

2013•2014
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Masterproef

Efficiënt gebruik van perslucht

Promotor :
De heer Jeroen STRYCKERS

Promotor :
Dhr. J. VALKENBURG

Brecht Vanhamel
Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Gezamenlijke opleiding van de Universiteit Hasselt en de KU Leuven

2013•2014

Faculteit Industriële

ingenieurswetenschappen

master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Masterproef

Efficiënt gebruik van perslucht

Promotor :
De heer Jeroen STRYCKERS

Promotor :
Dhr. J. VALKENBURG

Brecht Vanhamel

Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Woord vooraf

Er zijn enkele mensen die ik zou willen bedanken voor het helpen tot stand komen van deze masterproef.

Eerst en vooral wil in Nyrstar Budel bedanken om deze masterproef aan te bieden.

Daarna wil ik ook mijn promotor Jac Valkenburg van Nyrstar Budel bedanken. Hij heeft voor mij een plekje gezorgd in de keet met mijn eigen computer en bureau zodat ik een aangename plek had om te werken. Verder kon ik bij hem terecht met mijn vragen en werd altijd snel geholpen. Verder wil ik ook Leo Brugman bedanken voor het voorbereidende werk dat hij al verricht had voor mijn masterproef.

Hetzelfde geldt ook voor mijn interne promotor drs. ing. Jeroen Stryckers voor zijn . Ook bij hem kon ik terecht met vragen en werd ook zo snel als kon geholpen.

Daarnaast wil ik ook mijn ouders bedanken die het mogelijk gemaakt hebben dat ik aan deze studie kon beginnen en me gesteund hebben doorheen de hele opleiding.

Ten slotte wil ik ook zeker mijn vriendin Anne en al mijn vrienden bedanken voor de steun die ze mij geboden hebben tijdens deze masterproef.

Inhoud

Woord vooraf	1
Lijst met tabellen	4
Lijst met afbeeldingen	5
Abstract	7
1. Inleiding	9
1.1 Situering	9
1.2 Probleemstelling.....	9
1.3 Doelstelling.....	10
2. Theoretische achtergrond.....	11
2.1 Productieproces.....	11
2.2 Perslucht.....	11
2.2.1 Algemeen.....	11
2.2.2 Luchtkwaliteit	11
2.2.3 Luchtvochtigheid.....	12
2.2.4 Dauwpunt	12
2.2.5 Compressoren.....	12
2.2.6 Aanzuigfilters	15
2.2.7 Drogers	15
2.2.8 Buffervat.....	17
2.2.9 Persluchtlekkages.....	18
3. Beschrijving persluchtnet.....	19
3.1 De verschillende persluchtnetten.....	19
3.2 Compressoren	20
3.3 Drogers.....	22
3.4 Buffervaten.....	22
3.5 Leidingen	22
3.6 Drukbeveiligingen	23
3.7 Flow- en drukregeling	23
3.8 Afdeling Loging en Zuivering	23
4. Probleemstelling	25
5. Doelstelling	27
6. Werkwijze en berekeningen	29

6.1 Inventarisatie van de persluchtverbruikers	29
6.2 Persluchtverbruik Nyrstar Budel	30
6.3 Persluchtkosten in de huidige situatie.....	32
6.4 Mogelijke verbeteringen.....	35
6.5 Benodigde druk in vaten	38
6.6 Benodigde drukken filters.....	40
6.7 Vochtgehalte lucht	40
6.8 Drukvalen in de leidingen	41
6.9 Werkdruk compressor	42
6.10 Gekozen compressoren	44
6.11 Besparing per jaar.....	44
6.12 Terugverdientijd	47
6.13 Besparingen door dichten lekken.....	49
6.14 Verdere aandachtspunten	49
8. Conclusie	51
Bijlage A.....	53
Bijlage B.....	62
Bijlage C.....	64
Bijlage D	65
Bijlage E	67
Bibliografie	69

Lijst met tabellen

Tabel 1 : Specificaties compressoren	20
Tabel 2 : Specificaties drogers.....	22
Tabel 3 : Berekening werkdruk verbetering 1.....	43
Tabel 4 : Berekening werkdruk verbetering 2.....	43
Tabel 5 : Persluchtverbruikers procesluchtnet	63
Tabel 6 : Persluchtverbruikers werkluchtnet	64
Tabel 7 : Kostenberekening persluchtlekkages.....	68

Lijst met afbeeldingen

Figuur 1 : Impeller (midden) en difussor (buitenkant)	13
Figuur 2 : Schroeven schroefcompressor	14
Figuur 3 : Opbouw persluchtopwekking.....	20
Figuur 4 : Eerste inventarisatie	29
Figuur 5 : Nieuwe inventarisatie	30
Figuur 6 : Debiëten persluchtopwekking.....	31
Figuur 7 : Verbeteringsmogelijkheid 1.....	36
Figuur 8 : Verbeteringsmogelijkheid 2	37
Figuur 9 : Verbeteringsmogelijkheid 3	38
Figuur 10 : Schematische voorstelling roosting	53
Figuur 11 : Schematische voorstelling gaszuivering.....	54
Figuur 12 : Schematische voorstelling zwavelzuurfabriek.....	55
Figuur 13 : Schematische voorstelling loging.....	56
Figuur 14 : Schematische voorstelling zuivering	57
Figuur 15 : Schematische voorstelling elektrolyse	58
Figuur 16 : Schematische voorstelling smelterij en gieterij.....	59
Figuur 17 : Schematische voorstelling BDS en SRB waterzuivering	60
Figuur 18 : Leidingnetten Logging.....	65
Figuur 19 : Detail leidingen table top	66

Abstract

Het gebruik van perslucht in een bedrijf is duur en moet daarom zo efficiënt mogelijk gebeuren. Nyrstar Budel vermoedt dat de perslucht in de afdeling Logging en Zuivering niet voldoende efficiënt wordt ingezet. Het doel van deze masterproef is te analyseren of een optimalisatie mogelijk is en nagaan wat de terugverdientijd is van eventuele investeringen in een nieuw leidingnet en/of een nieuwe compressor.

Eerst worden de persluchtverbruikers geïnterviewd en het persluchtnet in kaart gebracht aan de hand van P&ID-schema's en andere lijsten die voorhanden waren bij Nyrstar Budel. De verbruiken en drukken worden verkregen door metingen uit te voeren op de leidingen. Met deze gegevens kan er gezocht worden naar optimalisatiemogelijkheden. In dit eindwerk worden er drie verschillende mogelijkheden behandeld. Tot slot wordt ook de terugverdientijd bepaald van de verschillende optimalisaties.

Uit de berekeningen blijkt dat het plaatsen van een extra compressor en het dichtmaken van eventuele lekken de investering is die het snelst terugverdiend is. De andere twee opties zorgen ook voor een efficiënter gebruik van perslucht maar deze zijn duurder waardoor er een langere terugverdientijd is.

1. Inleiding

1.1 Situering

Nyrstar Budel is een bedrijf van de Nyrstar groep. In Nyrstar Budel is de enige zinkfabriek in Nederland en produceert jaarlijks ongeveer 260000 ton zink, vooral SHG-zink en legeringen voor zinkgalvanisatie. De zink kan geleverd worden in verschillende maten en vormen afhankelijk van de vraag van de klant. Naast zink worden er ook nog enkele nevenproducten geproduceerd, namelijk zo'n 360000 ton zwavelzuur, 700 ton cadmium, 500 ton kobaltkoek en 1500 ton koperkoek. ("Nyrstar")

Om van het zinkerts tot gegoten zinkblokken en de nevenproducten te komen, doorlopen de ertsen verschillende afdelingen. Deze afdelingen zijn achtereenvolgens concentraatontvangst en –opslag, roosting en gaszuivering, zwavelzuurfabriek, logging en zuivering, elektrolyse en de smelterij en gieterij.

In een deel van deze afdelingen wordt er perslucht verbruikt maar het grootste verbruik situeert zich op de afdeling logging en zuivering. Hier wordt de perslucht onder andere verbruikt als oxidatielucht, lucht om wervelingen te creëren in vaten, het drogen van filterkoek en het aansturen van pneumatische motoren.

Vier compressoren produceren alle perslucht in het bedrijf en drie drogers drogen de lucht vervolgens tot een dauwpunt van -40°C .

Van die vier compressoren zorgen er drie voor de productie van perslucht van 7 bar die vervolgens over de verschillende afdelingen verdeeld wordt. Op de afdeling logging wordt deze lucht van 7 bar opgesplitst in een tak op 7 bar en een tak van 4 bar. De overige compressor zorgt voor perslucht van 3 bar die gebruikt wordt voor het transport van roostgoed van de afdeling roosting naar de afdeling logging en zuivering.

1.2 Probleemstelling

Perslucht is een dure energiedrager omdat het comprimeren van lucht veel energie vergt. Daarom is het noodzakelijk hier zo zuinig mogelijk mee om te springen om zo de kosten te drukken. Algemeen besproken gebruikt de opwekking van perslucht ongeveer 10% van de totale energiebehoefte van een bedrijf. ("Voka", 2011)

Het probleem bij Nyrstar Budel, in de huidige staat van het persluchtnet, is dat de perslucht niet efficiënt genoeg gebruikt wordt. Ten eerste doet het reduceren van de druk van 7 naar 4 bar de eerdere verhoging teniet. Ten tweede is het lage dauwpunt van -25°C niet noodzakelijk voor verschillende toepassingen, zoals het blazen van oxidatielucht in de vaten.

De reden waardoor de lucht bij Nyrstar Budel niet efficiënt gebruikt wordt is er gekomen doordat de fabriek gebouwd is in de jaren 70, een tijd waarin efficiënt gebruik van energie nog niet zo hoog op de agenda stond. Hierdoor zullen er, tijdens de economische crisis, steeds meer bedrijven op alle mogelijke manieren willen besparen om zo competitief te blijven met andere

bedrijven. Een goede manier om dat te doen is het besparen op energiekosten, die toch een groot deel uitmaken van de uitgaven van een bedrijf.

1.3 Doelstelling

Het doel van deze masterproef bestaat erin voorstellen te formuleren die een besparing kunnen opleveren op gebied van perslucht op de afdeling Loging en Zuivering. Van elk van deze voorstellen wordt de investeringskost, de besparing per jaar en de terugverdientijd bepaald zodat er een beeld kan gevormd worden of het de moeite is om dit project verder te onderzoeken in de toekomst.

Voor deze masterproef als voltooid kan beschouwd worden moeten er verschillende doelstellingen gehaald worden. Ten eerste moet er een inventarisatie gebeuren van de verschillende persluchtverbruikers en hun verbruiken op de afdeling loging en zuivering. Hierna kunnen er voorstellen gedaan worden van verbeteringen aan het net. Een mogelijkheid is een nieuw persluchtnet aan te leggen met daarop alle verbruikers die op gereduceerde en minder droge lucht kunnen werken.

Ten derde kan met de gegevens die hieruit komen een geschikte compressor gekozen worden die voldoet aan de vereisten van het nieuwe net. Als laatste wordt de investeringskost en de terugverdientijd berekend van de verbeteringen. Dan wordt duidelijk welke verbetering het voordeligst zal zijn om uitgevoerd te worden.

2. Theoretische achtergrond

2.1 Productieproces

Het proces dat doorlopen wordt bestaat uit verschillende stappen: namelijk het concentraatontvangst en –opslag, de Roosting en Gaszuivering, de Zwavelzuurfabriek, de Logging, de Zuivering, de Elektrolyse en de Smelterij en Gieterij. Wat de verschillende stappen in dit productieproces inhouden is te vinden in bijlage A.

2.2 Perslucht

2.2.1 Algemeen

Perslucht is lucht uit de omgeving die op een hogere druk gebracht is dan de omgevingsdruk. Dit wordt gedaan door middel van een compressor.

Perslucht wordt geproduceerd door gebruik te maken van een grondstof die goed voor handen is, namelijk de omgevingslucht. Perslucht heeft nog andere voordelen ten opzichte van andere energiebronnen. Zo kan perslucht gebruikt worden in omgevingen waar er explosiegevaar heerst. Het is eveneens een veilige energiebron, bij lekkages is er geen gevaar voor personen of het milieu wat wel het geval is bij bijvoorbeeld hydraulische vloeistof. Het is tevens makkelijk en veilig te produceren, transporteren en op te slaan. Toestellen die op perslucht werken gaan over het algemeen veel langer mee dan bijvoorbeeld elektrische toestellen die dezelfde functie hebben. Al deze factoren maken dat er in de industrie veel gebruik wordt gemaakt van perslucht. Wereldwijd wordt 10% van de elektrische energie in bedrijven gebruikt voor de opwekking van perslucht. ("Voka", 2011)

Hieronder worden enkele eigenschappen van lucht en perslucht beschreven, welke belangrijk zijn bij de productie van perslucht.

2.2.2 Luchtkwaliteit

De omgevingslucht bevat theoretisch gezien uit 78% stikstof, 21% zuurstof en 1% andere stoffen zoals koolstofdioxide en edelgassen zoals argon en helium. ("Persluchtadvies")

In de praktijk bevinden er zich nog andere stoffen in de atmosfeer, afkomstig van industriële processen, transport van mensen en goederen. Deze andere stoffen kunnen eveneens afkomstig zijn van natuurlijke verschijnselen zoals vulkaanuitbarstingen. ("Qplus") Al deze koolwaterstoffen, zwaveldioxide, roet- en stofdeeltjes en industriële restproducten maken dat de aanzuiglucht van de compressor in stedelijke of industriële gebieden niet altijd van goede kwaliteit is. Daarom moet de aangezogen lucht eerst behandeld worden om zo schade aan het persluchtnet te voorkomen.

In niet stedelijke gebieden kunnen we de aanzuiglucht niet volledig als zuiver beschouwen, denk bijvoorbeeld maar aan woestijnzand dat meegevoerd is door de wind of roetdeeltjes in de lucht door een bosbrand. Hier moet er dus gezorgd worden voor een goede behandeling van de lucht om schade aan het net te voorkomen.

2.2.3 Luchtvochtigheid

De lucht in uit de omgeving bevat altijd een bepaalde hoeveelheid water onder de vorm van waterdamp. De hoeveelheid vocht is afhankelijk van de temperatuur van de lucht. De vochtigheid van deze lucht wordt meestal uitgedrukt door de relatieve vochtigheid. De relatieve vochtigheid is de hoeveelheid vocht in de lucht bij een bepaalde temperatuur, gedeeld door de maximale hoeveelheid vocht die de lucht kan opnemen bij diezelfde temperatuur. De relatieve luchtvochtigheid van een mengsel lucht en water is ook gelijk aan de verhouding van de partiële druk van de waterdamp en de verzadigde dampdruk van water. ("Persluchtadvies")

$$\phi = \frac{e_w}{e_w^*} \cdot 100 \% = \frac{X}{X_0} \cdot 100 \%$$

2.2.4 Dauwpunt

Het dauwpunt van lucht is de temperatuur waarbij de lucht verzadigd is. Bij temperaturen lager dan deze temperatuur of wanneer het volume van de lucht verminderd zal er condensatie optreden wat nadelig is voor het persluchtnet.

Het atmosferisch dauwpunt is de temperatuur waarop de vochtige lucht begint te condenseren bij atmosferische druk.

Het dauwpunt onder druk is de temperatuur waarop de lucht begint te condenseren in een systeem onder dat onder druk staat.

Om condensatie in de leidingen tegen te gaan moet de relatieve vochtigheid lager zijn dan 100%. Dus de omgevingstemperatuur moet hoger zijn dan het dauwpunt. Om corrosie volledig te vermijden moet de relatieve vochtigheid zelfs lager liggen dan 50%. ("Persluchtadvies") Het spreekt voor zich dat door men het dauwpunt kan verlagen door meer vocht uit de lucht te verwijderen. Bij de persluchtproductie gebeurt dit al bij de compressie van de lucht in de compressor en in het buffervat als de lucht daar ook afkoelt. De rest van het vocht wordt verwijderd door drogers als dit nodig is.

2.2.5 Compressoren

Het samendrukken van de lucht wordt gedaan door een compressor. Er zijn verschillende types van compressoren beschikbaar op de huidige markt.

De keuze van de juiste compressor hangt af van de toepassing waarvoor de compressor wordt toegepast.

Over het algemeen kunnen we twee soorten van compressoren onderscheiden, namelijk volumetrisch werkende compressoren en dynamisch werkende compressoren.

Volumetrisch werkende compressoren voeren de druk op door het volume van het gas in een gesloten ruimte te verkleinen om zo de druk op te voeren. Dit type van compressor kunnen we verder onderverdelen in lineaire en rotatieve compressoren. Een verdere onderverdeling gebeurt op basis van de constructiekenmerken.

De dynamische compressoren bouwen de druk op door de lucht te versnellen door middel van

roterende elementen. De kinetische energie van de lucht wordt dan door diffusie omgezet in een statische drukverhoging. In een deel met een grotere diameter verlaagt de stromingssnelheid en wordt de stromingsenergie grotendeels omgezet in drukenergie. Dynamische compressoren zijn verder onder te verdelen in axiale, radiale en gecombineerde types. ("Atlas Copco", 2010)

2.2.5.1 Centrifugaal compressor

2.2.5.1.1 Algemeen

De opbouw en werking van centrifugaal compressoren is gelijkaardig aan die van centrifugaalpompen. De lucht komt er axiaal binnen en verlaat de compressor radiaal. Centrifugaal compressoren zijn geschikt in toepassingen waar een groot debiet gewenst is, hebben een hoge bedrijfszekerheid en vergen minder onderhoud dan volumetrische compressoren. ("Pertowiki")



Figuur 1 : Impeller (midden) en difussor (buitenkant)

2.2.5.1.2 Werking

De lucht komt het pomphuis binnen in het midden van de impeller. De impeller maakt een roterende beweging waardoor de lucht naar de buitenkant geslingerd wordt en zo een snelheidsverhoging krijgt. Hierdoor wordt er een onderdruk opgewekt in het midden van de impeller waardoor er weer lucht binnenkomt. Na de impeller stroomt de lucht door de diffusor. Hier wordt de snelheidsenergie van de lucht omgezet in drukenergie. Na het doorlopen van de diffusor komt de lucht terecht in het slakkenhuis, deze heeft zo'n vorm dat de lucht hier een tweede drukverhoging doormaakt. Hierna wordt de perslucht afgevoerd naar buiten. De drukverhoging is afhankelijk van het toerental en de grootte van de impeller, des te hoger het toerental des te hoger de druk. Indien hogere drukken bereikt moeten worden kan dit gebeuren in verschillende trappen. ("Enggcyclopedia") ("Atlas Copco", 2010)

2.2.5.2 Schroefcompressor

2.2.5.2.1 Algemeen

De eerste schroefcompressor bevatten twee schroeven met respectievelijk lobben en groeven die niet in contact komen met elkaar. Hierdoor treden er lekverliezen op welke het rendement van de compressor verlagen.

Dit probleem kan opgelost worden door olie-injectie toe te passen en door gebruik te maken van asymmetrische profielen van de schroeven. Hierdoor wordt de afdichting tussen de lobben en groeven onderling en tussen de schroeven en het huis sterk verbeterd waardoor het rendement verhoogd. Verder zorgt de olie ook nog voor een betere warmteafvoer van de warmte die vrijkomt tijdens de compressie en voor een goede smering van de lagers.

Men een schroefcompressor met olie-injectie kan een drukverhoging bereikt worden die tweemaal hoger is dan de verhoging bij een olievrije schroefcompressor.

Deze olie wordt ook meegenomen door de perslucht en moet dus verwijderd worden voor het verder gedistribueerd wordt over het persluchtnet. Dit wordt gedaan door een olieafscheider. ("Atlas Copco", 2010)

De olievrije schroefcompressoren hebben een beter rendement gekregen door het gebruik van een asymmetrisch schoepenprofiel, nauwkeurigere fabricage van de schroeven en door een speciale schroefbedekking. Al deze verbeteringen zorgen dat de speling tussen de schroeven onderling en tussen de schroeven en het huis verder beperkt, wat een hoger rendement oplevert. Bij dit soort compressoren blijft de maximale drukverhoging beperkt tot 5 bar vanwege de thermische beperkingen van de schroefbedekking. Deze kan de hoge temperaturen die bereikt worden bij hogere drukverhogingen niet aan. ("Atlas Copco", 2010)

Schroefcompressoren zijn over het algemeen compacter in opbouw in verhouding met het debiet dan andere compressoren.

Doordat de schroeven met constante snelheid draaien produceert deze compressor ook weinig trillingen en slijtage is ook beperkt omdat er geen contact is tussen de schroeven onderling en het huis.



Figuur 2 : Schroeven schroefcompressor

2.2.5.2.2 Werking

De werking van de schroefcompressor is als volgt. De lucht komt via de zuigleiding binnen en vult de schroefgangen volledig op zoals te zien in de linkse tekening van figuur 2. Deze ruimte wordt begrensd door de schroeven zelf en het huis van de compressor. Wanneer de schroeven verder draaien wordt deze ruimte afgesloten (middelste figuur) en vervolgens wordt de lucht erin gecompriëerd en getransporteerd naar de drukzijde (rechtste figuur).

De compressor kan op verschillende manieren aangedreven worden, afhankelijk van welke energiebron er voorhanden is. Dit kan een elektromotor, verbrandingsmotor of stoomturbine zijn.

Deze drijft dan de compressor aan met een constante snelheid.

2.2.6 Aanzuigfilters

Voor de inlaat van de compressoren zijn filters geplaatst. Deze dienen om de lucht die aangezogen wordt door de compressor eerst te conditioneren voor deze wordt gecompriëerd. Deze filters regelen onder andere de temperatuur van de aangezogen lucht, verwijderen stofdeeltjes en zwaveldioxide (SO_2) uit de lucht.

Indien de aangezogen lucht te koud is kan er zich ijs afzetten in de aanzuigleiding van de compressor, wat nadelig is voor de capaciteit. Om dit tegen gaan wordt bij koude temperaturen de lucht opgewarmd voor deze de compressor binnengaat.

In de compressor kunnen aangezogen stofdeeltjes schade aanbrengen doordat ze met hoge snelheid langs metalen delen in de compressor schuren. Deze stofdeeltjes worden verwijderd door middel van zakkenfilters.

Bij het comprimeren van de vochtige lucht uit de omgeving ontstaat er condensaat. Dit condensaat kan met de zwaveldioxide in de lucht zwavelzuur vormen en zo de compressor langs de binnenkant aantasten. Met zogenaamde Purafil-filters wordt de zwaveldioxide verwijderd uit de lucht. Dit wordt gedaan door de luchtstroom over met kaliumpermanganaat geïmpregneerde aluminiumkorrels te leiden. Hierdoor gaat de zwavelstofdioxide een binding aan met het kaliumpermanganaat en blijft achter in de filter. Ten slotte worden de allerfijnste stofdeeltjes en e stofdeeltjes afkomstig van de purafil-filter verwijderd door middel van een absolute filter.

("Atlas Copco", 2010)

2.2.7 Drogers

Perslucht wordt gedroogd om te voorkomen dat er condensatie optreedt van de perslucht in de leidingen. Dit kan tot volgende problemen leiden:

- Optreden van corrosie van transportleidingen;
- optreden van slijtage en storingen van pneumatische apparatuur door water en roestdeeltjes uit de transportleiding;
- optreden van verstopping bij het transport van het roostgoed en de zinkstof;
- optreden van bevriezing van de luchtleiding.

Er bestaan verschillende manieren om perslucht te drogen, namelijk:

- Condensatie door overcompressie of afkoeling
- Absorptie;
- Adsorptie;
- combinatie van bovengenoemde methodes.

2.2.7.1 Condensatie door overcompressie

Door de lucht samen te drukken tot een druk boven de gewenste druk en daarna te laten expanderen zal de lucht gedroogd worden. Dit type van droging is gemakkelijk omdat het continue gebeurt. Verder zijn er geen speciale installaties of droogmiddelen nodig. Een nadeel van deze methode is het hoge benodigde vermogen en daarom wordt deze methode meestal voor kleine debieten toegepast. ("Atlas Copco", 2010)

2.2.7.2 Afkoeling en koeling

Hoe lager de temperatuur van de lucht is hoe minder water deze kan vasthouden. De klassieke methode van het koelen van perslucht is daarom het gebruiken van een nakoeler.

Indien het dauwpunt dat met deze methode bereikt wordt nog te laag is, zal men een koelsysteem plaatsen. Om het rendement van het koelsysteem te verhogen wordt de warme, binnenkomende lucht meestal gekoeld met de koudere lucht die het koelsysteem verlaat via een lucht-lucht warmtewisselaar.

Overcompressie en koeling zijn meestal duurder dan het gebruik van droogmiddelen. Men past deze methoden daarom enkel toe bij toepassingen waarbij een sterke koeling of overcompressie echt is in het proces. ("Atlas Copco", 2010)

2.2.7.3 Absorptie

Absorptiedrogers werken doordat water chemisch wordt gebonden aan een absorbent. Dit absorbent kan een vast, onoplosbaar absorbent zijn of een hygroscopisch absorbent dat oplost als het een reactie aangaat met het water in de perslucht in een drukvat.

Indien men gebruik maakt van adsorptiedrogers moet men dus geregeld het absorbent bijvullen en het absorbent dat gereageerd heeft met het water aftappen en afvoeren.

Absorptiedrogers hebben geen bewegende delen en hebben geen energiebehoefte. Dit maakt dat ze makkelijk op afgelegen, gevaarlijke of mobile werksites gebruikt kunnen worden. Aan de andere kant zijn de absorbenten meestal erg agressief. Dit kan gevaarlijk zijn voor het milieu, de installatie en de persoonlijke gezondheid indien er deeltjes van dit droogmiddel worden meegevoerd door de perslucht en zo in het net terechtkomen. Bij hoge temperaturen zal het absorptiemiddel zacht worden en samenklitten. Hierdoor zal er over de droger een grote drukval komen wat dan weer nadelig is voor de efficiëntie van het persluchtnet. ("Atlas Copco", 2010)

2.2.7.4 Adsorptie

Een adsorptiedroger bestaat uit twee vaten die gevuld zijn met een adsorptiemiddel. Dit wordt het adsorptiebed genoemd. Het adsorptiemiddel dat in Nyrstar Budel gebruikt wordt zijn aluminiumoxide-korrels. Bij adsorptie wordt waterdamp onttrokken aan de perslucht door het water te binden aan de oppervlakte van het adsorptiemiddel. Dit wordt gedaan door de lucht die afkomstig is van de compressoren door het adsorptiebed te sturen waar het water wordt opgenomen door het adsorptiemiddel. Aan de uitlaat verlaat de gedroogde lucht de droger en gaat het verder in het persluchtnet.

Het adsorptiemiddel kan niet oneindig water blijven opnemen en zal na verloop van tijd verzadigen. Hierna kan het geen water meer opnemen uit de lucht. Dit water moet dus eerst weer verwijderd worden van het adsorptiemiddel, wat regeneratie genoemd wordt regeneratie. Hierbij wordt er eerst overgeschakeld naar het tweede vat dat de perslucht verder droogt en het 1^e vat wordt geregenereerd. Dit wordt gedaan door verhitte lucht door het adsorptiemiddel te sturen waardoor het water zal verdampen en afgevoerd worden samen met de regeneratielucht. Hierna wordt het adsorptiemiddel weer afgekoeld door lucht uit de omgeving door het adsorptiebed te sturen. Hierna is het adsorptievat weer klaar voor gebruik.

Deze cyclus van drogen en regenereren kan meerdere keren herhaald worden, maar door vervuiling en vergruizing zal de opnamecapaciteit van het droogmiddel langzaam afnemen. Dit maakt dat het adsorptiemiddel om de 2-5 jaar vervangen moet worden, afhankelijk van de belastings- en vullingsgraad.

Dit droogproces wordt bewaakt door een tijds klok en een dauwpuntsmeting van de gedroogde lucht. Bij aanvang van het drogen zal het dauwpunt het laagst zijn en zal langzaam toenemen naarmate het adsorptiemiddel meer verzadigd is. Er wordt overgeschakeld naar het andere adsorptiebed indien de droogtijd van zes uur verstreken is of als het ingestelde dauwpunt wordt overschreden. ("Atlas Copco", 2010)

2.2.8 Buffervat

Meestal wordt er in het persluchtnet een buffervat geplaatst. Dit heeft verschillende redenen. Ten eerste is dit een manier om perslucht op te slaan. Een buffervat vangt piekbelastingen op en bij zuigercompressoren worden zo eveneens pulsaties van de persluchtstroom opgevangen. Een andere eigenschap is dat een buffervat de lucht die erin zit koelt. Hierdoor zal er water condenseren in het vat waardoor de lucht al droger wordt. Om deze reden plaatst men het buffervat best voor de drogers om er zo voor te zorgen dat de drogers minder belast worden en dus minder snel moeten regenereren. ("Atlas Copco", 2010)

2.2.9 Persluchtlekkages

Persluchtlekkages zijn een zeer voornamelijk bron van energieverlies in persluchtinstallaties. Gemiddeld gaat 10 tot 30 % van de geproduceerde perslucht verloren door persluchtlekkages. Het is dus belangrijk om deze lekken op te sporen en te herstellen. Dit kan gedaan worden door een ultrasoon detector.

Een ultrasoon detector kan lekken opsporen door dat de luchtmoleculen tegen de randen van het lek schuren en zo een ultrasoon geluid produceren. Dit ultrasoon geluid wordt dan opgenomen door de detector. Op deze manier kunnen de lekken gedetecteerd worden, de grootte van de lekken kan bepaald worden door te kijken hoe luid het geluid nu juist is. De grootte van het geproduceerde geluid is proportioneel met het gat in de leiding. Indien men de druk in de leiding ook weet kan men bepalen hoeveel perslucht er via het lek in de omgeving terechtkomt. (Jacobs)

3. Beschrijving persluchtnet

Het doel van het persluchtnet is verbruikers de mogelijkheid te bieden om perslucht te gebruiken voor bepaalde doeleinden zoals het aandrijven van gereedschappen en apparaten, het transporteren van stoffen zoals roostgoed en zinkstof en bij de oxidatie van ijzer in de afdeling Loging en Zuivering. Het is belangrijk dat de perslucht van constante druk is, omdat anders bepaalde verbruikers niet meer of niet meer goed kunnen functioneren.

De persluchtvoorziening bestaat uit de compressie van lucht, het drogen van de lucht en de distributie van de lucht.

3.1 De verschillende persluchtnetten

In Nyrstar Budel wordt de perslucht onderverdeeld in 3 groepen, zoals te zien is in figuur 3. Deze drie groepen zijn de werklucht, instrumentenlucht en transportlucht.

3.1.1 Werklucht

Dit is perslucht die doorheen de hele fabriek gebruikt wordt. Het grootste deel wordt gebruikt voor het aandrijven van machines. Verder wordt het gebruikt voor roetblazers, het porren in afgasketels, voor pneumatische stofzuigers, zakkenfilters en voor het pneumatisch transport van zinkstof.

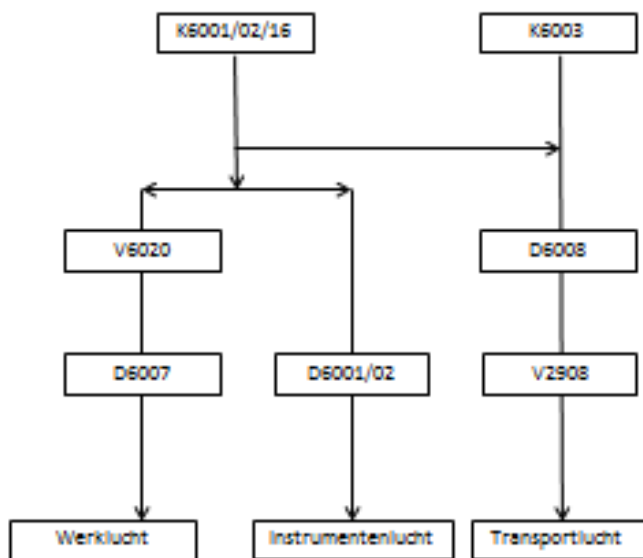
In de afdeling Loging en Zuivering wordt de hoofdleiding vertakt in proceslucht van 4 bar, gebruikt voor het afblazen en leegdrukken van filters en voor oxidatielucht in het logingsproces en werklucht op 7 bar.

3.1.2 Transportlucht

Transportlucht wordt enkel op de afdeling Roosting gebruikt voor het pneumatisch transport van het roostgoed naar de afdeling Loging.

3.1.3 Instrumentenlucht

De instrumentenlucht wordt gebruikt voor de pneumatische meet- en regelapparatuur. De instrumentenlucht is verder onderverdeeld in een vitale en een niet-vitale groep. In de vitale groep zitten verbruikers die van belang zijn voor de productie en de veiligheid. Deze verbruikers moeten ten alle tijden van perslucht voorzien zijn. De niet-vitale groep is van minder en worden bij ernstige problemen van de persluchtvoorziening niet meer voorzien van perslucht.



Figuur 3 : Opbouw perslucht opwekking

3.2 Compressoren

Zoals te zien is op figuur 3 wordt de perslucht opgewekt door 4 compressoren. Deze zuigen de buitenlucht aan en laten de lucht eerst de inlaatfilters passeren. Hier worden de in de lucht aanwezige stofdeeltjes en de aanwezige zwaveldioxide verwijderd. Compressor K6001, K6002, K6016 staan in voor de opwekking van werk- en instrumentenlucht van 7 bar(o). Deze lucht kan ook gebruikt worden als transportlucht als er daar een tekort aan is. Compressor K6003 wordt gebruikt voor de productie van transportlucht van 3 bar.

Afhankelijk van de benodigde hoeveelheid perslucht worden compressoren afzonderlijk of gelijktijdig ingeschakeld om zo economisch mogelijk aan de persluchtbehoefte te voldoen.

De compressoren hebben de volgende specificaties:

Naam	Capaciteit [Nm ³ /h]	Druk [bar]	Vermogen [kW]
K-6001	10000	7	1300
K-6002	10000	7	1300
K-6016	4200	7	500
K-6003	5400	3	400

Tabel 1 : Specificaties compressoren

De hoeveelheid perslucht wordt uitgedrukt in normaal-kubieke meter (nm^3). Een normaal-kubieke meter is het volume lucht in een bepaald volume lucht omgerekend een absolute druk van 1 atmosfeer overdruk (1,013 bar) en een temperatuur van 0°C (273,15K). Het aantal luchtdeeltjes in een bepaald volume is namelijk afhankelijk van de druk en de temperatuur. Door nu gebruik te maken van het begrip nm^3 is het niet meer nodig om de druk en temperatuur van de lucht te vermelden.

De K6001 en K6002 zijn twee viertraps compressoren die de lucht samendrukken tot een druk van 7 bar(o). Deze compressoren leveren olievrije werk-, instrumenten-, en transportlucht. Naast K6001 en K6002 is compressor K6016 beschikbaar voor het leveren van perslucht voor het werk-, instrumenten- en transportlucht, maar deze compressor is een drietrapscompressor. Voor de primaire opwekking van transportlucht met een druk van 3 bar (o) is 2- traps compressor K6003 beschikbaar.

Een elektromotor drijft rechtstreeks de hoofdas van de compressor aan. Die hoofdas drijft op zijn beurt de 4 assen aan, waaraan de impellers of rotors bevestigd zijn. De impellers vertonen veel gelijkenissen met een waaier van een centrifugaalpomp. Bij het doorlopen van de verschillende trappen neemt de lucht af in volume en toe in druk. De waaiers hebben steeds kleinere afmetingen en steeds grotere omwentelingssnelheden. De eerste trap zuigt de lucht aan uit de buitenlucht via de filter F-6015/16 en drukt deze samen tot een druk van $\pm 0,5$ bar. Na deze trap wordt de lucht gekoeld m.b.v. koelers en het condensaat wordt afgevoerd naar het riool. Na deze stap wordt de lucht verder gecomprimeerd in de volgende trappen tot respectievelijk 2, 4 en 7 bar. Het condensaat wordt ook tussen deze trappen afgevoerd naar het riool. Na de lucht een laatste keer te koelen wordt deze afgevoerd naar het persluchtnet. De capaciteit van de compressoren is traploos regelbaar tussen 70% en 100%, afhankelijk van het persluchtverbruik. Is het verbruik lager dan de minimumcapaciteit dan wordt de overtollige lucht afgeblazen in de atmosfeer.

De hoofdoliepomp zorgt dat er een goede smering is tijdens het bedrijf van de compressor. Via een filter wordt de olie aangezogen uit het oliereservoir en naar de compressor gevoerd. Vanuit de compressor wordt dit teruggevoerd naar het oliereservoir. Twee oliekoelers voeren de in de compressor opgenomen warmte af uit de olie. Een overdrukventiel regelt de oliedruk op ± 2 bar. Verder is er ook nog een hulpoliepomp geïnstalleerd. Deze heeft twee functies. Ten eerste koelt deze pomp de compressorlagers direct na de uitbedrijf name van de compressor. De tweede taak is het op temperatuur houden van de lagers bij stilstand.

Hierdoor kan de compressor in noodgevallen snel worden ingeschakeld zonder overmatige slijtage van de lagers. Een aparte elektromotor drijft de hulpoliepomp aan en wordt ingeschakeld zodra de compressor wordt stilgelegd. Bij het starten van de compressor blijft de hulpoliepomp nog 17 seconden in bedrijf.

De K6016-compressor werkt op dezelfde manier maar doet de drukverhoging van 0 naar 7 bar in 3 trappen i.p.v. 4. Voor K6003 geldt hetzelfde behalve dat deze een einddruk van 3 bar levert.

Na gecomprimeerd te zijn moet de lucht worden gedroogd. Dit wordt gedaan door adsorptiedrogers waarbij de waterdamp zich vasthecht aan het oppervlak van een vaste stof.

3.3 Drogers

Voor de perslucht verder in het net kan om verbruikt te worden door de persluchtverbruikers moet deze gedroogd worden om schade en storingen aan het persluchtnet te voorkomen. Dit gebeurt met zogenaamde adsorptiedrogers. Voor zowel de werk-, instrumenten- als voor de transportlucht zijn aparte drogers geïnstalleerd. Deze drogers kunnen een dauwpunt bereiken van minder dan -40°C.

De geplaatste drogers hebben de volgende capaciteit:

Naam	Capaciteit [Nm ³ /h]	Dauwpunt [°C]	Vermogen [kW]
D-6001/02 (Instrumentenluchtdroger)	4000	<-40	46
D-6007 (Werkluchtdroger)	10000	<-25	154
D-6008 (Transportluchtdroger)	6000	<-10	180

Tabel 2 : Specificaties drogers

3.4 Buffervaten

In het persluchtnet zijn 2 buffervaten geplaatst. Een voor de werk en instrumentenlucht (V6020) en een voor de transportlucht (V-2908). Deze buffervaten vangen fluctuaties in het persluchtverbruik en piekbelastingen op. Tevens condenseert hier al een deel van de waterdamp die aanwezig is in de perslucht zodat de drogers die na het buffervat geplaatst zijn minder belast gaan worden.

3.5 Leidingen

Alles is met elkaar verbonden door middel van stalen persluchtleidingen. Er is een verbinding tussen het persluchtnet voor werk- en instrumentenlucht en het persluchtnet voor transportlucht. Deze verbinding is er voor als er een tijdelijke hoge vraag is van transportlucht en de compressor K-6003 de vraag niet aankan. Door de verbinding kan er perslucht van het andere net geleverd worden aan het transportnet om toch voldoende perslucht beschikbaar te stellen. Het werkluchtnet en het instrumentenluchtnet zijn ook met elkaar verbonden om ervoor te zorgen dat deze bij eventuele problemen toch nog van perslucht voorzien kunnen worden. Op de afdeling logging wordt de werklucht die binnenkomt nog vertakt in werklucht en proceslucht. Deze proceslucht is lucht van 4 bar en de werklucht is lucht van 7 bar.

3.6 Drukbeveiligingen

Op verschillende plaatsen in het net worden drukken en debieten gemeten om eventuele problemen vast te stellen zoals bijvoorbeeld verstopte luchtdrogers. Voor de drukbeveiligingen worden enerzijds proportioneel geregelde kleppen en anderzijds open-dichtkleppen gebruikt. Bij proportioneel geregelde kleppen is de klepverstelling afhankelijk van het drukverschil. De klep wordt na herstel van de afwijking terug in de normale stand gebracht.

Bij open-dicht kleppen worden de kleppen bij een drukverschil, afhankelijk van de benodigde actie, geheel gesloten of geopend. Na herstel van de afwijking dienen deze kleppen handmatig geopend of gesloten te worden.

3.7 Flow- en drukregeling

Aan de hand van het persluchtverbruik en de druk moet bepaald worden welke compressoren ingeschakeld moeten worden. Hierbij is het belangrijk te letten op het energieverbruik van de compressoren. Door middel van een drukregelaar kan de opbrengst van de compressor geregeld worden tussen 70% en 100%. Dit wordt gedaan door de hoeveelheid aangezogen lucht te regelen. Is de gewenste opbrengst toch kleiner dan 70% dan zal de overtollige lucht worden afgeblazen naar de buitenlucht. Het is duidelijk dat dit een ongewenste situatie is die zoveel mogelijk vermeden moet worden.

Omdat perslucht met hoge druk produceren meer energie kost dan perslucht met lage druk is het voordeliger om K-6003 te laten afblazen dan K-6001/02 en K-6016 indien er een tijdelijk een lager verbruik is dan er geproduceerd wordt. Indien dit lager verbruik langer duur moeten de compressoren zo geschakeld worden zodat er met al de compressoren die in bedrijf zijn geen lucht wordt afgeblazen.

Bij normaal verbruik zijn er drie compressoren in bedrijf nl., K-6003, K-6016 en K-6001 of K-6002. Indien er een hoger verbruik is, zijn K-6001, K-6002 en K-6016 in bedrijf. Dit leidt tot een sterke verhoging van het energieverbruik. Na het verlagen van het verbruik moet een van de compressoren K-6001 of K-6002 zo snel mogelijk worden gestopt. Nog beter is om verhoogd verbruik te voorkomen door grote verbruikers niet gelijktijdig te gebruiken als dit mogelijk is. Dit wordt gedaan door afspraken te maken in het bedrijf.

3.8 Afdeling Loging en Zuivering

Op de afdeling Loging wordt de werklucht opgesplitst. Een deel blijft werklucht op 7 bar. Een tweede deel wordt gereduceerd tot een druk van 4 bar, proceslucht genaamd. Welke verbruikers op welk net hangen was niet gekend. Enkel naar welke delen van de afdeling de lucht gevoerd wordt. Een inventarisatie van alle verbruikers op de afdeling is uitgevoerd tijdens dit eindwerk.

Tot op heden zijn er geen kaarten gemaakt met daarop het leidingnet in de huidige staat. Men weet dus niet precies welke leidingen op welke plaats lopen. In dit eindwerk zijn de hoofdpersluchtleidingen ook in kaart gebracht.

4. Probleemstelling

In de huidige industrie verbruikt de opwekking van perslucht ongeveer 10% van de totale energiebehoefte van een bedrijf. Daarboven is perslucht een dure energiedrager en daarom moet men hier zo efficiënt mogelijk mee omspringen om de kosten van de perslucht zoveel mogelijk te drukken.

Het probleem in de huidige situatie is dat de perslucht op de afdeling Loging en Zuivering niet efficiënt genoeg gebruikt wordt. Het reduceren van de druk van 7 bar naar 4 bar is een verlies omdat het op 7 bar brengen van de perslucht geen meerwaarde geeft aan de perslucht als deze gewoon wordt verlaagd naar 4 bar. Een dauwpunt van -25°C ook niet nodig voor bepaalde toepassingen, zoals het blazen van oxidatielucht in de vaten of het verwijderen van filterkoek.

Dat probleem is er gekomen doordat de fabriek in de huidige staat is gebouwd in de jaren 70, een tijd waarin efficiënt gebruik van energie nog niet zo hoog aangeschreven stond. Hierdoor zullen er op dit moment, tijdens de economische crisis, steeds meer bedrijven op alle mogelijke manieren willen besparen om zo competitief te blijven met andere bedrijven. Een goede manier om dat te doen is het besparen op energiekosten, die toch een groot deel uitmaken van de uitgaven van een bedrijf.

5. Doelstelling

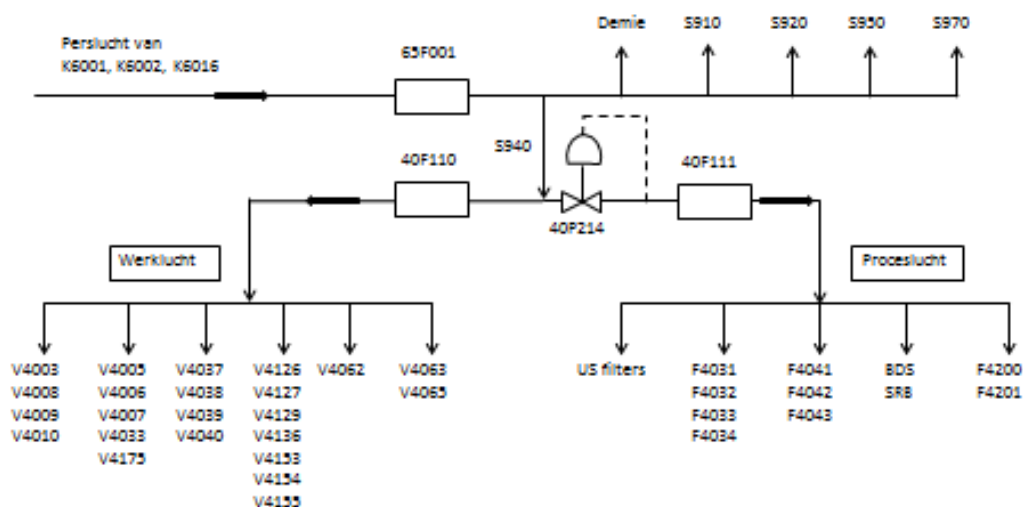
Om een oplossing te zoeken voor het probleem van verspilling van perslucht is dit eindwerk tot stand gekomen. Het doel bestaat erin voorstellen te doen tot verbetering van, en te bepalen of het rendabel is om een aanpassing door te voeren aan het bestaande persluchtnet op de afdeling Loging en zuivering. Er moet dus een beeld gevormd worden van de kosten en besparingen die deze verbeteringsvoorstellen met zich meebrengen om aan te geven of het de moeite is om dit verder te onderzoeken in de toekomst. Tevens moet er ook een inventarisatie gebeuren van de persluchtverbruikers op deze afdeling.

6. Werkwijze en berekeningen

Om te weten waar er bespaard kan worden moet men eerst weten welke processen er allemaal gebruik maken van perslucht. Om dit te doen is er een inventarisatie uitgevoerd van alle persluchtverbruikers in de afdeling Loging en Zuivering en zijn de voornaamste debieten doorheen de leidingen bepaald. Met deze debieten was het mogelijk de prijs van de perslucht te bepalen in de huidige situatie. Zo kan er een prijs geplakt worden op de kosten van de perslucht opwekking in het algemeen en hoeveel de afdeling Loging en Zuivering hiervoor verantwoordelijk is. Na deze stappen zijn er 3 verbeteringsmogelijkheden bedacht die besparingen kunnen opleveren. Voor de besparing kon bepaald worden moest er naar de nieuwe parameters van het nieuwe net gekeken worden. Zo moet er bijvoorbeeld naar de werkdruk van de nieuwe compressor gekeken worden. Met deze parameters in gedachten kan er een selectie gemaakt worden voor een nieuwe compressor en droger. Met de prijs van de nieuwe componenten en het energieverbruik ervan kan men tot slot de besparingen per jaar en de terugverdientijd van de investering berekenen.

6.1 Inventarisatie van de persluchtverbruikers

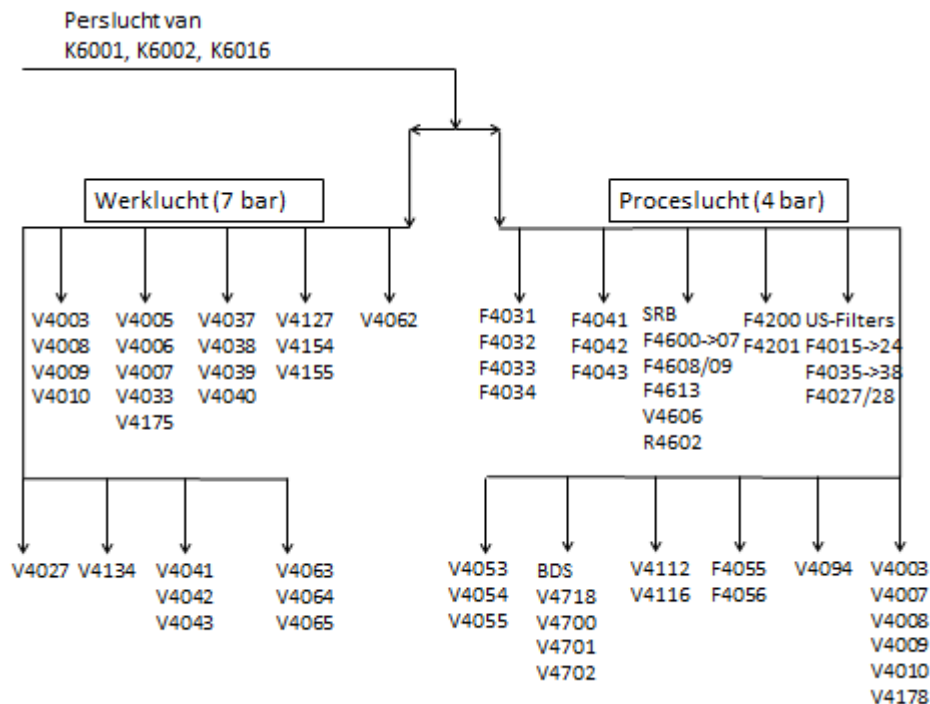
Voor er kan begonnen worden aan de berekeningen moet men eerst weten welke persluchtverbruikers er allemaal aanwezig zijn op de afdeling en hoeveel deze verbruiken. Hierdoor kunnen we een beeld vormen van persluchtbehoefte van deze afdeling, wat belangrijk is bij het berekenen van een alternatief persluchtnet. De inventarisatie is gedaan aan de hand van P&ID-schema's uit SAP en door te gaan kijken in de productieafdeling zelf. Hierbij moest er nagekeken worden of de P&ID-schema's nog overeenkomen met het werkelijke persluchtnet. Bij de start van dit project was er al een inventarisatie uitgevoerd. Een schema hiervan is te zien op figuur 4. Op deze inventarisatie is dan verder gebouwd en is er gekeken of hierop alle persluchtverbruikers aanwezig zijn.



Figuur 4 : Eerste inventarisatie

De persluchtverbruikers en hun doel die uit de inventarisatie gekomen zijn, zijn weergegeven in bijlage B en C voor het werk- en procesluchtnet respectievelijk.

Er is op te merken dat de verbruikers V4126, V4129, V4153 en V4027 niet aanwezig zijn op het persluchtnet en dat V4003, V4007, V4008, V4009, V4010, V4178 nog ontbraken op het procesluchtnet. Ook vaten V4094, V4112 en V4116 waren nog niet tot de persluchtverbruikers gerekend. De effectieve verbruikers op de afdelingen SRB en BDS waterzuivering waren ook nog niet gekend wat nu wel het geval is. Aan de hand van deze bevindingen is een nieuw schema opgesteld dat weergegeven is in figuur 5.



Figuur 5 : Nieuwe inventarisatie

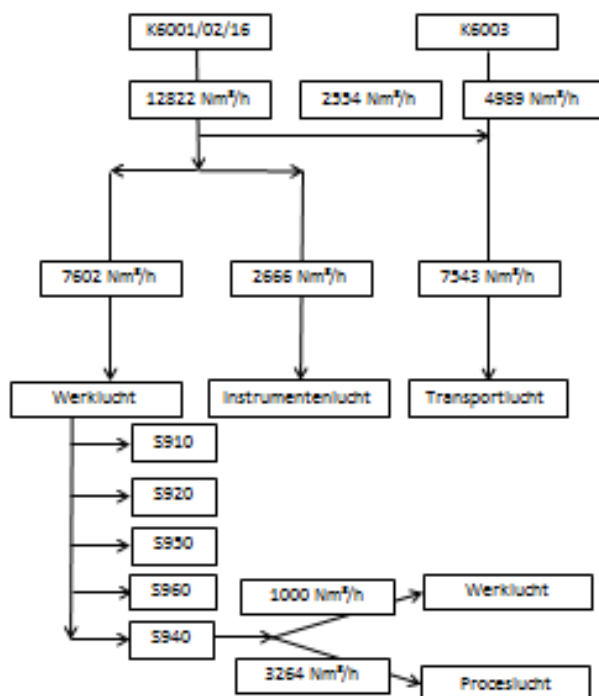
Tijdens deze inventarisatie zijn ook de meeste hoofdleidingen van het persluchtnet in kaart gebracht. Dit is gedaan door te gaan kijken in de productieafdeling. In bijlage D zijn de tekeningen hiervan te vinden.

Dit deel van het eindwerk heeft het meeste tijd in beslag genomen omdat niet alle leidingen zichtbaar waren en het niet zeker was of de P&ID-schema's nog juist waren. Verder waren sommige delen van de fabriek niet zomaar te betreden zonder geldige vergunning. Hetzelfde geldt wanneer er werkzaamheden worden uitgevoerd waardoor bepaalde delen niet toegankelijk waren.

6.2 Persluchtverbruik Nyrstar Budel

De persluchtproductie en de verdeling ervan over de verschillende netten met de debieten is te zien op figuur 6. De debieten die hier weergegeven zijn, zijn gemiddelden. Zo wordt er niet constant lucht overgestort van het werk/instrumentenluchtnet naar het transportluchtnet. Dit

gebeurt enkel indien er hieraan nood is. Als dit gebeurt staat compressor K6003 uit en leveren compressoren K6001 en K6002 alle benodigde lucht voor de drie netten.



Figuur 6 : Debieten persluchtopwekking

De gegevens zijn verkregen door het debiet te loggen. Dit was in Nyrstar Budel al gedaan voor een periode van 3 jaar. De gemiddelden die in figuur 6 zijn weergegeven zijn gemiddelden van 1 jaar, van maart 2012 tot maart 2013.

De debieten van de werklucht en de proceslucht op de afdeling Loging (S940) zijn gelogd over een periode van 5 dagen.

Compressoren K6001/02/16 produceren samen gemiddeld $12822 \text{ Nm}^3/\text{h}$ perslucht waarvan er gemiddeld $2554 \text{ Nm}^3/\text{h}$ wordt overgestort naar het transportluchtnet.

Voor het transportluchtnet produceert compressor K6003 reeds gemiddeld $4989 \text{ Nm}^3/\text{h}$ aan perslucht. De overige lucht van K6001/02/16 wordt gebruikt als werklucht ($7602 \text{ Nm}^3/\text{h}$) en instrumentenlucht ($2666 \text{ Nm}^3/\text{h}$). Deze lucht wordt verdeeld over de verschillende afdelingen.

Uit de loggegevens komt dat het verbruik van proceslucht gemiddeld $3164 \text{ Nm}^3/\text{h}$ bedraagt. Er treden ook pieken op in het persluchtverbruik van ongeveer $6000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ gedurende ongeveer 10 minuten. Deze pieken worden veroorzaakt door het gebruik van de filters F4200 en F4201. Dit heeft in het verleden al problemen veroorzaakt omdat de druk op het net hierdoor aanzienlijk daalde.

Het verbruik van de werklucht heeft een constanter verloop dan de proceslucht en ligt rond 1000 maar kan gedurende langere tijd ook $1200 - 1400 \text{ Nm}^3/\text{h}$ zijn of zelfs $750 \text{ Nm}^3/\text{h}$ zijn. De tijd waarop het verbruik stijgt van 1000 naar bv 1200 bedraagt enkele dagen en verloopt zeer

geleidelijk. Gedurende een dag blijft het verbruik vrij constant met kleine fluctuaties. In de berekeningen wordt 1000 Nm³/h genomen als debiet van de werklucht op de afdeling Loging.

6.3 Persluchtkosten in de huidige situatie

In de volgende stappen wordt de prijs van de perslucht berekend per Nm³.

De persluchtkosten zijn gebaseerd op elektriciteitsverbruik van de compressor, van de drogers en de onderhoudskosten.

Elektriciteitskosten compressoren

De prijs aan elektriciteit voor de compressor wordt berekend aan de hand van loggegevens die over een periode van 3 jaar gedaan zijn. Hieruit wordt dan een gemiddelde van 1 jaar genomen, van maart 2012 tot maart 2013 zoals ook bij het persluchtverbruik gedaan is. Tevens is bij de loggegevens ook het aantal kWh/Nm³ gegeven. Deze bedraagt gemiddeld 0,157kWh/Nm³ en per uur wordt er gemiddeld 12822 Nm³ aan perslucht geproduceerd. De kosten van compressor K6003 hebben geen invloed op de kosten van de perslucht gebruikt op de afdeling Loging en worden hier dus ook niet in rekening gebracht. De prijs voor elektriciteit schommelt met de tijd maar in dit eindwerk wordt een prijs van 0,05 €/kWh genomen.

Met al deze gegevens kan nu de elektriciteitskost per Nm³ perslucht berekend worden.

Eerst bepalen we het vermogen om 12822 Nm³ perslucht op te wekken in 1 uur.

$$\frac{\text{Vermogen}}{h} = 12822 \frac{\text{Nm}^3}{h} \cdot 0,1570 \frac{\text{kWh}}{\text{Nm}^3} = 2013,054 \text{ kW}$$

Indien deze uitkomst vermenigvuldigd wordt met de kostprijs van elektriciteit bekomt men de elektriciteitskosten per uur.

$$\frac{\text{Kosten}}{h} = 2013,54 \text{ kW} \cdot 0,05 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 100,65 \frac{\text{€}}{h}$$

Als de elektriciteitskosten per uur gedeeld wordt door de persluchtproductie per uur wordt de kost per Nm³ perslucht bekomen.

$$\frac{\text{Kosten}}{\text{Nm}^3} = \frac{100,65 \frac{\text{€}}{h}}{12822 \frac{\text{Nm}^3}{h}} = 0,00785 \frac{\text{€}}{\text{Nm}^3}$$

Op een heel jaar geeft is dit een kost van

$$\frac{\text{Kosten}}{\text{Jaar}} = 0,00785 \frac{\text{€}}{\text{Nm}^3} \cdot 12822 \frac{\text{Nm}^3}{h} \cdot 24 \text{ h} \cdot 365 \text{ dagen} = 881717,65 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}}$$

Elektriciteitskosten drogers

De werkluchtdroger (D6007) droogt de al de werklucht die doorheen de plant gebruikt wordt. De droger droogt met droogcyclussen van ± 8 uur, na deze tijd wordt er overgeschakeld naar het andere droogvat, die dan ook weer voor 8 uur droogt. Tijdens het drogen van het ene vat gaat de andere in regeneratie. deze regeneratiecyclus duurt $\pm 4,5$ uur. De warme regeneratielucht wordt aangezogen door een ventilator en verwarmd door verwarmingselementen van 150 kW. Per dag doet de droger dus 3 regeneratiecyclussen, wat betekent dat de verwarmingselementen 13,5 uur per dag aanstaan, wat per dag een vermogen opneemt van:

$$\frac{\text{Vermogen}}{\text{dag}} = 13,5 \text{ h} \cdot 150 \text{ kW} = 2025 \frac{\text{kWh}}{\text{dag}}$$

Deze uitkomst vermenigvuldigd met de elektriciteitsprijs geeft de kostprijs van de drogers per dag.

$$\frac{\text{Kostprijs}}{\text{dag}} = 2025 \frac{\text{kWh}}{\text{dag}} \cdot 0,05 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 101,25 \frac{\text{€}}{\text{dag}}$$

Indien de kostprijs per dag gedeeld wordt door de hoeveelheid perslucht die gedroogd wordt door de filter per dag bekomt men de kostprijs om de lucht te drogen per Nm^3 perslucht.

$$\frac{\text{Kosten}}{\text{Nm}^3} = \frac{101,25 \frac{\text{€}}{\text{dag}}}{24 \text{ h} \cdot 7602 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}}} = 0,0005549 \frac{\text{€}}{\text{Nm}^3}$$

Over een heel jaar geeft dit een kost van

$$\frac{\text{Kosten}}{\text{Jaar}} = 0,0005549 \frac{\text{€}}{\text{Nm}^3} \cdot 7602 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}} \cdot 24 \text{ h} \cdot 365 \text{ dagen} = 36952,74 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}}$$

Onderhoudskosten

Ieder jaar worden er onderhoudstaken uitgevoerd aan de compressoren en drogers van de persluchtopwekking. Deze onderhoudstaken kunnen gaan van revisies tot een eenvoudige controle van bepaalde punten. Deze kosten verschillen sterk per maand en daarom wordt er hier een gemiddelde genomen.

De gemiddelde onderhoudskosten van de compressoren worden bepaald door de kosten per maand van een langere periode te nemen, namelijk van januari 2005 tot januari 2014.

De gemiddelde prijs per maand is nu:

$$\frac{\text{Kost}}{\text{maand}} = \frac{713148,79 \text{ €}}{109 \text{ maanden}} = 6542,65 \frac{\text{€}}{\text{maand}} = 78511,8 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}}$$

Verder zijn er ook onderhoudskosten verbonden aan de drogers. De werkluchtdroger wordt om de 4 jaar gekeurd en tijdens deze keuring wordt ook het absorbent vervangen. Dit kost 22000 euro per keuring.

De gemiddelde prijs per jaar is nu:

$$\frac{Kost}{Jaar} = \frac{22000 \text{ €}}{4 Jaar} = 5500 \frac{\text{€}}{Jaar}$$

Indien de onderhoudskosten van de compressoren en de drogers bij elkaar worden opgeteld wordt de jaarlijkse onderhoudskost bekomen.

$$\frac{Kost}{maand} = 78511,8 \frac{\text{€}}{Jaar} + 5500 \frac{\text{€}}{Jaar} = 84011,8 \frac{\text{€}}{Jaar}$$

De kost per Nm³ is te vinden door de kost per jaar te delen door de totale persluchtproductie per jaar.

$$\frac{Kosten}{Nm^3} = \frac{84011,8 \frac{\text{€}}{Jaar}}{24 h \cdot 12822 \frac{Nm^3}{h} \cdot 365 \text{ dagen}} = 0,000748 \frac{\text{€}}{Nm^3}$$

Totale kostprijs perslucht per Nm³

De totale prijs van de perslucht per Nm³ wordt gevonden door de elektriciteitskosten per Nm³ van de compressoren en de drogers op te tellen bij de onderhoudskosten.

$$\frac{Totale kostprijs}{Nm^3} = 0,00785 \frac{\text{€}}{Nm^3} + 0,0005549 \frac{\text{€}}{Nm^3} + 0,000748 \frac{\text{€}}{Nm^3} = 0,00915 \frac{\text{€}}{Nm^3}$$

Totale kostprijs perslucht afdeling Logging

De kostprijs aan perslucht per jaar op de afdeling Logging wordt gevonden door de totale kostprijs per Nm³ perslucht te vermenigvuldigen met de jaarproductie aan perslucht.

$$\frac{Kostprijs}{jaar} = 0,00915 \frac{\text{€}}{Nm^3} \cdot 4200 \frac{Nm^3}{h} \cdot 24 h \cdot 365 \text{ dagen} = 336646,8 \frac{\text{€}}{Jaar}$$

6.4 Mogelijke verbeteringen

Om het huidige probleem op te lossen kunnen er verschillende mogelijkheden een oplossing bieden. In deze thesis zijn er drie van deze oplossingen onderzocht.

In de volgende alinea's worden deze mogelijke oplossingen een voor een uitgelegd.

Voorstel 1

Op figuur 7 zien we de eerst mogelijkheid voor de verbetering van het huidige persluchtnet. Bij deze verbetering worden de verbruikers op de werkluchttak en enkele verbruikers op de procesluchttak die hiervoor geschikt zijn op een apart net aangesloten.

De lucht in dit net wordt geleverd door een ventilator of compressor en levert lucht op een druk die hoog genoeg is om in de vaten te blazen.

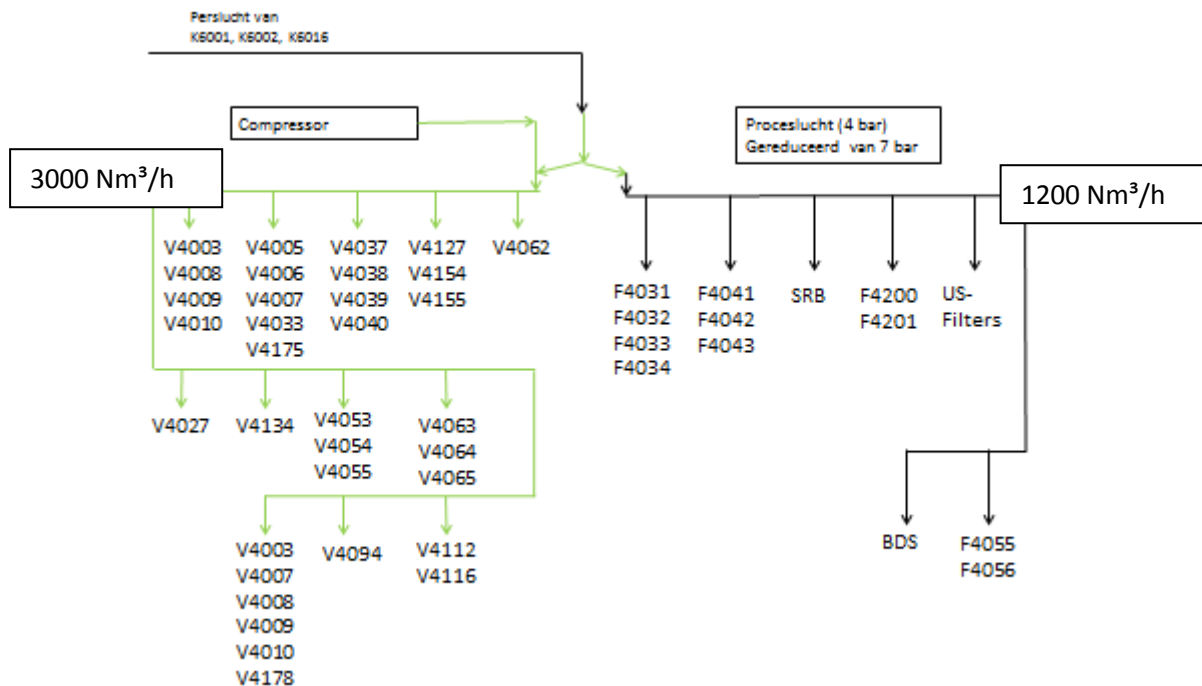
Het wordt een nieuw net van een corrosiebestendig materiaal omdat de lucht hier niet gedroogd is wordt. Een vereiste van verbruikers op deze tak is dat ze op een lagere druk kunnen functioneren met lucht die niet zo droog is.

Deze aanpassing kan een goede verbetering zijn naar kosten toe omdat er nu geen lucht van 7 bar meer wordt gebruikt voor het blazen in vaten.

De proceslucht wordt nog wel gereduceerd naar 4 bar wat nog steeds niet efficiënt is. Voor de proceslucht wordt het oude persluchtnet gebruikt. Het is hiervoor aan te raden het net te controleren op lekken en deze vervolgens te repareren aangezien er hier ook aanzienlijke besparingen gedaan kunnen worden. Bij toepassingen met roostgoed mag de lucht niet te vochtig zijn, omdat de roostgoed dan kan gaan plakken in de transportleidingen en op die manier kunnen deze vernauwd of verstopt raken.

Er is een koppeling voorzien met het hoofdnet, zodat er hiervan lucht kan genomen worden indien de compressor van het alternatieve net het zou begeven of indien deze voor onderhoud stil gelegd moet worden. Op deze manier komt de productie niet in het gedrang.

Deze verbetering zorgt ervoor dat er 2 netten ontstaan. Een net voor de constante gebruikers, de lucht naar de vaten en op het andere net worden de filters aangesloten. Het verbruik van de filters is wisselvalliger, afhankelijk van welke filters er aanstaan. Deze schommelingen kunnen op deze manier opgevangen worden door het hoofdnet waarop deze tak nog aangesloten is.

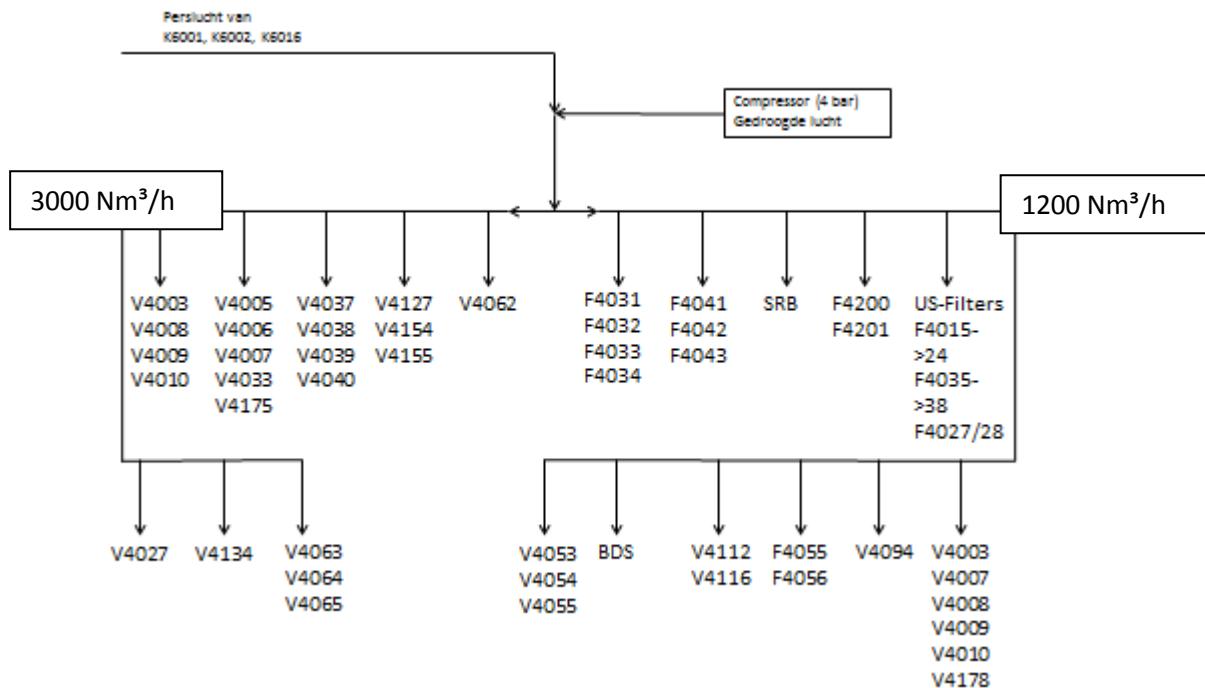


Figuur 7 : Verbeteringsmogelijkheid 1

Voorstel 2

Een tweede mogelijkheid weergegeven op figuur 8 Hierbij wordt de volledig afdeling logging voorzien van perslucht door een compressor, zowel de werklucht als de proceslucht. Met deze verbetering wordt de proceslucht optimaal gebruikt. Deze wordt gecomprimeerd tot een druk van 4 bar en is droog genoeg voor de filters. Voor de werklucht is deze lucht echter van te goede kwaliteit. De lucht hoeft niet zo droog te zijn om gewoon in vaten geblazen te worden. Bij deze verbeteringsmogelijkheid is het eveneens belangrijk dat men het net gaat nagaan op lekken en deze gerepareerd, aangezien hier de compressor op het reeds bestaande net aangesloten wordt.

Net als in de vorige verbeteringsmogelijkheid is er hier een verbinding met het hoofdnets in geval dat de compressor uvalt of uit dienst is wegens onderhoud.



Figuur 8 : Verbeteringsmogelijkheid 2

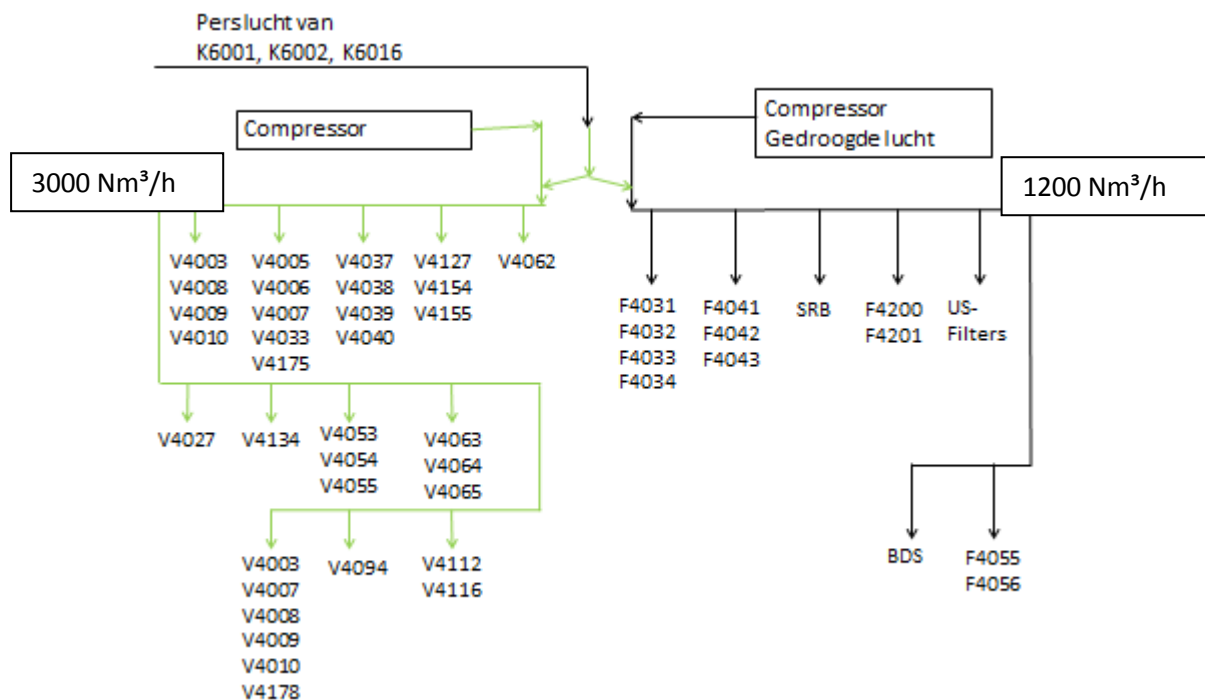
Voorstel 3

De laatste mogelijkheid combineert de twee goede punten van de twee vorige verbeteringsmogelijkheden en is weergegeven op figuur 9. Deze verbetering bestaat erin om twee compressoren te plaatsen, een voor de proceslucht en een voor de werklucht. De lucht op het werkluchtnetwerk wordt nieuw aangelegd en bevat ook enkele verbruikers van het vorige procesluchtnetwerk. Dit netwerk zal nieuw moeten worden aangelegd om bestand te zijn tegen corrosie aangezien dat de lucht die erdoor zal stromen niet droog zal zijn en omdat het bestaande net niet ontworpen is om een dergelijk groot debiet aan lucht te transporteren. De druk van de lucht moet hier voldoende zijn om in de vaten geblazen te worden.

De perslucht in dit deel zal dan efficiënt verbruikt worden, ze is op een kwaliteit die precies hoog genoeg is voor de toepassing waarvoor deze gebruikt wordt.

Dit is ook het geval voor de het tweede net. In dit geval wordt de perslucht samengedrukt tot een druk van 4 bar omdat de verbruikers werken op een druk van 4 bar. De lucht is hier gedroogd om de filterkoeken droog te kunnen blazen. Bij toepassingen van roostgoed is vochtige lucht ook niet aan te raden, zoals al beschreven is bij mogelijkheid 1.

Zoals bij de vorige twee toepassingen het geval was is er een koppeling voorzien tussen dit nieuwe net en het hoofdnet zodat men niet zonder perslucht kan vallen in geval van een defect aan de compressor(en).



Figuur 9 : Verbeteringsmogelijkheid 3

6.5 Benodigde druk in vaten

Om perslucht te kunnen blazen en een voldoende groot debiet te halen onder het vloeistofniveau is er een voldoende groot drukverschil nodig. De druk die aangelegd moet worden aan de nozzle die de lucht in de vaten blaast is afhankelijk van de druk die onderaan het vat heerst. Dit is de hydrostatische druk van de vloeistof die in de vaten zit.

In de volgende delen worden voor de verschillende (groepen van) vaten de hydrostatische druk berekend aan de hand van volgende formule.

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

Met p : Hydrostatische druk [Pa]
 ρ : Dichtheid van de vloeistof [kg/m³]
 g : Valversnelling [m/s²]
 h : Afstand onder het vloeistofoppervlak [m]

De valversnelling is in al de formules 9,81 m/s². Enkel de dichtheid van de vloeistof en de afstand onder het vloeistofoppervlak zijn voor de vaten verschillend, afhankelijk van de afmetingen van de vaten en de vloeistof die erin zit.

De druk aan het eind van de leiding moet groter zijn dan de hydrostatische druk in het vat om een stroming van perslucht te krijgen. Bij de berekende hydrostatische druk wordt nog 1 bar bijgeteld om de druk te bekomen die nodig is aan het eind van de leiding.

Oxidatie-, reactie- en jarosiet-precipitatievaten

In deze vaten bevindt zich een $\pm 15\%$ H_2SO_4 -oplossing met daarin in enkele vaten roostgoed in opgelost, in andere jarosiet. Bij dit oplossen wordt de vloeistof een soort slurry met een hogere dichtheid. De samenstelling en dichtheid kan verschillen, afhankelijk van de samenstelling van de ertsen. Als dichtheid voor de slurry wordt 2000 kg/m^3 genomen. En de nozzle bevindt zich $\pm 5 \text{ m}$ onder het vloeistofniveau

Het gaat hier om de vaten V4003, V4005, V4006, V4007, V4008, V4009, V4010, V4033, V4037, V4038, V4039, V4040 en V4175.

De hydrostatische druk onderaan het vat is:

$$p = \rho \cdot g \cdot h = 2000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5 \text{ m} = 98100 \text{ Pa} = 0,981 \text{ bar(o)}$$

De minimale druk aan het eind van de leiding is gelijk aan:

$$p = 0,981 \text{ bar(o)} + 1 \text{ bar(o)} = 1,981 \text{ bar(o)}$$

Vaten zuivering

In deze vaten bevindt er zich een waterige oplossing van water en ongebluste kalk. Het gaat hier om vaten V4127, V4154 en V4155.

De hydrostatische druk onderaan het vat is:

$$p = \rho \cdot g \cdot h = 1500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 6 \text{ m} = 88290 \text{ Pa} = 0,883 \text{ bar(o)}$$

De minimale druk aan het eind van de leiding is gelijk aan:

$$p = 0,883 \text{ bar(o)} + 1 \text{ bar(o)} = 1,883 \text{ bar(o)}$$

SiHAL-vaten

In de vaten V4053, V4054 en V4055 wordt het BLP (Budel Leach Product) gemaakt. In deze vaten zit een H_2SO_4 oplossing met daarin het BLP.

De hydrostatische druk onderaan het vat is:

$$p = \rho \cdot g \cdot h = 1200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10 \text{ m} = 117720 \text{ Pa} = 1,177 \text{ bar(o)}$$

De minimale druk aan het eind van de leiding is gelijk aan:

$$p = 1,177 \text{ bar(o)} + 1 \text{ bar(o)} = 2,177 \text{ bar(o)}$$

Overige vaten

In de vaten V4062, V4063, V4064, V4065, V4027 en V4134 zit filtraat van de verschillende filters, dit filtraat bestaat uit celzuur 15% H₂SO₄ en water dat gebruikt is bij het spoelen.

De hydrostatische druk onderaan het vat is:

$$p = \rho \cdot g \cdot h = 1070 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2 \text{ m} = 20993 \text{ Pa} = 0,210 \text{ bar(o)}$$

De minimale druk aan het eind van de leiding is gelijk aan:

$$p = 0,210 \text{ bar(o)} + 1 \text{ bar(o)} = 1,210 \text{ bar(o)}$$

6.6 Benodigde drukken filters

In de specificatielijsten is de benodigde druk die de filter nodig hebben niet terug te vinden en dus is het niet mogelijk te bepalen welke druk er echt nodig is. De lucht naar de US-filters wordt eerst gereduceerd voor deze gebruikt wordt maar het debiet hiervan is vrij laag. Om zeker te zijn van voldoende druk wordt voor alle filters een druk aan het begin van de leiding van 4 bar genomen zoals nu ook al het geval is.

Mogelijk kan de luchtdruk voor deze toepassingen nog lager maar aangezien dit gedaan moet worden door trial and error is dit niet mogelijk als het proces bezig is. Een dergelijk experiment kan wel tijdens een stop van de productie gedaan worden.

6.7 Vochtgehalte lucht

Hier kunnen we een onderverdeling maken. De lucht die in de vaten geblazen wordt moet niet droog zijn aangezien zich hierin vloeistof bevindt. Het extra water van het mogelijke condensaat speelt hier geen rol omdat er ook stoom de vaten binnengaat om de vloeistof te verwarmen. Anderzijds bevinden er zich ook roostgoedfilters op het persluchtnet waarbij het roostgoed van de filterdoeken wordt geblazen door middel van perslucht. Bij deze toepassing is het gewenst dat de perslucht droog is. Verder hebben enkele filters de optie om de filterkoek te drogen met behulp van perslucht. Om deze optie te behouden is het best de perslucht hiervoor te drogen. Ten laatste hangt de vochtgehalte van de lucht af van het materiaal waaruit de leidingen zijn gemaakt. In de huidige situatie liggen er stalen persluchtleidingen en is het dus noodzakelijk de lucht te drogen om zo corrosie te voorkomen in de leidingen wat mogelijk schade kan aanrichten in aan de leidingen en de apparaten die erdoor gevoed worden.

In een nieuw net zou het mogelijk zijn om vochtige lucht te gebruiken indien dit vervaardigt zou zijn van een corrosiebestendig materiaal en er condensaat afvoerpunten voorzien zijn. Welke optie de beste is, is in dit eindwerk niet behandeld.

6.8 Drukvalen in de leidingen

Vooraleer we de werkdruk van de compressor kunnen bepalen is het nodig de drukvalen in de leidingen te kennen. In de volgende stappen wordt de drukval van het begin van de leiding, waar de perslucht binnenkomt, tot de verbruiker berekend van enkele vaten en filters. Deze dienen als referentie omdat de andere verbruikers dicht in de buurt staan van deze vaten en filters en er dus maar een klein verschil is in drukval.

Achtereenvolgens wordt de drukval over de leiding naar verbruiker V4053, V4033, F4200, V4155, en F4600. De drukval over een leiding is afhankelijk van de lengte ervan, de diameter, de volumestroom en de druk aan het begin van de leiding. De drukval wordt berekend met de volgende formule:

$$\Delta p = 450 \cdot \frac{q_c^{1,85} \cdot l}{d^5 \cdot p}$$

Met l = Lengte van de leiding [m]
 Δp = Drukval over de leiding [bar]
 d = Binnendiameter van de leiding [mm]
 p = Absolute druk aan het begin van de leiding [bar]
 q_c = Compressor FAD (Free Air Delivery) [l/s]

De drukvalen zijn in dit geval berekend via een calculator op de site van Kaeser waarin deze formule verwerkt is en worden hieronder weergegeven. (Kaiser Kompressoren) Doordat de persluchtleiding op verschillende plaatsen onbereikbaar zijn, soms niet zichtbaar zijn en er geen plannen bestaan met daarop het persluchtnet is het niet mogelijk de exacte afstanden van de leidingen te kennen. Daarom wordt de afstand geschat aan de hand van de inventarisatie van het persluchtnet en dan de afstanden te bepalen via een plattegrond van de fabriek.

De drukvalen veroorzaakt door appendages zoals t-koppelingen, bochten en ventielen worden uitgedrukt in een gelijkwaardige lengte rechte leiding. Het exacte aantal bochten, ventielen en koppelstukken is niet gekend vanwege het ontbreken van een plan van de leidingen. Bij het in kaart brengen van de persluchtleidingen zijn ook niet alle leidingen in kaart gebracht kunnen worden omdat deze niet altijd zichtbaar waren. Er kan echter wel gesteld worden dat de equivalente lengte van de appendages gemiddeld 60% bedraagt van de lengte van de rechte stukken. Deze extra lengte wordt bij de lengte van de rechte stukken geteld en vervolgens kan de totale drukval berekend worden. In bijlage A zijn de gegevens gevonden die in de calculator zijn ingegeven.

Drukval naar V4053

De leiding naar het vat V4053 bestaat uit een stuk leiding met een diameter van 150 mm in het begin en een stuk met een diameter van 80mm op het einde. De totale lengte van de stukken is 155 m en 120 m respectievelijk voor het stuk van 150 mm en het stuk van 80 mm.

Indien we deze gegevens ingeven in de calculator, samen met het debiet van perslucht bekomen

we een drukval van 0,08 bar voor de totale leiding.

Drukval naar V4033

Hier bestaat de leiding ook uit twee stukken. Een stuk met diameter 80 mm van 155 m lang en een stuk met diameter 50 mm van 70 m lang. De drukval hier is 0,16 bar.

Drukval naar F4200

Dit is de langste leiding in het net welke bestaat uit een stuk met diameter 155mm van en een stuk met diameter 80 van 455 m lang. De drukval is hier 0,352 bar.

Drukval naar V4155

De leiding naar V4155 is in totaal 267 m lang en bestaat uit een stuk met een lengte van 120m met een diameter van 80 mm en een stuk van 147 m lang van diameter 50 mm. De drukval bedraagt 0,208 bar.

6.9 Werkdruk compressor

Om de maximale werkdruk van een compressor te berekenen te bepalen moet er rekening gehouden worden met de verschillende drukvallen die optreden tussen het begin van de leiding en de verbruiken. Drukvalen treden onder andere op in filters, drogers en in de leidingen.

Om de maximale werkdruk te bepalen wordt de verbruiker genomen waarvan de drukval van eindverbruiker en de drukval door de leiding het grootst is zodat alle andere verbruikers van voldoende druk zullen voorzien zijn.

Voorstel 1

In dit geval moet men bij het bepalen van de werkdruk rekening houden met de drukval over de leiding, en het regelbereik van de compressor. Aangezien hier geen droger gebruikt wordt in deze tak van het net zal er geen drukval optreden hierover. De verbruiker die de grootse druk nodig heeft aan het begin van de leiding zijn de SiHAL-vaten. Dit wordt berekend in tabel 5.

V4053	
Drukval	Druk [bar]
Verbruiker	2,177
Leiding	0,08
Droger	0
Regelbereik	0,5
Werkdruk	2,757

Tabel 3 : Berekening werkdruk verbetering 1

De proceslucht blijft in dit deel op 4 bar met lucht die wordt geleverd uit het reeds bestaande persluchtnet.

Voorstel 2

Hierbij moet er ook rekening gehouden worden met een drukval over de droger, wat bij de vorige verbetering niet het geval was. Zoals in het vorige geval zijn de SiHAL-vaten de verbruikers die de grootste druk nodig hebben van de vaten.

V4053	
Drukval	Druk [bar]
Verbruiker	2,177
Leiding	0,08
Droger	0,1
Regelbereik	0,5
Werkdruk	2,857

Tabel 4 : Berekening werkdruk verbetering 2

Aangezien de filters ook op dit net zitten wordt er 4 bar ingesteld als werkdruk om zeker te zijn dat deze optimaal zullen werken.

Voorstel 3

Deze verbetering maakt gebruik van 2 compressoren, 1 voor de lucht naar de vaten en 1 voor de lucht naar de filters. Werkdrukken komen zijn dezelfde als verbetering 1 en 2 voor compressor 1 en 2 respectievelijk.

Compressor 1

Dit is de compressor die de lucht naar de vaten voorziet. De werkdruk is dezelfde als die in verbetering 1 is gekozen. De berekening hiervan is te zien in tabel 5.

Compressor 2

Dit is de compressor die de lucht naar de vaten voorziet. De werkdruk is dezelfde als die in verbetering 2 is gekozen. De berekening hiervan is te zien in tabel 6.

6.10 Gekozen compressoren

Aan de hand van de berekende werkdruk en debieten kan een geschikte compressor gekozen worden. Dit is gebeurt in samenspraak met dhr. Hendriksen, een sales engineer van de firma Atlas Copco. Samen met hem zijn er compressoren gekozen die voldeden aan de eisen die aan de perslucht gesteld werden. Een overzicht van de gekozen compressoren, de prijzen en het vermogen zijn hieronder weergegeven.

Voorstel 1

ZE-4 : Luchtgekoelde, olievrije compressor

Prijs : 87000 €

Vermogen motor : 200 KW

Voorstel 2

ZA-5 : Watergekoelde, olievrije compressor

Prijs : 152000 €

Vermogen motor : 200 KW

Voorstel 3

2 x ZE-4 : Luchtgekoelde, olievrije compressor

Prijs : 2 x 87000 €

Vermogen motor : 2 x 200 KW

6.11 Besparing per jaar

De jaarlijkse besparingen worden bepaald door van de huidige persluchtkosten op de afdeling Loging, de kosten van de toekomstige installatie af te trekken.

Voorstel 1

Kosten nieuwe installatie per jaar

De kosten per jaar worden bepaald door de kosten van de compressor van het nieuwe net en de kosten van de perslucht die wordt verbruikt van het oude net. De kosten van de compressor bestaan uit elektriciteitskosten en onderhoudskosten. De compressoren draaien altijd 24 uur per dag, enkel tijdens een productiestop worden deze uitgeschakeld. Dit gebeurt ongeveer 3 maal per jaar. De elektriciteitskosten bedragen:

$$\frac{\text{Verbruik}}{\text{Jaar}} = 200\text{kW} \cdot 24\text{h} \cdot 365 \text{ dagen} = 1752000 \frac{\text{kWh}}{\text{jaar}}$$

Dit geeft een kost per jaar van:

$$\frac{\text{Kost}}{\text{Jaar}} = 1752000 \frac{\text{kWh}}{\text{Jaar}} \cdot 0,05 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 87600 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}}$$

De onderhoudskosten worden geschat op 7500 euro per jaar. Dit is gedaan op basis van de huidige onderhoudskosten. Dit geeft dan een totale kost van de compressor van:

$$\frac{\text{Kost}}{\text{Jaar}} = 87600 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}} + 7500 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}} = 95100 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}}$$

Verder wordt er nog 1200 Nm³/h aan perslucht verbruikt van het oude net. Met een persluchtkost van 0,00915 €/Nm³ is de kost per jaar hiervan:

$$\frac{\text{Kost}}{\text{Jaar}} = 0,00915 \frac{\text{€}}{\text{Nm}^3} \cdot 1200 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}} \cdot 24\text{h} \cdot 365 \text{ dagen} = 96184,8 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}}$$

Indien de kosten van de compressor en de kost van de perslucht van het oude net bij elkaar worden opgeteld, vinden we de totale kosten per jaar aan perslucht:

$$\frac{\text{Kost}}{\text{Jaar}} = 95100 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}} + 96184,8 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}} = 191284,80 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}}$$

Besparing per jaar

De besparing die behaald wordt met deze investering is nu gelijk aan:

$$\frac{\text{Besparing}}{\text{Jaar}} = 336646,8 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}} - 191284,80 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}} = 145362 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}}$$

De procentuele besparing is te vinden door de besparing per jaar te delen door de totale kosten op de afdeling.

$$\% \text{ Besparing} = \frac{145362 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}}}{336646,8 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}}} \cdot 100\% = 43,18 \%$$

Voorstel 2

Kosten nieuwe installatie per jaar

Hier worden de kosten bepaald door de kosten van de compressor en de nieuwe droger. De kosten van de compressor bestaan uit elektriciteitskosten en onderhoudskosten. De elektriciteitskosten van de compressor bedraagt nu:

$$\frac{\text{Verbruik}}{\text{Jaar}} = 400kW \cdot 24h \cdot 365 \text{ dagen} = 3504000 \frac{kWh}{\text{jaar}}$$

Dit geeft een kost per jaar van:

$$\frac{\text{Kost}}{\text{Jaar}} = 3504000 \frac{kWh}{\text{Jaar}} \cdot 0,05 \frac{\text{€}}{kWh} = 175200 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}}$$

De onderhoudskosten worden geschat op 12500 euro per jaar. Dit is gedaan op basis van de huidige onderhoudskosten. Dit geeft dan een totale kost van de compressor en de droger van:

$$\frac{\text{Kost}}{\text{Jaar}} = 175200 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}} + 12500 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}} = 187700 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}}$$

Besparing per jaar

De besparing die behaald wordt met deze investering is nu gelijk aan:

$$\frac{\text{Besparing}}{\text{Jaar}} = 336646,8 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}} - 187700 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}} = 148646,8 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}}$$

De procentuele besparing is te vinden door de besparing per jaar te delen door de totale kosten op de afdeling.

$$\% \text{ Besparing} = \frac{148646,8 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}}}{336646,8 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}}} \cdot 100\% = 44,15 \%$$

Voorstel 3

Kosten nieuwe installatie per jaar

Bij deze verbetering worden de kosten bepaald door de kosten van de twee compressor en de nieuwe droger. De kosten van de compressoren bestaan uit elektriciteitskosten en onderhoudskosten net zoals de kosten van de droger. De elektriciteitskosten van de compressoren en de droger bedragen samen:

$$\frac{\text{Verbruik}}{\text{Jaar}} = (200kW + 200kW) \cdot 24h \cdot 365 \text{ dagen} = 3504000 \frac{kWh}{\text{jaar}}$$

Dit geeft een kost per jaar van:

$$\frac{\text{Kost}}{\text{Jaar}} = 3504000 \frac{kWh}{\text{Jaar}} \cdot 0,05 \frac{\text{€}}{kWh} = 175200 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}}$$

De onderhoudskosten worden geschat op 25000 euro per jaar. Dit geeft dan een totale kost van de compressor en de droger van:

$$\frac{Kost}{Jaar} = 175200 \frac{\text{€}}{Jaar} + 25000 \frac{\text{€}}{Jaar} = 200200 \frac{\text{€}}{Jaar}$$

Besparing per jaar

De besparing die behaald wordt met deze investering is nu gelijk aan:

$$\frac{Besparing}{Jaar} = 336646,8 \frac{\text{€}}{Jaar} - 200200 \frac{\text{€}}{Jaar} = 136446,8 \frac{\text{€}}{Jaar}$$

De procentuele besparing is te vinden door de besparing per jaar te delen door de totale kosten op de afdeling.

$$\% Besparing = \frac{136446,8 \frac{\text{€}}{Jaar}}{336646,8 \frac{\text{€}}{Jaar}} \cdot 100\% = 40,53 \%$$

6.12 Terugverdientijd

De terugverdientijd wordt uitgedrukt in jaar en wordt bepaald door de kostprijs van de investering, in dit geval de compressoren, de investeringskost en een nieuw leidingnet, te delen door de jaarlijkse besparing. De installatiekosten zijn gebaseerd op kosten van eerdere installaties van compressoren.

Voorstel 1

Totale investeringskost

De totale investeringskost wordt gevonden door de aankooprijzen van de onderdelen en de installatiekosten bij elkaar op te tellen. Hieronder wordt de installatiekost berekend.

De compressor kost 87000 euro. Daarbij moeten nog de installatiekosten bijgeteld worden. Deze bedragen ongeveer 50000 euro voor de aanleg van de voeding van de compressor. Verder moet hij ook nog worden aangesloten op het nieuw persluchtnet. Hiervoor wordt 30000 euro gerekend. Bij deze prijs komt nog eens de kost van het aanleggen van een nieuw persluchtnet van 40000 euro voor de gebruikte materialen en 20000 euro voor de installatiekosten. Deze bedragen zijn maar schattingen van wat de investering kan kosten. Om ervoor te zorgen dat de bedragen zeker niet te laag zullen uitvallen wordt er nog een zekerheid van 70000 euro bij op geteld. Al deze bedragen zijn bekomen in overleg met de externe promotor Jac Valkenburg. Dit is ook voor voorstel 2 en 3 het geval. De totale investeringskost bedraagt dus:

$$Totale\ kost = 87000\ \text{€} + 50000\ \text{€} + 30000\ \text{€} + 40000\ \text{€} + 20000\ \text{€} + 70000\ \text{€} = 307000\ \text{€}$$

Terugverdientijd

De terugverdientijd is wordt bepaal door de totale investeringskost te delen door de besparingen per jaar.

$$Terugverdientijd = \frac{307000 \text{ €}}{145362 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}}} = 2,11 \text{ Jaar}$$

Voorstel 2

Totale investeringskost

De totale investeringskost wordt gevonden door de aankooprijzen van de onderdelen en de installatiekosten bij elkaar op te tellen. De compressor zelf kost 152000 euro. Zoals in het vorige voorstel wordt er 80000 euro gerekend voor de installatiekosten. Hier moet er echter geen nieuw net geïnstalleerd worden. De totale kost bedraagt:

$$Totale \text{ kost} = 152000 \text{ €} + 80000\text{€} + 70000\text{€} = 302000\text{€}$$

Terugverdientijd

De terugverdientijd is wordt bepaal door de totale investeringskost te delen door de besparingen per jaar.

$$Terugverdientijd = \frac{302000 \text{ €}}{148646,8 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}}} = 2,03 \text{ Jaar}$$

Voorstel 3

Totale investeringskost

De totale investeringskost wordt gevonden door de aankooprijzen van de onderdelen en de installatiekosten bij elkaar op te tellen. In dit geval moeten er twee compressoren geïnstalleerd worden van 87000 euro. Het voorzien van de voeding kan gezamenlijk gebeuren voor 50000 €. De aansluiting op het persluchtnet moet ook voor de beide compressoren gebeuren en bedraagt dus 60000 € voor de beide compressoren. Verder moet er een nieuw persluchtnet aangelegd worden zoals in het eerste voorstel wat een prijs heeft van 60000 €.

$$\begin{aligned} Totale \text{ kost} &= 87000 \text{ €} + 87000\text{€} + 50000\text{€} + 60000\text{€} + 60000 \text{ €} + 70000 \text{ €} \\ &= 4140000\text{€} \end{aligned}$$

Terugverdientijd

De terugverdientijd is wordt bepaal door de totale investeringskost te delen door de besparingen per jaar.

$$Terugverdientijd = \frac{414000 \text{ €}}{136446,8 \frac{\text{€}}{\text{Jaar}}} = 3,03 \text{ Jaar}$$

6.13 Besparingen door dichten lekken

Tot op heden was er nog geen onderhoudsplan voor de persluchtleidingen en werd er nog niet aan persluchtdetectie gedaan. Op 16 oktober 2013 is dit voor de eerste keer gedaan op de afdeling roosting. Tijdens deze inspectie is een deel van het persluchtnet op de afdeling Roosting gecontroleerd en zijn er in totaal 52 lekken gevonden. Als al deze lekken gedicht zouden worden kan er 31603 euro per jaar bespaard worden. Het gevolg van deze inspectie is dat Nyrstar Budel nu zijn eigen ultrasoon detector heeft aangeschaft. Een tabel met de gevonden lekkages is te vinden in bijlage E.

Soortgelijke besparingen kunnen ook behaald worden op de afdeling Loging. Een besparing van 20% is al mogelijk bij het afdichten van lekken ("Energiecentrum"). Indien die ook zou gebeuren op de afdeling Loging zou er nog extra bespaart kunnen worden.

Momenteel wordt op de afdeling Loging 336646,8 euro per jaar verbruikt aan perslucht een besparing van 20 % zou deze kosten terugschroeven tot 269317,44 euro.

Indien er een aanpassing zou gebeuren aan de installatie is het ook aan te raden het deel dat gebruik maakt te controleren op lekken en deze te herstellen. Verder is het verstandig in de toekomst het net regelmatig te controleren op lekken, en dit op al de afdelingen.

6.14 Verdere aandachtspunten

Indien men een van deze verbeteringen gaat doorvoeren moet er nog op enkele punten gelet worden. De compressoren kunnen uitgevoerd worden met of zonder aftercooler. Indien de optie zonder aftercooler gekozen wordt kan dit een extra energiebesparing betekenen op vlak van stoom. Door de warme lucht die in de vaten geblazen wordt kan het zijn dat er minder stoom nodig is voor de verwarming van de vloeistof in de vaten. Wel zouden dan alle leidingen geïsoleerd moeten worden om warmteverlies te beperken alsook voor de veiligheid van de werknemers.

Verder kan nog onderzocht worden of het beter is om de lucht te drogen, met bijkomende kosten, of om voor een nieuw net/aanpassing van het bestaande net te kiezen.

8. Conclusie

Uit de resultaten blijkt dat het zeker rendabel kan zijn om een aanpassing van het persluchtnet door te voeren. De terugverdiëntijden van 2 tot 3 jaar zijn zeer aantrekkelijk. Met subsidies zullen deze nog korter zijn. Om nu een keuze te maken voor welke aanpassing de beste is om op verder te bouwen, moet er nog rekening gehouden worden met de filters F4200 en F4201. Deze zijn slechts gedurende een korte tijdsperiode in bedrijf maar verbruiken op deze momenten zeer veel lucht. Hierdoor daalde de druk op het net in het verleden al aanzienlijk. Indien deze filter op een net wordt aangesloten met een nieuwe compressor is deze waarschijnlijk niet in staat de benodigde hoeveelheid perslucht te leveren. Zelfs bij het plaatsen van een buffervat zou deze veel te groot moeten zijn zodat de investering het niet meer economisch wordt. Door deze filter nog aangesloten te laten op het bestaande net is er wel voldoende buffercapaciteit om deze filters optimaal te laten werken zonder dat de andere verbruikers er slechter door gaan werken. Hierdoor lijkt voorstel 1 de beste optie om mee door te werken aangezien deze ervoor zorgt dat het hoofdnet voor $\pm 3000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ minder belast wordt. Op deze manier zowel zorgt voor een aanzienlijke besparing op het persluchtverbruik en een grotere bedrijfszekerheid voor de andere verbruikers van het persluchtnet.

Bijlage A

Concentraatontvangsten en –opslag

Nyrstar Budel ontvangt het merendeel van de zinkconcentraten via spoor en een klein deel via de weg, afhankelijk van de productie.

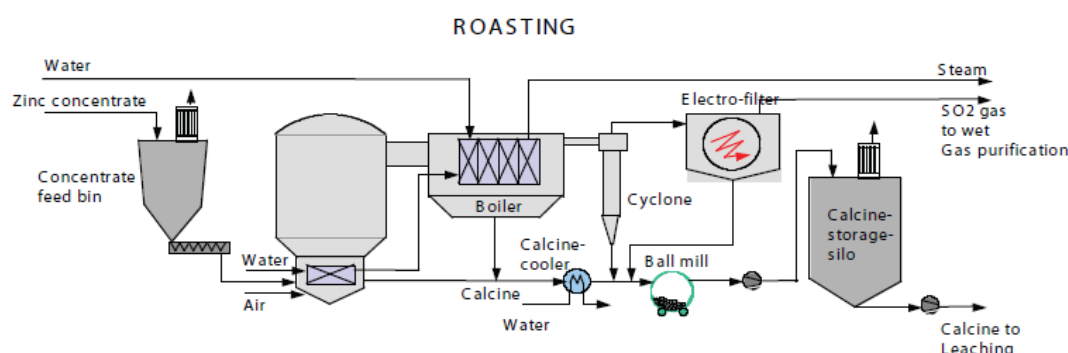
Nadat de zinkconcentraten gewogen zijn worden deze opgeslagen in een overdekte hal.

De ertsen die binnenkomen, bevatten voornamelijk sfaleriet (ZnS) en ook lood en/of koper.

Zinkconcentraten van verschillende mijnen kunnen een grote variatie in samenstelling hebben.

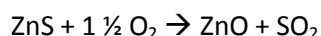
Voor het elektrolyseproces is deze variatie niet gunstig en moet dus zoveel mogelijk beperkt worden. Bij Nyrstar Budel is dit geen probleem omdat de ertsen allemaal afkomstig zijn van de Century mijn in Australië en de verschillende concentratiepartijen die binnenkomen worden gemengd tot grotere partijen. Het gemengde concentraat bevat naast zink (50%) ook nog ijzer (8%), koper (0,3%), cadmium (0,2%) en sporen van andere metalen zoals kobalt. Via een transportband worden de ertsen naar de roosting gestuurd nadat het een zeef en breker gepasseerd is. ("Nyrstar")

Roosting



Figuur 10 : Schematische voorstelling roosting

In dit deel van het proces wordt het concentraat met lucht verbrand in zogenaamde roostovens. Hierdoor wordt zinkoxide (ZnO), ook wel roostgoed genoemd, zwaveldioxidegas (SO₂) en warmte gevormd. Het zwaveldioxidegas wordt gekoeld en gezuiverd waarna het naar de gaszuivering wordt geleid.



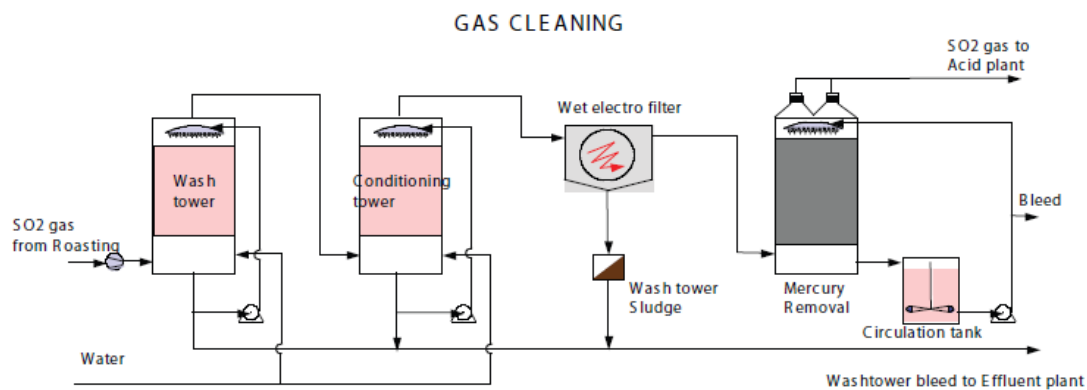
Met de warmte die vrijkomt tijdens het proces wordt stoom opgewekt die gebruikt wordt om diverse apparaten aan te drijven. Deze stoom voorziet ook in de in de warmtebehoefte van de afdeling logging.

De grotere roostgoeddeeltjes verlaten de roostovens langs de onderkant maar de fijnere deeltjes worden meegevoerd door het geproduceerde gas en verlaten de ovens langs de uitgang

voor het geproduceerde gas. Alvorens het gas kan worden gezuiverd worden de roostdeeltjes hieruit verwijderd door achtereenvolgens een afgasketel, cyclonen en een elektrofilter te passeren.

Het roostgoed dat op deze manier verkregen wordt, wordt toegevoegd aan de rest van het roostgoed dat uit grovere deeltjes bestaat. Samen gaan ze de kogelmolen in om gemalen te worden. Van hieruit wordt het roostgoed naar voorraadsilos geblazen. ("Nyrstar")

Gaszuivering



Figuur 11 : Schematische voorstelling gaszuivering

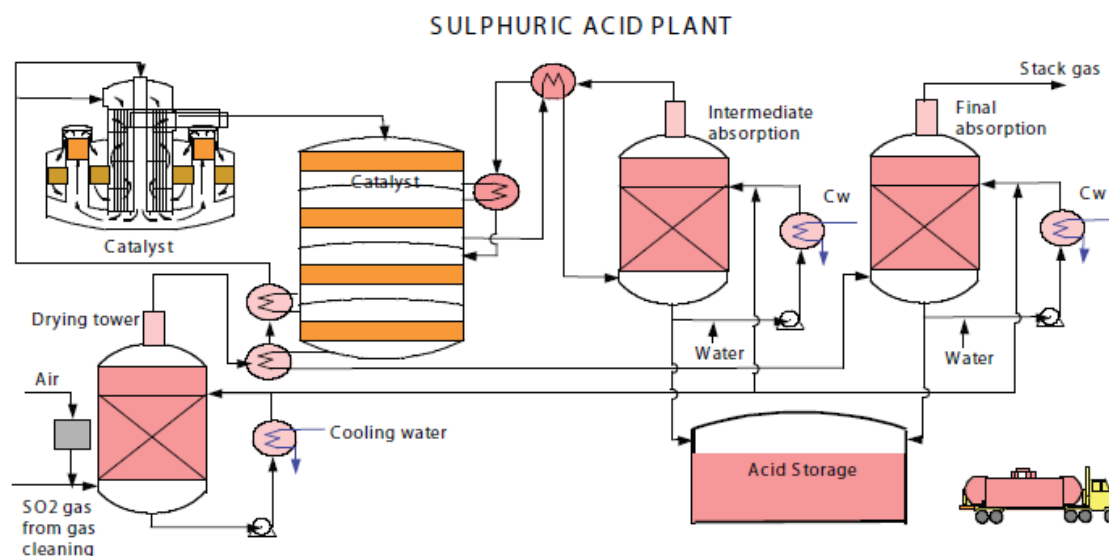
Het gas dat ontstaat is van de fijne roostgoeddeeltjes wordt in de natte gaszuivering verder met water gekoeld.

In een aantal wastorens vind de eerste wassing plaats, waarna in de elektrofilter de allerfijnste stofdeeltjes afgescheiden worden. Naast deze stofdeeltjes worden ook nog elementen zoals chloor en fluor in de gaszuivering gevangen. ("Nyrstar")

Daarnaast beschikt de gaszuivering ook nog over een aparte processtap waarbij ook nog de mogelijk aanwezige kwikdamp wordt afgescheiden. Het overgebleven SO₂ gas wordt naar de zwavelzuurfabriek getransporteerd. ("Nyrstar")

Het afvalwater dat vrijkomt uit de natte gasreiniging wordt afgevoerd naar de waterzuivering. ("Nyrstar")

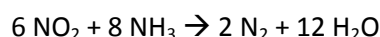
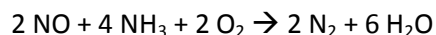
Zwavelzuurfabriek



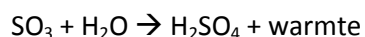
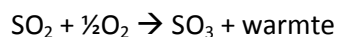
Figuur 12 : Schematische voorstelling zwavelzuurfabriek

Het gas dat afkomstig is van de natte gasreiniging wordt verwerkt tot zwavelzuur in de zwavelzuurfabriek. Hierbij wordt 99,97% van het SO₂ gas omgezet in zwavelzuur.

In een eerste stap wordt het de gasstroom gedroogd met geconcentreerd zwavelzuur. ("Nyrstar") Vervolgens worden de stikstofverbindingen die gevormd zijn bij de verbranding van het concentraat verwijderd. Dit gebeurt door ammoniak te mengen met de gasstroom. Met behulp van een katalysator worden de stikstofoxiden met het ammoniak omgezet in stikstof en water. ("Nyrstar")

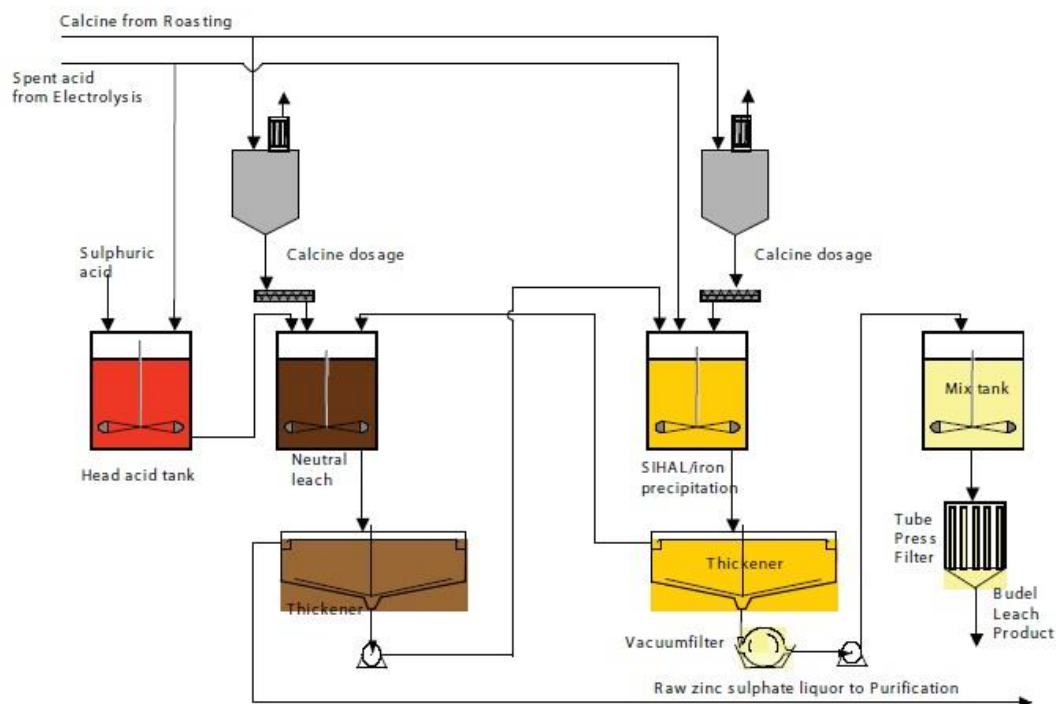


Vervolgens zal SO₂ tweemaal reageren volgens een absorptiereactie. Eerst wordt (SO₂) omgezet met (O₂) in zwaveltrioxide (SO₃) in het tweede absorptieproces reageert de (SO₃) met water om zo zwavelzuur te vormen. ("Nyrstar")



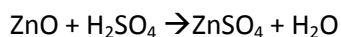
Voor de reactie van SO₂ naar SO₃ maakt men gebruik van een katalysator. Hierbij worden 5 verschillende katalysatorbedden gebruikt. Na het passeren van de eerste drie katalysatorbedden wordt het SO₃ gas in de tussenabsorptietoren omgezet in 99% H₂SO₄. Het SO₂ dat nog overblijft wordt in de laatste katalysatorbedden vrijwel volledig omgezet in SO₃. Het absorptieproces wordt hierna herhaald in de eindabsorptietoren. Na dit proces verlaat het afgas de fabriek via een 68 meter hoge schoorsteen. Het gas dat hieruit komt bevat minder dan 50 PPM SO₂. Een deelstroom van het circulerende water wordt continue met water verdund tot 96% H₂SO₄, gefiltreerd en verpompt naar opslagtanks van waarna men kan leveren aan de klanten. ("Nyrstar")

Loging



Figuur 13 : Schematische voorstelling loging

In deze afdeling wordt het zink uit het roostgoed, dat voornamelijk aanwezig is onder de vorm van zinkoxides, in drie logingsstappen opgelost in zwavelzuur. ("Nyrstar")



Tijdens dit proces gaan ook metalen zoals ijzer, cadmium, koper en lood in oplossing. Deze metalen worden later uit de oplossing verwijderd. ("Nyrstar")

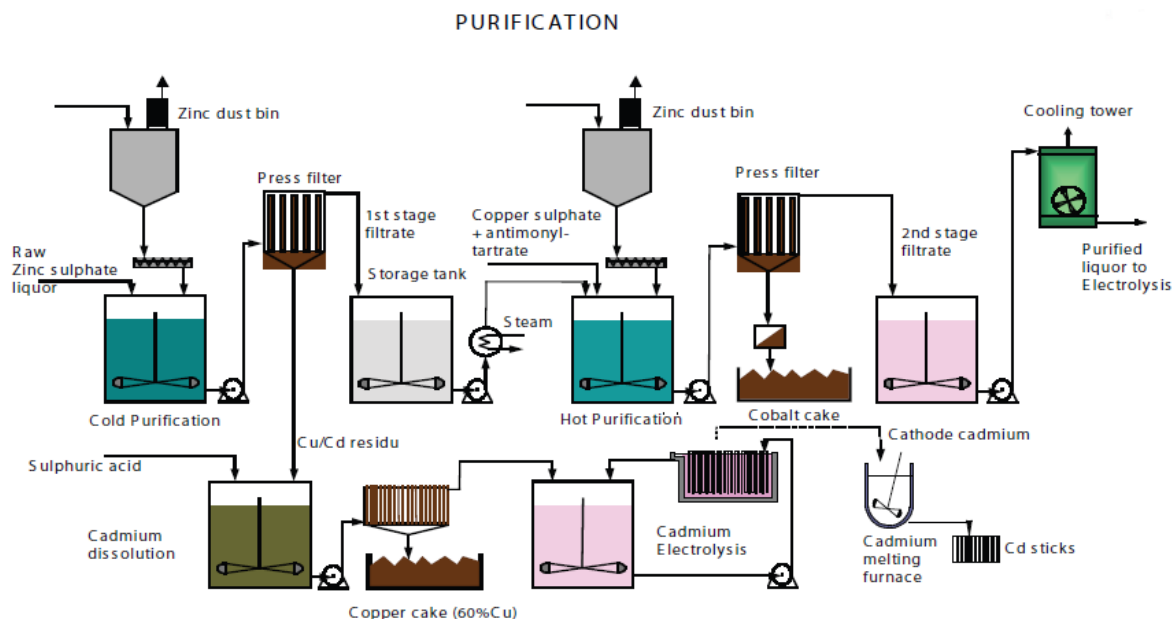
De eerste logingsstap is de neutrale logging. Hierbij wordt het roostgoed in contact gebracht met een elektrolyt oplossing, spent genaamd. Deze elektrolyt oplossing is afkomstig van de elektrolyse. Doordat de oplossing slechts zwak zuur is gaat voornamelijk ZnO in oplossing en een gedeelte van de zinksilicaten. De zinkferrieten blijven onopgelost. ("Nyrstar")

In de indikkers vindt een scheiding plaats tussen de vaste stoffen en de onzuivere zinksulfaatoplossing, welke naar de zuivering verpompt wordt. ("Nyrstar")

De vaste stof die hier uit komt gaat naar de tweede logingsstap, de heetzure logging. Hierbij worden de nog onopgeloste zinkferrieten en –silicaten in de oplossing opgelost in een sterk zuur milieu bij hoge temperaturen. Opgeloste silicaten en het merendeel van het ijzer slaan samen met onoplosbare bestanddelen zoals loodsulfaat uit de oplossing neer.

In indikkers wordt deze neerslag weer gescheiden van de oplossing. Deze oplossing uit de heetzure logging wordt voor een gedeelte gezuiverd in de derde logingsstap, de ijzerprecipitatie. In deze logingsstap worden stoffen zoals aluminium en germanium verwijderd. Deze vaste stoffen worden eveneens verwijderd uit de processtroom door middel van indikkers. De oplossing wordt vervolgens teruggestuurd naar de neutrale logging. ("Nyrstar")

Zuivering



Figuur 14 : Schematische voorsting zuivering

De zuivering is een continu proces dat gebeurt in twee stappen waarbij stoffen zoals cadmium, koper en kobalt uit de ruwe zinksulfaatoplossing verwijderd worden omdat deze een ongunstig effect hebben op de elektrolyse. Cadmium, koper en kobalt worden hier als bijproduct gewonnen en worden verkocht voor verdere verwerking door ander bedrijven. ("Nyrstar")

In de eerste stap wordt er zinkstof aan de oplossing toegevoegd bij een temperatuur van 65°C. Hierdoor zal de zinkstof oplossen en het koper en cadmium vormen een neerslag die wordt verwijderd na een filtratie in een automatische persfilter. Het filtraat wordt hierna opgewarmd met behulp van stoom tot een temperatuur van 85°C. ("Nyrstar")

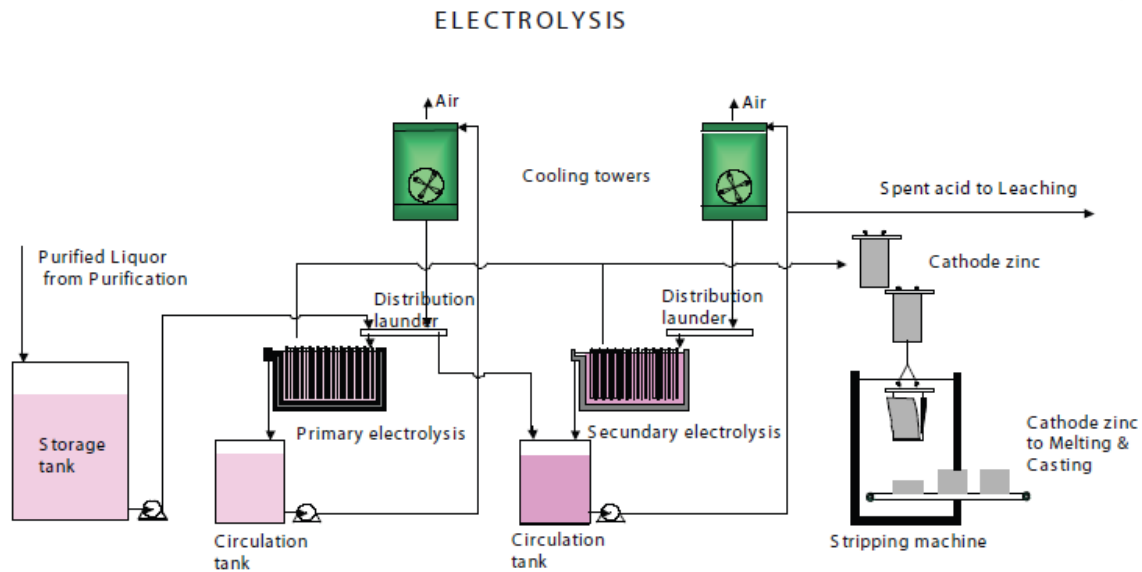
In de tweede zuiveringstap wordt door toevoeging van fijn zinkstof, in combinatie met kopersulfaat en antimoonartraat als versnellers, metallisch kobalt en nikkel als neerslag gevormd. Hier worden eveneens automatische persfilters gebruikt om de vaste bestanddelen die alle onzuiverheden bevatten af te zonderen van de gezuiverde zinksulfaatoplossing. Deze oplossing bevat ongeveer 150-160g/l zink onder de vorm van zinksulfaat. Koeltorens zorgen ervoor dat de oplossing wordt afgekoeld tot 35-40°C. Dit zorgt ervoor dat er oververzadiging optreedt en op deze manier wordt de oplossing ontgipst. Het gips wordt door indikkers verwijderd uit de oplossing en de gezuiverde oplossing wordt naar de elektrolyseafdeling gestuurd om het volgende proces te doorlopen. ("Nyrstar")

Tijdens de eerste zuivering is er een koper/cadmiumkoek afscheiding van de oplossing. Om deze verder te zuiveren wordt deze behandeld met verdund zwavelzuur. Dit zorgt ervoor dat het zink en koperelementen gaan oplossen, maar het kopermetaal blijft onopgelost en kan door middel van filtratie worden afgezonderd. Het wordt verkocht als een koperhoudende filterkoek die ongeveer 70% koper bevat.

Het filtraat wordt dan door verschillende stappen gezuiverd en ten slotte wordt met behulp van elektrolyse cadmiummetaal geproduceerd. ("Nyrstar")

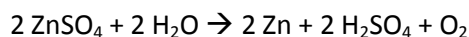
De filterkoek die tijdens de tweede zuiveringsstap wordt gescheiden van de oplossing wordt behandeld met zwavelzuur. Hierdoor lossen de zinkdeeltjes die in de koek zitten op en kunnen het onopgeloste kobalt en nikkeldeeltjes door filtratie worden afgescheiden. Dit wordt op zijn beurt weer verkocht. ("Nyrstar")

Elektrolyse



Figuur 15 : Schematische voorstelling elektrolyse

In dit deel van het proces wordt zink gewonnen uit de gezuiverde zinksulfaatoplossing.



Het elektrolyseproces bestaat uit 4 aparte circuits die elk 108 aaneengesloten cellen bevatten en aangesloten zijn op een gelijkrichter. Elke cel bevat 45 loden anodes en 44 aluminium kathodes. De gezuiverde oplossing wordt continue aan het proces toegevoegd. ("Nyrstar")

Aan de anode wordt er een elektrische stroom toegevoerd die door de oplossing naar de kathode zal vloeien. Op de kathode zal het zink zich afzetten. Het zure, zinkarme elektrolyt, ook wel spent genoemd, wordt teruggestuurd naar de afdeling Logging en Zuivering. ("Nyrstar")

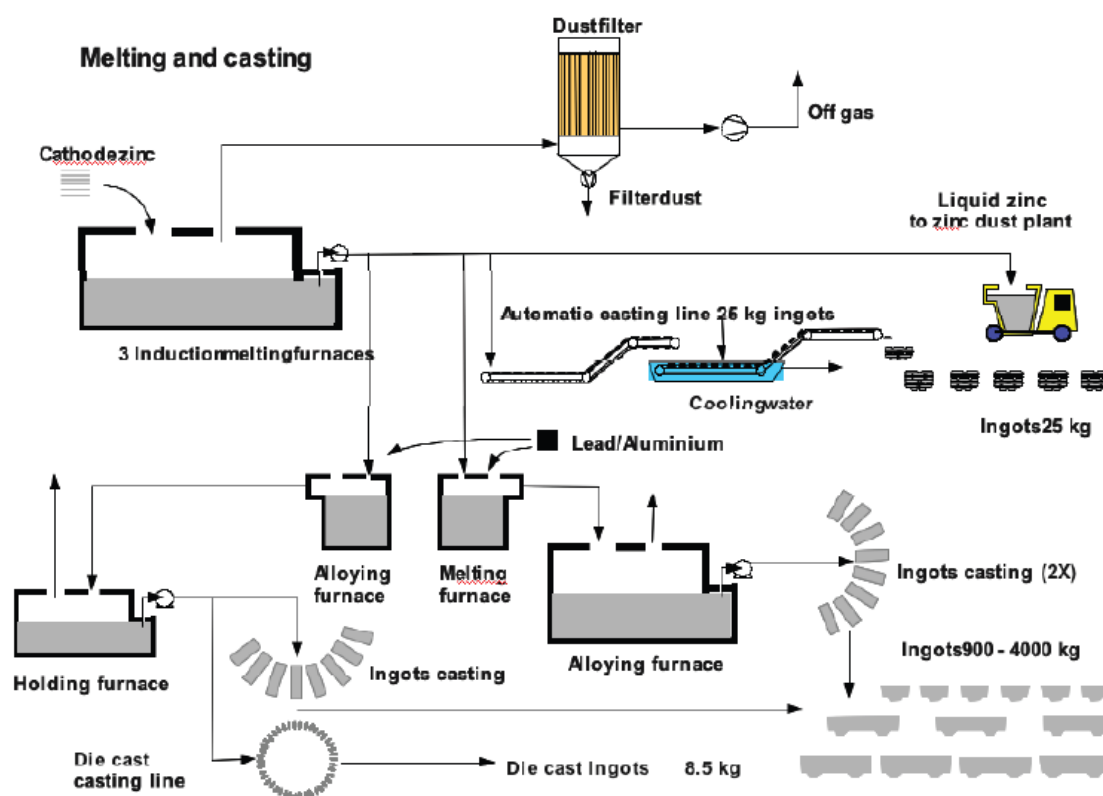
Bij een stroomdichtheid van 630A/m^2 heeft er zich na 28-32 uur een 3mm dikke zinklaag afgezet op beide zijden van de kathode.

Indien dit het geval is worden de kathodes door computergestuurde kranen uit de cellen gelicht en naar de stripmachine gebracht waar het zink van de kathodes wordt verwijderd. Vervolgens worden de kathodes automatisch teruggeplaatst en kan er weer zink worden afgezet.

Het zink dat gestript is van de kathodes wordt overgebracht naar de afdeling smelterij en gieterij om er verder verwerkt te worden. Het geproduceerde zink is van zeer zuivere kwaliteit en bevat 99,995% zink. ("Nyrstar")

De elektrolyse heeft een groot aandeel in het energieverbruik van het hele productieproces. Daarom is het belangrijk om de productiviteit en de energie-efficiëntie van de elektrolyse zo hoog mogelijk te houden. ("Nyrstar")

Smelterij en gieterij



Figuur 16 : Schematische voorstelling smelterij en gieterij

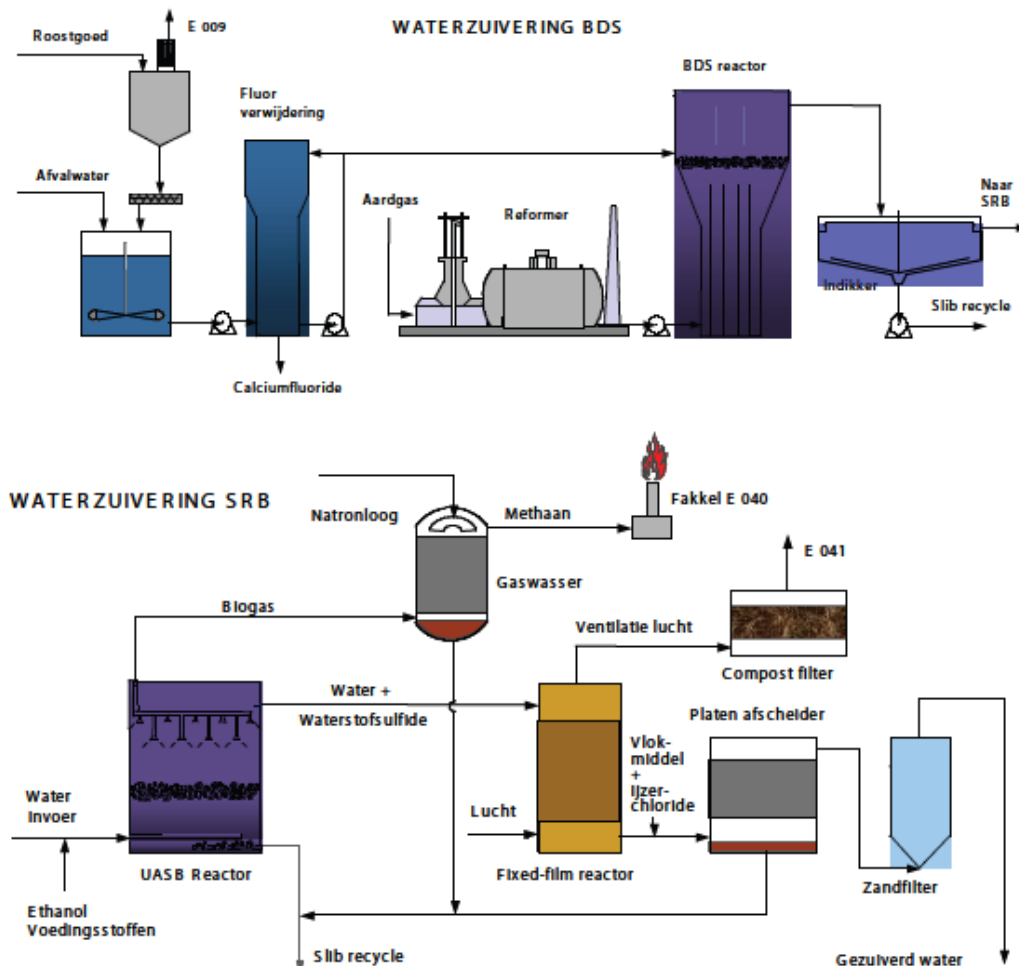
In de smelterij en gieterij worden de zinkkathoden, afkomstig van de elektrolyseafdeling gesmolten in een van de drie inductieovens. Deze ovens hebben elk een insmeltcapaciteit van 20 ton/uur.

Afhankelijk van de vraag van de klant kan het zink met andere metalen gelegeerd worden en in verschillende soorten blokken of ingots gegoten worden. Deze blokken variëren momenteel in vorm en gewicht. De formaten variëren van 8,5 kilogram tot 4 ton, afhankelijk van de vraag van de klant. Het zink kan zelfs vloeibaar geleverd worden indien dit gewenst is door de klant. ("Nyrstar")

Waterzuivering

Om het water dat tijdens het proces vervuild wordt terug te zuiveren beschikt men bij Nyrstar Budel over 2 biologische waterzuiveringen. Het afvalwater dat vrijkomt bij het wassen van het SO₂ gas bij de roosting en zwavelzuurfabriek wordt gezuiverd via de BDS waterzuivering. Dit afvalwater bevat onder andere fluoride en sulfaat.

Na het neutraliseren van de zure afvalwaterstroom wordt het fluoride verwijderd uit het water als calciumfluoride. Hierna zetten bacteriën het sulfaat om in sulfide onder toevoeging van waterstofgas. Dit waterstofgas wordt in een waterstofreformer gemaakt uit stoom en aardgas. Tijdens dit omzetten van sulfaat naar sulfides zullen de aanwezige metalen in het water neerslaan als metaalsulfides. Deze metaalsulfides worden dan afgescheiden en worden terug ingezet in het zinkproductieproces. Het behandelde afvalwater van de BDS gaat vervolgens naar de SRB waterzuivering. ("Nyrstar")



Figuur 17 : Schematische voorstelling BDS en SRB waterzuivering

De SRB waterzuivering heeft als doel verontreinigd grondwater op te pompen en te zuiveren. Dit grondwater is vervuild door het uitloggen van zinkassen en wordt door 12 pompputten opgepompt.

Het opgepompte grondwater bevat onder andere sulfaat, zink en cadmium.

Net als bij de BDS zuivering wordt het sulfaat door bacteriën omgezet naar sulfides die vervolgens met de aanwezige metalen neerslaan. Samen met de metaalsulfides uit de BDS waterzuivering worden deze metaalsulfides afgescheiden, ontwaterd en ingezet in het zinkproductieproces.

Het sulfaatgehalte ligt in dit water hoger dan het gehalte sulfaat in het afvalwater dat gezuiverd wordt door de BDS waterzuivering. Hierdoor kiest men bij de SRB waterzuivering voor ethanol om het sulfaat om te zetten in sulfide. Omdat niet alle sulfides neerslaan met metalen worden

de overgebleven sulfides bacteriologisch omgezet naar zwavel onder een zuurstofrijke omgeving. Met platenafscidders en zandfilters wordt alle vaste stof afgescheiden van het water. Na dit afscheiden wordt het gezuiverde water geloosd in de Tengelroysche Beek. ("Nyrstar")

Bijlage B

In onderstaande tabel zijn de verbruikers op het procesluchtnetwerk weergegeven.

Proceslucht	
Naam	Beschrijving
US filters	Filters zinksulfaatoplossing
F4031	Persfilter Cu-Cd residu
F4032	Persfilter Cu-Cd residu
F4033	Persfilter Co-residu
F4034	Persfilter Co-residu
F4041	Persfilter Cd-cement
F4042	Persfilter Cd-cement
F4043	Persfilter Cd-cement
BDS	
V4700	Preneutrisatievat
V4701	Preneutrisatievat
V4702	Fe/As-oxidatievat
V4718	Roostgoedbunker
SRB	
F4600/07	Zandfilters
F4608/09	Zandfilters Ontijzing voorfiltratie
F4613	Zandfilters ontijzing nafiltratie
V4606	Zandfilter pomptank
R4602	Fixed film reactor
F4200	Larox Automatic pressure filter
F4201	Larox Automatic pressure filter
V4053	SiHAL Reactievat
V4054	SiHAL Reactievat
V4055	SiHAL Reactievat
F4055	Zakkenfilter en micropull
F4056	Zakkenfilter en micropull
V4094	Kopersulfaat aanmaakvat

V4112	Cd cement aanmaakvat
V4003	Oxidatievat Neutrale logging
V4007	Reactie-oxidatievat neutrale logging
V4008	Oxidatievat Neutrale logging
V4009	Oxidatievat Neutrale logging
V4010	Oxidatievat Neutrale logging
V4178	Reatievat Neutrale logging
F4009	Trommelfilter 1e stap
F4010	Trommelfilter 1e stap
F4011	Trommelfilter 1e 2e stap
F4012	Trommelfilter 1e 2e stap
F4013	Trommelfilter 1e 2e stap
F4014	Trommelfilter 1e 2e stap
F4003	Trommelfilter 2e 3e stap
F4004	Trommelfilter 2e 3e stap
F4062 --> F4079	Tube press filters
F4058	Trommelfilter gips/3e stap

Tabel 5 : Persluchtverbruikers procesluchtnet

Bijlage C

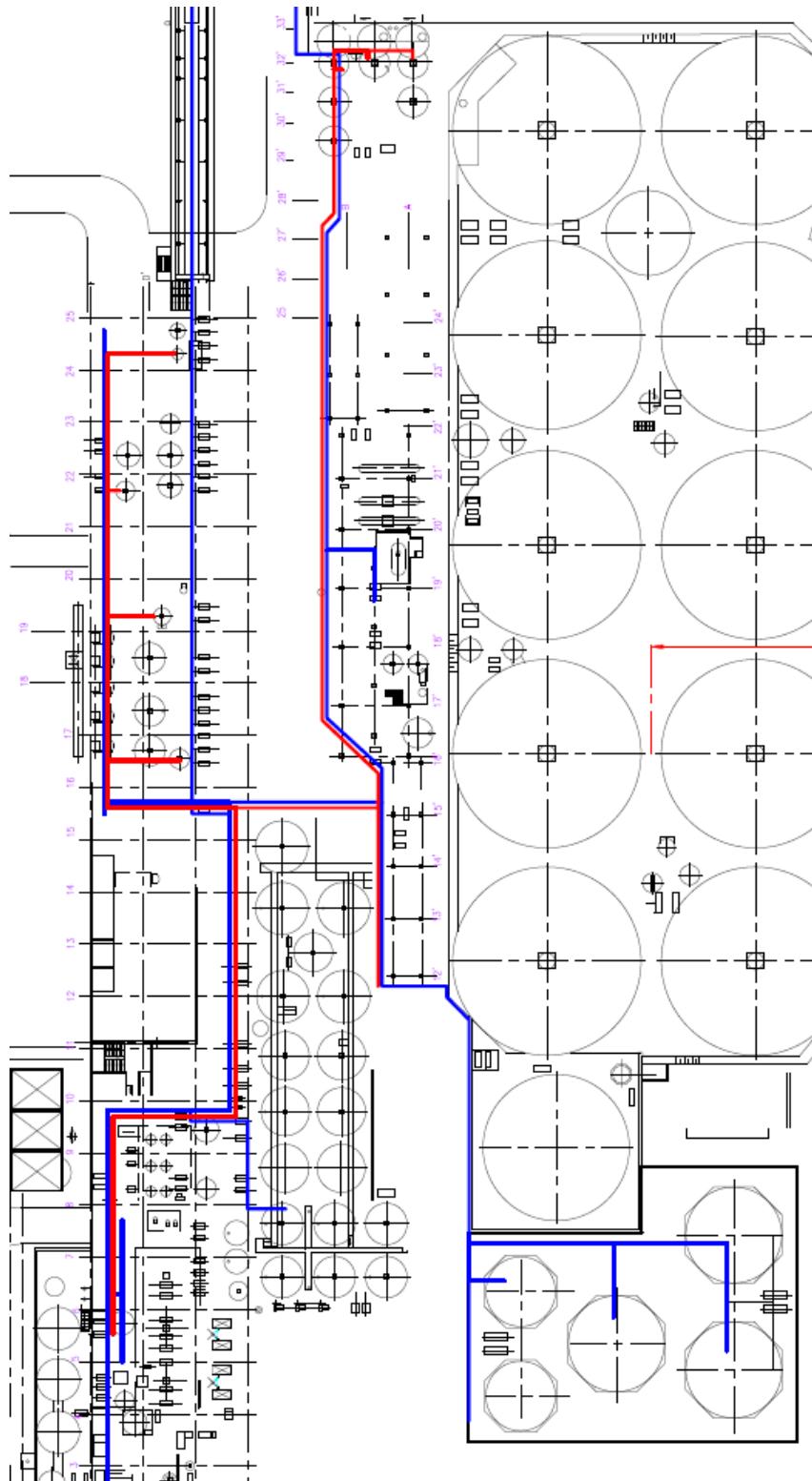
In onderstaande tabel zijn de verbruikers op het werkluchtnetwerk weergegeven.

Werklucht	
Naam	Beschrijving
V4003	Oxidatievat Neutrale logging
V4008	Oxidatievat Neutrale logging
V4009	Oxidatievat Neutrale logging
V4010	Oxidatievat Neutrale logging
V4005	Kopzuurvrat
V4006	Reactievat Neutrale logging
V4007	Reactie-oxidatievat neutrale logging
V4033	Reactievat Neutrale logging
V4175	Mengvat
V4037	Jarosiet-precipitatie
V4038	Jarosiet-precipitatie
V4039	Jarosiet-precipitatie
V4040	Jarosiet-precipitatie
V4127	1ste gipsproductievat
V4154	Gipsverwerkingsvat
V4155	Gipsverwerkingsvat
V4062	Filtraatvat 1e stap
V4063	Filtraatvat 2e stap
V4064	Filtraatvat 2e stap
V4065	Filtraatvat 2e stap
V4041	Jarosiet-precipitatievat
V4042	Jarosiet-precipitatievat
V4043	Jarosiet-precipitatievat
V4134	Gipsfiltraatvat
V4027	Filtraatvat 3de stap
V4116	Cd cement buffer/oplosvat

Tabel 6 : Persluchtverbruikers werkluchtnet

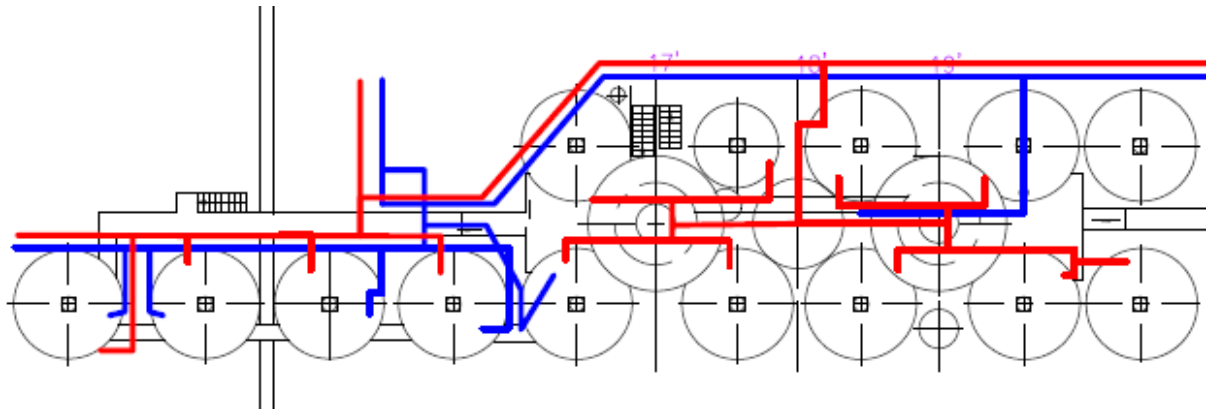
Bijlage D

Op figuur 18 zijn de twee verschillende leidingnetten te zien van de afdeling Loging en zuivering. Het procesluchtnet is weergegeven in het blauw en het werkluchtnet is weergegeven in het rood.



Figuur 18 : Persluchtnetten Loging

Op figuur 19 is een detailbeeld weergegeven van de persluchtleidingen op de tabletop.
Hier is wederom het procesluchtnet weergegeven in het blauw en het werkluchtnet in het rood.



Figuur 19 : Detail leidingen table top

Bijlage E

Location / Leakage Size	1	2	3	4	Total	Annual leakage(€)	Percentage
1 -- Regulator	1	0	0	0	1	9.68	0.03 %
2 -- Ballvalve	0	1	0	0	1	83.87	0.27 %
3 -- Valve	1	0	0	0	1	16.13	0.05 %
4 -- Valve	0	0	1	0	1	478.68	1.51 %
5 -- Lubricator	0	0	0	1	1	6,709.2 5	21.23 %
6 -- Lubricator	0	1	0	0	1	83.87	0.27 %
7 -- Coupling	0	0	1	0	1	478.68	1.51 %
8 --	0	0	0	1	1	3,773.9 5	11.94 %
9 -- Valve	0	0	1	0	1	419.33	1.33 %
10 --	0	0	1	0	1	419.33	1.33 %
11 --	0	1	0	0	1	83.87	0.27 %
12 --	0	1	0	0	1	94.83	0.30 %
13 -- FRL unit	0	0	0	1	1	3,773.9 5	11.94 %
14 --	0	0	0	1	1	1,677.3 1	5.31 %
15 -- Lubricator	0	0	1	0	1	419.33	1.33 %
16 -- Filter	0	1	0	0	1	83.87	0.27 %
17 --	0	0	1	0	1	419.33	1.33 %
18 -- Lubricator	0	0	1	0	1	419.33	1.33 %
19 -- Valve	0	1	0	0	1	83.87	0.27 %
20 --	1	0	0	0	1	13.55	0.04 %
21 --	1	0	0	0	1	13.55	0.04 %
22 -- Valve	0	1	0	0	1	83.87	0.27 %
23 --	0	1	0	0	1	83.87	0.27 %
24 -- Valve	1	0	0	0	1	13.55	0.04 %
25 -- Valve	0	1	0	0	1	83.87	0.27 %
26 -- Valve	0	0	1	0	1	419.33	1.33 %
27 -- Hahn	0	0	1	0	1	419.33	1.33 %
28 --	0	0	1	0	1	419.33	1.33 %
29 --	0	0	1	0	1	419.33	1.33 %
30 --	1	0	0	0	1	13.55	0.04 %
31 --	0	0	1	0	1	419.33	1.33 %
32 -- Filter	0	0	1	0	1	419.33	1.33 %
33 --	1	0	0	0	1	13.55	0.04 %

34 --	0	0	1	0	1	419.33	1.33 %
35 -- Hose to tool	0	0	0	1	1	1,677.3 1	5.31 %
36 --	0	0	1	0	1	419.33	1.33 %
37 --	0	0	1	0	1	419.33	1.33 %
38 -- Valve	1	0	0	0	1	13.55	0.04 %
39 -- Hahn	0	0	0	1	1	806.40	2.55 %
40 --	0	0	1	0	1	419.33	1.33 %
41 --	0	0	1	0	1	419.33	1.33 %
42 -- Tool	0	0	1	0	1	419.33	1.33 %
43 -- Tool	0	0	1	0	1	419.33	1.33 %
44 -- Tool	0	0	1	0	1	419.33	1.33 %
45 --	0	0	1	0	1	419.33	1.33 %
46 --	0	0	1	0	1	419.33	1.33 %
47 --	0	0	1	0	1	419.33	1.33 %
48 --	1	0	0	0	1	13.55	0.04 %
49 --	0	0	0	1	1	806.40	2.55 %
50 --	0	0	1	0	1	419.33	1.33 %
51 -- T- connector	0	1	0	0	1	83.87	0.27 %
52 --	0	0	0	1	1	806.40	2.55 %
Total	9	1 0	25	8	52	31,603. 24	100%

Tabel 7 : Kostenberekening perslucht lekkages

Bibliografie

Atlas Copco. (2010). *Compressed air manual 7th edition*. Belgium: Atlas Copco Airpower NV.

Enggcyclopedia. (sd). *Axial and centrifugal-type compressors*. Opgeroepen op Januari 2014, van Enggcyclopedia: <http://www.enggcyclopedia.com/2012/03/axial-centrifugal-type-compressors/>

Jacobs, R. (sd). *Persluchtdetectie*. Opgeroepen op November 2013, van <http://www.bemas.org/file?file=5466>

Kaiser Kompressoren. (sd). *Berekening van de drukval*. Opgeroepen op December 2013, van http://be.fl.kaeser.com/Online_Services/Toolbox/Pressure_drop/default.asp

Nyrstar. (sd). *Processen in Nyrstar Budel*. Opgeroepen op Oktober 2013, van Website van Nyrstar Budel: <http://www.nyrstarbudel.nl/processen/>

Persluchtadvies. (sd). Opgeroepen op Oktober 2013, van <http://www.persluchtadvies.nl>

Pertowiki. (sd). *Centrifugal compressor*. Opgeroepen op Januari 2014, van Pertowiki: http://petrowiki.org/Centrifugal_compressor

Qplus. (sd). *Perslucht kwaliteit*. Opgeroepen op Januari 2014, van <https://www.qplus.nl/home/technische-informatie/perslucht-kwaliteit/8.6.67>

Voka. (2011, 12 21). *BEST PRACTICES voor RATIONEEL ENERGIEVERBRUIK*. Opgeroepen op December 2013, van <http://www.energieprofessionals.be/sites/default/files/downloads/Perslucht%20en%20energiebesparing.pdf>

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

Efficiënt gebruik van perslucht

Richting: **master in de industriële wetenschappen: elektromechanica**

Jaar: **2014**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Vanhamel, Brecht

Datum: **23/01/2014**