



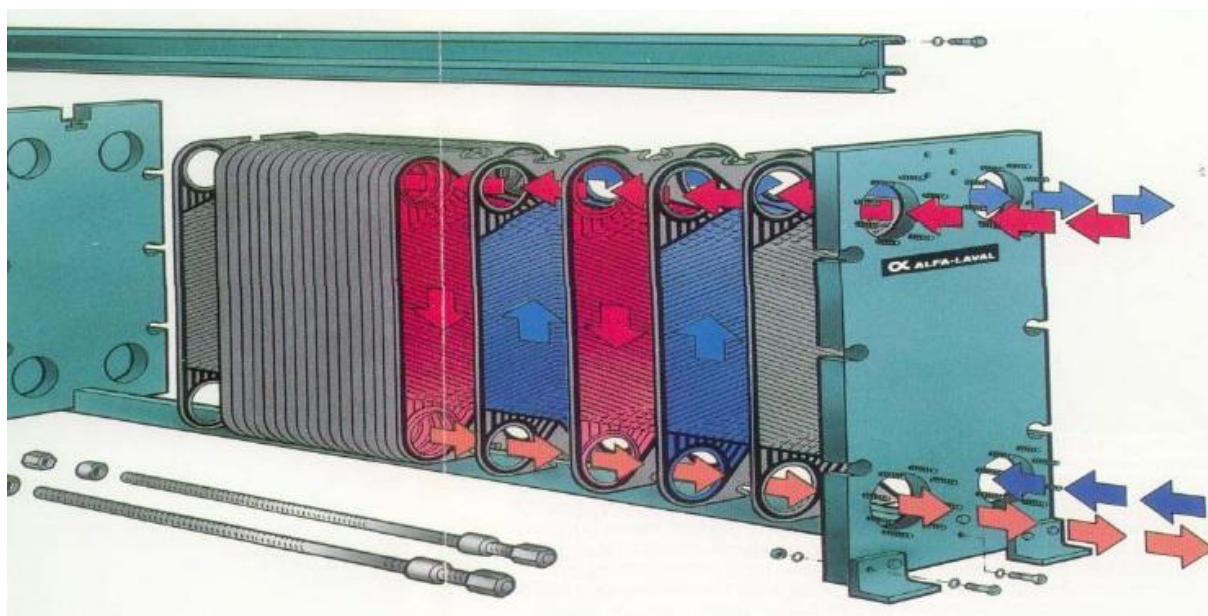
MISKOLCI EGYETEM

GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

Lemezes hőcserélők vizsgálata



Konzulens:
Dr. Szepesi L. Gábor
egyetemi docens
Bokros István
mérnök tanár
Vegyipari Gépek Tanszéke

Készítette:
Horváth Noémi
SW8HT0
G4BRe

Miskolc, 2013

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	3
2. Lemezes hőcserélők története és felépítése.....	4
2.1 A hullámosított lemezek elrendezése	8
3. Lemezes hőcserélők előnyei és hátrányai	9
4. Hőcserélők méretezése.....	10
4.1 Méretezési alapösszefüggések.....	10
5. Lemezes hőcserélők hőátadási tényezőinek meghatározása, a különböző számítási módszerek összehasonlítása	12
5.1 Egységesített jelölés jegyzék	12
5.2 Egyenértékű átmérő meghatározása	13
5.3 Lamináris és turbulens tartomány elhatárolása	16
6. Egy kiválasztott lemezes hőcserélő méretezése	17
6.1 Danfoss honlapján elérhető méretezési szoftver.....	19
6.2 UniSim Design szimulációs szoftver.....	20
7. A különböző képletekből meghatározható Nusselt-számok összehasonlítása	21
7.1 A hőátadási tényező meghatározása mérési eredményekből.....	23
8. Lemezes hőcserélők szakszerű kezelése, szabályozása	24
8.1 Karbantartás és javítás	26
8.2 Lemezes hőcserélő fellazítása és széthúzása	27
8.3 Lemezek behelyezése, lemezes hőcserélő összehúzása.....	28
8.4 Lemezes hőcserélő tisztítása.....	29
8.5 Hőcserélők üzemeltetése	30
9. Gazdaságossági kérdések	31
9.1 Éves költség hőcserélőre	33
10. Felhasznált irodalom	35
11. Köszönetnyilvánítás	36
12. Melléklet.....	36

1. Bevezetés

Korábban a távhőszolgáltatók országszerte csőköteges hőcserélőket használtak a használati melegvíz előállítására, de az utóbbi időben szinte minden hőközpontban lecserélték ezeket a csőköteges készülékeket lemezes hőcserélőkre.

Előnyös tulajdonságai miatt egyre több helyen alkalmazzák: olcsóbb, hatékonyabb, könnyen szétszedhető, tisztítható, ezáltal egyszerűbb karbantartani, az üzemeltetőknek kevesebb problémát okoz.

Dolgozatom első részében átfogó áttekintést nyújtok a lemezes hőcserélők történetéről, jelentőségéről. Ezután összefoglalom a szakirodalomban fellelhető legfontosabb méretezési összefüggéseket és ezekkel összehasonlító számítást végzek egy adott geometriájú lemezes hőcserélő esetében. Továbbá ismertetem a lemezes hőcserélők szakszerű kezelését, szabályozását. Végezetül pedig a gazdaságossági kérdésekkel is foglalkozom.

A lemezes hőcserélőknél a bordázat sokféle kialakítása miatt a szakirodalomban nem található általánosan alkalmazható kritériális egyenlet. A problémát az állandók meghatározása jelenti.

A lemezes hőcserélők méretezésénél a hőátadási tényezők számítására a

$$Nu = A \cdot Re^B Pr^C \left(\frac{v}{v_w} \right)^D$$

általános formulák használata terjedt el (Nusselt-szám meghatározásának módszere), de egyes esetekben a Nusselt-számban szereplő hőátadási tényezőre rendezett összefüggéseket is közölnek.

A különféle gyártók pénzügyi okokból gyakran nem adják meg a saját méréseik alapján készült méretezési formulákat, de egy üzemelő készüléken végzett kísérletsorozattal ez reprodukálható.

A fő kérdés az volt, hogy adott típus esetén, a számos képlet közül melyiket használjam, hogyan lehet megtalálni a legmegfelelőbbet, legmegbízhatóbbat? Ehhez próbáltam meg kellő gyakorlatot szerezni.

Szakirodalmi kutatásaim során műszaki menedzser hallgatóként külön figyelmet fordítottam arra, hogy utánanézzek az üzemeltetés költségeinek. Céлом az volt, hogy akülönböző módon számolt hőátadási tényezőket összehasonlítsam, és a legmegfelelőbb kiválasztása alapján érzékenységi- és gazdaságossági vizsgálatokat végezzek.

2. Lemezes hőcserélők története és felépítése

Az első lemezes hőcserélő-szabadalom 1878-ból származik. A mai hőcserélőkhöz hasonló készülékek gyártását az 1930-as években kezdték meg. Ezek elsősorban élelmiszeripari alkalmazásokban használt berendezések voltak. Elterjedésüket ekkor még műszaki korlátaik akadályozták: a 70 fokos maximális hőmérséklet és a 2 bar-os nyomáshatár. Az 1950-es évektől indult meg a halszálla-mintás lemezek gyártása. Ez a megoldás már tág hőmérséklet- és nyomáshatárok között tette lehetővé a készülékek alkalmazását.

Amíg a lemezes hőcserélő használata csak a feldolgozó iparágaknál növekedett, addig nem voltak teljesen feltárva a lehetőségei és határai sem.

Az elmúlt két évtizedben egyre jobban elterjedt az épületgépészetben, a hőközpontokban sorra cserélik le a régi csőköteges hőcserélőket lemezesre és a különböző fűtési rendszerekben is egyeduralkodóvá váltak. Egyre több cég foglalkozik lemezes hőcserélőkkel, azok gyártásával, szerelésével, karbantartásával (például: Alfa Laval, Danfoss, Szovaterm, SWEP, SaunierDuval, Ekinindustrialheating&cooling, stb.).



2.1 ábra A lemezes hőcserélő

Napjainkban a lemezes hőcserélők alkalmazási területe jellemzően a következő ágazatokra terjed ki:

- épületgépészet: kazán, távhő, hőszivattyúk, geotermikus: légtechnika, fűtés, hűtőgépek, és klimatizálás
- uszodatechnika: medencefűtés, például termálvizes
- energetika: hőhasznosítás, erőművi alkalmazások
- élelmiszeripar: italgyártás: sörhűtés, tejhűtés; pasztörizálás: tej, sör, bor; cukorgyártás; és növényolajgyártás
- általános ipar: - technológiai folyamatok: vegyianyag-gyártás, gyógyszergyártás, szennyvíz-technológia, olajipar; - szerszámgépek hűtése; - hővisszanyerés [11]

Jól használható szinte mindegyik hőátadási műveletfajta esetében, ezért az új technológiákban előszeretettel alkalmazzák az alábbi alapesetekben:

- halmazállapot-változással: - elpárolgás, forrás; - lecsapódás, kondenzáció
- halmazállapot-változás nélkül: folyékony/légnemű halmazállapotú közeg felmelegszik/lehűl: - folyadék-folyadék hőcserélő; - gáz-gáz hőcserélő; - folyadék-gáz hőcserélő
- összetett esetek: - gázhűtés – kondenzáció-folyadékűtés; - besűrítés; - forralás-túlhevítés [11]

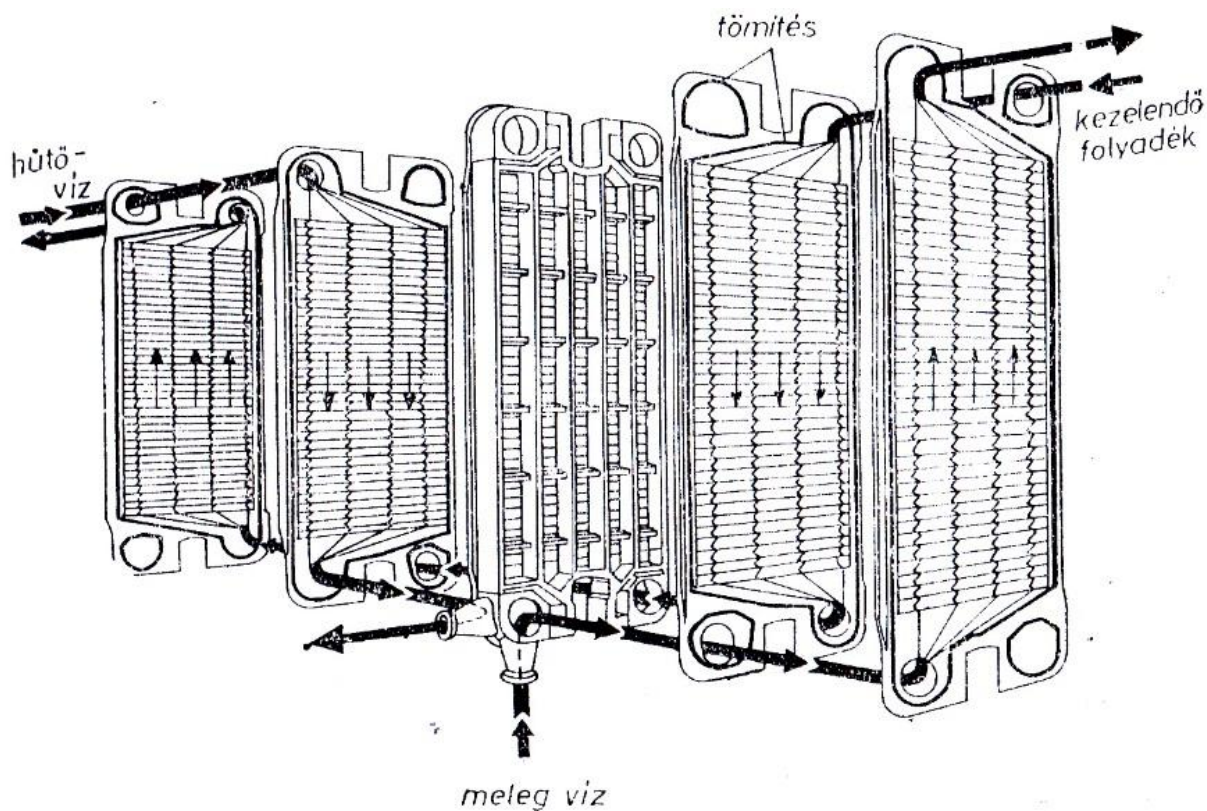
Felépítését tekintve a lemezes hőcserélő egy egyszerű hőátadó berendezés, hasonló egy szűrőpréshez.

Eleinte tömített lemezekből készült, felső és alsó elrendezésű szállítási sávon két merev fedél és keret között, amelyek egymáshoz vannak erősítve csavarokkal vagy egy összenyomó szerkezettel. A későbbiekben a forrasztott (hegesztett) kivitel is szélesítette a választékot.



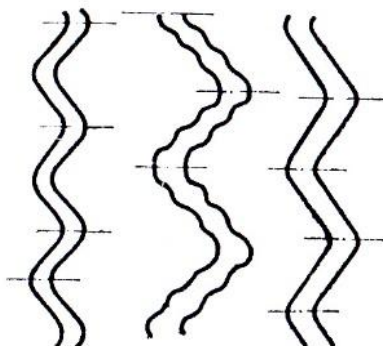
2.2 ábra Tömítés

A lemezeknek általában négy sarok beömlőnyílás csatlakozásuk van, szükség szerint nyitva vagy zárva. [3]



2.3 ábra Szabadáramlású lemezes hőcserélő áramlása

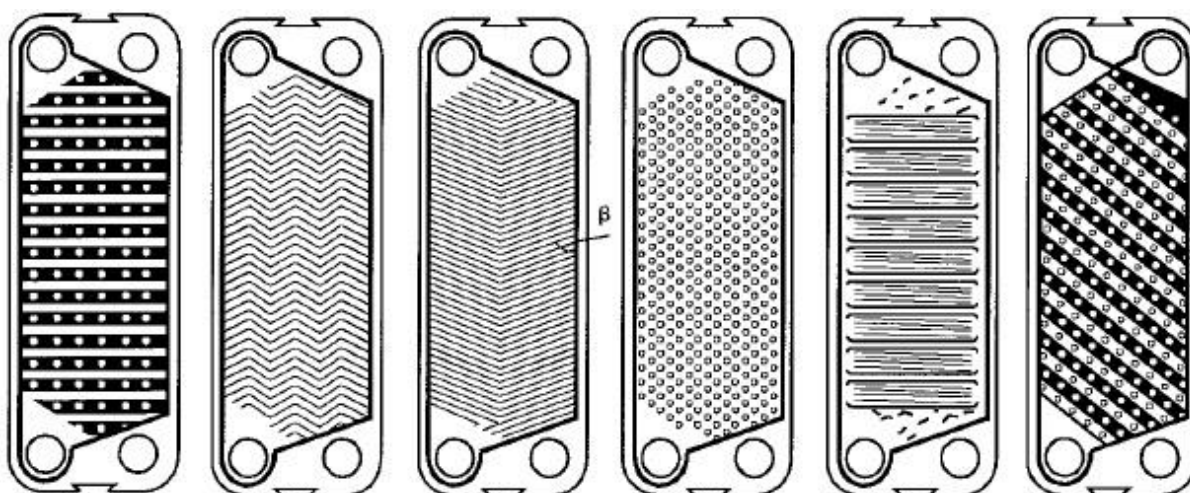
A lemezes hőcserélők hőátadó felülete téglalap alakú, egyforma hullámosított/redőzött lemezekből áll, amelyeket a keretszerkezet tart össze. A két-két szomszédos lemez között kialakuló 1,6-6 mm-es csatornában áramlanak a közegek.



2.4 ábra Hullámos felület kialakítások

Legtöbbször szabadáramlású hőcserélőket használunk, ahol a lemezek hullámosítását sajtolással állítják elő. A négy sarkon lévő átömlő-nyílásokból alakulnak ki a csatornák, ahol egyenletesen, lemezről lemezre áthalad a közeg.

A hőátadásban részt vevő két közeg váltakoztatva, ellentétes oldalra néző beömlőnyílásokon áramlik a lemezek között, párhuzamosan a lemezes síkjával. [2]



2.5 ábra Néhány hőközlőlemez típus

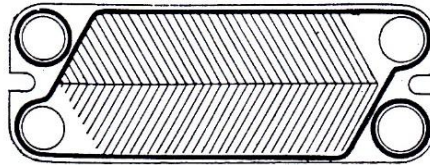
A hőátadó lemezek vastagsága 1-3 mm-es, általában rozsdamentes acél-, réz-, nikkel-, egyes esetekben titánötvözetekből készítik. A lemezeket hornyolva készítik, gumi vagy más anyagú tömítésekhez. Az átömlőcsatornáknál úgy helyezik el a tömítéseket, hogy csak minden második kamrarész legyen összeköttetésben egymással. Így akadályozva meg a közegek keveredését.



2.6 ábra Lemezes hőcserélő tömítése

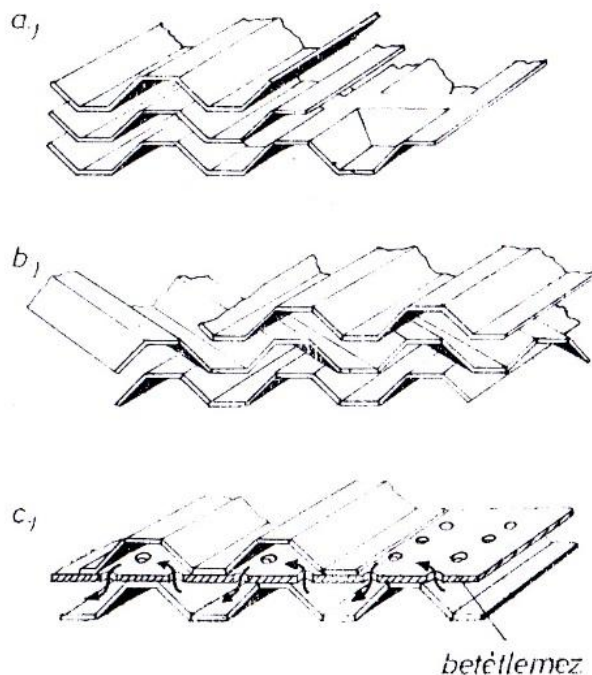
2.1 A hullámosított lemezek elrendezése

- a) Normális elrendezés: a redőzés a közeg áramlási irányára merőlegesen, míg egymáshoz viszonyítva pedig párhuzamosan halad. A redőzést néhol megszakítják, így tudják betartani a két lemez közötti távolságot.
- b) Az egyes lemezek ferde redőzete keresztirányban helyezkedik el. Ilyenkor halszálkamintát ábrázol a lemezek redőzete.



2.1.1 ábra Halszálkamintás redőzet

- c) A párhuzamos redőzetű lemezek közé lyukasztott betétlemezt helyeznek el. Így a folyadék a betétlemez lyukain keresztül nagy sebességgel áramolnak (javul a hőátadás) egyik lemeztől a másikhoz. [1]



2.1.2 ábra Különféle csatornakialakítások

3. Lemezes hőcserélők előnyei és hátrányai

Előnyös tulajdonságai miatt egyre több helyen alkalmazzák: olcsóbb, hatékonyabb, könnyen szétszedhető, tisztítható, ezáltal egyszerűbb karbantartani, az üzemeltetőknek kevesebb problémát okoz.

Hátrányuk: viszonylag kis nyomás és hőmérséklet esetében használhatók: - maximális nyomás: 10-15 bar, maximális hőmérséklet: 150 °C.

Részletesebben elemezve az előnyöket és hátrányokat még a további megállapítások figyelembevétele szükséges. Ha a lemezeknél nem tömítést használnak, hanem a kerültként összehegesztik: - a műveleti nyomás: 30-40 bar-ra, - a hőmérséklet pedig több száz °C-ra is megnövelhető. Hátránya azonban, hogy a hőcserélő így szétszerelhetetlen lesz, ezáltal nehezebben tisztítható.

A lemezes hőcserélő nagy gőzmennyiség kondenzálására nem alkalmas, folyadék-szilárd szuszpenzió esetén pedig figyelni kell rá, hogy a diszperz fázis mérete minimum 0,5 mm-rel kisebb legyen, mint a lemezek közötti hézag. [2]

Hullámosítás szerepe: - merevíti a lemezeket, - az áramló közeg nagyfokú turbulenciáját eredményezi. Ha a látszólagos Reynold-szám nagyobb, mint 400, akkor az áramlás mindig turbulens. Nagy viszkozitású folyadékban is nagy hőátadási tényezőt érhetünk el.

Összességében az előnyöket és hátrányokat a hőcserélőkkel szemben támasztott alapkövetelmények határozzák meg:

- hidraulikai: - megfelelő nyomásfokozattal rendelkezzen; - a hidraulikai rendszerrel összhangban legyen a nyomásvesztesége; - légtelenítés, töltés, leürítés (környezetvédelem)
- valósítsa meg az elvárt hőátadást: - méretezési és egyéb elvárt állapotokban
- szerkezeti anyagok – elvárt élettartam: - vegyi ellenállás az áramló közegekkel szemben, például korrózió, - szilárdsági követelmények az előírt hőmérséklet-határokon belül; - közeg eróziós hatásaival szemben tűrőképesség
- egyéb követelmények: - tisztíthatóság/lerakódás elkerülése: vízkő, élelmiszeripar; - beépíthetőség, - átépíthetőség, - bővíthetőség, - karbantartás, - súly, - méret [11]

4. Hőcserélők méretezése

A kiválasztás során abból kell kiindulni, hogy mi a feladat:

- átfolyós vagy tartály: hőntartás - felfűtés/lehűtés
- milyen halmazállapotú, van-e halmazállapot változás
- közegek meghatározása: anyagjellemzők, vegyhatás, szennyezés
- méretezési határok: minimum-maximum hőmérséklet; névleges nyomás-
próbanyomás; tanúsítás, dokumentáció
- méretezési adatok: tömegáramok, hőteljesítmény mértéke, be-és kilépő hőmérsékletek,
nyomásveszteség megengedett mértéke
- konstrukciós követelmények: méretkorlát, csonkozás [11]

4.1 Méretezési alapösszefüggések

A hőcserélőben átvihető hőmennyiség (a hőcserélők alapegyenlete):

$$Q = k \cdot A \cdot \Delta t$$

hőteljesítmény (Q)

hőátviteli tényező (k)

hőátadási felület (A)

logaritmikus hőmérsékletkülönbség (Δt).

A hőátviteli tényezőt a közegek és a lemez közti hőátadási tényezők, valamint a falon való hővezetés határozza meg:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

hőátadási tényező (α)

hővezetési tényező (λ)

lemezvastagság (s)

Az egyes közegek hőmennyiségének változása a hőcserélőben:

$$Q_1 = m_1 \cdot c_1 \cdot |T_{1be} - T_{1ki}|$$

$$Q_2 = m_2 \cdot c_2 \cdot |T_{2ki} - T_{2be}|$$

Ha a veszteségektől eltekintünk [5]

$$Q = Q_1 = Q_2$$

A hőtechnikai méretezés nehézségei közé tartozik a hőátadási tényezők meghatározása. A szakirodalomban fellelhető számos képlet közül a legmegfelelőbb kiválasztása nem egyszerű feladat. A hőátadási tényezők értékét az áramlási sebesség növelésével javítani lehet, de ez a nyomásveszteség, egyben az üzemeltetési költségek megemelkedésével jár együtt, amit feltétlenül korlátozni kell. A gazdaságossági vizsgálatok és a szabályozhatóság megítélése szempontjából alapvető fontosságú a hőátadási tényezők pontos ismerete, ezért a továbbiakban megvizsgáltam a gyakran alkalmazott víz-víz közegű hőcserélőkre vonatkozó összefüggéseket.

5. Lemezes hőcserélők hőátadási tényezőinek meghatározása, a különböző számítási módszerek összehasonlítása

5.1 Egységesített jelölés jegyzék

<i>Jelölés</i>	<i>Megnevezés</i>	<i>Mértékegység</i>
<i>a</i>	hőátadási tényező	$\frac{W}{m^2 K}$
<i>b</i>	lemez szélessége	mm
<i>d</i>	két lemez közötti hézag	mm
<i>k</i>	hőátviteli tényező	$\frac{W}{m^2 K}$
<i>L</i>	áramlási hossz	m
<i>d_h</i>	hidraulikus átmérő	m
<i>A_c</i>	felület	m ²
<i>P</i>	nedvesített kerület	m
<i>ρ</i>	közeg sűrűsége	$\frac{kg}{m^3}$
<i>μ</i>	dinamikai viszkozitás	$\frac{kg}{m \cdot s}$
<i>λ</i>	hővezető képesség	$\frac{W}{m K}$
<i>Re</i>	Reynolds-szám	-
<i>Nu</i>	Nusselt-szám	-
<i>Pr</i>	Prandtl-szám	-
<i>St</i>	Stanton-szám	-
<i>δ</i>	vastagság	m
<i>V</i>	térfogatáram	$\frac{m^3}{s}$
<i>u</i>	áramlási sebesség	$\frac{m}{s}$
<i>j_h</i>	Colburn hőátadási faktor	-

5.1 táblázat Egységesített jelölés jegyzék

5.2 Egyenértékű átmérő meghatározása

Az első probléma a lemezes hőcserélőknél egy egyenértékű átmérő meghatározása volt, továbbá, hogy a jellemző méretnek mit válasszunk.

Lemezes hőcserélőknél az egyenértékű átmérő a következőképpen számítható:

$$De = \frac{4 \cdot d \cdot b}{2(b + d)}$$

b : lemez szélessége [mm]

d : két lemez közötti hézag [mm]. [2]

Az Alfa Laval Thermal Handbook a hidraulikus átmérőt a következőképpen határozza meg. Lényegében ugyanaz, mint az előző [3]:

$$D_h = \frac{4 \cdot A_c}{P}$$

A_c : felület[m²]

P : kerület[m].

Az egyenértékű átmérő, mint jellemző méret szerepel a különböző hasonlósági számokban (Nu, Re,...) és a nyomásveszteség meghatározására szolgáló összefüggésekben is.

A látszólagos Reynolds-szám:

$$Re = \frac{De \cdot G}{\mu} = \frac{2 \cdot d \cdot w}{\mu \cdot b \cdot d}$$

G :tömegsebesség $\left[\frac{kg}{m^2 \cdot h}\right]$

μ :dinamikai viszkozitás $\left[\frac{kg}{m \cdot h}\right]$

w :átlagsebesség $\left[\frac{m}{s}\right]$.

Áramló közeg hidraulikus ellenállása a következő egyenlettel számítható:

$$\Delta p = \lambda_s \cdot \frac{L}{De} \cdot \frac{v^2 \cdot \gamma}{2 \cdot g}$$

λ_s : csőszúrlódási tényező [–]

L : áramlási hossz [m]

u : sebesség $\left[\frac{m}{s}\right]$

g : nehézségi gyorsulás $9,81 \left[\frac{m}{s^2}\right]$.

Súrlódási tényező számítása:

$$\lambda_s = \frac{C}{Re^m}$$

ahol C és m állandó értékek.

Több járatú lemezes hőcserélőnél $L = n \cdot l$, egy járatnál pedig $L = l$, ahol az " l " a jellemző méret [m]. [2]

Az Alfa Laval Thermal Handbook nyomáscsökkenéséhez megadott összefüggése a következő:

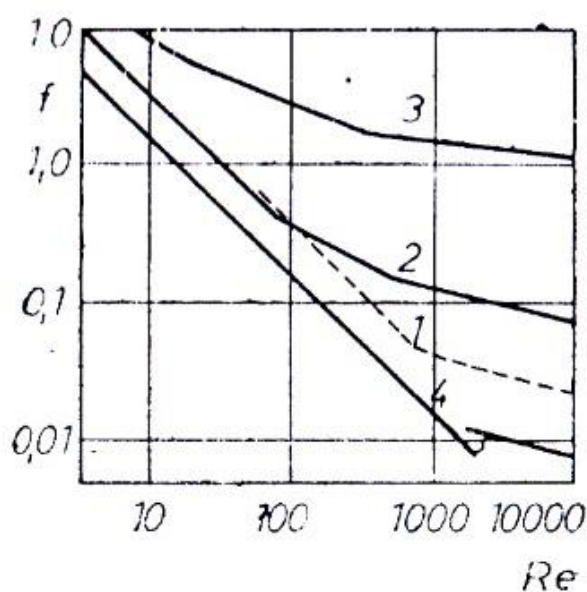
$$\Delta P = f \cdot \frac{L_p}{D_h} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} + \Delta P_{cs}$$

f : Fanning-féle súrlódási tényező

L_p : áramlási csatorna teljes hossza

ΔP_{cs} : csomópontokon fellépő nyomáscsökkenés.[3]

Fanning-féle súrlódási tényező a Reynolds-szám függvényében



5.2.1 ábra Fanning-féle súrlódási tényező a Reynolds-szám függvényében

1. spirállemezes hőcserélő
2. normális, párhuzamos redőzetű
3. keresztirányú redőzetű lemezes hőcserélő
4. csövek. [1]

Alfa Laval Thermal Handbook alapján

Hőmérsékletkülönbség meghatározása:

$$\Delta t = \frac{(T_{m,b} - T_{h,k}) - (T_{m,k} - T_{h,b})}{\ln \left(\frac{T_{m,b} - T_{h,k}}{T_{m,b} - T_{h,b}} \right)}$$

T_m és T_h : a meleg és a hideg oldal között fellépő hőmérséklet különbség [K].

Logaritmikus hőmérsékletkülönbség módszere:

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

Prandtl-szám meghatározása:

$$Pr = \frac{v \cdot \rho \cdot c}{\lambda}$$

Stanton-szám:

$$St = \frac{\alpha}{u \cdot \rho \cdot c}$$

A Reynolds-, Prandtl-, Nusselt-, és Stanton-számoknak nincsen dimenziója.

Hőátviteli tényező:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Hőátadási tényező:

$$\alpha = Nu \cdot \frac{\lambda}{d_h}$$

5.3 Lamináris és turbulens tartomány elhatárolása

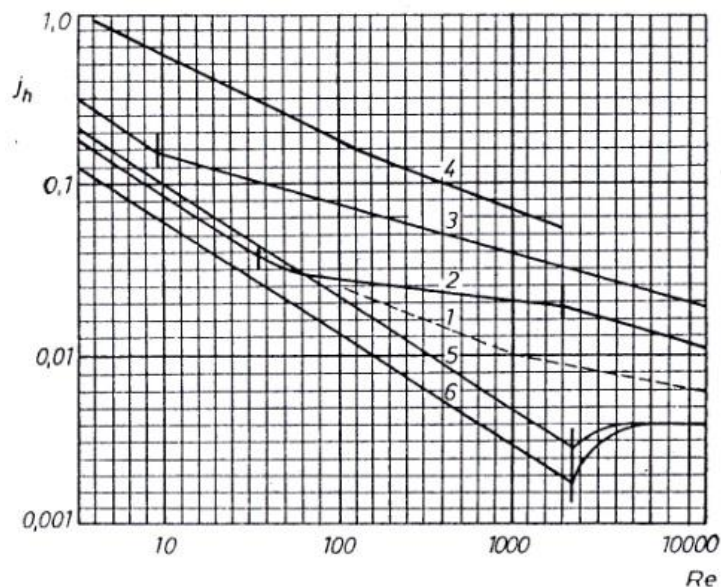
Troupe és Jackson szerint az átmeneti tartomány alsó határa $Re = 400$ -nál, a felső határa pedig $Re = 800$ -nál van. [1]

A szakirodalom a hőcserélők méretezéséhez tapasztalati átlagértékeket ad meg.

A hőátadási tényező az ún. Colburn-féle hőátadási faktor segítségével is meghatározható:

$$j_h = \frac{\alpha}{u \cdot \rho \cdot c} \cdot \left(\frac{v \cdot \rho \cdot c}{\lambda} \right)^{\frac{2}{3}} = St \cdot Pr^{\frac{2}{3}}$$

Colburn-féle j_h faktor a Reynolds-szám függvényében



5.3.1 ábra Colburn-féle j_h faktor a Reynolds-szám függvényében

1. spirállemez hőcserélő
2. normális, párhuzamos redőzetű lemezes hőcserélő
3. keresztirányú redőzetű lemezes hőcserélő
4. perforált betétlemezes lemezes hőcserélő
5. csövek
6. csövek. [1]

Jackson és Troupe szerint lamináris tartományban a hőátadás Colburn-féle tényezőjére a következő érvényes:

$$j_h = 0,742 \cdot Re^{-0,62}$$

Nusselt-szám:

Olyan berendezések esetén, ahol a közeg érzékeny a hőmérséklet-változásra, figyelembe véve a fal és a folyadék viszkozitását is.

$$Nu = A \cdot Re^B Pr^C \left(\frac{v}{v_w} \right)^D$$

A szakirodalom alapján a korrekciós tényezők - turbulens esetben - a következő intervallumokba esnek:

$$0,15 < A < 0,40$$

$$0,65 < B < 0,85$$

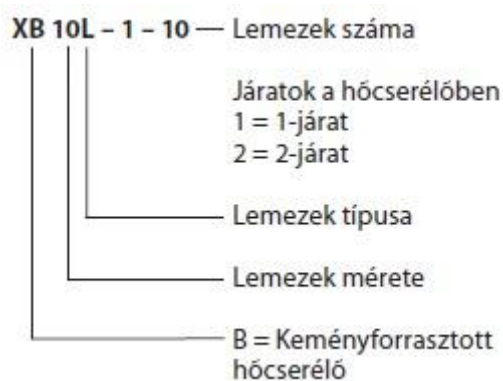
$$0,30 < C < 0,45$$

$$0,05 < D < 0,20$$

6. Egy kiválasztott lemezes hőcserélő méretezése

A kiválasztott lemezes hőcserélő típusa XB51L-1 50, Danfoss gyártmányú víz-víz közegű hőcserélő. A berendezés adatai, valamint a tervezési paraméterek a következők: [12]

- Max. üzemi nyomás: 25 bar
- Csatlakozás típusa: külső menet
- Járatok száma: 1
- Lemezek max. száma: 50
- Áramló közeg: keringetett víz
- t_{min} : -10 °C
- t_{max} : 180 °C
- Fűtőfelület: 3,89 m²
- Csatorna térfogata: 5,04 liter
- Lemez anyaga: 1,4404 (AISI 31 6L)
- Lemez magassága: 466 mm
- Lemez szélessége: 256 mm
- Teljes hossz: 190 mm
- Teljes szélesség: 256 mm



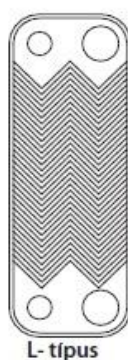
6.1 ábra A típusjel magyarázata

Lemeztípusok

A hőcserélők – alkalmazásuktól függően – három különböző lemez bordázattal állnak rendelkezésre: H, M és L típusú bordázat.

	H-típusok	M-típus	L-típus
Járat	Kicsi	Közepes H/L keverék	Nagy
Szög, zegzugos minta esetén	Tompa		Hegyes
Hőátadás	Viszonylag nagy	Közepes	Viszonylag kicsi
Nyomáscsökkenés	Viszonylag nagy	Közepes	Viszonylag kicsi

6.2 ábra Lemeztípusok jellemzői



6.3 ábra L-típusú bordázat

Ez az XB típusú forrasztott lemezes hőcserélő távfűtési rendszerekhez lett kifejlesztve, de használhatóak általános fűtési, használati-melegvíz termelő rendszerek és fűtő-hűtő légkezelők ellátására is. [12]

6.1 Danfoss honlapján elérhető méretezési szoftver

A honlapon található általános leírás szerint a program a hőátadási tényezők meghatározására az alábbi összefüggéseket használja:

$$Nu \cdot Pr^{-y} = B \cdot Re^n$$

y, B, n: mérésrel határozhatók meg az egyes lemezekre

$$Nu = \frac{\alpha \cdot D_h}{\lambda}$$

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{\lambda}$$

$$Re = \frac{G \cdot D_h}{\mu}$$

ahol a C_p fajhő $\left[\frac{J}{kgK}\right]$ és G tömegáram csatornánként $\left[\frac{kg}{m^2s}\right]$.

Sajnos a képletben szereplő állandók értékeit az egyes hőcserélő típusokra már nem közlik.

Calculated types

✓ XB 51L-1 50	
XB 51H-1 60	
XB 51H-1 60 SB	
XB 60-1 70	004B1197
XB 60-1 70 SB	
XB 70L-1 50	300,0
XB 70M-1 50	,268 / 13,242
XB 70H-1 50	79,2
Pressure drop (kPa)	1,6 / 6,8
LMTD (C)	20,9
Heat transfer area (m2)	3,876
Heat Capacity (kJ/kgK)	4,222 / 4,196
Density (kg/m3)	955,4 / 971,8
Viscosity (Ns/m2)	2,61E-4 / 3,64E-4
Heat conductivity (W/mK)	0,681 / 0,670
Re	1461 / 2570

6.1.1 ábra Hőcserélő méretezési adatlap

HŐCSERÉLŐ TÍPUSA		XB 51L-150	
Danfoss Code		004B1197	
		0,00 EUR	
PED-Category	:	I	
Tejlesztmény	[kW]	300,0	
		Prim.	Szek.
Térfogatáram	[m3/h]	5,268	13,242
Bejövő hőmérséklet	[°C]	130,0	70,0
Kimenő hőmérséklet	[°C]	80,0	90,0
Valós ki.hőm	[°C]	79,2	
Logaritmikus hőm. kül.	[°C]	21,6	20,9
Nyomáscsökkenés	[kPa]	1,6	6,8
Sebesség	[m/s]	0,7	1,6
PHYSICAL DIMENSIONS			
Lemezszerkezet / elem	:	24	25
Víz mennyiség	[l]	5,04	5,25
	[bar]	25	25
	[°C]	180	180
Hőátadó felület többlet	[%]	13,64	
Össz. hőátadó felület	[m2]	3,88	
Hőcserélő össz. súly	[kg]	29,0	
PHYSICAL PROPERTIES			
Primer anyagáram típus		Víz	
Szek. anyagáram típus		Víz	
Fajhő	[kJ/kgK]	4,222	4,196
Sűrűség	[kg/m3]	955,4	971,8
Viszkozitás	[mNs/m2]	0,261	0,364
Hőmérséklet vezetés	[W/mK]	0,681	0,670
Re		1461	2570

6.1.2 ábra A számítási eredmények összefoglaló táblázata

6.2 UniSim Design szimulációs szoftver

A Vegyipari Gépek Tanszék rendelkezik ezen a tématerületen belül a világban leggyakrabban használt számítógépes szoftverrel. Konzulensi segédlettel lefuttattam a lemezes hőcserélőkre vonatkozó programot, ennek eredménylapja a következő:

Geometric Details

Number of Plates / Number of Exchangers	50	1
Number of Passes (Stream 1 / Stream 2)	1	1
Number of Channels (Stream 1 / Stream 2)	24	25
Plate length / Plate Width	350,0 mm	254,0 mm
Plate Pitch / Plate Thickness	2,0 mm	0,8 mm
Port Diameter / Chevron Angle	25,0 mm	50,0
Total Area / Weight (plate pack)	3,17 m ₂	36,0 kg

Process Details

Total Mass Flow (Stream 1 / Stream 2)	5268,0 kg/h	13219,6 kg/h
Inlet Temperature (Stream 1 / Stream 2)	130,0 °C	70,0 °C
Outlet Temperature (Stream 1 / Stream 2)	80,0 °C	90,0 °C
Estimated Pressure Drop (Strm 1 / Strm 2)	bar	bar

Results

Total Pressure Drop (Stream 1 / Stream 2)	0,09433 bar	0,56367 bar	
Mean Wall Shear Stress (Strm 1 / Strm 2)	2,23 N/m ₂	10,31 N/m ₂	
Max Plate Velocity (Stream 1 / Stream 2)	0,21 m/s	0,5 m/s	
Max Port Velocity (Stream 1 / Stream 2)	3,2 m/s	7,7 m/s	
HTC (Stream 1 / Stream 2 / Wall)	9422 W/m ₂ K	16367 W/m ₂ K	20403 W/m ₂ K
Fouling Resistance (Stream 1 / Stream 2)	0 m ₂ K/W	0 m ₂ K/W	
Overall HTC (Clean / Dirty / Margin)	4624 W/m ₂ K	4624 W/m ₂ K	4624 W/m ₂ K
Heat duty / Effective MTD	308,164 kW	20,2 °C	
Area Ratio (Duty Ratio in SIMUL)	0,96		

6.2 ábra UniSim Design eredménylapja

7. A különböző képletekből meghatározható Nusselt-számok összehasonlítása

A szakirodalmakban fellelhető képletek közül az alábbiakkal végeztem összehasonlító számításokat. A számítás eredménye excel táblázatos formában készült el, amely a mellékletben található.

1. Marriott [2]

$$Nu = 0,374 \cdot Re^{0,668} \cdot Pr^{0,333} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_f}\right)^{0,15}$$

2. Prifti [1]

$$Nu = 0,2536 \cdot Re^{0,65} \cdot Pr^{0,4}$$

3. Colburn faktorból kifejezve [3]

$$j_h = St \cdot Pr^{\frac{2}{3}} = Nu \cdot Re^{-1} \cdot Pr^{\frac{-1}{3}}$$

$$Nu = j_h \cdot Re \cdot Pr^{\frac{-1}{3}}$$

4. Mc Adams - Colburn faktorból kifejezve [1] [3]

$$j_h = St \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\mu_w}{\mu}\right)^{0,14} = 0,023 \cdot Re^{-0,2}$$

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14}$$

5. Hsieh-Lin [6]

$$Nu = 0,2092 \cdot Re^{0,78} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14}$$

A számítások eredményeit az alábbi táblázatban foglaltam össze:

	primer oldal		szekunder oldal		hőátviteli tényező
	Nusselt-szám	hőátadási tényező	Nusselt-szám	hőátadási tényező	
képlet	(-)	(W/m ² K)	(-)	(W/m ² K)	(W/m ² K)
1	54,94	10 467	93,87	17 594	4 966
2	34,42	6 558	57,38	10 755	3 396
3	68,23	12 998	104,49	19 584	5 649
4	10,24	1 951	21,20	3 973	1 230
5	69,63	13 265	126,41	23 693	6 002
UniSim		9 422		16 367	4 624

A hőátadási tényezőre kapott eredmények között igen nagy eltérések tapasztalhatók. A 4. képlet esetünkben használhatatlan, valószínűleg nem veszi figyelembe a lemezek bordázatát, annak jelentős turbulenciát okozó hatását. A többi képlet által kapott eredmények is jól mutatják, hogy a helyes hőátadási tényező megtalálása, az adott feladat megoldására leginkább alkalmas összefüggés megtalálása nem könnyű feladat. Sajnos a Danfoss mérési eredményekre alapozott, ellenőrzött módszere nem adja meg a hőátadási tényezők értékét, csak az egyesített hőátviteli tényezőt lehet meghatározni a számítási adatlap alapján. Ez az érték 3700 W/m²K, amihez 2. képlettel és az UniSim-el számított tényezők vannak közel.

Az UniSim felhasználói kézikönyve nem tartalmazza, hogy a program milyen összefüggéssel számítja ki a hőátadási tényezőket. A felmerült problémák miatt célszerű megvizsgálni, hogy adott hőcserélő esetén miként lehet mérési eredményekből meghatározni a hőátadási tényezőket, amelyek ismerete nélkül nem lehet megbízható gazdaságossági számítást végezni és a szabályozhatóság megfelelőségének megítélése is gondot okoz.

7.1 A hőátadási tényező meghatározása mérési eredményekből

A hőátviteli tényező reciprokát vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a hőcserélőknél szokásos viszonylag szűk hőmérséklet tartományban az anyagjellemzők alig változnak, a hőátadási tényező változására döntő mértékben az áramlási sebesség növekedése, csökkenése hat. Amennyiben az egyik oldali közeg térfogatáramát állandó értéken tartjuk és a másik közegét változtatjuk, akkor a hőátviteli tényező reciproka az m és c állandók és az áramlási sebesség segítségével megadható. A sebesség hatványkitevője a Re szám hatványkitevőjével azonos, szintén állandó.

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \underbrace{\frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}_{\approx \text{áll.}} = \frac{1}{\alpha_1} + c$$

$$\alpha_1 = \frac{v^\beta}{m}$$

$$\frac{1}{k} = \frac{m}{v^\beta} + c$$

Látható, hogy ezt az összefüggést $1/k$ és $1/v^\beta$ koordináta-rendszerben ábrázolva egy egyenest kapunk. A különböző áramlási sebességekkel végzett mérési eredményekből a hőcserélők alapegyenlete segítségével a k értéke meghatározható, így az összetartozó mérési pontokra a közelítő egyenes tengelymetszete (c állandó) és az egyenes meredeksége (m állandó) kiszámítható, továbbá megkapjuk a hőátadási tényező értékét is.

Sajnos a méréssorozat elvégzésére nem volt lehetőségem, mert nem állt rendelkezésre egy hasonló kialakítású lemezes hőcserélő.

8. Lemezes hőcserélők szakszerű kezelése, szabályozása

Engedélyezett kezelőjének oktatáson kell részt vennie, hogy végre tudja hajtani a feladatot és tisztában kell lennie a munkavégzéshez szükséges biztonságtechnikai és baleset-megelőzési előírásokkal.

Különböző veszélyforrások elkerülése végett kötelező a védőkesztyű viselése, mivel a vékony hőcserélő lemezek széle éles, továbbá különféle sérülésveszély áll fenn az alkatrészeknél és meneteknél.



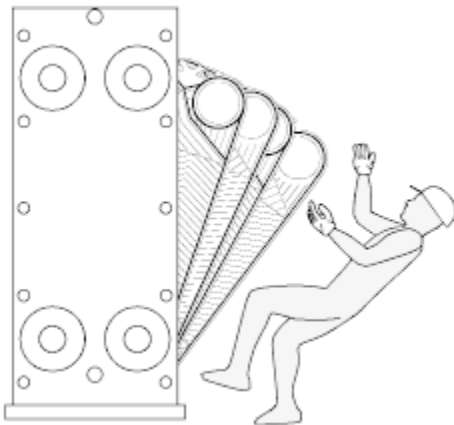
8.1 ábra Védőkesztyűk

Munkavédelmi előírásoknak megfelelő védőruházat viselése is kötelező a veszélyes áramló közegekkel dolgozóknak.

Minden karbantartási és ellenőrzési munkát rendszeres időközönként el kell végezni. Másrészt pedig a gyártó jóváhagyása nélkül semmilyen változtatást vagy átépítést nem lehet végrehajtani.

A lemezes hőcserélők az azonosítás érdekében egy adattáblával rendelkeznek, amelyről a következő információk olvashatók le:

- a lemezes hőcserélő típusa, gyári száma, gyártás éve
- megengedett üzemi nyomások, hőmérsékletek
- próbanyomás
- térfogatok
- nettó tömeg
- minimum és maximum összehúzási méretek.

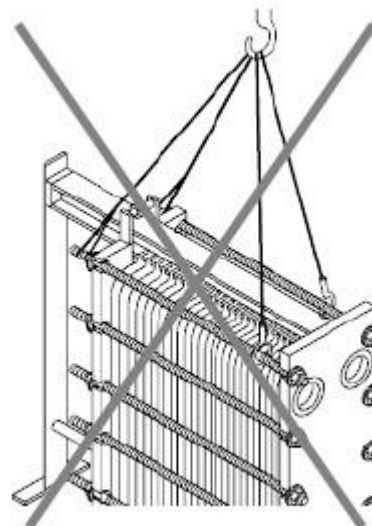


8.2 ábra Lemezek kiesése

Hőcserélő széthúzása előtt biztosítani kell, hogy legyen ürítve és nem lehet benne nyomás. Ellenőrizni kell, hogy a hőcserélő lemezek ne tudjanak még véletlenül sem meglazulni a tartón, és leesni sem, továbbá a hátlap biztosítása is elengedhetetlen. [9]

A hőcserélők szállítását megelőzően mindig biztosítani kell, hogy az emelőszerkezet megfelelő méretű, és biztonságosan rögzített legyen. Sohasem szabad a függő teher alatt állni.

A hőcserélők nem megfelelő és gondatlan kezelése nagy veszélyt jelent a dolgozókra és környezetükre. Semmilyen esetben sem szabad a lemezköteg alatt, a csatlakozásnál vagy az összehúzó csavaroknál emelni.



8.3 ábra Szabálytalan emelés

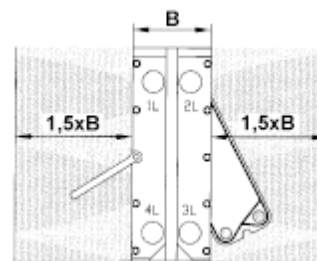
Az összeszerelt hőcserélőt a keret típusától függően fekvő vagy álló helyzetben csomagolják és szállítják. A fekvő csomagolás esetében a lemezes hőcserélőt az előlapjára fektetve biztonságosan rögzítik egy raklapra, és egy emelővillás targoncával szállítják. Az álló helyzetben csomagolt és szállításra váró hőcserélő súlypontja magasan van, felső részén súlyos. Egy falpra van lecsavarozva biztonságosan.

A lemezes hőcserélők szállítása előtt minden esetben meg kell győződni az alábbiakról:

- a felfüggesztő-emelő eszköz megfelelő méretű legyen,
- ez nem lazulhat ki és nem csúszhat meg,
- a hőcserélő emelése során ne lépjen fel oldalirányú lengő mozgás,
- a munkát végző személyek biztonságosan nagy távolságra helyezkedjenek el,
- a telepítés helyén a padozat mérete elegendő méretű, sík és kellő teherbírású legyen.

Az emeléses szállítást mindig a lemezes hőcserélő álló helyzetéből kell elkezdeni.

Nagyon fontos, hogy a hőcserélő körül megfelelő mértékű hely álljon rendelkezésre. Így megkönnyítve a hozzáférést a hőcserélőhöz, és a szükséges szervizelési munkák - az egyes lemezek kicserélése, a lemezköteg összehúzása - könnyebben elvégezhetők. Az ábrán szereplő értékek irányszámok, melyek a hőcserélőhöz kellő hozzáférést tesznek lehetővé.[9]



8.4 ábra Helyigény

8.1 Karbantartás és javítás

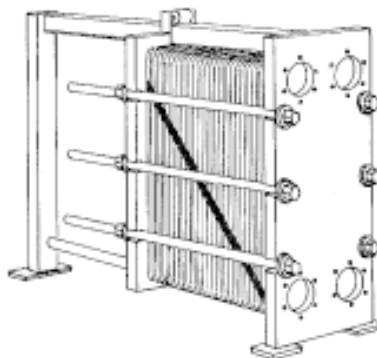
A karbantartási és javítási munkálatok során szintén fenn áll a dolgozók testi épségének kockázata. A veszély (maró, mérgező, éghető, robbanásveszélyes, stb.) elkerülése érdekében minden esetben kötelező az előírt munkavédelmi védőruházat viselése. A nyomás alatt lévő vagy feltöltött hőcserélő széthúzásakor az átáramló közeg ellenőrzés nélkül kijuthat. Ez veszélyt jelenthet mind a kezelőre, mind pedig a környezetre.

A munkálatok megkezdése előtt meg kell bizonyosodni arról, hogy a hőcserélő üres legyen és elérje a környezeti nyomást. Égés- és fagyásveszély áll fenn a forró és jéghideg átáramló közegeknél. Ezért a lemezes hőcserélőnek már korábban el kell érnie a környezeti hőmérsékletet. A hátlapot biztosítani kell a véletlen megcsúszás ellen.

A hőcserélő lemezei oldalirányba kibillenhetnek és ezzel súlyos sérüléseket okozhatnak. A lemezek behelyezésénél és a hőcserélő lezárásánál biztosítani kell, hogy a lemezek még véletlenül se tudjanak lebillenni és leesni a keretről. „CD” típusú, keretű lemezes hőcserélőn mindig legalább két személynek kell dolgoznia.

A hőcserélő lemezek leborulhatnak, ha ellenőrzés nélkül rakják őket egymásra. Következményei személyi sérülések és károsodott, sérült hőcserélő lemezek lehetnek. Sohasem szabad a hőcserélő lemezeket magasabbra rakni, mint: 30 db kazetta, 30 db hőcserélő lemez.

A lemezes hőcserélő széthúzása előtt a következő munkalépéseket kell végrehajtani: el kell távolítani a csatlakoztatott csöveket, ha szükséges. Könnyebben mozgathatók lesznek a lemezek, ha a vezetősínt megtisztítjuk, továbbá az összehúzó csavarzatok meneteit is. A szennyeződések eltávolíthatók, az anyák kopása elkerülhető. Vékonyan meg kell olajozni a meneteket. A lemezek helyes sorrendben való visszaszereléséhez javasolt a lemezkötegek oldalára egy átlós vonalat festeni. [9]



8.1 ábra Visszaszerelést segítő átlós vonal

8.2 Lemezes hőcserélő fellazítása és széthúzása

1. A hátlapon meg kell lazítani az összehúzó csavarzatokon lévő anyákat.

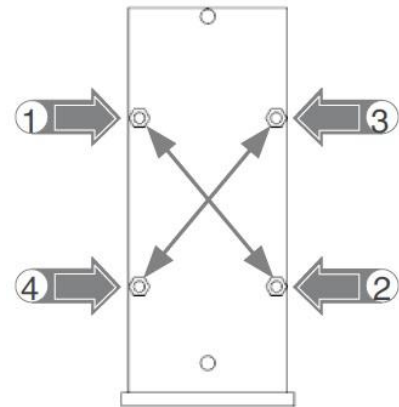
Az összehúzó csavarzatok meglazítása egyenletesen, kis lépésekben, váltakozó oldalakon, azaz: 1.2.3.4 és átlós irányban, azaz: 1.2 és 3.4 történjen. Ez megakadályozza az egyes összehúzó csavarzatok túlterhelését és a hátlap megbillenését.

Szintén így kell eljárni azoknál a keretknél, ahol négynél több összehúzó csavarzat található.

2. El kell távolítani az anyákat.

3. Majd el kell távolítani az összes összehúzó csavarzatot.

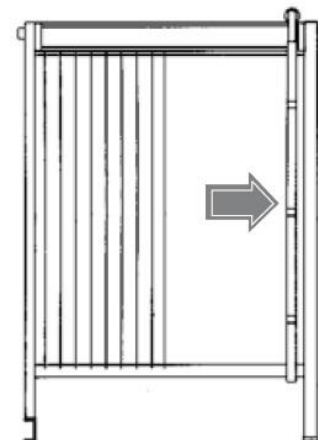
Így a lemezes hőcserélő már széthúzva áll. [9]



8.2.1 ábra Széthúzás

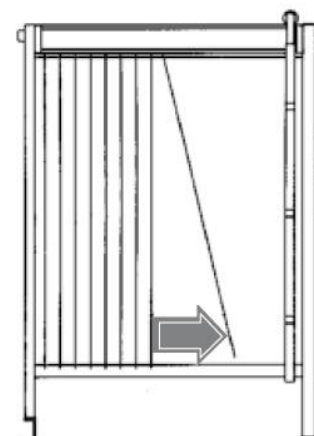
A hőcserélő lemezek eltávolításának két módja

- hátlap elcsúsztatása a hátsó támasztó oszlopig - eközben egy másik szerelőnek elcsúszás ellen rögzítenie kell a lemezköteget



8.2.2 ábra Hátlap elcsúsztatása

- lemez oldalsó irányba történő kibillentése után kivehető a tartórúd vezetősínjéből



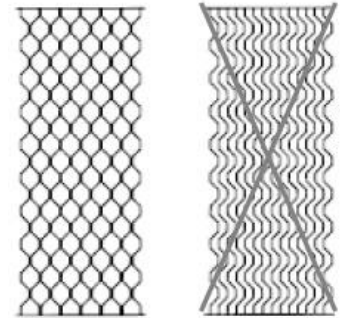
8.2.3 ábra Lemez kibillentés

8.3 Lemezek behelyezése, lemezes hőcserélő összehúzása

Az összehúzásra előírt minimum méretnél rövidebbre történő összehúzás a lemezek sérüléséhez, deformálódásához vezethet, így a hőcserélő hibásan működhet. Ennek elkerülése érdekében biztosítani kell, hogy a lemezköteget csak a szükséges méretek betartásával szorítsák össze: $a_{\min} < a < a_{\max}$.

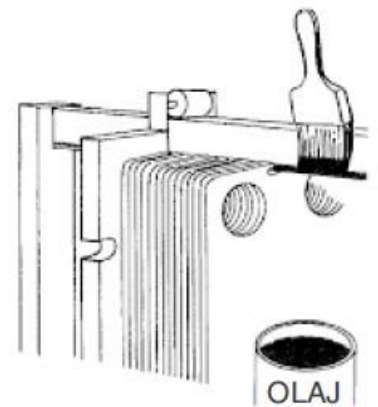
A lemezek megfelelő behelyezése után a lemezköteg külső oldalán folyamatos méhsejtszerű mintát kell mutatnia.

A lemezek helyes sorrendben való visszaszerelése ellenőrizhető a lemezkötegek oldalára festett átlós vonallal.



8.3.1. ábra Méhsejtszerű minta

1. A tömítéseknek és a hőcserélő lemezeknek idegen anyagoktól és szennyeződésektől mentesnek kell lenniük. Puha kefével vagy folyó vízzel lehet tisztítani, ha szükséges.
2. Ellenőrizni kell, hogy a tömítések helyesen illeszkedjenek a hőcserélő lemezek hornyáiba.
3. Meg kell tisztítani a keret tömítéseinek tömítő felületeit.
4. A tartórúdon lévő lemezvezető sínt meg kell tisztítani, majd vékonyan megzsírozni.
5. Az összehúzó csavarzatok meneteit és az anyákat is meg kell tisztítani, majd vékonyan megzsírozni.
6. Megfelelő sorrendben be kell helyezni az összes hőcserélő lemezt. „CD” típusú keretben a lemezköteget egy másik szerelő segítségével kell rögzíteni.
7. Szükséges összehúzási méretek megállapítása
8. Húzzák meg az összehúzó csavarzatot. Itt is váltakozva kell az oldalakon a munkát végezni és átlósan kell haladni, míg el nem éri a szükséges összehúzási méretet.
9. Tömítettség próbát kell végezni a lemezes hőcserélő újbóli üzembe helyezését megelőzően. [9]



8.3.2. ábra Zsírozás

8.4 Lemezes hőcserélő tisztítása

A lemezeken létrejövő lerakódások az alábbiakat okozhatják:

- az átáramló közegek közötti hőátadást csökkentik
- a nyomásvesztést növelik
- hőcserélő lemezek korrózióját előidézhetik vagy meggyorsíthatják.

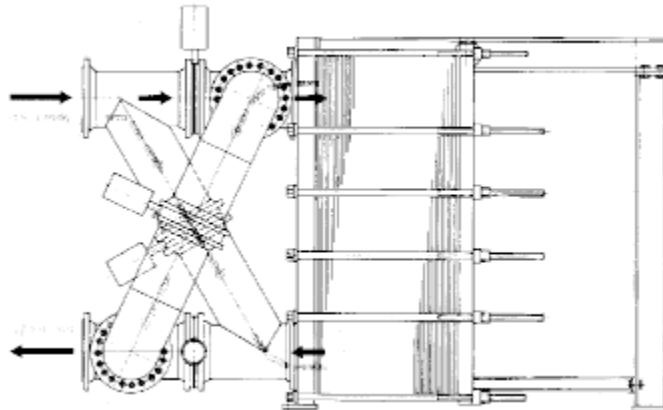
A lemezes hőcserélő speciális alkalmazása határozza meg tisztításának: - szükségességét, - módját és – gyakoriságát.



8.4.1 ábra Korrózió

Visszamosatás

Olyan esetekben szokták alkalmazni a műveletet, amikor az átáramló közegek durva, nagyméretű szennyező részecskéket tartalmaznak, így a bevezető csatornák eltömődhetnek, eldugulhatnak. Az ilyen szennyező részecskék eltávolítása úgy lehetséges, hogy a lemezes hőcserélőben az áramlás irányát kis időre megfordítjuk.



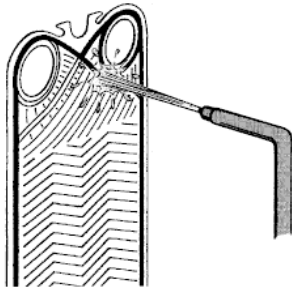
8.4.2 ábra Visszamosatás

Viszont vannak olyan esetek, amikor fennáll a veszély, hogy a szabaddá váló szennyeződésrészecskék károsíthatják a lemezes hőcserélőt. Ilyenkor a hőcserélő kézi tisztítását kell előnyben részesíteni. [9]

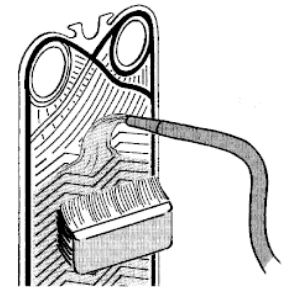
A széthúzott lemezek kézi tisztítása

Minden tisztításnál gondoskodni kell arról, hogy semmiképpen sem rakódhat le szennyeződésrészecske a tömítésre vagy a tömítés alá, mert az tömítetlenséghez vezethet.

A kemény tisztítók – például drótkefe – használata kárt tehet a lemezek felületében és a tömítések felszínén. A megsérült fémfelületek a lemezek korróziójához vezethetnek.



A nagynyomású sugár folyadékáramnak mindig szemből kell érnie a tömítéseket, így nem lazítja ki azokat.



Minden lemezt le kell mosni mindkét oldalon folyó meleg vízzel és puha kefével. [9]

8.4.3-8.4.4 ábra Lemezek tisztítása

8.5 Hőcserélők üzemeltetése

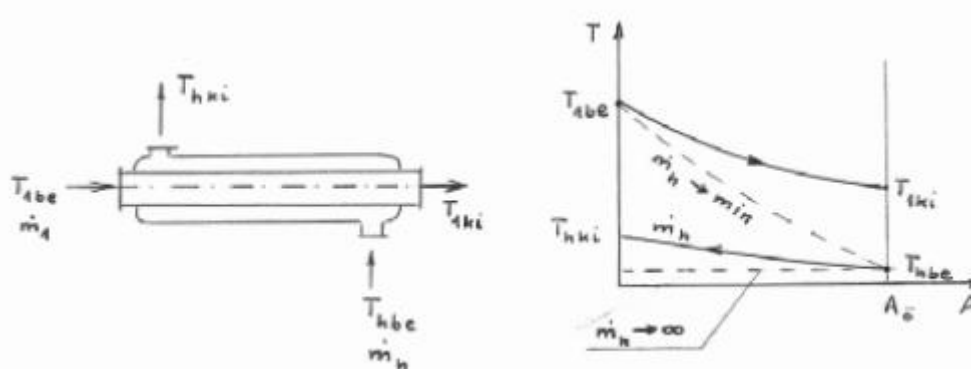
- felszínre szállítás, lerakódás, átvétel: alkalmas emelőszerkezettel
- állapotellenőrzés: csomagolás/hőcserélő állapota szemrevételezéssel, hibák jegyzőkönyvezése, adatlap ellenőrzése, teljesítésigazolás
- helyszíni mozgatás: alkalmas emelőszerkezettel
- tárolás: rövid/hosszabb időre: napfénytől védett száraz helyen, közel szobahőmérsékleten, el kell kerülni a fagyás veszélyét, oldószer-és ózonmentes atmoszféra, hosszabb időtávnál a csavarok korrózióvédelmére és a lemezköteg fellazítására kell figyelni, hogy ne kerülhessen szennyeződés a lemezek közé vagy szélére
- beépítés: hely követelményei: hozzáférés, körüljárhatóság; beállítás; csővezeték bekötése: nem adódhat át a terhelés, hátsó csőcsatlakozások alkalmazása
- üzembe helyezés: telepítés, csőkötések ellenőrzése, feltöltés, légtelenítés, üzemi paraméterek ellenőrzése
- üzemben kívül helyezés: rövid/hosszabb időre: meleg és meleg oldali szabályozószelepet lassan el kell zárni és a szivattyút le kell állítani, a műveletek között a hőcserélőt le kell hűteni, majd az összes szakaszolószzelepet zárni kell
- karbantartás: általános állagmegóvás/hibaelhárítás; tisztítás [11]

9. Gazdaságossági kérdések

A hűtőközeg kilépési hőmérsékletének megválasztása [8]

Adott hőátzármaztatási feladat esetén pl.: m_1 tömegáramú közeget kell T_{1be} hőmérsékletéről T_{1ki} hőmérsékletre hűteni. Ismert a felhasználható hűtőközeg, és annak hőmérséklete T_{hbe} .

A feladat különféle elrendezésű és különböző felületű hőcserélőkkel is megvalósítható, a hűtőközeg kilépési hőmérsékletétől és tömegáramától függően.



9.1 ábra Hűtőközeg kilépési hőmérséklete

A szélsőséges eseteket vizsgálva ellenáramú kapcsolásnál minimális tömegáramú hűtőközeg esetén a hűtőközeg kilépési hőmérséklete a hűtendő közeg belépési hőmérsékletéhez tart, $T_{hki} \rightarrow T_{1be}$, azaz a feladat végtelen felületű hőcserélővel oldható meg. Végtelen nagy tömegáramú hűtőközeg alkalmazásakor a hűtőközeg kilépési hőmérséklete gyakorlatilag nem változik $T_{hki} \rightarrow T_{hbe}$, ami minimális hőátadó felületet eredményez. A gyakorlatban megvalósuló eset a két fenti között keresendő. Ilyenkor célszerű megvizsgálni a műveleti megvalósíthatóság mellett a felmerülő költségeket is.

A hőcserélő fő költségei beruházási és üzemeltetési költségekből állnak. Elméleti megfontolások alapján a lehetséges változatok közül azt az esetet kell választani, amelyiknél az időegységre jutó költségek minimálisak. A problémát leegyszerűsítve vizsgálva, a hőcserélő költségeit úgy foghatjuk fel, hogy a készülék beruházási költsége a hőátadó felülettel, míg az üzemeltetési költsége a hűtőközeg mennyiségével arányos. Az összes – időegységre vonatkoztatott – költséget a beruházási és az üzemeltetési költség összege adja.

$$K_0 = K_B + K_Ü$$

A beruházási költség a megtérülési idő figyelembe vételével, valamint a hőcserélők alapegyenletének felhasználásával:

$$K_B = \frac{K_B}{t_{megt}} = \frac{f_B \cdot A}{t_{megt}} = \frac{f_B}{t_{megt}} \cdot \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{köz}}$$

ahol: f_B : hőcserélő felülettel arányos fajlagos költség pl.: [Ft/m²]

t_{megt} : a megtérülési idő.

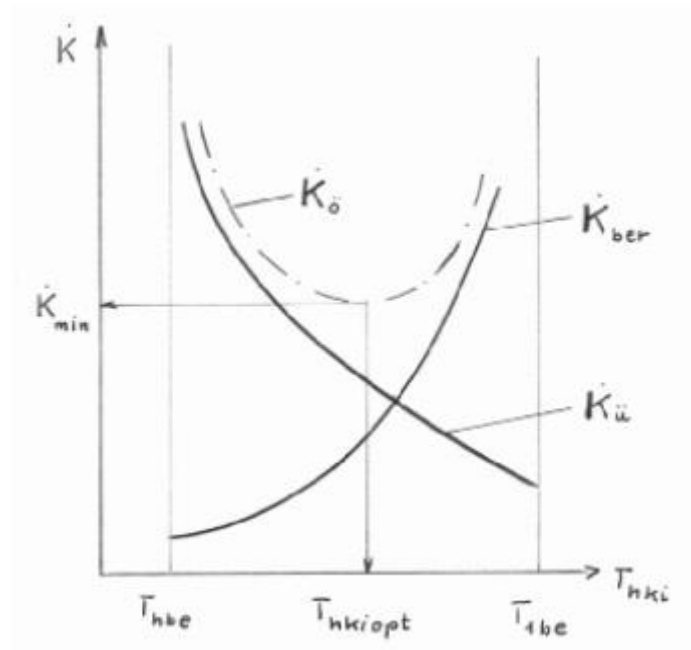
Az üzemeltetési költség a hűtőközeg tömegáramára vonatkozó egyenlet felhasználásával:

$$K_{\dot{u}} = f_{\dot{u}} \cdot m_h = f_{\dot{u}} \cdot \frac{Q}{c_{ph} \cdot (T_{hki} - T_{hbe})}$$

ahol: $f_{\dot{u}}$: a hűtőközeg tömegével arányos fajlagos költség pl.: [Ft/kg].

Ábrázoljuk az egyenletekkel meghatározott költségeket a hűtőközeg kilépési hőmérséklete függvényében. Ha a hűtőközeg kilépési hőmérsékletét növeljük, akkor a beruházási költség nő, mivel T_{hki} növekedésével /ha a többi hőmérséklet változatlan marad/ csökken a közepes hőmérséklet különbség, ezáltal a felület nő, ami a beruházási költség növekedését eredményezi. Ugyanakkor a hűtőközeg kilépési hőmérsékletének növekedésével csökken a hűtőközeg felhasználás, ami az üzemeltetési költségek csökkenését vonja maga után. A két ellentétes tendenciájú függvény összegének minimuma van, melynél kisebb az összes költség. Ehhez az értékhez tartozó hűtőközeg hőmérséklet jelenti az optimális kilépő hűtőközeg hőmérsékletet.

A fent vázolt probléma megoldása ennél a tárgyalásmódnál a valóságban lényegesen összetettebb és sokrétűbb. Vannak esetek, amikor a hűtőközeg kilépési hőmérsékletét az itt tárgyaltakon kívül más egyéb szempont is befolyásolja. Ilyen a gyakorlatban számtalan esetben hűtőközegként alkalmazott hűtővíz esete. Lágymódú víz esetén a hőmérséklet növekedése vízkő kiválását eredményezi, ami lerakódást és a hőátadási tényező csökkenését eredményezi. Ezért kezeletlen ipari víz esetén a kilépési hőmérséklet nem szokta meghaladni 42-45 °C-ot, még akkor sem, ha az optimális kilépési hőmérséklet ennél nagyobb lenne. [8]



9.2 ábra Költségek alakulása a hűtőközeg kilépési hőmérséklete függvényében

9.1 Éves költség hőcserélőre

A szakirodalom az éves költségre hőcserélők esetében a következő egyenletet ajánlja:

$$C_{dep} = V \cdot \underbrace{\frac{t_{be} - t_{ki}}{\Delta t}}_{\text{factor 1}} \cdot \left(\underbrace{\frac{a \cdot C_A \cdot \rho \cdot c}{k}}_{\text{factor 2}} + \underbrace{\frac{48 \cdot J \cdot u \cdot C_b}{\eta}}_{\text{factor 3}} \right)$$

ahol:

a : tőke és értékcsökkenés faktor

C_A : tőke beruházás a fűtőfelületre [$\$/m^2$]

u : felhasználási faktor

C_b : energiaköltségek [$\$/kWh$]

η : teljes szivattyú hatásfok

$factor\ 1$: összköltség faktor

$factor\ 2$: tőke költség faktor

$factor\ 3$: energia-költség faktor. [3]

Ezek a gazdaságossági számítások akkor adnak megbízható eredmény, ha a hőátadási tényezők értékeit helyesen, a valóságnak megfelelően tudjuk kiszámítani. Ezért fontos, hogy egy adott típusú, geometriájú hőcserélő esetén milyen összefüggéseket használunk a hőátadási tényezők meghatározására.

A megfelelő hőcserélő kiválasztásánál arra is tekintettel kell lenni, hogy a fűtési rendszerekben az egyik oldali közeg tömegáramának változtatásával szabályozzák a hőátviteli folyamatot. A hőcserélőnek nem csak egy statikus üzemponthoz, hanem egy üzemeltetési tartományban kell megoldania a feladatot, úgy hogy ez közben gazdaságos is legyen. A különböző üzemállapotok műveleti számításaihoz szintén szükséges a hőátadási tényezők pontos ismerete.

10. Felhasznált irodalom

- [1] Fejes Gábor - Fábry György: Vegyipari gépek és műveletek II., Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1975
- [2] Dr. Mucskai László: Hőcserélők termikus és hidraulikai méretezése, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1973
- [3] ThermalHandbook: Published by ALFA LAVAL Sweden
- [4] Gróf Gyula: Hőközlés (jegyzet), Budapest, 1999
- [5] Dr. Fábry György: Vegyipari gépészek kézikönyve, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1987
- [6] Hsieh, Y.Y., Lin, T.F.: Saturated flow boiling heat transfer and pressure drop of refrigerant R-410A in a vertical plate heat exchanger, International Journal of Heat and Mass transfer 45 (2002), 1033-1044
- [7] Klaus Sattler: Termikus elválasztási módszerek, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1985
- [8] Dr. Örvös Mária: Termikus eljárások és berendezések, kézirat, Budapest, 2001

Forrásjegyzék

- [9] http://www.szovaterm.hu/pdf/lemezes_hocs/gea_hocs_haszn.pdf
- [10] www.mataszsz.hu Kovács Zsolt: Lemezes hőcserélők alkalmazási üzemeltetési tapasztalatai
- [11] www.epgep.bme.hu Hőcserélők Alapkövetelmények Kialakítások
- [12] <http://futestechnika.danfoss.com>

11. Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet nyilvánítani konzulenseimnek TDK dolgozatom elkészítésében nyújtott segítségéért. És mindazon személyeknek, akik közreműködtek létrejöttében.

12. Melléklet

A hőátadási tényezők különböző módszerekkel való meghatározásának számítási táblázata.

ADATOK

megnevezés:	jel:	érték:	mért.e.:
lemez hőátadó magassága	L	0,32	m
lemez szélesség	b	0,254	m
borda szög	α	125	°
lemezvastagság	s	0,0008	m
csatornaszám	N	24	db
lemezek közötti távolság	d	0,0018	m

1 közeg: víz

térfogatáram	V1	0,001469	m ³ /s
sűrűség	ρ_1	955,4	kg/m ³
hővezető képesség	λ_1	0,681	W/mK
viszkozitás	ν_1	0,000261	kg/ms
viszk. falhőmérsékleten	ν_{w1}	0,000304	kg/ms
fajhő	c1	4,222	J/kgK

2 közeg: víz

V2	0,003678
ρ_2	971,8
λ_2	0,670
ν_2	0,000364
ν_{w2}	0,000328
c2	4,196

csatorna keresztmetszet	Ac	0,0004572	m ²
nedvesített terület	P	0,5116	m
hidraulikus átmérő	Dh	0,003575	m
áramlási sebesség	v_1	0,134	m/s
Reynolds-szám	Re1	1461	nincs
Prandtl-szám	Pr1	1,546	nincs

v_2	0,335
Re2	2570
Pr2	2,215

1. Marriott [2]

Nusselt-szám	Nu1	54,94	nincs
hőátadási tényező	α_1	10467,36	W/m ² K

Nu2	93,87
α_2	17593,87

2. Prifti [1]

Nusselt-szám	Nu1	34,42	nincs
hőátadási tényező	α_1	6557,86	W/m ² K

Nu2	57,38
α_2	10755,25

3. Colburn faktorból kifejezve [3]

Colburn faktor	jh1	0,054	nincs
Nusselt-szám	Nu1	68,23	nincs
hőátadási tényező	α_1	12998,40	W/m ² K

jh2	0,053
Nu2	104,49
α_2	19584,02

4. Mc Adams - Colburn faktorból kifejezve [1] [3]

Nusselt-szám	Nu1	10,24	nincs
hőátadási tényező	α_1	1950,82	W/m ² K

Nu2	21,20
α_2	3973,18

5. Hsieh-Lin [6]

Nusselt-szám	Nu1	69,63	nincs
hőátadási tényező	α_1	13264,57	W/m ² K

Nu2	126,41
α_2	23693,37