

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka / Automaatio

Sami Pätäri

KOMPRESSORIYKSIKÖIDEN KAASUTURBIINIEN ELIKAARIHALLINNAN  
KEHITTÄMINEN

Opinnäytetyö 2013

## TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja Tuotantotekniikka Automaation koulutusohjelma

SAMI PÄTÄRI

Kompressoriyksikön kaasuturbiinien elinkaarihallinnan  
kehittäminen

Opinnäytetyö

32 sivua

Työn ohjaaja

Laboratorio insinööri Vesa Kankkunen

Toimeksiantaja

Gasum Oy

Maaliskuu 2013

Avainsanat

Kaasuturbiini, Automaatio, Elinkaarihallinta, Metso DNA

Tämän opinnäytetyön päätavoitteena oli kehittää ja toteuttaa Gasum Oy:lle tekninen sovellus maakaasuturbiinien optimaalisen huoltovälin seurannan ja elinkaarenhallinnan helpottamiseksi.

Ennakoivassa kunnossapidossa yksi oleellisimmista asioista on oikean huoltovälin määrittäminen. Optimaalista huoltoväliä määritettäessä tulee tietää huollon tarpeeseen vaikuttavat tekijät ja niiden suuruus. Merkittävimpiä vaikuttimia ovat erilaiset äkilliset ja normaalista ajotavasta poikkeavat rasitukset, kuten esimerkiksi hätäalasajot sekä niistä aiheutuvat ylimääräiset käynnistykset. Edellä mainitut tekijät aiheuttavat normaalitilanteeseen verrattuna merkittävästi suurempia rasituksia turbiinille, mutta eivät lisää sille laskettua käyttötuntimäärää normaaliajotilannetta enempää.

Tässä työssä on perehdytty kaasuturbiinien kunnossapitoon yleisesti ja tutkittu hätäalasajojen sekä niiden jälkeisten käynnistysten vaikutusta kaasuturbiinin elinkaareen. Työssä on määritetty turbiinin näissä poikkeusolosuhteissa kohtaaman rasituksen normaalikäyttötunteihin verrattava määrä. Saatujen tietojen pohjalta kehitettiin ohjelmallinen ekvivalenttituntimittari Metso DNA-automaatiojärjestelmään. Sovellus laskee suoraan turbiinien todelliseen huoltotarpeeseen vaikuttavaa tuntimäärää, eli ylimääräisistä rasitteista aiheutuvia ekvivalenttintunteja normaaleihin käyttötunteihin lisättynä.

## ABSTRAC

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Mechanical and Production Engineering

SAMI PÄTÄRI

Improving the Life Span of Gas Turbines a Compressor

Unit

Bachelor's Thesis

33 pages

Supervisor

Vesa Kankkunen, Laboratory Engineer

Commissioned by

Gasum Oy

March 2013

Keywords

Gas turbine, Maintenance, Automation, Metso DNA

The Objective of this study was to develop and apply a practical solution for assessing the need for maintenance work on the natural gas turbines at Gasum Oy and for making the management of turbine life span easier and more effective.

In pre-emptive maintenance, one of the most essential factors is the determination of the right frequency of operations. In defining the optimal time span between maintenance operations, it is necessary to know the factors influencing the need for maintenance and their relative importance and effect.

Among the important factors are various stress-causing factors that are sudden and come from the outside of the normal procedures for the turbine, such as emergency shut-downs and the resulting restarts of the machinery. These situations result in a marked increase in stress to the turbine as compared to the normal running time, but this is not factored in the calculations for the expected running lifespan of the machinery.

This project included studying the maintenance work of gas turbines in general as well as the effect of emergency shut-downs and restarts on the lifespan of the machinery. The amount of stress elicited by the shut-downs and restarting situations compared to the normal running process was defined, and with the information gathered, an equivalent hour\_calculator software was developed for the Metso DNA automation system. To find the optimal time span between maintenance operations, the program calculates the effect of extra stressors on the need for maintenance work.

## ALKUSANAT

Tekniset laitteet ja sovellukset sekä niiden ymmärtäminen on mielenkiinnonkohteeni. Näin on aina ollut. Jo lapsena piirsin ensin paperille myöhemmin rakentamani lego-autot ja laitteet.

Nuoruusvuosien mopojen, moottoripyörien sekä peltoautojen rassailun jälkeen työskentely teknisellä alalla tuntui luonnolliselta siirtymältä. Peruskoulun jälkeen menin oppisopimuksella töihin mekaanikoksi hydraulikka- ja pneumatiikka-alan pienyritykseen. Ponnistettuani oppisopimuskoulutuksen jälkeen lukioon ja suoritettuani työn ohella ylioppilastutkinnon oli pohjakoulutukseni ja historiani huomioiden automaatioinsinöörintutkinnon suorittaminen varsin selkeä ratkaisu.

Heti ensimmäisenä insinööriopintovuotena sain kunnian suorittaa kesäharjoitteluni Gasum Oy:ssä, jossa työskentelin ensin kompressoriasentajaharjoittelijana ja nyt myöhemmin suunnittelijana insinöörityötäni samanaikaisesti kirjoittaen.

SISÄLLYS	
TIIVISTELMÄ	
ABSTRACT	
ALKUSANAT	4
SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO	6
1 JOHDANTO	7
2 MAA- JA BIOKAASUN SYNTY JA SIIRTO	7
2.1 Gasum Oy	7
2.2 Kouvolan Maakaasukeskus	10
2.3 Työn motiivit	11
2.4 Työn tarkoitus, tavoitteet ja rajaus	11
3 KOUVOLAN KOMPRESSORIASEMA A	12
3.1 Kompressoriyksiköt GB-4001 ja GB-4002	12
3.1.1 Yksiköiden kaasuturbiinit	13
3.1.2 Yksiköiden kompressorit	16
3.1.3 A-aseman automaatiojärjestelmä	17
4 KOMPRESSORIYKSIKÖIDEN KUNNOSSAPITO	18
4.1 Yleistä	18
4.2 Kaasuturbiinien kunnossapito	19
4.2.1 Huoltotarpeen määrittäminen	20
4.2.2 Todellinen tuntikertymä	24
5 HÄTÄALASAJOISSA KAASUTURBIINIA KOHTAAN AIHEUTUVA RASITUS JA SEN TARKEMPI MÄÄRITTÄMINEN	25
6 LOGIIKKA OHJELMAN TEKEMINEN	26
6.1 Ohjelmalta vaadittavat ominaisuudet	26
6.2 Vuokaavio	26
6.2.1 Käytetyt lohkot	27
6.2.2 Lohkojen toiminta	28
6.2.3 Ohjelman toiminta	30
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	32
LÄHTEET	33

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

CCC	Compressor Control Corporation
DCS	Keskitettyhallintajärjestelmä (distributed control system)
ISO	Kansainvälinen standardisoimisjärjestö (International Organization for Standardization)
Komprimointi	Paineennosto
MPS	Machine Protection System
N.P.	Nuovo Pignone
TLJ	Turvallisuuteen liittyvä järjestelmä
UPS	Keskeyttämätöntehonsyöttö (uninterruptible Power Supply)
Borpskooppaus	Tähystyskuvaus
NDT	Rikkoutumaton aineen koetusmenetelmä (Non-Destructive Testing)
Revisio	Täyshuolto

## 1 JOHDANTO

## 2 MAA- JA BIOKAASUN SYNTY JA SIIRTO

Maakaasu on syntynyt ajan saatossa maan uumenissa eloperäisen aineksen hajotessa anaerobisen toiminnan myötä. Maakaasua saadaan maakaasu- ja öljylähteistä, jotka ovat onkaloita maankuoressa maalla tai merellä. Maakaasu koostuu luonnostaan pääasiassa metaanista ja markkinoille menevästä maakaasusta pyritäänkin jalostamaan mahdollisimman puhdasta metaania. Nykyään on nousemassa yhä merkittävämpään rooliin ei-fossiilisten anaerobisten bakteerien biomassasta tuottama biokaasu, joka on kemialliselta koostumukseltaan täysin maakaasua vastaavaa mutta uusiutuvaa energiaa. (1.)

Maa- ja biokaasua siirretään paineistamalla kaasuja maakaasunjakeluputkistoon. Komprimointi tapahtuu kompressoriasemilla olevilla maakaasuturbiinikompressoriyksiköillä. Yksiköiden kaasuturbiinimoottorit ottavat käyttöenergiansa suoraan putkistossa paineistettuna olevista kaasuista muuntaen kaasujen lämpöenergian mekaaniseksi energiaksi pyörittääkseen itse maakaasukompressoreja, joilla kohotetaan maakaasunjakeluputkistossa olevaa painetta entisestään. Prosessin tarkoitus on saada siirrettyksi oikea määrä kaasua oikealla paineella. Kompressoriyksiköiden tehtävänä on nostaa siirtoputkistossa vallitsevaa painetasoa ja siten lisätä maakaasuverkoston siirtokapasiteettia kulutuksen vaatimalle tasolle. Kompressoriyksiköiden käyttötarve siis riippuu siirtoputkiston painetilasta, johon taas vaikuttaa maakaasun menekki, käytön jakautuminen verkoston alueella sekä maakaasun tulopaine Imatran vastaanottoasemalla. (1.)

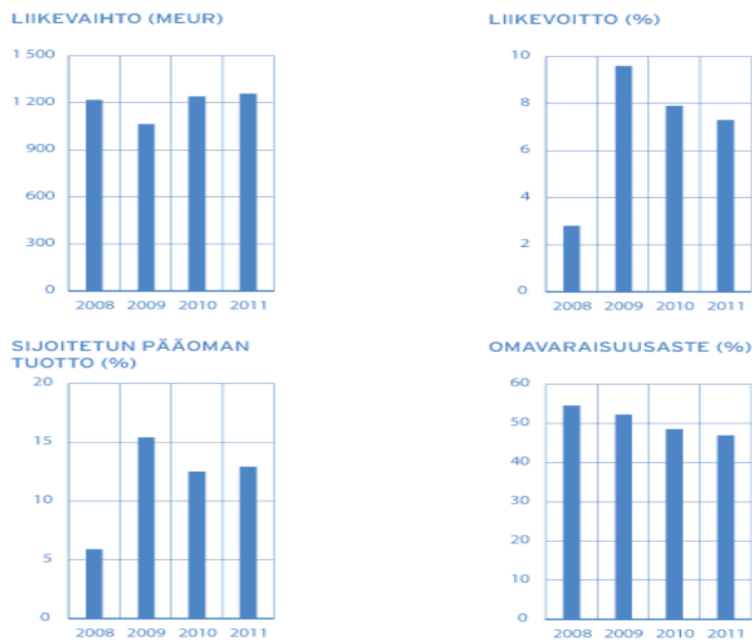
### 2.1 Gasum Oy

Gasum Oy on Fortumin (31%) OAO, Gazprom (25%), Suomen valtion (24%) ja E.ON Ruhrgas 20%) omistama 1994 perustettu luonnonkaasuyhtiö ja ainoa maakaasua Suomeen tuova yritys. Yhtiön osekapääoma jakautuu A- ja K-sarjan osakkeisiin. A- sarjaan kuuluvia osakkeita on 53 miljoonaa kappaletta. K-sarjan osakkeita on vain yksi, jonka omistaa Suomen valtio. Gasum Oy:n liikevaihto oli vuonna 2011 yli 12 miljardia euroa. Gasum Oy:ssä työskenteli vuoden 2011 lopulla 247 työntekijää. Gasum-konserniin kuuluvat emoyhtiö Gasum Oy ja tytäryhtiöt Gasum Tekniikka Oy, Gasum Paikallisjakelu Oy, Gasum Energiapalvelut Oy,

Gaasienergia 8AS, Kaasupörssi Oy ja Helsingin kaupunkikaasu Oy. Konserni omistaa Suomen luonnonkaasujen noin 1600 km pitkän maakaasun siirtoputkiston (kuvat 2 ja 3), josta noin 1300 km koostuu korkeapaineisesta (54 bar) siirtoputkistosta ja loput noin 300 km matalapaineisesta (3,5 bar) jakeluputkistosta. Gasum Oy on valtakunnallinen maakaasun siirtojärjestelmän järjestelmävastuuseen asetettu verkonhaltija (2,4.)

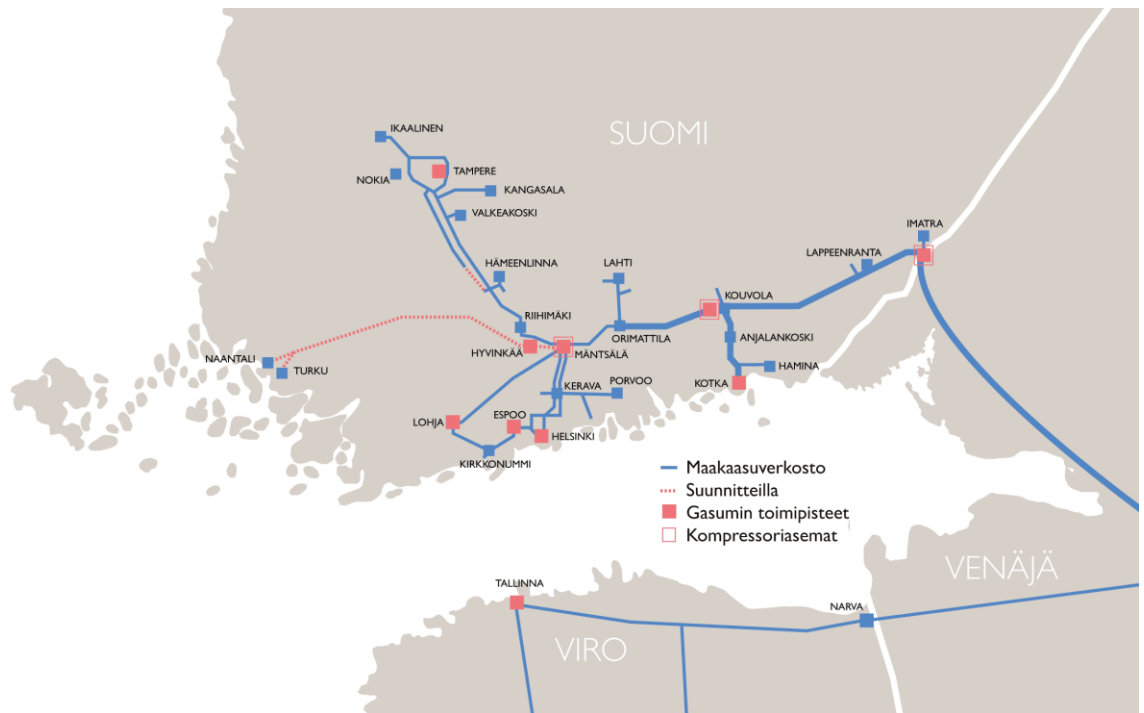
Maakaasuturbiinikompressoriyksikköjä Gasum Oy:llä on yhteensä yhdeksän yksikköä kolmella eri asemalla: Imatralla, Kouvolassa ja Mäntsälässä. Kompressoria pyörittävien turbiinien koot vaihtelevat viidestä megawatista 10MW:iin.

Gasumin tavoitteena on hallita energiakaasuihin perustuvat ratkaisut ja toimia alan edelläkävijänä, sekä turvata maakaasun ja biokaasun saatavuus Suomessa(2).

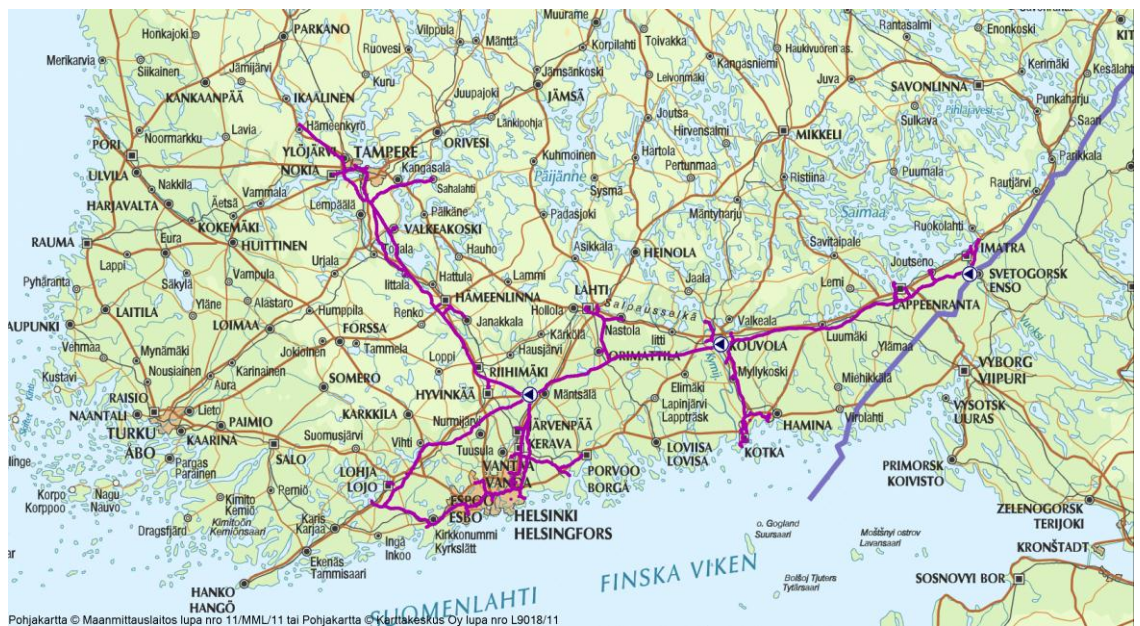


Kuva 1 Gasum-konsernin taloudelliset avainluvut (3.)





Kuva 2 korkeapaineinen siirtoputkisto Suomessa (5.)



Kuva 3 Maakaasun siirtoputkiston sijoittuminen paikkakunnille tarkemmin (6.)



Kuva 4 Ilmakuva Kouvolan Maakaasukeskuksesta (6.)

Gasum Oy:n Kouvolan toimipisteellä hoidetaan monia Suomen luonnonkaasujen käytön kannalta tärkeitä asioita. Kouvolan Maakaasukeskuksessa sijaitsee keskusvalvomo, jossa valvotaan koko Suomen maakaasuverkoston toimintaa ja kaasun ostomäärää ympäri vuorokauden. Maakaasukeskuksessa myös tapahtuu projektien ja investointien suunnittelua, sekä luonnonkaasujen myyntimittauslaitteiston, kompressorien sekä muun laitteiston huoltoa.

Maakaasukeskukseseen kuuluu toimistorakennus, keskusvalvomo, huolto- ja varastorakennus sekä kaksi kompressoriasemaa. Lisäksi alueella on noin 60 metriä korkea linkkimasto, joka on osa Gasumin tiedonsiirtojärjestelmää. Maakaasukeskusta ympäröi aita ja alueella on myös kameravalvonta ja kulunvalvontajärjestelmä.

Kouvolan kohdalla maakaasun siirtoputkisto haarautuu kohti Kotkaa ja Mäntsälän kompressoriasemaa. Kouvolassa työskentelee yli 80 henkilöä. Heidän työtehtävänsä liittyvät kaasun siirron valvontaan, henkilöstöhallintoon, suunnitteluun, kaasun jakeluun, määrämittaukseen, siirtoputkiston paineen ylläpitämiseen sekä Kouvolan huoltoalueen luonnonkaasuputkiston kunnossapitoon. (5.)

## 2.3 Työn motiivit

Työn motiivit ovat peräisin halusta tehostaa kunnossapidon tehokkuutta sen kustannuksia samanaikaisesti pienentäen. Yleisesti teollisuudessa kunnossapitoa on pidetty ainoastaan kustannuksia aiheuttavana ja yhtiön tulosta pienentävänä osa-alueena unohtaen se tosiseikka, että juuri kunnossapidolla saavutetaan koko yhtiön varsinainen tulos. Vanhanaikaisesta korjaavasta kunnossapidosta on jo onneksi siirrytty nykyaikaiseen ennakoivaan kunnossapitoon, jolla vältetään kalliiden koneikkojen ja laitteiden totaalirikkoutumista, pitkiä tuotannottomia seisakkeja, sekä pienennetään varaosavaraston arvoa. Nykytekniikan avulla on kuitenkin mahdollista tehostaa ennakoivaa kunnossapitoa entisestään analysoimalla, arvioimalla ja laskemalla kunnossapitotoimenpiteiden tiheyttä optimaalisen huoltofrekvenssin saavuttamiseksi.

## 2.4 Työn tarkoitus, tavoitteet ja rajaus

Käsillä olevassa insinööriyössä keskitytään selvittämään ja parantamaan Gasum Oy, Kouvolan alueella sijaitsevan kompressoriasema A:n kompressoriyksiköiden elinkaarta ja kehitetään ratkaisua paremman ja kustannustehokkaamman elinkaaren saavuttamiseksi optimoimalla kaasuturbiinikompressorien huoltovälejä.

Työn päätarkoituksena on selvittää kyseisten kaasuturbiinien erilaisten hätäalasajojen kuormittavuus ja kehittää jo olemassa olevia instrumentteja hyödyntäen uusi ohjelmallinen sovellus käytössä olevaan Metso DNA-automaatiojärjestelmään. Ohjelman tarkoituksena on laskea turbiineille hätäalasajoista aiheutuva ylimääräinen rasitus ja lisätä summa normaaleihin käyttötunteihin. Näin saadaan selville turbiinien kohtaama todellinen rasitusmäärä (ekvivalenttitunnit) normaalitunteina mitattuna. Ekvivalenttituntien avulla löydetään mekaanisten laitteiden ja komponenttien reaalin ja optimaalisin huoltoajankohta. Järjestelmään tehtävän automaattisen laskuriohjelman avulla vältetään myös aikaa vievä ja työläs manuaalinen laskenta. Työn onnistuttua Gasum Oy pystyy hyödyntämään ja siirtämään tässä insinööriyössä selvitettyjä tietoja sekä tehtyjä teknisiä ratkaisuja myös muille yhtiön kompressoriasemille.

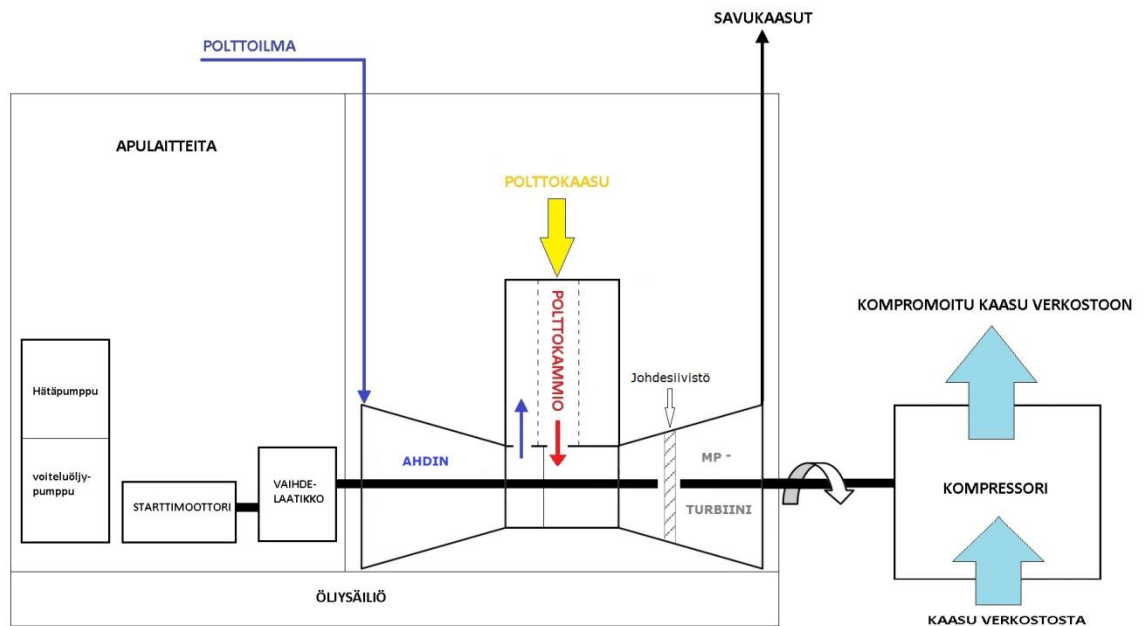
### 3 KOUVOLAN KOMPRESSORIASEMA A

Kouvolan kompressoriasema A on Gasum Oy:n Kiehuvasa olevaan Kouvolan Maakaasukeskukseen ensimmäisenä rakennettu kompressoriasema, joka on käyttöönotettu vuonna 1990. Myöhemmin samalla vuosikymmenellä Kiehuvaan rakennettiin myös toinen yhden 10 MW:n kompressoriyksikön sisältävä asema (kompressoriasema B).

Kouvolan kompressoriasema A koostuu kahdesta Nuovo Pignonen valmistamasta akseliteholtaan viiden megawatin suuruisesta kompressoriyksiköstä ja niiden oheislaitteista. Yksiköitä pystytään ohjaamaan ja valvomaan keskus- ja paikallisvalvomoista Metson valmistamaa DCS-käyttöautomaatiojärjestelmää (Metso DNA) käyttäen. Poikkeustilanteita varten sähkönsaanti on turvattuna UPS-järjestelmän akustojen ja varavoimakoneen avulla(9.)

#### 3.1 Kompressoriyksiköt GB-4001 ja GB-4002

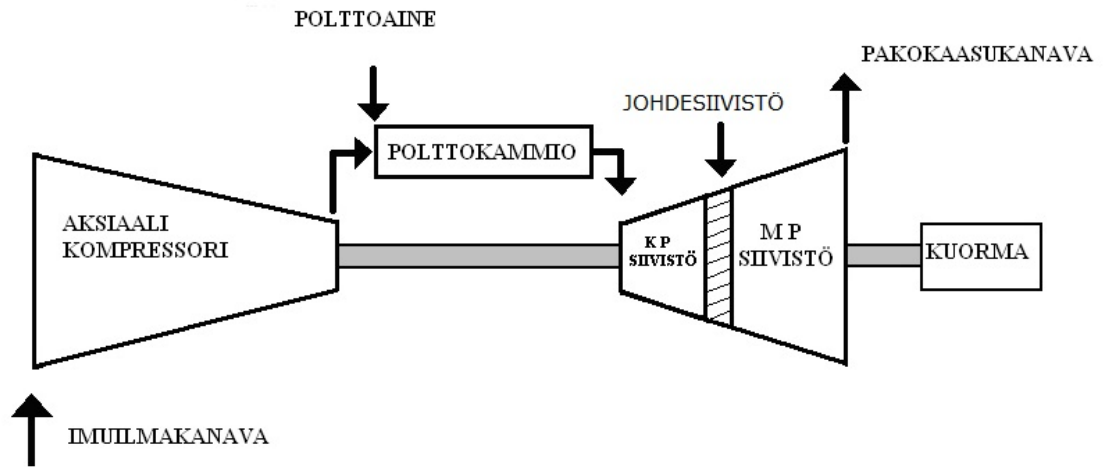
A-aseman kompressoriyksiköt (GB-4001 ja GB-4002) sisältävät teknisesti identtiset N.P. kaasuturbiinit ja keskipakokompressorit (konetyyppi PGT5) apulaitteistoineen.



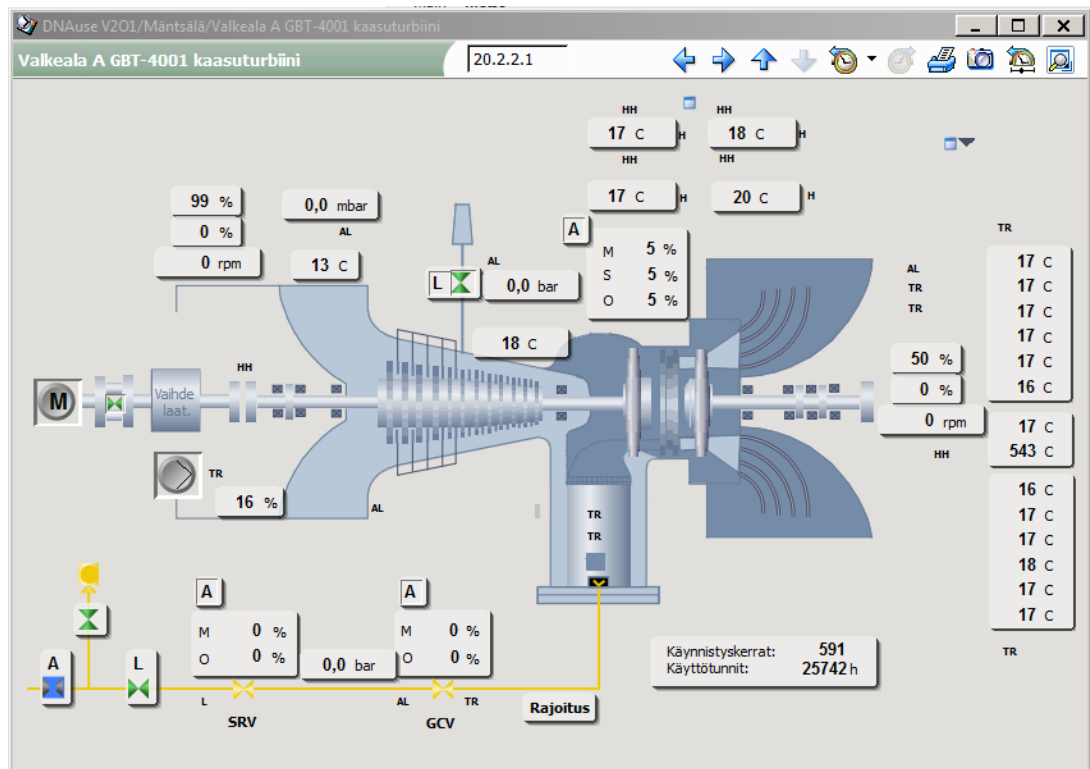
Kuva 4 Kompressoriyksikön toimintaperiaate. (12.)

### 3.1.1 Yksiköiden kaasuturbiinit

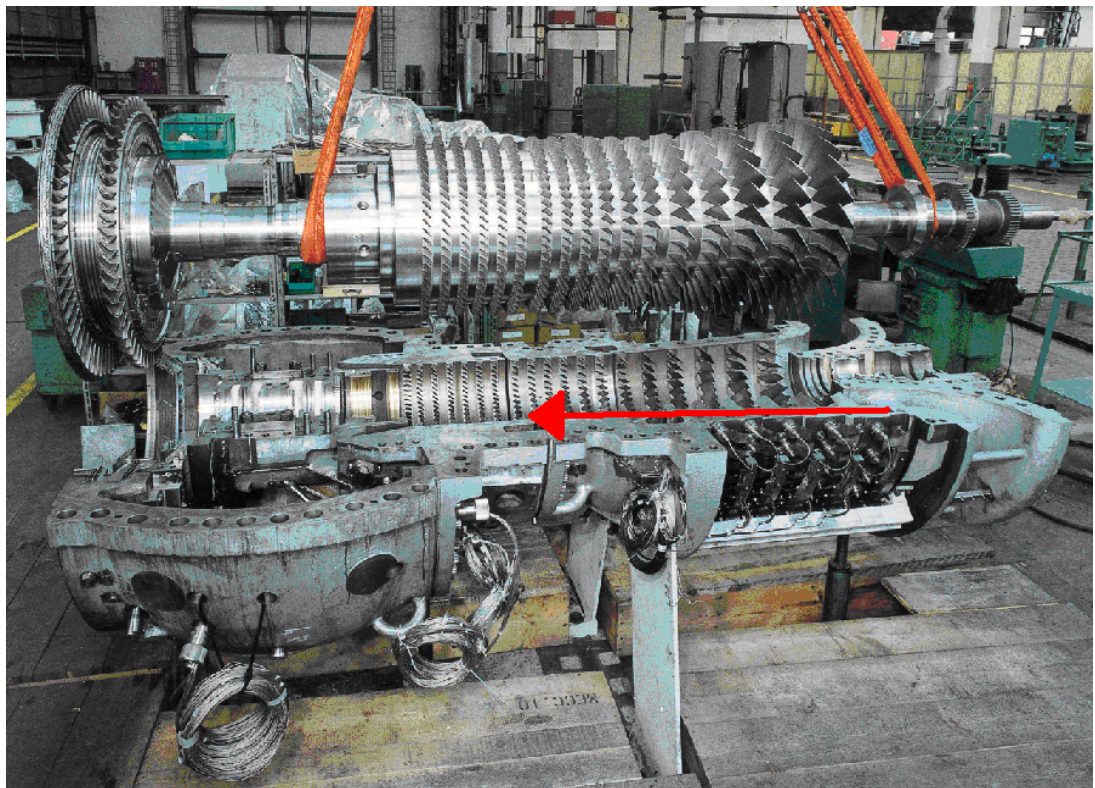
Yksiköissä käytössä olevat kaasuturbiinit ovat N.P.:n valmistamia PGT-5-tyyppisiä ISO-olosuhteissa teholtaan viiden MW:n suuruisia kaksiakselisia kaasuturbiineja. Kaasuturbiinien teho ilmoitetaan ISO-olosuhteissa, koska sama kaasuturbiini voi tuottaa eri tehon ympäristöolosuhteista ja sijaintipaikasta riippuen. Kaksiakselisuudella tarkoitetaan turbiinimoottorin polttokammion jälkeisten korkeapainesiivistön ja matalapainesiivistön olevan mekaanisesti erillään toisistaan. Kaksiakselisuudella saavutetaan säädettävien johdesiivistöjen avulla paremmat kierrosluvun- sekä tehonsäätömahdollisuudet. Turbiinien korkeapaine akseli komprimoi polttokammioon menevän polttoilman noin kuudesta kahdeksaan baarin paineeseen. Kompressoitu polttoilma johdetaan polttokoriin, jonne syötetään myös polttokaasu, polttoilma- ja kaasuseos sytytetään ja kuumat pakokaasuvirrat ohjataan johde- ja säätösiivistön kautta matalapaine akselille. Mekaaninen liike-energia johdetaan matalapaine akselilta rihtakytimen kautta kompressorin akselille. Turbiinilta poistuvien pakokaasujen lämpötila voi olla jopa yli 450°C. Uudemmallalla asemalla B:llä tämä hukkalämpö kerätäänkin pakokanaalikattilan avulla talteen ja myydään kaukolämpöverkkoon(8.)



Kuva 5. Kaasuturbiinin periaatekuva, jossa näkyy sen keskeisimmät osat. (12.)



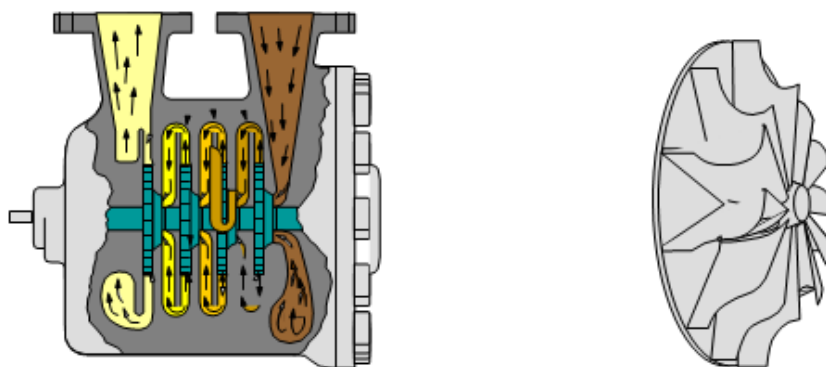
Kuva 6 Kaasuturbiinin GBT-4001 valvontanäyttö Valkealan valvomon kaukovalvontajärjestelmässä. (6)



Kuva 7 Turbiinin ahdin eli korkeapaineroottori ja paikallaan pysyvä ”kuori”, eli staattori. Ilman virtaussuunta on havainnollistettu punaisella nuolella. (6)

### 3.1.2 Yksiköiden kompressorit

Yksiköissä käytössä olevat kompressorit ovat niin ikään N.P:n valmistamia dynaamiseen toimintaperiaatteeseen perustuvia keskipako-, turbo- tai roottorikompressoreja, mitä termiä kukakin haluaa käyttää. Kompressoreiden keskeisimmät osat ovat roottoriakseli, komprimoinnin suorittava roottorisiivistö ja pundeli, eli kompressorin roottoristoa ympäröivä sydän. Komprimoitavana olevan maakaasun ja ulkopuolisen ilman välinen tiivistys on toteutettu öljyn avulla (=öljytiivistys).



Kuva 8. Periaatekuva keskipakokompressorista ja kaasuvirtauksesta sen sisällä. Oikealla esimerkkikuva kompressorin juoksupyörästä, eli roottista. (6.)





Kuva 9 Kompressorista. Kompressoria pyörittävä turbiini taustalla koteloidussa kabiinissa. (6.)

### 3.1.3 A-aseman automaatiojärjestelmä

Kouvolan kompressori asema A:n käyttöautomaatiojärjestelmä uudistettiin kokonaan vuonna 2003, jolloin asemalle rakennettiin automaation osalta uusiksi koko ohjelmisto ja lähes kaikki laitteistot. Käyttöautomaatiojärjestelmäksi asemalle tuli keskitetty käyttöautomaatiojärjestelmä Metso DNA, jonka rinnalla toimii Hima TLJ. Turbiinien ja kompressoreiden ydintoimintojen ohjaus tapahtuu CCC:n valmistamaa Fuel Governor -järjestelmää käyttäen, jonka avulla hoidetaan kompressoreiden sakkaussäätö, yksiköiden välinen kuormansäätö ja koko Valkealan ”mastersäätö”, joka mahdollistaa kompressoriyksiköiden rinnakkain ajon. Lisäksi yksiköiden konesuojana toimii MPS, joka värinämittausten kautta analysoi yksikön kuntoa ja tarvittaessa suorittaa hätä-alasajon katkaisemalla yksikön poltтокаasunsyötön.

Kaikki asemalla olevat järjestelmät keskustelevat väyläliikenteen kautta Metson DNA käyttöautomaatiojärjestelmän kanssa, jonka avulla varsinainen aseman operointi tapahtuu joko keskus-, tai paikallisvalvomosta(9.)

## 4 KOMPRESSORIYKSIKÖIDEN KUNNOSSAPITO

### 4.1 Yleistä

Kompressoriyksiköiden kunnossapitoa toteutetaan ennakoivana ja kuntoa seuraavana huoltona. Huoltojen tiheydet perustuvat laitevalmistajan ennakkohuolto-ohjelmiin ja joissakin tapauksissa myös Gasum Tekniikka Oy:n henkilökunnan kokemuksiin. Yksikön kunnonseurantatyöt käsittävät kaasuturbiinin ja kompressorin lisäksi myös yksikön muiden laitteiden, kuten hydraulikka- ja voitelupumppujen, sähkö- sekä automaatiolaitteiden jne. kunnossapidon(10).

Ennakkohuolto-ohjelman mukaisia kunnonseurantatöitä ovat:

- Tarkastukset
- Kalibroinnit
- Toiminnantestaukset
- Kunnonvalvonnanmittaukset
- Täyshuolto-tehtävät

Tässä työssä keskitytään työn rajauksen vuoksi enimmäkseen kaasuturbiinimoottorien kunnossapitoon, ja niiden optimaalisen huoltofrekvenssin määrittämiseen.

## 4.2 Kaasuturbiinien kunnossapito

Kaasuturbiinien osalta ennakkohuoltotoimenpiteet tehdään käyntituntimäärän, kalenteriajan ja käynnistysten määrän perusteella.

Tässä työssä käsiteltävien kaasuturbiinimoottorien ennakkohuoltotoimenpiteisiin kuuluvat.(10):

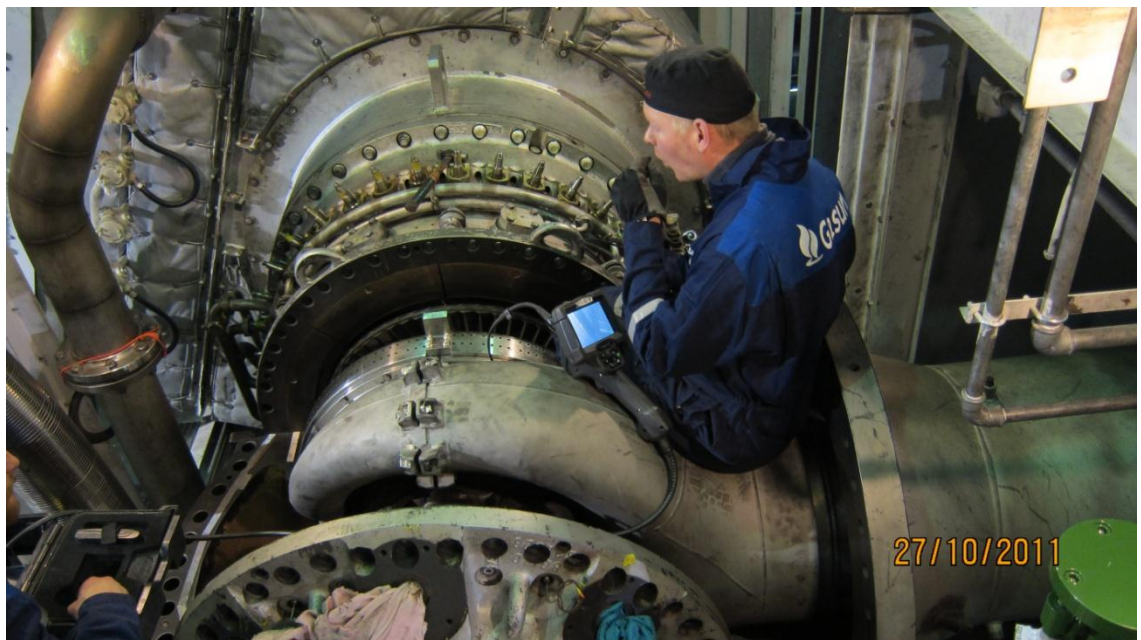
- Lepotarkastukset
- Polttokammiotarkastukset
- Kuumakaasureitintarkastukset
- Täyshuolto (kaasuturbiinin kaikkien osien tarkastus)

Aikaväli/ konetyyppi	vuosittain	3000 h/ 250 käynnistystä/ joka toinen vuosi	8000 h/ joka toinen vuosi	12000...14000 h (<50h/ start) 16000...18000 h (>50h/ start)	16000...20000 h	24000 h	24000...28000 h (<50h/ start) 32000...36000 h (>50h/ start)	30000...40000 h	48000 h
<b>PGT5</b>	A	B			C			D	
<b>PGT10</b>	A	B		C			D		
<b>PGT10 DLN</b>	A	B		C			D		
<b>EGT</b>	A		B			C			D
<b>Huoltotoimenpiteet:</b>									
<b>A</b>	öljyjen/ suodattimien vaihtoja, tarkastuksia, toimintakoestuksia ym. perushuoltoja.								
<b>B</b>	A + polttokammion tarkastus, endoskooppitarkastus								
<b>C</b>	A + B + kuumakaasureitin tarkastus								
<b>D</b>	A + B + C + täyshuolto								

Kuva 10 Kaasuturbiiniennakkohuollot konetyypeittäin (Kouvolan A-aseman konetyyppi PGT5)(10)

#### 4.2.1 Huoltotarpeen määrittäminen

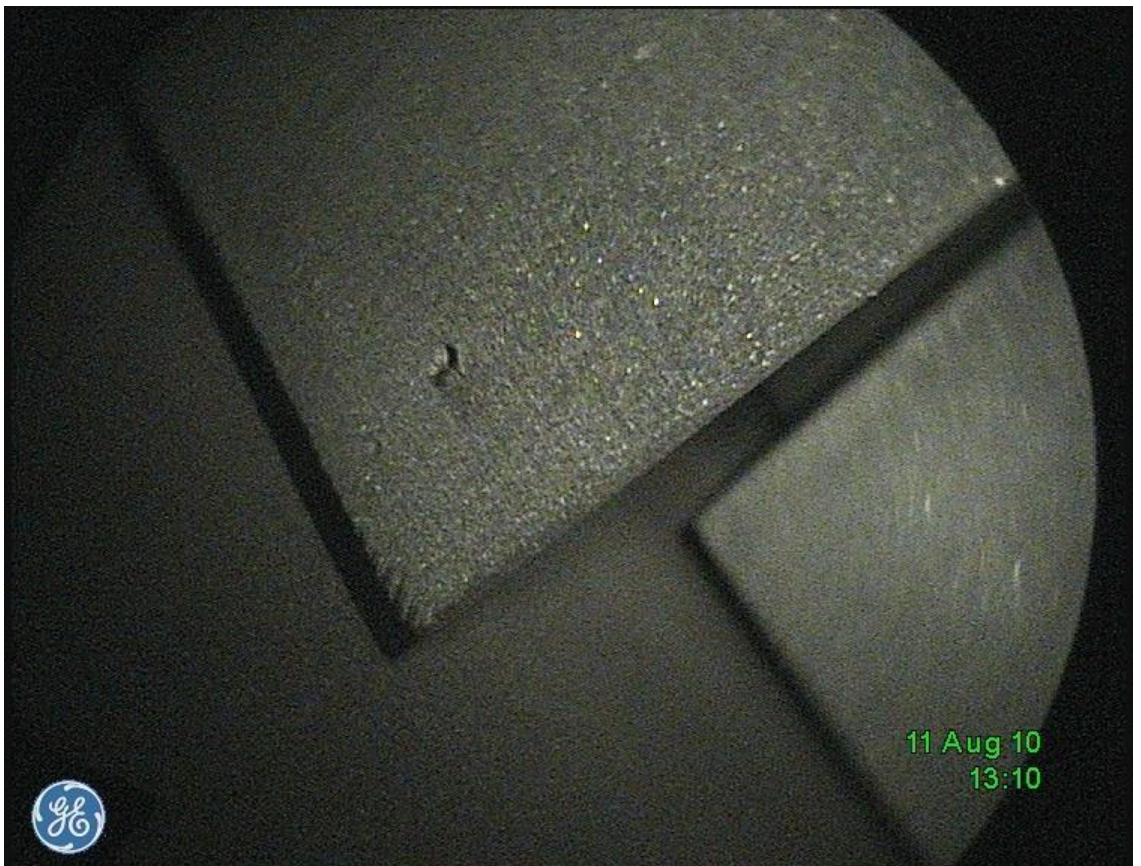
Huoltomanuaalit antavat huoltoajankohtien ohjearvon ja itse huollot suoritetaan näiden suositusten ja yksiköiden todellisen kunnan mukaan. Turbiinien kuntoa selvitetään mm. boroskooppaamalla yksiköt 3000 käyttötunnin tai kahden vuoden välein. Boroskooppitarkastuksessa selvitetään koneen sisäpuolisten osien kunnon tilaa. Oleellisia tarkastelun kohteita ovat transittokappaleen tukien pulttien lukitukset, johdesiivistön ja matalapaineakselin pyörivien siipien kunto. Iskeymät, halkeamat, säröt ja erilaiset lämpötilasta ja sen vaihteluista aiheutuvat osien rasitusvauriot määrittävät huoltojen todelliset tarpeet sekä ajankohdat(11.)



Kuva 11 Asentaja suorittamassa turbiinin boroskooppausta. (6.)



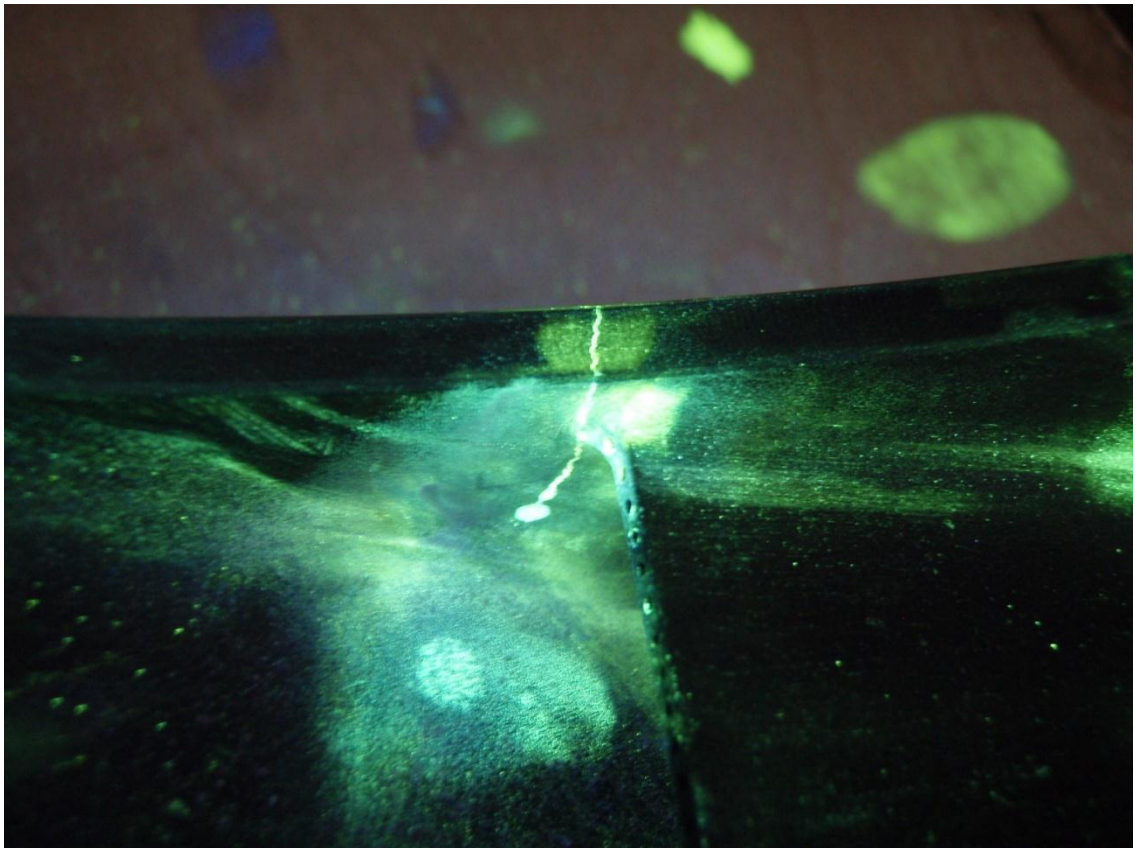
Kuva 12 Korkeapaineakselinsiivistön boroskooppaus. (6.)



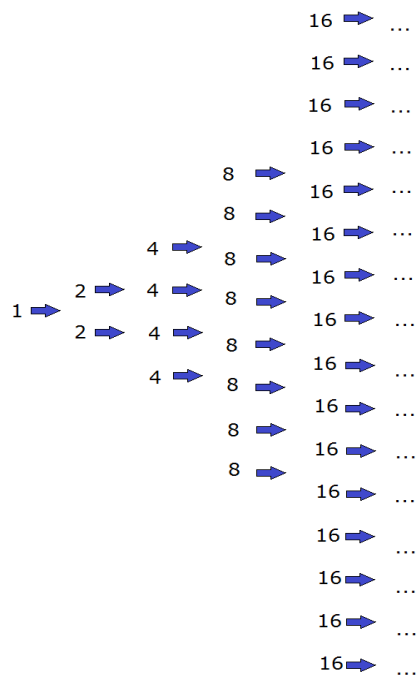
Kuva 13 Boroskooppauskuva iskeymästä siivistössä. (6.)

Etenkin turbiinin hätäalasajoista aiheutuvista nopeista lämpötilanmuutoksista koituu pitkällä aikavälillä rasituksia turbiinin sisäosille, jotka ovat tekemisissä kuumien pakokaasuvirtojen kanssa (polttokori, transittokappale ja siivistöt). Normaaleja käytöstä aiheutuvia materiaalin kulumia turbiinin osissa ovat säröt ja halkeamat. Normaalisti poikkeavia materiaalivaurioita ovat taas esimerkiksi pidätin pultin katkeaminen. Irronneen pultin iskeytyessä kovalla kierrosnopeudella pyöriiviin siipiin, aiheuttaa pultti hajotessaan kertautuvan reaktion, joka johtaa turbiinivaurioon (kuvat 14 ja 15).

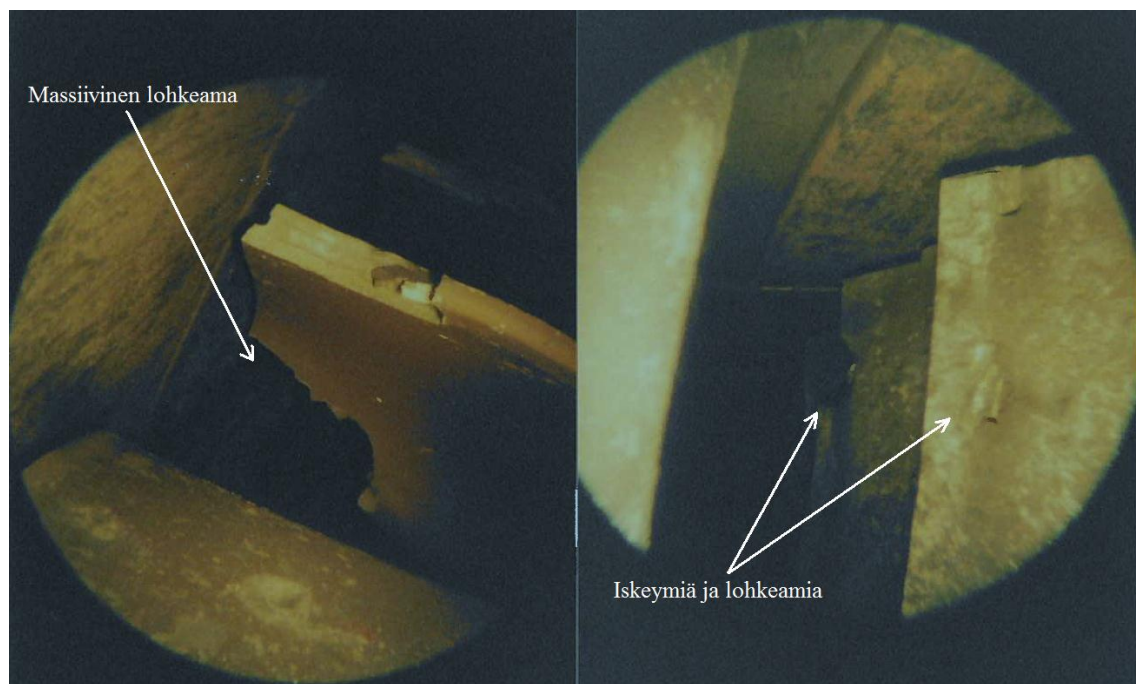
Boroskooppausten lisäksi turbiinien osien kuntoa valvotaan seisokki- ja isompien revisiohuoltojen aikana erilaisilla NDT-tarkastuksilla. Tällaisia tarkastusmenetelmiä ovat kovuusmittaukset, pinnoitteenpaksuusmittaukset ja tunkeumanestetarkastukset.



Kuva 13 Tunkeumanesteen avulla tarkastetusta vioittuneesta (halkeama) johdesiivestä.  
(6).



Kuva 14 Iskeymän aiheuttaman siivistövaurion eksponentiaalinen kertautuminen. (12.)



Kuva 15 Boroskooppikuvat turbiinivauriosta, vasemmalla turbiinin ensimmäisen vaiheen pyörivistä siivistöstä ja oikealla toisen vaiheen pyöriävä siivistö. (6.)

#### 4.2.2 Todellinen tuntikertymä

Toteuttaessa valmistajan laatimia käyttötunteihin perustuvia ennakkohuolto ja on huomioitava, että käyttötuntilaskuri rekisteröi ainoastaan koneen käynnin mukaiset tunnit. Yksikön todellinen tuntikertymä (ekvivalenttitunnit) määräytyy kuitenkin useiden eri tekijöiden pohjalta.

Näitä tekijöitä ovat:

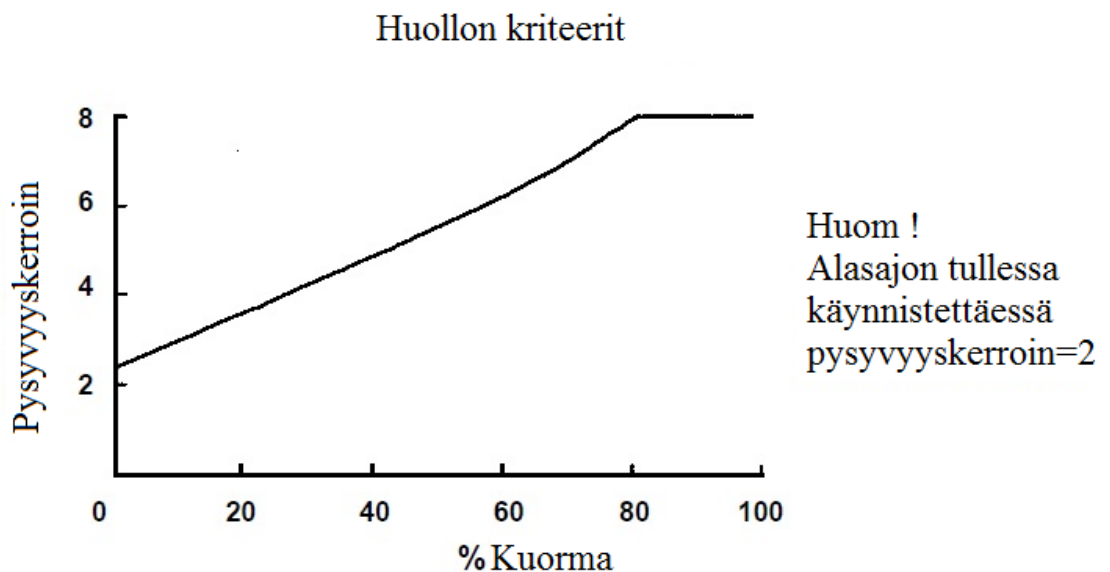
- käytetty polttoaine
- kuormitusaste
- imuilman puhtausaste ja muut ilmasto-olosuhteet
- käynnistysten lukumäärä
- hätäalasarjat

Ennakkohuoltotoimenpiteiden tulisikin aina määräytyä käyttötuntimäärien lisäksi edellä mainitut tekijät huomioiden. Kyseisten tekijöistä tämän työn kannalta merkittävimpiä ovat pikasulut sekä niistä aiheutuvat käynnistykset. Etenkin pikasuluista kohdistuu turbiinimoottoreihin merkittäviä mekaanisia rasituksia, kuten nopeita lämpötilavaihteluita ja kierrosluvun muutoksia. Toisaalta jokaisesta pikasulusta aiheutuu myös prosessin uudelleen käynnistys joka itsessään lisää ekvivalenttituntien määrää merkittävästi.



## 5 HÄTÄALASAJOISSA KAASUTURBIINIA KOHTAAN AIHEUTUVA RASITUS JA SEN TARKEMPI MÄÄRITTÄMINEN

Valmistajat ovat määritelleet ja antaneet useita eri suhdekäyrästäjä turbiineja rasittavista tekijöistä. Pikasulkujen rasittavuuden tuntimäärällinen arvioiminen ja laskeminen on erittäin haastavaa, näin ollen tässä työssä aiotaankin käyttää valmistajan antamia suhdekäyrästäjä sellaisenaan. Valmistajan antaman tiedon mukaan ja käyrästäjä tulkittaessa voidaankin karkeasti todeta yhden turbiinin käynnistyksen vastaavan 10 normaalia käyttötuntia noin 50 % -100 % kuormalla ajettaessa. Vastaavasti yksi sammutussekvenssin ohittava pikasulku rasittaa turbiinia kahdesta kahdeksaan starttikertaa vastaavalla määrällä, eli teoreettisesti yksi pikasulku lisää ekvivalenttituntien määrää noin 20 – 80 tuntiyksiköllä. Huomion arvoista on se, että myös täysin normaalissa sammutussekvenssin kanssa suoritettussa alasajossa turbiinin lopullinen polttokaasunsyötönkatkaisu tapahtuu 50% tehosta. Tämä taas tarkoittaa sitä että aina kun turbiini alasajetaan sille siitä koituva rasitus vastaa vähintäänkin yli 50 normaalin käyttötuntiyksikön rasitusta (kuva 17).



Kuva 16 Valmistajan antama käyrästäjä hätäalasajon rasittavuudesta(6)

## 6 LOGIIKKA OHJELMAN TEKEMINEN

### 6.1 Ohjelmalta vaadittavat ominaisuudet

Tarvittavien rasittuvuuden määrittelyjen jälkeen alkoi itse logiikkaohjelman toteutuksen pohtiminen. Tässä minulle suurena apuna toimi Gasum Tekniikka Oy:n Tero Koskinen.

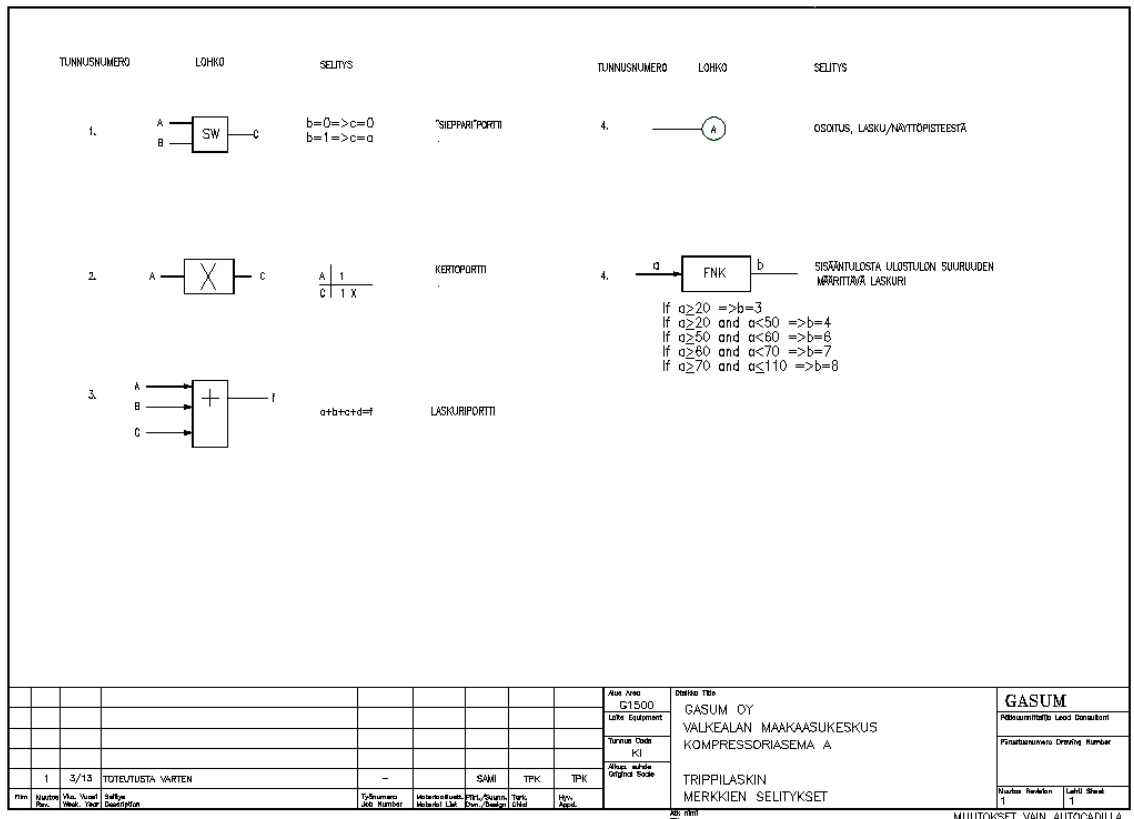
Ensimmäisenä pohdimme mitkä ominaisuudet olisivat kaikista tarpeellisimpia Gasum Oy:n kannalta ja minkälaisiin teknisiin toteutuksiin meillä olisi mahdollisuudet. Näitä taustoja vastaan halusimme luoda trippilaskurin joka laskee todellisten ekvivalenttituntien määrän riittävällä tarkkuudella. Lisäksi halusimme kyseiseen laskuriin perustuvan ekvivalenttituntimittarin, joka on tarkasteltavissa suoraan valvomonäkymässä.

### 6.2 Vuokaavio

Ensimmäisenä tulevasta ohjelmasta tarvittiin sen toimintaa kuvaava vuokaavio. Suunnittelimme vuokaaviota aluksi käsin fläppitaululle ja tämän jälkeen puhtaaksi siirto tapahtui CAD-ohjelmalla Gasum Oy:n käyttämien mallien mukaisesti. Lopputuloksena vuokaavio, joka on samanlaisessa muodossa ja saman käytännön mukaisesti numeroituna kuin muutkin A-aseman kuvat.

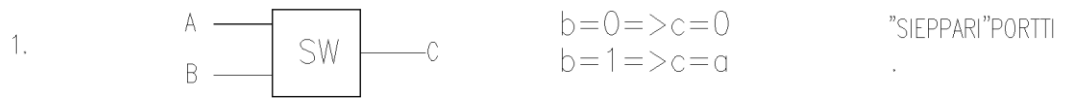
6.2.1 Käytetyt lohkot

Vuokaaviossa käytettiin merkkejä, jotka löytyivät Gasum Oy:n aiemmista vuokaaviokuvista ja olivat tätä kautta yhtiön aiemman käytännön mukaisia. Logiikan toiminnan kannalta kaaviossa tarvittiin viittä erilaista toimilohkoa, joita ovat kerto -, sieppari-, laskuri- ja funktiolohkot sekä lasku/näyttöpisteet.



Kuva 16 Valmis CAD-kuva, jossa kaikki käytetyt piirrosmerkit selityksineen. (12.)

## 6.2.2 Lohkojen toiminta



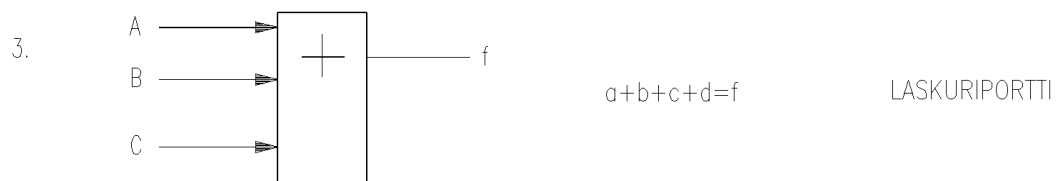
Kuva 17 "sieppariportti". (12.)

Sieppariportti tallentaa analogia tulon A tiedon, hetkellä jolloin digitaalitulo B muuttuu nollasta ykköseksi ja lähettää analogiatulon suuruuden eteenpäin linjaa C pitkin.



Kuva 18 Kertoportti. (12.)

Kertoportti kertoo binäärisen digitaalitulon A annetulla arvolla X ja lähettää sen eteenpäin linjaa C pitkin.



Kuva 19 Laskuriportti. (12.)

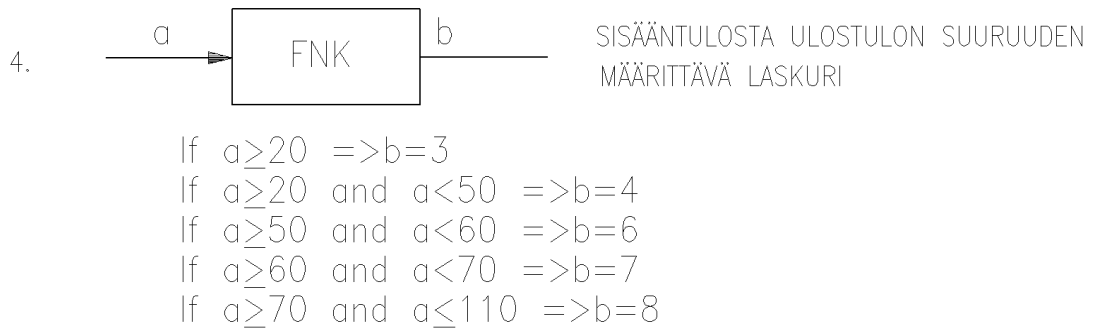
Laskuriportti laskee tulot A, B, C ja D yhteen ja lähettää summan linjalle F.



OSOITUS, LASKU/NÄYTTÖPISTEESTÄ

Kuva 20 Lasku/näyttöpiste. (12.)

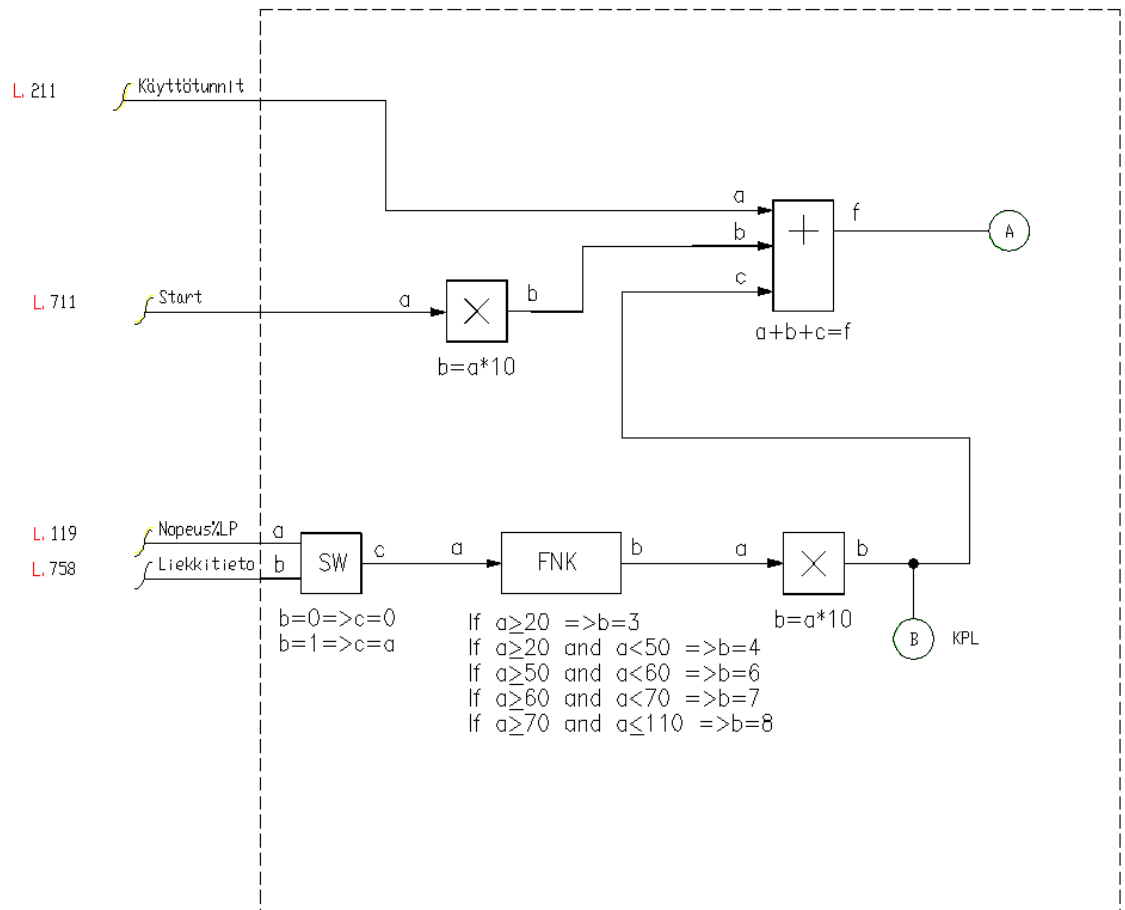
Lasku/näyttöpiste kuvaa logiikassa pistettä josta voidaan kerätä tietoa metson näytölle.



Kuva 21 Funktiolohko. (12.)

Funktiolohko määrittää ulostulon B sisääntulon A suuruuden mukaan. Tässä tapauksessa A:n ollessa pienempi kuin 20 on ulostulo B kolme. A:n ollessa 20 tai suurempi, mutta pienempi kuin 50, on ulostulo B neljä. A:n ollessa 50 tai suurempi, mutta pienempi kuin 60, on ulostulo B kuusi. A:n ollessa 60 tai suurempi, mutta pienempi kuin 70 on ulostulo B seitsemän. A:n ollessa 70 tai suurempi, mutta alle 110 (käytössä suurin mahdollinen tulo on 100 %) on ulostulo B kahdeksan.

## 6.2.3 Ohjelman toiminta



Kuva 22 CAD-kuva GB 4001 ekvivalenttituntilaskimen valmiista vuokaaviosta. (12.)

Ekvivalenttituntimittarissa otetaan huomioon kaikki ekvivalenttitunteihin oleellisesti vaikuttavat tekijät, joita ovat normaalikäyttötunnit, käynnistykset, hätäalaset ja normaalipysäytykset.

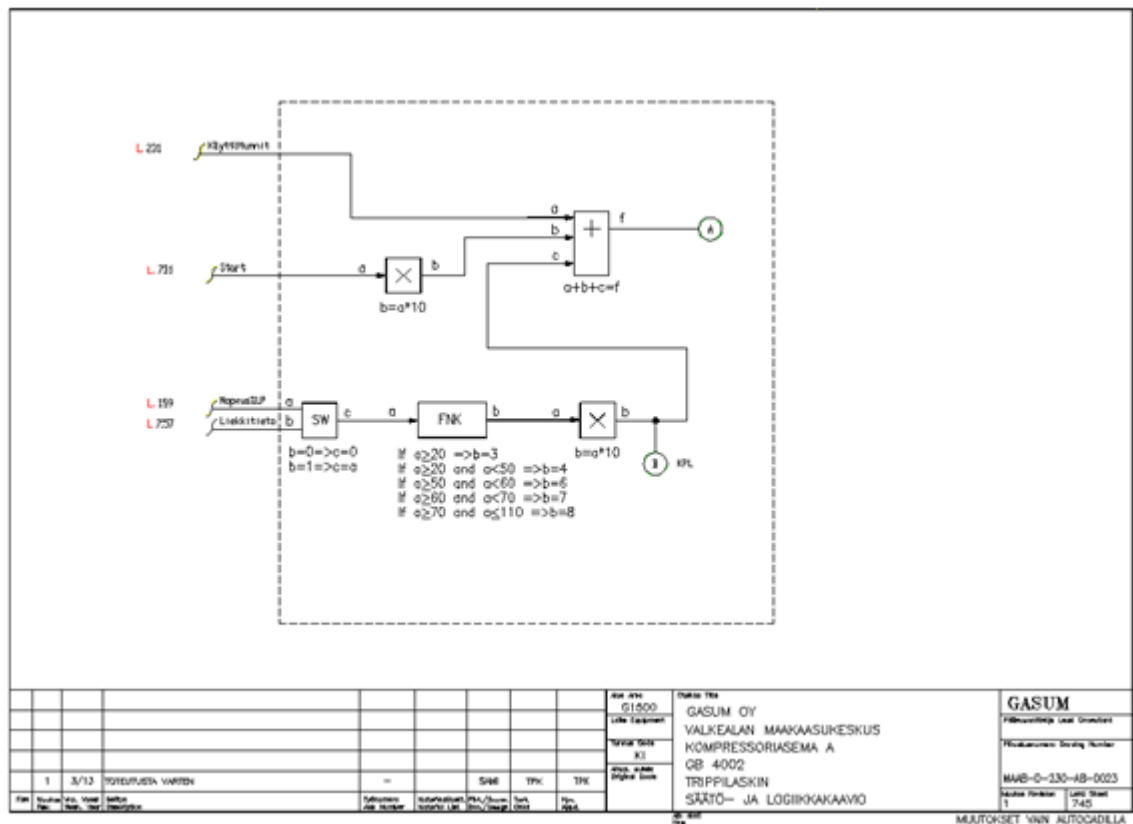
Lehdeltä 211 viitattu normaalikäyttötuntien pulssit ohjataan suoraan laskuriportille.

Lehdeltä 711 viitattu käynnistysten lukumäärä viedään ensin kertoportille, joka kertoo käynnistysten lukumäärän 10:llä (yksi käynnistys vastaa kymmentä normaalituntia). Tämän jälkeen startista aiheutunut tuntimäärä viedään laskuriportille.

Hätäalasajon tullessa lehdeltä 758 viitattu USLD-pysäytystieto vieään SW-portille linjaa B pitkin. B:n muuttuessa ykköseksi kaappaa SW-lohko lehdeltä 119 viitatus käyntinopeustiedon linjalta A ja lähettää kyseisen nopeustiedon hätäalasajohetkeltä eteenpäin funktiolohkolle. Funktiolohko määrittää saamansa turbiinin kierrosnopeuden mukaan kertoimen joka vastaa kyseisen hätäalasajon turbiinille kohdistamaa rasi-tusta käynnistysmäärinä. Tämän jälkeen kertoportille muutetaan starttien määrä vastaamaan normaalikäyttötuenteja kertomalla lukema 10:llä. Kertoportin jälkeen tieto ohjataan laskuripiirille.

Lehdeltä 758 viitatus normaalisammutuksen tullessa ohjataan tieto kertolohkolle, joka kertoo pulssin kymmenellä. Tämän jälkeen tieto ohjataan laskuripiirille.

Laskuriportti laskee kaikilta lohkoilta tulevat tulot A,B,C ja D yhteen ja lähettää summan linjalle F jolta ekvivalenttituntien lukumäärä näytetään Metson näyttönäkymässä.



Kuva 23 CAD-kuva valmiista GB4002 ekvivalenttituntilaskimen vuokaaviosta. (12.)

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli parantaa kompressoriyksiköiden elinkaarenhallintaa, keskittyen erityisesti hätä alarajoista turbiinille aiheutuvan rasituksen määrittämiseen normaalitunteina. Saadun tiedon pohjalta tarkoituksena oli tehdä käytäntöön toimiva ekvivalenttituntimittari jo olemassa olevaan Metso DNA-automaatiojärjestelmään.

Työlle oli todellinen tarve, koska tähän asti hätäalasarajoista aiheutuvien ekvivalenttituntien laskeminen ja optimaalisten huoltoajankohtien määrittäminen on täytynyt tehdä käsin laskien. Tulevaisuudessa ekvivalenttituntimittarin toimiessa turbiinin todellista huollontarvetta pystytään arvioimaan suoraan automaatiojärjestelmästä nähtävien ekvivalenttituntien avulla. Ohjelman toimiessa sen kopioiminen myös muille Gasum Oy:n kompressoriyksiköille on mahdollista ja todennäköistä. Työn ansioista kunnossapitohenkilöstö välttyy raskaalta manuaaliselta laskennalta ja työ tuo helpotusta huoltojen optimaaliseen aikataulutukseen. Onnistuvan huoltoaikataulutuksen myötä myös taloudelliset huoltokustannussäästöt ovat todennäköisiä.

Gasum Oy:n työlle asettamien tavoitteiden mukaan työssä onnistuttiin hyvin. Kyseisten huoltoajankohtiin vaikuttavien tekijöiden määrittäminen tunneissa onnistui ja ekvivalenttituntimittari on teknisesti toteutettavissa.



## LÄHTEET

- [1] Gasum Oy [viitattu: 11.7.2012][ [www-dokumentti]][saatavissa:  
<http://www.gasum.fi/kaasuverkostot/siirto/Sivut/default.aspx>]
- [2] Gasum Oy [viitattu: 25.1.2013 ] [www-dokumentti][saatavissa:  
<http://www.gasum.fi/yritysinfo/gasumlyhyesti/Sivut/default.aspx>]
- [3] Gasum Oy [viitattu: 23.3.2013] [www-dokumentti][saatavissa:  
<http://www.gasum.fi/yritysinfo/gasumlyhyesti/Sivut/Avainluvut.aspx>]
- [4] Gasum Oy. 2012. Vuosikertomus 2011
- [5] Gasum Oy. 2012. Maakaasu. Kaasuverkostot. [www-dokumentti]  
[Viitattu 4.7.2012] [Saatavissa:  
<http://www.gasum.fi/kaasuverkostot/verkostokartat/Sivut/default.aspx>]
- [6] Gasum Oy. Kuva-arkiston materiaalia
- [7] Gasum Oy [viitattu: 17.7.2012] [www-dokumentti][saatavissa:  
<http://www.gasum.fi/vastuullisuus/turvallisuus/Documents/Valkealan%20Maakaasukeskus.pdf>]
- [8] Haastattelu 9.11.2012 Gasum Oy Mika Simola
- [9] Haastattelu 23.7.2012 Gasum Tekniikka Oy Tero Koskinen
- [10] Gasyn Oy, Ohje. QA-1600/5223 Valkealan kompressoriasema A,  
Kasutturbiini MS1002 ja PCL503 Keskipakokompressoriennakkohuolto.
- [11] Haastattelu 14.1.2013 Gasum Tekniikka Oy Jani Hinkkanen
- [12] Gasum Oy/Kymenlaakson ammattikorkeakoulu Sami Pätäri 2012