

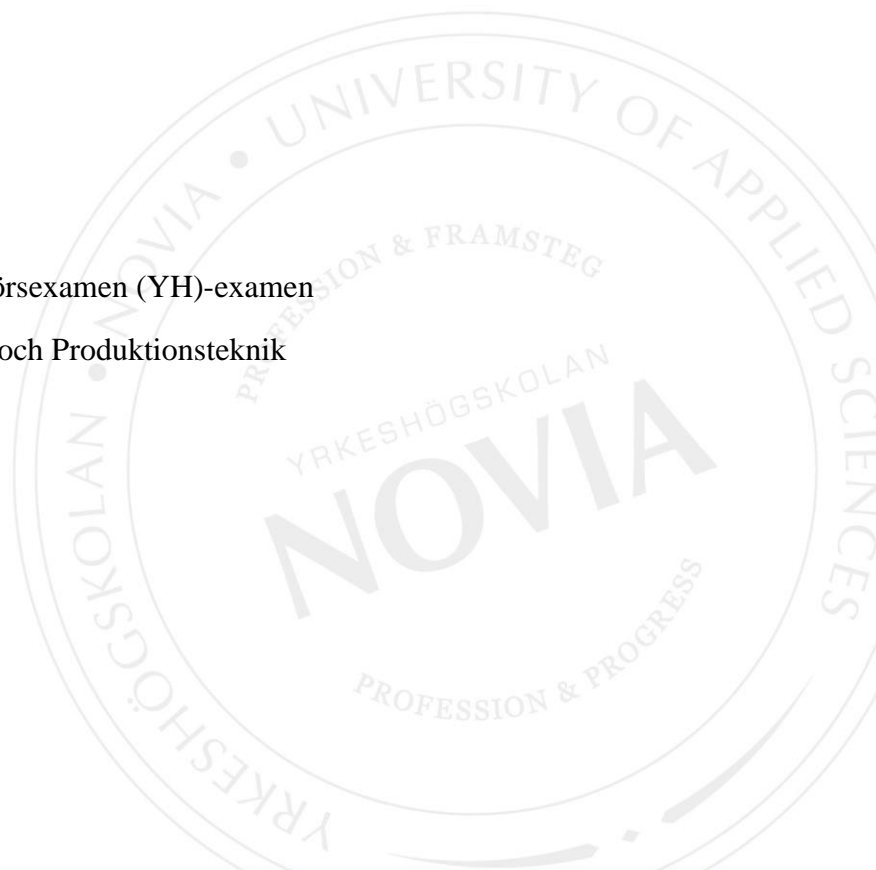
# **Kartläggning av tryckluftssystemet vid UPM i Jakobstad**

Marcus Enroth

Examensarbete för ingenjörsexamen (YH)-examen

Utbildningen för Maskin- och Produktionsteknik

Vasa 2020



## EXAMENSARBETE

Författare: Marcus Enroth

Utbildning och ort: Maskin och Produktionsteknik, Vasa

Inriktningalternativ: Drift och Energiteknik

Handledare: Rolf Dahlin, Yrkehögskolan Novia

Andreas Rönnqvist, UPM Jakobstad

Titel: Kartläggning av tryckluftssystemet vid UPM i Jakobstad

---

Datum 14.04.20 Sidantal 33

Bilagor 3

---

### Abstrakt

Detta examensarbete utfördes i samarbete med UPM i Jakobstad. Uppgiften var att undersöka och kartlägga fabriken tryckluftsnätverk. Till uppgiften hörde även att granska kostnader för tryckluftsproduktion, samt även läckagekostnader.

Syftet med arbetet var att uppdatera ritningar för tryckluftens stamnätverk, samt att granska att allt som var ritat överensstämmer med verkligheten. Detta är viktigt ur drift, underhåll och arbets säkerhetssynvinkel, samtidigt som tid sparas när man inte behöver söka efter ventiler.

För att få en inblick i ämnet studerades först tryckluftens grundprinciper, kompressionstyper och tryckluftsbehandling. Material såsom utprintade flödesscheman, användarmanual över tryckluftsanläggningen och en läckagekartläggning fanns att fås från fabriken. Även kostnader för tryckluftsproduktion fanns tillgängliga. I den praktiska delen granskades tidigare ritningar med verkligheten och uppdateringar utfördes. På den del platser utfördes relativt stora förändringar. Kostnader för tryckluftsproduktion granskades och jämfördes med teoretiska kostnader. Dessutom beräknades även kostnader för läckage.

Resultaten från arbetet blev uppdaterade flödesscheman för fabriken. Kostnadsanalysen för tryckluftsproduktion visar att kostnaderna för el, avskrivningar, underhåll och andra kostnader på UPM överensstämmer med teori.

---

Språk: svenska

Nyckelord: tryckluft, kompressor, kartläggning

---

# OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Marcus Enroth

Koulutus ja paikkakunta: Kone- ja tuotantotekniikka, Vaasa

Suuntautumisvaihtoehto: Käyttö- ja energiatekniikka

Ohjaajat: Rolf Dahlin, Yrkeshögskolan Novia

Andreas Rönnqvist, UPM

Nimike: Paineilmaverkon kartoittaminen UPM Pietarsaassa

---

Päivämäärä 14.4.2020 Sivumäärä 33

Liitteet 3

---

## Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö toteutettiin yhteistyössä UPM Pietarsaaren kanssa. Tehtävänä oli tutkia ja kartoittaa tehtaan paineilmaverkkoa. Tehtävä sisälsi myös paineilman tuotantokustannusten sekä vuotokustannusten tutkimisen.

Työn tarkoituksena oli päivittää paineilman pääverkon piirustuksia ja tarkistaa, että kaikkia, mitä oli piirretty, vastaa todellisuutta. Tämä on tärkeää käyttöön, kunnossapidon ja työturvallisuuden kannalta, ja säästää samalla aikaa, kun venttiilejä ei tarvitse etsiä.

Paineilman peruseriaatteita, puristustyyppejä ja paineilmakäsittelyä tutkittiin aiheen ymmärryksen saamiseksi. Materiaali, kuten tulostettuja piirustuksia, paineilma-keskuksen käyttöohjeita ja vuotokartoitus oli saatavilla tehtaalta. Myös paineilman tuotantokustannuksia oli saatavilla. Käytännön osassa tarkasteltiin aiempia piirustuksia ja tehtiin päivityksiä. Paikoin tehtiin suhteellisen suuria muutoksia. Paineilman tuotannon kustannuksia tarkasteltiin ja verrattiin teoreettisiin kustannuksiin. Lisäksi laskettiin myös vuotojen kustannukset.

Työn tuloksena on päivitettyjä piirustuksia tehtaalle. Paineilman tuotannon kustannusanalyysi osoittaa, että UPM:n sähkö-, vähennys-, ylläpito- ja muut kustannukset ovat teorian mukaisia.

---

Kieli: ruotsi

Avainsanat: paineilma, kompressori, kartoitus

---

# BACHELOR'S THESIS

Author: Marcus Enroth

Degree Programme: Mechanical and Production Engineering, Vaasa

Specialization: Operational and Energy Technology

Supervisors: Rolf Dahlin, Yrkeshögskolan Novia

Andreas Rönnqvist, UPM

Title: Survey of Compressed Air System at UPM in Jakobstad

---

April 14, 2020    Number of pages 33

Appendices 3

---

## **Abstract**

This bachelor's thesis was done in collaboration with UPM in Jakobstad. The task was to investigate and map the factory's compressed air network. The task also included examining costs for compressed air production, as well as leakage costs.

The purpose of this work was to update the compressed air's core networks charts, and to check that everything that was drawn exists. This is important from an operation, maintenance and occupational safety point of view, while saving time when there is no need to look for valves.

In order to gain an insight into the subject, the basic principles of compressed air, different types of compression and compressed air treatment were studied. Material, such as printed flow charts, manual of the compressed air system, and leakage mapping were also available from the factory. Costs for compressed air production were also available. In the practical part old charts were reviewed and updated. In some places relatively large changes were made. Cost for compressed air production were reviewed and compared with theoretical costs. In addition, leakage costs were also calculated.

The results of the work were updated flow charts for the factory. The cost analysis for compressed air production shows that the costs of electricity, depreciation, maintenance and other costs are in line with theory at UPM.

---

Language: Swedish

Key words: Compressed air, compressor, map

---

# Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund .....	1
1.2	Syfte .....	1
1.3	Avgränsningar .....	1
1.4	Företagsbeskrivning .....	2
1.5	Disposition .....	2
2	Teori .....	4
2.1	Tryckluft.....	4
2.1.1	Cylinderpneumatik .....	4
2.1.2	Roterande rörelse.....	4
2.1.3	Andra tryckluftsarbeten.....	5
2.2	Tryckluftens egenskaper .....	5
2.3	Tryckluftssystem .....	5
2.3.1	Statiska kompressorer.....	5
2.3.2	Dynamiska kompressorer .....	6
2.3.3	Torkning och kylning .....	6
2.3.4	Kvalitetskrav .....	7
2.4	Tryckluftfördelning .....	8
2.5	Läckage och läckagesökning .....	9
2.6	Kostnader .....	9
3	Metod .....	12
3.1	Uppgift .....	12
3.2	Utförande.....	12
4	Resultat .....	13
4.1	Tryckluftssystemet vid UPM Jakobstad.....	13
4.1.1	Kompressorer .....	13
4.1.2	Lufttorkar .....	14
4.1.3	Tryckfilter.....	15
4.1.4	Kylvatten.....	16
4.1.5	Instrument- och arbetsluft.....	16
4.1.6	Luftmängd och kvalitetshantering.....	16
4.2	Kartläggning.....	17
4.3	Ritning av flödesschema .....	19
4.4	Sammanfattning av kartläggningen .....	20
4.5	Läckagekartläggning .....	22
4.6	Kostnadsuppföljningen.....	24

4.7	Förbättringsförslag.....	28
4.8	Kritisk granskning.....	28
4.9	Förslag till fortsatt forskning.....	29
5	Diskussion.....	30
6	Källförteckning.....	32

## **Bilageförteckning**

Bilaga 1. Tryckluftskostnader 2017–2019

Bilaga 2. Läckagekostnader

Bilaga 3. Läckage

## Figurförteckning

- Figur 1. Adsorptionstorkare
- Figur 2. Elektronisk ångavskiljare
- Figur 3. Trädhanterings instrumentluft (streckad linje) från arbetsluften på U-Bryggan.
- Figur 4. Egen skiss på rutigt papper
- Figur 5. B-Bryggan till fiberlinje 1 och kokeriet.
- Figur 6. Barkpannan.
- Figur 7. Excel-verktyg för ventilpositioner.
- Figur 8. Läckagekostnader
- Figur 9. Diagram på typisk procentuell livstidskostnad
- Figur 10. Kostnader procentuellt med formel 2
- Figur 11. Kostnader procentuellt med formel 3
- Figur 12. Kostnader procentuellt med faktisk elförbrukning



## **Ritningsförteckning**

**Ritningsnamn**

**Ritningsnummer**

Virtaus ja P&I-Kaavio

55068

Jakelukaavio

122453

## **Tabellförteckning**

- Tabell 1. Kostnadsstruktur för cellulosafabrik
- Tabell 2. Typisk livstidskostnad i procent
- Tabell 3. Procentuella kostnader med formel 2
- Tabell 4. Procentuella kostnader med formel 3
- Tabell 5. Procentuella kostnader enligt elförbrukning
- Tabell 6. Exempel 2019

# 1 Inledning

Detta examensarbete handlar om tryckluftssystemet vid UPM i Jakobstad. Fokus ligger i huvudsak på kartläggning av tryckluftssystemets stamnätverk. Teorin behandlar tryckluften i allmänhet, hur den skapas och vad den används till. Dessutom beskrivs kvalitetskrav, behandling av tryckluft samt tryckluftens kostnader. Utförandet behandlar metod och tillvägagångssätt. I slutet kommer resultatet av kartläggningen samt förslag på förbättringar.

## 1.1 Bakgrund

År 2004 tog UPM i Jakobstad i bruk en ny återvinningsanläggning. Hit hörde bland annat nya kompressorer samt nya kopplingar till den gamla, kvarblivna verksamheten. Nya ritningar ritades för nya linjer, men fiberlinjen blev till största delen oförändrad, vilket betyder att tryckluftssystemet på fiberlinjen förblev komplicerad. Detta har lett till att man ofta får leta länge var man skall stänga ventiler vid underhållssituationer. På vissa platser har flödesmätare inte gått att kalibrera eftersom luften flödat mot motsatt håll. Andra positioner saknar markeringar i verkligheten och på papper, vilket gör ventilerna ännu svårare att hitta.

## 1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete var att kartlägga tryckluftens stamnätverk. Viktigaste målet var att uppdatera tryckluftscheman samt granska att allt som är ritat överensstämmer med verkligheten. Behovet av korrekt ritade tryckluftscheman är viktigt vid drift, underhåll och ur arbetssäkerhetssynvinkel, så att man vid behov får stängt av tryckluften så att så lite som möjligt påverkas. Tid sparas också när man inte behöver söka efter var ventiler är. Man behöver heller inte oroa sig för vad som händer när allt är korrekt ritat på papper.

## 1.3 Avgränsningar

Fokus låg på kartläggningen av stamnätverket. Till en början var det tänkt att fördjupa sig på någon del av fabriken, men det skulle ha blivit för omfattande.

## 1.4 Företagsbeskrivning

UPM är en pionjär inom bioskogsindustrin och består av sex affärsområden. Hit hör UPM Biorefining, består av cellulosa-, såg-, och biobränslen. Omsättning 2018 låg på 10 483 miljoner euro. Man har 54 fabriker i 12 länder och anställer 19 000 i 46 olika länder. (UPM.fi, 2020)

På Alholmen i Jakobstad finns UPM:s cellulosafabrik, Alholmens sågverk, samt servicekontor för UPM Skog. Här förädlas virke från skogarna i närområdet till sågvara, cellulosa, papper och pappersprodukter samt energi. På fabriksområdet finns även BillerudKorsnäs pappersfabrik, Walki pappersförädlingsfabrik och Alholmens Krafts kraftverk. Cellulosafabriken har ungefär 300 anställda. (UPM Jakobstad, 2020)

Här tillverkas björk- och barrcellulosa av massaved. Av barrcellulosan gör man kartong, journalpapper och mjukpapper, medan björkcellulosan blir till etiketter och andra specialpapper. Dessutom förädlas den som råvara för biokomposit. (UPM Pulp, 2020)

Fabriken har en kapacitet på 800 000 ton cellulosa i året. Via Alholmens hamn, vilken också ligger nära fabriken, skeppas produkterna runtom i världen. (UPM Jakobstad, 2020)

## 1.5 Disposition

Här presenteras en beskrivning över vad som tas upp i varje kapitel, för att läsaren skall få en inblick i vad som behandlas i detta arbete.

Det första kapitlet, inledning, behandlar bakgrunden till arbetet, syftet och avgränsningar. Kapitlet avslutas med en företagsbeskrivning.

I det andra kapitlet tas teorin upp. Där beskrivs tryckluften i allmänhet, samt tryckluftstekniker. Kapitlet behandlar även behandling av tryckluft och avslutas med kostnader som uppstår vid framställning av tryckluft.

Det tredje kapitlet, metodik, innehåller uppgiften och tillvägagångssättet för att utföra uppgiften.

I Kapitel 4 tas resultatet upp. Det börjar med beskrivning av tryckluftssystemet vid fabriken och fortsätter med tryckluftssystemets kartläggning. Sedan kommer kostnadsuppföljning och läckagekostnader tas upp. Kapitlet avslutas med kritisk granskning, och förslag ges för fortsatt forskning.

I det femte kapitlet sammanfattas arbetet genom en diskussion. Där diskuteras bland annat arbetets gång, resultat och svårigheter.

Arbetet innehåller figurer, tabeller, ritningar och bilagor. Dessa finns sammanställda i förteckningar före inledningen. De bilagor och ritningar som hänvisas till i texten finns samlade i slutet av arbetet.

## 2 Teori

Detta kapitel behandlar tryckluft i allmänhet, kompressionstyper samt tryckluftsteknik. Även behandling av tryckluft kommer att beskrivas. Kapitlet avslutas med en inblick i kostnader som uppstår vid framställning av tryckluft.

### 2.1 Tryckluft

Luft finns överallt i jordens atmosfär. Luft är en gasblandning som består till största delen av volymen, 78 %, av kväve. Andra delar i luft är syre, 21 %, och argon, 0,93 %. Förutom dessa finns det även små mängder av koldioxid, helium, neon, metan, vattenånga med flera.

Det antas att luft är uppbyggd av endast gaser. Luft består dock också av små partiklar, aerosoler. En del av dessa partiklar uppstår naturlig, såsom damm och pollen, medan andra kommer från människans aktiviteter, det vill säga rök från bilar och industrin. Den genomsnittliga människan andas ungefär 16 kg luft per dag, vilket är en volym på 12,4 m<sup>3</sup>. (Livepure.com, 2019)

Massan av en gas som upptar ett utrymme kallas densitet. Molekylerna i luften upptar en viss del av utrymmet. Vid kompression trycks dessa molekyler närmare varandra, varpå de upptar mindre utrymme, jämfört med tidigare. När antalet luftmolekyler ökar i en given volym, ökar också massan. Vidare ökar densiteten när massan ökar. Vid ökad densitet ökar också trycket och blir på så sätt tryckluft. (Bright Hub Engineering, 2020)

Tryckluftens användning går att dela in i tre områden: cylinderpneumatik, att uppnå roterande rörelser samt tryckluftens utförda arbete (blåsning) (Hulkkonen, 2005)

#### 2.1.1 Cylinderpneumatik

Cylinderpneumatik används för att uppnå linjära rörelser. Den utgör en stor del av pneumatiken, och kan användas till många olika industriella uppgifter. Cylinderpneumatiken tillämpas individuellt och man bygger upp en helhet av standardiserade komponenter. (Hulkkonen, 2005)

#### 2.1.2 Roterande rörelse

För att uppnå roterande rörelse behövs olika typer av tryckluftsmotorer. Dessa kännetecknas av att de ofta är redo att tillämpas, och man endast behöver koppla maskinen till

tryckluftssystemet och vrida på ventilen så börjar den rotera. Vanligaste tillämningar av denna typ är tryckluftsverktyg, såsom mutter- och skruvdragare samt borrar och slipmaskiner. (Hulkkonen, 2005)

### **2.1.3 Andra tryckluftsarbeten**

Övriga tryckluftsapplikationer är målning, sandblästring, rengöring- och kylningsblåsning. Substanser, såsom pulver, kan förflyttas från transportfordon till lager med hjälp av tryckluft. Tryckluft används också som dämpare i exempelvis fordonsdäck. (Hulkkonen, 2005)

## **2.2 Tryckluftens egenskaper**

Tryckluften är ett väldigt lättanvänt medel med många bra egenskaper, vilket gör att det lämpar sig till många praktiska applikationer. Fördelar med tryckluftssystem är enkelhet och förmånligt inköpspris. Jämför med andra energiformer är tryckluft enkel att lagra och har bra transmissionskaraktistik, eftersom den dynamiska viskositeten är låg. Största nackdelen är den låga effektiviteten.

Tryckluft förflyttas lätt längs rörledningar. Luftens låga dynamiska viskositet gör att även den inre friktionen förblir låg, även vid stora flödesmängder och långa avstånd. Dessutom behöver man inga returledningar vid användning av tryckluft. (Kuukka, 2010)

## **2.3 Tryckluftssystem**

Det finns två allmänna regler för kompression av en gas. En av dem är statisk kompression och den andra dynamisk kompression. Efter kompression behandlas tryckluften av kylare, filter och vattenseparerare. (AtlasCopco, 2020)

### **2.3.1 Statiska kompressorer**

Principen för statiska kompressorer, även kallade displacementkompressorer, är att luften dras in i ett eller fler komprimeringskammrar, som sedan stängs från inloppet. Gradvis minskas volymen i varje kammare, vilket gör att trycket ökar. När man nått det inbyggda tryckförhållandet öppnas en port eller ventil och den trycksatta luften går vidare till utloppssystemet.

Det finns olika typer av statiska kompressorer. Till dessa hör fram- och återgående kompressorer, exempelvis kolvkompressorer, orbitalkompressorer och olika typer av

roterande kompressorer. En cykelpump är en simpel form av denna typ. En enkelverkande kompressor används endast ena sidan av kolven, medan dubbelverkande kompressorer använder båda sidorna. Tryckförhållandet är förhållandet mellan absolut tryck på inloppet och utloppet. Det betyder att en kompressor som suger in atmosfärstryck, d.v.s. 1 bar, och komprimerar den till 7 bars övertryck har ett tryckförhållande av 8. (AtlasCopco, 2020)

### **2.3.2 Dynamiska kompressorer**

Hos dynamiska kompressorer dras luft mellan bladen på ett snabbt roterande kompressionshjul och accelererar till en hög hastighet. Gasen släpps sedan ut via en diffusor, där den kinetiska energin omvandlas till statiskt tryck. För det mesta är dynamisk kompression en turbokompressor med axiellt eller radiellt flöde.

Dynamiska kompressorer ger en kapacitetskurva med variabel kapacitet och konstant tryck, medan displacementkompressorer har konstant kapacitet och variabelt tryck. (AtlasCopco, 2020)

### **2.3.3 Torkning och kylning**

Vatten är tryckluftens värsta fiende. Fukt leder till korrosion vilket leder till produktionsstopp. För att förhindra detta bör man sänka den relativa fuktigheten till under 50 %. Relativ luftfuktighet är relationen hur av hur mycket fukt luften kan innehålla utan att kondensera. Vid 100 % uppnås daggpunkten. När den relativa luftfuktigheten är under 50 % kan man i praktiken utesluta korrosionsbildning. Vid ökad temperatur kan luften ta upp mer vattenånga. (Trotec, 2020)

När tryckluften lämnar kompressorn innehåller den en viss mängd vattenånga. I rören kyls luft ner och trycket sjunker, vilket gör att vattenångan kondenseras. Detta ökar risken för driftstörningar. Tryckluften bör därför torkas, vilket är något man kan göra genom nerkyllning eller adsorption.

I en kyltork kondenseras vattenånga till droppar när temperaturen sjunker. Den består av två värmeväxlare och ett kylaggregat. Först strömmar luften in i den första värmeväxlaren och kyls ner av behandlad, kall luft. Den strömmar vidare till den andra värmeväxlaren och kyls ner ännu mer, till cirka 2 °C, av ett kylmedium. I detta skede har det mesta av vattnet skiljts ur från luften, varav den tappas av automatiskt av en dräneringsanordning. Härfter strömmar den torra luften igen genom den första värmeväxlaren och värms upp av den



mötande, varma, obehandlade luften. Gränsen för denna typ av tork är 0 °C, eftersom vattnet som skiljs ur fryser vid denna temperatur.

Adsorption betyder att ta till sig ett ämne utan att ingå en kemisk förening. Adsorptionstorkar består av två behållare, båda fyllda med torkmedel. Som torkmedel använder man sig av porösa material, såsom aluminiumoxid eller kiseldioxid, eftersom dessa har stor adsorptionsförmåga. Den ena torkar luften medan den andra reaktiveras. Dessa växlas om genom magnetventiler som styrs med tid. Hos mindre torkar sker reaktivering genom att blåsa in färdig torkad luft genom oxidbädden. Ungefär 15 % av den totala luftmängden går till detta. Vid reaktivering genom värmetillförsel minskar luftåtgången till 2–3 %.

Adsorptionstorkar ger luften en daggpunkt mellan -30 och -40 °C, vilket betyder att denna luft går att använda utomhus, även under vintern, utan att frysa. Torkmedlet förstörs av olja och lösgör dammpartiklar under torkning. På grund av detta måste man ha ett oljeavskiljande filter innan och stoftavskiljande filter efter adsorptionstorken. (Evensen & Ruud, 1995)

#### **2.3.4 Kvalitetskrav**

Efter kompressorer innehåller tryckluften alltid föroreningar. Till dessa hör vattenånga, olja, partiklar, bakterier och virus, samt gaser från miljön.

Fukt i luften sugas in genom kompressorn och blir genast till ånga p.g.a. hög temperatur efter kompression. I något skede sjunker temperaturen till daggpunkten och en del av ångan blir till vatten. Den enda kända metoden för att få bort vatten ut tryckluft är torkning.

I alla smorda kompressorer kommer olja med i tryckluften. I alla användningsområden utgör oljan inte direkt någon skada. Den enda nyttan är dock en viss grad av korrosionsskydd i rören. Om användningsområdet tillåter små mängder av olja kan man genom filtrering uppnå tillfredsställande resultat. Ifall man är i behov av helt oljelös tryckluft blir filtrering ifrågasatt p.g.a. stora tryckförluster och underhållsbehov. I sådana fall är det oftast mest lönsamt att använda sig av oljelösa kompressorer, även om dessa typer av kompressorer är dyrare att anskaffa.

Partiklar kommer med i insugsluften även genom filter. Även från kompressorer och rör lossnar slitagerester. Största delen av dessa avlägsnas via kondensatavlägsnaren, där de orsakar funktionsstörningar. Resten utgör ofta inga större skador. Vid kritiska platser används filter.

En del bakterier och virus dör av kompressionsvärmen, men resten far vidare till tryckluftssystemet. I industrin orsakar dessa inga större problem. I sjukhus, kemiindustri, samt framställning av jäster och antibiotika kan de vara väldigt besvärliga. Värmesteriliserande filter hjälper i dessa fall.

Framförallt i industrimiljön uppkommer ofta rökgaser och utsläpp från industrin. Dessa kan vara väldigt frätande på tryckluftssystemet. Det finns fall när rökgasers delar koncentrerats i adsorptionsfiltrens torkmedel. I dessa fall har det annars helt neutrala torkmedlet orsakat allergiska reaktioner för personer tvungna att hantera dem. Kompressorns insugsluft borde alltid tas från en plats där luften är så ren som möjligt. Ifall detta inte är möjligt kan man använda sig av en tvätt av insugsluft. (Airila, Hallikainen, Käpä, & Laurila, 1983)

## 2.4 Tryckluftfördelning

Tryckluftssystemets uppgift är att överföra tryckluften till användningsplatsen. Ofta är systemets uppbyggnad en kompromiss av anskaffningskostnaden, överföringsförlusten och systemets livslängd. Överföringsförluster, d.v.s. tryckfall i rören samt läckage, påverkar på hela systemets livslängd. Dessa är de viktigaste vid systemets planering och dimensionering.

Området man placerar tryckluftssystemet på varierar stort. Det viktigaste att ta i beaktande är överföringsavstånd och förbrukningsplatsernas fördelning. Systemen delas in i två typer: raka system och ringsystem.

Raka system är enkla och används oftast i små industrier och där förbrukningen är lika stora vid olika förbrukningsplatser. All luft flödar i samma stamledning, vilket man ofta minskar i diameter mot slutet. Största problemet med dessa är att man vid reparation eller ny grenanslutning blir tvungen att stänga av hela delar av nätet. Vid utbyggnad vid systemets ände kan man få problem med upprätthållning av trycket.

Ringsystem är mer komplicerad och dyrare. Den har dock flera fördelar, vilket gör att den rekommenderas. Luften når förbrukningsplatsen från två olika vägar, vilket gör att rörens storlek kan var mindre. I ringsystem har man ofta avgränsningsventiler på lämpliga platser, vilket underlättar vid service och utvidgning. Ringsystem är ofta stabilare än raka system. Dessutom är volymen ofta större, eftersom rören fungerar som behållare.

Tryckluftens användningsplatser kan vara utspridda på breda områden, och mellan dessa finns inte alls något tryckluftsbehov. I sådana fall kan det vara mer ekonomiskt att ha egna kompressorer där man förbrukar mycket, än att bygga stora tryckluftssystem. Särskilt vid

platser där tryckluften är tvungen att transporteras via kalla miljöer och man inte har så höga krav på torkning, kan decentralisering vara ett ekonomiskt alternativ. (Airila, Hallikainen, Käätä, & Laurila, 1983)

## 2.5 Läckage och läckagesökning

Man kan anta att tryckluftsläckagens andel hos industrier överlag är omkring 15–30 procent. Mot denna bakgrund är det klart att det lättaste sättet att uppnå energibesparingar är att hitta läckor och eliminera dem. Vid läckagekartläggning hittas läckor och dokumenteras, så att reparation lyckas vid schemalagda stopp. En del av läckagen förklaras även som onödiga tryckluftsblåsningar, där de inte behövs. Detta kräver fortsatt granskning av såväl drift som underhållspersonal. På detta sätt får man grepp om läckagen innan de blir för många och man blir van vid ljudet.

Läckagekartläggningen utförs med ultraljudsmätningar. Med en riktningsmikrofon är det möjligt att lokalisera läckagen även under normala driftförhållanden upptill 10 meter ifrån läckan. Via mätarens värden kan man härleda läckans storlek. Man försöker härifrån försöka bestämma läckornas betydelse med tanke på hela tryckluftsnätet. I rapporten använder man sig av färgkoder för att uttrycka läckornas kritiskhet. Röd för stora läckor som kräver snabba åtgärder, gula för medelstora läckor, som noteras och repareras planenligt och gröna för små läckor, som repareras vid normala serviceåtgärder. (AtlasCopco, 2019)

## 2.6 Kostnader

Tryckluftssystemets kostnader går att granska från två håll. Företagets finansiella planering ser på kostnader när de uppstår. När man tittar på kostnaden bör man dela in kostnaderna på olika år, för att kunna jämföra kostnader och intäkter mellan varandra. Man kan prata om engångskostnader och löpande kostnader. Inköpet är det största engångskostnaden, vilket man kan minska med exempelvis leasing. Till löpande kostnader hör energi, vatten, samt service- och underhållskostnader. Ofta försöker man dela kostnaderna lika för olika år.

När kapitalkostnader delas på flera år blir man tvungen att ta i beaktande kapitalets ränta och avkortning. Annuitet,  $a$ , fås genom:

$$a = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} H \quad (1)$$

där  $H$  är anskaffningskostnaden,  $i$  är ränteprocenten (angivet %/100) och  $n$  är användningstiden.

Kapital- och användningskostnaders relation beror mycket på kompressorernas användningsgrad samt hur mycket annat man är tvungen att skaffa till tryckluftssystemet. Användningskostnaderna domineras oftast av energikostnader,  $E$ . Vid elmotordrivna kompressorer beräknas energikostnaden genom:

$$E = \frac{P_{is}V}{\eta_{is}\eta_{motor}} \Delta t + \Sigma P_{hjälp} \Delta t \quad (2)$$

där  $P_{is}$  är isentropiskt effektbehov,  $V$  är kompressorns luftproduktion,  $\eta_{is}$  och  $\eta_{motor}$  är kompressorns isentropiska respektive motorns verkningsgrad,  $\Delta t$  är användningstiden och  $\Sigma P_{hjälp}$  är summan av effekten för all hjälputrustning, såsom kylare, torkare och pumpar.

Uttrycket är nästa oanvändbart vid beräkning av energiförbrukning, eftersom luftproduktion och verkningsgrad ofta varierar snabbt och ofta. I praktiken mäts energiförbrukningen för hela paketet via mätare på matningsledningen. Energiförbrukningen kan således även beräknas enklare:

$$E = E_{dag}x_{dag} + E_{natt}x_{natt} \quad (3)$$

där  $E_{dag}$  och  $E_{natt}$  är energiförbrukningen enligt dag- och nattaxor, och  $x_{dag}$  och  $x_{natt}$  är energipriset enligt dag- och nattaxor.

Kylvattenförbrukning för kompressorer och efterkylare kan antingen vara tidsberoende, driftberoende eller bundet till energiförbrukningen. Kylvattnet kan vara disponibelt, öppet system, eller ordnat så att kylvattnet cirkulerar i ett slutet system. Kostnaderna för kylsystem varierar beroende på om man varierar flöde enligt effekt och förbrukning, och om man använder sig av ett öppet med kommunalt vatten eller egen vattenkälla, eller slutet system.

Underhållskostnader varierar för kompressorer beroende hur den är placerad, hur bra kompressorn lämpar sig för ändamålet, övervakning samt övriga arrangemang. Olika typer av kompressorer har inte systematiska olikheter i underhållskostnader. I skrifter förmodar man underhållskostnader på 5–10 procent av totala kostnaden. (Airila, Hallikainen, Käätä, & Laurila, 1983)

En typisk cellulosafabrik som producerar 500 000 ton tidningspapper per år har variabla kostnader som består av trä, kemikalier, energi, övrigt driftsmaterial och tjänster. Rörliga

kostnader består av underhållsmaterial, personal och administration samt övriga kostnader. Utöver dessa har man även kapitalkostnader. De variabla kostnaderna beror helt på hur mycket som produceras. Ifall produktionen står, är även dessa kostnader noll. Energikostnaderna varierar beroende på produktion, och innehåller en del fasta kostnader. Ifall värme och energiförbrukning varierar stort kan det ge upphov till stora kast vid beräkning. Tabellen nedan visar andelarna av kostnaden i procent.

**Tabell 1. Kostnadsstruktur för cellulosafabrik**

**Procent**

<b>Rörliga kostnader totalt</b>	<b>49,30</b>
Träd och returpapper	23,80
Kemikalier	6,70
Energi	13,20
Driftsmaterial och Tjänster	5,60
<b>Fasta kostnader totalt</b>	<b>23,50</b>
Underhållsmaterial	5,50
Personal och administration	13,70
Övrigt	4,30
<b>Kapitalkostnader</b>	<b>27,20</b>

Dessa kostnader är för en hel fabrik och innehåller alla kostnader. Andelen för tryckluftproduktion varierar, även inom fabriken, och är svår att fastställa. (Diesen, 1998)

## 3 Metod

Detta kapitel redogör uppgiften, metoden och tillvägagångssätt för att genomföra detta examensarbete.

### 3.1 Uppgift

Uppgiften i detta arbete var huvudsakligen att kartlägga tryckluftssystemets stamnät. Till först kartlades nätet och fel korrigerades på ritningar. Ritningarna uppdaterades av UPM. Till arbetet hörde också en kalkyl av kostnader för produktionen av tryckluft, samt hur mycket det kostar när det läcker. Ritningarna uppdaterades och förslag på förbättring och förändringar skulle ges.

### 3.2 Utförande

Arbetet påbörjades med ett möte med handledarna från skolan och företaget. På mötet diskuterades företagets problem med tryckluftsrutningarna. Problemområden fanns i stort sett alla avdelningar förutom återvinningen. Man visste inte riktigt hur rören var dragna efter alla ändringar man utfört utan att uppdatera ritningarna. Under mötet fick jag en del ritningar att studera innan arbetet påbörjades. Under arbetets lopp bestämde vi oss definitivt att endast stamnätet hinner kartläggas i tid på grund av stamnätets storlek, mängden fel och brister samt platsvis komplicerat dragna rör. Som hjälpmaterial fick jag en mängd med ritningar utprintade, användarmanual för tryckluftsanläggningen samt en läckagekartläggning utförd av AirScan.

För att få en inblick i ämnet studerades tryckluftens grundprinciper, kompressionstyper och behandling av tryckluft. Arbetets praktiska del påbörjades med kartläggning av tryckluftssystemets stamnät. Detta gjordes i stora drag genom att vandra runt och se var rören var dragna och jämföra med tidigare ritningar, samt att rådfråga anställda.

Efter detta ritades allting upp på rutigt papper. Ritningarna uppdaterades av UPM. Kostnader för produktionen av tryckluft fanns att fås och det största uppgiften var att jämföra dessa med litteratur.

Läckagekartläggningen sattes ingen större vikt på, eftersom UPM redan tidigare hade haft en utomstående part att kartlägga läckagen. Läckage som kunde höras noterades dock.

## 4 Resultat

I detta kapitel presenteras vad som gjordes samt resultatet av detta. Först presenteras tryckluftssystemet vid UPM i Jakobstad. Efter detta kommer utförandet av kartläggningen och kostnadsuppföljningen att behandlas, följt av resultatet. I slutet kommer även kritisk granskning och förslag till fortsatt forskning.

### 4.1 Tryckluftssystemet vid UPM Jakobstad

Tryckluftssystemet vid UPM i Jakobstad består av bland annat kompressorer, lufttorkar, filter och styrsystem.

#### 4.1.1 Kompressorer

Vid UPM i Jakobstad står tre Atlas Copcos ZR750 skruvkompressorer för tryckluftproduktionen. Dessa komprimerar luften i två faser, drivs av el, är vattenkylda och producerar olje- och pulsfri tryckluft. Kompressorerna har ett eget styrsystem, ES1000. Kompressorerna tar luft från en yttervägg, där man har ett galler försett med en spalje. Spaljen är uppvärmd med glykolvatten för att förhindra frysning. Vid behov kan ett spjäll i kanalen öppnas för att ta en del av luften från kompressorutrymmet. Luften sugas in genom ett insugsfilter och komprimeras i två steg, först i ett lågtryckselement där man kyler ner den och sedan i ett högtryckselement, där man når det slutliga trycket. Härifrån går luften via en ljuddämpare och en intercooler till lufttorkarna.

Kompressorerna har två vattenavskiljare, varav den ena förhindrar ånga att trängs in i hög tryckselementet och den andra efter efterkylaren för att förhindra att ånga att gå vidare till tryckluftsnätet. Vattenavskiljarna är ihopkopplade till en behållare försedd med flottör som automatisk släpper bort vatten i en golvkanal.

Kompressorerna producerar tryckluft till ett gemensamt tryckluftssystem, som innehåller två 50 kubikmeters tryckluftstankar. Efter tankarna delas tryckluften upp i instrument- och arbetsluft. Instrumentluft har större krav på renhet och är torrare än arbetsluft, samt även fri från olja. Ifall instrumentluftens tryck faller under en viss nivå, stryps arbetsluftens strömning automatiskt för att garantera instrumentluftens försörjning.

Kompressorernas oljepump cirkulerar olja genom oljekylaren och filter till lager och fassynkroniseringen. Vid turbinanläggningen finns en reservkompressor, som säkerställer sodapannans och dess ångfördelnings instrumentluft genom att automatiskt starta ifall

instrumentluftens tryck faller under en viss nivå. Instrumentluften till ångdistribution 2 matas från Alholmens Kraft. (Pöyry, 2004)

#### **4.1.2 Lufttorkar**

Efter varje kompressor finns lufttorkar av adsorptionstyp, Atlas Copcos MD1800W. Huvudkomponenten i torkarna är rotorn, som är tillverkat av ett vattenabsorberande material. Efter torkarna finns Atlas Copcos tryckluftsfiler DD2100F.

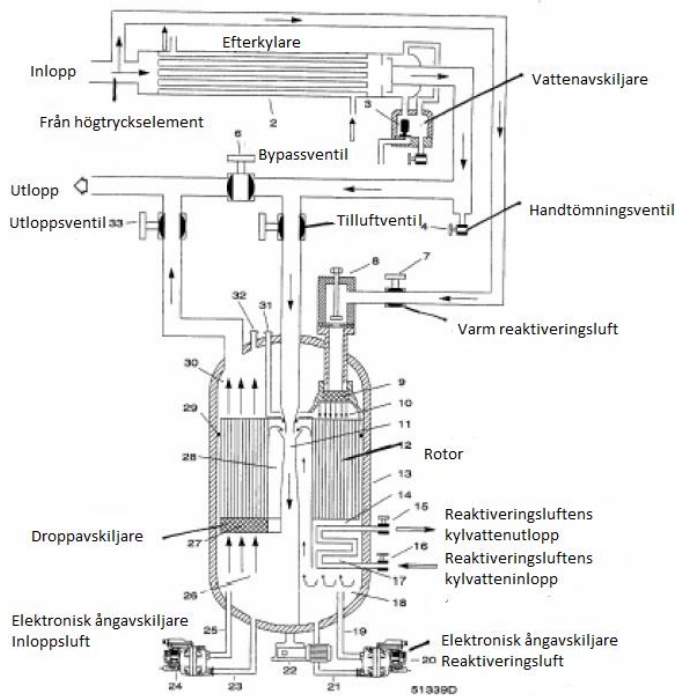
Från kompressorernas efterkylare styrs fuktig tilluft till lufttorkarna. Tilluften är ofta mättad vattenånga och ungefär 10 °C varmare än kylvattnets temperatur. I torkarnas vattenavskiljares droppavskiljare tas vattendroppar bort. Luften styrs vidare till rotorn, som suger i sig vattenånga. Torr luft förs vidare till utloppet, via utloppsventilen till tryckluftsnätet.

Torr reaktiveringsluft tas till torkarna före efterkylaren, vid en temperatur på 130–190 °C, beroende på trycket, utetemperatur och kylvattentemperatur. Varm reaktiveringsluft torkar och reaktiverar rotorn. Våt reaktiveringsluft samlas från rotorn till en tät sektor vid torkarens utlopp, varifrån den styrs till att kyla reaktiveringsluften. Sedan styrs den till vattenavskiljaren där vattnet tas bort. Härifrån går reaktiveringsluften till kompressorns våta tryckluft.

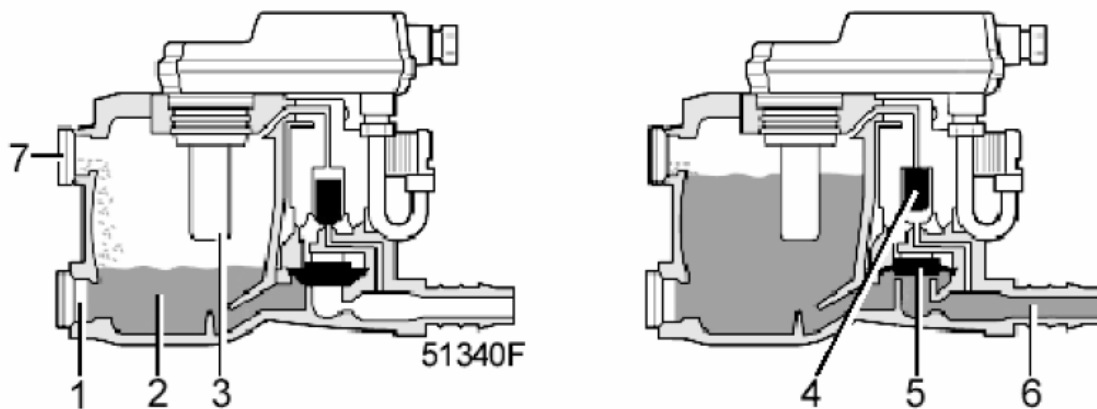
Rotorns kanaler kyls med torr luft och kylluft blandas med våt reaktiveringsluft.

Ånga från torkarna samlas via elektroniska ångavskiljare vidare till vattenavskiljaren, som har en kapacitiv givare. Givaren mäter konstant vattennivåns höjd och aktiverar en magnetventil vid en given höjd, varav ånga avlägsnas. Vid störningar ger styrsystemet ett felmeddelande och börja öppna och stänga ventilen periodiskt. Efter torkarna mäts fuktigheten. Vid för hög fuktighet får man alarm till kontrollrummet. (Pöyry, 2004)





Figur 1. Adsorptionstorkare (Pöyry, 2004) [Egen översättning].



Figur 2. Elektronisk ångavskiljare 1. Inlopp 2. Behållare 3. Givare 4. Bypass ventil 5. Film 6. Utlopp (Pöyry, 2004).

#### 4.1.3 Tryckfilter

Efter varje tork finns tryckfilter. Deras uppgift är att avlägsna damm från tryckluften. Filtren är försedda med tryckskiljemätare och vattenavtappning. Vid byte går det att köra luften förbi filtren tillfälligt. (Pöyry, 2004)

#### **4.1.4 Kylvatten**

Kylvatten till kompressorerna och torkarna kommer från ett slutet kylvattensystem. Före kompressorerna finns en tryckhöjningspump. Vatten till tryckluftscentralen är säkrad med filtrerat vatten från en reservvattenbehållare vid sodapannan. Tryckskillnaden på tillförd och avgående vatten mäts. Varje kompressor förses endast med kylvatten när de är i bruk. (Pöyry, 2004)

#### **4.1.5 Instrument- och arbetsluft**

Alla tre kompressorer producerar luft till samma system, som förser hela fabriksområdet med tryckluft. Varje avdelning har egna förbrukningsmätare. Luften går via båda tryckbehållarna till nätet. Behållarna går att avskilja endera en eller båda på samma gång. Behållarna har också elektroniska vattenavskiljare med kapacitiva givare i botten. Ifall vattnet inte avlägsnas normalt, alarmeras kontrollrummet. Efter behållarna delas nätet i instrument- och arbetsluft.

Både instrument- och arbetsluften har mätare för fuktighet, tryck och flöde. Instrumentluften är primär. Ifall trycket faller under 5 bar, stryps en ventil till arbetsluften automatiskt. Trycket ställs från styrsystemet.

Sodapannans- och turbinanläggningens instrumentluft är säkrad av en dieseldriven reservkompressor, placerad i turbinanläggningens nedervåning. Kompressorn startar ifall två av sodapannans tre instrumentluftstrycksmätare ger signal för lågt tryck. Luften styrs direkt till avdelningarnas nätverk via bakslagsventiler. Diesel fylls på från sodapannans lättoljebhållare automatiskt. Vid jämna mellanrum testas reservkompressorn, men då styr man luften till arbetsnätet. (Pöyry, 2004)

#### **4.1.6 Luftmängd och kvalitetshantering**

Styrsystemet ES100 övervakar tryckluftsnätets tryck. Efter varje kompressor mäts fuktigheten, som dessutom mäts skiljt ännu i instrument- och arbetsluften. Vid för hög fuktighet alarmeras kontrollrummet.

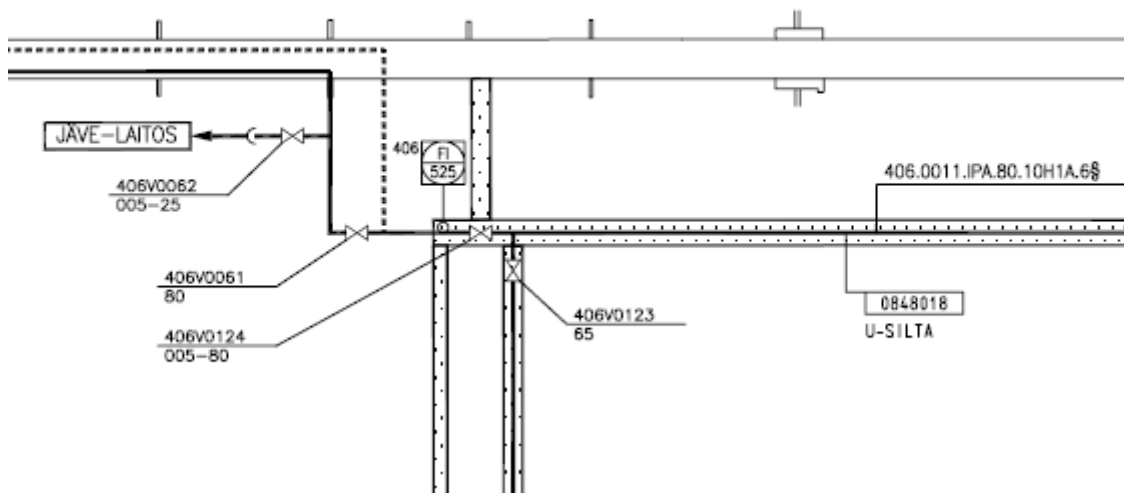
Efter varje tryckluftsenhet finns skilda partikelfilter som avlägsnar fasta ämnen, mindre än 1 mikrometer, från luften.

Varje kompressor producerar 2 kubikmeter per sekund, vid 7 bars tryck. Vid normal drift körs två kompressorer, och behöver relativt lite övervakning. (Pöyry, 2004)

## 4.2 Kartläggning

Återvinningen består av indunstning, sodapanna, turbin, ångfördelning, kausticering, mesaugn och talloljekokeri. Förutom dessa ligger även kompressorerna i återvinningen. Det var med andra ord en logisk plats att börja på. Efter kompressorerna delas tryckluften in i instrument (IIN) - och arbetsluft (IPA). Efter denna delning fanns mätare för tryck och flöde för diverse ledning, samt en automatisk reglerventil på arbetsluftledning som stryps ifall instrumentlufttrycket blir för lågt. Luften fördelas från stamledningen till de olika avdelningarna på återvinningen ganska logiskt. Till turbinsalen och ångfördelningen gör den dock en slinga. På återvinningen fanns det inga större fel eller brister. En aning förbryllande var det att dock att reda ut hur reservkompressorn, som finns i bottenvåningen av ångfördelningen, var kopplad till nätet.

Efter återvinningen ledde stamledningarna mot V-rörbryggan. V-rörbryggan kopplar ihop B- och C-Bryggorna. Från V-rörbryggan går även luft till U-Bryggan, som går till vedhanteringen och lagringstankområdet. Det noterades att vedhanteringsens instrumentluft fördelas från arbetsluften på U-Bryggan.



Figur 3. Trädhanteringsens instrumentluft (streckad linje) från arbetsluften på U-Bryggan.

B-Bryggan var mycket längre tidigare, och man hade nu kapat av den ena änden och svetsat fast proppar eller ventiler. Den andra änden ledde in till fiberlinjerna och kokeriet. Rören var delvis dragna under golvet och en del ventiler var också oåtkomliga. Dessutom fanns det en mängd oanvända rör i vägen. B-Bryggan förser fiberlinjerna, kokeriet, torkmaskinerna och pappersmaskinen.

Fiberlinje 1 och kokeriet förses med luft från B-Bryggan. Arbetsluften till fiberlinje 1 går i två olika ledningar, varav en av dem även förser kokeriet med tryckluft. Instrumentluften förses i två skilda ledningar, varav kokeriets instrumentluft saknar ventil. Från kokeriet går även arbetsluft till flishantering. Vidare från B-Bryggan fortsätter förgreningar mot F-Bryggan, som förser fiberlinje 2 med tryckluft. Ozonanläggningen matas från fiberlinje 2. På F-Bryggan finns även en ledning som tidigare matade Walki, men numera har ventilen stängd, och finns kvar som reserv. Arbetet försvårades märkbart eftersom linjerna och ventilerna här inte var utmärkta på korrekt sätt.

En mängd förgreningar från B-Bryggan förser torkmaskinerna och pappersmaskinen med tryckluft. Även här försvårades arbetet eftersom linjerna och ventilerna inte var utmärkta. Det diskuterades vid en tidpunkt att de borde utmärkas under arbetets lopp, men blev på grund av logistik och tidsbrist uppskjutna till ett senare skede. En förgrening av arbetsluften förser båda torkmaskinerna och pappersmaskinen, medan instrumentluften till torkmaskinerna och pappersmaskinen har egna ledningar. Till pappersmaskinen går även två övriga instrumentluftledningar som hoppar över pappersmaskinens flödesmätare. Den ena av dessa är dessutom ihopkopplad till arbetsluftledningen vid änden av B-Bryggan. Dessa ledningar har dock ventilerna stängda.

Vid änden av V-Bryggan finns C-Bryggan. C-Bryggan delar sig mot två olika riktningar, en mot torkmaskinerna och pappersmaskinen, och en mot kraftcentral 2, dit även Alholmens Kraft matar instrumentluft. Från C-Bryggan går instrumentluft till vattenverket. Arbetsluften till bland annat centralverkstaden och kraftcentral 2 var ett frågetecken, eftersom ventil 043V0361 var stängd och Alholmens Kraft endast förser instrumentluft dit.

Från kraftcentral 2 går tryckluft till barkpannan, som förses helt med Alholmens Krafts tryckluft. Ett frågetecken var varifrån arbetsluften matas hit. Det visade dock sig att instrument- och arbetsluften var samman kopplade här. Ett annat frågetecken var att en stor ventil som förser UPM med arbetsluft var stängd. Detta bevisades vara löst med att hoppa över denna ventil med ett betydligt mindre rör. Det betyder att ifall man skulle behöva stor luftförbrukning i exempelvis centralverkstaden, kan luften ta slut. Betydelsen är inte längre så stor eftersom luftförbrukningen nuförtiden är lägre.

I den andra änden av C-Bryggan var ventilen för arbetsluft stängd. Den ledningen är direkt kopplad med rören till pappersmaskinen. Även instrumentluften är kopplad med pappersmaskinens ledning.

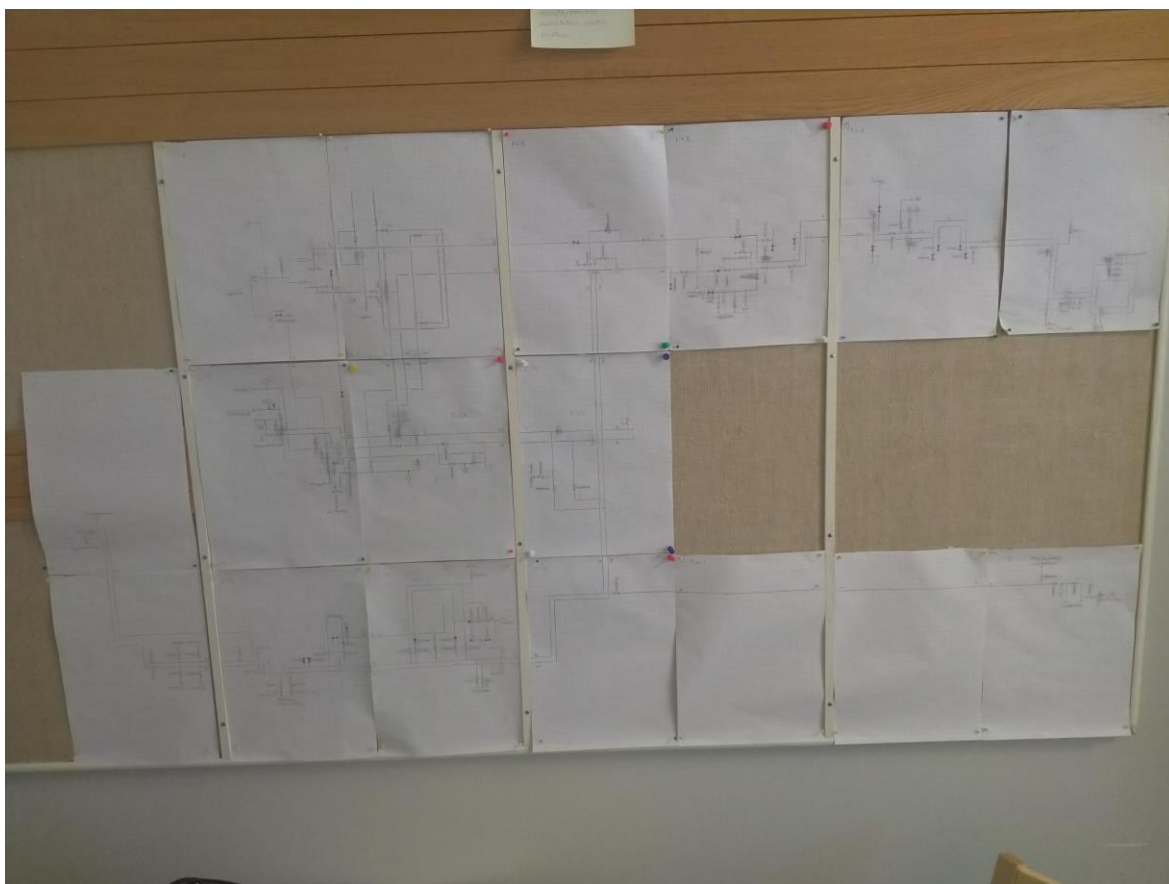
### 4.3 Ritning av flödesschema

Befintliga flödesscheman undersöktes först. På återvinningen var ritningarna ganska överensstämmande med verkligheten.

Efter fortsatt undersökning av tryckluftsnätverket, märktes det att de befintliga ritningarna inte längre överensstämde. Det beslutades att undersöka hela stamledningen på nytt och uppdatera ritningarna.

För att få en uppfattning om hur och var röret gick, skissades hela tryckluftsnätverket upp på rutigt papper, med en satellitbild från fabriksområdet som bakgrund. Genom att börja i en ände av nätverket, granska gamla ritningar och operatörsbilder, granskades stamlinjerna. Stamlinjerna ritades upp och granskades flera gånger. Det var svårt att följa linjerna, eftersom de delvis var dragna på trånga ställen, omgärda av många andra typer av rör, samt att de ställvis inte var märkta på korrekt sätt. Dessutom var en del av rören isolerade.

Det färdigt skissade röret ritades delvist på nytt i AutoCAD.



Figur 4. Egen skiss på rutigt papper.

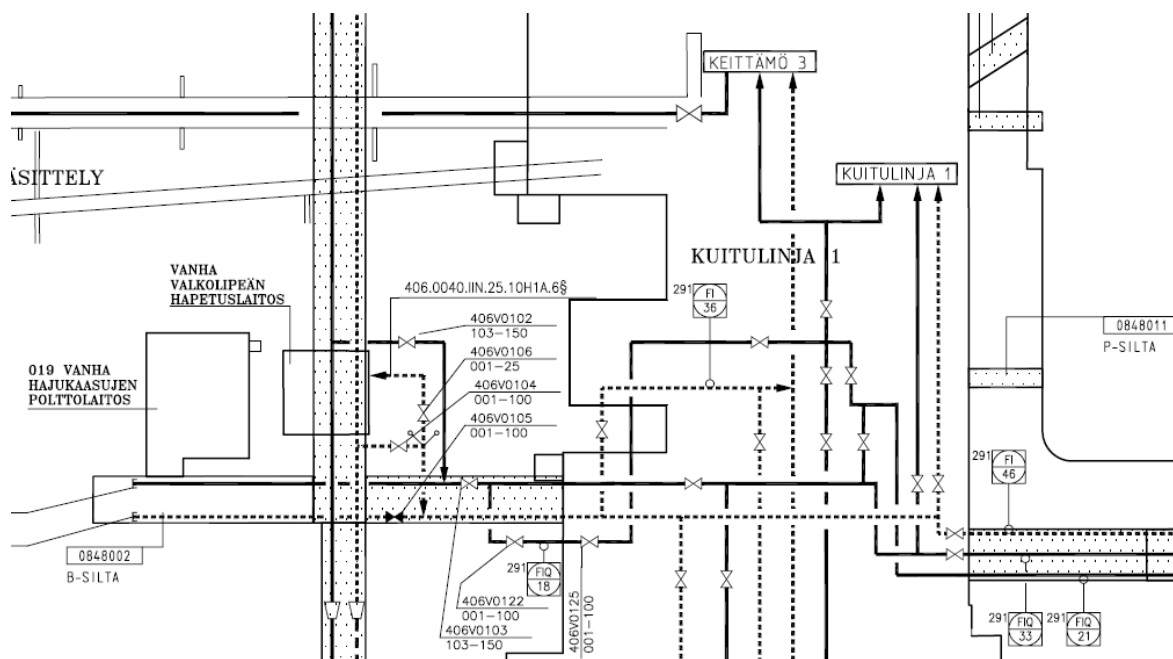
#### 4.4 Sammanfattning av kartläggningen

Tryckluftsnätverkets stamledningar kartlades och fördelningsschema uppdaterades för i stort sett hela fabriken. Jämfört med tidigare ritning har nu instrumentluften ritats med streckade linjer för att tydligare utskilja den från arbetsluften. Ritningarna finns som bilaga.

På återvinningen finns det inga stora förändringar, förutom att turbin och ångfördelningslänken flyttats lite för att bättre överensstämna med verkligheten.

På U-Bryggan har en del ventiler satts till i ritningen, samt rättat var luften delas i instrument- och arbetsluft till virkeshanteringen.

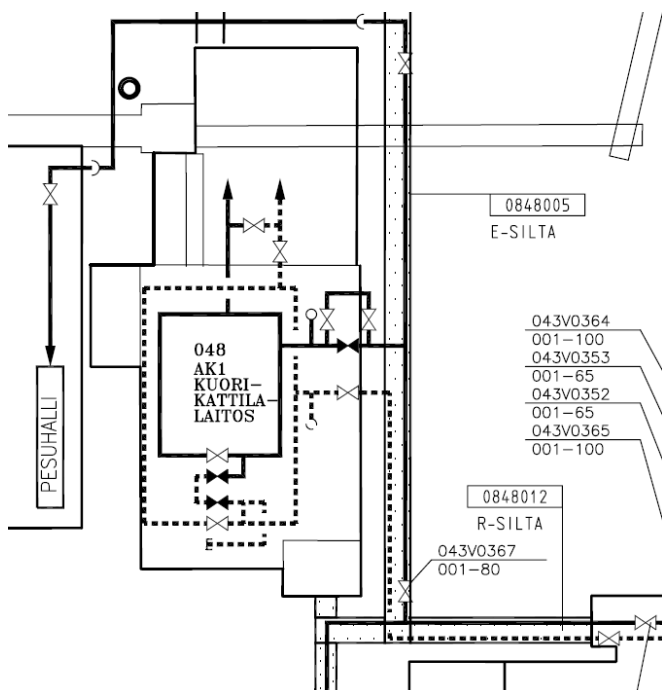
B-Bryggan har gjorts tydligare och ventiler flyttade till rätt plats. En del av ventilerna och flödesmätarna på B-Bryggan var nästintill omöjliga att kunna definiera, på grund av att de var under golvet eller bakom andra rör. Dessa kunde dock definieras utifrån gamla ritningar och datorprogram.



Figur 5. B-Bryggan till fiberlinje 1 och kokeriet.

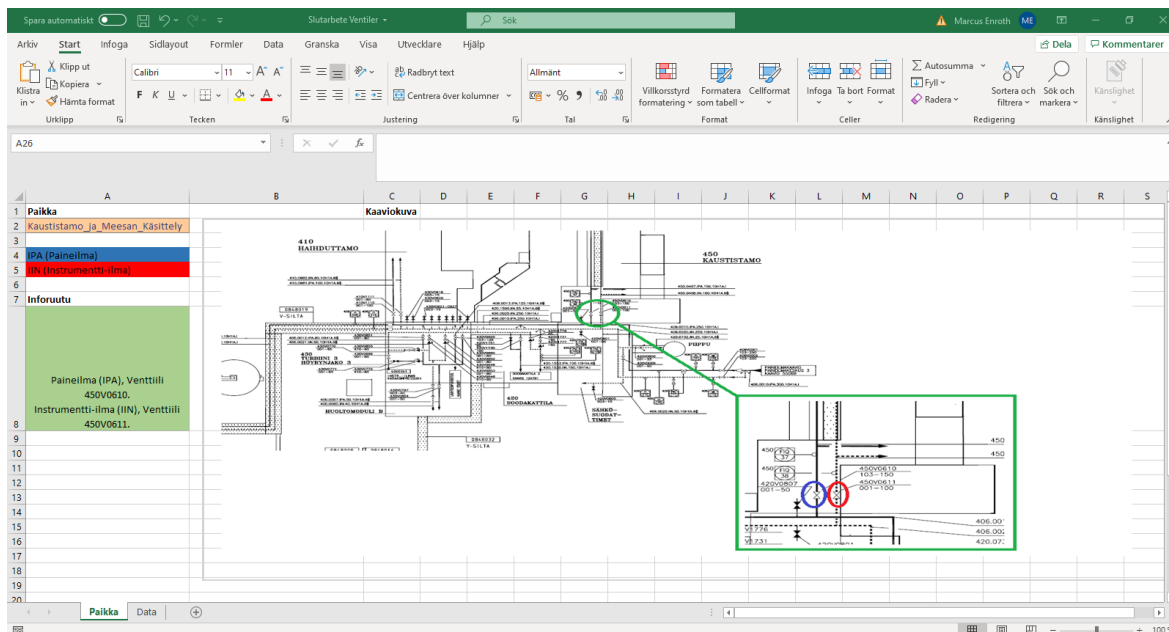
Fiberlinjerna och kokeriets stamledningar har gjorts tydligare. Även källaren under torkmaskinerna och pappersmaskinen har ritats om. Här fanns en hel del frågetecken innan arbetet startade, som nu har uppdaterats.

Från C-Bryggan har kraftcentral 2 och barkpannan ritats in, eftersom det var viktigt att få reda på varifrån arbetsluften kommer till bland annat centralverkstaden. Detta saknades på den tidigare ritningen.



Figur 6. Barkpannan.

Ett Excel-verktyg skapades för att enkelt kunna se vilka ventiler som leder till de olika avdelningarna. Verktöget består av en rullista, varifrån man väljer avdelning. Verktöget visar sedan en bild på ett område med ventiler. Ventilerna är inringade i olika färg, röd för instrumentluft och blå för arbetsluft. Dessutom finns en beskrivning, ifall det finns något anmärkningsvärt angående avdelningen.



Figur 7. Excel-verktyg för ventilpositioner.

#### 4.5 Läckagekartläggning

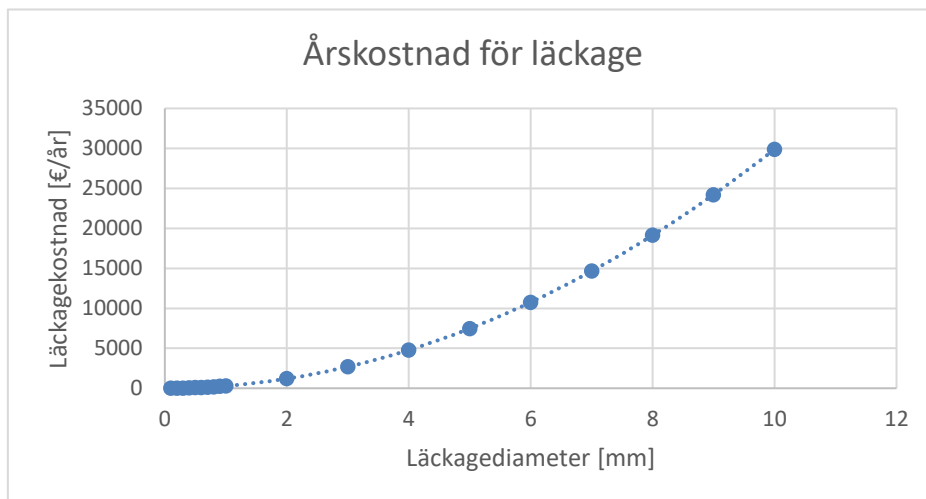
På UPM i Jakobstad hade man på beställning utfört en läckagekartläggning på tryckluftssystemet. Kartläggningen utfördes av Atlas Copcos så kallade AIRScan mätningar. Kartläggningen sker regelbundet.

Vid läckagekartläggningen fann man en måttlig mängd läckage, 18 stycken. Inbesparingar från dessa kan man trots allt endast notera när läckagen har blivit reparerade. I rapporten finns också en del läckage som egentligen endast är kontinuerlig blåsning när det inte behövs. (AtlasCopco, 2019)

Utöver dessa fanns en del läckage som hittades under kartläggning, endast genom att lyssna efter ljud. Dessa var dock endast ett fåtal eftersom det på vissa ställen var nästintill omöjligt att höra något under driftförhållanden, eller att de helt enkelt inte fanns fler läckage på stamledningen. Dessa läckage finns på bilaga 3.



Läckagekostnaderna är beräknade med en läckagekalkylator. (Sarlin, 2020)



Figur 8. Läckagekostnader.

## 4.6 Kostnadsuppföljningen

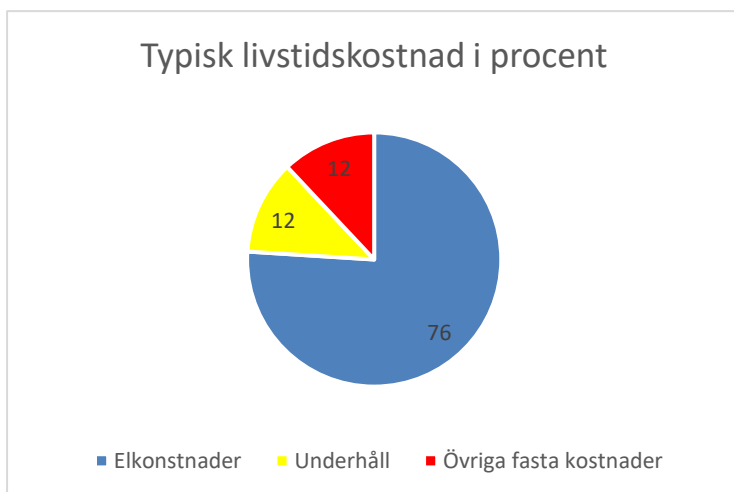
Elförbrukningen för en kompressor räknades ut på två olika sätt för att kunna jämföras med litteraturen. Kostnader för avskrivningar, underhåll och övriga fasta kostnader fanns att fås från företaget. Även total elförbrukning för tryckluftsproduktion fanns, samt mängden producerad tryckluft. Dessa kostnader är sekretessbelagda. Kostnaden för läckage räknades ut med en läckagekalkylator från Sarlin.

Nedan typisk livstidskostnad som anges i litteratur. (AtlasCopco, 2020)

**Tabell 2. Typisk livstidskostnad i procent**

Elkostnader	76
Underhåll	12
Övriga fasta kostnader	12
Totalt	100

Cirkeldiagram för att illustrera typiska livstidskostnaden.

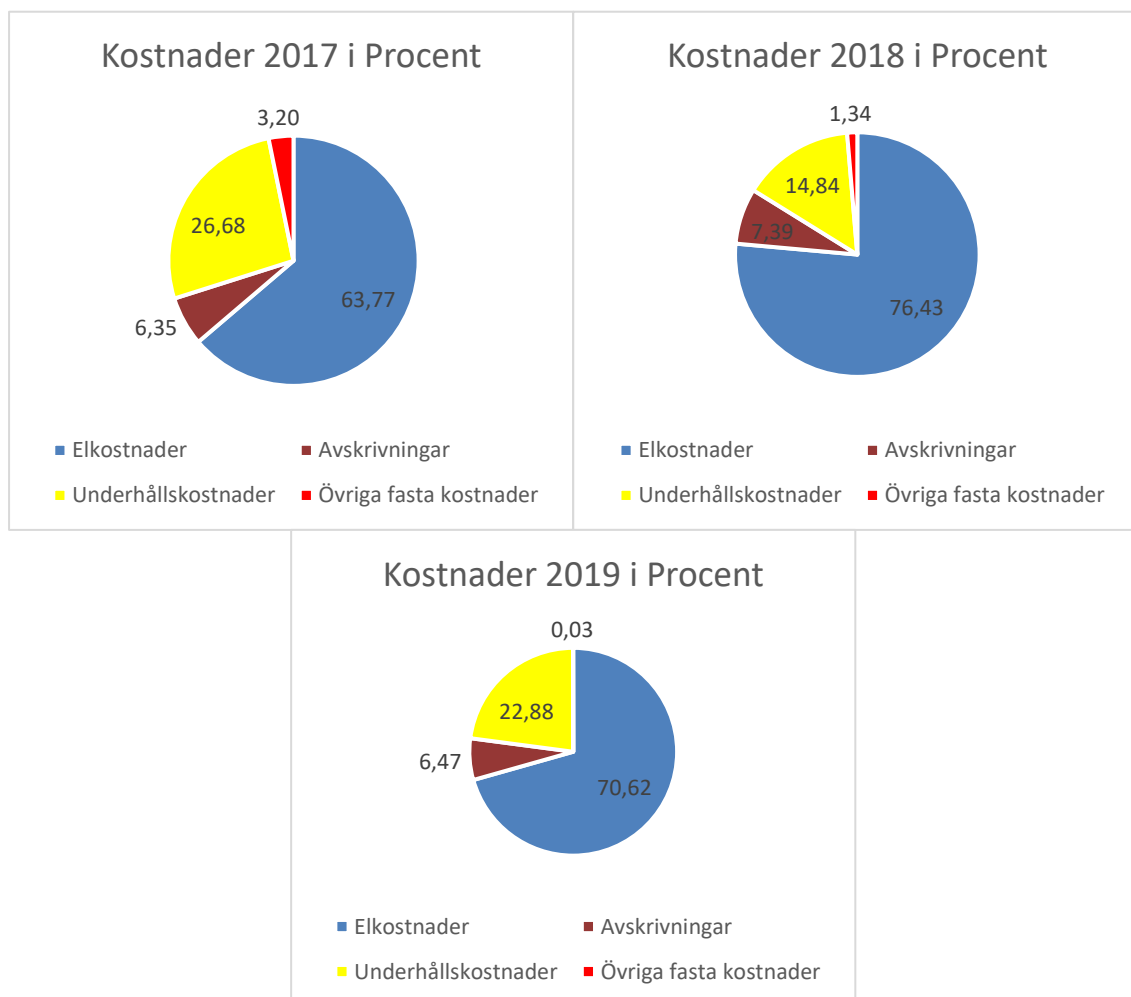


Figur 9. Diagram på typisk procentuell livstidskostnad.

Elkostnaden beräknat (med formel 2) genom att anta att en kompressor går för fullt hela tiden, medan en annan går ibland, ca 30% av tiden. Utifrån dessa värden skapades en tabell för att åskådliggöra detta.

<b>Tabell 3. Procentuella kostnader med formel 2</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
Elkostnader	63,77	76,43	70,62
Avskrivningar	6,35	7,39	6,47
Underhållskostnader	26,68	14,84	22,88
Övriga fasta kostnader	3,20	1,34	0,03
<b>Totalt</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Från dessa värden skapades dessutom ett diagram för att förenkla visualiseringen för respektive år.

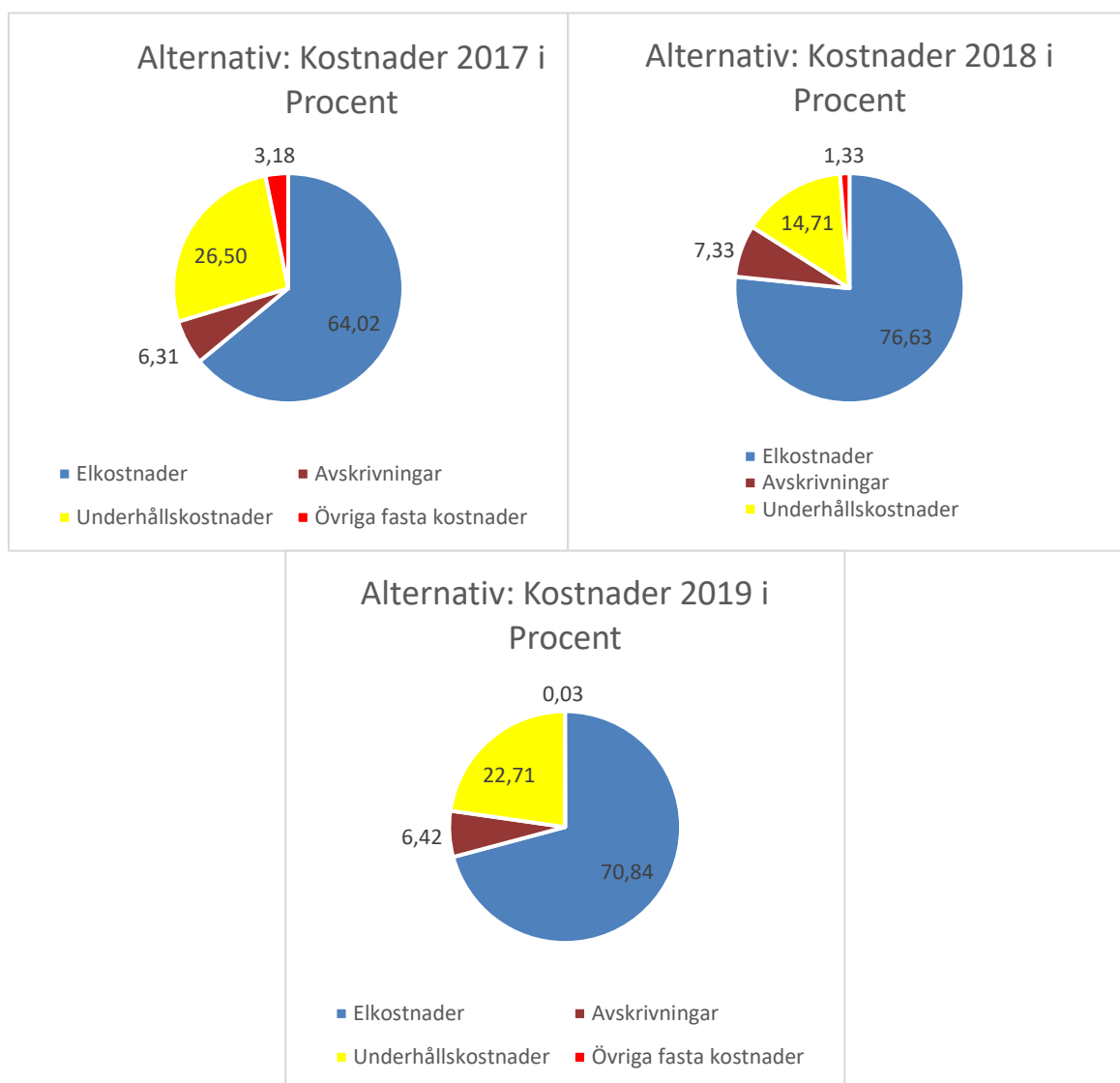


Figur 10. Kostnader procentuellt med formel 2.

Därefter beräknades elkostnaden med formel 3. Även med denna formel uppskattades det att en kompressor går för fullt hela tiden, medan en annan går ungefär 30% av tiden.

<b>Tabell 4. Procentuella kostnader med formel 3</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
Elkostnader	64,02	76,63	70,84
Avskrivningar	6,31	7,33	6,42
Underhållskostnader	26,50	14,71	22,71
Övriga fasta kostnader	3,18	1,33	0,03
<b>Totalt</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Även från dessa värden skapades diagram.

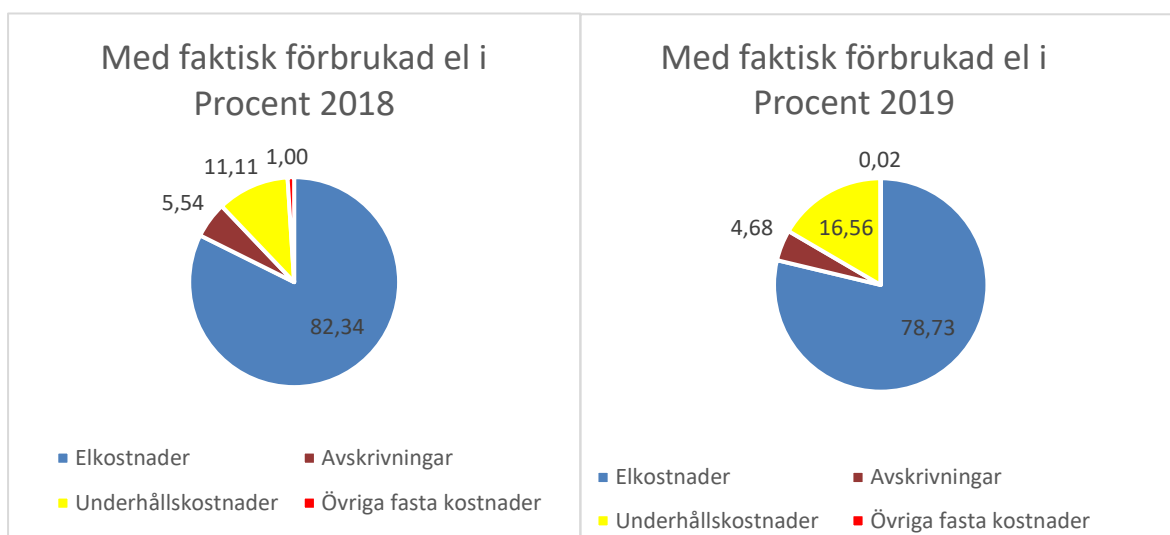


Figur 11. Kostnader procentuellt med formel 3.

Dessa jämfördes med den faktiska elförbrukningen. Elförbrukningskostnaderna är en aning högre än verkligheten eftersom elpriset som använts här är samma som med de övriga formlerna, medan UPM, som producerar sin el själv, har ett lägre elpris.

**Tabell 5. Procentuella kostnader enligt elförbrukning**

	2018	2019
Elkostnader	82,34	78,73
Avskrivningar	5,54	4,68
Underhållskostnader	11,11	16,56
Övriga fasta kostnader	1,00	0,02
Totalt	100,00	100,00



Figur 12. Kostnader procentuellt med faktisk elförbrukning.

## 4.7 Förbättringsförslag

Här tas förbättringsförslagen som kunde utföras på tryckluftsnätet.

- Tryckluftsnätverkets samt andra nätverks kvarlämnade och oanvända förgreningar bör avlägsnas. Speciellt oanvända förgreningar från andra nätverk gör en del ventiler oåtkomliga.
- Märkning av ventiler och ledningar för att underlätta framtida drift, underhåll och arbets säkerhet.
- Ändringar i nätverket.
- Reparation av läckage som inte uppkom i tidigare läckagekartläggning.
- Kalibrering av flödesmätare för att kunna garantera tryckluftens mängd och flödesriktning (speciellt till BillerudKorsnäs och från Alholmens Kraft).

## 4.8 Kritisk granskning

Syften med arbetet var i huvudsak att skapa en ny revision av flödesscheman, samt analysera kostnader som uppstår i samband med tryckluftproduktion. De enskilda avdelningarna har inte kartlagts alls. Största delen av de mindre rören har inte beaktats alls, om de inte har haft stor betydelse för stamlinjen. På några platser är ventilernas position inte överensstämmande med verkligheten, eftersom det är svårt att rita något från verkligheten till papper. Kostnaderna som analyserades fanns att fås från företaget och har i stora drag sammansatts och jämförts med teori.

Metoden för att utföra kartläggningen har varit att vandra omkring på fabriksområdet och följa rören fysiskt, för att sedan jämföra dem med tidigare ritningar. Andra alternativa metoder för att utföra uppgiften fanns inte.

Teorin behandlar tryckluftsteori, kompressortyper och krav på tryckluften, även om det praktiska arbetet inte egentligen behandlar något om det. Teoridelen saknar flödesschemans ritningsbeteckningar, vilket är något som behandlas ganska ofta när man granskar ritningar, och eventuellt borde ha varit med.

#### **4.9 Förslag till fortsatt forskning**

Vid fortsatt forskning kunde man bland annat granska de enskilda avdelningarna och även uppdatera dessa ritningar. Markering av rören och ventilerna är något som borde göras, med tanke på drift, underhåll och säkerhet. Man kunde även göra en utredning i alternativa kompressortyper för att komplettera de nuvarande, och således försöka få trycknivån att hållas jämnare.

## 5 Diskussion

Detta projekt har varit mycket lärorikt och intressant. I arbetet samlades viktig information om ämnet, som sedan tillämpades i praktiken. En del av teorin kunde ha behandlat mer om ritande av ritningar, men eftersom UPM uppdaterade ritningarna var det kanske passande att med den teori jag nu använt. Under arbetets lopp lärde jag mig mycket, bland annat att vara källkritisk till elektroniska källor.

Arbetet överraskade mig på många sätt. Mycket tid sattes på att vandra omkring på fabriksområdet och granska ritningar. Dokumentering skedde vanligen genom att fotografera och sedan skissa upp på papper, med en satellitbild från fabriksområdet som underlag.

Till en början var det svårt att få en tydlig bild över alla rör. Även om jag hade jobbat på UPM tidigare var det till en början problematiskt att vara säker var alla avdelningar låg. Jag hade exempelvis endast besökt fiberlinjen ett par gånger tidigare, och andra avdelningar inte alls. Det uppstod problem eftersom jag ofta vandrade på platser jag aldrig tidigare besökt. Från företagets sida fick jag dock stor hjälp med rundvandringar på de olika avdelningarna, där man visade var tryckluftsledningarna gick. Jag hade också ofta en anställd med mig när jag var och kartlade systemet. Dessutom hade jag ofta kontakt med mina handledare samt andra på fabriken, vilket var till stor hjälp när problem uppstod på vägen.

Innan arbetet var det en aning oklart hur långt man skulle gå. Dessutom var en del av rören och ventilerna omärkta, vilket försvårade arbetet. Efter en tid fick jag dock en ganska tydlig bild stamnätet, i alla fall i huvudet. När jag väl började skissa allting på papper blev jag ofta osäker över vad jag hade ritat. Ofta fick jag åka tillbaka och granska något som verkade ologiskt eller konstigt.

Syftet med detta arbete var att kartlägga trycklufts nätverket. Utifrån resultaten skulle det ges förbättringsförslag för att underlätta avgränsningar av trycklufts nätet, samt notera problematiska ställen. Syftet med kartläggningen uppnåddes och jag är nöjd med resultatet. Med facit i hand borde man ha satt mer tid på vissa platser än man nu gjorde. Kartläggningen tog mycket längre tid än vad jag hade räknat med. Detta berodde mycket på fabriken storlek.

Examensarbetet var mycket roligt och givande att göra. Arbetet gav mig mycket ny information om tryckluften. Dessutom lärde jag mig hur man utför ett projekt från början till slut. Arbetet gav mig också mera kännedom av cellulos- och pappersindustrin, i sin helhet.



Kontakten med personalen gav mig bättre samarbetsförmåga, på samma gång som jag fick en förståelse om hur viktigt det är.

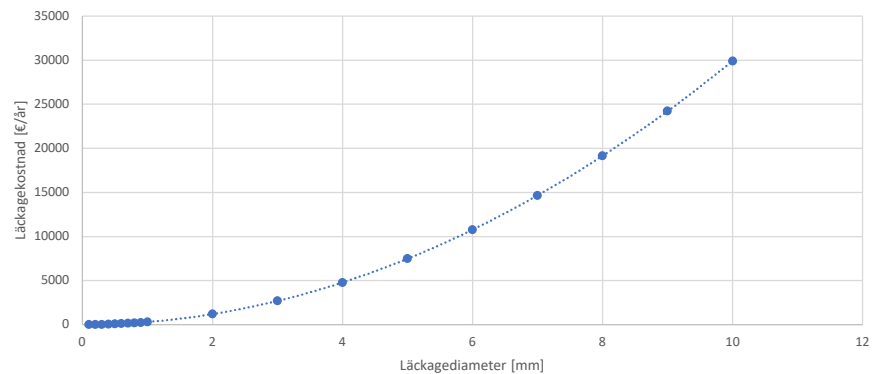
## 6 Källförteckning

- Airila, Hallikainen, Käpä, & Laurila. (1983). *Kompressorikirja* (1:a uppl.). Hydor.
- AtlasCopco. (2019). *AIRScan Rapportti Vuotokartoituksesta*. AtlasCopco.
- AtlasCopco. (2020). *AtlasCopco*. Hämtat från <https://www.atlascopco.com/en-au/compressors/wiki/compressed-air-articles/displacement-and-dynamic-compression> 2020
- Bright Hub Engineering. (2020). *brighthubengineering.com*. Hämtat från <https://www.brighthubengineering.com/hvac/63614-air-compressors-theory-of-operation/> den 20 Januari 2020
- Diesen, M. (1998). *Economics of the Pulp and Paper Industry* (1:a uppl.). Fapet Oy.
- Evensen, K., & Ruud, J. (1995). *Grundläggande Pneumatik* (Första Upplagan uppl.). Liber Utbildning AB.
- Hitchcock, A. (2015). *Hydraulics & Pneumatics*. Hämtat från <https://www.hydraulicspneumatics.com/technologies/air-compressors/article/21884932/determine-the-cost-of-compressed-air-for-your-plant>
- Hulkkonen, V. (2005). *Fluid Finland*. Hämtat från <https://asiakas.kotisivukone.com/files/fluidfinland.kotisivukone.com/FluidKlinitikat/9.pneumatiikan-perusteita.pdf> den 22 Februari 2020
- Kuukka, M. (2010). *Kirkniemen paperitehtaan paineilma-verkon energiatehokkuus*. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Examensarbete för ingenjörsexamen (YH), Kemiteknik, Helsingfors.
- Livepure.com. (2019). *Livepure.com*. Hämtat från <https://www.livpure.com/blog/interesting-facts-about-the-air-we-breathe> den 17 Januari 2020
- Pöyry, J. (2004). *Käyttöohje, Paineilman tuotanto ja jakelu*.
- Sarlin. (2020). *Sarlin*. Hämtat från <https://www.sarlin.com/ty%C3%B6kalupakki/paineilman-laskimet/vuodon-hinta/>
- Trotec. (2020). *Trotec*. Hämtat från <https://se.trotec.com/anvaendningar/allmaenna-avfuktningsoesningar/torkning-av-tryckluft/>
- UPM Jakobstad. (2020). *UPM Jakobstad*. Hämtat från <https://www.upmpulp.com/sv/upm-jakobstad/> den 11 Februari 2020
- UPM Pulp. (2020). *UPM Pulp*. Hämtat från <https://www.upmpulp.com/fi/sellutuotteet> den 11 Mars 2020
- UPM.fi. (2020). *UPM.fi*. Hämtat från <https://www.upm.com/fi/tietoa-meista/> den 17 Januari 2020

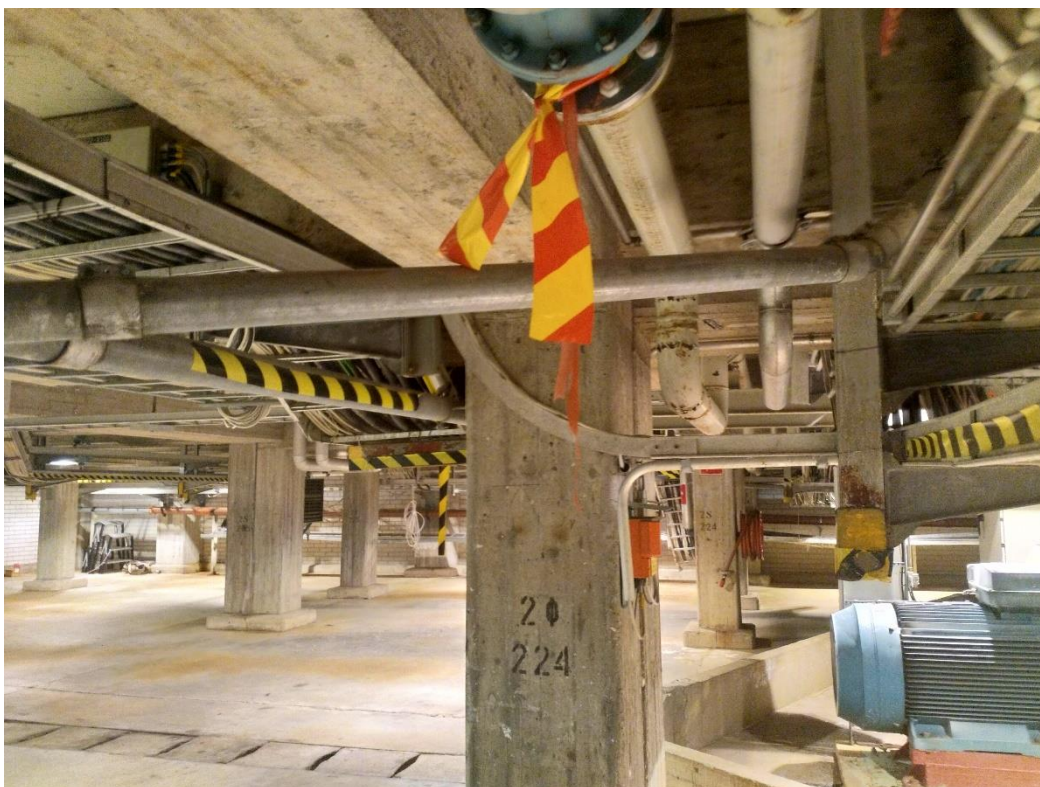
Bilaga 2 Läckagekostnader

Storlek Läckage (Diameter)[mm]	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tryck [bar]	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Tryckluft Temperatur [C]	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Elpris [€/kWh]	0,068547	0,068547	0,068547	0,068547	0,068547	0,068547	0,068547	0,068547	0,068547	0,068547	0,068547	0,068547	0,068547	0,068547	0,068547	0,068547	0,068547	0,068547	0,068547
Drifttimmar/år [h]	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760
Nominell Effektbehov för Tryckluftsystemet [kW/m <sup>3</sup> /min]	6,5395	6,5395	6,5395	6,5395	6,5395	6,5395	6,5395	6,5395	6,5395	6,5395	6,5395	6,5395	6,5395	6,5395	6,5395	6,5395	6,5395	6,5395	6,5395
Kostnad Läckage [€/år]	3	12	27	48	75	108	146	191	242	299	1196	2690	4783	7473	10761	14647	19131	24212	29892
Energi Läckage [MWh/år]	0	0	0	1	1	2	2	3	4	4	17	39	70	109	157	214	279	353	436
Läckage mängd [m <sup>3</sup> /år]	7	27	60	107	167	240	327	427	540	667	2667	6002	10669	16671	24006	32675	42677	54014	66683

Årskostnad för läckage



### Bilaga 3 Läckor



Läckage under torkmaskin 1.



Läckande ventil, pappersmaskin.



Läckande ventil, tvätthallen.



Läckande ventil, C-Bryggan.





Läckande ventil, ovanför flissilo 1-6.



Läckande ventil, flissilo 1-6.

Bilaga 1, Tryckluftskostnader 2017–2019 samt ritningarna Virtaus ja P&I-Kaavio (55068) och Jakelukaavio (122453) borttagna av sekretesskäl.