



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Jarkko Saarman

Sähkösuunnittelun toteutus optisen valokuidun aihionvalmistuskoneelle, Nextrom Lathe System

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

29.4.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Jarkko Saarman Sähkösuunnittelun toteutus optisen valokuidun aihionvalmistuskoneelle, Nextrom Lathe System 31 sivua + 1 liite 29.4.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkötekniikka
Ammatillinen pääaine	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja	Lehtori Vesa Sippola
<p>Insinöörityön tavoitteena oli suunnitella sähkötekniinen tyyppiratkaisu Rosendahl Nextromille optisen valokuidun aihionvalmistuslaitteelle. Kyseistä laitetta kutsutaan nimellä Nextrom Lathe System eli NLS. Tuotekehitysprojektin päätarkoituksena oli saada aikaan uusi sähkötekniinen tyyppiratkaisu konekokonaisuudelle, joka vähentäisi kyseisen koneen suunnittelu-aikaa, kustannuksia ja lisäisi joustavuutta tulevaisuuden tulevia myyntiprojektien varten.</p> <p>Nextrom Lathe Systemin sähkötekniinen tyyppiratkaisu tehtiin Rosendahl Nextromilla asiakkaan tilauksesta. Osallistuin tuotekehitysprojektiin sähkösuunnittelijana. Tässä insinöörityössä käydään läpi tarkemmin tuotekehitysprojektin eteneminen sekä laitteen sähkösuunnittelua ja siihen liittyviä seikkoja. Insinöörityössä kerrotaan myös optisen valokuidun rakenteesta, valokuitujen ominaisuuksista sekä niiden valmistustavoista yleisemmin.</p> <p>Nextrom Lathe Systemin sähkösuunnittelu ja komponenttien valinta tehtiin sähkötekniikan standardien ja konedirektiivin määritysten mukaan sekä asiakkaan määrittämiä ohjeita noudattaen. Tuotekehitysprojektin tuloksena asiakas sai laitteelleen toimivan, kilpailukykyisen sekä kustannustehokkaan sähkötekniisen ratkaisun optisen valokuituaihioiden valmistuslaitteelle. Tämä insinöörityö antaa laajan kokonaiskuvan tuotekehitysprojektin etenemisestä sekä tämän kyseisen konekokonaisuuden sähköteknisistä ratkaisuista.</p>	
Avainsanat	Valokuitu, kuituaihio, lasinkäsittelysorvi, sähkösuunnittelu

Author Title Number of Pages Date	Jarkko Saarman Electrical Design for Optical Fiber Preform Machine Nextrom Lathe System 31 pages + 1 appendix 29 April 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Vesa Sippola, Senior Lecturer
<p>The aim of the bachelor's thesis was to design an electrotechnical type solution for the Rosendahl Nextrom optical fiber preform machine. This machine is called Nextrom Lathe System or NLS. The main purpose of the product development project was to create new electrotechnical type solution for machine that would reduce the design time, cost and increase flexibility for future sales projects.</p> <p>Nextrom Lathe System's electrotechnical type solution was made with Rosendahl Nextrom on customer's request. I participated in this product development project as an electrical designer. In this thesis, the progress of the product development project, as well as the electrical design and related aspects of the device are discussed. This thesis also describes structure of optical fiber, properties of optical fibers and generally optical fiber manufacturing methods.</p> <p>Nextrom Lathe System's electrical design and component selection was done according to specifications of the electrical engineering standards, machinery directive and customer's instructions. As a result of the product development project, the customer received functional, competitive and cost-effective electrotechnical solution for the optical fiber preform manufacturing machine. This thesis provides comprehensive overview of the progress in product development project and electrical engineering solutions of this particular machine.</p>	
Keywords	Optical Fiber, Preform, Glass Working Lathe, Electrical Design

Sisälllys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Valokuitu ja sen valmistaminen	2
2.1	Valokuitu	2
2.2	Valokuidun valmistus	4
3	Profil-Bau Industrial Oy ja Rosendahl Nextrom Oy	14
4	Nextrom Lathe System	15
5	Tuotekehitysprojekti koneelle NLS	19
5.1	Tavoitteet ja syyt tuotekehitysprojektille	19
5.2	Tuotekehitysprojektin etenemisprosessi	20
6	Nextrom Lathe Systemin sähkösuunnittelu	22
6.1	Sähkösuunnittelu Nextromilla	22
6.2	Sähkösuunnittelun etenemisprosessi	24
7	Pohdinta	30
	Lähteet	31

Liitteet

Liite 1. Clean Air System option esitys ATON ja Eplan P8 ohjelmistoissa

Lyhenteet

CPU	Central Processing Unit. Keskusyksikkö.
Er	Erbium, harvinaisiin maametalleihin kuuluva alkuaine.
FCVD	Furnace Chemical Vapor Deposition. Uuniavusteinen kemiallinen kaasufaasipinnoitus.
GeCl ₄	Germaniumtetrakloridi, kloorin ja germaniumin muodostama epäorganinen molekyyliyhdiste.
HMI	Human Machine Interface. Käyttöliittymä.
HCl	Vetykloridi, vedyn ja kloorin muodostama epäorganinen molekyyliyhdiste.
MCVD	Modified Chemical Vapor Deposition. Muunneltu kemiallinen kaasufaasipinnoitus.
NHS	Nextrom High Temperature Source Cabinet. Rosendahl Nextrom Oy:n konetunnus harvinaisten maametallien höyrystyslaitteelle.
NGC	Nextrom Gas Control, Rosendahl Nextromin konetunnus kaasunsyöttöjärjestelmälle.
NLS	Nextrom Lathe System. Rosendahl Nextrom Oy:n konetunnus lasintyöstösorville.
OFC	Optical Fiber Cable. Rosendahl Nextromin Oy:n linjatunnus.
OFC 12	Nextromin linjatunnus MCVD/FCVD laitteistolle.
OFC 15	Nextromin linjatunnus lasintyöstösorville.
OVD	Outside Vapor Deposition. Ulkopuolinen kaasufaasipinnoitus.
Pa	Pascal, paineen yksikkö.

PBI	Profil-Bau Industrial Oy
PCVD	Plasma-assisted Chemical Vapor Deposition. Plasma-avusteinen kemiallinen kaasufaasipinnoitus.
PLM	Product Lifecycle Management. Tuotteen elinkaaren hallinta.
SiCl ₄	Piitetrakloridi, kloorin ja piin muodostama epäorganinen molekyyliyhdiste.
SiO ₂	Piidioksidi, piin ja hapen yhdiste. Mineraalina tunnetaan nimellä kvartsi.
VAD	Vapor Axial Deposition. Aksiaalinen kaasufaasipinnoitus.
VDC	Voltage Direct Current. Tasajännite.
Yb	Ytterbium, harvinainen maametalleihin kuuluva alkuaine.
UV	Ultravioletti.

1 Johdanto

Internet ja etenkin suoratoistopalvelut, kuten Netflix ja Youtube ovat saaneet tiedonsiirron tarpeen suureen kasvuun viime vuosina. Optisen valokuidun tiedonsiirto-ominaisuuksilla tähän tarpeeseen pystytään vastaamaan. Suoratoistopalveluiden kasvaneesta rasituksesta internet infrastruktuurille antaa jonkinlaista kuvaa se, että suoratoistopalvelu Netflix itsessään vastasi noin 30% kaikesta käyttäjien internet-liikenteestä vuonna 2014, kun taas vuonna 2013 tämä oli noin 20%. (1, s. 8.)

Optisen valokuidun valmistusprosessin ensimmäinen osa-alue on kuituaihion valmistaminen. Tässä insinööriyössä paneudutaan Rosendahl Nextrom Oy:n, jota tässä työssä kutsutaan yksinkertaistettuna nimellä Nextrom, kuituaihion valmistamiseen tarkoitetun lasinkäsittelykoneen sähkötekni- sen ratkaisun toteuttamiseen ja kerrotaan kyseisen koneen sähkösuunnittelun sekä tuotekehitysprojektin etenemisestä. Tässä työssä ei kerrota sähköiseen mitoitus- keeseen liittyvistä seikoista, vaan keskitytään sähkösuunnittelussa käytettäviin ohjelmistoihin, komponenttien valintaperusteisiin sekä laitteen sähkötekni- siin ratkaisuihin.

Insinööriyössä kerrotaan optisen valokuidun rakenteesta ja sen ominaisuuksista, kuitu- dunvetotornin perustoiminnoista sekä yleisimmistä kuituaihion valmistusmenetelmistä. Näitä aiheita käydään läpi tarkemmin luvussa 2. Luvussa 3 esitellään Profil-Bau Indust- rial Oy (PBI), jolle tämä insinööriyö on tehty sekä PBI:n asiakas Nextrom, jonka omista- maan tuotteeseen sähkötekni- nen ratkaisu kehitettiin. Luvussa 4 perehdytään Rosendahl Nextromin lasinkäsittelykoneeseen Nextrom Lathe Systemiin (NLS) ja siihen yhdistettä- vien laitteiden ominaisuuksiin.

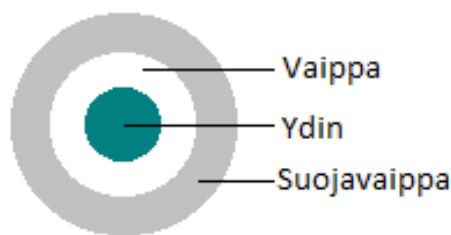
Näiden lukujen jälkeen siirrytään tarkastelemaan tarkemmin itse insinööriyön aihetta eli Nextrom Lathe Systemin tuotekehitysprojektin etenemistä sekä sähkötekni- stä ratkaisua ja siihen liittyen sähkösuunnittelun prosessia. Luvussa 5 kerrotaan kehitystyön syistä, tavoitteista ja lopputulemasta ja luvussa 6 keskitytään sähkösuunnitteluun Nextromilla ja tämän koneen suunnittelussa. Pohdinnassa vedetään yhteen tuotekehitysprojektin tu- lokset sekä sen tuomat edut.

2 Valokuitu ja sen valmistaminen

Tässä luvussa kerrotaan valokuidun perusrakenteesta ja valokuituaihioiden valmistusmenetelmistä sekä lyhyesti kuidunvetotornin toiminnasta. Työssä keskityn lasista valmistettuihin kuituihin ja pääasiassa lasista valmistettuun valokuituun. Keskityn pääasiassa lasista valmistetun valokuidun kuvaamiseen, koska opinnäytetyön aihe käsittelee juuri lasikuituaihioiden valmistamiseen tarkoitettua konetta.

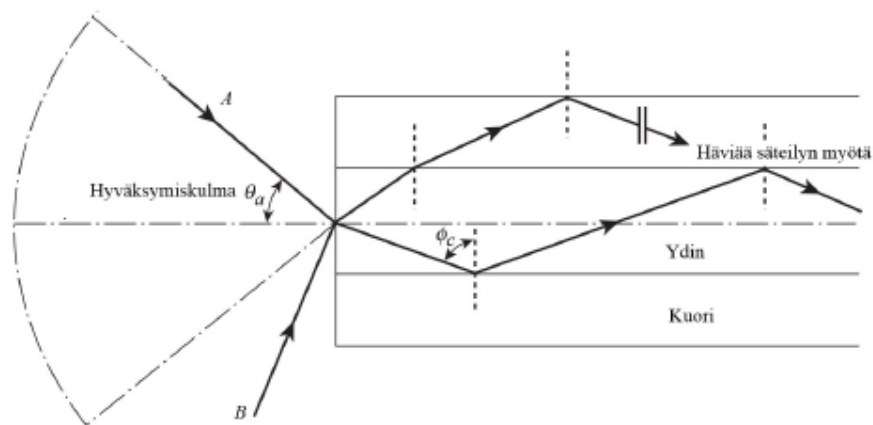
2.1 Valokuitu

Valokuitu on lasista tai muovista venytetty ohut kuitu, jota käytetään tiedon liikuttamiseen tietoliikenneverkossa. Valokuitu pystyy liikuttamaan niin ääni-, video- kuin datatietoa. Lasista valmistetut kuidut ovat pääasiassa kvartsilasista tehtyjä. Valokuitu koostuu kolmesta perusrakenteesta riippuen siitä, onko se valmistettu lasista vai muovista. Nämä perusrakenteet ovat ydin (core), vaippa (cladding) sekä suojavaippa (coating). Kuvassa 1 on esitettynä poikkileikkaus valokuidun rakenteesta. Valokuidun ydin on tärkein osa ja samalla osa, joka johtaa kuidussa kulkevan valon. Ytimen materiaalina voidaan käyttää joko lasia tai muovia. Ytimen halkaisija määrittää, kuinka paljon valoa voidaan kuljettaa kuidun sisällä. Valokuidun vaipan tarkoituksena on mahdollistaa valon eteneminen ytimessä pienemmän taitekertoimen avulla ytimen ja vaipan rajapinnassa. Vaippa on usein samasta materiaalista valmistettu kuin ydin, mutta jollain kuiduilla ydin on valmistettu lasista ja vaippa muovista. Suojavaippa on valmistettu muovista ja sen tarkoituksena on suojata kuidun ydinrakenteita mekaaniselta rasitukselta. (2.)



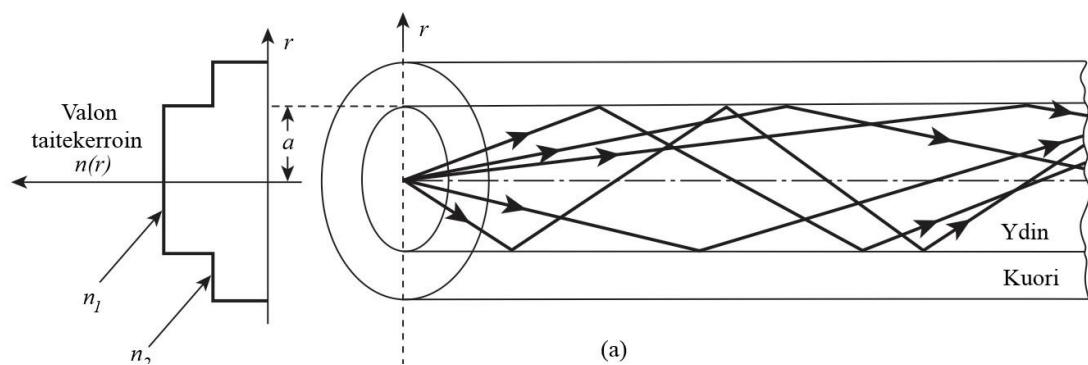
Kuva 1. Valokuidun poikkileikkaus (mukailtu 2.)

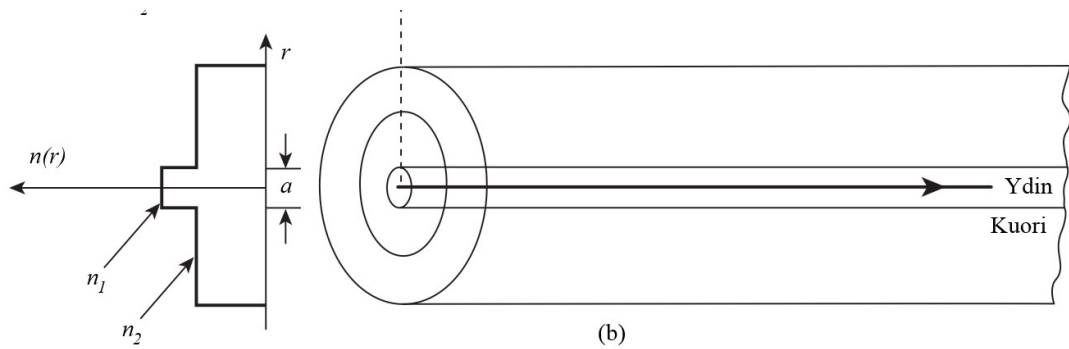
Valokuidut voidaan jakaa erilaisiin kuituihin: yksittäismuotokuituihin (single-mode), monimuotokuituihin (multimode) sekä taitekertoimien eroavaisuuden perusteella askel- ja asteittaistekertoimiinkuituihin (step index fibers ja graded index fibers). Yksittäismuotokuitujen ytimen halkaisija on varsin pieni 2-10 mikrometriä, kun taas monimuotokuitujen on noin 30-80 mikrometriä. Yksittäismuotokuidun ytimessä voidaan kuljettaa vain yhtä valonsädettä kerralla. Monimuotokuidun leveämmän ytimen ansiosta on mahdollista kuljettaa useampaa valonsädettä samanaikaisesti. Askelkertoimisessa kuidussa ytimellä ja vaipalla ovat erilaiset taitekertoimet, jotka ovat vakioita. Asteittaistekertoimisessa kuiduissa taitekerroin on suurimmillaan ytimen keskiosassa, josta se laskee lineaarisesti vaippaosaa kohden. (3, s. 17.)



Kuva 2. Valosignaalin kulku kuidussa (3, s. 17.)

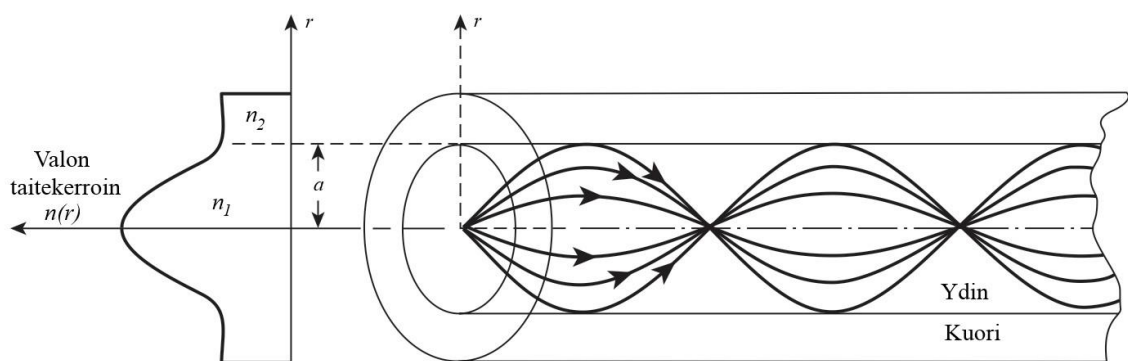
Kuvassa 2 Signaali A taittuu hyväksymiskulman antamissa rajoissa ja etenee kuidun ydintä pitkin kokonaisuheijastuen. Signaali B taittuu liian suuressa kulmassa heijastuen kuidun kuori- eli vaippaosaan. Valonsäde B vaimenee ja lopulta häviää. (3, s. 17.)





Kuva 3. Askelkertoimisen (a) monimuoto- ja (b) yksittäismuotokuidun toimintaperiaate (3, s. 44.)

Kuvassa 3 on kuvattuna taitekerroinprofiili ja säteilyn siirtyminen kuviossa (a) monimuoto askelkertoimisessa kuidussa ja kuviossa (b) yksittäismuoto askelkertoimisessa kuidussa. Ylemmässä kuvassa kirjain a kuvaa ytimen sädettä ja alemmassa kuvassa kirjain a kuvaa ytimen halkaisijaa. (3, s. 44.)



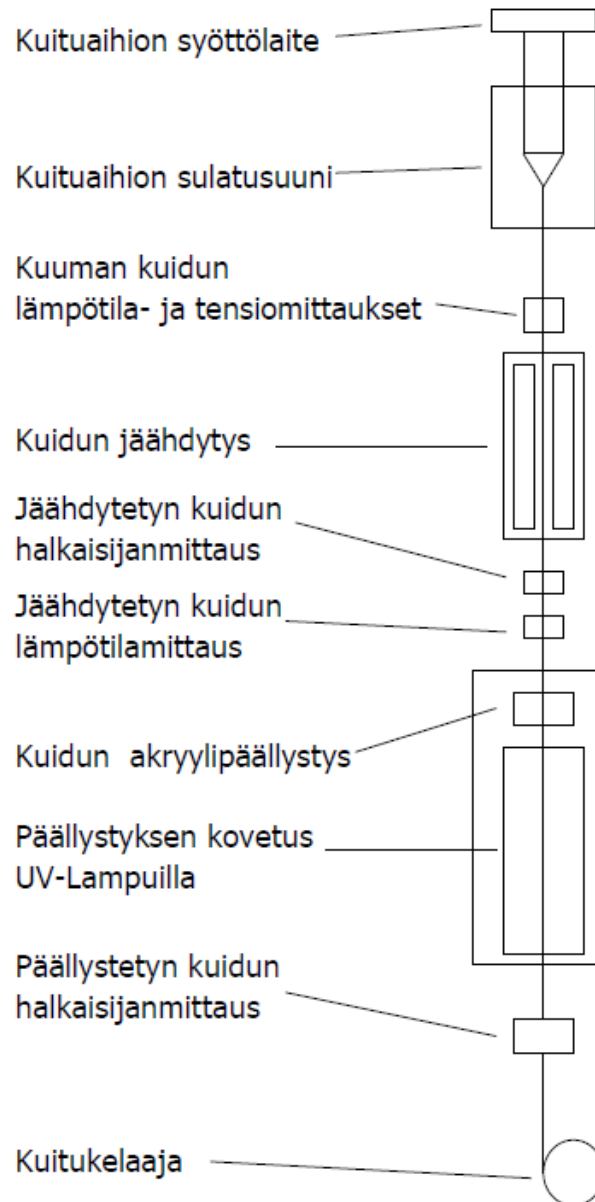
Kuva 4. Taitekerroin profiili ja säteilyn siirtyminen monimuoto asteittaiskuidussa. (11, s. 47.)

Kuvassa 4 puolestaan on esitettynä säteilyn siirtyminen monimuoto asteittaiskuidussa sen taitekerroinprofiilissa. Kuvassa 4 kirjain a kuvaa ytimen sädettä. (3, s. 47.)

2.2 Valokuidun valmistus

Valokuidun valmistukseen kuuluu useita eri prosessivaiheita ja erilaiset kuitutyyppit vaativat erilaisia prosesseja. Kuiduilla voi olla erilaisia ominaisuuksia. Esimerkiksi pitkän matkan kuiduilta vaaditaan enemmän tarkkuutta tietohäviöiden minimoimiseksi. Valonsäteet

vaimenevat edetessään kuidun sisällä ja tämä aiheuttaa ongelmia, kun tietoa halutaan kuljettaa pitkiä välimatkoja. Mitä puhtaampaa kuitua valmistetaan, sitä vähemmän valosäteet vaimenevat kuidun sisällä. Lasista valmistettua kuitua venytetään kuumentamalla kuituaihiota kuidunvetotornissa olevan induktiosulatusuunin ja painon avulla halutun paksuiseksi. Sulatettua kuitua venytetään painovoiman avulla siihen asti, kunnes kuidun halkaisija on saatu tavoiteltuun mittaan. Tämän jälkeen kuidunvetotornissa ruvetaan kuitua vetämään puolaimien avulla lattiatasossa olevan kuitukelaajan kelalle. Vetotornin eri tasoilla on useita koneita tekemässä prosessin toimenpiteitä kuidulle. Ennen kuituaihion sulatusta on saatava aikaan valmistukseen sopiva kuituaihio, jota kutsutaan myös pre-formiksi. (4, s. 8.) Kuvassa 5 esitetään yksinkertaistettuna kuidunvetotornin layout ja sen pääasialliset toiminnot sekä mittaukset.

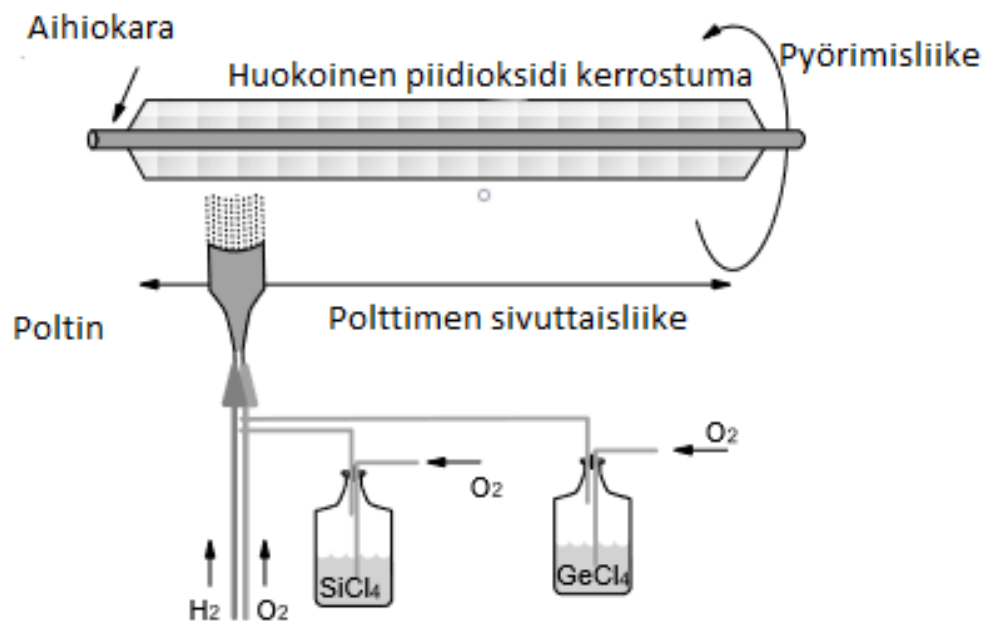


Kuva 5. Kuidunvetotornin perustoiminnot.

Valmis lasikuituaihio asetetaan kuidunvetotornin syöttölaitteeseen, joka syöttää aihiota induktiosulatusuunille. Kuumasta sulaneesta lasista mitataan lämpötilaa sekä tensiota ennen kuidunjäähdytystä. Jäähdytyksen jälkeen kuidulle suoritetaan mittaukset ennen kuidun akryylipäällistystä. Kuidun akryylipäällistys täytyy kovettaa prosessin aikana ja tähän käytetään UV-lamppuja. Lopuksi mitataan kuidun halkaisija ja kelataan kuitukelaajan avulla kelalle. Kuidunvetotornin layout ja toiminnot (mukailtu 4, s 11.)

Kuituaihion yleisimpiä valmistusprosesseja ovat ulkopuolinen kaasufaasipinnoitus (Outside Vapor Deposition, aksiaalinen kaasufaasipinnoitus (Vapor Axial Deposition), muunneltu kemiallinen kaasufaasipinnoitus (Modified Chemical Vapor Deposition) sekä plasma-avusteinen kemiallinen kaasufaasipinnoitus (Plasma-assisted Chemical Vapor Deposition). Seuraavaksi kerrotaan lyhyesti kaikista neljästä yleisimmästä valmistusmenetelmästä.

Ulkopuolinen kaasufaasipinnoitus (Outside Vapor Deposition) eli OVD-prosessi on ulko-menetelmä jossa, piitetrakloridi (SiCl_4) reagoi hapen kanssa happi-vety-polttimen tuottaman lämmön johdosta tuottaen piidioksidia (SiO_2) ja vetykloridia (HCl), tätä prosessia kutsutaan liekin hydrolyysiksi. Pääperiaate näkyy kuvassa 6, ja prosessin aikainen tilanne kuvassa 7, sekä valmiit kuituaihiot kuvassa 8. Germaniumtetrakloridin (GeCl_4) avulla voidaan muokata kuituaihion taitekerrointa aihion eri osissa. Aihiokara voi olla ke-raaminen, metallinen tai aiemmin samalla prosessilla tuotettu kuituaihio. Polttimen sivuttaisliike ja ahiokaran pyörimisliike mahdollistavat muodostuvien piidioksidihukkasten kerrostumisen ahiokaran päälle tasaisesti. Prosessin loppuvaiheessa kerrostettu kuituaihio sintrataan ja puhdistetaan epäpuhtauksista. (5, s. 271.)



Kuva 6. OVD-prosessin peruseriaate (mukailtu 5, s. 271).

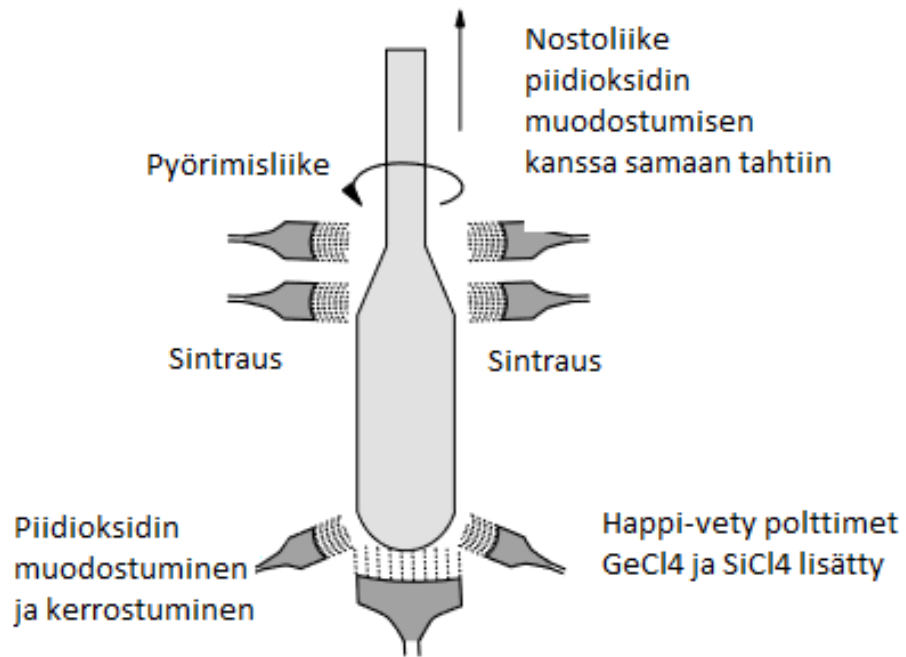


Kuva 7. Nextrom OFC05 OVD Clad Deposition System, kuituaihion kasvatus. Kuvassa OVD-prosessi toiminnassa, kuvassa 6. esitetyn periaatteen mukaisesti. Aihio on kuvassa keskellä vaakatasossa ja sitä lämmitetään alapuolelta happi-vety-polttimen avulla, joka näkyy kuvassa keskellä varsin kirkkaana. (6.)



Kuva 8. Valmiit lasikuituaihiot eli preformit OVD-prosessin kasvatusvaiheen jälkeen (6).

Aksiaalinen kaasufaasipinnoitus (Vapor Axial Deposition) eli VAD-prosessi on muunneltu versio OVD:sta, jossa kuituaihion ytimen ja kuoriosan pinnoitus voidaan tehdä joko samanaikaisesti tai erikseen. Toisin kuin OVD:ssa kuituaihiota voidaan muokata muodostuvan pään lämpötilajakauman ja muodon avulla. VAD on myös ulkomenetelmä. VAD-prosessin peruseriaate esitetty kuvassa 9. (5, s. 273.)



Kuva 9. VAD-prosessin peruseriaate (mukailtu 5, s. 273.)

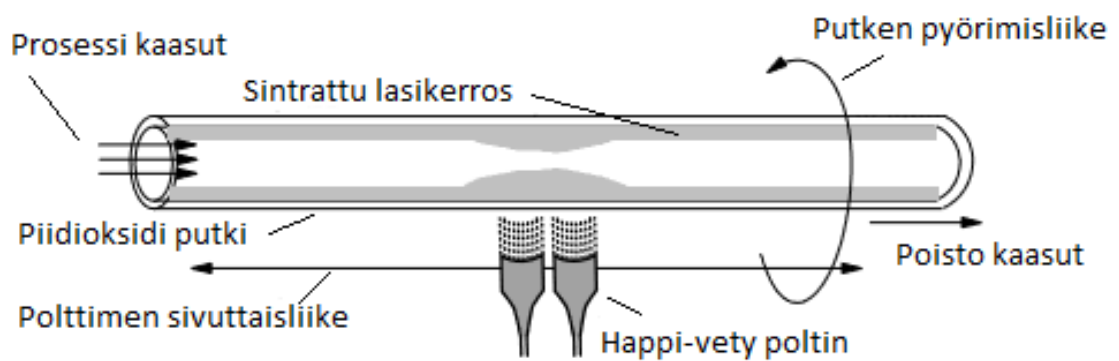


Kuva 10. OFC 04 Vad Core Deposition System, kuituaihion kasvatus. Kuvassa VAD-prosessin kuituaihion kasvatus käynnissä kuvassa 6. kerrotun periaatteen mukaisesti (7).



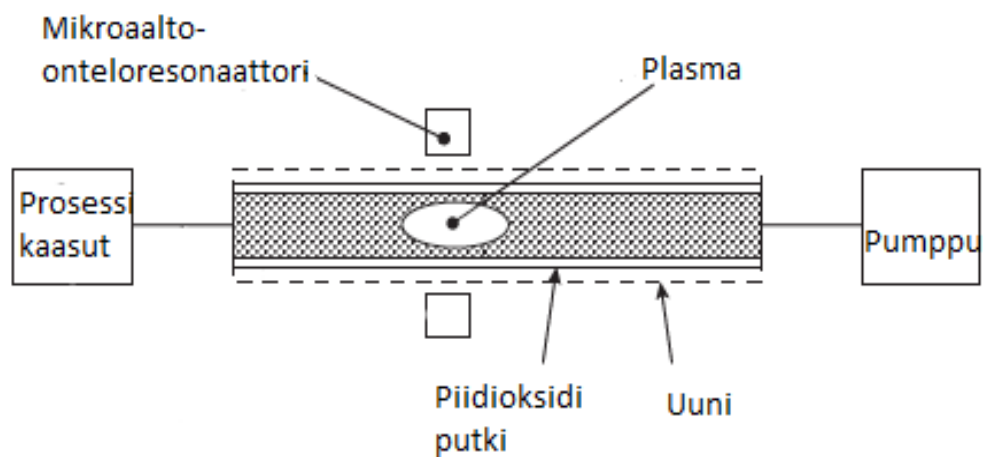
Kuva 11. Valmiit lasikuituaihiot eli preformit (7).

Muunneltu kemiallinen kaasufaasipinnoitus (Modified Chemical Vapor Deposition) eli MCVD-prosessi on sisämenetelmä, jossa piidioksidi putken sisään syötetään lähtöainekaasuvirtaus. Kaasuvirtaus on useimmiten piitetrakloridi ja germanium tetrakloridi, jotka reagoivat polttimen tuottaman lämmön avulla tuottaen piidioksidia putken sisäseinämille. Poltin sintraa piidioksidihiukkaset puhtaaksi kvartsilasiksi. Prosessisyklejä toistetaan useimmiten 30-100 kierrosta, siihen asti kunnes haluttu seinämän paksuus on saavutettu. Prosessin viimeisessä vaiheessa piidioksidiputki romahdutetaan kokoon tiiviiksi lasitangoksi vakuumointi järjestelmän avulla. Tämän jälkeen kuituaihio on valmis joko kuidunvetoa tai jatkoprosesseja varten. MCVD-prosessin avulla kuituaihion ytimeen voidaan muodostaa monimutkaisia taitekerroinprofileja, ja niitä pystytään hallitsemaan todella tarkasti. (5, s. 274; 8.)



Kuva 12. MCVD-prosessin peruseriaate (mukailtu 5, s. 274).

Plasma-avusteinen kemiallinen kaasufaasipinnoitus (Plasma-assisted Chemical Vapor Deposition) eli PCVD-prosessin on MCVD-prosessin tapaan sisämenetelmä. Toisin kuin MCVD-prosessissa PCVD-prosessissa kaasuvirtausta lämmitetään putken sisäpuolella mikroaalto-onteloresonaattorin tuottaman plasman avulla, kun taas MCVD-prosessissa kaasut saadaan reagoimaan lämmittämällä putken ulkopintaa polttimen avulla. PCVD-prosessissa lähtöaineilta vaaditaan noin 600 Pa höyrynpaine plasman tuottamista varten. PCVD-prosessissa lähtöainekaasujen käytön hyötysuhde on huomattavasti korkeampi kuin MCVD-prosessissa, joskus jopa lähellä sataa prosenttia. Putken ulkopintaa lämmitetään uunin avulla, ja näin saadaan kerrostumat sintrattua. (5, s. 274.)



Kuva 13. PCVD-prosessin peruseriaate (mukailtu 5, s. 274).

3 Profil-Bau Industrial Oy ja Rosendahl Nextrom Oy

Profil-Bau Industrial (PBI) Oy:n suurin ja tärkein asiakas on Rosendahl Nextrom Oy. Yritysten välinen yhteistyö on jatkunut vuosikymmeniä ja yritysten välillä vallitsee syvä molemminpuolinen luottamus. Osoituksena tästä luottamuksesta PBI:n henkilöstöä työskentelee osana Nextromin organisaatiota varsin itsenäisissä rooleissa.

Profil-Bau Industrial Oy on keskisuuri suomalainen insinööritoimisto. Yrityksen pääasiallisina tuotteina on tarjota asiakkailleen teollisuuden sähkö- ja automaatisuunnittelupalveluita. Yritys tarjoaa myös käyttöönotto- ja testauspalveluita sekä mekaniikkasuunnittelua ja dokumentointipalvelua. PBI:llä ydinasiakaskunta koostuu teollisuuden omien alojensa johtavista yrityksistä, joilla on vahva jalansija Suomessa mutta joiden toimintojen pääpaino on globaaleilla markkinoilla.

Nextrom on yksi maailman johtavista optisen kuidun ja kuitukaapeleiden valmistuslinjojen, tuotantoratkaisuiden ja palveluiden toimittaja. Nextrom on osa Itävaltalaisista Knill Gruppe konsernia. Knill Gruppe konserni työllistää maailmanlaajuisesti yli 2000 työntekijää ja se on perustettu vuonna 1712. Nextromin historia alkaa, kun NOKIA-Kaapelikoneet aloitti optistenkuidujen valmistuksen 1980 luvulla. Nextrom-nimi otettiin yrityskauppojen ja nimenvaihdosprosessien jälkeen. Kansainvälisen yrityksen Suomen toimipiste sijaitsee Vantaalla. Nextrom tarjoaa ratkaisuja lasiaihoiden valmistuksesta aina kaapelointiin asti. Nextromin pääasiallisina tuotteina ovat kuidut, erikoiskuidut, kuitukaapelit, kaapelipäällystykset, lisälaitteet ja testauskoneet. Se tarjoaa myös palveluja kone- ja linjakäyttöönottoihin, huolto ja päivitystöihin. Jatkuva kehitys ja osaamisen lisääminen tutkimuksen ja tuotekehityksen avulla ovat yrityksen vahvuuksia. Myös asiakkaiden koulutus ja varaosapalvelut ovat isossa roolissa yrityksen toiminnassa. (9.)

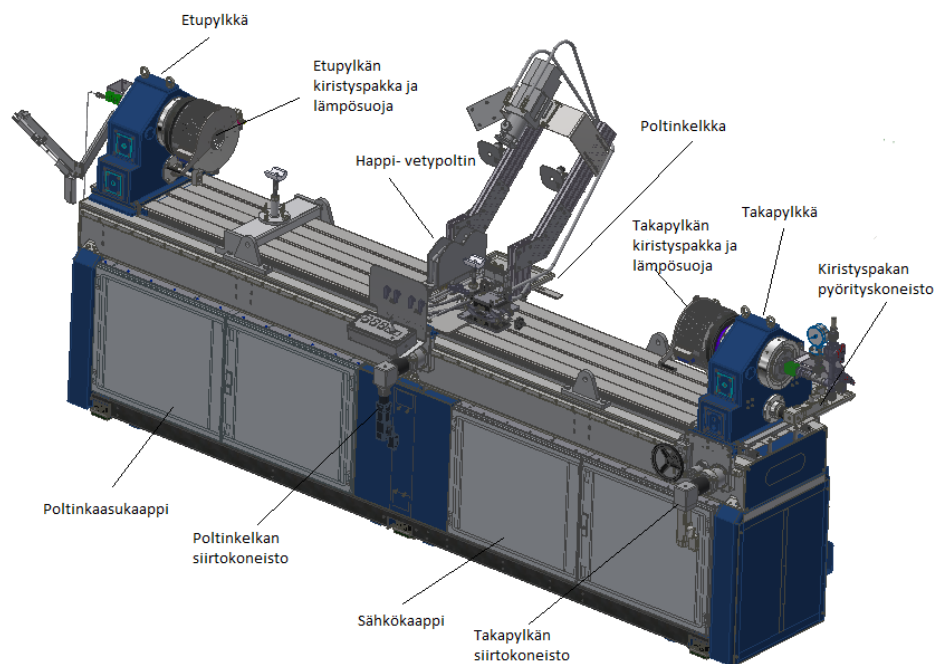
Olen itse toiminut sähkösuunnittelijana PBI:ssä ja samalla suorittanut projektityötä Nextromille. Projektityö on koostunut asiakasprojekteista aina vaativiin tuotekehitysprojekteihin.

4 Nextrom Lathe System

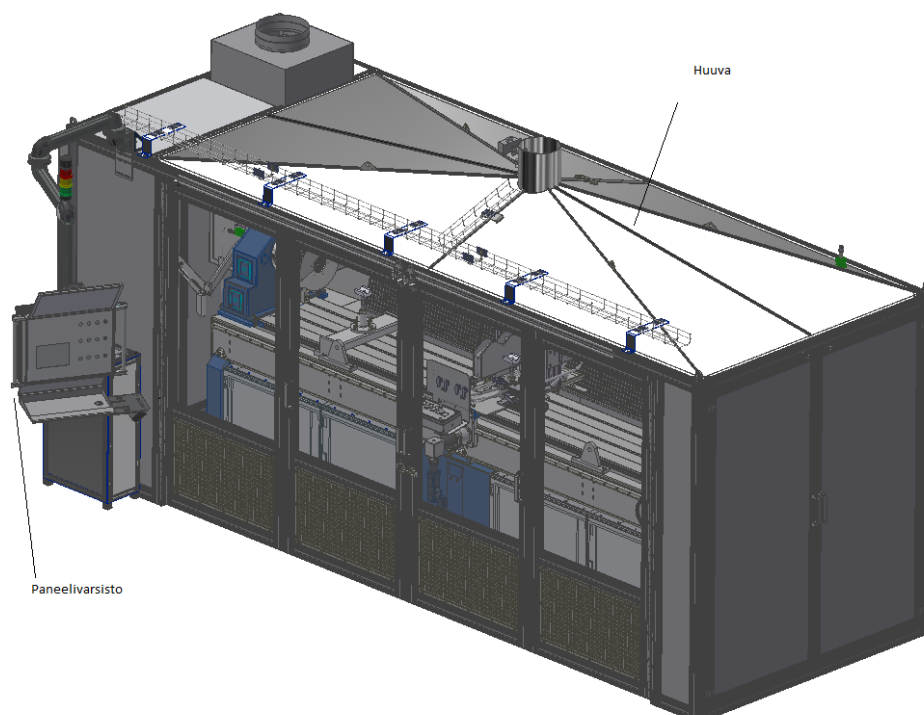
Tässä luvussa esittelen Nextromin lasinkäsittelysorvin peruskonfiguraation ja siihen liitettävät muut järjestelmät. Nextrom Lathe System eli NLS luokitellaan koneeksi, jolla voidaan käsitellä optisen kuidun valmistukseen käytettäviä lasikuituaihioita. Koneella tarkoitetaan toisiinsa liitettävien osien tai komponenttien yhdistelmää, joka on varustettu muulla kuin ihmis- tai eläinvoimalla toimivalla voimansiirtojärjestelmällä. Koneessa on oltava vähintään yksi osa tai komponentti, joka on liikkuva. Kone on kokoonpantua erityistä toimintoa varten. Koneiksi voidaan myös luokitella käsikäyttöiset nostamiseen tarkoitetut laitteet, kuten tunkit ja käsivinssit. Lainsäädännössä koneiksi määritellään lisäksi tietyt tuoteryhmät esimerkiksi turvakomponentit, nostoapuvälineet, nostoketjut, -köydet ja -vyöt sekä nivelakselit. (10.)

Nextrom Lathe System on Nextromin valmistama horisontaalinen lasinkäsittelykone, jota myös kutsutaan lasisorviksi (Glass Working Lathe). NLS:ää käytetään optisen kuidun lasiaihioiden muokkaamiseen. NLS:ää on mahdollista käyttää pelkkiin lasitöihin ilman erillisiä lähtöainekaasujärjestelmiä. Yleisimmät lasityöt ovat kuituaihioiden yhdistäminen yhdeksi pidemmäksi kuituaihioksi, kuituaihioiden katkaisu sekä kuituaihioiden kiillotus liekin avulla (9). Jos NLS yhdistetään muihin erillisiin järjestelmiin, niin MCVD- ja FCVD-prosessit sekä maametallirikastaminen ovat myös mahdollisia lasitöiden lisäksi. Näistä järjestelmistä kerrotaan tämän luvun lopussa. MCVD-prosessin ja FCVD-prosessin tuottamiseen tarvitaan lasinkäsittelykone sekä lähtöainekaasujärjestelmä. Asiakas voi tilata Nextromilta pelkän lasinkäsittelykoneen (OFC15). Jos asiakas tarvitsee lähtöainekaasujärjestelmän MCVD- tai FCVD-prosessia varten, niin Nextrom tarjoaa erillisen järjestelmän, jota kutsutaan Nextrom Gas Cabinetiksi (NGC). OFC12-konekokonaisuus sisältää lasinkäsittelykoneen, lähtöainekaasujärjestelmän (NGC) sekä optiona siihen on myös olemassa NHS eli kuumakaappi. Jos asiakas ostaa pelkän lasinkäsittelykoneen eli pelkän NLS:n (OFC15) niin kone ei vaadi erillistä tietokonetta ohjaamaan prosessia, vaan tähän riittää koneen oma käyttöpaneeli (HMI) ja PLC-yksikkö. Mutta jos asiakas on ostanut OFC12-konekokonaisuuden, jolla voi tuottaa MCVD- tai FCVD-prosessin, hän tarvitsee prosessiin oman tietokoneen prosessin käyttöä varten. (8.)

Nextrom Lathe Systemin peruskonfiguraatioon kuuluvat etupylkkä (headstock), takapylkkä (tailstock), poltinkelkka tai uunikelkka (burner carriage tai furnace carriage), molempien pylkkien kiristyspakat (chuck), sähkö- ja poltinkaasukaappi sekä koneen varsinainen runko. Lisäksi erilaisia toimilatteita voidaan liittää asiakkaan toiveiden mukaisesti eri prosesseja varten. Etupylkkä on koneen kiinteä pylkkä rungossa. Etupylkkässä olevaa pyöritetään pyöritysmoottorin avulla. Takapylkkä on vaakasuunnassa liikuteltava pylkkä. Sen liikuttaminen tapahtuu rungossa olevia johteita pitkin joko käsiveivillä tai liikutusmoottorin avulla, riippuen asiakkaan tilaamasta konfiguraatiosta. Takapylkkässä on myös pyöritysmoottori kiristyspakkaa varten. Takapylkän tulee olla vaakasuunnassa liikuteltava eripituisten lasikuituaihioiden työstöä varten. Poltinkelkka tai uunikelkka (burner carriage tai furnace carriage) on rungon johteilla kulkeva kelkka, johon on kiinnitetty joko happi-vety poltin tai uuni lasikuituaihion kuumentamista varten. Kelkkaa voidaan ohjata joko käsiveivillä tai sähköisesti joystickillä. Kelkan tarkoituksena on lämmittää kuituaihiota ja liikkua horisontaalisesti sitä pitkin. NLS:ään tulee myös paneelivarsisto, jossa on HMI-käyttöliittymä ja painonappeja liikeohjausta varten. NLS:n ympärille suunnitellaan ja kasataan huuva, joka suojaa ympäristöä NLS:n polttimeen tuottamalta lämmöltä sekä eristää koneen muusta tilasta. Huuvan koko riippuu sorvin pituudesta sekä asiakkaan määrittämästä huonelayoutista eli sen tilan mitoista, johon kone asennetaan. Ku-
vissa 14 ja 15 ovat näkyvillä edellä luetellut osat. (11.)



Kuva 14. NLS kuva 3D-mallinnusohjelmasta, jossa on mainittuna NLS:n perusosia (12).



Kuva 15. Kuvassa näkyy NLS:n ympärille kasattava huuva sekä prosessi ja liikeohjausta varten oleva paneelivarsisto (12).

Nextrom Lathe Systemiin voidaan myös yhdistää muita järjestelmiä erilaisten prosessien aikaan saamiseksi. Näitä prosesseja ovat esimerkiksi MCVD (Modified Chemical Vapor Deposition) tai FCVD (Furnace Chemical Vapor Deposition). MCVD-prosessin perusperiaatteesta on kerrottu tarkemmin luvussa 3. FCVD-prosessi poikkeaa MCVD-prosessista siten, että NLS:n johteilla kulkeva poltin on korvattu lämmitysuunilla, joka kulkee lasikuituaihion ulkopintaa vasten tuottaen prosessiin tarvittavan lämmön. Jossain tapauksissa asiakas haluaa NLS:n, jossa on sekä poltin että uuni. Tämä täytyy osata suunnitteluvaiheessa ottaa huomioon, jotta se on tarvittaessa mahdollista. (8.)

Mahdollisia Nextrom Lathe Systemiin liitettäviä järjestelmiä ovat Nextrom Gas Cabinet, Nextrom Refilling sekä Nextrom Hot System. Nextrom Gas Cabinet (NGC) on Nextromin valmistama lähtöainekaasujärjestelmä, jolla voidaan syöttää lähtöainekaasuja MCVD- ja FCVD-prosesseja varten. Lähtöaineita voi olla jopa neljä, mutta yleisimpiä ovat piitetra-kloridi ja germaniumtetrakloridi. NGC:ssä piitetra-kloridi ja germaniumtetrakloridi höyrystetään ja syötetään NLS:ään asetetun lasikuituaihion sisään kyseisissä prosesseissa. Nextrom Refilling (NRF) on Nextromin valmistama kaasunsyöttökaappi OFC12-linjoissa käytettävälle NGC-lähtöainekaasujärjestelmälle. NRF:llä voidaan täyttää samanaikaisesti useampaa OFC12-linjaa, eikä jokaisen linjan lähtöainekaasujärjestelmä tarvitse omia kaasuvälikäytöksiä. Täyttäminen tapahtuu automaattisesti PLC-ohjauksella. Nextrom Hot System (NHS) on Nextromin valmistama harvinaisten maametallien höyrystyslaitte, joka voidaan yhdistää MCVD-prosessiin NLS:n kanssa. NHS höyrystää harvinaisia maametalleja esimerkiksi Er (Erbium) ja Yb (Ytterbium) rikastaen lasikuituaihiota. Lasikuituaihion rikastamisella saadaan kuituun niin sanottu sisäinen vahvistin. Sisäinen vahvistin vaikuttaa siten, että valosignaalin osuessa kuidun rikastettuun osaan, rupeaa signaali heijastumaan vahvemmin kuin rikastamattomassa kuituosassa. (8.)

5 Tuotekehitysprojekti koneelle NLS

Tässä luvussa kerrotaan tarkemmin Nextromin lasintyöstösorvin Nextrom Lathe Systemin (NLS) tuotekehitysprojektista ja siihen liittyvistä sekoista. Luvussa kerrotaan yleisesti projektin tavoitteista ja syistä sekä etenemisprosessista.

5.1 Tavoitteet ja syyt tuotekehitysprojektille

Tuotekehitysprojektin päätavoitteena oli suunnitella optisten lasikuituaihioiden valmistukseen käytettävä uudenlainen lasintyöstösorvi Nextromille. Kyseisen lasintyöstösorvin nimitys on Nextrom Lathe System eli lyhyemmin NLS. Tuotekehitysprojektissa Nextrom vastasi itse sähkö-, mekaniikka-, automaatio- ja prosessisuunnittelusta ja konekokonaisuuden sähköisestä ja mekaanisesta kasaamisesta sekä kokonaisuuden testaamisesta. Alihankkijoille tässä konekokonaisuudessa ja sen prosessissa kuuluivat sähkökaapin kalustus sekä kaikkien hitsattavien ja koneistettavien mekaniikkaosien valmistus. Toimilaitteet eli esimerkiksi kamerat ja mittalaitteet ostettiin tuotetoimittajilta. Tuotekehitysprojektin tavoitteena oli ensisijaisesti suunnitella uusi lasintyöstösorvi. Tarkoituksena oli varsinkin saada kyseisen konekokonaisuuden kokonaiskustannuksia alas sekä tilavaatimusta pienemmäksi vanhan tyyppisestä konekokonaisuuden ratkaisusta.

Tätä tuoteprojektia ennen Nextrom osti lasintyöstösorvin rungon saksalaiselta Arnold-nimiseltä yritykseltä, jolla on pitkä kokemus lasintyöstösorvien rakentamisesta. Vanhan sorvin kalustus tehtiin kuitenkin Nextromin toimesta. Vanhantyyppisessä lasintyöstösorvin ratkaisussa sähkö- ja poltinkaasukaappi olivat erillään koneen varsinaisesta rungosta, mikä vaatii isomman puhdastilan konejärjestelmää varten. Optisen kuidun lasikuituaihioiden työstäminen tapahtuu puhdastilassa, ja näin ollen mitä pienempi koneen tilavaatimus on, niin sitä pienemmän puhdastilan se vaatii. Uuden tyyppisessä NLS-lasintyöstösorvissa sähkö- ja poltinkaasukaappi ovat sulautettuina koneen mekaaniseen runkoon. Tämä pienentää huomattavasti koneen tilavaatimusta. Tilavaatimuksen pienentyessä myös vaadittu puhdastilan alue on pienempi. Puhdastila-aluetta haluttiin tässä tuotekehitysprojektissa saada pienemmäksi esimerkiksi siksi, että puhdastila on kallista rakentaa. Myös rungon hinta saatiin uudessa NLS-lasintyöstösorvissa pienemmäksi, koska rungon valmistuskustannukset ovat pienemmät, kun se suunnittelu ja kasaaminen tehtiin itse. Myös kysynnän uskottiin lisääntyvän uuden mallin valmistuttua.

5.2 Tuotekehitysprojektin etenemisprosessi

Tuotekehitysprojekti alkoi asiakastilauksesta, ja näin tuotekehitys- ja asiakasprojekti lähtivät kulkemaan rinta rinnan. Nextromilla kaikki projektit alkavat aloituspalaverilla, jossa ovat mukana projektipäällikkö, tuotepäällikkö/myyjä, prosessi-insinööri, sähkö- ja mekaniikkasuunnittelijoita, automaatio-suunnittelijoita sekä tuotannonsuunnittelijoita. Aloituspalaverissa pitäisi olla valmiina myyntispesifikaatio, jonka sisällön myyjä ja asiakas ovat jo aiemmin projektin myyntivaiheessa sopineet. Myyntispesifikaatiossa kerrotaan mitä koneita asiakkaalle on myyty sekä niiden tekniset ratkaisut. Aloituspalaverissa käydään läpi mahdolliset projektin ongelmakohdat aikataulullisesti sekä resursseihin liittyen. Näitä ongelmia voivat olla esimerkiksi komponenttien pitkät toimitusajat sekä saatavuus ja vaaditun suunnittelutyön määrä. Tässä tapauksessa, kun tehtiin uutta konetta, niin kaikki oli uutta eli kaikki suunnittelu tuli aloittaa tyhjältä pöydältä. Tämä vaati myös tarkasti projektissa eteen tulevien ongelmien kartoittamista.

Oma osuuteni oli tuotekehitysprojektin alkuvaiheessa osallistua tuotekehityksen ja mekaanisten ratkaisujen miettimiseen sekä toimia pohdinnan avustajana. Tuotekehitysprojektin suunnittelu aloitettiin miettimällä rungon mekaanisia ratkaisuja, sillä juuri runko oli vanhan tyyppisen koneen kallein yksittäinen osa ja sen toimitusaika oli myös todella pitkä, usein jopa yhdeksän kuukautta. Kun rungon mekaaniset ratkaisut alkoivat suurin piirtein olemaan selvillä, niin vastuulleni tuli sähkötekniisten ratkaisujen pohdinta. Sähkö-, mekaniikka-, automaatio- ja prosessisuunnittelijoiden kesken mietittiin esimerkiksi sopivien sähkötekniisten toimilaitteiden valintaa sekä koneen mekaanisia ja sähköisiä ratkaisuja. Projektin aikana käytiin viikoittain palavereja, joissa seurattiin esimerkiksi, kuinka suunnittelu etenee sekä käytiin läpi mahdolliset muutokset aiemmin sovittuihin ratkaisuihin. Viikkopalaverien avulla projektin etenemisen tiedottaminen tuote- ja projektipäälliköille oli sujuvaa. Palavereissa myös suunnittelijat pääsivät keskustelemaan ja pohtimaan, mitä tulisi miettiä seuraavaksi.

Projektissa käytiin myös riskianalyysipalavereja, joissa ulkopuolisen toimijan riskienkartoittajan kanssa mietimme valittuja ratkaisuja sekä mahdollisia tarvittavia muutoksia konedirektiivin mukaiseksi. Liikkuvien koneikkojen riskianalyysillä oli suuri rooli mietittäessä mekaanisia ja myös sähköisiä ratkaisuja. Riskianalyysipalavereissa kävi ilmi, että vanhassa sorvissa ollut mekaaninen valta-akseli, joka pyörittää pakkoja mekaanisesti

synkronissa voi muodostua ongelmaksi, koska se pyörii suojaamattomana. Tämä olikin yksi suurin toiminnallinen muutos uudessa lasintyöstösorvissa vanhaan verrattuna. Päädyttiin korvaamaan tämän mekaanisen valta-akselin niin sanotulla sähköisellä akselilla eli kahdella erillisellä pyöritysmoottorilla, joilla pyöritetään pakkoja synkronissa. ”Sähköinen” akseli poisti vanhassa lasintyöstösorvissa havaitut mekaanisen akselin suojausongelmat. Minun sähkösuunnittelijana tuli ostaa lisenssi tälle sähköiselle akselille sekä tutkia mitä liityntöjä se vaatii moottorikäyttöjen kannalta.

Kun suurin osa kaikista toimilaitteista ja mekaanisista ratkaisuista oli lyöty lukkoon, niin alkoi varsinaisen sähkösuunnittelu, josta kerrotaan tarkemmin seuraavassa luvussa 6. Kun sähkösuunnitteluun tarvittavat dokumentit eli esimerkiksi piirikaaviot, osaluettelot ja erilaiset määrittelykuvat oli tehty, niin kone oli sähköteknisesti valmis ostettavaksi. Tuotantomateriaali lähetettiin tämän jälkeen tuotannonsuunnittelijalle. Tuotantomateriaali sisältää yleensä piirikaaviot, osaluettelot, osakuvat, riviliitinkoonnat, sijoittelukuvat sekä ohjeet sähköasennuksille ja mahdollisen sähköisen testauksen ohjeen ja raportin. Tässä projektissa sähkökaapin testausohjetta ja testausraporttia ei ehditty määrittää oston laitto vaiheessa, koska kyseessä oli uusi tuotekehitysprojekti. Tuotannonsuunnittelija teki tarvittavien dokumenttien perusteella ostoehdotuksen oston.

Nextromilla on tuotantohalli Vantaalla, jossa koneet kasataan sekä testataan lähetystä varten. Tuotantohalliin tulee tehdä hallimateriaali, joka sisältää tiedot hallissa tehtäviä sähköasennuksia varten. Seuraavaksi tehtäväni oli olla tukena sähköasennuksessa osien saapumisen jälkeen. Minun tuli korjata mahdollisia pieniä piirikaavioissa havaittuja virheitä sekä osapuutoksia. Tässä projektissa ei ollut juurikaan sähkötekniisiä ongelmia, oli vain joitain satunnaisia osapuutteita. Mekaanisissa ratkaisuissa oli puolestaan suuria ongelmia, jotka pääosin aiheuttivatkin projektin viivästymisen. Kun kone oli koottu ja testattu niin se lähetettiin asiakkaalle, jossa se asennettiin paikalleen ja tehtiin käyttöönotto. Nextrom tarjoaa asennuksen sekä käyttöönoton, jos asiakas näin haluaa. Tässä projektissa asiakkaalla oli asennusvalvonta Nextromin toimesta, ja Nextrom vastasi myös koneen käyttöönotosta.

6 Nextrom Lathe Systemin sähkösuunnittelu

Sähkösuunnittelun tulee noudattaa aina standardeja sekä määräyksiä. Koneiden sähkölaitteisto tulee suunnitella standardin SFS-EN60204-1 mukaisesti. Tässä luvussa kerrotaan Nextrom Lathe Systemin eli NLS lasinkäsittelysorvin sähkösuunnittelusta ja sähkösuunnitteluprosessin etenemisestä tarkemmin. Aluksi kerrotaan sähkösuunnittelusta ja sähkösuunnittelussa käytettävistä ohjelmista Nextromilla. Tämän jälkeen kerrotaan kyseisen projektin sähkösuunnitteluprosessista tarkemmin sekä käyn läpi myös projektin erityispiirteitä ja eteen tulleita ongelmia.

6.1 Sähkösuunnittelu Nextromilla

Nextromilla sähkösuunnitteluprojektit voidaan jakaa viiteen eri luokkaan arvioitujen suunnitteluun käytettävien tuntimäärien mukaan. Perusluokalla tarkoitetaan suunnittelutehtävää koneesta tai laitteesta, jossa myydään peruskone eli tyyppirakenne ja sähköpiirikaaviot ovat valmiita, eikä myyntispefikaatiossa ole asiakkaan määrittämiä erillisiä vaatimuksia. Päivitysluokan suunnittelutehtävällä tarkoitetaan projektia, jossa asiakas on aiemmin ostanut peruskoneen, johon jälkeenpäin lisätään optio, joka löytyy jo suunniteltuna tyyppirakenteesta ja tyyppikuvista. Räättälöintiluokan suunnittelutehtävä on usein koneille, joissa optioita tyyppirakenteista ja sähkökuvista löytyy paljon. Vaikka optiot olisi jo suunniteltu tyyppirakenteille ja sähköpiirikaavioihin, vie selvitystyö kyseisten projektien kohdalla aikaa. Modernisointi-suunnitteluluokalla tarkoitetaan projektia, jossa asiakas on ostanut esimerkiksi koneeseen tai laitteeseen uuden sähkökaapin, jolloin siis kyseessä on jonkin osan modernisointi eli uudistus. Viimeisenä luokkana on tuotekehitys, jolloin konetta tai laitteistoa ei ole vielä suunniteltu tai se suunnitellaan kokonaan uudestaan erilaisin ratkaisuin. NLS voidaan luokitella räättälöintiprojektien luokkaan, kun tässä kehitysprojektissa tehty tyyppiratkaisu on valmis. Taulukosta 1 nähdään eri luokkien arvioidut suunnittelutehtävän tuntimäärät.

Taulukko 1. Taulukko Nextromin sähkösuunnitteluluokista.

Luokka:	Perus	Päivitys	Räätälöinti	Modernisointi	Tuotekehitys
Aika:	5-20 h	10-15 h	10-40 h	20-60 h	50-300 h

Taulukossa näkyvät Nextromin sähkösuunnitteluluokat sekä arvioidut sähkösuunnittelu-tehtävän tunnit. Tunnit ovat arvioita siitä, kuinka kauan kyseisen luokan sähkösuunnitteluprojekteihin kuluu aikaa.

Nextrom käyttää projekteissa projektin hallintajärjestelmänä Nextrom Project Portalia. Se on selainpohjainen järjestelmä, jossa kaikki projektit aikataulutetaan sekä työtehtävät projekteihin liittyen jaetaan ja aikataulutetaan. Projektin aikataulussa määritetään projektin eteneminen eli suunnittelun aikataulu, osien tilaus- ja toimitusajat, asennustehtävät, testaukset sekä koneiden ja laitteiden toimitus asiakkaalle ja mahdolliset asennusvalvonnat tai käyttöönotot. Project Portalista löytyvät myös projektikohtaiset myyntispesifikaatiot ja mahdolliset asiakkaalta varmistettavat tiedot. Projektipäällikön tehtävänä on pitää Project Portal ajantasalla ja merkitä sinne kaikki mahdolliset muutokset projektiin liittyen.

Nextromilla sähkösuunnittelijan vastuualueisiin kuuluvat koneen tai laitteen sähköiset mitoitus, sähkökaapin layoutsuunnittelu eli kalustus, sähköpiirikaavioiden suunnittelu, riviliittimien määrittelyt, kenttäkaapelien määrittelyt sekä koneiden sähködokumentointi. Sähködokumentteihin kuuluvat sähköpiirikaaviot, riviliittimien määrittelyt, koneiden tai laitteiden testiraportit, kaupallisten tuotteiden testiraportit sekä mahdolliset käyttölisenssit. Varsinaisten toimilaitteiden valinta, esimerkiksi sähkömoottorit, mittalaitteet ja kamerat ovat mekaniikkasuunnittelijan vastuulla, mutta valinnassa konsultoidaan niin sähkö- kuin automaatio-suunnittelijoita sopivan ratkaisun löytämiseksi.

Nextromilla käytetään sähkösuunnitteluun EPLAN P8-nimistä suunnitteluohjelmistoa, jota pääasiassa käytetään sähkö-, automaatio-, hydraulikka-, pneumatiikka- ja 3D-keskuslayoutsuunnittelussa. EPLAN P8 on tietomallipohjainen suunnitteluohjelmisto, joka

hyödyntää heidän omaa tuotekantaansa EPLAN Data Portalia. EPLAN Data Portal kattaa yli 840 000 komponenttitietoa yli 200 valmistajalta (13). Käytin tuotekehitysprojektin lasintyöstösorvin eli Nextrom Lathe Systemin sähkösuunnittelussa EPLAN Electric P8 sähkösuunnitteluohjelmistoa.

Nextromilla Product Lifecycle Management (PLM) järjestelmänä käytetään ATON-ohjelmistoa, jossa luodaan nimikkeet, projekti-, sarja- ja konerakenteet. ATONiin dokumentoidaan kaikki datalehdistä kokonaisuun projekteihin, joten kaikki suunnittelussa tarvittava tieto tuotteista ja koneista löytyy ATONista. Jos suunniteltava kone vaatii uusia tuotteita, niin ATONiin on luotava tuotteelle uusi nimike. Nextromilla jokaisella suunnittelijalla on mahdollisuus avata järjestelmään uusia nimikkeitä, eikä niin sanottuja tuoteinsinöörejä ole valitsemassa, mitä tuotteita on käytettävissä. Suunnittelijan tulee kuitenkin varmistaa, ettei kyseistä tuotetta ole jo avattu järjestelmään. ATON on avainasemassa niin sähkö-, automaatio- ja mekaniikka suunnittelussa Nextromilla.

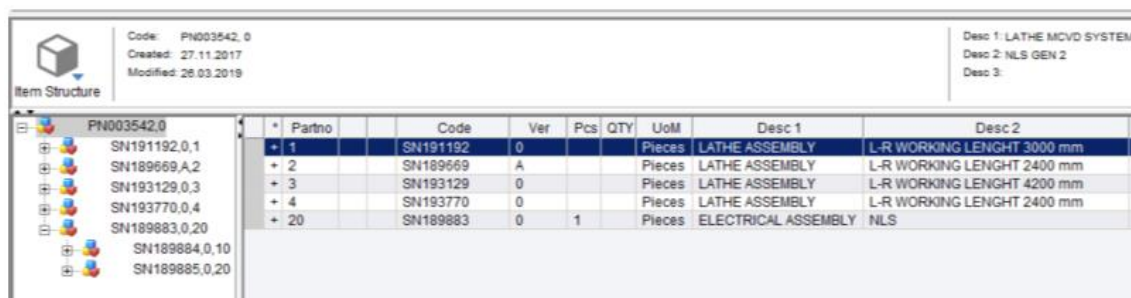
6.2 Sähkösuunnittelun etenemisprosessi

Sähkösuunnittelun tavoitteena oli tehdä tyyppiratkaisu NLS-koneesta. Tässä tyyppiratkaisussa tuli ottaa huomioon kaikki mahdolliset prosessimuodot. Tarkoituksena oli luoda siis tyyppiratkaisu, jota voidaan käyttää myös tulevaisuudessa myytäessä NLS-konetta. Kun tyyppiratkaisu on tehty hyvin, niin se helpottaa tulevaisuudessa sähkösuunnittelijan tehtäviä NLS-konetta myytäessä.

Tässä projektissa sähkösuunnittelun pystyi aloittamaan vasta siinä vaiheessa, kun mekaniikkasuunnittelun pääpiirteet olivat valmiina. Palaverimuistiinpanojen sekä alustavan selvitystyön avulla pystyi jo valmistelevaan sähkösuunnittelua, mutta ennen PI-kaavion valmistumista sähkösuunnittelua ei kannattanut täysipäiväisesti vielä aloittaa. Mekaniikkasuunnittelija määrittää yhdessä prosessi-insinöörin kanssa koneen PI-kaavion. PI-kaavio on putkitus- ja instrumentointikaavio, joka antaa kokonaiskuvan laitteiston toiminnallisuudesta. PI-kaaviossa esitetään kaikki toiminnalliset laitteet. Näitä ovat esimerkiksi putket, venttiilit, mittauspisteet, säätöpiirit sekä näiden liittynät toisiinsa. PI-kaaviossa määritetään myös laitetunnukset ja samoja tunnuksia tulee käyttää sähköpiirikaavioissa.

Sähkösuunnittelussa piirikaavioiden ja ATON-osaluettelon luominen etenivät käsi kädessä. Sähkösuunnitteluvaiheen alkaessa ATON-ohjelmistolla luodaan osaluettelo, jonka mukaan osat lopulta ostetaan. ATON-ohjelmiston konerakenteissa käytetään niin sanottua puumallin ajattelua. Puumallin ajattelussa konerakenteet ovat jaettuna tasoihin. Puumallin ylin taso on ATONissa koneen tyyppirakenne. Ylimmällä tasolla eli tyyppirakenteen alla voi olla useita erilaisia konerakenteita esimerkkinä mekaanisesti erikätisyydellä olevia rakenteita. Tyyppirakenteen alatasolta valitaan alemmat konerakenteet esimerkiksi Electrical Assembly eli sähkörakenne. Tämän tason alla ovat mahdolliset sähkösuunnittelun optiot sekä alemmat rakenteet. Sähkörakenteissa yleensä pärjätään yhdellä sähkörakenteella, jonka alla taas voi olla optioita alarakenteissa. Liitteessä 3 näkyy miten NLS:n raitisilmayksikön optio kuvataan ATON-rakenteessa ja sähköpiirikaavioissa.

Uutta konetta suunniteltaessa ATON-ohjelmistoon luodaan tyyppiosaluettelo, joka on si-
dottuna konerakenteen alle. Tyyppiosaluetteloon listataan kaikki koneen osat. Tyyppiosaluetteloa luodessa pitää siis pystyä huomioimaan kaikki mahdolliset optiot, mitä koneen myyntivaiheessa voidaan asiakkaalle tarjota. Näin ollen asiakasprojektin konerakenne on helposti muokattavasti projektikohtaisesti myyntispesifikaation avulla tulevaisuudessa. Kuvassa 16 näkyy esimerkki NLS:n tyyppirakenteesta ATON-ohjelmistossa.



Partno	Code	Ver	Pcs	QTY	UoM	Desc 1	Desc 2
1	SN191192	0			Pieces	LATHE ASSEMBLY	L-R WORKING LENGHT 3000 mm
2	SN189669	A			Pieces	LATHE ASSEMBLY	L-R WORKING LENGHT 2400 mm
3	SN193129	0			Pieces	LATHE ASSEMBLY	L-R WORKING LENGHT 4200 mm
4	SN193770	0			Pieces	LATHE ASSEMBLY	L-R WORKING LENGHT 2400 mm
20	SN189883	0	1		Pieces	ELECTRICAL ASSEMBLY	NLS

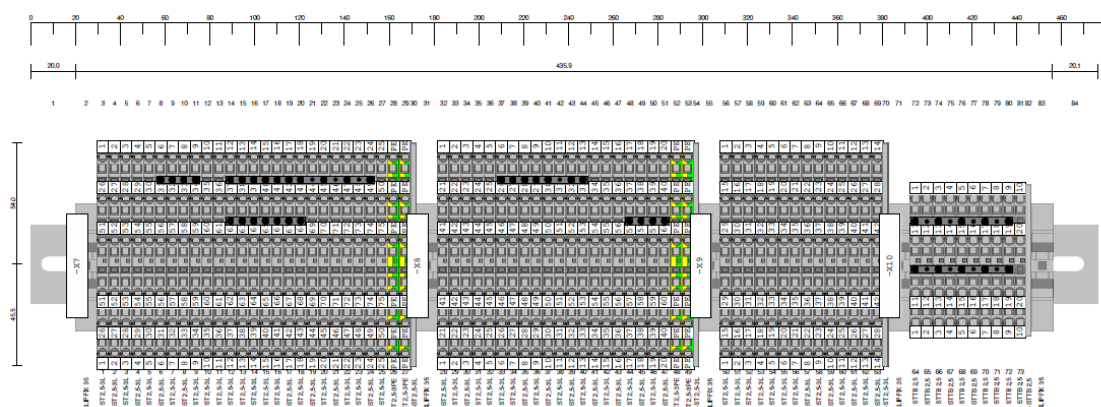
Kuva 16. NLS:n ATON-tyyppirakenne.

NLS-koneen sähkösuunnittelu alkoi niin sanotusti tyhjältä pöydältä. Sähkösuunnitteluvaiheen alkaessa konsultoinkin muita sähkösuunnittelijoita sekä sähköpääsuunnittelijaa mahdollisten pohjamallien käyttöön liittyen. Vaikka sähkösuunnittelu alkoi tyhjältä pöydältä, ajatusmallina kuitenkin käytettiin vanhan koneen sähköpiirikaavioita ja rakennetta sekä muiden Nextromin valmistamien koneiden sähköpiirikaavioita ja rakenteita. Tämän

koneen kohdalla käytettiin osassa sähkötekniisiä ratkaisuja pohjana muutama vuosi sitten Nextromin suunnittelemaa PCVD-konetta, jossa vaaditaan koneelta samanlaisia toimintoja kuin NLS:ltä.

Piirikaaviosuunnittelu tehdään Nextromilla EPLAN P8 -ohjelmistolla, niin kuin jo aiemmin mainittiin. Piirikaaviosuunnittelu oli isoin työvaihe NLS:n suunnittelussa ja siihen kului noin 300 tuntia. Piirikaaviosuunnitteluun sisältyy koneen kaikkien toimilaitteiden, sähkökomponenttien ja kaapeleiden suunnittelu sekä piirtäminen. Piirikaavion piirtämisvaiheessa piirretään koneen syöttö- ja ohjauspiirit sekä mitoitetaan tarvittavat suojalaitteet. Tämä vaihe on siis se, jossa koko kone suunnitellaan. Piirikaaviosuunnittelun vaiheessa tehdään paljon yhteistyötä automaatio-, mekaniikka ja prosessi-insinöörien kanssa haluttujen toimintojen aikaansaamiseksi. Nextromilla piirikaaviosuunnittelussa komponenttien ja kaapeleiden nimeäminen tapahtuu standardin IEC 81346 mukaisesti. EPLAN P8 -ohjelmisto pohjautuu samaan standardiin, joten sovellus sopii Nextromin käyttöön mainiosti.

Laitteiden kytkemistä varten tarvitaan riviliittimiä, jotka suunnitellaan piirikaaviosuunnitteluvaiheessa. Nextrom käyttää sähkökaapeissaan Phoenix Contactin riviliittimiä. Riviliittin koonnat luodaan Phoenixin Clip Project -ohjelmistolla, josta löytyvät kaikki Phoenix Contactin riviliittimet sekä niiden lisätarvikkeet. Clip Project -ohjelmisto on integroitavissa EPLAN P8 -ohjelmiston kanssa, mutta Nextromilla tätä integraatiota ei ainakaan vielä tämän projektin kohdalla käytetty, joten riviliittimet tuli erikseen määrittää käsitöinä myös piirikaavioihin. Kuvassa 17 näkyy esimerkki NLS:n riviliitinmäärittelyistä riviliitinkiskoille -X7 – -X10.



Kuva 17. Riviliitiittimien määrittäminen Clip Project -ohjelmistossa koneelle NLS.

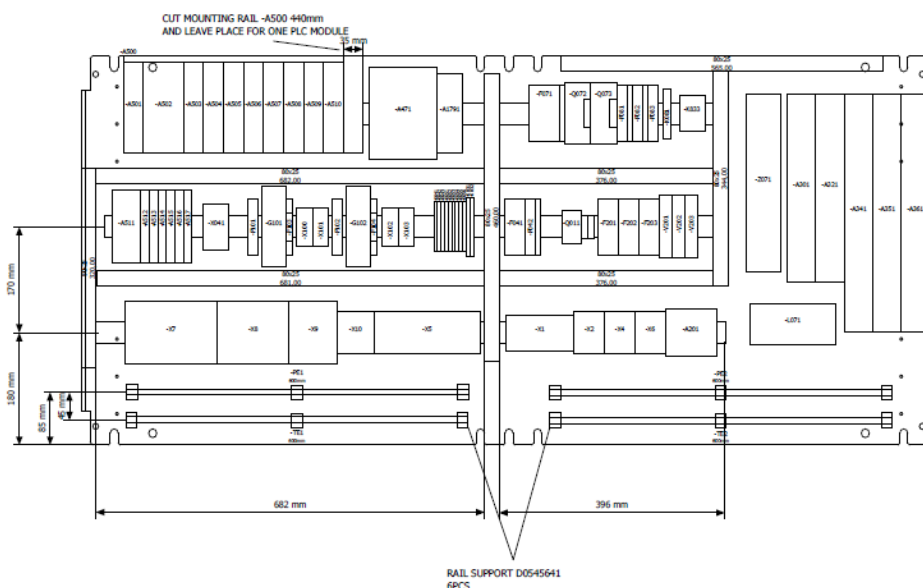
PI-kaavioissa ovat listattuna komponentit, jotka mekaniikka- ja prosessi-insinööri ovat valinneet käytettäväksi. PI-kaaviossa olevien sähköisten mittalaitteiden ja sähköisten toimilaitteiden ominaisuuksia tutkitaan niiden tietolehdistä piirikaaviosuunnittelun vaiheessa, jotta niiden vaatimat syöttö- ja ohjaustavat pystytään toteuttamaan. Kun koneen sähköiset mittalaitteet ja toimilaitteet ovat tiedossa, niin tutkitaan millaisia PLC-komponentteja ne vaativat signaalien vastaanottamiseen. Sähköisten mitta- ja toimilaitteiden tietolehdissä näkyvät signaalien tyypit ja ominaisuudet sekä liitännät. Näiden tietojen avulla pystytään valitsemaan koneeseen sopivia PLC-komponentteja eli ohjelmoitavia logiikoita. Nextromilla käytetään pääasiassa ohjelmoitavissa logiikoissa Siemens Simatic -tuoteperhettä. Projektissa päädyttiin erillisen ohjaustapalaverin jälkeen Simatic S7-1500 sarjan tuotteisiin.

Koneen suunnittelussa PLC-komponenttien valitsemiseen käytettiin apuna Siemensin tarjoamaa TIA Selection Tool -ohjelmaa, josta löytyvät ohjelmoitavien logiikoiden tuoteperheet ja näiden yksittäiset komponentit sekä lisälaitteet. PLC-komponenttien määrittäminen oli tärkeää tehdä suhteellisen aikaisessa vaiheessa automaattisuunnittelijan työn helpottamiseksi. Tiedot PLC-komponenteista mahdollistivat koneen ohjelmointisuunnittelun aloittamisen. PLC-komponenttien määrittämisen jälkeen rupesin piirtämään toimilaitteita piirikaavioihin ja johdotuksia oikeille PLC-korteille.

Piirikaaviosuunnittelussa valitaan myös koneen sähkökaappiin tulevat komponentit. Sähkökaapissa olevien PLC-komponenttien CPU-yksikkö eli Central Processing Unit kommunikoi väylällä toimivien kenttälaitteiden ja muiden järjestelmien kanssa. Väyläkommunikoinnin avulla tieto liikkuu toimilaitteiden välillä. Esimerkiksi moottorikäyttöjen ohjaus tapahtuu NLS:ssä CPU-yksikön kautta, joten moottorikäyttöjen ja CPU-yksikön välisen väylän tulee olla yhteensopiva. Sähkösuunnittelussa määritetään yhdessä automaattisuunnittelijan kanssa käytettävä väyläprotokolla. NLS:ssä tämä väyläprotokolla on Profinet. NLS:ssä tämä toimilaitteiden välinen kommunikointi tapahtuu siis Profinetiä käyttäen. Piirikaavion suunnitteluun vaikuttivat myös erilaiset turvatoiminnot, joita koneelle oli määritetty riskianalyysipalaverissa. Turvatoimintoihin kuuluvat esimerkiksi hätä-seis-toiminnot, koneen erilaiset turvanopeudet sekä koneen sähköisesti toiminnalliset turvalaitteet. Turvatoimintoihin käytetään Profisafe-kommunikointia, joka vaatii sekä toimilaitteilta että PLC-komponenteilta Profisafe -yhteensopivuuden ja turvalisenssin.

Koska kyseessä oli uusi tuotekehitysprojekti ja oltiin tekemässä tyyppiratkaisua, niin myös kaikki mahdolliset optiot oli pystyttävä huomioimaan sähkösuunnitteluvaiheessa. Optioiden huomioiminen helpottaa tulevilla NLS-projekteilla vähentämään suunnittelutyötä huomattavasti. Kaikkia mahdollisia optioita varten pystyi katsomaan mallia aiemmista toimitusprojekteista, joissa oli myyty vanhantyyppisiä lasintyöstösorveja eri konfiguraatioilla. Näiden perusteella pystyi miettimään, mitkä optiot tulee ottaa huomioon ja mitkä ovat tarpeellisia tässä uudessa konekokonaisuudessa. Yksi esimerkki optiosta, joka tuli huomioida tämän koneen kohdalla, olivat kaasumittarit esimerkiksi vedylle tai suolahapolle. Tähän koneeseen ne tulivat, mutta joissain tapauksissa näitä kaasumittareita ei välttämättä laiteta, jos asiakas ei ole niitä tilannut. Toinen esimerkki optiosta on FCVD-prosessiin käytettävä uuni ja sen sähköiset liitännät. Tätä optiota ei käytetty projektissa, mutta sen mahdollisuus tuli koneen suunnittelussa ottaa huomioon, jotta se pystytään asiakkaan tilauksesta toimittamaan ilman suuria sähköisiä muutoksia koneeseen.

Iso osa piirikaaviosuunnittelua oli sähkökaapin layout-suunnittelu ja siihen liittyvät tekijät. Yksi projektin haasteista sähkösuunnittelun näkökulmasta olikin sähkökaapin fyysinen koko, jota rajoitti rungon mekaaniset valinnat. Uudessa koneessa sähkökaappi sulautettiin koneen sisään. Nextromilla useimmissa koneissa sähkökaappi valitaan hieman suurempi kokoiseksi kuin mitä valitut kaappiin tulevat komponentit vaatisivat. Tämä valinta tehdään usein siksi, että se mahdollistaa tulevaisuudessa myös lisäykset ja muutokset. Tässä projektissa sähkökaapin fyysisen koon määrittä mekaanisen rungon antama tilavarauus, jonka puitteissa oli pärjättävä. Näin ollen sähkökaapin layout-suunnittelu tuli tehdä tarkkaan. Layout-suunnittelussa määritetään sähkökaappiin tulevien komponenttien paikat sekä tilavaraukset. Koneen suunnittelussa sähkö- ja poltinkaasukaapiksi valittiin Rittal Oy:n valmistama TP 6703.500 kaappi, jonka mitat olivat 1600 x 675 x 400 mm. Rittalin valmistamissa kaapeissa asennuslevy ja asennuslevyn kiinnitystarvikkeet tulevat kaapin mukana. Kuvassa 18 näkyy NLS:n sähköasennuslevyn keskuslayoutasettelu, joka määriteltiin EPLAN Electric P8 -ohjelmistossa.



Kuva 18. Sähköasennuslevyn 2D-keskuslayoutasettelu.

Sähkökaappiin tulevien komponenttien asettelusta tuli normaalia tiiviimpi, mutta siinä pysyttiin kuitenkin sallituissa komponenttien asettamisrajoituksissa. Rajoituksia ovat esimerkiksi jäähdytystilavaatimukset sekä asennettavuusvaatimukset. Nämä rajoitukset ovat näkyvillä komponenttien tietolehdillä ja rajoitukset ovat määritettyinä komponenttien valmistajan toimesta.

Kokonaisuudessaan sähkösuunnittelun osuus tuotekehitysprojektin kohdalla onnistui odotusten mukaisesti ja ilman suurempia ongelmia. Sähkösuunnittelulle annettussa aikataulussa pysyttiin ja muutokset projektin edetessä ja asennuksen tuen vaiheessa olivat vähäisiä.

7 Pohdinta

Tässä insinöörityössä paneuduttiin tarkastelemaan optisen valokuidun kuituaihion valmistamiseen ja muokkaamiseen tarkoitetun Nextrom Lathe Systemin (NLS) sähkötekniistä ratkaisua ja koneen tuotekehitysprojektia sekä projektiin liittyvää sähkösuunnittelua. Tuotekehitysprojektin tavoitteena oli saada aikaan uusi sähkötekniinen ratkaisu Nextrom Lathe Systemille. Työssä käytiin läpi valokuidun perusrakennetta, valokuidun yleisimpiä ominaisuuksia sekä valmistustapoja. Pääpaino työssä keskittyi kuitenkin optisen valokuidun valmistuskoneeseen NLS:n ja sen tuotekehitysprojektiin sekä sähkösuunnitteluun. Työssä käytiin läpi myös NLS:n liitettäviä järjestelmiä ja prosesseja.

Tuotekehitysprojekti eteni sähkösuunnittelun osalta suhteellisen jouhevasti, eikä suurempia ongelmia projektin edetessä ilmennyt. Tuotekehityksen lopputulemana asiakas vastaanotti haluamansa kaltaisen konekokonaisuuden sekä Nextrom sai valmiin sähkötekniisen tyypiratkaisun koneelle. Tämä helpottaa ja vähentää tulevaisuuden sähkösuunnittelun osuutta NLS:n kohdalla, kun sähkötekniinen tyypiratkaisu on tehty hyvin. Tuotekehitysprojektin myötä koneen kustannustehokkuus parani ja tyypiratkaisusta tuli helposti räätälöitävä tulevaisuuden myyntiprojekteja varten. Tuotekehitysprojektissa siis päästiin suhteellisen hyvin sille asetettuihin tavoitteisiin.

Yleisesti olin hieman yllättänyt sähkösuunnittelun tehtävissä siitä, että kuinka paljon toimilaittevalmistajien tuotteiden tietolehdissä on puutteita sähkötekniisiä tietoja koskien. On hankalaa suunnitella laitteelle sähkönsyöttöä tai tarkastella miten toimilaitte kommunikoi muiden komponenttien kanssa, jos laitteen tietolehdessä ei kerrota esimerkiksi mihin liitin numeroihin tulee syöttöjännitettä ja millä jännitteellä. Toimilaittevalmistajat kuitenkin toimivat teollisuuden alalla, jossa juuri nämä detaljitiedot ovat tärkeitä. Tämänkin koneen sähkösuunnitteluprosessissa kyseiset tiedot olivat hyvin tarpeellisia ja tietojen puuttuminen aiheutti pieniä haasteita.

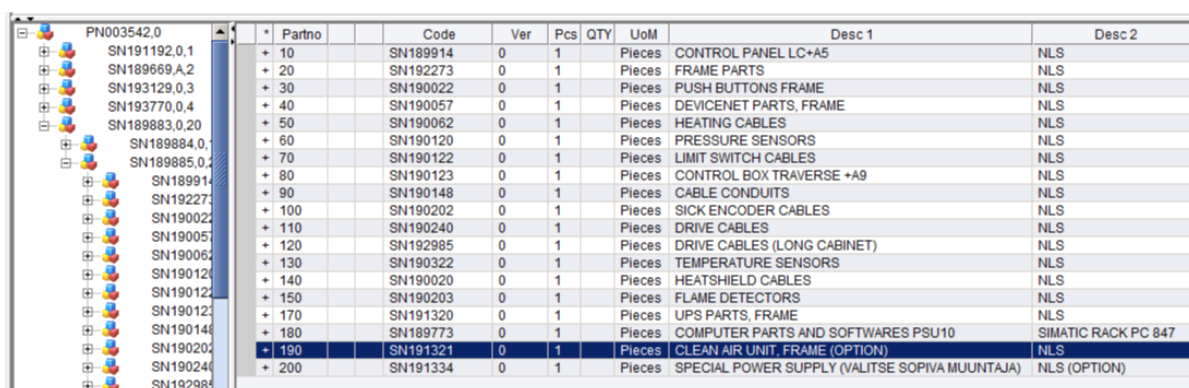
Tuotekehitysprojektin sähkösuunnittelun aikana sekä insinöörityötä kirjoittaessani opin paljon uutta laitekokonaisuuden suunnittelusta, koska tämä oli ensimmäinen tuotekehitysprojekti. Opin paljon sähkösuunnitteluun käytettävien ohjelmistojen käyttämistä sekä itsenäisen työn tekemiseen tarvittavia taitoja. Tämä tuotekehitysprojekti oli tähän asti isoin yksittäinen suunnittelutehtäväni sähkösuunnittelijan työurallani.

Lähteet

- 1 Tuominen, J. 2017. Oktametyylisyklotetrasiloksaanin käyttö lähtöaineena optisen kuidun valmistuksessa. Diplomityö. Tampereen Teknillinen Yliopisto.
- 2 Cable Basics: Fiber Optic Cable. 2019. Verkkoaineisto. Belden Inc. <http://www.beldencables-emea.com/en/products/cable_basics/fiber-optic-cable/index.phtml>. Luettu 16.4.2019.
- 3 Senior, J.M. & Jamro, M.Y. 2009. Optical Fiber Communications: Principles and Practice, 3rd Edition, Pearson Education Limited. <<https://eceagmr.files.wordpress.com/2014/09/optical-fiber-communications-principles-and-pr.pdf>>.
- 4 Pajunen, P. 2018. Control Architecture of Optic Fiber-Draw Process. Diplomityö Aalto yliopisto. Luettu 20.4.2019.
- 5 Dutton, H.J.R. 1998. Understanding Optical Communications. IBM Corporation, International Technical Support Organization. <http://www.nadirpoint.de/21687_7.pdf>.
- 6 Telecom fibers and preforms / OFC 05. 2019. Verkkoaineisto. Rosendahl Nextrom Oy. <<http://www.rosendahlnextrom.com/fiber-optics/manufacturing-solutions/telecom-fibers-and-preforms/ofc-05-ovd/>>. Luettu 16.4.2019.
- 7 Telecom fibers and preforms / OFC 04. 2019. Verkkoaineisto. Rosendahl Nextrom Oy. <<http://www.rosendahlnextrom.com/fiber-optics/manufacturing-solutions/telecom-fibers-and-preforms/ofc-04/>>. Luettu 16.4.2019.
- 8 Manufacturing Processes. 2001. Yrityksen sisäinen dokumentti. Rosendahl Nextrom Oy.
- 9 Rosendahl Nextrom Oy. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Rosendahl Nextrom Oy.
- 10 Koneet. 2019. Verkkoaineisto. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. <<https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/koneet>>. Luettu 17.4.2019.
- 11 Telecom fibers and preforms / OFC 15. 2019. Verkkoaineisto. Rosendahl Nextrom Oy. <<http://www.rosendahlnextrom.com/fiber-optics/manufacturing-solutions/telecom-fibers-and-preforms/ofc-15/>>. Luettu 16.4.2019.
- 12 Rosendahl Nextrom Oy / Kuitunen, M. 2019. Tuotetietokanta. Rosendahl Nextrom Oy.
- 13 Ratkaisut: oikeat työkalut suunnittelutyönne vaatimuksiin. 2019. Verkkoaineisto. EPLAN Software & Service AB. <<https://www.eplan.fi/fi/ratkaisut/>>. Luettu 16.4.2019.

Liite 1. Clean Air System option esitys ATON ja Eplan P8 ohjelmistoissa

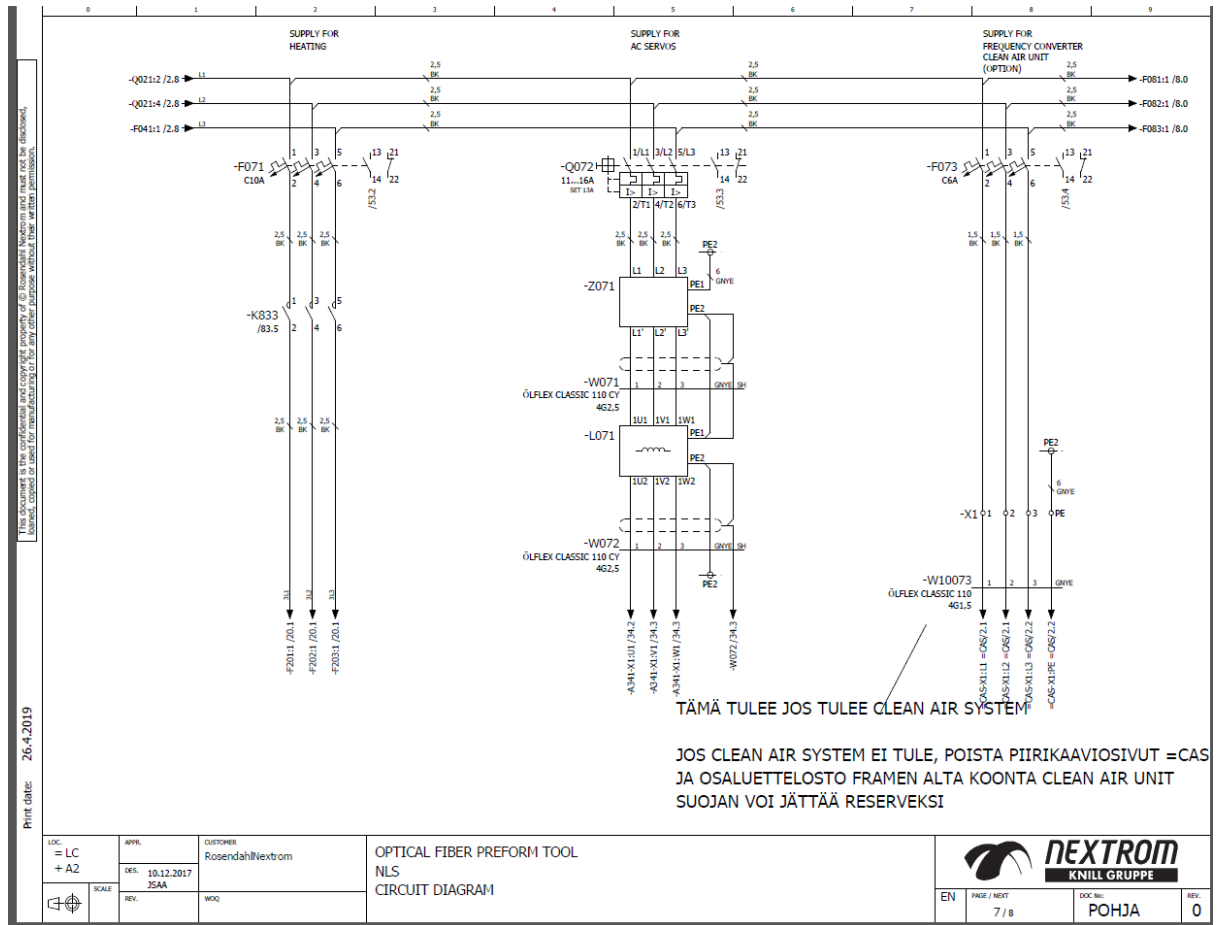
Tässä liitteessä näytetään miten NLS:n Clean Air System Optio näkyy ATON raken-
teessa ja sähköpiirikaavioissa. Liitteen kuvassa 1 näkyy NLS:n sähkörakenteella olevat
alirakenteet, joista Clean Air Unit on yksi. Kun rakenne on optio, tulee se ATON raken-
teeseen merkitä selkeästi tekstikenttiin, että suunnittelija on helppo asiakasprojektin koh-
dalla valita tuleeko optio vai ei.



	Partno	Code	Ver	Pcs	QTY	UoM	Desc 1	Desc 2
+	10	SN189914	0	1		Pieces	CONTROL PANEL LC+A5	NLS
+	20	SN192273	0	1		Pieces	FRAME PARTS	NLS
+	30	SN190022	0	1		Pieces	PUSH BUTTONS FRAME	NLS
+	40	SN190057	0	1		Pieces	DEVICENET PARTS, FRAME	NLS
+	50	SN190062	0	1		Pieces	HEATING CABLES	NLS
+	60	SN190120	0	1		Pieces	PRESSURE SENSORS	NLS
+	70	SN190122	0	1		Pieces	LIMIT SWITCH CABLES	NLS
+	80	SN190123	0	1		Pieces	CONTROL BOX TRAVERSE +A9	NLS
+	90	SN190148	0	1		Pieces	CABLE CONDUITS	NLS
+	100	SN190202	0	1		Pieces	SICK ENCODER CABLES	NLS
+	110	SN190240	0	1		Pieces	DRIVE CABLES	NLS
+	120	SN192985	0	1		Pieces	DRIVE CABLES (LONG CABINET)	NLS
+	130	SN190322	0	1		Pieces	TEMPERATURE SENSORS	NLS
+	140	SN190020	0	1		Pieces	HEATSHIELD CABLES	NLS
+	150	SN190203	0	1		Pieces	FLAME DETECTORS	NLS
+	170	SN191320	0	1		Pieces	UPS PARTS, FRAME	NLS
+	180	SN189773	0	1		Pieces	COMPUTER PARTS AND SOFTWARES PSU10	SIMATIC RACK PC 847
+	190	SN191321	0	1		Pieces	CLEAN AIR UNIT, FRAME (OPTION)	NLS
+	200	SN191334	0	1		Pieces	SPECIAL POWER SUPPLY (VALITSE SOPIVA MUUNTAJA)	NLS (OPTION)

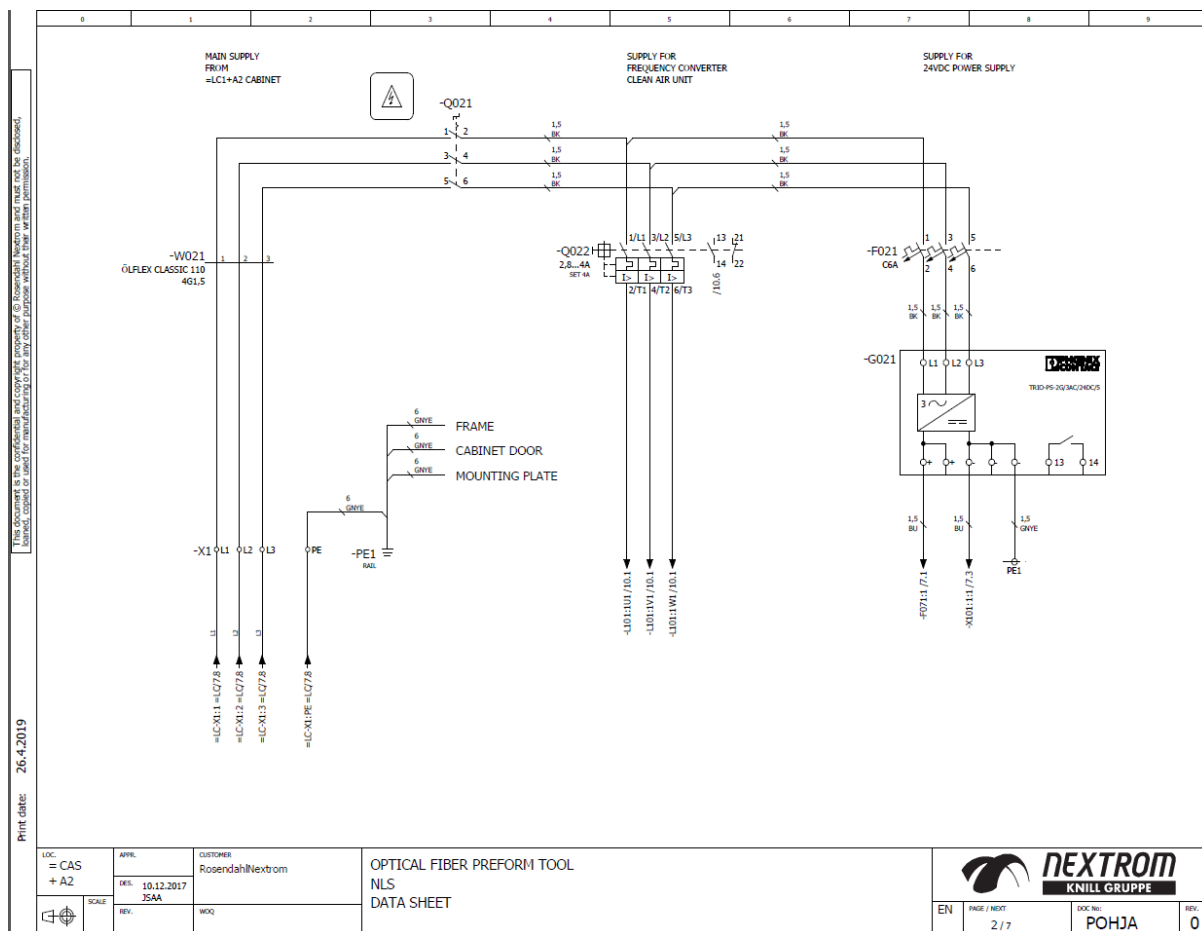
Kuva 1. ATON rakenne.

Kuvassa 1 siniseksi maalattu rivi on NLS:n optio alirakenne Clean Air Systemille. Ra-
kenne sisältää kaikki sähkösuunnittelijan vastuulla olevat komponentit, jotka liittyvät
Clean Air Systemiin. Jos asiakas ei ole tilannut Clean Air Systemia NLS:n mukaan, niin
poistetaan se ATON rakenteelta tuplalkkaamalla harmaata kenttää riviin +190 vieressä.
Jos asiakas on tilannut Clean Air Systemin, jätetään se Aton rakenteelle ja varmistetaan
että Pcs kentässä on numero 1. Sähköpiirikaavioissa tyyppikuviin tulee optiot merkitä
selkeästi samoin kuin ATONissa. Kuvissa 2–7 esitetään, miten Clean Air System optio
käyttäytyy sähköpiirikaavioissa.



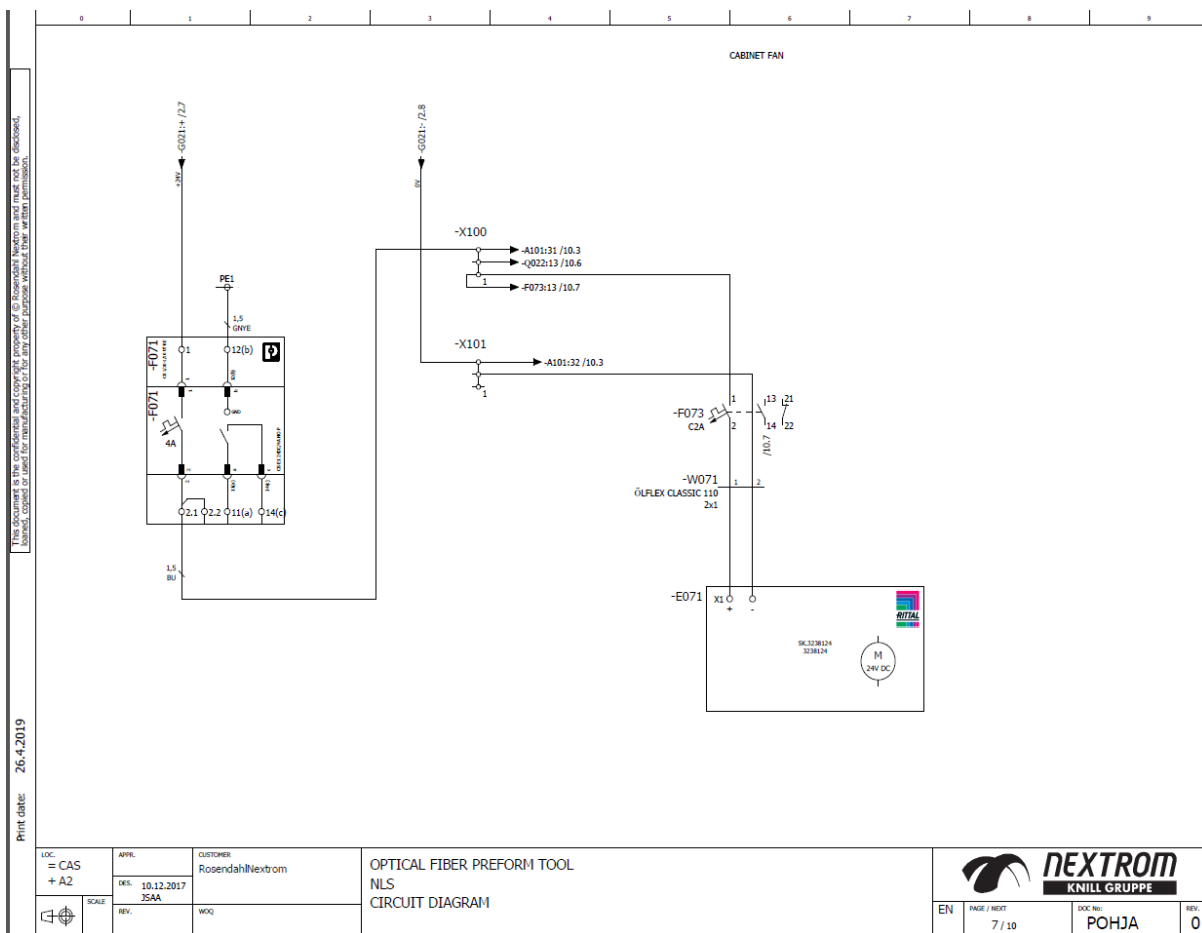
Kuva 2. Jännitteen jakelu.

Sähköpiirikaavioiden jännitteen jakelusivulla =LC+A2/7 näkyy Clean Air Systemin syöttökaapelin liittynyt NLS: sähkökaappiin. Riviliittimiltä -X:1,2,3 ja PE syötetään Clean Air Systemin erillistä ohjauskaappia -W10073, 4x1,5 ÖHLFLEX Classic 110 kaapelilla. Jos asiakas ei ole tilannut Clean Air Systemiä, niin poistetaan kaapeli -W10073 piirikaaviosivulta 7. Johdonsuojakatkaisija -F073 ja riviliittimet -X1:1,2,3 ja PE jätetään NLS:n sähkökaappiin varalle. Eplan P8 ohjelmassa ristiviittakset esitetään kuvassa näkyvien nuolenpäiden avulla, nuolenpäitä seuraamalla päästään sähköpiirikaavioissa sivulle jossa kaapeli jatkuu.



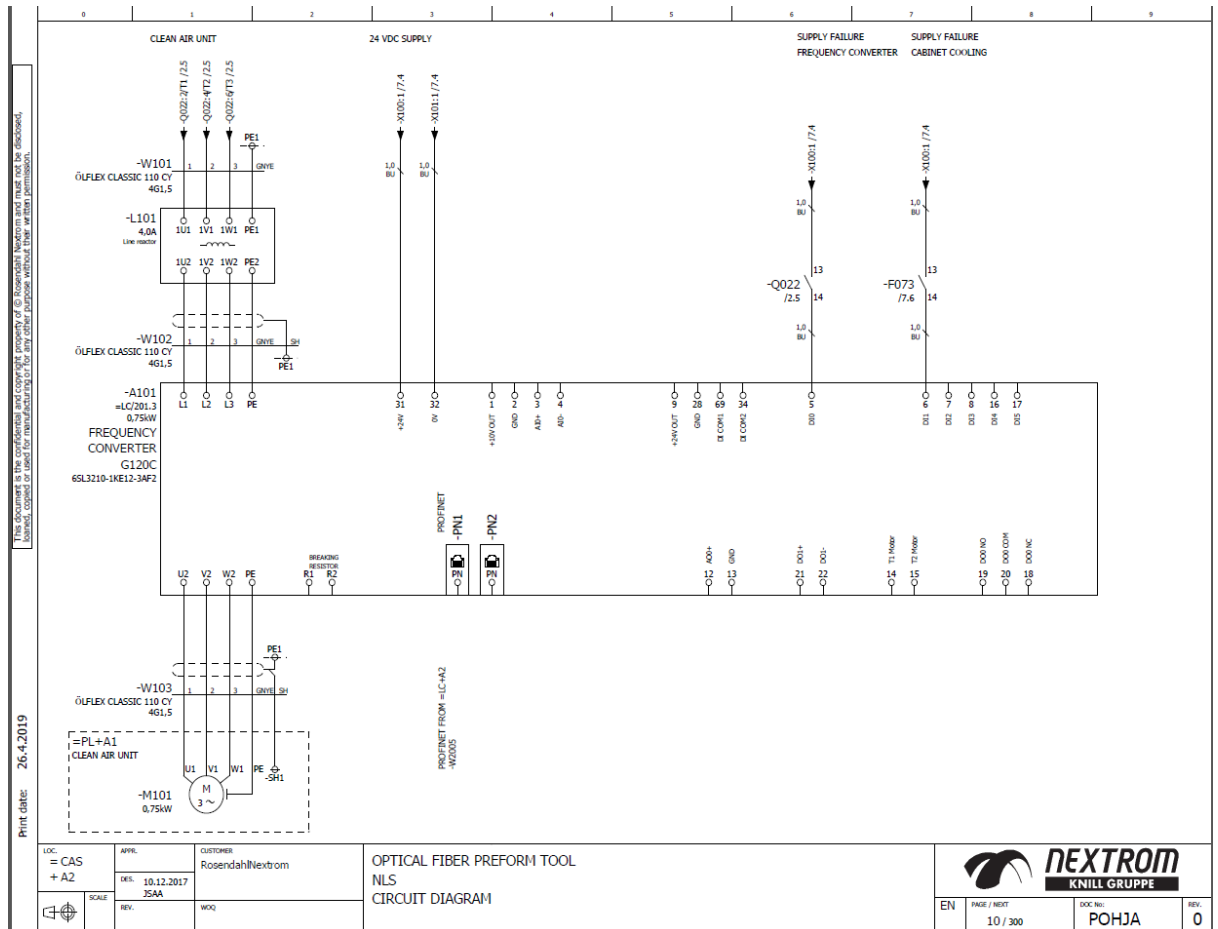
Kuva 3. Ristiviittaukset.

Kuvassa näkyy aiemmin kuvassa 2. kerrottujen ristiviittausten toinen pää, joka tulee Clean Air Systemin ohjauskaapissa oleville riviliittimille -X1:L1,L2,L3 ja PE, näin ollen kaapelia -W10073 ei tarvitse piirikaaviosivulla =CAS+A2/2 enää ilmoittaa.



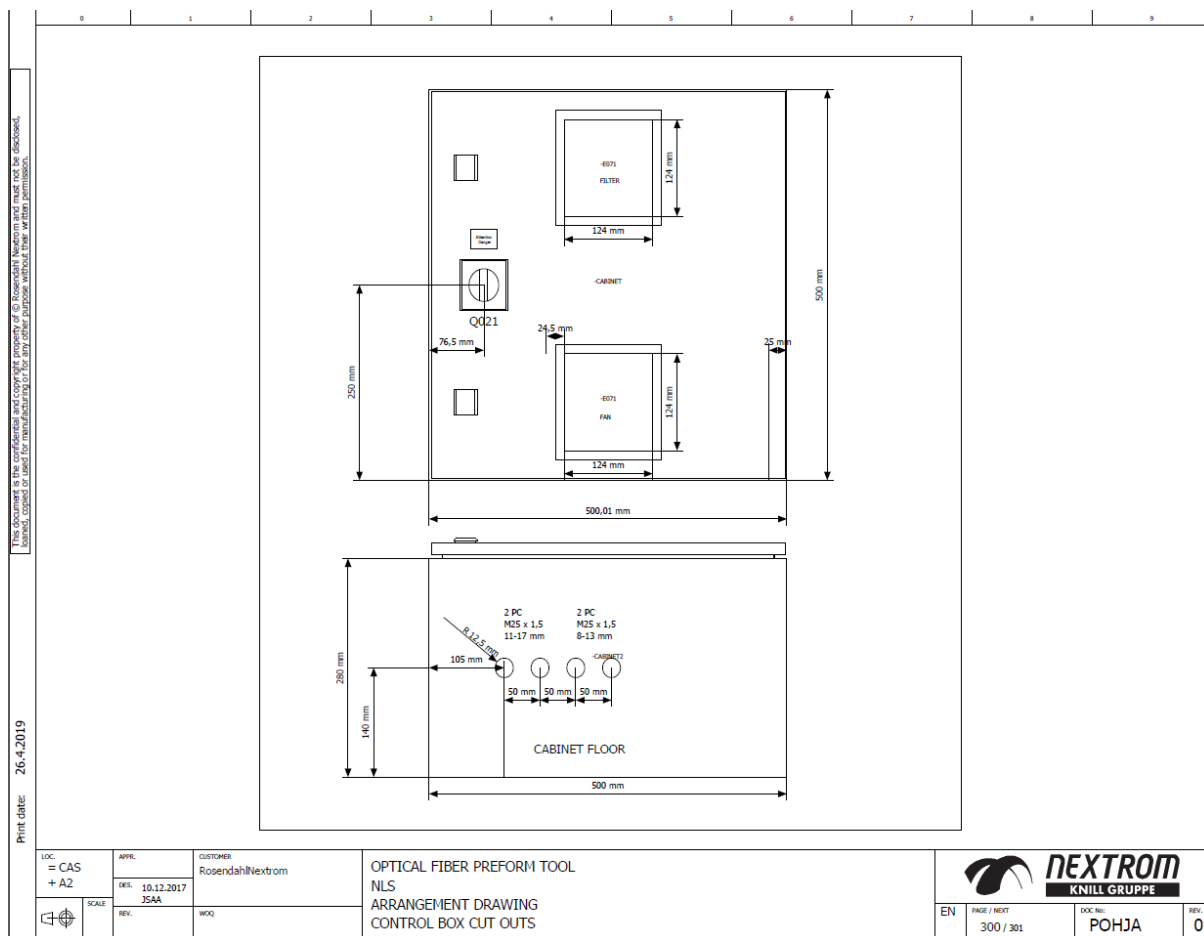
Kuva 4. 24VDC jakelu.

Clean Air System ohjauskaapin 24VDC jännitteenjakelu ja ohjauskaapin tuuletinyksikkö.



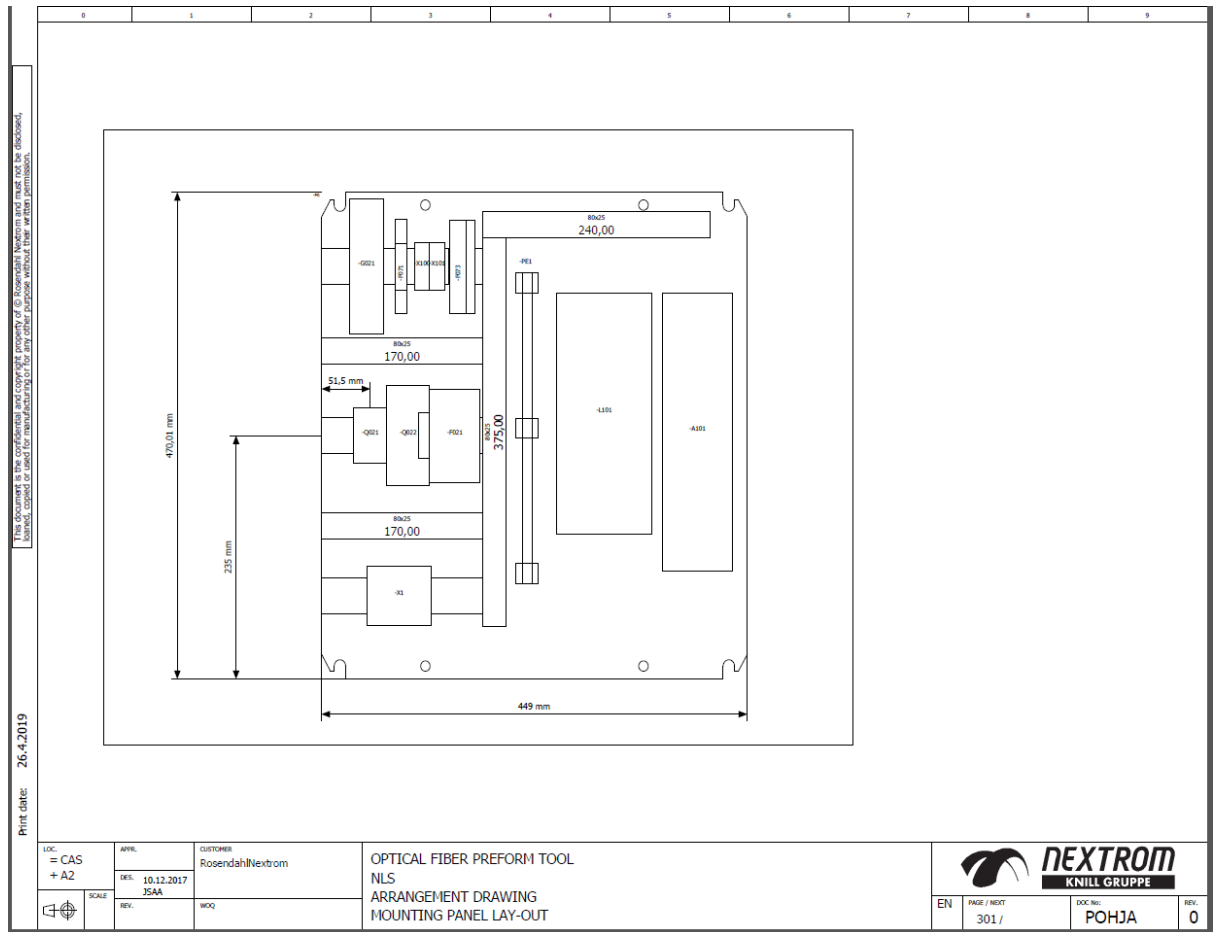
Kuvassa 5. Taajuusmuuttaja.

Clean Air systemin taajuusmuuttajan ja moottorin piirikaaviosivu =CAS+A2/10.



Kuva 6. Mitat ja aukotukset.

Sähkösuunnittelijan tulee näyttää piirikaavioissa sähkö- tai ohjauskaapin ulkomitat ja tarvittaessa määrittää kaappiin tulevien aukotusten paikat, kuvassa esitetään Clean Air System ohjauskaapin ulkomitat, aukotukset ja läpivientiaukot.



Kuva 7. Layoutasettelu.

Kuvassa 7 näkyy Clean Air System ohjauskaappiin tulevien komponenttien 2D layoutasettelu.