

**SAIRAALAKAASUJÄRJESTELMÄ
LAPIN KESKUSSAIRAALASSA**

Halonen Maarit

Opinnäytetyö

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

2024

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Maarit Halonen	Vuosi	2024
Ohjaaja	Ins. (YAMK) Jukka Hietämäki		
Toimeksiantaja	Lapin hyvinvointialue, Lapin keskussairaala		
Työn nimi	Sairaalakaasujärjestelmä Lapin keskussairaalassa		
Sivumäärä	60 + 5		

Opinnäytetyön tavoitteena oli toteuttaa Lapin keskussairaalan sairaalakaasujärjestelmän ylläpitävän toiminnan sovelluksista ja käytännöistä järjestelmäkuvaus täydennettynä tarvittavilla teknisillä dokumenteilla. Järjestelmäkuvaus dokumentteineen tulee tulevaisuudessa toimimaan osana tilaajan perehdytysmateriaalia sairaalakaasujärjestelmän osalta.

Työ toteutettiin toiminnallisena opinnäytetyönä perehtyen olemassa olevaan sairaalakaasujärjestelmään, komponentteihin ja toimintamalliin sekä käytössä oleviin ohjelmistoihin ja automatiikkaan hyödyntäen mahdollista olemassa olevaa teknistä dokumentaatiota sekä nykyisen teknisen huoltohenkilöstön tietoperustaa järjestelmästä. Lisäksi konsultoitiiin sairaalakaasujärjestelmään liittyviä yhteistyökumppaneita ja asiantuntijoita. Huoltodokumenttia laadittaessa perehdyttiin ajan tasaisiin lainsäädännön mukaisiin huolto-ohjeistuksiin ja vaatimuksiin sekä nykyiseen huoltomalliin peilaten sitä tuotettavaan ohjeistukseen. Tämän lisäksi pohdittiin huoltohenkilöstön kanssa mahdollisia toiminnan muutostarpeita sekä kehityskohteita laadukkaan käytön ja huoltotoiminnan takaamiseksi.

Opinnäytetyö tuotti tilaajalle ajantasaisen sairaalakaasujärjestelmän järjestelmäkuvauksen laiteluetteloineen sekä sulkukaavioineen käytön ja huollon näkökulmasta teknisen huoltohenkilökunnan käyttöön sekä tulevaisuuden perehdytystarpeisiin. Dokumentoinnin lisäksi työssä kehitettiin tiedon jakamista ja saantia määrittämällä ja rakentamalla kansiorakenne tekniikan omalle verkkolevylle. Sairaalakaasujärjestelmän yleistietona selvitettiin myös järjestelmää koskevat lait, asetukset ja määräykset sekä sairaalakaasujen perusteet.

Avainsanat	Sairaalatekniikka, lääkkeelliset kaasut, sairaalakaasujärjestelmä, kaasuputkisto
Muita tietoja	Sairaalakaasujärjestelmän järjestelmäkuvaus lisädokumentteineen

Electrical and Automation Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Maarit Halonen	Year	2024
Supervisor	Jukka Hietamäki, MEng		
Commissioned by	Wellbeing Services County of Lapland, Lapland Central Hospital		
Title	Hospital gas system in Lapland central hospital		
Number of pages	60 + 5		

The aim of the thesis was to implement a system description of the applications and practices of the hospital gas system of Lapland central hospital, supplemented by the necessary technical documents. In the future, the system description with documents will serve as part of the customer's orientation material regarding the hospital gas system.

The work was carried out as a functional thesis, learning about the existing hospital gas system, components and operating model, as well as the software and automation in use, utilizing possible existing technical documentation and the knowledge base of the current technical maintenance staff about the system. In addition, partners and experts related to the hospital gas system were consulted. When preparing the maintenance document, reference was made to the up-to-date maintenance guidelines and requirements in accordance with the legislation, as well as the current maintenance model, mirroring the instructions produced. In addition to this, possible operational change needs and development targets were discussed with the maintenance staff in order to guarantee high quality and comprehensive use and maintenance operations.

The thesis produced for the customer an up-to-date system description of the hospital's gas system with equipment lists and block diagrams from the point of view of operation and maintenance for use by the technical maintenance staff and for future familiarization needs. In addition to documentation, the work developed information sharing and access by defining and building a folder structure on the technical staff's own network hard drive. As general information about the hospital's gas system, the laws, decrees and regulations concerning the system and the basics of hospital gases were also explained.

Keywords	Hospital technology, medicinal gases, hospital gas system, gas pipeline
Special remarks	System description of the hospital gas system with additional documents

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	TOIMEKSIANTAJA	10
3	LÄÄKKEELLISET KAASUT	11
3.1	Lääkkeellinen kaasu	11
3.1.1	Lääkeilma (HI)	14
3.1.2	Lääkkeellinen happi (O ₂)	14
3.1.3	Lääkehiilidioksidi (CO ₂)	15
3.1.4	Lääkkeellinen ilokaasu (N ₂ O)	16
3.2	Lääkkeellisten kaasujen toimitus Suomessa	17
3.3	Lääkkeellisten kaasujen turvallisuusriskit	18
4	LAIT, MÄÄRÄYKSET, STANDARDIT JA OHJEET	20
5	SAIRAALAKAASUJÄRJESTELMÄ	23
5.1	Järjestelmä	23
5.2	Syöttölähteet	26
5.2.1	Nestesäiliöasemat	26
5.2.2	Kaasukeskus	28
5.2.3	Ilmakompressorijärjestelmät	31
5.3	Kaasunjakelulaitteet	35
5.3.1	Vakauttamissäädin	35
5.3.2	Sulku- ja yksisuuntaventtiili	36
5.3.3	Painevahti	37
5.3.4	Kaasunottopisteet	38
5.3.5	Pikasulkukotelo	40
5.4	Jakeluputkisto	41
5.5	Kiinteistöautomaatio	42
5.6	Ohjaus, seuranta ja hälytys	45
6	SAIRAALAKAASUJÄRJESTELMÄN HUOLTO JA YLLÄPITO	48
6.1	Tehtävät ja vastuut	48
6.2	Nestesäiliöasema	48
6.3	Kaasukeskus	49
6.4	Ilmakompressorijärjestelmä	50

6.5 Jakeluputkisto	52
7 TURVALLISUUS.....	53
8 POHDINTA.....	55
LÄHTEET.....	57
LIITTEET	60

ALKUSANAT

Haluan kiittää Lapin keskussairaalan huoltopäällikkö (SAV) Ari Ruokojärveä luottamuksesta ja mielenkiintoisesta toimeksiannosta. Kiitos lämpimästä ja ystävällisestä vastaanotosta sekä tuesta ja kannustuksesta työn aikana.

Kiitos myös Lapin keskussairaalan teknisten palveluiden Mikko Keskitalo sekä muut yhteistyökumppanit asiantuntijatuesta ja vinkeistä.

Kiitos myös opinnäytetyöni ohjaajille Jukka Hietamäelle ja Leena Ruokaselle ohjauksesta opinnäytetyön suorittamisen aikana.

Suuri kiitos kuuluu myös perheelleni, jotka ovat uskoneet tekemiseeni ja tukeneet minua koko opintojeni ajan.

.....

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

Hypoksia	happivaje
Anestesia	nukutus, narkoosi, puudutus
Hypertensio	kohonnut verenpaine
Spirometrimittaus	keuhkojen tilavuuden mittaus
Laparoskopia	tähystysleikkaus
Kryosäilytys	syväjäädityssäilytys
Kryokirurgia	syväjäädityskirurgia
Kryoterapia	syväjääditysterapia
Diatermia	suurtaajuisen vaihtovirran käyttäminen kudosten lämmittämiseen tai niiden tuhoamiseen
COPD	keuhkohtaumatauti
HSV	huoltosulkuventtiilikotelo
HSV- KKS/KPA	huoltosulkuventtiilikotelo kattokeskus/-palkki
PV	painevahti
ASV	aluesulkuventtiili
RSV	rengaslinjan sulkuventtiilikotelo
IPI	instrumenttipaineilma
Nm ³ /a	normikuutiometri/vuosi (kuutiota kaasua normaalipaineessa 0°C lämpötilassa)
TUKES	turvatekniikan keskus
FIMEA	lääkealan turvallisuus- ja kehittämiskeskus
NDT-menetelmä	rikkomaton aineenkoetus
Defibrillaattori	sydäniskuri

1 JOHDANTO

Lääkkeellinen kaasu tulee jostain ja kuten juokseva vesi, et ajattele sitä ennen kuin avaat hanan ja mitään ei tule ulos. Sairaalakaasun syöttöjärjestelmä sisältää mm. keskuksia, kompressoreita ja säiliöitä, jotka tuottavat tai syöttävät lääkkeellisiä kaasuja sairaalan kaasuputkistossa. Järjestelmän laitteistot mm. suodattavat, paineistavat, puhdistavat, kuivaavat ja säätelevät kaasuja, jotta voidaan taata erilaisten määritysten mukainen puhdas ja turvallinen paineistettu lääkkeellisen kaasunjakelu. (Compliant Healthcare Technologies 2017.)

Useimmat ihmiset ajattelevat lääkkeellistä kaasujärjestelmää happena, joka annostellaan potilaille leikkauksessa tai sairaalahuoneessa. On kuitenkin olemassa useita kaasuja, jotka muodostavat keskimääräisen lääkkeellisen kaasujärjestelmän. Sairaalakaasujärjestelmät ylläpitävät elämää ja niitä säännöstellään lääkkeenä. Tästä syystä järjestelmää koskettaa useita rajoituksia ja ohjeita oikeasta, turvallisesta ja laillisesta tavasta tuottaa ja jakaa lääkkeellistä kaasua. CBC Newsin mukaan ensimmäiset rekisteröidyt lääkekaasun ristikytöntäkuolemat tapahtuivat entisessä Sudburyn yleissairaalassa Kanadassa vuonna 1973. Tämän traagisen tapahtuman seurauksena kehitettiin Amerikassa prosessi, joka vaati kolmannen osapuolen vahvistusta ja myöhemmin myös asentajan sertifiointeja. (Compliant Healthcare Technologies 2017.)

Huoli potilaista ja sairaaloiden tehokkuudesta on johtanut siihen, että lääkkeellisten kaasujen valvonta ja sääntely on erityisen tarkkaa. Valvonnan ja säätelyn sekä järjestelmän erityisyyden vuoksi useimmat sairaalat hankkivat vuosittaisen määräaikaistarkastuksen suorittajaksi kolmannen osapuolen tarkastajan varmistukseksi, että järjestelmä toimisi oikein potilaiden ja henkilökunnan turvallisuuden varmistamiseksi sekä erilaisten standardien, asetusten ja määräysten noudattamiseksi. Kaasujärjestelmän tarkastuksen ja huollon huomiotta jättäminen voi aiheuttaa sairaalalle sanktioita. (Compliant Healthcare Technologies 2017.)

Sairaalassa ja terveydenhuollon suuremmissa toimipaikoissa lääkkeellisten kaasujen jatkuva saatavuus ja turvallinen kaasunjakelu kaikissa olosuhteissa on erittäin tärkeää. Kattavalla sairaalakaasujärjestelmällä voidaan varmistaa turvallinen

ja taloudellinen kaasunjakelu. Lääkkeellinen kaasu johdetaan kaasuputkistoa pitkin säiliöstä, pullopaketista tai yksittäisistä kaasupulloista eri kaasunottopisteisiin. Jokaisessa suomalaisessa sairaalassa on oma sairaalakaasujärjestelmänsä. (Linde Healthcare 2023c.)

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on toteuttaa Lapin keskussairaalan kaasujärjestelmän ylläpitävän toiminnan sovelluksista ja käytännöistä järjestelmäkuvaus hyödyntäen olemassa olevaa teknistä dokumentaatiota ja teknisen henkilökunnan tietoperustaa. Opinnäytetyö tuottaa ajantasaisen kaasujärjestelmän toiminnankuvauksen järjestelmäkaavioineen käytön ja huollon näkökulmasta teknisen huoltohenkilökunnan käyttöön sekä tulevaisuuden perehdytystarpeisiin. Sairaalakaasujärjestelmän yleistietona selvitetään myös järjestelmää koskevat lait, asetukset ja määräykset sekä sairaalakaasujen perusteet.

Tällä hetkellä toimeksiantajan dokumentointi sairaalakaasujärjestelmän toiminnankuvauksesta sekä huoltotoiminnoista on puutteellinen, joten työn tulosten merkittävyys on huomattava järjestelmän toiminnallisuuden ja huollon jatkuvuuden kannalta. Ilman kattavaa dokumentointia on myös uhkana, että tämänhetkinen hiljainen tieto ja osaaminen katoavat nykyisten asiantuntijoiden mukana heidän mahdollisten työelämämuutosten mukana. Tätä myötä myös uusien työntekijöiden perehdytys järjestelmään on kyseenalaista. Kaasujärjestelmä on yksi sairaalan kriittisistä kohteista ja sen on toimittava ongelmattomasti ympäri vuorokauden, jotta vältetään potilaisiin kohdistuvista henkeä uhkaavilta tilanteilta.

Työ toteutetaan toiminnallisena opinnäytetyönä perehtyen olemassa olevaan sairaalakaasujärjestelmään, komponentteihin ja toimintamalliin sekä käytössä oleviin ohjelmistoihin ja automatiikkaan hyödyntäen mahdollista olemassa olevaa dokumentaatiota sekä nykyisen teknisen huoltohenkilöstön tietämystä järjestelmästä. Lisäksi konsultoidaan sairaalakaasujärjestelmään liittyviä yhteistyökumppaneita ja asiantuntijoita. Huolto-ohjeistusta laadittaessa perehdytään ajan tasaihin lainsäädännön mukaisiin huolto-ohjeistuksiin ja vaatimuksiin sekä nykyiseen huoltomalliin peilaten sitä tuotettavaan ohjeistukseen. Tämän lisäksi pohditaan huoltohenkilöstön kanssa mahdollisia toiminnan muutostarpeita sekä kehityskohteita laadukkaan ja kattavan käytön ja huoltotoiminnan takaamiseksi.

2 TOIMEKSIANTAJA

Opinnäytetyöni toimeksiantajana toimii Rovaniemellä sijaitseva Lapin keskussairaala (kuvio 1), joka tarjoaa monipuolisia terveydenhuollon palveluita mm. erikoissairaanhoidon, ympärivuorokautista päivystystä sekä leikkaustoimintaa (Lapin hyvinvointialue 2023).



Kuvio 1. Lapin keskussairaala (Lapin hyvinvointialue 2023)

Lapin keskussairaala palvelee, Länsi- Pohjan keskussairaalan ohella, Lapin hyvinvointialueella (Lapha) alueen 17 kunnan ja neljän kaupungin reilua 176 000 alueen asukasta. Tämän lisäksi alueen suuri turismi kasvattaa asiakaskuntaa reilusti ajoittain. Sairaalan toiminta-alueen laajuus pitkin välimatkoineen koko Lapin läänin alueella asettaa omat ominaiset haasteensa turvalliselle toiminnan järjestämiselle ja toteuttamiselle. Lapin keskussairaala on valmistunut vuonna 1988, jonka jälkeen sitä on laajennettu vuosina 2019–2023 uudella kuumalla sairaalalla, psykiatrian tiloilla sekä parkkitalolla. (Lapin hyvinvointialue 2023.)

3 LÄÄKKEELLISET KAASUT

3.1 Lääkkeellinen kaasu

Lääkkeellinen kaasu on kaasua tai kaasuseosta, jota käytetään lääketieteellisiin tarkoituksiin, kuten esimerkiksi hengityksen tukemiseen, kivunlievitykseen tai tiettyjen sairauksien hoitoon. Lääkkeellinen kaasu voi olla yksittäistä, puhdasta kaasua tai kaasujen seosta. (Fimea 2023.) Taulukossa 1 on esitettyinä lääkkeellisten kaasujen koostumukset ja käyttöaiheet sekä pullojen tai pullostojen kauluksien tunnisteväri.

Taulukko 1. Myyntiluvalliset lääkkeelliset kaasut (mukailten Linde Healthcare 2023a, 4–5)

MYYNTELUVALLISET LÄÄKKEELLISET KAASUT			
KAASU	KOOSTUMUS	TUNNISTEVÄRI	KÄYTTÖAIHEET
Lääkkeellinen happi	O ₂	Valkoinen	Hypoksia tai sen riski, anestesia, normaalia korkeammassa ilmanpaineessa hapen hengittäminen, ylipainehappihoito
Lääkkeellinen di-typoksiidi (ilokaasu)	N ₂ O	Sininen	Kivunlievitys, anestesia
Lääkkeellinen happi-ilokaasuseos	N ₂ O+O ₂	Valkosininen	Kivunlievitys
Lääkkeellinen typoksiidi	NO+N ₂	Turkoosi	Keuhkojen hypertensio
Lääkkeellinen hengitysilma	O ₂ +N ₂	Valkomusta	Hengityslaittehoito, osana anestesiaa, ponnekaasu
Lääkkeellinen keuhkofunktio-kaasu	CO+He+O ₂ +N ₂	Vaaleanvihreä	Keuhkojen toiminnan testaaminen
ERITYISLUVALLISET LÄÄKKEELLISET KAASUT			
KAASU	KOOSTUMUS	TUNNISTEVÄRI	KÄYTTÖAIHEET
Keuhkofunktio-kaasu He 9,3%	He	Vaaleanvihreä	Keuhkojen toiminnan mittaaminen
Keuhkofunktio-kaasu 15%	O ₂ +N ₂	Vaaleanvihreä	Keuhkojen toiminnan mittaaminen
Carboair 5, 5% CO ₂	CO ₂ +O ₂ +N ₂	Harmaavalkomusta	Astmatesti
Carbogen 5, 5% CO ₂	CO ₂ +O ₂	Valkoharmaa	Astmatesti
BITG 21% O ₂ /He	CO ₂ +O ₂	Valkoharmaa	Eräät neurologiset vauriot
BITG 20% CO ₂	O ₂ +He	Valkoruskea	Spirometrimittaus
LÄÄKINNÄLLISIKSI LAITTEIKSI LUOKITELLUT KAASUT			
KAASU	KOOSTUMUS	KÄYTTÖAIHEET	
Nestemäinen tyyppi säiliötoimittuksena	N ₂	Biologisen materiaalin kryosäilytys (solut, kudokset, veri), kryokirurgia	
Hiilidioksidi	CO ₂	Laparoskopia, kryoterapia, kryokirurgia	
MUUT TERVEYDENHUOLLOSSA KÄYTETTÄVÄT KAASUT			
KAASU	KOOSTUMUS	TUNNISTEVÄRI	KÄYTTÖAIHEET
Tyyppi	N ₂	Musta	Paineistus
Helium	He	Ruskea	Kalibrointi- ja kantokaasu
Nestemäinen helium	He		Jäähdytysaine MRI:n yhteydessä
Argon	Ar	Tummanvihreä	Suojakaasu diatermiassa
Erikoispuhtaat kaasut ja seoskaasut		Hopea	Verianalyysi, biologinen viljely, laboratoriokäyttö

Lääkkeellisen kaasun kriittisiä tekijöitä ovat puhtaus ja laatu. Kaasuille on määritetty EU GMP:n (Good Manufacturing Practise) mukaisesti tietty kemiallinen puhtaus. EU GMP määrittelee myös lääkkeellisten kaasujen valmistusprosessin, joka pohjautuu alan hyviin tuotantotapoihin. (European Medicines Agency 2008.) Euroopan unionin alueella lääkkeellisten kaasujen valmistus tapahtuu pääosin teollisesti lääketehailla. Lääkkeelliset kaasut tutkitaan ja analysoidaan Euroopan farmakopean ohjeiden ja säännösten mukaisesti. Näin ollen lääketehaiden tuottamilla kaasuilla on myönnetty viranomaisten puolesta lääkkeiden myyntilupa, joka takaa mm. tuotetulle kaasulle vaadittavan laatutason (taulukko 2) sekä toimivan tasalaatuisen valmistusmenetelmän, joka on varmistettu prosessin toistolla. Suomessa lääkkeellisten kaasujen valmistuksen toimilupa on tällä hetkellä vain Lindella ja Woikoskella. (Fimea 2012.)

Taulukko 2. Lääkkeellisten kaasujen laatuvaatimukset (SSTY 2020, 2)

Kaasu, pitoisuus	Ilma	Happi	Happi (93 %)	Dityppioksidi	Hiilidioksidi
Happi O ₂ (til.%)	20,9 % ± 0,5 %	≥ 99,5 %	93 % ± 3 %	–	–
Vesihöyry	≤ 67 ppm	≤ 67 ppm	≤ 67 ppm	≤ 67 ppm	≤ 67 ppm
Öljy	≤ 0,1 mg/m ³	–	≤ 0,1 mg/m ³	–	–
Hiilimonoksidi CO	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm
Hiilidioksidi CO ₂	≤ 500 ppm	≤ 300 ppm	≤ 300 ppm	≤ 300 ppm	≥ 99,5 %
Typen oksidit NO + NO ₂	≤ 2 ppm	–	≤ 2 ppm	≤ 2 ppm	≤ 2 ppm
Rikkidioksidi SO ₂	≤ 1 ppm	–	≤ 1 ppm	–	≤ 2 ppm

Poikkeuksellisesti verrattuna myyntiluvallisiin lääkkeellisiin kaasuihin Suomessa voidaan valmistaa lääkkeellistä ilmaa ja happea Fimean määrittelemien edellytyksin myös sairaaloissa tai terveyskeskuksissa. Valmistus vaatii kuitenkin aina sairaala-apteekin tai lääkekeskuksen valvonnan. Suomessa päävastuu lääkkeellisen kaasun valmistuksen valvonnasta on Fimealla. (Fimea 2012.)

3.1.1 Lääkeilma (HI)

Lääkkeellinen ilma eroaa ominaisuuksiltaan lähinnä suodatusasteen ja vesihöyrypitoisuuden osalta tavallisesta ulkoilmasta. Dokumenteissa lääkkeellisestä ilmasta käytetään termiä lääkkeellinen hengitysilma. Lääkkeellisen hengitysilman ensisijainen syöttölähde on ilmakompressorijärjestelmä, joka voidaan tarvittaessa varmistaa pulloilla tai pullopattereilla. Näitä kutsutaan lääkkeellisen hengitysilman toissijaisiksi syöttölähteiksi. (Woikoski 2023a.)

Sairaaloissa lääkkeellistä hengitysilmaa syötetään sairaalakaasujärjestelmän tai kompressorijärjestelmän kautta. Lääkkeellisen hengitysilman tunnusteväri on valkoinen-musta (kuvio 2). Lääkkeellisen hengitysilman käyttöaiheita ovat esimerkiksi hengitysvaikeudet tai hengityselinsairaudet (astma, COPD). Sitä hyödynnetään osana hengityskonehoidon tuorekaasuvirtausta sekä laajojen palovammojen hoidossa korvaamaan huoneilmaa. (Fimea 2023.)

Hartian väri	Kaasu
 Valkoinen- musta	Lääkkeellinen hengitysilma


Kuvio 2. Lääkkeellisen hengitysilman pullon tunnusteväri (Linde Healthcare 2023b)

3.1.2 Lääkkeellinen happi (O₂)

Ulkoilman normaali happipitoisuus on noin 21 %, kun taas lääkehappi on pääosin puhdasta happea. Lääkkeellinen happi voi olla lähes 100 % puhdasta happea. Lääkehappi tarjoaa potilaalle korkeamman hapen osapaineen kuin normaali ilma, mikä voi olla tarpeen erityisesti hengitysvaikeuksista kärsiville potilaille. Happi on hajuton, mauton ja väritön ilmaa raskaampi kaasu, joka kiihdyttää palamista voimakkaasti. (SSTY 2020, 20.)

Sairaaloissa lääkkeellinen happi toimitetaan nestemäisenä nestesäiliöasemalle, joka on sairaaloiden hapen pääsyöttölähde. Nestemäinen happi on happikaasun

jäännös, joka on jäähdytetty ja tiivistetty nestemäiseen muotoon (alle -183°C). Nestemäisen hapen lisäksi lääkkeellistä happea toimitetaan sairaaloihin pulloissa tai pullopattereissa, joihin happi on puristettu 200 barin paineeseen. Lääkkeellisen hapen tunnusteväri on valkoinen (kuvio 3). (Woikoski 2023a.)

Hartian väri	Kaasu
 <p>Valkoinen</p>	Happi


Kuvio 3. Lääkkeellisen hapen pullon tunnusteväri (Woikoski 2023a)

Sairaaloiden käyttöaiheet lääkkeelliselle hapelle ovat mm. hapenpuutteen hoito, hengitys- ja anestesiakoneiden ohjaaminen, häikämyrkytyksen ja ylipainehoito. Lääkkeellistä kaasua käytetään myös ponneaineena erilaisten hengitettävien lääkeaineiden käytössä hengityshoidossa. (Fimea 2023.)

3.1.3 Lääkehiilidioksidi (CO_2)

Lääkkeellinen hiilidioksidi on väritön, hajuton ja ilmaa raskaampi kaasu. Lievästi myrkyllisenä kaasuna n. 3–5 % pitoisuudella se aiheuttaa jo ensimmäisiä oireita mm. sekavuutta, hyperventilaatiota ja näköhäiriötä. Suljetussa tilassa hiilidioksidi syrjäyttää hapen ja tämän myötä aiheuttaa välittömän tukehtumisen. (SSTY 2020, 4.)

Sairaaloissa lääkkeellinen hiilidioksidi toimitetaan sekä varastoidaan kaasukustilaan kaasupulloissa, joissa hiilidioksidi on nestemäisenä paineistettuna noin 54 barin paineeseen. Lääkehiilidioksidia jaetaan sairaalassa sairaalakaasujärjestelmän kautta kaasupulloista. Lääkehiilidioksidin tunnusteväri on harmaa (kuvio 4). (Linde Healthcare 2023b.)

Hartian väri	Kaasu
 Harmaa	Hiilidioksidi


Kuvio 4. Lääkkeellisen hiilidioksidin pullon tunnisteväri (Woikoski 2023a)

Myrkyllisyydestä huolimatta hiilidioksidilla on sairaalassa useita käyttöaiheita mm. täyhystyskirurgiassa hiilidioksidilla kasvatetaan esimerkiksi vatsaontelon tilavuutta, hiilidioksidin avulla laparoskopiassa ja avosydänkirurgiassa voidaan puhalttaa jauhemaista lääkettä tai höyryä/ ilmaa ruumiinonteloon tai jopa sen läpi. Hengityskonepotilasta hiilidioksidi lisättynä happeen avustaa syvähengitykseen. (SSTY 2020, 12.)

3.1.4 Lääkkeellinen ilokaasu (N₂O)

Lääkkeellinen dityppioksidi on hajuton ja väritön huumaavaa ja euforista tunnetta tuottava kaasu. Tunnetummin lääkkeellisestä dityppioksidista käytetään termiä ilokaasu. Ilokaasu kiihdyttää palamista hapen tavoin. (SSTY 2020, 6.)

Sairaaloissa ilokaasu toimitetaan sekä varastoidaan kaasukeskustilaan kaasupulloissa, joissa ilokaasu on nestemäisenä paineistettuna noin 51 barin paineeseen. Ilokaasua jaetaan sairaalassa sairaalakaasujärjestelmän kautta kaasupulloista sekoitettuna happeen. Ilokaasun tunnisteväri on sinivalkoinen (kuvio 5). (Linde Healthcare 2023b.)

Hartian väri	Kaasu
 Sininen	Ilokaasu

Kuvio 5. Lääkkeellisen ilokaasun pullon tunnisteväri (Woikoski 2023a)

Lääkkeellisen ilokaasun käyttöaiheita ovat erityisesti helposti hallittavan nopean vaikutuksen vaativat nopea rauhoittaminen sekä kivun lievitys esimerkiksi synnytöksessä (Linde Healthcare 2023b).

3.2 Lääkkeellisten kaasujen toimitus Suomessa

Lääkkeellisiä kaasuja toimittavalta lääketehaalta tai lääketukkukaupalta vaaditaan lääkelain 1987/395 § 8 tai 32 määrittelemä toimilupa sekä toimittajan on noudatettava lääkkeiden toimittamisesta annettuja määräyksiä ja kyseenomaisen kaasun myyntiluvan rajoituksia. Lääkekaasujen jakelussa noudatetaan myös GDP (Good Distribution Practise) ohjeita. (Fimea 2012.)

Lääkkeellisten kaasujen toimitus vaatii kirjallisen lääketilauksen, joka on laadittu terveydenhuollon palveluja tuottavan yksikön käyttöön lääkkeiden toimittamisesta annettujen määräysten mukaisesti. Kertalääketilauksella on lupa toimittaa enintään yhden vuoden käyttöä vastaava määrä kaasua. Lääketilauksesta tulee käydä ilmi myös yksilöidyt yksiköt, joita tilaus koskee. Kyseenomaisten terveydenhuollon yksiköiden lääkkeellisten kaasujen tilausoikeuden toimittajan tulee tarkistaa voimassa olevasta sopimuksesta tai viranomaisrekisteristä. Toimittajan on myös varmistuttava lääketilauksen allekirjoittajan oikeudesta allekirjoittaa tilaus sekä siitä, että asiakkaalla on tarvittava tieto kaasun käyttöturvallisuudesta. (Fimea 2012.)

Lääkkeellisen kaasun toimitukseen on toimittajan toimesta liitettävä asiakirja, josta käy ilmi tilauksen ja toimituksen kannalta oleelliset tiedot mm. tilaus- tai toimituspäivämäärä, lääkkeellisen kaasun nimi ja määrä sekä analyysitodistus, tilattujen/toimitettujen pullojen lukumäärä sekä tavarantoimittajan ja vastaanottajan nimet ja osoitteet. Lääkkeellisiä kaasuja koskevien tuotevirheiden käsittelyssä noudatetaan Lääkealan turvallisuus- ja kehittämiskeskuksen tuotevirheistä antamaa määräystä. Tästä syystä kaikkien lääkkeellisten kaasujen toimitusten tulee olla jäljitettävissä. (Fimea 2012.)

3.3 Lääkkeellisten kaasujen turvallisuusriskit

Kaasut voidaan jakaa kolmeen pääriskiluokkaan, jotka on esitelty kuviossa 6. Pääsääntöisesti vaarallisimpia kaasuja ovat ne, jotka ovat hajuttomia sekä ilmaa raskaampia. (Oy AGA Ab 2020.)

Kaasujen riskit

		Palavat	Paloa ylläpitävät	Reagoimaton /tukahduttava
Vaikeasti tiivistyvä	Happi O_2		■	
	Typpi N_2			■
	Argon Ar			■
	Helium He			■
	Vety H_2	■		
Helposti tiivistyvä	Hiilidioksidi CO_2			▨
	Ilokaasu N_2O		■	
	Nestekaasu C_2H_6	■		
Imeytyvä	Asetyleeni C_2H_2	■		

Kuvio 6. Kaasujen riskit (Oy AGA Ab 2020)

Sairaalakaasut luokitellaan pääsääntöisesti joko paloa ylläpitäviin tai reagoimattomiin/tukahduttaviin riskiluokkiin. Happi ei itsessään ole syttyvä kaasu, mutta se reagoi useiden erilaisten aineiden kanssa voimakkaasti ja pitoisuuden noustessa happi voimistaa ja ylläpitää mahdollista paloa. Tulipalo voi aiheuttaa kaasupullojen repeytymisen tai jopa räjähtämisen. (Linde Healthcare 2023a.) Myös ilokaasu ylläpitää tulipaloa ja voi voimistaa palon syttymistäkin. Ilokaasu sekoitetaan aina annosteltaessa happeen, koska sillä on myös tukahduttava ominaisuus. Myös helium ja hiilidioksidi ovat tukahduttavia kaasuja. Tukahtuminen tapahtuu huomaamatta ja voi pahimmillaan johtaa kuolemaan. (Woikoski 2023a.)

Kaasujen turvallisuusriskit voivat olla myös käyttäjälähtöisiä. Tämän vuoksi perehtyminen käyttö- ja toimintaohjeisiin olisikin tärkeää. Erilaisia uhkatilanteita voi aiheutua mm. ohjeen mukaisesta lämpötilasta poikkeaminen, virheellisestä asennuksesta/ käsittelystä, huolimattomuudesta tai ohjeiden mukaisten suojavarusteiden käyttämättä jättämisestä. Esimerkiksi nestemäinen kaasu tai sen höyryt

voivat aiheuttaa vakavia paleltumia iholla. Myös erilaiset ympäristötekijät ja laite-
viat aiheuttavat turvallisuusriskejä mm. lumikuorma, ylipaine, värähtelyt ja tärinät,
käyttöön ylittyminen ja rikkiäiset varolaitteet. (Linde Healthcare 2023a.)

4 LAIT, MÄÄRÄYKSET, STANDARDIT JA OHJEET

Sairaalakaasujärjestelmiä ohjaavat lait, määräykset, standardit ja ohjeet päivittyvät säännöllisen epäsäännöllisesti. Tästä syystä onkin käyttäjän vastuulla varmistua niiden paikkansapitävyydestä sekä ajankohtaisuudesta. Sairaalakaasujärjestelmä koostuu painelaitetekonaisuuksista ja tästä syystä järjestelmä kuuluu painelaitelainsäädännön piiriin. Suomessa lääkkeellisen kaasun painelaitte- ja kemikaaliturvan tekniikkaa säätelee TUKES. Lääkkeellisen kaasun jakelua sekä varastointia Suomessa säätelee FIMEA. (SSTY 2020, 7.)

Taulukossa 3 on luetteloituna tällä hetkellä voimassa oleva laki, asetus, standardi tai ohje määrittely, joilla ohjataan ja valvotaan kaasujen valmistamista, varastointia ja laatutasoa sekä itse järjestelmän suunnittelua, asennusta, käyttöä ja ylläpitoa (SSTY 2020,7).

Taulukko 3. Lääkkeellisten kaasujen lait, asetukset, standardit, ohjeet (mukaillen SSTY 2020,8)

LAKI, ASETUS, STANDARDI TAI OHJE		MUUTOS	HUOMIOITAVAA
Anestesia- ja hengityskoneet. Sairaalakaasulle tarkoitetut matalapaineiset NIST- liittimet	ISO 18082:2014	A1:2017	
Anestesia- ja hengityskoneet. Yhteensopivuus hapen kanssa.	SFS-EN ISO 15001:2011		
Asetus rakennusten paloturvallisuudesta	848/2017		Ympäristöministeriö, 2017.
Compressed air Part 1: Contaminants and purity classes.	ISO 8573-1:2010		
European Pharmacopoeia	11th Edition 2024		
Kaasupullot. Turvallinen käsittely	SFS- ISO 11625		
Kaasuputkistot. Kaasun käyttöputkistot teollisuudessa, käyttöpaineen ollessa yli 0,5 bar:n sekä teollisuudessa ja muualla käyttöpaineen ollessa yli 5 bar:n. Osa 1:Yksityiskohtaiset toiminnalliset vaatimukset suunnittelulle, materiaaleille, rakentamiselle, tarkastuksille ja testaukselle	SFS-EN 15001-1:2010		
Kaasuputkistot. Kaasun käyttöputkistot teollisuudessa, käyttöpaineen ollessa yli 0,5 bar:n sekä teollisuudessa ja muualla käyttöpaineen ollessa yli 5 bar:n. Osa 2:Yksityiskohtaiset toiminnalliset vaatimukset käyttöönotolle, käytölle ja kunnossapidolle	SFS-EN 15001-2:2009		
Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös neste-kaasusetuksen soveltamisesta	344/97		
Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös palavista nesteistä	313/85		

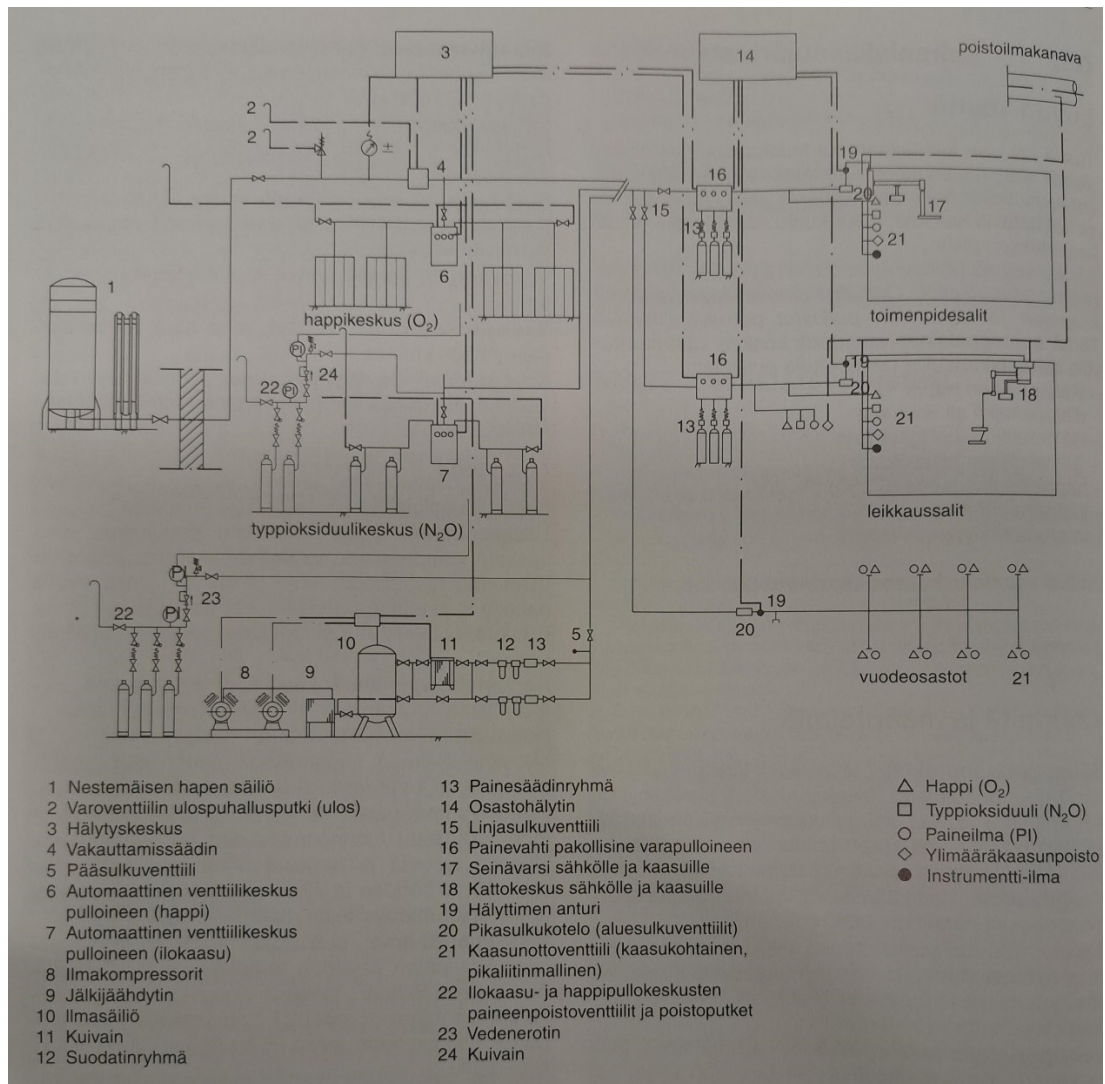
LAKI, ASETUS, STANDARDI TAI OHJE		MUUTOS	HUOMIOITAVAA
Kemikaalilaki	599/2013		Lääkeaineisiin ei sovelleta kemikaaliasetusta 675/1993
Kuljetettavat kaasusäiliöt. Täyttö- ja tyhjennyslaitokset	SFS 3341		
Kupari ja kupariseokset. Saumattomat pyöreät kupariputket sairaalakaasuille tai alipaineelle	SFS-EN 13348:2016		
Laki terveydenhuollon laitteista ja tarvikkeista	629/2010	1482/2019	
Lämmittämättömät painesäiliöt osa 1: Yleistä	SFS-EN 13445-1:2014	A2:2018	
Lämmittämättömät painesäiliöt osa 2: Materiaalit.	SFS-EN 13445-2:2014	A3:2018	
Lämmittämättömät painesäiliöt osa 3: Suunnittelu.	SFS-EN 13445-3:2014	A8:2018	
Lämmittämättömät painesäiliöt osa 4: Valmistus.	SFS-EN 13445-4:2014	A1:2016	
Lämmittämättömät painesäiliöt osa5: Tarkastus ja testaaminen.	SFS-EN 13445-5:2014	A1:2018	
Lääkealan turvallisuus- ja kehittämiskeskuksen (Fimea) määräys	6/2012: Sairaala-apteekin ja lääkikeskuksen toiminta		
Lääkelaki	395/1987	208/2019	
Lääkinnällisistä laitteista annettu neuvoston direktiivi	93/42/ETY 1993		
Medical gas pipeline systems Part A: Design, installation, validation and verification	HTM 02-01:2006		
Medical gas pipeline systems Part B: Operational management	HTM 02-01:2006		
Metalliset teollisuusputkistot	EN 13480		
Paineilma. Energiatohokkuus. Arviointi.	SFS-EN ISO 11011:2013		
Painelaitedirektiivi	2014/68/EU		Viittaus painelaitelaissa ja -sääöksissä
Painelaitelaki	869/1999	797/2017	
Particular requirements for basic safety and essential performance of oxygen concentrator equipment	SFS-EN ISO 80601-2-69:2014		
Pelastustoimilaki	561/1999		
Puhdastilat ja puhtaat alueet osa 1: Hiukkaspitoisuuden perusteella tehtävä puhtausluokitus	SFS-EN ISO 14644-1:2015		
Puhdastilat ja puhtaat alueet osa 2: Puhdastilan ilmanpuhtauden seuranta hiukkaspitoisuuden perusteella	SFS-EN ISO 14644-2:2015		
Puhdastilat ja puhtaat alueet osa 4: Suunnittelu, rakentaminen ja käynnistys	SFS-EN ISO 14644-4:2001		
Sairaalakaasujen kanssa käytettävät matalapaineiset letkustot	SFS-EN ISO 5359:2014	A1:2017	
Sairaalakaasujen kanssa käytettävät painesäätimet osa 1: Painesäätimet sekä virtausnopeusmittarilla varustetut painesäätimet	SFS-EN ISO 10524-1:2019		

LAKI, ASETUS, STANDARDI TAI OHJE		MUUTOS	HUOMIOITAVAA
Sairaalakaasujen kanssa käytettävät painesäätimet osa 2: Kokoojaputkissa ja -putkistoissa käytettävät paineensäätimet	SFS-EN ISO 10524-2:2019		
Sairaalakaasujen kanssa käytettävät painesäätimet osa 3: Pulloventtiilien paineensäätimet	SFS-EN ISO 10524-3:2019		
Sairaalakaasujen kanssa käytettävät painesäätimet osa 4: Matalapaineiset paineensäätimet	SFS-EN ISO 10524-4:2008		
Sairaalakaasujen kanssa käytettävät taipuisat korkeapaineliitännät	SFS-EN 13221:2000		
Sairaalakaasuputkistojen kaasunottoventtiilit osa 1: Paineistettujen sairaalakaasujen ja alipaineen kaasunottoventtiilit	SFS-EN ISO 9170-1:2020		
Sairaalakaasuputkistojen kaasunottoventtiilit osa 2: Anesteettipoistojärjestelmän kaasunottoventtiilit	SFS-EN ISO 9170-2:2008		
Sairaalakaasuputkistot osa 1: Paineistettujen sairaalakaasujen ja alipaineen putkistot	SFS-EN ISO 7396:1 2016	A1:2019	
Sairaalakaasuputkistot osa 2: Anestesiakaasunpoistojärjestelmät	SFS-EN ISO 7396-2:2007		
Sosiaali- ja terveysministeriön asetus haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista	538/2018		
TalotekniikkaRYL 2002 osa 1 luku G5 Kaasujärjestelmät			Suuri osa teoksessa viitatuissa laeista, asetuksista ja standardeista on kumottu.
Terveystieteiden laitteen ja tarvikkeiden riskienhallinnan soveltaminen terveydenhuollon laitteisiin ja tarvikkeisiin	SFS-EN ISO 14971:2019		
Työturvallisuuslaki	738/2002		
Vaaralliset kemikaalit. Säiliöiden merkitseminen	SFS 5491		
Valtioneuvoston asetus painelaiteturvallisuudesta	1549/2016		
Valtioneuvoston asetus painelaitteista	1548/2016		
Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta	855/2012	685/2015 ja 462/2019	
Valtioneuvoston asetus yksinkertaisista painesäiliöistä	1550/2016		
Valtioneuvoston päätös työpaikan turvamerkeistä ja niiden käytöstä	976/1994		

5 SAIRAALAKAASUJÄRJESTELMÄ

5.1 Järjestelmä

Sairaalan kaasujärjestelmä on yksi sairaalan erikoisinfrastruktuurijärjestelmä, joka toimittaa keskeytyksettä erilaisia kaasuja mm. happea, lääkkeellistä ilmaa ja ilokaasua sairaalan eri osastoille ja potilashuoneisiin määriteltyjen sääntöjen ja laatuvaatimusten mukaisesti (kuvio 7). Järjestelmä varmistaa tarvittavien kaasujen saatavuuden potilaiden hoitoa varten määritellyillä käyttöpainella. Tästä syystä sairaalakaasujärjestelmän toimintavarmuus ja jaettavan kaasun puhtaus ovatkin ehdottoman tärkeitä sairaalan arjessa. (Heikkinen & Niskala 2020.)

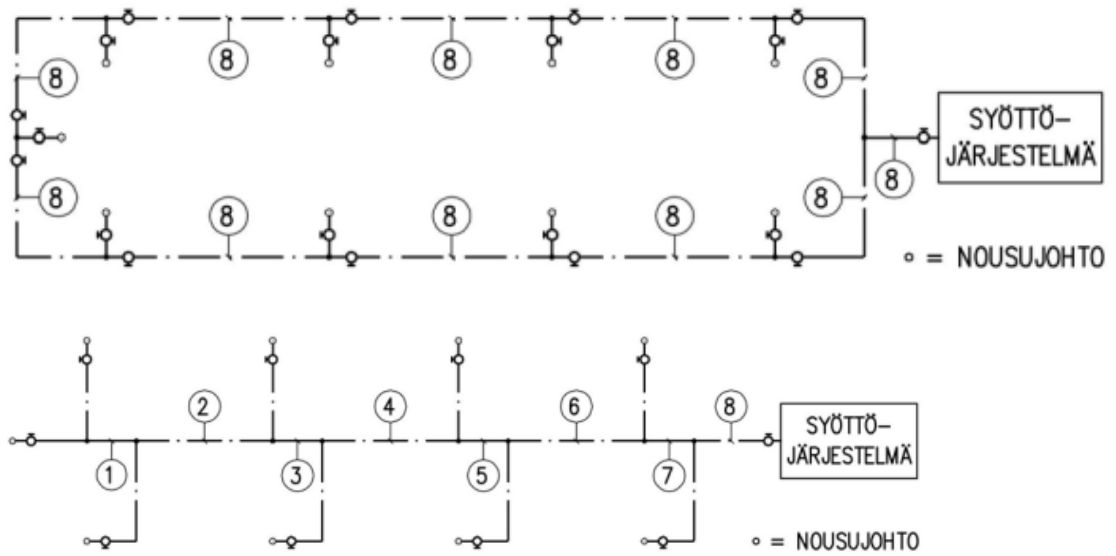


Kuvio 7. Sairaalakaasujärjestelmä laitteineen (TalotekniikkaRYL 2002, 206)

Lääkkeelliset kaasut syötetään sairaalan kaasunjakeluverkostoon syöttöjärjestelmien kautta. Syöttöjärjestelmä sisältää kaasuputkiston, venttiilit, mittarit ja muut tarvittavat laitteet, jotka mahdollistavat kaasujen turvallisen, tehokkaan ja taloudellisen toimituksen sairaalan tiloihin. Syöttöjärjestelmä muodostuu siihen kaasu syöttävästä kojeesta, pullopatterista, pulloista, nestesäiliöasemasta tai jostain edellä mainittujen yhdistelmästä. Järjestelmä suunnitellaan ja toteutetaan huolellisesti varmistaen, että kaasut ovat helposti saatavilla ja, että niiden toimitus on jatkuvaa, luotettavaa ja turvallista potilaiden hoitoa ajatellen. Sairaala kaasujen syöttöjärjestelmän tulee koostua vähintään kolmesta itsenäisestä lähteestä. Poikkeuksena on kuitenkin instrumentti-ilma, jonka syöttöön riittää kaksi itsenäistä lähdettä. (Linde Healthcare 2023c.)

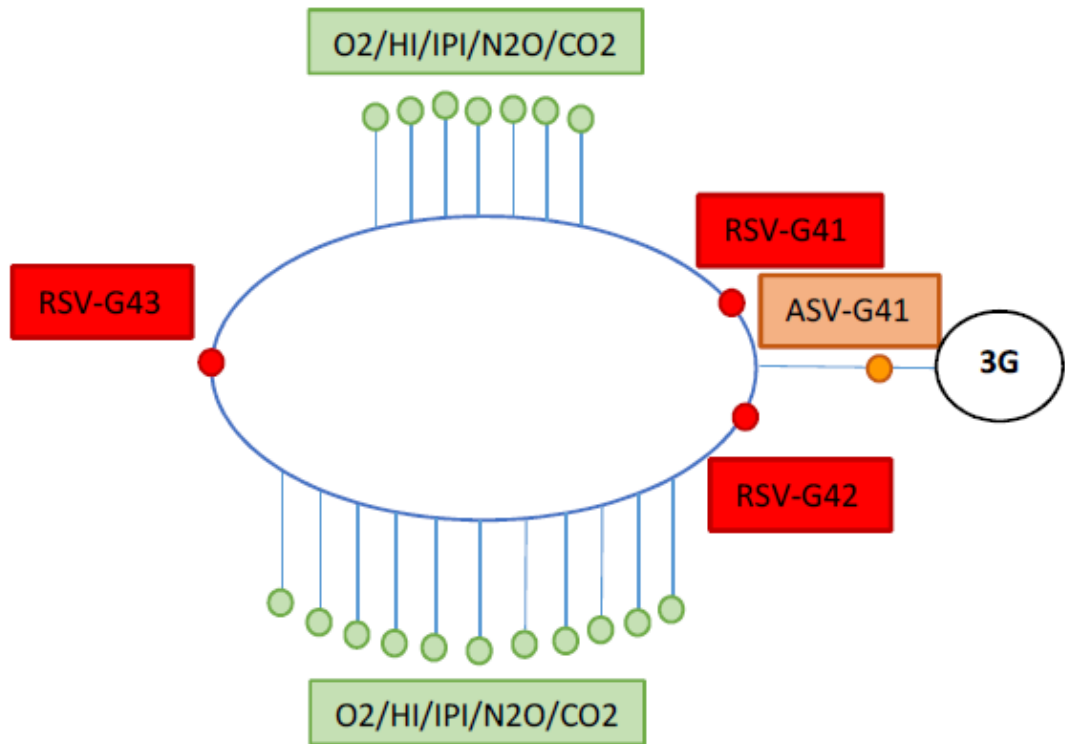
Koko kiinteistön kattavasta kaasunsyötöstä vastaa ensisijaisesti nestesäiliö ja vakauttamissäädin. Mikäli tähän ensisijaiseen syöttölähteeseen tulee toimintahäiriö, siirtyy syöttötoiminta kaasukeskus–vakauttamissäädin–yksikölle (toissijainen syöttölähde). Standardi SFS-EN ISO 7396–1 määrittelee ensisijaisen syöttölähteen sairaalakaasujärjestelmän pääsyöttölähteeksi, jonka tulee olla pysyvästi liitetty mm. nestekaasusäiliö, ilmakompressori ja kaasukeskus, johon on kytketty kaasupullot. Toissijaisen syöttölähteen edellä mainittu standardi määrittelee pysyvästi liitetyksi, joka reagoi automaattisesti ensisijaisen syöttölähteen toimintahäiriöön paikaten kaasunsyöttöä. Näitä voivat olla mm. nestekaasusäiliö, ilmakompressori ja kaasukeskus, johon on kytketty kaasupullot. Standardi SFS-EN ISO 7396–1 määrittelee varasyöttölähteen pysyvästi liitetyksi, joka on otettavissa käyttöön joko manuaalisesti tai automaattisesti paikkaamaan ensisijaisen ja toissijaisen syöttölähteen yhtä aikaista toimintahäiriötä tai huoltokatkoa. Näitä voivat olla mm. ilmakompressori, yksittäiset kaasupullot ja kaasukeskus, johon on kytketty kaasupullot. Varasyöttölähteen tulee kattaa koko toimintahäiriön tai huoltokatkon vaikutusalue sekä tarpeen vaatiessa mahdollisesti koko kaasujärjestelmä. (Linde Healthcare 2023c.)

Sairaalakaasujärjestelmä voidaan toteuttaa rengasverkkona tai suorana verkkona (kuvio 8; SSTY 2020).



Kuvio 8. Lääkkeellisen hapen pullon tunnisteväri (Woikoski 2023a)

Sairaalakaasujen vaikutusaluekartta kuvaa kaasujärjestelmän putkiston reitit ja niiden vaikutusalueet eri osastoilla ja potilashuoneissa (kuvio 9; SSTY 2020).



Kuvio 9. Esimerkki Lapin keskussairaalan osastokohtaisesta sairaalakaasuverkostokaaviosta

Kartta auttaa sairaalan henkilökuntaa ja huoltohenkilöstöä ymmärtämään, miten kaasut toimitetaan ja jaetaan eri osastoille, ja se voi myös sisältää tietoa putkiston sijainnista, venttiileistä ja suluista. Vaikutusaluekartta on tärkeä työkalu turvallisen ja tehokkaan kaasujärjestelmän hallinnassa ja ylläpidossa. (Linde Healthcare 2023b.)

5.2 Syöttölähteet

5.2.1 Nestesäiliöasemat

Nestesäiliöasema toimii lääkinnällisen hapen, lääkinnällisen typpioksiduulin ja lääketieteellisen hiilidioksidin syöttölähteenä ja kaasuvaramona. Nestesäiliöasemien (nestesäiliöt ja lauhduttimet) tulee noudattaa painelaitelainsäädäntöä, neste- ja kaasusäiliöt ovat yleensä rekisteröityjä painelaitteita. Nestesäiliöaseman tulee toimia automaattisesti kaasunkulutuksen mukaan ja siinä on oltava

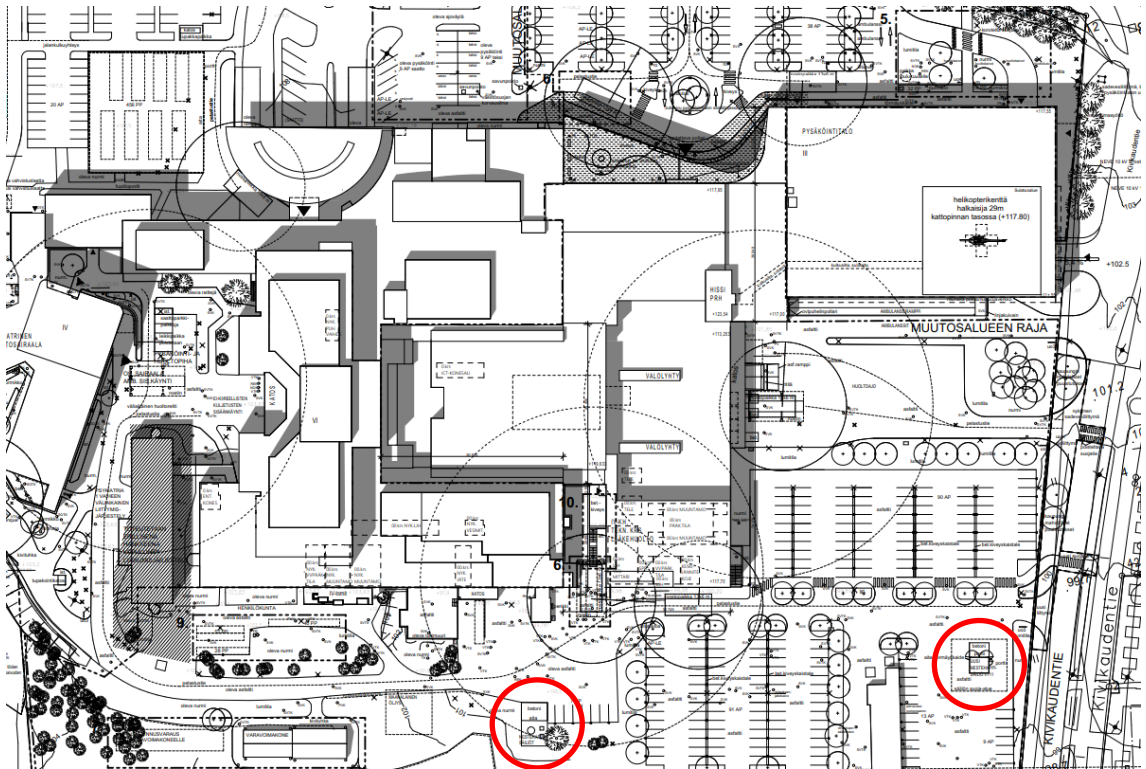
toiminnan edellyttämät laitteet, mm. paineensäätimet, nestepinnan alarajahälytys, käyttö- ja täyttöventtiilit, paine- ja määrämittarit sekä varolaitteet ja höyrystyspatteri. (TalotekniikkaRYL 2002, 211.) Kuviossa 10 on esitetty nestesäiliöasema lauhduttimineen ja laitteineen sekä varoituskyltteineen lukitulla aidatulla alueella.



Kuvio 10. Nestehappisäiliöasema

Kun vuotuinen kaasunkulutus ylittää 10 000 Nm³/a, nestesäiliöasemaa käytetään usein päälähteenä. Nestesäiliöaseman kapasiteetti mitataan sairaalan kaasunkulutuksen mukaan, joten säiliöitä täytetään yleensä 1–4 viikon välein. (Woikoski 2023a.)

Nestesäiliöasemien sijoittelu toteutetaan yleisesti avoimelle alueelle rakennuksen ulkopuolelle, kuten on huomioitu kuviossa 11. Standardin SFS 3333 mukaisesti nestesäiliöt tulee sijoittaa maahan, vähintään 5 metrin etäisyydelle avoista, maanalaisista rakenteista, kaivoista, viemärijoista tai viemäriputkien suunnista ja vähintään 5 metrin etäisyydelle julkisista kulkuväylistä. Nestesäiliöasemille tulee olla esteetön pääsy nestekaasusäiliöautoille säiliöiden täyttöä varten sekä perustus happi- ja typpioksiduulitäyttöpisteiden alle tulee tehdä betonista tai muusta palamattomasta materiaalista. Paikan, jossa varoventtiili voi purkaa kaasua, tulee olla vähintään 5 metrin päässä yleisestä alueesta. (TalotekniikkaRYL 2002, 202.)



Kuvio 11. Nestehappisäiliöiden sijoittuminen Lapin keskussairaalan alueella (Granlund 2020)

5.2.2 Kaasukeskus

Kaasukeskuksen tarkoituksena on säätää syöttävän lähteen (mm. nestesäiliö) kaasupaine käyttöverkoston paineeseen. Kaasukeskuksat ovat toiminnaltaan täysi-/ puoliautomaattisia tai manuaalisia sekä niihin voidaan ohjelmoida tarpeen mukaan raja-arvohälytyksiä esimerkiksi kaasun loppuminen. (Woikoski 2023b.)

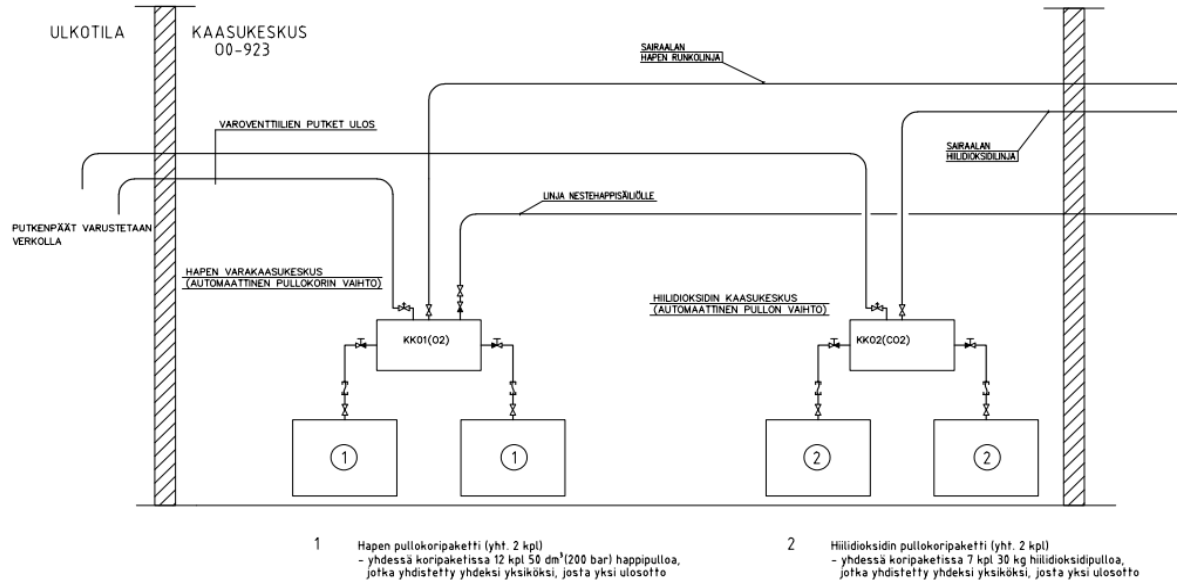
Kaasukeskukset sijoitetaan lähes poikkeuksetta erilliseen kaasukeskustilaan. Kaasukeskustilan osalta tulee huomioida eri kaasujen hapettavat ominaisuudet sekä mahdollisessa vuototilanteessa kipinän aiheuttama tulipalo-/räjähdysvaara. Tilat, jotka sisältävät ilokaasun ja hapen syöttölähteitä, toteutetaan yleensä räjähdysvaarallisia tiloja vastaaviksi sekä mm. ilmastointilaitteisto tulee olla rakenteeltaan kipinöimättömiä. (Tukes 2003, 6, 7.) Kaasukeskustila tulee sijoittaa maan tasalle ulkoseinän viereen huomioiden vähintään 10 metrin turva-alueen muista palavien nesteiden/aineiden varastoista. Kaasukeskustilan yksi seinä on heikompi ns. räjähdysvapaa seinä, jolla ohjataan mahdollisen räjähdyksen suuntaa. Kaasukeskustilaan ei ole luvallista asentaa ilma-/savukanavia, palavien kaasujen putkia, öljyputkia tai lattiakaivoja. (TalotekniikkaRYL 2002, 211–212.)

Keskitetysti kaasukeskustilaan sijoitettuja kaasukeskuksia voi olla mm. lääkkeelliselle hapelle, lääkkeelliselle hiilidioksidille, lääkkeelliselle ilmalle ja ilokaasulle. Kaasukeskukset (kuvio 12) ovat yleensä varustettu kaksipuolisella syötöllä. Poikkeuksena ovat keskusjakelujärjestelmän ulkopuoliset kaasukeskukset mm. yksittäiset hoitoyksiköt, sairaala-apteekki, varasyöttökeskukset, jotka ovat yksisyöttöisiä ja niiden mahdolliset vaihto-/huoltotyöt voidaan suorittaa katkaisemalla kaasunsyötön keskuksesta ja mahdollisesti korvata mm. hapensyöttö irrallisella pullolla. (Linde Healthcare 2023c.)



Kuvio 12. Lääkkeellisen hapen ja hiilidioksidin kaasukeskukset (GCE MC80 ja Medicop MQ50PA)

Kaasukeskusta voidaan käyttää kaikkien lääkkeellisten kaasujen syöttöjärjestelmien syöttölähteenä. Kaasukeskuksen mitoituksessa tulee huomioida, että kaasun mitoitusvirtaama on pienempi kuin keskuksen syöttökapasiteetti. Kaksipuolisen kaasukeskuksen molemmin puolin tulee olla yhtä suuret pullopatteristot/ pulot, jotka on yhdistetty putkistoon ohjauspaneelin kautta (kuvio 13). (Department of Health 2006a, 43.)

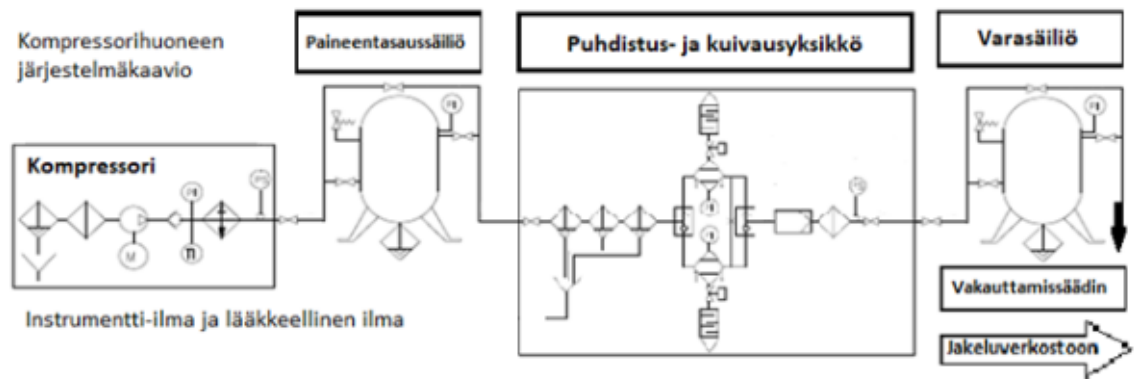


Kuvio 13. Kaasukeskuksen kytkentäkaavio (Granlund 2020)

Kaksipuolinen kaasukeskus on yleensä varusteltu automaattisella puolenvaihtajalla, jolloin automaatio tunnistaa kaasun paineen alarajan ja näin ollen vaihtaa syötön toisen puolen patteristoon/ pulloon sekä indikoi hälytyksen paineen laskusta rakennusautomaatiojärjestelmään. Kyseinen kaasukeskus voi kaksipuolisen syötön vuoksi olla kaasunjakelujärjestelmän ensi- ja toissijainen syöttölähde. Kaasukeskuksen vaihtosäädin on sähkötoiminen, jonka vuoksi järjestelmä tulee liittää sairaalan varavoimaverkkoon katkeamattoman kaasunsyötön takaamiseksi. (Department of Health 2006a, 39–40.)

5.2.3 Ilmakompressorijärjestelmät

Lääkkeellisen hengitysilman ja instrumentti-ilman tuotantoon sairaalaympäristössä käytetään öljytöntä ilmakompressorijärjestelmää, joka koostuu yleisesti kompressoreista, puhdistusyksiköistä, ohjauslaitteista sekä paineentasaus- ja varastosäiliöistä (kuvio 14). Järjestelmässä on yleensä 2–3 kompressoriyksikköä ja 1–2 pullokeskus. (SSTY 2020, 17.)



Kuvio 14. Kompressorihuoneen järjestelmäkaavio (Heikkinen & Niskala 2020)

Ilmakompressorit ovat yleensä automatisoituja, joihin on asetettu tavoitellut verkostopaineen määrittelemät raja-arvot. Tällä tavoin pyritään varmistamaan, että verkostossa säilyy jatkuvasti riittävä painetaso. Kompressoreiden käyntiä tasataan paineentasaussäiliöllä. Ilmakompressoreja ajetaan automatiikalla vuorokäynnillä mm. käyntiaikojen perusteella, jolloin varmistetaan toimintavalmius sekä tasataan kompressoreiden kuormitusta. Vuorokäyntiperiaatteen myötä myös määräaikaishuollot voidaan aikatauluttaa josta kuitenkin samaan aikaan. Lääkkeellisen ilman ja instrumentti-ilman ensi- ja toissijainen syöttö sekä varasyöttö ovatkin vuorokäytön vuoksi lähinnä nimellisiä. (SSTY 2020, 18.)

Euroopan farmakopea ja standardi SFS-EN ISO 7396-1 ovat asettaneet laatu-määräykset sairaalaympäristön ilmakompressorijärjestelmällä tuotetulle lääkkeelliselle ilmalle ja instrumentti-ilmalle (Taulukko 4; SSTY 2020, 18).

Taulukko 4. Kompressorijärjestelmällä tuotetun lääkkeellisen ilman ja instrumentti-ilman laatuvaatimukset (SSTY 2020, 18)

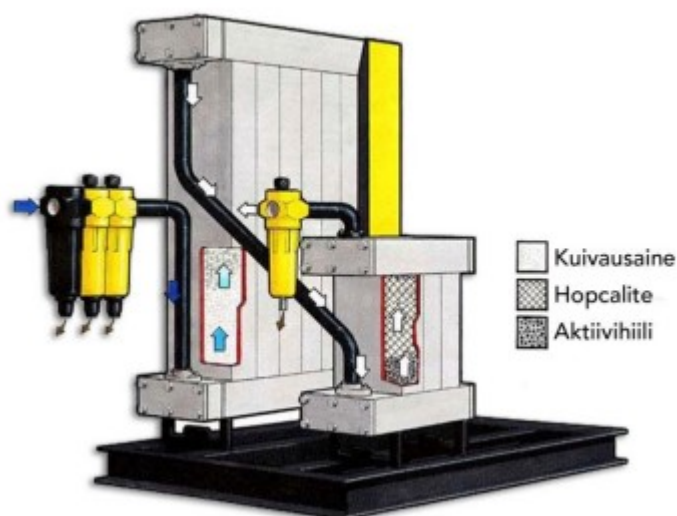
Epäpuhtaus	Lääkkeellinen ilma	Instrumentti-ilma
Kiinteät hiukkaset ⁽¹⁾	ISO 8573-1:2010, lk 1 ^(SFS)	ISO 8573-1:2010, lk 1 ^(SFS)
Vesihöyry	≤ 67 ppm ^(Eur.Ph.) (ADP -46 °C / PDP -31 °C)	≤ 67 ppm ^(SFS) (ADP -46 °C / PDP -27 °C)
Öljy ⁽²⁾	$\leq 0,1$ mg/m ³ ^(Eur.Ph.)	$\leq 0,1$ mg/m ³ ^(SFS)
Hiilimonoksidi CO	≤ 5 ppm ^(Eur.Ph.)	-
Hiilidioksidi CO ₂	≤ 500 ppm ^(Eur.Ph.)	-
Typen oksidit NO + NO ₂	≤ 2 ppm ^(Eur.Ph.)	-
Rikkidioksidi SO ₂	≤ 1 ppm ^(Eur.Ph.)	-

1. Standardin SFS-EN ISO 7396-1 kohdassa 5.5.2.2. viitataan kumotun ISO 8573-1:2001 standardin luokkaan 2. Kumotun standardin luokka 2 saavutetaan vaatimalla voimassaolevan standardin ISO 8573-1:2010 luokka 1.

2. Kokonaisöljypitoisuus mitattuna ilmanpaineessa, öljyä voi esiintyä nesteinä, aerosolina ja höyrynä (SFS-EN ISO 7396-1:2007).

Eur.Ph. = Euroopan farmakopean vaatimus
SFS = Standardin SFS-EN ISO 7396-1 vaatimus
ADP = Atmosfäärinen kastepiste (atmospheric dewpoint)
PDP = Paineenalainen kastepiste nimellisjakelupaineella (pressure dewpoint)

Lääkkeelliselle ilmalle asetettujen laatuvaatimuksien täyttämiseksi ilmakompressorijärjestelmä on varusteltava puhdistusyksiköllä (kuvio 15) sekä järjestelmä tulee varustaa jatkuvalla kastepistemittauksella, jolla ohjataan puhdistusyksikön adsorptiokuivainta (SSTY 2020, 19).



Kuvio 15. Lääkkeellisen ilman puhdistusyksikkö (Sarlin Oy Ab 2013)

Puhdistusyksikön laitteet/ osat toimintoinen esitetään taulukossa 5.

Taulukko 5. Lääkkeellisen ilman tehdasvalmisteisen puhdistusyksikön laitteet (SSTY 2020, 19)

LAITE	TOIMINTA
VEDENEROTIN	poistaa nestemäisen veden
HIENOSUODATIN	poistaa hiukkaset ja öljysumun
AKTIIVIHIIILISUODATIN	poistaa hajut ja öljyhöyryn
ADSORPTIOKUIVAIN	poistaa lopun jäljellä olevan veden ja alentaa CO ₂ :n tasoa
AKTIIVIHIIILI-/ KATALYTTIPUHDISTIN	poistaa kaasumaiset epäpuhtaudet ja muuttaa hiilimonoksidin (CO) hapettamalla hiilidioksidiksi (CO ₂)
/PÖLYSUODATIN	poistaa adsorptiokuivaimesta ja aktiivihiiili-/katalyttipuhdistimesta mahdollisesti irronneet pienet hiukkaset

5.3 Kaasunjakelulaitteet

5.3.1 Vakauttamissäädin

Vakauttamissäädin (kuvio 16) säättää/hallitsee kaasuverkoston syöttöpainetta ja näin ollen tasapainottaa paine-eroja nestesäiliön ja kaasukeskuksen välillä. Säätimen avulla sairaalakaasuverkostoon säädetään haluttu syöttöarvo, jota painesäädin ylläpitää. (Linde Healthcare Oy 2023b.)



Kuvio 16. Vakauttamissäädin SQ- yksikkö (Linde Healthcare Oy 2023c)

Vakauttamissäätimen erilliset huoltosulkuventtiilit tulo- ja menopuolella sekä toisistaan riippumattomat painesäätimet mahdollistavat painesäätimen irrotuksen ja huollon keskeyttämättä kaasunjakelua. Yksittäisen säätöpiirin sulkeminen ei saa aiheuttaa poikkeamaa käyttöön jäävän säätöpiirin paineensäätimen toimintaan. Säätöpiireillä tulee olla omat varoventtiilit ja säätimillä yhteinen putkistopaineen ala- ja ylärajahälytykset, joiden hälytysalue on 0...16 bar. Jotta vakauttamissäätimeltä saadaan hälytykset ja paineen valvonnan arvot kiinteistöhallintajärjestelmään, tulee vakauttamissäädin kytkeä optisesti hälyttävään hälytys- ja paineenvalvontayksikköön. (TalotekniikkaRYL 2002, 213.)

5.3.2 Sulku- ja yksisuuntaventtiili

Sulkuventtiilillä säädellään virtausta putkistoissa tai putkijärjestelmissä. Venttiili koostuu venttiilirungosta ja liikkuvasta osasta, jota voidaan kääntää tai liikuttaa sulkeakseen tai avatakseensa virtauksen putkessa. Sairaalakaasuputkistoissa venttiilien tulee täyttää standardin SFS-EN ISO 15001-1:2023 puhtausvaatimukset sekä ne on tarpeen vaatiessa pystyttävä lukitsemaan auki- tai kiinniasentoon havaittavasti (kuvio 17) standardin SFS-EN ISO 7396-1:2007 mukaisesti. (SSTY 2020, 28.)



Kuvio 17. Kaasunjakeluverkoston pääkeskuksen sulkuventtiilit

Sairaalakaasuverkostossa käytetään pääsääntöisesti vain sulkua- tai yksisuunta-venttiilejä, jotta voidaan estää kaasun takaisinvirtaus putkistoon (Kuvio 18; SSTY 2020, 28).



Kuvio 18. Pallosulkuventtiilit ja putkiston liitosyhdde (Linde Healthcare Oy 2023c)

Taulukossa 6 on esitetty sairaalakaasuverkostossa käytettävien sulkuventtiilien tekniset tiedot.

Taulukko 6. Pallosulkuventtiilin tekniset tiedot (Linde Healthcare Oy 2023c)

TEKNISET TIEDOT	
VENTTIILIPESÄN MATERIAALI	Nikkelöity messinki
KUULAN MATERIAALI	Nikkelöity messinki
SUURIN TYÖPAIN	Nikkelöity messinki
VUOTOTIIVIYS	33 bar
PAINELUOKKA	50 bar saakka
VAATIMUSTENMUKAISUUSVAKUUTUS	PN40
LUOKITUS	Läkelaitedirektiivin 93/42/ETY mukainen
	Standardi EN ISO 7396-1 mukainen
CE- MERKINTÄ	CE0434

5.3.3 Painevahti

Painevahti (kuvio 19) valvoo ja säätää hälytyspainemittarin tai painelähtetimen avulla kaasujärjestelmän paineita. Se havaitsee paineen muutoksia ja reagoi niihin esimerkiksi säätämällä venttiileitä tai indikoimalla hälytyksen, mikäli paine poikkeaa enemmän kuin ± 20 % nimellisjakelupaineesta. (Linde Healthcare 2023c.)



Kuvio 19. Painevahti ES AO0 Medicop CCB- yksikkö (Linde Healthcare 2023b)

Painevahti voi toimia myös osastokohtaisena vara- tai hätäsyöttöjärjestelmänä. Kaasukeskuksen mahdollisen toimintahäiriön aikana painevahdin varasyöttöputkistoon voidaan asentaa väliaikaisesti kaasupullo(t). Painevahdin ohjaussäädin, jota kutsutaan orjaventtiilitoiminnaksi, toimii osana kaasunjakelujärjestelmän turvatoimintaa. Toiminta varmistaa, että ilokaasun paine ei ylitä hapen painetta estämällä ilokaasun virtauksen, mikäli hapen syötössä esiintyy häiriöitä. Ilokaasun paine pysyy max. 80 % hapen paineesta. Turvatoimintaa hyödynnetään mm. leikkaus- ja synnytyssaleissa, joista hälytys voidaan ohjata esimerkiksi rakennusautomaatiovalvonnan lisäksi osaston kansliaan tai muuhun keskeiseen tilaan. (Linde Healthcare Oy 2023c.)

5.3.4 Kaasunottopisteet

Lääkkeelliset kaasut kuten esimerkiksi happi, ilokaasu ja lääkkeellinen hengitys-ilma syötetään sairaalassa käyttäjille seinään tai kattokeskukseen sijoitetuista kaasunottoventtiileistä (kuvio 20; Linde Healthcare 2023c).



Kuvio 20. Kaasunotto pisteet (Linde Healthcare Oy 2023c)

Venttiilien kaasukohtainen yksilöllinen rakenne, joka on määritelty standardissa SFS-EN ISO 9170-1, estää eri kaasujen letkujen yhdistämisen väärään kaasunottoventtiiliin. Kaasunottoventtiili myös sulkeutuu automaattisesti letkun tai laitteen irrotessa venttiilistä, jolloin kaasun virtaus estetään potilas-/hoitotiloissa. (Linde Healthcare Oy 2023b.) Kaasupisteet asennetaan talotekniikan RYL:in määrittelyn mukaisesti vasemmalta oikealle happi, ilokaasu, hengitysilma, anestesia- tai ylimääräkaasun poisto, instrumentti- ilma ja hiilidioksidi. Asennusjärjestys on vastaava myös ylhäältä alaspäin asennettuna (kuvio 21). Kaasunotto pisteet asennetaan vähintään 200 mm etäisyydellä toisistaan. On myös huomiotava, että lähimpään sähkökojeeseen/ -pisteeseen etäisyyttä on vastaavasti vähintään 200 mm. (TalotekniikkaRYL 2002, 214.)

KAASUPISTEIDEN ASENNUSJÄRJESTYS KAASULAJEITTAIN:

(VASEMMALTA OIKEALLE, YLHÄÄLTÄ ALAS)



= HAPEN (O₂) ULOSOTTOVENTTIILI

= ILOKAASUN, ELI TYPPIOKSIDUULIN (N₂O) ULOSOTTOVENTTIILI

= HENGITYSPAINELMAN (HI) ULOSOTTOVENTTIILI

= ANESTESIA- (AKP) TAI YLIMÄÄRÄKAASUN (YKP) POISTOVENTTIILI

= INSTR. (IPI) TAI TEKNISEN PAINELMAN (TPI) ULOSOTTOVENTTIILI

= HIILIDIOKSIDIN (CO₂) ULOSOTTOVENTTIILI

Kuvio 21. Kaasunotto pisteiden asennusjärjestys (Granlund 2020)

5.3.5 Pikasulkukotelo

Pikasulkukotelon (kuvio 22) avulla valvotaan lääkkeellisen kaasunpainetta jatkuvasti sekä sillä voidaan katkaista kaasunjakelu nopeasti tietystä kaasunjakelujärjestelmän osasta mm. hätätilanteissa vaikuttamatta sairaalan muuhun kaasunjakeluun (Linde Healthcare 2023b).



Kuvio 22. CCB-yksikkö-pikasulkukotelo ja ASV- pikasulkukotelo (Linde Healthcare 2023c)

Pikasulkukoteloiden valvonta voidaan liittää rakennusautomaatiojärjestelmään sekä mahdollisiin tilakohtaisiin operointinäyttöille. Pikasulkukoteloon voidaan kytkeä myös tila-/osastokohtainen kaasujen vara-/hätäsyöttö, mikäli varsinaiseen kaasunjakelujärjestelmään tulee häiriötila ja kaasunjakelu katkeaa. (Linde Healthcare 2023b.)

Pikasulkukoteloissa yhdistyy useita erilaisia toimintoja. Koteloiden kaasukohtaiset sulkuventtiilit toimivat aluesulkuventtiileinä. Kaasukohtaisten painemittareiden ja painekeytkimien avulla valvotaan syötettävän kaasun painetta ja mahdollisia häiriötiloja. Näiden lisäksi pikasulkukoteloista löytyy kaasukohtaiset varasyötöpisteet, jotka mahdollistavat hätä-/huoltokaasunjakelun kotelon vaikutusalueelle (kuvio 23). (SSTY 2020, 27.)



Kuvio 23. Sairaalakaasujen ja sulkujen vaikutusaluemalli (Granlund 2020)

5.4 Jakeluputkisto

Sairaalakaasuputkistot (kuvio 24) rakennetaan tehdasvalmisteisesta Medical-kuparista, jonka tulee täyttää standardin SFS-EN 13348 määrittelemät puhtausluokituksen ja materiaalin vaatimukset. Myös putkiston osien mm. T- kappaleet, kulmat, muhvit, jotka joutuvat kosketukseen kaasun kanssa tulee täyttää standardin SFS-EN 13348 mukaiset vaatimukset. Kaasujärjestelmän laitteiden, jotka joutuvat kosketukseen kaasun kanssa tulee täyttää standardin SFS-EN ISO 15001 puhtausvaatimukset. (SSTY 2020, 30.)



Kuvio 24. Lääkkeellisten kaasujen syöttöputkistot

Sairaalakaasujärjestelmän jakeluputkisto sisältää putkiston varusteineen sekä kaikki laitteet ja instrumentit keskussäädinyksikön matalapaineventtiilin ja kaasunotto pisteen sulkuventtiilin väliltä (kuvio 25; SSTY 2020, 30).



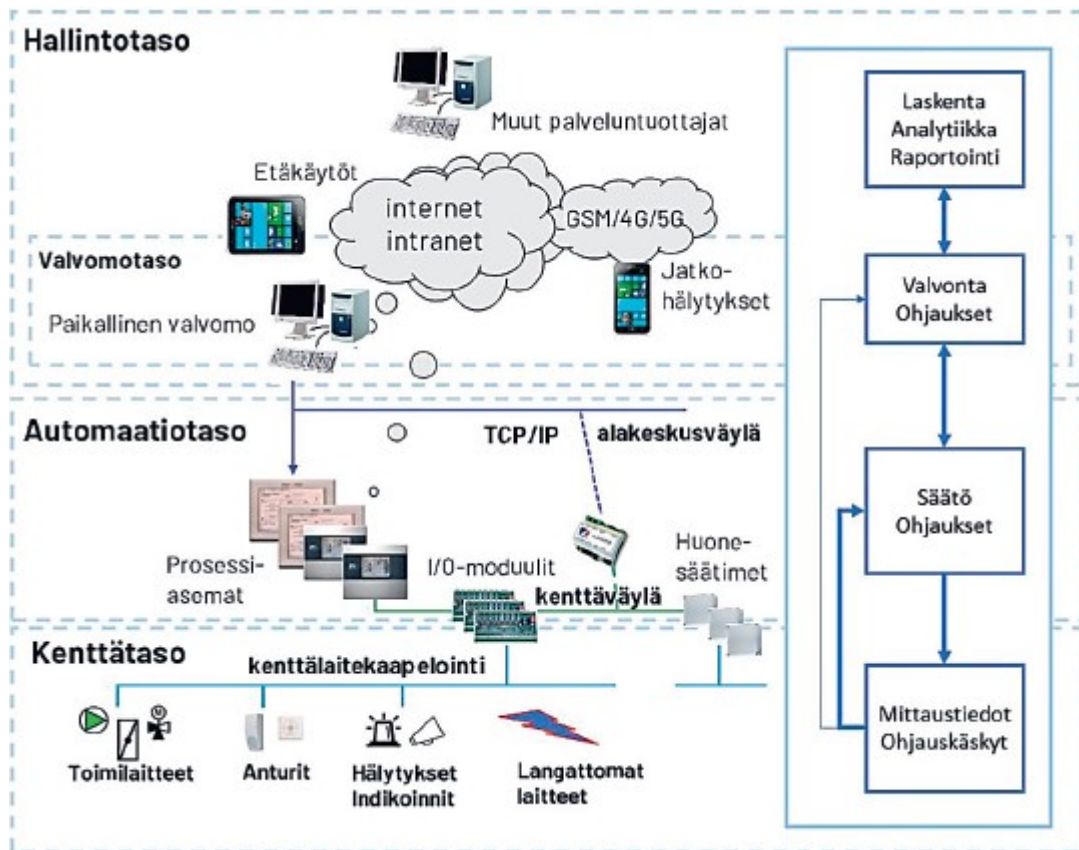
Kuva 25. Sairaalakaasujärjestelmän laitteistoa

Itse putkisto voidaan jakaa runkoputkistoon ja haaraputkistoihin, joissa sijaitsevat venttiilit ja turvalaitteet (SSTY 2020, 30).

5.5 Kiinteistöautomaatio

Kiinteistöautomaatiojärjestelmä on älykäs järjestelmä, joka hallitsee ja valvoo kiinteistön eri järjestelmiä, kuten lämmitystä, ilmastointia, valaistusta, turvajärjestelmiä ja energianhallintaa. Sen avulla voidaan optimoida kiinteistön toimintaa, parantaa energiatehokkuutta ja käyttäjämukavuutta sekä helpottaa hallintaa ja ylläpitoa. Järjestelmä voi koostua erilaisista antureista, säätölaitteista, ohjelmis-

toista ja tietoliikennetarkkaisuista. Kiinteistöautomaatiojärjestelmä koostuu pääosin kolmesta tasosta valvomo-/hallintotaso, automaatiotaso ja kenttätaso (kuvio 26). (ST-käsikirja 22 2023, 7.)



Kuvio 26. Kiinteistöautomaatiojärjestelmän hierarkia (ST-käsikirja 22, 7)

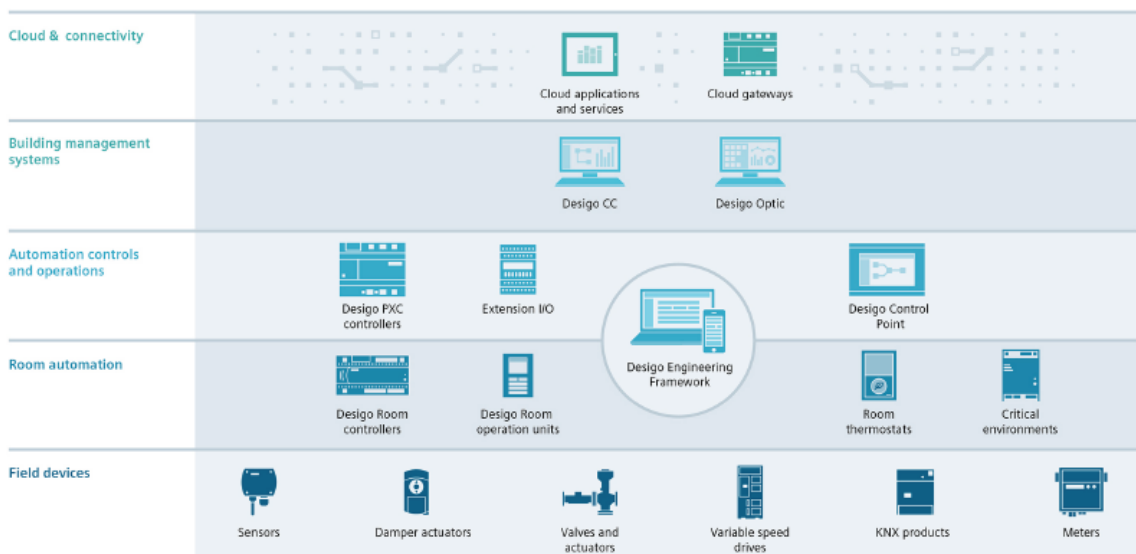
Valvomo-/hallintotaso toimii käyttäjärajapintana järjestelmään päin sisältäen paikallis- ja etävalvomot. Valvomo-/hallintotasolla käyttäjä saa tiedot mahdollisista hälytyksistä ja Kiinteistöautomaatiojärjestelmän laajuudesta riippuen käyttäjällä on mahdollista tarkastella prosesseja grafiikan avulla sekä tehdä tarvittaessa muutoksia mm. lämpötilojen asetusarvoihin ja aikaohjelmiin. Valvomo-/hallintotasolle voivat kuulua myös erilaiset raportointiin ja kunnossapitoon liittyvät lisäohjelmat. Valvomo-/hallintotason kommunikaatio perustuu yleensä paikallisesti Ethernet-väylään sekä etävalvonnassa hyödynnetään laajakaistatekniikkaan pohjautuvia internetyhteyksiä. LAN- ja internetyhteydet pohjautuvat TCP-IP-protokollaan, joka tarjoaa nopean ja luotettavan yhteyden. Avoimilla tiedonsiirtotarkkaisuilla tuodaan joustavuutta etähallintaan, mutta samalla mahdollistetaan tietynlaisia tietoturvaasteita. (ST-käsikirja 17 2018, 59.)

Automaatiotasolla sijaitsevat itsenäiset alakeskukset I/O-moduuleineen. Alakeskusten sisältämät ohjelmat ohjaavat kenttälaitteiden välityksellä prosesseja. Automaatiotason kommunikaatio perustuu usein ennalta määritelyihin protokolliin ja standardoituun viestintäformaattiin, jotka mahdollistavat laitteiden välisen tiedonsiirron ja ohjauksen kiinteistöautomaatiossa mm. Profibus, LonWorks, KNX, BACnet, M-Bus, Modbus, Modbus RTU. Lisäksi langattomassa ympäristössä esim. IoT (Internet of Things) -laitteet voivat kommunikoida keskenään eri langattomien protokollien kuten WiFi, Bluetooth tai Zigbee avulla. (ST-käsikirja 17 2018, 60).

Kenttätaso on automaatiojärjestelmän alin taso, joka käsittää itse prosessin tai laitteen hallinnan ja ohjauksen. Kenttätason laitteita ovat mm. anturit, moottorit, venttiilit ja muut laitteet, jotka keräävät tietoa ympäristöstä ja suorittavat toimintoja prosessin mukaisesti. Kenttätason kommunikaatio tarkoittaa näiden laitteiden keskinäistä viestintää ja tiedonsiirtoa ohjauksen ja valvonnan mahdollistamiseksi. (ST-käsikirja 17 2018, 61).

Lapin keskussairaalan kiinteistöautomaatiojärjestelmänä on Siemensin Desigo CC (kuvio 27), joka on integroitu avoin, joustava ja modulaarinen kiinteistönhallinta-alusta (Siemens 2023).

Desigo building automation system

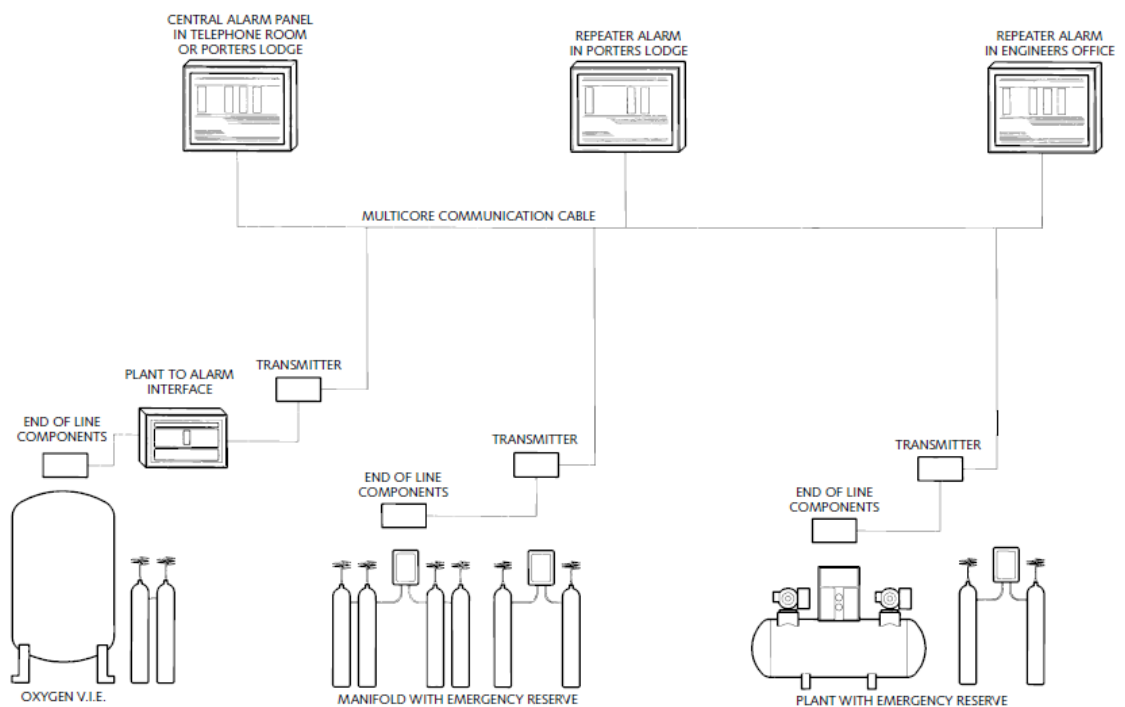


Kuvio 27. Siemens Desigo -kiinteistöautomaatiojärjestelmän tasot (Siemens 2023)

Desigo CC integroi ja yhdistää erilaisia järjestelmiä ja laitteita avoimien standardien ja rajapintojen kautta. Järjestelmää voidaan tarpeen mukaisesti laajentaa ja sillä voidaan helposti ohjata erilaisia toimintoja rakennuksessa/ kiinteistössä myös etävalvonnalla. (Siemens 2023.)

5.6 Ohjaus, seuranta ja hälytys

Sairaalakaasujen ohjausjärjestelmien tarkoituksena on ohjata syöttöjärjestelmän laitteiden esimerkiksi kompressoreiden ja kuivaimien toimintaa pääsääntöisesti erilaisten antureiden avulla. Ohjausjärjestelmien toiminta tulee suunnitella standardi SFS-EN ISO 7396-1 mukaisesti niin, ettei syöttöjärjestelmän laitteiden huolto aiheuta kaasunsyöttökatoja. Ohjausjärjestelmät liitetään seurantaan varten tilakohtaisten operointipaneelien lisäksi sairaalan kiinteistöautomaatiovalvontaan (kuvio 28). (SSTY 2020, 23.)



Kuvio 28. Hälytysjärjestelmä- kaaviomalli (Department of Health 2006a, 97)

Standardi SFS–EN ISO 7396–1 määrittelemät syöttöjärjestelmien seuranta- ja hälytysjärjestelmät on esitetty taulukossa 7.

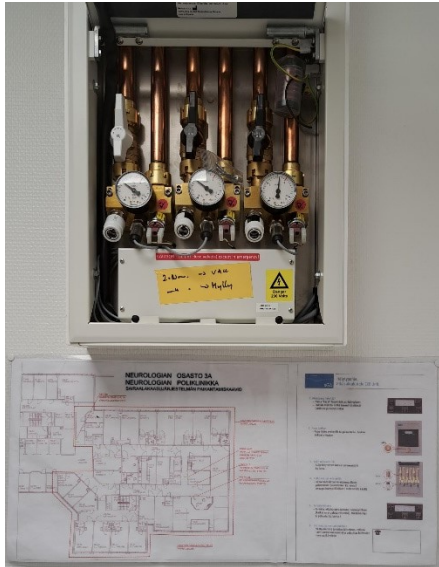
Taulukko 7. Sairaalakaasujärjestelmän toiminta- ja hälytystaulukko (SFS–EN ISO 7396–1:2007,6)

HÄLYTYS	VAKA- VUUS	KOHDERYHMÄ	TARKOITUS	Selite	HÄLYTYS- SIGNAALI (IEC 60601-1-8 mukai- nen)
TOIMINTA- HÄLYTYS	Kriitti- nen	Tekninen hen- kilökunta	Yhden tai useamman syöttölähteen toi- minta estynyt.	Syöttölähteen toimintahäi- riö tai syöttölähteen vaihto- tarve muun kuin nesteta- son/ paineen ala- rajan ali- tuksen vuoksi.	Vähin- tään opti- nen
				Syöttölähteen nestetaso/ paine alle ala- rajan.	
				Tuotetun kaasun laatutaso ei täyty (mm. kosteuspitoi- suus).	
HÄTÄHÄLY- TYS	Kriitti- nen	Tekninen hen- kilökunta	Epänormaali paine putkistossa	Putkistopaine poikkeaa >±20 % nimellispaineesta (myötävirtaan pääventtiilistä).	Optinen ja akusti- nen
KLIININEN HÄLYTYS		Tekninen ja klii- ninen henkilö- kunta	Epänormaali paine putkistossa	Putkistopaine poikkeaa >±20 % nimellispaineesta (myötävirtaan aluesulku- venttiilistä).	Optinen ja akusti- nen
INFO	Ei toi- menpi- teitä		Normaalitila		Optinen

Hälytyshierarkiassa hälytykset indikoivat ensimmäisenä kaasunjakelulaitteissa tai niiden yhteydessä oleviin hälytyspaneeliin, jonka jälkeen tieto välittyy kiinteistöautomaatiojärjestelmään. Sairaalakaasujen seuranta- ja hälytysjärjestelmien sähkönsyöttö on varmistettava varasähköjärjestelmällä. (SSTY 2020, 23.)

Sairaalakaasujärjestelmän painemittareiden ja -lähettimien tulee indikoida jake-
lupaine kaasulajeittain. Paineanturin sijoituksessa on huomioitava, ettei sitä eris-
tetä esimerkiksi sulkuventtiilillä. Kaasukeskuksilta välittyvä tieto mm. verkostopai-
neesta tai syötön puolen vaihdosta kiinteistöautomaatiojärjestelmään, joka hälyt-
tää akustisesti sekä valolla liiallisesta paineen muutoksesta. (SSTY 2020, 28.)

Myös painevahti ja pikasulkukotelo indikoivat kaasukohtaisesti paineen muutok-
sista kiinteistöautomaatiojärjestelmään sekä optisesti ja akustisesti hälyttävään
hälytysyksikköön. Painevahdin sekä pikasulkukotelon läheisyyteen tulee sijoittaa
myös kyseisen painevahdin/pikasulkukotelon vaikutusaluekartta (kuvio 29).
(Linde Healthcare Oy 2023c.)



Kuvio 29. Painevahti vaikutusaluekartalla ja hälytysohjeella

Myös lääkkeellisten kaasujen syöttölähteiden ympäristön lämpötiloja valvotaan. Painevahdin ja pikasulkukotelon lukon magneettikytkin havaitsee kotelon väkisin avaamisen. Kaasuputkiston sulkuventtiilin auki/kiinni-tilaa voidaan valvoa sulkuventtiilin magneettikytkimen avulla. Mahdollinen potentiaalivirhe ilmenee ääni-merkkivaroituksella ja punaisilla LED-valoilla. (Linde Healthcare Oy 2023c.)

6 SAIRAALAKAASUJÄRJESTELMÄN HUOLTO JA YLLÄPITO

6.1 Tehtävät ja vastuut

Standardin SFS–EN ISO 7396–1 liitteessä G ohjeistetaan sairaalakaasujärjestelmän toiminnanohjauksen vastuunjaosta ja käytännöistä mm. velvoitteista, menettelytavoista, koulutuksista, huollosta ja ylläpidosta sekä riskien hallinnasta. käyttö- ja huoltotoimintoja suorittavien henkilöiden vaadittavat pätevyydet, riittävän ammattitaidon ja mahdolliset erityisluvut (mm. sähkötyöt). Erityisen huomiotavaa on, että rekisteröidyn painelaitteen nimetyllä käytönvalvojalla on riittävä koulutus ja pätevyys/asiantuntemus tehtävän hoitamiseen. (SSTY 2020, 45.)

Kaikki ylläpito- ja huoltotoiminnot dokumentoidaan joko käytössä olevaan huoltojärjestelmään tai erilliseen määriteltyyn huoltopäiväkirjaan. Asiakirjoihin tulisi merkitä käyttö- ja huoltotoimenpiteiden päivämäärä, sijainti ja mahdolliset huomautukset sekä suoritettu toimenpide ja sen suorittaja. Hyvällä dokumentoinnilla varmistetaan, että järjestelmän/laitteen huoltohistoria voidaan jäljittää. Hyvä ja kattava dokumentointi pitää sisällään myös sertifikaatit, menetelmäkuvaukset ja -viittaukset ja seuraavan suunnitellun ylläpito- tai huoltotoimenpiteen ajankohdan. (SSTY 2020, 45.)

6.2 Nestesäiliöasema

Nestesäiliöaseman painesäiliö on yleisesti painelaitteita koskevien säädöksen mukaisesti rekisteröitävä paineastia (>3000 bar×L), jonka ylläpito- ja huoltotoimintoja määrittelee kauppa- ja teollisuusministeriön (KTM) päätös painelaiteturvallisudesta 953/1999 § 9–15. Tukesin hyväksymän tarkastuslaitoksen tulee painesäiliön omistajan/ haltijan tilaamana suorittaa neljän vuoden välein säiliön määräaikaistarkastus, jonka yhteydessä tarkastetaan myös painesäiliöön liittyvä putkisto KTM:n päätöksen 953/1999 § 10 reunaehtojen mukaisesti. Painesäiliö on huollettava painelaitelaki 869/1993 § 3 mukaisesti niin, ettei niiden käyttö vaaranna kenenkään omaisuutta, terveyttä tai turvallisuutta. Lisäksi nestesäiliöaseman käyttäjällä tulee olla ajantasaiset käyttöohjeet ja huolto- ohjelma sisällyttäen myös valmistajan laatimat huolto- ja kunnossapito-ohjeet. (SSTY 2020, 45.)

Taulukossa 8 esitetään nestesäiliöasemalle suoritettavat säännölliset tarkastukset ja toimenpiteet.

Taulukko 8. Säiliöaseman tarkastukset (SSTY 2020, 45)

SÄILIÖASEMAN SÄÄNNÖLLINEN TARKASTUS	
TARKASTUSKOHDDE	TOIMINTO
SÄILIÖPAINEN JA MÄÄRÄMITTARI	Tarkastus
VENTTIILIT, PUTKISTOT, HÖYRYSTIMET	Tarkastus, tarvittaessa lumen ja jään poisto
	Höyry- ja hätäventtiileille esteetön pääsy
	Mahdollisten venttiili- ja putkistovuotojen tarkastus ja korjaus
VAROVENTTIILIT	Koestus laite- ja järjestelmätoimittajan ohjeen mukaisesti
NESTESÄILIÖALUE	Lukittu, avoin ja siisti; tarvittaessa aluskasvillisuuden poisto
HÄLYTYKSET	Seuranta kiinteistöautomaatiojärjestelmästä
MUUT VUOSITTAIN TEHTÄVÄT TARKASTUKSET	Merkintöjen tarkastus vuosittain
	Ulkovaipan suojamaalauksen/ pintakäsittelyn tarkastus (huomioidaan lämmöneristys)
	Paikallismittarien tarkastus (näyttämä ja raja- arvot)
	Käyttöiän arviointi (NDT- menetelmä)

6.3 Kaasukeskus

Kaasukeskukseen liittyvä putkisto tarkastetaan KTM:n päätöksen 953/1999 § 10 reunaehtojen mukaisesti. Lisäksi nestesäiliöaseman käyttäjällä tulee olla ajantasaaiset käyttöohjeet ja huolto-ohjelma sisällyttäen myös valmistajan laatimat huolto- ja kunnossapito-ohjeet. (SSTY 2020, 47.)

Taulukossa 9 esitetään kaasukeskukselle suoritettavat säännölliset tarkastukset ja toimenpiteet.

Taulukko 9. Kaasukeskuksen tarkastukset (SSTY 2020, 47)

KAASUKESKUKSEN SÄÄNNÖLLINEN TARKASTUS	
TARKASTUSKOHDDE	TOIMINTO
KULUTUS	Seuranta (tiedon hyödyntäminen järjestelmän uusinnassa tai poikkeamien havainnointi)
MAHDOLLISET VUODOT	Tarkastus
PAINETASOT	Tarkastus (verkosto, pullot, paineenalennukset)
SULKUVENTTIILIT	Asentojen tarkastus
HÄLYTYKSET	Seuranta kiinteistöautomaatiojärjestelmästä
MUUT YLEISET HAVAINNOT	Lukitus
	Lämpötila
	Varoventtiilien ulospuhalluksen esteettömyys
	Sulkuventtiileille esteetön pääsy
	Tilan siisteys (palokuorma)
	Kaasupullojen säilytyksen asianmukaisuus
	Kaasupullojen ja -patteristojen siirtovälineet
MUUT VUOSITTAIN TEHTÄVÄT TARKASTUKSET	Merkinnät ja ohjeet (mm. Leimausmerkinnät, sisällöstä varoittavat kaasupullomerkinnät, värimerkinnät, varoituskilvet)
	Korkeapaineletkujen tarkastus/ vaihto
	Vakauttamis- ja kaasukeskussäätimien tarkastus ja huolto
	Vuototarkastukset
	Hälytyksien rajat, kenttätason koestus ja hälytyksien jälleen siirto
	Käyttöiän arviointi

6.4 Ilmakompressorijärjestelmä

Ilmakompressorijärjestelmään kuuluvat painetasaus- ja varastosäiliöt ovat yleisesti painelaitteita koskevien säädöksiensä mukaisesti rekisteröitävä paineastioita (>3000 bar xL), jonka ylläpito- ja huoltotoimintoja määrittelee kauppa- ja teollisuusministeriön (KTM) päätös painelaiteturvallisuudesta 953/1999 § 9–15. Tukesin hyväksymän tarkastuslaitoksen tulee painesäiliön omistajan/ haltijan tilaamana suorittaa neljän vuoden välein säiliön määräaikaistarkastus, jonka yhteydessä tarkastetaan myös painesäiliöön liittyvä putkisto KTM:n päätöksen 953/1999 § 10 reunaehtojen mukaisesti. Painetasaus- ja varastosäiliöt on huollettava painelai-

telaki 869/1993 § 3 mukaisesti niin, ettei niiden käyttö vaaranna kenenkään omaisuutta, terveyttä tai turvallisuutta. Lisäksi nestesäiliöaseman käyttäjällä tulee olla ajantasaiset käyttöohjeet ja huolto-ohjelma sisällyttäen myös valmistajan laatimat huolto- ja kunnossapito-ohjeet. (SSTY 2020, 48.)

Taulukossa 10 esitetään ilmakompressorijärjestelmälle suoritettavat säännölliset tarkastukset ja toimenpiteet.

Taulukko 10. Ilmakompressorijärjestelmän tarkastukset (SSTY 2020, 48–49)

ILMAKOMPRESSORIJÄRJESTELMÄN SÄÄNNÖLLINEN TARKASTUS	
TARKASTUSKOHDDE	TOIMINTO
ILMAN KULUTUS	Seuranta (tiedon hyödyntäminen järjestelmän uusinnassa tai poikkeamien havainnointi)
ENERGIAN KULUTUS	Seuranta
	Ohjauksen toimivuus
	Painetasojen seuranta (käynnistysviiveet, kevennetty tyhjäkäynti, alhainen paineentasaussäiliötilavuus -> korkea taso-huippu)
	Oikea mitoitus (100 % kuormitusaste energiataloudellisin)
	Paine (Energiantarve kasvaa paineen noustessa)
	Virtaus (Virtauksen kasvu lisää painehäviötä)
VESITYKSET	Tarkastus
HÄLYTYKSET	Seuranta kiinteistöautomaatiojärjestelmästä
MUUT YLEISET HAVAINNOT	Ympäristön olosuhteet ja siisteys
	Lämpötila
	Vuorotteluohjauksen toimivuus
	Varoventtiilien ulospuhalluksen esteettömyys
MUUT VUOSITTAIN TEHTÄVÄT TARKASTUKSET	Paineentasaussäiliön vesityksen toimivuus
	Kenttämittarien ja ohjauspaneelien toimivuus
	Hälytyksien rajat, kenttätason koestus ja hälytyksien jälleen siirto
	Kompressorien käynnistysrajat ja tuntimäärälaskurit
	Vuototarkastus
	Merkinnät ja sulkuventtiilien asennot
	Tilojen siisteys (palokuormat)
	Varoventtiilien koestus laite- ja järjestelmätoimittajan ohjeen mukaan
	Käyttöiän arviointi mm. NDT- menetelmällä

6.5 Jakeluputkisto

Valmistajan ohjeen mukaisesti käytetty ja huollettu kaasun jakeluputkisto ei saa aiheuttaa turvallisuusriskiä, joka olisi ollut ennakoitavissa standardin SFS–EN ISO 14971 määrittelemien riskianalyysimenetelmin (SSTY 2020, 50). Painesäiliöiden määräaikaistarkastusten ohella tarkastetaan myös painesäiliöön liittyvä putkisto KTM:n päätöksen 953/1999 § 10 reunaehtojen mukaisesti (SSTY 2020, 50).

Taulukossa 11 esitetään kaasuputkistolle suoritettavat säännölliset tarkastukset ja toimenpiteet.

Taulukko 11. Kaasuputkiston tarkastukset (SSTY 2020, 50)

KAASUPUTKISTON SÄÄNNÖLLINEN TARKASTUS	
TARKASTUSKOHDDE	TOIMINTO
PUTKISTON EHEYS	Vuoto- ja tiiveysseuranta
PAINETASO JA KULUTUS	Seuranta
HÄLYTYKSET	Seuranta kiinteistöautomaatiojärjestelmästä
MUUT YLEISET HAVAINNOT	Ympäristön olosuhteet ja siisteys
	Sulkuventtiileille esteetön kulku
MUUT VUOSITTAIN TEHTÄVÄT TARKASTUKSET	Yleinen kunto (Merkinnät, venttiilit ja varusteet, vuoto- ja vauriotarkastus, kannakointien kunto, läpiviennit, tiivistykset, palokatkot)
	Painevahtihuolto
	Hälytyksien rajat, kenttätason koestus ja hälytyksien jälleen siirto
	Pikasulkukoteloiden tarkastus/huolto
	Kaasunottoventtiilien tarkastus/huolto
	Suodattimien vaihto
	Laatumittaukset
	Käyttöiän arviointi mm. NDT- menetelmällä
	Tarkastuslaitoksen määräaikaistarkastus 4 vuoden välein

7 TURVALLISUUS

Sairaalakaasujärjestelmän turvallisuutta määrittelee neljä pääperiaatetta: identifiointi, riittävyys, jatkuvuus ja laadukkuus. Identifiointi varmistetaan käyttämällä ei-irrotettavia kaasukohtaisia liitäntöjä koko järjestelmän putkilinjassa, mukaan lukien pääteyksiköt, liittimet jne. Lisäksi tulee noudattaa ohjeen mukaisia testauksia ja järjestelmän käyttöönottonenettelyitä. Kaasupulloissa tulee olla yksilölliset viivakoodit, eränumero, viimeinen käyttökuukausi sekä tuotteen nimi infoineen. Nestesäiliöön toimitetun kaasun yksilöintitiedot tulee löytyä rahtikirjasta sekä kaasun analyysitodistuksesta. Riittävyys peilautuu kulutuksen arvioinnin tarkkuudella sekä riittävällä kapasiteetilla. Kaasuntuoton jatkuvuus pyritään takaamaan eri tasoilla syöttötavoilla (ensisijainen, toissijainen ja mahdollinen kolmas syöttötapa), jotka tukevat tai korvaavat vikatilanteissa toisiaan. Lisäksi lääkekaasujärjestelmät ovat kytkettynä hätävirransyöttö- sekä kaasunsyöttöjärjestelmään. Sairaalakaasujen laadukkuus saavutetaan varmistamalla kaasujen hankinta määriteltyjen standardien ja ohjeiden mukaisesti toimivilta valmistajilta sekä huolehtimalla sairaalakaasujärjestelmän tilojen siisteydestä ja ajantasaisista huolto- ja testausmenettelyistä. (Department of Health 2006b, 65–66.)

Erityisiä varotoimia tarvitaan, mikäli olemassa olevia kaasuputkiasennuksia on tarkoitus muuttaa tai laajentaa vaarantamatta kaasun saatavuutta tai puhtautta. Ennen olemassa olevan järjestelmän laajentamista tai korjaustoimia tulee tehdä kattava riskiarviointi sekä työsuunnitelma, jotta turvallisuutta uhkaavilta ongelmatilanteilta vältytään. Muokattavan osan tulee olla fyysisesti eristettynä käytössä olevasta osiosta. Eristysventtiilien sulkeminen ei riitä tähän tarkoitukseen, vaan tulisi hyödyntää alue- ja sulkuventtiilejä. (Department of Health 2006b, 65–66.)

Kaasupullojen käsittelyssä tulee huomioida, että se luokitellaan korkeapaineiseksi paineastiaksi, jonka käsittely vaatii aina varovaisuutta. Lisäksi sairaalakaasupullot luokitellaan lääkepakkaussiksi, joka asettaa omat lisävaatimuksensa. Pullojen etikettien tulee olla ehyitä ja luettavia, eikä niihin saa tehdä merkintöjä. Kaasupulloille tarkoitetut tuuletetut säilytystilat merkitään asianmukaisilla varoitussymboleilla ja -kilvillä (kuvio 30) sekä pääsyoikeudet myönnetään vain erikseen valtuutetuille henkilöille. (Linde Healthcare 2023b, 20.)



Kuvio 30. Varoitussymboliesimerkkejä (Työsuojeluhallinto 2024)

Kaasupullojen säilytyksessä ja mahdollisessa kuljetuksessa on huomioitava, etteivät pullot pääse missään tilanteessa putoamaan lattialle tai kaatumaan ja tätä myöten vaurioitumaan. Vaurioituneet pullot tulee palauttaa valmistajalle selkeästi merkattuina. Lääkkeellistä happea sisältävissä pienissä (<5litraa) pulloissa on virtauksenestventtiili, joka estää kaasunvirtauksen pulloventtiilin rikkoutuessa. Kaasupulloissa oleva kaasu on korkeapaineista, joka täytyy alentaa käyttöpaineeseen (4,5- 5 bar) pullon paineensäätimellä. (Linde Healthcare 2023b, 20.)

Sairaalakaasut eivät ole räjähdysvaarallisia kaasuja, mutta osaltaan edistävät voimakkaasti palamista. Tämä tulee huomioida happihoitolaitteita käytettäessä. Kaasumainen happi voi reagoida myös erilaisten rasvojen, öljyjen, tervamaisten aineiden ja muovin kanssa aiheuttaen tulipalovaaran useiden erilaisten materiaalien osalta, vaikka ne eivät normaalisti ilmassa palaisikaan. Alhaisen käyttöpaineen vuoksi potilas voi kuitenkin käyttää esimerkiksi huulirasvaa. Sairaalaympäristössä tulee huomioida myös potilaan mahdollisesti käytössä olevat öljypohjaiset kynsilakanpoistoaineet, ihovoiteet, kosmeettiset liinat sekä hoitotyössä käytettävät vuodevaatteet, kumi- ja muovituotteet sekä tietyt desinfiointiaineet (staattinen purkaus). Sytytyslähteenä sairaalaympäristössä voi toimia myös defibrillaattori käyttäminen. (Department of Health 2006b, 66–67.)

8 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia tilaajan sairaalakaasujärjestelmää ja olemassa olevaa teknistä dokumentointia sekä tuottaa järjestelmästä kattava järjestelmäkuvaus ja tarvittava lisädokumentointi. Opinnäytetyö tuotti tilaajalle Lapin keskussairaalan sairaalakaasujärjestelmän kuvauksen sekä luettelot laitteista ja antureista, huolto-ohjelman huollon tilaukseen ja luettelon järjestelmää määrittelevistä laista, määräyksistä, standardeista ja ohjeista. Lisäksi valmistui koko sairaalan osalta ajan tasaiset kaasujen vaikutusaluekartat niin rengaskaavioina kuin värikoodattuina tilakohtaisina vaikutusaluekarttoina. Työn tuotos tulee tulevaisuudessa toimimaan osana teknisen henkilökunnan perehdytysmateriaalia sairaalakaasujärjestelmän osalta. Tämän lisäksi tuotetut luettelot ja kaaviot (mm. laiteluettelo, vaikutusaluekartat, I/O-luettelot) tulevat tukemaan huoltotoiminnan suunnittelua sekä toteutusta.

Järjestelmän erityisyyden vuoksi tiedon haku oli haastavaa, lisäksi järjestelmän laajojen rajapintojen vuoksi aiheen rajaaminen tuotti haasteita. Tietoa oli haastava löytää varsinkin kantasairaalan osalta, jonka tiedon tallentamista on toteutettu sähköisenä vasta vähän aikaa, eikä kirjallista dokumentointia ole arkistoitu sovitusti yhteen sijaintiin vaan tietoa oli eri toimijoiden takana toimialakohtaisesti. Pääsääntöisesti kaikki löydetty tieto oli tarkoituksenmukaista tarkistaa ja varmistaa erilaisten tilamuutosten sekä remontointien vaikutukset tiedon luotettavuuteen. Työn edetessä huomasin useita poikkeamia ajantasaisen tiedon ja kuvien osalta, jotka poikivatkin uusia prosessikuvausten avauksia sekä työskentelytapojen tehostamista niin urakoitsijoiden kuin talon omien toimijoiden osalta. Jatkuvien sairaalakampanien sisällä tapahtuvien tilamuutosten ja remontointien vuoksi olemassa olevat materiaalit olivat kyseenalaisia sekä vaativat säännöllistä päivittämistä tulevaisuudessakin mm. kaasuverkoston ja kaasun jakelupisteiden osalta, jotta tieto pysyy ajantasaisena. Tulevaisuudessa ajantasakuvien päivittyessä ajan tasalle, voidaan tuoda koko sairaalan kaasuverkosto kerroksittain samaan kuvaan.

Työskentely vaati yhteistyötä monien eri alan asiantuntijoiden kanssa järjestelmän rajapintojen vuoksi. Järjestelmä on sairaalan kriittisimpiä järjestelmiä, jonka ajantasainen dokumentointi, asiallinen käyttö ja huolto ovat tärkeitä. Tästä syystä

panostaminen järjestelmäkuvauksen kautta huoltohenkilökunnan laajempaan perehdytykseen järjestelmän osalta on myös tärkeää riskienhallintaa.

Työn aikana pohdin useaan otteeseen teknisen henkilöstön kanssa dokumentoinnin arkistoinnin ja ajantasaisen tiedon tärkeyttä. Sitä kautta olin kehittämässä tiedon saavutettavuutta sekä toteuttamassa tallennusrakennetta tekniikan yhteiselle verkkolevylle, jonne koko teknisellä henkilöstöllä on pääsy. Sairaalakaasujärjestelmä kuuluu sairaalassa tietynlaiseen harmaaseen rajapintaan, jonka parissa työskentelee lääkintälaitte-, automaatio- ja LVI-huoltohenkilöstöä. Edellä mainituilla työryhmillä on Lapin keskussairaalassa kaikilla oma dokumentointi-/huolto-ohjelma, joten yhteisen verkkolevyn hyödyntäminen sairaalakaasujärjestelmän dokumentoinnin tallennuspaikkana ei vaadi käyttöoikeuksien ristiin myöntämistä sekä uusien ohjelmien opettelua henkilökunnalta. Sairaalakaasujärjestelmälle rakennettua kansiorakennetta voidaan jatkossa hyödyntää kopioimalla sitä myös tuleville prosessikuvauksille. Tällöin dokumentoinnin arkistointi on yhtenäisen selkeää ja tiedonhaku on helpompaa sekä koko teknisen henkilöstön saavutettavissa.

Työ toteutettiin tilauksen mukaisesti pienillä kehityskohteilla (mm. vaikutusaluekarttoihin sulkujen sijainnit) aikataulussa. Työn toteuttaminen oli haastavaa, mutta hyvin mielenkiintoista ja mahdollisti myös perehtymisen suuren julkisen organisaation toimintamalleihin sekä tiedon hajanaiseen dokumentointiin. Opin työn aikana sairaalakaasujärjestelmän lisäksi monimuotoista raportointia ja dokumentointia, tiedonhakua ja sen rajaamista, itseohjautuvaa aikataulutettua projektityöskentelyä sekä suuren organisaation kehitystyön haastavuutta olemassa olevien toimintamallien, kehitysmotivaation, aikahaasteiden ja päätöksenteon moniportaisuuden vuoksi.

LÄHTEET

Compliant Healthcare Technologies 2017. Medical gas systems: The definity guide. Viitattu 1.4.2024 <https://www.chthealthcare.com/blog/medical-gas-systems>.

Department of Health 2006a. Medical gases; Health Technical Memorandum 02-01: Medical Gas Pipeline Systems - Part A Design, Installation, Validation and Verification. Viitattu 6.3.2024 https://www.england.nhs.uk/wp-content/uploads/2021/05/HTM_02-01_Part_A.pdf.

Department of Health 2006b. Medical gases; Health Technical Memorandum 02-01: Medical Gas Pipeline Systems – Part B Operational management. Viitattu 20.3.2024 https://www.england.nhs.uk/wp-content/uploads/2021/05/HTM_02-01_Part_B.pdf.

European Medicines Agency 2024. Guideline on medicinal gases: Pharmaceutical documentation (including recommendation on nonclinical safety requirements for well established medicinal gases). Viitattu 14.1.2024 https://www.ema.europa.eu/en/documents/scientific-guideline/guideline-medicinal-gases-pharmaceutical-documentation-including-recommendation-non-clinical-safety-requirements-well-established-medicinal-gases-revision-1_en.pdf.

Euroopan unioni 2014. Painelaitedirektiivi 2014/68/EU. Viitattu 14.1.2024 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0068>.

Fimea 2023. Lääkkeelliset kaasut. Viitattu 11.1.2024 <https://fimea.fi/valvonta/laakkeelliset-kaasut>.

Granlund 2020. Kytöntäkaaviot. Ei julkinen.

Heikkinen, M. & Niskala, M. 2020. Sairaalakaasujärjestelmän toimintavarmuus. Oulun ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitystyön julkaisut 10. Viitattu 12.3.2024 <http://urn.fi/urn:nbn:fi-fe2020120399343>.

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaiteturvallisuudesta 18.10.1999/953. Viitattu 7.3.2024 <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1999/19990953>.

Lapin hyvinvointialue 2023. Tietoa hyvinvointialueesta. Viitattu 4.1.2024 <https://lapha.fi/tietoameista/tietoa-hyvinvointialueesta>.

Linde Healthcare 2023a. Lääkkeelliset kaasut. Viitattu 10.1.2024 https://www.linde-healthcare.fi/fi/products_services_ren/information_for_the_public_patients/medicinal_gases/index.html.

–2023b. Tärkeää tietoa kaasun käytöstä sairaalassa. Espoo: Oy AGA Ab.

–2023c. Kaasunjakelujärjestelmät. Viitattu 13.2.2024 https://www.linde-healthcare.fi/fi/products_services_ren/web_catalogue_medical_devices/central_gas_equipment/index.html.

Lääkealan turvallisuus- ja kehittämiskeskuksen määräys 18.12.2012/1016. Viitattu 10.1.2024 [file:///C:/Users/MaHalone/Downloads/Sairaala-apteekin_ja_laakekeskuksen_toiminta%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/MaHalone/Downloads/Sairaala-apteekin_ja_laakekeskuksen_toiminta%20(1).pdf).

Lääkelaki 10.4.1987/395. Viitattu 15.1.2024 <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1987/a9870395>.

Oy AGA Ab 2020. Kurssi nro. 101. Koulutusmateriaalit. Ei julkinen.

Painelaitelaki 16.12.2006/1144. Viitattu 15.1.2024 <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2016/20161144>.

Sarlin Oy Ab 2013. Hengitysilman puhdistusyksikkö. Viitattu 7.3.2024 <https://www.sarlin.com/tuote/parker-bam-hengitysilman-puhdistusyksikko/>.

SFS 3333. Painesäiliöt. Sijoitus, varustelu ja käyttö. Suomen standardoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 7396-1. Medical gas pipeline systems. Part 1: Pipeline systems for compressed medical gases and vacuum. Suomen standardoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 9170-1:2020. Terminal units for medical gas pipeline systems. Part 1: Terminal units for use with compressed medical gases and vacuum. Suomen standardoimisliitto SFS.

Siemens 2023. Desigo CC- kiinteistöhallintajärjestelmä. Viitattu 16.1.2024 <https://www.siemens.com/fi/fi/tuotteet/talotekniikka/rakennusautomaatio/building-management/desigo-cc.html>.

SSTY 2020. Sairaalakaasujärjestelmien suunnittelu-, asennus- ja huolto-ohje. Forssa: Talotekniikka- julkaisut Oy.

ST- kortisto 17 2023. Rakennusautomaatiojärjestelmät. Viitattu 2.2.2024 <https://severi.sahkoinfo.fi/item/234?search=rakennusten%20automaation%20valvomot>.

ST- kortisto 22 2023. Rakennusten automaation valvomot. Viitattu 2.2.2024 <https://severi.sahkoinfo.fi/item/3295?search=rakennusten%20automaation%20valvomot>.

TalotekniikkaRYL 2002. Talotekniikan rakentamisen yleiset laatuvaatimukset 2002. Osa 1. Helsinki: Rakennustieto.

Tukes 2003. Hapen turvallinen käsittely ja varastointi. Viitattu 26.2.2024 <https://tukes.fi/documents/5470659/6410029/Hapen+turvallinen+k%C3%A4sittely+ja+varastointi/6112a5b2-42b3-4a75-8017-1052e10d86bd/Hapen+turvallinen+k%C3%A4sittely+ja+varastointi.pdf?version=1.2>.

Työsuojeluhallinto 2024. Vaarallisten kemikaalien tunnistaminen. Viitattu 21.3.2024 <https://tyosuojelu.fi/tyoolot/kemialliset-tekijat/tunnistaminen>.

Valtioneuvosto 2016. Asetus painelaitteista 1548/2016 ja asetus painelaiteturvallisuudesta 1549/2016.

Woikoski 2023a. Lääkkeelliset kaasut. Viitattu 10.1.2024 <https://www.woikoski.fi/medical/laakkeelliset-kaasut.html>.

–2023b. Säiliöt ja kaasunjakelu. Viitattu 6.3.2024 <http://woikoski2.wm.fi/fi/ammattilaisille/teollisuus/sailiot-ja-kaasunjakelu/kaasukeskukset-ja-putkistot>.

LIITTEET

Liite 1. Järjestelmäkuvaus (ei julkinen)

Liite 2. Vaikutusaluekartat rengaskaaviona ja tilojen värikoodauksina (ei julkinen)

Liite 3. Järjestelmän laite- ja laitteistolistaus positioineen (ei julkinen)

Liite 4. Järjestelmän I/O-luettelot (ei julkinen)

Liite 5. Järjestelmän huoltotilausluettelo (ei julkinen)