

Teollisuusilmanvaihdon ajankohtaispäivä 29.10.2004  
Pirkanmaan Taitokeskus, Tampere

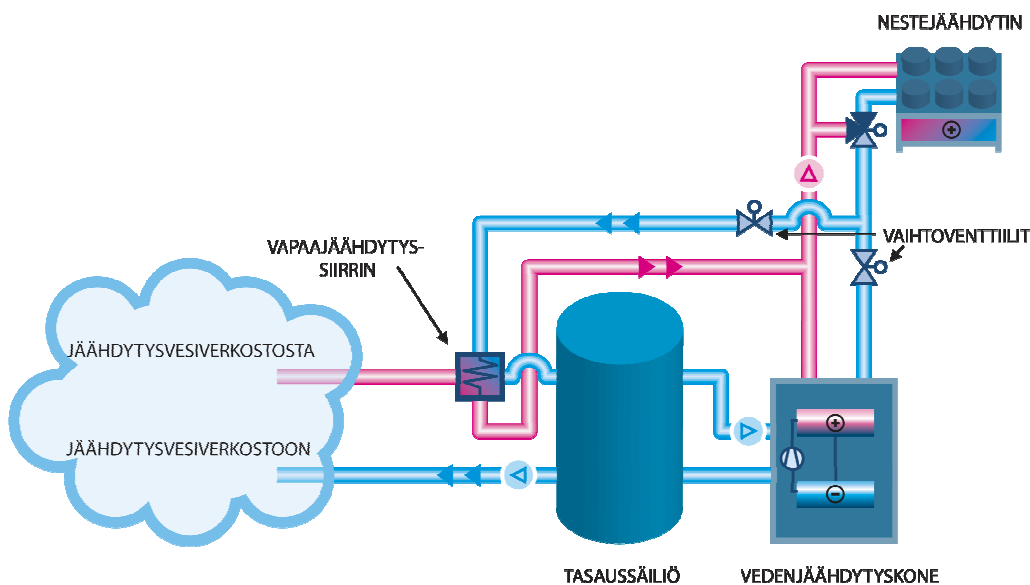
## Jäätymättömät liuokset, liuosvalinta, verkoston hoito

luennoitsija: yks.joht.,DI Pirkko Pihlajamaa

### 1. Jäätymättömien liuosten tarve ja valintakriteerit moninaiset

Kolme tyypillisintä järjestelmää, missä jäätymättömiä liuoksia tarvitaan ovat:

- nestekiertoinen lämmöntalteenotto (LTO)
- lämpöpumppujärjestelmät (lähinnä maalämpöpumppu)
- välillinen jäähdytysjärjestelmä (eli lämmönsiirron väliaineena ei-höyrystyvä aine)



Kuva: Kaaviokuva, jossa vapaajäähdytys on toteutettu yhteisellä nestejäähdyttimellä. Nestejäähdytinsiirrin nesteen tulee olla jäätymätön.

Yleisimmin käytetty hyvä lämmönsiirtoneste on vesi. Vettä ei kuitenkaan voida käyttää sen korkean jäätymispisteen johdosta kohteissa, joissa käyttölämpötilat ovat alle +3 °C. Käyttölämpötilojen ollessa lähellä veden jäätymispistettä, joudutaan veteen sekoittamaan erilaisia jäätymisenestoaineita. Tällaisia ovat mm. erilaiset orgaaniset ja epäorgaaniset nesteet ja suolat.

Lämmönsiirtonesteenä pakkaskestävyyttä vaativissa sovellutuksissa on perinteisesti käytetty eri alkoholien (esim. etyylialkoholi), glykolin (esim. etyleeni- ja propyleeniglykoli) tai eri suolojen (esim. kaliumkloridi) vesiliuoksia. Uudempia käytettyjä ovat mm. kaliumasetatti, kaliumformiatti ja betaiini. Nyt myös uutena mielenkiinnon kohteena on ammoniakki ja veden seos, josta Suomessa ei vielä ole kokemuksia.

Vaatimukset tehokkaan ja taloudellisen jäätymättömän lämmönsiirtonesteen ominaisuuksiksi:

- alhainen jäätymispiste
- alhainen viskositeetti (eli on edullista pumpata)
- hyvä lämmönjohtavuus
- korkea ominaislämpökapasiteetti
- korkea pintajännitys ja alhainen vaahtoamistaipumus
- alhainen diffuusiotaipumus
- ei korrodoiva
- yhteensopiva useiden materiaalien kanssa
- alhainen erottumiskyky esim. jäätymistilanteessa
- kemiallisesti stabiili, pitkäikäinen
- palamaton, myrkytön ja biologisesti hajoava
- helposti saatavilla ja halpa hinta

Yleensä joudutaan em. listan ominaisuuksia arvottamaan eli kaikki ominaisuudet eivät täyty tietyllä lämpötila-alueellakaan yhden liuoksen kohdalla maksimissaan.

Seuraavissa taulukoissa on esitetty yleisimpien liuosten fysikaalisia ominaisuuksia lämpötila-alueella noin -5..... -45 °C.

<b>Vesi</b> <i>H<sub>2</sub>O</i>			
<b>Jäätymispiste</b> [°C]	0	<b>Pitoisuus</b> [p-%]	-
<b>Kiehumispiste</b> [°C]	100	<b>Leimahduspiste</b> [°C]	ei palava
<b>pH</b>	~7	<b>Sekoittuvuus</b> veteen	-
<b>LD<sub>50</sub></b> [mg/kg]	-	<b>Haitallisuus</b> (ihminen ympäristö)	ei haitallinen
<b>Tiheys</b> [kg/m <sup>3</sup> ]	997,8 (+20 °C)	<b>Ominaisuuksilämpö-</b> <b>kapasiteetti [kJ/kgK]</b>	4,19 (+20 °C)
<b>Lämmönjohtavuus</b> [W/mK]	0,60 (+20 °C)	<b>Kinemaattinen</b> <b>viskositeetti [mm<sup>2</sup>/s]</b>	0,99 (+20 °C)

<b>Etyleeniglykoli + vesi</b> <i>C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O</i>			
<b>Jäätymispiste</b> [°C]	-5...-45	<b>Pitoisuus</b> [p-%]	14...56,1
<b>Kiehumispiste</b> [°C]	~195	<b>Leimahduspiste</b> [°C]	120
<b>pH</b>	7,5...8,5	<b>Sekoittuvuus veteen</b>	täysin liukeneva
<b>LD<sub>50</sub></b> [mg/kg]	> 2000	<b>Haitallisuus (ihminen ympäristö)</b>	haitallinen
<b>Tiheys</b> [kg/m <sup>3</sup> ]	1017...1073 (+20 °C)	<b>Ominaisuuslämpökapasiteetti</b> [kJ/kgK]	4,02...3,17 (+20 °C)
<b>Lämmönjohtavuus</b> [W/mK]	0,54...0,37 (+20 °C)	<b>Kinemaattinen viskositeetti</b> [mm <sup>2</sup> /s]	1,40...4,17 (+20 °C)

Tunnettuja tuotemerkkejä: Antifrogen N

<b>Propyleeniglykoli + vesi</b> <i>C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>(OH)<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O</i>			
<b>Jäätymispiste</b> [°C]	-5...-45	<b>Pitoisuus</b> [p-%]	15,2...57
<b>Kiehumispiste</b> [°C]	~185	<b>Leimahduspiste</b> [°C]	106
<b>pH</b>	7...9	<b>Sekoittuvuus veteen</b>	täysin liukeneva
<b>LD<sub>50</sub></b> [mg/kg]	> 2000	<b>Haitallisuus (ihminen ympäristö)</b>	ei haitallinen
<b>Tiheys</b> [kg/m <sup>3</sup> ]	1010...1041 (+20 °C)	<b>Ominaisuuslämpökapasiteetti</b> [kJ/kgK]	4,07...3,44 (+20 °C)
<b>Lämmönjohtavuus</b> [W/mK]	0,52...0,33 (+20 °C)	<b>Kinemaattinen viskositeetti</b> [mm <sup>2</sup> /s]	1,69...8,1 (+20 °C)

Tunnettuja tuotemerkkejä: Antifrogen L, Pekasol L

<b>Betaiini + vesi</b> <i>(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>NCH<sub>2</sub>COO + H<sub>2</sub>O</i>			
<b>Jäätymispiste</b> [°C]	-10...-45	<b>Pitoisuus</b> [p-%]	30...50
<b>Kiehumispiste</b> [°C]	105	<b>Leimahduspiste</b> [°C]	ei palava
<b>pH</b>	-8	<b>Sekoittuvuus veteen</b>	täysin liukeneva
<b>LD<sub>50</sub></b> [mg/kg]	> 2000	<b>Haitallisuus (ihminen ympäristö)</b>	ei haitallinen
<b>Tiheys</b> [kg/m <sup>3</sup> ]	1059...1090 (+20 °C)	<b>Ominaisuuslämpökapasiteetti</b> [kJ/kgK]	3,13...2,76 (+20 °C)
<b>Lämmönjohtavuus</b> [W/mK]	0,32...0,28 (+20 °C)	<b>Kinemaattinen viskositeetti</b> [mm <sup>2</sup> /s]	2,46...6,26 (+20 °C)

Tunnettuja tuotemerkkejä: Thermera

<b>Etyylialkoholi + vesi</b> <i>C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH + H<sub>2</sub>O</i>			
<b>Jäätymispiste</b> [°C]	-5...-45	<b>Pitoisuus</b> [p-%]	11...60,1
<b>Kiehumispiste</b> [°C]	78,5	<b>Leimahduspiste</b> [°C]	20
<b>pH</b>	7...9	<b>Sekoittuvuus</b> veteen	täysin liukeneva
<b>LD<sub>50</sub></b> [mg/kg]	> 2000	<b>Haitallisuus</b> (ihminen ympäristö)	ei haitallinen
<b>Tiheys</b> [kg/m <sup>3</sup> ]	981...891 (+20 °C)	<b>Ominaisuuslämpö-</b> <b>kapasiteetti [kJ/kgK]</b>	4,33...3,51 (+20 °C)
<b>Lämmönjohtavuus</b> [W/mK]	0,52...0,28 (+20 °C)	<b>Kinemaattinen</b> <b>viskositeetti [mm<sup>2</sup>/s]</b>	1,63...2,97 (+20 °C)

Tunnettuja tuotemerkkejä: Maalämpöneste(Primalco)

<b>Kalsiumkloridi + vesi</b> <i>CaCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O</i>			
<b>Jäätymispiste</b> [°C]	-5...-45	<b>Pitoisuus</b> [p-%]	9...29,4
<b>Kiehumispiste</b> [°C]	100...110	<b>Leimahduspiste</b> [°C]	ei palava
<b>pH</b>	7,5 ...8,5	<b>Sekoittuvuus</b> veteen	täysin liukeneva
<b>LD<sub>50</sub></b> [mg/kg]	> 2000	<b>Haitallisuus</b> (ihminen ympäristö)	ei haitallinen
<b>Tiheys</b> [kg/m <sup>3</sup> ]	1075...1275 (+20 °C)	<b>Ominaisuuslämpö-</b> <b>kapasiteetti [kJ/kgK]</b>	3,67...2,79 (+20 °C)
<b>Lämmönjohtavuus</b> [W/mK]	0,59...0,56 (+20 °C)	<b>Kinemaattinen</b> <b>viskositeetti [mm<sup>2</sup>/s]</b>	1,16...2,51 (+20 °C)

Tunnettuja tuotemerkkejä: Chlorisol, CC Tech

<b>Kaliumasettaatti +vesi</b> <i>CH<sub>3</sub>COOK + H<sub>2</sub>O</i>			
<b>Jäätymispiste</b> [°C]	-5...-45	<b>Pitoisuus</b> [p-%]	11...41
<b>Kiehumispiste</b> [°C]	~100	<b>Leimahduspiste</b> [°C]	ei palava
<b>pH</b>	10 ...11,5	<b>Sekoittuvuus</b> veteen	täysin liukeneva
<b>LD<sub>50</sub></b> [mg/kg]	> 2000	<b>Haitallisuus</b> (ihminen ympäristö)	ei haitallinen
<b>Tiheys</b> [kg/m <sup>3</sup> ]	1054...1221 (+20 °C)	<b>Ominaisuuslämpö-</b> <b>kapasiteetti [kJ/kgK]</b>	3,78...2,93 (+20 °C)
<b>Lämmönjohtavuus</b> [W/mK]	0,56...0,48 (+20 °C)	<b>Kinemaattinen</b> <b>viskositeetti [mm<sup>2</sup>/s]</b>	1,25...2,87 (+20 °C)

Tunnettuja tuotemerkkejä: Tyfoxit S

Kaliumformiaatti + vesi <i>CH<sub>3</sub>COOK + H<sub>2</sub>O</i>			
Jäätymispiste [°C]	-10...-60	Pitoisuus [p-%]	19...50
Kiehumispiste [°C]	100...140	Leimahduspiste [°C]	ei palava
pH	8,5...12	Sekoittuvuus veteen	täysin liukeneva
LD <sub>50</sub> [mg/kg]	> 2000	Haitallisuus (ihminen ympäristö)	ei haitallinen
Tiheys [kg/m <sup>3</sup> ]	1109...1340 (+20 °C)	Ominaisuuslämpö- kapasiteetti [kJ/kgK]	3,52...2,71 (+20 °C)
Lämmönjohtavuus [W/mK]	0,55...0,50 (+20 °C)	Kinemaattinen viskositeetti [mm <sup>2</sup> /s]	1,13...2,10 (+20 °C)

Tunnettuja tuotemerkkejä: Freezium, Hycool, Tyfoxit F, Antifrogen KF

Kaliumformiaatti + Kaliumasetaatti + vesi <i>HCOOK + CH<sub>3</sub>COOK + H<sub>2</sub>O</i>			
Jäätymispiste [°C]	-20...-55	Pitoisuus [p-%]	vaihtelee
Kiehumispiste [°C]	~109	Leimahduspiste [°C]	ei palava
pH	8...12	Sekoittuvuus veteen	täysin liukeneva
LD <sub>50</sub> [mg/kg]	> 2000	Haitallisuus (ihminen ympäristö)	ei haitallinen
Tiheys [kg/m <sup>3</sup> ]	1153...1255 (+20 °C)	Ominaisuuslämpö- kapasiteetti [kJ/kgK]	3,34...2,43 (+20 °C)
Lämmönjohtavuus [W/mK]	0,50...0,43 (+20 °C)	Kinemaattinen viskositeetti [mm <sup>2</sup> /s]	1,82...3,60 (+20 °C)

Tunnettuja tuotemerkkejä: Aspen Temper, Pekasol 50

(formiaatti + asetaatti)- sekoitusten arvot vaihtelevat suuresti sekoitussuhteesta riippuen

Tärkeimmät liuosten käyttöominaisuudet korroosio-ominaisuuksien lisäksi ovat viskositeetti, ominaislämpö, tiheys ja lämmönjohtavuus. Painehäviöön vaikuttavat viskositeetti ja tiheys. Lämmönkuljetuskykyyn vaikuttavat ominaislämpö ja tiheys. Lämmönsiirron tehokkuus taas riippuu viskositeetista, lämmönjohtavuudesta ja ominaislämmöstä.

## 2. Liuosvalinta painotuksista kiinni

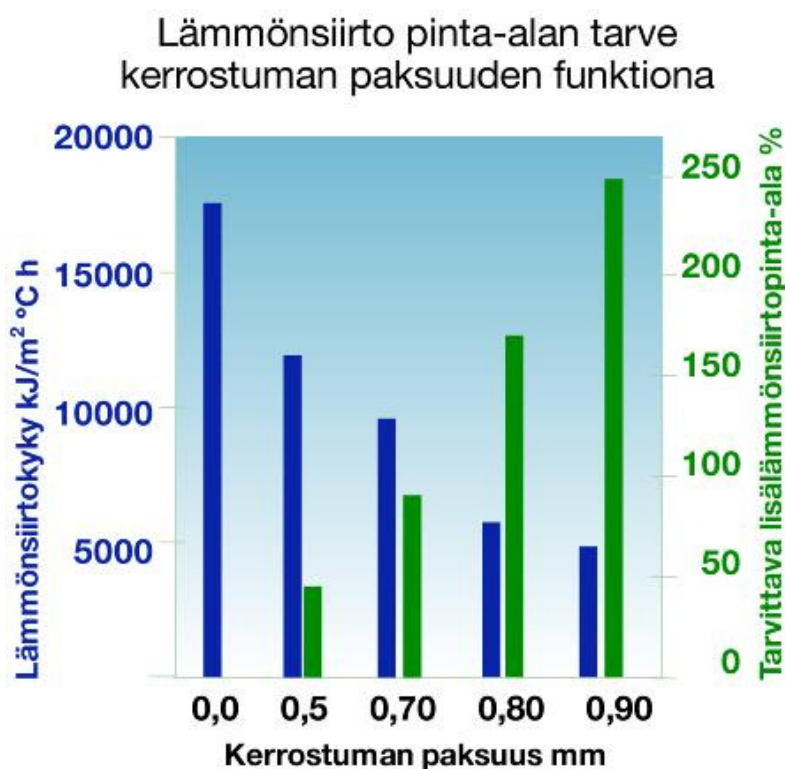
Liuosvalintaa tehdessä on viisasta miettiä asiaa monelta eri kantilta kohteen tarpeet huomioon ottaen. Optimointiin ei ole yksiselitteisiä työkaluja, jotka ottaisivat kaikki tekijät huomioon. Pelkät fysikaaliset ominaisuudet ovat harvoin enää ainoat valintaa ohjaavat tekijät. Investointi- ja käyttökustannukset takaisinmaksuaikoihin eivätkä välttämättä ohjaa aina valintaa. Tänä päivänä on varsinkin uusien liuosten mukaantulon myötä keskustelua ja vertailuja käyty ympäristöystävällisyys-, asennettavuus- ja korroosionäkökohdat vahvasti painotettuina. Kun eri tekijöiden painoarvot on lyöty lukkoon, voidaan valinta vasta tehdä.

### 3. Verkoston puhtauden merkitys tärkeää

Mikäli putkiverkosto ei ole puhdas, on seurauksena:

- epäpuhtaus toimii lämmönsiirtopinnalla eristeenä (mm. raudan ja kuparin hapettumistuotteilla magnetiitillä ja kuparioksidilla on huono lämmönjohtavuus):

kupari	300 W/m °C
rauta	80 W/m °C
seosteräs	50-60 W/m °C
kuparioksidi	5 W/m °C
silikaatti	12 W/m °C
magnetiitti (50 °C)	0,7 - 1,4 W/m °C
vesi	1 -2 W/m °C



- lika lisää epäpuhtauksien syntymistä (korroosio). Mikäli pinta on likainen, verkosto ei passivoidu käyttöönottovaiheessa (tiivis oksidikalvo) vaan korroosio jatkuu.
- pistekorrosioriski (jalometallit, kuten kupari ja ruostumaton teräs, eivät passivoidu, jos pinta on likainen)

- lika häiritsee toimilaitteita (syntyneet teräksen korroosiotuotteet irtoavat pinnoilta ja liikkuvat veden mukana jumittuen ahtaisiin soliin)
- lika lyhentää nesteen käyttöikä (pakkasnesteeet ovat yleensä inhiboituja. Suojaus toimii vain, kun metallipinta on riittävän puhdas. Mikäli verkosto on likainen täyttöhetkellä, suojaus ei toimi ja syöpyminen jatkuu.)

#### Sisäpuolisten epäpuhtauksien alkuperä:

- valmistuksen jäljiltä putkiin jääneet epäpuhtaudet
- rakentamisaikana putkistoon joutuneet epäpuhtaudet
- käytön aikana syntyneet epäpuhtaudet

#### Verkoston hoito alussa ja jatkossa

Huolellinen käyttöönottopuhdistus raportointeineen antaa hyvät mahdollisuudet pitkäikäiselle verkostolle. Mikäli verkostoon tehdään muutoksia ja laajennuksia, on siinäkin tapauksessa niiden käyttöönoton yhteydessä huolehdittava verkoston puhtaudesta.

Yleinen suositus on, että kerran vuodessa tulisi vuosihuollon yhteydessä analysoida liuoksen pH ja pitoisuus ja joka toinen vuosi tarkastaa materiaalien syöpyminen.

Esimerkki TPI Controlin Thermoclean-puhdistuspaketista, jota on usein edeltänyt ns. nesteen kuntotutkimus (kuntotutkimushinta 2004: 300 - 500 €):

- irtoroskat huuhdellaan vedellä
- liukenevat epäpuhtaudet pestään pesuaineella
- lämmönsiirtopintojen elektrokemiallinen käsittely
- teräspinnat passivoidaan jälkiruostumista vastaan
- tarvittaessa käytön aikainen korroosiosuojaus
- olosuhteiden mittaaminen

Lähdekirjallisuus: Väiilliset kylmälaitokset, suunnittelu ja rakentaminen, TTY 2001  
TPI Control ja TEKES -projekti 2001 - 2003: Putkiston sisäpuolisen puhtauden hallinta