

TYPENTUOTTOJÄRJESTELMÄ KONEPAJATEOLLISUUDESSA

LAB-AMMATTIKORKEAKOULU
Insinööri (AMK)
Kone- ja tuotantotekniikan koulutus
Mekatroniikka
Syksy 2020
Miika Piipponen

Tiivistelmä

Tekijä(t) Piipponen, Miika	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 22	Valmistumisaika Syksy 2020
Työn nimi TYPENTUOTTOJÄRJESTELMÄ KONEPAJATEOLLISUUDESSA		
Tutkinto Kone- ja tuotantotekniikan insinööri (AMK)		
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia erilaisia menetelmiä, joilla voidaan itse tuottaa tyyppikaasua. Erilaisia typentuottojärjestelmiä on ollut saatavilla jo pitkään, mutta niiden hyödyntäminen esimerkiksi konepajateollisuudessa on ollut vähäistä. Opinnäytetyön aikana kävi myös ilmi, että typentuottojärjestelmistä ja niiden toimintaperiaatteista löytyy tällä hetkellä hyvin vähän suomenkielistä teoriaa. Työn lopullisena tavoitteena oli löytää järjestelmä, joka soveltuu parhaiten laserleikkauksen tueksi.</p> <p>Työ suoritettiin itsenäisenä tutkimuksena, jonka painopiste kohdistuu eri typentuottojärjestelmien ominaisuuksiin. Tutkimuksessa perehdyttiin olemassa oleviin järjestelmiin ja niiden kykyyn tuottaa tyyppikaasua riittävällä teholla ja puhtaudella. Tutkimuksen loppuosiossa pohdittiin, minkälaisia hyötyjä voidaan saavuttaa, kun tyyppikaasu tuotetaan itse. Osaa aineistosta koskee salassapitovelvollisuus.</p> <p>Työn lopputuloksena huomattiin, että oikein valitulla ja mitoitettulla typentuottojärjestelmällä voidaan saavuttaa merkittäviä hyötyjä. Typentuottojärjestelmän hyödyntäminen voi olla kustannustehokas ja ekologinen tapa, jolla voidaan myös lisätä yrityksen oma- varaisuutta sekä työturvallisuutta.</p>		
Asiasanat Konepajateollisuus, Laserleikkaus, Typentuottojärjestelmä, Tyyppikaasu		

Abstract

Author(s) Piipponen, Miika	Type of publication Bachelor's thesis	Published Autumn 2020
	Number of pages 22	
Title of publication Nitrogen production system in metal industry		
Name of Degree Bachelor of Engineering, Mechatronics		
Abstract <p>The purpose of this thesis was to research different kinds of methods that would allow the solo production of nitrogen gas. Various types of nitrogen production systems have existed for a while now, but they haven't been really utilized in the metal industry for example. During the research it was found that, there's not much information available in Finnish language, concerning the nitrogen production systems. The final goal of the research, was to find a suitable production method for laser cutting.</p> <p>The focus, of this independent research, was to observe the features of the various kinds of production systems. The research pursued to familiarize existing production systems, and their ability to produce nitrogen gas affectively and purely enough. In the end, the research discusses, what kind of benefits can be achieved by solo production. Some parts of this thesis includes confidential material, that can't be published.</p> <p>As a result, it was found that significant benefits can be achieved with the right choice of production system. The exploitation of a nitrogen production system, can be a cost-effective and ecological way, to add self-sufficiency and work safety.</p>		
Keywords Laser cutting, Metal industry, Nitrogen production system, Nitrogen gas		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	TYPPI JA SEN KÄYTTÖ TEOLLISUUDESSA	2
2.1	Elintarviketeollisuus	2
2.2	Kemianteollisuus	2
2.3	Ajoneuvoteollisuus.....	2
2.4	Elektroniikkateollisuus	3
2.5	Konepajateollisuus.....	3
3	TYPEN PUHTAUSASTE	5
3.1	Typen puhtausluokat	5
4	TYPPIKAASUN TUOTTAMINEN.....	7
4.1	PSA-tekniikka	7
4.2	Kalvotekniikka.....	9
4.3	Kryogeeninen tislaminen.....	10
5	TYPPIKAASUN TUOTTOJÄRJESTELMÄT	11
5.1	PSA-järjestelmä.....	11
5.2	Kalvojärjestelmä	15
6	TYPPIKAASUN TUOTTOJÄRJESTELMIEN HYÖDYT	18
7	YHTEENVETO	21
	LÄHTEET	22

1 JOHDANTO

Nykyään yhä useammin konepajateollisuuden teräsleikkeet tuotetaan laserleikkauksella. Laserilla voidaan työstää monipuolisesti useita eri materiaaleja, ja siitä onkin tullut tärkeä osa konepajatoimintaa. Laserleikkaussovellus edellyttää aina leikkauskaasun, joka valikoidaan leikattavan materiaalin mukaan. Leikattaessa ruostumattomia teräksiä sekä alumiinia leikkauskaasuna käytetään typpeä. Suuri osa laserin omistavista konepajoista ostaa leikkauskaasuna käytettävän typen sekä hapen yrityksen ulkopuolelta. On kuitenkin olemassa vaihtoehtoja, joilla näitä kaasuja voitaisiin itse tuottaa.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kartoittaa erilaisia vaihtoehtoja, joilla voidaan tuottaa nimenomaan typpikaasua laserleikkausta varten. Opinnäytetyössä tutkitaan erilaisia typpigeneraattorisovelluksia, mihin niiden toiminta perustuu ja minkälaisia komponentteja erilaiset järjestelmät pitävät sisällään.

Työssä pohditaan, mitä laserleikkaustypeltä vaaditaan ja minkälaisella järjestelmällä päästään haluttuun lopputulokseen. Lopuksi mietitään, minkälaisia hyötyjä typpigeneraattorilla voidaan saavuttaa.

Opinnäytetyö sisältää salassa pidettävää materiaalia, joten kustannuslaskelmaa eikä sitä koskevia liitteitä voida julkaista.

2 TYPPI JA SEN KÄYTTÖ TEOLLISUUDESSA

Typpi (kemialliselta merkiltään N_2) on alkuaine, joka esiintyy luonnossa kaksiatomisena, ilmaa kevyempänä kaasuna. Tavallisissa olosuhteissa se on väritöntä, hajutonta sekä mautonta. Kaasuna typpi on inertti, joka tarkoittaa sitä, että tavallisissa olosuhteissa se ei reagoi muiden aineiden kanssa. Tyypeä esiintyy myös nestemäisenä, jolloin se on erittäin kylmää. Ilmakehästämme 78 % koostuu typestä.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia erilaisia typen tuottojärjestelmiä ja pohtia niiden mukanaan tuomia hyötyjä, nimenomaan konepajateollisuuden näkökulmasta katsottuna. Tässä osiossa käydään kuitenkin lyhyesti läpi, missä kaikkialla muuallakin typpikaasua voidaan hyödyntää. Samalla tuodaan esille, minkä puhtausasteen tyypeä tavallisesti vaaditaan, kussakin sovelluksessa (kuva 1). Puhtausasteeseen ja sen merkitykseen palataan tuonnempana.

2.1 Elintarviketeollisuus

Elintarviketeollisuudessa typpikaasua käytetään esimerkiksi pakkaamisen yhteydessä, jolloin pakkauksissa oleva ilma korvataan typpellä. Typen inerttisyys stabiloi tuotteen ja pidentää sen käyttöikää. Typpi on heikosti veteen liukenevaa, ja näin ollen se myös auttaa säilyttämään pakkauksen alkuperäisen tilavuuden. (Linde 2019b.) Kun tyypeä käytetään elintarviketeollisuudessa pakkaamisen yhteydessä, sen puhtausaste on tavallisesti 98 - 99.5 % (Connaughton & Hannifin 2019).

2.2 Kemianteollisuus

Kemianteollisuudessa typpikaasua käytetään prosessialueiden puhdistamiseen. Käyttämällä tyypeä varmistetaan siitä, että aiemmin varastoitu ja seuraavaksi käytettävä tuote eivät reagoi keskenään. (Linde 2019c.) Kemianteollisuudessa prosessialueet, jotka voivat aiheuttaa turvallisuusriskin, puhdistetaan käyttäen tyypeä, jonka puhtausaste on tyypillisesti luokkaa 95 – 99 % (Connaughton & Hannifin 2019).

2.3 Ajoneuvoteollisuus

Ajoneuvoteollisuudessa typpikaasua on alettu käyttämään tavallisen paineilman korvikkeena. Tavalliseen paineilmaan verrattuna, typpikaasulla voidaan myös saavuttaa tasaisempi rengaspaine. Tasaisempi rengaspaine puolestaan parantaa ajo-ominaisuuksia sekä renkaiden käyttöikää. Myös polttoaineenkulutus pienenee. (Linde 2019a.) Renkaiden täytössä käytettävän typen puhtausasteen ollessa 93 – 95 %, kaikki mahdollinen hyöty on jo saavutettu (Bridgestone/Firestone North American Tire, LLC 2003).

2.4 Elektroniikkateollisuus

Elektroniikkakomponenttien liitoksissa juotoskohdan hapettuminen voi johtaa heikkolaatuiseen liitokseen ja pahimmassa tapauksessa vialliseen lopputuotteeseen. Typen käyttäminen juotostöiden apukaasuna onkin lisääntynyt, sillä sen avulla hapetusreaktiosta päästään eroon. Typen käyttäminen apukaasuna myös pienentää juotosaineen viskositeettiä sekä kulutusta. (Laser Gas Oy.) Elektroniikkateollisuuden juotoksissa apuna käytettävän typen puhtausaste voi olla jopa 99.999 % (Connaughton & Hannifin 2019).

2.5 Konepajateollisuus

Konepajateollisuudessa typpeä käytetään pääosin hitsauksen ja laserleikkauksen yhteydessä.

Laserleikkauksessa käytettävän kaasun määrittelee leikattava materiaali ja sen ominaisuudet. Yleensä leikkauskaasuna kuitenkin käytetään typpeä tai happea. Happea käytetään hiiliterästen ja vähäseosteisten terästen leikkaamiseen, kun taas typpi soveltuu ruostumattomille ja runsaasti seostetuille teräksille, kuten alumiinille.

Myös leikkausprosessi on hieman erilainen. Hapella leikattaessa happi ja leikattava materiaali reagoivat keskenään, aiheuttaen eksotermisen reaktion. Reaktion tuottama lämpöenergia tehostaa leikkausta perinteisen polttoleikkauksen tavoin (Ionix Oy 2019).

Typpileikkauksessa lasersäde sulattaa materiaalin ja korkeapaineistettua typpeä käytetään ainoastaan materiaalin poistamiseen leikkausrailosta ja sen suojaamiseen hapettumiselta (Ionix Oy 2019).

Happea käytettäessä leikkauspintaan jää oksidikerros, kun taas typpeä käytettäessä oksidikerrosta ei synny (Ionix Oy 2019).

Kun typpeä käytetään laserleikkaukseen, puhtausasteen 99.95 % pitäisi olla riittävä. Materiaalin ainevahvuudesta riippuen, puhtausaste voi kuitenkin olla myös matalampi. (Connaughton & Hannifin 2019.)

Typical Nitrogen Purity Levels by Industry		
The following is a list of common applications and typical purities based on over 50,000 generators deployed worldwide:²		
Electronic Assembly		
<u>Application</u>	<u>Purity (N₂)</u>	
Lead free solder processes	(99.999 to 99.99% N ₂)	
Wave soldering	(99.999 to 99.99% N ₂)	
Reflow soldering	(99.999 to 99.99% N ₂)	
Selective solder	(99.999 to 99.99% N ₂)	
Dry box storage	(95-99%)	
De-ionized water storage	(98-99%)	
Burn-in ovens	(97-99.99%)	
Parts cleaning	(95-98%)	
Adhesive blanketing	(99.5%)	
Food & Beverage		
On average, this application uses a nitrogen purity of 98-99.5%.		
Snack food packaging		
Salad and fruit packaging		
Coffee packaging		
Edible oil blanketing		
Flavorings blanketing		
Dairy Packaging		
Wine blanketing, transfer and bottling		
Modified atmosphere packaging		
Metal Industry		
<u>Application</u>	<u>Purity (N₂)</u>	<u>Use</u>
Aluminum degassing	97-99%	Remove H ₂
Aluminum extrusion	99-99.5%	Prevent carburization
Laser cutting	99-99.999%	Blow off dross and minimize oxidation at the cut
Laser bellows purge	97-99%	Purge bellows so the dust stays off mirrors, H ₂ O, C ₂ O absorb laser energy and blur the laser
Heat treating	95-99%	Inert atmosphere
Additive manufacturing	97-98%	Inert atmosphere
Can welding	99%	Inert atmosphere
Oil, Gas and Petrochemical		
<u>Application</u>	<u>Purity (N₂)</u>	
Fire/explosion prevention	95-99%	
Inert blanketing	95-99%	
Paint blanketing	98%	
Inert transfer in enhanced oil recovery	98%	
Pressurizing Riser Tensioners	98%	
Gas Seals	95-97%	
Pharmaceutical Industry		
<u>Application</u>	<u>Purity (N₂)</u>	
Chemical product transfer	97-99.99%	
Chemical blanketing	97-99.99%	
Product packaging	97-99.99%	
DI water blanketing	97-99.99%	
Plastics		
<u>Application</u>	<u>Purity (N₂)</u>	<u>Use</u>
Injection molding	98-99%	Prevent carburization of the screw
Injection molding	95%	Purging the pellet hoppers
Gas assist injection molding	99.5%	Pack out parts and eliminate shrinkage
Blown film extrusion	98-99.5%	Purging, spray dry products
Power Generation		
<u>Application</u>	<u>Purity (N₂)</u>	
Purging mechanical gas seals	95-98%	
Boiler layup	99.6%	
Purging natural gas lines	95-98%	
Demineralized water blanketing	95-98%	
Others		
<u>Application</u>	<u>Purity (N₂)</u>	
Mine inerting	95-99%	
Automotive paint blanketing/spray	95-98%	
Gold refining	99.99%	
Museum/artifact preservation	95%	

Kuva 1. Tyypellä vaadittava puhtausaste teollisuuden eri aloilla (Connaughton & Hannifin 2019)

3 TYPEN PUHTAUSASTE

Yleisesti ottaen kemikaalien puhtautta mitataan sillä, kuinka paljon muita aineita kemikaalinen seos pitää sisällään. Vaikka jotkin korkeapitoiset kemikaalit sisältävät vain pienen määrän epäpuhtauksia, kaikki kaupallisesti tuotetut kemikaalit ovat aina seoksia (Parker, M. 2018). Esimerkiksi typpi sisältää tavallisesti hiilivetyä, happea, hiilidioksidia, hiilimonoksidia sekä vettä. Puhtaus ilmoitetaan käyttäen yksikköä ppm eli parts per million (miljoonasosa).

Ennen kuin typpeä tuotetaan, on tärkeää ymmärtää, mikä on typeltä vaadittava puhtausaste. Vaadittavan puhtausasteen määrittelee sovellus, jossa sitä käytetään. (Oy Atlas Copco Ab 2017-2019.) Vaikka prosentuaaliset erot vaikuttavat pieniltä, jo 0,001 % ero voi vaikuttaa merkittävästi sovelluksen suorituskykyyn (Pneumatech 2019).

Markkinoilta on saatavissa laitteita, joilla voidaan saavuttaa yli 99.999 % puhtausaste. On kuitenkin monia sovelluksia, jossa myös huomattavasti alhaisempi puhtausaste riittää. Typen puhtauden sovittaminen käytettävän sovelluksen mukaan on tärkeää myös siksi, että sen ansiosta voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä rahallisesti, mutta myös energiallisesti. (Connaughton & Hannifin 2019.)

Minkä tahansa typpigeneraattorin tuottaman typen puhtauteen vaikuttaa paineilman virtaus typpigeneraattorin lävitse. Mitä enemmän kuristat uloslähtevän typen virtausta, sitä puhtaampaa typpeä saadaan. Edellytyksenä kuitenkin on, että sisään tuleva paineilma on puhdistettu öljyaerosoleista ja kastepiste (suhteellinen kosteus) on riittävän hyvä.

3.1 Typen puhtausluokat

Puhtausluokalla tarkoitetaan kategoriaa, jolla on jotkin tietyt puhtausvaatimukset. Typen puhtausluokat jaotellaan tyypillisesti kahteen eri kategoriaan: korkeapitoisiin ja matalapitoisiin. (Parker, M. 2018.)

Puhtausluokan ollessa korkeapitoinen, typen puhtausaste on 99.998 % tai suurempi. Tähän luokkaan kuuluvat typpikaasut nimetään yleensä ”erikoispuhtaiksi” tai ”erittäin” puhtaiksi kaasuiksi. (Parker, M. 2018.)

Puhtausluokan ollessa matalapitoinen, typen puhtausaste on 90 % - 99.998 %. Tämän luokan typpikaasuista käytetään tyypillisesti nimiä, kuten ”happivapaa”, ”puhdistamaton” tai ”teollinen”. Tähän luokkaan kuuluvien typpikaasujen sisältämien epäpuhtauksien määrä vaihtelee suuresti. (Parker, M. 2018.)

Typpi on yleisesti käytetty kaasu monilla eri teollisuuden aloilla, mutta siitä huolimatta sen puhtausluokkia ei ole millään tavalla standardisoitu. Viimekädessä typen valmistaja voi itse määritellä ja nimetä typpensä puhtausluokat sekä niiden sisältämät vaatimukset. (Parker, M. 2018.) Tästä syystä onkin mahdollista, että kahdesta eri puhtausluokasta voi löytyä täysin samanlaatuista typpikaasua. Tämä mahdollistaa myös sen, että samasta puhtausluokasta voi löytyä kahta täysin eri laatuista typpikaasua. Typpikaasua hankittaessa onkin tärkeää valita kaasu sen todellisen laadun, eikä valmistajan antaman puhtausluokan perusteella. (Parker, M 2018.)

ppm (parts per million) muutettuna prosenteiksi:

- 1 ppm = 0,0001 %
- 10 ppm = 0,001 %
- 100 ppm = 0,01 %
- 1000 ppm = 0,1 %
- 10 000 ppm = 1,0 %
- 100 000 ppm = 10,0 %
- 1000 000 ppm = 100,0 %

4 TYPPIKAASUN TUOTTAMINEN

Kuten aiemmin on todettu, ilmakehästäämme 78 % koostuu typestä. 21 % on happea ja 1 % muita kaasuja. Typpikaasua tuottaessa perusideana on, että tuo ilmakehässä oleva typpi erotellaan näistä muista kaasuista ja taltioidaan sille tarkoitettua käyttöä varten.

Typpikaasun tuottamiseen käytettäviä generaattoreita on tällä hetkellä kahdenlaisia, jotka molemmat hyödyntävät erilaista tekniikkaa. Toinen näistä perustuu PSA-tekniikkaan ja toinen kalvotekniikkaan.

Typpikaasua voidaan tuottaa myös kryogeenisen tislauksen avulla.

4.1 PSA-tekniikka

Lyhenne PSA tulee englannin kielen sanoista "pressure swing adsorption". Nimensä mukaisesti PSA-tekniikka perustuu siis paineen vaihteluun ja adsorptioksi kutsuttuun ilmiöön.

Adsorptioksi kutsutaan ilmiötä, jossa kaasun tai liuoksen molekyylit kiinnittyvät kiinteän aineen pintaan. Näitä kiinteitä aineita, joilla on ominaisuus kosketuksen yhteydessä sitoa toisia aineita pinnalleen eli absorboida, kutsutaan absorbenteiksi. (Encyclopedia Britannica 2020.)

PSA-tekniikkaa käytettäessä ja nimenomaan typpikaasua tuottaessa absorbenttina käytetään aktiivihiihtä. PSA-tekniikassa käytettävä aktiivihiihi CMS (carbon molecular sieve) kuitenkin poikkeaa tavallisista aktiivihiihdistä. Se on suunniteltu niin, että vain molekyylit, jotka ovat tarpeeksi pieniä, mahtuvat huokosen sisälle (kuva 2). Näin ollen pienimolekyylinen happi mahtuu huokosen sisään, mutta isompi molekyylinen typpi ei. (N₂ Generation-Technology Primer 2020, 1.)

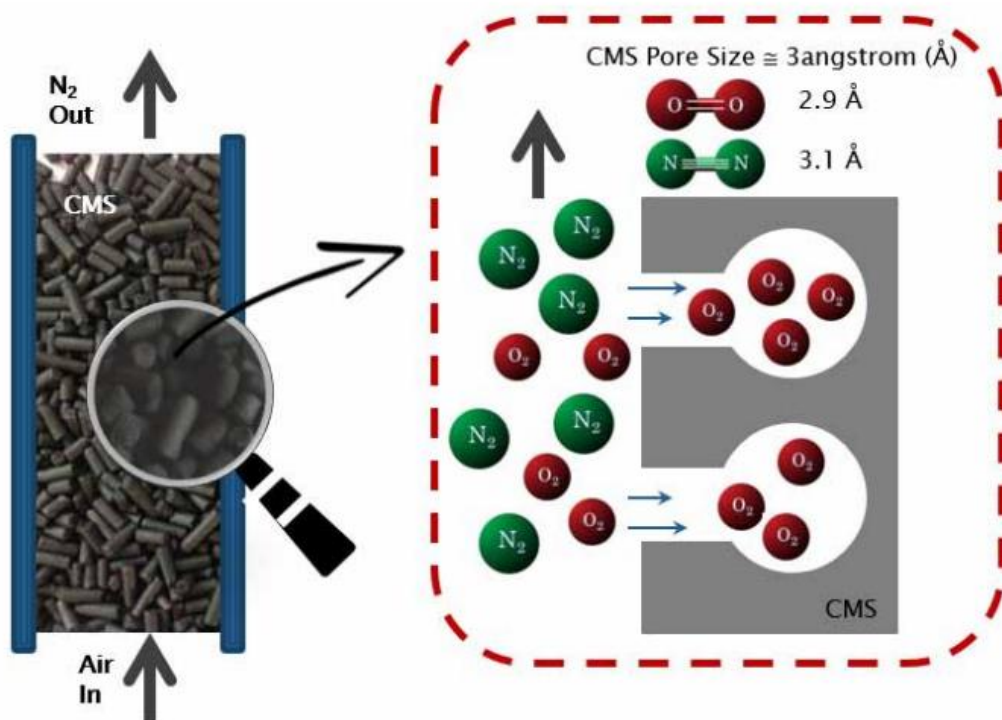
PSA-tekniikkaa voidaan käyttää myös hapen tuottamiseen, jolloin absorbenttina käytetään zeoliittia (Laser Gas Oy).

PSA-prosessissa ilmakehästä vedetty ilma paineistetaan ja ohjataan säiliöön, joka on täytetty aktiivihiihilellä. Aktiivihiihen huokokset sitovat happea, jolloin muut ainesosat (suurimaksi osaksi typpi) pääsevät virtaamaan hiilmolekyyliseulan lävitse vapaasti. (N₂ Generation-Technology Primer 2020, 1.)

Kun aktiivihiihen pinta on lopulta täysin happimolekyyliden peitossa, se menettää kykynsä absorboida. Tätä ilmiötä kutsutaan kyllästymiseksi. PSA-prosessia ja adsorptiota voidaan kuitenkin jatkaa laskemalla painetta aktiivihiihsäiliön sisällä. (N₂ Generation-Technology Primer 2020, 1.)

PSA-prosessissa aktiivihiilellä täytettyjä säiliöitä on aina kaksi tai useampia. Useamman säiliön avulla saadaan aikaan sykli, joka tuottaa typpeä tasaisesti: kun ensimmäisen säiliön sisältämä aktiivihiili kyllästyy ja menettää kykynsä absorboida, se aktivoidaan uudelleen laskemalla säiliössä olevaa painetta. Tätä vaihetta kutsutaan desorptioksi (adsorption vastakohta). Saavuttaessaan tietyn paineen, happimolekyylit vapautuvat aktiivihiilestä ja happikaasu johdetaan vaimentimen kautta takaisin ilmakehään. Kun tämän säiliön aktiivihiiltä valmistellaan uuteen suodatukseen, samanaikaisesti toinen säiliö tuottaa typpeä. Sykli toistaa itseään. (N₂ Generation- Technology Primer 2020, 1.)

Sanotaan, että järjestelmä tuottaa typpeä tasaisesti. Syklin alussa on kuitenkin hetki, jonka aikana laitteisto ei tuota typpeä. (N₂ Generation- Technology Primer 2020, 1.)



Kuva 2. CMS-aktiivihiilen toimintaperiaate (N₂ Generation- Technology Primer, 1)

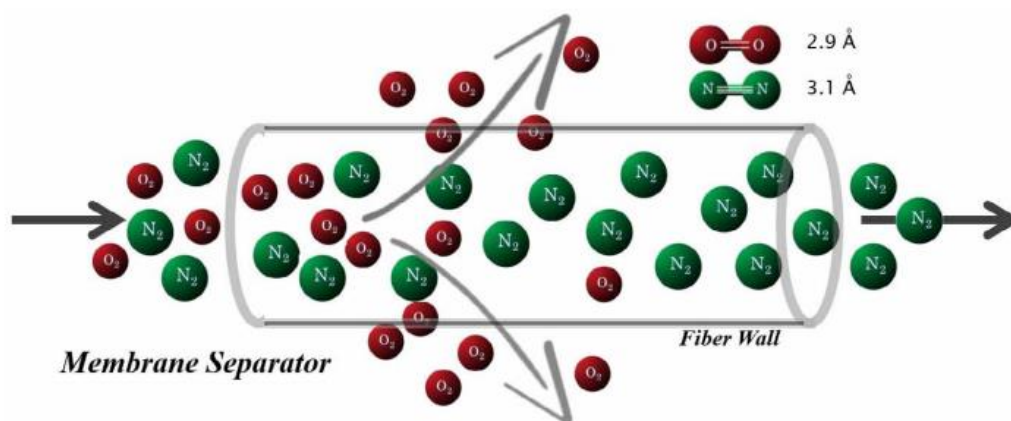
4.2 Kalvotekniikka

Kalvotekniikan toimintaperiaate on hieman PSA-tekniikan toimintaperiaatetta yksinkertaisempi. Siinä kaasujen erottelu perustuu selektiivisten kaasujen kykyyn läpäistä kalvosuodatin (kuva 3). (Mechanical Engineering Site 2018.)

Kaasun läpäisyyn vaikuttaa osapaineen ero, joka on kalvosuodattimen sisä- ja ulkopuolen välillä. Mitä suurempi ero paineessa sisä- ja ulkopuolen välillä on, sitä enemmän kaasuja pääsee virtaamaan kalvon lävitse. (Mechanical Engineering Site 2018.)

Jokaisella kaasulla on tietty pisteensä, jonka saavutettuaan se läpäisee kalvon. Tuohon pisteeseen vaikuttaa se, kuinka nopeasti kaasu hajaantuu kalvon sisällä. Lisäksi kaasun molekyylien koolla on merkitystä. Nopeammin hajaantuvat ja pienempi molekyyliset kaasut suodattuvat nopeammin. (Mechanical Engineering Site 2018.) Puhkielessä käytetään termejä ”hitaat” ja ”nopeat” kaasut, typen ollessa hidas ja hapen nopea.

Koko järjestelmän tärkein komponentti on siis lieriömäinen kalvomoduuli, jonne ilmakehästä vedettyä ja paineistettua ilmaa syötetään. Moduuli pitää sisällään suuren määrän pieniä ja onttoja polymeerikuituja, joiden sisällä kaasujen erottelu tapahtuu. (Atlas Copco Ab 2020.) Kalvojärjestelmä voi sisältää useita erillisiä kalvomoduuleita.



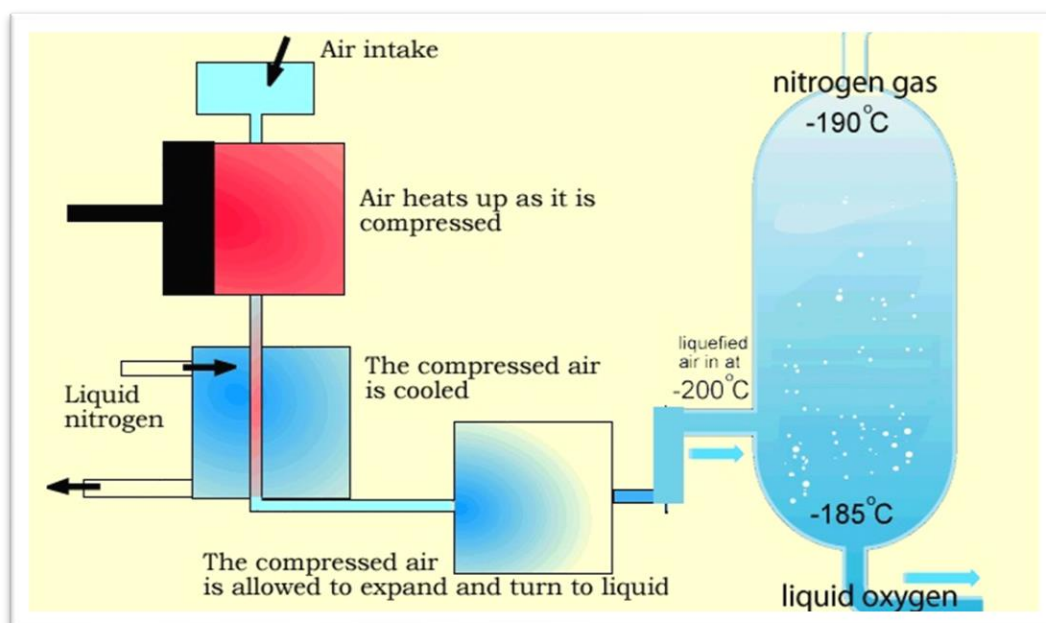
Kuva 3. Kalvosuodattimen toimintaperiaate (N₂ Generation- Technology Primer, 2)

4.3 Kryogeeninen tislaminen

Saksalainen insinööri Carl Von Linde kehitti kryogeenisen kaasujen erottamismenetelmän jo yli sata vuotta sitten. Prosessissa ilma paineistetaan, kuivataan ja puhdistetaan pölystä sekä hiilidioksidista. Tämän jälkeen ilmaa jäähdytetään ja puristetaan, kunnes se muuttuu nesteeksi kuvan 4 osoittamalla tavalla. (Linde 2020a.)

Tislausprosessi perustuu siihen, että ilman osakomponenttien höyrystymispisteet poikkeavat toisistaan (Roitto, J. 2013, 7). Typpi höyrystyy -196°C asteessa, argon -186°C asteessa ja happi -183°C asteessa. Tämä tarkoittaa sitä, että kun lämpötila on -196°C astetta, niin ilmassa oleva typpi voidaan taltioda kaasuna, samalla kun happi saadaan talteen nesteen muodossa. Lämpötilaa nostamalla ilman eri osakomponentit kaasuntuvat siis kukin vuorollaan.

Kryogeeninen tislaminen toimii siis lähes samoin kuten muutkin tislausmenetelmät, sillä erotuksella että kryogeenisesti toisistaan eroteltavat kemikaalit omaavat erittäin matalan höyrystymislämpötilan (Elsevier B.V. 2020).



Kuva 4. Kryogeenisen tislamisen toimintaperiaate (Fractional distillation of air 2020)

5 TYPPIKAASUN TUOTTOJÄRJESTELMÄT

5.1 PSA-järjestelmä

Yleensä PSA-järjestelmää käytetään silloin, kun tuotettavalla typpikaasulla on korkeamat puhtausvaatimukset. Järjestelmälle ominaista onkin, että sen suorituskyky ei heikkene merkittävästi puhtausvaatimusten kasvaessa. PSA-järjestelmällä voidaan saavuttaa jopa 99.9995 %:n puhtausaste (N₂ Generation- Technology Primer 2020, 4).

Kun typeltä vaaditaan korkeampaa puhtausastetta kuin 95 %, PSA-tekniikkaa hyödyntävä typpigeneraattori on merkittävästi tehokkaampi kuin kalvotekniikkaa hyödyntävä generaattori. Mitä puhtaampaa typpeä tuotetaan, sitä suuremmaksi myös ero generaattoreiden välillä suorituskyvyn osalta kasvaa. (N₂ Generation- Technology Primer 2020, 4.)

PSA-järjestelmä on täysin automatisoitu ja se sisältää jonkin verran liikkuvia komponentteja. Järjestelmässä on tyypillisesti kahdeksan venttiiliä, jotka säätelevät painetta automaattisesti kussakin työvaiheessa (N₂ Generation- Technology Primer 2020, 4).

PSA-järjestelmä ei vaadi merkittävästi huoltotoimenpiteitä. On kuitenkin ehdottoman tärkeää, että järjestelmän hiilimolekyyliseulat eivät pääse kosketuksiin öljyn tai veden kanssa. Hiilimolekyyliseulat eivät heikkene ajan kuluessa, mutta altistuminen kosteudelle tai öljylle voi heikentää laitteiston suorituskykyä pysyvästi (N₂ Generation- Technology Primer 2020, 4).

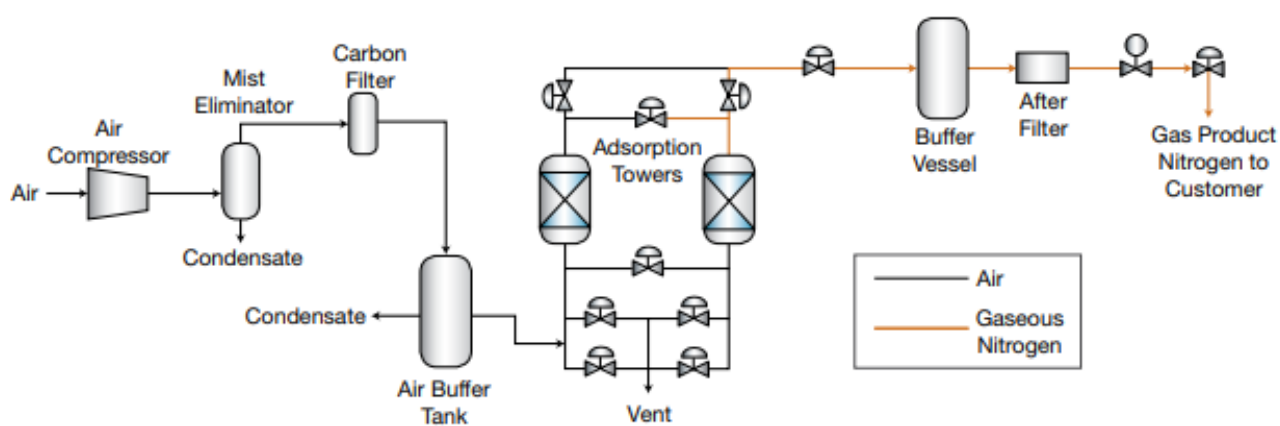
Jos laitteiston suodattimet vaihdetaan säännöllisesti ja pidetään huolta siitä, että käytettävä paineilma on puhdasta ja kuivaa, niin voidaan todeta, että PSA-järjestelmä on pitkäikäinen (N₂ Generation- Technology Primer 2020, 4).

PSA-järjestelmiä on saatavilla eri kokoisina, riippuen siitä minkälaiseen käyttötarkoitukseen laite on suunniteltu. Lähtökohta näyttäisi kuitenkin olevan, että PSA-järjestelmä vie huomattavasti enemmän tilaa kuin kalvojärjestelmä.

PSA-järjestelmän tyypilliset komponentit:

- paineilmakompressori
- esisuodatin / Vedenerotin
- ilmankuivain
- suodatinyksikkö
- paineilmasäiliö
- aktiivihiilisäiliöt 1 ja 2 (CMS)
- typpisäiliö
- jälkisuodatin
- korkeapainekompressori (ei välttämätön)
- typpipatteri (ei välttämätön)
- tuotantolaite

Kytkentäkaaviosta voi nähdä PSA-järjestelmän komponenttien asennusjärjestyksen (kuva 5).



Kuva 5. PSA-järjestelmän kytkentäkaavio (American Institute Of Chemical Engineers 2012)

PSA-järjestelmän toimintakuvaus:

Paineilmakompressorin imee ympäristöstään ilmaa ja ohjaa sen paineistettuna eteenpäin.

Esisuodatin poistaa ilmasta suurimmat pöly- ja öljypartikkelit sekä osan vedestä. Tämän jälkeen vielä kosteaksi jäänyt paineilma kuivataan ilmankuivaimella.

Koska käytettävän paineilman puhtaus on erittäin tärkeää, niin esipuhdistettu ja kuivattu paineilma ohjataan vielä suodatinyksikön lävitse. Useat eri suodattimet erottelevat ilmasta epäpuhtauksia, jotka voisivat olla haitallisia laitteiston toiminnalle ja typen puhtausasteelle. Suodatinyksikkö koostuu yleensä kolmesta eri suodattimesta, joista viimeinen on aktiivihii-lisuodatin.

Tämän jälkeen puhdas ja kuiva ilma ohjataan paineilmasäiliöön, jossa paine vaihtelee 0 - 8 baarin välillä. Paineilmasäiliöstä ilma ohjataan aktiivihii-lisäiliöille.

Aktiivihii-lisäiliöiden sisällä kaasut erotellaan toisistaan. Kun säiliössä nro. 1 nostetaan painetta, niin adsorptio käynnistyy ja CMS-rakeet sitovat happea ja muita epäpuhtauksia. Typpi puolestaan pääsee virtaamaan typpisäiliöön.

Samanaikaisesti säiliössä nro. 2 painetta lasketaan, joka puolestaan käynnistää desorption. Desorptiossa vapautuvat hukka-kaasut ohjataan takaisin ilmakehään poistoventtiilin kautta. Tämän jälkeen molempien säiliöiden paine tasataan ja sykli vaihtaa suuntaa.

Ennen kuin typpeä ohjataan säiliöstä toimilaitteelle, se suodatetaan vielä kerran jälki-suodattimella.

Typentuottojärjestelmien komponentit voivat vaihdella, riippuen lopullisesti käyttökoh-teesta. Jos typpeä on tarkoitus tuottaa esimerkiksi laserleikkausta varten, niin korkeapainekompressorin ja typpipatterin tulisi sisältyä laitteistoon. Korkeapainekompressoria tarvitaan typen "buustaukseen" ja typpipatteria puskurisäiliöksi.

Laserleikkauksessa käytettävä typpi on yleensä pakattu 50 litran sylinterimäisiin pulloihin, jotka on paineistettu 200 - 300 baariin. Typpipatteriksi kutsutaan useamman kaasupullon kokonaisuutta (yleensä 12 pulloa).



Kuva 6. Tyypipatteri

5.2 Kalvojärjestelmä

PSA-tekniikkaan verrattuna kalvotekniikkaan perustuvan järjestelmän käyttö on suositeltavampaa silloin, kun tuotettavan typpikaasun puhtausaste on vaatimuksiltaan matalampi. Tuotettaessa tyypeä, jonka puhtausaste on n. 95 % kalvojärjestelmä kykenee toimimaan lähes yhtä tehokkaasti kuin PSA-järjestelmä. On kuitenkin havaittavissa, että kalvojärjestelmän suorituskyky heikkenee merkittävästi korkeammissa puhtauksissa. Tarvittaessa kalvojärjestelmällä voidaan saavuttaa puhtausaste aina 99.9 %:iin asti (N₂ Generation-Technology Primer 2020, 4).

Kalvojärjestelmä on yksinkertainen. Järjestelmässä on vain yksi venttiili, jolla sen toiminta joko käynnistetään tai lopetetaan. Järjestelmää voidaan käyttää manuaalisesti tai se voidaan automatisoida (N₂ Generation- Technology Primer 2020, 4).

PSA-järjestelmän tavoin kalvojärjestelmä ei myöskään vaadi merkittäviä huoltotoimenpiteitä. Kalvojärjestelmässä olevalle kalvomoduulille on kuitenkin ominaista, että sen suorituskyky heikkenee ajan myötä. Merkittävin suorituskyvyn aleneminen tapahtuu ensimmäisen kahden vuoden aikana (N₂ Generation- Technology Primer 2020, 4).

Kalvojärjestelmä ei ole herkkä kosteudelle. Kalvon altistuessa vedelle, sen suorituskyky alenee vain väliaikaisesti. Kuivuessa kalvon suorituskyky kuitenkin palautuu normaaliksi. On kuitenkin tärkeää, että järjestelmän suodattimet ovat kunnossa, sillä öljy vahingoittaa kalvoa pysyvästi. (N₂ Generation- Technology Primer 2020, 4.)

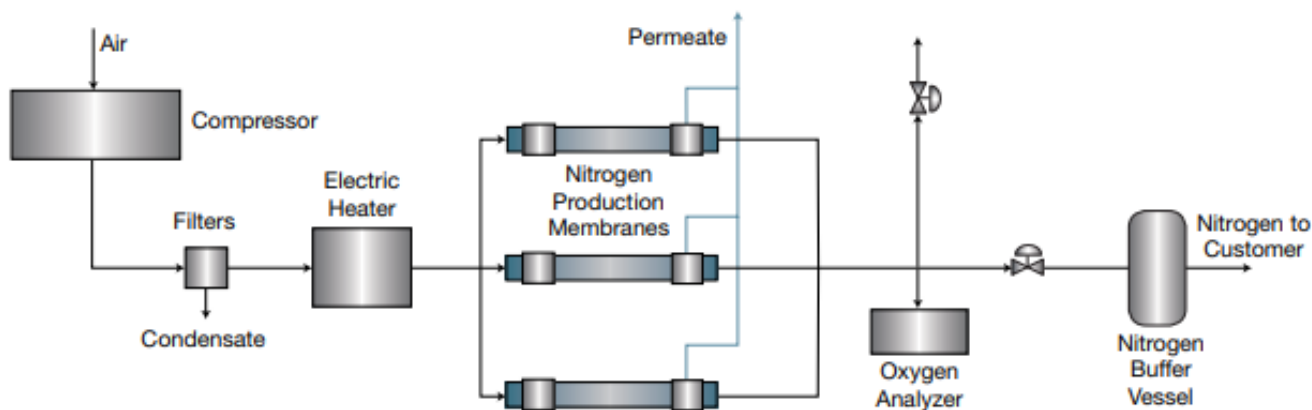
Asianmukaisella kunnossapidolla ja säännöllisillä suodattimien vaihdoilla, voidaan laitteiston suorituskykyä ylläpitää kohtuullisella tasolla. (N₂ Generation- Technology Primer 2020, 4.)

Kalvojärjestelmät ovat tavallisesti kompaktin kokoisia, mutta markkinoilta löytyy myös isoja järjestelmiä. Jälleen kerran laitteen lopullinen käyttötarkoitus on ratkaisevassa asemassa. Kalvojärjestelmät ovat myös hiljaisia, eivätkä ne aiheuta suurta meteliä.

Kalvojärjestelmän tyypilliset komponentit:

- paineilmakompressori
- esisuodatin / vedenerotin
- ilmakeivain (ei välttämätön)
- suodatinyksikkö
- lämmitin (ei välttämätön)
- kalvomoduuli
- typpisäiliö (ei välttämätön)
- tuotantolaite

Kytkentäkaaviosta voi nähdä kalvojärjestelmän komponenttien asennusjärjestyksen (kuva 7).



Kuva 7. Kalvojärjestelmän kytkentäkaavio (American Institute Of Chemical Engineers 2012)

Kalvojärjestelmän toimintakuvaus:

Paineilmakompressorin imee ympäristöstään ilmaa ja ohjaa sen paineistettuna eteenpäin.

Esisuodatin poistaa ilmasta suurimmat pöly- ja öljypartikkelit sekä osan vedestä. Tämän jälkeen vielä kosteaksi jäänyt ilma voidaan kuivata ilmankuivaimella. Koska kalvomoduuli ei ole herkkä kosteudelle ja se kykenee suodattamaan vesihöyryjä, niin erillinen ilman-kuivain ei kuitenkaan ole välttämätön.

Koska käytettävän paineilman puhtaus on erittäin tärkeää, niin esipuhdistettu ja kuivattu paineilma ohjataan vielä suodatinyksikön lävitse. Useat eri suodattimet erottelevat ilmasta epäpuhtauksia, jotka voisivat olla haitallisia laitteiston toiminnalle ja tyypin puhtausasteelle.

Suodatinyksikkö koostuu yleensä kolmesta eri suodattimesta, joista viimeinen on aktiivihii-lisuodatin. Järjestelmän valmistajasta riippuen, aktiivihii-lisuodatin voidaan kuitenkin sijoit-taa myös vasta lämmittimen jälkeiseksi komponentiksi.

Puhdistuksen jälkeen paineilma ohjataan lämmittimelle. Lämmittimellä kalvon suoritusky-kyä voidaan parantaa, sillä sen kyky erotella kaasuja paranee korkeammissa lämpöti-loissa. Lämmittimellä voidaan myös ehkäistä vesihöyryjen kondensoitumista.

Järjestelmän suorituskyky on parhaimmillaan, kun ilman lämpötila on 40-50 celsiusasteen välillä. Jos järjestelmää ympäröivän ilman lämpötila osuu annettuun toleranssiin, lämmit-tintä ei tarvita. On kuitenkin myös huomioitava, että liian korkea lämpötila puolestaan ly-hentää kalvon käyttöikä.

Tämän jälkeen puhdistettu ja lämmitetty ilma ohjataan kalvomoduuliin, jossa kaasut ero-tellaan toisistaan. Paineilmaa johdetaan tuhansien polymeerikuitujen sisälle, joiden reu-noista pieni molekyyliset kaasut kuten happi ja hiilidioksidi, vuotavat pihalle. Nämä kaasut ohjataan poistoaukon kautta takaisin ilmakehään.

Typpi virtaa polymeerikuituja pitkin kalvomoduulin toiseen päähän, josta se voidaan ohjata suoraan toimilaitteelle. Tarvittaessa tyyppiä voidaan myös varastoida esimerkiksi typpisäi-liöön.

6 TYPPIKAASUN TUOTTOJÄRJESTELMIEN HYÖDYT

Suuri osa metalliteollisuuden konepajoista tilaa laserleikkauksessa käytettävän typpikaasun yrityksen ulkopuolelta. Typpigeneraattorin käyttäminen typen tuottamisessa tarjoaa kuitenkin vaihtoehdon, jolla voi parantaa yrityksen työturvallisuutta, lisätä käytännöllisyyttä, vähentää hiilijalanjälkeä sekä säästää kustannuksissa (Sykes & Green 2017).

Tavallisesti typpi toimitetaan asiakkaalle korkeapaineistetuissa kaasupulloissa. Menekin kasvaessa, yritys voi kuitenkin vaihtoehtoisesti vuokrata käyttöönsä nestemäisen typen säiliön, joka täytetään suoraan säiliöautosta.

Suurin osa teollisuudessa käytettävästä tpeestä tuotetaan nimenomaan kryogeenisen tislauksen avulla, jonka lopputuloksena nestemäistä typpeä saadaan. (Sykes & Green 2017).

Typen hankkiminen yrityksen ulkopuolelta aiheuttaa aina erilaisia lisäkustannuksia, oli kyseessä sitten neste tai kaasu. Tällaisia lisäkustannuksia ovat esimerkiksi typpisäiliön ja typpipattereiden vuokraus, toimitus- ja palvelumaksut sekä tietenkin typpi itse.

Esimerkiksi typpipattereita käytettäessä, niitä on aina oltava useampia. Kun yksi patteri on käytössä, toinen on oltava varalla vaihtoa varten. Lisäksi kolmas, jo tyhjentynyt patteri odottaa noutoa. Kaikista kolmesta patterista veloitetään vuokraa, huolimatta siitä ovatko ne tyhjiä vai täysiä. (Sykes & Green 2017.) Myös nestemäisen typen säiliöstä veloitetään kuukausimaksu.

Kuten aiemmin todettu, laserleikkauksessa käytettävät typpipullot paineistetaan aina 200-300 baariin asti. Kaikkea tuota pullossa olevaa typpeä ei kuitenkaan voida hyödyntää, sillä pulloon tulisi aina jättää n. 30 baaria painetta.

Kaasupullon sisältämät viimeiset 34 baaria saattavat olla vesihöyryn tai muiden orgaanisten epäpuhtauksien, kuten öljyn saastuttamia. Epäpuhtaudet adsorptoituvat kaasupullon sisäpintaan ja paineen laskiessa alle 34 baarin ne desorptoituvat. Ajansaatossa nämä epäpuhtaudet voivat liata putkiston, paineensäätimet sekä lopulta koko sovelluksen. (Sykes & Green 2017.) Tästä syystä onkin tärkeää, että kaasupulloihin jätetään aina 10 – 15 % sen sisällöstä.

Tämä tarkoittaa tietenkin sitä, että paineesta riippuen 10 – 15 % kaasusta ja rahoista kuluu hukkaan.

Typpipullot ovat painavia ja hankalasti liikuteltavia, olivat ne sitten yksittäisiä tai suurempina kokonaisuuksina pattereissa. Vaihdoista aiheutuva työn seisakki on vuositasolla

merkittävä ja tästä syystä myös pullojen vaihtaminen on aikaa ja rahaa kuluttava prosessi. (Sykes & Green 2017.)

Myös nestemäisen typen säiliön käyttämisessä on heikkoutensa. Vaikka säiliöt on suunniteltu minimoimaan -196 asteisen typen lämpeneminen, niin millään säiliöllä ei voida saavuttaa 100 % hyötysuhdetta. Lämmön vaikutuksesta osa nesteestä höyrystyy kaasuksi, joka puolestaan nostaa painetta säiliön sisällä. Paineen noustessa yli sallitun rajan, höyrykaasua vapautetaan ilmakehään hukkakaasun muodossa. (Sykes & Green 2017.)

Nestemäisen typen käytössä hukan määrä voi korostua, jos typen menekki vaihtelee suuresti (Sykes & Green 2017). Tämä on loogista, sillä mitä kauemmin nestemäinen tyyppi seisoo säiliössä, sitä alttiimpi se on lämmölle ja höyrystymiselle.

Jos yritys tuottaa typen itse, niin sen ei tarvitse maksaa kaasusta, toimituskuluista tai edes tyyppipullojen/säiliön vuokrasta. Puhumattakaan hukkakaasuista. Yritys suorittaa vain kertaluontoisen maksun kaikista tarvitsemistaan välineistä, jonka jälkeen ne ovat omia. Tämän lisäksi energiakustannukset tulee kuitenkin ottaa huomioon.

Joillain teollisuuden aloilla tyyppigeneraattorilla voidaan eliminoida tyyppisäiliöiden ja patte-
reiden tarve kokonaan. Laserleikkaus-sovelluksissa typen kulutus on kuitenkin suurta ja näin ollen sen varastointi lähes poikkeuksetta välttämätöntä.

Lisäksi vain kalvotekniikkaa hyödyntävä järjestelmä mahdollistaa typen syöttämisen suoraan toimilaitteelle. Vaikuttaisi kuitenkin siltä, että kalvotekniikkaa hyödyntävä järjestelmä ei sovellu käytettäväksi laserleikkauksessa.

Laserleikkauksessa tyyppipattereiden vaatima tilantarve on siis todellinen, mutta hyödyntäessä tyyppigeneraattoria niiden siirtelylle ei ole tarvetta. On siis selvää, että työtaturman riski pienenee.

Tyyppipattereiden sijoittaminen oikeaan paikkaan on tärkeää, sillä äkillinen typen purkautuminen voi aiheuttaa tukehtumisvaaran läheisyydessä oleville (Sykes & Green 2017).

Altistuminen -196 asteiselle nestemäiselle typelle voi aiheuttaa vakavia palovammoja, mutta tyyppigeneraattorin ansiosta riskiä altistumiselle ei ole.

Tyyppigeneraattorin käyttäminen tuo toki mukanaan paljon erilaisia hyötyjä kustannuksien ja työturvallisuuden muodossa, mutta myös ympäristölliset asiat on otettava huomioon.

Kun tyyppi ostetaan yrityksen ulkopuolelta, niin tavaran toimittamiseen ja noutamiseen tarvitaan kuorma-autoja. Jo pelkästään näistä kuljetuksista syntyvät kaasut ovat ympäristölle haitallisia. Typen tuottaminen yrityksen omissa tiloissa eliminoi näiden kuljetuksien

tarpeen ja jo pelkästään tällä on suuri vaikutus yrityksen aiheuttamaan hiilijalanjälkeen. (Sykes & Green 2017.)

Kuten edellä mainittu, niin suurin osa teollisuudessa käytettävästä typestä valmistetaan menetelmällä, jota kutsutaan kryogeeniseksi tislaukseksi. Tähän prosessiin kuluu valtava määrä energiaa ja sen aikana suuria määriä ympäristölle haitallista hiilidioksidia hajoaa ilmaan (Sykes & Green 2017).

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa erilaisia mahdollisuuksia, joilla voisi itse tuottaa typpikaasun laserleikkaussovellusta varten.

Tällä hetkellä markkinoilta löytyy kahdenlaisia typpigeneraattoreita, joista PSA-tekniikka hyödyntävä järjestelmä soveltuu selvästi paremmin laserleikkaustypen tuottamiseen. Toisin kuin kalvotekniikalla, PSA-tekniikalla voidaan tuottaa riittävän puhdasta typpeä laserleikkausta varten, ilman että järjestelmän suorituskyky heikkenee merkittävästi. Typentuottojärjestelmä tulisikin aina valita ja mitoittaa sen todellisen tarpeen mukaan, ammattilaisen avustamana.

Oikein mitoitettulla typpigeneraattorilla voidaan saavuttaa merkittäviä hyötyjä niin kustannuksien, kuin myös energiatehokkuudenkin puolesta. Typen itsenäinen tuottaminen lisää myös yrityksen omavaraisuutta sekä työturvallisuutta.

LÄHTEET

American Institute Of Chemical Engineers 2012. Reactions and Separations.

Airproducts.be [viitattu 10.1.2020]. Saatavissa:

http://www.airproducts.be/~media/Files/PDF/products/producing-nitrogen-via-psa-CEP-Article_20120638.pdf

Atlas Copco Ab 2020. Generating Nitrogen Using Membrane Technology. Atlascopco.com

[viitattu 10.1.2020]. Saatavissa: [https://www.atlascopco.com/fi-](https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/wiki/compressed-air-articles/generating-nitrogen-membrane)

[fi/compressors/wiki/compressed-air-articles/generating-nitrogen-membrane](https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/wiki/compressed-air-articles/generating-nitrogen-membrane)

Connaughton, D. & Hannifin, P. 2019. Selecting purity levels with onsite nitrogen generators [viitattu 15.12.2019]. Saatavissa:

<https://www.airbestpractices.com/industries/food/selecting-purity-levels-onsite-nitrogen-generators>

Bridgestone/Firestone North American Tire, LLC 2003. Should you stop putting air in your

tires? [viitattu 15.12.2019]. Saatavissa: <https://www.getnitrogen.org/pdf/Bridgestone.pdf>

Elsevier B.V. 2020. Cryogenic Distillation. Sciencedirect.com [viitattu 15.1.2020].

Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/cryogenic-distillation>

Encyclopedia Britannica 2020. Adsorption – Surface phenomenon. Britannica.com [viitattu

7.1.2020]. Saatavissa: <https://www.britannica.com/science/adsorption>

Fractional distillation of air 2020. dynamicscience.com. [viitattu 15.1.2020] Saatavissa:

<http://www.dynamicscience.com.au/tester/solutions1/chemistry/gas/fractionaldistilationofair.htm>

N₂ Generation – Technology Primer 2020. Holtecllc.com [viitattu 10.1.2020]. Saatavissa:

<http://www.holtecllc.com/images/KB-235---N2-Generation-Primer.pdf>

N₂ Generation – Technology Primer 2020. Holtecllc.com [viitattu 10.1.2020]. Saatavissa:

<http://www.holtecllc.com/images/KB-235---N2-Generation-Primer.pdf>

Ionix Oy. Lasertyöstö – Valjasta valo työkalukseksi. Ionix.fi [viitattu 14.12.2019].

Saatavissa: <http://www.ionix.fi/fi/teknologiat/lasertyosto/laserleikkaus/>

Laser Gas Oy. Juottaminen elektroniikkateollisuudessa. Lasergas.fi [viitattu 14.12.2019].

Saatavissa: <http://www.lasergas.fi/fi/teollisuus-typpisovellukset.html>

Linde. 2020a. Nesteytetyt kaasut. Linde-gas.fi [viitattu 15.1.2020] Saatavissa:

https://www.linde-gas.fi/fi/products_ren/bulk_gases/index.html

Linde. 2019a. Renkaiden typpikäyttö. Aga.fi [viitattu 14.12.2019]. Saatavissa:

https://www.aga.fi/fi/products_ren/nitrogen_tyres/index.html

Linde. 2019b. Typpipatjakäsittely elintarviketeollisuudessa. Aga.fi [viitattu 14.12.2019].

Saatavissa:

https://www.aga.fi/fi/processes_ren/inerting/blanketing_for_food_industry/index.html

Linde. 2019c. Suojakaasupatja kemianteollisuudelle. Aga.fi [viitattu 14.12.2019].

Saatavissa:

https://www.aga.fi/fi/processes_ren/inerting/blanketing_for_chemical_industry/index.html

Linde 2020b. Teollisuuskaasut. Linde-gas.fi [viitattu 24.4.2020] Saatavissa:

https://www.linde-gas.fi/fi/images/Industrial_Gases_0818_FI_tcm634-481224.pdf

Mechanical Engineering Site. 2018. Membrane Type Nitrogen Generation System

Working Principle. Mechanicalengineeringsite.com [viitattu 10.1.2020]. Saatavissa:

<http://www.mechanicalengineeringsite.com/membrane-type-nitrogen-generation-system-working-principle/>

Oy Atlas Copco Ab. 2017-2019. What is nitrogen. Atlascopco.com [viitattu 14.12.2019].

Saatavissa: <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/wiki/compressed-air-articles/what-is-nitrogen>

Parker, M. 2018. What Are The Nitrogen Purity Specifications & Grades? [viitattu

15.12.2020] Saatavissa: <https://sciencing.com/nitrogen-purity-specifications-grades-8459787.html>

Pneumatech. 2019. How can I verify the purity of gas from my nitrogen generator? [viitattu

16.12.2019]. Saatavissa: <https://www.pneumatech.com/en-na/news/pure-pneumatech-blog/what-is-a-purity-certificate>

Roitto, J. 2013. Ilmatislaamon vesijäähdytysjärjestelmän lämmönvaihtajien tehokkuuden vaikutus tislausprosessin hyötysuhteeseen. [viitattu 15.1.2020] Saatavissa:

https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/93970/Ilmatislaamon%20vesij%C3%A4%C3%A4hdysj%C3%A4rjestelm%C3%A4n%20l%C3%A4mm%C3%B6nvaihtajien%20tehokkuuden%20vaikutus%20tislausprosessin%20hy%C3%B6tysuhteeseen_Jani_Roitto.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Sykes, D., Green, P. 2017. Nine Reasons To Consider On-Site Nitrogen Generation. Blog.parker.com [viitattu 20.1.2020] Saatavissa: <http://blog.parker.com/nine-reasons-to-consider-on-site-nitrogen-generation>

TRUMPF. 2005. Käyttöohje TC L 3030, TC L 4030, TC L6030.