

Joonas Ruukki

TEOLLISUUS- JA LABORATORIO-  
KAASUVERKOSTON  
SUUNNITTELU

Opinnäytetyö  
Talotekniikka


Huhtikuu 2012




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

|   |   |   |
|---|---|---|
|  <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b><br/>Mikkeli University of Applied Sciences</p>  |   | <b>Opinnäytetyön päivämäärä</b><br><br>2.4.2012 |
| <b>Tekijä(t)</b><br>Joonas Ruukki   | <b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b><br>Talotekniikka |   |
| <b>Nimeke</b><br>Teollisuus- ja laboratoriokaasuverkostojen suunnittelu   |   |   |
| <b>Tiivistelmä</b><br><br><p>Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda teollisuus- ja laboratoriokaasuverkostojen suunnittelua käsittelevä kokonaisuus, jossa käsiteltäisiin yleisimpiä käytössä olevia kaasuja. Nämä kaasut ovat happi, typpi, asetyleeni, argon, hiilidioksidi, vety ja helium. Kokonaisuuden oli tarkoitus olla suunnattu kaasuverkostoista ennestään tietämättömälle suunnittelijalle.</p> <p>Työ oli luonteeltaan kirjallisuuskatsaus, jossa käsiteltiin kaikkea kaasuverkostoihin liittyvää materiaalia. Kaasuverkostot ja sen osat ovat painelaitteita ja kuuluvat siten Euroopan yhteisön painelaitedirektiivin alaisuuteen. Direktiivin pohjalta on Suomen lakiin säädetty asetuksia liittyen painelaitteisiin ja niiden turvalliseen käyttöön. Suomen standardisoimisliitolla on yksityiskohtaisempia standardeja kaasuverkoston laitteisiin ja kaasuihin liittyen.</p> <p>Kaasuverkostojen suunnittelun tavoitteena on turvallinen ja käyttäjäystävällinen kokonaisuus, jossa kaasun saanti sen käyttökohteessa on aina taattu. Kaasuverkoston suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös verkoston ympärillä olevat muut järjestelmät, kuten ilmastointi, lämmitys ja automatiikka.</p> <p>Kaasuverkostojen suunnittelijan tulee varmistua siitä, että hänellä on suunnittelun tukena ajan tasalla olevat suunnittelua ohjaavat lait, standardit ja määräykset. Suunnittelijan tulee myös tuntea käsiteltävien kaasujen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet, jotka aiheuttavat omat vaatimuksensa verkostolle ja sen laitteille. Laittevalmistajat ovat oman alansa ammattilaisia ja heihin kannattaa olla yhteydessä laitevalintoja tehdessä.</p> |   |   |
| <b>Asiasanat (avainsanat)</b><br><br>Paine, kaasut, kaasuputket, mitoitus, tekninen suunnittelu, turvallisuusmääräykset   |   |   |
| <b>Sivumäärä</b><br>40+5  | <b>Kieli</b><br>Suomi                                     | <b>URN</b>                                      |
| <b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>  |   |   |
| <b>Ohjaavan opettajan nimi</b><br>Mika Kuusela  | <b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b><br>Rejlers Oy         |   |

## DESCRIPTION

|   |  |  |
|---|--|--|
|  <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b><br/>Mikkeli University of Applied Sciences</p>  |  | <b>Date of the bachelor's thesis</b><br><br>2.4.2012 |
| <b>Author(s)</b><br>Joonas Ruukki   | <b>Degree programme and option</b><br>Building Services  |  |
| <b>Name of the bachelor's thesis</b><br>Designing industrial and laboratory gas piping systems  |  |  |
| <b>Abstract</b><br><br>The goal of this thesis was to create an ensemble which deals with design of industrial and laboratory gas piping system. The ensemble deals with the most common gases which are oxygen, nitrogen, acetylene, argon, carbon dioxide, hydrogen and helium. The ensemble was directed to designers who don't know more than basics about gas piping system.<br><br>The method of the thesis was literature research where I studied the material of gas piping. Gas pipes and every part and devices of it are under the Europe Pressure Equipment Directive. The Finnish law about pressure devices and safety use has been laid down on the basis of the Europe directive. Finnish standard association has made more detailed regulations of gases and gas equipment.<br><br>The goal of gas piping design is safe and user friendly ensemble where supply of gas is always guaranteed. In the design of the gas piping, other systems around the gas piping system should be considered such as air conditioning, heating and automatism.<br><br>Designer of the gas piping system must have the latest laws, standards and regulations when designing the gas system. He/she must know the physical and chemical features of gases which sets their own limits to the gas system and gas equipment. Equipment manufacturers are the professionals of their own gas products and they should be contacted when selecting the right gas equipment. |  |  |
| <b>Subject headings, (keywords)</b><br><br>Pressure, gas, gas pipelines, dimensioning, technical design, safety   |  |  |
| <b>Pages</b><br>40+5  | <b>Language</b><br>finnish                               | <b>URN</b>   |
| <b>Remarks, notes on appendices</b>   |  |  |
| <b>Tutor</b><br><br>Mika Kuusela  | <b>Bachelor's thesis assigned by</b><br><br>Rejlers Ltd. |  |

## SISÄLTÖ

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | JOHDANTO .....   | 1  |
| 2     | MENETELMÄT .....   | 1  |
| 3     | YLEISTIETOA KAASUISTA .....                                | 2  |
| 3.1   | Käsiteltävät kaasut .....                                  | 2  |
| 3.2   | Kaasujen luokitukset.....                                  | 3  |
| 4     | ERILAISET KAASUNJAKELUJÄRJESTELMÄT .....                   | 7  |
| 4.1   | Kaasukeskusjärjestelmä.....                                | 7  |
| 4.2   | Kaasukeskusjärjestelmän varusteet ja niiden tehtävät ..... | 9  |
| 5     | LAIT, MÄÄRÄYKSET JA OHJEET .....                           | 11 |
| 6     | KAASUKESKUSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU .....                  | 14 |
| 6.1   | Kaasun kulutuksen arviointi .....                          | 14 |
| 6.2   | Kaasulähteen valinta .....                                 | 15 |
| 6.3   | Keskussäädinyksikön valinta.....                           | 16 |
| 6.4   | Kaasukeskuksen sijoitus .....                              | 17 |
| 6.5   | Kaasukeskustila .....                                      | 18 |
| 6.5.1 | Kaasukeskustilan ilmanvaihto .....                         | 19 |
| 6.5.2 | Kaasukeskustilan lämmitys.....                             | 19 |
| 6.6   | Räjähdyksvaarallisten tilojen luokitus .....               | 20 |
| 6.7   | Räjähdyksvaarallisten tilojen laitteet .....               | 22 |
| 7     | KAASUNJAKELUPUTKISTOT .....                                | 23 |
| 7.1   | Putkistojen luokittelu .....                               | 23 |
| 7.2   | Kaasuputkien sijoitus.....                                 | 26 |
| 7.3   | Verkoston rakenne .....                                    | 27 |
| 8     | PUTKISTOMATERIAALIT JA MITOITUS.....                       | 28 |
| 8.1   | Asetyleeniputkistot .....                                  | 30 |
| 8.2   | Happiputkistot.....  | 32 |
| 8.3   | Vetyputkistot.....   | 33 |
| 8.4   | Muut kaasuputkistot.....                                   | 33 |
| 8.5   | Letkujen käyttö kaasujohtoina .....                        | 33 |
| 9     | KAASUNOTTOPISTEET .....                                    | 34 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 10   | SUUNNITELMIEN DOKUMENTOINTI .....                                | 34 |
| 10.1 | Piirrosmerkit .....  | 35 |
| 11   | POHDINTA .....   | 36 |
|      | LÄHTEET .....  | 38 |
|      | LIITTEET   |    |
|      | Liite 1. Kaasujen fysikaalisia ominaisuuksia                     |    |
|      | Liite 2. Yleisimpien kaasupullojen sisältämä kaasumäärä          |    |
|      | Liite 3. Kaasujen ja materiaalien yhteensopivuustaulukko         |    |
|      | Liite 4. Kaasuverkoston osien muuntaminen ekvivalenttipituudeksi |    |
|      | Liite 5. Kaasuputkiston mitoitusmonogrammi.                      |    |

## MÄÄRITELMIÄ JA LYHENTEITÄ

Tässä opinnäytetyössä tarkoitetaan

*CE-merkinnällä* sitä, että tuotteen valmistaja vakuuttaa tuotteen täyttävän sitä koskevien EU:n direktiivien vaatimukset.

*Fe:llä* terästä.

*EX:ä* räjähtävää, joka tulee englanninkielisestä sanasta explosive.

*EX-tilalla* räjähdysvaarallista tilaa.

*EX-laitteella* räjähdysvaarallisessa tilassa käytettävää laitetta tai suojausjärjestelmää.

*Hyvällä konepajakäytännöllä* putkistoa tai painelaitetta, joka on suunniteltu ja valmistettu Euroopan talousalueeseen kuuluvassa valtiossa noudatettavan hyvän konepajakäytännön mukaisesti, jotta niiden turvallinen käyttö voidaan taata.

*Inertillä* kaasua, joka ei reagoi kemiallisesti muiden aineiden tai yhdisteiden kanssa, muuten kuin erikoistilanteissa ja olosuhteissa.

*Kaasunottopisteellä* matalapaineverkostossa venttiilillä suljettavaa yhdettä, johon kaasun käyttölaite voidaan liittää.

*Kaasulla* ainetta, joka höyrystyy kiehumalla +20°C:ssa tai alemmassa lämpötilassa.

*Korkeapainepuolella* osaa kaasukeskuksesta, joka sijaitsee keskussäätimen ensiöpuolella.

*KTMP:llä* Kauppa- ja teollisuusministeriön päätöstä.

*Nimellissuuruudella (DN)* putkistojärjestelmän kaikille osille yhteistä koon numeerista esitystapaa, lukuun ottamatta osia, joista annetaan ulkohalkaisija tai kierrekoko; luku (mm) pyöristetään viitearvoksi, joka ei ole tiukasti sidoksissa valmistusmittoihin.

*Matalapainepuolella* osaa kaasukeskusjärjestelmästä, joka sijaitsee keskussäätimen toisiopuolella.

*PS:llä* suurinta sallittua käyttöpainetta, jolle laite tai putki on suunniteltu.

*RST:llä* ruostumatonta terästä.

*STMa:lla* Sosiaali- ja terveysministeriön asetusta.

## 1 JOHDANTO

Teollisuuden, laboratorioiden ja lääketieteen käyttöön suunnitellaan ja toteutetaan jatkuvasti erilaisia kaasuverkostoja. Vain harvalla suunnittelevalla taholla on käytössään kaiken kattavat ja yksiselitteiset ohjeet kaasuverkoston suunnittelua varten. Tällä hetkellä kaasuverkoston suunnittelijoilla on yleisesti käytössään hajanaisia standardeja, määräyksiä, ohjeita ja laitevalmistajien kokemukseen perustuvia neuvoja.

Opinnäytetyöni tavoitteena on luoda opas suunnittelutoimistolle, joka käsittelee teollisuus- ja laboratoriokaasuverkostojen suunnittelua ja niissä yleisimmin käytössä olevia kaasuja. Raportin tarkoituksena on lähteä liikkeelle perusasioista ja edetä suunnitteluvaiheittain loogisesti suunnittelijan näkökulmasta. Raportti antaa ohjeita suunnitteluhankkeen alkutekijöistä, laite- ja materiaalivalinnoista ja putkistomitoituksesta aina suunnitelmien dokumentointiin asti. Raportti on suunnattu kaasuverkostoista ennestään tietämättömälle LVI-suunnittelijalle.

Raportissa viitattuihin kaasuverkostojen suunnittelua ohjaaviin lakeihin, määräyksiin ja ohjeisiin tulee jatkuvasti uusia päivityksiä. Tämä opinnäytetyö on tehty tällä hetkellä voimassa olevien ja saatavien materiaalien pohjalta. Suunnittelijan tulee itse huolehtia siitä, että hänellä on käytössään uusimmat määräykset ja ohjeet suunnittelua varten.

Opinnäytetyössä ei käsitellä maakaasuja tai kaasumaisia sammutteita, eikä oteta kantaa sairaalakaasuverkostojen mitoitukseen.

## 2 MENETELMÄT

Opinnäytetyöni oli luonteeltaan kirjallisuuskatsaus. Tutustuin aihetta käsitteleviin materiaaleihin ja syvennyin niihin. Monet aihetta käsittelevistä määräyksistä ja standardeista olivat vanhoja ja siksi niiden paikkansapitävyys oli selvitettävä. Lisäksi standardien numerointi oli muuttunut. Kirjallisesta materiaalista tuli erotella ne osiot, jotka käsittelevät aiheeni sisältöä. Materiaalien pohjalta laadin yhtenäisen raportin, joka opastaa teollisuus- ja laboratoriokaasuverkostojen suunnittelussa.

### 3 YLEISTIETOA KAASUISTA

Teollisuudessa ja laboratorioissa käytössä olevia kaasuja on pelkästään kymmeniä, ja niiden eri seokset muodostavat monipuolisen ja kattavan kaasuvaihtokorin eri prosessien tarkoituksiin. Jokaisella kaasulla ja kaasuseoksella on omat fysikaaliset ja kemialliset ominaisuutensa, jotka tulee ottaa huomioon kaasuverkostojen suunnittelussa. Turvallisuusriskien tiedostaminen jo suunnittelun alkuvaiheessa tähtää määrätietoisesti turvalliseen lopputulokseen kaasuverkoston asennuksessa ja käytössä.

Teollisuudessa kaasuja käytetään monessa eri tarkoituksessa ja olomuodossa. Kaasu voi olla käyttötarkoituksen mukaan nesteenä tai jopa kiinteänä aineena. Tässä raportissa käsitellään kaasuja lähinnä kaasumaisessa olomuodossa. Yleisin kaasun käytön syy teollisuudessa on erilaisten prosessien nopeuttaminen tai hidastaminen. Erilaisia kaasuja käyttäviä teollisuudenaloja ovat esimerkiksi elintarvike-, elektroniikka- ja metalliteollisuus.

Laboratorioissa kaasuja käytetään mm. laitteiden kalibrointiin, lääkkeiden valmistukseen ja erilaisiin tutkimuksiin [1]. Edellä mainitut prosessit vaativat parhaimman lopputuloksen kannalta erikoispuhtaita kaasuja, joista lisää kappaleessa 3.2.

Sairaaloissa käytettäviä lääkkeellisiä kaasuja ovat mm. happi, typpioksidi, hengitys ilma ja instrumentti-ilma. Näitä kaasuja käytetään kirurgisissa toimenpiteissä, ja ne ovat osa potilaan tehohoitoa.

#### 3.1 Käsiteltävät kaasut

Tässä opinnäytetyössä käsitellän teollisuus- ja laboratorio järjestelmissä yleisesti käytettyjä peruskaasuja. Käsitellän kaasuverkoston liittyviä asioita yleisellä tasolla kaikista kaasuista, joita tämä opinnäytetyö käsittelee. Mikäli joillain kaasuilla on erikoisvaatimuksia, on niistä kerrottu erikseen tai viitattu aiheesta käsittelevään standardiin. Taulukossa 1 on lueteltu työssä käsiteltävät kaasut ja kerrottu esimerkkejä niiden käyttötarkoituksista.



**TAULUKKO 1. Opinnäytetyössä käsiteltävät kaasut ja niiden käyttötarkoitukset**  
[2, s. 3-4]

| <b>Kaasu</b>  | <b>Esimerkkejä kaasun käyttötarkoituksista</b>               |
|---------------|--|
| happi         | Teräksen valmistus, kaasuhitsaus ja –leikkaus, hengityskaasu |
| typpi         | Puhdistus, pakkaaminen, lasin valmistaminen, lämpökäsittelyt |
| asetyleeni    | Kaasuhitsaus ja –leikkaus, kalibrointi, kasvien viljely      |
| argon         | Hitsaus, elektroniikkakomponentit, valaisinputket            |
| hiilidioksidi | Kasvienkasvun tehostaminen, palonsammuttimet, juomat         |
| vety          | Polttoaine, kemikaalien valmistus, lasin valmistaminen       |
| helium        | Teräksen valmistus, elektroniikkakomponentit, keinosiemennys |

Jokaisesta kaasusta on laadittu oma käyttöturvallisuustiedote. Käyttöturvallisuustiedotteet sisältävät tietoa kaasujen kemiallisista ja fysikaalisista ominaisuuksista, kaasujen säilytyksestä ja varastoinnista ja toiminnasta onnettomuustilanteessa. Käyttöturvallisuustiedotteita voi saada esimerkiksi kaasun toimittajilta. Tässä opinnäytetyössä käsiteltävien kaasujen fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia voi tarkastella liitteestä 1.

### **3.2 Kaasujen luokitukset**

Yleisesti kaasuja jaetaan ryhmiin niiden ominaisuuden, käyttötarkoituksen, vaarallisuuden ja puhtauden perusteella [3, s.6]. Vaarallisuuden perusteella kaasut luokitellaan Kemikaaliasetuksen mukaisesti ryhmiin 1 ja 2. Ryhmään 1 kuuluvat vaaralliseksi katsotut kaasut ja ryhmään 2 muut kaasut. Ryhmien sisällöt on esitetty taulukoissa 2 ja 3. [4.]

Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetuksessa 509/2005 luettelosta vaarallisista aineista löytyvät myös tässä opinnäytetyössä käsiteltävät kaasut. Luettelossa kaasuille annetaan vaaraa osoittavat standardilausekkeet, joita kutsutaan R-lausekkeiksi. Lisäksi kaasujen käyttöturvallisuustiedotteissa on annettu kaasuille S-ilmaisuja, jotka sisältävät ohjeita kaasujen säilytyksestä ja varastointia varten. [1]. Taulukoissa 3 ja 4 on esitetty yleisesti kemikaaliasetuksen mukaisesti jaettujen ryhmien sisällöt, varoitusmerkinnät ja R-lausekkeet.

**TAULUKKO 2 Ryhmän 1 sisältö vaarallisten aineiden luettelon mukaan [5]**

| <b>Kemikaaliasetuksen mukainen kaa-<br/>sunluokitus</b>                     | <b>Varoitusmerkintä</b> | <b>R-lauseke</b> |
|---|-------------------------|------------------|
| räjähtävä   | E                       | R2, R3           |
| erittäin helposti syttyvä   | F+                      | R12              |
| helposti syttyvä  | F                       | R11, R17         |
| syttyvä (jos korkein sallittu lämpötila<br>on suurempi kuin leimahduspiste) |                         | R10              |
| erittäin myrkyllinen  | T+                      | R26, R27, R28    |
| myrkyllinen   | T                       | R23, R24, R25    |
| hapettava   | O                       | R7, R8, R9       |

**TAULUKKO 3 Ryhmän 2 sisältö vaarallisten aineiden luettelon mukaan [5]**

| <b>Kemikaaliasetuksen mukainen kaa-<br/>sunluokitus</b>                      | <b>Varoitusmerkintä</b> | <b>R-lauseke</b>   |
|--|-------------------------|--------------------|
| syttyvät (jos korkein sallittu lämpötila<br>on pienempi kuin leimahduspiste) |                         | R10                |
| syövyttävät  | C                       | R35, R34           |
| ärsyttävät   | Xi                      | R38, R36, R41, R37 |
| herkistävät  | Xn                      | R42, R43           |
| ympäristölle vaaralliset   | N                       | R50, R51, R52, R53 |
| karsinogeeniset  | T tai Xn                | R40, R45, R49      |

Taulukko 4 sisältää tässä opinnäytetyössä käsiteltävät kaasut ja niiden luokitukseen liittyvät merkinnät. Taulukon varoitusmerkintöjen selitykset ovat taulukon 3 mukaisia.

#### TAULUKKO 4. Kaasujen luokitusmerkinnät [1;5]

| Kaasu         | Varoitusmerkintä | R-lauseke     | S-ilmaisu        |
|---------------|------------------|---------------|------------------|
| happi         | O                | R8            | S17              |
| typpi         | -                | -             | -                |
| asetyleeni    | F+               | R5, R6 ja R12 | S2, S9, S16, S33 |
| argon         | -                | -             | -                |
| hiilidioksidi | -                | -             | -                |
| vety          | F+               | R12           | S9, S16, S33     |
| helium        | -                | -             | -                |

Taulukon 4 sisältämät R-lausekkeet ja S-ilmaisut on selitty taulukossa 5. Kaikki R-lausekkeiden selitykset löytyvät Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksesta 509/2005 luettelosta vaarallisista aineista.

#### TAULUKKO 5. Selitykset taulukossa 4 oleville R-lausekkeille ja S-ilmaisuille

| R-lauseke         | Selitys   |
|-------------------|---|
| R5                | Räjähdyksivaarallinen kuumennettaessa               |
| R6                | Räjähtävää sellaisenaan tai ilman kanssa            |
| R8                | Aiheuttaa tulipalon vaaran palavien aineiden kanssa |
| R12               | Erittäin helposti syttyvää                          |
| <b>S-ilmaisut</b> |   |
| S2                | Säilytettävä lasten ulottumattomissa                |
| S9                | Säilytettävä paikassa, jossa on hyvä ilmanvaihto    |
| S16               | Eristettävä sytytyslähteistä, tupakointi kielletty  |
| S17               | Säilytettävä erillään syttyvistä kemikaaleista      |
| S33               | Estettävä staattisen sähkön aiheuttama kipinäinti   |

Tietyissä kaasuprosesseissa, kuten elektroniikkateollisuuden komponenttien valmistamisessa, vaaditaan kaasuilta äärimmäistä puhtautta. Usein puhtaista kaasuista käytetään nimitystä erikoiskaasut. [1.] Seuraavassa esimerkkejä kaasujen puhtausluokituksista:

**Esimerkki 1.** Haluttu prosessissa käytettävä kaasu on argon 4.8.

- kaasun perässä oleva luku kertoo kaasun puhtausluokan.

Puhtausluokka 4.8 = 99,998 % puhdasta kaasua ja loppuosa on epäpuhtauksia.

Ensimmäinen numero ennen pistettä kertoo kaasun puhtausluokituksen yhdeksikköjen peräkkäisen lukumäärän ja seuraava numero viimeisen desimaalin, jos se on joku muu kuin 9.

Mitä suurempi puhtausluokka on, sitä puhtaampaa kaasu on.

**Esimerkki 2.** Happi 5.0.

Puhtausluokka 5.0 = 99,999 % puhdasta kaasua ja loppuosa on epäpuhtauksia.

Seuraavassa luettelossa on esitetty pitoisuuksia prosentteina.

ppm (= parts per million) - prosenttia:

1 ppm = 0,0001 %

10 ppm = 0,001 %

100 ppm = 0,01 %

1000 ppm = 0,1 %

10000 ppm = 1,0 %

100 000 ppm = 10,0 %

1000000 ppm = 100,0 %

## 4 ERILAISET KAASUNJAKELUJÄRJESTELMÄT

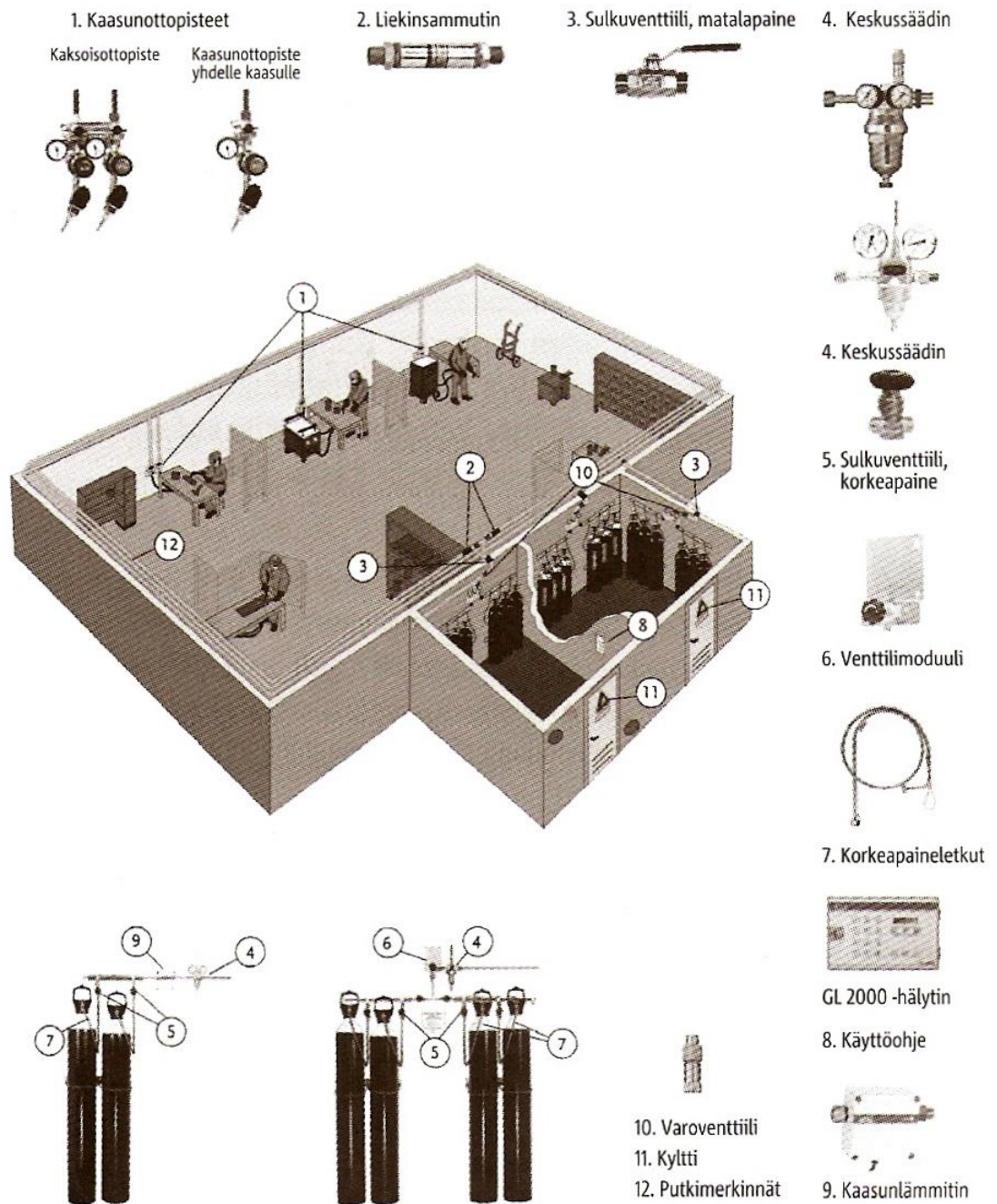
Kaasun kulutuksen ollessa vähäistä käytetään kaasun lähteenä pullopaketteja tai yksittäisiä pulloja, jotka vaihdetaan täysiin pulloihin niiden tyhjennyttyä. Kaasupulloja ei täytetä asiakkaan luona, vaan ne viedään pois kaasuntoimittajan toimesta ja täytetään uudelleen. Jos kaasua tarvitaan hyvin suuria määriä, pullokeskus voidaan korvata kaasuasemalla, joka koostuu nesteytetyn kaasun säiliöstä, kaasun höyrystimestä, tarvittavista säätimistä, venttiileistä sekä varolaitteista. Kaasun toimitus asiakkaalle voi tapahtua myös putkistoa pitkin kaasuntoimittajalta, mikäli kaasun kulutus on suurta ja välimatkat ovat lyhyet. Kaasunlähteen valinnassa kannattaa miettiä ja laskea, mikä järjestelmä tulee käyttäjälle edullisimmaksi [6, s. 2; 7.]

### 4.1 Kaasukeskusjärjestelmä

Kaasukeskusjärjestelmä tarkoittaa keskitettyä kaasunjakelujärjestelmää, joka pitää sisällään kaasukeskuksen, jakeluputkiston ja kaasunottopisteet. Kaasun lähteenä kaasukeskusjärjestelmässä voidaan pitää mitä tahansa edellä mainituista. Järjestelmän tarkoituksena on toimittaa kaasua hallitusti putkiston välityksellä kaasunkäyttöpisteelle. Kaasu virtaa putkistossa kaasukeskuksesta kaasunkäyttöpisteelle paineenalaisena. [6, s. 1-2.]

Kaasukeskuksen tehtävänä on säätää säiliö-, tai pullopaine (korkeapainepuoli) jakeluverkostolle (matalapainepuoli) sopivaksi työpaineeksi. Kaasukeskus koostuu usein kaasua syöttävästä yksiköstä ja varayksiköstä laitoksen koosta riippuen. Kaasukeskuksset voivat olla käsikäyttöisiä tai automatisoituja, jolloin kaasukeskus vaihtaa tarvittaessa varayksikön käyttöönsä ja ilmoittaa tapahtuneesta vaihdosta kaasunkäyttäjälle. Kaasukeskuksen varusteiden valinnassa kannattaa ottaa yhteyttä laitevalmistajiin. [6, s. 2; 8.]

Jakeluputkisto käsittää putkilinjan ja kaikki siinä olevat varusteet kaasukeskukselta kaasunottopisteelle. Putkisto rakennetaan siinä virtaavan kaasun ominaisuuksia kestävästä materiaalista. Kaasuputkien valintaa ja mitoituskaavioita käsitellään kappaleissa 6 ja 7.



**KUVA 1. Kaasukeskusjärjestelmän periaatteellinen rakenne [6]**

Kuvassa 1 on esitetty esimerkki kaasukeskusjärjestelmän rakenteesta, jossa kaasupulot ja kaasukeskus on sijoitettu tuotantotilasta erilliseen tilaan. Tila voi olla erillinen rakennus, huone tai kaasukontissa sijaitseva erityistila. Aiheesta lisää kappaleissa 6.4 ja 6.5.

## 4.2 Kaasukeskusjärjestelmän varusteet ja niiden tehtävät

Kaasukeskusjärjestelmän varusteita valittaessa tulee huomioida, että ne ovat tyyppi- hyväksytyjä ja niistä löytyvät standardien mukaiset merkinnät. Tulee myös huomioida, että kaasujen kanssa kosketuksissa olevat materiaalit eivät reagoi kaasujen kanssa. Kaikkien kaasun kanssa kosketuksissa olevien materiaalien tulee olla rasvattomia ja kestää kaasujen mekaaniset, fysikaaliset ja kemialliset vaikutukset. [6, s. 10].

### *Pulloteline:*

Estää kaasupullojen kaatumisen.

### *Korkeapaineletkut tai korkeapaineputket:*

Liitetään kaasulähde (pullo tai pullopaketti) kaasukeskukseen.

### *Korkeapaineventtiili:*

Sulkuventtiilit, jotka sijaitsevat kaasukeskuksen korkeapainepuolella ovat korkeapaineventtiileitä. Pullo-, pulloryhmä-, tai säiliökohtaiset sulkuventtiilit mahdollistavat kaasulähteen erottamisen keskussäädinyksiköstä tai muista kaasulähteistä.

### *Vastaventtiili:*

Vastaventtiilin tehtävänä on sallia kaasun virtaus vain tiettyyn suuntaan. Vastaventtiileitä asennetaan kaasulähteen korkeapaineletkun ja kokoojaputken väliin. Vastaventtiili estää kaasun ylitäytön pullosta toiseen. Se estää myös kaasuvirtauksen ulos muista kuin yhdestä pullosta, jos korkeapaineletku rikkoutuu.

### *Automaattinen vaihtoventtiili:*

Kahden paineensäätimen muodostamaa laitetta, joka on liitetty kahden kaasupullon tai pullopaketin höyrytilaan ja joka automaattisesti vaihtaa varalla olevan pullon tai pullopaketin käyttöön käyttöpullojen tyhjennyttyä.

### *Kokoojaputki:*

Yksittäiset kaasupullot tai pullopaketit liitetään paineensäätimeen, tai keskussäädinyksikköön kokoojaputken kautta. Kokoojaputken mitoituksessa otetaan huomioon kaasun hetkellinen huippukulutus.

*Huuhteluventtiili:*

Huuhteluventtiili asennetaan kaasukeskuksen paineen poistamista ja huuhtelua varten.

*Nestekaasuhöyrystin:*

Nestekaasuhöyrystin tehtävänä on muuttaa säiliöstä tuleva nestemäinen nestekaasu höyrymäiseen olomuotoon.

*Keskussäädinyksikkö:*

Keskussäädinyksikkö ohjaa kaasupullojen tyhjenemistä. Se säätää kaasun pullo- tai säiliöpaineen (*korkeapainepuoli*) halutuksi verkostopaineeksi (*matalapainepuoli*) tarvittavilla paineenalennuslaitteilla. Keskussäädinyksikköön voidaan liittää kaksi pulloryhmää. Pulloryhmien vaihto voi olla manuaalinen, puoliautomaattinen, tai automaattinen riippuen halutusta kaasukeskuksen varustelutasosta.

*Korkeapainesuodatin:*

Estää haitallisten epäpuhtauksien pääsyn keskussäädinyksikköön. Epäpuhtaudet voivat ilmetä painenvaihteluina verkostossa.

*Painemittarit:*

Sijoitetaan kaasukeskuksen korkea- ja matalapainepuolelle. Painemittarin paineenkeston tulee olla enimmäispaineen mukainen ja asteikon selkeästi luettava.

*Paineensäädin:*

Säätää kaasunjakeluverkoston paineen halutulle tasolle. Mitoitetaan kaasun hetkellisen huippukulutuksen mukaisesti. Useampien painesäätimien kytkeminen rinnan on sallittua.

*Korkeapainehälytin:*

Kytettäessä korkeapainehälytin korkeapainepuolelle saadaan tieto kaasulähteen tyhjenemisestä.

*Matalapainehälytin:*

Mittaa kaasuverkoston painetta. Asennetaan matalapainepuolelle.



*Kaasunsekoitin:*

Kaasunsekoittimella voidaan sekoittaa kahta, tai kolmea kaasua keskenään halutussa suhteessa.

*Kaasunlämmitin:*

Estää keskussäätimen läpi virtaavan kaasun jäätyksen. Asennetaan korkeapainepuolelle välittömästi ennen keskussäädintä. Kaasunlämmittintä käytetään mm. hiilidioksiidi- ja argonseoksille.

*Varoventtiili:*

Suojaa kaasunjakelujärjestelmän putkistoa ja komponentteja liian korkealta paineelta. Asennetaan keskussäädinyksikön matalapainepuolelle. Mitoitetaan kaasunjakeluverkoston paineen mukaisesti. Varoventtiilistä johdetaan putki ulkoilmaan ja putken pää taivutetaan alaspäin.

*Pääsulkuventtiili:*

Sulkuventtiilillä voidaan erottaa kaasukeskus kaasunjakeluverkostosta. Asennetaan kaikkiin kaasukeskuksiin heti keskussäädinyksikön jälkeen, sekä tarpeellisiin paikkoihin erottamaan matalapaineverkoston osia toisistaan. Sulkuventtiileitä, jotka asennetaan kaasuverkoston matalapainepuolelle, kutsutaan matalapaineventtiileiksi.

*Liekinsammutin:*

Tehtävänä on estää mahdollisen putkistossa syttyvän kaasupalon leviäminen kaasukeskuksen puolelle ja sieltä kaasupulloihin. Käytetään herkästi syttyvien kaasujen kanssa. Asennetaan keskussäätimen matalapainepuolelle vaadittaviin kohtiin.

*Ohje-, varoitus- ja kieltokilvet*

Tarvittavilla opastuskilvillä ilmoitetaan kaasuvälikon sijainti sekä siellä varastoitavat kaasut ja opastetaan turvallisuudesta välikon läheisyydessä.

## **5 LAIT, MÄÄRÄYKSET JA OHJEET**

Suomessa voimassa oleva painelaitteiden lainsäädäntö perustuu Euroopan Yhteisön direktiiviin painelaitteista 97/23/EY, sekä yksinkertaisista painelaitteista 87/404/EEC. Näissä direktiiveissä painelaitteella tarkoitetaan sellaisia painelaitteita ja laitekokoai-

suuksia, joiden suurin sallittu käyttöpaine on yli 0,5 bar. Direktiivejä sovelletaan näiden painelaitteiden suunnitteluun, valmistukseen ja vaatimustenmukaisuuden arviointiin. [9.]

Koska jotkin kaasuista ovat räjähdysherkkiä ja usein kaasuja säilytetään korkeassa paineessa, on Euroopan parlamentti ja neuvosto säätänyt ATEX- direktiivin 94/9/EY räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäviksi tarkoitettuja laitteita ja suojajärjestelmiä koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä. Suomessa ATEX- direktiivi on saatettu voimaan asetuksella A 917/ 1996, sekä KTMp 918/1996. [9.]

Edellä mainittujen direktiivien pohjalta on Suomen kauppa- ja teollisuusministeriö päättänyt vaarallisista kemikaaleista, palavista kaasuista ja painelaitteista. Suomen kauppa- ja teollisuusministeriö yhdistettiin nykyiseen työ- ja elinkeinoministeriöön 1.1.2008. Suomen sosiaali- ja terveysministeriö on osallistunut kaasujen ja muiden vaarallisten aineiden luokitteluun. Taulukossa 6 on lueteltu kaasuverkoston suunnitteluun vaikuttavasta lainsäädännöstä.

#### **TAULUKKO 6. Painelaitteita koskeva lainsäädäntö [9]**

|           |  |
|-----------|--|
| 869/1999  | Painelaitelaki   |
| 938/1999  | Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaitteista  |
| 917/1999  | Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös yksinkertaisista painesäiliöistä   |
| 918/1999  | Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös räjähdysvaarallisiin ilmaseoksiin tarkoitetuista laitteista ja suojausjärjestelmistä |
| 953/1999  | Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaiteturvallisuudesta   |
| 890/1999  | Asetus painelaitelaisissa tarkoitetuista tarkastuslaitoksista  |
| 675/1993  | Kemikaaliasetus  |
| 59/1999   | Asetus vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista   |
| 1193/1999 | Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen turvallisuudesta  |
| 509/2005  | Sosiaali- ja terveysministeriön asetus vaarallisten aineiden luettelosta   |
| 313/1985  | Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös palavista nesteistä  |
| E1 RakMK  | Rakennusten paloturvallisuus, määräykset ja ohjeet   |
| E2 RakMK  | Tuotanto- ja varastorakennusten paloturvallisuus, ohjeet   |

Suomessa pätevät myös Suomen Standardisoimisliiton julkaisemat ja hyväksymät standardit. Taulukossa 7 on keskeisiä standardeja, joita tarvitaan kaasuverkoston suunnittelussa. Standardit antavat yksityiskohtaisempia määräyksiä kaasuverkoston suunnitteluun kuin taulukon 6 sisältävä lainsäädäntö. SFS- standardit ovat suomalaisia standardeja ja SFS-EN standardit Suomessa voimassa olevia eurooppalaisia standardeja [10.]

#### **TAULUKKO 7. Kaasuverkoston suunnittelua ohjaavat standardit**

|                    |   |
|--------------------|---|
| SFS 3359           | Asetyleeni. Varastointi ja tekninen käyttö  |
| SFS 3278           | Kuljetettavat kaasusäiliöt. Vedyn, metaanin ja eteenin varastointi ja käyttö          |
| SFS-EN 60079-0     | Räjähdyksivaaralliset tilat. Laitteet, yleiset vaatimukset                            |
| SFS-EN 60079-10-1  | Räjähdyksivaaralliset tilat. Kaasuräjähdyksivaaralliset tilat                         |
| SFS-EN 60079-14    | Räjähdyksivaaralliset tilat. Sähköasennusten suunnittelu, laitevalinta ja asentaminen |
| SFS-EN 13480-(1-6) | Metalliset teollisuuskaasuputkistot   |
| SFS-EN 10216-(1-5) | Saumattomat painelaiteteräsputket   |
| SFS-EN 1057        | Kupari ja kupariseokset. Saumattomat pyöreät kupariputket LVI-käyttöön                |
| SFS 5900           | Tulitöiden paloturvallisuus   |
| SFS 2168           | Kaasulaitteiston piirrosmerkit  |
| SFS 5363           | Putkiston kannatus. Teräsputket. Suositeltavat kannatusvälit                          |
| SFS 3701           | Putkistojen merkintä virtaavien aineiden tunnuksin. Tunnuksivärit ja -kilvet          |

Suomessa toimivan turvallisuus- ja kemikaaliviraston (Tukes) tehtävänä on valvoa kaasualan tuotteita, palveluita ja tuotantojärjestelmiä ja toimeenpanna niihin liittyvää lainsäädäntöä [2]. Tukes on laatinut mm. taulukossa 8 lueteltuja ohjeita ja oppaita, jotka ovat hyödyksi kaasuverkoston suunnittelussa. Taulukon 8 sisältö on ladattavissa Tukesin verkkosivuilta.

## TAULUKKO 8. Tukesin julkaisemia ohjeita ja oppaita [11]

| Julkaisuvuosi | Julkaisun nimi                                  |
|---------------|---|
| 2009          | Painelaitedirektiivin soveltamisohjeet          |
| 2009          | ATEX Räjähdyksvaarallisten tilojen turvallisuus |
| 2003          | Hapen turvallinen käsittely ja varastointi      |
| 2010          | Turvallisuusselvitys                            |
| 2007          | Kemikaaliputkistot                              |
|               | Painelaitteet                                   |
| 2005          | Vaaralliset kemikaalit teollisuudessa           |
| 2011          | Vaarallisten kemikaalien varastointi            |

## 6 KAASUKESKUSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Kaasukeskusjärjestelmän suunnittelu alkaa kohteen käyttötarkoituksen määrittämisellä. Suunnittelijan tulee selvittää yhteistyössä käyttäjän kanssa mitä kaasuja laitoksessa tarvitaan ja mitkä laitteet kaasuja käyttävät. Näiden tietojen perusteella voidaan selvittää kaasujen vuosittainen kulutus ja valita sopiva kaasunlähde. Kaasulähteen valinnan jälkeen sille tulee etsiä vaatimukset täyttävä sijoituspaikka, jonka läheisyyteen myös kaasukeskus sijoitetaan. Kaasukeskuksen, kaasua käyttävien laitteiden ja kaasunotto-  
pisteiden sijoituksen jälkeen voidaan aloittaa putkistosuunnitelman laatimisen.

Suunnittelijan tulee tuntea käytettävien kaasujen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet, sekä niiden aiheuttamat vaatimukset järjestelmälle ja sen laitteille. Kaasujen vaatimukset vaikuttavat myös kaasukeskuksen ja kaasulähteen sijoitukseen.

### 6.1 Kaasun kulutuksen arviointi

Kaasun kulutuksen lähtökohtana on verkostoon kytkettyjen kaasunotto-  
pisteiden kaasunkulutus kaasulajeittain vuoden aikavälillä. Jokaisella kaasunotto-  
pisteellä on oma käyttäjä tai laite, jonka käyttötiheys ja käyttötarkoitus vaikuttavat kaasunkulutukseen. Kaasun vuosikulutus ilmoitetaan yleensä yksikössä  $\text{Nm}^3/\text{a}$ . Mikäli kaasua säilytetään nestemäisessä muodossa, kuten hiilidioksidia, ilmoitetaan kaasun kulutus yksikössä  $\text{kg}/\text{a}$ . Kaasun kulutuksen arvioinnissa tulee ottaa myös huomioon mahdolliset laajen-

nukset tulevaisuudessa, jotka lisäävät kaasun kulutusta ja voivat vaikuttaa kaasulähteen valintaan.

Riittävän kaasuvirtauksen takaamiseksi on varauduttava kaasun kulutushuippuihin. Kulutushuippu saadaan laskemalla yhteen kaikkien samaa kaasua käyttävien kulutus-  
pisteiden kaasun käyttö kulutuksen ollessa suurimmillaan. Kaasun kulutushuippua voidaan tarkastella kaasun maksimivirtauksena, jonka yksikkönä käytetään  $\text{Nm}^3/\text{h}$ . Suunnittelussa on myös hyvä huomioida mahdolliset myöhemmin lisättävät kaasunot-  
topisteet [6, s. 5 ja 6.]

## 6.2 Kaasulähteen valinta

Kaasulähde tulisi valita siten, että keskuksessa mahdollisesti olevan varapuolen kaasu riittää vähintään niin kauan kuin käyttöpuolen pullojen vaihto, tai säiliön täyttö kestää. Riippuen käytettävistä kaasuista ja kaasunkulutuksen määrästä voivat kaasulähteenä olla

- kaasupullot
- pullopaketit
- siirrettävät tai kiinteät nestemäisen kaasun säiliöt
- räätälöitävät pullokontit.

Kaasulähteen valinnassa kannattaa ottaa yhteyttä kaasuntoimittajaan ja miettiä mikä on taloudellisin kaasupullojen vaihtoväli tai säiliön täyttöväli. Usein 1-2 viikon pullojen vaihtoväli on taloudellisin. Kaasupullojen määrä kannattaa valita siten, että selvittää kulutushuipuista ilman ongelmia. Yleisimpiä kaasupullojen sisältämiä kaasumääriä löytyy liitteestä 2. Kaasunkulutuksen ollessa suurta on usein taloudellisempaa käyttää nesteytettyä kaasua, joka höyrystetään säiliöstä ja ohjataan kaasunjakeluverkkoon. Kaasukeskuksissa on myös mahdollista sekoittaa kahta tai kolmea kaasua keskenään, joten niitä ei tarvitse ostaa valmiiksi sekoitettuina. [6, s. 6-7; 7, s. 5.]

Kuvassa 2 on esitetty ohjearvoja kaasulähteen valintaan tietyillä kaasunkulutuksilla. Kuvan ilmakaasulla tarkoitetaan ilman ainesosia, eli typpeä, happea ja vetyä.

|          |  |                                   |
|----------|--|-----------------------------------|
| <b>1</b> | KÄYTETÄÄN KAASUPULLOJA, kun  |                                   |
| -        | ilmakaasun <sup>1)</sup> kulutus on                                    | < 3 000 Nm <sup>3</sup> /a        |
| -        | asetyleenin kulutus on   | < 2 500 kg/a                      |
| -        | vedyn kulutus on   | < 3 000 Nm <sup>3</sup> /a        |
| -        | heliumin kulutus on  | < 3 000 Nm <sup>3</sup> /a        |
| -        | hiilidioksidin kulutus on  | < 9 000 kg/a                      |
| <b>2</b> | KÄYTETÄÄN KAASUPULLOPAKETTEJA, kun                                     |                                   |
| -        | ilmakaasun kulutus on  | 3 000...10 000 Nm <sup>3</sup> /a |
| -        | asetyleenin kulutus on   | 2 500...20 000 kg/a               |
| -        | vedyn kulutus on   | 3 000...20 000 Nm <sup>3</sup> /a |
| -        | heliumin kulutus on  | 3 000...20 000 Nm <sup>3</sup> /a |
| -        | hiilidioksidin kulutus on  | 9 000...20 000 kg/a               |
| <b>3</b> | KÄYTETÄÄN SIIRRETTÄVIÄ TAI KIINTEITÄ NESTEMÄISEN KAASUN SÄILIÖITÄ, kun |                                   |
| -        | ilmakaasun kulutus on  | >10 000 Nm <sup>3</sup> /a        |
| -        | hiilidioksidin kulutus on  | >20 000 kg/a                      |
| <b>4</b> | KÄYTETÄÄN SIIRRETTÄVIÄ PULLOKONTEJEJA, kun:                            |                                   |
| -        | asetyleenin kulutus on   | >20 000 kg/a                      |
| -        | vedyn kulutus on   | >20 000 Nm <sup>3</sup> /a        |
| -        | heliumin kulutus on  | >20 000 Nm <sup>3</sup> /a        |

**KUVA 2. Kaasulähteen valinnan ohjearvoja [6]**

### 6.3 Keskussäädinyksikön valinta

Keskussäädinyksikön valinnassa tulee tietää jakeluverkoston haluttu käyttöpaine (bar) ja kaasun hetkellinen huippukulutus (Nm<sup>3</sup>/h). Keskussäätimen sisältämä painesäädin valitaan siten, että sen läpi kulkeva kaasuvirtaus on riittävä huippukulutuksen aikana. Painesäätimen kaasun läpäisykyky tarkistetaan laitevalmistajan laatimasta keskussäädinyksikön ominaiskäyrästä [6, s. 18.] Keskussäädinyksikön ominaiskäyrästä on usein piirretty happi- ja asetyleeni-kaasuille. Muiden kaasujen osalta painesäätimen kaasun läpäisykyky lasketaan seuraavan yhtälön mukaisesti [7].

$$Kaasuvirtaus = \text{happi} \cdot \text{kerroin} \quad (1)$$

, jossa

- kaasuvirtauksen yksikkö on Nm<sup>3</sup>/h
- happi on hapen kaasuvirta keskussäädinyksikön ominaiskäyrästä tarkasteltavassa pisteessä
- kertoimella muutetaan hapen tilavuusvirta halutun kaasun tilavuusvirraksi, kertoimet eri kaasuille saadaan taulukosta 9.

**TAULUKKO 9. Muuntokertoimet ko. kaasun kaasuvirran laskemiseksi [7, s. 11 ja 19].**

| <b>Kaasu</b>  | <b>Kerroin</b> |
|---------------|----------------|
| Vety          | 4,01           |
| Helium        | 2,84           |
| Argon         | 0,90           |
| Typpi         | 1,08           |
| Hiilidioksidi | 0,85           |

Paineensäätimen läpi virtaavan argon- tai hiilidioksidi- kaasun määrä ollessa suurta, kannattaa välittömästi ennen paineensäädintä asentaa kaasunlämmitin, joka parantaa ko. kaasujen virtausta. [7, s. 31]. Myös kaasuväroaston lämpötila vaikuttaa kaasupullojen lämpötilaan ja sitä kautta kaasunluovutuskykyyn. Nestemäisen kaasun säiliöissä on usein säädettävä lämmitin, joka edesauttaa säiliön kaasunluovutuskykyä. Kaasuväroaston lämmitystä käsitellään kappaleessa 6.5.2.

#### **6.4 Kaasukeskuksen sijoitus**

Kaasukeskuksen sijoituksessa tulee ottaa huomioon voimassa olevat määräykset, standardit sekä Tukesin ohjeet. Sijaintipaikan valintaan vaikuttavat kaasujen vaarallisuusluokitukset ja kaasulähteen koko. Käytännön kannalta sijaintiin vaikuttavat kaasupullojen ja pullopakettien siirtämisen helppous ja vaaratilanteessa, kuten tulipalon sattuessa. [6, s. 8-9.]

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksessä painelaiteturvallisuudesta [12] kaasulähteelle vaaditaan sijoitussuunnitelman tarkastus, mikäli siirrettävän pullopaketin tilavuus ylittää 450 L, kiinteän kaasusäiliön suurimman sallitun käyttöpaineen ja tilavuuden tulo ylittää 10 000 bar · L, putkisto, jonka sisällön perusteella kuuluu vähintään putkistoluokkaan 2 ja nimellisuuruus on yli DN 50. Sijoitussuunnitelman tarkastusta ja hyväksyntää tulee pyytää hyväksytyltä tarkastuslaitokselta.

Kaasukeskus voidaan sijoittaa katettuun ulkotilaan, erilliseen rakennukseen tai tuotantotiloissa oleva tilaan. Suosituksena on kuitenkin erillinen kaasukeskustila tuotantorakennuksen ulkopuolella tai ulkoseinään rajoitettu tila. Kaasukeskussäätimen tulee kui-

tenkin olla aina katettu. Kiinteän kaasun säiliön sijoitusta suositellaan ulkotilaan riittävän tuuletuksen aikaansaamiseksi [6, s. 8 ja 9.]

KTMP palavista nesteistä 15.4.1985/313 on esitetty nestemäisten kaasusäiliöiden sijoitusrajotukset. [13]. Lisäksi kaasusäiliöiden sijoituksessa tulee ottaa huomioon sisällön vaatimukset SFS standardeissa.

## **6.5 Kaasukeskustila**

Kaasukeskustilaan sijoitetaan kaasukeskuksen tekniset laitteet ja kaasulähde, mikäli se koostuu pulloista tai pullopaketeista. Kaasukeskustilaa suunniteltaessa tulee ottaa huomioon yksittäisiä kaasuja koskevat standardit. Tilan tulee olla riittävän suuri, jotta sinne asennettavia kaasukeskuksia pystytään tarvittaessa huoltamaan. Kaasukeskustilassa ei saa säilyttää mitään ylimääräistä palavaa materiaalia.

Kaasukeskustilat ja kaasuvaramatot palo- osastoidaan muista tiloista vähintään EI 60 rakennusosin. Palo-osastoivat rakennusosat tehdään vähintään A2-s1, d0- luokan rakennustarvikkeista. Rakennusosien palonkestävyysvaatimus on EI 30 jos tila on suojattu automaattisella sammutuslaitteistolla. Yleisesti kaasukeskustilojen rakenteellisessa paloturvallisuudessa noudatetaan Suomen rakentamismääräyskokoelmia E1 ja E2. [14.]

Kaasukeskustilaa suunniteltaessa tulee ottaa huomioon siellä varastoitavien kaasujen tiheys suhteessa ympäröivän ilman tiheyteen. Ilmaa tiheämmät kaasun kerääntyvät purkautuessaan kaasuvaramaton lattian rajaan, kun taas ilmaa tiheämmät kaasut kerääntyvät kaasuvaramaton katon rajaan. Tulee varmistua siitä, että kaasuvuodon sattuessa kaasut eivät keräänny lattialla oleviin syvennyksiin tai kaivoihin, vaan poistuvat varastosta turvallisesti ulkoilmaan. [15, s. 24.]

Palavien ja räjähdysherkkien kaasujen varastoinnissa ja käsittelyssä tulee ottaa huomioon EX- määräykset, joita käsitellään kappaleessa 6.6.



### 6.5.1 Kaasukeskustilan ilmanvaihto

Kaasuvarasto ja kaasukeskus ovat varustettava rakennuksen muihin tiloihin nähden erillisellä ilmanvaihdolla. Ilmanvaihdolla tarkoitetaan tässä yhteydessä ilman liikettä, jonka ansiosta päästölähdettä ympäröivä vaarallinen ilmaseos korvautuu puhtaalla ilmalla ja edistää ilmaseoksen laimentumista. Ilman liike voidaan toteuttaa luonnollisesti painovoimaisena perustuen tuuleen, tai ilman lämpötilaeroihin. Ilman liike voidaan saada aikaan myös keinotekoisesti puhaltimen avulla. Poistoilma on johdettava tiloista suoraan ulkoilmaan. Päästölähteenä voidaan pitää jokaista kaasua sisältävää laitetta kaasuverkostossa. [15, s. 30.]

Kaasukeskustilan ilmanvaihto on yleensä painovoimaan perustuva. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa tilan katon ja lattian rajaan tulee asentaa tuuletusaukot. Molempien tuuletusaukkojen hyötypinta-alan tulee olla vähintään 1 prosentti kaasukeskushuoneen lattiapinta-alasta ja jatkuvasti avoinna. [6, s. 14.]

Koneelliseen ilmanvaihtoon joudutaan turvautumaan, mikäli riski kaasun tai höyryn pitoisuudesta voi olla yli kaasupitoisuuden räjähdysrajan. Käyttämällä koneellista ilmanvaihtoa, voidaan pienentää tilaluokan vaativuutta ja laajuutta, lyhentää räjähdyskelpoisen kaasuseoksen esiintymisaikaa, estää räjähdyskelpoisen kaasuseoksen syntymisen sekä estää kaasuvaraston tarpeeton lämpötilan nousu. [15, s. 46.] Eri kaasuilla ja kaasupulloilla on omat maksimi säilytyslämpötilansa, joita ei saa turvallisuussyistä ylittää. Yleisohje kaasukeskuksen koneellisesta ilmanvaihdosta on, että ilmanvaihtomäärän tulee olla väh.  $15\text{m}^3/\text{h}$  lattiapinnan neliometriä kohti, kuitenkin vähintään 6 kertaa huoneen tilavuus tunnissa. Ilmanvaihdon laitevalinnoissa tulee ottaa huomioon mahdolliset EX- laitevaatimukset.

Standardi SFS-EN 60079-10-1 opastaa ilmanvaihdon tehokkuusasteen arvioinnissa ja kaasukeskuksen ilmanvaihdon suunnittelussa.

### 6.5.2 Kaasukeskustilan lämmitys

Kaasukeskustilan lämpötila vaikuttaa keskussäädinryhmän mitoituslaitteeseen, sillä eri kaasupullojen kaasunluovutuskyky on rajallinen matalissa lämpötiloissa. Kaasupullojen kaasunluovutuskykyä voidaan parantaa nostamalla kaasukeskustilan sisälämpötilaa.

Eri kaasupulloilla on kuitenkin maksimi säilytyslämpötilansa riippuen mitä kaasua pullo sisältää ja missä paineessa kaasu on pullossa.

Kaasukeskustilan lämmitys voidaan järjestää vesikiertoisella patteri- tai lattialämmityksellä tai sähköelementillä. Lämmittimien sijoituksessa tulee huomioida lämmittimien pintalämpötilat, jotka voivat aiheuttaa kaasuseoksen syttymisen. [6, s. 14.]

## 6.6 Räjähdyksivaarallisten tilojen luokitus

Tiloissa, joissa voi esiintyä vaarallisia määriä ja pitoisuuksia palavaa kaasua, höyryä tai sumua on ryhdyttävä suojaustoimiin räjähdysvaaran pienentämiseksi. Räjähdyksivaarallisia tiloja kutsutaan EX- tiloiksi. EX- nimitys koskee myös kaikkia laitteita ja suojausjärjestelmiä, jotka on tarkoitettu käytettäväksi räjähdysvaarallisissa tiloissa. Räjähdyksikelpoisista ilmaseoksista käytetään nimitystä ATEX, joka tulee sanoista atmosphères explosibles. [16.]

Kaasun käyttö- ja käsittelylaitokselle sekä varastolle tulee laatia selvitys räjähdysvaarallisista tiloista eli tilaluokitus. Tilaluokitus helpottaa laitteiden oikeaa valintaa sekä asentamista ja auttaa varmistamaan niiden turvallisen käytön tuotantotilassa. Tilaluokitus huomioi kaasun, höyryn ja sumun syttymisominaisuuksia.

Räjähdyksivaarallisten tilojen luokitus aloitetaan tarkastelemalla tilassa käytettäviä kaasuja ja niiden seuraavia ominaisuuksia [17, s. 9]

- kaasun luokitus (helposti syttyvä F, räjähtävä E, jne.)
- itsesyttymislämpötila (°C)
- kaasujen räjähdysrajat (til-%)
- tiheys suhteessa ilmaan
- kiehumispiste (°C)
- lämpötilaluokka (T1-T6).

Taulukossa 10 on esitetty kaasujen itsesyttymislämpötilan mukaiset lämpötilaluokat, jotka vaikuttavat myös kaasujen kanssa tekemisiin joutuvien laitteiden valintaan. Kaasujen itsesyttymislämpötilat on esitetty kaasujen käyttöturvallisuustiedotteissa.

**TAULUKKO 10. Aineen itsesyttymislämpötilan mukaan määräytyvät laitteiden lämpötilaluokat [17]**

| KAASUN TAI HÖYRYN ITSESYTTYMISLÄMPÖTILA | LAITTEEN LÄMPÖTILALUOKKA | LAITTEEN SUURIN SALLITTU PINTALÄMPÖTILA |
|---|--------------------------|---|
| > 450 °C                                | <b>T1</b>                | 450 °C                                  |
| 300 - 450 °C                            | <b>T2</b>                | 300 °C                                  |
| 200 - 300 °C                            | <b>T3</b>                | 200 °C                                  |
| 135 - 200 °C                            | <b>T4</b>                | 135 °C                                  |
| 100 - 135 °C                            | <b>T5</b>                | 100 °C                                  |
| 85 - 100 °C                             | <b>T6</b>                | 85 °C                                   |

Seuraavaksi tarkastellaan mahdollisia kaasujen päästölähteitä ja arvioidaan asiantuntijoiden kanssa päästöjen todennäköistä esiintymistiheyttä ja esiintymisaikaa tilassa. Lasketaan päästölähteiden vaatimat poistoilmavirrat, joiden mukaan tilan ilmanvaihto suunnitellaan. Ilmanvaihdon tehokkuudella ja hyvällä suunnittelulla on selvä vaikutus tilan luokitukseen. Ilmanvaihdon tehokkuutta käsittelee standardi SFS-EN 60079-10-1. [15].

Räjähdyksivaaralliset tilat jaetaan edellä mainituin perustein asiantuntevan tahon kanssa seuraaviin tilaluokkiin.

**Luokka 0**

Tila, jossa syttyvä kaasuseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein toistuvasti.

**Luokka 1**

Tila, jossa syttyvän kaasuseoksen voidaan olettaa esiintyvän satunnaisesti normaalkäytön aikana.

**Luokka 2**

Tila, jossa ei odoteta syttyvän kaasuseoksen esiintymistä normaalikäytön aikana ja mikäli sellainen kuitenkin esiintyy, se esiintyy todennäköisesti vain harvoin ja lyhytaikaisesti.

Räjähdyksivaarallisten tilojen luokitukset tulee dokumentoida. Tilaluokitusdokumenttien tulisi sisältää taso- ja leikkauspiirustukset ja mahdolliset kolmiulotteiset mallinnukset. Dokumenteista tulee ilmetä sekä tilaluokat että niiden laajuudet, kaasuryhmä, syttymislämpötilat ja lämpötilaluokat. Dokumentteihin sisältyy pohjakuva kaasutiloista,

johon on sijoitettuna päästölähteiden sijainti- ja tunnistetiedot numeroituina ja rakennusten aukkojen sijainnit. [15, s. 32.]

## 6.7 Räjähdysvaarallisten tilojen laitteet

Räjähdysvaarallisissa tiloissa olevat laitteet ja suojausjärjestelmät on valittava räjähdysvaarallisiin ilmaseoksiin tarkoitetuista laitteista ja suojausjärjestelmistä annetussa päätöksessä 918/1996 säädettyjen luokkien mukaisesti. Asetus perustuu ATEX- direktiiviin 94/9/EY. Ex-laitteissa on oltava päätöksen 918/1996 vaatimat asianmukaiset merkinnät. [18.] Esimerkki Ex-laitemerkinnöistä löytyy kuvasta 3.

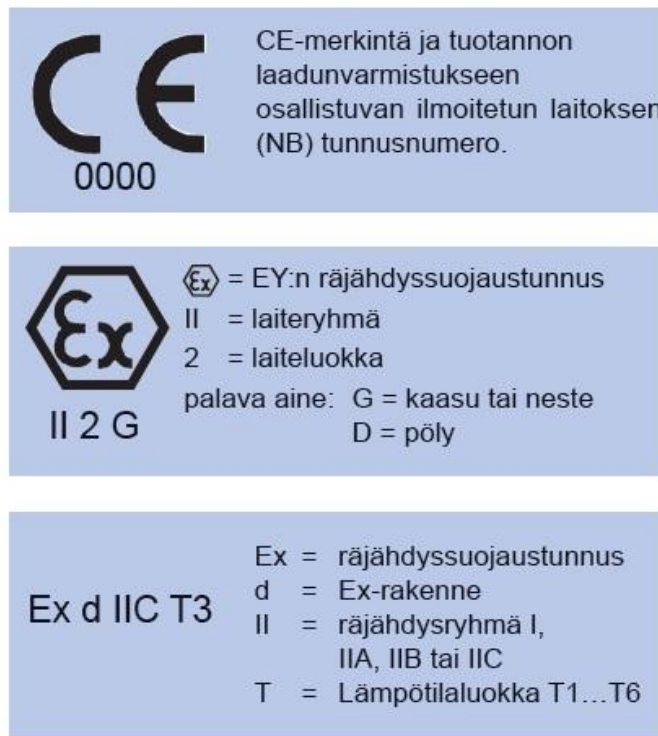
Räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettävät laitteet jaetaan KTMP 918/1996 mukaan kahteen räjähdysryhmään. Ryhmään 1 kuuluvat kaivoslaitteet ja ryhmään 2 teollisuudessa ja laboratorioissa käytettävät laitteet.

Luokitelluissa tiloissa on erityisesti käytettävä seuraavien laiteluokkien laitteita, jos ne tapauksen mukaan soveltuvat ko. kaasulle, höyrylle tai sumulle ja täyttävät tilaluokituksen vaatimukset [17, s. 21]

- tilaluokassa 0 käytetään laiteluokan 1 laitteita,
- tilaluokassa 1 käytetään laiteluokan 1 tai 2 laitteita,
- tilaluokassa 2 käytetään laiteluokan 1, 2 tai 3 laitteita.

Teollisuuden ja laboratorion käytössä olevien laitteiden räjähdysryhmä 2 jakautuu alaluokkiin A, B ja C koskien räjähdyspaineen kestäväää rakennetta. Vaarallisimmat aineet on luokiteltu luokkaan II C, joka tämä kattaa siis myös luokat II B ja II A. [19.]

Laittevalinta on tehtävä siten, ettei laitteen korkein pintalämpötila saavuta minkään sen vaikutuspiirissä mahdollisesti olevan kaasun tai höyryn syttymislämpötilaa. Laite ei myöskään saa aiheuttaa kipinöitä, jotka voisivat sytyttää palavan kaasun, höyryn tai sumun räjähdyskelpoisen ilmaseoksen. Muita mahdollisia syttymislähteitä ovat laitteeseen mahdollisesti varautunut staattinen sähkö tai laitteen tuottama tai aiheuttama ionisoiva säteily, ultraääni, adiabaattinen puristus ja paineiskut sekä sähkömagneettiset aallot. [16.]



**KUVA 3. Esimerkkejä Ex- laitteiden merkinnöistä [16]**

## 7 KAASUNJAKELUPUTKISTOT

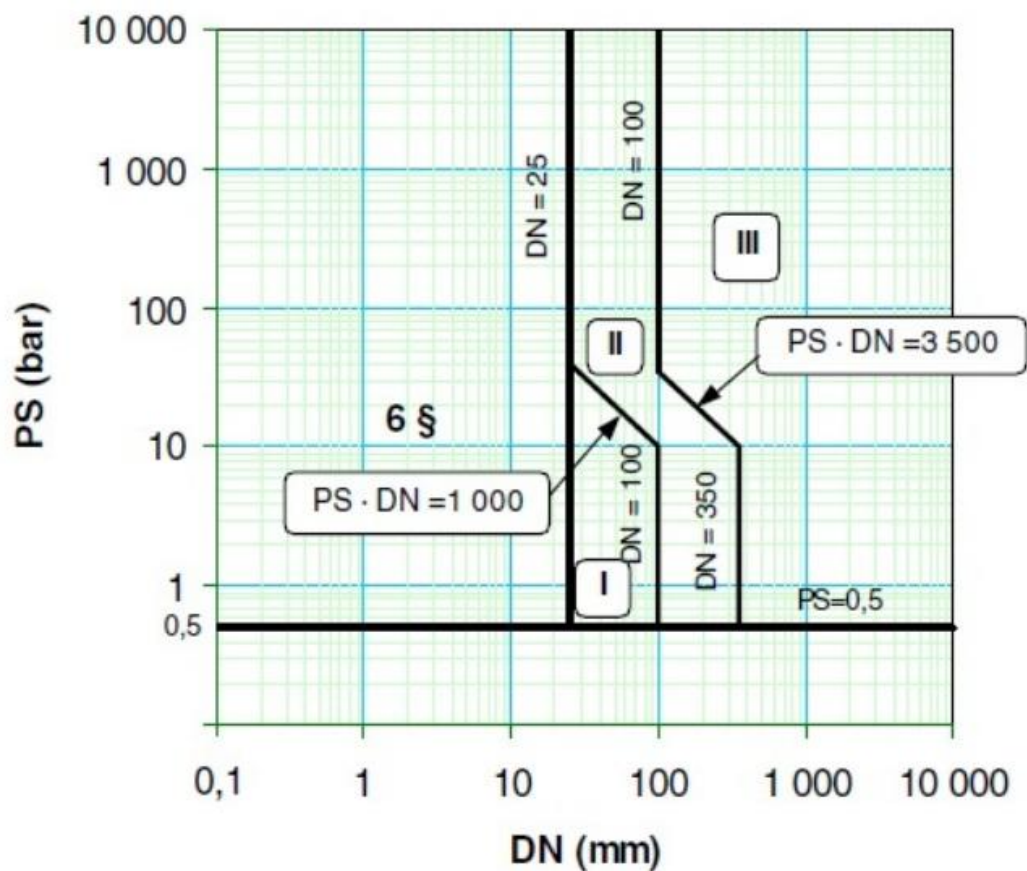
Kaasunjakeluputkisto alkaa keskussäädinyksikön matalapaineventtiilistä ja päättyy kaasunotto pisteen sulkuventtiiliin. Putkisto käsittää kaikki putket, putken osat, putkistovarusteet, kannakkeet ja turvalaitteet keskussäädinyksikön ja käyttöpisteen välillä. [4, s. 21.] Kaikissa putkiston osissa paitsi hyvän konepajakäytännön mukaan valmistetuissa putkiston osissa tulee olla CE- merkintä.

### 7.1 Putkistojen luokittelu

Kaasua sisältävistä putkistoista määrää painelaitesäädännön KTMP painelaitteista 1999/938. Päätöksen mukaan putkistot, jotka on tarkoitettu kaasuille, nesteytetyille kaasuille, paineenalaisena liuotetuille kaasuille, höyryille sekä nesteille, joiden höyrin paine korkeimmassa sallitussa lämpötilassa on enemmän kuin 0,5 bar yli normaali-ilmakehän paineen (1 013 mbar) jaetaan kahteen ryhmään. Luokitukseen vaikuttavat putkiston sisältö, nimellisuuruus DN ja sisällön paine. Putkistot jaetaan ryhmien sisällä edelleen kolmeen putkistoluokkaan I, II ja III kasvavan putkistokoon ja sisällön paineen mukaan. [6, s.21-23; 20.]

**Ryhmään 1** kuuluva sisältö kun  $DN > 25$  (kuva 4)

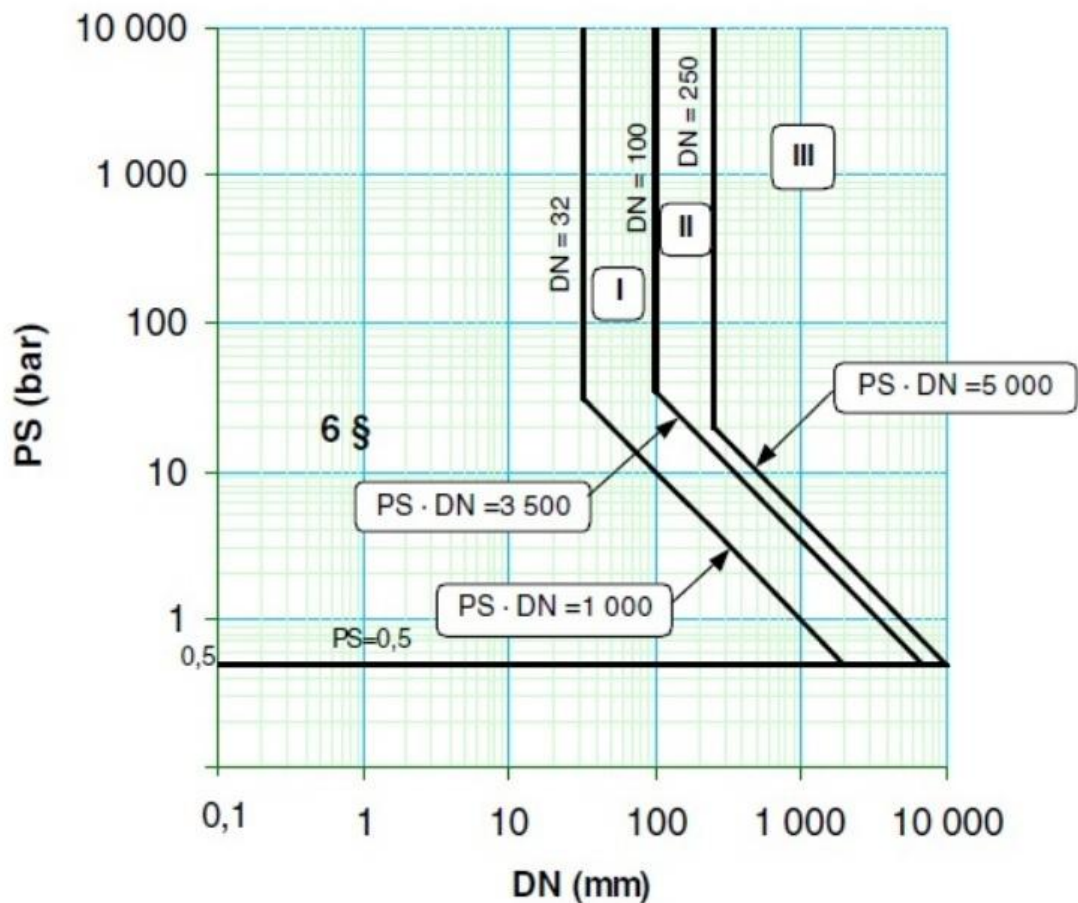
Tähän ryhmään kuuluvat ns. vaaralliset kaasut, kuten happi, vety ja asetyleeni. Kooltaan suuremmat putket kuin DN 25 luokitellaan luokkiin I, II ja III putken nimellisuuruuden ja putkiston paineen tulon mukaisesti. Poikkeuksena asetyleeniputkisto, jonka nimellisuuruus on suurempi kuin DN 25 luokitellaan automaattisesti luokkaan III. Putkistot, joiden nimellisuuruus on pienempi tai yhtä suuri kuin DN 25 on suunniteltava ja valmistettava Euroopan talousalueeseen kuuluvassa valtiossa noudatettavan hyvän konepajakäytännön mukaisesti [20; 21, s.8-9.]



**KUVA 4.** Putkisto, jossa ryhmän 1 kaasusisältö [20]

**Ryhmään 2** kuuluva sisältö kun  $DN > 32$  ja  $PS \cdot DN > 1\,000$  bar (kuva 5)

Tähän ryhmään kuuluvat ns. vaarattomat kaasut, kuten typpi, argon, helium ja hiilidioksidi. Kooltaan suuremmat putket kuin DN 32 luokitellaan luokkiin I, II ja III putken nimellisuuruuden ja putkiston paineen tulon mukaisesti. Putkistot, joiden nimellisuuruus on alle tai yhtä suuri kuin DN 32, tai suunnittelpaine kertaan nimellisuuruus  $PS \cdot DN$  32 on enintään 1000, on suunniteltava ja valmistettava Euroopan talousalueeseen kuuluvassa valtiossa noudatettavan hyvän konepajakäytännön mukaisesti.



**KUVA 5. Putkisto, jossa ryhmän 2 kaasusisältö [20]**

Kaasuputken luokitusta tarvitaan kaasuputken valmistuksen arviointimenettelyssä. Tiettyyn tarkoitukseen valmistettavan kaasuputken on täytettävä luokituksen mukaiset arviointimenettelyt. Taulukossa 11 on lueteltu kunkin luokan arviointimoduulit, joiden vaatimuksia putkiston valmistuksessa on noudatettava. Moduulien sisältö on esitetty KTMP painelaitteista 1999/938 liitteessä 3. [20].

**TAULUKKO 11. Eri luokkiin sovellettavat vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyt [20]**

|            |                |
|------------|----------------|
| Luokka I   | A moduuli      |
| Luokka II  | A1 moduuli     |
|            | D1 moduuli     |
|            | E1 moduuli     |
| Luokka III | B1 + D moduuli |
|            | B1 + F moduuli |
|            | B + E moduuli  |
|            | B + C1 moduuli |
|            | H moduuli      |

## 7.2 Kaasuputkien sijoitus

Kaasuputket pyritään suunnittelemaan ja asentamaan pinta-asennuksena siten, että ne ovat näkyvissä ja tarvittaviin putkistovarusteisiin on helppo päästä käsiksi. Kaasuputkia ei saa asentaa ontelorakenteisiin, hissi- tai tavarakuiluihin, eikä savuhormeihin. Kaasuputkia ei saa asentaa samaan kanavaan sellaisten putkien kanssa, joiden sisältämä kaasu reagoi ko. kaasun kanssa, ellei tätä vaaraa ole eliminoitu riittävällä tuuletuksella. [15, s. 26 ja 27.] Putkiston sijoituksessa tulee välttää sellaisia paikkoja, tai missä putkisto saattaa vaurioitua tai mistä mahdollinen kaasuvuoto ei pääse purkautumaan turvallisesti ulkoilmaan. [6, s. 25].

Mikäli putkisto on sijoitettava maan alle, se asennetaan tiiviiseen kanaaliin tai suoja-putkeen. Maahan upotettavassa putkistossa on otettava huomioon putkiston upotussyvyys ja korroosiosuojaus. Mikäli kaivannossa on muita putkia tai kaapeleita, asennetaan ne vähintään 50mm etäisyydelle kaasuputkista. Putkistoluokkaan 3 kuuluvat putkistot on asennettava vähintään 0,25 m muista putkistoista. [6, s. 28; 22, s. 8.] Suoja-putken halkaisijan tulisi olla 1,5 kertaa suurempi kuin kaasuputken ulkohalkaisija.

Putkiläpivientien ulko- ja palo-osastovien seinien, lattian tai perustuksen läpi on oltava kaasutiiviit ja täytettävä osastoivan paloseinän palonkestovaatimukset. putkiläpivienneissä tulee käyttää suoja-putkea, jonka sisähalkaisija on vähintään 10 mm suurempi kuin kaasuputken ulkohalkaisija. [6, s. 32; 15, s. 9.]



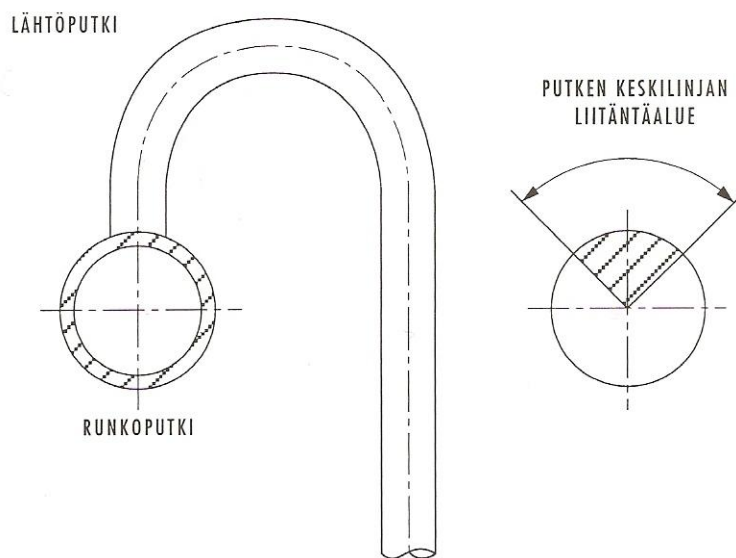
### 7.3 Verkoston rakenne

Mikäli suunniteltavassa kohteessa on paljon samaa kaasua käyttäviä kaasupisteitä sijoitettuna etäälle toisistaan, kannattaa kaasu-jakeluputkisto suunnitella asennettavaksi rengasputkistona, jolloin verkoston paineenvaihtelut pysyvät pieninä, vaikka kulutusvaihtelua esiintyisi. Putkistot voidaan myös jakaa osiin ja erottaa toisistaan ryhmäsulkuventtiileillä, jolloin esimerkiksi osa putkistosta voidaan huoltaa ilman, että koko tuotanto pysähtyy. [6, s. 23-25.]

Vähäisen kaasunkulutuksen laitoksissa voidaan käyttää yksinkertaista kaasuputkistoa, joka johtaa kaasukeskukselta suoraan kaasunottopisteisiin. Suuria kaasumääriä siirrettäessä voidaan asentaa useampi kaasuputki rinnakkain. Kaasuverkosto tulee suunnitella myös siten, että se voidaan tarpeen vaatiessa tyhjentää turvallisesti.

Jokaisessa kaasukeskuksessa tulee olla pääsulkuventtiili välittömästi kaasukeskuksen jälkeen, jotta kaasunsyöttö voidaan tarvittaessa sulkea. Jakeluputkiston runkolinjasta tehtyihin alasottoihin asennetaan kaasukohtaiset kaasunottopisteet sulku- ja varolaitteineen. Kaasuverkoston suunnittelussa tulee ottaa huomioon lämpötilojen vaihtelut, lämpölaajeneminen ja mahdollinen verkoston eristämisen tarve.

Kaasuverkoston runkolinjasta tehdyt alasotot asennetaan kuvan 8 mukaisesti runkolinjan yläosaan. Näin tehty asennus vähentää epäpuhtauksien pääsyn kaasunottopisteisiin ja edesauttaa niiden toimintavarmuutta ja käytön turvallisuutta. [6, s.33].



**KUVA 8. Jakeluputkiston runkolinjasta tehty alasotto [6]**

## 8 PUTKISTOMATERIAALIT JA MITOITUS

Putkimateriaali on valittava kaasukohtaisesti siten, että se kestää kaasun mekaaniset, fysikaaliset ja kemialliset vaikutukset sekä lämpötilat verkoston sisä- ja ulkopuolella. Mekaanisilla ominaisuuksilla tarkoitetaan kaasun liikettä ja sen aiheuttamia paineenvaihteluita putkistossa. Kemiallisella vaikutuksella tarkoitetaan sitä, ettei kaasu saa reagoida putkistossa olevien materiaalien kanssa. Standardissa SFS-EN 13480-2 on syvennytty teollisuusputkistojen materiaaleihin ja niiden käyttöön. [23]. Kaasujen ja putkistomateriaalien suuntaa antava yhteensopivuustaulukko löytyy liitteestä 3. Mikäli kaasuputkistossa siirretään erikoispuhtaita kaasuja, tulee varmistua siitä, että valittu putkilaatu ylläpitää kaasun puhtausluokkaa. Putken sisäpinnan on oltava sileä, eikä siitä saa irrota epäpuhtauksia.

Standardissa SFS-EN 13480-3 on selvitetty putkiston lujuusmitoituksen perusteet. Lujuuslaskelmilla voidaan varmistua siitä, että valittava putkisto ja sen osat (käyrät, haarat ja tulpat) varmasti kestävät järjestelmän vaatimukset. Standardissa huomioidaan putkistoon vaikuttavat sisäiset ja ulkoiset kuormitukset, ainevahvuudet ja toleranssit. [24.]

Putkiston ja sen osien mitoituksen lähtökohtana ovat putkistoon liitettävien käyttölaitteiden yhteenlaskettu maksimikulutus ja laitteiden vaatima käyttöpaine. Laitteiden vaatimat käyttöpaineet saadaan laitetiedoista tai ottamalla yhteyttä laitevalmistajaan. Kaasuputkistot kannattaa usein hieman ylimitoitaa, joka mahdollistaa uusien kaasupisteiden lisäämisen verkostoon pienemmillä kustannuksilla.

Putkisto on tarvittaessa lämpöeristettävä, jotta putkessa siirrettävän kaasun ominaisuudet eivät muutu tai putki jäätyneen takia vaurioidu.

Putkisto mitoitetaan yleensä painehäviön perusteella siten, ettei putkiston kokonaispainehäviö ylitä 10 % käyttöpaineesta kaasun huippukulutuksen aikana. Kokonaispainehäviöön vaikuttavat kaikki putkiston varusteet mm. putkisto ja sen käyrät ja haarat, venttiilit ja liekinsammuttimet. Käyrien ja venttiilien painehäviöt voidaan muuttaa ekvivalenttipituuksiksi liitteen 4 taulukon mukaan, mikäli valmistajan laitetietoja ei ole saatavilla. [6, s. 25-27.]

Eri kaasuille on asetettu turvallisuussyistä suurimpia sallittuja virtausnopeuksia, joita tulee pitää yhtenä putkistosuunnittelun raja-arvona.

Putkiston mitoitus voidaan tehdä liitteen 5 mitoitusmonogrammilla ja tarkastaa kaasun virtausnopeus yhtälöllä [25, s. 6]

$$v = \frac{1000 \cdot Q}{0,9 \cdot d^2 \cdot p} \quad (2)$$

, jossa

|   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| v | on virtausnopeus, m/s               |
| Q | on kaasuvirtaus, Nm <sup>3</sup> /h |
| d | on putken sisähalkaisija, mm        |
| p | on absoluuttinen paine, bar         |

Happi-kaasun virtausnopeutta laskiessa tulee käyttää yhtälöä [25, s. 1]

$$v = 35,4 \cdot \frac{Q}{d^2 (p+0,1)} \quad (3)$$

, jossa

|   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| v | on virtausnopeus, m/s               |
| Q | on kaasuvirtaus, Nm <sup>3</sup> /h |
| d | on putken sisähalkaisija, mm        |
| p | on pienin käyttöpaine, MPa          |

Kaasuverkoston korkeuserojen vaikutus paineen muutokseen tulee ottaa huomioon, erityisesti matalan käyttöpaineen putkistoissa. Paineen muutos korkeuden vaikutuksesta lasketaan yhtälöstä

$$\Delta p = K \cdot (1 - d) \cdot \Delta H \quad (4)$$

, jossa

|            |   |
|------------|---|
| $\Delta p$ | paineen muutos korkeuden vaikutuksesta, mbar                    |
| K          | on kerroin 0,123 mbar metriä kohti                              |
| $\Delta H$ | korkeuden muutos (negatiivinen kun putkisto johtaa alaspäin), m |
| d          | on kaasun suhteellinen tiheys ilmaan nähden                     |

Kaasujen tiheydet vaihtelevat lämpötilan ja paineen mukaan. Reaalikaasujen, kuten hapen, typen, heliumin ja argonin tiheydet voidaan laskea ideaalikaasun yhtälöstä

$$\rho = \frac{Mp}{RT} \quad (5)$$

, jossa

|        |                              |
|--------|------------------------------|
| $\rho$ | on tiheys, kg/m <sup>3</sup> |
| $M$    | on moolimassa                |
| $p$    | on paine, Pa                 |
| $R$    | on yleinen kaasuvakio        |
| $T$    | lämpötila, K                 |

Nestemäisessä muodossa olevan kaasun putkiston materiaaleja valittaessa tulee ottaa huomioon nesteen alhainen lämpötila, joka haurastuttaa esimerkiksi hiiliteräs putkistojä.

## 8.1 Asetyleeniputkistot

Asetyleeniputkistojen on kestettävä asetyleenin mekaaniset, kemialliset ja lämpötilanmuutosten aiheuttamat rasitukset putkistossa. Asetyleenin kuumeneminen ja äkilliset paineiskut voivat aiheuttaa reaktion, jossa asetyleeni hajoaa ja nostaa siten painetta putkistossa.

Asetyleeniputkiston materiaalina käytetään vähintään laatua Fe 35 SFS-EN 10216 olevia saumattomia teräsputkia. Käytettäessä saumallisia teräsputkia on hitsaussauman lujuuskertoimen oltava vähintään 1,0. Asetyleeniverkoston putkistojen ja varusteiden kuparipitoisuus ei saa ylittää 70%. [25, s. 6.] Suurin sallittu asetyleenin virtausnopeus on 7 m/s.

Asetyleeniputket ja -putkistovarusteet saa liittää yhteen hitsaamalla, laipoilla tai kova-juottamalla messinkijuotteella. Hopeajuotetta ei saa käyttää, sillä asetyleeni reagoi voimakkaasti hopeaseosten kanssa. Ruostumattomasta ja haponkestävästä teräksestä valmistetut putkistot liitetään toisiinsa TIG hitsauksella. [26, s. 3.]

Asetyleeniputkistot jaetaan standardin SFS 3359 mukaan taulukossa 12 esitettyihin kolmeen luokkaan suurimman sallitun käyttöpaineen perusteella. Keskipaineputkistolla tarkoitetaan asetyleenin jakeluputkistoa tavallisissa kaasukeskusjärjestelmissä.

**TAULUKKO 12. Asetyleeniputkiston luokat [27, s. 3]**

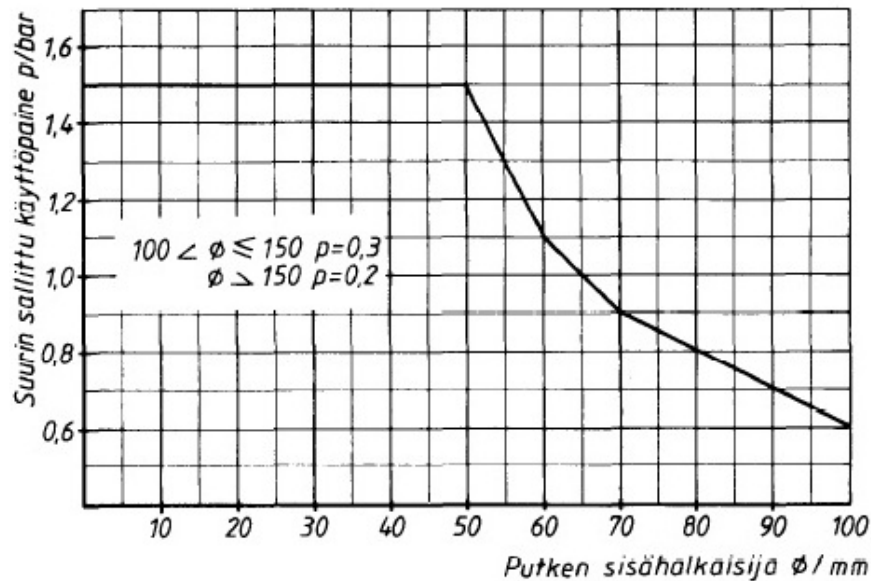
| <b>Putkistoluokka</b> | <b>Suurin sallittu käyttöpain p, bar</b> |
|-----------------------|--|
| suurpaineputkisto     | $1,5 < p \leq 25$                        |
| keskipaineputkisto    | $0,2 < p \leq 1,5$                       |
| pienpaineputkisto     | $p < 0,2$                                |

SFS 3359 standardin mukaan asetyleeniputkiston suurin sallittu käyttöpain määräytyy taulukossa 13 esitettyjen asetyleenin alimman mahdollisen lämpötilan mukaan.

**TAULUKKO 13. Asetyleenin käyttöpainen riippuvuus lämpötilasta [27, s. 4]**

| <b>Asetyleenin alin mahdollinen lämpötila, °C</b> | <b>Suurin sallittu käyttöpain, bar</b> |
|---|--|
| +8  | 25                                     |
| +5  | 23                                     |
| 0   | 20                                     |
| -5  | 17                                     |
| -10   | 14,5                                   |

Asetyleeniputkiston suurin sallittu sisähalkaisija määräytyy kuvan 9 suurimman sallitun käyttöpaineen mukaisesti.



**KUVA 9. Käyttöpaineen ja putken sisähalkaisijan välinen riippuvuus [27, s. 4]**

Käyttäjien kokemusten perusteella asetyleenin jakeluputkiston paineena käytetään yleensä 0,8-1,0 bar, eikä se saa missään tapauksessa ylittää 1,5 bar. Putkiston painehäviöksi suositellaan maks. 0,05 bar. Mikäli siirretään suuria kaasumääriä, voidaan asentaa useampi kaasuputki rinnakkain. [25, s. 6; 27, s. 4].

## 8.2 Happiputkistot

Happiputkistoissa käytetään materiaaleja, joilla on normaalisti riittävän korkea syttymislämpötila, esim. kupari, kupariseokset tai ruostumaton teräs. Kupariputket liitetään toisiinsa kovajuottamalla ja ruostumattomasta teräksestä tehdyt putkistot TIG hitsauksella [26, s. 1-2.]

Oy Aga Ab antaa happiputkistojen valinnalle seuraavia ohjeita [26, s. 2]

- putkistopaineen ollessa  $\leq 1$  bar saa putkien ja varusteiden raaka-aineena käyttää terästä ilman rajoituksia
- putkistopaineen ollessa 1-3 bar tulee käyttää vähintään laatua Fe 35 SFS-EN 10216 olevia saumattomia teräsputkia
- seostamattomia teräsputkia ei saa käyttää happiputkistoissa mikäli hapen virtausnopeus ylittää 8 m/s tai paine 30 bar

- putkistopaineen ollessa yli 3 bar käytetään putkiston osien raaka-aineina kuparia, kupariseoksia tai ruostumatonta terästä, jonka ominaisuudet kestävät virtaavan hapen aiheuttamat rasitukset
- kupariputkien oltava standardin SFS-EN 1057 mukaisia
- jakeluputkiston paine yleensä 8-12 bar
- putkiston painehäviöksi suositellaan maksimissaan 0,5 bar
- kun nopeus yli 25 m/s, käytetään RST- tai kupariputkia.

### 8.3 Vetyputkistot

Vetyputkiston materiaalina käytetään vähintään laatua Fe 35 SFS-EN 10216 olevia saumattomia teräsputkia. Käytettäessä saumallisia teräsputkia on hitsaussauman lujuuskertoimen oltava vähintään 1,0. Jos käyttölämpötila on alle  $\pm 0^{\circ}\text{C}$ , tulee putken rakenneaineen olla tiivistettyä terästä. Käytettäessä kupariputkia on niiden oltava standardin SFS-EN 1057 mukaisia. Jakeluputkiston käyttöpaineeseen, painehäviöön ja nopeuteen pätevät happiputkiston vaatimukset. [25, s.6]

Putket ja varusteet tulee liittää toisiinsa ensisijaisesti hitsaamalla tai kovajuottamalla.

### 8.4 Muut kaasuputkistot

Muiden kaasujen (argon, helium, hiilidioksidi ja typpi) putkistoissa suositellaan käytettäväksi samanlaisia teräsputkia kuin asetyleeniputkistossa tai kupariputkia standardin SFS 1057 mukaan ottaen kuitenkin huomioon, että putkimateriaali kestää kaasun kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet. Putket ja putkistovarusteet saa liittää yhteen hitsaamalla, laipoilla tai kovajuottamalla. [25, s. 6.]

### 8.5 Letkujen käyttö kaasujohtoina

Erikoiskorkeapaineletkuilla voidaan yhdistää kaasunlähde kaasukeskukseen. Letkun tulee sopia kaasupullon kierteeseen ilman ylimääräisiä välikappaleita. Suositeltuja letkujen maksimipituuksia kaasukeskussäätimelle ovat yksittäiseltä kaasupullolta 1m ja pullokeskukselta 2m. Letkujen paineenkeston tulee olla vähintään kaasusäiliön tai –pullon koepaineen suuruinen. Letkujen tulee olla sähköä johtavia, jotta staattisten sähkövarausten synty estyy. [6, s. 11.]

Erikoismatalapaineletkuja saa käyttää kojeiden liittämiseen matalapaineverkon ottopisteisiin. Erikoispaineletkuissa tulisi olla merkittynä niiden suurin sallittu käyttöpaine ja valmistusvuosi. Poikkeukset letkujen käytössä ovat teräs- tai muulla metalliverkoilla vahvistetut korkeapaineletkut, joita ei saa käyttää helium- tai vetyjohtoina. [28, s.6 ja 9.]

## **9 KAASUNOTTOPISTEET**

Kaasunottopisteellä tarkoitetaan matalapaineverkostossa olevaa venttiilillä suljettavaa yhdettä, johon kaasunkäyttölaite voidaan kytkeä. Kaasunottopisteet mitoitetaan ja valitaan siten, että kaasunottopisteestä saadaan haluttu määrä kaasua halutulla paineella. Teollisuus- ja laboratoriokaasujen kaasunottopisteissä on aina oltava sulkuventtiili. Sulkuventtiili tulee kiinnittää tukevasti alustaansa, esimerkiksi asianmukaiseen seinätelineeseen. Partikkelisuodatin on tarpeellinen kaasunottopisteessä, jossa on paineensäädin, virtaussäädin tai takaiskusuoja. SFS standardin 5900 mukaan polttokaasujen ja hapen ottopisteessä tulee olla takaiskusuoja. Paineensäätimessä tulee olla painemittari, jonka mukaan kaasun virtausta voidaan säätää ja tarkastella. Kaasunottopisteessä on usein valmiina letkuliitin, johon kaasua käyttävä laite kytketään. Kaasunottopisteet asennetaan tavallisesti seinälle 1,2-1,5 m korkeuteen lattiasta, mikäli kaasun käyttölaite ei muuta edellytä. [6, s. 29.]

## **10 SUUNNITELMIEN DOKUMENTOINTI**

Laboratorio- ja teollisuuskaasuverkostojen suunnitelmat on dokumentoitava niiden tarkastusta, toteutusta ja huoltoa varten. Kappaleessa 6.4 lueteltujen tapauksien yhteydessä on yhdessä hankkeen tilaajan kanssa laadittava painelaitteille sijoitussuunnitelma, jonka hyväksytty tarkastuslaitos tarkastaa hyvissä ajoin ennen hankkeen rakentamisen aloittamista.

Kaasuverkostosuunnitelman olennaisin osa on putkistosuunnitelma, joka tarkoittaa alueen tai rakennuksen pohjakaavioon piirrettyjä putkilinjoja. Putkilinjojen lisäksi putkistosuunnitelmassa tulee esittää putkistovarusteet ja merkitä kaasunottopisteet. Putkistosuunnitelma on usein piirretty mittakaavaan 1:50. Mikäli putkistosuunnitelman perusteella ei pystytä kaasuverkostoa toteuttamaan, on piirrettävä tarkempi työpiirustus, joka mahdollistaa suunnitelmien toteuttamisen.



Mikäli kaasuverkoston tulee paljon laitteita, joiden ominaisuuksia ja varusteita ei kyetä putkistosuunnitelmassa selkeästi esittämään, tulee suunnittelijan tehdä niistä ns. laiteluettelo. Laiteluettelosta tulee käydä ilmi suunnitelmien toteutuksessa käytettävät laitteet ja varusteet, sekä niiden hankintaan liittyvät tiedot.

Monimutkaisista laitteista, kuten kaasukeskuksista tulee luoda säätökaaviot, joista käy ilmi mm. laitteen toiminta ja kytkentä automatiikkaan. Säätökaavioon tulee liittää kirjallinen toimintaselostus, jossa kerrotaan laitteen toimintaperiaate.

Putkistosuunnitelman tai työpiirustuksen tueksi tulee laatia kirjallinen työselostus, joka on tekninen suunnitelma kaasuverkoston toteutusta varten. Kaasuverkoston työselostus on usein sisällytetty LVI-työselostukseen.

Tarkastuslaitos voi vaatia lujuuslaskelmia vaativimmista putkisto-osuuksista ja putkistonosista. Putkistojen lujuuslaskelmia on käsitelty standardissa SFS-EN 13480-3. [24]. Standardin mukaan lujuuslaskelmista on esitettävä seuraavat vähimmäistiedot

- selvitys merkitsemistavoista
- laskelmien lähtötiedot materiaalitietoineen
- standardin viitenumero mukana painos ja laskentakaavan viitenumero
- täysi jäljitettävyys suoritettuihin laskelmiin
- kaavojen välitulokset
- laskettu vähimmäispaksuus tai laskettu jännitys verrattuna sallittuun jännitykseen
- korroosio, kuluminen tai muita varoja soveltuviissa tapauksissa
- seinämänpaksuuden toleranssit
- valittu seinämänpaksuus.

## **10.1 Piirrosmerkit**

Kaasuverkoston suunnitelmissa tulee käyttää asianmukaisia piirrosmerkkejä. Kaasuputkiston, -varusteiden ja -laitteistojen piirrosmerkit on esitetty standardissa SFS 2168 [29.]

## 11 POHDINTA

Opinnäytetyöni tavoitteena oli käsitellä teollisuus- ja laboratoriokaasuverkostojen suunnittelua ja mitoitusta ja luoda siitä yhtenäinen kokonaisuus. Raportin tuli lähteä liikkeelle perusteista ja suuntautua ennestään kaasuverkostoista tietämättömälle LVI-suunnittelijalle. Opinnäytetyössä käsitelin vain yleisimpiä käytössä olevia kaasuja, sillä jokaisella kaasulla on omat ominaisuutensa ja vaatimuksensa, joka olisi käsiteltävien kaasujen määrän lisääntyessä tehnyt oppaasta turhan sekavan.

Vain harvat LVI-suunnitelmia tekevät yritykset suunnittelevat kaasuverkostoja teollisuuden ja laboratorioden käyttöön. Kaasuverkostojen suunnittelu ei sisälly Suomessa talotekniikan alan koulutusohjelmiin, joten LVI-suunnittelijoiden tietotaito kaasuverkostoista on hyvin yleisellä tasolla. Kaasuverkostojen suunnittelijoiden tietotaito on usein kokemuksen myötä opittua ja riippuvainen oman yrityksensä tiedonlähteistä ja kontakteista. Suomessa toimivissa kaasualan yrityksissä on osaamista ja tietotaitoa, mutta se pysyy usein yrityksen omana tietona.

Tämä opinnäytetyö sisältää olennaista tietoa kaasuverkostojen suunnitteluun liittyen ja etenee loogisesti suunnittelijan näkökulmasta. Aiemmin on ollut olemassa erillisiä lakiasetuksia ja päätöksiä painelaitteisiin liittyen, joihin kaasuverkostotkin kuuluvat. Lukuisat aiheeseen liittyvät standardit ovat vaikeasti löydettävissä ja niihin on edelleen vaikea päästä käsiksi, sillä ne ovat maksullisia. Lisäksi standardien numerointi on muuttunut vuosien saatossa, eikä uusilla numeroilla ole aina korvattu vanhojen standardien numerointia. Kaasu- ja painelaitteita valvovat tahot ovat luoneet yksittäisiä oppaita ja ohjeita, jotka ovat tuoneet helpotusta tiedon saantiin. Tässä työssä on viittauksia ja lainauksia edellä mainittujen tahojen ohjeista ja määräyksistä ja ennen kaikkea kaikki löytyy viimeinkin yhdestä teoksesta.

Opinnäytetyön sisältöä voi noudattaa myös muiden, kuin oppaassa mainittujen kaasujen verkostosuunnitteluun, kunhan vain ottaa huomioon kaasujen erikoisvaatimukset materiaalien yhteensopivuudessa ja turvallisuudessa.

Tutkimusmenetelmänä opinnäytetyössä oli kirjallisuuskatsaus. Pyrin etsimään tietoa aiheesta hyvin laajasti ja olemalla yhteydessä Suomessa toimiviin kaasualan yrityksiin. Kaasualan yritykset olivat niukkoja luovuttamaan itse hankkimaansa tutkimustie-

toa, siispä keräsin kaiken mahdollisen aiheeseen liittyvän tiedon, johon minulla oli mahdollisuus päästä käsiksi. Varsinaiseen mitoitukseen liittyvän tiedon löytäminen oli haasteellista. Varsinkin kaasuverkoston laitteiden mitoituksesta löytyi niukasti tietoa. Tutkin mm. kaasulaitteiden valmistajien esitteitä ja pyrin saamaan niistä kaiken olennaisen tiedon irti. Laittevalintoja tehdessä tulisikin ottaa aina yhteyttä laitevalmistajiin, jotka ovat laitteidensa ominaisuuksien ja käyttötarkoituksen asiantuntijoita. Tulevaisuudessa laitteiden vaatimukset voivat tiukentua, sillä turvallisuus on suuri osa kaasuverkoston suunnittelua ja käyttöä. Itse kaasuputkistojen mitoitus tulee tuskin tulevaisuudessakaan muuttumaan, sillä käytettävien kaasujen ominaisuudet pysyvät aina samoina ja fysiikan lait eivät tule muuttumaan.

Tutkimuksen lähtökohtana oli tiedon puute, joka on nyt korjattu yleisesti aihealuetta käsittelevän raportin muodossa. Raportti antaa laaja-alaisen näkemyksen kaasuverkoston suunnittelusta ja siinä huomioon otettavista muista tekijöistä. Raportissa on käsitelty myös ilmanvaihtoa ja lämmitystä, jotta kaasuverkoston suunnittelija saisi hyvän kokonaiskuvan verkoston ympärille rakentuvasta muusta tekniikasta. Toivon joskus näkeväni Suomen rakennusmääräyskokoelmassa kaasuverkostoja käsittelevän viranomaismääräyksen.

## LÄHTEET

[1] Oy Aga Ab:n verkkosivut.

<http://www.aga.fi/international/web/ig/fi/like35agafi.nsf/docbyalias/homepage>.

Päivitetty 15.3.2012. Luettu 15.3.2012.

[2] Euroopan yhteisöjen komissio. 30.3.2004. Euroopan unionin virallinen lehti. Luettu 16.3.2012.

[3] Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö SPEK. Teollisuuskaasujen turvallinen käyttö. Savion Kirjapaino Oy. 2006.

[4] Finlex. Kemikaaliasetus 12.7.1993/675. WWW- dokumentti. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1993/19930675>. Päivitetty 20.3.2012. Luettu 20.3.2012.

[5] Suomen säädöskokoelma. 6.7.2005. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus vaarallisten aineiden luettelosta 509/2005. Helsinki.

[6] Kemianteollisuus ry. Teollisuuskaasujen keskusjakelujärjestelmät. Helsinki: Hakapaino Oy. 2006.

[7] Oy Aga Ab. 2011. Kaasukeskuslaitteistot, tuoteluettelo.

[8] Oy Woikoski Ab:n verkkosivut. <http://www.woikoski.fi/kaasukeskus>. Päivitetty 20.3.2012. Luettu 20.3.2012.

[9] Teknologia teollisuuden verkkosivut.

<http://www.teknologiateollisuus.fi/fi/palvelut/painelaitteet.html>. Päivitetty 21.3.2012.

Luettu 21.3.2012.

[10] Suomen Standardisoimisliiton verkkosivut. <http://www.sfs.fi/>. Päivitetty

7.1.2012. Luettu 7.1.2012.

[11] Tukesin verkkosivut. <http://www.tukes.fi/>. Päivitetty 26.10.2011. Luettu 7.1.2011.

[12] Edilex. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaiteturvallisuudesta 1999/953. WWW- dokumentti.

<http://www.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/19990953?search=tukes>.

Päivitetty 22.3.2012. Luettu 22.3.2012.

[13] Edilex. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös palavista nesteistä 1985/313. WWW-dokumentti.

<http://www.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/19850313?search=tukes>.

Päivitetty 27.3.2012. Luettu 27.3.2012.

[14] Tukes. Vaarallisten kemikaalien varastointi. Tampere: Tammerprint Oy. 2011

[15] Suomen standardisoimisliitto. SFS-EN 60079-10-1 Räjähdyksivaaralliset tilat. 2010.

[16] Tukes. ATEX Räjähdyksivaarallisten tilojen turvallisuus. 2009.

[17] VTT. Opas räjähdysuojausasiakirjan laatimisesta Offsetpainolle. Helsinki: Graafinen teollisuus ry. 2006.

[18] Edilex. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös räjähdysvaarallisiin ilmaseoksiin tarkoitetuista laitteista ja suojausjärjestelmistä 1996/918. WWW- dokumentti.

<http://www.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/19960918?search=tukes>.

Päivitetty 22.3.2012. Luettu 22.3.2012.

[19] VTT. ATEX-direktiivi. 2007.

[20] Edilex. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaitteista 1999/938. WWW- dokumentti. <http://www.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/19990938?search=tukes>.

Päivitetty 24.3.2012. Luettu 24.3.2012.

[21] Tukes. Kemikaaliputkistot. 2007.

- [22] Suomen standardisoimisliitto. SFS-EN 13480-6 + A1. Metalliset teollisuuskaasuputkistot osa 6 maahan asennettavien putkistojen lisävaatimukset. 2006.
- [23] Suomen standardisoimisliitto. SFS-EN 13480-2 Metalliset teollisuuskaasuputkistot osa 2 materiaalit. 2002.
- [24] Suomen standardisoimisliitto. SFS-EN 13480-3. Metalliset teollisuusputkistot osa 3 suunnittelu ja laskenta. 2011.
- [25] Oy Aga Ab. Teollisuuskaasukeskuksien ja putkistojen suunnittelu ja asennus.
- [26] Oy Aga Ab. Teollisuuskaasujen jakelujärjestelmät.
- [27] Suomen standardisoimisliitto. SFS 3359. Asetyleeni varastointi ja tekninen käyttö. 1993.
- [28] B-G. Ahlroos. Teollisuuskaasujen jakelujärjestelmien putkistot.
- [29] Suomen standardisoimisliitto. SFS 2168. Kaasulaitteiston piirrosmerkit. 1989.

## KAASUJEN FYSIKAALISIA OMINAISUUKSIA

| Kaasu                                       | Kaasu-<br>volyymi<br>*) m <sup>3</sup> | Neste-<br>volyymi<br>l | Massa<br>(paino)<br>kg | Kiehumis-<br>piste<br>°C |
|---|--|------------------------|------------------------|--------------------------|
| Argon<br>Ar                                 | 1<br>0,591<br>0,825                    | 1,21<br>0,717<br>1     | 1,69<br>1<br>1,39      | -185,88                  |
| Asetyleeni<br>C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> | 1<br>0,902                             |                        | 1,11<br>1              | -84,0                    |
| Happi<br>O <sub>2</sub>                     | 1<br>0,738<br>0,842                    | 1,19<br>0,876<br>1     | 1,36<br>1<br>1,14      | -182,98                  |
| Helium<br>He                                | 1<br>5,91<br>0,741                     | 1,35<br>7,98<br>1      | 0,169<br>1<br>0,125    | -268,94                  |
| Hiili-<br>dioksidi<br>CO <sub>2</sub>       | 1<br>0,534<br>0,436                    | 2,29<br>1,22<br>1      | 1,87<br>1<br>0,818     | -78,45                   |
| Propaani<br>C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>   | 1<br>0,525<br>0,305                    | 3,28<br>1,72<br>1      | 1,90<br>1<br>0,581     | -42,1                    |
| Typpi<br>N <sub>2</sub>                     | 1<br>0,843<br>0,681                    | 1,47<br>1,24<br>1      | 1,19<br>1<br>0,807     | -195,82                  |
| Vety<br>H <sub>2</sub>                      | 1<br>11,74<br>0,832                    | 1,20<br>14,10<br>1     | 0,085<br>1<br>0,071    | -252,77                  |
| *) 288 K (+15 °C), 1013 mbar                |  |                        |                        |                          |

## YLEISIMPIEN KAASUPULLOJEN SISÄLTÄMÄ KAASUMÄÄRÄ

| Pullomalli                                 | Happi | Typpi | Argon                                      | Ilma | Helium | Vety | Hiilidioksidi | Asetyleeni |
|--|-------|-------|--|------|--------|------|---------------|------------|
|  |       |       |  |      |        |      |               |            |
| 5 l/200 bar                                |       |       | 1 Nm <sup>3</sup> <sup>1)</sup>            |      |        |      | 3,7 kg        |            |
| 10 l/200 bar (300 bar)                     |       |       | 2 Nm <sup>3</sup> (3 Nm <sup>3</sup> )     |      |        |      | 7 kg          |            |
| 20 l/200 bar (300 bar)                     |       |       | 4 Nm <sup>3</sup> (6 Nm <sup>3</sup> )     |      |        |      | 15 kg         |            |
| 40 l/200 bar                               |       |       | 8 Nm <sup>3</sup>                          |      |        |      | 30 kg         |            |
| 50 l/200 bar (300 bar)                     |       |       | 10 Nm <sup>3</sup> (15 Nm <sup>3</sup> )   |      |        |      | 37 kg         |            |
| Koripaketti<br>12 x 40 l/200 bar           |       |       | 96 Nm <sup>3</sup>                         |      |        |      | 360 kg        |            |
| Koripaketti<br>12 x 50 l/200 bar (300 bar) |       |       | 120 Nm <sup>3</sup> (180 Nm <sup>3</sup> ) |      |        |      |               |            |
| Koripaketti<br>16 x 50 l/300 bar           |       |       | 240 Nm <sup>3</sup>                        |      |        |      |               |            |
| Koripaketti<br>18 x 50 l/300 bar           |       |       | 270 Nm <sup>3</sup>                        |      |        |      |               |            |
| Maksipallo<br>450 l/200 bar                |       |       | 90 Nm <sup>3</sup>                         |      |        |      | 315 kg        |            |
| 5 l/18 bar                                 |       |       |  |      |        |      |               | 0,8 kg     |
| 20 l/18 bar                                |       |       |  |      |        |      |               | 3,9 kg     |
| 40 l/18 bar                                |       |       |  |      |        |      |               | 7,8 kg     |
| Koripaketti<br>12 x 50 l/18 bar            |       |       |  |      |        |      |               | 98 kg      |

HUOM! Kaasumäärä on likimääräinen arvo, mutta se on riittävän tarkka käytännön laskelmiin.

<sup>1)</sup> Nm<sup>3</sup> = normaalikuutiometri  
kaasu (+15 °C, 1013 mbar)



## KAASUJEN JA MATERIAALIEN YHTEENSOPIVUSTAULUKKO

## KAASU

## MATERIAALI

|               | Aluminum | Brass | Buna® N | Butyl rubber | Copper | Kel-F® | Monel® | Neoprene® | Nylon® | Polyethene | PVC | Stainless steel | Carbon steel | Teflon® | Viton® |
|---------------|----------|-------|---------|--------------|--------|--------|--------|-----------|--------|------------|-----|-----------------|--------------|---------|--------|
| Asetyleeni    | ●        | ▲     | ■       | ●            | ■      | ▲      | ■      | ▲         | ▲      | ■          | ●   | ●               | ●            | ▲       | ●      |
| Happi         | ●        | ●     | ▲       | ▲            | ●      | ●      | ●      | ▲         | ●      | ●          | ●   | ●               | ●            | ●       | ▲      |
| Typpi         | ●        | ●     | ●       | ●            | ●      | ●      | ●      | ●         | ●      | ●          | ●   | ●               | ●            | ●       | ●      |
| Argon         | ●        | ●     | ●       | ●            | ●      | ●      | ●      | ●         | ●      | ●          | ●   | ●               | ●            | ●       | ●      |
| Hiilidioksidi | ●        | ●     | ■       | ▲            | ●      | ●      | ●      | ■         | ●      | ▲          | ●   | ●               | ●            | ●       | ■      |
| Vety          | ●        | ●     | ●       | ●            | ●      | ●      | ●      | ●         | ●      | ●          | ●   | ●               | ●            | ●       | ●      |
| Helium        | ●        | ●     | ●       | ●            | ●      | ●      | ●      | ●         | ●      | ●          | ●   | ●               | ●            | ●       | ●      |

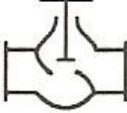

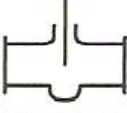
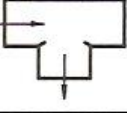
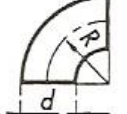
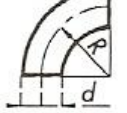
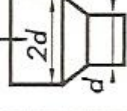
Sopivat hyvin yhteen ●

Ei suositella ▲

Ei saa käyttää ■

Yhteensopivuustaulukkoa voi käyttää ensisijaisena valintaperusteena kaasun ja materiaalien yhteensopivuudelle. Taulukko ei huomioi lämpötiloja, kosteutta tai pitoisuuksia, joiden vaikutus tulee ottaa erikseen huomioon.

## PAINEHÄVIÖ (bar)

| Venttiilit, ym.        |   | Vastaava pituus, m |      |      |      |       |       |       |
|------------------------|---|--------------------|------|------|------|-------|-------|-------|
|                        |   | Sisähalkaisija, mm |      |      |      |       |       |       |
|                        |   | 20                 | 25   | 40   | 50   | 80    | 100   | 125   |
| Istukka-venttiili      |    | 2-4                | 3-6  | 5-10 | 7-15 | 10-25 | 15-30 | 20-50 |
| Kalvo-venttiili        |    | 1.0                | 1.2  | 2.0  | 3.0  | 4.5   | 6     | 8     |
| Luisti-venttiili       |   | 0,2                | 0,3  | 0,5  | 0,7  | 1,0   | 1,5   | 2,0   |
| T-haara tai T-käyrä    |  | 1                  | 2    | 3    | 4    | 7     | 10    | 15    |
| Putkikäyrä<br>$R = d$  |  | 0,2                | 0,3  | 0,5  | 0,6  | 1,0   | 1,5   | 2,0   |
| Putkikäyrä<br>$R = 2d$ |  | 0,1                | 0,15 | 0,25 | 0,3  | 0,5   | 0,8   | 1,0   |
| Putkikartio            |  | 0,3                | 0,5  | 0,7  | 1,0  | 2,0   | 2,5   | 3,5   |

