



Eesti Soojustehnikainseneride Selts  
Estonian Association of Thermal Engineers



EESTI JÕUJAAMADE  
JA KAUGKÜTTE ÜHING

# 28.04.2021 koolitus „Kaasaegsed soojussõlmed“



POWERING  
YOUR INDUSTRY

ENGINEERING  
TOMORROW

*Danfoss*

## Plaatsoojusvahetid

**10%**

Parem soojusülekanne,  
kasutades meie  
patenteeritud Micro Plate™  
tehnoloogiat

Marko Moring  
marko.moring@danfoss.ee



# Teemad

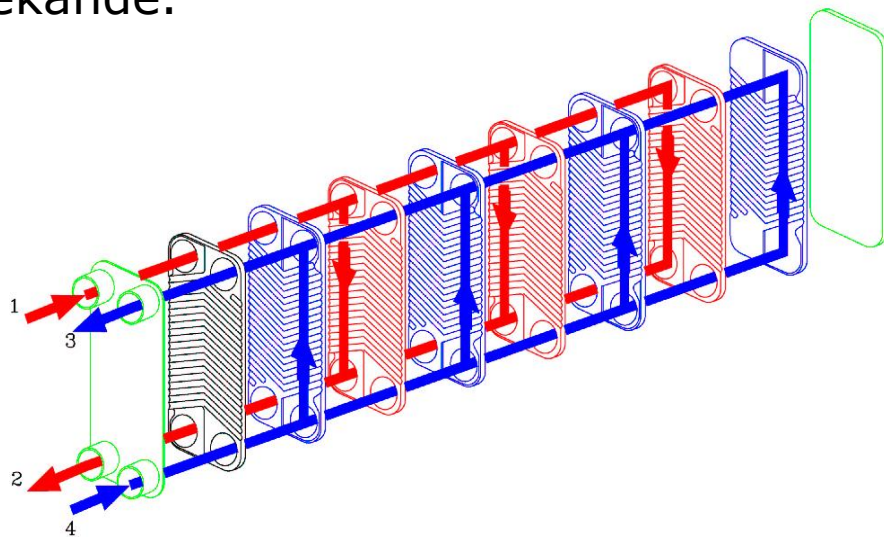
- Soojusvahetite arvutamise ja valiku põhimõtted
- Temperatuurigraafikud
- Soojusvahetite materjal ja tähistus
- Soojusülekanne põhivõrrandid
- Soojusvaheti ülepind
- Arvutusnäited
- Soojusvahetite arvutusprogramm Hexact tutvustus ja näited  
**[www.hexact.danfoss.com](http://www.hexact.danfoss.com)**

# Plaatsoojusvahetite tööpõhimõte

Soojusvaheti ülesanne on kanda soojust primaarpoolelt soojusvahetusplaatide abil üle sekundaarpoolele, vältides soojuskandjate omavahelise segunemise

1-astmeline – paralleelsed voolukanalid

- Soojusvahetid on valmistatud vormipressitud ja kokkujoodetud soojusvahetusplaatidest, mille vahel paiknevad voolukanalid.
- Tugev turbulentsus ja vastuoolu kasutamine tagavad hea soojusülekanne.



## 1-astmeline

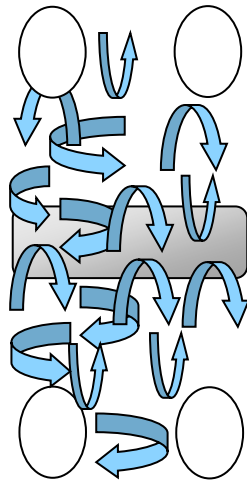
1-astmelisel soojusvahetil on ühendused samal pool ning seega on paigaldamine väga lihtne

### Legend:

- 1 - Primaarpool sisse
- 2 - Primaarpool välja
- 3 - Sekundaarpool välja
- 4 - Sekundaarpool sisse

# Plaatsoojusvaheti tehnoloogia

## Turbulentne voolamine



- Maksimaalne soojusülekanne
- Minimaalne saastumine
- Isepuhastuv turbulentne voolamine
- Tavaliselt 1/6 laminaarse seadme suuruselt

## Micro Plate™ muster



## Kalasaba muster



# Soojusvahetid

## Arvutamise ja valiku põhimõtted

- Soojusvahetite valikul tuleb lähtuda soojuskandja arvutuslikest temperatuurigraafikutest - vooluhulkadest (soojusemüüja tehnilistes tingimustes, kütteprojektis) ja etteantud maksimaalsetest rõhulangudest nii primaar- kui ka sekundaarpoolel.
- Soojusvahetite arvutamisel tuleb tagada võimalikult efektiivne kaugkütteevee jahutamine kõikides tööolukordades.
- Soojusvahetite vajalik küttepind arvutatakse tavaolukorras ilma parandusteguriteta (näiteks nõutav ülepind, saastumistegur (fouling factor) jmt). *Olukordades, kus neid tegureid on vaja arvestada, peab arvutuste aluseks olevas projektis olema ära toodud ka vastavasisuline põhjendus.*

# Soojusvahetite arvutuslik võimsus

Kütte-, ventilatsiooni ja sooja tarbevee võimsused arvutatakse ja esitatakse KVVK projektides.

Sooja tarbevee soojusvaheti arvutusliku võimsuse saab arvutada sooja tarbevee arvutusliku vooluhulga alusel. Arvestades viimase aja suuri muutusi sooja tarbevee tarbes, on TTÜ kütte ja ventilatsiooni õppetooli poolt läbi viidud uurimistööde alusel pakutud empiiriline seos sooja tarbevee soojusvahetite dimensioneerimiseks kortermajadele (korteris üks vannituba ja üks köök) Eesti tingimustes.

Valem:

$$\Phi = 30 + 15 \times \sqrt{2 \times n} + 0,2 \times n \quad \text{kW,}$$

kus  $n$  – korterite arv

Kui sooja tarbevee temperatuur erineb normikohasest 55 °C, tuleb kasutada võimsuse määramisel parandustegurit järgnevalt:

temperatuuril 60 °C	1,1
temperatuuril 65 °C	1,2.

- Väikemaja tarbevee soojusvaheti soojuslik võimsus peab olema vähemalt **52 kW**, mis reeglina vastab tarbevee vooluhulgale **0,27 l/s**.
- Kütte- ja ventilatsioonisüsteemi soojusvahetid arvutatakse suurimale esinevale arvutuslikule (Tallinnas, välistemperatuuril -21 °C) küttevõimsusele.
- Kui soojusvaheti valikul võetakse arvesse võimalik võimsusvaru, esitatakse lõplikule võimsusele vastavad tööparameetrid projektis lisaandmetena. **Primaarpoole vooluhulgad arvutatakse ja esitatakse soojusvaheti tegeliku võimsuse järgi.**
- Soojusvaheti primaarpoole soojuskandja kulu järgi toimub reguleerventiili arvutamine ja valik. Seadeventiili valiku täpsus mõjutab olulisel määral sooja sekundaarpoole (eriti tähtis tarbeveel) temperatuuri reguleerimise täpsust.

### Soojusvahetite lubatud rõhukaod

Soojusvaheti rõhukadu	primaarpool	sekundaarpool
tarbevee soojusvahetites	≤ 20 kPa	≤ 30 kPa
teistes soojusvahetites	≤ 20 kPa	≤ 20 kPa



# Soojusvahetite arvutuslikud temperatuurid

Soojusvahetite arvutuse aluseks on soojustootja poolt väljastatavad „**Soojussõlme projekteerimise tehnilised tingimused**“, kus antakse ette soojusvõrgu töötamise temperatuurigraafikud.

## **Kaugkütte pealevoolu temperatuur ( soojusvaheti primaarpoole sisenev )**

Tarbevee soojusvahetid: maksimaalselt 70 °C

Kütte- ja muud soojusvahetid:

- Suured süsteemid, piirkonna arvutuslikul välisõhu temperatuuril  $t_v$  130 °C
- Väikesed süsteemid, piirkonna arvutuslikul välisõhu temperatuuril  $t_v$  90 °C

## **Kaugkütte tagasivoolu temperatuur ( soojusvaheti primaarpoolelt väljuv )**

Tarbevee soojusvahetid, maksimaalselt 25 °C\*

Kütte- ja muud soojusvahetid reeglina maksimaalselt **3 °C kõrgem kui sekundaarpoole tagasivool**

\* - soojusettevõtja arvestab tegeliku eksploatatsioonirežiimi ja arvutusliku erinevusi, s.h. olukorda, et maksimaalne allajahutus saadakse arvestuslikul sooja tarbevee kulul.

## Hoone küttesüsteemi siseneva vee temperatuur ( sekundaarpoole pealevool )

Kütte- ja muud soojusvahetid (vabalt valitav järgmiste piirangutega):

- uusehitistes ja olulise rekonstrueerimise korral maksimaalselt 70 °C
- olemasolevad majad – tegelike temperatuuride järgi, kuid maksimaalselt 85 °C

## Hoone küttesüsteemist tagastuva vee temperatuur (sekundaarpoole tagasivool)

Kütte- ja muud soojusvahetid (vabalt valitav järgmiste piirangutega):

- uusehitistes maksimaalselt 40 °C
- oluliselt rekonstrueeritavates hoonetes maksimaalselt 45 °C
- olemasolevad majad – tegelike temperatuuride järgi

## Tarbevee süsteemi siseneva vee temperatuur ( sekundaarpoole pealevool )

- sisenev külm vesi  $\geq 8$  °C
- väljuv soe vesi 55 °C

Tarbevee süsteemi tagastuva vee temperatuur (tarbevee ringlus) soovitatavalt 50 °C

# Soojusvaheti materjalid

- Soojusülekandepindades ja tarbevee soojusvaheti sekundaarpoolel on süsinikterase kasutamine keelatud.
- Soovitavad materjalid on roostevaba teras ( näit. AISI 304 ) ja happekindel teras (näit. AISI 316; AISI 316L ) ning vask (joodetud tüüpi soojusvahetid).
- Elastsete tihendite ja materjalide elastsusomaduste säilimise kohta tuleb valmistajalt saada garantii. Tihendite materjaliks peab olema vähemalt EPDM (avatavat tüüpi soojusvahetid).
- Kummil baseeruvaid materjale võib kasutada vaid erijuhtumitel.

# Soojusvahetite tähistamine

- Soojusvahetile tuleb kinnitada silt, millel peavad olema järgmised püsivad ja nähtavad andmed:
- valmistaja
- mudel ( tüüp )
- valmistamise number ja aasta
- soojuslik võimsus ( kW )
- arvutuslikud temperatuurid ( °C )
- suurim lubatud töö rõhk ( MPa või bar )
- poolte rõhukaod ( kPa )
- poolte vooluhulgad ( l/s )
- poolte veemahud ( l )

Soojusvaheti ühenduste juures tuleb tekstide ja voolusuuna tähistega näidata, milliste torustikega need tuleb ühendada.

# Soojusvahetite tähistamine

**AS EESTI TERMOTEHNIKA**  
Kasesalu 8 / 76505 Saue / tel +372 65 65 106

SOOJUSSLÖLME NR/A: **409521**    2021

SOOJUSVAHETI: **SOE VESI**

TÜÜP: **XB59M- 1-40**

VÖIMSUS:            kW            **230**

	Primaar	Sekundaar
TEMP. SISSE:       °C	<b>60</b>	<b>8</b>
TEMP. VÄLJA:     °C	<b>20,4</b>	<b>55</b>
VOOLUHULK:       l/s	<b>1,40</b>	<b>1,18</b>
RÕHUKADU:       kPa	<b>13</b>	<b>9</b>
VEEMAHT:         dm³	<b>3,04</b>	<b>3,20</b>
KÜTTEPIND:       m²	<b>3,80</b>	
MAKS. TÖÖRÕHK:   bar	<b>25</b>	
MAKS. TÖÖTEMP:   °C	<b>180</b>	

**Danfoss**  
**MPHE**  
**Micro Plate Heat Exchanger**

MODEL: **XB59M-1-40**

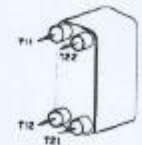
CODE NO.: **004B1922**

DESIGN PRESSURE (PS):		<b>PN25</b>
TESTING PRESSURE:	bar	<b>38</b>
DESIGN TEMPERATURE (TS):	°C	<b>-10/+180</b>
VOLUME (V):	L	<b>3,20 / 3,04</b>
MATERIAL:		<b>1.4404</b>
WEIGHT:	kg	<b>18,7</b>
MANUFACTURING DATE:		<b>02.02.2021</b>

TEL.: +386 1 5920 200

**EAC** **VA**  
3.22-19514

**CE** 0062



Made in Slovenia  
Manufactured by Danfoss Trata d.o.o.

# Soojusvahetite arvutusprogrammid ja väljatrükid

- Soojusvahetite arvutusprogrammist ja väljatrükist peab lihtsalt selguma soojusvaheti tööparameetrid. Arvutusprogrammid peavad võimaldama kontrollida soojusvaheti tööparameetreid kõikidel vajaminevatel vaheväärtustel.

## Andmed soojusvahetite kohta

- Soojusvaheti valmistaja/maaletooja peab vastaval nõudmisel esitama pakutava soojusvaheti soojustehnilised andmed, arvutustulemused ja andmed materjalide kohta.
- Kaugküttega liidetavad soojusvahetid peavad vastama surveadmel esitatavatele nõuetele ja omama vastavusdeklaratsioone.
- Soojusvahetitel peab olema vähemalt 12 kuu pikkune täisgarantii ( kui ei ole kokku lepitud teisiti ). Soojusvahetite materjali garantii peab olema vähemalt 5 aastat.

# Soojusülekande põhivõrrandid

$$Q^{[W]} = k^{\left[\frac{W}{^{\circ}C \cdot m^2}\right]} * F^{[m^2]} * LMTD^{[^{\circ}C]}$$

$$k^{\left[\frac{W}{^{\circ}C \cdot m^2}\right]} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + R + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$\alpha = f(w^{\left[\frac{m}{s}\right]})$$

$$LMTD = \frac{(T_{11}-T_{22})-(T_{12}-T_{21})}{\ln \frac{(T_{11}-T_{22})}{(T_{12}-T_{21})}}$$

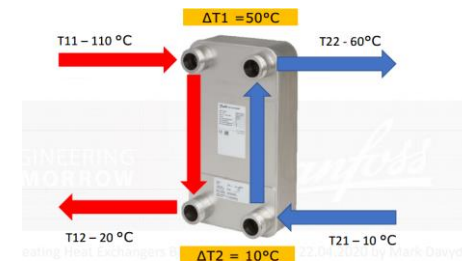
$$Q_1^{[W]} = m_1^{\left[\frac{kg}{s}\right]} * c_{p1}^{\left[\frac{J}{kg \cdot ^{\circ}C}\right]} * (T_{11}-T_{12})^{[^{\circ}C]}$$

$$Q_2^{[W]} = m_2^{\left[\frac{kg}{s}\right]} * c_{p2}^{\left[\frac{J}{kg \cdot ^{\circ}C}\right]} * (T_{21}-T_{22})^{[^{\circ}C]}$$

$$Q_1^{[W]} = Q_2^{[W]}$$

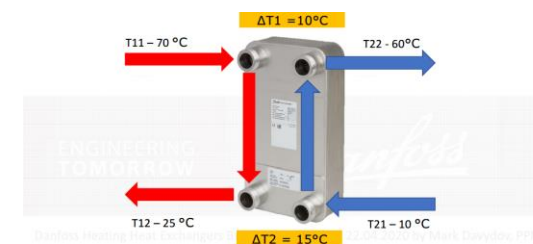
$$m_1^{\left[\frac{kg}{s}\right]} = \rho_1^{\left[\frac{kg}{m^3}\right]} * f_{cs1}^{[m^2]} * w_{cs1}^{\left[\frac{m}{s}\right]}$$

$$m_2^{\left[\frac{kg}{s}\right]} = \rho_2^{\left[\frac{kg}{m^3}\right]} * f_{cs2}^{[m^2]} * w_{cs2}^{\left[\frac{m}{s}\right]}$$



$$LMTD^{[^{\circ}C]} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

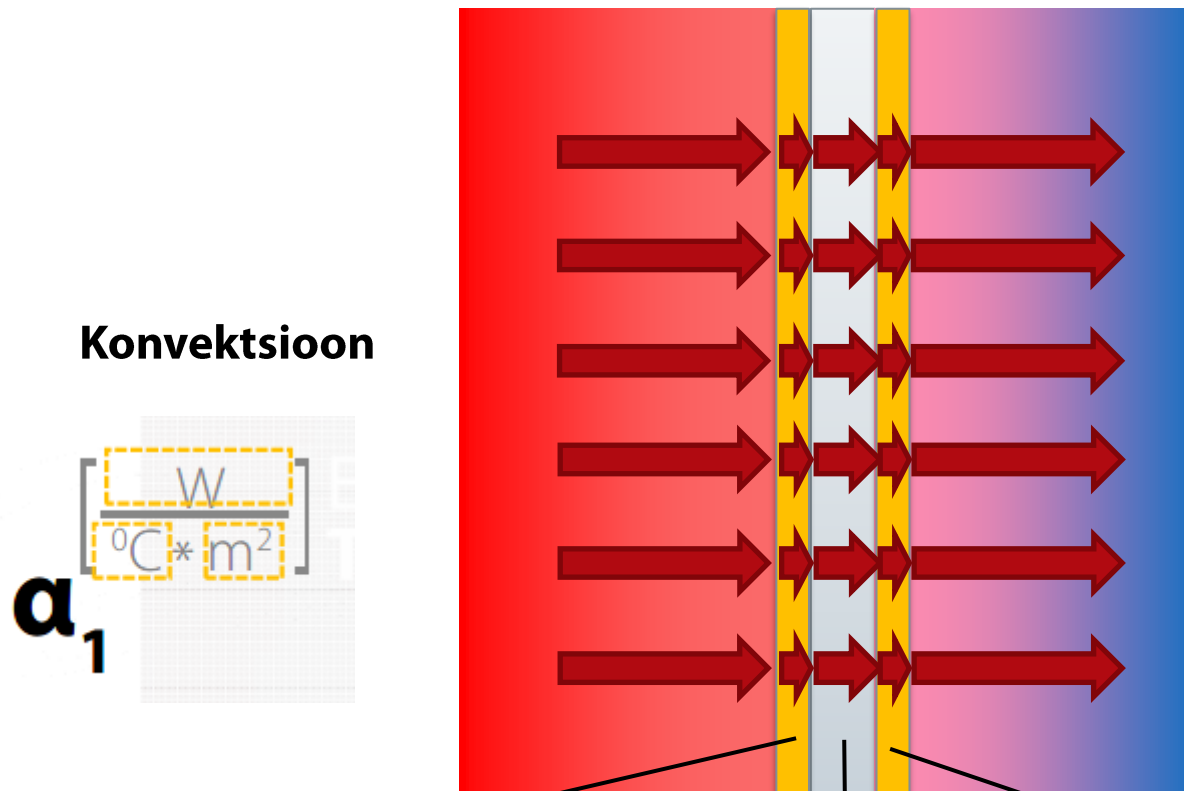
LMTD=24,8 C



$$LMTD^{[^{\circ}C]} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

LMTD=12,5 C

# Soojusülekanne



Konvektsioon

$$\alpha_1 \left[ \frac{W}{^{\circ}C * m^2} \right]$$

$$k \left[ \frac{W}{^{\circ}C * m^2} \right] = \frac{1}{\alpha_1} + R + \frac{1}{\alpha_2}$$



$$k \left[ \frac{W}{^{\circ}C * m^2} \right] = \frac{1}{\alpha_1 + R_{plate} + R_{dirt} + \alpha_2}$$

Konvektsioon

$$\alpha_2 \left[ \frac{W}{^{\circ}C * m^2} \right]$$

Mustus

Soojusjuhtivus

Mustus

$$R = \frac{\delta [m]}{\lambda \left[ \frac{W}{^{\circ}C * m} \right]}$$

Plaat

- R – plaadi termiline takistus
- a – soojusülekangetegur plaadi pinnale
- k - soojuslähikandetegur

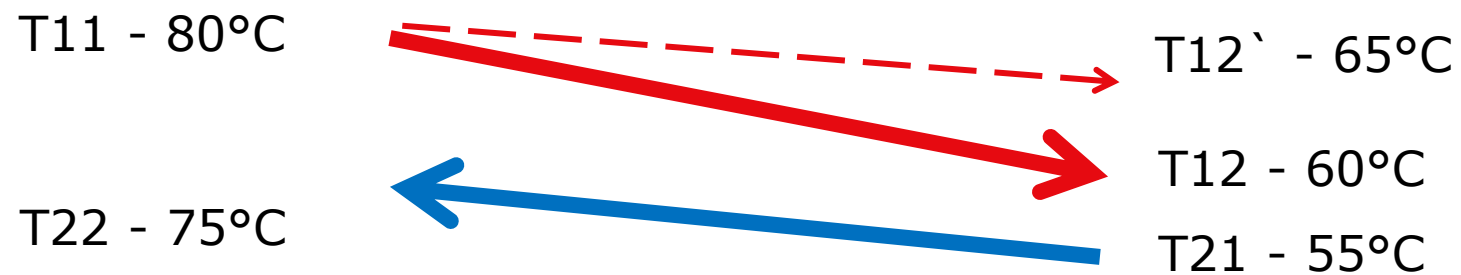


$$k \left[ \frac{W}{^{\circ}C \cdot m^2} \right] = \frac{1}{\alpha_1 + R + \frac{1}{\alpha_2}} \longrightarrow k \left[ \frac{W}{^{\circ}C \cdot m^2} \right] = \frac{1}{\alpha_1 + R_{plate} + R_{dirt} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$Q \left[ W \right] = k \left[ \frac{W}{^{\circ}C \cdot m^2} \right] * F \left[ m^2 \right] * LMTD \left[ ^{\circ}C \right]$$

$$LMTD = \frac{(T_{11} - T_{22}) - (T_{12} - T_{21})}{\ln \frac{(T_{11} - T_{22})}{(T_{12} - T_{21})}}$$

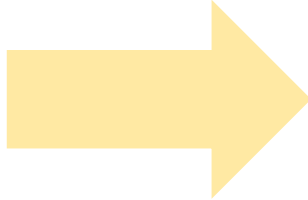
$$Q_1 \left[ W \right] = m_1 \left[ \frac{kg}{s} \right] * C_{p1} \left[ \frac{J}{kg \cdot ^{\circ}C} \right] * (T_{11} - T_{12}) \left[ ^{\circ}C \right]$$



# Küttepinna varu



20 plaati



40 plaati

$$m_1 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] = \rho_1 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] * f_{cs1} \left[ \text{m}^2 \right] * w_{cs1} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

$$m_2 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] = \rho_2 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] * f_{cs2} \left[ \text{m}^2 \right] * w_{cs2} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

$$d = f(w \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right])$$

$$k \left[ \frac{\text{W}}{\text{°C} * \text{m}^2} \right]$$

$$Q^{[W]} = k^{\left[\frac{W}{^{\circ}C * m^2}\right]} * F^{[m^2]} * LMTD^{[^{\circ}C]}$$

$$\text{Surface Margin} = \frac{k_{\text{available}}^{\left[\frac{W}{^{\circ}C * m^2}\right]}}{k_{\text{required}}^{\left[\frac{W}{^{\circ}C * m^2}\right]}} - 1$$

Total pressure drop	kPa	10,32	7,43
Pressure drop - In port	kPa	1,08	0,84
Total area	m <sup>2</sup>		1,01
Surface margin	%		13,8
LMTD	K		17,38
HTC(Available / Service / Required)	W/m <sup>2</sup> -K		6494,3/6494,3/5708,0
Port velocity	m/s	1,45	1,28
Shear stress	Pa	21,42	15,27

$$\text{Küttepinna varu} = \frac{6494,3}{5708} - 1 = 0,13 = 13\%$$

Soojuslääbikandetegurite K/K suhe annab soojusvaheti ülepinna väärtuse

# Küttepinna varu %

Load	120,0 kW	Surface margin	<input type="text" value=""/>	%
	Side1		Side2	
Fluid	Water		Water	
Inlet temperature	70,00 °C		10,00 °C	
Outlet temperature	25,00 °C		50,00 °C	
Flow rate	Mass		Mass	
	2295,1 kg/h		2581,5 kg/h	
Max pressure drop	20,00 kPa		20,00 kPa	
Pass Number	1		1	

Küttepinna varu %	Soojusvaheti tüüp	HTC(saadaval /Nõutud) W/m <sup>2</sup> -K	Tegelik HTC , %
0%	XB37L-1-20	7235,6/6849,6	5,6%
10%	XB37L-1-26	5935,5/5137,2	15,5%
20%	XB37L-1-30	5337,9/4403,3	21,2%
20%	XB06H-1-60 CU	5692,9/4408,9	29,1%

NB! Lisades soojusvahetile lisa plaate vähendame soojusvaheti efektiivsust!

## Näide. Tarbevee soojusvaheti arvutus

### Projekteeritud

Mode:  Design  Rating  Performance

Performance mode: Find states of Side 1 with load

Heat exchanger: Optimum-XB

Load: 120,0 kW Surface margin: 20,9 %

	Side 1	Side 2	
Fluid	Water	Water	
Inlet temperature	65,00 °C	8,00 °C	
Outlet temperature	20,00 °C	55,00 °C	
Flow rate	Mass	Mass	
	2295,6 kg/h	2195,5 kg/h	
Max pressure drop	20,00 kPa	20,00 kPa	
Pass Number	1	1	
NTU1 / LMTD(K) / NTU2	4,089	11,02	4,274

Buttons: Real Outlet Calculate(R), Calculate(C), <<Temp>>, <<Options>>, <<Config>>, <<ZAC>>, <<Results>>

### Tegelik jahutus

Mode:  Design  Rating  Performance

Performance mode: Find states of Side 1 with load

Heat exchanger: XB37

No. of Plates: 36

Load: 120,0 kW Surface margin: 0,0 %

	Side 1	Side 2	
Fluid	Water	Water	
Inlet temperature	65,00 °C	8,00 °C	
Outlet temperature	16,02 °C	55,00 °C	
Flow rate	Mass	Mass	
	2108,7 g/h	2195,5 kg/h	
Max pressure drop	kPa	kPa	
Pass Number	1	1	
NTU1 / LMTD(K) / NTU2	5,501	8,92	5,282

Buttons: Calculate(C), <<Temp>>, <<Options>>, <<Config>>, <<ZAC>>, <<Results>>

### Tegelik talve tingimustes

Mode:  Design  Rating  Performance

Performance mode: Find states of Side 1 with load

Heat exchanger: XB37

No. of Plates: 36

Load: 120,0 kW Surface margin: 0,0 %

	Side 1	Side 2	
Fluid	Water	Water	
Inlet temperature	100,00 °C	8,00 °C	
Outlet temperature	9,24 °C	55,00 °C	
Flow rate	Mass	Mass	
	1132,5 g/h	2195,5 kg/h	
Max pressure drop	kPa	kPa	
Pass Number	1	1	
NTU1 / LMTD(K) / NTU2	8,466	10,78	4,372

Buttons: Calculate(C), <<Temp>>, <<Options>>, <<Config>>, <<ZAC>>, <<Results>>

# Soojusvahetite plaatide joodised



Standardne korrosioonikindlus vasejoodis. Puhastele vedelikele, mitte agressiivne ja mitte korrodeeruv keskkond











Keskmine korrosioonikindlus. Joodise tüüp nõudlikule kütte-ja soojavee süsteemile









Parim korrosioonikindlus. Roostevaba joodis.

# Danfoss plaatsojusvahetid

Connection size: 3/4" - 2"							
							
<b>XB05</b>	<b>XB06</b>	<b>XBDW22</b>	<b>XB25</b>	<b>XB12</b>	<b>XB37</b>	<b>XB52</b>	<b>XB59</b>
312 x 76 [mm]	320 x 95 [mm]	376 x 119 [mm]	491 x 94,5 [mm]	288 x 118 [mm]	525 x 119 [mm]	466 x 256 [mm]	613 x 186 [mm]
3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	1" & 5/4"	1"	2"	2"
M, X	H+, H, L	DW*	H	H, M, L	H, M, L	M	M
Cu; StS	Cu; CoResist; StS	Cu; CoResist	Cu; CoResist	Cu; CoResist	Cu; CoResist; StS	Cu	Cu
Cu 25 [bar] StS 10 (X plate) [Bar]	Cu, CoResist 25 [bar] StS 16 [bar]	Cu, CoResist 16 [bar]	Cu, CoResist 25 [bar]	Cu, CoResist 25 [bar]	Cu, CoResist 25 [bar] StS 16 [bar]	Cu 25 [Bar]	Cu 25 [Bar]

# Danfoss plaatsoojusvahetid

Connection size: 2" - DN100"					
					
<b>SL140</b>	<b>XB61</b>	<b>XB66</b>	<b>SL222</b>	<b>XB71</b>	<b>SL333</b>
607 x 237 [mm]	525 x 243 [mm]	706 x 296 [mm]	748 x 324 [mm]	976 x 373 [mm]	1003 x 380 [mm]
2" & 2½"	2"	2½" & DN65	DN80	DN100	DN100
TL, TK, TM, DW*	H, M, L	H, L	TL	H, M, L	TL, TK, TM
Cu; StS	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu
Cu 25 [Bar] StS 16 [Bar]	Cu 25 [Bar]	Cu 16 (L plate) [Bar] Cu 25 (H plate) [Bar]	Cu 25 [Bar]	Cu 25 [bar]	Cu 25 [Bar]

\*DW - Double Wall/Sonder Safe



# Hexact programmiga leiad sobivaima

Programm Hexact leida sobivaima soojusvaheti kaugküttesüsteemi ja -võrgu jaoks:

- kiire ja lihtne kasutada
- Micro Plate™ ja kalasaba mustriuga soojusvahetite arvutus
- lai valik dokumentatsiooni, k.a tehnilised andmed, joonised BOM (materjalide spetsifikatsioon)
- võimalus isikupärastada oma kasutajaprofiili vastavalt sagedamini kasutatud temperatuuride, rõhkude, ühenduste tüüpide jne järgi.

Hexact programm on allalaetav lehelt [www.hexact.danfoss.com](http://www.hexact.danfoss.com)



TÄNAN KUULAMAST!

Marko Moring  
Danfoss AS  
E-mail:[marko.moring@danfoss.ee](mailto:marko.moring@danfoss.ee)