



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Kim Okkonen

# Hydraulikoneikon tuotekonfiguraattori

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

18.11.2020

Tekijä Otsikko	Kim Okkonen Hydraulikoneikon tuotekonfiguraattori
Sivumäärä Aika	34 sivua + 1 liite 12.11.2020
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Automaatiotekniikka
Ohjaajat	Lehtori Heikki Paavilainen Toimitusjohtaja Janne Kantola, Oy Nestepaine Ab Tuotepäällikkö Hannu Salenius, Oy Nestepaine Ab
<p>Tämän insinööriyön tavoitteena oli luoda tuotekonfiguraattori hydraulikoneikoista Oy Nestepaine Ab:n teknisen myynnin käyttöön. Työ vaati koneikkojen rakenteeseen perehtymistä, hydraulisten kaavojen käyttöä, konfiguroinnin perusteiden ymmärtämistä ja Digia Enterprise ERP-järjestelmän käyttöä.</p> <p>Työn keskinäismpänä tavoitteena oli saada toimiva konfiguraattori, joka kerää käyttäjälle hydraulikoneikon komponentit. Konfiguraattori pyytää käyttäjää syöttämään lähtötietoina tilavuusvirran ja paineen. Syötettyjen arvojen avulla konfiguraattori pystyy mitoittamaan koneikkoon pumpun, sähkömoottorin, säiliön, kytkinkomponentit, säiliötarvikkeet ja paineenrajoitusventtiilin. Vaihtoehtoina käyttäjä voi valita koneikkoon suuntaventtiileitä, pintavahdin, painesuodattimen, lämmittimen tai jäähdyttimen. Myös suuntaventtiilien asennuspaikat ja niiden alle tulevat välisasenteiset venttiilit voidaan antaa valmiiksi koneikon työohjetta varten. Työssä käytettiin standardin mukaisia tuotteita koneikon rakentamiseen.</p> <p>Työn lopputuloksena oli saada hydraulikonekonfiguraattori laskemaan optimaalisimmat koneikkokomponentit käyttäjälle ja syöttämään komponentit automaattisesti Digia Enterprise ERP-järjestelmään. Automaattinen syöttö nopeuttaisi tarjouksien luomista ja vähentäisi myyjän tekemää työtä. Tuotekonfiguraattorille pystytään tuomaan uusia tuotteita helposti Excel-taulukon avulla ja lisäämään sen tuomaa hyötyä tulevaisuudessa.</p>	
Avainsanat	Konfiguraattori, koneikko, VBA, tilavuusvirta, paine

Author Title	Kim Okkonen Hydraulic Power Unit Configurator
Number of Pages Date	34 pages + 1 appendix 12 November 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Professional Major	Automation Engineering
Instructors	Heikki Paavilainen, Senior Lecturer Janne Kantola, Chief Executive Officer Hannu Salenius, Product Manager
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to create a hydraulic power unit configurator. This thesis was commissioned by Oy Nestepaine Ab, and the goal was to create the configurator for the use of technical sales. The project required a familiarity with the structure of hydraulic power units, the use of hydraulic formulas, an understanding of the basics of configuration and use of the Digia Enterprise ERP system.</p> <p>The core goal of the project was to create a functioning configurator for the hydraulic power unit. The configurator asks the operator to enter the flow and pressure as the output data. The entered values allow the configurator to calculate the dimensions of the pump, electric motor, tank, clutch components, tank accessories and pressure relief valve for the hydraulic power unit. As options, the user can select directional valves, a surface monitor, a pressure filter, a heater or a radiator for the system. The operator can also choose installation locations of the directional valves and intermediate valves to their liking. Standard-sized components were used to build the configurator.</p> <p>In conclusion, the final goal was to ensure that the most optimal components calculated and selected by the configurator could be entered into the Digia Enterprise system automatically. As a result, the automatic feeding of the components would reduce and speed up the operator's work. Furthermore, the items used in the configurator could be easily updated using Excel spreadsheets. This would increase the benefits of this configurator in the future.</p>	
Keywords	configurator, hydraulic power unit, VBA, pressure, flow

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Hydraulijärjestelmän perusteet	2
2.1	Yksinkertainen hydraulijärjestelmä	2
2.2	Hydraulijärjestelmän toiminta	3
2.3	Käyttökohteet ja komponentit	4
2.3.1	Sähkömoottorit	6
2.3.2	Pumput	6
2.3.3	Säiliö	8
2.3.4	Vastaventtiilit	8
2.3.5	Suuntaventtiilit	9
2.3.6	Paineventtiilit	10
2.3.7	Virtaventtiilit	11
2.3.8	Suodattimet	12
2.3.9	Lisälaitteet	13
3	Konfiguraattorin suunnittelu	13
3.1	Tavoitteet ja hyödyt	13
3.2	Hydraulikoneikko	16
3.3	Hydraulikaavio ja osaluettelo	18
3.4	Sähkömoottorin mitoitus	18
3.5	Pumpun mitoitus	19
3.6	Säiliön ja säiliötarvikkeiden mitoitus	21
3.7	Kytkekomponenttien ja laipan mitoitus	22
3.8	Venttiilien mitoitus	23
3.9	Jäähdyttimen mitoitus	26
3.10	ERP-järjestelmän linkitys	27
3.11	Järjestelmä	28
3.12	Makrot	29
3.13	Ohjelmointi	30

	2
4 Konfiguraattorin toiminta	31
5 Yhteenveto	33
Lähteet	35
Liitteet	
Liite 1. Hydraulikoneen kaavio ja osaluettelo	

## Lyhenteet

- VBA Visual Basic for Applications. Microsoft Office -paketteihin rakennettu ohjelmointikieli.
- ERP Enterprise resource planning. Yrityksen tietojärjestelmä, joka koostuu mm. tuotannosta, jakelusta, varastohallinnasta ja laskutuksesta.

## 1 Johdanto

Tämän insinööriyön tavoitteena oli luoda Oy Nestepaine Ab:lle tuotekonfiguraattori hydraulikoneikoista teknisen myynnin avuksi. Oy Nestepaine Ab toimii kaikki hydraulikoneikosta -periaatteella, ja tarjoaa asiakkailleen hydraulikan komponenttien jälleenmyynnin, letkuasetelmat, putkiasetelmat, hydrauliyksiköt, logistiikan, varastoinnin, noutomyynnin, suunnittelupalvelut, huollon ja korjauksen.

Esityönä oli etsittävä tietoa konfiguraattorin toiminnasta ja siitä, millä ohjelmilla tämän tekeminen olisi järkevintä yrityksen kannalta. Lisäksi tuli perehtyä hydraulikoneikon toimintaan ja järjestelmään. Oleellisena osana työtä oli tutustua koneikon jokaisen komponentin toimintaan järjestelmän toimivuuden kannalta. Työssä täytyi rajata, mitkä komponentit konfiguraattoriin tahdottiin, sillä Oy Nestepaine Ab tarjoaa laajan komponenttivalikoiman.

Konfiguraattorin tahdottiin olevan helppokäyttöinen ja rakentuvan yrityksessä jo olevan ohjelmiston pohjalle. Tähän kelpasi hyvin Microsoft Office Excel, jonka sisälle on rakennettu Visual Basic for Applications (VBA) -ohjelmointikieli. Ohjelmointikielen avulla voidaan luoda ohjelma hydraulikonfiguraattorityökalu laskemaan automaattisesti koneikkoon vaadittavat komponentit.

Työkalu vaatii käyttäjää syöttämään lähtötietoja, joiden avulla konfiguraattori pystyy laskemaan tarvittavat komponentit hydraulikoneikolle. Lisäksi konfiguraattori lähettää komponenttiedot automaattisesti yrityksen ERP-järjestelmään Digia Enterprisen tarjouspohjalle. Tällä toiminolla säästetään myyjän käyttämää aikaa, niin ettei jokaista tuotetta tarvitse tuoda tarjouspohjalle yksitellen.

## 2 Hydraulijärjestelmän perusteet

### 2.1 Yksinkertainen hydraulijärjestelmä

Hydraulista tehonsiirtoa voidaan kutsua hydraulitekniikaksi. Tekniikka tarkoittaa tehonsiirtoa nesteen ja paineen avulla. Yksinkertaiseen hydraulijärjestelmään vaaditaan paine, joka siirtää kuormaa. Painetta [bar] nostetaan, jotta kuorma liikkuisi. Mikäli kuorma pysyy vakiona, painetta ei tarvitse nostaa järjestelmässä sen jälkeen, kun kuorma on saatu liikkeelle. Kuorman liikuttamisen nopeuteen voidaan vaikuttaa tilavuusvirralla. Tilavuusvirta kuvaa hydraulinesteen kulkemista järjestelmässä yleensä litraa per minuutti [l/min]. Mitä suuremmaksi tilavuusvirta kasvaa, sitä nopeammin kuorma liikkuu. Järjestelmä muuttaa mekaanisen energian hydrauliseksi tehoksi. Energiaa siirretään hydraulisena tehona ja käytetään joko avoimessa tai suljetussa järjestelmässä. Tämän jälkeen energia muutetaan takaisin mekaaniseksi energiaksi liikuttamaan kuormaa. [1; 2]

Hydraulijärjestelmät voidaan jakaa kahteen eri kategoriaan. Avoimessa järjestelmässä neste palaa säiliöön toimilaitteelta, minkä jälkeen pumppu imee nesteen takaisin järjestelmään. Tämän järjestelmän hyötyjä ovat sen yksinkertaisuus, yleisyys, halpuus, luonnollinen jäähdytys ja suodattamisen yksinkertaisuus. Toinen järjestelmä on suljettu hydraulijärjestelmä, jossa neste ei kulje säiliön kautta vaan kiertää toimilaitteessa suoraan pumpun imupuolelle. Järjestelmän avulla saadaan aikaiseksi suuria voimia (momenttia) pienillä laitteilla. [1;2]

Rakenteeltaan hydraulijärjestelmässä käytetään hydraulipumppua muuttamaan energiaa muodosta toiseen. Moottorin ja sylintereiden avulla voidaan vaihtaa muuttumisen suuntaa. Hydraulien energian siirto tapahtuu järjestelmässä paineen ja virtauksen muodossa. Hydraulineeste kulkee laitteistossa letkujen, putkien ja porauksien kautta siirtäen järjestelmässä energiaa tai painetta. Hydraulinestettä säilytetään järjestelmässä käyttäen säiliötä, johon voidaan liittää lisälaitteita kuten jäähdytin, suodatin, lämmitin sekä mittaus- ja testauslaitteita. [2]



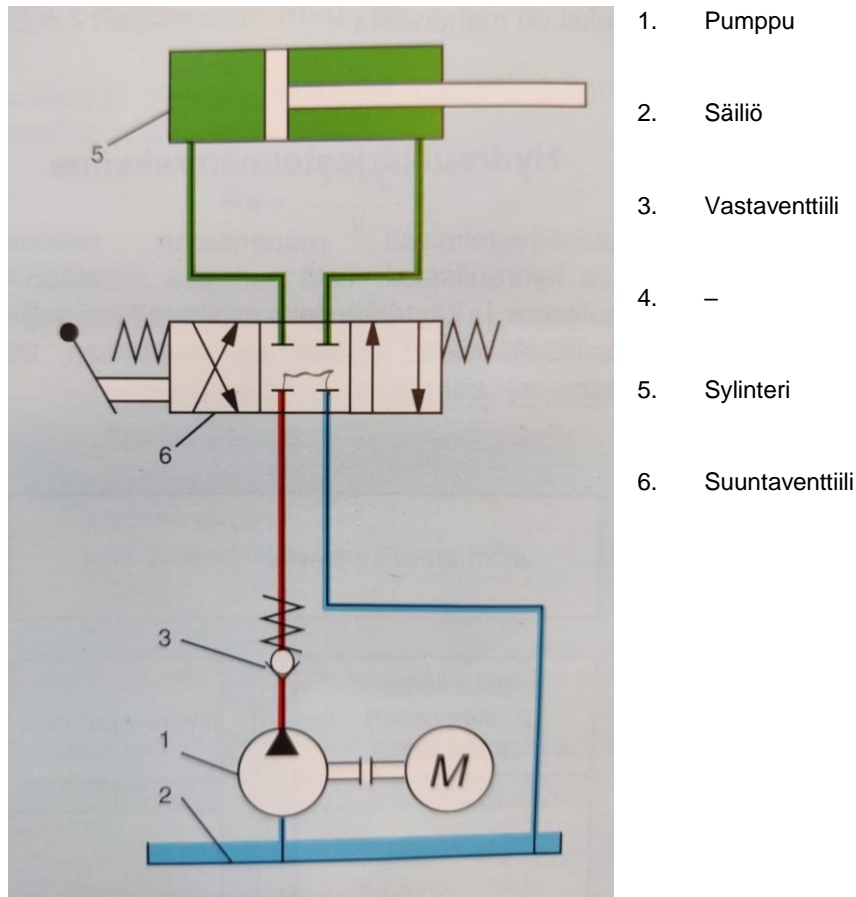
## 2.2 Hydraulijärjestelmän toiminta

Hydrauliset tehonsiirtojärjestelmät ovat monissa sovelluksissa kilpailukykyisiä verrattuna muihin tehonsiirtojärjestelmiin. Hydraulisella järjestelmällä on helppo toteuttaa pyörivä liike ja suoraviivainen liike. Järjestelmä mahdollistaa myös säädettävissä olevat liikenopeudet, voimat ja momentit. Painetta kasvattamalla saadaan sama teho pienemmillä komponenteilla, jolloin järjestelmän kokoa voidaan pienentää. [2;3]

Järjestelmässä ohjataan hydraulisia suureita eli painetta ja tilavuusvirtaa. Painetta muuttamalla saadaan muutettua toimilaitteiden antamia voimia ja momenteja. Tilavuusviralla voidaan määrätä toimilaitteiden liikesuunnat ja säätää järjestelmän nopeuksia. Järjestelmän ohjaus voidaan hoitaa mekaanisesti, sähköisesti tai hydraulisesti.

Hydraulijärjestelmään tarvitaan sähkö- tai polttomoottori; tässä tapauksessa perehdyttiin vain sähkömoottoreiden toimintaan järjestelmässä. Moottorin lisäksi myös pumppu on oleellinen järjestelmän rakenteessa. Sen toiminta perustuu hydraulinesteen syöttämiseen järjestelmään linjojen ja komponenttien läpi. Hydraulikoneikoissa sähkömoottorin avulla muutetaan sähköenergia eli moottorin pyörimisliike ja momentti pumpun kautta hydrauliseksi tilavuusvirraksi ja paineeksi. [1]

Kuva 1 hahmottaa yksinkertaisen järjestelmän toimintaa ja nesteen liikkumista järjestelmässä. Kohdassa 1 pumppu työntää säiliöstä (2) nesteen vastaventtiiliin (3) läpi suuntaventtiilille (6) ja siitä sylinterille (5). Punainen väri vastaa pumpun tuottamaa tilavuusvirtausta suuntaventtiilille. Vihreä väri puolestaan sylinterin männälle tulevaa tehoa eli hydraulisen tehon siirtoa mekaaniseksi, jota ohjataan suuntaventtiilillä (6). Lopulta männän puolelta neste palaa suuntaventtiiliin kautta säiliöön, mitä on kuvattu sinisellä värillä. [1]



Kuva 1. Yksinkertaisen järjestelmän toiminta [1]

### 2.3 Käyttökohteet ja komponentit

Teollisuudessa jatkuvassa kasvussa oleva automatisointi tehdään usein hydrauliiikan keinoin. Hydraulijärjestelmän etuina pidetään sen suunnittelun vapautta ja komponenttien pientä kokoa. Tällöin järjestelmä on usein kevyt ja pieni verrattuna siitä saataviin voimiin. Käyttökohteita teollisuudessa ovat esimerkiksi puristimet, työstökoneet ja paperikoneet. Jokaisella käyttökohteella on omat vaatimuksensa järjestelmän teholle sekä sen säädettävyydelle. Tällöin myös järjestelmän paine ja tilavuusvirta vaihtelevat käyttökohteesta riippuen. Myös järjestelmään valittavat komponentit ovat tästä riippuvaisia. [3]

Komponentteja voidaan jättää koneikosta pois, mikäli niitä ei pidetä tarpeellisina järjestelmän toimivuuden kannalta. Kuva 2 esittää koneikon komponentteja. Tässä tapauksessa koneikon komponentit voidaan rakentaa säiliön päälle, jolloin koneikon koko pysyy

pienä. Suuremmissa järjestelmissä koneikon säiliö voidaan asettaa sen päälle. Myös lisäkehikoiden rakentaminen jäähdytysjärjestelmiä varten on yleistä suurimmissa kokoluokissa.



Kuva 2. Koottavan koneikon komponentit

1. Pumppu
2. Sähkömoottori
3. Säiliö
4. Kytinkomponentit ja laippa
5. Mittalasi
6. Painemittari ja hana
7. Painesuodatin

8. Täyttökorkki
9. CETOP3 pohjalaatta ja paineenrajoitusventtiili
10. Suuntaventtiili
11. Väliasenteinen venttiili

### 2.3.1 Sähkömoottori

Sähkömoottori on nimensä mukaisesti sähköllä toimiva moottori, ja sen avulla sähköenergia voidaan muuttaa mekaaniseksi energiaksi. Toiminta perustuu kelalle käärittyjen käämien väliseen magneettikenttään. Magneettikenttä voidaan kytkeä päälle tai pois päältä. Sopivan taajuuden vaihtelulla moottori alkaa pyöriä, kun johtimesta kulkee virta. Sähkömoottoreissa on staattori ja roottori. Staattori on moottorin osa, joka ei liiku. Roottori on taas moottorin liikkuva osa, joka on moottorin pyörimisakseli ja sisempi osa. Pyörivät sähkömoottorit voidaan jakaa vaihtosähkökoneisiin ja tasavirtakoneisiin. Vaihtosähkökoneet taas voidaan jakaa tahti- ja epätahtikoneisiin. [4]

Tämän työn ohessa perehdyttiin vain oikosulkumoottorien hyötysuhdeluokkiin IE2 ja IE3. Oikosulkumoottori on yleisin käytetty vaihtovirtasähkömoottorityyppi. Moottori toimii vain vaihtovirralla, joka syötetään staattorille. Roottorin navat ovat oikosuljettuja keskenään. Roottorin ympärille muodostuu rakenteeltaan pyörivä magneettikenttä, joka saa roottorin pyörimään. Kun nopeus kasvaa, myös sähköinen vääntömomentti pienenee. Roottorin pyörimisnopeus ei kuitenkaan vastaa magneettikentän pyörimisnopeutta, vaan se on aina pienempi. [4]

Koneikoissa käytetään standardin DIN 42677 mukaisia sähkömoottoreita. Sähkömoottorin tehtävänä on koneikon järjestelmässä tuoda pumpulle mekaanista energiaa.

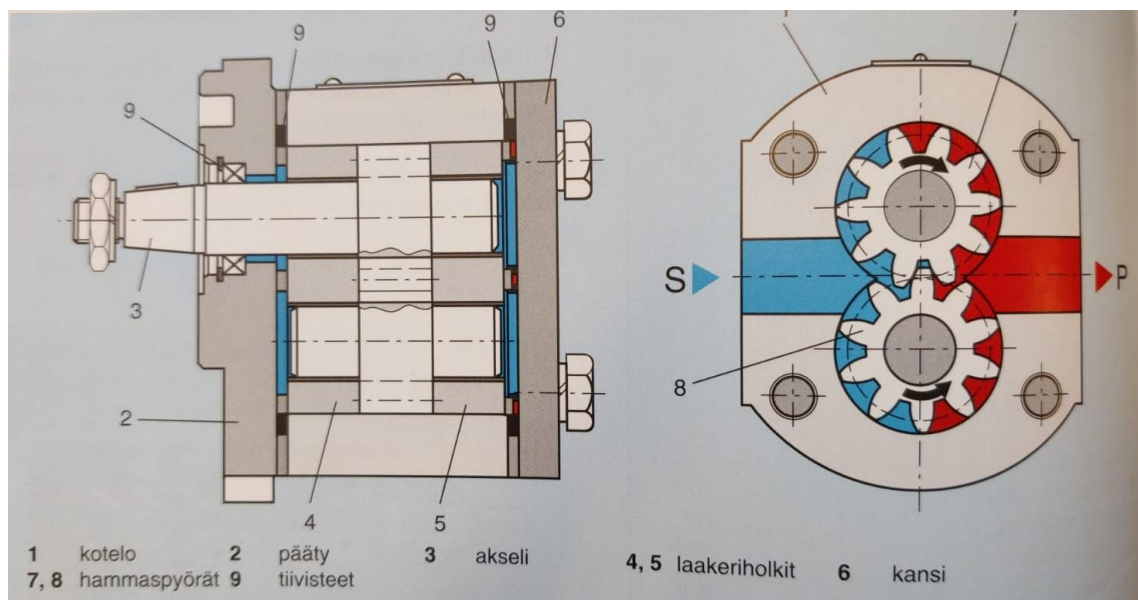
### 2.3.2 Pumput

Yksinkertaisuudessaan hydraulipumpun työ järjestelmässä on muuttaa mekaanista energiaa eli vääntömomenttia ja pyörimisnopeutta hydrauliseksi eli tilavuusvirraksi.

Hydraulipumpuissa on mekaanisesti tiivistettyjä kammioita, joissa neste kuljetetaan pumpun imupuolelta painepuolelle; tätä kutsutaan syrjäytymisperiaatteeksi. Syrjäytysperiaatteella toimivat pumput toimivat korkeilla paineilla, koska aukkojen välillä ei ole suoraa yhteyttä. Syrjäytymisperiaatteella toimivat pumput voidaan jakaa ulkohammaspyörä-, sisähammaspyörä-, hammasrengas-, ruuvi-, yksikammioinen siipi-, kaksikammioinen siipi-, radiaalimäntä- ja aksiaalimäntäpumppeihin. [5]

Tässä työssä käytettiin ulkohammaspyöräpumppeja rakennetyypiltään AZP. Pumpputyypivalintaan vaikuttaa sen käyttökohde. Verrattuna muihin pumppeihin ulkohammaspyöräpumput sopivat hyvin koneikkoihin, sillä ne ovat hinta-laatusuhteeltaan, pyörimisnopeudeltaan, viskositeettialueeltaan ja painealueeltaan erinomaisia. Kestoltaan ja melultaan ulkohammaspumput eivät ole parhaasta päästä, mutta koneikkoon pumppeu on yleensä helppo vaihtaa.

Rakenteeltaan ulkohammaspyöräpumpun hammaspyörä on yhdistetty kytkinkomponenttien avulla moottoriin. Pumpun sisällä olevat hammaspyörät on aseteltu laakeriholkien kanssa niin, että hammaspyörien pyöriessä pyörien väliin jää välyys. Välyksien avulla pumpun häviöt riippuvat paine- ja imupuolen välisestä paine-erosta. Kuvassa 3 nähdään ulkohammaspyörän sivu- ja halkileikkauskuva.



Kuva 3. Ulkohammaspyöräpumpun toiminta [1]

Käynnissä ollessaan ilma kulkeutuu imulinjan kautta syrjäytykammiosta imuaukosta S paineaukkoon P (kuva 3). Tällöin muodostuu alipainetta imuaukkoon, jolloin saadaan aikaiseksi nesteen nousu säiliöstä imuputkeen ja lopulta pumpulle. Hydraulineste virtaa hammaspyörille ja pumpun paineaukon kautta järjestelmään. Ulkohammaspyöräpumpujen olennaiseen toimintaan kuuluu hammaskammioiden tiivistys, jotta ilma tai neste voidaan siirtää ilman suurempia häviöitä. Paineen kasvaessa nesteen pitäisi virrata välyksien painepuolelta imupuolelle, jolloin laakeriholkki puristuu paineen avulla hammaspyöriä vasten. [1]

### 2.3.3 Säiliö

Säiliön tehtävänä on varastoida järjestelmässä kulkevaa hydraulinestettä. Se toimii myös järjestelmän lämmönsiirtimenä, nesteen epäpuhtauksien erottimena sekä järjestelmän komponenttien asennusalustana. [2] Pienemmät säiliöt ovat yleensä alumiinisia tai muovisia. Suuremmissa säiliöissä käytetään terästä. Materiaalien käyttö perustuu niiden korrosionkestävyyteen. Säiliöiden tilavuudet vaihtelevat litrakohtaisesti. Työn aikana pe-rehdyttiin 6–180 litran kokoihin alumiini- ja terässäiliöihin.

Säiliö siirtää lämpöä passiivisesti pois järjestelmästä. Säiliön jäähdytyskyky on riippuvainen nesteen säilytyspinta-alasta, nesteen ja ympäristön välisestä lämpötilasta, säiliön muotoilusta ja ilmanvirtauksen voimakkuudesta säiliön ympärillä. Myös nesteen virtaus ja sekoittuminen säiliössä vaikuttavat sen jäähtymiskykyyn.

Säiliön työ on myös pitää hydraulineste puhtaana. Järjestelmän kannalta epäpuhtaudet voivat rikkoa komponentteja. Suodattimilla estetään kiinteiden epäpuhtauksien pääsy järjestelmään, mutta kaasumaisten epäpuhtauksien, esimerkiksi ilman tai nestemäisten epäpuhtauksien kuten veden, poistaminen järjestelmästä on vaikeampaa. Säiliötä voidaan käyttää näiden epäpuhtauksien poistamiseen luonnollisen erottumisen kautta.

### 2.3.4 Vastaventtiilit

Hydraulijärjestelmässä vastaventtiilin tehtävä on estää virtauksen kääntyminen järjestelmässä eli mahdollistaa virtauksen kulku yhteen suuntaan ja vapaa virtaus vastakkaiseen suuntaan. Vastaventtiilit ovat istukkatyyppisiä, ja siksi niiden virtauksen estotoiminto on

myös vuodoton. Sulkueliminä käytetään kuulia, lautasia, kartioita ja pehmeillä tiivisteillä varustettuja kartioita. [2]

Vastaventtiilit voidaan jakaa kolmeen ryhmään: imuventtiilit, tavalliset vastaventtiilit ja hydraulisesti ohjatut vastaventtiilit. Tässä työssä käytettiin tavallisia vastaventtiileitä koneikon rakentamisessa. Rakenteeltaan tavallisen vastaventtiilin sisällä on jousi, jonka avulla karkaistu kara työnnetään tiivistysistukkaan. Toiminnoltaan vastaventtiilillä on avautumispaine (0,5, 1,5, 3 tai 5 bar), jolloin kartio nousee nesteen tuoman paineen avulla ja virtaus pääsee venttiilistä läpi. Päinvastaiseen suuntaan neste ja jousi painavat kartion istukkaan, jolloin virtauksen tie sulkeutuu. Venttiileitä käytetään kuristuksen ohittamiseen, yhden virtaussuunnan sulkemiseen, ohitusventtiilinä ja pitoventtiilinä. Niitä voidaan asentaa peruslevyihin, putkistoihin, patruunoina tai välilevyihin. [6]

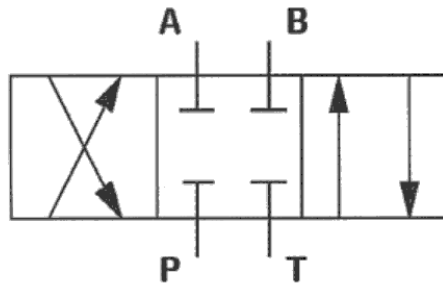
### 2.3.5 Suuntaventtiilit

Suuntaventtiileitä käytetään järjestelmissä, joissa tarvitaan useita erilaisia kytkentöjä. Suuntaventtiilit mahdollistavat monipuolisemman ohjauksominaisuuden ja poistavat tarpeen käyttää useampaa venttiiliä, koska sama ohjaus voidaan tehdä yhtä suuntaventtiiliä käyttämällä. Suuntaventtiileillä voidaan tehdä käynnistyksiä, pysäytyksiä ja tilavuusvirran suunnan ohjausta hydraulijärjestelmässä. Suuntaventtiilit saavat nimensä niiden liitäntäaukko- ja luistinlohkomääristä. Venttiiliä, jolla on kaksi liitäntäaukkoa ja kaksi kytkentäasentoa kutsutaan, 2/2-suuntaventtiiliksi.

Suuntaventtiileitä on luistin- ja istukkarakenteisia. Luistinrakenteinen toimii usein aksiaalisuunnassa liikkuvalla luistilla, sillä muilla luistintyypeillä järjestelmään tulee ohjausongelmia. Istukkarakenteellisen suuntaventtiilin etuna on sen vuodottomuus, mutta niitä käytetään vähemmän kuin luistinrakenteisia. Hydraulisen tasapainon puuttuminen istukkarakenteisissa suuntaventtiileissä johtaa suuren ohjausvoiman tarpeeseen.

Suuntaventtiilit erotetaan toisistaan liitäntöjen ja kytkentäpaikkojen määrällä. Venttiilin liitännät merkitään kirjaimin (kuva 4) P on paineliitäntä. T on paluuliitäntä. A ja B ovat toimilaitteelle tulevat liitännät.





Kuva 4. 4/3-suuntaventtiili

### 2.3.6 Paineventtiilit

Paineventtiilit vaikuttavat järjestelmän paineeseen, ja niitä voidaan ohjata suoraan- tai esiohjattuina. Tämä onnistuu muuttamalla kuristuspinta-alaa hydraulisella, mekaanisella tai sähköisellä asetuselementillä järjestelmässä. Kuristusaukon tiivistyksen perusteella paineventtiileissä erotetaan luisti- ja istukkaventtiilirakenteet. Paineventtiilit voidaan jakaa neljään luokkaan: paineenrajoitus-, painesekvenssi-, vapaakierto- ja painealennusventtiileihin. [5]

Paineenrajoitusventtiilin tehtävänä on nimensä mukaan rajoittaa paine järjestelmässä ja pitää painetaso raja-arvon alapuolella. Jos järjestelmässä asetettu arvo saavutetaan, venttiili aukeaa ja siirtää ylimääräisen tilavuusvirran takaisin säiliöön. Painerajoitusventtiili asetetaan sivuvirtaukseen.

Paineenrajoitusventtiilin toiminta perustuu siihen, että tulopaine kohdistuu karan pinta-alalle ja samanaikaisesti kuormittaa kartiota toisesta suunnasta. Jousen voima vaikuttaa sulkevaan suuntaan, jolloin jousikammio on yhteydessä säiliökanavaan. Jousen voiman on oltava suurempi kuin painevoima; tällöin kara pysyy istukassa (kaava 1). Ylittäessä kara työntyy josta vasten ja avaa virtaustien. Nesteestä virratessa paineenrajoitusventtiilin läpi hydraulinen energia muuttuu lämmöksi. [2]

$$F_{hyd} = p_E \cdot A = F_F + p_A \cdot A \quad (1)$$

Missä,

$p_E$  = tulopaine



$p_A$  = lähtöpaine

$A$  = istukan pinta-ala

$FF$  = esijännitetyn jousen voima

### 2.3.7 Virtaventtiilit

Virtaventtiileillä voidaan säädellä toimilaitteen nopeutta muuttamalla nesteen virtauskanavan poikkipinta-alaa sen kuristuskohdassa, eli tilavuusvirran säätely tehdään virtaventtiileissä kuristuksen avulla. DIN 1952 -kaavan mukaan tilavuusvirta voidaan laskea kuristuksessa (kaava 2).

$$Q = \alpha * A * \sqrt{(\Delta p * 2)} / \rho \quad (2)$$

Missä

$Q$  = tilavuusvirta

$A$  = kuristuksen ala

$\Delta p$  = painehäviö

$\rho$  = tiheys

$\alpha$  = purkautumiskerroin

Virtaventtiilit voidaan jakaa kahteen ryhmään: vastusventtiilit ja virransäätöventtiilit. Vastusventtiileillä paine-eron avulla kuristuskohdassa saavutetaan suurempi tilavuusvirta. Mikäli järjestelmä ei vaadi pysyvää tilavuusvirtausta, ohjauksessa käytetään usein vastusventtiileitä, koska virransäätöventtiilit ovat kalliimpi ratkaisu tähän tarkoitukseen. Vastusventtiileitä käytetään järjestelmissä, joissa vastustava kuormitus on vakio tai kuormituksen aiheuttamalla nopeuden muuttumisella ei ole merkitystä järjestelmän toimivuuden kannalta. [4]

Virransäätöventtiilit pitävät tilavuusvirtaa järjestelmässä vakiona painenvaihtelusta huolimatta. Virransäätöventtiilien rakenteessa on säädettävä kuristuksen lisäksi liikkuva kuristin, joka toimii säätökuristimena. Kahden kuristuksen ansiosta saavutetaan kuorman aiheuttama paine-ero kahteen osaan, jolloin kuristuksen yli vaikuttava sisemmän osan paine-ero pysyy vakiona ja nesteen lämpötilan tai viskositeetin muuttumisen aiheuttama paine-erolla ei ole vaikutusta. Virransäätöventtiilin rakennetyyppi määritellään

painekompensaattorin sijoituspaikasta. Painekompensaattori voidaan sijoittaa mittakuristuksen kanssa sarjassa, jolloin kyseessä on 2-tievirransäätöventtiili. Se voidaan myös sijoittaa mittakuristuksen rinnalle, jolloin se on 3-tievirransäätöventtiili. [4]

### 2.3.8 Suodattimet

Suodattimien tehtävänä on suodattaa epäpuhtauksia hydraulineesteestä ja näin turvata järjestelmän toimivuus. Suodatinmateriaali on usein tehty kuidusta tai rakeista. Eri järjestelmillä on myös erilainen puhtaanapitotaso. Suodatustarkkuudella voidaan säädellä, kuinka puhtaana järjestelmän neste siellä kiertää. Järjestelmän suodattamiseen vaikuttavat nesteen ominaisuudet ja järjestelmän vaatimus. Hydraulijärjestelmissä suodatus on hienon ja karkean väliltä.

Järjestelmän toimivuuden kannalta suodattimien käyttö on tärkeää, sillä epäpuhtaudet voivat rikkoa hydraulikkakomponentteja. Oikean suodattimen valinnassa on otettava huomioon komponenttien likaherkkyysaste, ympäristön likaisuus ja lian pääsy hydraulijärjestelmään. Järjestelmän likaantumisen syyt ovat seuraavat:

- Sisäisen lian muodostuminen liikkuvien komponenttien kulumisesta ajan kanssa. Komponenteista saattaa irrota likaa kulumisen johdosta.
- Ulkoinen lika. Nimensä mukaan lika tulee järjestelmään sen ulkopuolta. Lika on mahdollisesti päässyt järjestelmään sisään säiliön täyttöaukon kautta tai tiivisteiden kautta.
- Asennuslika. Asennusvaiheessa järjestelmään on voinut jäädä likaa. Asennustilan pitäisi olla siisti järjestelmää kootessa.
- Komponenttilika. Uusien komponenttien mukana on päässyt likaa järjestelmään.
- Toimintalika. Järjestelmän komponentit kuluvat käytössä, jolloin syntyy hiukkasia järjestelmään.

Hydraulijärjestelmissä käytetään painesuodattimia. Niiden toiminto perustuu nesteen painuessa likaisen ja puhtaan puolen väliseen paine-eroon. Paine-eron avulla neste suodatetaan suodattimen läpi. Painesuodattimien patruunoita täytyy vaihtaa aika ajoin, jotta suodattimen suodatustarkkuus pysyy oikeana. [6]

### 2.3.9 Lisälaitteet

Lisälaitteina hydraulijärjestelmään voidaan asentaa jäähdytin tai lämmitin. Periaatteena on jäähdyttää järjestelmässä kulkevaa hydraulinestettä. Jäähdyttimeen voidaan asentaa ohitusventtiili, jotta nesteen ei tarvitse kulkea jäähdyttimen läpi, kun jäähdyttämiselle ei ole tarvetta. Jäähdyttimelle voidaan asentaa termokytin, joka automaattisesti asettaa jäähdyttimen päälle asetetulla lämpötilassa. Järjestelmän nesteen lämpötilaa ja säiliöön tulevan nesteen pinnankorkeutta voidaan vahtia mittalasin ja pintavahdin avulla. Järjestelmään on hyvä asentaa painemittari ja mittariventtiili, jolla voidaan seurata järjestelmässä olevaa painetta.

Jäähdyttimien lisäksi hydraulijärjestelmä voi vaatia lämmittämistä. Mikäli järjestelmää käytetään ulkona ja järjestelmä täytyy pitää tietyn lämpöisenä, voi hydraulinesteen lämmittämisestä olla hyötyä. Hydraulinesteen viskositeettiin vaikutetaan lämmittimellä, jolloin neste liikkuu järjestelmässä odotetulla tavalla.

## 3 Konfiguraattorin suunnittelu

### 3.1 Tavoitteet ja hyödyt

Työn tavoitteena oli suunnitella konfiguraattorityökalu hydraulikoneikosta. Työkalun toiminta perustuu jokaisen koneikkokomponentin laskemiseen käyttäjän antamien paineen ja tilavuusvirran mukaan. Työkalu sisältää sisäistä laskentaa, jonka avulla esimerkiksi sähkömoottorin teho pystytään laskemaan. Lisäksi käyttäjä voi valita, tahtooko koneikoonsa vapaasti valittavia osia, esimerkiksi jäähdytintä. Käyttäjälle on myös annettu mahdollisuus ottaa kantaa koneikon ohjattavuuteen suuntaventtiilien ja väliasenteisten venttiilien valintaikkunan avulla.

Konfiguraattoria käyttämällä pystytään helpottamaan yksittäisten tuotteiden valitsemista suuresta tarjonnasta ja löytämään käyttötarkoitukseen juuri oikea tuote. Tällöin automatisoidaan käyttäjän valinnat ja saadaan nopeasti tuotteen osaluettelo valmistusta varten.

Käyttäjän ei tarvitse käyttää aikaa laskujen suorittamiseen, sillä laskenta on täysin automatisoitu. Myyjän käyttöön tuleva työkalu nopeuttaa tarjouksien tekemistä ja näin luo lyhyemmän toimitusajan.

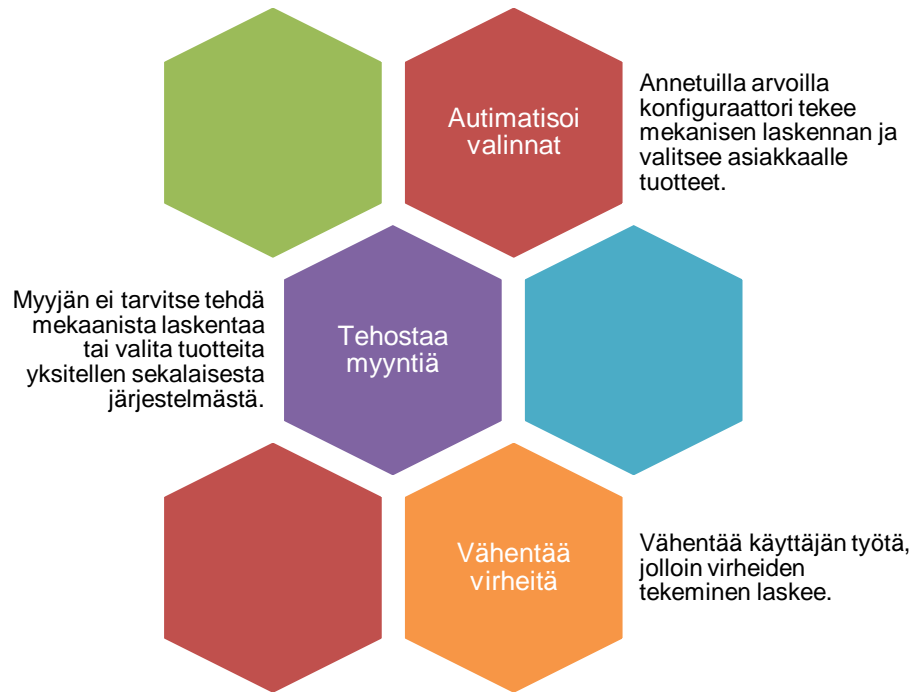
Konfiguraattorityökalulla saatuja hyötyjä ovat

- osien nopeampi valikointi
- samojen osien käyttö tuotteen valmistuksessa
- virheiden määrän vähentyminen tilauksia tehdessä
- myyjän teknisen tietämyksen tarpeen väheneminen
- tilauksien ja tarjouksien tekemisen nopeutuminen
- laskemisen määrän väheneminen
- saldojen seuraamisen nopeutuminen
- myynnin tehostuminen.

Rajoittavana tekijänä konfiguraattorille toimii sen ajan tasalla pitäminen. Mikäli konfiguraattoriin halutaan lisätä tuotteita tai tuotteet sen sisällä muuttuvat aika ajoin, myös konfiguraattoriin joudutaan tekemään muutoksia ja päivittämään sen tietoja.

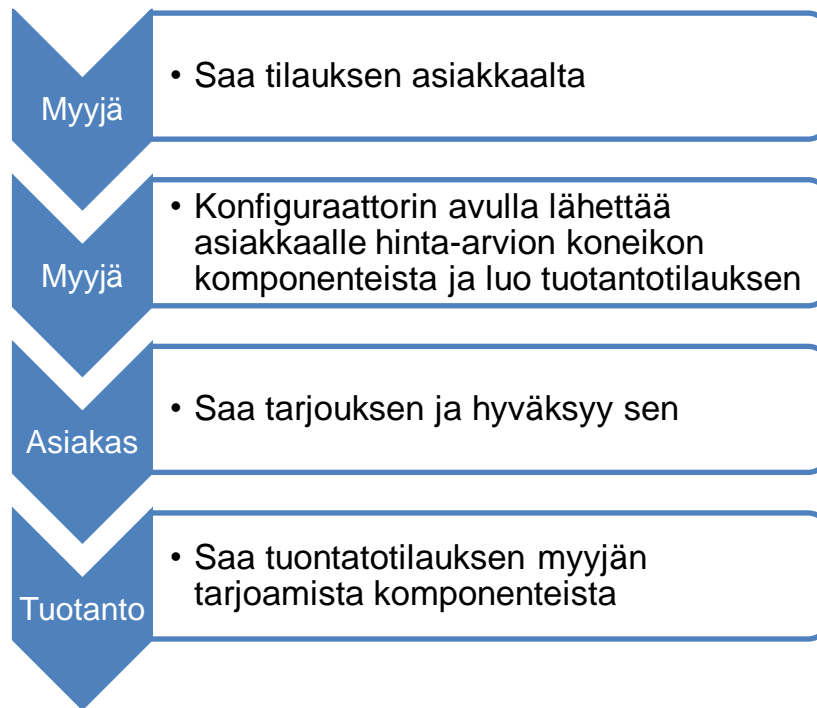
Rakenteeltaan konfiguraattori pyritään pitämään yksinkertaisena ja sellaisena, että se vaatii käyttäjältä mahdollisimman vähän lähtötietoja, joten sen sisältämistä tuotteissa on paljon rajoittavia tekijöitä. Mikäli samaa tuotetta on saatavana kolmesta eri materiaalista valmistettuna, on tällöin käyttäjällekkin annettava mahdollisuus valita näistä kolmesta materiaalista. Jos taas jos rajataan tuote yhteen materiaaliin, ei käyttäjän tarvitse tehdä valintaa lainkaan.

Konfiguraattorin käyttö tehostaa myyntiä sekä vähentää virheiden sattumista. Komponentit valitaan automaattisesti työkalun avulla, eikä käyttäjän tarvitse etsiä komponentteja suuresta valikoimasta (kuva 5).



Kuva 5. Myynnin hyödyt

Hydraulikoneikkokonfiguraattorin avulla käyttäjä säästyy mekaaniselta laskennalta, mikä nopeuttamaan tarjouksien lähettämistä asiakkaille. Lisäksi tuotanto saa työohjeen koneikon rakentamista varten. Käyttäjän valintojen jälkeen konfiguraattori syöttää automaattisesti valinnat ERP-järjestelmän tuotantotilauuspohjalle, josta myyjä saa koneikolle hinnan ja tuotanto komponentitiedot (kuva 6).



Kuva 6. Konfiguraattorin käytön kulku

Hydraulikoneikkokonfiguraattori on ohjelmoitu Visual Basic for Applications (VBA) -ohjelmointikielellä. Ohjelmointikieli toimii Exceliin sisäänrakennettuna, minkä vuoksi ohjelmaa aloitettiin rakentamaan tätä ohjelmointikieltä käyttäen. Excelin käyttöä vaadittiin ERP-järjestelmään automaattisyyttä varten.

### 3.2 Hydraulikoneikko

Paine ja tilavuusvirta sekä käyttökohde asettavat koneikon rakentamiselle rajoja. Hydraulikoneikko rakennetaan usein säiliön, pumpun, sähkömoottorin, suodattimien sekä erilaisten venttiilien avulla. Sähkömoottori ja pumppu ovat yhdistettynä kytkinkomponenttien avulla. Pumppu on yleensä sijoitettuna säiliön sisään. Tämä mahdollistaa kompaktin rakenteen. Koneikko voidaan rakentaa useammasta pumpusta, mikäli järjestelmä vaatii suuria nopeuksia ja alhaisen paineen. Kuitenkin yleisin koneikkomalli rakennetaan vain yhdestä pumpusta, jolloin järjestelmän vaatimukset ovat lähes muuttumattomia. Koneikko voidaan koota säiliön kanteen tai isoimmissa sähkömoottoriko'issa koneikko voidaan koota erilliselle alustalle.

Hydraulikoneikon järjestelmä voidaan sisäisesti jakaa kahteen osaan: tehopuoli ja ohjauspuoli. Puolet voivat toimia järjestelmässä yhdistettyinä tai erotettuina. Tehopuolella tarkoitetaan tehonsiirtoa järjestelmässä ja ohjauspuolella ohjataan sitä. Ohjaus voidaan vielä jakaa kahteen luokkaan: ohjausjärjestelmä ja säätöjärjestelmä. Ohjausjärjestelmässä ohjaus määrittyy sisäisistä ja ulkoisista tekijöistä. Sisäisiä tekijöitä ovat muun muassa komponenttien laatu ja ominaisuudet. Ulkoisia tekijöitä taas ovat muun muassa kitka, lämpötila ja kuormitus. Säätöjärjestelmässä valvotaan jatkuvasti järjestelmässä tapahtuvaa ohjausta. Järjestelmästä voidaan tarkistaa, onko ohjaus suoriutunut niistä. Tällöin on myös helppoa muokata järjestelmää niin, että poikkeama saadaan mahdollisimman pieneksi. [6;10]

Yleisimpiä käyttökohteita hydraulikoneikolle ovat erilaiset puristimet. Elintarvikekaupan pihalla voi nähdä jäteastioita, joiden sisällä on hydraulinen jätepuristin. Puristinta ohjataan hydraulikoneikolla, Koneikon tehtävänä on luoda saadusta sähköenergiasta sähkömoottorin kautta pumpulle mekaanista energiaa eli saada pumpulle liikkeelle. Pumpu tuottaa pyöriessään hydraulienergiaa, kun neste kiertää järjestelmässä. Sylinterit käyttävät pumpun tuottaman hydraulienergian mekaanisena jätteiden puristukseen (kuva 6).



Kuva 7. Energian muutos järjestelmässä

Koneikkoja voidaan käyttää ajoittaisessa käytössä. Ajoittainen käyttö tarkoittaa sitä, että koneikkoa käytetään työpaineen saavuttamiseksi, minkä jälkeen se sammutetaan. Tätä voidaan säätää painekytkimen avulla.

### 3.3 Hydraulikaavio ja osaluettelo

Hydraulikoneikot dokumentoidaan kaavioiden ja osaluettelon avulla. Liitteessä 1 ”Hydraulikoneikaavio ja osaluettelo” on piirretty standardin mukainen dokumentointi lämpölaitokseen tulevan koneikon toiminnasta. Tämän järjestelmän maksimipaine on 170 bar ja tilavuusvirta 12,6 l/min. Koneikossa käytetään 4 kW:n sähkömoottoria ja 30 l:n säiliötä. Järjestelmässä ohjataan kahta sylinteriä ”Luukku” ja ”Kola” kolmella suuntaventtiilillä (osat 12, 16, 17) sekä väliasenteisella venttiilillä (osa 13).

Osaluettelossa nähdään hydraulikoneikon jokainen komponentti. Komponentit ovat lueteltuina osaluettelossa osien kokonaismäärästä, sisäisestä koodista, tuotteen kuvauksesta, tyypistä ja kappalemäärästä. Osien kokonaismäärällä yksilöidään, kuinka monta tuotetta koneikon rakentamiseen tarvitaan. Sisäistä koodia käytetään Digia Enterprise -järjestelmässä löytämään kyseinen tuote. Tämä mahdollistaa tuotteen hinnan ja saldon selvittämisen. Tuotekuvaksessa kuvataan tuotteen komponentti nimeä ja tuotetyyppi määrittelee tuotteen virallisen nimen. Kappalemäärä määrittelee, kuinka monta tiettyä komponenttia koneikkoon asennetaan.

Liitteen kaaviosta nähdään, että ohjaus on rakennettu koneikon kannen päälle, jolloin myös suurin osa komponenteista on kiinnitettyinä siihen. Ohjauksen kannalta on tärkeää, että hydraulikaavio on tehty, sillä sen perusteella koneikon toimivuus tulee ilmi. Tämän vuoksi ohjaus vie suurimman osan kaavion tilavuudesta. Sylintereiden ohjauksessa käytetyt suuntaventtiilit ovat tyypillisiä hydraulikassa käytettyjä suuntaventtiileitä: 4/3-suuntaventtiili (osa 17), 2/2-suuntaventtiili (osa 12), 2/2-suuntaventtiili (osa 16), jonka alta löytyy väliasenteinen venttiili (osa 13).

### 3.4 Sähkömoottorin mitoitus

Käyttäjää pyydetään syöttämään hydraulijärjestelmän paine ja tilavuusvirta. Näiden avulla konfiguraattori mitoittaa tarvittavan sähkömoottorin järjestelmälle. Konfiguraattori käyttää pumpun tehontarpeen kaavaa (kaava 3) sen mitoittamiseen.



Pumpun tehontarve sähkömoottorilta 
$$P = \frac{Q \cdot p}{600} \quad (3)$$

P = teho [kW]

Q = tilavuusvirta [l/min]

p = paine [bar]

n = kierrosluku [r/min]

q = kierrostitavuus [cm<sup>3</sup>/r]

Sähkömoottori valitaan tarvittavan tehon perusteella. Teho saadaan suoraan käyttäjän syöttämistä arvoista: tilavuusvirran [l/min] ja paineen [bar] tulo jaetaan luvulla 600. Oletetaan, että järjestelmän paine on 150 bar ja tilavuusvirta 25 l/min. Tarvittava teho tällöin on 6,25 kW, jolloin konfiguraattori valitsee 7,5 kW:n sähkömoottorin. Työkalu pyrkii aina valitsemaan seuraavaksi suurimman sähkömoottorin, jottei järjestelmä alimitoiteta tehon tarvetta. Sähkömoottori pystytään ylikuormittamaan, mutta tämän varassa työkalu ei valitse pienempää mallia.

Työkalu valitsee seuraavista sähkömoottoreista: 0,55 kW, 0,75 kW, 1,1 kW, 1,5 kW, 2,2 kW, 3 kW, 4 kW, 5,5 kW, 7,5 kW, 11 kW, 15 kW, 18,2 kW ja 22 kW. Sähkömoottorin täytyy suoriutua pumpun vaatimasta litran tuotosta järjestelmälle ja asetetusta paineesta. Tällöin täytyy ottaa huomioon sähkömoottorin ja pumpun koko, kun järjestelmää rakennetaan. [5]

### 3.5 Pumpun mitoitus

Pumpun mitoitukseen vaikuttava tekijä on käyttäjän syöttämä tilavuusvirta (kaava 4). Tilavuusvirran avulla voidaan laskea pumpulle kierrostitavuus. Valittavissa pumpeissa rpm liikkuu välillä 1460–1500, joten pumpun kierrosluvuksi on valittu vakioksi 1500. Pumpulle on asetettu maksimipainerajoitus, joka suojelee sen pitkäaikaista toimintaa. Esimerkiksi tilavuusvirralla 25 l/min saadaan 16,6 cm<sup>3</sup>/r. Tällöin konfiguraattori mitoittaa kaavaa 5 käyttäen myös pumpun yläkanttiin pumpuksi 19 cm<sup>3</sup>/r.

Konfiguraattoriin valittujen pumppujen koot kierrostilavuudeltaan 4,5 cm<sup>3</sup>/r, 6,5 cm<sup>3</sup>/r, 8,4 cm<sup>3</sup>/r, 11 cm<sup>3</sup>/r, 15 cm<sup>3</sup>/r, 19 cm<sup>3</sup>/r, 22 cm<sup>3</sup>/r, 26 cm<sup>3</sup>/r, 27 cm<sup>3</sup>/r, 31 cm<sup>3</sup>/r, 38 cm<sup>3</sup>/r, 45 cm<sup>3</sup>/r, 53 cm<sup>3</sup>/r, 63 cm<sup>3</sup>/r, 75 cm<sup>3</sup>/r ja 93 cm<sup>3</sup>/r.

$$\text{Pumpun tuotto } Q = \frac{q * n}{1000} \quad (4)$$

$$\text{Kierrostilavuus } = q = \frac{Q * 1000}{n} \quad (5)$$

Pumpun mitoituksessa olennaista on, että pumppu jaksaa tuottaa sähkömoottorin tuottaman mekaanisen tehon järjestelmälle hydraulisena tehona vaaditulla virtauksella l/min. Paine-eron vuoksi pumpun todellinen tilavuusvirta pienenee erilaisten vuotojen takia. Näitä vuotoja kutsutaan ulkoisiksi ja sisäisiksi vuodoiksi. Ulkoinen vuoto tarkoittaa tilavuusvirran kulkua paineliitännästä välysten kautta pumpun koteloon ja sieltä järjestelmästä säiliöön. Sisäinen vuoto on puolestaan kyseessä tilavuusvirran kulkiessa pumpun yli, jolloin paine-ero kulkee paineliitännästä imuliitääntään pumpun välysten kautta. Isoin tekijä vuotojen määrään on suuri paine. [6]

Pumpun volumetrinen hyötysuhde vaikuttaa pumpun tuottamaan tilavuusvirtaan positiivisesti, mutta paine-ero pienentää sitä. Eli pumppu on riippuvainen pyörimisnopeudesta ja paineesta. Jolloin pumpun todellisen tilavuusvirta voidaan laskea kaavan 6 kautta.

$$qv, \text{ tod} = n * Vk * \eta_v \quad (6)$$

$qv, \text{ tod}$  = Pumpun todellinen tilavuusvirta

$n$  = pyörimisnopeus [r/s]

$Vk$  = kierrostilavuus [m<sup>3</sup>/r]

$\eta_v$  = volumetrinen hyötysuhde

Näiden häviöiden lisäksi pumpusta löytyy hydraulisia ja mekaanisia häviöitä. Hydrauliset häviöt johtuvat pumpun läpi tulevan nesteen viskositeettikitkasta ja nesteen nopeudenmuutoksien aiheutumista häviöistä. Mekaaniset häviöt taas johtuvat liikkuvien osien välisistä kitkoista, ja näihin häviöihin vaikuttaa järjestelmän paine ja pyörimisnopeus. [1]

Häviöiden takia pumpun pyörittämiseen vaaditaan todellisuudessa suurempi momentti, jolloin todellinen käyttömomentti voidaan laskea kaavan 7 kautta.

$$T_{tod} = \frac{\Delta p * V_k}{2 * \pi * \eta_{hm}} \quad (7)$$

$\Delta p$  = paine-ero [Pa]

$V_k$  = kierrostitavuus [ $m^3/r$ ]

$\eta_{hm}$  = hyötysuhde

### 3.6 Säiliön ja säiliötarvikkeiden mitoitus

Koneikon säiliön mitoituksessa on otettava huomioon järjestelmän kokonaisnestetilavuus, pumpun säiliöstä ottaman tilavuusvirta ja järjestelmässä syntyvä lämpötilat. Myös komponenttien valinnat saattavat vaikuttaa säiliön tilavuuteen. Perussääntönä on, että säiliöön täytyy mahtua järjestelmässä käytettävä neste kokonaisuudessaan.

Säiliön mitoitukseen on käytetty kaavaa 8, jolloin säiliö valitaan 1,5-kertaiseksi sen tilavuusvirtaukseen nähden. Jos oletetaan tilavuusvirran olevan 25 l/min ja kerrotaan se luvulla 1,5, saadaan 37,5, jolloin seuraavaksi lähin säiliö konfiguraattorissa on 55 l. Ker toimena toimiva 1,5 ei välttämättä ole tarpeeksi jokaiseen sovellukseen, joten käyttäjälle on annettu myös mahdollisuus valita säiliö itse.

Konfiguraattoriin valittujen alumiini- ja terässäiliöiden koot ovat seuraavat: Alumiiniset ovat tilavuudeltaan 6 l, 10 l, 16 l ja 25 l. Näitä säiliöitä käytetään yleensä pienempien

koneikkojen rakentamiseen, kun taas terässäiliöillä rakennetaan suurempia koneikkoja. Teräs säiliöiden koot ovat 12 l, 16 l, 30 l, 55 l, 75 l, 100 l ja 180 l. Automaattinen säiliönvalitsin suosii terässäiliöiden valintaa.

$$\text{Säiliö (l)} = Q * 1,5 \quad (8)$$

Säiliön koon mukaan valitaan vastaavat säiliötarvikkeet. Paluusuodattimen työ on suodattaa järjestelmästä takaisin tuleva hydraulineeste ennen nesteen pääsyä takaisin säiliöön. Visuaalinen indikaattori, joka osoittaa suodattimen patruunan vaihtoa, lisätään jokaiseen koneikkoon paluusuodattimen kanssa. Paluusuodatin mitoitetaan tilavuusvirtaukseen nähden kaksinkertaiseksi ja asennetaan yleensä säiliön kanteen. Suodattimien erot ovat virtauksen ja suodatusasteissa.

Täyttökorkin läpi säiliö voidaan täyttää hydraulineesteellä. Täyttökorkki on lähes aina samaa kokoa 80 mm. Mikäli säiliö on pienempi kuin 12 l, silloin valitaan pienempi korkki 65 mm. Mittalasin avulla voidaan lukea säiliössä olevan hydraulineesteen taso ja lämpötila. Mittalasiin mitoitettu toimii konfiguraattorissa täysin samalla tavalla kuin korkin.

Lisäksi työkalu antaa automaattisesti jokaiselle koneikolle painemittarin ja hanan. Hanan ollessa auki paine pääsee painemittarin kautta, ja näin voidaan hetkellisesti tarkistaa järjestelmässä oleva paine.

### 3.7 Kytkinkomponenttien ja laipan mitoitus

Kytkeyden tarkoitus on liittää moottori ja pumppu toisiinsa, ja näin myös kummallekin puolella tarvitaan oma kytkynsä. Pumpun puolen kytky valitaan pumppusarjan ja nimelliskoon mukaan. Valintaan vaikuttaa myös oleellisesti moottorin puolen kytkyn valinta. Moottorin puolen kytky puolestaan valitaan tehon ja nimelliskoon mukaan. Moottorin puoleisen kytkyn ja pumpun puolen kytkyn väliin asetetaan välikumi. Välikumin nimelliskoko täytyy olla sama, kuin pumpun ja moottorin puolen.

Käytettyjä nimelliskokoja ovat 65, 90 ja 115. Väli-laippa valitaan puolestaan pumpun sarjan ja tehon mukaan. Väli-laippa tulee moottoriin kiinni ja kytkyt laipan sisälle. Teho

luokaltaan konfiguraattorissa käytettyjä kytkejä ovat: 0,55–0,75, 1,1–1,5, 2,2–4,0, 5,5–7,5, 11–15 ja 18,5–22 kW.

### 3.8 Venttiilien valinta

Venttiilit ovat olennainen osa hydraulijärjestelmän toimivuutta. Suuntaventtiilit, paineventtiilit ja virtausventtiilit ovat täysin riippuvaisia käyttökohteesta, ja tämän takia tämä konfiguraattori antaa käyttäjän valita tarvitsemansa suuntaventtiilit ja väliasenteiset venttiilit. Automaattiseen valintaan on jätetty vastaventtiilin, mittariventtiilin ja paineenrajoitusventtiilin valinta.

Tämän konfiguraattorin tuomiin paineenrajoitusventtiileihin oli valittu kaksi vaihtoehtoa: 100–350 bar:n paineen tai 80–250 bar:n paineen paineenrajoitusventtiilit. Jälkimmäistä venttiiliä käytetään alle 150 bar:n järjestelmissä ja ensimmäistä käytetään, mikäli järjestelmän paine on suurempi kuin 150 bar.

Vastaventtiileitä löytyy konfiguroinnissa myös kaksi kappaletta. Toinen virtauksille yli 30 l/min ja toinen sen alta. Venttiilin valinta perustuu käyttäjän valitsemaan paineeseen ja virtaukseen. Lisäksi vakiona kaikkiin koneikkoihin lisätään mittariventtiili. Tämän avulla voidaan laskea järjestelmässä oleva paine.

Valittavat suuntaventtiilit olivat NS-6 suoraohjatut, välilevyasenteiset, kiinnityspinnaltaan ISO 4401-03 -standardin mukaiset Cetop3-venttiilit. Nämä soveltuivat parhaiten käyttötarkoitukseen. Käyttöjännitteinä käytettiin 24 VDC ja 220 VA, sillä ne soveltuvat teollisuuden koneikkoihin.

Valittavista suuntaventtiileistä valittiin työkaluun eniten käytetyt suuntaventtiilit (kuva 7). SA2 (vapaakierto), TA (suorakoppi ristikoppi), S1 (suljettu keskiasento), S2 (avoin keskiasento), S3 (keskiasento A, B -> T) ja S4 (keskiasento P -> T "Vapaakierto").

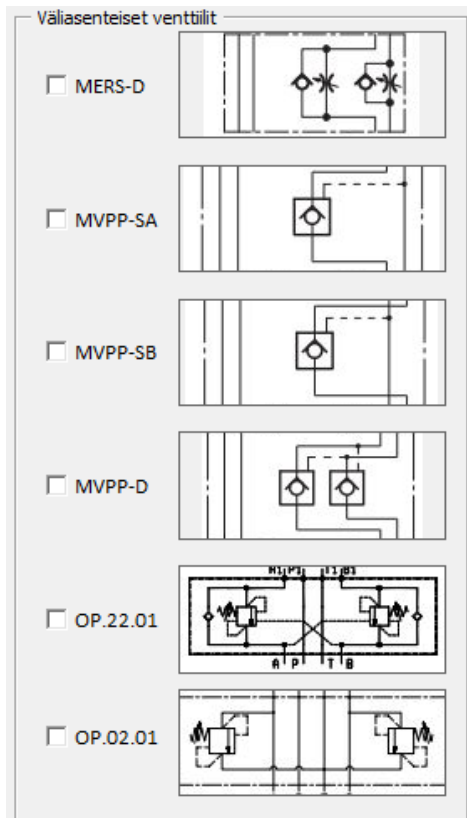
Käyttäjälle on annettu mahdollisuus lisätä suuntaventtiilien alle myös väliasenteisiä venttiileitä. Työkaluun on valittu eniten käytetyt väliasenteiset venttiilit (kuva 8). Näitä ovat MERS-D (Vastusvastaventtiili), MVPP-SA (Lukko A-linja), MVPP-SB (Lukko B-linja), MVPP-D (Kaksoislukko), OP.22.01 (Kuormanlaskuventtiili) ja OP.02.01 (Kaksoisvaro).

Väliasenteiset venttiilit asennetaan suuntaventtiilien alle. Ne ovat osa hydraulijärjestelmän ohjaamista.



Kuva 8. Konfiguraattorin suuntaventtiilin valitsinikkuna

Kuvassa 8 ja 9 nähdään suuntaventtiileiden ja väliasenteisten venttiileiden standardin DIN ISO 1219 mukaiset piirrosmerkit. Piirrosmerkkejä käytetään esittämään hydraulijärjestelmän toimivuutta. Eri luistinvariaatioita on olemassa noin 250, joista saadaan järjestelmälle erilaisia toimintoja.



Kuva 9. Väliasenteiset venttiilit valikko ikkuna

### 3.9 Jäähdyttimen mitoitus

Konfiguraattoriin on valittu viisi eri jäähdytintä. Jäähdyttimien jäähdytystehot riippuvat jäähdyttimen koosta. Jäähdyttimen koot valittiin seuraavasti: D4 jäähdytysteholtaan 1,5–4 kW, D9 jäähdytysteholtaan 2–9 kW, D11 jäähdytysteholtaan 5–11 kW, D17 jäähdytysteholtaan 5–18 kW ja D20 jäähdytysteholtaan 5–20 kW. Suurempia jäähdyttimiä konfigurointityökalu ei valitse, sillä koneikon kokoluokkakin jää pienemmäksi. Konfiguraattori laskee tarvittavan jäähdytystehon koneikolle käyttäjän syöttämästä tilavuusvirrasta jotta sen järjestelmän tehon kautta jäähdytystehoksi (kaava 9 ja 10).

$$J\ddot{a}r. \text{ teho} = \frac{2,15 \cdot 820 \cdot (Q \cdot 0,06) \cdot 30}{3600} \quad (9)$$

$$J \text{ teho} = J\ddot{a}r. \text{ teho} \cdot 0,2 \quad (10)$$

$Q = [l/min]$

Jär.teho = järjestelmän teho [kW]

Jteho = Jäähdytysteho [kW]

Jäähdyttimiä voidaan valita myös jo valmiiksi asennetulla ohitusventtiilimallilla. Jäähdyttimen kytkinlämpötilaksi voidaan valita 40, 50 tai 60 °C.

### 3.10 ERP-järjestelmän linkitys

Nestepaineen ERP-järjestelmänä toimii Digia Enterprise 4.5. Digia Enterprise on kotimainen toiminnanohjausratkaisu, joka on kehitetty suomalaisten yritysten tarpeisiin. Järjestelmän etuna voidaan pitää sen muovattavuutta ja skaalattavuutta yritysten tarpeiden mukaan. Järjestelmä on helppokäyttöinen ja soveltuu tukkukaupan, konekaupan sekä elintarviketeollisuuden ja muun teollisuuden tarpeisiin. Konfiguraattorityökalu tahdottiin automatisoida niin, että työkalu pystyisi lähettämään konfiguroidut tiedot ERP-järjestelmään suoraan tarjouspohjalle.

Automaattinen syöttö Excelistä Enterprisen puolelle onnistui valmiin komennon avulla. Komento "Aja komentojono leikepöydältä" syöttää Excelissä kopioidut rivit ERP-järjestelmän puolelle. Excelin puolelta löytyy nappi, joka kopioi nimiketunnuksen ja yksikömäärän sekä avaa Enterprise-ikkunan komentoa varten (kuva 10).



The screenshot displays the 'Tuotantotilaus' (Production Order) window in an ERP system. At the top, there are tabs for 'Tilaus' and 'Tuotantotilaus'. Below the tabs are various filter buttons like 'Ominaisuudet', 'Piirustukset', 'Tila', 'Paketit', and 'Mittaus'. A table lists parts with columns for 'Osan tunnus', 'Nimi', 'Versio', 'A', 'Yks. määrä', 'Aset. määrä', 'Varasto', 'Paikka', 'Saldo', 'Ohjaustap.', 'Vnro', 'Työvaih.', and 'Tekn.'. The table shows four rows of parts, with the first row selected. Below the table, there are more filter buttons and a 'Lajittelu: Osanro' dropdown. A detailed view for the selected part (Osan tunnus: 65712510600) is shown, including fields for 'Osan tunnus', 'Osan versio', 'Tekn. nimi', 'Määrätiedot', and 'Ohjaustiedot'. The 'Määrätiedot' section includes fields for 'Asetusmäärä', 'Yksikkömäärä', 'Varasto', 'Varastopakka', 'Kokon.määrä', 'Toteut.määrä', 'Vapaa saldo', 'Tarvepvm', and 'Aihionpituus'. The 'Ohjaustiedot' section includes fields for 'Työvaiheen nro', 'Ohjaustapa', 'Ohj. muk tap.', 'Toimittajanro', 'Osan hukka%', and 'Laatu'. A 'Hyväksytyt' button is visible in the top right of the detailed view.

Kuva 10. ERP-järjestelmän Enterprise-näkymä

Tuotantotilaus luo työohjeet koneikon kokoajaa varten ja asiakkaalle saadaan laskettua tarjous valituista komponenteista. Myös varaston saldot näkyvät myyjälle, mikä helpottaa toimitusajan lupaaamista asiakkaalle.

### 3.11 Järjestelmä

Microsoft Office -paketin Excel on laajasti käytössä oleva taulukkolaskentaohjelma. Ohjelma tuotiin markkinoille Windows-pohjaisiin järjestelmiin vuonna 1985. Excelin avulla pystytään laskemaan ja näyttämään erilaista dataa graafisin taulukoin. Office-pakettien ohjelmiin kuten Excelliin sisältyy myös Visual Basic for Applications -ohjelmointikieli, jota voidaan käyttää Excelin sisällä olevien makrojen suorittamiseen. [7;8]

Excelin toiminta perustuu solujen ja taulukoiden käyttöön. Taulukossa olevat solut on nimetty numeroin ja kirjaimin, ja niitä voidaan kutsua ja täyttää Visual Basic for Applications komentojen avulla. Konfiguraattorityökalu käyttää "Tuotteet"-taulukkoa tietolähteenä ja hakee valitun solun sieltä (kuva 11).

	A	B	C	D
1	Osan_tunnus	Yksikkömäärä	Tuote	
2	65743308500	1	3TA132M-4 7,5 KW/1460 B35 400V	<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Konfiguroi</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Vie tuotantotilaukselle</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">Tyhjennä</div>
3	65701006600	1	AP212/19-D-218 PUMPPU	
4	65712961400	1	CF55GC TERÄSSÄILIÖ TÄYD. 55 L	
5	65712338300	1	AK38-MP-90 KYTKY MOOTT.P	
6	65712200300	1	K-90 VÄLIKUMI	
7	65712102300	1	AK2-PP-90 KYTKY P-PUOLI	
8	65712723000	1	LH2/300 VÄLILAIPPA	
9	65712510600	1	TR-2 TÄYTTÖKORKKI 80	
10	65713031200	1	PLT-2 MITTALASI/LÄMPÖM.	
11	65712400600	1	OMTF111C25NA1 SUODATIN	
12	65702133200	1	05.13.01-03-03-35 VSC-30	
13	65710928000	1	VIS.IND. 039.0129.1 AMF N:o30	
14	65719073700	1	EM 14 C (A) MITTARIVENTTIILI	
15	65722131500	1	6305 RL 0-315 BAR PAINEM. *10	
16	65705311200	1	RV 7501-0010-399811 1/2" 0,5 BAR	
17	65701151500	1	RF-225 FE-40-3/4 LAIPPA	
18	65701152200	1	RF-246 FE-40-1/2 LAIPPA	

Kuva 11. Konfiguraattorin haetut tiedot Excelin puolella

"Tuotteet"-taulukosta haettu solu tulostetaan konfiguraattoritaulukon puolelle sille määrätyle paikalle. Esimerkiksi A2 ja C2 tuovat aina näihin soluihin sähkömoottorin tiedot. Taulukko "Tuotteet" voidaan piilottaa käyttäjältä, sillä käyttäjän ei tarvitse päästä konfiguraattorin valittaviin tietoihin. Pääikkunaksi jää vain yksi taulukko "Konfiguraattori".

### 3.12 Makrot

Makrojen luomiseksi Excelissä on ensimmäiseksi otettava kehitystyökaluvalikko käyttöön. Yleensä valikko on oletusarvoisesti piilotettuna käyttäjältä. Makrot tallettavat ko-

mentoja, muokkauksia tai valintoja Visual Basic for Applications -ohjelmointikieleksi. Ohjelmointikieltä voidaan tarkastella alt + F11 -komentoa käyttämällä. Komento avaa erillisen ikkunan, johon makron tuottama koodi on kirjattu. [7]

Makroja aktivoidaan käyttöön nappeja painamalla Excelin puolella. Konfiguroi-nappi näyttää Konfiguraattorin käyttöikkunan. Vie tuotantotilaukselle puolestaan kopioi A ja B sarakkeiden tiedot, mikäli ne ovat täytettyinä. Valinnaisten vaihtoehtojen vuoksi kaikkia sarakkeita ei välttämättä täytetä ja soluja saattaa jäädä väliin, kun työkalua käytetään. Tähän makroon on lisätty toiminto ottamaan tyhjät rivit pois näkymästä ja viemään ne ERP-järjestelmän puolelle. Tyhjennä-nappi pyyhkii konfiguroidut tiedot pois tästä taulukosta.

### 3.13 Ohjelmointi

Visual Basic for Applications (VBA) -ohjelmoinnilla voidaan automatisoida Microsoftin Office -ohjelmia makrojen avulla. Konfiguraattori tehtiin UserFormia käyttämällä, joka on valmiiksi rakennettu VBA:n sisälle. UserFormiin voidaan luoda Toolboxin avulla tekstiä, textbox, combobox, listbox, checkbox, optionbutton, togglebutton, frame, commandbutton, tabstrip, multipage, scrollbar, spinbutton, kuvia ja refedit. [8;9]

Konfiguraattorityökalu on luotu käyttäen comboboxeja, textboxeja, checkboxeja ja optionbuttoneita käyttämällä. Comboboxien sisälle voidaan asettaa valittavia arvoja, joita käyttäjä itse valitsee. Textboxin sisälle käyttäjä voi täyttää itse halutun arvon. Checkbox- ja optionbutton-nappien avulla käyttäjä voi valita, tahtooko koneikkoon tiettyjä komponentteja. Käyttäjän antamien arvojen ja laatikoiden täyttämisen perusteella on annettu ehtoja, joiden täytyessä valittava tuote valitaan.

VBA-ohjelmointikielessä ohjelma alkaa aina Private Sub tai Public Sub ja loppuu End Sub. VBA-ohjelmassa määritetään, voiko makro tai ohjelma olla käytettävissä makroikkunassa ja voiko sen suorittaa toisessa koodissa. Public Subin avulla makro tai ohjelma saadaan näkyviin, mutta Private Sub piilottaa sen. Mikäli ohjelma ei käytä kuin toista alisarjaa, niin VBA kohtelee sitä kuin se olisi Public Sub. Kuva 12 näyttää alumiinisäiliön materiaalin valinnan sekä antaa dropdownille arvot, mikäli alumiini on valittuna materiaa-

liksi. Ohjelma perustuu useampaan ehtolauseeseen (If). Jos Optionbutton1 valitaan, annetaan käyttäjälle nämä tiedot. Tiedot haetaan "Tuotteet"-taulukosta solujen väliltä E8 ja E14, kun ws on asetettu "Tuotteet"-taulukoksi.

```

|
Private Sub OptionButton1_Change()
'Alumiini säiliön materiaali valinta ja sen dropboxin arvot
Dim ws As Worksheet
Set ws = Worksheets("Tuotteet")

Dim Tr As range
Dim Tc As range

If Me.OptionButton1.Value = True Then
    Me.ComboBox3.Clear
    Me.ComboBox3.Value = ""
    Set Tr = ws.range("E8:E14")
    For Each Tc In Tr
        Me.ComboBox3.AddItem Tc.Value
    Next Tc
End If
End Sub

```

---

Kuva 12. VBA-ohjelmointikieltä

#### 4 Konfiguraattorin toiminta

Konfiguraattori on ohjelmatyökalu, joka antaa käyttäjälle mahdollisuuden tehdä valintoja syöttämällä lähtöarvoja työkalulle. Konfiguraattori edustaa digitaalista apuvälinettä kokoonpanon määrittämisessä. Ohjelma helpottaa samankaltaisten tuotteiden rajoittamista ja auttaa löytämään niiden seasta juuri käyttäjän tarpeiden mukaisen kokoonpanon. Konfiguraattori sisältää mekaanista laskentaa, jota käyttäjän ei tarvitse itse tehdä. Lisäksi se vähentää vaadittavaa selvitystyötä, sillä tuotteet valitaan automaattisesti. Konfiguraattori muodostuu käyttöliittymästä, taulukoinnista ja rajojen määrittämisestä. [10]

Tämän koneikkokonfiguraattorin ideana on poistaa mekaanista laskentaa ja automatisoida komponenttien tuonti ERP-järjestelmään tarjouspohjalle. Koneikko koostuu useammasta tuotteesta, ja jokainen komponentti pitäisi löytää suuresta tuotevalikoimasta. Tuotteet, joista konfiguraattori koostuu, ovat määriteltynä aikaisemmin käyttökohteet ja

komponentit-osiossa. Työkalu pystyisi tuomaan ja laskemaan koneikkokokoonpanon sen käyttäjälle valmiiksi.

Perustietoina konfigurointi vaatii paineen ja tilavuusvirran. Lähtötietojen avulla voidaan valita koneikon peruskomponentit. Käyttäjälle on annettu mahdollisuus myös valita itse koneikossa käytettävä säiliön materiaali ja nestetilavuus. Kuvassa 13 näkyy konfiguraattorin käyttäjälle näkymä käyttöikkuna. Käyttöikkuna avautuu aina, kun Excel-tiedosto avataan. Myös Excelin puolelle on tehty nappi, jolla käyttöikkuna saadaan auki.

Kuva 13. Konfiguraattorin käyttöikkuna

Vaihtoehtoina käyttäjä voi valita pintavahdin, painesuodattimen, lämmittimen ja jäähdyttimen järjestelmään. Jäähdyttimen kytkeämlämpötila voidaan asettaa valinta ikkunassa,

ja mikäli käyttäjä tahtoo jäähdyttimen ohistusventtiilillä, niin siihen on annettu mahdollisuus. Suuntaventtiilit ja väliasenteiset venttiilit valtaavatkin käyttöikkunasta suurimman lohkon. Käyttäjälle on annettu selkeät standardinomaiset kuvat venttiilien toiminnasta. Myös venttiilien asennusohjeen automatisointi haluttiin varmistaa; näin myyjän ei tarvitse erikseen kirjata miten päin suuntaventtiilit ja väliasenteiset venttiilit asennetaan. Käytön helpottamiseksi on lisätty myös poistumis-, tyhjentämis- ja suorita-painikkeet.

Käyttäjän tekemien valintojen ja suorita-painalluksen jälkeen konfiguraattori syöttää valittujen tuotteiden nimiketunnuksen ja tuotenimen Excel-taulukkoon. Mikäli käyttäjä on valinnut asennustaulukossa suunta- tai väliasenteisiä venttiileitä, myös nämä tulevat taulukkoon. Excel-taulukossa on valmiiksi asennettuna tuotteiden kappalemäärä eli jokaisen tuotteen paikka on määrätty.

## 5 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli luoda hydraulikoneikon konfiguraattorityökalu Oy Nestepaine Ab:n teknisen myynnin tueksi. Työkalun tehtävänä oli automatisoida koneikon komponenttien valitseminen ja lähettää tulokset ERP-järjestelmään. Työn tavoite saavutettiin ja konfiguraattorin avulla valittiin asiakkaalle koneikon komponentit ja lopuksi myös rakennettiin valmis hydraulikoneikko (kuva 14).

Työn aikana perehdyttiin hydrauliiikan perustietoihin, Visual Basic for Applications -ohjelmointikieleen, konfiguraattorin valintaperusteisiin ja useamman hydraulikoneikon komponentin toimintaan. Työ alkoi ohjelmoinnin alkeiden opettelemisella sekä valitsemalla konfiguraattorille sopiva ohjelmointikieli ja alusta. Konfiguraattori päädyttiin rakentamaan Excelin VBA UserFormin avulla, sillä Excel on kevyt ja valmiiksi tuttu ohjelma.

Suunnittelu aloitettiin valitsemalla komponenttien päämiehet, joiden koneikon komponentteja tahdottiin käyttää konfiguraattorissa. Tässä vaiheessa myös rajattiin, millä paineilla ja tilavuusvirroilla hydraulikoneikkokonfiguraattori toimii ja valitsee komponentteja. Komponenttien valinnat ohjelmoitiin hydrauliiikan kaavoja käyttämällä ja laskemalla arvoja. Saaduilla arvoilla luotiin ehtolauseita valitsemaan oikeat komponentit koneikolle. Jokaiselle komponentille luotiin omia ehtolauseita vastaamaan vaadittuja tiukkoja määrittelyjä.

Hydraulikoneikon komponenttien valintaohjelma saatiin valmiiksi, ja sillä laskettiin asiakkaalle koneikko. Koneikko myytiin asiakkaalle konfiguraattorin antamista komponenteista ja tämän jälkeen rakennettiin. Asennustyössä pääsi oppimaan, kuinka hydraulikoneikon komponentit liitetään toisiinsa. Tämän jälkeen koneikko vielä koeajettiin.

Konfiguraattorin syöttäessä tiedot Excelin puolelle pystyttiin aloittamaan ERP-järjestelmään linkittäminen. Tämä tapahtui valmiin komennon avulla tuotantotilaukselle. Linkityksen ongelmaksi osoittautui, ettei se toimi jokaisella Enterprisen ohjelmalla. Esimerkiksi tilaukselle komponentteja ei voida syöttää automaattisesti.

Työn aikana saavutettiin kuitenkin kaikki sille ennalta annetut tavoitteet. Linkityksessä on parannettavaa, ja sen toimintaa pystyisi automatisoimaan pidemmällekin, niin että se toimisi jokaisella ohjelmalla Enterprisen sisällä.

Työtä voisi jatkaa lisäämällä CAD-ohjelman konfiguraattorin toimintaan. Käyttäjät pystyisi näkemään 3D-mallina, minkä kokoisesta koneikosta on kyse.





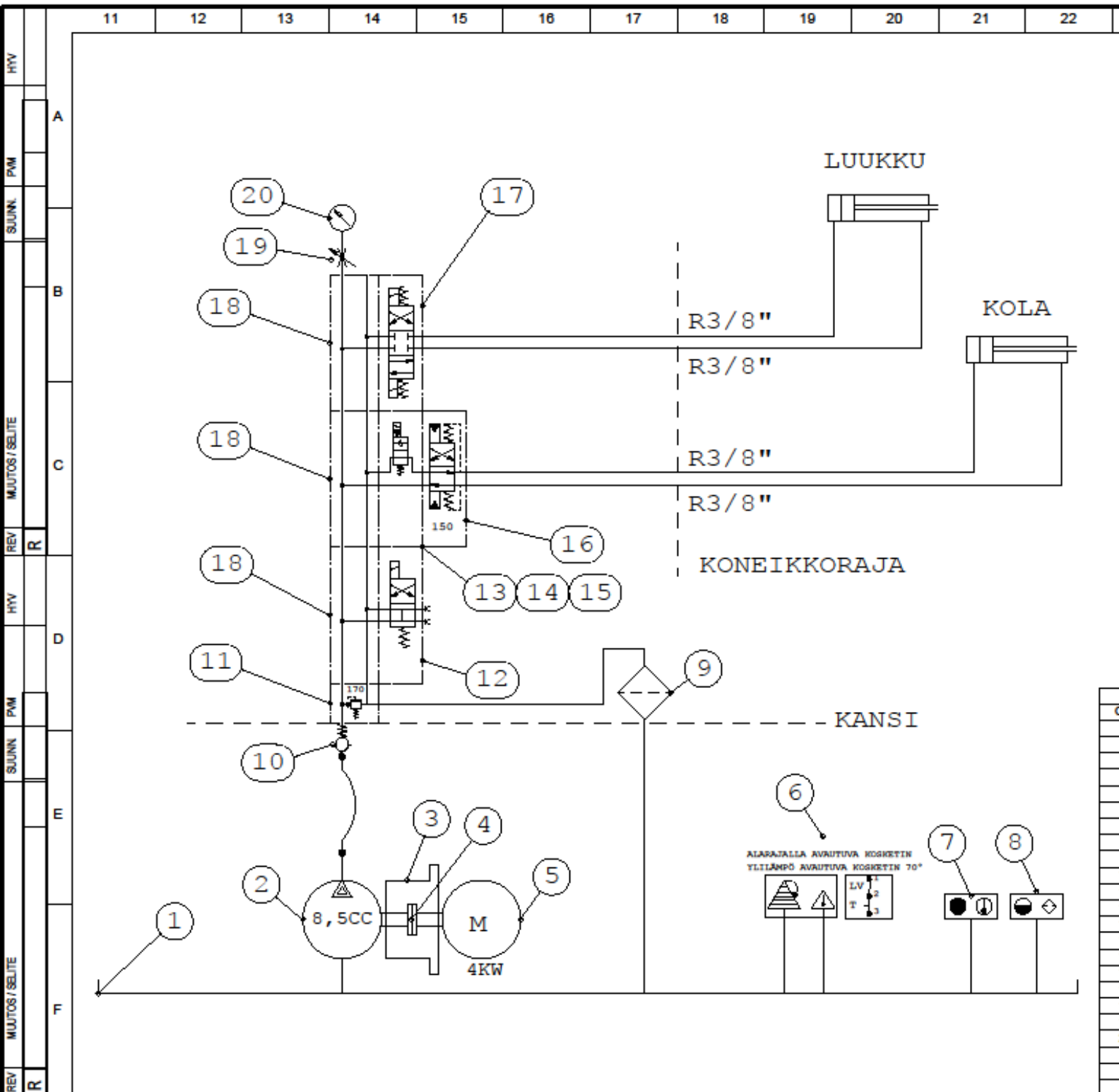
Kuva 14. Hydraulikoneikko



## Lähteet

1. Exner, H.; Freitag, R.; Geis, H.; Lang, R.; Oppolzer, J.; Schwab, P.; Sumpf, E.; Ostendorf, U. & Reik, M. 1991. Hydraulitekniiikan perusteet ja komponentit: The hydraulics trainer Osa 1. Lohr am Main: Mannesmann Rexroth GmbH.
2. Kauranne, H.; Kajaste, J.; Vilenius, M. 1996. Hydraulitekniiikan perusteet. Helsinki: WSOY.
3. Mobilehydrauliikka - 9. Järjestelmätyypit. Verkkoaineisto. Metropolia. <<https://wiki.metropolia.fi/pages/viewpage.action?pageId=12160528>>. Luettu 30.9.2020.
4. Electric motors. Verkkoaineisto. Explainthatstuff!. <<https://www.explainthatstuff.com/electricmotors.html>>. Luettu 15.10.2020.
5. Eurohinnasto 2001. 2001. Nestepaine Oy. Hydrauliikan komponentit.
6. Atland, G. 1967. Käytännön hydrauliikka. Insinööritoimisto H. Auramo.
7. Tehtävien automatisoiminen makrojen tallenuksen avulla. Verkkomateriaali. Microsoft Support <<https://support.microsoft.com/fi-fi/office/tehtävien-automatisoiminen-makrojen-tallennuksen-avulla-974ef220-f716-4e01-b015-3ea70e64937b>>. Luettu 5.10.2020.
8. Excel funktiot suomeksi. Verkkoaineisto. Easy-Excel. <<https://easy-excel.com/excel-in-other-languages/excel-functions-in-finnish/>>. Luettu 3.9.2020.
9. VBA - User Forms. Verkkoaineisto. Tutorialspoint. <[https://www.tutorialspoint.com/vba/vba\\_userforms.htm](https://www.tutorialspoint.com/vba/vba_userforms.htm)> Luettu 3.9.2020.
10. Kohti sääntöpohjaista suunnitteluautomaatiota. Verkkoaineisto. Huld. <<https://huld.io/fi/nakemyksia/blogi/kohti-saantopohjaista-suunnitteluautomaatiota/>> Luettu 28.10.2020.

11. Excel Definition – The ultimate software tool for financial analysis. Verkkoaineisto. Corporate Finance Institute. <<https://corporatefinanceinstitute.com/resources/excel/study/excel-definition-overview/>> Luettu 26.10.2020.



NESTEPAINE

Suunn.	Pm	Hyv.
MK-V	06.09.2019	XXX

PROJEKTI: LÄMPÖLAITOS  
TILAAJA:  
KOHDE: