost motorne gredi	r/min	1000
Nazivna moč motorja	kW	22
Nazivna moč motorja	KM	29,5
Količina olja	l	18,4

*Tabela 4: Tehnični podatki novega kompresorja  
(Vir: Atlas Copco, 2022)<sup>6</sup>*

Kompresorja imata dve pomembni funkciji: zmogljivost in preprečevanje nastajanja kondenzata. Pametni ventil je termostatski ventil, ki je elektro reguliran. To omogoča kompresorju, da regulira temperaturo do najoptimalnejše temperature, ki najbolj ustreza določenim pogojem. Pri starih kompresorjih s klasičnim termostatom je bila nastavljena točka temperature fiksna na določeno vrednost.

<sup>5</sup> V seznamu virov: Navodila za uporabo Atlas Copco.

<sup>6</sup> V seznamu virov: Navodila za uporabo Atlas Copco.

Ventilator v novih kompresorjih ima prilagojeno hitrost delovanja med maksimalno in minimalno vrednostjo glede na temperaturo delovanja. Večina kompresorjev s klasičnim zračnim hlajenjem ima fiksno hitrost delovanja ventilatorja. S prilagojeno hitrostjo ventilatorja imamo stabilnejšo regulacijo temperature, posledično redkeje prihaja do nihanja med previsoko in prenizko temperaturo v primerjavi s klasičnim hlajenjem kompresorjev s stalno hitrostjo ventilatorja. Pametni termostatski ventil in ventilator pripomoreta k delovanju pri najoptimalnejši temperaturi v vseh pogojih in prepričujeta nastajanje kondenzata.

Za medsebojno usklajeno in optimalno delovanje so kompresorji medsebojno povezani v nov centralni krmilni sistem. Krmilni sistem nam zagotavlja nemoteno delovanje in s tem regulira tlak znotraj nastavljenih vrednosti. Pri kompresorjih to dosežemo z uravnavanjem njihove hitrosti. Prek tlačnega pretvornika se izmeri tlak v omrežju komprimiranega zraka in uravnava kompresorje, da ohrani tlak omrežja v mejnih vrednostih programiranega tlačnega območja.

Za optimalno delovanje kompresorjev nam krmilnik s funkcijo algoritma omogoča delovanje v štirih načinih. V načinu delovanja enakomerne obrabe krmili kompresorje na kriterije tlačno območje, prednostni nadzor, nadzor razpoložljivosti kompresorjev in nadzor enakomerne obrabe glede na delovne ure. Na voljo imamo štiri prednostne sheme delovanja kompresorjev in šest prednostnih stopenj znotraj ene sheme. Kompresor z manjšo številko stopnje ima večjo prednost delovanja.

Način algoritma s prilagajanjem nihanja pretoka kompresorjev s spremenljivo hitrostjo uporabljamo, kadar je en kompresor s stalno hitrostjo obremenjen 100-odstotno, drugi kompresor pa nam s spremenljivo hitrostjo omogoča fino prilagoditev tlaka.

Podoben prvemu načinu delovanja je tretji način algoritma, kjer je dodatna možnost preverjanja krmilnika o razpoložljivosti delovanja kompresorja glede najdaljšega časa v območju nizke hitrosti. Delujoč kompresor, ki je trenutno v svojem nizkem območju hitrosti in zagotavlja zadosten pretok komprimiranega zraka v sistem, se po preteku nastavljenega časa delovanja v območju nizke hitrosti ugasne.

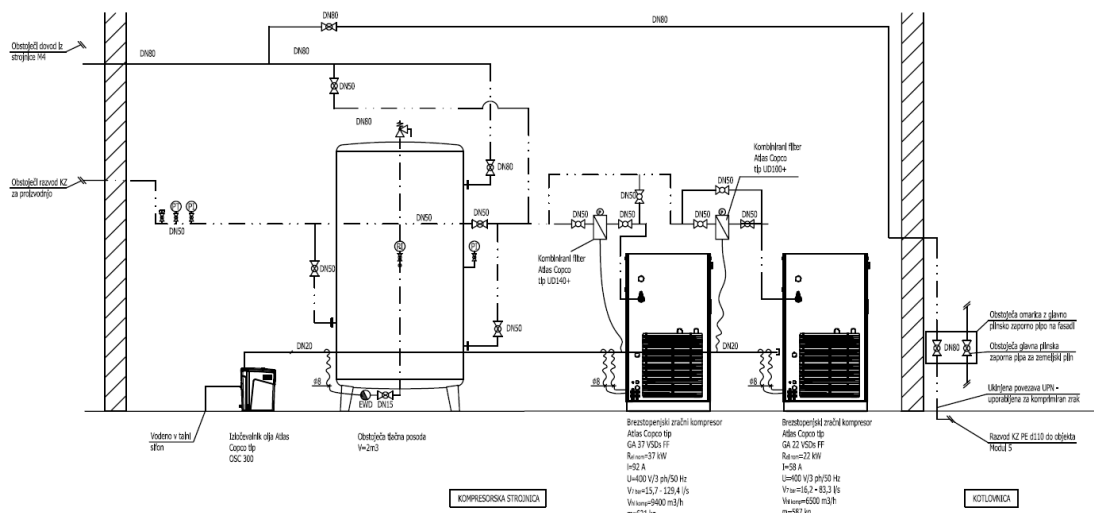
Algoritem krmilnika ponuja še način ročnega zaporedja, ki deluje povsem drugače od prejšnjih načinov. V ročnem načinu se odločimo, kateri kompresor naj deluje pod obremenitvijo, glede na potrebe višje oziroma nižje porabe komprimiranega zraka. Sistem izbere med kompresorji glede na nadzor enakomerne obrabe in na delovne ure.

Za naš način rabe komprimiranega zraka v proizvodnem procesu je najprimernejši način enakomerne porabe z najdaljšim časom obratovanja v območju nizke hitrosti. Kompresorji pri takem načinu delujejo po prednostnih shemah.

Kadar pride v poštev izkoriščanje odpadnega toplega zraka za gretje vode, smo pri nastavljanju shem upoštevali predvsem rabo kompresorja v drugi postaji. V proizvodnem procesu, kjer je poraba toplotne vode velika, prednostno deluje kompresor 26 kW, pri večjih obremenitvah sistema komprimiranega zraka se dodatno vklopi kompresor 22 kW, da pokrije razliko. Kompresor 37 kW je v stanju pripravljenosti. Ta shema delovanja se izvaja med četrto uro zjutraj in šesto uro popoldne. Med šesto uro popoldan do četrte ure zjutraj prevzame prioriteto delovanja kompresor 37 kW, za pomoč pri doseganju tlačnih razlik je kompresor 22 kW. Kompresor 26 kW je v stanju pripravljenosti. Prednostni shemi se izmenjujeta prek časovnika krmilnega sistema ponavljajoče se prek celega tedna.

Kompresorji so nastavljeni za optimalno delovanje na 80 %. Delujejo na tlačnem območju med 7,2 in 7,6 bara. Zaradi novega obrata in novega krožnega sistema smo sistem komprimiranega zraka dvignili na 7,6 bara. Za daljinski nadzor delovanja postaje so kompresorji povezani na že obstoječ nadzorni sistem RC WARE.

Na obeh kompresorjih imamo nameščena kombinirana zračna filtra, ki omogočata učinkovito zmanjšanje oljnih aerosolov, vlažnih prašnih delcev in morebitni preostali kondenzat oziroma vodne kapljice v komprimiranem zraku. Odvod nečistoč iz kombiniranih filtrov je priključen na napeljavo odvoda kondenzata iz kompresorjev, ki je speljan v oljno-vodni separator.



Slika 12: Shema kompresorske postaje  
(Vir: podjetja Filc, 2022)

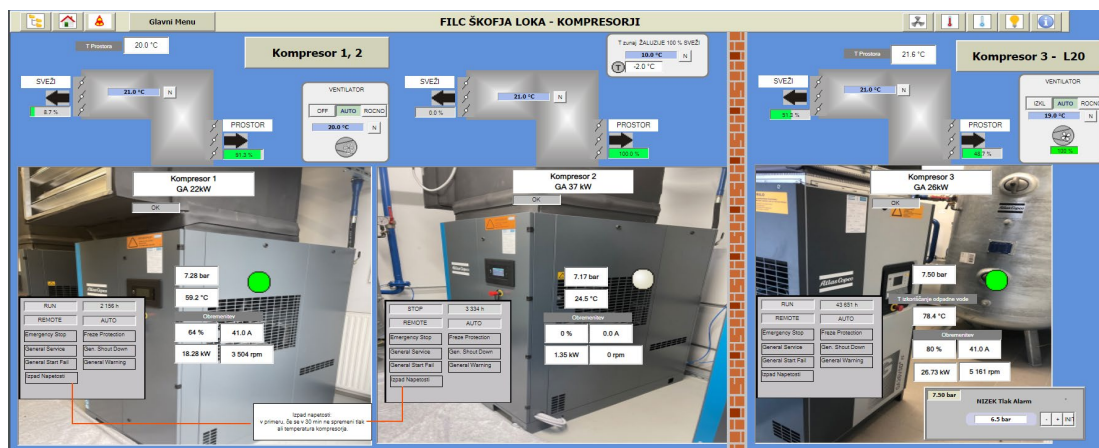
## 4 ANALIZA OBNOVE

Z obnovo kompresorske postaje in z menjavo kompresorjev pričakujemo nekaj pozitivnih sprememb k bolj zanesljivi proizvodnji stisnjenega zraka. Primerjali bomo delovanje kompresorske postaje pred obnovo in po njej ter ali smo dosegli primarno zahtevo, da zagotovimo zadostno količino stisnjenega zraka za nemoteno delovanje proizvodnje.

Uspešnost izvedbe obnove in menjave kompresorske opreme ocenimo s pomočjo meritev in z analizo stanj pred obnovo in po njej. Najbolj verodostojen kazalnik o učinkovitem delovanju kompresorjev je razmerje vložene energije v kWh na proizveden 1 Nm<sup>3</sup> stisnjenega zraka na določen tlak.

Energetske sisteme in delovanje proizvodnega procesa spremljamo s programom RC Ware, prek katerega izvajamo tudi monitoring delovanja kompresorjev in razmere v kompresorskih postajah.

Delovanje kompresorjev spremljamo z meritvami tlaka na izhodih, s časovnim obratovanjem in porabo električne energije. Zato določanje učinkovitosti delovanja kompresorjev prek razmerja vložene energije na proizvodnjo stisnjenega zraka na določen tlak ne bo mogoče izvesti. Določanje uspešnosti obnove bomo preverjali s pomočjo opazovanj proizvodnje stisnjenega zraka, primerjave meritev ter pregleda razmer pred obnovo in po njej.



Slika 13: Monitoring v programu RC Ware  
(Vir: podjetje Filc, 2023)

## 4.1 Opis razmerij pred obnovo in po njej

Za proizvodnjo komprimiranega zraka v podjetju imamo dve kompresorski postaji. Prva kompresorska postaja je imela dva starejša kompresorja, ki sta bila ob obnovi zamenjana z zmogljivejšima in sodobnejšima. Druga kompresorska postaja ima en kompresor novejše izdelave z možnostjo izkoriščanja odpadne toplote za ogrevanje sanitarne vode za uporabo v bližnjem proizvodnem obratu.

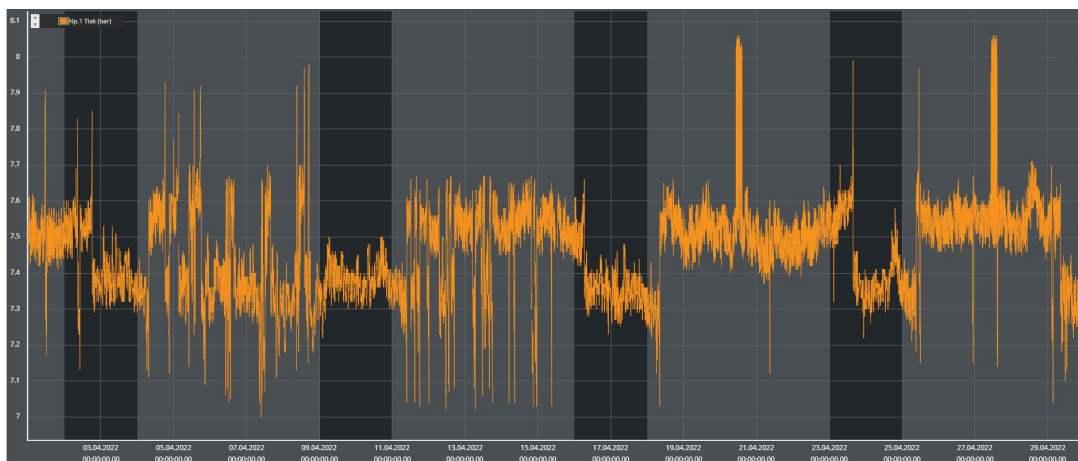
Zaradi širitev podjetja in gradenj novih proizvodnih linij so bili v konicah porabe komprimiranega zraka kompresorji na mejah preobremenjenosti. V skrajnih primerih, ko je eden od kompresorjev zaradi preobremenitve izpadel iz sistema, je bila kapaciteta komprimiranega zraka v sistemu že na meji zagotavljanja zadostne količine zraka za nemoteno delovanje proizvodnega procesa.

Ker sta bila kompresorja že iztrošena, smo se odločili za menjavo kompresorjev in obnovo prve kompresorske postaje. Regulacija starih kompresorjev je bila z obremenitvijo in razbremenitvijo, kar pomeni, da se pri polni tlačni posodi oziroma pri doseženem tlaku motor kompresorja zaustavi. Med porabo, ko se komprimiran zrak iz tlačne posode porabi, se motor kompresorja ponovno vklopi in tako deluje konstantno. Zaradi prepogostega izklapljanja so kompresorji zasnovani tako, da se po nekajminutnem prostem teku izklopi motor in pri tem še vedno porablja približno 25 % električne energije.

Stara kompresorja smo zamenjali z novima, z brezstopenjsko frekvenčno regulacijo hitrosti elektromotorja. Kompresorji s frekvenčno regulacijo omogočajo prilagajanje proizvodnje komprimiranega zraka glede na trenutno porabo in to z najnižjo mogočo porabo električne energije. Pri frekvenčnem reguliranju se v povprečju prihrani 30 % energije glede na energijo, ki jo porabi kompresor s stalno hitrostjo.

Meritve tlaka izvajamo neposredno iz kompresorja v sistem, kar enačimo s tlakom v celotnem omrežju komprimiranega zraka. Na tlačni posodi imamo tlačni senzor, ki prek centralnega krmilnika krmili optimalno delovanje vseh kompresorjev, vendar iz njega ne nadzorujemo in ne beležimo vrednosti dejanskega stanja tlaka v omrežju.

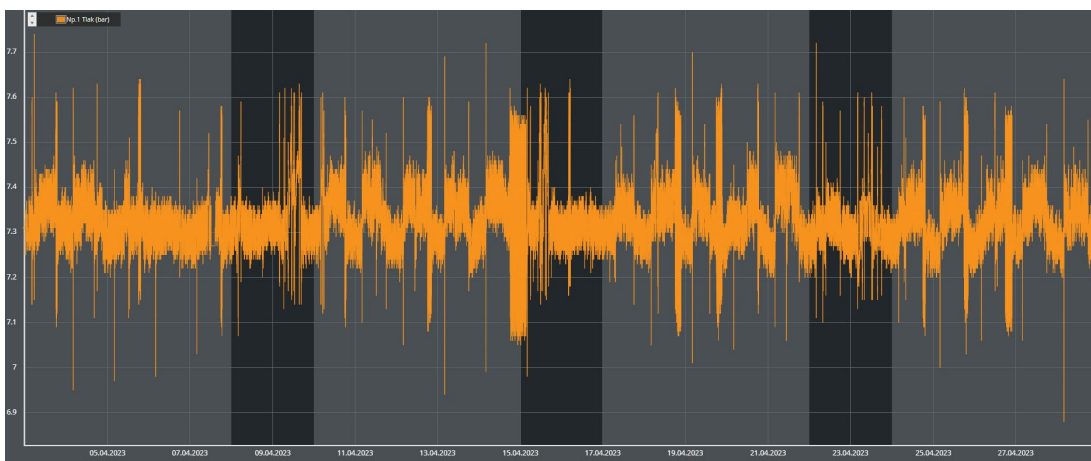
Pogledali si bomo tlačno stanje sistema pred obnovo in po njej na mesečni in dnevni ravni ter s komentarji analizirali delovanje kompresorjev in stanje tlaka v sistemu neodvisno od količine rabe komprimiranega zraka.



Slika 14: Mesečno stanje tlaka pred obnovo  
(Vir: podjetje Filc, 2024)

Slika 13 prikazuje obdobje enega meseca in stanje tlaka v omrežju med delovanjem starih kompresorjev. Razvidna so velika nihanja vrednosti končnih tlakov. Prav tako je razviden način delovanja starih kompresorjev z obremenitvijo/razbremenitvijo, kar razberemo iz večjega razpona tlaka med maksimalno in minimalno vrednostjo.

S slike ugotavljamo, da pri tovrstnem načinu proizvodnje komprimiranega zraka kompresorji težje zagotavljajo rabo komprimiranega zraka oziroma so odzivni časi večji na spremembe tlačnega razmerja v sistemu komprimiranega zraka, kar povzroča bolj nestanovitno stanje v tlačnem sistemu. Zaradi zakasnelega delovanja sledenja rabe komprimiranega zraka so morali kompresorji pred obnovo premagovati večje tlačne razlike v sistemu.



Slika 15: Mesečno stanje tlaka po obnovi  
(Vir: podjetje Filc, 2024)

Slika 14, na kateri je graf stanja tlaka iz kompresorja po obnovi, nam pove, da gre za bolj zgoščeno, nenehno reguliranje proizvodnje komprimiranega zraka. Gre predvsem za drugačno delovanje kompresorjev. Hitrost delovanja kompresorjev se nenehno prilagaja glede na rabo komprimiranega zraka končnih porabnikov. Na sliki se to kaže v bolj zgoščenem prikazu grafa in v manjših nihanjih maksimalne in minimalne vrednosti tlaka komprimiranega zraka v sistemu.

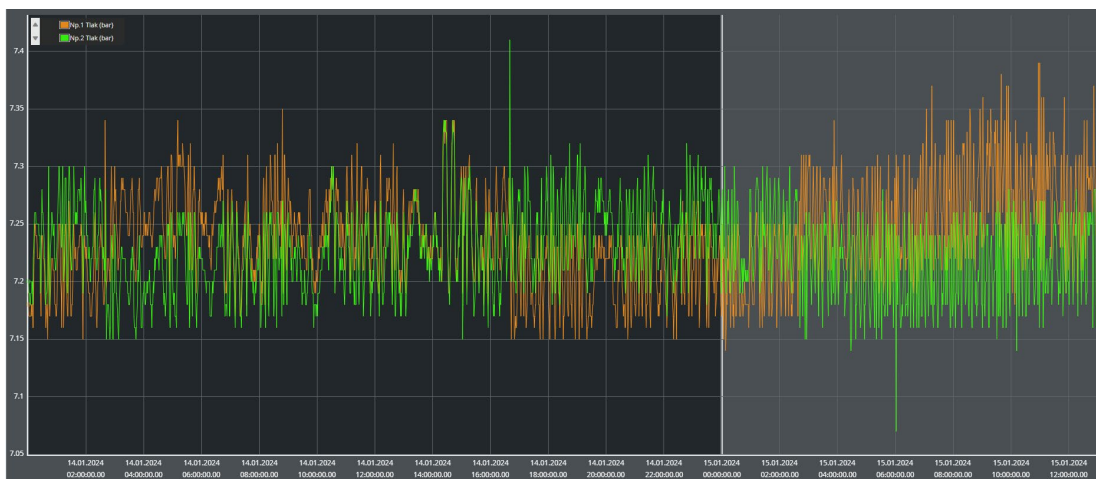
Za še boljši prikaz razlike delovanja kompresorjev med obnovo in po njej bomo pogledali delovanje na dnevni ravni. Na sliki 15 lahko vidimo bolj podrobna dnevna nihanja tlaka oziroma prilagajanja delovanja kompresorjev glede na rabo komprimiranega zraka, neodvisna na porabo končnih odjemalcev. Primerjamo oba stara in oba nova kompresorja.

Stara kompresorja sta bila merjena na skupnem merilniku pri izhodu iz kompresorja pred tlačno posodo, zato sta grafa na sliki pred obnovo praktično enaka. S slike se lepo vidi manjša intenziteta tlaka, kar pomeni počasnejše prilagajanje proizvodnje komprimiranega zraka glede na potrošnjo oziroma rabo zraka.



*Slika 16: Dnevno stanje tlaka pred obnovo  
(Vir: podjetje Filc, 2024)*

Pri novih kompresorjih na dnevni ravni vidimo bolj izrazito, sorazmerno enakomerno sledenje proizvodnje komprimiranega zraka glede na porabo komprimiranega zraka. Tako opazimo, da frekvenčno regulirani kompresorji hitreje sledijo in uravnavajo proizvodnjo z rabo komprimiranega zraka. Prav s koničnimi vrednostmi tlaka vidimo prilagajanje hitrosti delovanja kompresorjev.



*Slika 17: Dnevno stanje tlaka po obnovi  
(Vir: podjetje Filc, 2024)*

Z grafom razberemo, da smo z menjavo kompresorjev zanesljivo zagotovili zadostne količine komprimiranega zraka in s tem bolj stabilen sistem proizvodnje komprimiranega zraka. Prek nadzornega sistema in v samem proizvodnem procesu ugotavljamo, da smo primarni cilj obnove kompresorske postaje uspešno dosegli. Zastoje proizvodnih linij zaradi premajhne količine komprimiranega zraka smo odpravili, pri tem tudi v povišanih konicah porabe dosegamo zadostno, želeno vrednost tlaka komprimiranega zraka pri končnih porabnikih v proizvodnem procesu. Uspešno doseganje zadostnih količin se pokaže predvsem pri izrednih dogodkih, kadar je povečana poraba komprimiranega zraka, npr. pri letnih remontih. V primeru, ko zunanji izvajalec čisti s suhim ledom, se poraba komprimiranega zraka znatno poveča, prav tako med čiščenjem proizvodnih linij. Takrat kompresorji uspešno zagotavljajo dobavo zadostne količine komprimiranega zraka za delovanje ostalih proizvodnih procesov.

## 4.2 Učinkovita raba električne energije

Znano je, da pri delovanju kompresorjev porabimo veliko električne energije in da je komprimiran zrak kot energija ena od dražjih oblik energije. Poraba električne energije za proizvodnjo komprimiranega zraka znaša približno 5 % celotne električne energije v proizvodnem procesu našega podjetja.

Poraba električne energije, ki jo porabijo kompresorji za delovanje, nas je vedno zanimala predvsem s finančnega vidika. Zato merimo samo porabo električne energije za delovanje kompresorjev. S tega vidika bo primerjavo porabe električne energije pri delovanju kompresorjev pred obnovo in po njej težje določiti, ker za učinkovitost delovanja ne merimo količine proizvedenega komprimiranega zraka



glede na vloženo električno energijo. Tako razmerja vložene energije na proizveden stisnjen zrak na določen tlak ne bo moč določiti.

Proizvodni proces podjetja je heterogen, kar vpliva tudi na uporabo komprimiranega zraka glede na tehnološke postopke. V proizvodnem procesu nimamo vgrajenih merilnikov za količino porabljenega komprimiranega zraka. Količino komprimiranega zraka na porabnikih spremljamo z vgrajenimi indikatorji trenutnega stanja tlaka v proizvodnem procesu.

Specifično porabo energije podjetje spremlja glede na produkcijo proizvodnega procesa, izraženo v kilogramih, tako tudi porabo električne energije za pripravo komprimiranega zraka vežemo na produkcijo v kilogramih. Za oceno oziroma kriterij, po katerem želimo ugotoviti učinkovito rabo energije, vzamemo razmerje med količino porabljene električne energije za delovanje kompresorjev in produkcijo celotne proizvodnje, merjene v kilogramih, pred obnovo in po njej. Rabo električne energije bomo primerjali na mesečni ravni za dve posamezni leti. Primerjali bomo leto pred obnovo (2022) z letom 2023 po obnovi kompresorske postaje.

	Produkcija v letu 2022 v kg	Leto 2022 – KZ v kWh	Sp. poraba kWh/kg
Januar	2.110.541	24.660	0,01168
Februar	1.854.245	22.951	0,01238
Marec	2.694.110	26.606	0,00988
April	2.222.189	24.731	0,01113
Maj	2.507.315	26.941	0,01075
Junij	2.505.136	27.000	0,01078
Julij	2.489.474	27.679	0,01112
Avgust	2.197.475	25.914	0,01179
September	2.115.837	24.161	0,01142
Oktober	2.161.647	22.971	0,01063
November	2.072.281	19.704	0,00951
December	1.253.902	16.734	0,01335

*Tabela 5: Poraba električne energije v letu 2022  
(Lastni vir)*

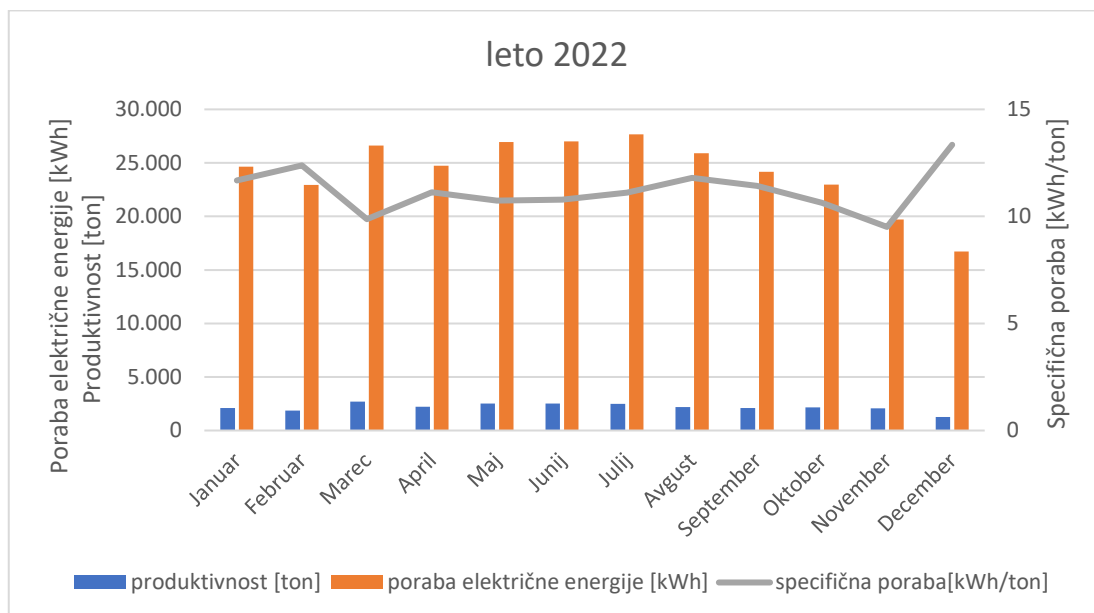
Tabela 6 prikazuje specifično in dejansko porabo električne energije za proizvodnjo komprimiranega zraka glede na produkcijo proizvodnih linij v letu 2022. Kompresorji so glede na delovanje proizvodnih linij letno porabili 290.053 kWh električne energije za skupno produkcijo 26.184.152 kg končnega produkta. Indeks specifične porabe nam bo s primerjavo med leti pokazal učinkovitejšo rabo električne energije glede na proizvedene količine.

Za lažji prikaz podatkov porabe energije za leto 2022 glede na produktivnost proizvodnih linij smo na slikah z grafičnim prikazom produktivnost izrazili v tonah. Na

grafu se vidi, koliko električne energije smo porabili za delovanje kompresorjev med celotnim obratovanjem proizvodnega procesa glede na produktivnost proizvodnih linij v času enega leta. Marca in novembra smo tako glede na ostale mesece porabili manj električne energije za delovanje kompresorjev glede na produktivnost proizvodnih linij, posledično je specifična poraba manjša.

V poletnih mesecih vidimo, da gre za povečano rabo komprimiranega zraka in s tem tudi povečano porabo električne energije za delovanje kompresorjev. Ker se produktivnost ni sorazmerno povečala z rabo električne energije, je specifična poraba temu primerno višja in s tem manj učinkovita uporaba električne energije glede na marec in november. Najvišja vrednost specifične porabe je v februarju, kar ga kaže kot najučinkovitejšega, kljub relativno nižji porabi električne energije in manjšim proizvedenim količinam. V proizvodnih linijah smo tako gospodarno ravnali s potrošnjo električne energije za delovanje kompresorjev.

Učinkovitost rabe električne energije za delovanje kompresorjev je predvsem odvisna od tehnološkega postopka na proizvodnih linijah. V podjetju imamo različne proizvodne procese, pri katerih se uporabljajo različni postopki. Pri različnih postopkih samo na eni proizvodni liniji se raba komprimiranega zraka razlikuje, kar dodatno pojasnjuje odstopanja porabe električne energije in produktivnost proizvodnih linij med meseci.



Slika 18: Poraba električne energije v letu 2022  
(Lastni vir)

Decembra 2022 poraba električne energije pade zaradi začetka del obnove. Kompresor smo prestavili na drugo lokacijo v podjetju, kjer nismo spremljali porabe

električne energije, zato je poraba najmanjša in s tem posledično specifična poraba večja.

V tabeli 7 vidimo, da sta se poraba električne energije in produktivnost v letu 2023 povečali. Kompresorji so za delovanje proizvodnih linij porabili 334.377 kWh električne energije, produkcija proizvodnih linij je 31.187.052 kg končnega proizvoda.

	Produkcija v letu 2023 v kg	Leto 2023 – KZ v kWh	Sp. poraba kWh/kg
Januar	2.079.563	24.072	0,01158
Februar	2.253.984	20.595	0,00914
Marec	2.514.307	26.745	0,01064
April	2.863.765	28.956	0,01011
Maj	2.963.920	28.833	0,00973
Junij	2.720.018	28.201	0,01037
Julij	2.505.363	28.739	0,01147
Avgust	2.583.154	28.195	0,01092
September	2.736.067	30.688	0,01122
Oktober	2.837.826	31.183	0,01099
November	2.589.792	29.591	0,01143
December	2.539.294	28.578	0,01125

*Tabela 6: Poraba električne energije v letu 2023  
(Lastni vir)*

V prvih dveh mesecih leta 2023, v času obnove kompresorske postaje, je poraba električne energije spremljana samo na kompresorju v drugi kompresorski postaji zaradi premestitve enega od kompresorjev na drugo lokacijo za čas obnove. Le-tega nismo povezali v sistem spremljanja porabe električne energije, zato se pri prikazanih količinah kaže kot manjša poraba električne energije.

Iz tabele 7 razberemo, da se je produkcija povečala, kar pojasnjuje začetek obratovanja nove proizvodne linije.

Poraba električne energije za delovanje kompresorjev v septembru in oktobru je najvišja v letu, vendar zaradi relativne visoke produktivnosti je specifična poraba v povprečnih vrednostih za leto 2023. V aprilu in predvsem v maju smo imeli največjo produkcijo v letu. Poraba električne energije v teh dveh mesecih je bila sorazmerna s produktivnostjo, zato je koeficient specifične porabe nizek in s tem najnižji v letu 2023. Tako imamo maja najučinkovitejšo rabo električne energije za delovanje kompresorjev.

Najvišja vrednost specifične porabe je v juliju, kjer je razmerje produktivnosti proizvodnih linij in porabe električne energije za delovanje kompresorjev večje in s

tem tudi največje v letu 2023. S tega vidika smo v juliju najbolj neučinkovito rabili električno energijo za delovanje kompresorjev.



*Slika 19: Poraba električne energije v letu 2023*  
(Lastni vir)

Tudi v letu 2023 nihanje porabe električne energije in produktivnosti proizvodnih linij ne odstopa bistveno. Pri heterogenem proizvodnem procesu se poraba električne energije spreminja že z delovanjem proizvodnih linij. Prav tako je poraba komprimiranega zraka za proizvodne procese različna glede na proces in produkt, kar se odraža tudi v porabi električne energije za delovanje kompresorjev.

Za ugotovitev, če smo z novimi kompresorji in projektom obnove pripomogli k bolj učinkoviti rabi električne energije, si bomo pogledali leto 2022 pred obnovo in leto 2023 po obnovi. Primerjali bomo specifično porabo med letoma in skušali ugotoviti uspešnost obnove glede učinkovite rabe električne energije.

Primerjava leta 2023 z 2022 kaže na porast porabe električne energije in višje količine proizvedenih produktov. Produkcija je narasla zaradi obratovanja nove proizvodne linije. Povečano porabo električne energije pa pripisujemo večji proizvodnji komprimiranega zraka z novejšima, bolj zmogljivejšima kompresorjema. Uspešnost učinkovite rabe električne energije je prikazana v tabeli 8, kjer primerjamo specifično porabo kWh/kg med posameznima letoma.

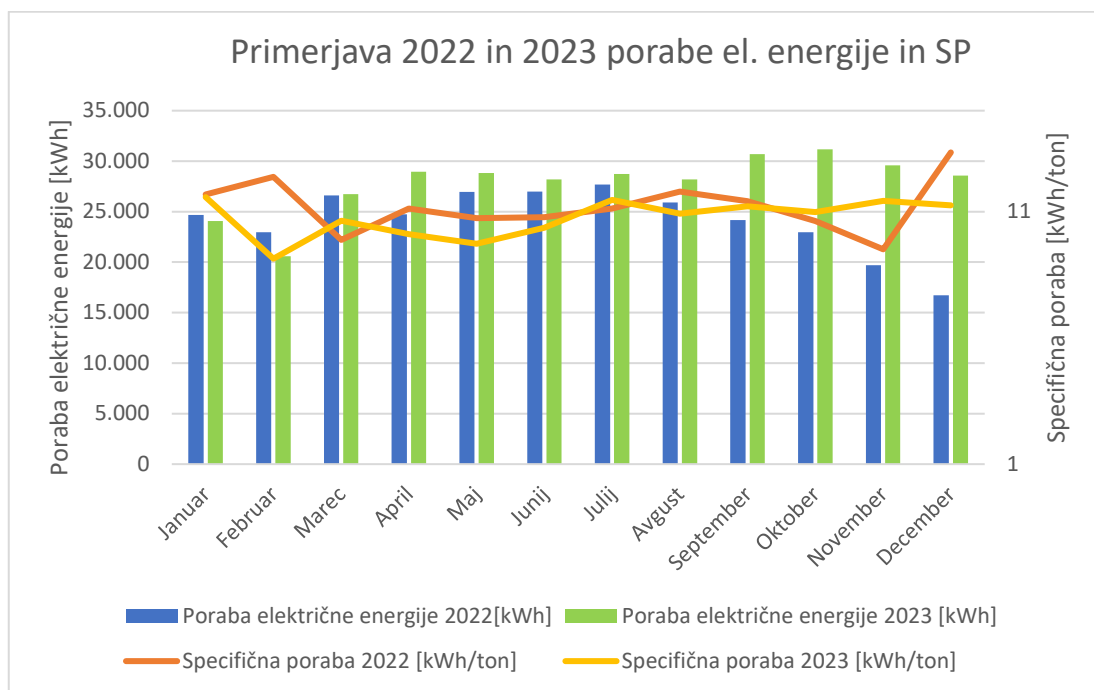
	Sp. poraba kWh/kg (2022)	Sp. poraba kWh/kg (2023)	Primerjava 2023/2022
Januar	0,01168	0,01158	99,07 %
Februar	0,01238	0,00914	73,82 %
Marec	0,00988	0,01064	107,71 %
April	0,01113	0,01011	90,85 %
Maj	0,01075	0,00973	90,54 %
Junij	0,01078	0,01037	96,20 %
Julij	0,01112	0,01147	103,17 %
Avgust	0,01179	0,01092	92,56 %
September	0,01142	0,01122	98,22 %
Oktober	0,01063	0,01099	103,40 %
November	0,00951	0,01143	120,17 %
December	0,01335	0,01125	84,33 %
			96,67 %

*Tabela 7: Primerjava specifične porabe električne energije  
(Lastni vir)*

Specifična poraba je parameter razmerja med porabo električne energije in produktivnostjo. Produktivnost je količina proizvedenega blaga proizvodnih linij, izražena v kilogramih oziroma v tonah za nazornejši grafični prikaz. Poraba električne energije je vezana na delovanje kompresorjev, ki so proizvedli komprimiran zrak za proizvodni proces, s katerim smo zagotovili učinkovitejšo produktivnost proizvodnih linij.

V tabeli 8 smo s pomočjo specifične porabe obeh let primerjali kompresorje, kako učinkovito oziroma varčneje so uporabljali električno energijo. Skrajno desni stolpec primerja leto 2023 z 2022 in nam prikazuje učinkovitost rabe električne energije po mesecih v letu. V mesecih, ko so vrednosti večje od 100 %, prihranka ni bilo oziroma pri vrednostih, manjših od 100 %, je poraba električne energije manjša po umestitvi novih kompresorjev.

Grafični prikaz primerjave porabe električne energije v kWh in specifično porabo iz tabele 3 zaradi boljšega pregleda v grafu izražamo v kWh/tono.



**Slika 20: Primerjava porabe električne energije med letoma 2022 in 2023**  
(Lastni vir)

Pojasniti je treba, da za december 2022 ter januar in februar 2023 niso prikazani popolni podatki porabe električne energije, saj v času obnove kompresorske postaje za prestavljen kompresor nismo spremljali porabe električne energije. Kljub temu lahko s slike 19 razberemo, da smo v letu 2023 porabili več električne energije za delovanje kompresorjev kot v letu 2022. Višjo porabo električne energije prepisujemo začetku delovanja nove proizvodne linije.

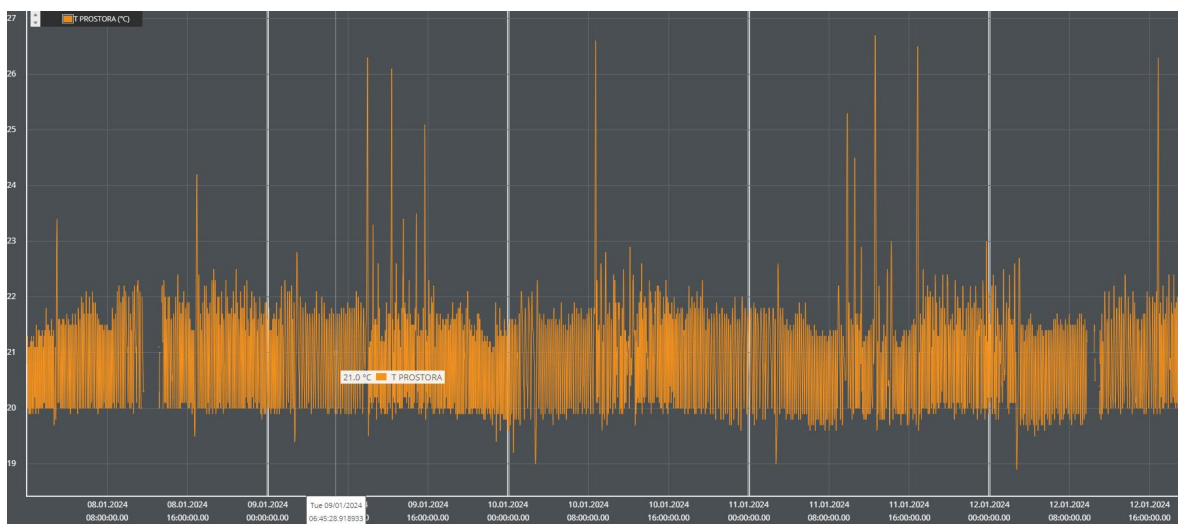
Pričakovali smo približno enako porabo oziroma manjši prihranek električne energije zaradi zmogljivejših, močnejših, novih kompresorjev. Novi frekvenčno regulirani kompresorji zagotavljajo boljše in enakomernejše delovanje.

Pri pregledu učinkovite rabe električne energije pridemo do končne ugotovitve, da smo z obnovo kompresorske postaje in umestitvijo novih, zmogljivejših kompresorjev naredili korak bližje k bolj učinkoviti rabi energije.

### 4.3 Temperatura kompresorske postaje

Z namenom optimalne zagotovitve kakovostnega odvzema zraka pri delovanju kompresorjev smo vgradili avtomatsko krmiljenje žaluzij. V preteklosti, pred obnovo, smo zaradi majhnega prostora kompresorske postaje prostor prisilno hladili z ventilatorjem, saj so se v vročih mesecih kompresorji pregrevali. Obratno smo imeli težave v mrzlih zimskih dneh, ko so zaradi prehladnega odvzema zraka kompresorji izpadli iz sistema. Po obnovi tovrstnih izpadov zaradi previsoke oziroma prenizke temperature vleka zraka v kompresorja nismo beležili.

Z avtomatsko reguliranimi žaluzijami smo dosegli, da imamo v povprečju temperaturo približno 20 °C znotraj prostora kompresorske postaje.



Slika 21: Temperatura kompresorske postaje po obnovi  
(Vir: podjetje Filc, 2024)

Iz monitoringa vidimo nenehno uravnavanje temperature kompresorske postaje s povprečno temperaturo postaje približno 22 °C. Monitoring je bil izveden v zimskem času z zunanjo temperaturo pod lediščem in nam kaže, da kljub zunanji temperaturi pod lediščem v kompresorski postaji dosežemo najnižjo temperaturo 18 °C.

Z žaluzijami smo uspešno omejili izpad kompresorjev, izboljšali kakovost vleka svežega zraka v kompresorje in dodatno izboljšali stabilnost omrežja dobave komprimiranega zraka.

## 5 ZAKLJUČEK

Še vedno velja, da je pri pridobivanju komprimiranega zraka poraba električne energije potratna, zato želimo celoten sistem komprimiranega zraka in proizvodnje optimizirati, zagotoviti optimalno delovanje kompresorjev, odpraviti puščanja v sistemu in pri končnih porabnikih ter izkoristiti odpadno toploto pri delovanju kompresorjev.

Z obnovo kompresorske postaje in umestitvijo sodobne kompresorske tehnologije smo naredili prvi korak k bolj učinkoviti rabi energije. Vendar so za bolj učinkovito in trajnejšo rabo energije potrebni še dodatni ukrepi. Z dodatnim in natančnejšim nadzorom rabe energije za delovanje kompresorske postaje, ki bi ga lahko uvedli z merilnimi mesti za merjenje količine proizvedenega komprimiranega zraka glede na vloženo energijo, bi lahko natančneje določali učinkovitost rabe energije kompresorske postaje.

S pisanjem diplomskega dela sem poglobil in pridobil nova znanja. Med prebiranjem in branjem literature sem razširil vedenje in pridobil znanje za praktično uporabo in razumevanje obravnavane tematike. S koordiniranjem procesa obnove sem dobil dodatne izkušnje in globlji vpogled v vodenje projekta.



## 6 LITERATURA IN VIRI

Atlas Copco d.o.o. (2022). *Knjiga z navodili GA 22 VSDs, GA 37 VSDs. Prevod izvirnih navodil.* Kraj: Trzin

Atlas Copco d.o.o. (2018). *Knjiga z navodili GA 26 VSD+ . Prevod izvirnih navodil.* Kraj: Trzin

Čudina, M. (1987). *Črpalke kompresorji in vodne turbine.* Ljubljana: Tehniška založba Slovenije

Jenegro projekt d.o.o. (2022). *Projekt izvedbenih del kompresorske postaje.* Kraj: Domžale

Kožuh, M. in Špendel, M. (b. l. ). *Varčno z energijo pri rabi komprimiranega zraka.* Pridobljeno 24. 2. 2023 z naslova [https://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/arhiv\\_aure/v1-kompzrak.pdf](https://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/arhiv_aure/v1-kompzrak.pdf)

Prochom-komp. *Princip delovanja vijčnega kompresorja.* Pridobljeno 24. 2. 2023 z naslova <https://www.prochrom-comp.si/izobrazevalne-strani/kompresorji1/princip-delovanja-vijcnega-kompresorja>

Puhar, J. in Stropnik, J. (2003). *Krautov strojniški priročnik – 14. slovenska izdaja.* Ljubljana: Littera picta

Rant, Z. (2001). *Termodinamika: knjiga za uk in prakso (posodobljen ponatis).* Ljubljana: Fakulteta za strojništvo

Zorko B. (2010). *Termodinamični preračun vijčnega in batnega kompresorja.* Pridobljeno 20. 2. 2023 z naslova <https://core.ac.uk/download/pdf/67542798.pdf>

Žiga D. (2018). *Analiza učinkovitosti dobave komprimiranega zraka s kompresorji, krmiljenimi na vrtljaje.* Pridobljeno 17.10.2023 z naslova <https://repozitorij.uni-lj.si/Dokument.php?id=112785&lang=slv>