

MODULÁRIS KORSZERŰ SZAKMAI GYAKORLATOK
VEGYIPARI TERÜLETRE

Vegyipari műveleti gyakorlatok

II/14. évfolyam

TANULÓI JEGYZET

A TISZK RENDSZER TOVÁBBFEJLESZTÉSE – PETRIK TISZK

TÁMOP-2.2.3-07/1-2F-2008-0011

A projekt az Európai Unió támogatásával,
az Európai Szociális Alap
társfinanszírozásával valósult meg.



VEGYIPARI MŰVELETI GYAKORLATOK

II/14. ÉVFOLYAM

TANULÓI JEGYZET

A kiadvány a TÁMOP-2.2.3-07/1-2F-2008-0011 azonosító számú projekt keretében jelenik meg.

Szerző: Csirmaz Antal

Lektor: Szabó László

Borító és tipográfia: Új Magyarország Fejlesztési Terv Arculati kézikönyv alapján

A mű egésze vagy annak részletei – az üzletszerű felhasználás eseteit ide nem értve – oktatási és tudományos célra korlátozás nélkül, szabadon felhasználhatók.

A tananyagfejlesztés módszertani irányítása: Observans Kft. Budapest, 2009.
Igazgató: Bertalan Tamás

Tördelés: Király és Társai Kkt. • Cégvezető: Király Ildikó

TARTALOMJEGYZÉK

1. ÜLEPÍTÉS MŰVELETE	7
1.1. Ülepítés elmélete	7
1.1.1. Ülepítési művelet fogalma.....	7
1.1.2. Ülepítési művelet elmélete	7
1.2. Gyakorlati feladat megvalósítása.....	10
1.2.1. Folyamatos Dorr-ülepítő berendezés derítési hatásfokának és leválasztható határszemcse-méretének meghatározása mérésrel.....	10
1.3. Ellenőrző feladatok az ülepítés témaköréből	15
1.3.1. Számítási feladat 1.....	15
1.3.2. Számítási feladat 2.....	15
2. SZŰRÉS ÉS BERENDEZÉSEI	18
2.1. Szűrés elméleti összefüggései.....	18
2.1.1. Szűrési művelet elmélete, csoportosítása	18
2.1.2. A szűrés alapfogalmai.....	19
2.1.3. Optimális szűrlet mennyiség, maximális szűrési teljesítmény fogalma	19
2.1.4. D’Arcy féle szűrési alapegyenlet.....	20
2.1.5. Állandó nyomásesésű szűrés ($\Delta p = \text{áll.}$).....	21
2.1.6. Állandó sebességű szűrés ($q_0 = \text{áll.}$)	22
2.2. Gyakorlati feladat megvalósítása.....	22
2.2.1. Keretes szűrőprés szűrési teljesítményének meghatározása mérésrel.....	22
2.2.2. Keretes szűrőprés szűrési állandóinak meghatározása mérésrel	24
3. A KEVERÉS MŰVELETE.....	27
3.1. Keverés elméleti összefüggései.....	27
3.1.1. Keverési műveletek meghatározása, csoportosítása	27
3.1.2. A keverés alapfogalmai.....	27
3.2. Gyakorlati feladat megvalósítása.....	32
3.2.1. Modell keverős berendezés keverési ellenállástényezőinek meghatározása mérésrel.....	32
3.3. Ellenőrző feladatok a keverés témaköréből	37
3.3.1. Számítási feladat 1.....	37
4. HŐKÖZLÉSI FOLYAMAT VIZSGÁLATA	40
4.1. Elméleti kérdések	40
4.1.1. Hőátbocsátás elméleti kérdései.....	40
4.1.2. A felületi hőcserélők hőtani méretezése	41
4.2. Gyakorlati feladat megvalósítása.....	43
4.2.1. Kettőscsőves, egyenáramú hőcserélő hőátbocsátási tényezőjének meghatározása mérésrel.....	43
4.2.2. Merev csőköteges, ellenáramú hőcserélő hőátbocsátási tényezőjének meghatározása mérésrel.....	46
4.3. Ellenőrző feladatok	50
4.3.1. Hőmérsékletfelület-diagramok	50

4.3.2. Hőfoklefutás a falban.....	51
4.3.3. Gőzfűtésű csőköteges hőcserélő méretezése	53
5. KALORIFER.....	55
5.1. Elméleti kérdések	55
5.1.1. Kaloriferek alkalmazása	55
5.1.2. Nedves levegő állapotjelzői.....	55
5.1.3. Kalorifer típusok.....	57
5.1.4. Melegvíz-fűtésű kalorifer	58
5.1.5. A kalorifer hőtani méretezése	59
5.2. Gyakorlati feladat megvalósítása.....	62
5.2.1. Kalorifer hőátbocsátási tényezőjének meghatározása méréssel	62
6. FLUIDIZÁCIÓS SZÁRÍTÁS	67
6.1. Elméleti összefüggései	67
6.1.1. Konvekciós szárítás fogalma	67
6.1.2. A konvekciós szárítás anyagmérlege	67
6.1.3. Konvekciós szárítási folyamat ábrázolása Mollier-féle t-x-h diagramon.....	69
6.2. Gyakorlati feladat megvalósítása.....	69
6.2.1. Fluidizációs szárítólevegő és hőszükségletének, valamint termikus hatásfokának meghatározása méréssel.....	69
6.3. Ellenőrző feladat	73
7. IPARI (FÉLÜZEMI) BEPÁRLÓ	78
7.1. Elméleti ismeretek	78
7.1.1. A bepárlás fogalma	78
7.1.2. Filmbepárlók kialakítása.....	78
7.1.3. A bepárlás anyagmérlege	79
7.1.4. A bepárlás hőmérlege.....	79
7.1.5. Hőveszteség számítása, a termikus hatásfok	80
7.1.6. Hőcserélő hőátbocsátási tényezőjének meghatározása.....	80
7.1.7. Közepes hőmérsékletkülönbség számítása bepárlásnál.....	80
7.2. Gyakorlati feladat megvalósítása	81
7.2.1. Ipari filmbepárló optimális fordulatszámának meghatározása	81
7.3. Számítási feladat	84
8. SZAKASZOS ÜZEMŰ BEPÁRLÓ	88
8.1. Szakaszos üzemű bepárlás elmélete.....	88
8.1.1. Szakaszos üzemű filmbepárló kialakítása.....	88
8.1.2. A bepárlás anyagmérlege	89
8.1.3. A bepárlás hőmérlege.....	90
8.1.4. Hőveszteség számítása, a termikus hatásfok	90
8.1.5. Hőcserélő hőátbocsátási tényezőjének meghatározása.....	91
8.1.6. Közepes hőmérsékletkülönbség számítása bepárlásnál.....	91

8.2. Gyakorlati feladat	91
8.2.1. A filmbepárló termikus hatásfokának meghatározása különböző üzemi nyomáson.	91
9. FOLYAMATIRÁNYÍTÁSI ESZKÖZÖK, FOLYAMATVEZÉRLŐ PROGRAMOK.....	95
9.1. Áramlástan ellenállásokat vizsgáló berendezés és a folyamatvezérlő program leírása [5]	95
9.1.1. A berendezés műszaki leírása	95
9.1.2. Áramlástan ellenállásokat vizsgáló berendezés folyamatvezérlő program leírása, kezelése	103
9.2. Szivattyúvizsgáló-berendezés és a folyamatvezérlő program leírása, kezelése [6]	111
9.2.1. A berendezés műszaki leírása	111
9.2.2. A szivattyúvizsgáló folyamatvezérlő program leírása	115
9.3. Fluidizációs szárító berendezés folyamatvezérlő program leírása, kezelése [3].....	119
9.3.1. ADAM adatgyűjtő	119
9.3.2. Folyamatvezérlő menürendszere	121
10. MÉRŐ- ÉS IRÁNYÍTÓMŰSZEREK KARBANTARTÁSA.....	132
10.1. Hőmérsékletérzékelők [4].....	132
10.1.1. Hőelem (Fe-Ko).....	132
10.1.2. Hőellenállás (Pt 100)	134
10.1.3. Termisztor	136
10.2. Áramlásmérők [4]	137
10.2.1. Áramlásmérés vizórával, mérőperemmel és Pitot-csővel.....	137
10.2.2. Karbantartási feladat	142
10.3. Végrehajtó beavatkozók	143
10.3.1. Motoros szelep.....	143
10.3.2. Pneumatikus membránszelepek karbantartása	143
FÜGGELÉK	144
INFORMÁCIÓS LAPOK.....	146
1. GYAKORLAT • Folyamatos Dorr-ülepítő berendezés derítési hatásfokának és leválasztható határszemcse-méretének meghatározása méréssel.....	
146	
2. GYAKORLAT • Keretes szűrőprés szűrési teljesítményének meghatározása méréssel	
148	
3. GYAKORLAT • Modell keverős berendezés keverési ellenállás tényezőinek meghatározása méréssel	
150	
4. GYAKORLAT • Kettőscsőves, egyenáramú hőcserélő hőátbocsátási tényezőjének meghatározása méréssel.....	
152	
5. GYAKORLAT • Merev csőköteges, ellenáramú hőcserélő hőátbocsátási tényezőjének meghatározása méréssel.....	
154	
6. GYAKORLAT • Kalorifer hőátbocsátási tényezőjének meghatározása méréssel	
156	
7. GYAKORLAT • Fluidizációs szárító levegő- és hőszükségletének, valamint termikus hatásfokának meghatározása méréssel.....	
158	
8. GYAKORLAT • Fluidizációs szárító berendezés folyamatvezérlő program leírása, kezelése	
160	
MELLÉKLET	162
FELHASZNÁLT IRODALOM	164

1. ÜLEPÍTÉS MŰVELETE

1.1. ÜLEPÍTÉS ELMÉLETE



Ennek a témakörnek az a célja, hogy megismerkedjünk a szuszpenzió szétválasztási műveletek közül a gravitációs erőterben történő szétválasztási művelettel, az ülepitési művelettel.

1.1.1. Ülepitési művelet fogalma



Az ülepités gravitációs erőterben történő szétválasztási művelet, amely művelettel heterogén rendszerek (emulziók és szuszpenziók) választhatók szét.

Az ülepitéssel történő levegő- ill. gáztisztítás témakörét a por- és cseppleválasztásnál tárgyaljuk.

Ha egy üveghengerbe szilárd anyag-folyadék (pl. krépor-víz) elegyét, azaz szuszpenziót öntünk, és megfigyeljük a rendszert, akkor azt tapasztaljuk, hogy a szilárd anyag szemcséi bizonyos idő elteltével az üveghenger alján gyűlnek össze. Miközben a szilárd szemcsék a folyadékban lefelé haladnak, ülepednek, az eredetileg heterogén anyagrendszer két homogén fázisra válik szét. Végtelen hosszú idő elteltével az üveghenger felső részében tiszta folyadékfázis (tiszta víz), míg az alsó részen a leülepedett, nagy koncentrációjú iszap különül el.

Az ülepedés törvényszerűségeinek megismeréséhez tanulmányozzuk egy gömb alakú szilárd szemcse mozgását, ha azt homogén folyadékba helyezük! Mint az a fizika tanulmányainkból ismert, a golyó lebeghet, felúszhat vagy lesüllyedhet a folyadékban. Tételezzük fel, hogy a szilárd anyag sűrűsége nagyobb a folyadék sűrűségénél!



Mit gondolsz, hogy fog ülepedni a folyadékba helyezett szemcse? Egyenletes sebességgel fog süllyedni, vagy esetleg gyorsuló mozgást fog végezni?

A folyadékba helyezett golyó rövid idő elteltével *egyenletes* mozgással fog süllyedni, ülepedni, hasonlóan az ejtőernyős ereszkedéséhez. Egy test akkor végez állandó sebességű mozgást, ha a testre ható erők egyensúlyban vannak.

1.1.2. Ülepitési művelet elmélete



Ön szerint milyen erők hatnak a folyadékban ülepedő gömb alakú szilárd szemcsére?

Egy ülepedő (gömb alakú) szemcsére hat a nehézségi erő, amelynek nagysága (F_g) arányos a test tömegével, a folyadék felhajtóereje (F_f), valamint a közegellenállása következtében a (F_k) mozgással ellentétes irányban ható közegellenállási erő.



Egyensúly esetén:

$$F_g = F_f + F_k$$

Az erők egyensúlyának egyenletéből – az összetevők tényezőinek ismeretében – kiszámíthatjuk a gömb alakú részecskék ülepedési sebességét.

Átrendezve az egyenletet:

$$F_k = F_g - F_f$$

– Ha a szilárd gömb sűrűsége ρ_s , átmérője d , akkor a térfogata: $V = \frac{d^3 \cdot \pi}{6}$, a tömege:

$$m = \frac{d^3 \cdot \pi}{6} \cdot \rho_s \quad \text{és a súlyerő: } F_g = \frac{d^3 \cdot \pi}{6} \cdot \rho_s \cdot g.$$

– Ha a folyadék sűrűsége: ρ_f , akkor a felhajtóerő:

$$F_f = \frac{d^3 \cdot \pi}{6} \cdot \rho_f \cdot g$$

A közegellenállási erő, amely a mozgással mindig ellentétes irányú, a következő összefüggéssel írható fel:

$$F_k = k \cdot A \cdot \Delta p_{din} = k \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot \frac{\rho_f \cdot v_{ü}^2}{2}$$

ahol a „ Δp_{din} ” a lefelé ülepedő szemcse alsó és felső félgömbje közötti nyomáskülönbsége, „ k ” a közegellenállási tényező, „ A ” a gömbrészecske ülepedési sebességre merőleges keresztmetszete (vetülete), „ $v_{ü}$ ” a szemcse ülepedési sebessége.

Visszatérve a három erő egyensúlyára, behelyettesítve:

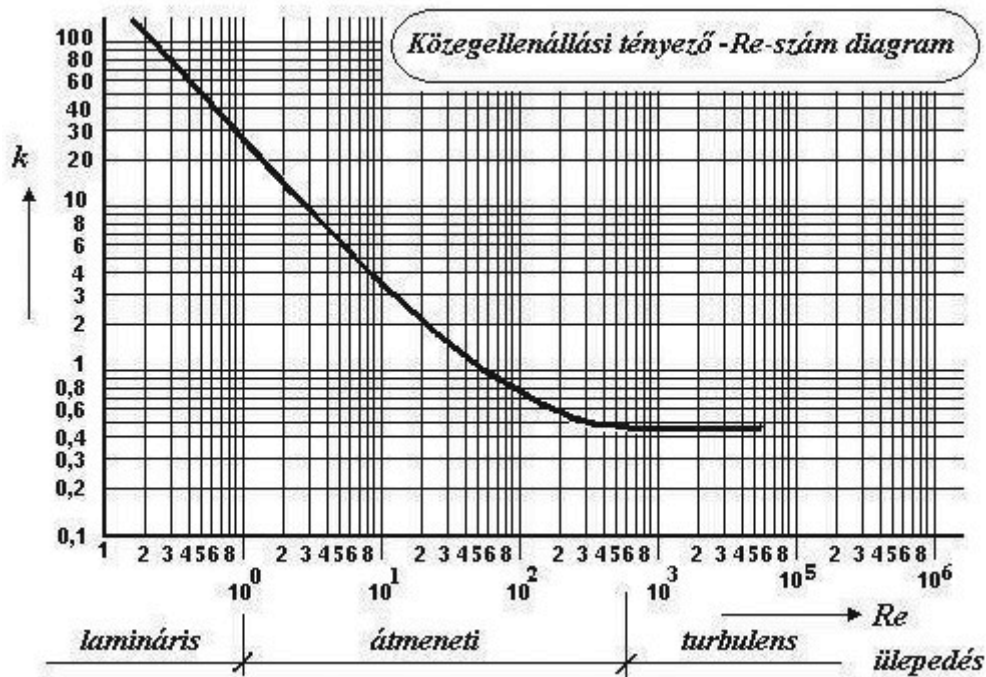
$$k \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot \frac{\rho_f \cdot v_{ü}^2}{2} = \frac{d^3 \cdot \pi}{6} \cdot \rho_s \cdot g - \frac{d^3 \cdot \pi}{6} \cdot \rho_f \cdot g$$

Innen az ülepedési sebesség általános kifejezése:

$$v_{ü}^2 = \frac{4 \cdot d \cdot (\rho_s - \rho_f) \cdot g}{3 \cdot \rho_f \cdot k}$$

A „ k ” közegellenállási tényező az áramlás jellegétől függ:

- lamináris esetben, ha Reynolds-szám < 1 , akkor $k = \frac{24}{Re}$;
- itt jegyezzük meg, hogy az ülepedések általában *laminárisak*;
- átmeneti esetben, $1 < Re < 600$, akkor $k = \frac{10}{\sqrt{Re}}$;
- turbulens esetben, ha $Re > 600$, akkor $k = 0,44$, vagyis állandó.



A közegellenállási tényező – teljesen azonosan a már tanult csősúrlódási tényezővel, a szelepek ellenállás-tényezőivel, és a sorra kerülő keverési ellenállás-tényezővel – a kis Re-számoktól kiindulva lamináris esetben a mutatják a legnagyobb értéket, a Re-szám növelésével hiperbolikusan csökkennek, és a turbulens tartomány kezdetétől állandóságot mutatnak. A fenti közegellenállási tényező turbulens esetben gömb szemcsére vonatkozóan $k = 0,44$. Különböző alakú áramlásba helyezett testekre az alakellenállás tényező értéke közelítően: síklapra 1,1 ; félgömbhőjra 0,5; félgömbhőj megfordítva 1,5; cseppalak 0,22.

Az általános sebesség kifejezésébe behelyettesítve a lamináris ülepedés kifejezését:

$$k = \frac{24}{Re} = \frac{24}{\frac{d \cdot v_{\ddot{u}} \cdot \rho_f}{\mu_f}},$$

innen a lamináris ülepedési kifejezés:

$$v_{\ddot{u}}^2 = \frac{4 \cdot d \cdot (\rho_s - \rho_f) \cdot g}{3 \cdot \rho_f \cdot k} = \frac{4 \cdot d \cdot (\rho_s - \rho_f) \cdot g}{3 \cdot \rho_f \cdot \frac{24}{\frac{d \cdot v_{\ddot{u}} \cdot \rho_f}{\mu_f}}}$$



$$v_{\ddot{u}} = \frac{d^2 \cdot (\rho_s - \rho_f) \cdot g}{18 \cdot \mu_f}, \text{ ha az ülepedés lamináris, vagyis } Re = \frac{d \cdot v_{\ddot{u}} \cdot \rho_f}{\mu_f} < 1$$

A folyadék viszkozitása (μ_f vagy ν_f) a mozgékonyság, az önthatóság, a hígán vagy sűrűn folyósság mértéke, amelynek nagysága jellemzi a mozgó közegek áramlásának minőségét, sebességviszonyait, energiaértékeit, a szuszpenziók állandóságát stb.

A lamináris ülepedés úgy is meghatározható, hogy az ülepedő gömb körül nem alakulnak ki örvények. Az örvénymentes és az örvényes áramlás megkülönböztethető az ún. Reynolds-szám értékével.

A Reynolds-szám a következő összefüggéssel számítható ki:

$$Re = \frac{d \cdot v_{ii}}{v_f} = \frac{d \cdot v_{ii} \cdot \rho_f}{\mu_f},$$

ahol a v_f a közeg kinematikai viszkozitása ($v_f = \frac{\mu_f}{\rho_f}$). A Reynolds-számnak nincs mértékegysége.

1.2. GYAKORLATI FELADAT MEGVALÓSÍTÁSA

1.2.1. Folyamatos Dorr-ülepítő berendezés derítési hatásfokának és leválasztható határszemcse-méretének meghatározása méréssel



Ennek a gyakorlati mérésnek az a célja, hogy különböző zagy betáplálások mellett meghatározzuk a Dorr-ülepítő derítési hatásfokait, valamint a leválasztható határszemcse-átmérőket.

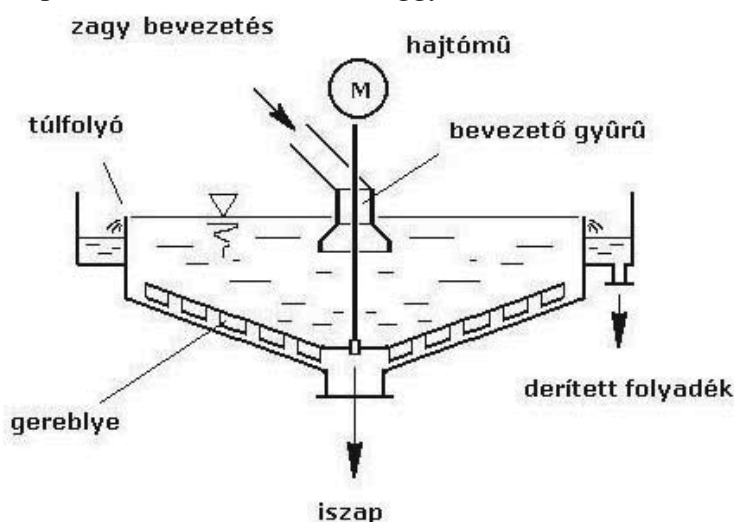
1.2.1.1. A berendezés leírása

Az ülepítés ipari körülmények között olyan művelet, amely során nagy mennyiségű szuszpenzió választható szét. Az ülepítés célja lehet a tiszta folyadékfázis kinyerése, ez a derítés. Lehet a cél a kis folyadéktartalmú szilárd fázis kinyerése is, ekkor a művelet neve zagysűrités.

A tapasztalatok szerint csak nehézségi erő hatására a 0,5 μm -nél kisebb átmérőjű szemcsék nem ülepednek, mivel az ilyen kis méretű szemcsék ülepedését gátolja a Brown-féle mozgás. Ilyenkor a szemcsékhez összecsomósító (koaguláló-) vagy pelyhesítő (flokkuláló-) szert kell adagolni.

Az iparban használt ülepítőberendezések többsége folytonos üzemű, azaz a szuszpenzió folyamatos betáplálása mellett folyamatos a tiszta folyadék és a sűrített zagy elvétele.

A folytonos üzemű ülepítőberendezések közül a leggyakoribb a Dorr-féle ülepítőkád (1. ábra).



1. ábra. Dorr-ülepítő felépítése

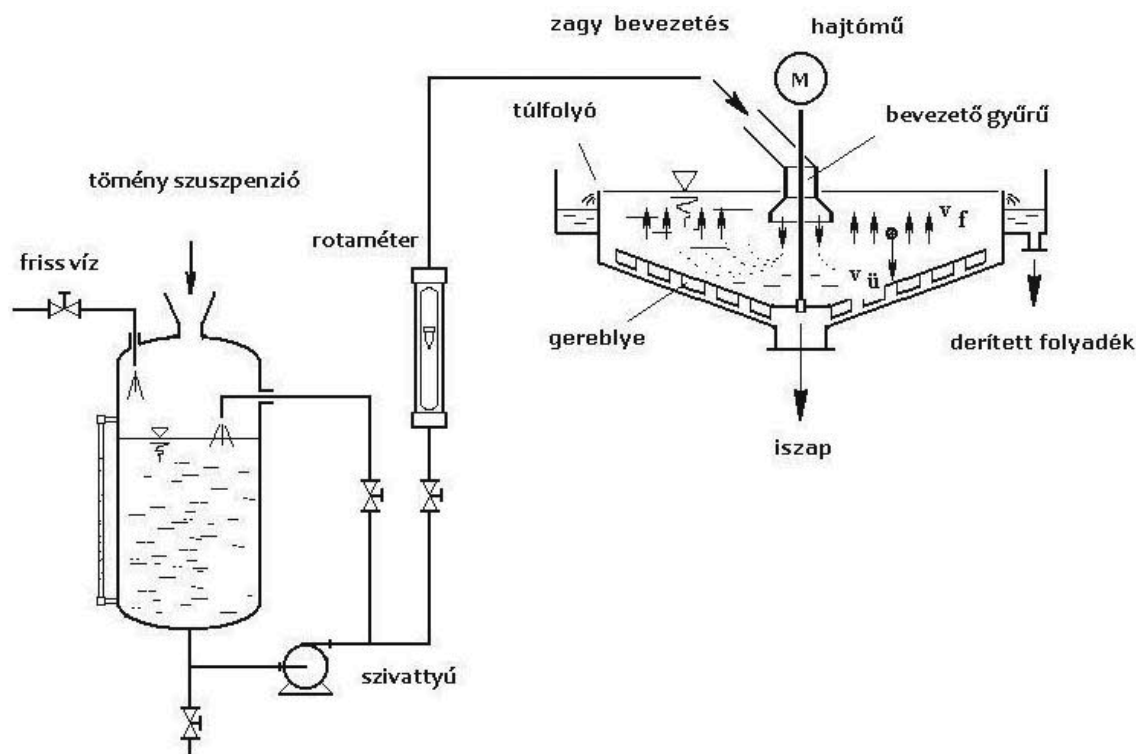
A Dorr-féle ülepítő hengeres készülék, vagy betonból épített medence, amelynek átmérője lehet akár 200 m is. A tartály fenekére leülepedett iszapot egy lassan forgó iszapterelő szerkezet a központi, alsó ürítőnyíláshoz szállítja, ahonnan az szivattyúra kapcsolt csővezetékben elszállítható. A derített tiszta folyadék az ülepítő felső peremén túlcserogva, gyűjtőcsatornába folyik, amelyből szintén elvezethető. A szétválasztható szuszpenziót felül, az ülepítőtengely mentén vezetjük be.

Az iszapok derítési sebessége növelhető ferde síkú, párhuzamos elrendezésű lapok beépítésével az ülepitőbe. A lapok közötti rétegek alján növekszik az iszap sűrűsége, a rétegek tetején pedig csökken. Ennek következtében a sűrűségkülönbség növeli azt az áramlási sebességet, amellyel a tiszta folyadék felfelé, a sűrűbb iszapos réteg pedig lefelé áramlik.

Az egészen nagy (nagyobb, mint 60 m) átmérőjű ülepitőknél az iszapterelő-szerkezetet nem központi tengellyel forgatják, hanem a terelőlapokat tartó kart – a tartály vagy a medence peremén lassan körben járó – kocsis forgatja.

Az iszap elvezetése a tartály fenekének közepe helyett, annak szélén is lehetséges. Ilyenkor a terelőlapokat a tartály széle felé szállítják az iszapot.

1.2.1.2. A berendezés kapcsolási rajza



2. ábra. Dorr-ülepítő kapcsolási rajza

1.2.1.3. Mérés menete

A mérést 100 liter 1%-os kalcium-karbonát szuszpenzióval végezzük, amelyet a keverőtartályban kell előkészíteni. A mérés során három-négy alkalommal mintát veszünk a betáplált zagyból, a derítményből és az iszaptól. A mintákat vákuumszűrjük, majd szárítjuk és meghatározzuk a koncentrációkat.

A készülék üzembe helyezése és a mérés az alábbiak szerint történjen:

1. ellenőrizzük a berendezést, azonosítjuk fő részeit, meghatározzuk a szükséges geometriai méreteket (előkészítőtartály fő méretei a térfogatszámításhoz, az ülepitő átmérője);
2. az előkészítőtartályba adagolva 100 liter friss vizet vezetünk;
3. bekapcsoljuk a keringtetőszivattyút, az ülepitő felé menő ág zárva tartása mellett keringtetjük a folyadékot;
4. 1 kg kréta por 7–8 liter vízben történő szuszpendáltatásával sűrű szuszpenziót készítünk, majd beöntjük az előkészítőtartályba;
5. a szuszpenziót 15–20 percig kényszer-cirkulációval keverjük;
6. beállítjuk az iszapelvezető kaparó szerkezet fordulatszámát, $n = 0,5-0,75$ ford./perc értékre, meggyőződve arról, hogy az iszapot nem keveri fel;

7. a visszavezető ág óvatos fojtásával és a betáplálás nyitásával beállítunk az első betáplálási térfogatáramot,
8. kissé nyitjuk az iszapelvezető-csapot, az iszapkoncentráció lehetőleg 10–20 w% körül legyen;
9. az ülepitő feltöltése és az egyensúly beállta után, ami kb. 15–20 perc, mintát veszünk (500 cm³) a betáplálásból, a derített folyadékból, valamint az iszapból;
10. visszamérjük a keletkezett iszap mennyiségét;
11. a mintákat az előre pontosan lemért szűrőpapíron keresztül levákuumozzuk, teljesen kiszárítjuk, visszamérjük;
12. mérés közben folyamatosan végezzük a koncentráció meghatározási műveleteket;
13. beállítjuk a soron következő betáplálási értéket és az új iszapelvételi sebességet, az egyensúly beállta után mintát veszünk a derített folyadékból,
14. a beállítások és a mintavételezések után az ülepitést addig végezzük, amíg az előkészítőtartály ki nem ürül;
15. előkészítőtartályt, és az ülepitőberendezést a mérés után kimossuk;
16. meghatározzuk a minták koncentrációit;
17. kiszámoljuk a betáplálási értékekhez tartozó derítési hatásfokokat;
18. a derítési hatásfokokat ábrázoljuk a betáplálás függvényében;
19. számítással igazoljuk a betáplálásokhoz tartozó anyagmérleget, meghatározzuk a derítési teljesítményeket;
20. a gyakorlati mérések adataival és a készülék átmérő ismeretében visszaszámolunk leválasztott határszemcse átmérőre;
21. jegyzőkönyv készítése, amely tartalmazza a feladat leírását, a berendezés kapcsolási rajzát, a mérési adatokat táblázatos formában, a szükséges számításokat, diagramokat, valamint a mérés összefoglalását.

1.2.1.4. Mérési adatok rögzítése táblázatban

Mérési adatok				Számított értékek				
rotaméter	g szilárd anyag/500 g zagy mintában			koncentrációk (w%)			derítési	
zagy betáp (kg/h)	betáp	derítmény	iszap	betáp	derítmény	iszap	hatásfok (%)	teljesítmény (kg/h)
50	4,7	0,2	54	0,94	0,04	10,8	99,15	45,65
100	4,7	0,6	49	0,94	0,12	9,8	97,45	90,41
150	4,7	1,4	55	0,94	0,28	11	94,04	137,18

Nézzük az első adatsort! A betáplálási tömegáram 50 kg/h.

1.2.1.5. Koncentrációk számítása

Betáplálási koncentráció meghatározása: a minta vákuumszűrése után kiszárított nettó tömeg $m_z = 4,7$

g, a tömegkoncentráció $w_z = \frac{m_s}{m_z} = \frac{4,7}{500} \cdot 100\% = 0,94\%$.

Derítmény koncentrációjának meghatározása: a minta vákuumszűrése után kiszárított nettó tömeg $m_z =$

0,2 g, a tömegkoncentráció $w_z = \frac{m_s}{m_z} = \frac{0,2}{500} \cdot 100\% = 0,04\%$.

Iszapkoncentráció meghatározása: a minta vákuumszűrése után kiszárított nettó tömeg $m_z = 54$ g, a

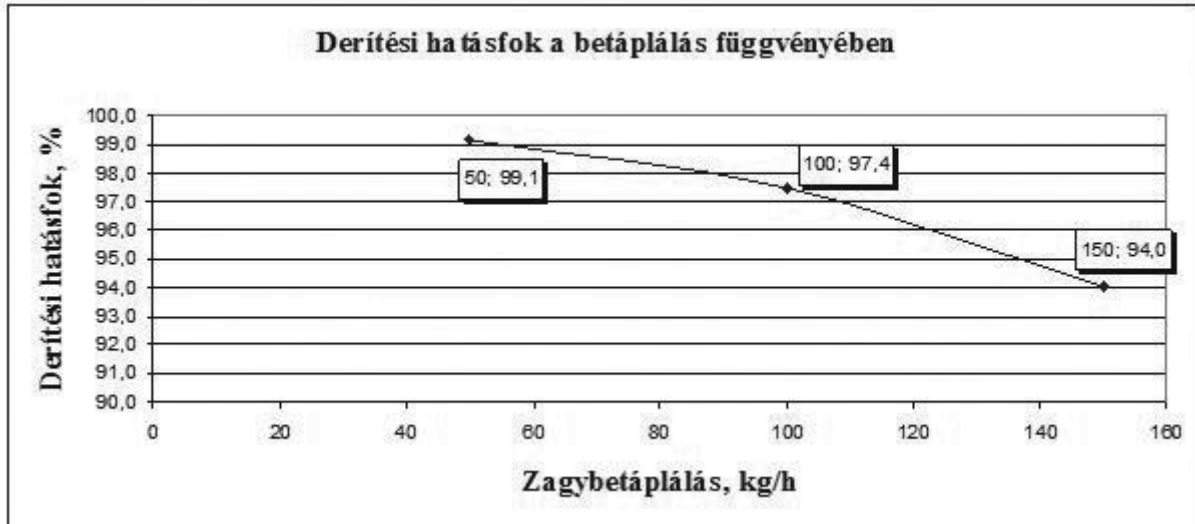
tömegkoncentráció $w_z = \frac{m_s}{m_z} = \frac{54}{500} \cdot 100\% = 10,8\%$

1.2.1.6. Derítési hatások számítása

A derítési hatások számítási összefüggése: $\eta_D = 1 - \frac{w_D \%}{w_Z \%}$

Behelyettesítünk a derítési hatások számítási összefüggésébe:

$$\eta_D = 1 - \frac{w_D \%}{w_Z \%} = 1 - \frac{0,04}{0,94} = 99,15\%$$



1.2.1.7. Derítési teljesítmény meghatározása

Az anyagmérleget felírva a szilárdanyag-tartalomra:

$m_z \cdot w_z = m_i \cdot w_i + m_d \cdot w_d$, mivel a derítmény elhanyagolható mennyiségű szilárd anyagot tartalmaz, így az iszap mennyisége (számítással):

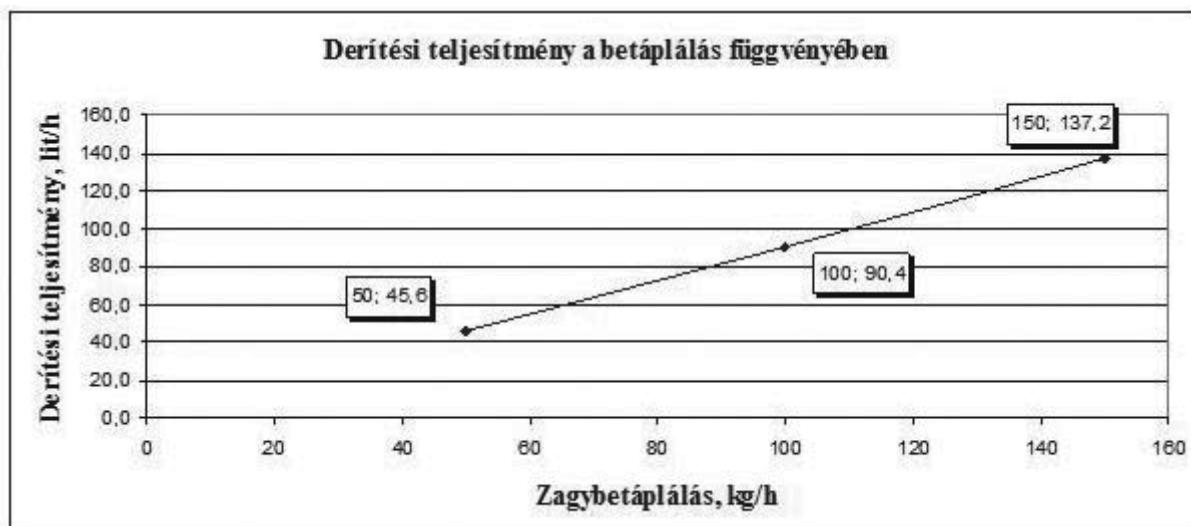
$$m_i = \frac{w_z}{w_i} \cdot m_z = \frac{0,94}{10,8} \cdot 50 = 4,35 \text{ kg/h}$$

A derítmény tömegárama: $m_d = m_z - m_i = 50 - 4,35 = 45,65 \text{ kg/h}$,

A derítési teljesítmény:

$$V_d = \frac{m_d}{\rho_d} = \frac{45,65 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 4,5787 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 45,78 \frac{\text{lit}}{\text{h}} = 45,78 \cdot \frac{10^{-3} \text{ m}^3}{3600 \text{ s}} = 1,2716 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Hasonlóan kiszámoljuk a többi adatsorra is, majd az eredményeket diagramban ábrázoljuk:



1.2.1.8. A határszemcse-átmérő meghatározása

Induljunk ki a derítési teljesítmény kifejezéséből!

$$V_d = v_f \cdot A_d = v_f \cdot \frac{D^2 \cdot \pi}{4}, \text{ ahol}$$

v_f : az ülepítőben felfelé irányuló folyadék sebessége [m/s];

D : a Dorr-ülepítő átmérője [m], esetünkben ez adott $D = 0,6$ m;

A_d : az ülepítő hasznos, az áramlási sebességre merőleges felülete [m^2].

$$\text{A folyadék sebessége: } v_f = \frac{4 \cdot V_d}{D^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 1,2716 \cdot 10^{-5}}{0,6^2 \cdot \pi} = 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s.}$$

Méretezéskor a folyadék- és az ülepedési sebességre az alábbi relációt alkalmazzuk:

$$v_f \leq 0,75 \cdot v_{\ddot{u}},$$

ez valójában az ülepedés feltétele.

$$\text{Innen az ülepedési sebesség: } v_{\ddot{u}} \geq \frac{4}{3} \cdot v_f = \frac{4}{3} \cdot 4,5 \cdot 10^{-5} = 6 \cdot 10^{-5} \text{ m/s.}$$

Az ülepedési sebesség kifejezése lamináris esetben: $v_{\ddot{u}} = \frac{d^2 \cdot (\rho_s - \rho_f) \cdot g}{18 \cdot \mu_f}$, kifejezve a szemcseátmé-

$$\text{rőt: } d = \sqrt{\frac{18 \cdot \mu_f \cdot v_{\ddot{u}}}{(\rho_s - \rho_f) \cdot g}} = \sqrt{\frac{18 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 10^{-5}}{(1740 - 997) \cdot 9,81}} = 1,22 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 12,2 \text{ } \mu\text{m.}$$

Ellenőriznünk kell, hogy az áramlás valóban lamináris-e!

$$\text{Re} = \frac{d \cdot v_{\ddot{u}}}{\mu_f} = \frac{d \cdot v_{\ddot{u}} \cdot \rho_f}{10^{-3}} = \frac{12,2 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^{-5} \cdot 997}{10^{-3}} = 7,3 \cdot 10^{-4} < 1, \text{ tehát lamináris.}$$

1.3. ELLENŐRZŐ FELADATOK AZ ÜLEPÍTÉS TÉMAKÖRÉBŐL

1.3.1. Számítási feladat 1.

Modell Dorr-ülepítőt méretezünk. A belépő szuszpenzió tömegárama 500 kg óránként, tömegkoncentrációja 4 w%. A távozó iszap tömegkoncentrációja 40 w%. A derített folyadék elhanyagolható mértékben tartalmaz szilárd anyagot.

A leüleptendő legkisebb szemcse átmérője 40 μm , sűrűsége 1270 kg/m^3 , a folyadék sűrűsége 1000 kg/m^3 , dinamikai viszkozitása 10⁻³ Pa s.

- Rajzolja le a berendezést, tüntesse fel fő részeit, valamint ismertesse működését!
- Számolja ki az iszap és a derített folyadék tömegáramát!
- Mekkora az ülepítési sebesség, ha feltételezzük, hogy az ülepítés lamináris! Ellenőrizze a feltételt!
- Mekkora a szükséges készülék átmérő, ha a folyadék sebessége: $v_f = 0,75 \cdot v_{\ddot{u}}$?

1. feladat megoldása

- A berendezés rajza, megnevezések az 1. ábrán látható.
- A részleges anyagmérleg szilárd anyagra: $m_z \cdot w_z = m_i \cdot w_i$, innen az iszap mennyisége:

$$m_i = \frac{w_z}{w_i} \cdot m_z = \frac{4}{40} \cdot 500 = 50 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

A derített folyadék tömegárama: $m_d = m_z - m_i = 500 - 50 = 450 \text{ kg/h}$.

- Az ülepítési sebesség lamináris esetben:

$$v_{\ddot{u}} = \frac{d^2 \cdot (\rho_s - \rho_f) \cdot g}{18 \cdot \mu_f} = \frac{(40 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (1270 - 1000) \cdot 9,81}{18 \cdot 10^{-3}} = 2,354 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

a Re-szám: $\text{Re} = \frac{d \cdot v_{\ddot{u}} \cdot \rho_s}{\mu_f} = \frac{40 \cdot 10^{-6} \cdot 2,354 \cdot 10^{-4} \cdot 1000}{10^{-3}} = 9,42 \cdot 10^{-3} < 1$, tehát az ülepedés lamináris.

- A folyadék sebessége: $v_f = 0,75 \cdot 2,354 \cdot 10^{-4} = 1,765 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$.

A derített folyadék térfogatárama: $V_D = \frac{m_d}{\rho_f} = \frac{450}{1000} = 0,45 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 1,25 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$.

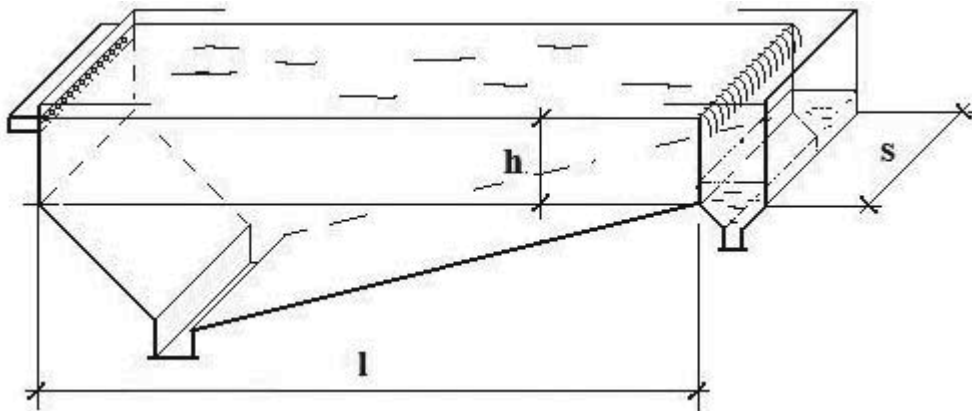
A szükséges készülék átmérő: $D \geq \sqrt{\frac{4 \cdot V_D}{\pi \cdot v_f}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,25 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot 1,765 \cdot 10^{-4}}} = 0,95 \text{ [m]}$.

1.3.2. Számítási feladat 2.

Folyadékban lévő szilárd szennyeződést ülepítő kádban kívánjuk szétválasztani. Az ülepítő kád hasznos magassága $h = 20 \text{ cm}$, $l = 2 \text{ m}$ hosszúságú, $s = 50 \text{ cm}$ szélességű. A szilárd szemcsék sűrűsége 1200 kg/m^3 , a leválasztandó legkisebb szemcseátmérő 40 μm . A folyadék sűrűsége 1000 kg/m^3 , dinamikai viszkozitása 1,1 $\cdot 10^{-3}$ Pa s.

a) Rajzolja be az ábrába:

- az anyagáramokat,
- a gázsebesség vektorokat,
- a legkedvezőtlenebb helyzetben lévő szemcsét és annak ülepedését!

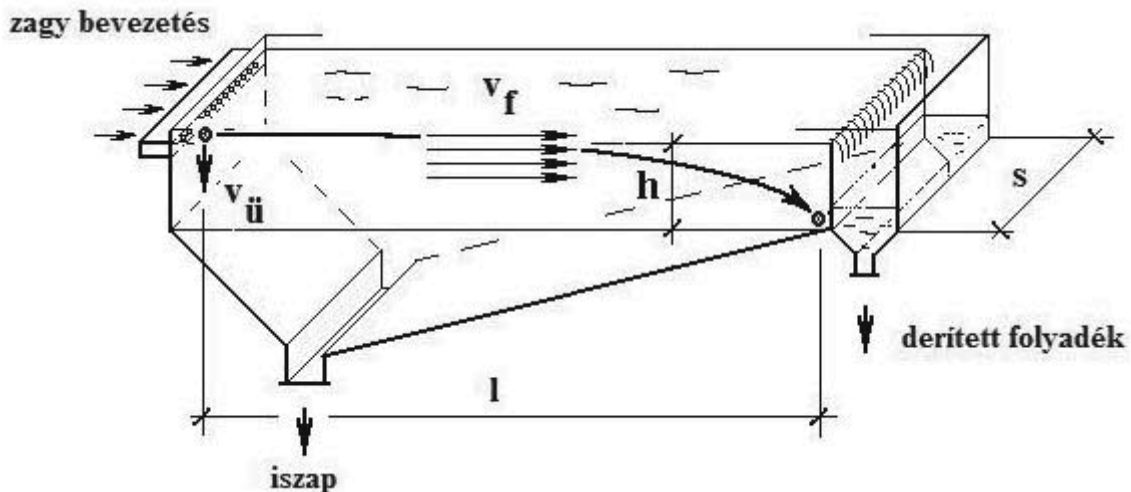


3. ábra

- b) Számolja ki az ülepedési sebességet, feltételezve, hogy az ülepedés lamináris, majd ellenőrizze a feltevést ($Re < 1$)!
- c) Mennyi idő alatt ülepedik le az adott szemcse?
- d) Mekkora lehet a maximális folyadéksebesség, amikor a szemcse még éppen határesetben ülepszik le?
- e) Óránként mekkora tömegű zagyot tudunk megtisztítani?

2. feladat megoldása

- a) Az anyagáramok,
- b) a gázsebesség sebesség vektorok,
- c) a legkedvezőtlenebb helyzetben lévő szemcse és annak ülepedése a megoldáson látszik.



4. ábra. Folyamatos ülepitőkád

Az ülepedési sebesség lamináris esetben:

$$v_{\ddot{u}} = \frac{d_s^2 \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot g}{18 \cdot \mu_l} = \frac{(40 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (1200 - 1000) \cdot 9,81}{18 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3}} = 1,5854 \cdot 10^{-4} \text{ m/s};$$

ha $Re < 1$:

$$Re = \frac{d_s \cdot v_{\ddot{u}} \cdot \rho_l}{\mu_l} = \frac{4 \cdot 10^{-5} \cdot 1,5854 \cdot 10^{-4} \cdot 1000}{1,1 \cdot 10^{-3}} = 5,76 \cdot 10^{-3}.$$

$$\text{Az ülepedési idő: } t = \frac{h}{v_{\ddot{u}}} = \frac{0,2}{1,5854 \cdot 10^{-4}} = 1261 \text{ s.}$$

az ülepedés feltételéből: $\frac{h}{v_{\ddot{u}}} \leq \frac{l}{v_f}$, innen a maximális gázsebesség:

$$v_f \leq \frac{l}{h} \cdot v_{\ddot{u}} = \frac{2}{0,2} \cdot 1,5854 \cdot 10^{-3} = 1,5854 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

A zagy tömegárama:

$$\dot{m}_z = h \cdot s \cdot v_f \cdot \rho_l = 0,2 \cdot 0,5 \cdot 1,5854 \cdot 10^{-2} \cdot 1000 = 2,72 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 1,5854 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 5707 \frac{\text{kg}}{\text{h}}.$$

2. SZŰRÉS ÉS BERENDEZÉSEI

2.1. SZŰRÉS ELMÉLETI ÖSSZEFÜGGÉSEI



Ennek a témakörnek az a célja, hogy megismerkedjünk a szuszpenzió szétválasztási műveletek közül a nyomáskülönbség alapján történő szétválasztási művelettel, a szűrési művelettel.

2.1.1. Szűrési művelet elmélete, csoportosítása

Az ipari gyakorlatban, a laboratóriumi mérések során sok esetben feladat, hogy folyadékot válasszunk el szilárd anyagtól, vagy fordítva. Ezt a feladatot célszerűen szűréssel tudjuk megvalósítani.



Szűréskor folyadékból vagy gázból lebegő szilárd anyagot választunk el oly módon, hogy a közeget, megfelelő nyomáskülönbséget alkalmazva pórusos rétegen vezetjük át. A szilárd anyag a pórusos réteg felszínén vagy belsejében marad vissza.

A szűréssel történő levegő- és gáztisztítás témakörét a por- és csepleválasztásnál tárgyaljuk.



Mit gondol, mi alapján történik a szétválasztás, hogyan csoportosíthatjuk a szűrőket?

A szűrés műveletét és azok eszközeit, azaz a szűrőket többféle szempont szerint csoportosíthatjuk. A leggyakoribb csoportosítások a következők:



Az alkalmazott erőhatás alapján:

- hidrosztatikai nyomású (gravitációs szűrők, kutak);
- folyadéktér feletti túlnyomás alkalmazásával (nyomószűrők);
- szűrő alatti nyomáscsökkentésű szűrés (vákuumszűrők).

A részecskék kiválasztása alapján:

- felületi szűrés,
- mélységi szűrés.

A művelet folytonossága alapján:

- szakaszos,
- folyamatos üzemű szűrés.

Az egyes csoportok részletes leírása előtt meg kell ismerkednünk a szűrés alapfogalmaival.

2.1.2. A szűrés alapfogalmai



Vajon, miért zavaros a szűrlet a szűrés kezdeti szakaszában?
Vajon a szűrőpapír miért nem szűr „jól”?
Vajon a szűrlet miért lesz később tiszta?

Egyszerű laboratóriumi szűrést végzünk. A szűrés kezdetén azt tapasztaljuk, hogy a szedőedénybe folyó szűrlet zavaros. Kis idő elteltével viszont ez a zavarosság megszűnik. A szűrést tovább folytatva azt észleljük, hogy egyre lassabban folyik le a szűrlet. A kérdésekre a válasz a következő: a szűrőpapírnak jelen esetben az a feladata, hogy kialakuljon a felszínén olyan iszapréteg, más néven iszaplepeny, amely már „jól” szűri meg a folyadékot.

A továbbiakban szűrőpapír helyett a papír és az iszapréteg együtteséből álló szűrőközeg elnevezést fogjuk használni.

A szűrőközegnek az a feladata, hogy kiválassza a szilárd részecskéket anélkül, hogy eltömődne. A pórusokon először a kis átmérőjű szemcsék jutnak át, ezért lesz zavaros a szűrlet. A nagyobb szemcsék fennakadnak, lefedik a szűrőréteg felszínét. Erre rakódik rá egy, a kisebb méretű részecskékből álló iszapréteg, és ezen áthaladva lesz egyre tisztább a szűrlet. Természetesen minél vastagabb a kialakult iszaplepeny, annál lassabban fog áthaladni rajta a folyadék. A szűrésnek ez a módja a felületi szűrés.

Ha azonban a részecskék behatolnak a szűrőközeg belsejébe, akkor a szűrés nem a felületen megy végbe. Ez akkor lehetséges, ha a szilárd anyag részecskéi kisebbek a szűrő pórusainál, és a szűrőközeg belső közegeiben, szabálytalan alakú csatornáiban tapadnak meg. A szűrésnek ez a módja a mélységi szűrés.

A szűrőközeggel szemben különböző követelményeket támasztunk:

- a szűrlet könnyedén tudjon áthaladni rajta, kicsi legyen a nyomásvesztés, röviden: kicsi legyen az ellenállása;
- a szűrésnél alkalmazott nyomáskülönbséggel szemben legyen ellenálló, vagyis ne szakadjon át;
- a vegyi hatásokat jól bírja;
- legyen jól tisztítható.

2.1.3. Optimális szűrlet mennyiség, maximális szűrési teljesítmény fogalma



Mit gondol, meddig érdemes a szűrőt terhelni, mikor tömődik el a szűrő?

Fontos szempont ismerni a szűrésre fordítandó időt. Amíg kis mennyiséget szűrünk a laboratóriumi mérés során, addig a szűrési idő rövid, nem számottevő nagyságú. Az ipari szűrésnél azonban ez az időtartam lényegesen hosszabb.

Fontos ismerni a szűrőkészülék kezelésére fordított időt is. A készülék szét- és összeszerelésére, tisztítására stb. fordított idő együtt az állásidő. Az időadatok ismeretében meg tudjuk határozni a szűrési teljesítményt.

Szakaszos szűrés esetén a szűrési teljesítmény úgy számolható, hogy az átfolyt szűrlet mennyiségét osztjuk a szűrési- és az állási idő összegével:

$$\alpha = \frac{V}{t + t_a}, \text{ ahol}$$

α : a szűrési teljesítmény [m^3/s];

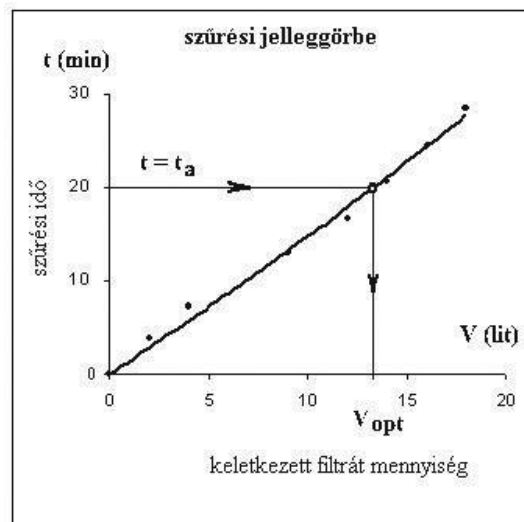
V : a szűrlet mennyisége [m^3];

t : a szűrési idő [s];

t_a : az állásidő [s].

A szűrési diagram ismeretében, ahol is ábrázoljuk a keletkezett filtrát mennyiségekhez tartozó időket; $t = f(V)$ függvény, a diagramot $t = t_a$ értéknél kimetszve, a kapott szűrlet mennyiséget *optimális szűrletmennyiségnek* (V_{opt}) nevezzük (5.ábra).

A gyakorlatban a szűrést lényegében eddig végezzük.



5. ábra



A maximális szűrési teljesítmény összefüggése:

$$\alpha_{\max} = \frac{V_{opt}}{t + t_a} = \frac{V_{opt}}{2 \cdot t_a}$$



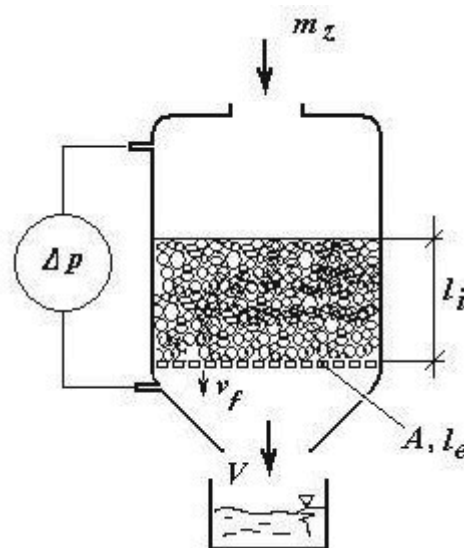
Ön szerint pontosan meghatározható, hogy az adott időpillanatban pontosan mennyi filtrát keletkezik?

2.1.4. D'Arcy féle szűrési alapegyenlet

Egy konkrét szűrési feladattal kapcsolatosan igen sok paraméter ismerete, egymásra gyakorolt összefüggéseinek pontos ismerete szükséges. Gondoljunk csak a kialakuló iszap tulajdonságaira, mennyire tapadnak össze részecskéi megnehezítve a filtrát átjutását, a zagy koncentrációjának szerepére vagy a szűrőszövet tulajdonságaira, mekkora az ellenállása, a pórusátmérője!

Tekintsük meg a következő ábrát (6. ábra)!

A hengeres szűrőtestbe felül vezetjük be a szürendő zagyot (m_z [kg]), melynek koncentrációja (w_z [kg/kg]). A szűrő felülete (A [m²]). A zagy beáramolva, a nyomáskülönbség hatására (Δp [Pa]) kialakítja az egyre vastagabb iszapréteget (l_i [m]), amely iszapréteg a szűrést végzi. Az iszaprétegen átáramló tiszta folyadék, a szűrlet, vagy idegen szóval filtrát mennyisége (V [m³]) az idő előrehaladtával egyre csökken, amennyiben a nyomáskülönbséget állandó értéken tartjuk. A D'Arcy-féle szűrési alapegyenletet kapjuk, ha felírjuk az időegység alatt (dt), felületegységen (A) keletkező szűrlet mennyiségét (dV).



6. ábra



A D'Arcy-féle szűrési alapegyenlet.

$$\frac{1}{A} \cdot \frac{dV}{dt} = v_f = \frac{\Delta p}{K \cdot \mu_f \cdot (l_i + l_e)}$$

Az alapegyenletben szereplő változók:

K : elsősorban a kialakult iszapréteg hidraulikai ellenállásától függő állandó [m^2];

μ_f : a szűrlet dinamikai viszkozitása [$\text{Pa}\cdot\text{s}$];

l_e : a szűrőszövetre jellemző ún. egyenértékű iszapvastagság [m].

Elméletileg l_e vastagságú iszap áramlási ellenállása egyezik meg a szűrőszövet ellenállásával.

2.1.5. Állandó nyomásesésű szűrés ($\Delta p = \text{áll.}$)

A fenti differenciálegyenletet időre (t) szeretnénk megoldani, ami egyszerű is lenne, ha a felírt tagok függetlenek lennének a keletkezett szűrlet (V) mennyiségétől, de az iszapvastagság függ tőle. Az iszapvastagság (l_i) és a szűrlet keletkezés (V) közötti összefüggéshez fel kell írni a szűrés anyagmérlegét.

Vezessük be a következő fogalmakat!

- *Porozitás*: az iszapot vizsgálva, elmondhatjuk, hogy az iszap annál porózusabb, minél több az üres térfogat (amit természetesen a szűrlet tölt ki) aránya az összes térfogathoz képest, tehát a porozitás (ξ_p):

$$\xi_p = \frac{V_{\text{üres}}}{V_{\text{össz}}}$$

- *Tömegkoncentráció*: w [kg szilárd anyag/ kg szuszpenzió].

A szűrő részleges anyagmérlege a folyadékra (2. ábra):

a belépő zagyban lévő folyadék egyrészt megtalálható az iszapban, kitöltve a pórusokat, valamint szűrletként távozik:

$$m_z \cdot (1 - w_z) = A \cdot l_i \cdot \xi_p \cdot \rho_f + V \cdot \rho_f \quad [\text{kg}]$$

Részleges anyagmérleg szilárd anyagra:

a belépő zagyban lévő szilárd anyag iszapként a szűrőszöveten marad fenn:

$$m_z \cdot w_z = A \cdot l_i \cdot (1 - \xi_p) \cdot \rho_s \quad [\text{kg}]$$

A levezetés mellőzésével, a szűrési időhöz tartozó keletkezett szűrlet mennyisége:

$$t = \frac{C \cdot \mu_f}{A^2 \cdot \Delta p} \cdot (V^2 + 2 \cdot V \cdot V_e), \text{ ahol}$$

C a szűrési állandót [m^{-2}] jelöli; értéke általában 10^{12} – 10^{13} nagyságrendű, az egyenértékű filtrátmennyiséget (V_e [m^3]) szűrőtől és szuszpenziótól függően kísérleti szűréssel kell meghatározni. Amennyiben a szűrőszövet ellenállása elhanyagolható úgy $V_e \approx 0$.

2.1.6. Állandó sebességű szűrés ($q_0 = \text{áll.}$)

Állandó sebességű szűrés alatt azt értjük, hogy az időegység alatt keletkezett szűrlet mennyisége állandó, amit csak úgy érhetünk el, ha állandóan növeljük a szűrő nyomását, hisz az iszapvastagság és vele az ellenállása folyamatosan nő.

$$q_0 = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{dV}{dt} = \text{áll.}$$

2.2. GYAKORLATI FELADAT MEGVALÓSÍTÁSA

2.2.1. Keretes szűrőprés szűrési teljesítményének meghatározása mérés-sel



Ennek a gyakorlati mérésnek az a célja, hogy az állásidő ismeretében, kísérleti szűréssel meghatározzuk az optimális szűrlet mennyiségét, majd a maximális szűrési teljesítményt.

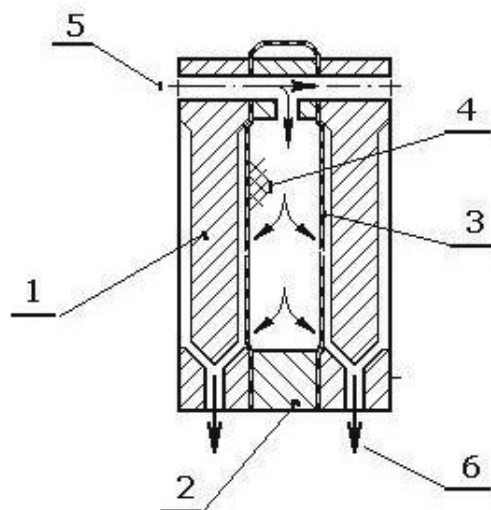
2.2.1.1. A berendezés leírása

A szűrőprések sokféle szerkezeti kialakításban készülnek, ezáltal különféle feladatok megoldására alkalmasak. Nagy előnyük, hogy viszonylag kis térfogatban nagy szűrőfelületet adnak (egyészülékben akár 500 m^2 is lehet).

A szűrőpréseket a vegyiparban és az élelmiszeriparban egyaránt használják, ahol a nagy szilárdanyag-tartalmú közegeket szűrik velük pl. a borászatban, a gyümölcslegyártásban stb.

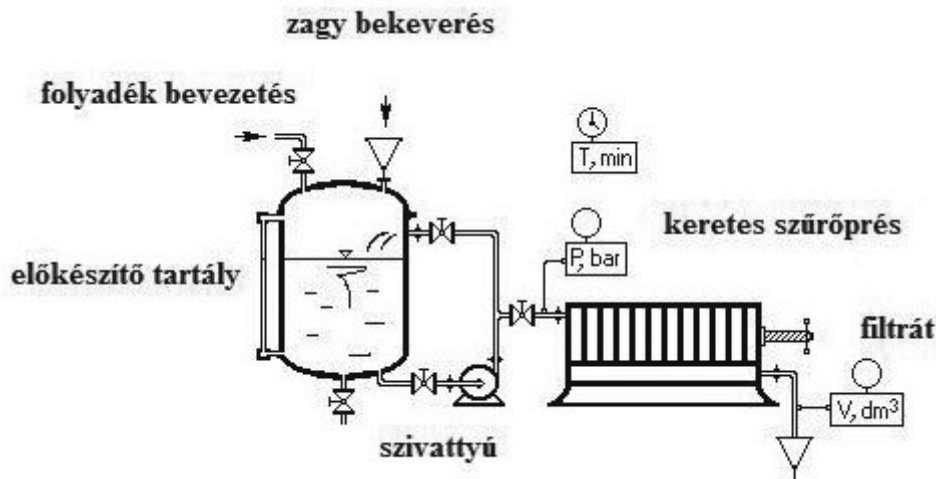
A keretes szűrőprés (7. ábra) keretei közé szűrővásznot szorítanak, és egymás után váltakozva helyezik el az üres (2) és a teli kereteket (1).

A tisztítandó szuszpenziót (5) megfelelő szűrőnyomással juttatják az üres keretekbe. A vászon (3) a nyomás hatására ráfeszül a teli keret függőleges bordáira. A folyadék áthatol a kialakult iszaprétegen (4) és a vásznon, azután pedig lecsorog a bordákon. A teli keret aljából elvezetik a szűrletet (6). Amikor a szűrő telítődik, akkor megszüntetik az anyag rávezetését. Ezután szét kell szerelni a szűrőt és ki kell tisztítani. Az összeszerelés után újra lehet kezdeni a szűrést.



7. ábra

2.2.1.2. A berendezés kapcsolási rajza



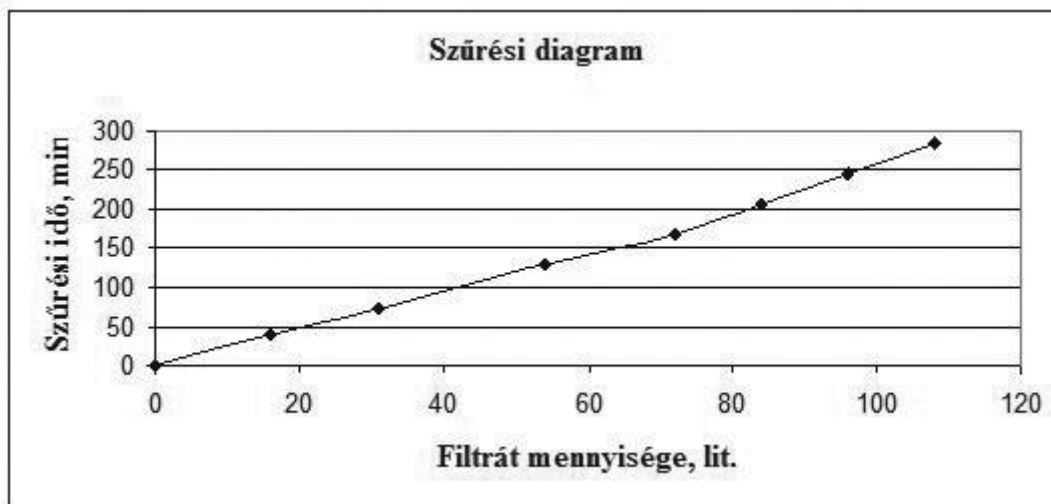
8. ábra. Keretes szűrőprés kapcsolási rajza

2.2.1.3. Feladat részletezése, a készülék üzembe helyezése

- Megfelelő összetételű szuszpenzió készítése és az állásidő meghatározása:
 - 1 kg kréta por 7–8 liter vízben történő szuszpendáltatásával sűrű szuszpenziót készítünk, majd a keverőtartályba adagolva 100 liter vízzel felhígítjuk;
 - 15–20 percig keverjük kényszercirkulációval;
 - közben szétszereljük a keretes szűrőprést, megtisztítva a szűrőszövetet és a kereteket, majd gondosan szereljük össze a berendezést;
 - határozzuk meg az állásidőt.
- A visszavezető ág óvatos fojtásával és a betáplálás nyitásával beállítunk 0,1–0,25 bar előírt, állandó nyomásértéket.
- Mérjük az időegység alatt átfolyt szűrlet mennyiségét.
- A mérést a tartály leürüléséig végezzük.
- A szűrési adatok ismeretében meghatározzuk az optimális szűrlet mennyiségét.
- Meghatározzuk a maximális szűrési teljesítményt.
- Jegyzőkönyv készítése, amely tartalmazza a feladat leírását, a berendezés kapcsolási rajzát, a mérési adatokat táblázatos formában, a szükséges számításokat, diagramokat, valamint a mérés összefoglalását!

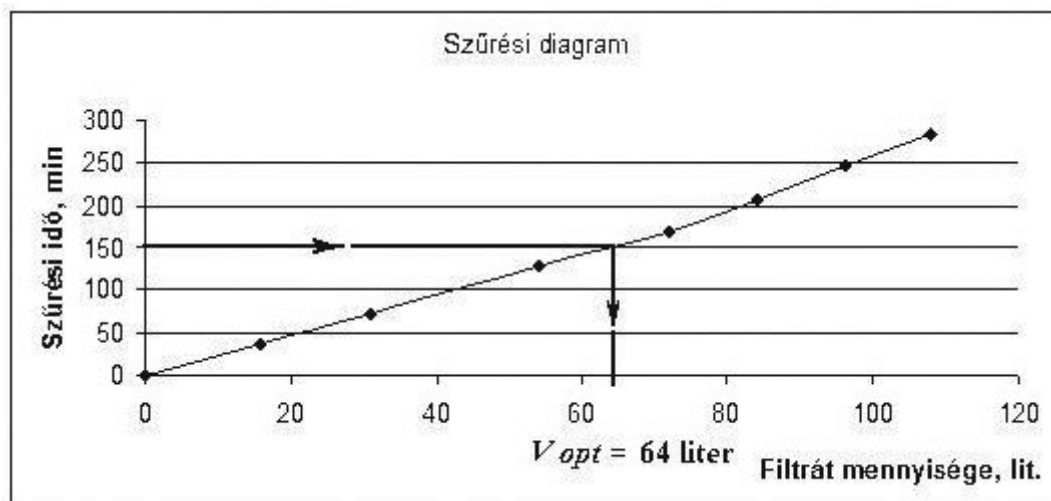
2.2.1.4. Mérési adatok táblázatos formában feldolgozva

1. mérés: p = 0,24 bar				
ΔV [l]	t [min]	t [s]	Δt [s]	V (lit)
0	0	0	0	0
16	38	2 280	38	16
15	73	4 380	35	31
30	130	7 800	57	54
18	168	10 080	38	72
12	207	12 420	39	84
12	245	14 700	38	96
12	284	17 040	39	108



2.2.1.5. Grafikus kiértékelés

Az optimális szűrletmennyiség, ha az állásidő $t_a = 150$ min.



A maximális szűrési teljesítmény értéke:

$$\alpha_{max} = \frac{V_{opt}}{t + t_a} = \frac{64}{150 + 150} = 0,213 \frac{\text{lit}}{\text{perc}}$$

Tehát egy ilyen teljesítményű folyamatos szűrőberendezéssel egyenértékű a keretes szűrőprés.

2.2.2. Keretes szűrőprés szűrési állandóinak meghatározása méréssel

2.2.2.1. Feladat részletezése, a készülék üzembe helyezése

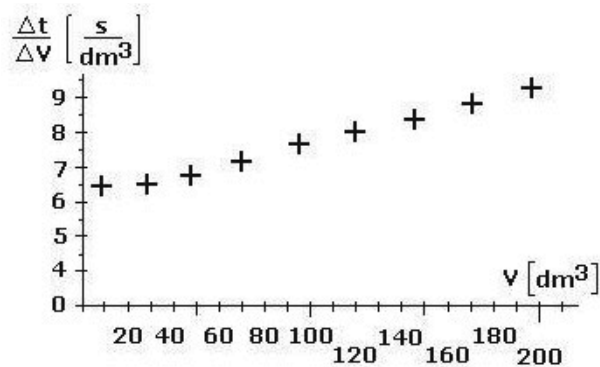
- Megfelelő összetételű szuszpenzió készítése:
 - 1 kg krépor 7–8 liter vízben történő szuszpendáltatásával sűrű szuszpenziót készítünk, majd a keverőtartályba adagolva 100 liter vízzel felhígítjuk;
 - 15–20 percig keverjük kényszercirkulációval.
- A visszavezető ág óvatos fojtásával és a betáplálás nyitásával beállítunk 0,1–0,4 bar előírt, állandó nyomásértéket.
- Mérjük az időegység alatt átfolyt szűrlet mennyiségét.
- A mérést a tartály leürüléséig végezzük.

5. Kiszámoljuk a szűrési felület nagyságát.
6. Kitöltjük a szűrési adattáblázat hiányzó oszlopait: Δt , ΔV , $\Delta t/\Delta V$.
7. Ábrázoljuk a szűrési adatokat a $\Delta t/\Delta V = f(V)$ diagramon.
8. Meghatározzuk a pontokhoz húzott regressziós egyenes iránytangensét és tengelymetszékét.
9. Ezen adatok ismeretében kiszámoljuk a szűrési állandókat: a C szűrési állandó és az egyenértékű filtrátmennyiség értékét.
10. Jegyzőkönyv készítése, amely tartalmazza a feladat leírását, a berendezés kapcsolási rajzát, a mérési adatokat táblázatos formában, a szükséges számításokat, diagramokat, valamint a mérés összefoglalását.

2.2.2.2. Mérési adatok feldolgoása

A mérés eredménye az alábbi diagramon látható: a Δt időkülönbségek alatt keletkezett ΔV filtrátmennyiségek hányadosai vannak feltüntetve a függőleges tengelyen, a keletkezett összes filtrátmennyiség V függvényében.

Az alkalmazott nyomáskülönbség $\Delta p = 0,4$ bar, a szűrő felülete $A = 1,4$ m², a filtrát dinamikai viszkozitása $\mu_f = 1,5 \cdot 10^{-3}$ Pa·s.

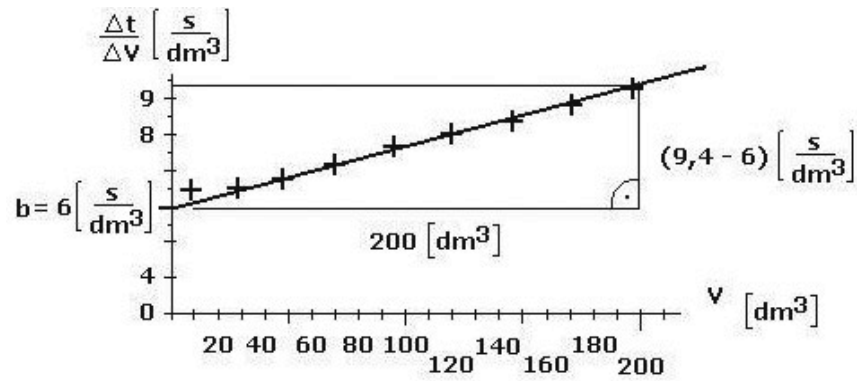


Segítségül a szűrési alapegyenlet időre megoldva, átrendezve:

$$\frac{\Delta t}{\Delta V} = \frac{C \cdot \mu_f}{A^2 \cdot \Delta p} \cdot V + \frac{C \cdot \mu_f}{A^2 \cdot \Delta p} \cdot 2 \cdot V_e$$

A megadott szűrési összefüggés lényegében egy elsőfokú függvény: $\Delta t/\Delta V = f(V)$. A szűrési pontokat egy egyenessel összekötve, leolvasható léptékhelyesen az iránytangens, valamint a tengelymetszék. Az egyenes iránytangenséből a (C) szűrési állandó, a tengelymetszékéből az egyenértékű filtrátmennyiség (V_e) határozható meg.

2.2.2.3. Grafikus kiértékelés és a szűrési állandók meghatározása



Az egyenes iránytangense : $a = \frac{9,4 - 6}{200} = 0,017 \left[\frac{\text{s}}{\text{dm}^6} \right] = 17000 \left[\frac{\text{s}}{\text{m}^6} \right]$, mivel

$$a = \frac{C \cdot \mu_f}{A^2 \cdot \Delta p}, \text{ innen}$$

$$\text{a szűrési állandó: } C = \frac{17000 \cdot A^2 \cdot \Delta p}{\mu} = \frac{17000 \cdot 1,4^2 \cdot 0,4 \cdot 10^5}{1,5 \cdot 10^{-3}} = 8,88 \cdot 10^{11} \left[\frac{1}{\text{m}^2} \right]$$

$$\text{A tengelymetszék a diagramból: } b = 6 \left[\frac{\text{s}}{\text{dm}^3} \right] = 6 \cdot 10^3 \left[\frac{\text{s}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\text{mivel } b = 2 \cdot V_e \cdot a, \text{ innen}$$

$$\text{az egyenértékű filtrát mennyisége: } V_e = \frac{b}{2 \cdot a} = \frac{6000}{2 \cdot 17000} = 0,176 \text{ m}^3$$

3. A KEVERÉS MŰVELETE

3.1. KEVERÉS ELMÉLETI ÖSSZEFÜGGÉSEI

3.1.1. Keverési műveletek meghatározása, csoportosítása

Az ipari gyakorlatban, a laboratóriumi mérések során sok esetben feladat, hogy adott összetételű azonos fázisú gázelegyet, gázkeveréket, vagy folyadékelegyet, vagy szilárd rendszerű keveréket hozzunk létre. Gyakran különböző fázisú rendszerek homogenizálása a cél (pl. gáz elnyelése folyadékban, közvetlen gőzbeűvátás folyadékba, oldatba, oldatkészítés, szuszpenzió készítés, dagasztás).



Keverési műveletnél az azonos-, vagy különböző fázisú anyagokat, azok komponenseit összekeverjük, homogenizáljuk.



Ön szerint, hogy fogalmazható meg a keverés hatékonysága?

A hatékonyságot befolyásolja a keverőelem típusa, a megválasztott geometriai méretek, torlóelemek alkalmazása, vagy hiánya, a választott fordulatszám, hőbevitel módja és még folytathatnánk a felsorolást.

A leggyakoribb csoportosítások a következők:



A komponensek fázisai alapján:

- gáz-gáz fázisú keverők,
- folyadék-gáz fázisú keverők,
- folyadék-folyadék fázisú keverők,
- szilárd-folyadék fázisú keverők,
- szilárd-szilárd fázisú keverők.

Mi elsősorban a kis viszkozitású folyadékok keverésével fogunk foglalkozni, mivel egyrésről nagy alkalmazási területtel rendelkezik, másrésről ezen keverési művelet elsajátítása komoly technológiai ismereteket, művelettani alkalmazói tudást, háttérrel igényel.

3.1.2. A keverés alapfogalmai



A túlzott sietség miatt kikeverte-e már a reggeli teáját?
Hideg vagy meleg teában oldódik fel hamarabb a cukor?
Milyen kanállal kavaram, kicsi, nagy, lapos... vagy mixerrel?
A mézes hársfatea elkészítéséhez több idő kell?

3.1.2.1. Áramlási viszonyok keverésnél

Tekintsük a következő ábrát (9. ábra)!

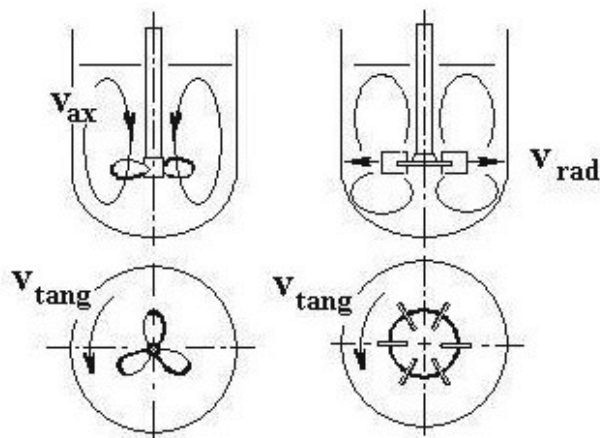
A bal oldali ábrán egy propeller, a jobb oldali ábrán egyenes turbína keverő látható. A propeller jellegzetessége, hogy axiális (tengely) irányba szállítja a folyadékot, attól függően fel- vagy lefelé, hogy milyen a propeller menetemelkedése ill. forgásiránya.

Axiális sebesség jelölése: v_{ax} .

Természetesen a tengelyirányú folyadék-szállítás mellett még forgómozgást is végez, amit a tangenciális (érintőleges) sebesség jellemez, a felülnézeti ábrán jelölt módon,

v_{tang} .

A turbinakeverő jellegzetessége, hogy radiális (sugár) irányba szállítja folyadékot – természetesen az előbb említett érintőleges sebesség mellett – amely a falhoz érve felfelé, ill. lefelé eltérül, majd a tengelyfelőli szívóoldalon ismét belép a keverőelembe. A turbinakeverő radiális (sugár) irányú sebesség jelölése v_{rad} .



9. ábra. Propeller- és turbinakeverő áramlási viszonyai

3.1.2.2. Keverési Reynolds-szám fogalma

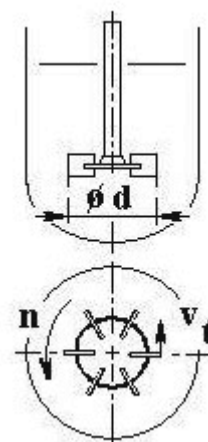


Ön szerint melyik keverőelem „áramvonalasabb” a propeller- vagy a turbinakeverő? Melyiknek lesz kisebb a teljesítményfelvétele?

A keverés elméleti kérdései közül talán a legfontosabb a keverőelem áramlási ellenállásának meghatározása, modellezése ui. értéke meghatározza keverős tengely meghajtását szolgáló motor teljesítményfelvételét.

A valós tervezendő keverős készüléket modellezik geometriailag, kinematikailag és dinamikailag, ezen a modellberendezésen meghatározzák az adott keverőelem ellenállás tényezőjét, a keverési Reynolds-szám függvényében. Ez a keverési ellenállástényező, Reynolds-szám diagram érvényes lesz minden geometriailag hasonló készülék esetén.

(Lényegében ugyanez történik új autók, buszok, repülők szélcsatornás modellezésénél és vizsgálatánál az ott meghatározott alakellenállás tényezők tekintetében.)



10. ábra. Keverés jellemzői a Re -szám meghatározásához

A keverési Reynolds-szám a már tanult összefüggés alkalmazása a keverési jellemzőkre. A Reynolds-szám általános megfogalmazása:

$$Re = \frac{d \cdot v}{\nu} = \frac{d \cdot v \cdot \rho}{\mu}; \text{ ahol } d: \text{ jellemző átmérő, } v: \text{ a jellemző sebesség, } \nu: \text{ a közeg kinematikai viszkozitása, } \mu: \text{ a közeg dinamikai viszkozitása, } \rho: \text{ a közeg sűrűsége.}$$

Keverésnél d : a keverőelem átmérője, v : a keverőelem kerületi sebesség, mivel $v_t = r \cdot \omega$, a szögsebesség arányos a fordulatszámmal, így a kerületi sebesség arányos $v \sim d \cdot n$ szorzattal.



Keverési Reynolds-szám kifejezése:

$$\text{Re}_k = \frac{d^2 \cdot n}{\nu} = \frac{d^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu}$$

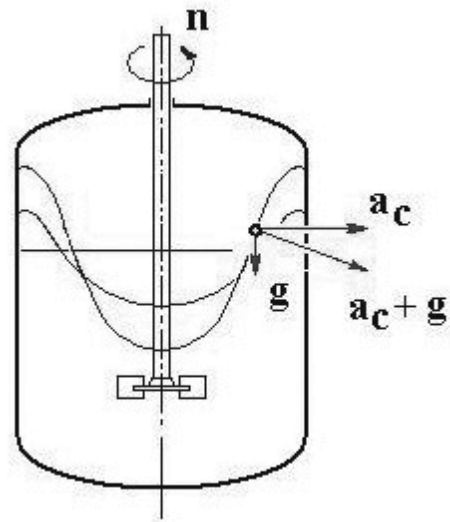
A kifejezésben szereplő jelölések:

- d : a keverőelem átmérője [m],
- n : a keverő fordulatszáma [s^{-1}],
- ρ : a közeg sűrűsége [kg/m^3],
- ν : a közeg kinematikai viszkozitása [m^2/s],
- μ : a közeg dinamikai viszkozitása [$\text{Pa}\cdot\text{s}$].

3.1.2.3. Froude-szám fogalma

Keveréskor igen gyakran kialakulhat az ún. tölcsérhatás, amit a 11. ábra szemléltet. A kialakuló parabolikus folyadékfelszín a fordulatszám növelésével egyre mélyebbre kerül, szélsőséges esetben elérve a keverőelemet tönkretelheti azt.

Tekintsük meg a jelölt folyadékfelszíni pontot! Ezen a ponton hat centrifugális és gravitációs térerő is, eredőjük az ábrán jelölt módon a folyadékfelszínre merőleges.



11. ábra. Tölcsérhatás kialakulása

A későbbiekben látni fogjuk, hogy az ilyen parabolikus folyadékfelszínnek van hatása a keverési ellenállástényező értékére. Az a hasonlósági szám, amin keresztül ezt a hatást megfogalmazzuk az az ún. Froude-szám. Lényegében a két térerő viszonyára utal, a_c/g hányadosra. Levezetésképpen, $a_c = r \cdot \omega^2$, ami esetünkben arányos a $d \cdot n^2$ szorzattal, így



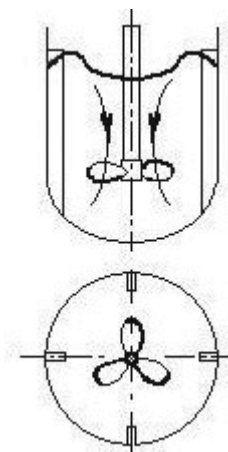
Froude-szám kifejezése:

$$\text{Fr} = \frac{d \cdot n^2}{g}$$

A kifejezésben szereplő jelölések:

- d : a keverőelem átmérője [m],
- n : a keverő fordulatszáma [s^{-1}],
- g : a nehézségi gyorsulás [m/s^2].

A tölcsérhatás megelőzhető áramlástörő, ún. torlólemezek beépítésével, így a keverés hatásossága és a teljesítményfelvétele is nőni fog (12. ábra). Ebben az esetben a Froude-számnak nem lesz szerepe a keverési ellenállástényező meghatározásánál.



12. ábra. Torlólemezek beépítése

3.1.2.4. Keverés teljesítményszükségletének meghatározása



A keverés hasznos teljesítményszükséglete:

$$P_h = \xi d^5 \cdot n^3 \cdot \rho$$

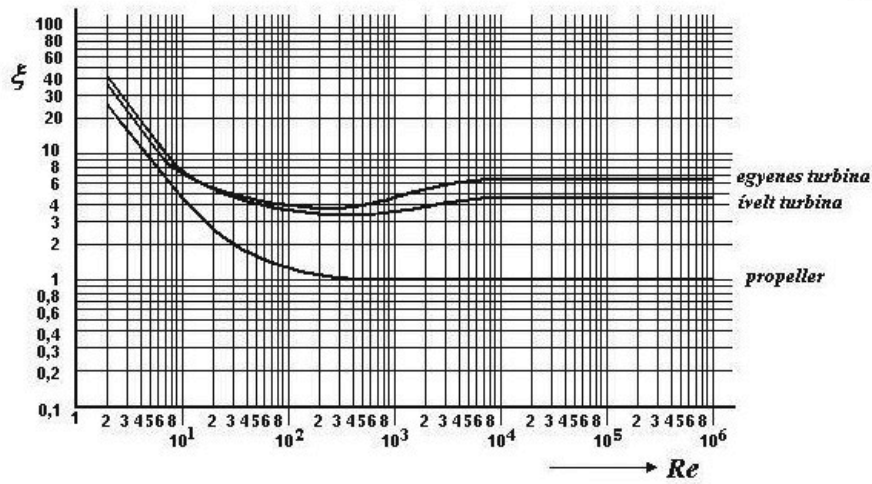
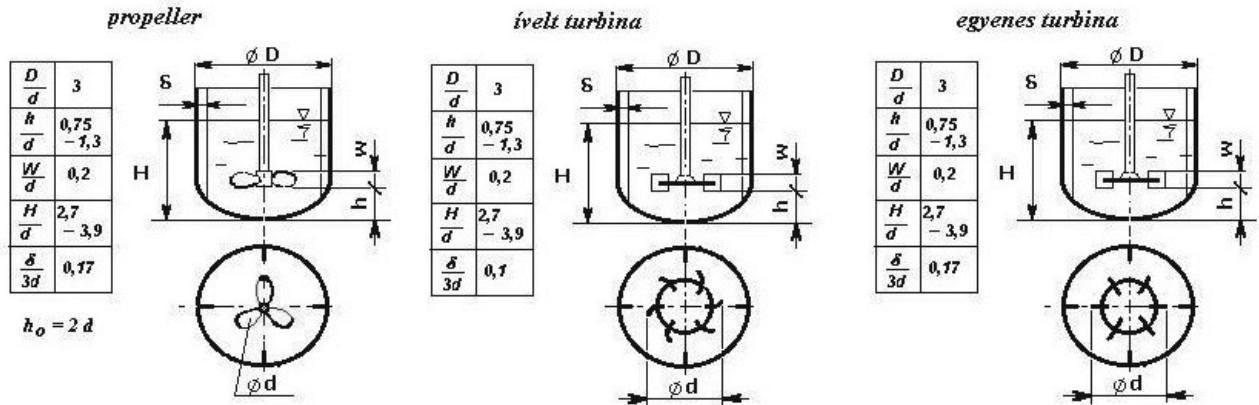
ahol, ξ a keverési ellenállástényező, elsősorban a Reynolds-számtól függ, a kifejezésben szereplő többi jellemző már ismert.

3.1.2.5. Keverés ellenállástényezőjének meghatározása

A következő diagramon egy propeller – ívelt lapátú turbina – és egy egyenes lapátú turbinakeverő ellenállástényezői láthatók a Reynolds-szám függvényében. Az összetartozó ξ –Re-pontok csak abban esetben igazak, ha betartjuk a geometriai hasonlóságot. A hasonlósági hányadosok a keverők rajzai mellett láthatók. A vázlatrajzokon látható, hogy a keverős készülékek torlólapal szereltek. Tehát ismert Reynolds-szám esetén leolvassuk az adott keverőelem típushoz tartozó ξ keverési ellenállástényező értékét és így meghatározható a keverés teljesítményszükséglete (13. ábra).

Ügyeljünk a leolvasás helyességére, ui. a diagram mindkét tengelye logaritmikus beosztású. Azért előnyös az alkalmazása, mert azonos metszésekben tudunk ábrázolni egy-egy dekádost, tehát a kis és nagy számokat is megfelelően tudjuk ábrázolni!

Keverési ellenállástényezők értékei a Reynolds szám függvényében



13. ábra

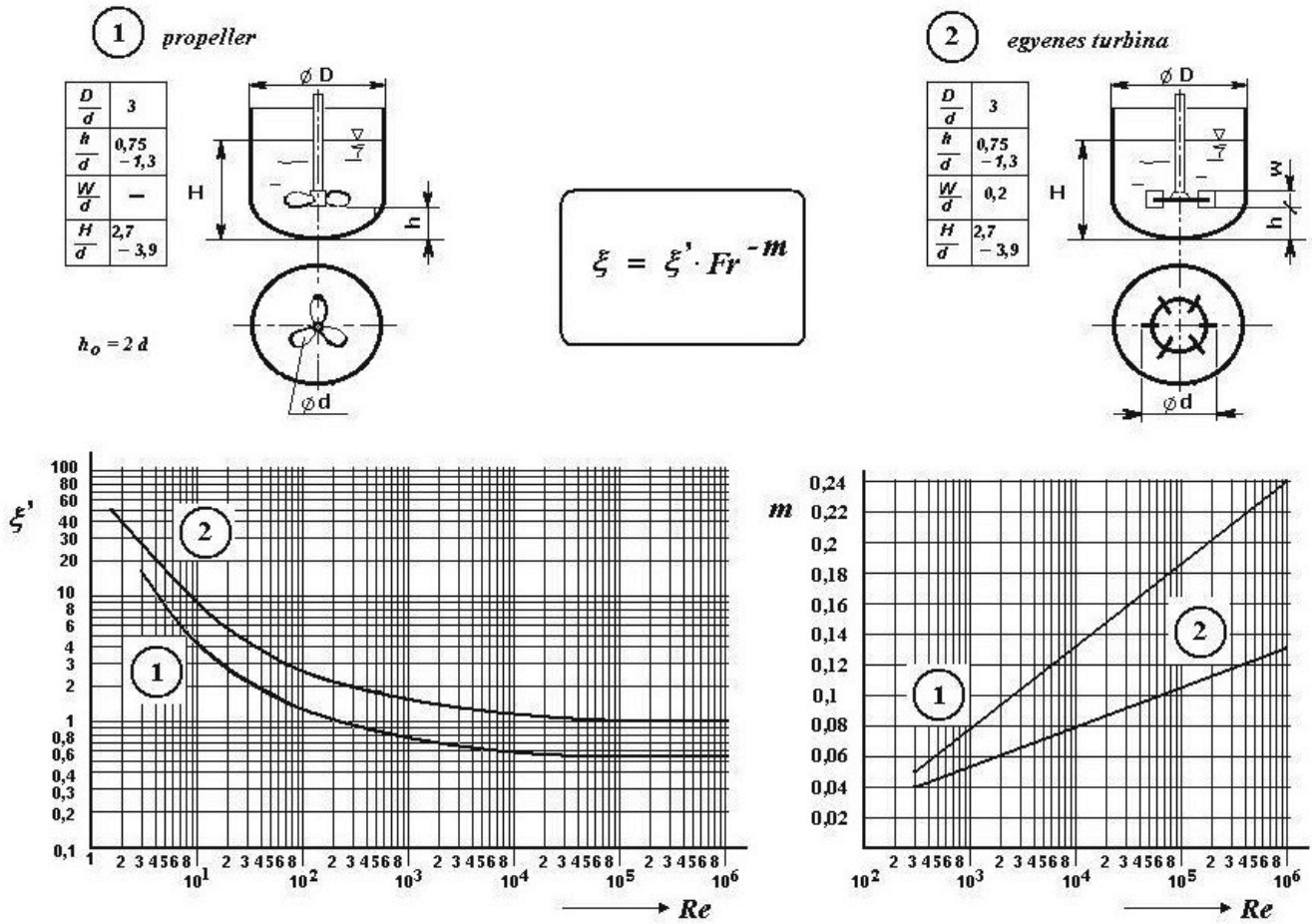
A Froude-szám hatása az ellenállástényezőre



Amennyiben nem alkalmazunk torlólapokat, akkor az ellenállástényezőt az alábbiak szerint kell meghatározni:

$$\xi = \xi' \cdot Fr^{-m}$$

A diagramból a megfelelő keverőelemre vonatkozó ξ' ellenállástényezőt módosítjuk a Froude-szám bizonyos kitevőjével (m), ami természetesen, a jobb oldali diagramon látható módon, szintén a Reynolds-számtól függ (14. ábra).



14. ábra



Vessük össze a keverőelemek ellenállástényezőit a két fenti (torlólapal szerelt és anélküli) esetben! Mit tapasztalunk?

Látható és érezhető módon kisebb ellenállást tapasztalunk torlólap nélküli esetben. Fennáll a veszélye a keverési hatékonyság csökkenésének. Diszpergáltatáshoz ui. nagyobb fordulatszám szükséges, a tölcserhatás kialakulását pl. propellerkeverő esetén vezetőcső beépítésével oldják meg.

3.2. GYAKORLATI FELADAT MEGVALÓSÍTÁSA

3.2.1. Modell keverős berendezés keverési ellenállástényezőinek meghatározása mérésrel

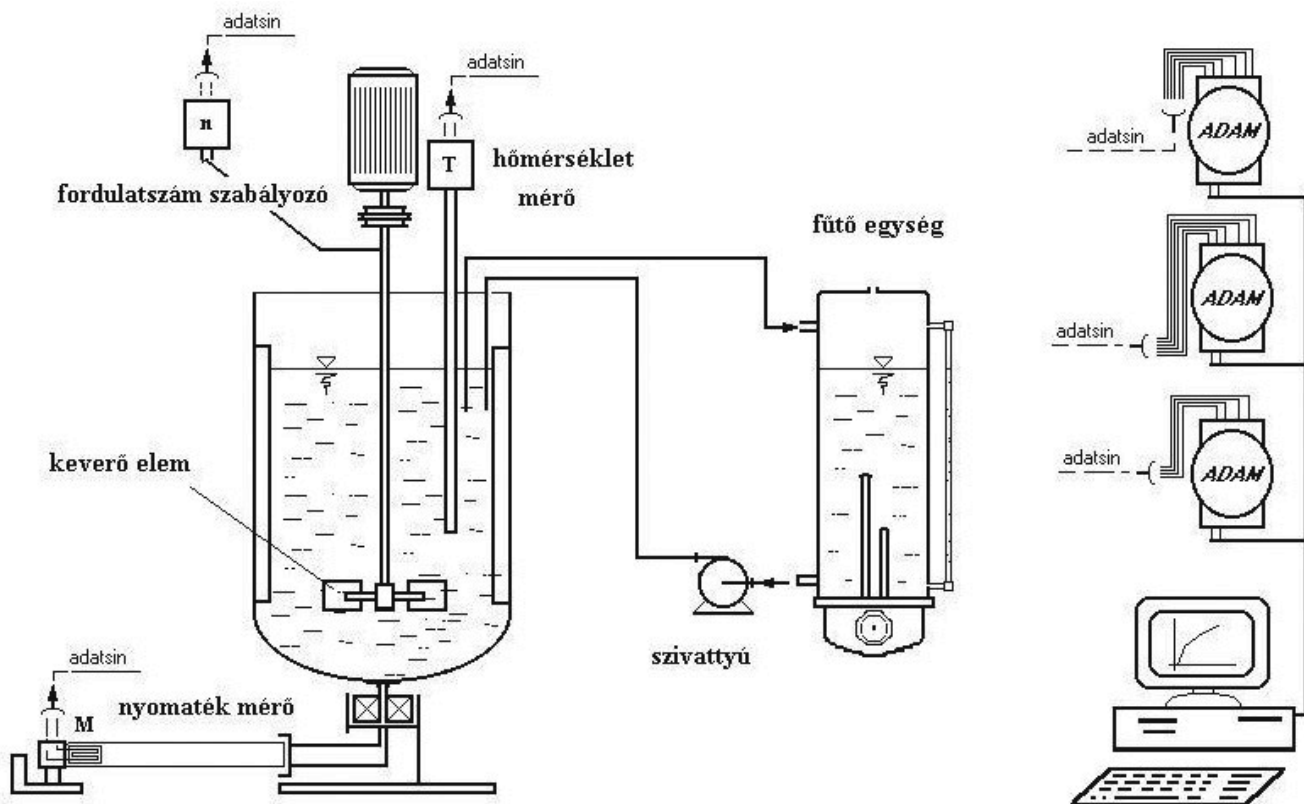
3.2.1.1. A berendezés leírása

A keverős berendezés torziós felfüggesztése révén alkalmas a keverési teljesítményszükséglet meghatározására (15. ábra). A keverőelem a közegen keresztül forgásra kényszerítene a csapágyazott keverős készüléket, amit egy torziós nyomatékmérővel lefékezünk.

A keverőmotor fordulatszabályozóval ellátott, így mérhetővé válik az adott fordulatszámokhoz tartozó keverési nyomaték, ill. teljesítmény amely érték ismeretében a keverési ellenállástényező meghatározható.

A bojler és a keringtető szivattyú segítségével a közeg hőmérséklete változtatható, így tág Reynolds-szám tartományban végezhető az ellenállástényezők meghatározása.

3.2.1.2. A berendezés rajza



15. ábra

3.2.1.3. Feladat részletezése, a készülék üzembe helyezése

1. Áram alá helyezzük a készülékeket (tanári felügyelet mellett!).
2. Meghatározzuk a keverős készülék geometriai méreteit, ellenőrizzük a megadott geometriai hányadosokat (D/d , H/d ...).
3. Bekapcsoljuk a számítógépet.
4. Felszereljük az első keverőelemet, és ellenőrizzük a rögzítéseket.
5. Bekapcsoljuk a keverőmotort.
6. Beállítjuk az alapfordulatszámot.
7. A számítógépen elindítjuk a *Genie* programot: *file/open/kever.gni*.
8. Az egerrel rákattintunk a *play* jelre, és ezzel a számítógépen elindul a keverési nyomaték mérése.
9. Beállítandó fordulatszám-tartományok:
 ívelt lapátú: 125–380 1/s,
 egyenes lapátú: 100–360 1/s,
 propellerkeverő: 180–520 1/s.
10. A fordulatszámokat fokozatosan növeljük, és folyamatosan feljegyezzük a hozzájuk tartozó nyomatékok értékeit. A nyomatékokat akkor olvassuk le, amikor annak értéke állandósul.
11. Ne lépjük túl a megengedett maximum fordulatszámokat!
12. Leolvassuk a közeg hőmérsékleti értékét.
13. A mérést ugyanígy elvégezzük a többi keverőelemmel.
14. A keverőelem cseréje: a tokmány bal oldalán lévő rögzítőelem benyomása után a tokmány kézzel nyitható. Kiemeljük a keverőelemet a tengellyel és a keverőelem cseréjét kint végezzük el. Visz-

szahelyezzük a keverőelem tengelyét, kézzel rögzítjük a tokmányt, és megpróbáljuk szimmetria-tengelybe állítani. Kioldjuk a rögzítőelemet.

15. A mérés végeztével áramtalanítjuk a készülékeket, leszereljük a keverőelemeket.
16. Elkészítjük a jegyzőkönyvet. Kiszámolandó a ξ (kszi), a Re-szám, és a hasznos teljesítmény (P_h) értéke, és elkészítjük a keverési diagramokat az összes keverőelemre vonatkozólag.

3.2.1.4. Mérési adatok táblázatos formában feldolgozva

Ívelt turbina keverő						
Mérési adatok			Számított értékek			
fordulatszám, n [1/min]	Keverési nyomaték, Mk [Ncm]	Hőmérséklet, t [°C]	Keverési nyomaték, Mk [Nm]	Hasznos teljesítmény, Ph [W]	Keverési ellenállás tényező, ξ	Reynoldsszám, Re
250	0,83	25	0,0083	0,22	1,79	20 355
270	1,10	25	0,0110	0,31	2,03	22 050
290	1,15	25	0,0115	0,35	1,84	23 683
310	1,60	25	0,0160	0,52	2,24	25 317
320	1,70	25	0,0170	0,57	2,23	26 133

Egyenes lapátú turbina keverő						
Mérési adatok			Számított értékek			
fordulatszám, n [1/min]	Keverési nyomaték, Mk [Ncm]	Hőmérséklet, t [°C]	Keverési nyomaték, Mk [Nm]	Hasznos teljesítmény, Ph [W]	Keverési ellenállás tényező, ξ	Reynoldsszám, Re
250	1,35	25	0,0135	0,35	2,91	20 355
270	1,65	25	0,0165	0,47	3,04	21 984
290	2,00	25	0,0200	0,61	3,20	23 612
310	2,30	25	0,0230	0,75	3,22	25 241
320	2,45	25	0,0245	0,82	3,22	26 055

Propeller keverő						
Mérési adatok			Számított értékek			
fordulatszám, n [1/min]	Keverési nyomaték, Mk [Ncm]	Hőmérséklet, t [°C]	Keverési nyomaték, Mk [Nm]	Hasznos teljesítmény, Ph [W]	Keverési ellenállás tényező, ξ	Reynoldsszám, Re
460	0,80	25	0,0080	0,39	0,51	37 454
480	1,00	25	0,0100	0,50	0,58	39 082
500	1,20	25	0,0120	0,63	0,65	40 711
520	1,35	25	0,0135	0,73	0,67	42 339
540	1,55	25	0,0155	0,88	0,72	43 968

3.2.1.5. A számítás menete

Ívelt turbinakeverő 1. adatsorát kidolgozva a hasznos teljesítmény szükséglet számítása:

$$P_h = M_k \cdot \omega = M_k \cdot 2 \cdot \pi \cdot n = 0,83 \text{ Ncm} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 250 \text{ min}^{-1} = 0,83 \cdot 10^{-2} \text{ Nm} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{250}{60} \text{ s}^{-1} = 0,2173 \text{ W}$$

Keverési ellenállástényező számítása.

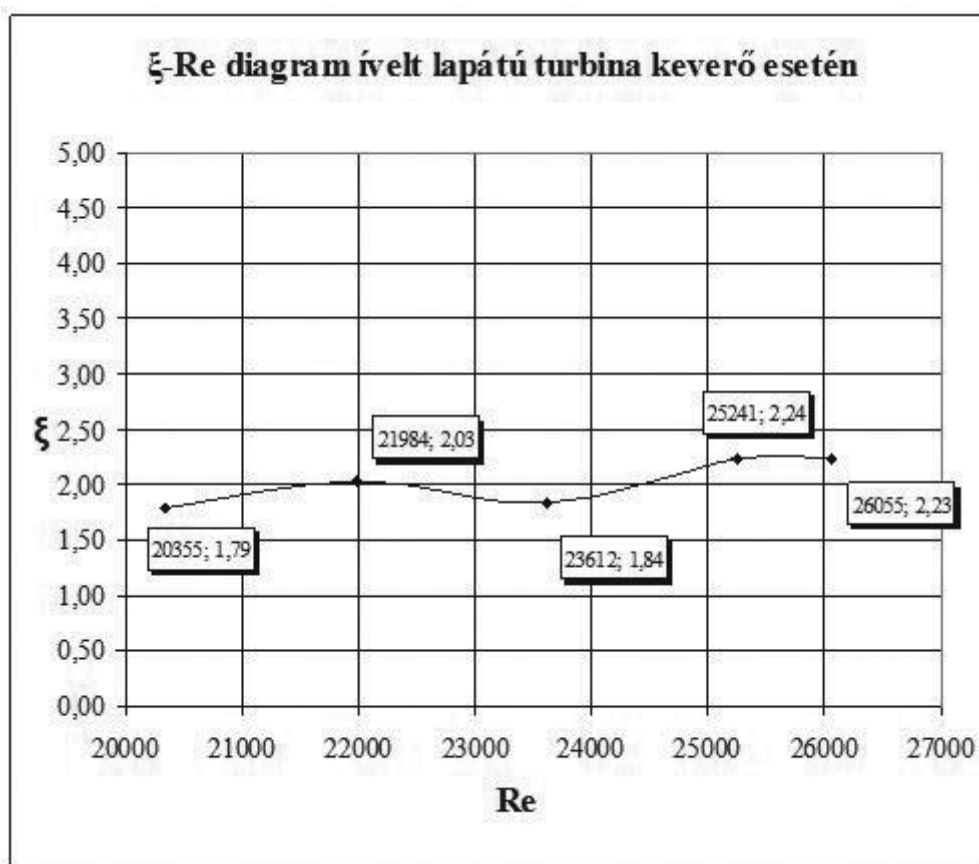
A keverési teljesítményszükséglet kifejezéséből $P_h = \xi d^5 \cdot n^3 \cdot \rho$, az ellenállástényezőt kifejezve, behelyettesítve:

$$\xi = \frac{P_h}{d^5 \cdot n^3 \cdot \rho} = \frac{0,2173 \text{ W}}{(0,07 \text{ m})^5 \cdot \left(\frac{250}{60} \text{ s}^{-1}\right)^3 \cdot 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 1,793$$

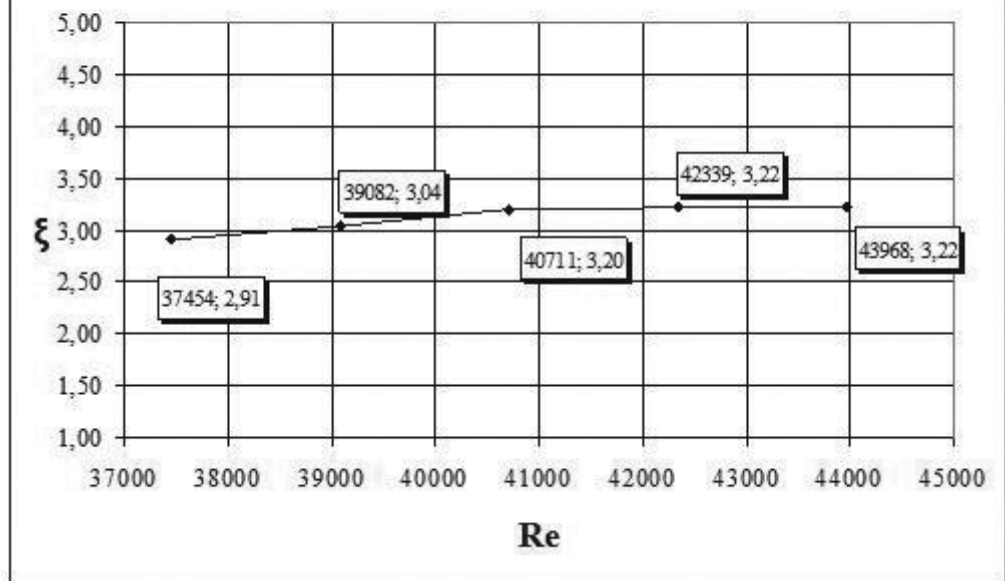
A keverési Reynolds-szám meghatározása:

$$\text{Re} = \frac{d^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu} = \frac{(0,07 \text{ m})^2 \cdot \left(\frac{250}{60} \text{ s}^{-1}\right) \cdot 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}} = 20355$$

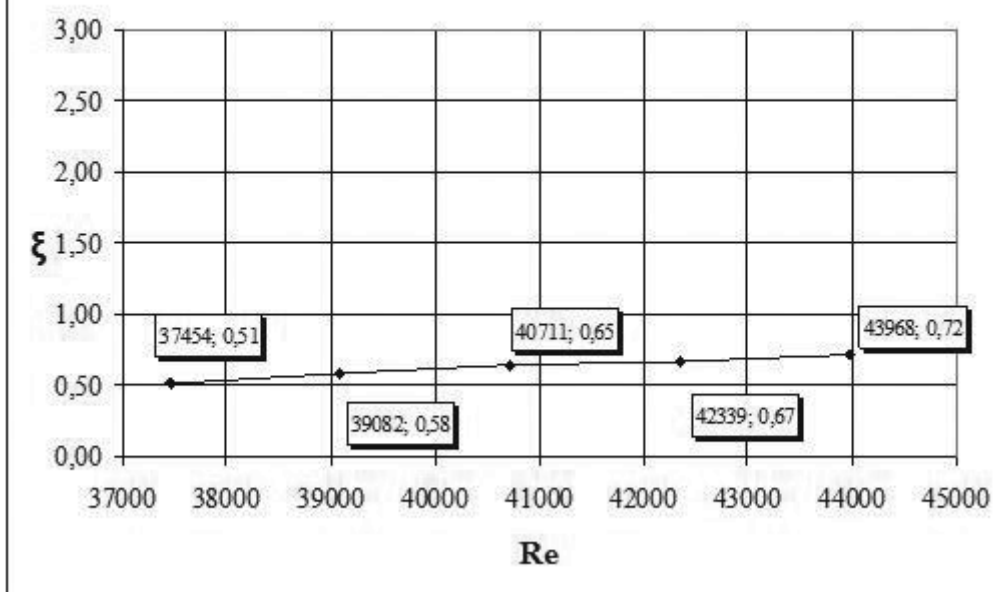
3.2.1.6. Számított értékek diagramokban ábrázolva



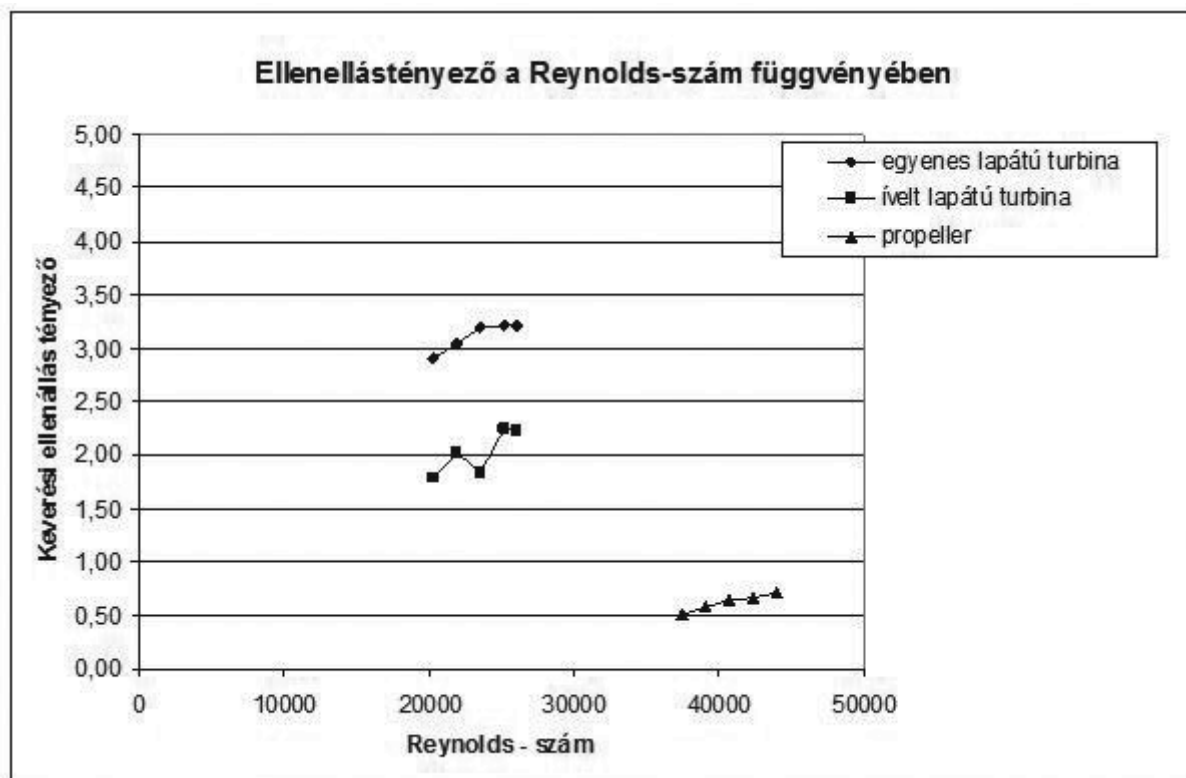
ξ -Re diagram egyenes lapátú turbina keverő esetén



ξ -Re diagram propeller keverő esetén



Egy diagramban ábrázolva:



3.3. ELLENŐRZŐ FELADATOK A KEVERÉS TÉMAKÖRÉBŐL

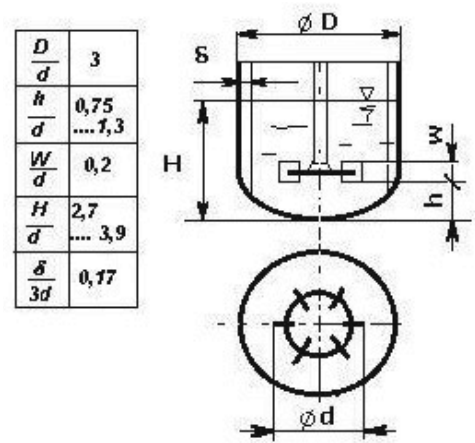
3.3.1. Számítási feladat 1.

Folyadékelegyet egy külső fűtőterű, zárt keverős készülékben, autoklávban homogenizálunk, keverőeleme tárcsás turbina keverő.

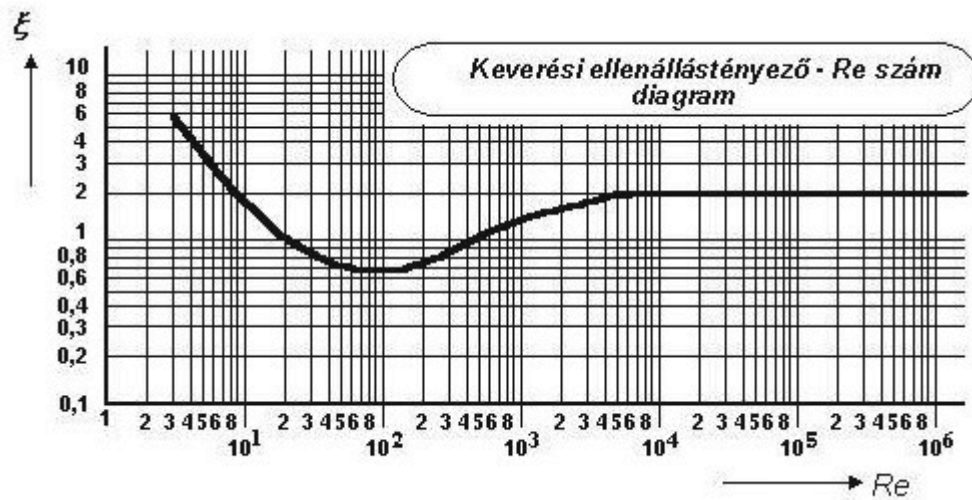
A keverőelem átmérője 400 mm, fordulatszáma 240 f/perc. A közeg dinamikai viszkozitása $1,2 \cdot 10^{-3}$ Pa·s, sűrűsége 1200 kg/m^3 .

a) Rajzolja le az autoklávot! Tüntesse fel a fő részeit!

b) A mellékelt hasonlósági hányadosok alapján határozza meg a készülék fő méreteit!



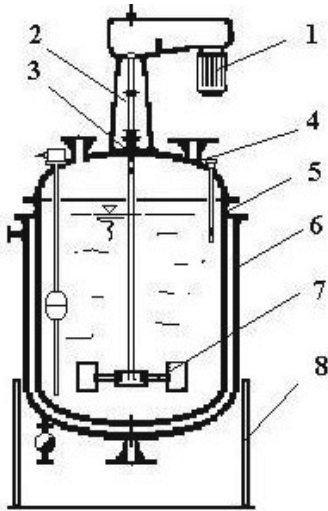
c) Számolja ki a keverős készülék maximális térfogatát!



d) Számolja ki a keverési Reynolds-szám értékét és határozza meg a keverési ellenállás tényező értékét!

e) Határozza meg a keverés hasznos teljesítményszükségletét!

Megoldás



a) Az autokláv rajza

- 1. motor
- 2. hajtómű
- 3. tömítés (tömszelencés, o-gyűrűs)
- 4. fedél a csonkokkal
- 5. készülék köpeny
- 6. duplikátor
- 7. keverőelem a tengellyel
- 8. készülékszoknya (vagy más megtámasztás)

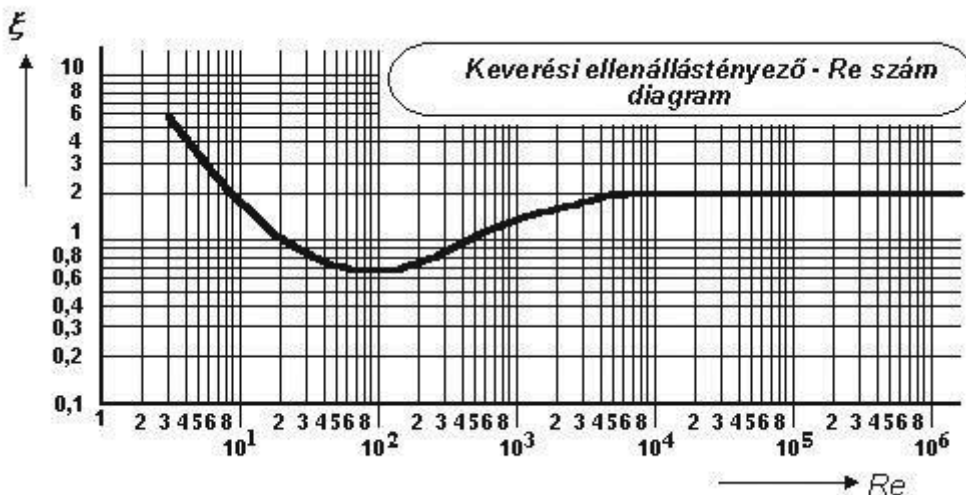
b) A készülék átmérője: $D = 3 \cdot d = 1200$ mm, a beépítési magasság: $h = d = 0,4$ m, a torlóelem szélessége: $\delta = 0,17 \cdot 3 \cdot d = 0,17 \cdot 3 \cdot 0,4 = 204$ mm, $H \cong D = 1,2$ m

c) A maximális térfogat: $V = D^2 \cdot \pi / 4 \cdot H_{max}$, ahol $H_{max} = 3,9 \cdot d$, így

$$V = 1,2^2 \cdot \pi / 4 \cdot 3,9 \cdot 0,4 = 1,76 \text{ m}^3.$$

d) A keverési Reynolds-szám:

$$Re = \frac{d^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu} = \frac{0,4^2 \cdot 4 \cdot 1200}{1,2 \cdot 10^{-3}} = 6,4 \cdot 10^5.$$



az ellenállástényező: $\xi = 2$

e) A teljesítményszükséglet: $P_h = \xi \cdot d^5 \cdot n^3 \cdot \rho = 2 \cdot 0,4^5 \cdot 4^3 \cdot 1200 = 1573$ W.

4. HŐKÖZLÉSI FOLYAMAT VIZSGÁLATA

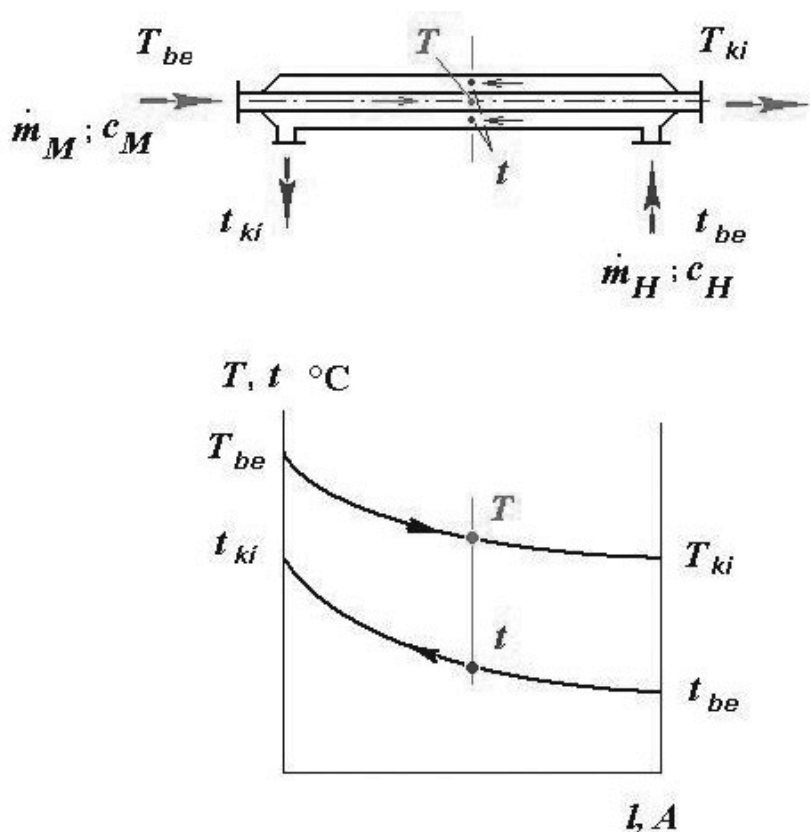
4.1. ELMÉLETI KÉRDÉSEK

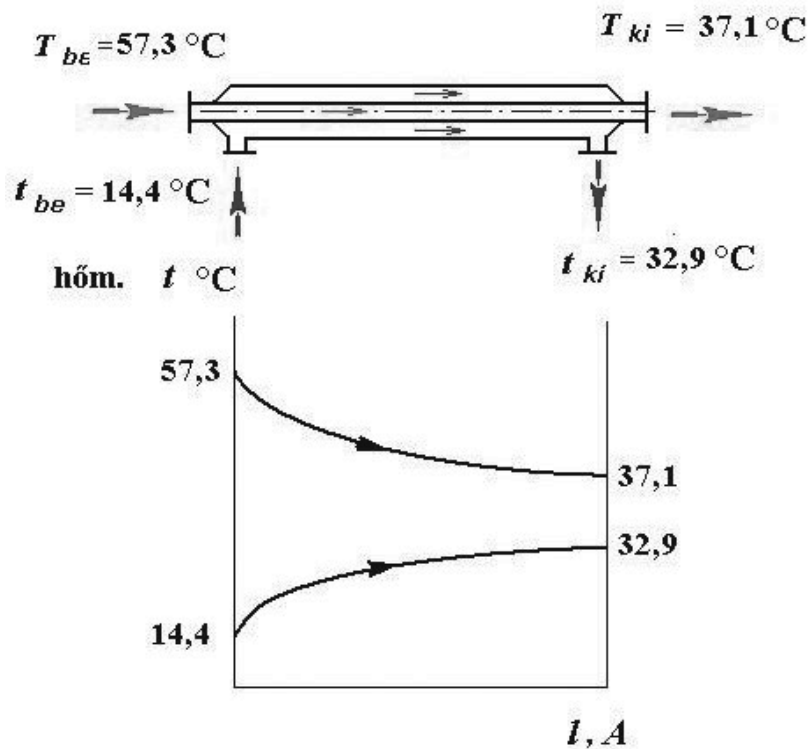
4.1.1. Hőátbocsátás elméleti kérdései

Jelen fejezetben egyen- és ellenáramú felületi hőcserélőket fogunk vizsgálni, azon belül is érzékelhető hőleadással és hőfelvétellel. A vizsgálandó felületi hőcserélők a kettőscsőves (cső a csőben hőcserélő), ill. a merev csőköteges hőcserélő.

Ilyen esetben, amikor nem történik halmazállapot-változás, akkor a közegek hőmérséklete a felület mentén változik, hűl vagy éppen melegszik. Ezt szemlélteti a következő két ábra, egyen- ill. ellenáramú esetben. A hőleadó hőmérsékletei T betűvel, a hőfelvevő hőmérsékletét t betűvel jelöljük. A hőcserélő rajza alatt a hőmérséklet-felület diagram látható.

Egyenáramú esetben a belépő oldalon sokkal nagyobb a hőmérsékletkülönbség, az ellenáramú esetben a hajtóerő (a két közeg közötti hőmérséklet különbség) sokkal kiegyenlítettébb. Ezért előnyösebb alkalmazásuk.





4.1.2. A felületi hőcserélők hőtani méretezése

4.1.2.1. A leadott hő számítása



$$\Phi_{le} = m_M c_M (T_{be} - T_{ki})$$

Alkalmazott jelölések:

- Φ_{le} : leadott hőáram, hőteljesítmény [W],
- m_M : hőleadó (meleg víz) tömegárama [kg/s],
- c_M : a hőleadó közeg fajhője [$\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$].

4.1.2.2. Felvett hő számítása



$$\Phi_{fel} = m_H c_H (t_{ki} - t_{be})$$

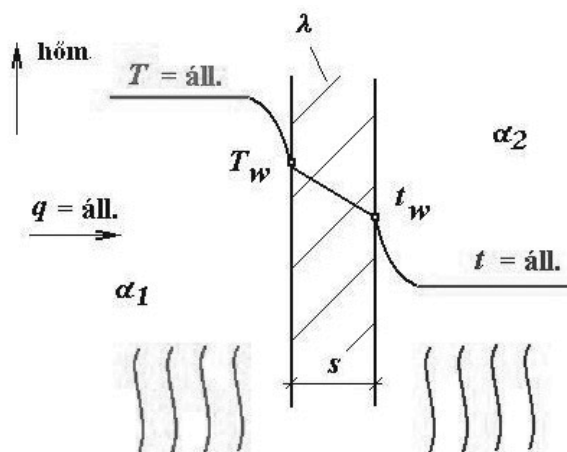
Alkalmazott jelölések:

- Φ_{fel} : felvett hőáram, hőteljesítmény [W],
- m_H : hőfelvevő (hideg víz) tömegárama [kg/s],
- c_H : a hőfelvevő közeg fajhője [$\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$].

A hővesztesség értéke: $\Phi_{veszt} = \Phi_{le} - \Phi_{fel}$

4.1.2.3. Átadott hő számítása, a hőcserélő alapegyenlete

A hőleadó közeg hőszállítással (hőátadással, α_1) juttatja el a hőt a hidegebb hőmérsékletű falhoz (T_w), a cső falában(s) hővezetéssel terjed (λ), majd a hőfelvevő oldali fal (t_w) fűti a hőfelvevő közeget, itt szintén hőszállítással (hőátadással, α_2) terjed a hő (16. ábra).



16. ábra



Az alapegyenlet:

$$\Phi_{\dot{a}t} = k \cdot A \cdot \Delta t_{köz} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \cdot A \cdot \Delta t_{log}$$

Alkalmazott jelölések:

- $\Phi_{\dot{a}t}$: átadott hőáram, hőteljesítmény [W],
- A : hőátadó felület [m^2],
- k : hőátbocsátási tényező [$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$],
- α_1, α_2 : hőátadási tényezők [$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$],
- λ : fal hővezetési tényezője [$\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$],
- s : falvastagság [m],
- Δt_{log} : logaritmikus közepes hőmérséklet különbség [$^\circ C$].

Összefüggése:

$$\Delta t_{log} = \frac{\Delta t_N - \Delta t_K}{\ln \frac{\Delta t_N}{\Delta t_K}},$$

amely érték lényegében a hőcserélő-felület menti hőmérséklet különbségeinek az átlaga:

- Δt_N : hőleadó- és a hőfelvevő közötti nagyobb hőmérsékletkülönbség,
- Δt_K : hőleadó- és a hőfelvevő közötti kisebb hőmérsékletkülönbség.

4.2. GYAKORLATI FELADAT MEGVALÓSÍTÁSA

4.2.1. Kettőscsöves, egyenáramú hőcserélő hőátbocsátási tényezőjének meghatározása méréssel



Ennek a témakörnek az a célja, hogy gyakorlati mérésekkel igazoljuk a hőcserélők hőmértékét, hőveszteséget tudjunk számolni, meghatározzuk a hőcserélők hőátbocsátási tényezőit.

4.2.1.1. A berendezés leírása

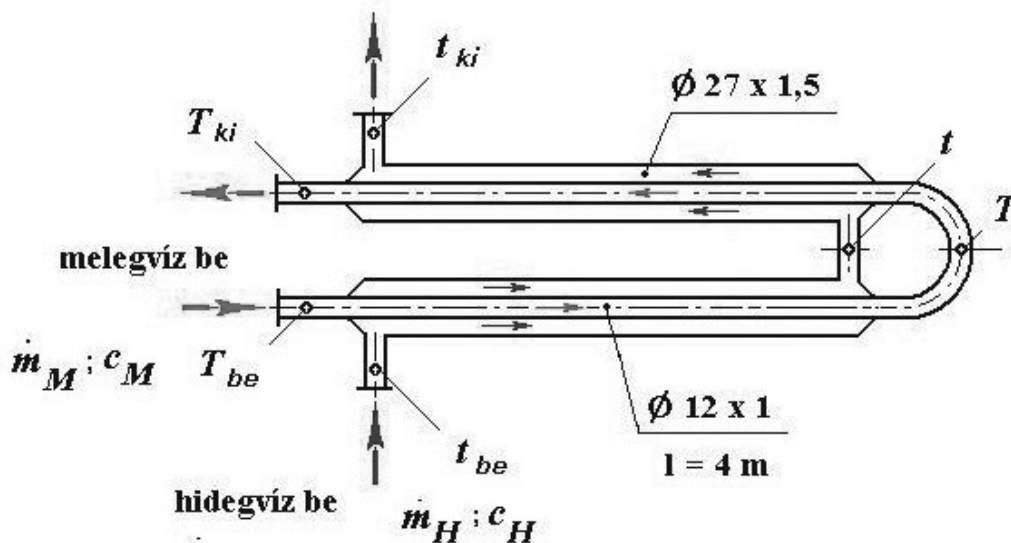
A berendezés egy kettőscsöves egyenáramú- és egy csőköteges ellenáramú hőcserélő vizsgálatát teszi lehetővé. A meleg víz előállítását a beépített bojler végzi, a folyadék keringtetését szivattyú biztosítja. A hideg víz hálózati vízvezetékre kötött.

A hőmérsékletérzékelők helyi leolvasású mechanikus- és elektronikus műszerekkel szereltek. Az áramlásmérők rotaméterek, ill. a beépített mérőperemekhez csatolt elektronikus távadókkal szintén az adatgyűjtő modulokhoz vannak csatlakoztatva. Adatfeldolgozás a kiépített ipari adatgyűjtő rendszeren, ill. PC-n keresztül, folyamatirányító és adatkiértékelő szoftver segítségével történik.

A kettőscsöves hőcserélő belső csövében, csőoldalon áramoltatjuk a hőleadó közeget, jelen esetben a meleg vizet. A két cső közötti térben, köpenyoldalon áramlik a hőfelvevő közeg, egyenáramban (17. ábra).

A csövek anyaga KO36, hővezetési tényezője $\lambda = 25 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$.

A geometriai adatok a kettőscsöves hőcserélő rajzáról leolvashatók (17. ábra).



17. ábra. Egyenáramú hőcserélő

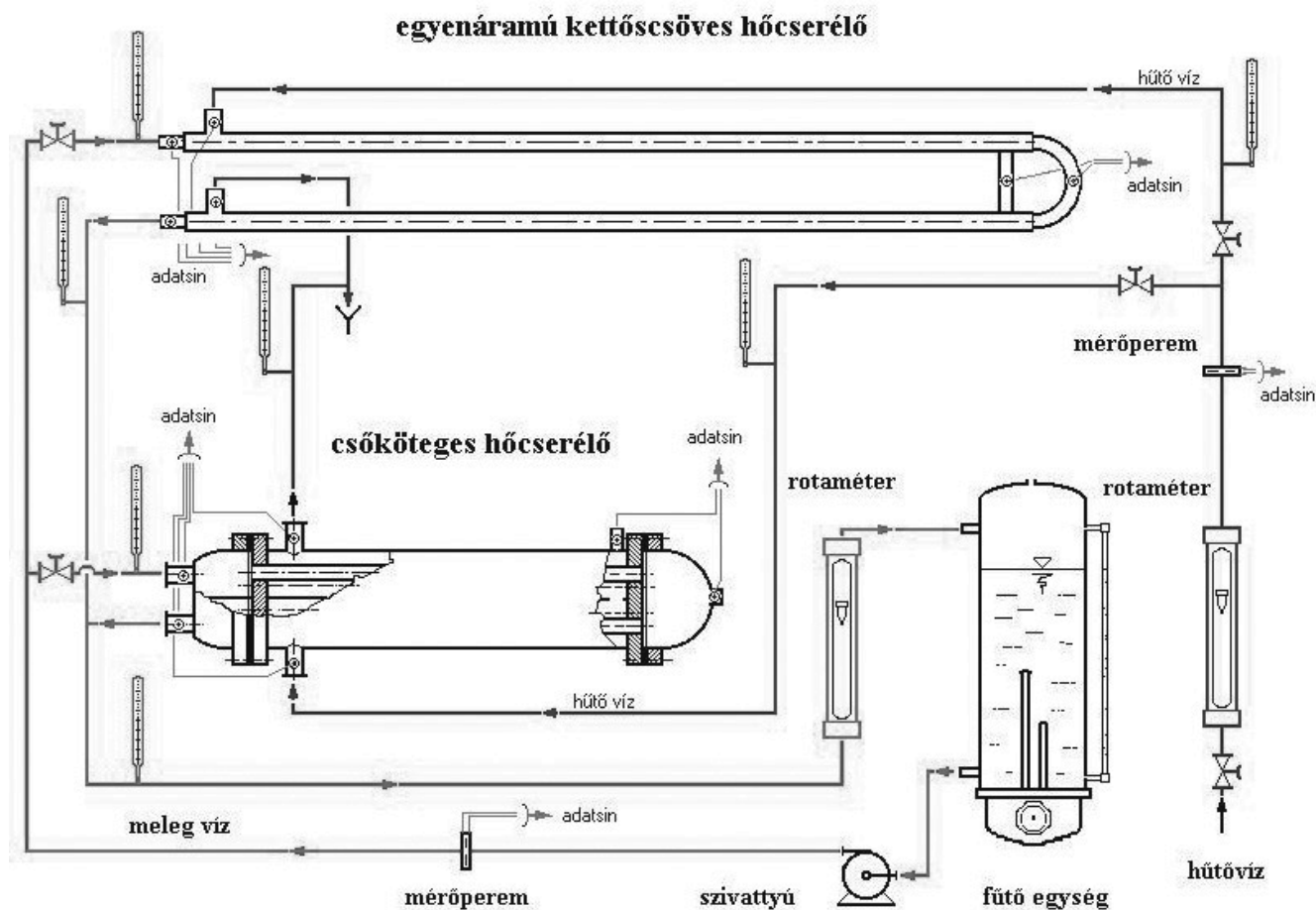
A hőcserélő fordulókamrájában is elhelyezésre került egy-egy hőmérsékletérzékelő (T , t -vel jelölt hőmérsékleti pontok).



Ön szerint van-e jelentősége a hőcserélő fordulókamrájában mért T , t -vel jelölt hőmérsékletek mérésének?

Nagy segítséget nyújtanak a hőmérséklet lefutási diagram jellegre helyes megrajzolásához, valamint a logaritmikus közepes hőmérsékletkülönbség értelmezéséhez, annak értékének ellenőrzéséhez, ui. $\Delta t_{log} \cong T-t$, a hőcserélő közepes hőmérsékletkülönbsége, hajtóereje.

4.2.1.2. A berendezés rajza



18. ábra. Folyadék-folyadék hőcserélők mérőhely kapcsolási rajza

4.2.1.3. A mérés menete

1. Áram alá helyezzük a készüléket (tanári felügyelet mellett!).
2. Meghatározzuk a kettős csöves hőcserélő-készülék geometriai méreteit.
3. Bekapcsoljuk a fűtőegységet és megvárjuk, amíg fel nem fűti a rendszert.
4. Bekapcsoljuk a keringtetőszivattyút.
5. Beállítjuk az első betáplálási értékeket.
6. Bekapcsoljuk számítógépet.
7. A számítógépen elindítjuk a *Genie* programot: *file/open/egyen.gni*.
8. Az egerrel rákattintunk a *play* jelre, és ezzel a számítógépen elindul az egyenáramú hőcserélő mérése program.
9. Beállítandó rotaméter értékek:
mind a meleg mind a hideg rotamétereket 50 l/h értékekkel párhuzamosan emeljük 250 l/h értékre.
10. A hőmérsékletet akkor olvassuk le, amikor annak értéke állandósul
11. A mérés végeztével áramtalanítjuk a készüléket.
12. Elkészítjük a jegyzőkönyvet. A jegyzőkönyv tartalmazza a feladat leírását, a berendezés kapcsolási rajzát, a mérési adatokat táblázatos formában, a szükséges számításokat, diagramokat, valamint a mérés összefoglalását!

4.2.1.4. Mérési adatok

Mért adatok							
Hőleadó				Hőfelvevő			
Rotaméter V_M [l/h]	T_1 [°C]	T [°C]	T_2 [°C]	Rotaméter V_H (l/h)	t_1 [°C]	t [°C]	t_2 [°C]
50	57,3	43,4	37,1	50	14,4	28	32,9
100	49,2	41,5	36	100	12,4	22	25
150	43,3	37,7	32,8	150	11,1	18	21
200	36,9	33,2	29,3	200	10,9	16	18
250	30,9	28,4	25,5	250	10,9	14	16

4.2.1.5. A számítás menete, számított értékek

Hőleadó oldal számítása

A hőleadó közeg sűrűségét T_1 hőmérsékleten kikeressük a melléklet I. táblázatából, hisz a rotaméter a belépő oldalon van elhelyezve:

Esetünkben ez $T = 57,3$ °C, a sűrűség értéke $\rho_M = 984$ kg/m³.

A meleg víz tömegárama: $m_M = V_M \rho_M = 50 \cdot 984 = 49,2$ kg/h.

A leadott hő számítása:

$$\Phi_{le} = m_M c_M (T_{be} - T_{ki}) = 49,2 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (57,3 - 37,1) = 4174 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 1159 \text{ W}$$

A hideg víz tömegárama

A hideg víz közepes hőmérséklete: $t = 14$ °C, a sűrűség értéke $\rho_H = 999,3$ kg/m³.

A hideg víz tömegárama: $m_H = V_H \rho_H = 50 \cdot 0,9963 = 50$ kg/h.

A felvett hő számítása:

$$\Phi_{fel} = m_H c_H (t_{ki} - t_{be}) = 50 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (32,9 - 14,4) = 3885 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 1079 \text{ W}$$

A hővesztés: $\Phi_{veszt} = \Phi_{le} - \Phi_{fel} = 1159 - 1079 = 80 \text{ W}$.

A hőátadó felület:

$$A = d \cdot \pi L = 0,012 \cdot \pi \cdot 4 = 0,1508 \text{ m}^2$$

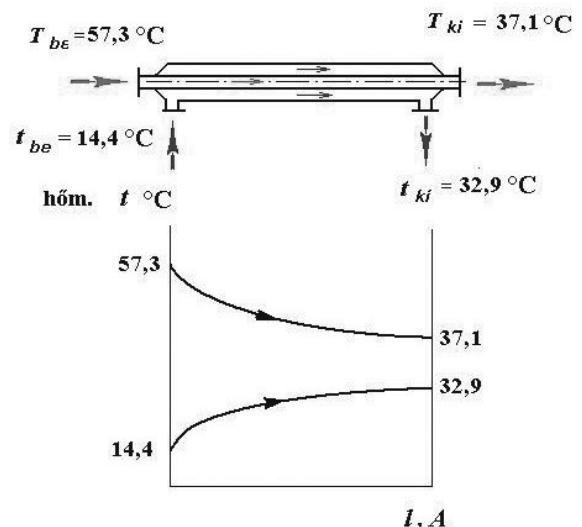
A közepes hőmérsékletkülönbség:

$$\Delta t_{\log} = \frac{\Delta t_N - \Delta t_K}{\ln \frac{\Delta t_N}{\Delta t_K}}$$

$$\Delta t_{\log} = \frac{(57,3 - 14,4) - (37,1 - 32,9)}{\ln \frac{(57,3 - 14,4)}{(37,1 - 32,9)}} = 16,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

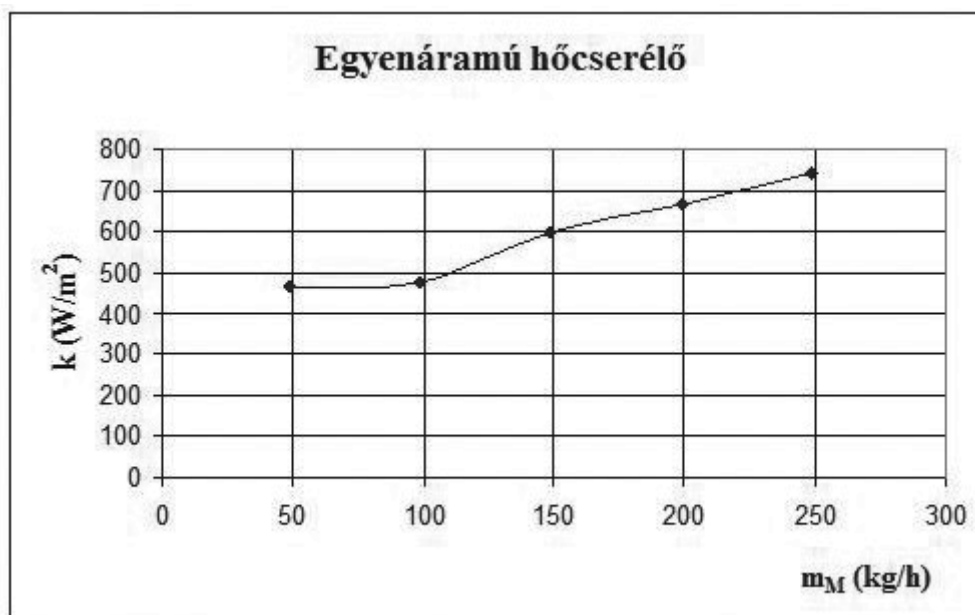
A hőátbocsátási tényező:

$$k = \frac{\Phi_{le}}{A \cdot \Delta t_{\log}} = \frac{1159 \text{ W}}{0,15 \text{ m}^2 \cdot 16,7 \text{ } ^\circ\text{C}} = 464 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$



Számított értékek												
Hőleadó							Hőfelvevő					
Δt_{log}	Δt_k	Δt_n	Sűrűség, ρ [kg/m ³]	Tömeg- áram, m_M [kg/h]	Hő- áram, Φ_{le} [kJ/h]	Hő- áram, Φ_{le} [W]	Sűrű- ség, ρ [kg/m ³]	Tömeg- áram, m_H [kg/h]	Hő- áram, Φ_{fel} [kJ/h]	Hő- áram, Φ_{fel} [W]	$\Delta \Phi_v$ [W]	Hőát- bocsá- tási tény., k [W/m ²]
16,7	4,2	42,9	984	49,2	4174	1159	999	50,0	3881	1078	81	464
21,4	11	36,8	988	98,8	5477	1522	999	99,9	5287	1469	53	475
20,3	11,8	32,2	991	148,7	6555	1821	999	149,9	6231	1731	90	597
17,6	11,3	26	993	198,6	6339	1761	999	199,8	5958	1655	106	665
14,1	9,5	20	996	249,0	5647	1569	999	249,8	5350	1486	83	741

4.2.1.6. Számított értékek diagramokban ábrázolva



4.2.2. Merev csőköteges, ellenáramú hőcserélő hőátbocsátási tényezőjének meghatározása méréssel



Ennek a témakörnek az a célja, hogy gyakorlati mérésekkel igazoljuk a hőcserélők hőmértékét, hőveszteséget tudjunk számolni, meghatározzuk a hőcserélők hőátbocsátási tényezőit.

4.2.2.1. A berendezés leírása

A berendezés egy kettőscsöves egyenáramú- és egy csőköteges ellenáramú hőcserélő vizsgálatát teszi lehetővé. A meleg víz előállítását a beépített bojler végzi, a folyadék keringtetését szivattyú biztosítja. A hideg víz hálózati vízvezetékre kötött.

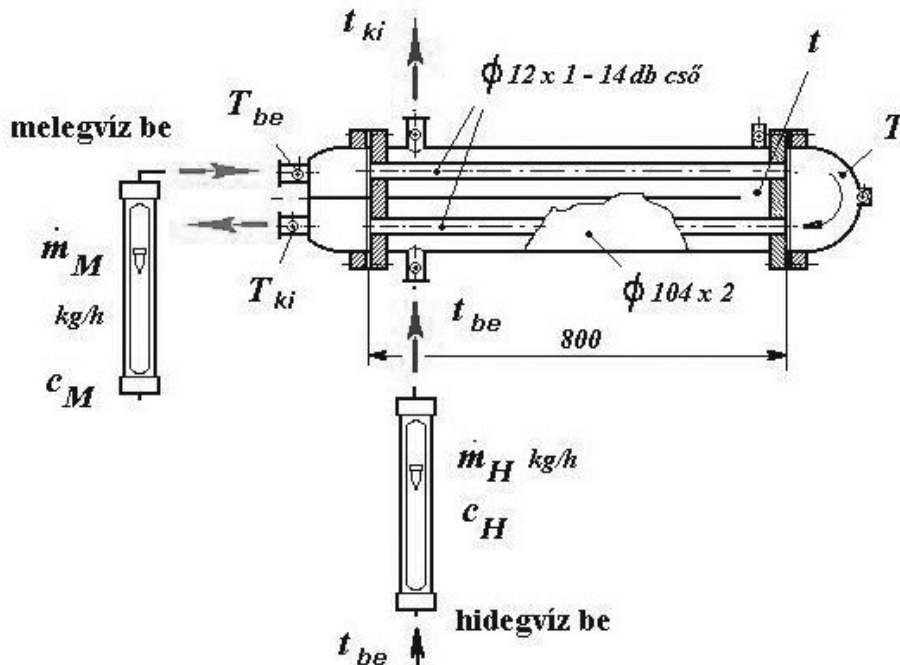
A hőmérsékletérzékelők helyi leolvasású mechanikus- és elektronikus műszerekkel szereltek. Az áramlásmérők rotaméterek ill. a beépített mérőperemekhez csatolt elektronikus távadókkal szintén az

adatgyűjtő modulokhoz vannak csatlakoztatva. Adatfeldolgozás a kiépített ipari adatgyűjtő rendszeren, ill. PC-n keresztül, folyamatirányító és adatkiértékelő szoftver segítségével történik.

A merev csőköteges hőcserélő belső csöveiben, csőoldalon áramoltatjuk a hőleadó közeget, jelen esetben a meleg vizet. A hőcserélő csőoldalon és köpenyoldalon is kétjáratú. A két cső közötti térben, köpenyoldalon áramlik a hőfelvevő közeg, ellenáramban.

A csövek anyaga KO36, hővezetési tényezője $\lambda = 25 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$.

Geometriai adatok a csőköteges hőcserélő rajzáról leolvashatóak.



19. ábra. Ellenáramú hőcserélő

A hőcserélő fordulókamrájában is elhelyezésre került egy-egy hőmérséklet érzékelő (T , t -vel jelölt hőmérsékleti pontok).



Ön szerint van-e annak jelentősége, hogy a két közeg mindvégig ellenáramban halad?

Igen, az ellenáramú közegvezetés nagy előnye, hogy nagy a hőfokcsés a két közeg között és ez alig változik. Ez azt jelenti, hogy nagy hőáram vihető át a hőcserélőn.

4.2.2.2. A berendezés rajza

A berendezés rajza ugyanaz, mint ami a 18. ábrán látható.

4.2.2.3. A mérés menete

1. Áram alá helyezzük a készülékeket (tanári felügyelet mellett!).
2. Meghatározzuk a merev csőköteges hőcserélő-készülék geometriai méreteit.
3. Bekapcsoljuk a fűtőegységet és megvárjuk, amíg fel nem fűti a rendszert.
4. Bekapcsoljuk a keringtető szivattyút.
5. Beállítjuk az első betáplálási értékeket.
6. Bekapcsoljuk számítógépet.
7. A számítógépen elindítjuk a *Genie* programot: *file/open/ellen.gni*.

8. Az egérrel rákattintunk a *play* jelre, és ezzel a számítógépen elindul az egyenáramú hőcserélő mérése program.
9. Beállítandó rotaméter értékek:
mind a meleg, mind a hideg rotamétereket 50 l/h értékekkel párhuzamosan emeljük 250 l/h értékre.
10. A hőmérsékleteket akkor olvassuk le, amikor annak értéke állandósult.
11. A mérés végeztével áramtalanítjuk a készülékeket.
12. Elkészítjük a jegyzőkönyvet. A jegyzőkönyv tartalmazza a feladat leírását, a berendezés kapcsolási rajzát, a mérési adatokat táblázatos formában, a szükséges számításokat, diagramokat, valamint a mérés összefoglalását.

4.2.2.4. Mérési adatok

Mért adatok					
Hőleadó			Hőfelvevő		
Rotaméter V_M [l/h]	T_1 [°C]	T_2 [°C]	Rotaméter V_H (l/h)	t_1 [°C]	t_2 [°C]
50	60,5	48,6	50	21,5	15,3
100	62,2	55,1	100	20,4	14,9
150	62,7	55	150	18,8	13,7
200	60,5	52,9	200	18,1	13,9
250	60,5	52,4	250	18,2	13,6

4.2.2.5. A számítás menete, számított értékek

Hőleadó oldal számítása

A hőleadó közeg belépő hőmérsékletén az alábbi táblázatból kikeressük a sűrűség értékét: I. melléklet.

Esetünkben ez $T_K = 60,5$ °C, a sűrűség értéke $\rho_M = 983$ kg/m³.

A meleg víz tömegárama: $m_M = V_M \rho_M = 50 \cdot 0,983 = 49,2$ kg/h.

A leadott hő számítása:

$$\Phi_{le} = m_M c_M (T_{be} - T_{ki}) = 49,2 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (60,5 - 48,6) = 2464 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 684 \text{ W}$$

A hideg víz tömegárama

A hideg víz közepes hőmérséklete: $t_K = 21,5$ °C, a sűrűség értéke $\rho_H = 999$ kg/m³.

A hideg víz tömegárama: $m_H = V_H \rho_H = 50 \cdot 0,999 = 49,9$ kg/h.

A felvett hő számítása:

$$\Phi_{fel} = m_H c_H (t_{ki} - t_{be}) = 49,9 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (21,5 - 15,3) = 1300 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 361 \text{ W}$$

A hőveszteség: $\Phi_v = \Phi_{le} - \Phi_{fel} = 684 - 361 = 323 \text{ W}$.

A hőátadó felület:

$$A = n \cdot d \cdot \pi \cdot L = 14 \cdot 0,012 \cdot \pi \cdot 0,8 = 0,422 \text{ m}^2$$

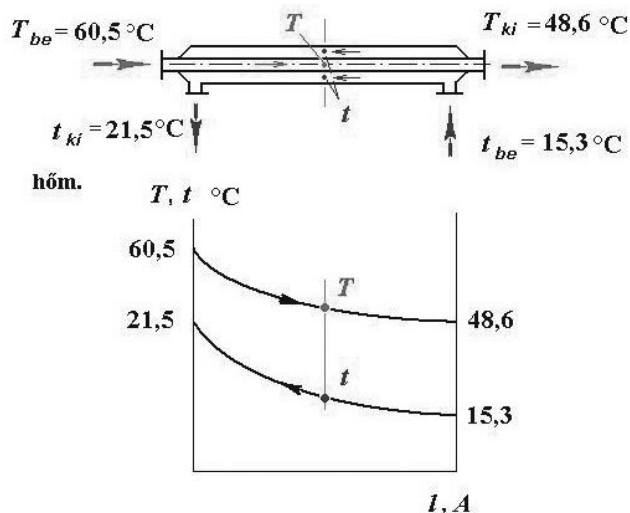
A közepes hőmérsékletkülönbség:

$$\Delta t_{\log} = \frac{\Delta t_N - \Delta t_K}{\ln \frac{\Delta t_N}{\Delta t_K}}$$

$$\Delta t_{\log} = \frac{(60,5 - 21,5) - (48,6 - 15,3)}{\ln \frac{(60,5 - 21,5)}{(48,6 - 15,3)}} = 36,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

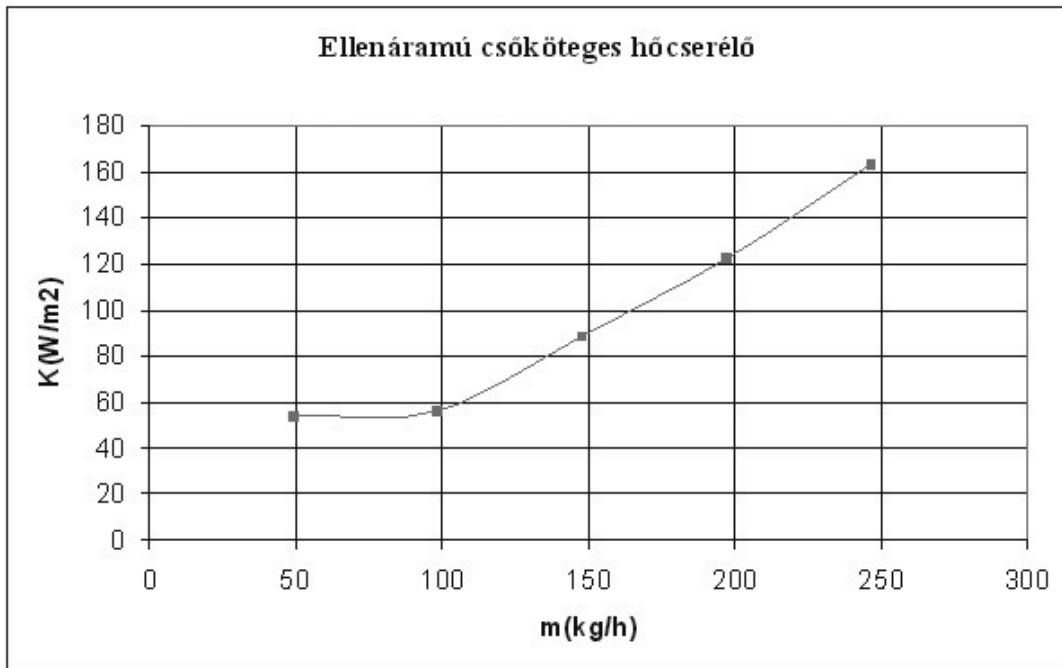
A hőátbocsátási tényező:

$$k = \frac{\Phi_{le}}{A \cdot \Delta t_{\log}} = \frac{684 \text{ W}}{0,422 \text{ m}^2 \cdot 36,1 \text{ } ^\circ\text{C}} = 53,9 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$



Számított értékek												
Hőleadó							Hőfelvevő					
Δt_n	Δt_k	Δt_{\log}	Sűrűség, ρ [kg/m ³]	Tömeg- áram, m_M [kg/h]	Hő- áram, Φ_{le} [kJ/h]	Hő- áram, Φ_{le} [W]	Sűrű- ség, ρ [kg/m ³]	Tömeg- áram, m_H [kg/h]	Hő- áram, Φ_{fel} [kJ/h]	Hő- áram, Φ_{fel} [W]	$\Delta \Phi_v$ [W]	Hőát- bocsá- tási tény., k [W/m ²]
39	33,3	36,1	983	49,3	2464	684	999	49,9	1300	361	323	53,9
41,8	40,2	41,0	984	98,4	2934	815	999	99,9	2307	641	174	56,5
43,9	41,3	42,6	984	147,6	4772	1326	999	149,9	3210	892	434	88,4
42,4	39	40,7	985	197,0	6287	1747	999	199,8	3525	979	767	122,0
42,3	38,8	40,5	985	246,3	8377	2327	999	249,8	4826	1340	987	163,1

4.2.2.6. Számított értékek diagramokban ábrázolva

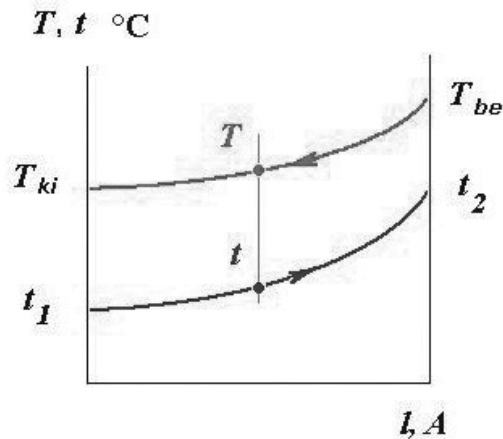
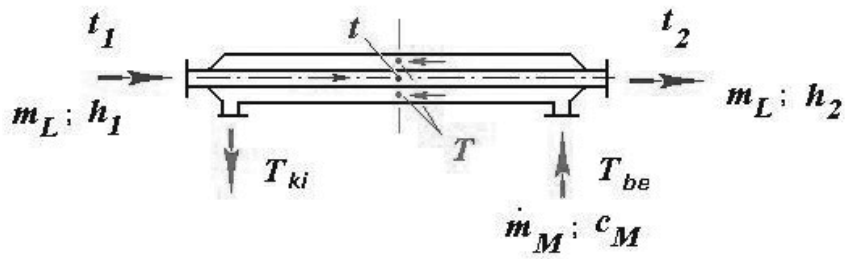


4.3. ELLENŐRZŐ FELADATOK

4.3.1. Hőmérsékletfelület-diagramok

Válassza ki, hogy a hőcserélő leírás melyik, a táblázat alatt található hőmérsékletfelület diagramra vonatkozik! Írja megfelelő diagram betűjelét a leírás utáni cellába! Egy cellába több betű is kerülhet!

1. Hőfelvevő oldalon csak forralás történik	
2. Olajjal forralunk.	
3. Hőleadó közeg túlhevített gőz	
4. Hőfelvevő kilépő hőmérséklete nagyobb lehet, mint a hőleadó kilépő hőmérséklete	
5. Folyadék-folyadék hőcsere folyik	
6. Vízhűtésű kondenzátor	
7. Desztilláló visszaforrálója	
8. Nem alkalmazható a logaritmikus hőmérséklet-különbség-számítási összefüggése	

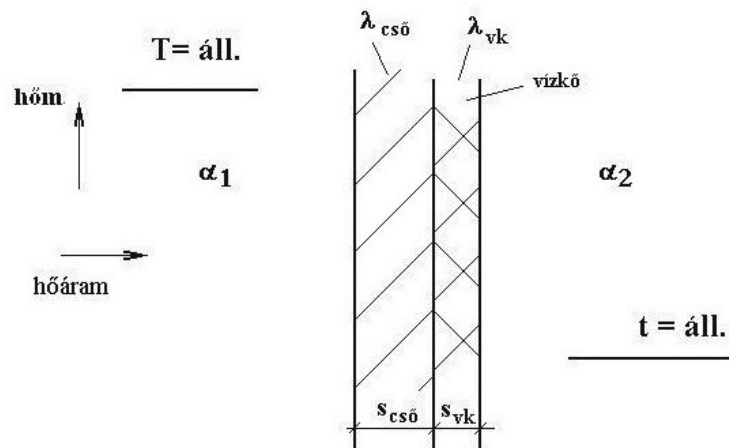


Megoldás

1. Hőfelvevő oldalon csak forralás történik	A, C
2. Olajjal forralunk.	A
3. Hőleadó közeg túlhevített gőz	C
4. Hőfelvevő kilépő hőmérséklete nagyobb lehet, mint a hőleadó kilépő hőmérséklete	D
5. Folyadék-folyadék hőcsere folyik	B, D
6. Vízhűtésű kondenzátor	E
7. Desztilláló visszaforralója	F
8. Nem alkalmazható a logaritmikus hőmérséklet-különbség-számítási összefüggése	C, F

4.3.2. Hőfoklefutás a falban

- a) Rajzolja be jellegre helyesen a hőmérsékletváltozásokat a hőleadó oldalon, a falban és a hőfelvevő oldalon! A fali hőmérsékleteket jelölje T_w , t_w betűkkel!
- b) A hőfelvevő oldalon s_{vk} vastagságú vízkő rakódott le, a vízkő hővezetési tényezője λ_{vk} . Rajzolja be jellegre helyesen a hőmérsékletváltozásokat a hőleadó oldalon, a falakban és a hőfelvevő oldalon. Vegye figyelembe, hogy $\lambda_{cső} \gg \lambda_{vk}$! A közbenső fali hőmérsékletet jelölje T_K , betűvel!



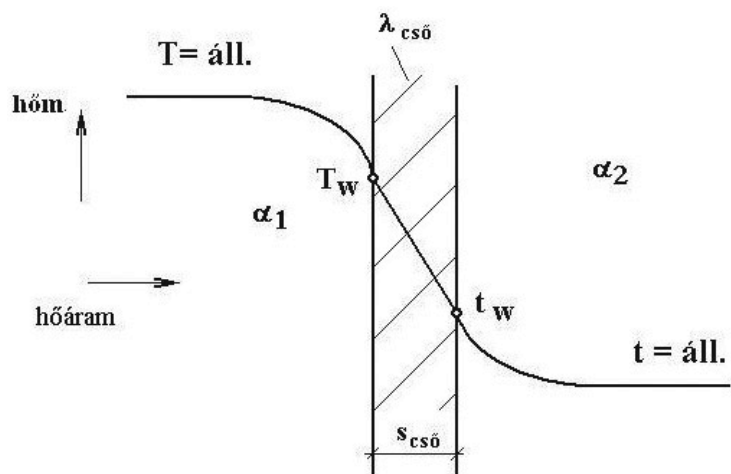
c) Mi lesz a vízkőlerakódás következménye? Karikázza be a helyes állítást!

1. A hőátvitel mértéke csökken, hiszen a rendszer hőellenállása nő.
2. A hőátbocsátási tényező értéke csökken, a vízkő hőfokesése nő, így a hőáram nem változik.
3. A rendszer hőellenállása nő, a közegek főtömeg hőmérsékletei nem változnak ($T-t$), így a hőáram csökkenni fog.

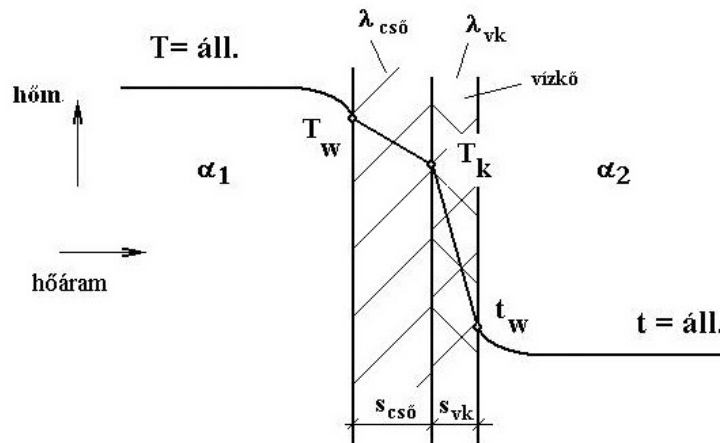
Megoldás

A hőcserélő hőátbocsátása:

a) Jellegre helyesen a hőmérsékletfelület diagram:



b) Jellegre helyesen a hőmérsékletváltozások:



c) Vízkőlerakódás következménye:

1. A hőátvitel mértéke csökken, hiszen a rendszer hőellenállása nő.
2. A hőátbocsátási tényező értéke csökken, a vízkő hőfokeseése nő, így a hőáram nem változik.
3. A rendszer hőellenállása nő, a közegek főtömeg hőmérsékletei nem változnak ($T-t$), így a hőáram csökkenni fog.

4.3.3. Gőzfűtésű csőköteges hőcserélő méretezése

1. Köpenyoldalon gőzzel fűtött csőköteges hőcserélőbe a csőoldalon belépő folyadék hőmérséklete $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, amit $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra melegítünk. Térfogatárama $2\text{ m}^3/\text{h}$, sűrűsége 998 kg/h . A hőcserélőben 20 db $\phi 12$ mm-es belső átmérőjű cső van beépítve.

- a) Számolja ki a csőekben áramló folyadék sebességét!
- b) Határozza meg a felvett hő nagyságát!
- c) Hány kg fűtőgőz szükséges óránként, ha a veszteségektől eltekintünk?
A fűtőgőz hőmérséklete $150\text{ }^{\circ}\text{C}$.
Feltételezzük, hogy a kilépő kondenzvíz forrponi hőmérsékletű.

$t\text{ }[^{\circ}\text{C}]$	$p\text{ }[\text{MPa}]$	$h''\text{ }[\text{kJ/kg}]$	$h'\text{ }[\text{kJ/kg}]$
150	0,476	2746	632

- d) Határozza meg a logaritmusos hőmérsékletkülönbség értékét!
- e) Mekkora a hőátadó felület, ha a köpeny hossza $1,2\text{ m}$?
- f) Számolja ki a hőátbocsátási tényező értékét!

Megoldás

1. Köpenyoldalon gőzzel fűtött csőköteges hőcserélőbe a csőoldalon belépő folyadék hőmérséklete $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, amit $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra melegítünk. Térfogatárama $2\text{ m}^3/\text{h}$, sűrűsége 998 kg/h . A hőcserélőben 20 db $\phi 12$ mm-es belső átmérőjű cső van beépítve.

a) A csövekben áramló folyadék sebessége:

$$v = \frac{V \cdot 4}{20 \cdot d^2 \cdot \pi} = \frac{2 \cdot 4}{20 \cdot 0,012^2 \cdot \pi \cdot 3600} = 0,2456 \left[\frac{m}{s} \right]$$

b) A felvett hő nagysága:

$$\Phi_{fel} = c \cdot m \cdot (t_{ki} - t_{be}) = 4,2 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 2 \frac{m^3}{3600s} \cdot 998 \frac{kg}{m^3} (80 - 15)^\circ C = 151,363 [kW]$$

c) A szükséges fűtőgőz óránként:

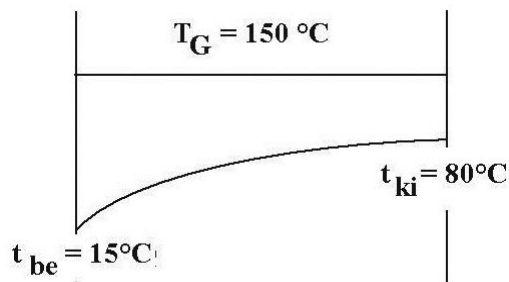
$$\text{a gőz rejtett hője: } \Delta h_G = h'' - h' = 2746 - 632 = 2114 \frac{kJ}{kg}$$

$$\text{a gőz mennyisége: } m_G = \frac{\Phi_{fel}}{\Delta h_G} = \frac{151,363}{2114} = 0,0716 \frac{kg}{s} = 257,76 \frac{kg}{h}$$

d) Logaritmikus hőmérsékletkülönbség értéke:

1 pont

$$\Delta t_{log} = \frac{\Delta t_n - \Delta t_k}{\ln \frac{\Delta t_n}{\Delta t_k}} = \frac{(150 - 15) - (150 - 80)}{\ln \frac{(150 - 15)}{(150 - 80)}} = 98,96 \text{ } ^\circ C$$



e) Hőátadó felület:

$$A = n \cdot d \cdot \pi \cdot l = 20 \cdot 0,012 \cdot \pi \cdot 1,2 = 0,905 \text{ m}^2$$

f) Hőátbocsátási tényező értéke:

$$k = \frac{\Phi_{fel}}{A \cdot \Delta t_{log}} = \frac{151363}{0,905 \cdot 98,96} = 1690 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

5. KALORIFER

5.1. ELMÉLETI KÉRDÉSEK

5.1.1. Kaloriferek alkalmazása



Mit gondol, melyek azok a hőtechnikai tulajdonságok, amelyek minősítik a levegőt, mint hőhordozót?

A kaloriferek levegő-előmelegítő berendezések, amelyeket elsősorban a konvekciós szárításnál alkalmazunk. Levegő a hőközvetítő közeg. Mivel a levegő a legjobb hőszigetelő, vagyis a legrosszabb hővezető tulajdonsággal rendelkező anyag, hővezetési tényezője $\lambda = 0,02-0,03 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$, ami a hőátadást nagy mértékben megnehezíti. A kaloriferekkel kapcsolatosan van egy másik probléma is. Nevezetesen a levegőben jól meghatározható mennyiségben nedvesség is található, túlhevített vízgőz formájában. Normális esetben, mint a következőkben látni fogjuk a nedvesség hőtartalma azonos nagyságrendben van az azt hordozó száraz levegővel. Így tehát nem lehet egykomponensű közeggel számolni.

Mielőtt rátérnénk a kaloriferben zajló hőátvitelre, a hőcserélő ismertetésére ill. gyakorlati mérésre, ismerkedjünk meg a nedves levegő állapotjelzőivel!

5.1.2. Nedves levegő állapotjelzői

5.1.2.1. Abszolút nedvességtartalom

Abszolút nedvességtartalom (x): a levegőben lévő nedvesség tömege (m_w) 1 kg száraz levegő tömegére (m_L) vonatkoztatva.

$$x = \frac{m_w}{m_L} \frac{[\text{kg nedvesség}]}{[\text{kg száraz levegő}]}$$

Az abszolút nedvességtartalom $0 \leq x \leq x_t$, ahol x_t a telítési érték, ennél több vízgőzt adott hőmérsékleten a levegő nem képes megkötni. Az x_t érték hőmérsékletfüggő: alacsonyabb hőmérsékleten kevesebb, magasabb hőmérsékleten több vízgőzt képes megkötni.

5.1.2.2. Relatív nedvességtartalom

Relatív nedvességtartalom (φ) a levegőben lévő vízgőz parciális nyomása (p_w) a telítési vízgőz parciális nyomásához (p_{wt}) viszonyítva:

$$\varphi = \frac{p_w}{p_{wt}}$$

A relatív nedvességtartalom $0 \leq \varphi \leq 1$ között változhat.

A telítési nedvességtartalom külön indexet kap: $\varphi_t = 1$, vagy %-ban kifejezve $\varphi_t = 100\%$.



Ön szerint van összefüggés az abszolút és a relatív nedvességtartalom között?

Természetesen van:

Felhasználva az ideális gáztörvény összefüggéseit:

$$x = \frac{m_w}{m_L} = \frac{n_w \cdot M_w}{n_L \cdot M_L} = \frac{p_w \cdot M_w}{p_L \cdot M_L}$$

alkalmazott jelölések:

n_w, n_L : a vízgőz és a levegő mólszáma,

M_w, M_L : móltömegek,

p_L : a száraz levegő parciális nyomása, melyre igaz, hogy a levegő össznyomása

$P_\delta = p_L + p_w$, ezeket az összefüggéseket behelyettesítve:

$$x = \frac{p_w \cdot M_w}{p_L \cdot M_L} = \frac{18}{29} \cdot \frac{p_w}{P_\delta - p_w} = 0,622 \cdot \frac{\varphi \cdot p_{wt}}{P_\delta - \varphi \cdot p_{wt}}$$

Értelmezés szerint: adott hőmérsékleten (t) a levegő relatív nedvességtartalma (φ_t), a vízgőz ezen hőmérsékleten vett tenziója (p_{wt}) és az össznyomás ismeretében (P_δ) az abszolút nedvességtartalom (x) számolható.

5.1.2.3. Nedves levegő fajlagos hőtartalma

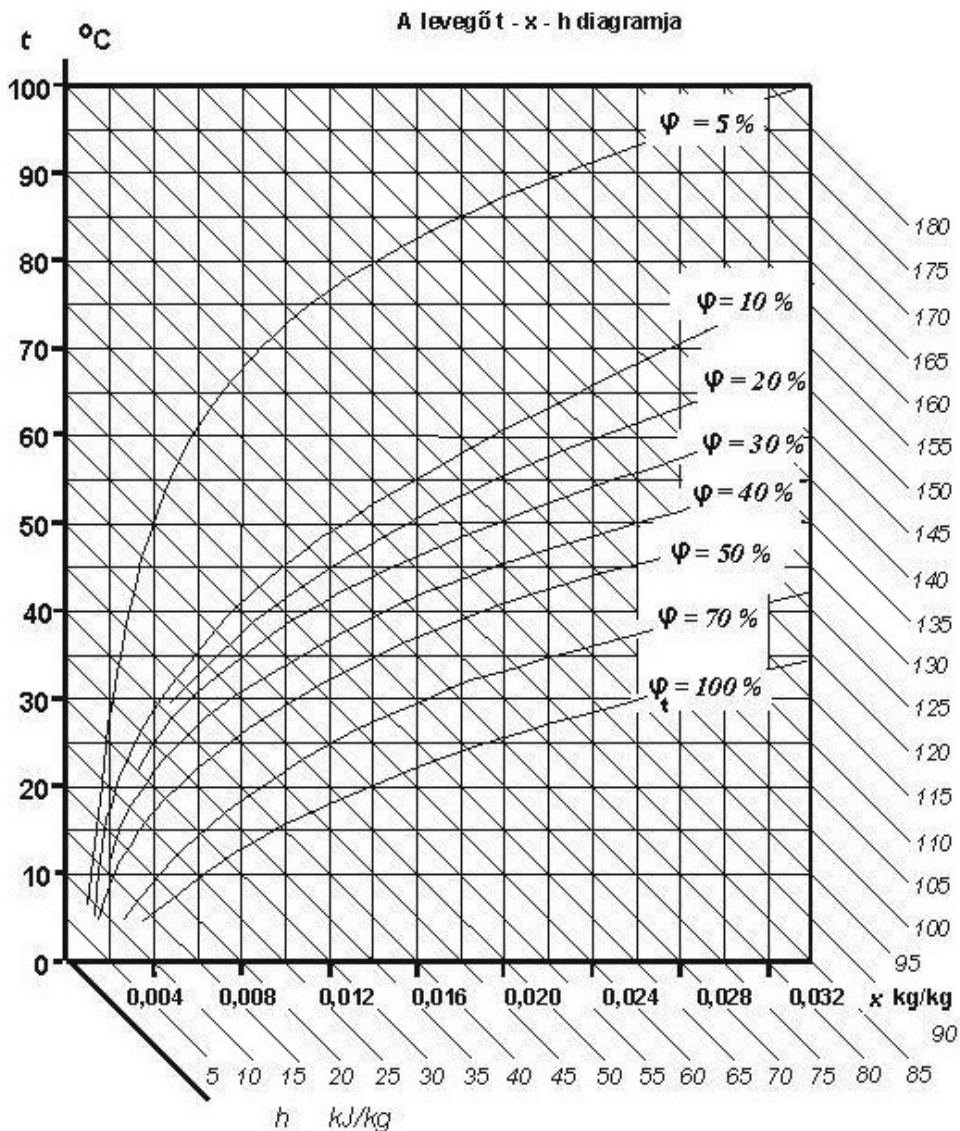
A nedves levegőben, amely száraz levegő és vízgőz keveréke, értelem szerint a hőtartalmuk összegezhető.

$$h = h_L + h_w = c_L \cdot t + x \cdot (\Delta h_w + c_w \cdot t)$$

Jelölések:

- t : a levegő hőmérséklete [$^{\circ}\text{C}$],
- h_L : száraz levegő fajlagos hőtartalma $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$,
- h_w : túlhevített vízgőz fajlagos hőtartalma $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$,
- c_L : a száraz levegő fajhője $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} \right]$,
- Δh_w : víz párolgáshője 0°C -on, konstans: $2500 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$,
- c_w : a túlhevített vízgőz fajhője $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} \right]$.

5.1.2.4. Mollier-féle t-x-h diagram



20. ábra. Mollier-féle nedves levegő állapotjelzői diagram

Függőleges tengelyen a hőmérséklet, vízszintes tengelyen az abszolút nedvességtartalom és a ferde fajtájos hőtartalom vonalak láthatók.

5.1.3. Kalorifer típusok



Ön szerint milyen fűtési megoldásokat alkalmazhatunk?

Alkalmazhatunk elektronikus fűtést fűtőszálakkal, közvetlen gázégővel való befűtatást (forgódobos szárítók), közvetett gőz-, ill. meleg vizes fűtést.

A kaloriferek hőfelvevő oldalán tehát a levegőt melegítjük fel a kívánt hőfokra.

A gyakorlati hőátadási tényező értékek levegővel történő hőátadásnál a lenti táblázatból:

- szabadáramlásnál, ahol az áramlás a meleg és a hideg levegő sűrűségkülönbsége alapján alakul ki: $\alpha = 2\text{--}5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C})$;
- kényszeráramlásnál, amikor a levegőt pl. ventilátorral áramoltatjuk: $\alpha = 10\text{--}100 \text{ W}/(\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C})$.

Mivel hőfelvevő oldalon igen kis hőátadási tényezők adódnak, így nagy hőátadó felület kialakítása szükséges.

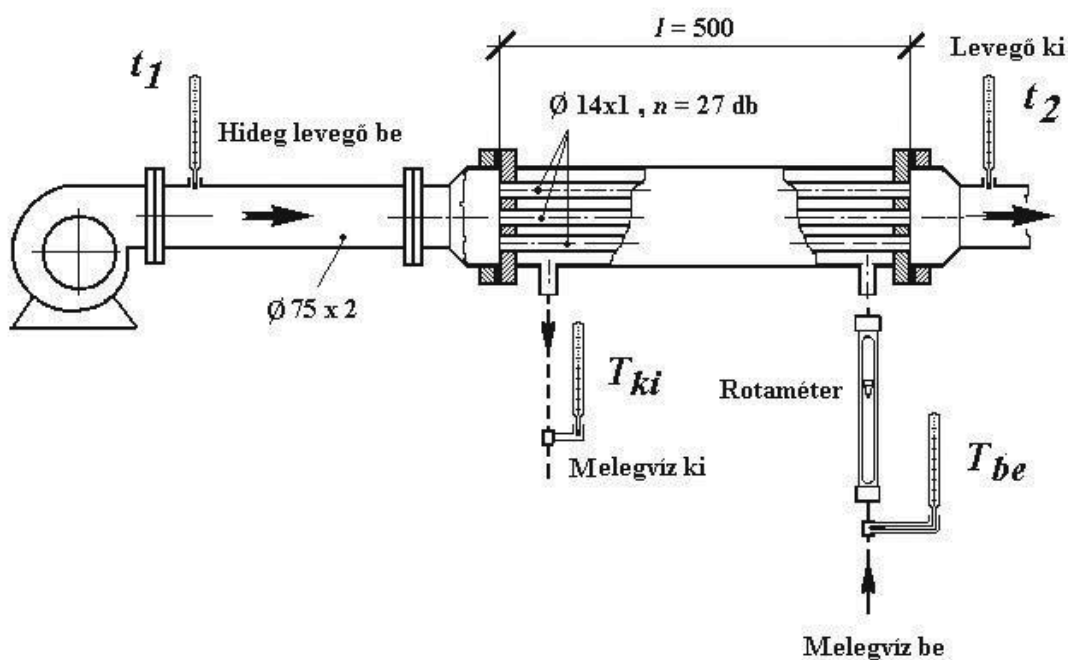
Hőleadó oldalon, a táblázatból kitűnik, hogy melegvíz-fűtésű kalorifer esetén 1–2 nagyságrenddel nagyobb, míg gőzfűtésű kaloriferek esetén legalább 3 nagyságrenddel nagyobb a hőátadási tényező.

A hőátbocsátási tényezőt sajnos a levegőoldali hőátadási tényező határozza meg!

Hőátadási tényezők gyakorlati értékei, $\alpha \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$		
	szabadáramlás	kényszeráramlás
levegő, gázok, gőzök	2–5	5–100
folyadékok	100–500	500–5000
kondenzáció, forralás	nincs értelmezve	$> 10^4$

5.1.4. Melegvíz-fűtésű kalorifer

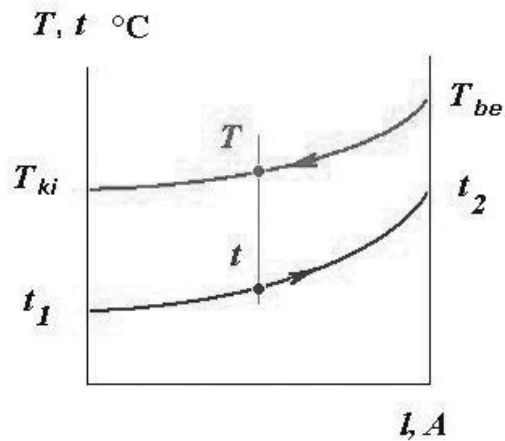
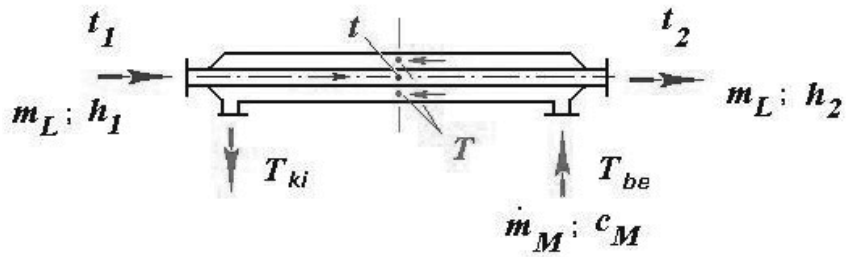
Ilyen esetben, amikor nem történik halmazállapot-változás, akkor a közegek hőmérséklete a felület mentén változik, hűl vagy éppen melegszik. Ezt szemlélteti a következő ábra, ahol ellenáramú kalorifer látható.



21. ábra. Kalorifer

A hideg levegőt ventilátorral áramoltatjuk, mérve a belépő hőmérsékletét (t_1) és relatív nedvességtartalmát (φ_1). A meleg vizet egy bojlerben állítjuk elő, szivattyúval keringtetjük, térfogatáramát rotaméterrel állítjuk be. A levegő az ellenáramú csőköteges hőcserélő csőoldalán áramlik. Kilépési hőmérséklete (t_2).

5.1.5. A kalorifer hőtani méretezése



5.1.5.1. A leadott hő számítása

A meleg víz köpenyoldalon áramlik.

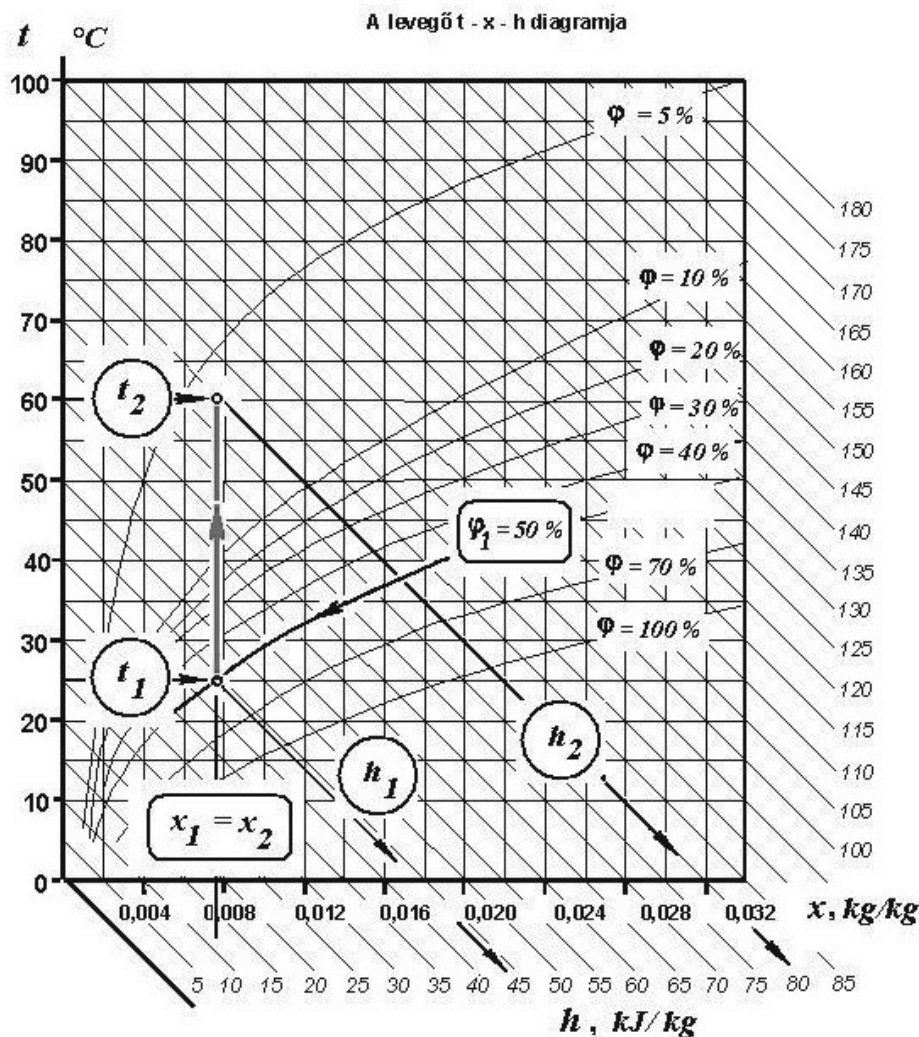


$$\Phi_{le} = m_M \cdot c_M \cdot (T_{be} - T_{ki})$$

Alkalmazott jelölések:

- Φ_{le} : leadott hőáram, hőteljesítmény [W],
- m_M : hőleadó (melegvíz) tömegárama [kg/s],
- c_M : a hőleadó közeg fajhője [$\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$].

5.1.5.2. Felvett hő számítása a Mollier-féle t-x-h diagram alapján



$$\Phi_{fel} = m_L \cdot (h_2 - h_1)$$

Alkalmazott jelölések:

- Φ_{fel} : a levegő által felvett hőáram, hőteljesítmény [W],
- m_L : a nedves levegő tömegárama [kg/s],
- h_1 : a nedves levegő hőtartalma t_1 hőmérsékleten és φ_1 relatív nedvességtartalom [kJ/kg],
- h_2 : a nedves levegő hőtartalma t_2 hőmérsékleten és $x_1 = x_2$ abszolút nedvességtartalom [kJ/kg].

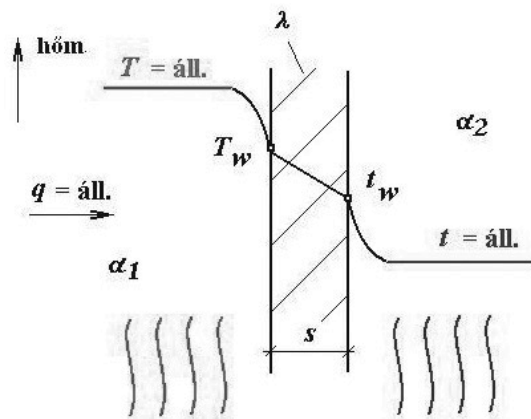
Az összefüggés magyarázata

A kaloriferben a nedves levegő tömege, így az abszolút nedvességtartalma az előmelegítés során nem változik, tehát $x_1 = x_2$. Az előmelegítési szakasz kiindulópontja a t_1 és a φ_1 metszéspontja, hisz a rendelkezésre álló levegő hőmérséklete és relatív nedvességtartalma ismert. Innen függőlegesen felfelé haladva ($x_1 = x_2 = \text{áll.}$) vonalon jutunk el a kaloriferből kilépő levegő hőmérsékleti pontjához. A hőtartalmakat a diagramból leolvashatjuk h_1 és h_2 , így a hőtartalom-változás értéke számolható.

A hővesztés értéke: $\Phi_{veszt} = \Phi_{le} - \Phi_{fel}$

5.1.5.3. Átadott hő számítása, a hőcserélő alapegyenlete

A hőleadó közeg hőszállítással (hőátadással, α_1) juttatja el a hőt a hidegebb hőmérsékletű falhoz (T_w), a cső falában(s) hővezetéssel terjed (λ), majd a hőfelvevő oldali fal (t_w) fűti a hőfelvevő közeget, itt szintén hőszállítással (hőátadással, α_2) terjed a hő.



Az alapegyenlet:

$$\Phi_{\text{át}} = k \cdot A \cdot \Delta t_{\text{köz}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \cdot A \cdot \Delta t_{\text{log}}$$

Alkalmazott jelölések:

- $\Phi_{\text{át}}$: átadott hőáram, hőteljesítmény [W],
- A : hőátadó felület [m^2],
- k : hőátbocsátási tényező [$\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$],
- α_1, α_2 : hőátadási tényezők [$\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$],
- λ : fal hővezetési tényezője [$\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$],
- s : falvastagság [m],
- Δt_{log} : logaritmusos közepes hőmérsékletkülönbség [$^\circ\text{C}$], összefüggése:

$$\Delta t_{\text{log}} = \frac{\Delta t_N - \Delta t_K}{\ln \frac{\Delta t_N}{\Delta t_K}},$$

amely érték lényegében a hőcserélő felület menti hőmérsékletkülönbségeinek az átlaga.

- Δt_N : hőleadó- és a hőfelvevő közötti nagyobb hőmérsékletkülönbség,
- Δt_K : hőleadó- és a hőfelvevő közötti kisebb hőmérsékletkülönbség.

5.2. GYAKORLATI FELADAT MEGVALÓSÍTÁSA

5.2.1. Kalorifer hőátbocsátási tényezőjének meghatározása méréssel



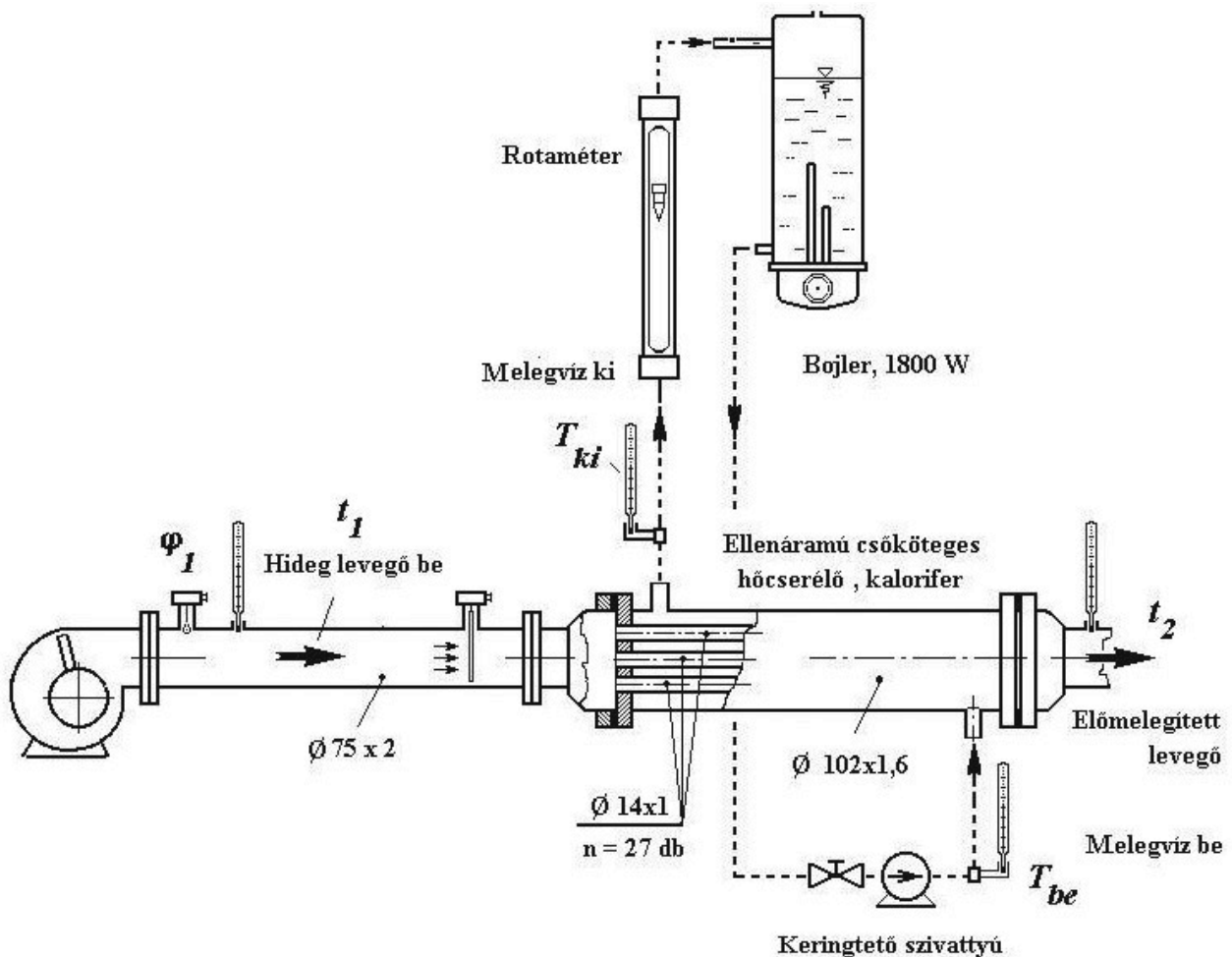
Ennek a témakörnek az a célja, hogy gyakorlati mérésekkel igazoljuk a kalorifer hőmértékét, hőveszteséget tudjunk számolni, meghatározzuk a hőátbocsátási tényezőjét.

5.2.1.1. A berendezés leírása

A kalorifer egy ellenáramú hőcserélő, amely rendkívül sok forrcsővet tartalmaz, azért, hogy a hőátadó felület nagy legyen, ill. nagy legyen a levegőoldal szabad áramlási keresztmetszete. A melegvíz előállítását a beépített bojler végzi, a folyadék keringetését szivattyú biztosítja. A hőmérsékletérzékelők helyi leolvasású mechanikus- és elektronikus műszerekkel szereltek. A meleg víz oldali áramlásmérő rotaméter, a levegőoldali torlóelemes áramlásmérő, amely az illesztett elektronikus távadókkal szintén az adatgyűjtő modulokhoz vannak csatlakoztatva. Adatfeldolgozás a kiépített ipari adatgyűjtő rendszeren, ill. PC-n keresztül, folyamatirányító és adatkiértékelő szoftver segítségével történik.

A merev csőköteges hőcserélő belső csöveiben, csőoldalon áramoltatjuk a levegőt. A köpenyoldalon áramlik a hőleadó közeg, ellenáramban. A csövek anyaga KO36, hővezetési tényezője $\lambda = 25 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$. Geometriai adatok a csőköteges hőcserélő rajzáról leolvashatóak.

5.2.1.2. A berendezés rajza



22. ábra. Kalorifer kapcsolási rajza

5.2.1.3. A mérés menete

1. Áram alá helyezzük a készülékeket (tanári felügyelet mellett!).
2. Meghatározzuk a merev csőköteges hőcserélő készülék geometriai méreteit.
3. Bekapcsoljuk a fűtőegységet és megvárjuk, amíg fel nem fűti a rendszert.
4. Bekapcsoljuk a keringtető szivattyút.
5. Beállítjuk az első betáplálási értékeket.
6. Bekapcsoljuk számítógépet.
7. A számítógépen elindítjuk a *Szaritas.exe* programot:
a *File* menüpont alatt *Üres Adatbázis* megnyitás után *Adatcsatorna megnyitás-Port kiválasztás* következik. *Mintavételezési idő* beállítás után a program kész az adatok fogadására. A vezérlőikonokra való kattintással a szivattyú ill. a szárító csigás adagolója indítható.
(A program működtetése a program leírása és felhasználói kézikönyve alapján.)
8. Beállítandó a meleg víz rotaméter 50 és 200 l/h tartományban 4 értékre.
9. Beállítjuk a levegőáram szabályozó szelepet 4 különböző állásra, a teljes nyitáshoz tartozó tartomány egyenletes felosztásával.
10. A hőmérsékleteket akkor olvassuk le, amikor annak értéke állandósul.
11. A mérés végeztével áramtalanítjuk a készülékeket.
12. Az adatokat kimentjük, ill. konvertáljuk Excel táblázatba.
13. Elkészítjük a jegyzőkönyvet. A jegyzőkönyv tartalmazza a feladat leírását, a berendezés kapcsolási rajzát, a mérési adatokat táblázatos formában, a szükséges számításokat, diagramokat, valamint a mérés összefoglalását.

5.2.1.4. Mérési adatok

A relatív nedvességtartalom $\varphi_1 = 50\%$.

Hőfelvevő oldal								
Mért értékek			Számított értékek					
m_L (kg/h)	t_1 [°C]	t_2 [°C]	p_w [bar]	x [kg/kg]	h_1 [kJ/kg]	h_2 [kJ/kg]	Φ_{fel} [kJ/h]	Φ_{fel} [W]
40	25	40,6	0,02821	0,00801	44,4	59,6	608,6	169,1
80	24,4	38,7	0,02700	0,00766	42,9	56,9	1115,1	309,7
100	24,1	39,9	0,02641	0,00749	42,2	57,6	1539,5	427,6
140	23,9	37,5	0,02602	0,00738	41,7	55,0	1854,8	515,2

Hőleadó oldal											
Mért értékek			Számított értékek								
V_{rota} [l/h]	T_{be} [°C]	T_{ki} [°C]	ρ_M [kg/m ³]	m_M [kg/h]	dt_k [°C]	dt_n [°C]	dt_{in} [°C]	Φ_{le} [kJ/h]	Φ_{le} [W]	Φ_{veszt} [W]	$k \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$
100	55,6	53	986,1	98,6	15	28	20,8	1077	299,1	130,0	48,6
100	54	50	987,2	98,7	15,3	25,6	20,0	1658	460,7	150,9	92,7
100	55	50	988,1	98,8	15,1	25,9	20,0	2073	576,3	148,7	127,9
100	56,5	51	986,3	98,6	19	27,1	22,8	2278	632,9	117,7	135,3

5.2.1.5. A számítás menete, számított értékek

Hőleadó oldal számítása

A hőleadó közeg kilépő hőmérsékletén kikeressük a sűrűség értékét:

I. melléklet

Esetünkben ez $T_{ki} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$, a sűrűség értéke $\rho_M = 988,12 \text{ kg/m}^3$.

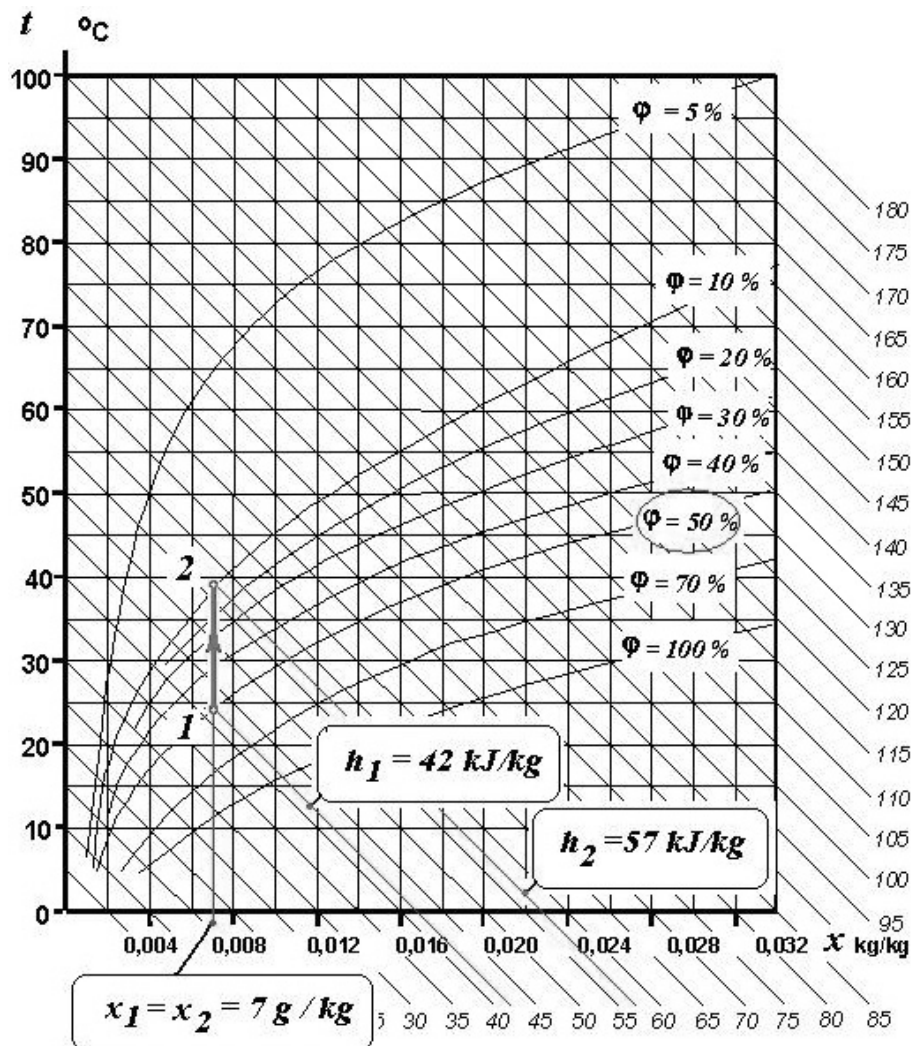
A meleg víz tömegárama: $m_M = V_M \rho_M = 100 \cdot 0,988 = 98,8 \text{ kg/h}$.

A leadott hő számítása:

$$\Phi_{le} = m_M \cdot c_M \cdot (T_{be} - T_{ki}) = 98,8 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (55 - 50) = 2075 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 576,3 \text{ W}$$

A felvett hő számítása

T-x-h diagramban ábrázolva a folyamatot:



A diagramból leolvassva, $t_1 = 24,1 \text{ }^\circ\text{C}$ -on, $\varphi_1 = 50\%$ relatív nedvességtartalom:

$$x_1 = x_2 = 7 \text{ g/kg,}$$

$$h_1 = 42 \text{ kJ/kg,}$$

$$h_2 = 57 \text{ kJ/kg.}$$

Pontos számítással 5.1.2. pont alattiak, ill. az I. táblázat alapján:

$$x_1 = x_2 = 7,49 \text{ g/kg,}$$

$$h_1 = 42,2 \text{ kJ/kg,}$$

$$h_2 = 57,6 \text{ kJ/kg.}$$

A felvett hő: $\Phi_{fel} = m_L \cdot (h_2 - h_1) = 100 \cdot (39,9 - 24,1) = 1445,6 \text{ kJ/kg} = 401,6 \text{ W}$.

A hővesztés: $\Phi_{veszt} = \Phi_{le} - \Phi_{fel} = 575,7 - 401,6 = 174,1 \text{ W}$.

A felvett hő: $\Phi_{fel} = m_L \cdot (h_2 - h_1) = 100 \cdot (39,9 - 24,1) = 1445,6 \text{ kJ/kg} = 401,6 \text{ W}$.

A hővesztés: $\Phi_{veszt} = \Phi_{le} - \Phi_{fel} = 575,7 - 401,6 = 174,1 \text{ W}$.

A hőátadó felület:

$$A = n \cdot d \cdot \pi \cdot L = 27 \cdot 0,014 \cdot \pi \cdot 0,5 = 0,594 \text{ m}^2.$$

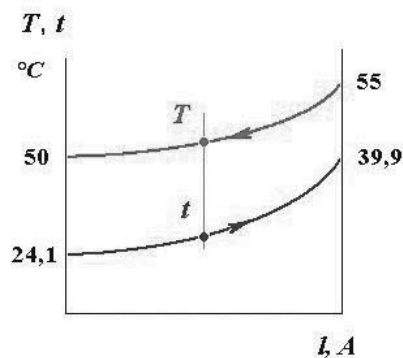
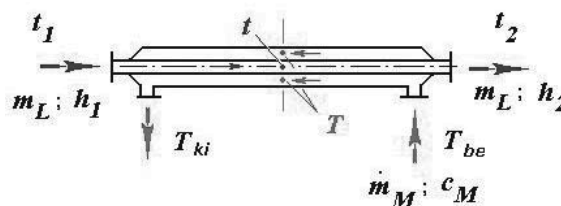
A közepes hőmérsékletkülönbség:

$$\Delta t_{\log} = \frac{\Delta t_N - \Delta t_K}{\ln \frac{\Delta t_N}{\Delta t_K}}$$

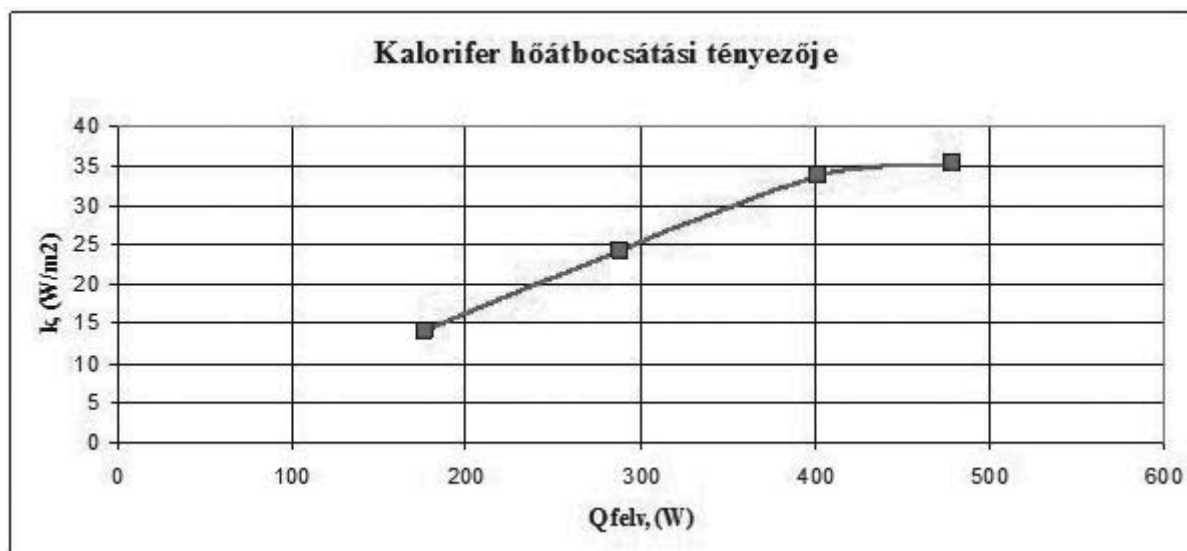
$$\Delta t_{\log} = \frac{(50 - 24,1) - (55 - 39,9)}{\ln \frac{(50 - 24,1)}{(55 - 39,9)}} = 20^\circ\text{C}$$

A hőátbocsátási tényező:

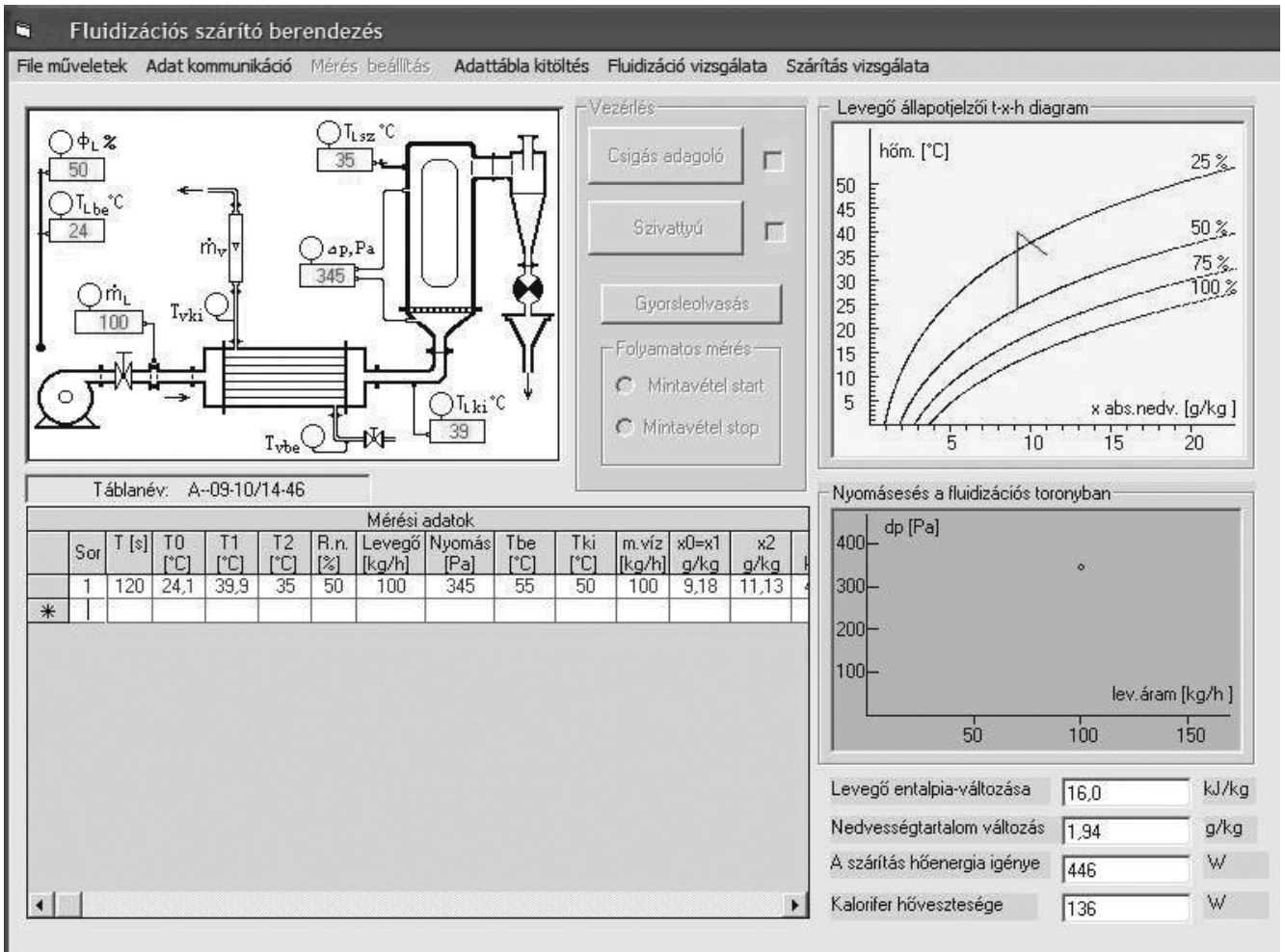
$$k = \frac{\Phi_{fel}}{A \cdot \Delta t_{\log}} = \frac{401,6 \text{ W}}{0,594 \text{ m}^2 \cdot 20^\circ\text{C}} = 33,8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}$$



5.2.1.6. Számított értékek diagramokban ábrázolva



5.2.1.7. Folyamatvezérlő program



23.ábra. Folyamatvezérlő program[3]

6. FLUIDIZÁCIÓS SZÁRÍTÁS

6.1. ELMÉLETI ÖSSZEFÜGGÉSEI

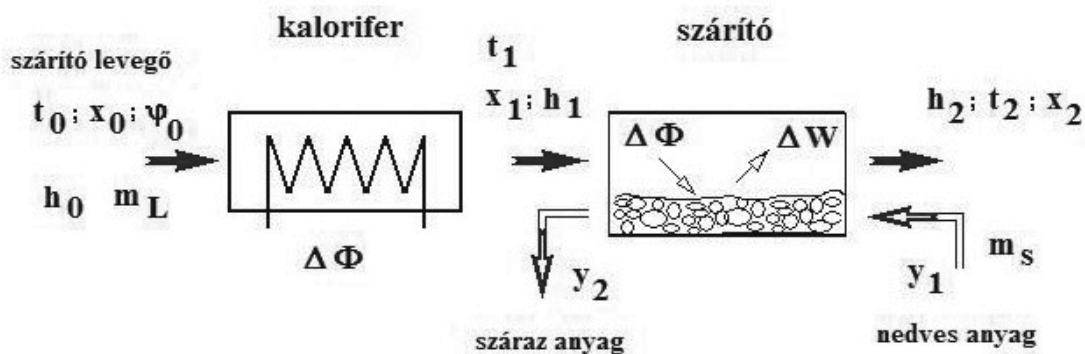
6.1.1. Konvekciós szárítás fogalma



Konvekciós szárítás alatt meleg levegővel történő szárítást értünk, ahol a levegő funkciója kettős: egyrészt a nedvesség elpárolgatatásához szükséges hő közlése a szárítandó anyag felé, másrészt az elpárolgatatott nedvesség elvezetése.

6.1.2. A konvekciós szárítás anyagmérlege

A szárítólevegő állapotjelzői az 5.1. fejezetben ismertetésre kerültek. A következő ábrán a konvekciós szárítás folyamatábrája látható.



24. ábra

A rendelkezésre álló levegőt (t_0 , x_0 , φ_0) a kaloriferben előmelegítjük. Az előmelegítés során a levegő abszolút nedvességtartalma nem változik, hisz amennyi belép a kaloriferbe annyi távozik is, tehát:



$$x_0 = x_1$$

A kaloriferből kilépő meleg levegő a szárítóba lép. A szárítóban leadott hő túlhevített vízgőz formájában visszajut a levegőbe, így – a szárítandó anyag felmelegítésétől és a hőveszteségektől eltekintve – a levegő fajlagos hőtartalma közel állandó:



$$h_1 = h_2$$

Anyagmérleg az elpárolgatatott nedvességre. Induljunk ki az abszolút nedvességtartalom definíciójából: $x = \frac{m_w}{m_L}$, vagyis az elpárolgatatott nedvesség: $\Delta m_w = m_{w2} - m_{w1} = m_L \cdot (x_2 - x_1)$!

Szárítandó anyag jellemzői.

Vezessük be a szárítandó anyagra vonatkoztatott abszolút nedvességtartalom fogalmát:

$$y = \frac{m_w}{m_s}, \text{ ahol}$$

m_s : a szárítandó anyag szárazanyag-tartalma.

A nedves anyagra vonatkoztatott abszolút nedvességtartalom fogalma:

$$y' = \frac{m_w}{m_w + m_s}$$



Mit gondol, átszámolható-e egymásból a két nedvességtartalom (y ; y')?

Természetesen: az $y' = \frac{m_w}{m_w + m_s}$ egyenlet számlálóját és nevezőjét osszuk el m_s -el:

$$y' = \frac{m_w}{m_w + m_s} = \frac{\frac{m_w}{m_s}}{\frac{m_w}{m_s} + \frac{m_s}{m_s}} = \frac{y}{y + 1}.$$

Az anyagmérleg szilárd anyagra:

$$\Delta m_w = m_{w2} - m_{w1} = m_s \cdot (y_1 - y_2), \text{ vagyis}$$
$$\Delta m_w = m_{w2} - m_{w1} = m_L \cdot (x_2 - x_1) = m_s \cdot (y_1 - y_2)$$

Innen a szárítás levegőszükséglete:

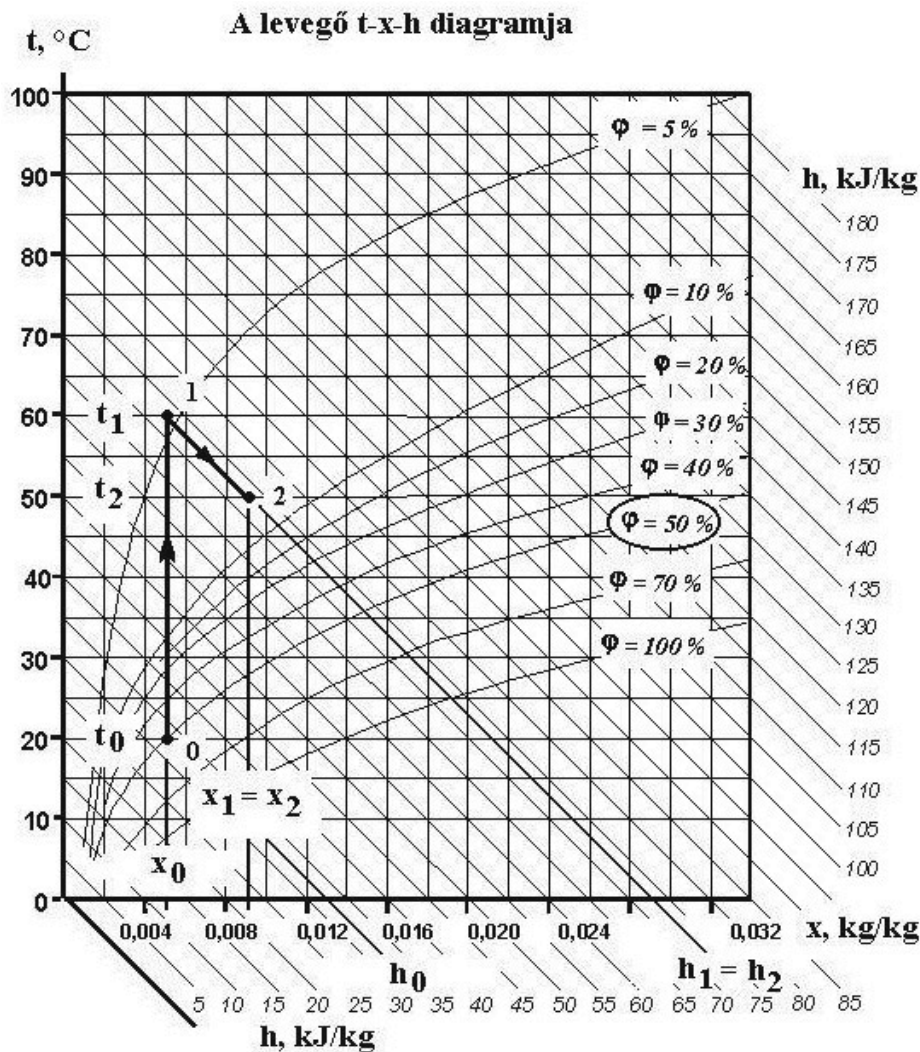
$$m_L = \frac{y_1 - y_2}{x_2 - x_1} \cdot m_s$$



A szárítás hőszükséglete:

$$\Delta \Phi = m_L \cdot (h_1 - h_0).$$

6.1.3. Konvekciós szárítási folyamat ábrázolása Mollier-féle t-x-h diagramon



6.2. GYAKORLATI FELADAT MEGVALÓSÍTÁSA

6.2.1. Fluidizációs szárítólevegő és hőszükségletének, valamint termikus hatásfokának meghatározása méréssel

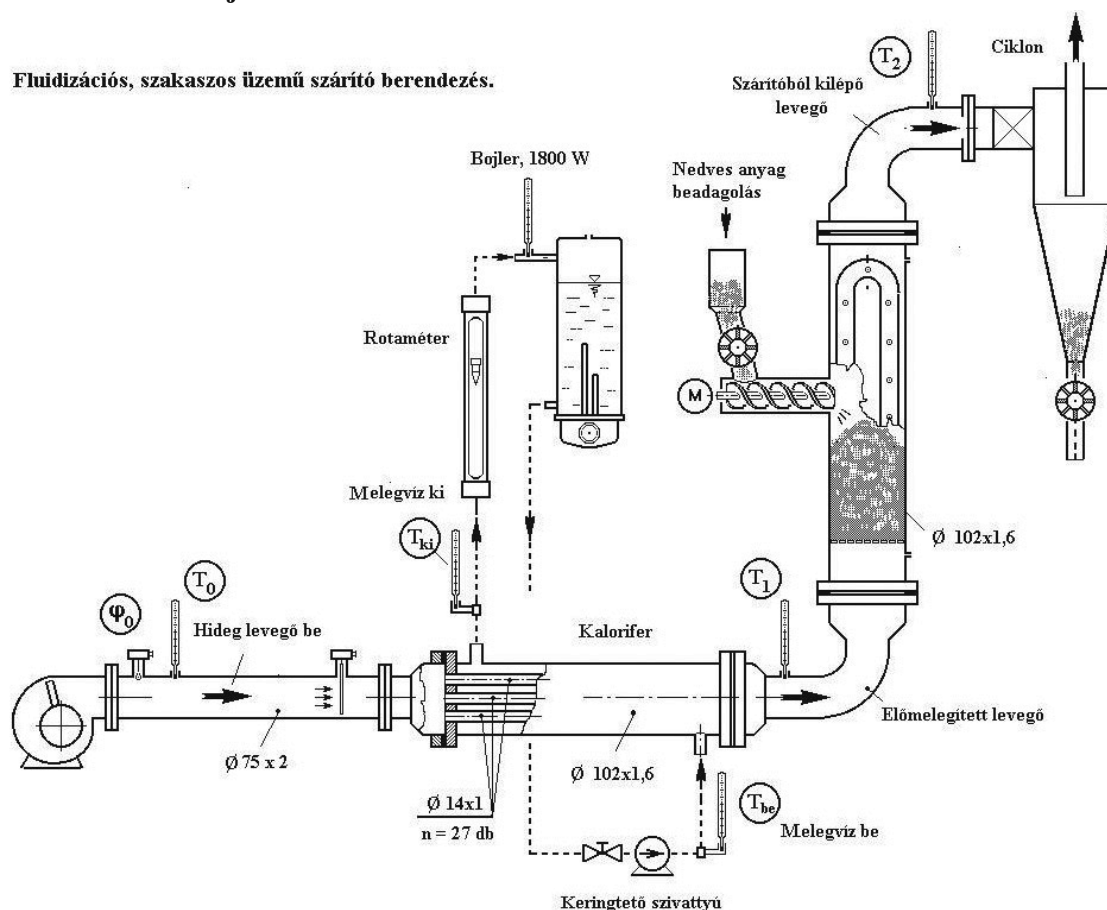
6.2.1.1. A berendezés ismertetése

A fluidizációs szárító szakaszos üzemű berendezés. A szárítólevegőt radiális ventilátorral áramoltatjuk, a meleg víz fűtésű kaloriferben felmelegedve lép be a fluid szárítóba. A szárítandó anyagot egy cellás adagoló és egy csigás szállító juttatja be a toronyba. Adott mennyiségű nedvességet fecskendezünk be. A fluidizáció közben az anyag kiszárad. A berendezés teljes műszerezettségű, a távadók jelei ipari adatgyűjtő modulokon keresztül számítógéphez csatoltak. A kiértékelés és a vezérlés folyamatvezérlő programmal történik. A programmal bővebben a 10. fejezetben találkozunk. Az anyag kiszáradását a kilépő hőmérséklet változása jelzi: százaz foltok megjelenése után a kilépő hőmérséklet emelkedni kezd, majd eléri a kiindulási értéket. Mivel szakaszos üzemű, így szükséges a száradási idő feljegyzése, habár az adatgyűjtő az időt is feljegyzi, adatbázisban rögzíti.

A száraz anyagot a kiszáritás után ciklonnal választjuk le. A száradási sebességek, hőmérsékletek, ismeretében meghatározhatjuk a szárítás levegő- és hőszükségletét.

6.2.1.2. A berendezés rajza

Fluidizációs, szakaszos üzemi szárító berendezés.



25. ábra

6.2.1.3. A mérés menete

1. Ellenőrizzük a berendezés elemeit munka- és balesetvédelmi szempontból.
2. Áram alá helyezzük a készülékeket (tanári felügyelet mellett!)
3. Meghatározzuk a merev csőköteges hőcserélő-készülék geometriai méreteit.
4. Bekapcsoljuk számítógépet és elindítjuk a *Szaritas.exe* programot
A File menüpont alatt *Üres Adatbázis* megnyitás után *Adatsatorna megnyitás – Port kiválasztás* következik. *Mintavételezési idő* beállítása után a program kész az adatok fogadására. A vezérlő-ikonokra való kattintással a szivattyú ill. a szárító csigás adagolója indítható.
(A program működtetése a program leírása és felhasználói kézikönyve alapján.)
5. Bekapcsoljuk a fűtőegységet és megvárjuk, amíg fel nem fűti a rendszert.
6. Bekapcsoljuk a keringtetőszivattyút.
7. Cellás adagolóval és a szállító csigával beadagoljuk a szárítandó anyagot.
8. Beállítjuk a levegőáram-szabályozó szelepet, úgy, hogy a szemcsés halmaz fluidizációs állapotba kerüljön.
9. Beállítandó a meleg víz rotaméter 50–100 l/h tartományban.
10. A hőmérsékleteket folyamatosan rögzítjük manuálisan vagy a folyamatirányító program segítségével (Folyamatos mérés/Mintavétel start).
11. Befecskendezzük a fluidumra az előírt vízmennyiséget (pl. 20 cm³ víz).
12. A mérést a fluidum kiszáradásáig végezzük, vagyis addig, amíg t_2 hőmérséklet vissza nem melegszik a kiindulási értékre.
13. A mérés végeztével áramtalanítjuk a készülékeket.
14. Az adatokat kimentjük, ill. konvertáljuk Excel táblázatba.
15. Elkészítjük a jegyzőkönyvet. A jegyzőkönyv tartalmazza a feladat leírását, a berendezés kapcsolási rajzát, a mérési adatokat táblázatos formában, a szükséges számításokat, diagramokat, valamint a mérés összefoglalását.

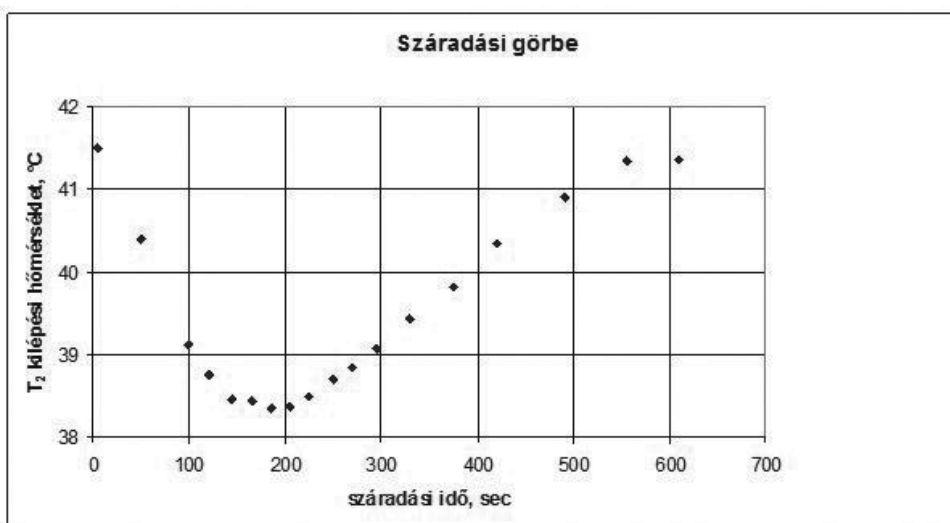
6.2.1.4. Mérési adatok feldolgozása táblázatban

A mérési adatok 5 másodperces mintavételezés eredményei, a teljes adattáblázat mellőzésével, abból kiszűrt adatok:

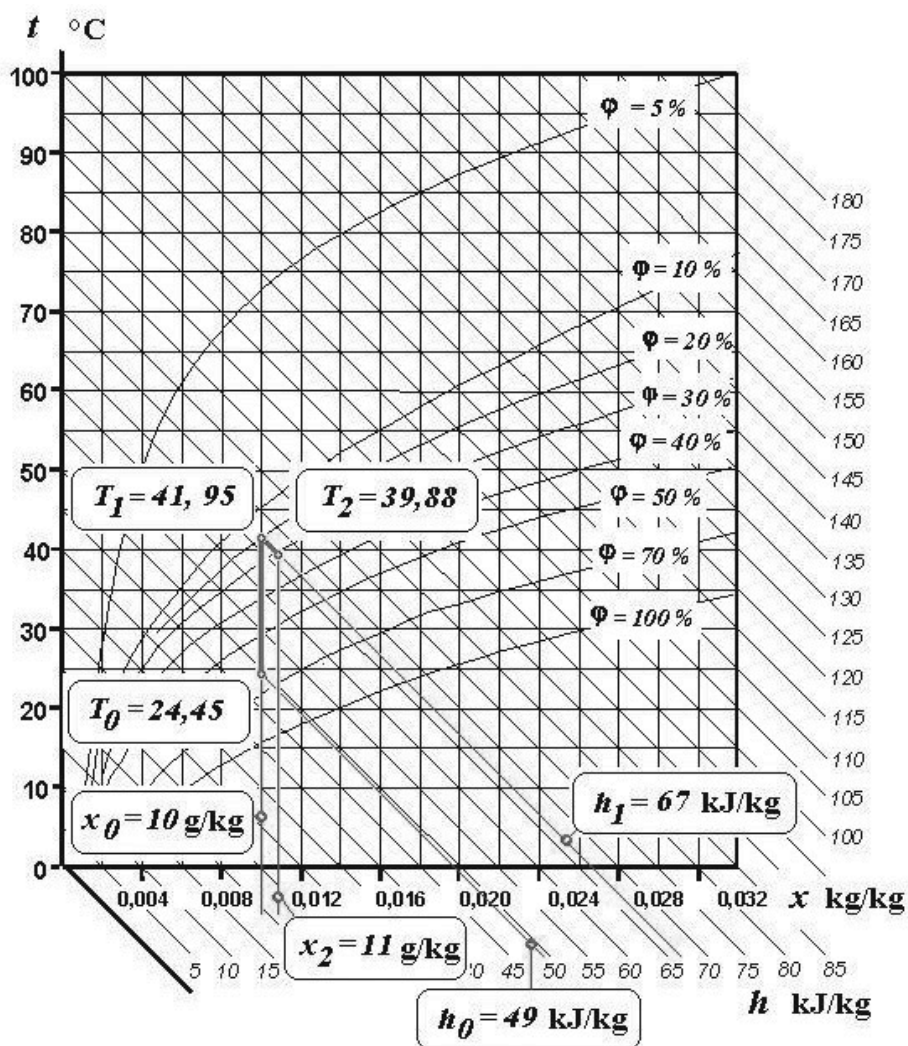
idő [s]	T ₀ [°C]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	φ [%]
5	24,11	41,69	41,49	60
50	24,16	41,83	40,4	60
100	24,28	42,13	39,11	60
120	24,25	42,13	38,74	60
145	24,28	42,19	38,46	60
165	24,28	42,3	38,42	60
185	24,31	42,33	38,34	60
205	24,28	42,22	38,37	60
225	24,34	42,28	38,49	60
250	24,34	42,22	38,69	60
270	24,37	42,19	38,83	60
295	24,37	42,13	39,07	60
330	24,46	42,11	39,44	60
375	24,55	42,08	39,82	60
420	24,57	41,99	40,34	60
490	24,69	41,8	40,90	60
555	24,72	41,52	41,33	60
610	24,43	41,12	41,35	60
átlag	24,45	41,95	39,88	60

Szakaszos szárításnál a kilépő szárítólevegő hőmérséklete az idő függvényében változik. A benedvesítés után elkezdődik a száradási folyamat, az elpárologtatás hőt von el a szárítandó anyagtól és a szárítólevegőtől. Minimumpontjában a szárítólevegő relatív nedvességtartalma maximális, a szárítás hajtóereje ($T_1 - T_2$) maximális, majd a szárítandó anyag felületén száraz foltok jelennek meg, a szárítási sebesség, a hajtóerő csökken, majd kiszárad az anyag.

Azért kell átlagolnunk T_2 értékét, hogy a közepes hajtóerőt meg tudjuk határozni és ki tudjuk értékelni a folyamatot.



6.2.1.5. A folyamat ábrázolása Mollier-diagramon



Az 5.1. pont alatti számítási összefüggéseket felhasználva, Excel táblázatkezelő, vagy *szaritas.exe* folyamatirányító szoftver alkalmazásával a pontos számítási értékek:

T_0 [°C]	T_1 [°C]	T_2 [°C]	p_{wT_0} [bar]	x_0 [kg/kg]	p_{wT_2} [bar]	x_2 [kg/kg]	h_0 [kJ/kg]	h_1 [kJ/kg]
24,45	41,95	39,88	0,02709	0,01028	0,07375	0,01110	50,8	68,8

6.2.1.6. A szárítás levegőszükségletének meghatározása

A befecskendezett nedvesség mennyisége $\Delta W = 20$ g víz.

A száradási idő: $\Delta \tau = 610$ mp.

A szárítóba lépő levegő abszolút nedvességtartalma: $x_0 = x_1 = 0,01028$ kg/kg.

A kilépő abszolút nedvességtartalom: $x_2 = 0,0111$ kg/kg.

Az abszolút nedvességtartalom definíciójából következik:

$$\Delta x = x_2 - x_1 = \frac{\Delta m_w}{m_L} = \frac{\Delta W}{m_L}, \text{ innen a levegőszükséglet}$$

$$m_L = \frac{\Delta W}{\Delta \tau \cdot (x_2 - x_1)} = \frac{0,02 \text{ [kg]}}{610 \text{ [s]} \cdot (0,0111 - 0,01028)} \cdot 3600 = 143 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

6.2.1.7. Termikus hatásfok meghatározása

Hőfelvevő oldal számítása

$$\Phi_{fel} = \Phi_{haszn} = m_L \cdot (h_2 - h_1) = 143 \cdot (68,8 - 50,8) = 2571,1 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] = 714,2 [\text{W}]$$

Hőleadó oldal számítása

A hőleadó közeg kilépő hőmérsékletén kikeressük a sűrűség értékét.

A víz anyagjellemzői: I. mellékletben található.

Esetünkben ez $T_{ki} = 50,8 \text{ }^\circ\text{C}$, a sűrűség értéke $\rho_M = 988 \text{ kg/m}^3$.

A meleg víz tömegárama: $m_M = V_M \cdot \rho_M = 100 \cdot 0,988 = 98,8 \text{ kg/h}$

A leadott hő számítása:

$$\Phi_{le} = m_M c_M (T_{be} - T_{ki}) = 98,8 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C}} \cdot (58,2 - 49) = 3817 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 1060 \text{ W}.$$

A termikus hatásfok számítása:

$$\eta_T = \frac{\Phi_{fel}}{\Phi_{le}} = \frac{714,2}{1060} = 67,4 \%$$

6.2.1.8. A hőátbocsátási tényező számítása

A hőátadó felület:

$$A = n \cdot d \cdot \pi \cdot L = 27 \cdot 0,014 \cdot \pi \cdot 0,5 = 0,594 \text{ m}^2.$$

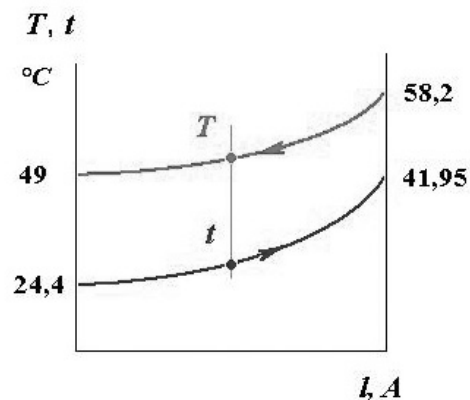
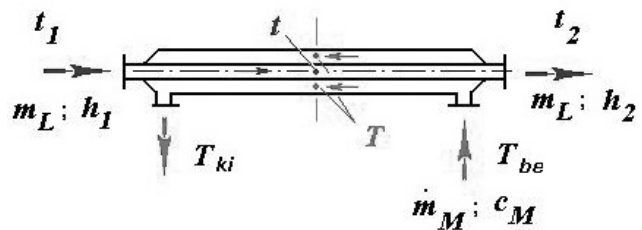
A közepes hőmérsékletkülönbség:

$$\Delta t_{\log} = \frac{\Delta t_N - \Delta t_K}{\ln \frac{\Delta t_N}{\Delta t_K}}$$

$$\Delta t_{\log} = \frac{(49 - 24,4) - (58,2 - 41,95)}{\ln \frac{(49 - 24,4)}{(58,2 - 41,95)}} = 20,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

A hőátbocsátási tényező:

$$k = \frac{\Phi_{fel}}{A \cdot \Delta t_{\log}} = \frac{714,2 \text{ W}}{0,594 \text{ m}^2 \cdot 20,1 \text{ }^\circ\text{C}} = 212,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}}$$



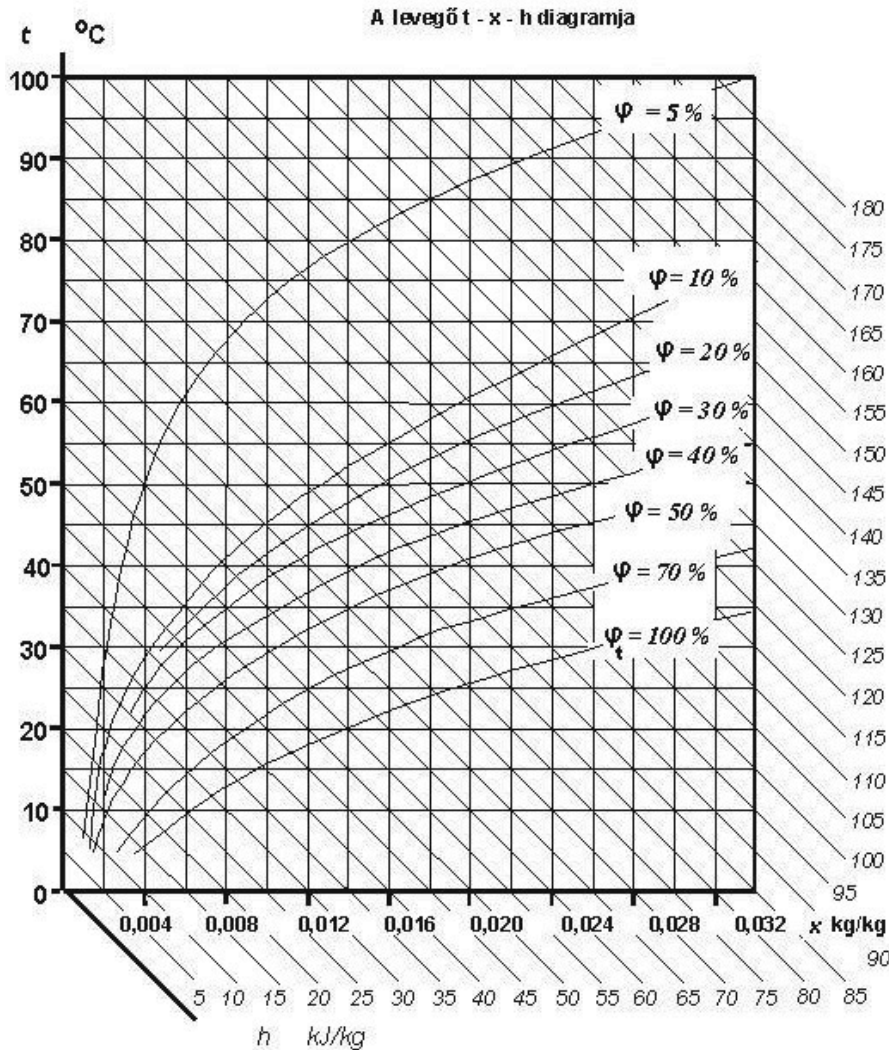
6.3. ELLENŐRZŐ FELADAT

Szalagos szárító előmelegítőjébe belépő levegő hőmérséklete $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, relatív nedvességtartalma 50% . A kaloriferből kilépő levegő hőmérséklete $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

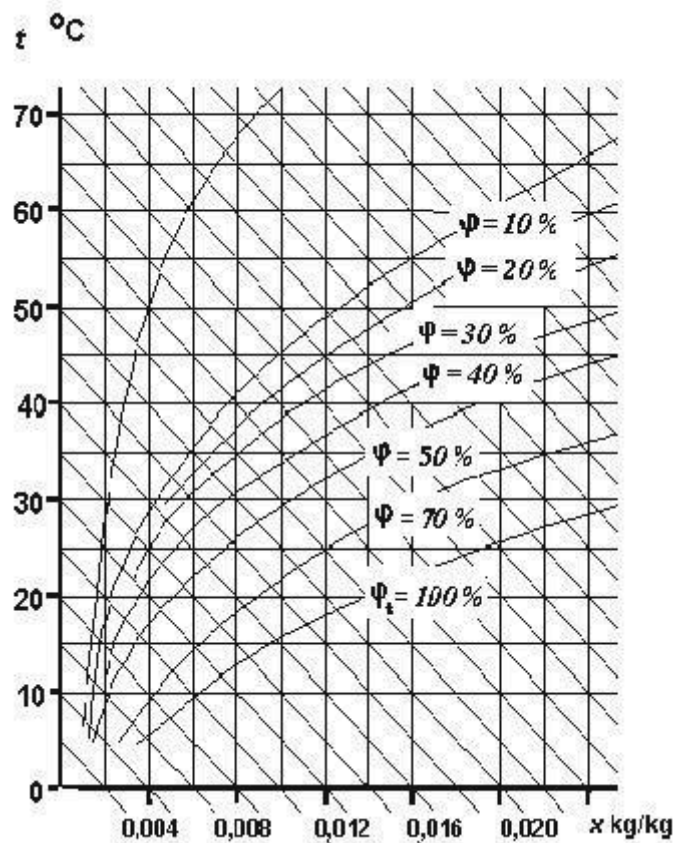
A levegő $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten lép ki a szárítóból.

A belépő nedves anyag mennyisége 20 kg/h , száraz anyagra vonatkoztatott nedvességtartalma $y_1 = 10\%$, a kilépő anyag száraz anyagra vonatkoztatott nedvességtartalma $y_2 = 5\%$.

- Mennyi nedvességet kell időegység alatt elpárologtatni?
- Ábrázolja $t - x - h$ diagramon a szárítási folyamatot!



- A diagram felhasználásával határozza meg a szárító levegő abszolút nedvesség tartalmait és fajlagos hőtartalmait!
- Számolja ki a szárítás levegőszükségletét!
- Határozza meg a szárítás hőszükségletét!
- Tételezzük fel, hogy a szárítandó anyagunk hőérzékeny, és a szárító levegő hőmérséklete nem emelkedhet $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ fölé. Hogy oldaná meg a szárítási feladatot? Rajzolja be a megoldását a $t-x-h$ diagramba!



Megoldás

a) Belépő száraz anyagra vonatkoztatott nedvességtartalom:

$$y_1 = \frac{\dot{m}_{w1}}{\dot{m}_s}, \text{ innen } \dot{m}_{w1} = y_1 \cdot \dot{m}_s = 0,1 \cdot 20 = 2 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

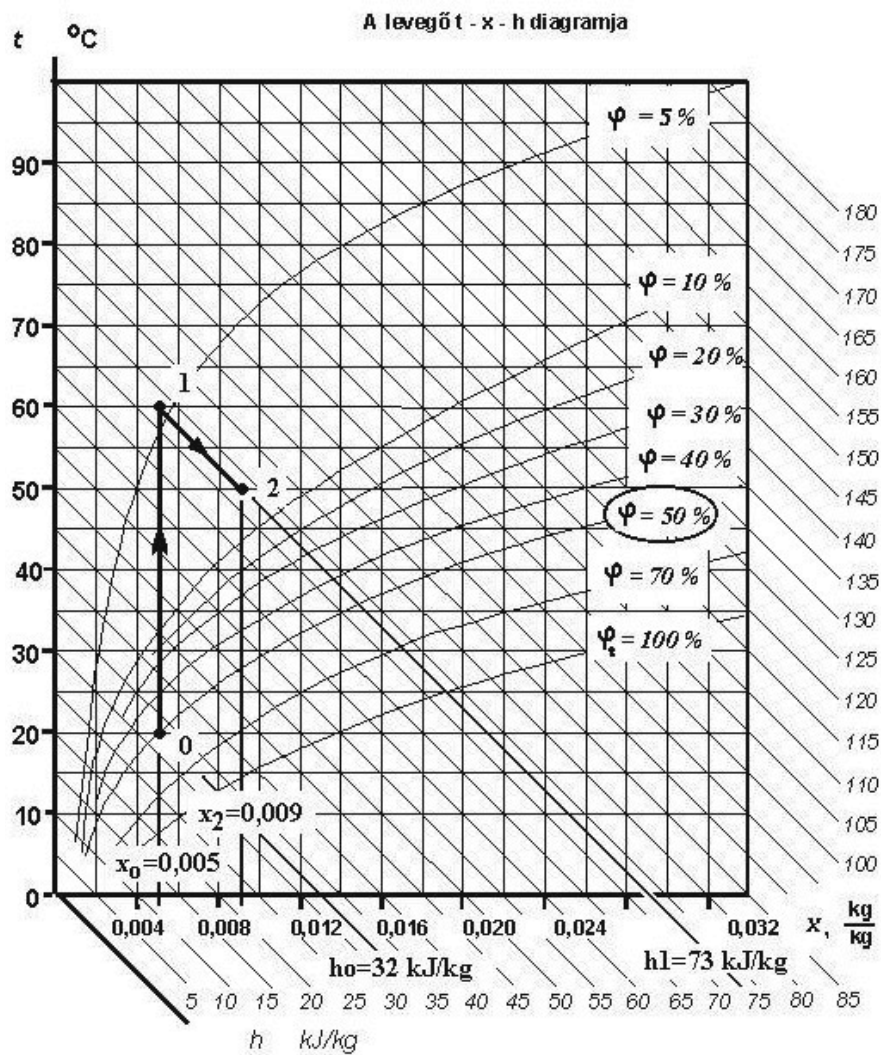
Kilépő száraz anyagra vonatkoztatott nedvességtartalom:

$$y_2 = \frac{\dot{m}_{w2}}{\dot{m}_s}, \text{ innen } \dot{m}_{w2} = y_2 \cdot \dot{m}_s = 0,05 \cdot 20 = 1 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Az elpárolgatandó nedvesség:

$$\Delta \dot{m} = \dot{m}_{w1} - \dot{m}_{w2} = 2 \frac{\text{kg}}{\text{h}} - 1 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

b) A szárítási folyamat:



A szárítási folyamat helyes ábrázolása t - x - h diagramon

c) A diagramból leolvassa:

$$x_0 = x_1 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/kg}$$

$$x_2 = 9 \cdot 10^{-3} \text{ kg/kg}$$

$$h_0 = 32,5 \text{ kJ/kg}$$

$$h_1 = h_2 = 73 \text{ kJ/kg}$$

d) A szárítás levegő szükséglete az anyagmérlegből számítható:

$$\Delta \dot{m} = \dot{m}_{w1} - \dot{m}_{w2} = \dot{m}_L (x_2 - x_1), \text{ innen}$$

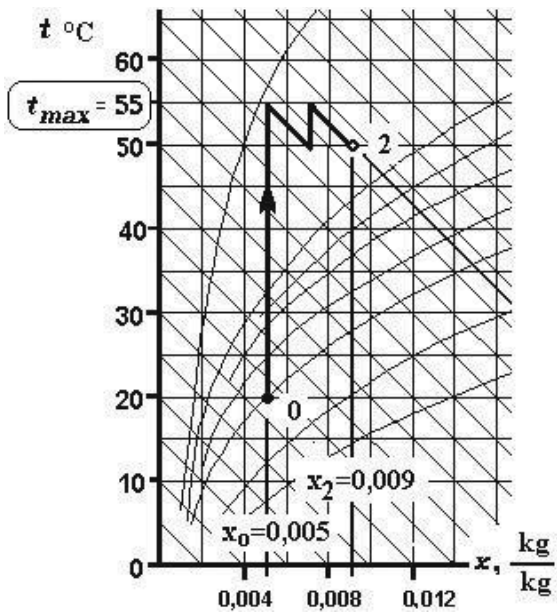
$$\dot{m}_L = \frac{\dot{m}_{w2}}{(x_2 - x_1)} = \frac{10^3}{9 - 5} = 250 \frac{\text{kg}}{\text{h}}.$$

e) A hőszükséglet:

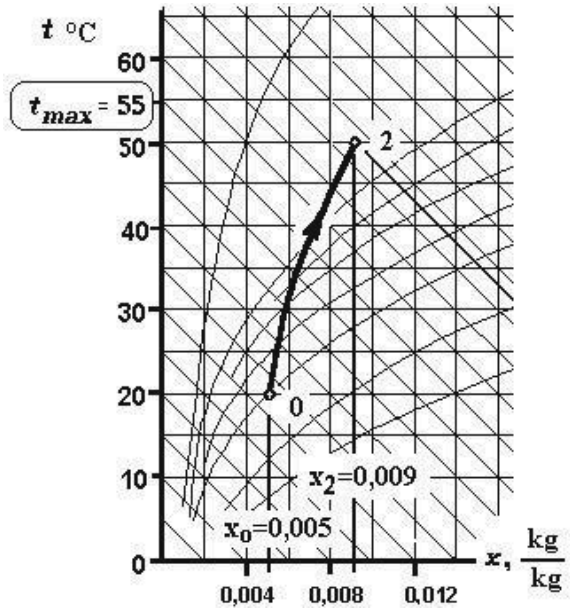
$$\Phi_L = \dot{m}_L \cdot (h_1 - h_2) = 250 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot (73 - 32,5) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 10125 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 2,81 \text{ kW}$$

f)

Egyik megoldás az, hogy két fokozatban szárítjuk meg az anyagot úgy, hogy a szárítólevegő hőmérséklete ne emelkedjen a megadott érték fölé:



Másik megoldás: egy készülékben megfelelő mennyiségű száraz levegő visszakeverésével és a fűtés szabályozásával történik:



7. IPARI (FÉLÜZEMI) BEPÁRLÓ

7.1. ELMÉLETI ISMERETEK

7.1.1. A bepárlás fogalma

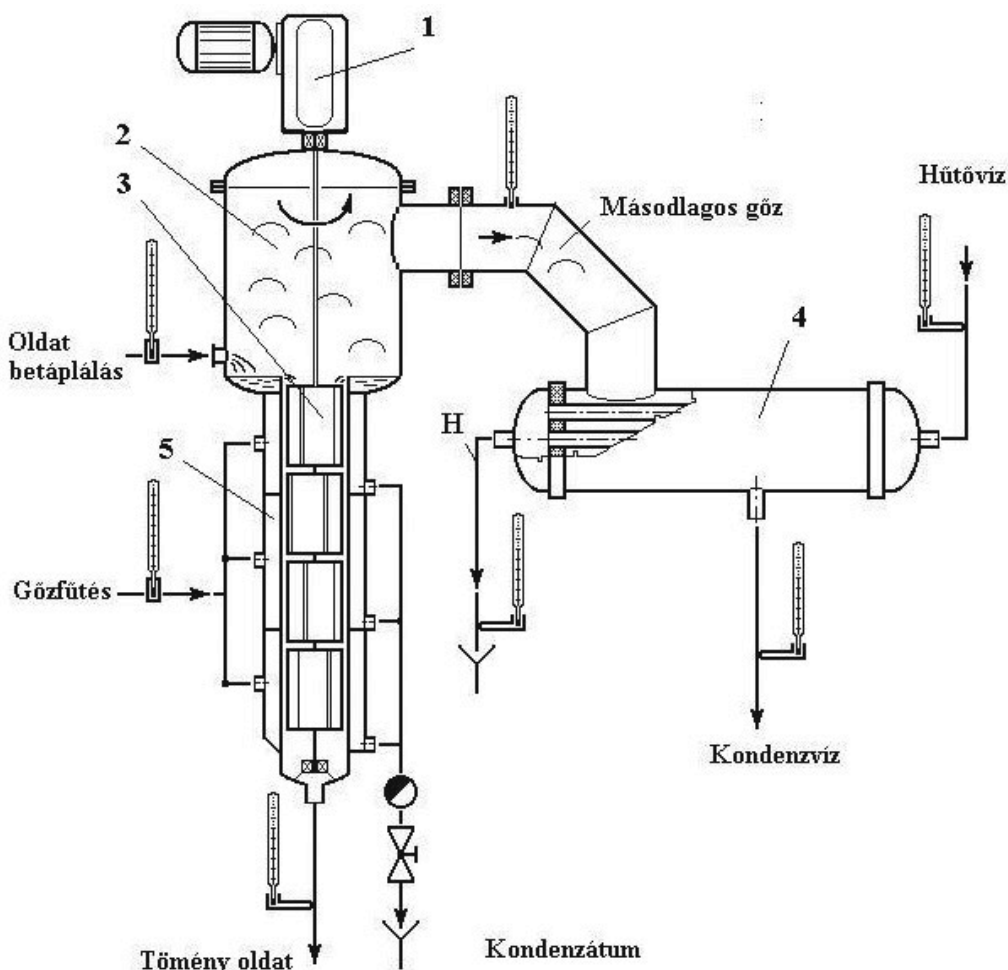


A bepárlás oldószer-eltávolítással történő oldatbetöményítés.

A bepárlás során jelentős hőbevitellel kell számolnunk, ezért a hőcserélő a bepárló legfontosabb egysége. Fontos továbbá az alkalmazott nyomás és az oldat cirkulációs sebessége. Speciális bepárlók esetében – ilyen például a filmbepárló – egy lépésben történik a bepárlási művelet, itt a fűtés mellett a kialakuló folyadékfilm vastagsága a meghatározó.

7.1.2. Filmbepárlók kialakítása

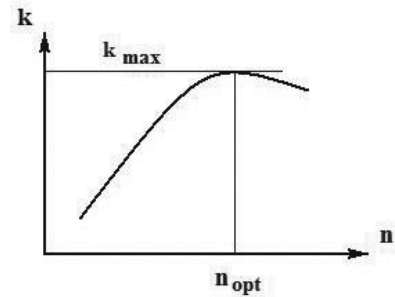
A bepárló fő részei: páratér (2), duplikátoros (5) bepárlótest, motorral hajtott (1) forgó lengőlapátsor (3), és kondenzátor (4). Lengőlapátos filmbepárló esetében a kialakuló folyadékfilm vastagsága elsősorban a lapátsor fordulatszámától függ. Kis fordulaton vastag film alakul ki, aminek rossz a hőátadása. A másik véglet, amikor olyan vékony folyadékfilm alakul ki, hogy a gőzfűtés hatására száraz foltok jelennek meg a bepárló belső felületén amely jelentős hatásfokromláshoz vezet.



26. ábra



A filmbepárló adott betáplálás és gőzfűtése esetében a legjobb hőátbocsátási értékhez tartozó fordulatszámot a bepárló optimális fordulatszámának nevezzük.



27. ábra

7.1.3. A bepárlás anyagmérlege

Teljes anyagmérleg:

$$m_B = m_M + m_S$$

Részleges anyagmérleg szilárd anyagra felírva:

$$m_B \cdot w_B = m_M \cdot w_M + m_S \cdot w_S, \text{ mivel } w_S = 0, \text{ így}$$

$$m_B \cdot w_B = m_M \cdot w_M$$

Jelölések:

m_B : betáplálási oldat tömegárama [kg/s],

m_M : tömény oldat tömegárama [kg/s],

m_S : másodlagos gőz tömegárama [kg/s],

w : oldatok tömegkoncentrációi.

7.1.4. A bepárlás hőmérlege

Fel kell írni az összes belépő és kilépő anyag hőtartalmát egy hőmérsékleti viszonyítási pontra, ez legyen $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$!

Belépő anyagok: a fűtőgőz telített gőz állapotában lép be, valamint a betápláló forrpontra alatti hőmérsékleten.

Kilépő anyagok: a fűtőgőzből lett kondenzvíz a fűtőgőz forrpontra hőmérsékletén, a tömény oldat a bepárlótér közel forrpontra hőmérsékletén ill. a másodlagos gőz a telített gőz állapotban közel a bepárló forrpontra hőmérsékletén.



A bepárlás teljes hőmérlege:

$$m_G \cdot (\Delta h_G + c_G \cdot t_G) + m_B \cdot c_B \cdot t_B = m_G \cdot c_G \cdot t_G + m_M \cdot c_M \cdot t_M + m_S \cdot (\Delta h_S + c_S \cdot t_S)$$

Jelölések:

Δh_G : a fűtőgőz rejtett hője a fűtőgőz hőmérsékletén (T_G) [kJ/kg],

Δh_S : a másodlagos gőz rejtett hője közel a bepárlótér belső forrpontra hőmérsékletén (t_W) [kJ/kg],

c : oldat fajhők adott hőmérsékleteken [kJ/(kg $^\circ$ C)].

Vezessük be a következő egyszerűsítéseket:

A bepárló belső forrpontra hőmérséklete, amit a belső nyomás határoz meg, legyen t_{fp} !

Így mind a tömény oldat, mind a távozó másodlagos gőz is közel ilyen hőmérsékletű lesz: $t_{fp} \cong t_M \cong t_S$ és méréseink során híg oldatokkal dolgozva az oldat fajhőire is igaz lesz, hogy $c_B \cong c_M \cong c_S$.

Az egyenletbe visszahelyettesítve kapjuk

$$m_G \cdot \Delta h_G + m_B \cdot c_B \cdot t_B \cong m_M \cdot c_B \cdot t_{fp} + m_S \cdot \Delta h_S + m_S \cdot c_B \cdot t_{fp},$$

rendezve, a teljes anyagmérleg összefüggését felhasználva:

$$m_G \cdot \Delta h_G \cong m_S \cdot \Delta h_S + m_M \cdot c_B \cdot t_{fp} + m_S \cdot c_B \cdot t_{fp} - m_B \cdot c_B \cdot t_B$$



A bepárlás egyszerűsített hőmérlege:

$$m_G \cdot \Delta h_G \cong m_S \cdot \Delta h_S + m_B \cdot c_B \cdot (t_{fp} - t_B)$$

7.1.5. Hővesztesség számítása, a termikus hatásfok

A fenti ideális esetben a bal oldalon szereplő kifejezés a befektetett (leadott) hőt- a jobboldali kifejezés a hasznos hőt jelenti, tehát

$$\Phi_{bef} = m_G \cdot \Delta h_G \text{ és } \Phi_{haszn} = m_S \cdot \Delta h_S + m_B \cdot c_B \cdot (t_{fp} - t_B).$$

A valóságban számolnunk kell veszteségekkel is:

$$\Phi_{bef} = \Phi_{haszn} + \Phi_{veszt}$$



A termikus hatásfok:

$$\eta_T = \frac{\Phi_{haszn}}{\Phi_{bef}} \cdot 100\%$$

7.1.6. Hőcserélő hőátbocsátási tényezőjének meghatározása

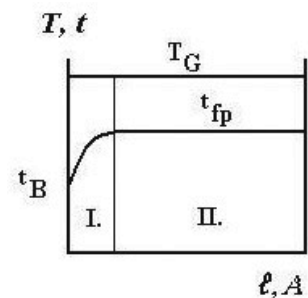
A fűtőtér hőtani méretezése az ismert összefüggéssel határozható meg a hőcserélés alapegyenletének felhasználásával: $\Phi_{haszn} = k \cdot A \cdot \Delta t_{köz}$

7.1.7. Közepes hőmérsékletkülönbség számítása bepárlásnál

A közepes hőmérsékletkülönbség számítása az ún. súlyozott közepes hőmérsékletkülönbséggel határozható meg. A probléma az, hogy a betáplált oldatot először fel kell melegíteni a forrponthőmérsékletre és csak ezután következik az elforralási szakasz. Tehát a I. szakaszban előmelegítés a II. szakaszban forralás történik. Gondolatban kettéosztjuk a hőcserélőt és külön-külön kiszámoljuk a közepes hőmérsékletkülönbség értékeket és átvitt hőmennyiségekkel kompenzáljuk:

$$\text{I. eset: } \Delta t_{\log} = \frac{(T_G - t_B) - (T_G - t_{fp})}{\ln \frac{T_G - t_B}{T_G - t_{fp}}},$$

$$\text{II. eset: } \Delta t = T_G - t_{fp}$$



28. ábra

A súlyozott közepes hőmérsékletkülönbség:

$$\Delta t_{súly} = \frac{\Phi_I \cdot \Delta t_{\log} + \Phi_{II} \cdot \Delta t}{\Phi_I + \Phi_{II}}$$

7.2. GYAKORLATI FELADAT MEGVALÓSÍTÁSA

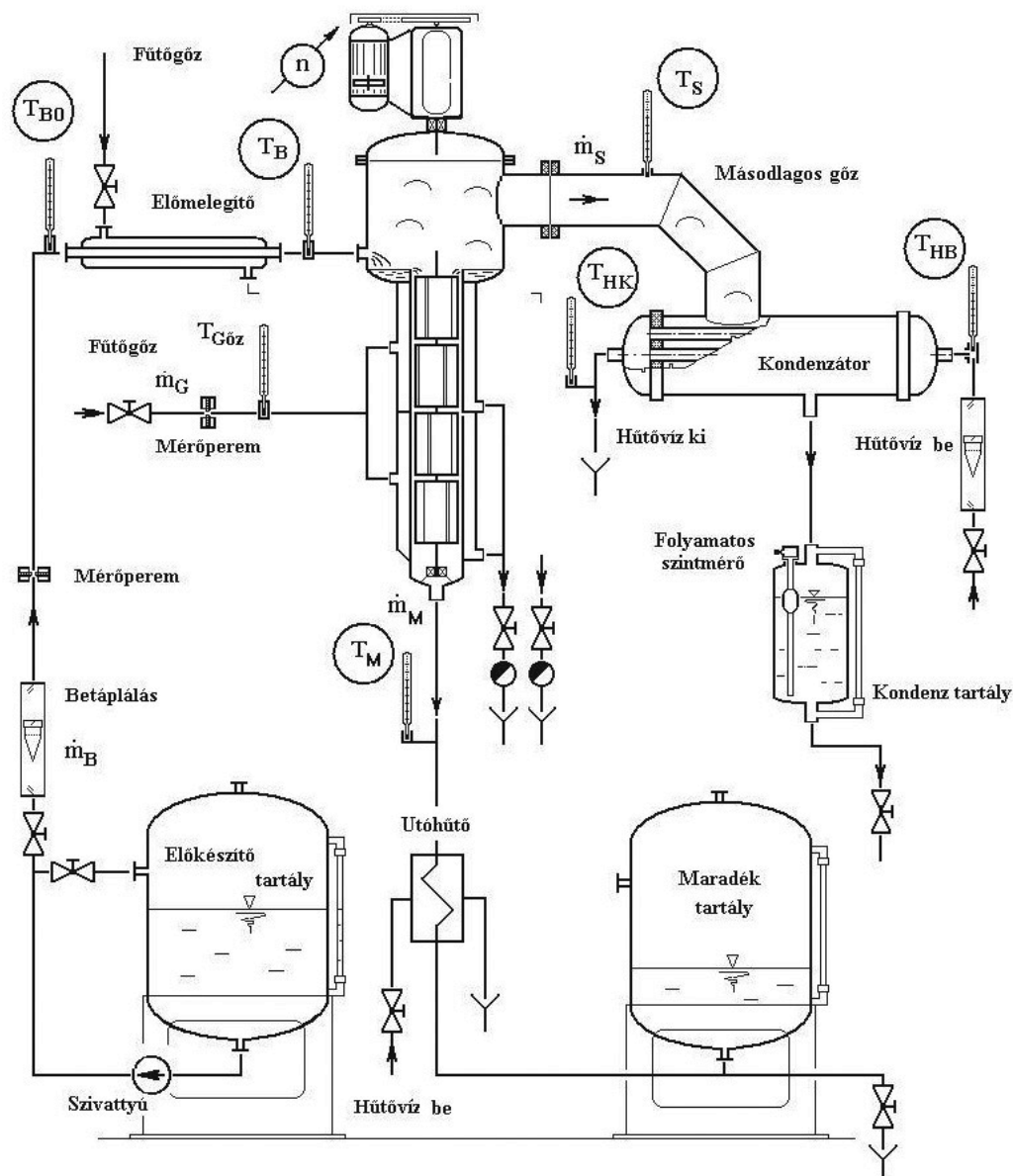
7.2.1. Ipari filmbepárló optimális fordulatszámának meghatározása



Ennek a témakörnek az a célja, hogy azonos betáplálási sebesség esetén, meghatározzuk a különböző fordulatszámokhoz tartozó hőátbocsátási értékeket, s azok alapján megállapítsuk a filmbepárló optimális fordulatszámát.

7.2.1.1. A berendezés leírása

Az előkészítőtartályban lévő oldatot szivattyúval juttatjuk egy előmelegítő hőcserélőn keresztül a filmbepárlóba. A filmbepárló fordulatszáma változtatható. A keletkezett másodlagos gőzöket kondenzáltatjuk, majd egy szedőben fogjuk fel. A szedőben egy folyamatos szintmérő van beépítve, így mérhető a keletkezett kondenzátum mennyisége. A maradékot egy lemezes hűtőn vezetjük át mielőtt a gyűjtőtartályba vezetnénk.



Műszaki adatok:

Filmbepárló fűtőfelülete $A = 0,4 \text{ m}^2$	Gőz mérőperem $d = 5; \alpha = 0,6; D = 23,7$	Betáp. mérőperem $d = 12,3; \alpha = 0,68; D = 20$
---	--	---

29. ábra

7.2.1.2. A mérés menete

1. Ellenőrizzük a berendezés elemeit munka- és balesetvédelmi szempontból.
2. Áram alá helyezzük a készülékeket (tanári felügyelet mellett!).
3. Meghatározzuk a filmbepárló hőcserélőjének geometriai méreteit.
4. Bekapcsoljuk a számítógépet és elindítjuk a *Genie.exe* programot.
A *File* menüpont alatt *beparlas.gni* megnyitás után program indítható.
5. Bekapcsoljuk a keringtetőszivattyút, a rotaméter segítségével beállítjuk a betáplálási értéket.
6. Kinyitjuk az előmelegítő hőcserélő gőz bejövő szelepét úgy, hogy a hőcserélőből kilépő oldat 80–90 °C hőmérsékletű legyen, valamint a kondenz szelepét.
7. Elindítjuk a forgatómotort és beállítjuk a kívánt fordulatszámot.
8. Kinyitjuk a duplikátúra gőzszelepeit és kondenzszelepeit.
9. Beállítjuk a kondenzátor hűtését.
10. A hőmérsékleteket folyamatosan rögzítjük manuálisan vagy az adatgyűjtő program segítségével.

11. A mérést az előírt másodlagos gőz keletkezéséig folytatjuk (kb. 5 liter), majd új fordulatszámot állítunk be.
12. A mérés végeztével áramtalanítjuk a készülékeket.
13. Az adatokat kimentjük, ill. konvertáljuk Excel táblázatba.
14. Elkészítjük a jegyzőkönyvet. A jegyzőkönyv tartalmazza a feladat leírását, a berendezés kapcsolási rajzát, a mérési adatokat táblázatos formában, a szükséges számításokat, diagramokat, valamint a mérés összefoglalását.

7.2.1.3. Mérési adatok

Mérési adatok										
idő [perc]	n [f/min]	m _B [kg/h]	T _{gőz} [°C]	T _B [°C]	T _M [°C]	T _S , T _{fp} [°C]	T _{Hbe} [°C]	T _{Hki} [°C]	m _{Hvíz} [kg/h]	Δm _S [kg]
20	240	100	151	90	100,1	100,5	15	29	300	5,5
22	320	100	154	87	100,4	100,7	14,5	28	300	7,2
21	380	100	153	92	100,3	100,5	14	29	300	6,4

Számított értékek						
m _S [kg/h]	Δh _S [kJ/kg]	Δh _G [kJ/kg]	Q _{haszn} [kJ/h]	Δt _{súly} [°C]	k [W/m ² °C]	m _{Gelm.} [kg/h]
16,5	2 255,9	2 114,6	41 631,9	50,5	1 416	19,7
19,6	2 255,9	2 114,6	50 051,2	53,3	1 615	23,7
18,3	2 255,9	2 114,6	44 820,3	52,5	1 474	21,2

7.2.1.4. Hőátbocsátási tényező meghatározása

Hasznos hőáram számítása:

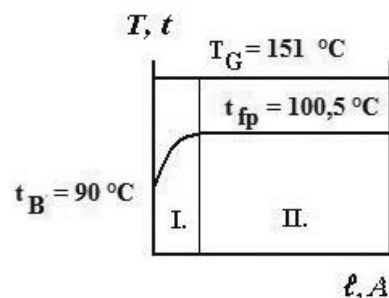
$$\Phi_{haszn} = m_B \cdot c_B \cdot (t_{fp} - t_B) + m_S \cdot \Delta h_S = 100 \cdot 4,2 \cdot (100,5 - 90) + 16,5 \cdot 2255,9 = 4410 + 37222 = 41\,632 \text{ [kJ/h]}$$

Ebből a felmelegítéshez szükséges hő: $\Phi_I = 4410 \text{ [kJ/h]}$ és az elforraláshoz szükséges hő: $\Phi_{II} = 4410 \text{ [kJ/h]}$

Súlyozott közepes hőmérséklet különbség számítása:

$$\Delta t_{\log} = \frac{(T_G - t_B) - (T_G - t_{fp})}{\ln \frac{T_G - t_B}{T_G - t_{fp}}}$$

$$\Delta t_{\log} = \frac{(151 - 90) - (151 - 100,5)}{\ln \frac{151 - 90}{151 - 100,5}} = 55,58 \text{ °C}$$



A forralási közepes hőmérsékletkülönbség: $\Delta t - t_{fp} = 151 - 100,5 = 50,5 \text{ °C}$.

$$\Delta t_{súly} = \frac{\Phi_I \cdot \Delta t_{\log} + \Phi_{II} \cdot \Delta t}{\Phi_I + \Phi_{II}} = \frac{4410 \cdot 55,58 + 37222 \cdot 50,5}{41632} = 51,04 \text{ °C}$$

A hőátadó felület $A = 0,16 \text{ m}^2$.

A hőátbocsátási tényező értéke:

$$k = \frac{\Phi_{\text{haszn}}}{A \cdot \Delta t_{\text{súly}}} = \frac{41632}{0,16 \cdot 51,04} = 5098 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}} = 1416 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Elméleti gőzfogyasztás meghatározása:

Feltételezzük, hogy nincs hőveszteség, így a gőz által leadott hő megegyezik a felvett (hasznos) hővel:

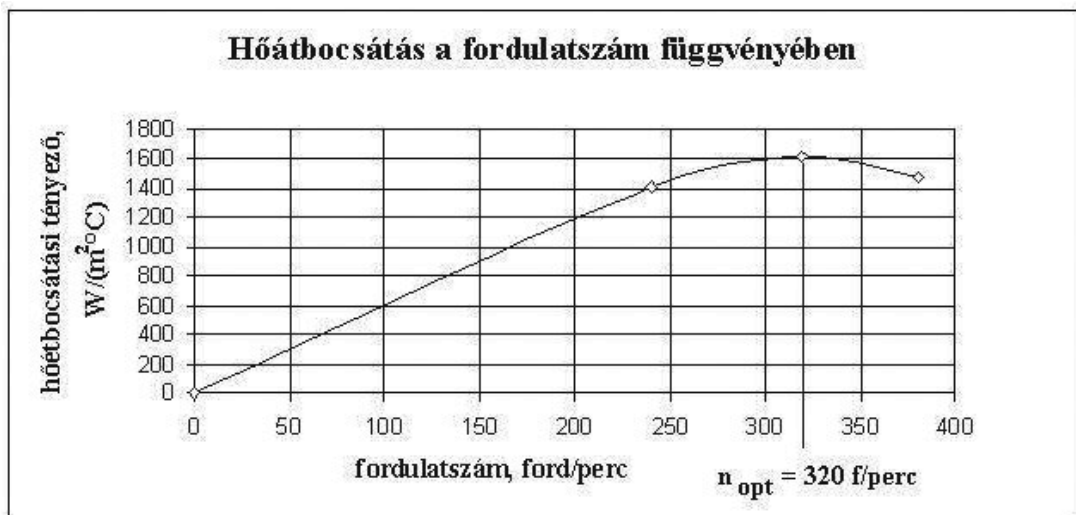
$\Phi_{\text{bef}} = \Phi_{\text{haszn}}$, így

$$m_G \cdot \Delta h_G = m_S \cdot \Delta h_S + m_B \cdot c_B \cdot (t_{fp} - t_B)$$

Az elméleti gőzfogyasztás:

$$m_G = \frac{m_S \cdot \Delta h_S + m_B \cdot c_B \cdot (t_{fp} - t_B)}{\Delta h_G} = \frac{41632}{2114,6} = 19,7 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

7.2.1.5. Mérési adatok diagramban ábrázolva

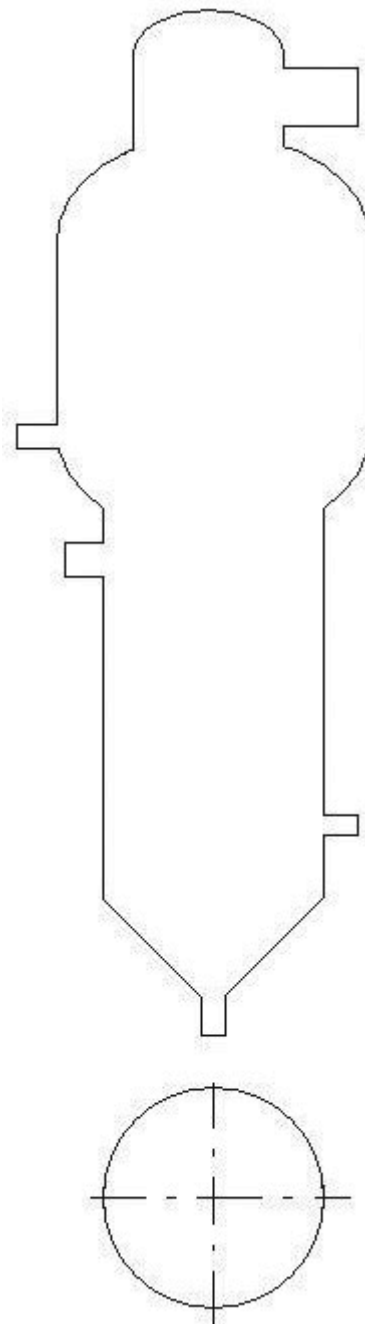


7.3. SZÁMÍTÁSI FELADAT

- Egy Robert-bepárlótelep utolsó fokozatában uralkodó nyomás 0,4 bar abszolút nyomás.
- A fűtőgőz hőmérséklete 120 °C.
- A hőcserélő magassága, ami egyúttal a folyadékoszlop magassága 4,3 m. Az oldat közepes sűrűsége 950 kg/m³.
- A koncentrációnövekedés okozta forrpontemelkedés 4 °C.
- A hőcserélő 60 db 20 mm átmérőjű, a fenti 4,3 m hosszúságú forrcsövekből és 400 mm átmérőjű ejtőcsőből áll.
- Telített vízgőz hőtani tulajdonságai:

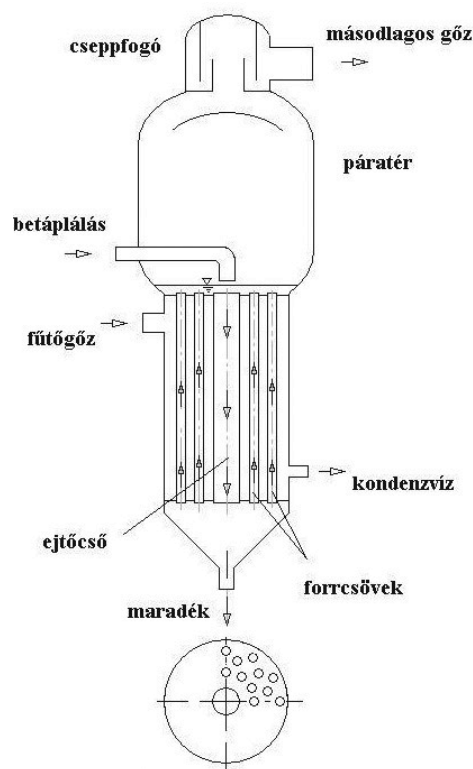
Telítési gőznyomás, p (bar)	Forrponthőmérséklet, t (°C)
0,4	75,9
0,5	81,35
0,6	85,95
0,7	89,96
0,8	93,51

- a) Fejezze be a jobb oldalon látható Robert-bepárló rajzát! Különös tekintettel legyen fűtőterre, valamint a cseppleválasztóra! A fűtőtér vázlatos metszeti képét is rajzolja meg!
- b) Tüntesse fel fő részeit és az anyagáramokat és nevezze meg azokat!
- c) Hogy alakul ki a fűtőtérben az oldat cirkulációja és hogy növelhető a cirkuláció sebessége?
- d) Határozza meg a hidrosztatikus nyomásnövekedés okozta átlagos (közepes) forrpontemelkedést!
- e) Számolja ki az oldat valódi forrponjtját!
- f) Mekkora a közepes hőmérsékletkülönbség? Az oldat betáplálása közel forrponton történik, így hőfelvevő oldalon csak forralás történik!
- g) Mekkora a hőátadó felület?
- h) Számolja ki az átszármaztatott hőmennyiséget, ha a hőátbocsátási tényező értéke $500 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$
- i) A telített gőzt barometrikus keverőkondenzátorba vezetjük, ahol kondenzáltatjuk. Milyen hosszú ejtőcső szükséges, ha a csővesztéstől eltekintünk. A külső nyomás 10^5 Pa , a hűtővíz és a kondenzátum sűrűsége $996 \text{ kg}/\text{m}^3$?



Megoldás

- a) A bepárló rajza:
 b) Fő részek megnevezése:
 c) A vékonyabb forrcsöveken keresztül a nagyobb hőbevitel miatt (mivel ezen csövek fajlagos felülete nagyobb), a belül áramló oldat hőmérséklete magasabb, így a sűrűségük kisebb lesz és megindul az oldat felfelé áramlása. Szemben az ejtőcsővel, ott a viszonylagosan hidegebb oldat lefelé áramlik.
 Kényszercirkuláció vagy külső ejtőcső alkalmazásával növelhető a hőátadás.



- d) A hidrosztatikus nyomásnövekedés:

$$\Delta p_{H/2} = \frac{H}{2} \cdot \rho \cdot g = \frac{4,3}{2} \cdot 950 \cdot 9,81 = 20\,037 \text{ Pa} \approx 0,2 \text{ bar.}$$

Az össznyomás értéke:

$$p_{\text{ö}} = p_{\text{ofp}} + \Delta p_{H/2} = 0,4 + 0,2 = 0,6 \text{ bar}$$

A tenzió alapján a forrpontemelkedéssel növekedett forrpont:

$$t_{\text{ofp}} + \Delta t_{H/2} = 85,95^\circ\text{C.}$$

A hidrosztatikus nyomásnövekedés okozta forrpontemelkedés tehát:

$$\Delta t_{H/2} = 85,95 - t_{\text{ofp}} = 85,95 - 75,9 = 10,05^\circ\text{C.}$$

- e) Az oldat valódi forrpontja az oldat belső nyomásához tartozó forrpontja, a közepes hidrosztatikus nyomásnövekedés okozta forrpontemelkedés, valamint a koncentrációnövekedés okozta forrpontemelkedés összegeként adódik.

A valódi forrpont:

$$t_{\text{fp}} = t_{\text{ofp}} + \Delta t_{H/2} + \Delta t_c = 85,95 + 4 = 89,95^\circ\text{C}$$

- f) A közepes hőmérséklet-különbség:

$$\Delta t_{\text{köz}} = T_{\text{gőz}} - t_{\text{fp}} = 120 - 89,95 = 30,05^\circ\text{C}$$

- g) A hőátadó felület:

$$A = n \cdot d \cdot \pi \cdot h + D \cdot \pi \cdot h = (60 \cdot 0,02 + 0,4) \cdot \pi \cdot 4,3 = 21,6 \text{ m}^2$$

- h) Az átszármaztatott hőáram:

$$\Phi = k \cdot A \cdot \Delta t_{\text{köz}} = 500 \cdot 21,6 \cdot 30,05 = 324540 \text{ W}$$

i) Az ejtőcsőre felírható

$p_o = p_b + h \cdot \rho \cdot g$, innen az ejtőcső minimális hossza:

$$h = \frac{p_o - p_b}{\rho \cdot g} = \frac{10^5 - 4 \cdot 10^4}{996 \cdot 9,81} = 6,14 \text{ m}$$

8. SZAKASZOS ÜZEMŰ BEPÁRLÓ

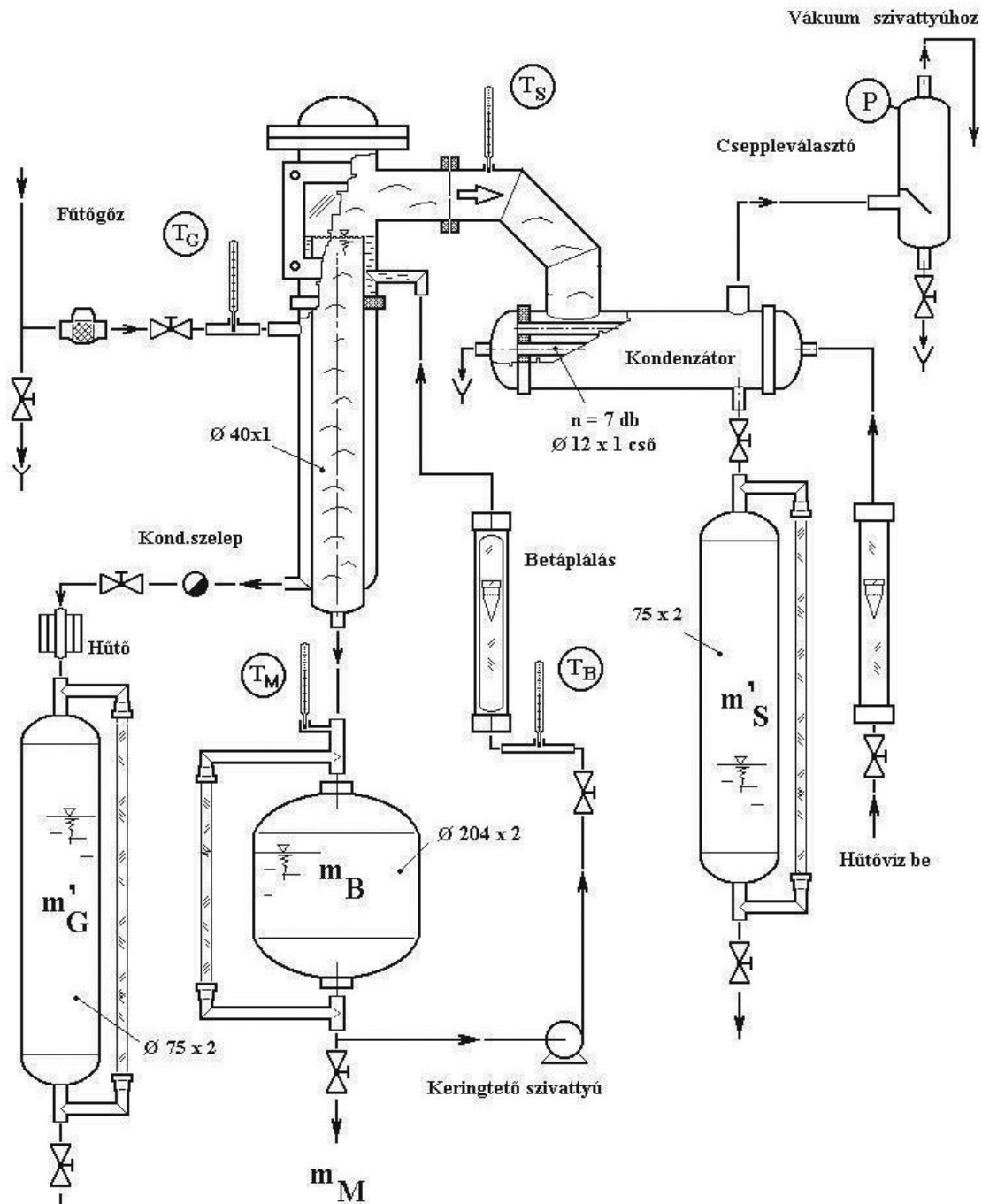
8.1. SZAKASZOS ÜZEMŰ BEPÁRLÁS ELMÉLETE

Szakaszos üzemű filmbepárló összefüggése alapvetően megegyezik a 7. pont alatt tárgyaltakkal, azzal a különbséggel, hogy tömegáramok helyett tömegekkel kell számolnunk.

8.1.1. Szakaszos üzemű filmbepárló kialakítása

A bepárlóban az egyenletesen lecsorgó folyadékfilm kialakulását egy fogazott belépőél biztosítja. A duplikátorba éles gőzt vezetünk. Csörgedezettető filmbepárló esetében a kialakuló folyadékfilm vastagsága elsősorban a betáplálási sebességtől és a gőzfűtés intenzitásától függ.

A *B*-jelű betáp tartályba vákuum segítségével juttatjuk fel a híg oldatot. A keringtetőszivattyúval juttatjuk be az oldatot a bepárlóba, lecsorogva ott bepárlódik, majd töményebb összetételben lecsorog a kiindulási tartályba. A betáp tartályban tehát egyre töményebb lesz az oldat, mivel a páratérben keletkező másodlagos gőzöket elvezetjük, kondenzáltatjuk és az *S*- jelű szedőben gyűjtjük. A kívánt összetétel elérésekor leállítjuk a bepárlást. A bepárlás során vákuumot alkalmazunk.



30. ábra

8.1.2. A bepárlás anyagmérlege

Teljes anyagmérleg:

$$m_B = m_M + m_S$$

Részleges anyagmérleg szilárd anyagra felírva:

$$m_B \cdot w_B = m_M \cdot w_M + m_S \cdot w_S, \text{ mivel}$$

$$w_S = 0, \text{ így } \boxed{m_B \cdot w_B = m_M \cdot w_M}$$

Jelölések:

m_B : betáplálási oldat tömege [kg],

m_M : tömény oldat tömege [kg],

m_S : másodlagos gőz tömege [kg],

w : oldatok tömegkoncentrációi.

8.1.3. A bepárlás hőmérlege

Fel kell írni az összes belépő és kilépő anyag hőtartalmát egy hőmérsékleti viszonyítási pontra, ez legyen $t = 0\text{ °C}$!

Belépő anyagok: a fűtőgőz, telített gőz állapotában lép be, valamint a betáp oldat forrpontról alatti hőmérsékleten.

Kilépő anyagok: a fűtőgőzből lett kondenzvíz a fűtőgőz forrpontról alatti hőmérsékletén, a tömény oldat bepárlótér közel forrpontról alatti hőmérsékletén ill. a másodlagos gőz a telített gőz állapotban közel a bepárló forrpontról alatti hőmérsékletén.



A bepárlás teljes hőmérlege:

$$m_G \cdot (\Delta h_G + c_G \cdot t_G) + m_B \cdot c_B \cdot t_B = m_G \cdot c_G \cdot t_G + m_M \cdot c_M \cdot t_M + m_S \cdot (\Delta h_S + c_S \cdot t_S)$$

Jelölések:

Δh_G : a fűtőgőz rejtett hője a fűtőgőz hőmérsékletén (T_G) [kJ/kg],

Δh_S : a másodlagos gőz rejtett hője közel a bepárlótér belső forrpontról alatti hőmérsékletén (t_W) [kJ/kg],

c : oldat fajhők, adott hőmérsékleteken [kJ/(kg°C)].

Vezessük be a következő egyszerűsítéseket!

A bepárló belső forrpontról alatti hőmérséklete, amit a belső nyomás határoz meg legyen t_{fp} . Így mind a tömény oldat, mind a távozó másodlagos gőz is közel ilyen hőmérsékletű lesz: $t_{fp} \cong t_M \cong t_S$ és méréseink során híg oldatokkal dolgozva az oldat fajhőire is igaz lesz, hogy $c_B \cong c_M \cong c_S$.

Az egyenletbe visszahelyettesítve kapjuk:

$$m_G \cdot \Delta h_G + m_B \cdot c_B \cdot t_B \cong m_M \cdot c_B \cdot t_{fp} + m_S \cdot \Delta h_S + m_S \cdot c_B \cdot t_{fp},$$

rendezve, a teljes anyagmérleg összefüggését felhasználva:

$$m_G \cdot \Delta h_G \cong m_S \cdot \Delta h_S + m_M \cdot c_B \cdot t_{fp} + m_S \cdot c_B \cdot t_{fp} - m_B \cdot c_B \cdot t_B$$



A bepárlás egyszerűsített hőmérlege:

$$m_G \cdot \Delta h_G \cong m_S \cdot \Delta h_S + m_B \cdot c_B \cdot (t_{fp} - t_B)$$

8.1.4. Hővesztesség számítása, a termikus hatásfok

A fenti ideális esetben a bal oldalon szereplő kifejezés a befektetett (leadott) hő, a jobb oldali kifejezés a hasznos hő jelenti, tehát

$$Q_{bef} = m_G \cdot \Delta h_G \text{ és } Q_{haszn} = m_S \cdot \Delta h_S + m_B \cdot c_B \cdot (t_{fp} - t_B), \text{ [kJ]}$$

A valóságban számolnunk kell veszteségekkel is:

$$Q_{bef} = Q_{haszn} + Q_{veszt} \text{ [kJ]}$$



A termikus hatásfok:

$$\eta_T = \frac{Q_{haszn}}{Q_{bef}} \cdot 100\%$$

8.1.5. Hőcserélő hőátbocsátási tényezőjének meghatározása

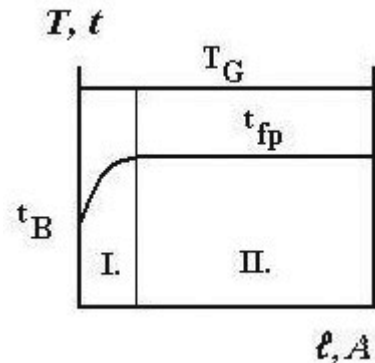
A hőáram számításához szükségünk van a bepárlási idő ismeretére ($\Delta\tau$, [sec, min, h])

A hőáram összefüggése: $\Phi_{haszn} = \frac{Q_{haszn}}{\Delta\tau}$

A fűtőtér hőtani méretezése az ismert összefüggéssel határozható meg a hőcserélés alapegyenletének felhasználásával: $\Phi_{haszn} = \Phi_{át} = k \cdot A \cdot \Delta t_{köz}$.

8.1.6. Közepes hőmérsékletkülönbség számítása bepárlásnál

A közepes hőmérsékletkülönbség számítása az ún. súlyozott közepes hőmérsékletkülönbséggel határozható meg. A probléma az, hogy a betáplált oldatot először fel kell melegíteni a forrponthőmérsékletre és csak ezután következik az elforralási szakasz. Tehát a I. szakaszban előmelegítés a II. szakaszban forralás történik. Gondolatban kettéosztjuk a hőcserélőt és külön-külön kiszámoljuk a közepes hőmérsékletkülönbség értékeit és átvitt hőmennyiségekkel kompenzáljuk:



$$\text{I. szakasz: } \Delta t_{\log} = \frac{(T_G - t_B) - (T_G - t_{fp})}{\ln \frac{T_G - t_B}{T_G - t_{fp}}},$$

$$\text{II. szakasz: } \Delta t = T_G - t_{fp}$$

A súlyozott közepes hőmérséklet különbség:

$$\Delta t_{súly} = \frac{\Phi_I \cdot \Delta t_{\log} + \Phi_{II} \cdot \Delta t}{\Phi_I + \Phi_{II}}$$

8.2. GYAKORLATI FELADAT

8.2.1. A filmbepárló termikus hatásfokának meghatározása különböző üzemi nyomáson.

8.2.1.1. A mérés menete

1. A kondenzvizet leeresztjük a kondenzvíz-levezető csapon.
2. Vákuummal (kb. 0,8 bar) felszívátjuk a betáplálendő oldatot a tartályba: 3 litert.
3. Elindítjuk a keringtetőszivattyút és beállítjuk a rotaméteren a térfogatáramot (20–40 lit/h).
4. Beállítjuk az üzemi vákuumot (kb. 0,4 bar abszolút nyomás, 60% vákuum).
5. Elindítjuk a hűtővízáramot (200 l/h).
6. Kinyitjuk a fűtőgőz szelepet.
7. Feljegyezzük az időt és a hőmérsékleteket (T_B , T_S , T_M , T_G).
8. Leállítjuk, ha a másodlagos gőz értéke elérte az előírt értéket (0,5 l).
9. Elzárjuk a gőzszelepet.
10. Kikapcsoljuk a vákuumszivattyút, majd a szivattyút.

11. Elzárjuk a hűtővizet.
12. Lemérjük a keletkezett fűtőgőz-kondenzvíz, a kondenzált másodlagos gőz és a maradék mennyiségét.
13. Kiszámítjuk a hőátbocsátási-tényezőt és a termikus hatásfokot.
14. A mérés végeztével áramtalanítjuk a készülékeket.
15. Az adatokat kimentjük, ill. konvertáljuk Excel táblázatba.
16. Elkészítjük a jegyzőkönyvet. A jegyzőkönyv tartalmazza a feladat leírását, a berendezés kapcsolási rajzát, a mérési adatokat táblázatos formában, a szükséges számításokat, diagramokat, valamint a mérés összefoglalását.

8.2.1.2. Mérési adatok

Páratér nyomása: $p = 0,4$ bar, abszolút nyomás.

Betáplálás sebessége: $\dot{V} = 20$ l/h.

t [perc]	T_G [°C]	T_S [°C]	T_M [°C]	T_B [°C]
0	66,5	23	31,2	20
2	87	26,6	71,4	20,2
4	90,4	76,3	76,9	21
6	91,9	78,9	78,5	22
8	91,9	80	79,4	22,9
10	92,5	81	80,4	24,3
12	92,9	81,3	80,7	25,9
14	93,4	81,6	81,1	28,8
16	93	80,9	80,2	35,8
18	93,8	78,5	78,1	48,5
20	93,8	78,8	78,4	58
22	94,8	79,2	78,8	66,2

Stacioner esetben a gőz és a forrponi hőmérséklet:

$$T_G = 92,8 \text{ [°C]},$$

$$t_{fp} = T_S = 79,7 \text{ [°C]}.$$

Ezekben a hőmérsékleteken a rejtett hő értékek:

$$\Delta h_G = 2270,41 \text{ kJ/kg},$$

$$\Delta h_S = 2299,88 \text{ kJ/kg}.$$

Tömegek:

$$m_G = 1,658 \text{ kg},$$

$$m_M = 1,530 \text{ kg},$$

$$m_S = 0,520 \text{ kg},$$

$$m_B = m_S + m_M = 2,050 \text{ kg}.$$

8.2.1.3. Hőmérleg számítása

Az előmelegítéshez szükséges hőmennyiség:

$$Q_1 = \dot{m}_M \cdot c_B \cdot (t_B - t_0)$$

$$Q_1 = 1,530 \text{ kg} \cdot 4,2 \text{ kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C}) \cdot (66,2^\circ\text{C} - 20,0^\circ\text{C}) = 296,9 \text{ kJ}$$

$$Q_2 = m_S \cdot c_B \cdot (t_{fp} - t_0)$$

$$Q_2 = 0,520 \text{ kg} \cdot 4,2 \text{ kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C}) \cdot (79,7^\circ\text{C} - 20,0^\circ\text{C}) = 130,4 \text{ kJ}$$

Az elpárologtatáshoz szükséges hőmennyiség:

$$Q_3 = m_S \cdot \Delta h_S$$

$$Q_3 = 0,520 \text{ kg} \cdot 2299,88 \text{ kJ}/\text{kg} = 1195,94 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{hasznos}} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_{\text{hasznos}} = 296,88 \text{ kJ} + 130,38 \text{ kJ} + 1195,94 \text{ kJ} = 1623,2 \text{ kJ}$$

Felvett hőmennyiség:

$$Q_{\text{felvett}} = m_G \cdot \Delta h_G$$

$$Q_{\text{felvett}} = 1,658 \text{ kg} \cdot 2270,41 \text{ kJ}/\text{kg} = 3764,34 \text{ kJ}$$

8.2.1.4. Termikus hatásfok

$$\eta = \frac{Q_{\text{hasznos}}}{Q_{\text{felvett}}} \times 100$$

$$\eta = \frac{1195,94 \text{ kJ}}{3764,34 \text{ kJ}} \times 100 = 43,12\%$$

Hőátadó felület:

$$d = 40 \text{ mm}$$

$$l = 420 \text{ mm}$$

$$A = d \cdot \pi \cdot l = 0,04 \text{ m} \cdot 3,14 \cdot 0,420 \text{ m} = 0,0528 \text{ m}^2$$

Hőmérsékletváltozások:

$$\Delta t_N = T_G - 20,0^\circ\text{C} = 92,8^\circ\text{C} - 20,0^\circ\text{C} = 72,8^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_K = T_G - T_B = 92,8^\circ\text{C} - 66,2^\circ\text{C} = 26,6^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{lg1}} = \frac{\Delta t_N - \Delta t_k}{\ln \frac{\Delta t_N}{\Delta t_k}}$$

$$\Delta t_{\text{log1}} = \frac{72,8^\circ\text{C} - 26,6^\circ\text{C}}{\ln \frac{72,8^\circ\text{C}}{26,6^\circ\text{C}}} = 45,9^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_N = T_G - 20,0^\circ\text{C} = 92,8^\circ\text{C} - 20,0^\circ\text{C} = 72,8^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_K = T_G - t_{fp} = 92,8^\circ\text{C} - 79,7^\circ\text{C} = 13,1^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{lg2} = \frac{\Delta t_N - \Delta t_k}{\ln \frac{\Delta t_N}{\Delta t_k}}$$

$$\Delta t_{lg2} = \frac{72,8^\circ\text{C} - 13,1^\circ\text{C}}{\ln \frac{72,8^\circ\text{C}}{13,1^\circ\text{C}}} = 34,8^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = T_G - t_{fp} = 92,8^\circ\text{C} - 79,7^\circ\text{C} = 13,1^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{köz} = \frac{Q_1 \cdot \Delta t_{lg1} + Q_2 \cdot \Delta t_{lg2} + Q_3 \cdot \Delta t}{Q_{hasznos}}$$

$$\Delta t_{köz} = \frac{296,88 \text{ kJ} \cdot 45,9^\circ\text{C} + 130,38 \text{ kJ} \cdot 34,8^\circ\text{C} + 1195,94 \text{ kJ} \cdot 13,1^\circ\text{C}}{1623,2 \text{ kJ}} = 20,8^\circ\text{C}$$

8.2.1.5. Hőátbocsátási tényező

$$\Phi_{hasznos} = k \cdot A \cdot \Delta t_{köz}$$

$$k = \frac{\phi_{hasznos}}{A \cdot \Delta t_{köz}}$$

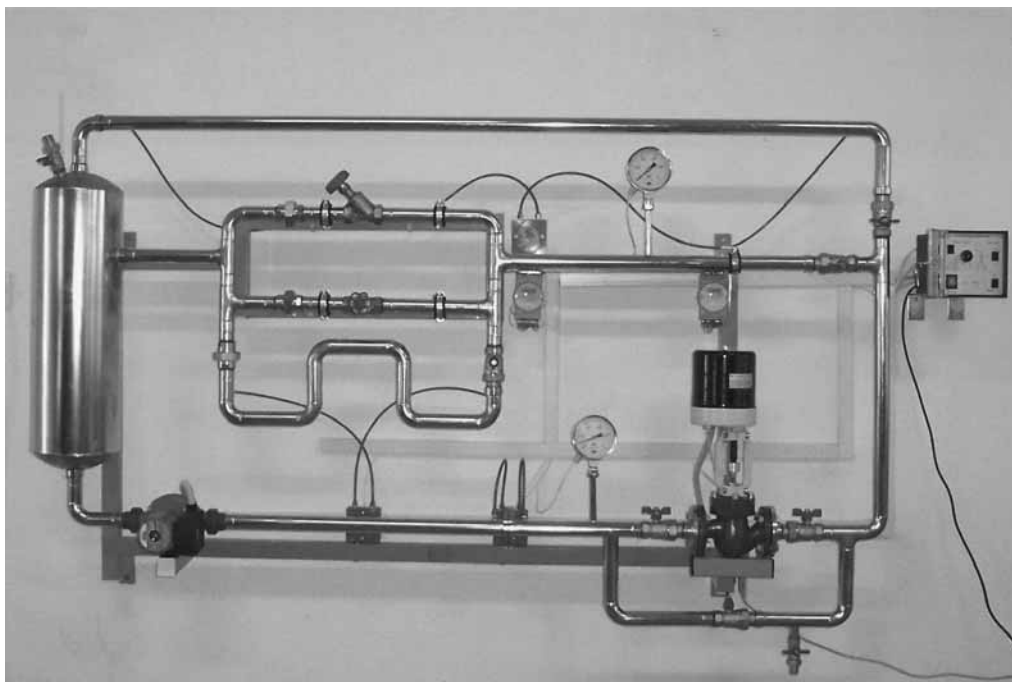
$$\phi_{hasznos} = \frac{Q_{hasznos}}{\Delta t} = \frac{1623,2036 \text{ kJ}}{1320 \text{ s}} = 1,2297 \text{ kJ} / \text{s} = 1229,7 \text{ W}$$

$$k = \frac{1229,7 \text{ W}}{0,0528 \text{ m}^2 \cdot 20,8^\circ\text{C}} = 1119,7 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

9. FOLYAMATIRÁNYÍTÁSI ESZKÖZÖK, FOLYAMATVEZÉRLŐ PROGRAMOK

9.1. ÁRAMLÁSTANI ELLENÁLLÁSOKAT VIZSGÁLÓ BERENDEZÉS ÉS A FOLYAMATVEZÉRLŐ PROGRAM LEÍRÁSA [5]

9.1.1. A berendezés műszaki leírása



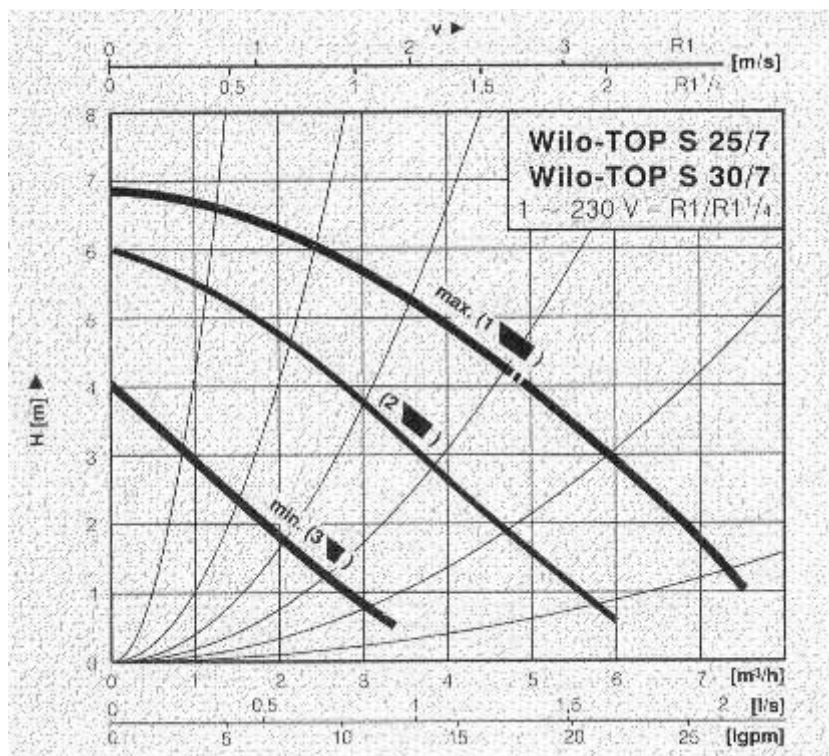
31. ábra

9.1.1.1. A centrifugál szivattyú :

Típusa: Wilo TOP S 25/7

Gyári adatok:

Beállított fokozat	Fordulatszám [f/perc]	Felvett teljesítmény [W]
1	1700	80
2	2050	120
3	2600	170



32. ábra

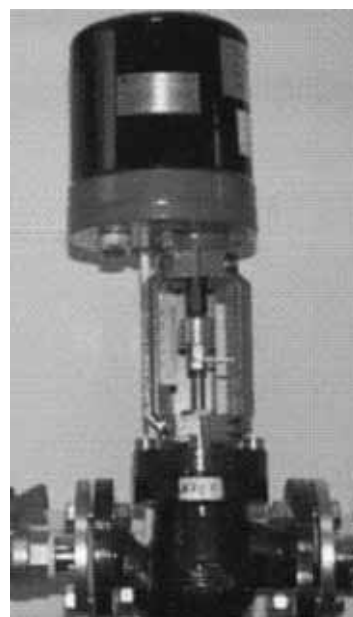
A szivattyú jelleggörbéje (Q-H diagramja) látható a fenti 32.ábrán.

9.1.1.2. Motoros szelep

Mérete: NA 25 , átfolyása Kv 6. ($6 \text{ m}^3/\text{h}$).

A szelep maximális *nyitása* 25 mm. A teljes nyitáshoz tartozó idő kb. 2,5 perc.

A szelepemelkedést a beépített helyzettávadó érzékeli, kimenőjele az ADAM adatgyűjtőhöz csatlakoztatott.



33. ábra

9.1.1.3. Mérőperem számítása

Az átfolyt térfogatáram a következő összefüggéssel számolható:

$$q_V = \alpha \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_{mp}}{\rho_k}} \quad \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right], \text{ ahol}$$

- d: a mérőperem furatátmérője
 $d = 21,49 \cdot 10^{-3} \text{ m}$,
- ρ_k -a közeg (víz) sűrűsége [kg/m^3]
(20°C -on $998 \text{ kg}/\text{m}^3$)

A közeg sűrűségét a közeg hőmérsékletének függvényében táblázatból kereshetjük ki, ill. a következő összefüggéssel számolhatjuk:

$$\rho_k = 1003,766 \cdot e^{-0,00029671 \cdot t} \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right],$$

- t: a közeg hőmérséklete [$^\circ\text{C}$],
 - Δp_{mp} : a mérőperem nyomáskülönbsége [Pa]
- α -az átfolyási szám átlagos értéke $\bar{\alpha} = 0,71$

A közeg (víz) áramlási sebessége:

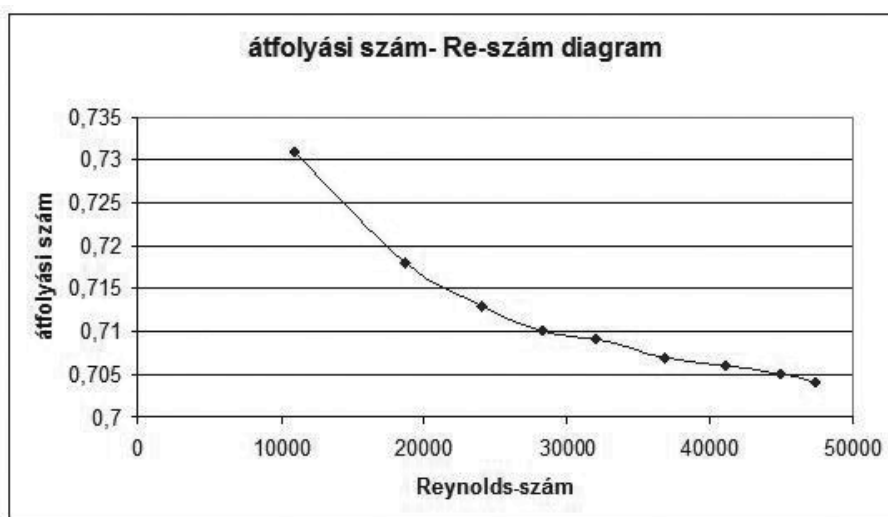
$$v = \frac{q_V}{A_D} = \frac{q_V}{\frac{D^2 \cdot \pi}{4}} \quad \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right], \text{ ahol}$$

D: az $\phi 33,7 \times 1,5$ cső belső átmérője, vagyis $D = 30,7 \text{ mm}$.

Átfolyási és Reynolds-szám összetartozó értékei

Átfolyási szám α	Reynolds-szám Re
0,704	47327
0,705	44932
0,706	41073
0,707	36803
0,709	31953
0,710	28250
0,713	23963
0,718	18683
0,731	10988

Az átfolyási szám diagramban megadva:



34. ábra

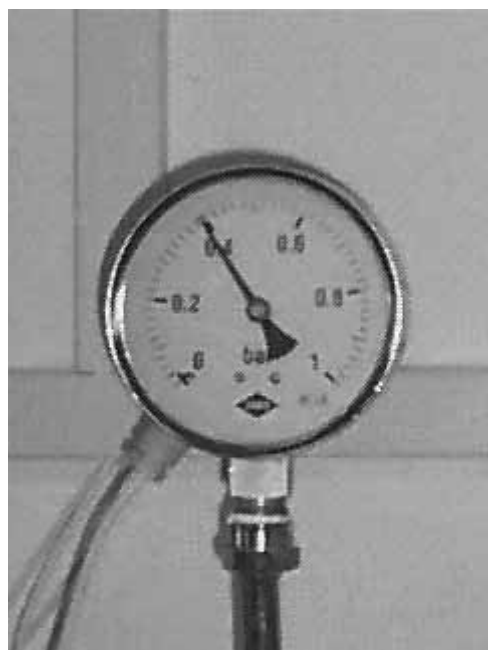
(Erre akkor lehet szükség, ha a mérőperem nyomáskülönbsége alapján a mérőperem kalibrációs diagramját akarjuk felvenni és a térfogatáramokat a pontos átfolyási számok alapján akarjuk számolni.)

9.1.1.4. Manométerek

A manométer méréstartománya 1 bar. A Bourdon-csőves manométer nyúlásmérő bélyegekkal ellátott, amelyek a nyomással lineáris áramgenerátoros kimenetet biztosítanak.

Ilyen manométerek a P₁ és P₂ jelű nyomásmérők, amelyek, a berendezés kapcsolási rajzán látható. A P₁ jelű manométer a motoros szelep előtti nyomást méri. A P₂ manométer a két elzárószelep, az egyenes és a ferde szelep összes nyomásesését méri, mivel a szelepek bal oldalán a tartályban légköri nyomás uralkodik.

A P₁-P₂ nyomáskülönbség lényegében a motoros szelep nyomáskülönbségét adja, így ennek a szelepnek is meghatározható az ellenállás tényezője.



35. ábra.

9.1.1.5. Egyenes cső

A vizsgálandó egyenes cső külső átmérője ϕ 33,7 mm, az egyenes cső falvastagsága 1,5 mm, így a belső átmérője $D = 30,7$ mm, a csőszakasz hossza $L = 1650$ mm.

Az egyenes cső nyomásesése:

$$\Delta p'_{cső} = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho_k}{2} \cdot v^2 \quad [\text{Pa}]$$

A csősúrlódási tényező, ami a Re-szám, és a cső érdességének függvénye: $\lambda = f(\text{Re})$:

$$\lambda = \frac{2 \cdot \Delta p'_{cső}}{\rho_k \cdot v^2} \cdot \frac{D}{L}, \text{ ahol}$$

v a közeg áramlási sebessége és ρ_k a közeg sűrűsége.

A veszteség magasság összefüggése, amennyiben szükséges:

$$h' = \frac{\Delta p'}{\rho_k \cdot g} = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \left[\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{N}} \right].$$

A csősúrlódási tényező (λ), mint ellenállás-tényező, az áramlás jellegétől (lamináris, átmeneti ill. turbulens) függ. Az áramlás jellegére jellemző hasonlósági szám a Reynolds-szám:

$$\text{Re} = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} = \frac{D \cdot v}{\nu}.$$

D: a cső belső átmérője, ill. szelepek esetén is a vonatkoztatási átmérő:

$$D = 30,7 \cdot 10^{-3} \text{ m, ahol}$$

- v: az áramlási sebesség [m/s],
- ρ : a közeg sűrűsége [kg/m³],
- μ (ill. gyakran η jelöléssel): a közeg dinamikai viszkozitása.

Számítása a hőmérséklet függvényében ($0^\circ\text{C} < t < 50^\circ\text{C}$):

$$\mu = (1,7488 - 0,052746 \cdot t + 0,000885 \cdot t^2 - 0,00000625 \cdot t^3) \cdot 10^{-3} \text{ [Pa} \cdot \text{s]},$$

$$\nu: \text{ a közeg kinematikai viszkozitása [m}^2\text{/s]}.$$

A táblázatban a víz anyagjellemzői vannak feltüntetve a hőmérséklet függvényében:

t [°C]	ρ [kg/m ³]	μ [Pa·s]	ν [m ² /s]
0	999,8	$1,75 \cdot 10^{-3}$	$1,75 \cdot 10^{-6}$
10	999,8	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$
20	998,4	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-6}$
30	995,8	$0,797 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-6}$
40	992,3	$0,651 \cdot 10^{-3}$	$0,656 \cdot 10^{-6}$
50	988,1	$0,544 \cdot 10^{-3}$	$0,551 \cdot 10^{-6}$

9.1.1.6. Csőívek

A csőívek áramlástani ellenállásának meghatározásához 6 db $\varnothing 33,7 \times 1,5$ csőív van sorba kötve. A csőív (könyök) szimmetriatengelyének görbületi sugara $R = 33,7$ mm ($R = d$). A létrejövő nyomáscsökkenést nyomáskülönbség távadóval mérjük (Δp_{iv}).

Az ívek (6 ívre) vonatkoztatott ellenállástényezője az alábbi összefüggésből számolható:

$$\Delta p'_{iv} = \xi_{iv,6} \cdot \frac{\rho_k}{2} \cdot v^2, \text{ [Pa]}$$

Az ellenállástényező:

$$\xi_{iv,6} = \frac{2 \cdot \Delta p'_{iv}}{\rho_k \cdot v^2},$$

egy csőív ellenállás tényezője:

$$\xi_{iv,1} = \frac{\xi_{iv,6}}{6}.$$

Az ellenállástényező a Re-számtól, az ív érdességétől, görbületi sugarától függ: $\xi_{iv} = f(\text{Re})$

9.1.1.7. Egyenes szelep

Mérete NA 1", a vonatkoztatási átmérő a cső belső átmérője $\varnothing D = 30,7$ mm.

Az egyenes szelep nyomásesését (Δp_e) jó közelítéssel a P_2 nyomással egyenlő, mivel a tartályban 0 bar ($P_0 = 0$) túlnyomás uralkodik.

Megjegyzés: feltételezve, hogy az ágban lévő T idomok, csőívek és az egyenes csőszakaszok ellenállása elhanyagolható.

A nyomásesés:
$$\Delta p'_e = P_2 - P_0 = P_2 = \xi_e \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2$$

ill. az ellenállástényező értéke:

$$\xi_e = \frac{2 \cdot \Delta p'_e}{\rho_k \cdot v^2},$$

Az ellenállástényező Re-számtól függ: $\xi_e = f(\text{Re})$.

9.1.1.8. Ferde szelep

Mérete NA 1", a vonatkoztatási átmérő a cső belső átmérője $\varnothing D = 30,7$ mm.

A ferde szelep nyomásesése (Δp_f) jó közelítéssel a P_2 nyomással egyenlő, mivel a tartályban 0 bar ($P_0 = 0$) túlnyomás uralkodik.

Megjegyzés: feltételezve, hogy az ágban lévő T idomok, csőívek és az egyenes csőszakaszok ellenállása elhanyagolható.

A nyomásesés:
$$\Delta p'_f = P_2 - P_0 = P_2 = \xi_f \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2$$

ill. az ellenállástényező értéke:

$$\xi_f = \frac{2 \cdot \Delta p'_f}{\rho_k \cdot v^2},$$

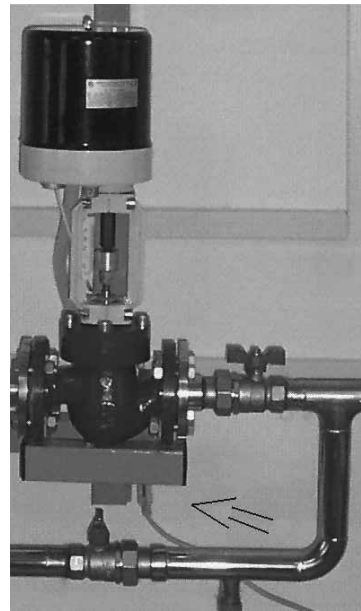
Az ellenállás tényező Re-számtól függ: $\xi_f = f(\text{Re})$

Kialakításából adódóan ellenállása mindig kisebb, mint az egyenes szelep ellenállása.

9.1.1.9. ADAM ipari adatgyűjtő

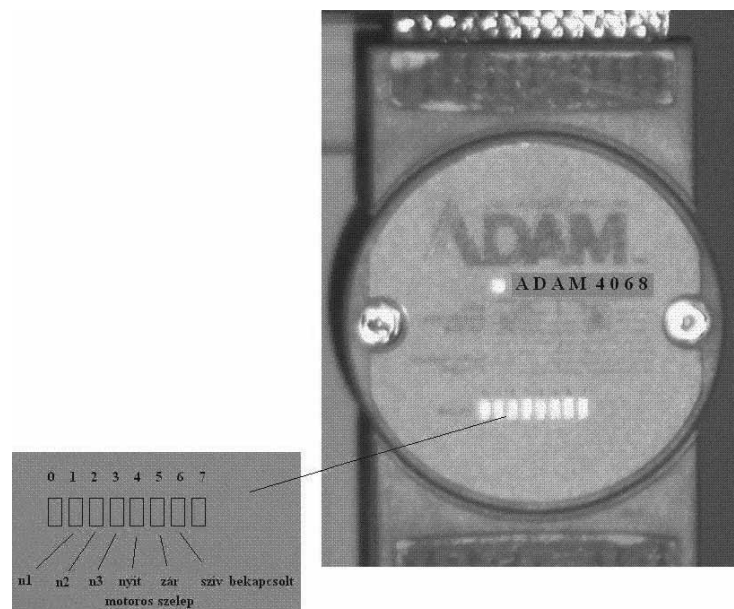
Az ADAM 4000 típusú modulokból felépített adatgyűjtő képes a csatolt számítógéppel a kétirányú kommunikációra. Ehhez össze kell kötni az RS232 soros kábellel a 36. ábrán mutatott helyen lévő ADAM 4520 típusú modult, a számítógép COM1 portjával.

A 4017 típusú modul az analóg jeleket fogadja, a 4068 típusú modul a szivattyú indítását, fordulatszám-beállítását (n1, n2, n3) és a motoros szelep zárását, nyitását végzi.



36. ábra

Az ADAM 4068 modulon LED diódasor elemei jelzik azt, hogy melyik reléje van behúzott állapotban. Ennek kiosztása látható a 37. ábrán.



37. ábra

9.1.1.10. Vezérlő elektronika

A *főkapcsoló* bekapcsolása után az adatgyűjtő feszültség alá kerül. Az elektronikus vezérlő jobb alsó sarkában lévő *vezérlés* váltókapcsoló segítségével *kézi vezérlés* vagy *számítógép vezérlés* állásba kapcsolhatunk.

– Kézi vezérlés

Ebben az állásban a *centrifugálszivattyú* be/ki kapcsolója segítségével a szivattyú kézi vezérléssel indítható/leállítható.

A szivattyú fordulatszáma a forgókapcsolóval állítható, az 1, 2, 3 állásba.

A *motoros szelep* nyit/zár kétirányú váltókapcsolója segítségével a motoros szelep nyitható ill. zárható. Kézi vezérlés állásban is kommunikál az adatgyűjtő a számítógéppel, az adatokat a program feldolgozza, megjeleníti és a megfelelő fájlba menti.

A motoros szelep igen kis nyitását, vagy zárását kézi vezérléssel könnyebben lehet elérni. Erre akkor lehet szükség, ha két mérési pont közzé szeretnénk újabb mérési pontokat felvenni, ill. a lamináris tartományban pontokat felvenni vagy egyszerűen így célszerűbbnek látjuk elvégezni a mérést.

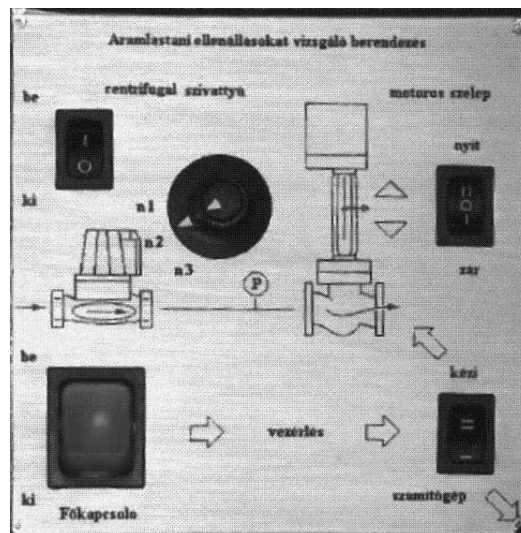
Mielőtt átadnánk a vezérlést a számítógépnek (vagyis átkapcsolnánk számítógépes vezérlésre), azelőtt lehetőleg:

- kapcsoljuk ki a szivattyút,
- állítsuk 3-as állásba a fordulatszám-kapcsolót,
- kapcsoljuk ki a motoros szelepet!

Erre azért van szükség, mert az ADAM 4068 jelfogó modulok kimenetei vagy a kézi kapcsolók párhuzamosan húzzák be a erősáramú jelfogókat, valamint ide visszakapcsolva eleve bekapcsolt állapotúak lesznek.

– Számítógépes vezérlés:

Ebben az állásban a számítógéphez illesztett adatgyűjtőn keresztül történik a jelfogó behúzása, a berendezés működtetése. A számítógépes program veszi át a vezérlést, elvégzi az adatgyűjtést, az adatokat megjeleníti a képernyőn.



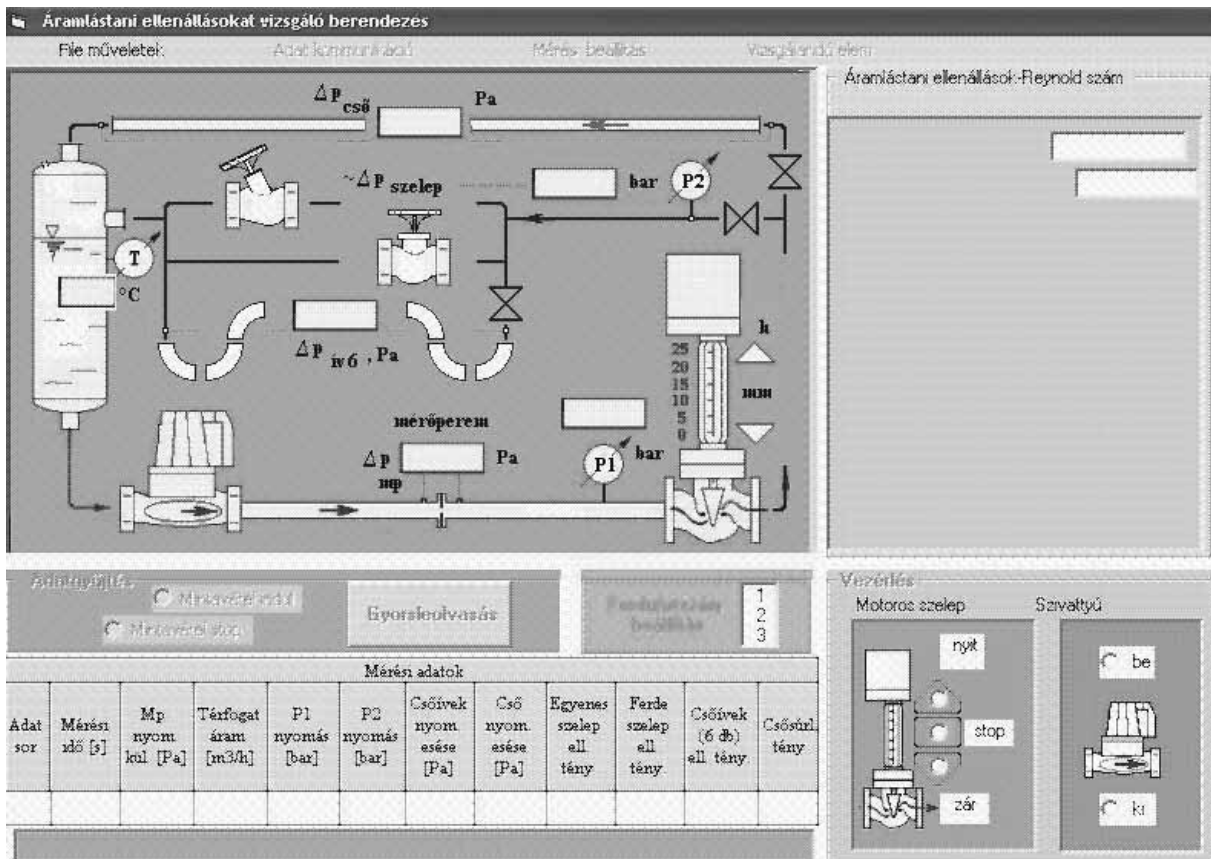
39. ábra

9.1.2. Áramlási ellenállásokat vizsgáló berendezés folyamatvezérlő program leírása, kezelése

9.1.2.1. A program installálása és indítása

Indítsuk el a `d:\Ae-vizsg\setup.exe` programot, amely létrehozza a `c:` meghajtón az `Ae_vizsg` alkönyvtárat, majd bemásolja a szükséges fájlokat. A program indítása a `c:\Ae_vizsg\ae_vizsg.exe` futtatásával indítható.

A monitor javasolt képfelbontása 800×600 képpont.

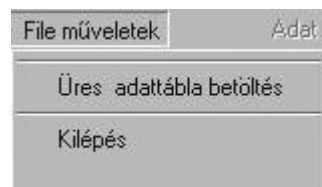


40. ábra

9.1.2.2. Menü kiválasztása

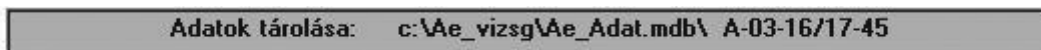
File műveletek

A (felső) menüsorban a *File műveletek* megnyitása következik: A menü legördülése után az *Üres adattábla betöltés*-re kattintva a *c:\Ae_vizsg\Ae_Adat.mdb* Access adatfájlban megnyitjuk az aktuális dátum és időpontból (óra, perc) kialakított adattáblát (*Access* táblát). A mérési adatainkat ebben az adattáblában találjuk meg.



41. ábra

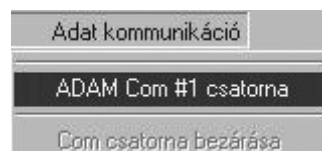
Egy adattábla név :



Adat kommunikáció

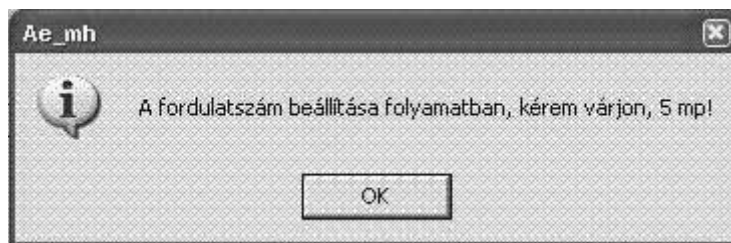
A megnyitott adattábla után az *Adat kommunikáció* menüsorban a *ADAM Com #1 csatorna* megnyitása következik:

Hatására a számítógép a *Com1* csatornán keresztül kész az adat kommunikációra.



42. ábra

Egyben beállítja a szivattyú 3-as fordulatszámát, s a következő ikonüzenet jelenik meg:



43. ábra

9.1.2.3. Mérés beállítása

Itt a folyamatos mérés esetében a mintavételi időt állíthatjuk be.

Alapbeállításban ez 5 mp.



44. ábra

9.1.2.4. A vizsgálandó elem kiválasztása

A vizsgálandó elemek tetszőleges sorrendben kijelölhetők. Amennyiben a mérés során másodszor is visszatérünk ugyanazon elem vizsgálatára, akkor az előző mérési pontokat ismét kirajzolja a diagramon.

Az adattáblában ezek a mérési pontok elkülönülnek az előzetesen mért pontoktól, más az adatsor és a mérési idő!

Alapbeállításban az *egyenes szelep* van kiválasztva.



45. ábra

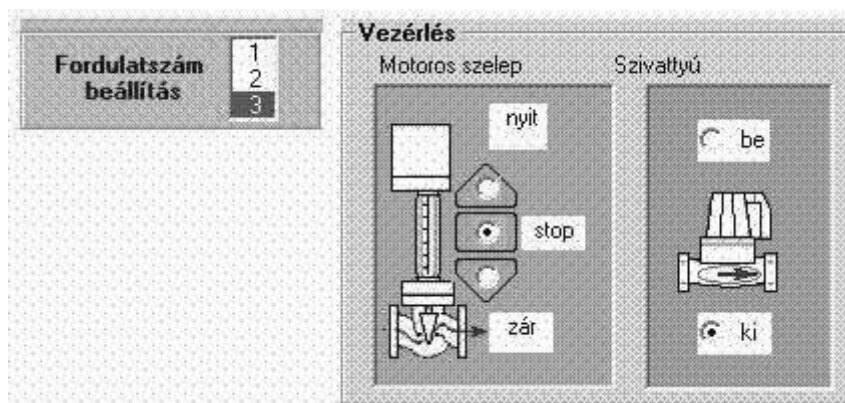
9.1.2.5. Vezérlés

A vezérlőpanel

A 2.3.2. pont alatt leírtak szerint a szivattyú 3-as fordulata beállításra került. Ilyenkor a szivattyú megfelelő tekercspárjai egy relén keresztül összekapcsolódnak. A három fordulatszám ill. a motoros szelep zár/nyit reléi egymást kizáró logikai kapcsolásban vannak, ami azt jelenti, hogy nem lehet két fordulatszám relét ill. a motoros szelep zár, nyit reléket egyszerre behúzni.

A vezérlőpanelen egér segítségével

indíthatjuk a szivattyút, ill. vezérelhetjük a motoros szelepet. A motoros szelep nyitása, ill. zárása mindaddig tart ameddig le nem kapcsoljuk, a **stop** nyomógombot megnyomva. A motoros szelep kifutás ill. túlzárás ellen beépített mikrokapcsolókkal védett, valamint egy belső erőhatároló védelemmel is ellátott.



46. ábra

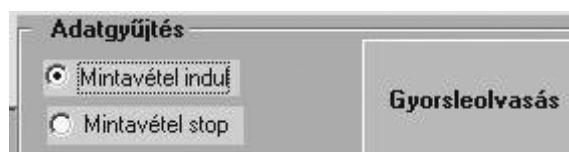
9.1.2.6. Adatgyűjtés

Az adatgyűjtés történhet folyamatos mintavételezéssel ill. gyorsleolvasással. A folyamatos mintavételezésnél a menüsorban beállítjuk a kívánt mintavételezési időközöt:



47. ábra

Az adatgyűjtés indítását a *Mintavétel indul* gombra való kattintással érhetjük el. Amennyiben nem állítottunk be mintavételi időt, úgy a mintavételi idő 5 mp. A mintavételi időt mérés közben is állíthatjuk.



48. ábra

Mérés közben a *Gyorsleolvasás* gomb is hatásos.

A *Mintavétel stop* gomb megnyomása után természetesen újraindítható a mérés, még ugyanabba az adattáblába ír, a mérési idő is folyamatosan halad.

A mérési adattábla legutolsó rekordsora látható az *Mérési adatok* táblázatban. Egy mérési adatsor, egyenes szelep mérési eredménye látható a következő ábrán:

Mérési adatok											
Adat sor	Mérési idő [s]	Mp. nyom. kül. [Pa]	Térfogat áram [m ³ /h]	P1 nyomás [bar]	P2 nyomás [bar]	Csőívek nyom. esése [Pa]	Cső nyom. esése [Pa]	Egyenes szelep ell. tény.	Ferde szelep ell. tény.	Csőívek (6 db) ell. tény.	Csőúrl. tény.
55	280	1058	1,38	0,7	0,61			450,1			

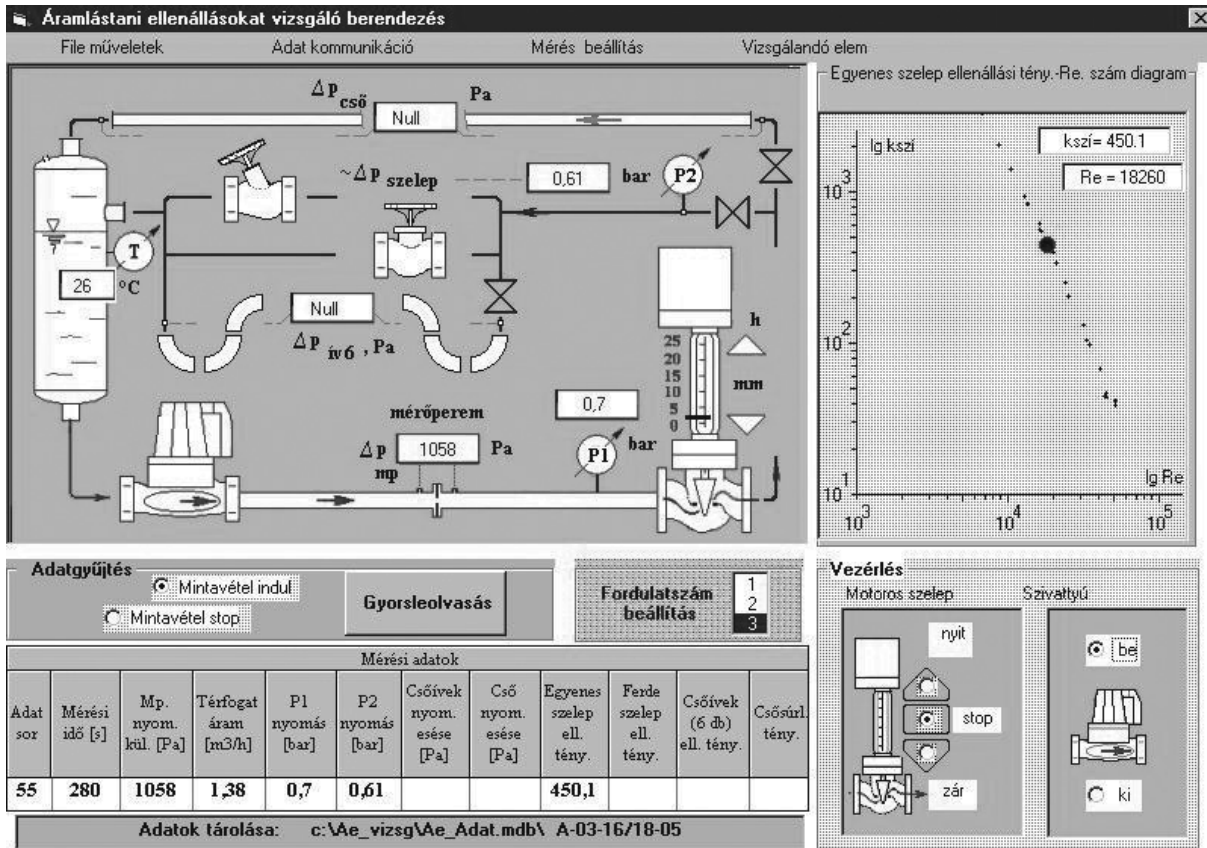
Adatok tárolása: c:\Ae_vizsg\Ae_Adat.mdb\ A-03-16/18-05

49. ábra

9.1.2.7. Mérési adatok megjelenítése

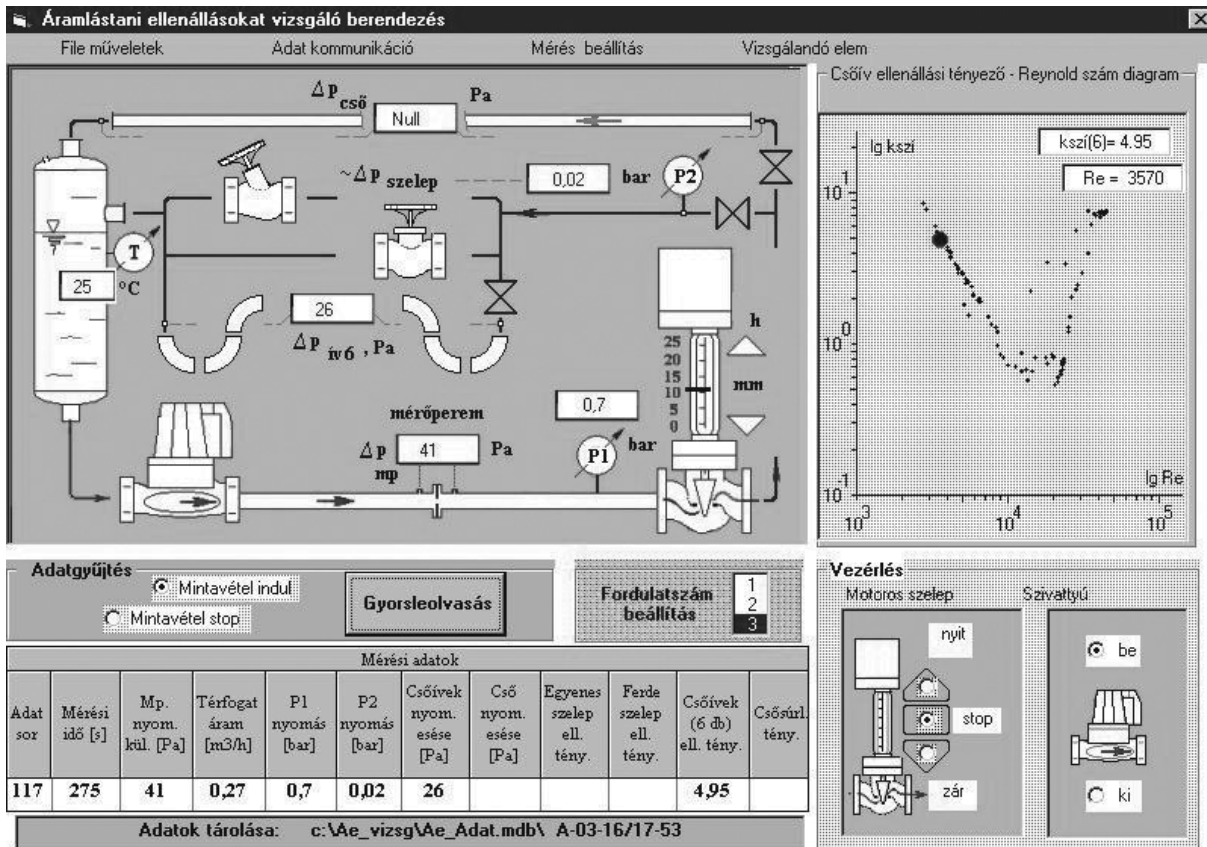
- Az aktuális mérési adatok és eredmények az adattáblában;
- az aktuális mérési adatok és eredmények a folyamatábra megfelelő helyein;
- mérési adatokból számított ellenállástényező – Re-szám log-log diagramban.

Egyenes szelep vizsgálata:



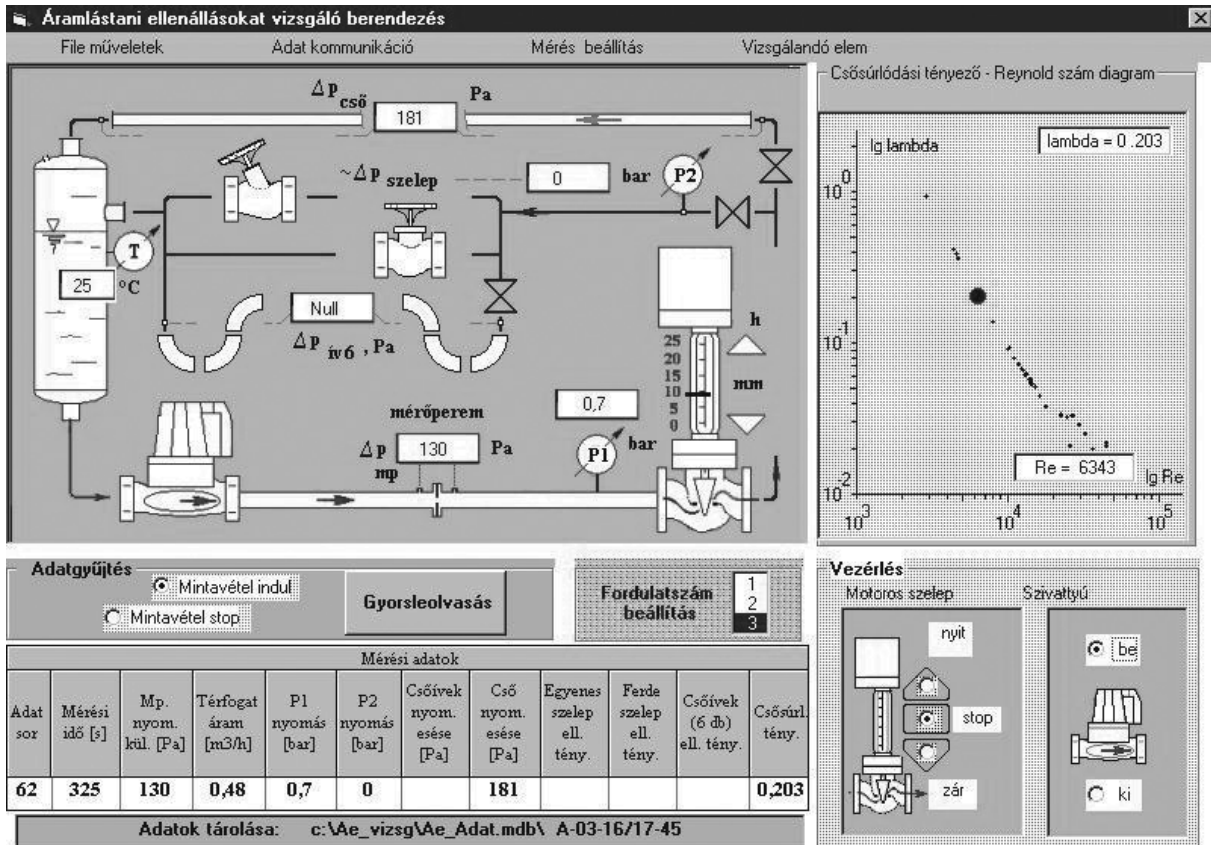
50. ábra

Csővek vizsgálata:



51. ábra

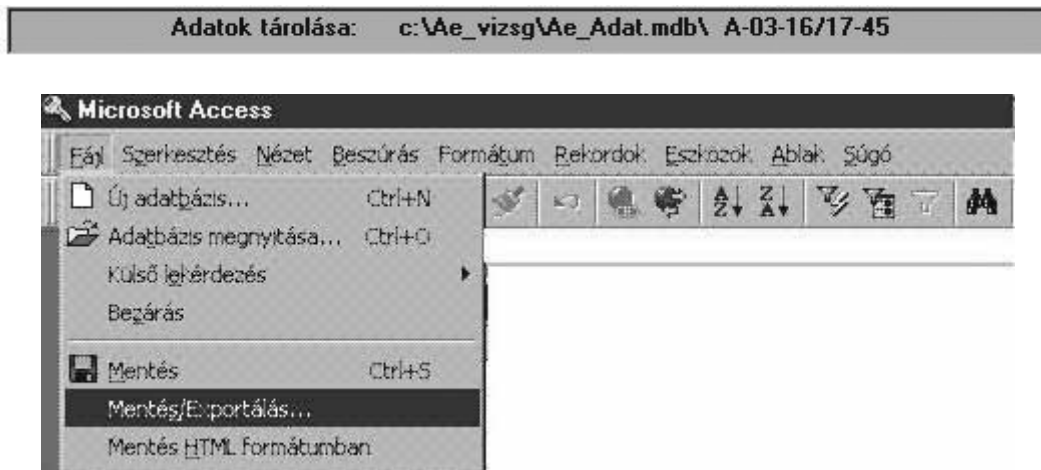
Egyenes cső vizsgálata:



52. ábra

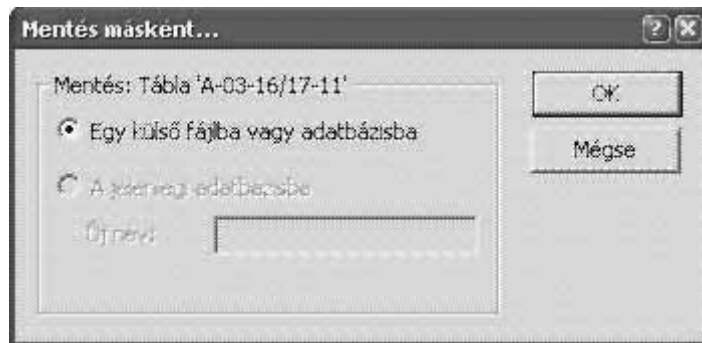
9.1.2.8. További adatfeldolgozás:

Nyissuk meg Access-ben az aktuális adattáblánkat amely a c:\Ae_vizsg\Ae_Adat.mdb fájlban található:

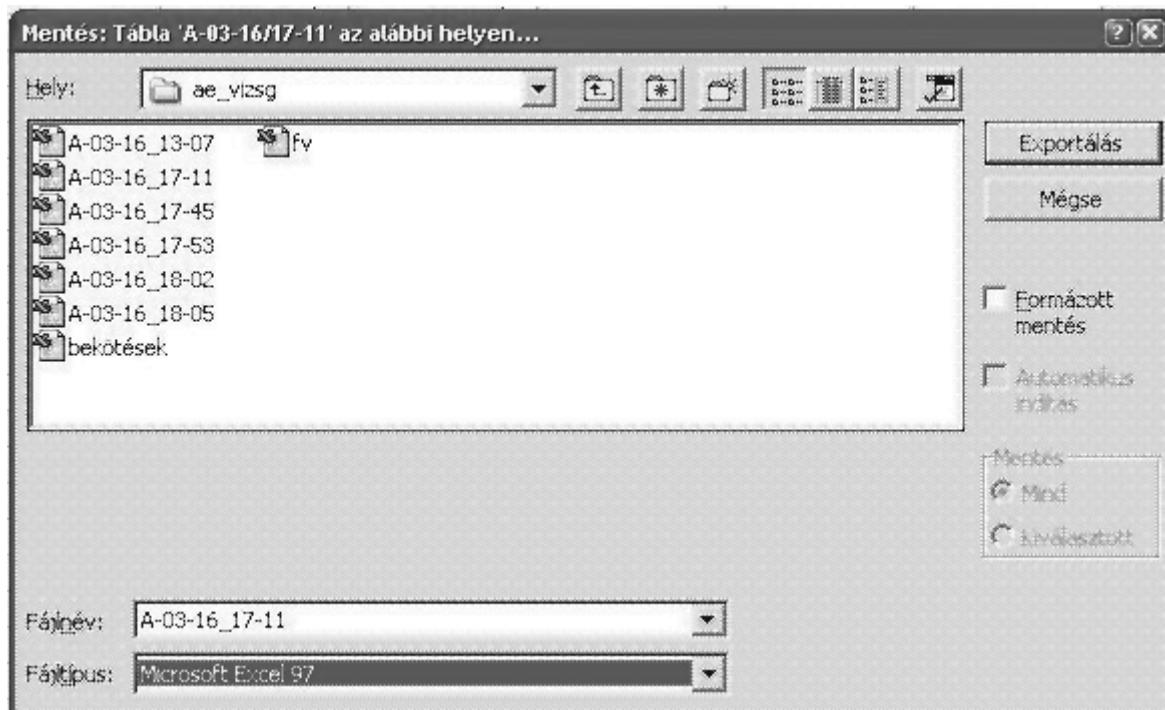


53. ábra

majd exportáljuk *.xls fájlként. Ezután a mérési adatok tetszés szerint feldolgozhatóak.

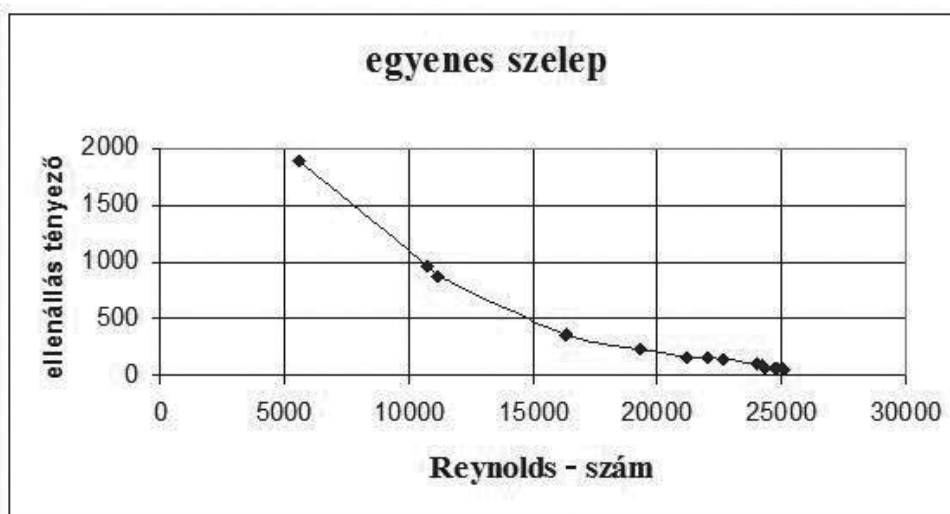


54. ábra

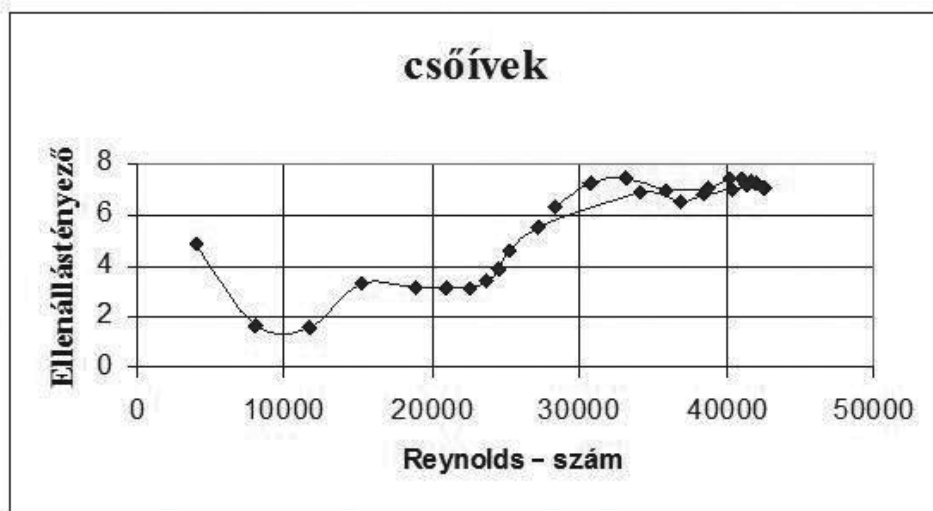


55. ábra

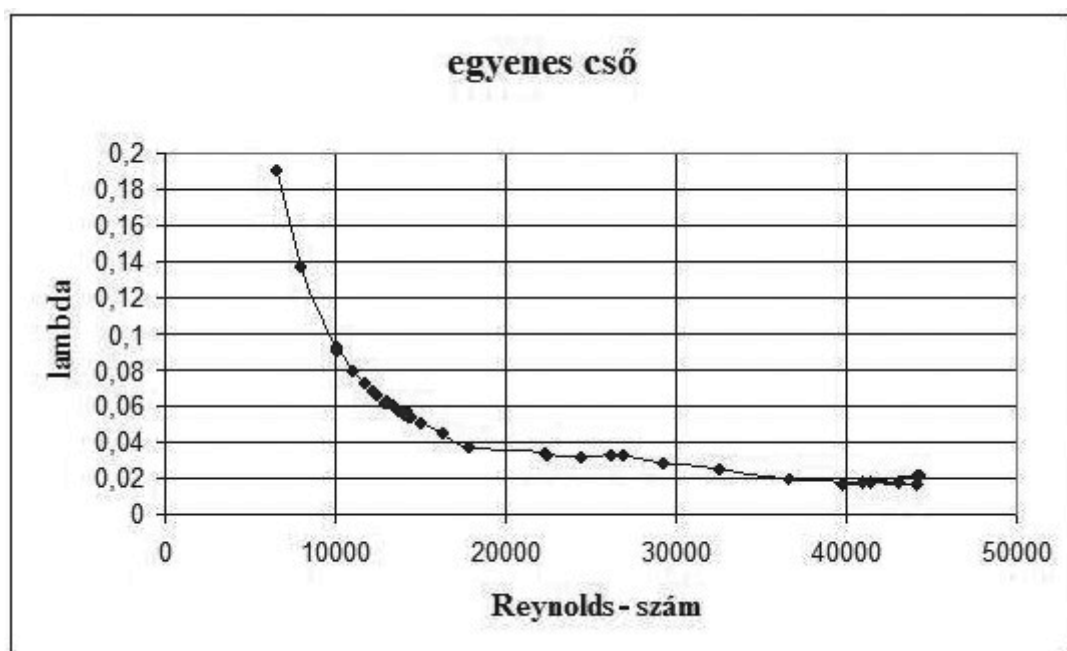
Az 56. ábrán egyenes szelep, az 57. ábrán csőívek mérési pontjaiból kapott ellenállástényezői a Reynolds-szám függvényében láthatók, az 58. ábrán az egyenes cső mérési pontjaiból kapott csősúrlódási tényezők a Reynolds-szám összefüggésében vannak ábrázolva.



56. ábra



57. ábra



58. ábra

9.2. SZIVATTYÚVIZSGÁLÓ-BERENDEZÉS ÉS A FOLYAMATVEZÉRLŐ PROGRAM LEÍRÁSA, KEZELÉSE [6]

9.2.1. A berendezés műszaki leírása

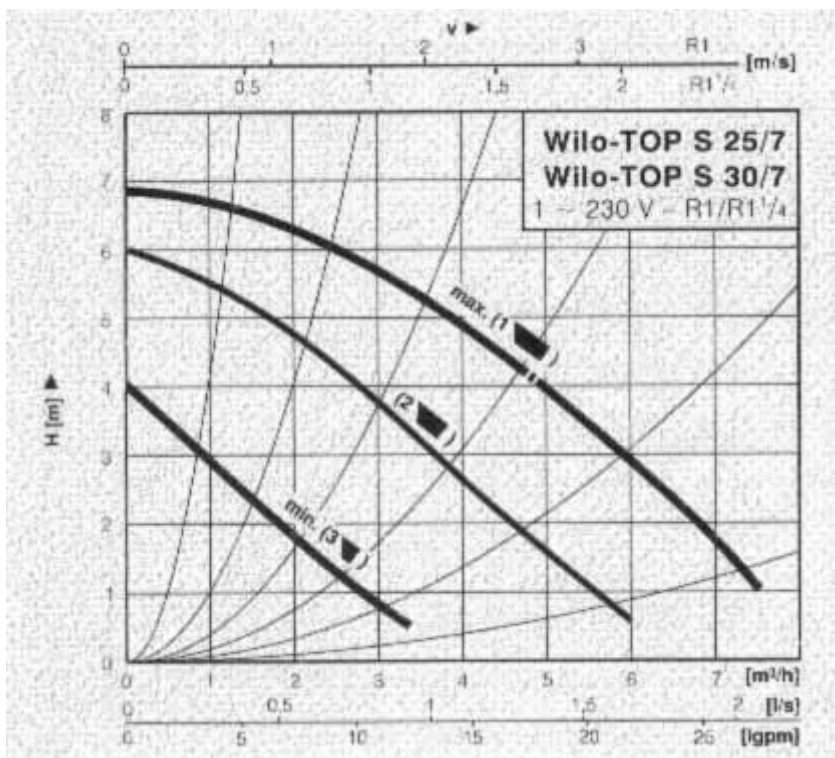


59. ábra

9.2.1.1. A centrifugálszivattyú (típusa: Wilo TOP S 25/7)

Gyári adatok:

Beállított fokozat	Fordulatszám [1/perc]	Felvett teljesítmény [W]
1	1700	80
2	2050	120
3	2600	170



A szivattyú jelleggörbéje (Q-H diagramja) látható a fenti ábrán.

9.2.1.2. Motoros szelep

Mérete: NA 25 , átfolyása Kv 6. ($6 \text{ m}^3/\text{h}$).

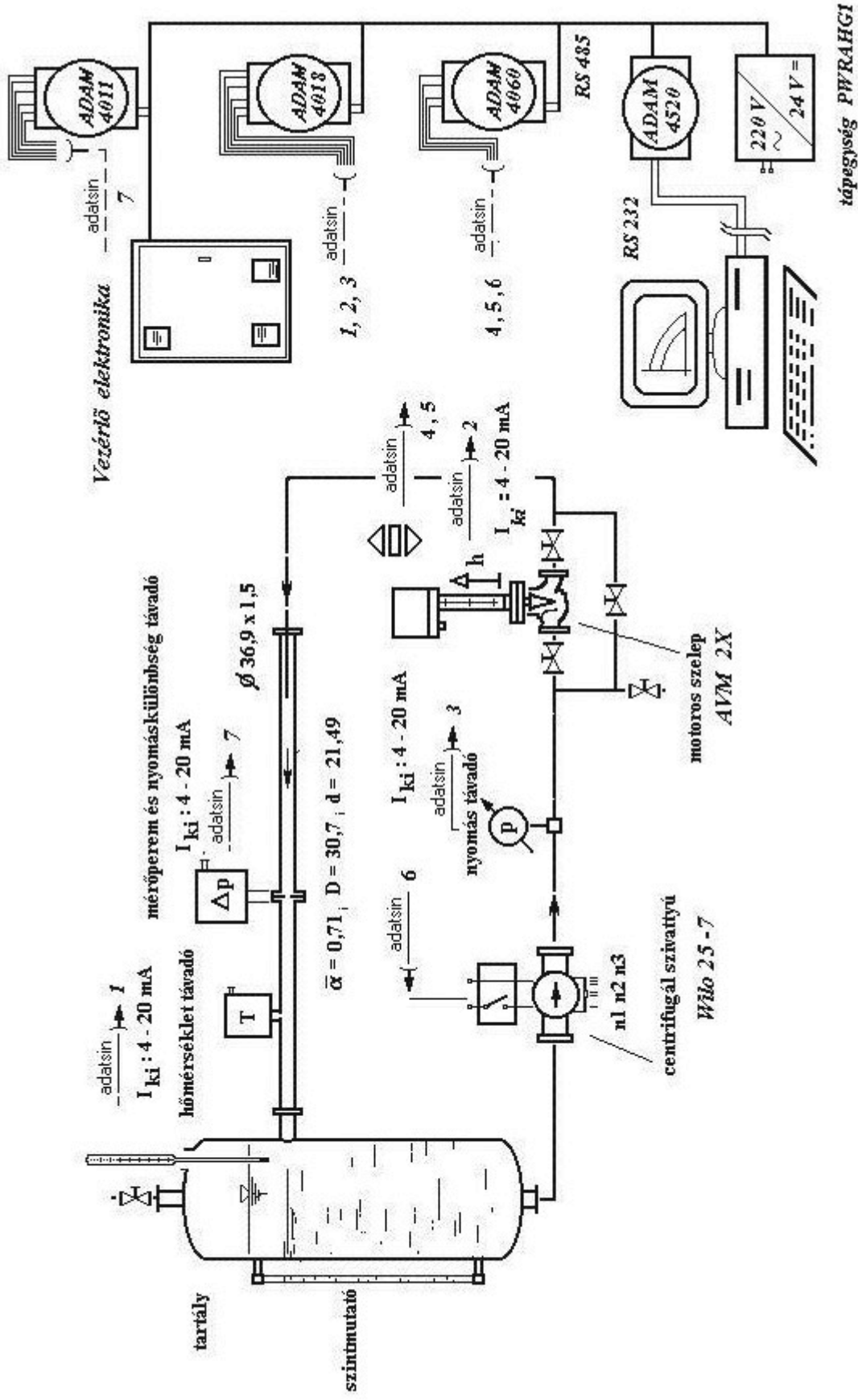
A szelep maximális *nyitása* 25 mm. A teljes nyitáshoz tartozó idő kb. 2,5 perc.

A szelepemelkedést a beépített helyzettávadó érzékeli, kimenőjele az ADAM adatgyűjtőhöz csatlakoztatott.



9.2.1.3. Szivattyú vizsgáló mérőhely kapcsolási rajza

Szivattyú vizsgáló mérőhely kapcsolási rajza.



60. ábra

9.2.1.4. Mérőperem számítása

Az átfolyt térfogatáram a következő összefüggéssel számolható:

$$q_v = \alpha \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_{mp}}{\rho_k}} \quad \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \quad \text{ahol,}$$

d: a mérőperem furatátmérője, $d = 21,49 \cdot 10^{-3}$ m;

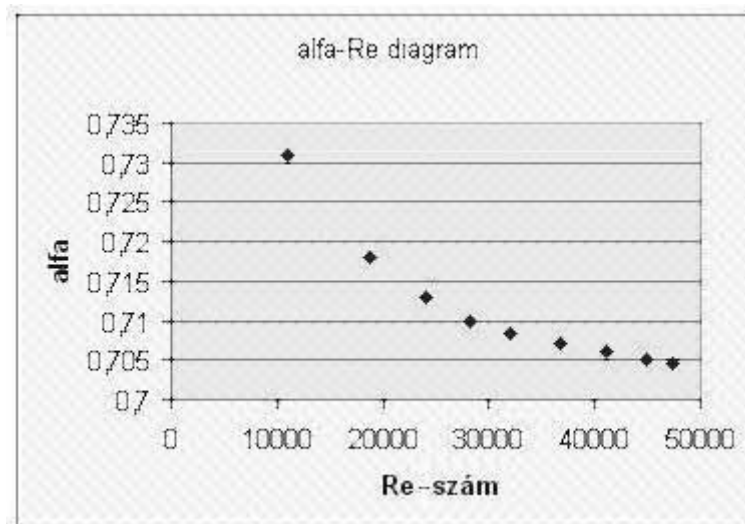
ρ_k : a közeg (víz) sűrűsége [kg/m^3],

Δp_{mp} : a mérőperem nyomáskülönbsége [Pa],

α : az átfolyási szám.

Összetartozó átfolyási és a Reynolds-szám értékek.

Átfolyási szám α	Reynolds-szám Re
0,704	47 327
0,705	44 932
0,706	41 073
0,707	36 803
0,709	31 953
0,710	28 250
0,713	23 963
0,718	18 683
0,731	10 988



Az átfolyási szám diagramban

(Erre akkor lehet szükség, ha a mérőperem nyomáskülönbsége alapján a mérőperem kalibrációs diagramját akarjuk felvenni és a térfogatáramokat a pontos átfolyási számok alapján akarjuk számoltatni.)

9.2.1.5. Manométer

A manométer méréstartománya 1 bar. A Bourdon-csőves manométer nyúlásmérő bélyegekkel ellátott, amelyek a nyomással lineáris áramgenerátoros kimenetet biztosítanak.

A manométerrel mért nyomás a szivattyú nyomóoldali nyomása, lényegében az utána lévő csővezeték-rendszer (motoros szelep, mérőperem, csőszakaszok, ívek, szelepek) összes emelőmagasságát adja:

$$H = \frac{P}{\rho \cdot g}, \text{ ahol}$$

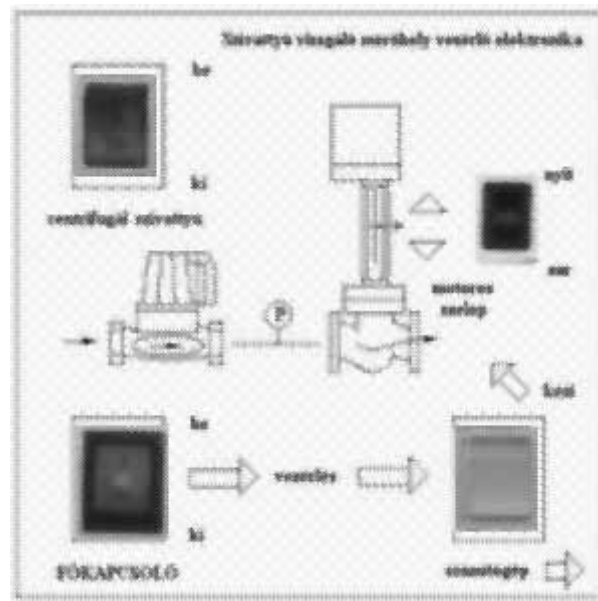
p: a szivattyú nyomóoldali nyomása [Pa],
ρ: a közeg sűrűsége az üzemi hőmérsékleten,
H: a szállítómagasság [m].



9.2.1.6. A vezérlő elektronika

A főkapcsoló bekapcsolása után az adatgyűjtő feszültség alá kerül. Az elektronikus vezérlő jobb alsó sarkában lévő vezérlés váltókapcsoló segítségével kézi/számítógép vezérlés állásba kapcsolhatunk.

- **Kézi vezérlés:** ebben az állásban a centrifugál-szivattyú be/ki kapcsolója segítségével a szivattyú kézi vezérléssel indítható/leállítható. A motoros szelep nyit/zár nyomógombja segítségével a motoros szelep nyitható ill. zárható. Számítógépes vezérlés állásban ezek a kapcsolók hatástalanok.
- **Számítógépes vezérlés:** ebben az állásban a számítógéphez illesztett adatgyűjtőn keresztül történik a jelfogó behúzása, a berendezés működtetése. A számítógépes program veszi át a vezérlést, elvégzi az adatgyűjtést, az adatokat megjeleníti a képernyőn.

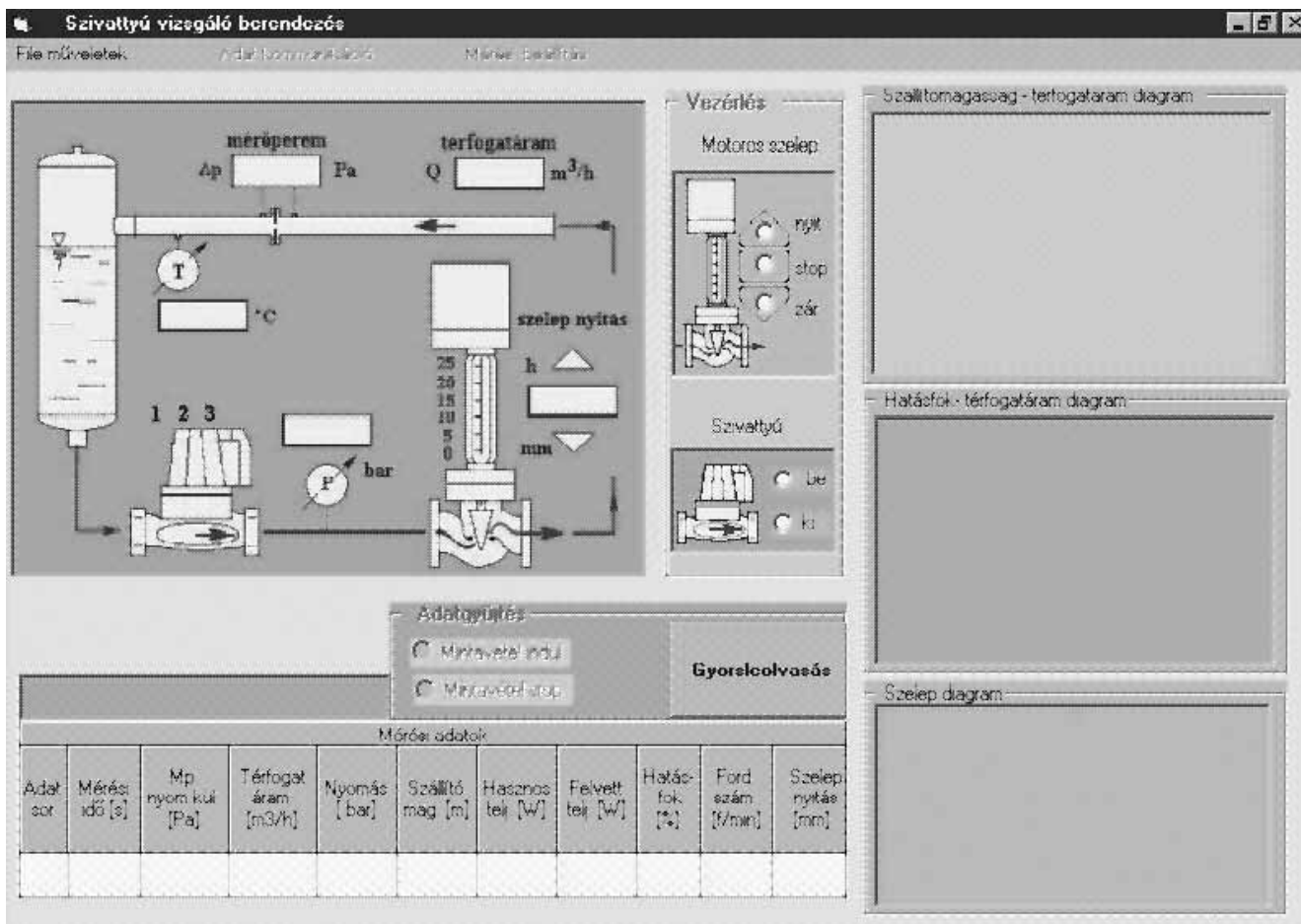


61. ábra

9.2.2. A szivattyúvizsgáló folyamatvezérlő program leírása

9.2.2.1. A program installálása és indítása

Indítsuk el a `d:\sziv_vizsg\install` alkönyvtárban lévő `setup.exe` programot! A program a `c:\Sziv_vizsg\szivattyu.exe` futtatásával indítható. A monitor javasolt képfelbontása 800×600 képpont. A futás eredménye:

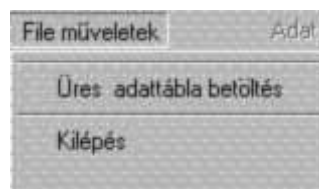


62. ábra

9.2.2.2. File műveletek

A menüsorban a *File műveletek* megnyitása következik:

A menü legördülése után az *Üres adattábla betöltés*-re kattintva a `c:\Sziv_vizsg\Sziv_Adat.mdb` Access adatfájlban megnyitjuk az aktuális dátum és időpontból kialakított adattáblát. A mérési adatainkat ebben az adattáblában találjuk meg.

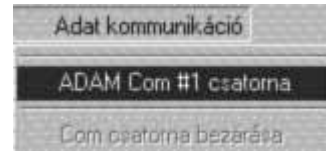


Egy adattábla név :

Táblanév: A-03-18/8-00



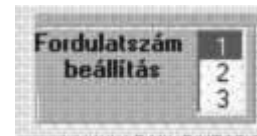
A megnyitott adattábla után az *Adat kommunikáció* menüsorban a *ADAM Com#1 csatorna* megnyitása következik. Hatására a számítógép a *com1* csatornán keresztül kész az adat kommunikációra.



9.2.2.3. Vezérlés

A vezérlőpanelen egér segítségével tudjuk beállítani a szivattyú fordulatszámát, közvetlenül a fordulatszámot jelző számra való kattintásával.

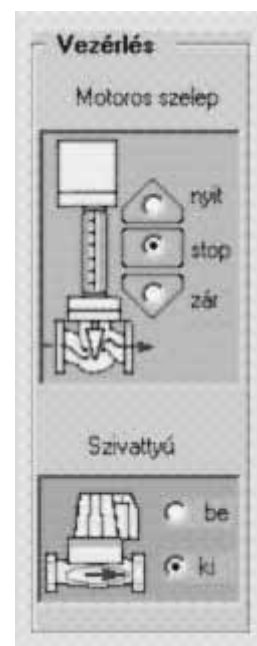
Alapbeállításként a szivattyú 1-es fokozata kerül beállításra. Az üzenetpanelen néhány másodpercig „Várakozni kell” üzenet jelenik meg.



A vezérlőpanel

A motoros szelep nyitása ill. zárása mindaddig tart, amíg le nem kapcsoljuk stop állásba. A motoros szelep kifutás ill. túlzárás ellen beépített mikrokapcsolókkal védett, valamint egy belső erőhatároló védelemmel is ellátott.

Itt a motoros szelep ill. a szivattyú kapcsolható, a nyomógombokra való kattintással.



9.2.2.4. Adatgyűjtés

Az adatgyűjtés történhet folyamatos mintavételezéssel ill. gyorsleolvasással. A folyamatos mintavételezésnél a menüsorban beállítjuk a kívánt mintavételezési időközt:



Az adatgyűjtés indítását a *Mintavétel indul* gombra való kattintással érhetjük el: amennyiben nem állítottunk be mintavételi időt, úgy a mintavételi idő 5 mp. A mintavételi időt mérés közben is állíthatjuk. mérés közben a *Gyorsleolvasás* gomb is hatásos.



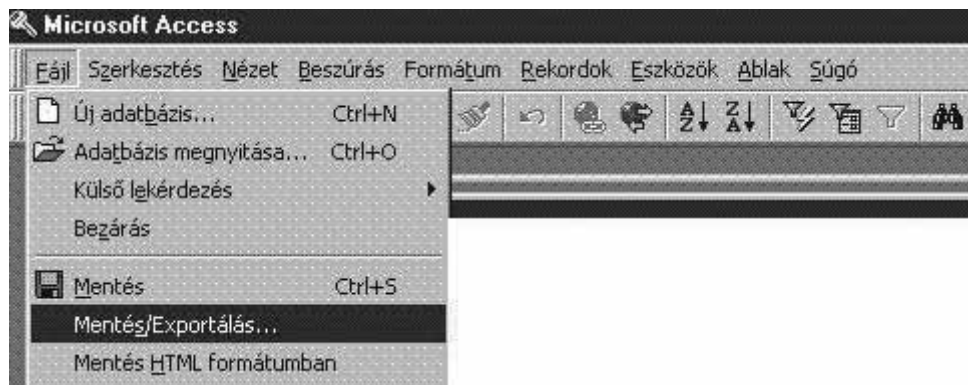
A *Mintavétel stop* gomb megnyomása után újra indítható a mérés, még ugyanabba a adattáblába ír, a mérési idő folyamatosan halad.

A mérési adattábla legutolsó rekordsora látható az *Mérési adatok* táblázatban.

Egy mérési adatsor eredménye látható a következő ábrán:

- az aktuális mérési eredmények az adattáblában és a folyamatábra megfelelő helyein,
- mérési adatok a Q–H diagramban,
- a hatásfokok számított értékei a térfogatáram függvényében,
- a szelepátfolyás diagram.

9.2.2.5. További adatfeldolgozás



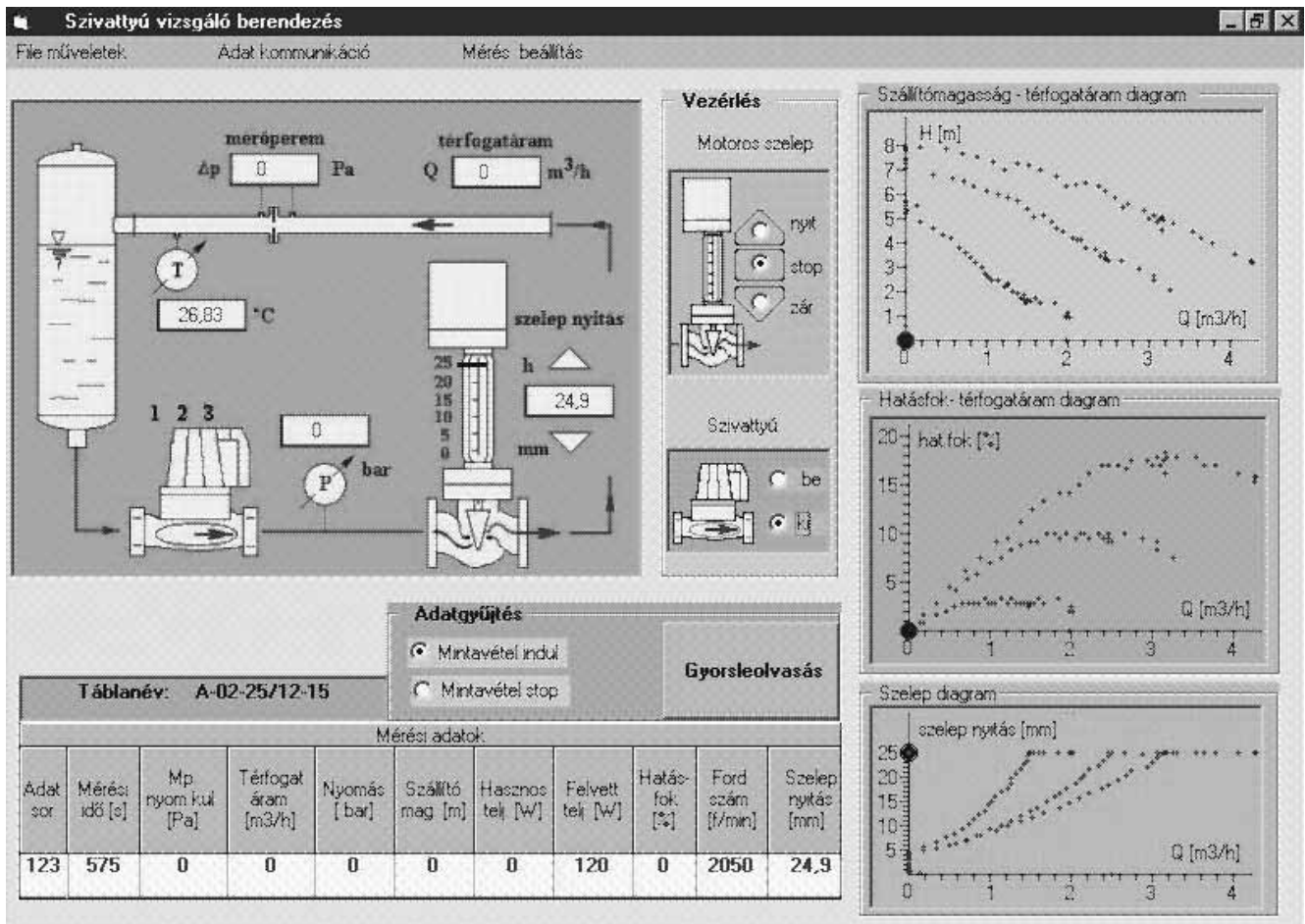
Nyissuk meg Access-ben az aktuális adattáblánkat a *c:\Sziv_vizsg\UresAdat.mdb* fájlban, majd exportáljuk *.xls fájlként. Ezután a mérési adatok tetszés szerint feldolgozhatóak.

A centrifugál szivattyú Q-H- η jelleggörbéinek számítása az ismert összefüggések alapján:

A hasznos teljesítmény:
$$P_h = Q \cdot H \cdot \rho \cdot g \quad [W],$$

$$\text{A hatásfok: } \eta = \frac{P_h}{P_f}$$

Egy mérési adatsorozat eredménye: 63. ábra

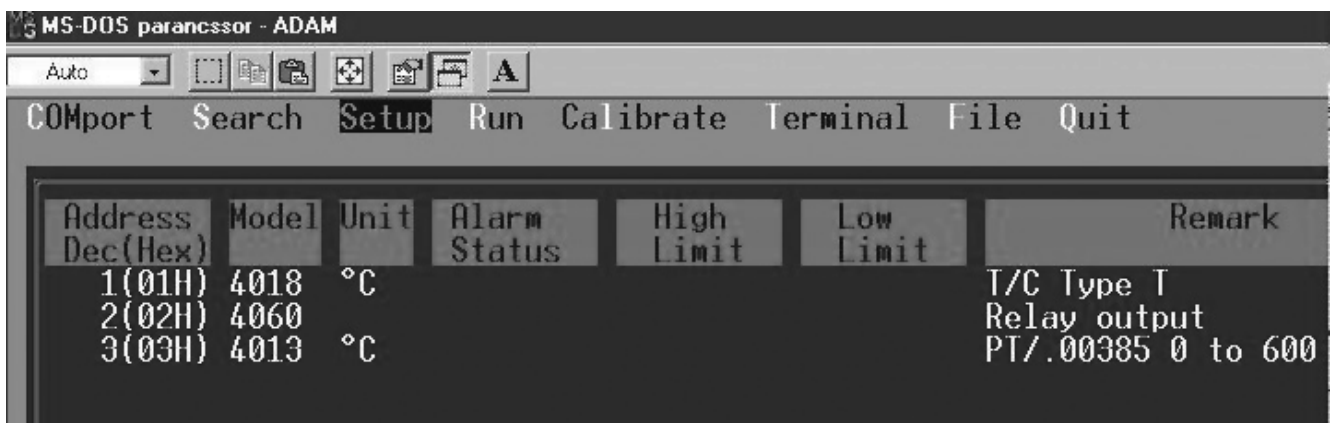


63. ábra

9.3. FLUIDIZÁCIÓS SZÁRÍTÓ BERENDEZÉS FOLYAMATVEZÉRLŐ PROGRAM LEÍRÁSA, KEZELÉSE [3]

9.3.1. ADAM adatgyűjtő

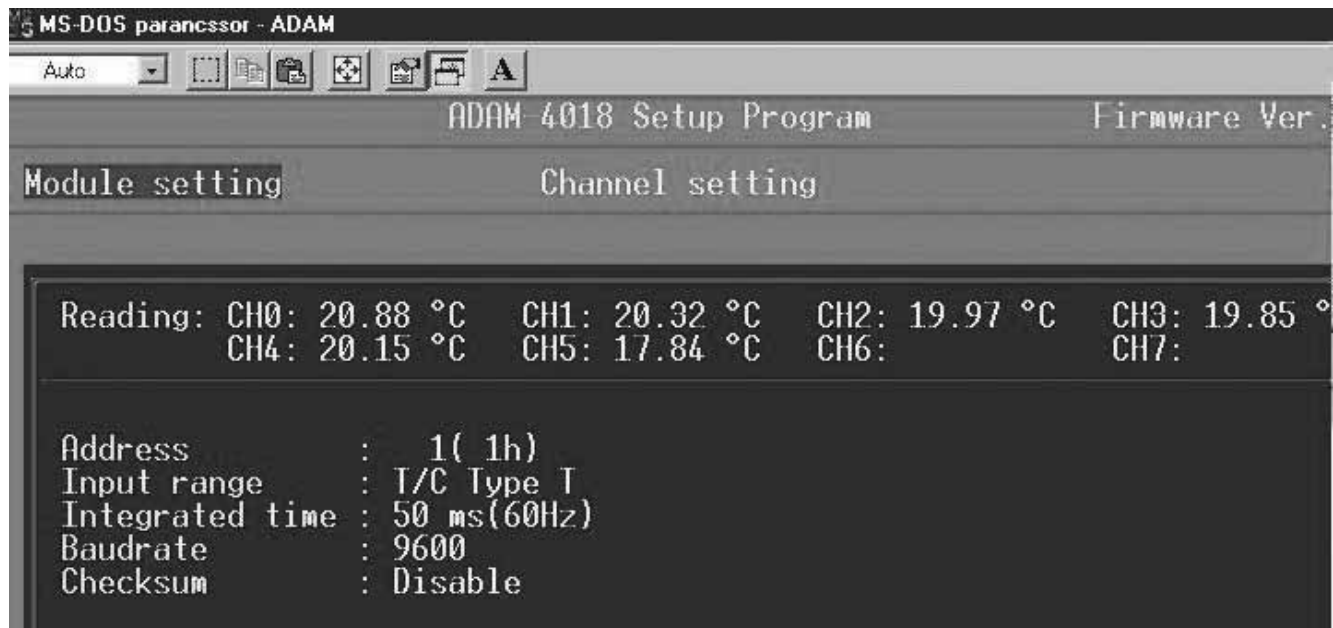
Az ADAM modulok 4018 6 db termoelem bemenettel (Cu-Ko), egy 4060 relé output modul és egy 4013-as típusú Pt100-as bemenettel.



64. ábra

Beállítása

A 4018 modul az 1 címre van beállítva, a csatornák beállítása látható a következő 65. ábrán:



65. ábra

A 4060 relé modul 1,2 csatornája van bekötve, ha mindkettőt be akarjuk kapcsolni, akkor az binárisan 11, vagyis decimálisban xxxx3 értéket kell kiküldeni. A "#020001" port kimenet a 2 címen lévő modult szólítja meg, ez a 4060 relé modul, és bekapcsolja az 1 csatornán lévő kimenetet azaz a csigás szállítót.

Analóg bemenetnél a "#015" kimenetre (vagyis az 1 címen lévő modul 5 csat.) adott válasz ">+17.84", vagyis +17,84°C.

9.3.2. Folyamatvezérlő menürendszere

9.3.2.1. File műveletek

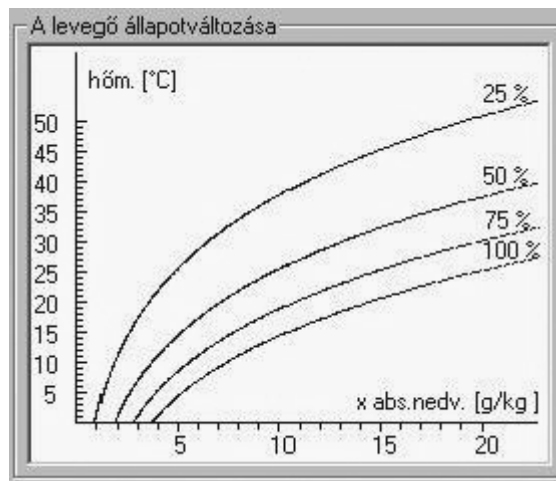
A *File műveletek* megnyitásakor a 66. ábrán látható almenü jelenik meg.



66. ábra

– Üres t-x-h diagram

A levegő állapotváltozása c. képkeretbe egy Molliere-féle t-x-h diagramot rajzol. Ez a diagram alkalmas mérés során a szárítási folyamat nyomon követésére.



67. ábra

– Üres adattábla betöltés

A mérés egy üres Access tábla létrehozásával kezdődik. Az *Access* fájl neve: *uresadat.mdb*, a tábla neve az aktuális dátum, óra, percből létrehozott táblanév. pl (A11-26/11:09). A táblák ilyen elnevezését az indokolja, hogy, egy nap több csoport is mérhet a berendezésen, vagy a berendezés többcélúságából adódóan: a konvekciós szárítást és a fluidizációs jelleggörbét is felvehetjük akár egymás után is, valamint így rendezett táblaneveket kapunk, a hibás elnevezéseket elkerülve.

Ha egy percen belül akarunk létrehozni egy másik adatfájl-táblát, akkor hibüzenetet kaphatunk!

A 68. ábrán a mérési adattábla felépítése, ill. az online mérési eredmények láthatóak.

Táblanév: A11-26/12:07

Mérési adatok													
Sor	T [s]	T0 [°C]	T1 [°C]	T2 [°C]	R.n. [%]	Levegő [kg/h]	Nyomás [Pa]	Tbe [°C]	Tki [°C]	m.víz [kg/h]	x0=x1 g/kg	x2 g/kg	kj
1	4	20,88	44,94	40,03	60	146	234	57,15	52,38	200			
2	140	20,91	44,91	40	60	145	234	57,09	52,44	200			
3	141	20,91	44,88	40	60	145	234	57,09	52,41	200			
4	142	20,91	44,85	39,97	60	145	234	57,09	52,44	200			
5	143	20,91	44,88	40	60	145	234	57,09	52,44	200			
6	144	20,91	44,88	40	60	145	234	57,09	52,41	200			
7	145	20,91	44,91	40	60	145	234	57,12	52,41	200			
*													

68. ábra

A mérési adatok sorszama a *Sor* mezőben automatikusan növekszik. A mintavétel kezdetétől eltelt idő látható másodpercben a *T(s)* mezőben, a szárítóba belépő levegő hőmérséklete *T0*, az előmelegített levegő hőmérséklete *T1*, a szárítóból kilépő levegő hőmérséklete *T2*. (A *T0*, *T1*, *T2* termoelem bemenetek.)

A relatív nedvességtartalom *R.n.%*, *adatbeviteli adat*. A szárítólevegő tömegárama kerül a *Levegő(kg/h)* mezőbe. Ezt a bemenetet egy precíziós torlóelemes áramlásmérő és távadó 4–20 mA kimenőjele szolgáltatja.

A *Nyomás (Pa)* mezőben a fluidizációs torony nyomásesése csatolt, szintén egy nyúlásmérő bélyeges, $\Delta p = 50$ v.o. mm-es max. érzékenységgű, nyomáskülönbség távadó a bemenet.

A *Tbe*, *Tki* a hőcserélőbe be- és kilépő meleg víz hőmérséklete, érzékelőjük termoelem. A hőcserélőbe belépő meleg víz tömegáramát (térfogatáramát), *m.víz (kg/h)* rotaméterrel mérjük, ez is *adatbeviteli adat*.

Számított értékek, az adattábla következő mezői, 69. ábra.

Táblanév: A11-26/12:07

Mérési adatok												
T1 [°C]	T2 [°C]	R.n. [%]	Levegő [kg/h]	Nyomás [Pa]	Tbe [°C]	Tki [°C]	m.víz [kg/h]	x0=x1 g/kg	x2 g/kg	h0 kJ/kg	h1=h2 kJ/kg	
44,94	40,03	60	146	234	57,15	52,38	200					
44,91	40	60	145	234	57,09	52,44	200					
44,88	40	60	145	234	57,09	52,41	200					
44,85	39,97	60	145	234	57,09	52,44	200					
44,88	40	60	145	234	57,09	52,44	200					
44,88	40	60	145	234	57,09	52,41	200					
44,91	40	60	145	234	57,12	52,41	200					
44,91	40,03	60	145	234	57,18	52,44	200					
44,97	40,03	60	146	234	57,18	52,47	200					
44,97	40,03	60	146	234	57,21	52,41	200					
*												

69. ábra

A *x0 (g/kg)* mező a belépő hideg levegő abszolút nedvességtartalma, a levegő hőmérsékletéből és a relatív nedvességtartalomból számított érték.

Az x_2 (g/kg) a kilépő levegő abszolút nedvességtartalma, a kilépő levegő hőmérsékletéből és a fajlagos hőtartalmából számított érték.

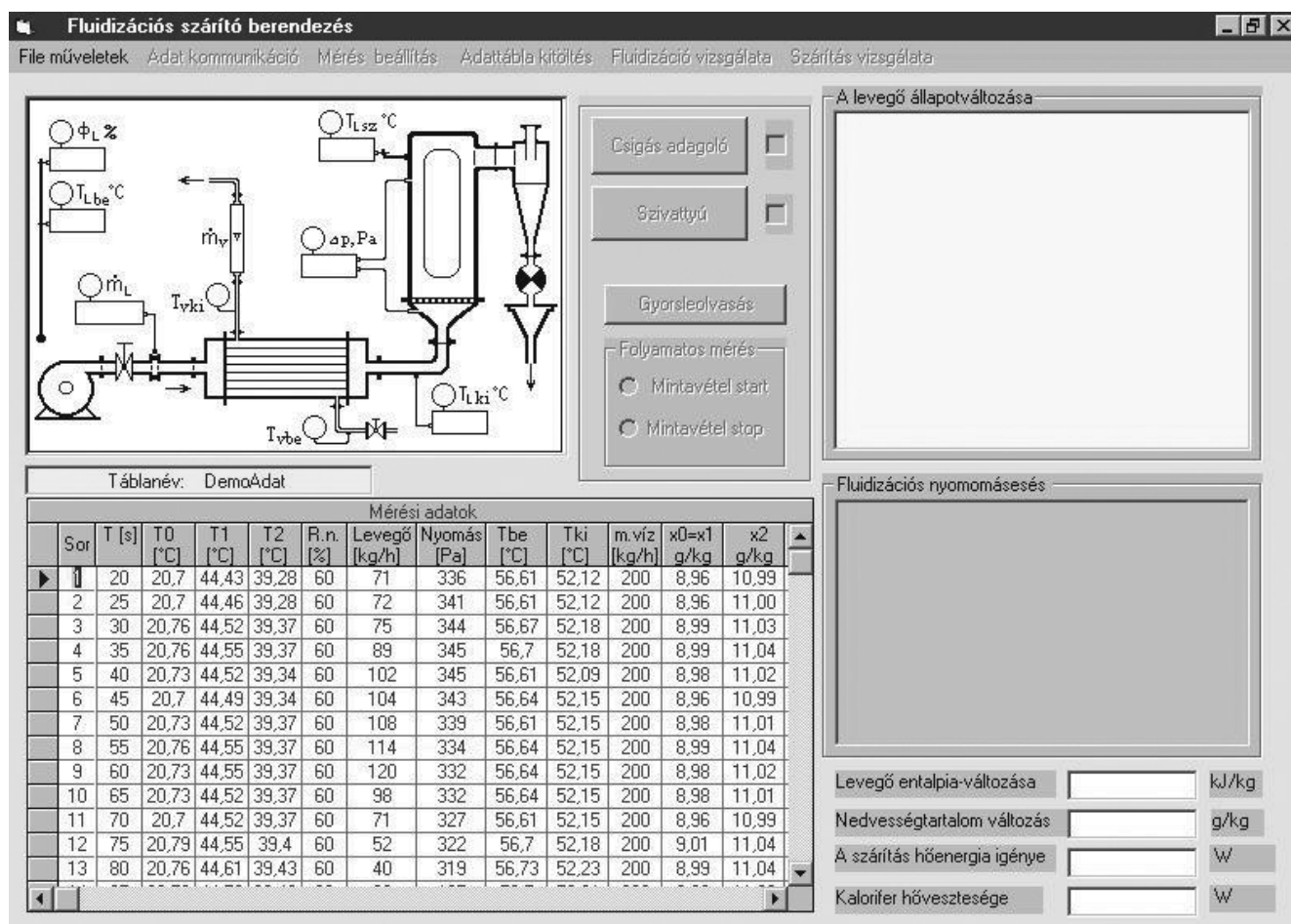
A h_0 (kJ/kg) mező a hideg levegő fajlagos hőtartalma, a hideg levegő hőmérsékletéből és abszolút nedvességtartalmából számított érték.

A $h_1 = h_2$ (kJ/kg) oszlop, ahol a szárítás történik, T1, x_1 -től függő érték.

– Demo adattábla betöltése

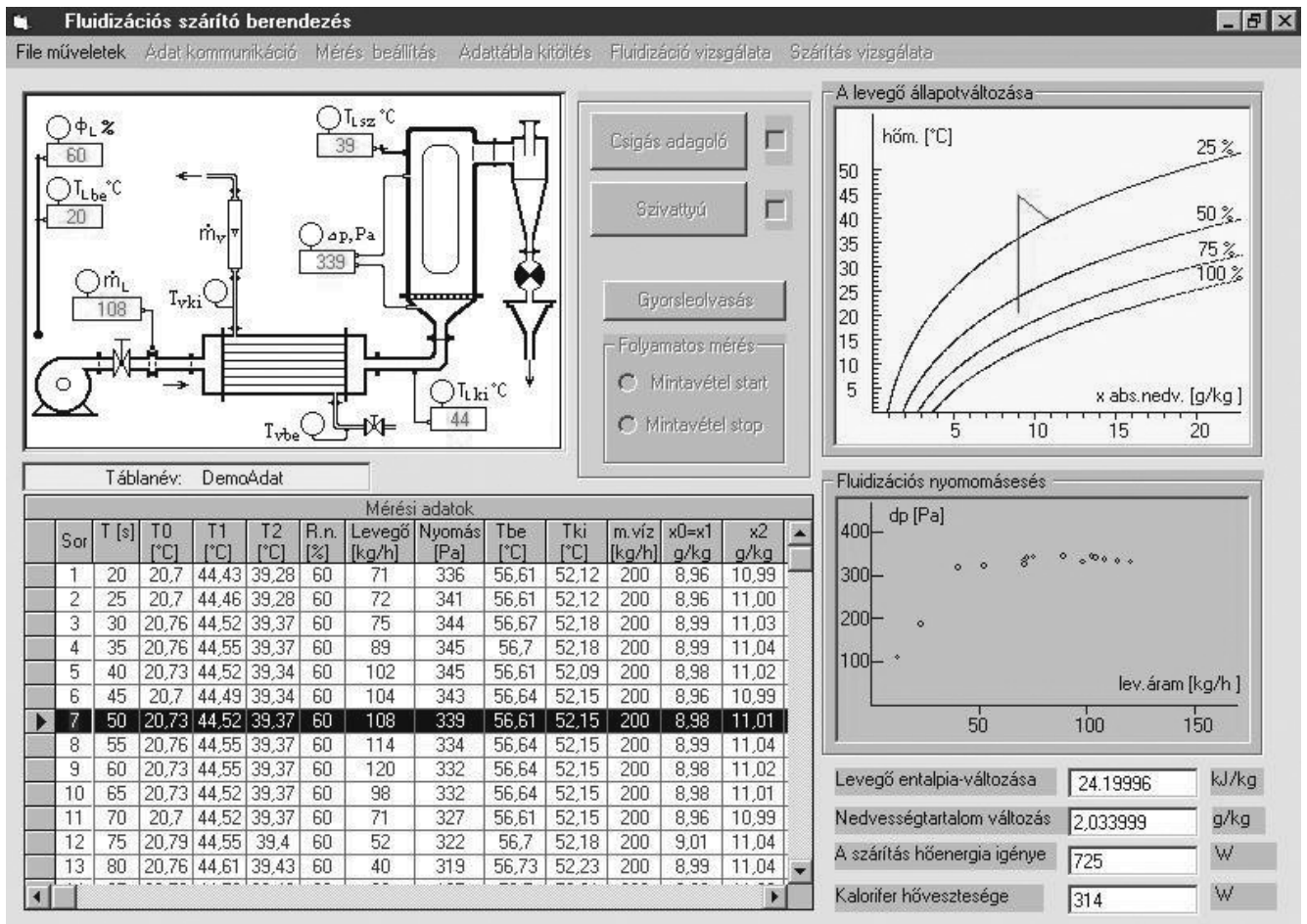
A demo adattábla célja, hogy a berendezésen már felvett, jó mérési adatokat megjelenítve, nyomon követhető a szárítási folyamat. Saját t-x-h diagramon ábrázolhatók a mérési pontok, számolhatók a hőcserélő hőtani adatai, ami szintén feladat a szakképzésünkben a vegyész szakon. Valamint látható a fluidizáció kezdetétől, ahogy lebegni kezd a szárítandó szemcsés anyag a fluidizációs szakasz végéig, amikor a szilárd anyag kiszállítása elkezdődik, végig állandó a nyomásesés. A 70. ábrán a demo adatbázis látható megnyitás után, a 71. ábrán a rekordsor kiértékelése látható a folyamatábrán, a konvekciós szárítási folyamat, valamint a fluidizációs diagram.

A demo adatbázis nem módosítható.



70. ábra

Az adott rekordsorra való kattintással az adatok megjeleníthetők a folyamatábrán ill. a diagramokon.



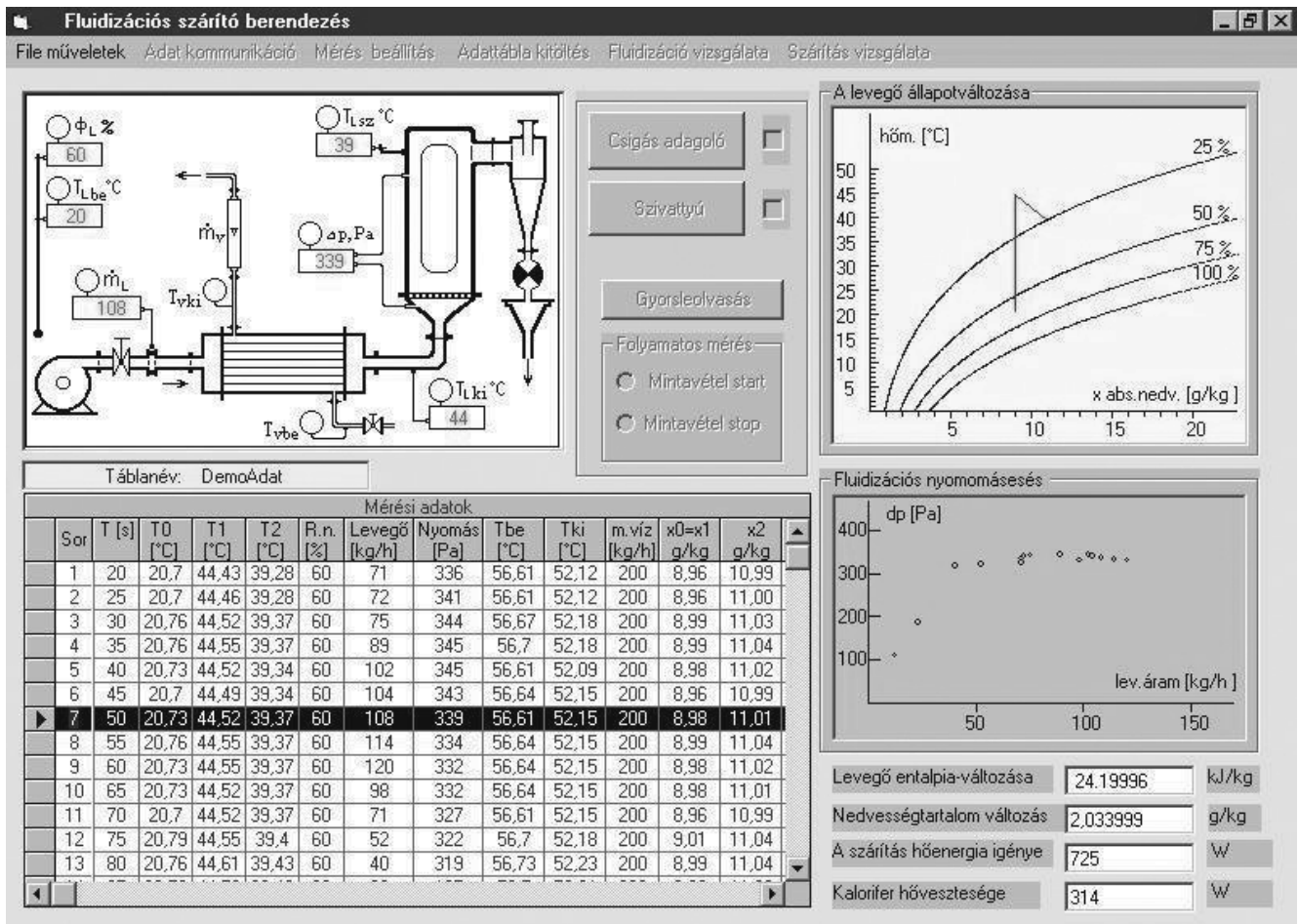
71. ábra

– **Adatlap nyomtatás**

Ez a menüpont egy a háttérben szerkesztett riportfájlt nyomtat. A riportfájl az adatbázishoz csatolt, az *uresadat.mdb* fájl *eredmeny* táblájához. Az eredmény táblában már a megfelelően átlagolt mérési rekordsorok eredményei vannak. A berendezés rajzán a megfelelő helyeken vannak elhelyezve a mért fizikai jellemzők aktuális értékei. A riportfájl neve: *riport.rpt*.

Csak akkor aktivizáljuk, ha az adattábla kitöltésre került (Adattábla kitöltés).

A nyomtatott fájl formátuma a 72. ábrán látható, a mérési adatsor 73. ábrán.



72. ábra

A mérési adatbázis amiből az *eredmény* tábla és a riport fájl készült:

SO	ID	TN	T1	T2	FI	M	DP	TV	TV	M	X1	X2	H0	H1
12	60	20,	44,	39,	60	73	199	56,	52,	200	9,1	11,	44,	68,

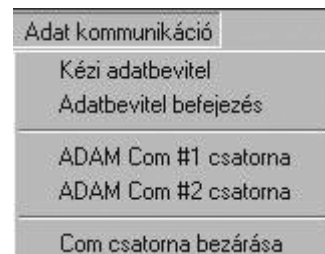
73. ábra

– **Kilépés**

A programból való kilépés almenü billentyűje. Az *UresAdat.mdb* adatfájlban a *TablaNev* aktuális értékének megfelelő adattáblában a mérési adatok mentésre kerültek, az *eredmények* táblában az átlagolt mérési adatokkal együtt. Az *eredmény tábla* a következő mérés alkalmával felülíródik.

Adat kommunikáció menü

Az adat kommunikáció menü felépítése a 74. ábrán látható.



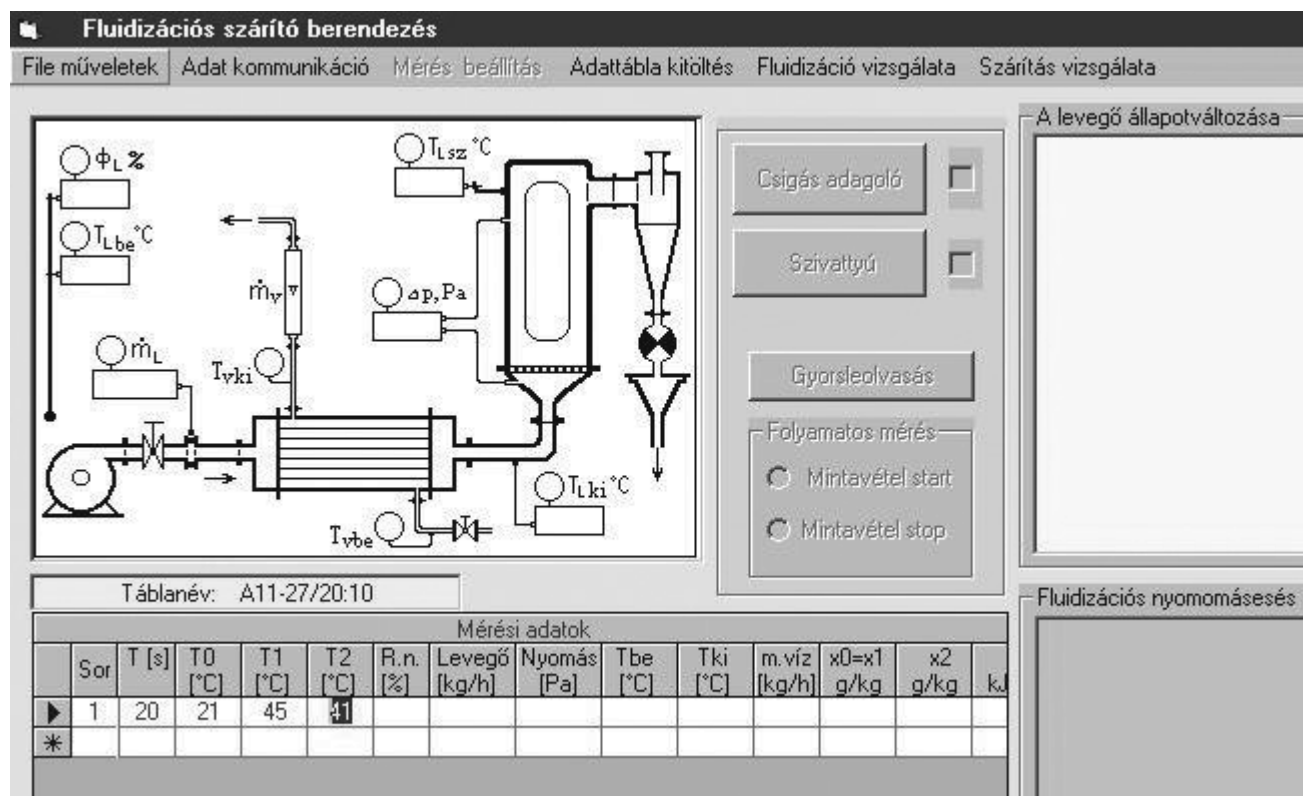
74. ábra

– **Kézi adatbevitel**

Az adattábla celláit feloldja, módosíthatóvá teszi. Lehetővé teszi tetszőleges fizikai paraméterek beírását, és a szárítási folyamat bemutatását, hatásainak vizsgálatát. A mérés megszakításával akár egy rekordsor is beírható.

(A 0 értékű bemeneti adat helyett az adattáblázatba *speciális érték* = 0.13 kerül beírásra, ha ilyen előfordulna akkor értékét célszerű javítani.)

A rekordsorok mezőbe irt adatot *ENTER* billentyűvel aktivizálni, adatbeírás: 75. ábra.



75. ábra

– **Adatbevitel befejezés**

Lezárja az adattáblát, billentyűről nem lehet az adatbázist módosítani.

– **ADAM Com#1 csatorna**

Az adat kommunikációs csatorna beállítása. Ezt a portot kell megnyitni, ha az ADAM adatgyűjtő 4520 RS 232 konvertere a Com#1 portra csatlakoztatott.

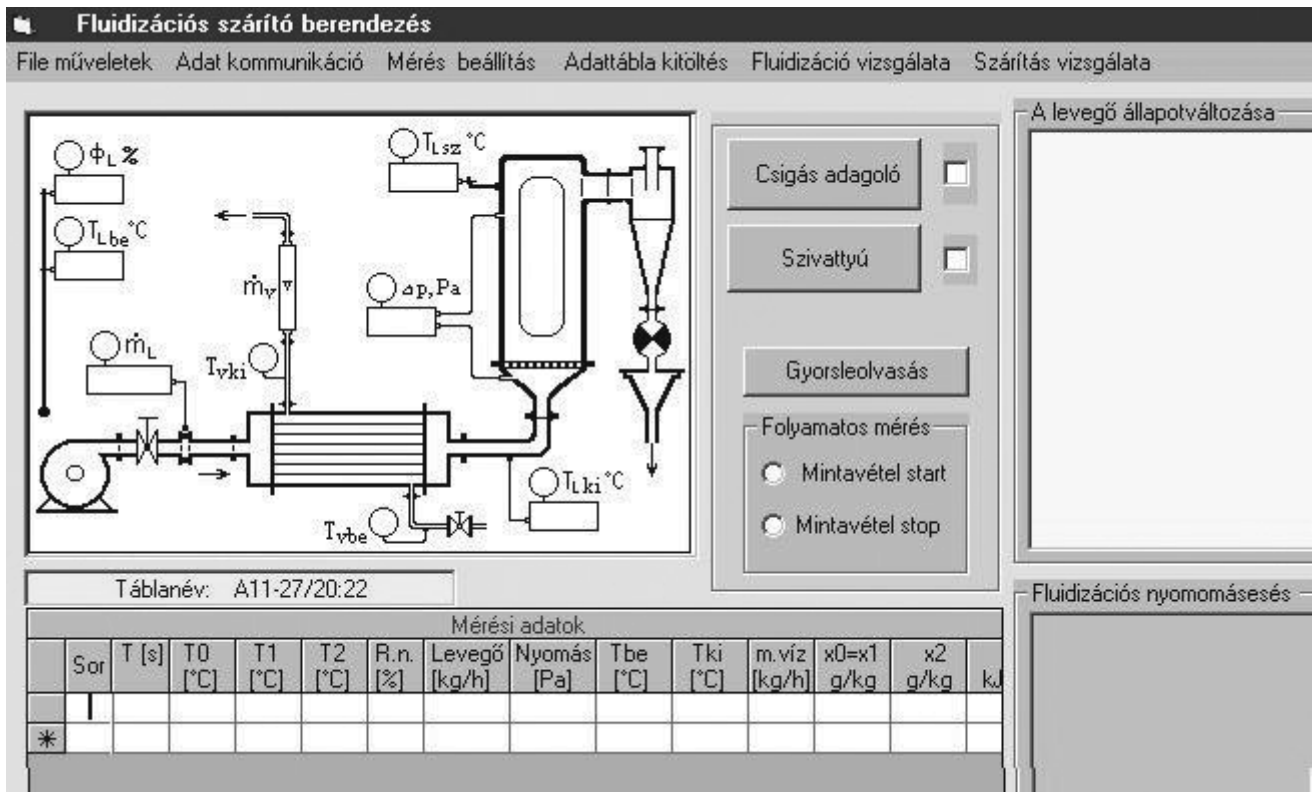
– **ADAM Com#2 csatorna**

Az adat kommunikációs csatorna beállítása. Ezt a portot kell megnyitni, ha az ADAM adatgyűjtő 4520 RS 232 konvertere a Com#2 portra csatlakoztatott.

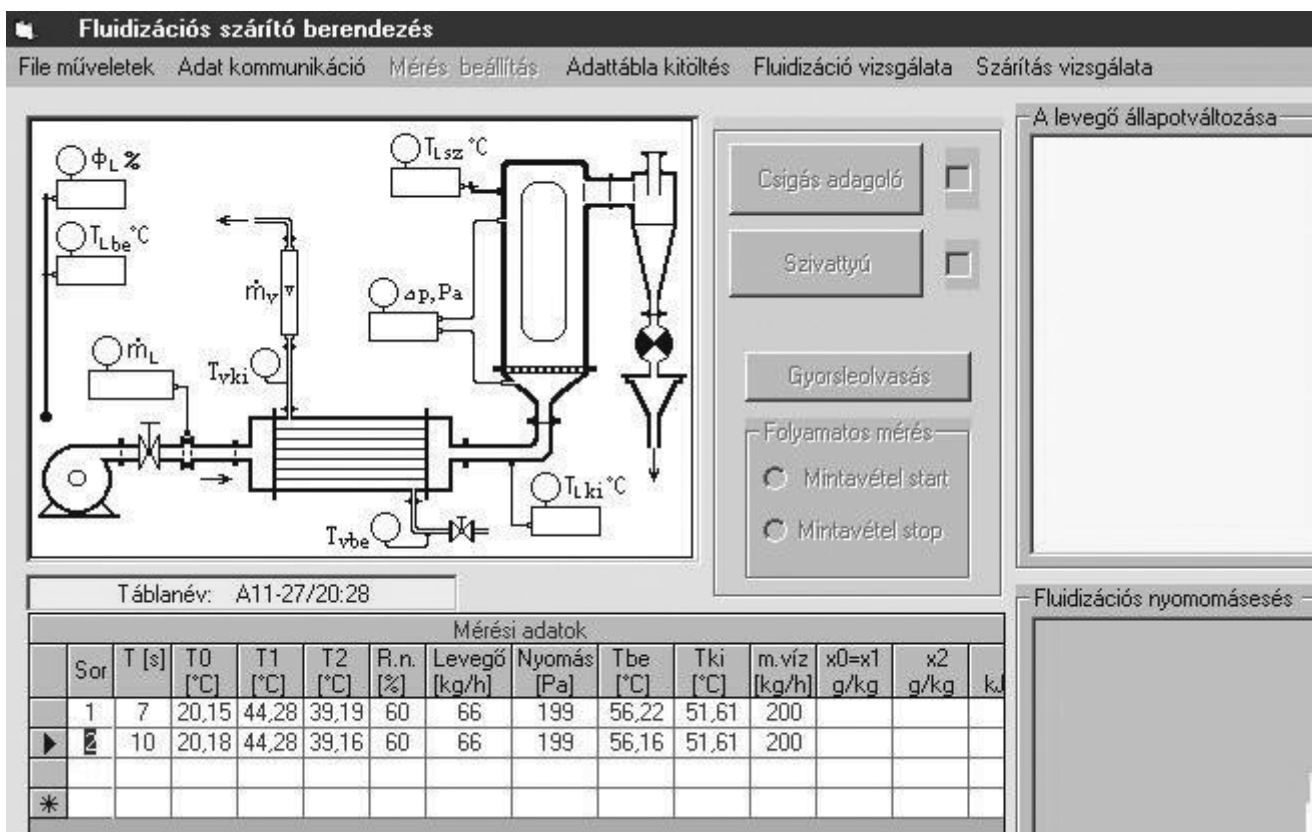
A kommunikációs port megnyitásával lehetőség nyílik a mérés adatgyűjtési idejének beállítására, az adatok gyorsleolvasására és vezérlési funkciók: szivattyú és a csigas adagoló indítására, leállítására.

– **Com csatorna bezárása**

Az adat kommunikációs port bezárása, adatgyűjtési funkciók, vezérlési funkciók letiltva. A 21. ábrán látható menüelemek választhatók. A hiányzó mezők kitöltése, a folyamatok vizsgálata, ábrázolásuk.



76. ábra



77. ábra

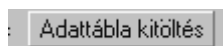
9.3.2.2. Mérés beállítása

A mérés mintavételi időközzeit lehet beállítani, amely egyben az automatikus mintavételi idő is. Az adatgyűjtés indítása később az adatgyűjtés vezérlőtábla ismertetésénél kerül tárgyalásra.



78. ábra

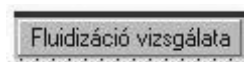
9.3.2.3. Adattábla kitöltése



Az adatgyűjtés során az adatok automatikusan a megfelelő rekordsorokba ill. mezőkbe kerülnek. Az adattáblázatba kerülnek számított értékek is. Az *Adattábla kitöltés* gombra kattintva kitölti az összes rekordsor hiányzó mezőit.

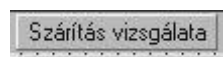
A rekordsor mutató mezőre kattintva az egérrel nemcsak kitölti a rekordsort, hanem ábrázolja is a mérési pontokat a diagramokon.

9.3.2.4. Fluidizáció vizsgálata



A fluidizációs görbe összetartozó pontjait rajzolja meg, először az alapdiagramot, majd az aktuális pontokat.

9.3.2.5. Szárítás vizsgálata



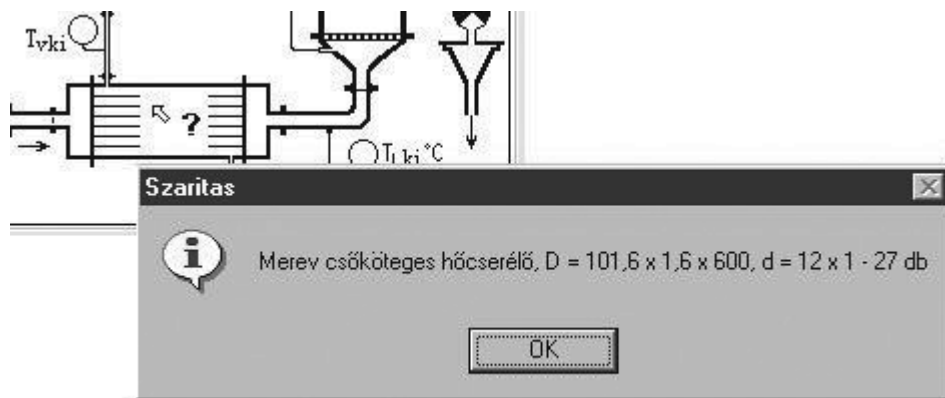
A szárítás alapdiagramját, a nedves levegő t-x-h diagramja után ábrázolja az aktuális rekordsor adatait. Az egérrel a rekordsormutató mezőre kattintva ábrázolja a mérési pontokat.

9.3.2.6. A folyamatábra

A folyamatábra a berendezés vázlatos rajzát tartalmazza.

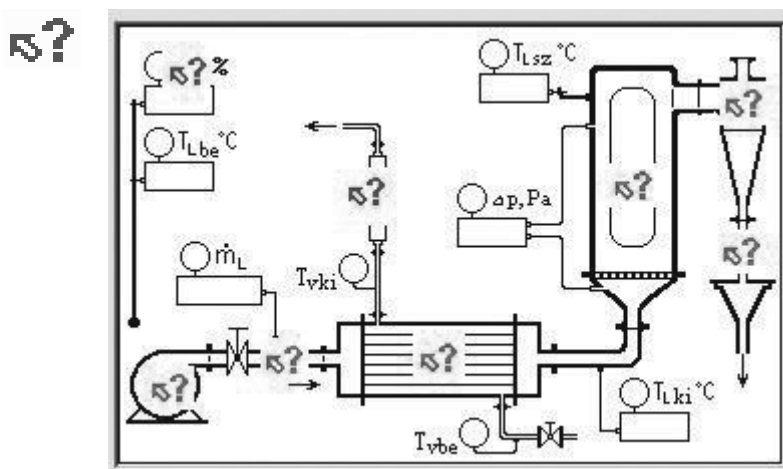
Funkciói

- *Információközlés*: az egérrel a berendezés objektumai fölé érve az egér kurzor ↗ kiegészül egy kérdőjellel: ↗ ?. Rákattintva az objektumra az információ boxban műszaki adatokat tudhatunk meg (79. ábra).



79. ábra

Ilyen információk vannak az alábbi helyeken (80. ábra):



80. ábra

– *Adatbevitel:* a rotaméter, valamint a relatív nedvességtartalom értékét adhatjuk meg.

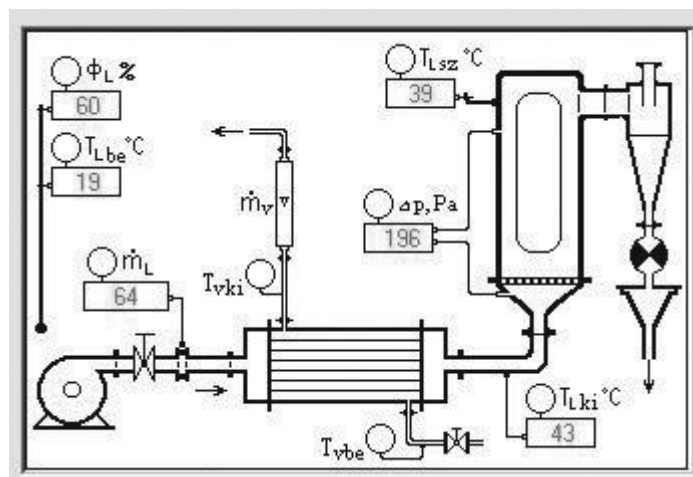
Jelölése:



81. ábra

A rotaméter alapértéke 200 kg/h, a relatív nedvességtartalom 60%. Amennyiben az értékek megfelelőek nem szükséges beállítani azokat.

– *A paraméterek kijelzése:* az aktuális rekordsor értékeit a megfelelő cellákban kijelzi, frissíti (82. ábra).



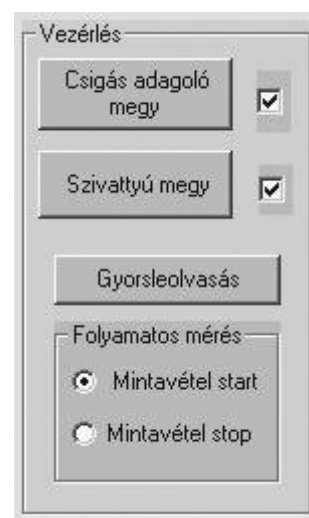
82. ábra

9.3.2.7. Vezérlési panel

Ezen a panelen került elhelyezésre két be-
rendezésem – az egyenáramú motorral
hajtott, a nedves anyag beadagolását bizto-
sító csigás adagoló és a keringtető szivattyú
– kapcsoló gombja, valamint az adatgyűjtés
kapcsolói:



83. ábra



84. ábra

- A csigás adagoló és a szivattyú bekapcsolt állapotát a következő ábra mutatja: 84 ábra.
- A folyamatos mintavétel is bekapcsolt állapotban van. A mintavételi idő a 9.3.2.3. alatt beállított érték.
- A gyorsleolvasás a folyamatos mintavétel közben is bekapcsolható. Célszerű azért a Mintavétel stop kikapcsolása után használni.

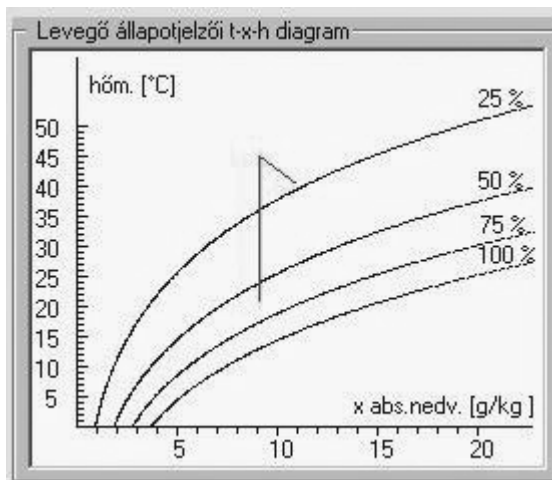
9.3.2.8. Adattábla

A 9.3.2. fejezetben ismertetésre került az Access adatbázis két táblája. A mérési adattábla módosítható a Kézi adatbevitel almenü segítségével. Az adatok beírás után aktivizálódnak. Mivel az adattábla programból nem törölhető, törlése Access programfájlból.

Az eredmény tábla az adattáblában nem jeleníthető meg, az értékei az adatlap nyomtatásakor kerülnek a folyamatábrában a megfelelő helyekre.

Levegő állapotjelzői, a t-x-h diagram.

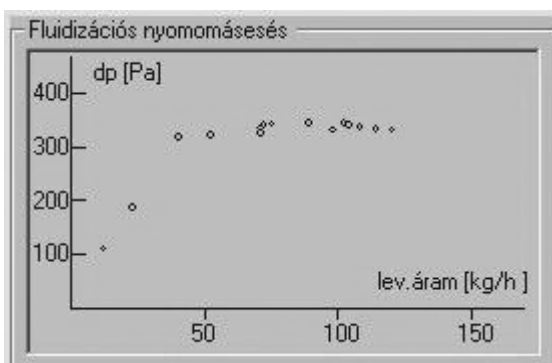
A diagramon mutatható be a konvekciós szárítási folyamat. Az előmelegítési szakasz t_0 -ról t_1 -re $x_0 = x_1$, majd $h_1 = h_2 = \text{áll. vonalon}$ t_2 -ig. Az alapdiagramon a szárítási folyamat piros vonallal szemléltetett.



85. ábra

9.3.2.9. Fluidizációs nyomásesés

Itt csak az összetartozó levegőáramnyomásesés pontok vannak ábrázolva. Meghatározható az átlagos nyomásesés, amely jellemző a halmazra (86. ábra). A nyomásesés átlagos értékét az eredmény táblában található.



86. ábra

Számítási eredmények

A programablak jobb alsó sarkában néhány az adott adatsorra vonatkozó számítási eredmény látható.

Levegő entalpia-változása	<input type="text"/>	kJ/kg
Nedvességtartalom változás	<input type="text"/>	g/kg
A szárítás hőenergia igénye	<input type="text"/>	W
Kalorifer hővesztesége	<input type="text"/>	W

87. ábra

10. MÉRŐ- ÉS IRÁNYÍTÓMŰSZEREK KARBANTARTÁSA

10.1. HŐMÉRSÉKLETÉRZÉKELŐK [4]

10.1.1. Hőelem (Fe-Ko)

10.1.1.1. Műszaki adatok

Hőfeszültség értéke: 5,37 mV/100°C

Színjelölés : piros – pozitív (Fe)

fekete – negatív (Ko [55% Cu – 45% Ni])

Alkalmazható hőmérséklet : –200°C...600°C

Ellenállásértékek: Ø 0,5 mm-es Fe-huzal: 0,612 Ω/m

Ko-huzal: 2,5 Ω/m.

10.1.1.2. Mérési elv

A melegpont , amely mechanikusan és forrasztással rögzített, valamint a hidegpontok között a hőmérsékletkülönbségükkel arányos, a hőelem anyagpárjától függő ún. hőfeszültség v. termofeszültség mérhető (U_T).

10.1.1.3. Hitelesítő mérés

A hőelem szolgáltatta hőfeszültséget közvetlenül feszültségmérővel mérhetjük. Viszonylag kis belső ellenállású leolvasó műszerek vagy regisztrálók használatakor azok a hőelemet terhelik, tehát a műszeren leolvasott feszültség (U_m) a valóságos hőfeszültségnél:

$$U_T = \frac{R_h + R_b}{R_b} \cdot U_m,$$

ahol:

U_m : mérőműszeren leolvasott feszültség,

R_h : hőelem ellenállása,

R_b : mérőműszer belső ellenállása,

U_T : hőfeszültség.

Termoelem					
Higanyos hőm. t_{Hg} (°C)	Hőfeszültség U_T (mV)	$\Delta t = t_{meleg} - t_{hideg}$ (°C)	t_{hideg} (°C)	$t_{hőelem}$ (°C)	rel. hiba (%)
54,3	1,4	26,07	27	53,07	2,3
54,5	1,4	26,07	27	53,07	2,6
55	1,5	27,93	27	54,93	0,1
58	1,6	29,80	27	56,80	2,1
58	1,7	31,66	27	58,66	-1,1
58,9	1,8	33,52	27	60,52	-2,7
62,3	1,9	35,38	27	62,38	-0,1
62,5	1,9	35,38	27	62,38	0,2
63	1,9	35,38	27	62,38	1,0
63,5	2,0	37,24	27	64,24	-1,2

Termoelem					
Higanyos hőm. t_{Hg} (°C)	Hőfeszültség U_T (mV)	$\Delta t = t_{meleg} - t_{hideg}$ (°C)	t_{hideg} (°C)	$t_{hőelem}$ (°C)	rel. hiba (%)
64,3	2,0	37,24	27	64,24	0,1
65	2,0	37,24	27	64,24	1,2
65,5	2,1	39,11	27	66,11	-0,9
66,3	2,1	39,11	27	66,11	0,3

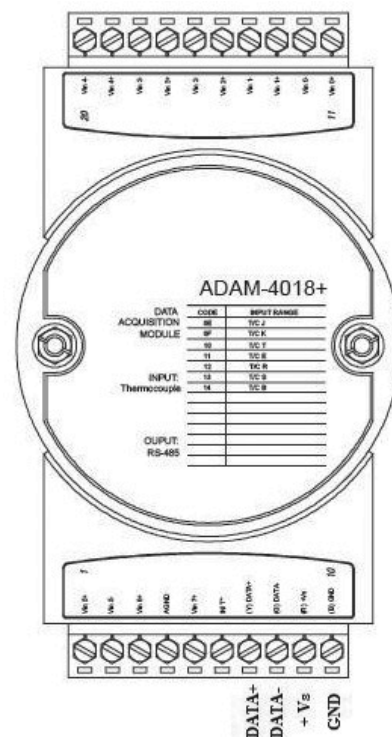
10.1.1.4. Adatgyűjtőbe való bekötése, ellenőrzése [7]

Az adatgyűjtőmodul installálásakor szükség van a port beállításra, a fizikai cím (Address) beállításra, valamint a hőelem típusának, mérés-tartományának beállítására.

A port és a cím lekérdezése az *adam.exe* futtatásával történik. Port és cím változtatása a futó program *setup* menüpont alatt történhet.

Technical specification of ADAM-4018+

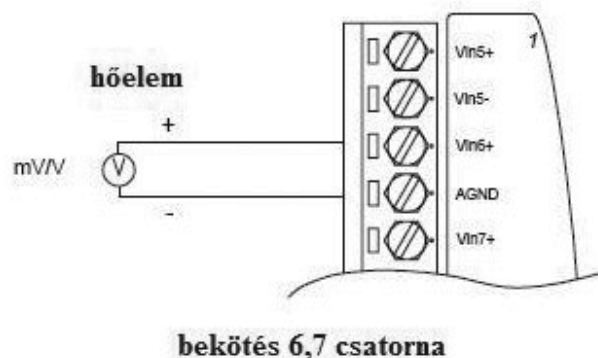
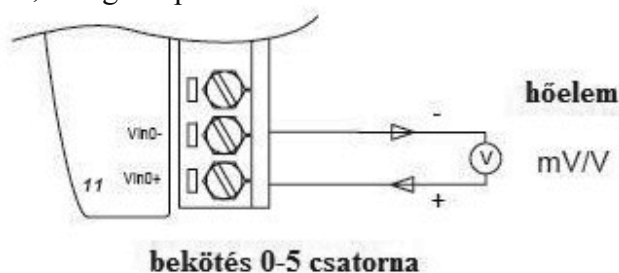
Channel	8
Input Type	Thermocouple, 4~20mA
T/C type and Temperature Range	J 0 ~ 760° C K 0 ~ 1000° C T -100 ~ 400° C E 0 ~ 1000° C R 500 ~ 1750° C S 500 ~ 1750° C B 500 ~ 1800° C
Isolation Voltage	3000 V _{DC}
Fault and overvoltage protection	Withstands over voltage up to +/- 35 V
Sampling Rate	10 sample/sec (total)
Input Impedance	20 M Ω
Accuracy	+/- 0.1% or better
Power Consumption	0.5 W
I/O Connector Type	10-pin plug-terminal



A technikai adatokból látszik, hogy a hőelemünk *T*-típusú, mérés-tartománya $-100 +400$ °C.

A hőelemeket a 0–7 csatornákra lehet bekötni, pl. a 0. csatorna bekötése:

hőelem piros vezetéke a *Vin0+*, a negatív pólus kék *Vin0-*.



10.1.2. Hőellenállás (Pt 100)

10.1.2.1. Műszaki adatok

Működési hőmérséklettartomány: $-30\text{ °C} \dots 550\text{ °C}$.

0 °C -on mért ellenállás érték $100 \pm 0,5\ \Omega$.

$R_{100\text{°C}}/R_{0\text{°C}} = 1,385$.

Mérési elv:

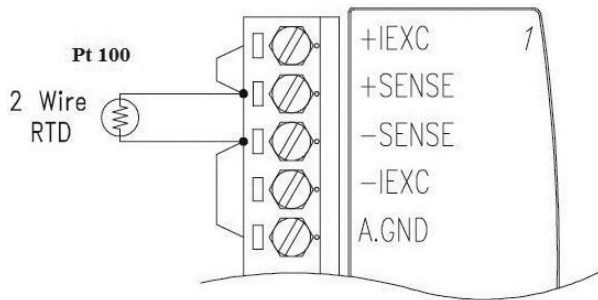
a fémek ellenállása hőmérséklet növelésével nő.

Leggyakrabban alkalmazott ellenálláshőmérők a platina és nikkell hőellenállások.

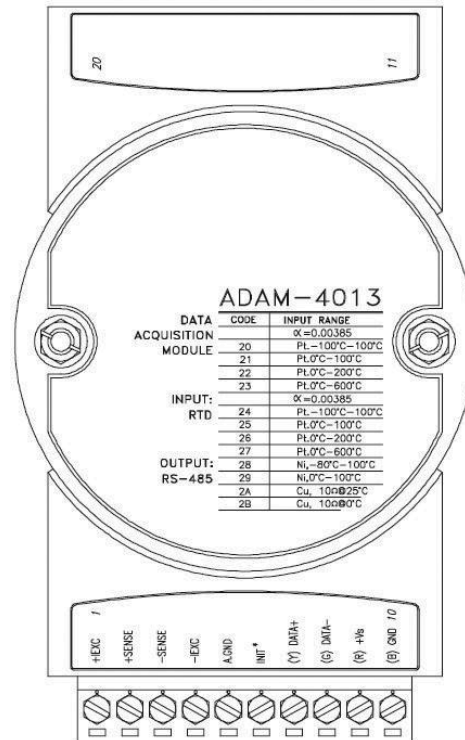
10.1.2.2. Hitelesítése

Pt 100 hőellenállás			
$t_{\text{Hg}}\text{ (°C)}$	$R_{\text{Pt100}}\text{ (Ohm)}$	$t_{\text{Pt100}}\text{ (°C)}$	rel. hiba (%)
28,5	111,5	29,31	-2,9
32	112,6	32,18	-0,6
34	113,1	33,49	1,5
36	114	35,83	0,5
39	115,2	38,96	0,1
41	116	41,05	-0,1
45	117,4	44,70	0,7
45,9	117,9	46,01	-0,2
46	118,0	46,27	-0,6
46,3	118,2	46,79	-1,1
46,5	118,2	46,79	-0,6
47,8	118,8	48,35	-1,2
47,9	118,9	48,62	-1,5
48	119,0	48,88	-1,8
48,5	119,1	49,14	-1,3
48,8	119,2	49,40	-1,2
49	119,4	49,92	-1,9
49,3	119,5	50,18	-1,8
49,8	119,6	50,44	-1,3
50	119,7	50,70	-1,4

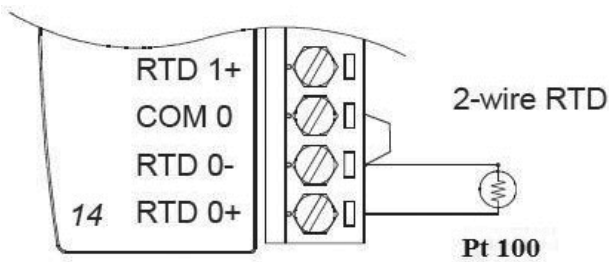
10.1.2.3. Adatgyűjtőbe való bekötése, ellenőrzése



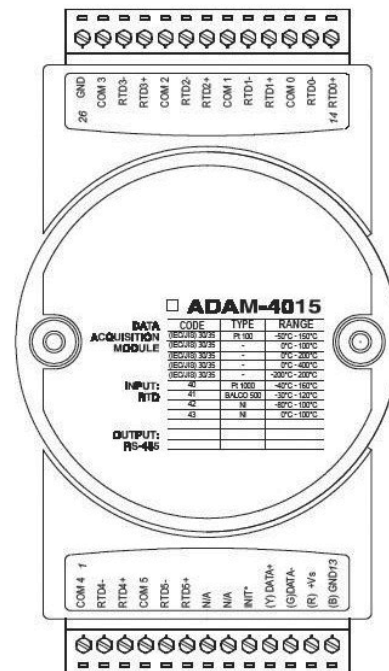
Pt 100 bekötése



ADAM 4013 1 csatornás RTD modul



Pt 100 bekötése



ADAM 4015 6 csatornás RTD modul

10.1.3. Termisztor

10.1.3.1. Műszaki adatok

Típusa: NTC , negatív hőfoktényezőjű (a hőmérséklet növelésével az ellenállása csökken).

Ellenállása 20°C-on: 1 kΩ.

Hőmérsékleti tényezője a fémekének (pl. platina) közel tízszerese.

Mérési tartománya: 0 °C...120 °C.

A termisztorra jellemző átviteli fv.:

$$R_T = R_{\infty} \cdot e^{\frac{B}{T}},$$

ahol

R_T : a termisztor ellenállása Ω-ban,

R_{∞} : a végtelen hőmérsékletre tartozó ellenállás értéke,

B: energiaállandó értéke termisztor esetén 2000–5000 K közötti,

T: a hőmérséklet Kelvin fokban.

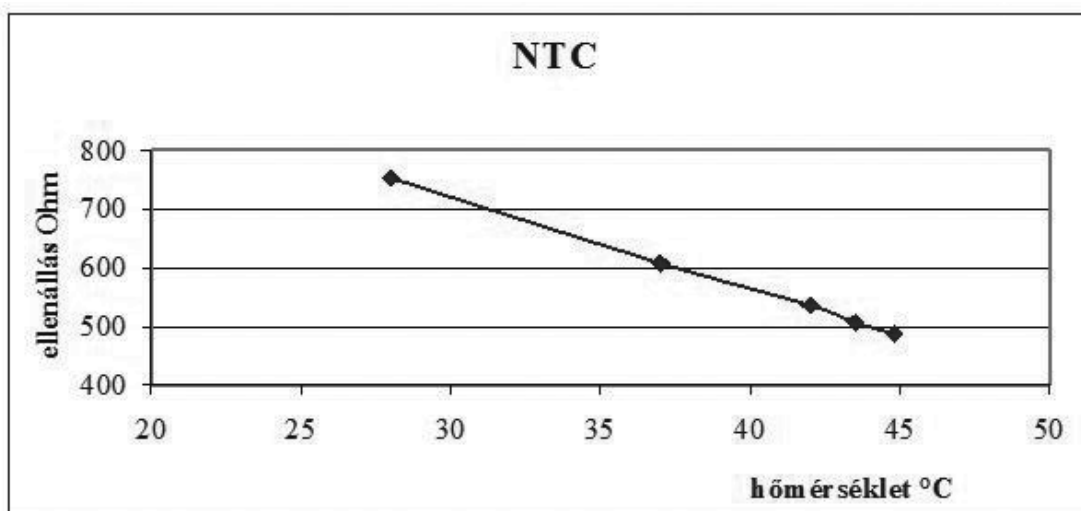
10.1.3.2. Mérések

- Higanys hőmérő és NTC hitelesítése,
- NTC termisztor átviteli függvényében szereplő R_{∞} , B állandók meghatározása,
- tárolós tagok vizsgálata.

10.1.3.3. NTC termisztor hitelesítése

Felvesszük az edénybe helyezett higanys - és a tokozott NTC hőmérő összetartozó pontjait, diagramban ábrázoljuk. Néhány mérési pont feldolgozása:

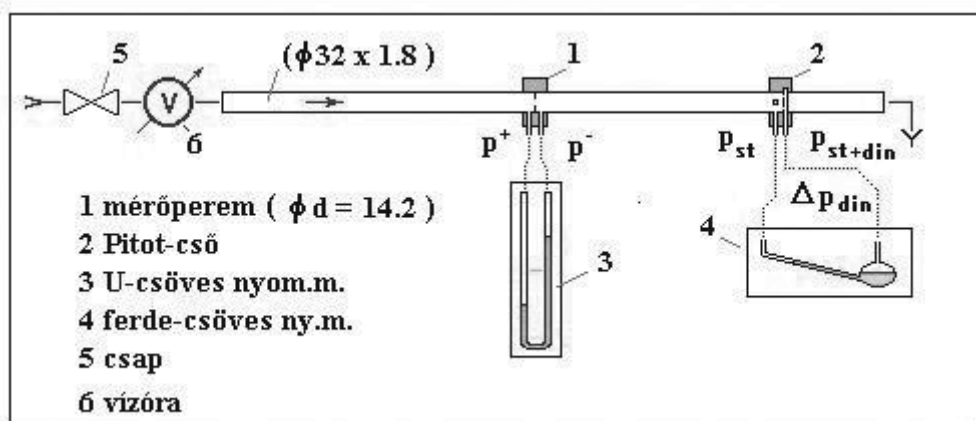
T_{Hg} (°C)	44,8	43,5	42	37	28
R_T NTC (Ohm)	488	507	536	608	753



10.2. ÁRAMLÁSMÉRŐK [4]

10.2.1. Áramlásmérés vízórával, mérőperemmel és Pitot-csővel

A berendezés részei:



- mérőperemes áramlásmérő: $D = 28,4$ mm, $d = 14,2$ mm,
- Pitot-cső vagy Multi Pitot-cső,
- ferdecsöves nyomásmérő (víz) $\Delta p = 3000$ Pa,
- U-csöves nyomásmérő (Hg) $\Delta p = 25000$ Pa,
- vízóra 3m^3 .

10.2.1.1. Pitot-cső

A *Pitot-cső* esetén a megcsapoló furata a szimmetriatengely vonalában van, így a mért dinamikus nyomáskülönbség a maximális sebesség négyzetével arányos:

$$\Delta p_{din} = \frac{\rho}{2} \cdot v_{max}^2$$

Multi Pitot-cső esetén a megcsapoló furatok az átlagsebesség zónájában vannak elhelyezve, így a mért dinamikus nyomáskülönbség az átlagsebesség négyzetével arányos:

$$\Delta p_{din} = \frac{\rho}{2} \cdot v_{\text{átl}}^2$$

10.2.1.2. Mérőperem

Mérőperem az ASME alapján méretezett, az átfolyási szám Reynolds-szám függése az alábbi táblázatban adott $\beta = 0,5$ szűkítési viszonyszám esetén.

A folyadék térfogatárama (\dot{V}_L):

Adatok:

$$D = 28,4 \text{ mm},$$

$$d = 14,2 \text{ mm},$$

$$\alpha = 0,63 \text{ (átlagos)}.$$

$$\dot{V} = \alpha \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_{mp}}{\rho}} \quad \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Átfolyási szám α	Reynolds-szám Re
0,6295	28 267
0,6302	24 509
0,6313	20 047
0,6316	19 028
0,6320	17 949
0,6324	16 801
0,6329	15 567
0,6335	14 224
0,6343	12 739
0,6354	11 051
0,6371	9 047
0,6403	6 429
0,6441	4 573

10.2.1.3. Mérések

- Mérőperem vizsgálata, hitelesítése,
- Pitot-cső hitelesítése mérőperemmel,
- sebességprofil és az áramlási jelleg összefüggésének vizsgálata Pitot-csővel: $v_{\text{átl}}/v_{\text{max}}$ hányadosok meghatározása a Re -szám függvényében.

Feladat

Vegyük fel a vízóra, a mérőperem és a Multi Pitot-cső hitelesítési függvényeit!

Mérés menete

A mérési tartomány felosztásával, állandósult állapotokban egyidejűleg mérjük:

- a vízórán átfolyt térfogategységekhez (ΔV) tartozó időkülönbséget (Δt),
- a mérőperemen eső higanytöltésű, víz közvetítő közegű u-csöves nyomásmérő szintkülönbségét,
- a Multi Pitot-cső nyomáskülönbségét mérő folyadéktöltésű ferdecsves nyomásmérő szintkülönbségét.

Mérési adatok

	Vízóra		Mérőperem	Multi Pitot-cső
	ΔV [lit.]	Δt [s]	Δh_{mp} [mm]	Δh_{p} [mm]
1	2	8,03	20	1,5
2	2	7,37	25	6,8
3	2	6,55	30	9
4	2	6,16	35	10,1
5	2	5,85	40	11,5
6	2	5,48	45	13,1
7	2	5,15	50	13,9
8	2	4,97	55	15
9	2	4,71	60	16,5

10.2.1.4. Kiértékelés

(9. mérési sor adataival)

– Kiszámoljuk a vízőrán átfolyt térfogatáramot az áramlási sebességet:

$$V = \Delta V / \Delta t = 2 \cdot 10^{-3} / 4,71 = 4,246 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s},$$

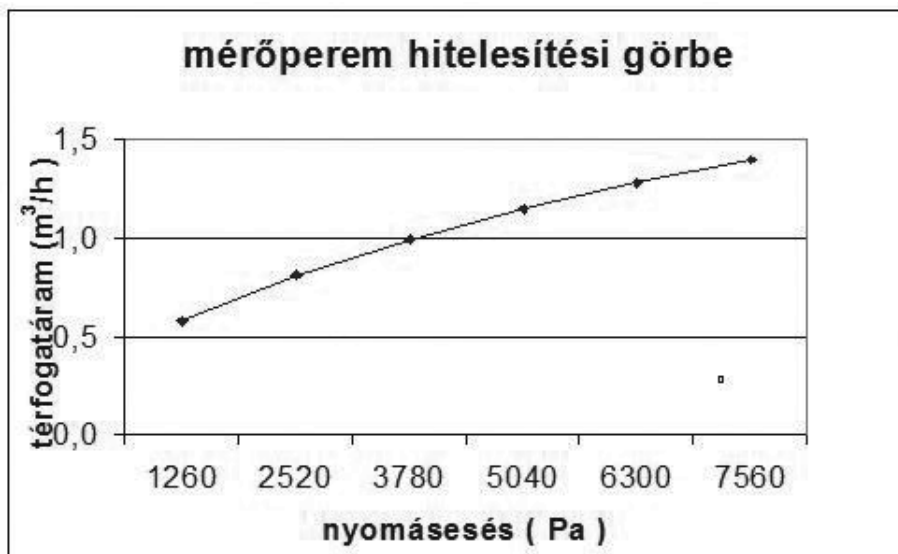
$$\text{illetve } v = V/A = 4,246 \cdot 10^{-4} / (28,4 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \pi = 0,671 \text{ m/s}.$$

– Iterációval meghatározzuk a mérőperem kalibrációs diagramját vagy táblázatát, a mérési tartományban,

- a mérőperem nyomásesése, víz közvetítőközeg esetén:

$$\Delta p_{mp} = \Delta h_{mp} \cdot (\rho_{Hg} - \rho_{viz}) \cdot g = 60 \cdot 10^{-3} \cdot (13\,600 - 1000) \cdot 9,81 = 7416 \text{ Pa};$$

Mérőperem iteráció									
D (mm)	d (mm)	Δh (mm)	Δp (Pa)	Re ₁	α ₁	Q (m ³ /h)	v (m/s)	Re ₂	ΔRe (%)
28,4	14,2	10	1 260	7 200	0,6392	0,578	0,254	7 204	−0,1
28,4	14,2	20	2 520	10 100	0,6362	0,814	0,357	10 141	−0,4
28,4	14,2	30	3 780	12 300	0,6346	0,994	0,436	12 389	−0,7
28,4	14,2	40	5 040	14 200	0,6335	1,146	0,503	14 280	−0,6
28,4	14,2	50	6 300	16 000	0,6328	1,280	0,562	15 948	0,3
28,4	14,2	60	7 560	17 400	0,6322	1,401	0,615	17 454	−0,3



- az iteráció eredménye:

Mp. nyomáskülönbsége	Átfolyási szám	Reynolds-szám	Áramlási sebesség
Δp _{mp} [Pa]	α	Re	v ₂ [m/s]

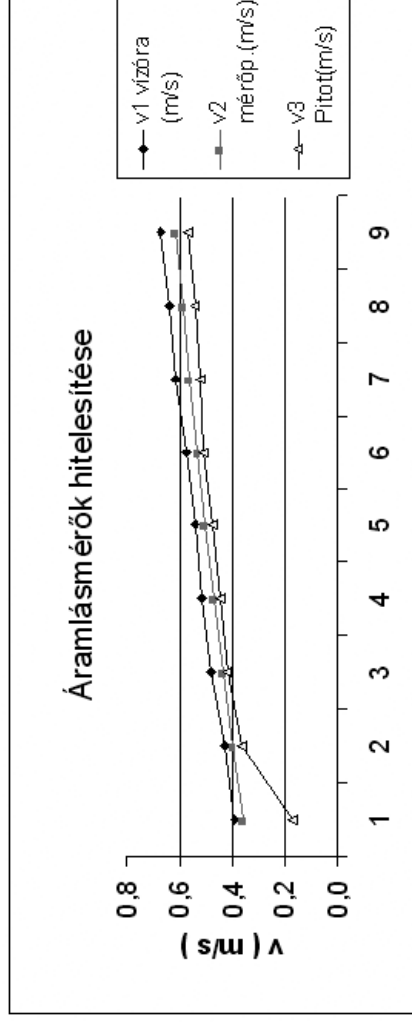
8 000	0,6320	17 949	0,632
7 000	0,6324	16 801	0,591
6 000	0,6329	15 567	0,548
5 000	0,6335	14 224	0,500
4 000	0,6343	12 739	0,448
3 000	0,6354	11 051	0,389
2 000	0,6371	9 047	0,318
1 000	0,6403	6 429	0,226
500	0,6441	4 573	0,161

- kiszámoljuk a mérőperemmel mért sebességeket: $v_2 = V_{mp}/A$.
- meghatározzuk a Pitot- cső dinamikus nyomáskülönbségét:
 $\Delta p_{din} = \Delta h \cdot \rho_{viz} \cdot g = 16,5 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3 \cdot 9,81 = 162 \text{ Pa}$
a Multi Pitot-csővel mért átlagsebesség:

$$v_{\text{át}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_{din}}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 162}{10^3}} = 0,569 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

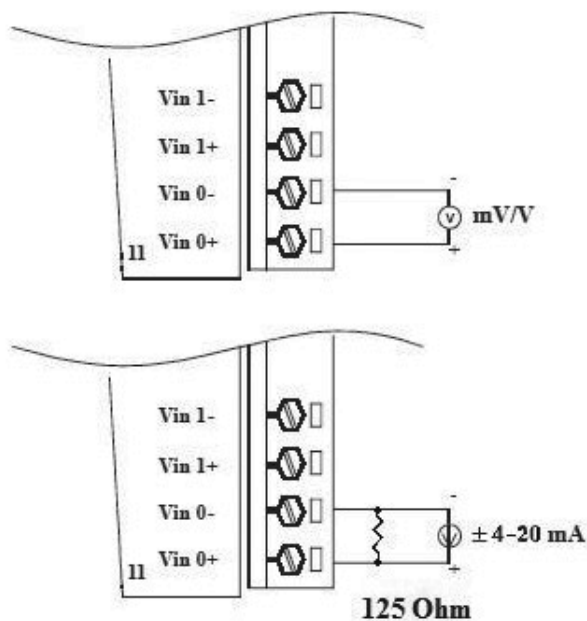
Eredmények táblázatos feldolgozása és az áramlásmérők összehasonlító hitelesítő diagramja

VÍZÓRA					MÉRŐPEREM					PITOT		
ΔV [lit.]	Δt [s]	V_1 [m ³ /s]	v_1 [m/s]	Δh_{mp} [mm]	Δp_{mp} [Pa]	V_{mp} [m ³ /s]	v_2 [m/s]	Re	Δh_p [mm]	Δp_{din} [Pa]	v_3 [m/s]	
1	2	2,491E-04	0,393	20	2 472	2,260E-04	0,357	10 136	1,5	15	0,172	
2	2	2,714E-04	0,429	25	3 090	2,526E-04	0,399	11 333	6,8	67	0,365	
3	2	3,053E-04	0,482	30	3 708	2,763E-04	0,436	12 394	9	88	0,420	
4	2	3,247E-04	0,513	35	4 326	2,980E-04	0,471	13 366	10,1	99	0,445	
5	2	3,419E-04	0,540	40	4 944	3,181E-04	0,502	14 266	11,5	113	0,475	
6	2	3,650E-04	0,576	45	5 562	3,374E-04	0,533	15 132	13,1	129	0,507	
7	2	3,883E-04	0,613	50	6 180	3,562E-04	0,563	15 976	13,9	136	0,522	
8	2	4,024E-04	0,636	55	6 798	3,724E-04	0,588	16 704	15	147	0,542	
9	2	4,246E-04	0,671	60	7 416	3,883E-04	0,613	17 418	16,5	162	0,569	

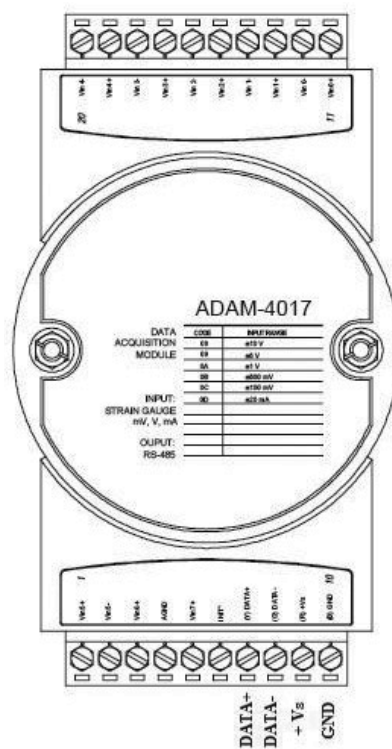


10.2.2. Karbantartási feladat

- A mérőperem és a Pitot-cső kimenetként nyomáskülönbséget szolgáltat. A mérőperem által szolgáltatott nyomáskülönbség általában 1000–6000 Pa, míg Pitot-cső esetében ez az érték a 100–600 Pa. Ellenőrizzük a nyomáskülönbség értékét differenciál, vagy U-csöves nyomásmérő segítségével!
- A csőszakasz és a nyomásközlő-vezeték ellenőrzése, tisztítása.
- Az áramlásmérők tömítettségének ellenőrzése, tömítéscsere, lerakódásoktól való megtisztítása.
- Az áramlástavadók helyes bekötésének ellenőrzése, a szolgáltatott jel értelmezése, ellenőrzése, a távadó kalibrálása pl. a 9.1.1.3. pont alattiak szerint.



Feszültség/árambemenet bekötése



ADAM 4017 8 csatornás AI modul

10.3. VÉGREHAJTÓ BEAVATKOZÓK

10.3.1. Motoros szelep

A motoros szelepek tetszőleges szelepnitást-zárást tudnak megvalósítani. A szelepszárat villanymotoros hajtással vagy pneumatikus membránnal mozgatjuk. A villamos motoros hajtások váltóáramúak ill. egyenáramúak lehetnek. A váltóáramú esetben a zárást-nyitást fáziscserével oldják meg, ezért a bekötésüknél fokozottan ügyelni kell a fázis helyes csatlakoztatására, kiépítésénél fix tápbekötés szükséges.

A szelepek többsége rendelkezik szelepnitást-helyzettávadóval.

Motoros szelep karbantartása:

- a szelepek megbízható működése szempontjából fontos a csúszó-mozgó alkatrészek megfelelő kenése, félévente szelepszár olajozása szükséges;
- érdemes felvenni a szelepnitást-zárás diagramot, összehasonlítani a gyári adatokkal, elvégezni a szükséges mechanikai tisztítási feladatokat.



Az erősáramú bekötéseket, azok ellenőrzését csak szakember végezheti!

10.3.2. Pneumatikus membránszelepek karbantartása

- Pneumatikus tápellátás ellenőrzése, olajozó, légszűrő ellenőrzése;
- szelepnitást-zárás diagram felvétele.



A nagynyomású pneumatikus gyorscsatlakozók, pneumatikus szelepek, elemek szerelését tehermentesített állapotban szabad végezni, tápnyomás rákapcsolása előtt a csatlakozásokat ellenőrizni kell!

FÜGGELÉK

I. melléklet: a víz anyagjellemzői

A víz anyagjellemzői						
hőm. (°C)	nyomás (bar)	sűrűség (kg/m ³)	din. viszk. $\mu \times 10^{-6}$ (Pa·s)	c_p (kJ/kg/°C)	h' (kJ/kg)	Δh_r (kJ/kg)
0	0,007	999,83	1748,73	4,21	0,00	2500,58
10	0,011	999,75	1299,83	4,20	41,94	2477,85
15	0,014	999,21	1136,32	4,19	62,89	2466,21
20	0,019	998,36	1001,87	4,18	83,83	2454,43
25	0,028	997,23	890,31	4,18	104,75	2442,52
30	0,040	995,84	796,91	4,18	125,66	2430,50
35	0,055	994,22	718,06	4,18	146,57	2418,39
40	0,074	992,38	650,95	4,18	167,48	2406,21
45	0,098	990,34	593,40	4,18	188,38	2393,97
50	0,126	988,12	543,70	4,18	209,28	2381,68
55	0,161	985,73	500,51	4,18	230,19	2369,34
60	0,202	983,18	462,74	4,18	251,11	2356,95
65	0,253	980,49	429,53	4,19	272,04	2344,53
70	0,314	977,67	400,17	4,19	292,98	2332,06
75	0,387	974,73	374,09	4,19	313,93	2319,54
80	0,474	971,67	350,81	4,20	334,90	2306,97
85	0,578	968,50	329,96	4,20	355,90	2294,33
90	0,700	965,22	311,20	4,21	376,92	2281,61
95	0,844	961,85	294,26	4,21	397,96	2268,80
100	1,011	958,38	278,90	4,22	419,04	2255,87

II. melléklet: a levegő tulajdonságai

A levegő tulajdonságai				
hőm. (°C)	sűrűség (kg/m ³)	din. viszk. $\mu_{\text{lev}} \times 10^{-6}$ (Pa·s)	$c_{p \text{ lev}}$ (kJ/kg/°C)	hővez.tény. $\lambda \times 10^{-3}$ (W/m/°C)
-40	1,495	15,10	1,006	21,45
-20	1,377	16,17	1,006	23,01
0	1,275	17,21	1,006	24,54
10	1,230	17,72	1,006	25,29
15	1,209	17,97	1,007	25,66
20	1,188	18,21	1,007	26,03
25	1,168	18,46	1,007	26,40
30	1,149	18,70	1,007	26,76
35	1,130	18,94	1,007	27,13
40	1,112	19,18	1,008	27,49
45	1,095	19,42	1,008	27,86
50	1,078	19,66	1,008	28,22
55	1,061	19,89	1,008	28,58
60	1,045	20,13	1,009	28,94
65	1,030	20,36	1,009	29,30
70	1,015	20,59	1,010	29,66
75	1,000	20,82	1,010	30,02
80	0,986	21,04	1,010	30,38
85	0,972	21,27	1,011	30,74
90	0,959	21,49	1,011	31,09
95	0,946	21,71	1,012	31,45
100	0,933	21,93	1,012	31,81

INFORMÁCIÓS LAPOK

1. GYAKORLAT

Folyamatos Dorr-ülepítő berendezés derítési hatásfokának és leválasztható határszemcse-méretének meghatározása méréssel

Név, osztály:.....

Mérés dátuma:

Feladat

Ennek a gyakorlati mérésnek az a célja, hogy különböző zagy betáplálások mellett meghatározzuk a Dorr - ülepítő derítési hatásfokait, valamint a leválasztható határszemcse átmérőket.

INFORMÁCIÓS LAP

A gyakorlat elvégzésére rendelkezésre álló idő: 270 perc.

A beadás határideje:

Mérés menete

A mérést 100 liter 1%-os kalcium-karbonát szuszpenzióval végezzük, amelyet a keverőtartályban kell előkészíteni. A mérés során három-négy alkalommal mintát veszünk a betáplált zagyból, a derítményből és az iszapból. A mintákat vákuumszűrjük, majd szárítjuk és meghatározzuk a koncentrációkat.

A készülék üzembe helyezése és a mérés az alábbiak szerint történjen:

1. Ellenőrizzük a berendezést, azonosítjuk fő részeit, meghatározzuk a szükséges geometriai méreteket (előkészítőtartály fő méretei a térfogatszámításhoz, az ülepítő átmérője).
2. Az előkészítőtartályba adagolva 100 liter friss vizet vezetünk.
3. Bekapcsoljuk a keringtetőszivattyút, az ülepítő felé menő ág zárva tartása mellett keringtetjük a folyadékot.
4. 1 kg krétapor 7–8 liter vízben történő szuszpendáltatásával sűrű szuszpenziót készítünk, majd beöntjük az előkészítő tartályba.
5. A szuszpenziót 15–20 percig kényszercirkulációval keverjük.
6. Beállítjuk az iszapelvezető kaparó szerkezet fordulatszámát, $n = 0,5-0,75$ ford./perc értékre, meggyőződve arról, hogy az iszapot nem keveri fel.
7. A visszavezető ág óvatos fojtásával és a betáplálás nyitásával beállítunk az első betáplálási térfogatáramot.
8. Kissé nyitjuk az iszapelvezető csapot, az iszapkoncentráció lehetőleg 10–20 w% körül legyen.
9. Az ülepítő feltöltése és az egyensúly beállta után, ami kb. 15–20 perc, mintát veszünk (500 cm^3) a betáplálásból, a derített folyadékból, valamint az iszapból.
10. Visszamérjük a keletkezett iszap mennyiségét.
11. A mintákat az előre pontosan lemért szűrőpapíron keresztül vákuumozzuk, teljesen kiszárítjuk, visszamérjük.
12. Mérés közben folyamatosan végezzük a koncentráció-meghatározási műveleteket.
13. Beállítjuk a soron következő betáplálási értéket és az új iszapelvételi sebességet, az egyensúly beállta után mintát veszünk a derített folyadékból.
14. A beállítások és a mintavételezések után az ülepítést addig végezzük, amíg az előkészítő tartály ki nem ürült.
15. Az előkészítő tartályt és az ülepítő berendezést a mérés után kimossuk.
16. Meghatározzuk a minták koncentrációit.
17. Kiszámoljuk a betáplálási értékekhez tartozó derítési hatásfokokat.
18. A derítési hatásfokokat ábrázoljuk a betáplálás függvényében.
19. Számítással igazoljuk a betáplálásokhoz tartozó anyagmérleget, meghatározzuk a derítési teljesítményeket.
20. A gyakorlati mérések adataival és a készülékátmérő ismeretében visszszámolunk leválasztott határszemcse-átmérőre.
21. Jegyzőkönyv készítése, amely tartalmazza a feladat leírását, a berendezés kapcsolási rajzát, a mérési adatokat táblázatos formában, a szükséges számításokat, diagramokat, valamint a mérés összefoglalását.

Számítási összefüggések

A derítési hatások számítási összefüggése: $\eta_D = 1 - \frac{w_D \%}{w_Z \%}$

Az ülepedési sebesség:

$$v_{ii} = \frac{d^2 \cdot (\rho_s - \rho_f) \cdot g}{18 \cdot \mu_f}$$

Jegyzőkönyv készítése:

- a mérés célja;
- a mérés menete;
- folyamatábra a berendezés elemek megnevezésével, a mérés reprodukálhatóságának figyelembevételével;
- mérési és számított adatok táblázatos megjelenítése;
- számítási összefüggések és a mérési adatsor 1–1 értéksorának behelyettesítésével;
- diagramok és azok kiértékelése;
- végső számítások, következtetések;
- munka- és balesetvédelmi szabályok, használt védőfelszerelések.

Értékelés szempontjai

- | | |
|---|------|
| • jegyzőkönyv szakmai tartalma (rajzi kivitel, táblázatok, számítások): | 50%, |
| • mérés eredményessége: | 25%, |
| • munkavégzés precizitása, önállósága: | 25%. |

2. GYAKORLAT

Keretes szűrőprés szűrési teljesítményének meghatározása méréssel

Név, osztály:.....

Mérés dátuma:

Feladat

A gyakorlati feladat az, hogy az állásidő ismeretében, kísérleti szűréssel meghatározzuk az optimális szűrlet mennyiségét, majd a maximális szűrési teljesítményt.

INFORMÁCIÓS LAP

A gyakorlat elvégzésére rendelkezésre álló idő: 270 perc.

A beadás határideje:

Mérés menete

- Megfelelő összetételű szuszpenzió készítése és az állásidő meghatározása:
 - 1 kg krétapor 7–8 liter vízben történő szuszpendáltásával sűrű szuszpenziót készítünk, majd a keverőtartályba adagolva 100 liter vízzel felhígítjuk;
 - 15–20 percig keverjük kényszercirkulációval;
 - közben szétszereljük a keretes szűrőprést, megtisztítva a szűrőszövetet és a kereteket, majd gondosan szereljük össze a berendezést;
 - határozzuk meg az állásidőt!
- A visszavezető ág óvatos fojtásával és a betáplálás nyitásával beállítunk 0,1–0,25 bar előírt, állandó nyomásértéket.
- Mérjük az időegység alatt átfolyt szűrlet mennyiségét.
- A mérést a tartály leürüléskéig végezzük.
- A szűrési adatok ismeretében meghatározzuk az optimális szűrlet mennyiségét.
- Meghatározzuk a maximális szűrési teljesítményt.
- Jegyzőkönyv készítése, amely tartalmazza a feladat leírását, a berendezés kapcsolási rajzát, a mérési adatokat táblázatos formában, a szükséges számításokat, diagramokat, valamint a mérés összefoglalását.

Számítási összefüggések

A maximális szűrési teljesítmény összefüggése:

$$\alpha_{\max} = \frac{V_{\text{opt}}}{t + t_a} = \frac{V_{\text{opt}}}{2 \cdot t_a}$$

Jegyzőkönyv készítése:

- a mérés célja;
- a mérés menete;
- folyamatábra a berendezéselemek megnevezésével, a mérés reprodukálhatóságának figyelembevételével;
- mérési és számított adatok táblázatos megjelenítése;
- számítási összefüggések és a mérési adatsor 1–1 értéksorának behelyettesítésével;
- diagramok, azok kiértékelése;
- végső számítások, következtetések;
- munka- és balesetvédelmi szabályok, használt védőfelszerelések.

Értékelés szempontjai

- jegyzőkönyv szakmai tartalma (rajzi kivitel, táblázatok, számítások): 50%,
- mérés eredményessége: 25%,
- munkavégzés precizitása, önállósága: 25%.

3. GYAKORLAT

Modell keverős berendezés keverési ellenállás tényezőinek meghatározása mérésrel

Név, osztály:..... Mérés dátuma:

Feladat

A keverés elméleti kérdései közül talán a legfontosabb a keverőelem áramlástanai ellenállásának meghatározása, modellezése, ui. értéke meghatározza keverős tengely meghajtását szolgáló motor teljesítményfelvételét.

INFORMÁCIÓS LAP

A gyakorlat elvégzésére rendelkezésre álló idő: 270 perc.

A beadás határideje:

Mérés menete

1. Áram alá helyezzük a készülékeket (tanári felügyelet mellett!).
2. Meghatározzuk a keverős készülék geometriai méreteit, ellenőrizzük a megadott geometriai hányadosokat (D/d , $H/d\dots$).
3. Bekapcsoljuk a számítógépet.
4. Felszereljük az első keverőelemet, és ellenőrizzük a rögzítéseket.
5. Bekapcsoljuk a keverőmotort.
6. Beállítjuk az alapfordulatszámot.
7. A számítógépen elindítjuk a *Genie* programot: *file/open/kever.gni*.
8. Az egerrel rákattintunk a *play* jelre, és ezzel a számítógépen elindul a keverési nyomaték mérése.
9. Beállítandó fordulatszám-tartományok:
 - ívelt lapátú: 125–380 1/s,
 - egyenes lapátú: 100–360 1/s,
 - propellerkeverő: 180–520 1/s.
10. A fordulatszámokat fokozatosan növeljük, és folyamatosan feljegyezzük a hozzájuk tartozó nyomatékok értékeit. A nyomatékokat akkor olvassuk le, amikor annak értéke állandósul.
11. Ne lépjük túl a megengedett maximum fordulatszámokat!
12. Leolvassuk a közeg hőmérsékleti értékét.
13. A mérést ugyanígy elvégezzük a többi keverőelemmel is.
14. A keverőelem cseréje: a tokmány bal oldalán lévő rögzítőelem benyomása után a tokmány kézzel nyitható. Kiemeljük a keverőelemet a tengellyel és a keverőelem cseréjét kint végezzük el. Visszahelyezzük a keverőelem tengelyét, kézzel rögzítjük a tokmányt, és megpróbáljuk szimmetriatengelybe állítani. Kioldjuk a rögzítőelemet.
15. A mérés végeztével áramtalanítjuk a készülékeket, leszereljük a keverőelemeket.
16. Elkészítjük a jegyzőkönyvet. Kiszámolandó a ξ (kszi), a Re-szám, és a hasznos teljesítmény (P_h) értéke, és elkészítjük a keverési diagramokat az összes keverőelemre vonatkozólag.

Számítási összefüggések

Keverési Reynolds-szám kifejezése:

$$Re_k = \frac{d^2 \cdot n}{\nu} = \frac{d^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu}$$

A keverés hasznos teljesítményszükséglete:

$$P_h = \xi \cdot d^5 \cdot n^3 \cdot \rho$$

Jegyzőkönyv készítése:

- a mérés célja;
- a mérés menete;
- folyamatábra a berendezés elemek megnevezésével, a mérés reprodukálhatóságának figyelembevételével;
- mérési és számított adatok táblázatos megjelenítése;
- számítási összefüggések és a mérési adatsor 1–1 értéksorának behelyettesítésével;
- diagramok, azok kiértékelése;
- végső számítások, következtetések;
- munka- és balesetvédelmi szabályok, használt védőfelszerelések.

Értékelés szempontjai

- | | |
|---|------|
| • jegyzőkönyv szakmai tartalma (rajzi kivitel, táblázatok, számítások): | 50%, |
| • mérés eredményessége: | 25%, |
| • munkavégzés precizitása, önállósága: | 25%. |

4. A GYAKORLAT

Kettőscsöves, egyenáramú hőcserélő hőátbocsátási tényezőjének meghatározása méréssel

Név, osztály:.....

Mérés dátuma:

Feladat

Gyakorlati mérésekkel igazoljuk a hőcserélők hőmérségét, tudjunk hőveszteséget számolni, meghatározzuk a hőcserélők hőátbocsátási tényezőit.

INFORMÁCIÓS LAP

A gyakorlat elvégzésére rendelkezésére álló idő: 270 perc.

A beadás határideje:

A mérés menete:

1. Áram alá helyezzük a készülékeket (tanári felügyelet mellett!).
2. Meghatározzuk a kettőscsöves hőcserélő készülék geometriai méreteit.
3. Bekapcsoljuk a fűtőegységet és megvárjuk, amíg fel nem fűti a rendszert.
4. Bekapcsoljuk a keringtetőszivattyút.
5. Beállítjuk az első betáplálási értékeket.
6. Bekapcsoljuk számítógépet.
7. A számítógépen elindítjuk a Genie programot: file/open/egyen.gni.
8. Az egérrel rákattintunk a play jelre, és ezzel a számítógépen elindul az egyenáramú hőcserélő mérése program.
9. Beállítandó rotaméter értékek:
mind a meleg, mind a hideg rotamétereket 50 l/h értékekkel párhuzamosan emeljük 250 l/h értékre.
10. A hőmérsékleteket akkor olvassuk le, amikor annak értéke állandósul.
11. A mérés végeztével áramtalanítjuk a készülékeket.
12. Elkészítjük a jegyzőkönyvet. A jegyzőkönyv tartalmazza a feladat leírását, a berendezés kapcsolási rajzát, a mérési adatokat táblázatos formában, a szükséges számításokat, diagramokat, valamint a mérés összefoglalását.

Számítási összefüggések

Hőáramok számítása:

$$\Phi_{le} = m_M c_M (T_{be} - T_{ki})$$

$$\Phi_{fel} = m_H c_H (t_{ki} - t_{be})$$

$$\Phi_{át} = k \cdot A \cdot \Delta t_{köz} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \cdot A \cdot \Delta t_{log}$$

Jegyzőkönyv készítése:

- a mérés célja;
- a mérés menete;
- folyamatábra a berendezéselemek megnevezésével, a mérés reprodukálhatóságának figyelembevételével;
- mérési és számított adatok táblázatos megjelenítése;
- számítási összefüggések és a mérési adatsor 1–1 értéksorának behelyettesítésével;
- diagramok, azok kiértékelése;
- végső számítások, következtetések;
- munka- és balesetvédelmi szabályok, használt védőfelszerelések.

Értékelés szempontjai

- jegyzőkönyv szakmai tartalma (rajzi kivitel, táblázatok, számítások): 50%,
- mérés eredményessége: 25%,
- munkavégzés precizitása, önállósága: 25%.

4. B GYAKORLAT

Merev csőköteges, ellenáramú hőcserélő hőátbocsátási tényezőjének meghatározása méréssel

Név, osztály:.....

Mérés dátuma:

Feladat

Gyakorlati mérésekkel igazoljuk a hőcserélők hőmérségét, tudjunk hővesztésért számolni, meghatározzuk a hőcserélők hőátbocsátási tényezőit.

INFORMÁCIÓS LAP

A gyakorlat elvégzésére rendelkezésére álló idő: 270 perc.

A beadás határideje:

Mérés menete

1. Áram alá helyezzük a készülékeket (tanári felügyelet mellett!).
2. Meghatározzuk a kettős-csöves hőcserélő készülék geometriai méreteit.
3. Bekapcsoljuk a fűtőegységet és megvárjuk, amíg fel nem fűti a rendszert
4. Bekapcsoljuk a keringtetőszivattyút.
5. Beállítjuk az első betáplálási értékeket.
6. Bekapcsoljuk számítógépet.
7. A számítógépen elindítjuk a Genie programot: file/open/ellen.gni.
8. Az egérrel rákattintunk a play jelre, és ezzel a számítógépen elindul az egyenáramú hőcserélő mérés program
9. Beállítandó rotaméter értékek:
mind a meleg-, mind a hideg rotamétereket 50 l/h értékekkel párhuzamosan emeljük 250 l/h értékre.
10. A hőmérsékleteket akkor olvassuk le, amikor annak értéke állandósult.
11. A mérés végeztével áramtalanítjuk a készülékeket.
12. Elkészítjük a jegyzőkönyvet. A jegyzőkönyv tartalmazza a feladat leírását, a berendezés kapcsolási rajzát, a mérési adatokat táblázatos formában, a szükséges számításokat, diagramokat, valamint a mérés összefoglalását.

Számítási összefüggések

Hőáramok számítása:

$$\Phi_{le} = m_M c_M (T_{be} - T_{ki})$$

$$\Phi_{fel} = m_H c_H (t_{ki} - t_{be})$$

$$\Phi_{át} = k \cdot A \cdot \Delta t_{köz} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \cdot A \cdot \Delta t_{log}$$

Jegyzőkönyv készítése:

- a mérés célja;
- a mérés menete;
- folyamatábra a berendezéselemek megnevezésével, a mérés reprodukálhatóságának figyelembevételével;
- mérési és számított adatok táblázatos megjelenítése;
- számítási összefüggések és a mérési adatsor 1–1 értéksorának behelyettesítésével;
- diagramok, azok kiértékelése;
- végső számítások, következtetések;
- munka- és balesetvédelmi szabályok, használt védőfelszerelések.

Értékelés szempontjai

- | | |
|---|------|
| • jegyzőkönyv szakmai tartalma (rajzi kivitel, táblázatok, számítások): | 50%, |
| • mérés eredményessége: | 25%, |
| • munkavégzés precizitása, önállósága: | 25%. |

5. GYAKORLAT

Kalorifer hőátbocsátási tényezőjének meghatározása méréssel

Név, osztály:.....Mérés dátuma:

Feladat

Gyakorlati mérésekkel igazoljuk a kalorifer hőmérségét, tudjunk hőveszteséget számolni, meghatározzuk a kalorifer hőátbocsátási tényezőjét.

INFORMÁCIÓS LAP

A gyakorlat elvégzésére rendelkezésére álló idő: 270 perc.

A beadás határideje:

Mérés menete

1. Áram alá helyezzük a készülékeket (tanári felügyelet mellett!).
2. Meghatározzuk a merev csököteges hőcserélő készülék geometriai méreteit.
3. Bekapcsoljuk a fűtőegységet és megvárjuk, amíg fel nem fűti a rendszert.
4. Bekapcsoljuk a keringtetőszivattyút.
5. Beállítjuk az első betáplálási értékeket.
6. Bekapcsoljuk számítógépet.
7. A számítógépen elindítjuk a *Szaritas.exe* programot.
A *File* menüpont alatt *Üres Adatbázis* megnyitás után *Adatcsatorna megnyitás-Port kiválasztás* következik. *Minta-vételezési idő* beállítása után a program kész az adatok fogadására. A vezérlőikonokra való kattintással a szivattyú ill. a szárító csigás adagolója indítható.
(A program működtetése a program leírása és felhasználói kézikönyve alapján.)
8. Beállítandó a melegvíz-rotaméter 50 és 200 l/h tartományban 4 értékre.
9. Beállítjuk a levegőáram szabályozó szelepet 4 különböző állásra, a teljes nyitáshoz tartozó tartomány egyenletes felosztásával.
10. A hőmérsékleteket akkor olvassuk le, amikor annak értéke állandósult.
11. A mérés végeztével áramtalanítjuk a készülékeket.
12. Az adatokat kimentjük, ill. konvertáljuk Excel táblázatba.
13. Elkészítjük a jegyzőkönyvet. A jegyzőkönyv tartalmazza a feladat leírását, a berendezés kapcsolási rajzát, a mérési adatokat táblázatos formában, a szükséges számításokat, diagramokat, valamint a mérés összefoglalását.

Számítási összefüggések

Hőmennyiségek számítása:

$$\Phi_{fel} = m_L \cdot (h_2 - h_1)$$

$$\Phi_{le} = m_M c_M (T_{be} - T_{ki})$$

$$\Phi_{át} = k \cdot A \cdot \Delta t_{köz} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \cdot A \cdot \Delta t_{log}$$

Jegyzőkönyv készítése:

- a mérés célja;
- a mérés menete;
- folyamatábra a berendezéselemek megnevezésével, a mérés reprodukálhatóságának figyelembevételével;
- mérési és számított adatok táblázatos megjelenítése;
- számítási összefüggések és a mérési adatsor 1–1 értéksorának behelyettesítésével;
- diagramok, azok kiértékelése;
- végső számítások, következtetések;
- munka- és balesetvédelmi szabályok, használt védőfelszerelések.

Értékelés szempontjai

- | | |
|---|------|
| • jegyzőkönyv szakmai tartalma (rajzi kivitel, táblázatok, számítások): | 50%, |
| • mérés eredményessége: | 25%, |
| • munkavégzés precizitása, önállósága: | 25%. |

6. GYAKORLAT

Fluidizációs szárító levegő- és hőszükségletének, valamint termikus hatásfokának meghatározása méréssel

Név, osztály:.....

Mérés dátuma:

Feladat

Gyakran kell a betakarított pl. gabonaféléket szárítani, hogy tárolható állapotba kerüljenek, ez meleg levegővel történik az ún. konvekciós szárítással.

INFORMÁCIÓS LAP

A gyakorlat elvégzésére rendelkezésére álló idő: 270 perc.

A beadás határideje:

Mérés menete

1. Ellenőrizzük a berendezés elemeit munka- és balesetvédelmi szempontból.
2. Áram alá helyezzük a készülékeket (tanári felügyelet mellett!).
3. Meghatározzuk a merev csőkegyes hőcserélő készülék geometriai méreteit.
4. Bekapcsoljuk számítógépet és elindítjuk a *Szaritas.exe* programot
A *File* menüpont alatt *Üres Adatbázis* megnyitás után *Adatcsatorna megnyitás-Port kiválasztás* következik. *Minta-vételezési idő* beállítása után a program kész az adatok fogadására. A vezérlőikonokra való kattintással a szivattyú ill. a szárító csigás adagolója indítható.
(A program működtetése a program leírása és felhasználói kézikönyve alapján.)
5. Bekapcsoljuk a fűtőegységet és megvárjuk, amíg fel nem fűti a rendszert.
6. Bekapcsoljuk a keringtetőszivattyút.
7. Cellás adagolóval és a szállító csigával beadagoljuk a szárítandó anyagot.
8. Beállítjuk a levegőáram szabályozó szelepet, úgy, hogy a szemcsés halmaz fluidizációs állapotba kerüljön.
9. Beállítandó a melegvíz-rotaméter 50–100 l/h tartományban.
10. A hőmérsékleteket folyamatosan rögzítjük manuálisan vagy a folyamatirányító program segítségével (*Folyamatos mérés/Mintavétel start*).
11. Befecskendezzük a fluidumra az előírt vízmennyiséget (pl. 20 cm³ víz).
12. A mérést a fluidum kiszáradásáig végezzük, vagyis addig, amíg t_2 hőmérséklet vissza nem melegszik a kiindulási értére.
13. A mérés végeztével áramtalanítjuk a készülékeket.
14. Az adatokat kimentjük, ill. konvertáljuk Excel táblázatba.
15. Elkészítjük a jegyzőkönyvet. A jegyzőkönyv tartalmazza a feladat leírását, a berendezés kapcsolási rajzát, a mérési adatokat táblázatos formában, a szükséges számításokat, diagramokat, valamint a mérés összefoglalását.

Számítási összefüggések

Hőmennyiségek számítása:

$$\Phi_{fel} = m_L \cdot (h_2 - h_1)$$

$$\Phi_{le} = m_M c_M (T_{be} - T_{ki})$$

$$\Phi_{át} = k \cdot A \cdot \Delta t_{köz} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \cdot A \cdot \Delta t_{log}$$

Termikus hatásfok:

$$\eta_T = \frac{\Phi_{fel}}{\Phi_{le}} \cdot 100\%$$

Jegyzőkönyv készítése:

- a mérés célja;
- a mérés menete;
- folyamatára a berendezéselemek megnevezésével, a mérés reprodukálhatóságának figyelembevételével;
- mérési- és számított adatok táblázatos megjelenítése;
- számítási összefüggések és a mérési adatsor 1–1 értéksorának behelyettesítésével;
- diagramok, azok kiértékelése;
- végső számítások, következtetések;
- munka- és balesetvédelmi szabályok, használt védőfelszerelések.

Értékelés szempontjai

- | | |
|---|------|
| • jegyzőkönyv szakmai tartalma (rajzi kivitel, táblázatok, számítások): | 50%, |
| • mérés eredményessége: | 25%, |
| • munkavégzés precizitása, önállósága: | 25%. |

7. GYAKORLAT

Fluidizációs szárító berendezés folyamatvezérlő program leírása, kezelése

Név, osztály:.....

Mérés dátuma:

Feladat

A folyamatvezérlő program megismerése, kezelése a biztonságos üzemvitel megvalósítása.

INFORMÁCIÓS LAP

A gyakorlat elvégzésére rendelkezésre álló idő: 270 perc.

A beadás határideje:

Mérés menete

Folyamatvezérlő menürendszerének kezelése:

1. File műveletek
 - üres t-x-h diagram,
 - üres adattábla betöltése,
 - demo adattábla betöltése,
 - adatlap nyomtatása,
 - kilépés,
 - adat kommunikáció menü,
 - kézi adatbevitel,
 - adatbevitel befejezés,
 - ADAM Com#x csatorna megnyitása,
 - Com csatorna bezárása;
2. Mérés beállítása
3. Adattábla kitöltése
4. Fluidizáció vizsgálata
5. Szárítás vizsgálata
6. A folyamatábra
7. Vezérlési panel
8. Adattábla
9. Diagramok
10. Számítási eredmények

Számítási összefüggések

Jegyzőkönyv készítés:

- a mérés célja;
- a mérés menete;
- folyamatábra a berendezéselemek megnevezésével, a mérés reprodukálhatóságának figyelembevételével;
- mérési- és számított adatok táblázatos megjelenítése;
- számítási összefüggések és a mérési adatsor 1–1 értéksorának behelyettesítésével;
- diagramok, azok kiértékelése;
- végső számítások, következtetések;
- munka- és balesetvédelmi szabályok, használt védőfelszerelések.

Értékelés szempontjai

- | | |
|---|------|
| • jegyzőkönyv szakmai tartalma (rajzi kivitel, táblázatok, számítások): | 50%, |
| • mérés eredményessége: | 25%, |
| • munkavégzés precizitása, önállósága: | 25%. |

MELLÉKLET

I. táblázat: a víz anyagjellemzői

A víz anyagjellemzői						
hőm. (°C)	nyomás (bar)	sűrűség (kg/m ³)	din. viszk. $\mu \times 10^{-6}$ (Pa·s)	c_p (kJ/kg/°C)	h' (kJ/kg)	Δh_r (kJ/kg)
0	0,007	999,83	1748,73	4,21	0,00	2500,58
10	0,011	999,75	1299,83	4,20	41,94	2477,85
15	0,014	999,21	1136,32	4,19	62,89	2466,21
20	0,019	998,36	1001,87	4,18	83,83	2454,43
25	0,028	997,23	890,31	4,18	104,75	2442,52
30	0,040	995,84	796,91	4,18	125,66	2430,50
35	0,055	994,22	718,06	4,18	146,57	2418,39
40	0,074	992,38	650,95	4,18	167,48	2406,21
45	0,098	990,34	593,40	4,18	188,38	2393,97
50	0,126	988,12	543,70	4,18	209,28	2381,68
55	0,161	985,73	500,51	4,18	230,19	2369,34
60	0,202	983,18	462,74	4,18	251,11	2356,95
65	0,253	980,49	429,53	4,19	272,04	2344,53
70	0,314	977,67	400,17	4,19	292,98	2332,06
75	0,387	974,73	374,09	4,19	313,93	2319,54
80	0,474	971,67	350,81	4,20	334,90	2306,97
85	0,578	968,50	329,96	4,20	355,90	2294,33
90	0,700	965,22	311,20	4,21	376,92	2281,61
95	0,844	961,85	294,26	4,21	397,96	2268,80
100	1,011	958,38	278,90	4,22	419,04	2255,87

II. táblázat: a levegő állapotjelzői

hőm. (°C)	levegő anyagjellemzői			
	sűrűség (kg/m ³)	din. viszk. $\mu_{\text{lev}} \times 10^{-6}$ (Pa·s)	$c_{p \text{ lev}}$ (kJ/kg/°C)	hővez.tény. $\lambda \times 10^{-3}$ (W/m/°C)
-40	1,495	15,10	1,006	21,45
-20	1,377	16,17	1,006	23,01
0	1,275	17,21	1,006	24,54
10	1,230	17,72	1,006	25,29
15	1,209	17,97	1,007	25,66
20	1,188	18,21	1,007	26,03
25	1,168	18,46	1,007	26,40
30	1,149	18,70	1,007	26,76
35	1,130	18,94	1,007	27,13
40	1,112	19,18	1,008	27,49
45	1,095	19,42	1,008	27,86
50	1,078	19,66	1,008	28,22
55	1,061	19,89	1,008	28,58
60	1,045	20,13	1,009	28,94
65	1,030	20,36	1,009	29,30
70	1,015	20,59	1,010	29,66
75	1,000	20,82	1,010	30,02
80	0,986	21,04	1,010	30,38
85	0,972	21,27	1,011	30,74
90	0,959	21,49	1,011	31,09
95	0,946	21,71	1,012	31,45
100	0,933	21,93	1,012	31,81

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Szerző: Bertalan Zsolt-Csirmaz Antal-Szabó László-Uhlár Zoltán (1999): Vegyipari műveletek és irányításuk, Budapest: KIT, Képzőművészeti Kiadó és Nyomda Kft
- [2] Szerző: Bertalan Zsolt-Csirmaz Antal-Szabó László-Uhlár Zoltán (1998): Műszaki ismeretek, Budapest: Műszaki Könyvkiadó
- [3] Szerző: Csirmaz Antal: Számítógépes oktatástechnikai adatfeldolgozó kiértékelő és vezérlő program. Szakdolgozat: ELTE TTK 2002.nov.
- [4] Szerző: Csirmaz Antal: Műszaki mérések (1995) Világbanki program
- [5] Fejlesztő és gyártó: Csirmaz Antal: Áramlástechnikai ellenállásokat vizsgáló berendezés, műszaki dokumentáció és kézikönyv (2004)
- [6] Fejlesztő és gyártó: Csirmaz Antal: Szivattyú vizsgáló berendezés műszaki dokumentáció és kézikönyv (2003)
- [7] Advantech's ADAM 4000 széria felhasználói kézikönyv, www.advantech.hu
- [8] www.petrik.hu/tanarok/csirmaz

Nemzeti Fejlesztési Ügynökség

ÚMFT infovonal: 06 40 638 638

nfu@nfu.gov.hu • www.nfu.hu