



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

EERIK HURSKAINEN

KPA-varaston jäähdytysketjun lämmönsiirtokyvyn optimointi

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA
2021

Tekijä Hurskainen, Eerik	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Heinäkuu 2021
	Sivumäärä 49	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi KPA-varaston jäähdytysketjun lämmönsiirtokyvyn optimointi		
Tutkinto-ohjelma Konetekniikan insinööritutkinto		
Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli todentaa käytetyn polttoaine varaston lämmönvaihtimien lämmönsiirtokyky ja tutkia mittalaitteiden virhemarginaaleja. Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Teollisuuden Voima Oyj:n käyttöhenkilöstön ja KTH-organisaation (polttoaineen ja jätteenkäsittely) henkilöstön kanssa. Opinnäytetyö aloitettiin tutustumalla laitosdokumentaatioon ja perehtymällä KPA varaston järjestelmiin. Tiedon omaksunnan jälkeen kartoitettiin itse laitoksella tapahtuvaa mittausvirhettä ja siitä syntyvää ongelmaa. Mittauksen virheen ratkaisuun päädyttiin yhdessä KTH-organisaation henkilöstön kanssa. Virheen ratkaisuksi esitettiin toimenpide-ehdotus, joka sisälsi tarvittavan tiedot vioittuneista mittareista, vaihtoehdon uusille mittalaitteille ja kustannuslaskennan työlle.		
Asiasanat Ydinvoima, Käytetty polttoaine, Lämpötilamittaukset, Lämmönvaihtimet		

Author Hurskainen, Eerik	Type of Publication Bachelor's thesis	Date July 2021
	Number of pages 49	Language of publication: Finnish
Title of publication Optimizing the heat transfer capability of the cooling chain of the spent fuel storage		
Degree program Mechanical engineering		
The purpose of this thesis was to verify the heat transfer capability of the heat-exchangers in the spent fuel warehouse and to investigate the margins of error of the measuring devices. The thesis was conducted in collaboration with the operating staff of the Industry Force Plc and the staff of the KTH organization (fuel and waste management). The thesis was started by familiarizing themselves with the facility documentation and familiarizing themselves with the spent fuel warehouse systems. After the knowledge was absorbed, the measurement error occurring at the plant itself and the resulting problem was mapped. The solution of the error in the measurement was reached in conjunction with the staff of the KTH organization. A measure proposal was presented as a solution to the error, which included the necessary information on corrupted meters, an alternative to new measuring devices, and costing work.		
Key words Nuclear energy, Spent fuel, Temperature measurements, Heat exchangers		

ALKUSANAT

Työ on tehty yhteistyössä Satakunnan ammattikorkeakoulun ja Teollisuuden Voima Oy:n kanssa. Opinnäytetyön toteutus tehtiin Olkiluodon saarella kesällä 2021. Haluan kiittää työhön osallistuneita KTH-organisaation henkilöitä mukavasta ja rennosta työilmapiiristä. Työn tilaajayritystä ja työn ohjaaja Joonas Hytöstä haluan kiittää mielenkiintoisesta aiheesta ja mahdollisuudesta tutustua käytetyn polttoaineen varastointiin ja sen järjestelmiin. Satakunnan ammattikorkeakoulun lehtori Samuli Kivisaarta kiitän hyvistä neuvoista ja nopeista vastauksista kesälomakauden aikana.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 TEOLLISUUDEN VOIMA	8
2.1 Yhtiö.....	8
2.2 Ydinvoimalat.....	9
3 YDINVOIMALAN PÄÄPROSESSIT	10
4 KPA-VARASTO	12
5 KPA JÄRJESTELMÄT	14
5.1 Polttoainealtaiden jäähdytysjärjestelmä (Y.324)	14
5.1.1 Suunnitteluperusteet	15
5.2 Merivesipiiri (Y.713)	16
5.3 Välijäähdytyspiiri (Y.723)	17
5.3.1 Suunnitteluperusteet	18
5.4 Levylämmönvaihtimet	20
5.4.1 Yleistä	20
5.5 KPA jäähdytyspiirien lämmönvaihtimet.....	22
5.5.1 Y.324E101 ja Y.324E201.....	22
5.5.2 Y.723E101 ja Y.723E201.....	24
5.6 Lämmönsiirtokyvyn todentaminen Y.723E101 ja Y.723E201.....	25
5.7 Lämmönsiirtokyvyn todentaminen Y.324E101 ja Y.324E201.....	29
5.8 Määräaikaiskoekriteerit ja mittaustuloksen hyväksyminen	33
6 TTKE - TURVALLISUUSTEKNISET KÄYTTÖEHDOT	34
6.1 Mittapisteiden kalibrointi ja testaus	34
7 MITTAUSTAPA	35
7.1 Nykyinen mittaustapa.....	35
7.2 Toimenpide-ehdotus.....	37
7.2.1 Uusi mittaustapa	37
7.2.2 Mittauslaitteiden uusiminen.....	38
7.2.3 Liitokset	39
7.2.4 Mittauslaite	39
8 KUSTANNUKSET	40
8.1 Mittalaitteet	40
8.1.1 Valmistusmateriaali	40
8.2 Kaapelointi ja ohjelmointi.....	41
8.3 Yhteenveto	41
9 TUOTETIEDUSTELU	42
LÄHTEET	
LIITTEET	

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Lyhenne	Selitys
KPA	Käytetyn polttoaineen varasto
TVO	Teollisuuden Voima Oy
OL1/OL2	Olkiluodon laitosyksikkö 1 ja 2
BWR	Boiling water reactor, Kiehutusvesireaktori
PWR	Pressureized water reactor, Painevesireaktori
MW	Megawatti
Mpa	Megapascal
STUK	Säteilyturvakeskus
Y.324	Polttoaineiden jäähdytysjärjestelmä
Y.713	Merivesipiiri
Y.723	Välijäähdytyspiiri
Y.733	Täyssuolanpoistettu jakelujärjestelmä
E.X01	Pumppu
T.X01	Tasaussäiliö
C.X01	Verkkosuodatin
TTKE	Turvallisuustekniset käyttöehdot
LSL	Loppusijoituslaitos

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Teollisuuden Voima Oyj:n kanssa. Työn tavoitteena oli kartoittaa levylämmönvaihtimien lämmönsiirtokykyä. Lämmönvaihtimien lämpötilojen mittausketjussa oli havaittu olevan mittausvirhe ja tämän mittausvirheen kauseliteetin selvitys kuului opinnäytetyöhön. Työssä pohdittiin mikä on syy mittausdatan vääristymään mittausketjussa ja suunniteltiin mahdolliset uudet mittauslaitteet, mitauspisteet, sekä tehtiin tarvittavat tarjouspyynnöt.

Tarkoituksena oli tehdä kirjallinen selvitys, mistä selviää ovatko KPA-varaston levylämmönvaihtimet mittausdatan perusteella käyttökelpoisia. Opinnäytetyön rajattiin käytetyn polttoaineen varaston altaiden levylämmönvaihtimien lämmönsiirtokyvyn todentamiseen ja mittausketjun oikeellisuuden tarkistamiseen. Saatujen tutkimustulosten osalta pystytään tarkastelemaan levylämmönvaihtimien käyttöä ja käyttöikää. Toimenpide-ehdotuksen uusi mittautapa nopeuttaa ja helpottaa levylämmönvaihtimen käyttökuntoisuus laskennassa käytettyä tapaa. Tässä raportissa kerrotaan perusperiaate ydinvoimalaitoksen toiminnasta, jonka jälkeen siirrytään kohti käytetyn polttoaineen varaston toimintaa ja siellä esiintyvää ongelmaa.

2 TEOLLISUUDEN VOIMA

Teollisuuden Voima yhtiö (TVO) on energiayhtiö, joka tuottaa sähköä Olkiluodon ydinvoimalaitosten kahdella laitosyksiköllä (OL1 ja OL2). Yritys on perustettu vuonna 1969 vastaamaan Suomen kasvavaa energiatarvetta. TVO:n tuottama osuus sähköntuotannossa Olkiluoto 3 laitosyksikön valmistuessa on noin 40 % maan laajuisesta sähköntuotannosta. Yrityksessä työskentelee noin tuhat henkilöä (2020) (Teollisuuden Voima Oyj:n www-sivut 2021)

2.1 Yhtiö

Yhtiön perustajina oli 16 suomalaista teollisuus- ja voimayhtiötä. Vuonna 1970 tehtiin päätös rakennuttaa 600MW ydinvoimalaitosyksikkö Eurajoen Olkiluotoon. Vuosina 1974 ja 1975 alkoivat Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2 ydinvoimalaitosten rakennustyömaat. OL1 ja OL2 laitosten rakennuttajina toimi AB Asea-Atom. (Nykyisin Westinghouse Electric Company) Vuonna 2005 aloitettiin Olkiluoto 3 laitosyksikön rakentaminen. OL3 laitosyksikön rakennuttamisesta vastaa Ranskalainen Areva.

TVO on osakeyhtiö jonka suurin omistaja on Pohjolan Voima Oy. Kyseinen yritys omistaa enemmistö-osuuden 58,5 %. Yrityksen muita omistajia ovat Fortum Power and heat Oy, Oy Mankala Ab, EPV energia Oy ja Kemija Oyj. (Teollisuuden Voima Oyj:n www-sivut 2021)

Taulukko 1 omistusprosentit (TVO 1.7.2021)

	A-sarja %	B-sarja %	YHT
EPV Energia Oy	6,6	6,6	6,6
Fortum Power and heat Oy	26,6	25,0	25,8
Kemira Oyj	1,9	-	0,9
Oy Mankala Ab	8,2	8,2	8,2
Pohjolan Voima Oy	56,8	60,2	58,5
YHT	100 %	100 %	100 %

A osake oikeuttaa Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2 laitosten sähkөөn ja B osake oikeuttaa Olkiluoto 3 laitosyksikön sähkөөn. (Teollisuuden voima Oyj:n www-sivut 2021)

2.2 Ydinvoimalat

Olkiluodossa sijaitsevat voimalaitosyksiköt OL1 ja OL2 ovat identtisiä kiehutusselaitoksia (BWR). Laitosyksiköiden modernisoitu nettosähkötöho on 890MW. OL1-laitosyksikkö alkoi tuottaa sähkөөä ensimmäisen kerran vuonna 1978 ja OL2-yksikkö vuonna 1980. OL3-laitosyksikkö on painevesilaitos (PWR) jonka laskennallinen nettotöho on 1600MW. OL1 ja OL2 laitosyksiköitä on revisioiden yhteydessä modernisoitu vastaamaan nykypäivän tarpeita.

(Teollisuuden Voima Oyj:n www-sivut 2021)

3 YDINVOIMALAN PÄÄPROSESSIT

Tässä luvussa käydään läpi peruseriaatteet OL1 ja OL2 laitosten pääprosesseista. Prosessi on selostettu ns. kiertävänä, eli reaktoriin tulevasta syöttövedestä kierron jälkeen takaisin reaktoriin.

Laitosyksikköjen toiminta perustuu fissioon, jossa vapautuu lämpöä. Reaktorissa (211) vettä kierrätetään pääkiertopumppujen avulla, joita on kuusi kappaletta. Reaktorista vesi ja höyryseos kulkeutuvat päähöyryputkia (311) pitkin korkeapaineturbiinille (411).

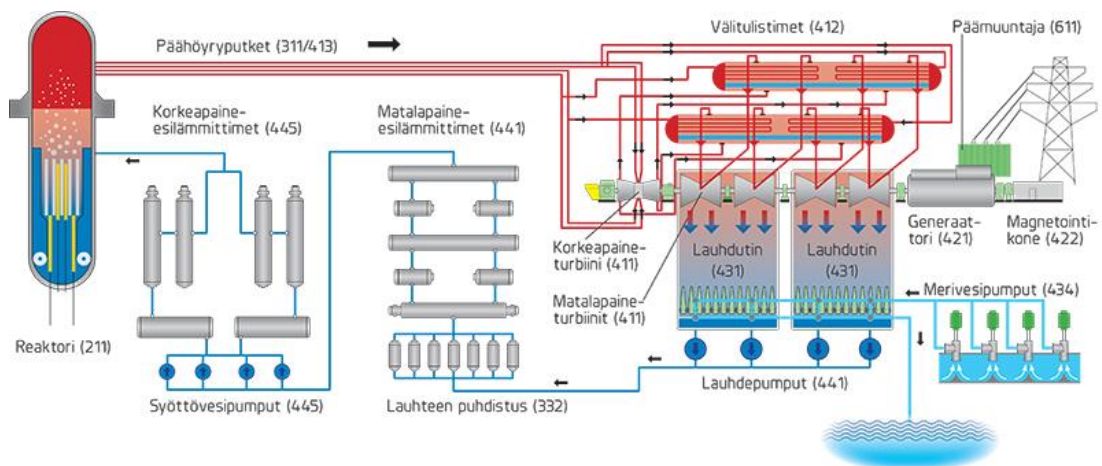
Turpiini pyörittää samalla akselilla olevaa generaattoria (421) ja sen roottoria. Generaattorissa turpiinin liike-energia muutetaan sähkönenergiaksi. Tämän jälkeen vesi-höyryseos kulkee matalapaine turpiinien kautta lauhduttimeen. Luovutettuaan energiansa turpiineissa, höyry virtaa turpiinien alapuolella sijaitseviin lauhduttimiin (431), joita on kaksi kappaletta. Lauhduttimessa lämmennyt merivesi ohjataan poistotunnelin kautta aaltoilualtaaseen. Aaltoilualtaasta vesi jatkaa poistotunnelia myöten mereen.

Lauhduttimeen lauhtuva vesi eli päälauhde pumpataan lauhdepumpuilla (441) matalapaine-esilämmittimien (441 ja 445) ja lauhteen puhdistussuodattimien kautta syöttövesipumpuille. Lauhdepumppuja on neljä, joista kolme on normaalisti käynnissä ja yksi varalla. Lauhteenpuhdistusjärjestelmä (322) puhdistaa turbiinilauhteen epäpuhtauksista, pääasiassa korroosiotuotteista, ennen kuin lauhde pumpataan takaisin reaktoriin.

Matalapaine-esilämmittimien jälkeen lauhdeveden painetta korotetaan neljällä syöttövesipumpulla (445). Pumppujen jälkeen vettä kutsutaan syöttövedeksi. Paineen noston jälkeen vesi kulkee takaisin reaktoriin.

(Teollisuuden Voima Oy:n koulutusmateriaalit, laitostekniikka, OL1 ja OL2 laitostuntemuksen perusteet)

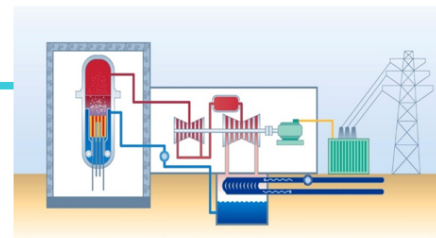
Kuva 1. BWR pääprosessi



Kuva 2. Reaktorin teknisiä tietoja

Teknisiä tietoja

• Nettosähköteho	890 MW
• Reaktorin lämpöteho	2 500 MW
• Nettohyötysuhde	n. 35 %
• Polttoainenippuja	500 kpl
• Uraanimäärä	90 t
• Säätösauvat	121 kpl
• Reaktoripaineastia:	
- sisähalkaisija	5,5 m
- sisäkorkeus	20,6 m
• Reaktorin paine	70 <u>bar</u>
• Suojarakennuksen suunnittelupaine	4,7 <u>bar</u>



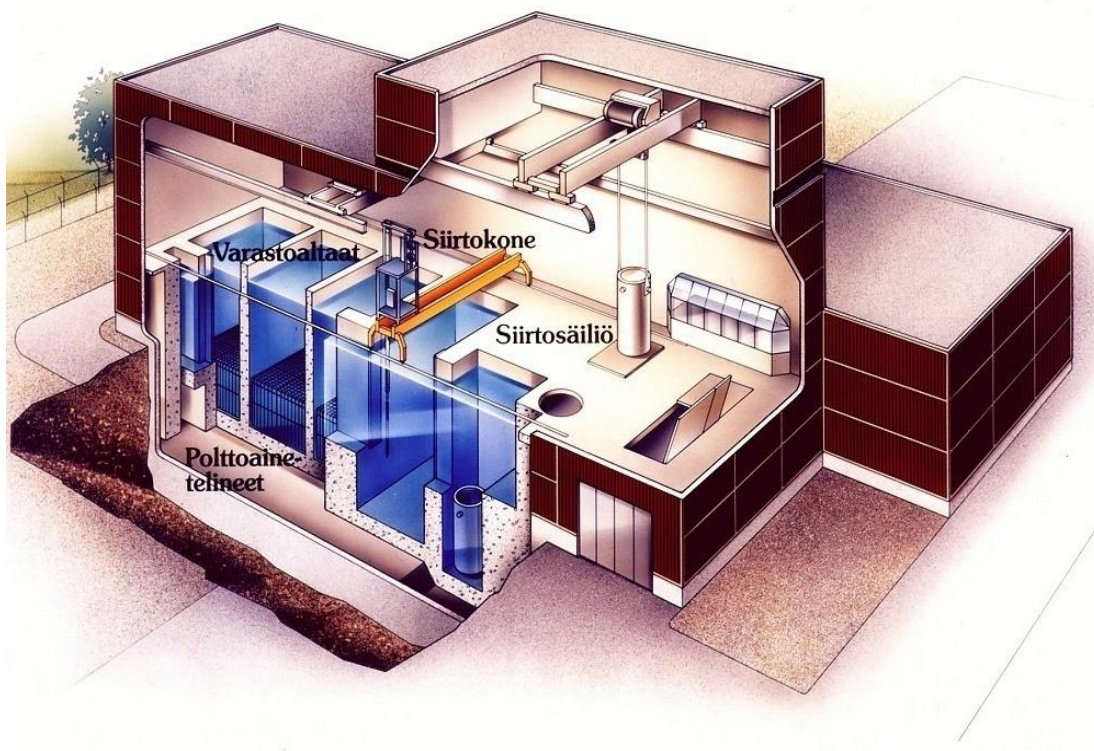
• Höyryvirta	n. 1 300 kg/s
• Höyryn lämpötila	286 °C
• Generaattori:	
-OL1	990 MW
-OL2	990 MW
• Lauhduttimen jäähdytysvesivirtaus	n. 38 m³/s

(Teollisuuden Voima Oy:n koulutusmateriaalit, laitostekniikka, OL1 ja OL 2 laitostuntemuksen perusteet)

4 KPA-VARASTO

KPA-varaston tarkoitus olkiluodon saarella on käytetyn polttoaineen turvallinen väli-varastointi ennen käytetyn polttoaineen loppusijoittamista Posivan loppusijoituslaitokseen. Käytettyä polttoainetta jäähdytetään välivarastossa useita vuosikymmeniä, ennen kuin se voidaan loppusijoittaa. (Teollisuuden Voima Oy:n koulutusmateriaalit, laitos-tekniikka, KPA ja VLJ järjestelmät)

Kuva 3. Läpileikkaus KPA-varastosta



Kun käytetty polttoaine on jäähtynyt tarpeeksi reaktorihallissa sijaitsevassa vesialtaassa, polttoaineniput siirretään voimalaitosalueella sijaitsevan välivaraston (KPA) vesialtaisiin. Altaiden vesi eristää käytetyn polttoaineen lähettämän säteilyn sekä jäädyttää polttoainetta edelleen. Altaat ovat 12,5 metriä syvät ja varastoitavat polttoaineniput jäävät kokonaisuudessaan maanpinnan tason alapuolelle. Paksun vesimassan tarkoituksena on eristää säteilyä polttoainesauvoista.

Välivarastoinnissa on otettu huomioon mahdolliset häiriö- ja onnettomuustilanteet ja niiden vaikutukset. Varaston rakenteet on suunniteltu siten, että tulipalo tai mahdolliset laiteviat eivät vaaranna varaston toimintaa ja polttoaineen jäähdytystä. Käytetyn polttoaineen välivaraston turvallisuusjärjestelmät ovat moninkertaiset ja varmennettu samalla periaatteella kuin ydinvoimalaitosyksiköillä.

(Teollisuuden Voima Oy:n koulutusmateriaalit, laitostekniikka, KPA ja VLJ järjestelmät)

5 KPA JÄRJESTELMÄT

Tässä kappaleessa käydään perusteellisesti läpi käytetyn polttoaineen varaston järjestelmiä ja laitteistoa.

Käytetyn polttoaineen varastointilaitoksen järjestelmät ovat täysin kaksiredundanttisia sekä putkistojen että laitteiden osalta ja ne ovat kaikki erotettuina eri palo-osastoihin.

Redundanssilla tarkoitetaan moninkertaisesti varmennettua järjestelmää, eli toisistaan riippumattomia järjestelmiä. Käytetyn polttoaineenvaraston toiminta on varmennettu 2-sub järjestelmällä (A sub ja C sub). Tämä tarkoittaa sitä, että laitteistot on kahdennettu ja varmennettu. Toisen järjestelmän vikaantuessa, toisella järjestelmällä on mahdollista korvata menetettyä järjestelmää.

5.1 Polttoainealtaiden jäähdytysjärjestelmä (Y.324)

Järjestelmä jäähdyttää varastointialtaissa tai poikkeustilanteessa käsittely- ja evakuointialtaassa olevaa käytettyä polttoainetta sekä polttoaineen siirtojen aikana määrässä kuormausaltaassa olevaa käytettyä polttoainetta.

Lisäksi järjestelmä hoitaa tarvittaessa siirto- ja kuljetussäiliöiden seisontajäähdytystä. Järjestelmä on kaksi-redundanttinen sekä putkistojen että laitteiden osalta ja eri palo-osastoihin erotettu. Altaissa lämmennyt vesi valuu altain yläosassa, tasolla +8.70 olevien ylivuotokurujen kautta poistokollektoriin ja edelleen tasaussäiliöön Y.324T101 (Y.324T201). Jäähdytyspiirin pumppu Y.324P101 (Y.324P201) pumppaa veden tasaussäiliöstä levylämmönvaihtimen Y.324E101 (Y.324E201) kautta painekollektoriin ja edelleen käytössä oleviin altaisiin. Altaissa vedensyöttöputket ovat tasolla +7.70. Lämmönvaihtimia Y.324E101 (Y.324E201) jäähdyttää välipiiri Y.723.

Allasveden poistokollektorin päässä, tasaussäiliön sisällä ovat verkkosuodattimet Y.324C101 ja -C201, joihin kerääntyvät ylivuotokourujen avulla kerätyt altaiden pintaroskat. Suodattimet voidaan tarpeen vaatiessa nostaa ylös puhdistusta varten. Allasputkistoissa olevilla sulkuventtiileillä on mahdollista erottaa mikä tahansa allas jäähdytyskierrosta. Erotettu allas voidaan tyhjentää toiseen altaaseen, aktiivisten vuotovesienkeruujärjestelmään Y.352 tai allasveden puhdistusjärjestelmään Y.325. (Teollisuuden Voima Oy:n koulutusmateriaalit, laitostekniikka, KPA ja VLJ järjestelmät, 324)

5.1.1 Suunnitteluperusteet

Polttoainealtaiden jäähdytysjärjestelmä on suunniteltu siten, että jäähdytysjärjestelmän lämpökapasiteetti on riittävä ottaen huomioon varastoitavien nippujen maksimimäärän, palaman ja jäähtymisajan, joka laitossyksikköjen OL1 ja OL2 toimiessa on 3 vuotta ja laitossyksikköjen käytöstä poiston yhteydessä 1 vuosi. Putkistot ovat suunniteltu niin, että allaskohtainen jäähdytysteho on 1000kW. Jäähdytyskapasiteettia on mahdollista lisätä altaiden lämpökuorman kasvaessa. Kummankin redundanssin jäähdytyskapasiteetti oli ensi vaiheessa 800 kW. Jäähdytyskapasiteettia lisätään tarpeen mukaan varastossa olevan polttoainemäärän kasvaessa. Jäähdytyskapasiteetti on 1600kW heinäkuussa vuonna 2021. (OLKIDOC FSAR 117744, 2015), (OLKIDOC KPA-TTKE MUUTOS 193811, 2021)

5.2 Merivesipiiri (Y.713)

Järjestelmä siirtää polttoainealtaiden jäähdytysjärjestelmästä Y.324 välijäähdytyspiiriin Y.723 tulevan polttoaineen jälkilämpötehon välipiirin lämmönvaihtimien avulla mereen.

Järjestelmä on täysin kaksiredundanttinen sekä putkistojen että laitteiden osalta ja erotettu eri palo-osastoihin. Merivesipiirin kumpikin redundanssi on avoin kiertopiiri, jossa merivesi otetaan reikäsihdin lävitse imukammioon, josta se pumpataan uppopesätyyppisellä pumpulla kaukolämpökasettiin sijoitetussa putkessa prosessirakennukseen ja edelleen välipiirin lämmönvaihtimelle.

Vaihtimen jälkeen putkessa on ns. ylisyoksymutka, jonka yläosasta lähtee huohotusputki sadevesiviemärijärjestelmään Y.768. Huohotusputki toimii automaattisena ilmauksena ja tyhjänestona. Ylisyoksymutkasta vesi valuu vapaalla pudotuksella poistoputkeen, joka johdetaan samaa reittiä kuin tuloputki takaisin merivesipumppaamoon. Pumppaamossa poistoputki on sijoitettu tulokanavan pohjalle ja jatkuu n. 60 m:n päähän rannasta. Välipiirin lämmönvaihdin on suojattu likaantumiselta tuloputkeen juuri ennen vaihdinta sijoitetulla suodattimella (simpukkakaapparilla) jossa on automaattinen huuhtelu. Huuhtelusekvenssi käynnistyy automaattisesti 30minuutin välein ja palauttaa suodattimen normaali käyttöön. Merivesipiirin paine välipiirin lämmönvaihtimella on pienempi kuin välipiirissä Y.723, jottei merivesi pääse tunkeutumaan välipiiriin. (OLKIDOC KPA-FSAR. 127356. 2014)

5.3 Välijäähdytyspiiri (Y.723)

Järjestelmän turvallisuustehtävä on varmistaa käytetyssä polttoaineessa kehittyvän lämmön poisto varasto-, käsittely-, evakuointialtaissa sekä polttoaineen siirtojen aikana kuormausaltaissa. Järjestelmä siirtää polttoainealtaiden jäähdytysjärjestelmän Y.324 lämmönvaihtimilta tulevan varastoidun polttoaineen jälkilämpötehon välipiirin lämmönvaihtimien avulla merivesipiiriin Y.713. Turvallisuustehtävänsä lisäksi välipiiri toimii myös järjestelmän Y.324 pumppujen tiivistevesi-järjestelmänä.

Järjestelmä on kaksiredundanttinen sekä putkistojen että laitteiden osalta ja eri palo-osastoihin erotettu. Välipiirin kumpikin redundanssi on suljettu kiertopiiri, jossa vesi johdetaan pumpulla allaspiiriin lämmönvaihtimelle ja edelleen välipiiriin lämmönvaihtimille ja sen jälkeen takaisin pumpulle. Paisuntasäiliö on kytketty pumpun imulinjaan.

Lisävettä syötetään paisuntasäiliöön täyssuolanpoistetun veden jakelujärjestelmästä Y.733. Välipiirin toimintaa valvotaan lämpötila- ja virtausmittausten avulla. Välipiiri Y.723 toimii puskurina kummankin siihen liittyvän jäähdytysjärjestelmän suuntaan, sillä sen paine on suurempi kuin merivesipiirissä Y.713 ja polttoainealtaiden jäähdytysjärjestelmässä Y.324. (OLKIDOC KPA FSAR 117746. 2014)

5.3.1 Suunnitteluperusteet

Järjestelmä on suunniteltu siten, että välijäähdytyspiirin lämmönsiirtokapasiteetti on riittävä, ottaen huomioon altaiden lämpötilavaatimukset, siirtämään allaspiirin Y.324 lämmönvaihtimilta tulevan varastoidun polttoaineen jälkilämmönlämpötehon välipiirin lämmönvaihtimien avulla merivesipiiriin Y.713. Järjestelmän jäähdytyskapasiteettia voidaan asteittain lisätä KPA-varaston lämpökuorman kasvaessa altaissa. Lisääminen tässä tarkoittaa pumppujen uusimista, koska pumppuihin on jo vaihdettu suurimmat mahdolliset juoksupyörät. (OLKIDOC KPA FSAR 117746. 2014)

Kuva 4. Y.723 E201 lämmönvaihdin



(Teollisuuden Voima Oy:n koulutusmateriaalit, laitostekniikka, KPA ja VLJ järjestelmät, 713)

5.4 Levylämmönvaihtimet

Levylämmönvaihdin toimii KPA-varastolla parhaiten, koska käytössä on viskooseja aineita ja levylämmönvaihtimen profiloitu peltikuvio lisää virtauksen turbulenttisuutta. Turbulenttisuus parantaa levylämmönvaihtimen puhtaanapitokykyä ja lämmönsiirtokykyä. (Opetushallituksen [www-sivut 2015](#))

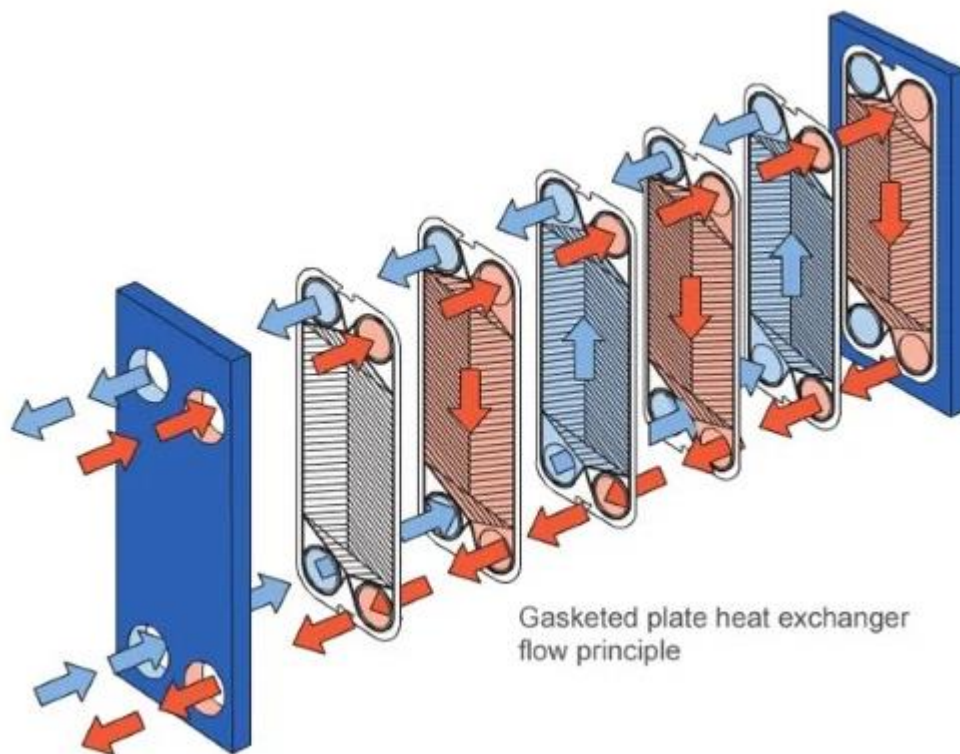
5.4.1 Yleistä

Levylämmönvaihtimen toiminta perustuu lämmönjohtumiseen kylmän ja kuuman aineen välillä. Lämmönvaihdin koostuu ohuista teräslevyistä, jotka ovat poimutettu optimaalisen lämmönsiirron saavuttamiseksi. Poimutuksella lisätään lämmönvaihtopinta-alaa. Levyjen muotoilut pitävät levyt erillään toisistaan, ja tällöin muodostuu kanavia joita pitkin neste, tässä tapauksessa vesi pääsee virtaamaan.

Vesi saapuu kanavaan ja poistuu levyjen kulmissa olevien aukkojen kautta. Levyä ja levyn reikien reunoja ympäröivät tiivisteet, joiden tehtävänä on estää sisäinen sekoittuminen ja ulosvuoto.

Levyt ovat liitettyinä yhteen niitä tukevaan kehikkoon ja kehikko on kiristetty päätylevyn avulla. Yksittäisen levyn toisella puolella virtaa prosessin lämminvesi ja toisella puolella virtaa jäähdyttävä vesi. Virtaukset kulkevat vastakkaisiin suuntiin eli kyseessä on vastavirtasiirrin. Vastavirtasiirtimessä lämpö siirtyy termodynamiikan toisen pääsäännön mukaan levyn lämpimältä puolelta, levyn jäähdyttävälle puolelle. (Opetushallituksen [www-sivut 2015](#))

Kuva 5. Lämmönvaihtimen virtausperiaate



Lämmönjohtumista havainnollistava kuva. (Alfa Laval [www-sivut](http://www.alfalaval.com) 2020)

5.5 KPA jäähdytyspiirien lämmönvaihtimet

Järjestelmässä Y.324E101 (Y.324E201) ja Y.723E101 (Y.723E201) lämmönvaihtimet ovat tehoiltaan samanlaisia levylämmönvaihtimia, molemmissa lämmönsiirtoteho [P] vuonna 2021 on XXXX kW, sisältäen 10 % likaantumisvaran ja 5 % epävarmuustekijän laskennalle mukaan laskien.

5.5.1 Y.324E101 ja Y.324E201

Alla taulukoituna polttoaineenjäähdytysjärjestelmä Y.324 lämmönvaihtimien E101 ja E201 prosessitiedot (mitoitusteruste)

	Ensiö	Toisio
Järjestelmä	Polttoainealaiden jäähdytysjärjestelmä	Välipiiri
Väliaine	Suolanpoist. vesi	Suolanpoist. vesi
Virtaus	XXX kg/s	XXX kg/s
Tulolämpötila	XXX°C	XXX°C
Poistolämpötila	XXX°C	XXX°C
Siirrettävä teho [P]	XXXXW, sis tehonrajoitustekijät	

(OLKIDOC KPA-FSAR-Y.324-117744

Vaihtimen tiedot

Lukumäärä	2 kpl
Valmistaja	Alfa-Laval
Tyyppi	A15-B_PED
Levymäärä	XXXXXX kpl
Lämpöpinta-ala	XXX/XXXm ²
Suunnittelupaine	1,1MPa (abs)
Suunnittelulämpötila	XX/XX °C
Painehäviö	50/50kPa

(OLKIDOC KPA-FSAR-Y.324-117744)

5.5.2 Y.723E101 ja Y.723E201

Alla taulukoituna polttoaineenjähdytysjärjestelmän Y.723 lämmönvaihtimien E101 ja E201 prosessitiedot (mitoitusteruste)

	Ensio	Toisio
Järjestelmä	Välipiiri	Merivesipiiri
Väliaine	Suolanpoist. vesi	Merivesi
Virtaus	XXXkg/s	XXXkg/s
Tulolämpötila	XXX°C	XXX°C
Poistolämpötila	XXX°C	XXX°C

(OLKIDOC KPA-FSAR-Y.732 117746)

Siirrettävä teho	XXXkW, sis. tehonrajoitustekijät
Valmistaja	Alfa-Laval
Tyyppi	A15-B_PED
Levymäärä	XX/XX kpl
Lämpöpinta-ala	XX/XX m ²
Suunnittelulämpötila	XX/XX °C
Painehäviö	70/70 kPa

(OLKIDOC KPA-FSAR-Y.732-117746)

5.6 Lämmönsiirtokyvyn todentaminen Y.723E101 ja Y.723E201

KPA-varastolla lämmönsiirtokykyä todennetaan määräaikauskriteerien mukaan määräjain. Lämmönsiirtokykyä todennetaan mittauksilla, josta saadaan tietoa lämmönvaihtimen käyttökuntoisuuslaskennasta saatavien tietojen perusteella. Jäähdytyskapasiteettikokeet suoritetaan vuoden välein.

Taulukko 2. Y.723E101, E201 mittauksessa käytettävät mittapistet.

KOHDE	MITTAPISTE E101	MITTAPISTE E201	SUURE
Tulolämpötila	723 K512	723 K552	t_4
Menolämpötila	723 K511	723 K551	t_3
Tulolämpötila	713 K511	713 K551	t_5
Menolämpötila	713 K513	713 K553	t_6
Massavirta	723 K311	723 K351	m_{723}
Massavirta	713 K311	713 K351	m_{713}

Seuraavissa kaavoissa alaindeksien merkitys on seuraava:

324 = Y.324-puoli

723 = Y.723-puoli

m = mittaustilanne

t = lämpötilat nimellisarvojen mukaiset, mutta massavirrat poikkeavat nimellisarvoista

r = lämpötilat ja massavirrat nimellisarvojen mukaiset

Lämpöteho lasketaan 723-puolelta kaavalla

$$(1) \quad \phi = m_{723} (t_4 - t_3) c_p,$$

$$\text{Jossa } c_p = 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}^{\circ}\text{C}$$

Lämpöteho lasketaan 713-puolelta kaavalla

$$(2) \quad \phi = m_{713} (t_6 - t_5) c_p,$$

Jossa $C_p = 4,18 \frac{kJ}{kg} ^\circ C$.

Edellä lasketuista lämpötehoista valitaan pienempi.

Konduktanssi

Konduktanssi lasketaan kaavalla (3), jossa keskimääräinen lämpötilaero saadaan kaavalla (4)

$$(3) \quad G = \frac{\dot{Q}}{\Delta t}$$

$$(4) \quad \Delta t = \frac{t_4 - t_3 + t_5 - t_6}{\ln \frac{t_4 - t_6}{t_3 - t_5}}$$

Laskettu konduktanssi on edelleen redusoitava massavirran ja lämpötilan suhteen kaavalla (5)

$$(5) \quad G_r = G_m \cdot \frac{K_r}{K_m}$$

Jossa K_r = nimellistilanteen lämmönläpäisykerroin ja K_m = mittaustilanteen lämmönläpäisykerroin.

Lukuarvot K_r :lle ja K_m :lle saadaan laskettua kaavoista

$$\frac{1}{K_r} = \frac{1}{\alpha_{723,r}} + \frac{1}{\alpha_{713,r}} + \frac{d}{\lambda} + m_{lika}$$

Ja K_m kaavasta

$$\frac{1}{K_m} = \frac{B_{723,t}}{\alpha_{723,t} B_{723,m}} + \frac{B_{713,t}}{\alpha_{713,t} B_{713,m}} + \frac{d}{\lambda} + m_{lika}$$

Näissä B on määritetty

$$B = \text{XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX}$$

Keskimääräiset lämpötilat voidaan edelleen laskea kaavoista

$$\bar{t}_{723} = \frac{t_3 + t_4}{2}$$

ja

$$\bar{t}_{713} = \frac{t_5 + t_6}{2}.$$

Lämmönsiirtokertoimien välinen yhteys saadaan kaavoista

$$(6) \alpha_{723,t} = \left(\frac{m_{723,m}}{m_{723,r}} \right)^{0,67} \cdot \alpha_{723,r}$$

ja

$$(7) \alpha_{713,t} = \left(\frac{m_{713,m}}{m_{713,r}} \right)^{0,67} \cdot \alpha_{713,r}$$

Nimellistilanteen arvot ovat

$$t_3 = XX^{\circ}C$$

$$t_4 = XX^{\circ}C$$

$$t_5 = XX^{\circ}C$$

$$t_6 = XX^{\circ}C$$

$$m_{723,r} = XX \text{ kg/s}$$

$$m_{713,r} = XX \text{ kg/s}$$

$$\alpha_{723,r} = 11126 \frac{W}{m^2}, ^{\circ}C$$

$$\alpha_{723,r} = 14500 \frac{W}{m^2}, ^{\circ}C$$

$$d = 0,6mm$$

$$\lambda = 23 \frac{W}{m}, ^{\circ}C$$

$$m_{lika} = 0,28 \cdot 10^{-4} m^2, \frac{C}{W}$$

Mittauksen virhe:

Mittauksen suhteellinen virhe lasketaan kaavalla

$$(8) \quad \frac{\delta}{G} = \sqrt{\left(\frac{1}{G} \frac{\partial G}{\partial \dot{m}_{723}}\right)^2 e_m^2 + \sum_{i=3}^6 \left(\frac{1}{G} \frac{\partial G}{\partial t_i}\right)^2 e_{t_i}^2}$$

jossa

$$(9) \quad \frac{1}{G} \frac{\partial G}{\partial \dot{m}_{723}} = \frac{1}{m_{723}},$$

$$(10) \quad \frac{1}{G} \frac{\partial G}{\partial t_3} = \frac{t_6 - t_5}{(t_4 - t_3)(t_4 - t_3 + t_5 - t_6)} - \frac{1}{(t_3 - t_5) \ln \frac{t_4 - t_6}{t_3 - t_5}},$$

$$(11) \quad \frac{1}{G} \frac{\partial G}{\partial t_4} = \frac{t_5 - t_6}{(t_4 - t_3)(t_4 - t_3 + t_5 - t_6)} + \frac{1}{(t_3 - t_5) \ln \frac{t_4 - t_6}{t_3 - t_5}},$$

$$(12) \quad \frac{1}{G} \frac{\partial G}{\partial t_6} = \frac{1}{t_4 - t_3 + t_5 - t_6} - \frac{1}{(t_4 - t_6) \ln \frac{t_4 - t_6}{t_3 - t_5}}$$

ja

$$(13) \quad \frac{1}{G} \frac{\partial G}{\partial t_6} = \frac{1}{t_4 - t_3 + t_5 - t_6} - \frac{1}{(t_4 - t_6) \ln \frac{t_4 - t_6}{t_3 - t_5}}$$

Virhelaskelmissa käytettävät mittatarkkuudet ovat

$$e_m = 1,88\% \text{ alueella } 0 - 50 \frac{kg}{s} \cong 0,94 \frac{kg}{s}$$

$$e_t(3,4,5,6) = \text{alueella } 0 - 60 \text{ } ^\circ\text{C} \cong 0,4^\circ\text{C}$$

5.7 Lämmönsiirtokyvyn todentaminen Y.324E101 ja Y.324E201

Taulukko 3. Y.324 E101 ja E201 mittauksessa käytettävät mittapistet

KOHDE	MITTAPISTE E101	MITTAPISTE E201	SUURE
Tulolämpötila	324 K511	324 K551	t_1
Menolämpötila	324 K512	324 K552	t_2
Massavirta	324 K311	324 K351	m_{324}
Tulolämpötila	723 K511	723 K551	t_3
Menolämpötila	723 K512	723 K552	t_4
Massavirta	723 K311	723 K351	m_{723}

Seuraavissa kaavoissa alaindeksien merkitys on seuraava:

324 = Y.324-puoli

723 = Y.723-puoli

m = mittaustilanne

t = lämpötilat nimellisarvojen mukaiset, mutta massavirrat poikkeavat nimellisarvoista

r = lämpötilat ja massavirrat nimellisarvojen mukaiset

Lämpöteho lasketaan kummallekin lämmönvaihtimelle kaavalla

$$(1) \phi_1 = m_{324}(t_1 - t_2)c_p .$$

$$(2) \phi_2 = m_{723}(t_4 - t_3)c_p .$$

$$c_p = 4,18 \frac{kJ}{kg} ^\circ C$$

Konduktanssi lasketaan kaavalla (3), jossa keskimääräinen logaritminen lämpötilaero saadaan kaavalla (4)

$$(3) \quad G = \frac{\phi}{\Delta t}$$

$$(4) \quad \Delta t = \frac{t_1 - t_2 + t_3 - t_4}{\ln \frac{t_1 - t_4}{t_2 - t_3}}.$$

Laskettu konduktanssi on edelleen redusoitava massavirran ja lämpötilan suhteen kaavalla

$$(5) \quad G_r = G_m \cdot \frac{K_r}{K_m}.$$

Jossa K_r = nimellistilanteen lämmönläpäisykerroin ja K_m = mittaustilanteen lämmönläpäisykerroin.

Lukuarvot K_r :lle ja K_m :lle saadaan laskettua kaavoista

$$(6) \quad \frac{1}{K_r} = \frac{1}{\alpha_{324,r}} + \frac{1}{\alpha_{723,r}} + \frac{d}{\lambda} + m_{lika}.$$

ja

$$(7) \quad \frac{1}{K_m} = \frac{B_{324,t}}{\alpha_{324,t} B_{324,m}} + \frac{B_{723,t}}{\alpha_{723,t} B_{723,m}} + \frac{d}{\lambda} + m_{lika}.$$

Näissä edelleen B saadaan kaavasta

$$B = \text{XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX}$$

B:n kaavassa oleva keskimääräinen lämpötila saadaan puolestaan kaavoista

$$\bar{t}_{324} = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

$$\bar{t}_{723} = \frac{t_3 + t_4}{2}.$$

Lämmönsiirtokertoimien välinen yhteys saadaan laskettua kaavoista

$$\alpha_{324,t} = \left(\frac{m_{324,m}}{m_{324,r}} \right)^{0,67} \cdot \alpha_{324,r} .$$

$$\alpha_{723,t} = \left(\frac{m_{723,m}}{m_{723,r}} \right)^{0,67} \cdot \alpha_{723,r}$$

Mittauksen virhe

$$(8) \quad \frac{\delta}{G} = \sqrt{\left(\frac{1}{G} \frac{\partial G}{\partial \dot{m}_{324}} \right)^2} e_m^2 + \sum_{i=1}^4 \left(\frac{1}{G} \frac{\partial G}{\partial t_i} \right)^2 e_{t_i}^2$$

Jossa

$$(9) \quad \frac{1}{G} \frac{\partial G}{\partial \dot{m}_{324}} = \frac{1}{m_{324}} ,$$

$$(10) \quad \frac{1}{G} \frac{\partial G}{\partial t_1} = \frac{t_3 - t_4}{(t_1 - t_2)(t_1 - t_2 + t_3 - t_4)} + \frac{1}{(t_2 - t_3) \ln \frac{t_1 - t_4}{t_2 - t_3}} ,$$

$$(11) \quad \frac{1}{G} \frac{\partial G}{\partial t_2} = \frac{t_4 - t_3}{(t_1 - t_2)(t_1 - t_2 + t_3 - t_4)} - \frac{1}{(t_2 - t_3) \ln \frac{t_1 - t_4}{t_2 - t_3}} ,$$

$$(12) \quad \frac{1}{G} \frac{\partial G}{\partial t_3} = \frac{-1}{t_1 - t_2 + t_3 - t_4} + \frac{1}{(t_2 - t_3) \ln \frac{t_1 - t_4}{t_2 - t_3}}$$

ja

$$(13) \quad \frac{1}{G} \frac{\partial G}{\partial t_4} = \frac{1}{t_1 - t_2 + t_3 - t_4} - \frac{1}{(t_1 - t_4) \ln \frac{t_1 - t_4}{t_2 - t_3}} .$$

Esimerkkinä laskennassa on käytetty 324 ja 723 -E201 lämmönvaihtimen mittaustuloksia

Nimellistilanne	Mitattu tilanne E201, 24.2.2021
$t_1 = XX^{\circ}C$	XX °C
$t_2 = XX^{\circ}C$	XX °C
$t_3 = XX^{\circ}C$	XX °C
$t_4 = XX^{\circ}C$	XX °C
$m_{324,r} = XX \text{ kg/s}$	XX kg/s
$m_{723,r} = XX \text{ kg/s}$	XX kg/s

Nimellistilanteen arvot löytyvät käyttökirjasta kohdasta määräaikauskokeet.

(OLKIDOC-MÄÄRÄAIKAISKOKEET-113196)

$$\alpha_{324,r} = 13428 \frac{W}{m^2}, ^{\circ}C$$

$$\alpha_{723,r} = 13079 \frac{W}{m^2}, ^{\circ}C$$

$$d = 0,6mm$$

$$m_{lika} = 0,3 \cdot 10^{-4} m^2, \frac{C}{W}$$

$$\lambda = 13,5 \frac{W}{m}, ^{\circ}C$$

Virhelaskelmissa käytettävät tarkkuudet ovat $e_m = 1,88 \% \text{ alueella } 0 - 50 \frac{kg}{s} \cong 0,94 \frac{kg}{s}$

$e_t(1,2,3,4) = \text{alueella } 0 - 60 ^{\circ}C \cong 0,4^{\circ}C .$

Tulokset ilmoitettu kohdan 5.8 ensimmäisessä taulukossa.

5.8 Määräaikaiskoekriteerit ja mittaustuloksen hyväksyminen

Määräaikaiskoekriteerit Y.324 ja Y.723 lämmönvaihtimille ovat seuraavat:

Y.324-lämmönvaihtimen redusoitu konduktanssi ylittää arvon $G_{723,r} = XXX \text{ kW/ } ^\circ\text{C}$

Y.723-lämmönvaihtimen redusoitu konduktanssi ylittää arvon $G_{723,r} = XXX \text{ kW/ } ^\circ\text{C}$

Suhteellisen virheen rajaksi on asetettu 0,X.

Kun redusoitu konduktanssi alittaa arvon $XXX \text{ kW/ } ^\circ\text{C}$ on lämmönvaihdin puhdistettava.

Lämmönvaihtimen 324/723 E201 laskennasta on saatu seuraavat tulokset:

Y.324E201

Teho	XXXX kW
Lämpötilaero	XXX $^\circ\text{C}$
Konduktanssi	XXXX $\text{kW/ } ^\circ\text{C}$
Redusoitu konduktanssi	XXX $\text{kW/ } ^\circ\text{C}$
Virhe	9 %

Redusoitu konduktanssi ylittää arvon $XXX \text{ kW/ } ^\circ\text{C}$

Mittauksen virhe alittaa raja-arvon XX %

Mittaustulos on hyväksyttävä

Y.723E201

Teho	XXXX kW
Lämpötilaero	XXX $^\circ\text{C}$
Konduktanssi	XXX $\text{kW/ } ^\circ\text{C}$
Redusoitu konduktanssi	XXXX $\text{kW/ } ^\circ\text{C}$
Virhe	10 %

Redusoitu konduktanssi ylittää raja-arvon $XXX \text{ kW/ } ^\circ\text{C}$

Mittauksen virhe alittaa raja-arvon XX %

Mittaustulos on hyväksyttävä.

6 TTKE - TURVALLISUUSTEKNISET KÄYTTÖEHDOT

Seuraavassa määritellään KPA-varaston käytölle ehtoja ja rajoituksia, joiden tarkoituksena on varmistaa sellaisten järjestelmien ja laitteiden käyttökuntoisuus, jotka ovat suoraan tai epäsuorasti tärkeitä ympäristön turvallisuuden kannalta. Jos käyttöehtojen vaatimuksia ei täytetä, on ryhdyttävä viivyttlemättä toimiin, jotta epäkuntoinen järjestelmä, toiminto tai laite saadaan käyttökuntoiseksi. Tiedetyt toiminnot KPA-varastossa, kuten käytetyn polttoaineen käsittely ja siirtosäiliön käsittely, ovat luonteeltaan sellaisia, että niille voidaan ja tulee asettaa rajoituksia, jos näiden toimintojen turvallisuustekniset edellytykset eivät ole voimassa. Huollon, korjauksen, kokeitten ja tarkastuksien takia järjestelmät ja laitteet eivät voi aina olla käyttökunnossa. Näistä syistä johtuva järjestelmien ja laitteiden vikaantumisaika on pyrittävä pitämään mahdollisimman pienenä. (OLKIDOC KPA-TTKE-133062)

6.1 Mittapisteiden kalibrointi ja testaus

Turvallisuusteknisissä käyttöehdoissa on merkitty sallittu tarkkuusvaatimus prosentteina. (OLKIDOC KPA-TTKE-133062)

Lämmönvaihdinta koskevat mittaukset, jotka ovat tehty Rüeger valmistajan bimetallilämpötila-anturilla TMV 100 T + M (11526Y0100 nimiketunnus) aiheuttavat virhettä seuraavissa mittapisteissä:

E101 puolella	E201 puolella
Y.324K511 Lämpötila ennen E101	Y.324K551 Lämpötila ennen E201
Y.723K512 Lämpötila jälkeen E101	

7 MITTAUSTAPA

Tässä kappaleessa tutkitaan Y.324 – Y.723 – Y.713 jäähdytysketjun mittauksessa käytettävää mittaustapaa. Valvomoon tuleva mittausdata voidaan lukea suoraan päätteeltä ja tulostaa tarvittava lämpötilaraportti helposti.

7.1 Nykyinen mittaustapa

Nykyinen mittaus tehdään lukemalla valvomopäätteeltä saatavat lämpötila-arvot. Niitä mittapisteiden lämpötiloja, joista ei saada dataa valvomoon, tulee mitata paikanpäällä. Mittaustavassa runkoputkesta haarautuvaa linjaa pitkin valutetaan vettä astiaan ja virtaavasta vedestä otetaan tarkkuusmittarilla saadut lämpötilat jotka kirjataan lämmönvaihtimen käyttökuntoisuus laskennassa käytettävään ohjelmaan. Tässä mittaustavassa työn suorittajalla (mittaajalla) on mahdollisuus aiheuttaa virhettä mitatessa. Esimerkkinä käyttäjä A valuttaa veden astiaan ja mittaa astiassa olevan veden lämpötilan ja käyttäjä B mittaa astiaan valuvan veden lämpötilan.

Valvomo päätteelle tulevat lämpötilamittausta mittapisteet ketjussa

Y.324E101 – Y.723E101 – Y.713 ovat:

Mittapiste E101 vaihtimelle	Huonetunnus
324 K512 Lämpötila jälkeen E101	Y.H3.42
713 K511 Lämpötila ennen E101	Y.H3.42

ja ketjussa Y.324E201 - Y.723E201 - Y.713

Mittapiste E201 vaihtimelle	Huonetunnus
324 K552 Lämpötila jälkeen E201	Y.H3.42
713 K551 Lämpötila ennen E201	Y.H3.42

Nämä ovat PT100 kaksoisvastusantureita (11564Y0100 nimiketunnus)

KPA:n valvomopäätteelle ei tule kaikilta mittapisteiltä lämpötiladataa. Tällöin lämpötilamittaukset tehdään analogisilla mittalaitteilla ja mittalaitteita lukee sekä tulkitsee käyttäjä, jolloin mittauksen virheen mahdollisuus kasvaa.

Analogisesti mitattavat mittapisteet E101 lämpötilamittauksessa ovat:

Mittapiste, E101	Huonetunnus
324 K511 Lämpötila ennen E101	Y.H3.16
723 K512 Lämpötila jälkeen E101	Y.H3.16
723 K511 Lämpötila ennen E101	Y.H3.14
713 K513 Lämpötila jälkeen E101	Y.H3.14

Analogisesti mitattavat mittapisteet E201 lämpötilamittauksessa ovat:

Mittapiste, E201	Huonetunnus
324 K551 Lämpötila ennen E201	Y.H3.26
723 K552 Lämpötila jälkeen E201	Y.H3.26
723 K551 Lämpötila ennen E201	Y.H3.24
713 K553 Lämpötila jälkeen E201	Y.H3.24

Näiden lämpötila-anturien kanssa mitatessa on havaittu poikkeamia paikallisesti mitattuna. Mittaustulokset poikkeavat toisistaan pahimmillaan noin 5 astetta kun lämpötila-anturilta saatuja tuloksia verrataan tarkkuusmittarilla mitattuihin lämpötiloihin.

Kaikissa edellä mainituissa mittapisteissä on Rüeger valmistajan bimetallilämpömittari TMV 100 T + M (11526Y0100 nimiketunnus). TVO on asettanut kyseiselle mittalaitteelle hankinta kiellon ja mittalaitteen valmistus on lopetettu. Mittareita ei myöskään ole hitsattu suojataskuun.

24.2.2021 suoritettua mittauksessa mittapisteellä 324K511 paikallismittaus on ollut 20,4 °C ja tarkkuusmittarilla mitattuna 24,9 °C. Puolestaan 723K512 paikallismittaus on ollut 25,3 °C ja tarkkuusmittarilla mitattuna 21,0°C. Tämä puolestaan vaikuttaa lämmönvaihtimen lämmönsiirtotehon laskennassa, koska laskennassa otetaan huomioon vain korkeamman arvon lämpötila.

7.2 Toimenpide-ehdotus

Toimenpide-ehdotus tehdään, jotta saataisiin luotettavuustietoa lisättyä. Mittauksen suorittaminen olisi helpompaa, mikäli KK1/KK2 käyttöjaos suorittaisi mittauksen. Automatisoidulla mittaustavalla saataisiin ajankohtaista tietoa, myös meriveden ollessa lämmintä. Nykyistä mittaustapaa ei voida suorittaa lämpimällä merivedellä, koska virhemarginaali kasvaa liian suureksi.

Päätelmänä on tehdä mittapisteiden 324 K511, 723 K512, 723 K511, 713 K513, 324 K551, 723 K552, 723 K551, 713 K553 mittalaitteiden vaihtamisesta toimenpide-ehdotus. Kaikki edellä mainitut mittapisteet ovat Rueger -merkkisiä, eivätkä ne sisällä automaatiota vaan ovat analogisia mittalaitteita.

Mittalaitteiden tilalle esitetään hankittavaksi PT-100 kaksoisvastusantureita, joita on valmiiksi laitoksella käytössä. PT-100 anturi sijoitettaisiin mittaustaskuun, kuten muutkin automaatiota sisältävät mittauslaitteet kyseisessä mittausketjussa. Koska muitakin kaksoisvastus antureita on samoissa huonetiloissa, ja näistä lähtee tieto mittauskaapille, voitaisiin samoja kaapelointireittejä käyttää myös uusien mittauslaitteiden kaapeloinnissa.

7.2.1 Uusi mittaustapa

Mittalaitteiden automatisoinnin jälkeen olisi mahdollista tulevaisuudessa jättää kokonaan vanhanaikainen tarkkuusmittarilla suoritettu jäähdytysvesien tarkkuusmittaus. Uuden mittaustavan ansiosta riittäisi, kun KPA:n tai OL1:n valvomopäätteeltä tulostetaan mittapisteiden lämpötiladata, joiden perusteella lämmönvaihtimien käyttökuntoisuuslaskennat suoritettaisiin. Tämän tehtävän voisi suorittaa KK1/KK2 toimesta, jolloin mittaustapa olisi aina yhdenmukaistettu ja käyttäjän tekemän virhe minimoitu. Mittausta suorittaessa saataisiin kerättyä tilastotietoa lämmönvaihtimien tulo ja paluu vedenlämpötiloista, sekä meriveden lämpötilan vaikutuksesta lämmönvaihtimen tehoon.

Mikäli mittausdatassa uusien mittalaitteiden kanssa havaittaisiin poikkeamia, voitaisiin veden lämpötila tarkastaa tarkkuusmittarilla vanhaa mittaustapaa hyödyntäen. Käyttöohjeet tähän toimenpiteeseen ovat jo valmiina, ja niihin pitäisi tehdä vain pieniä muutoksia.

7.2.2 Mittauslaitteiden uusiminen

Mittausdatan saaminen KPA:n valvomoon tarvitsee kaikilta mittapisteiltä kaapeloinnin KPA:n valvomon alapuolella sijaitsevaan automaatiotilaan. Uusia kaapelointeja tehdessä, käytetään hyödyksi jo huonetiloissa sijaitsevia kaapelointireittejä.

Lämmönvaihdin E101

Mittapiste	Huone	Kaapelointi, metriä
324 K511, 723 K512	Y.H3.16	80m
723 K511, 713 K513	Y.H3.14	80m

Lämmönvaihdin E201

Mittapiste	Huone	Kaapelointi, metriä
324 K551, 723 K552	Y.H3.26	80m
723 K551, 713 K553	Y.H3.24	80m

7.2.3 Liitokset

713 merivesiputket ovat kaukolämpökasettiin sijoitettua komposiittiputkea. Komposiittiputken vuoksi, mittapisteiden 713 K553 ja 713 K513 mittapisteet ovat kiinnitetty laippaliitoksin putkeen. Laippaliitoksessa, mittarin puolella on samanlainen kierrekiinnitys kuin muissa mittapisteissä. Kierrekiinnitys on M18 ja siinä on 1,5mm nousu.

Mittapisteissä 324 K511, 324 K551, 723 K511, 723 K512, 723 K551 ja 723 K552 on runkoputkeen hitsattu noin 40mm putki, jossa on jatkona M18 kierre holkki 1,5 mm nousulla. Tilalle ehdotetaan hankittavaksi samalla kiinnityksellä oleva mittalaite jonka tuntoelimen pituus on 250mm DN 250 putkelle ja 200mm DN 200 putkelle. Kierrekiinnityksen sopivuus on varmistettava enne tilausta.

7.2.4 Mittauslaite

Hankittavaksi ehdotetaan lämpötila-mittaria jossa lämpötila-anturina toimii PT-100 (LIITE 1). Toimittaja lupaa suojataskun materiaalin kohteen soveltuvuuden mukaan, 324 lämmönvaihtimessa kiertää lämpimällä puolella allasvesi ja jäähdyttävällä puolella täyssuolanpoistettu jäähdytysvesi. 723 lämmönvaihtimessa kiertää lämpimällä puolella täyssuolanpoistettu vesi ja jäähdytyspuolella 713 merivesi.

Putkien koot ja virtaava aine mittapisteillä

Mittapiste	Putken halkaisija	Virtaava aine
324 K511	DN 250	Täys.suol.poist. vesi
723 K512	DN 200	Täys.suol.poist. vesi
723 K511	DN 200	Täys.suol.poist. vesi
713 K513	DN 250	Merivesi
324 K551	DN 250	Täys.suol.poist. vesi
723 K552	DN 200	Täys.suol.poist. vesi
723 K551	DN 200	Täys.suol.poist. vesi
713 K553	DN 250	Merivesi

(OLKIDOC-KAAVIO-324-13050215), (OLKIDOC-KAAVIO-723-13050214),
(OLKIDOC-KAAVIO-713-13050213)

8 KUSTANNUKSET

Kappaleessa käsiteltävät kustannus-arviot ovat suuntaa-antavia ja lopullinen arvio saadaan vasta projektiin viemisvaiheessa. Hinta-arvioihin on laskettu mukaan käyttöautomaation kaapeloinnin ja ohjelmoinnin työtunnit. Kustannuksissa ei ole otettu huomioon, mikäli valvotun alueen kaappien I/O-korttien vapaiden paikkojen määrä ei riitä, ja kortit joudutaan uusimaan.

8.1 Mittalaitteet

Mittalaitteiden kustannusarvio kahdeksalle uudelle mittalaitteelle ja PT-100 mittausanturille on XXXX euroa, sisältäen mittauslaitteet ja toimituksen (LIITE 2). Mittalaitteet ovat ns. Bolt in – malleja, joka nopeuttaa asennustyötä. Mittauslaitteiden tuotetiedustelussa huomioitiin turvallisuusluokkien mukaisia asioita, mm. varaosien saatavuuksia ja mahdollisia tuotteen uusia revisioita koskevia asioita. Tuotetiedustelussa tuotteet ilmoitettiin olevan huoltovapaita. Mittalaitteisiin ei ole tulossa uusia revisioita ja varaosasaatavuus on hyvä. Valmistaja myöntää 5 vuoden takuun tuotteillaan.

8.1.1 Valmistusmateriaali

Tuote-edustajan kanssa käydyssä puhelinkeskustelussa ehdotettiin, että kovien virtausnopeuksien johdosta suojataskut valmistetaan umpiteräksestä, johon porataan mittauslaitteelle sopiva reikä. Mittaustaskun seinämävahvuus kasvaa ja kulutuskestävyys on varmennettu. Tällöin myös tulevaisuudessa tehtävä pumppujen päivitys ei tuota ongelmaa virtausnopeuden kasvaessa. Suojataskuille DN 250 putkissa käytetään ruostumatonta terästä AISI 316L. Suojataskut DN 200 putkille, jossa virtaavana aineena on merivesi, käytetään materiaalina DUPLEX – terästä jolla on hyvä korroosionkestävyys.

8.2 Kaapelointi ja ohjelmointi

Käyttöautomaatio-organisaation kanssa käydyssä kokouksessa lämpötila-antureiden automatiikan työn tekemisestä saatiin suuntaa-antava arvio. Kaapelointityölle hinta-arvioiksi saatiin työtunteineen XXXXX euroa. Kaapelointityössä laskettiin jokaisesta lämmönvaihdinhuoneesta yksi kaapeli valvomon alapuolella sijaitsevaan automaatiotilaan. Kaapeloinnin lisäksi lasketaan XXXX euroa kenttäkoteloiteihin, työhön ja asennukseen (4kpl). Keskustelussa huomioitiin, että lämpötilamittausten datan ei tarvitse olla redundanttinen. Eli A tai C -subin menetettäessä, näiden kahdeksan uuden lämpötilamittarin data katkeaa, mikäli se sub menetetään minkä mittausketjun takana lämpötila-mittaukset ovat. Kahdeksan lämpötila-anturin kytkeminen I/O – kortille ja vieminen ohjelmaan sekä kuvaruutuun indikaattorin saaminen on helposti suoritettavissa. Ohjelmoinnin työnkestoksi arvioitiin noin viikko ja kustannearvioiksi XXXX euroa.

8.3 Yhteenveto

Yhteenvedossa laskettujen kustannusten summa on arvio, todellinen summa selviää projektiin viemisvaiheessa. Kustannusarvioon on laskettu työ mukaan.

Mittalaitteet	XXXX€
Kaapelointi	XXXXXX€
Kenttäkotelot 4kpl	XXXX€
Ohjelmointi	XXXXXX€
YHT:	XXXXXX€

9 TUOTETIEDUSTELU

Tuotetiedustelun (LIITE 3) tuloksena saatiin LAPP AUTIOMAATIO Oy:ltä kustannusarvio mittalaitteiden uusinnasta. Kyselyssä EPIC® SENSORS T-B-ØK / W-B-ØK Kierteellinen lämpötila-anturi ilman kaulaputkea valikoitui kohteeseen parhaiten soveltuvaksi. Yritykselle tehdyssä tuotetiedustelussa mainittiin, että heiltä saadulla kustanne-arviolla (LIITE 2) saadaan toimenpide-ehdotukselle alustava hinta-arvio.

T-B-ØK / W-B-ØK mittauslaitteella ja PT-100 anturilla päästään lämpötilatoleransseissa tarkkuuteen A toleranssi $\pm 0,15 + 0,002 \times t$, käyttölämpötila $-100...+450\text{ °C}$. PT-100 anturin mittauslämpötila-alue on $-40...+250\text{ °C}$ joka riittää lämmönvaihtimessa kulkevien nesteiden mittaukseen. Toimittaja lupaa asiakaskohtaisia erikoisratkaisua ja kohteelle erikseen räätälöityjä laitteita.

Kuva 6. Kierteellisen lämpötila-anturin asennusesimerkki

Asennusesimerkkejä



(Epicsensors Oy:n www-sivut 2021)

LÄHTEET

Alfa Laval Oy:n www-sivut 2020. Viitattu 10.6.2021. <https://www.alfalaval.fi/micro-sites/tiivisteelliset-levylammonvaihtimet/tyokalut/levylammonvaihtimen-toiminta/>

Epicsensors Oy:n www-sivut 2021. Viitattu 1.7.2021. <https://www.epicsensors.fi/tuotteet/lampotila-anturit/3-laipallinen-lampotila-anturi/>

Opetushallituksen www-sivut 2015. Viitattu 10.6.2021 <https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/levylammonvaihtimen-toiminta.pdf>

Teollisuuden Voima Oyj:n www-sivut 2021. Viitattu 10.6.2021. <https://www.tvo.fi/tuotanto/laitosyksikot/ol1jaol2.html>

Teollisuuden Voima Oyj:n www-sivut 2021. Viitattu 10.6.2021. <https://www.tvo.fi/yhtio/hallintojajohtaminen/tvo-konserni.html>

Teollisuuden Voima Oyj:n www-sivut 2021. Viitattu 10.6.2021. <https://www.tvo.fi/sijoittajat/keskeisiatietojatunnuslukuja.html>

Teollisuuden Voima Oyj:n sisäinen materiaali. OL1 ja OL2 Laitostuntemuksen perusteet. Sisäinen materiaali. Viitattu 29.6.2021.

Teollisuuden Voima Oyj:n sisäinen materiaali. Koulutusmateriaalit, laitostekniikka, KPA ja VLJ järjestelmät. Sisäinen materiaali. Viitattu 29.6.2021.

Teollisuuden Voima Oyj:n sisäinen materiaali. koulutusmateriaalit, laitostekniikka, KPA ja VLJ järjestelmät, 324. Sisäinen materiaali. Viitattu 29.6.2021.

Teollisuuden Voima Oyj:n sisäinen materiaali. Koulutusmateriaalit, laitostekniikka, KPA ja VLJ järjestelmät, 713. Sisäinen materiaali. Viitattu 29.6.2021.

Teollisuuden Voima Oyj:n sisäinen materiaali. OLKIDOC FSAR 117744. 2015. Viitattu 29.6.2021.

Teollisuuden Voima Oyj:n sisäinen materiaali. OLKIDOC FSAR 127356. 2014. Viitattu 29.6.2021.

Teollisuuden Voima Oyj:n sisäinen materiaali. OLKIDOC FSAR 117746. 2014. Viitattu 29.6.2021.

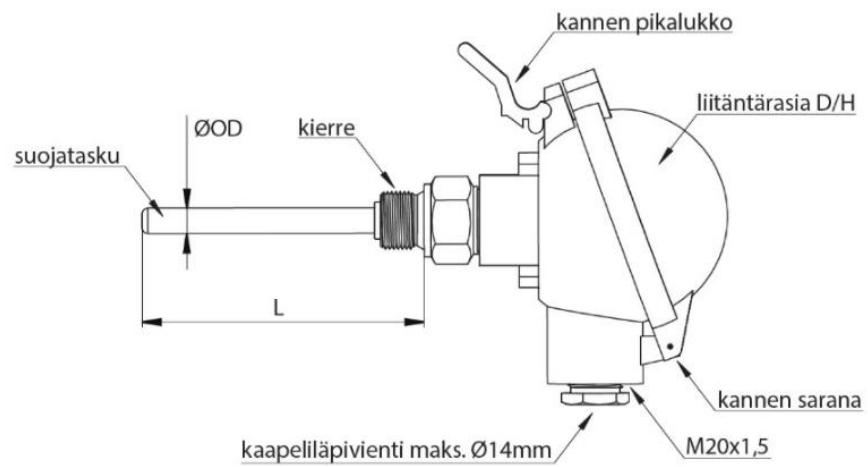
Teollisuuden Voima Oyj:n sisäinen materiaali. OLKIDOC KPA TTKE 133062. 2009. Viitattu 29.6.2021

Teollisuuden Voima Oyj:n sisäinen materiaali. OLKIDOC KPA TTKE-MUUTOS 193811. 2021. Viitattu 8.7.2021

Teollisuuden Voima Oyj:n sisäinen materiaali. OLKIDOC MÄÄRÄAIKAISKO-KEET 113196. 2021. Viitattu 29.6.2021.

Ydinasiaa www-sivut 2021. Viitattu 10.6.2021. <https://ydinasiaa.fi/energian-tuotanto/ydinvoima/uraani-polttoaineena/>

Mittapiirros



(Epicsensors Oy:n www-sivut 2021)

3D kuva mittauslaitteesta



(Epicsensors Oy:n www-sivut 2021)

Lapp Automaatio Oy
Martinkyläntie 52
FI-01720 VANTAA



Ahonen Reijo

TARJOUS

20086393

Sivu 1 /1

07.07.2021

TEOLLISUUDEN VOIMA OYJ

Eerik Hurskainen p. 044 989 4909

OLKILUOTO

FI-27160 EURAJOKI

Tarjous 07.07.2021

Lämpötilanmittaus, pt-100 anturit ja suojataskut
Kiitämme kyselystänne ja tarjoamme Teille:

Pos	Tuote Nimitys	Määrä	Yksikkö	A-hinta	Ale%	Nettohinta	Summa
10	5130582 TPIE-G1/2-M18x1,5-14/150-1.4404 - Solid bar straight thread thermowell - L 150mm, L7 180mm - Process G1/2"Gas - Sensor connection thread M18x1,5 - Drilling Ø 3,5mm - Material EN 1.4404 - Material certificate EN10204-3.1 - Internal pressure test 200 bar 3 min with water	6	PC	120,00		120,00	720,00
20	5130584 TPIE-G1/2-M18x1,5-14/150-1.4462 - Solid bar straight thread thermowell - L 150mm, L7 180mm - Process G1/2"Gas - Sensor connection thread M18x1,5 - Drilling Ø 3,5mm - Material EN 1.4462 / Duplex F51 - Material certificate EN10204-3.1 - Internal pressure test 200 bar 3 min with water	2	PC	131,50		131,50	263,00
30	5130580 W-H-12-D/H-M18x1,5-3/255/180-4-A-CB Pt-100, 4-johdin, luokka A Mittaelementti 3/255 Asennuskierre M18x1,5 Asennussyvyys 180mm Kaulaputken pituus 65mm	8	PC	85,00		85,00	680,00
Yhteensä							1 663,00

Valuutta EUR

Toimitusaika 4 viikkoa tilauksesta

Maksuehto 14 pv netto
Toimitusehto VAP.VARASTOSSAMME ILM.PAKK.
Voimassa Voimassa 07.08.2021 saakka
Myyntiehto TK Yleiset 2010

Hinnat perustuvat voimassa oleviin tuontimaksuihin ja tehtaan hintaan. Mikäli niissä tapahtuu muutoksia pidätämme oikeuden vastaaviin muutoksiin. Hinnat ilmoitettu ilman arvonlisäveroa.

Terveisin

Lapp Automaatio Oy

Tuotetiedustelussa saadut hinnat. LAPP AUTOMAATIO Oy:ltä

Tiedustelu tuotteistanne

Pyydämme tuotetiedustelua seuraavasta tuotteestanne:

EPIC® SENSORS T-B-ØK / W-B-ØK

Tiedustelu tehdään kahdeksalle lämpötila-anturille. Alla näette putkien koot, kullekin lämpötilamittaus pisteelle.

Tekniset tiedot:

Putkistojen koot

1. DN 250. Virtaavana nesteinä Täyssuolanpoistettu vesi.
2. DN 250. Virtaavana nesteinä Täyssuolanpoistettu vesi.
3. DN 250. Virtaavana nesteinä Täyssuolanpoistettu vesi.
4. DN 250. Virtaavana nesteinä Täyssuolanpoistettu vesi.
5. DN 200. Virtaavana nesteinä Täyssuolanpoistettu vesi.
6. DN 200. Virtaavana nesteinä Täyssuolanpoistettu vesi.
7. DN 200. Virtaavana nesteinä Merivesi
8. DN 200. Virtaavana nesteinä Merivesi

Tilalle tiedustellaan hankittavaksi samalla kiinnityksellä oleva mittalaite jonka tuntoelimen pituus [L] = 250mm DN 250 putkelle ja [L] = 200mm DN 200 putkelle. Kierre M18, 1,5mm nousu.

Uudessa mittalaitteessa tulisi olla lämpötila-anturina PT100.

Virtaavien nesteiden lämpötila kulkee välillä +5... +60 astetta. Putkistossa vedet virtaavat noin 35kg/s.

Millaiset huollon tarpeet tuotteissanne on?

Millainen elinkaari tuotteella on?

Onko tuotteilla odotettavissa muutoksia tai uusia revisioita?

Millainen varaosa saatavuus teillä on?

Kuinka pitkän takuun myönnätte tuotteillenne?

Tarvitsemme tuotteille ja toimitukselle suuntaa-antavan hinta-arvion, jota voimme käyttää kustannusarviona projektin aloitukselle.

Eerik Hurskainen
Teollisuuden Voima Oy
0449894909

Tuotetiedustelu LAPP AUTOMAATIO Oy:lle