

MISKOLCI EGYETEM



GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR
ENERGETIKAI ÉS VEGYIPARI GÉPÉSZETI INTÉZET

A KEVERÉS, MINT VEGYIPARI FOLYAMAT, KEVERÉSI MÉRÉS IPARI KEVERŐVEL

KÉSZÍTETTE:

Patócs Ádám
UBAHBP

KONZULENSEK:

Pusztai Tamás
PhD hallgató

Dr. Szepesi L. Gábor
egyetemi docens

Miskolc, 2022

Tartalomjegyzék

TARTALOMJEGYZÉK	3
1. BEVEZETÉS	3
2. A KEVERÉS ALAPVETŐ TUDNIVALÓI	4
3. KEVERŐTÍPUSOK.....	6
4. TELJESÍTMÉNYSZÜKSÉGLET ÉS MÉRETNÖVEELÉS.....	10
5. NAGY VISZKOZITÁSÚ ANYAGOK KEVERÉSE.....	15
6. AZ ELLENÁLLÁSTÉNYEZŐ	17
BEFEJEZÉS	28
IRODALOMJEGYZÉK	29

1. Bevezetés

Keveréssel a mindennapi életben rengeteg területen találkozhatunk. A legegyszerűsebb, legkézenfekvőbb esetektől kezdődően, mint például a tea ízesítése, egészen az összetettebb ipari keverési műveletek alkalmazásáig egészen széleskörű skálán beszélhetünk keverésről.

A dolgozatom célja a keverés, mint vegyipari folyamat legfőbb jellemzőinek ismertetése. Szeretnék betekintést biztosítani a keverési műveletek részleteibe, a keveréshez használatos gépek, berendezések különböző fajtáiba, valamint a keverés mérési és számítási folyamataiba is.

Ezen dolgozatban bemutatok egy általam elvégzett kísérletsorozatot, mely során egy ferde lapátú karos keverőelemmel végzett keverés jellemzőit vizsgáltam. Bemutatom a mért eredményeimet és azok felhasználását a további számítások elvégzéséhez. A keverés teljesítményszükségletét, ellenállástényezőjét és az adott keverési folyamatot jellemző Reynolds-számot számítottam ki többek között. A mérésem során kapott adatokkal történő számításaimat összevetem egy szakirodalomban található referencia értékeivel, mely visszajelzést ad a mérések pontosságáról.

A mérés validálása után elvégzem két, egymás felett elhelyezkedő keverőelem együttes vizsgálatát, melyre a vonatkozó szakirodalomban nincs jelenleg ellenállástényező publikálva, mely segítségével a keverési teljesítményszükséglet meghatározhatóvá válik.

A különböző mérések eredményeit jól követhető, könnyedén értelmezhető táblázatokba foglaltam, az ezekhez használt eszközökről pedig valós képeket, valamint egyszerűsített vázlatokat csatoltam a dolgozatomba.

2. A keverés alapvető tudnivalói

A keverés során két vagy több különböző tulajdonsággal rendelkező anyagot egyesítünk kényszerített áramlással annak érdekében, hogy az egyes alkotórészek eloszlása a meghatározott legkisebb térfogatelemekben a kívánt keverési aránynak feleljen meg. A keverési műveletek során több cél elérésére törekszünk. Elsődlegesen az alkotórészeket egyenletesen elosztatva finomdiszperz rendszert hozhatunk létre. Másodlagos cél lehet a rendszer létrehozása során például a kémiai reakció elősegítése, vagy a hőátvitel és/vagy anyagátvitel felgyorsítása [1] [2].

Ha egyfázisú folyadékról beszélünk, akkor célunk a koncentrációkiegyenlítés, azaz a nagyobb koncentrációjú tér egyes térfogatelemeinek helycserére kényszerítése a keveréssel létrehozott áramlással.

A kétfázisú folyadék-folyadék extrakciónál viszont a keverés csak az első részfolyamat. Itt a nehezebb folyadékfázist a könnyebb fázisban vertikális áramlással emulgeáljuk, hogy végül a folyadék-folyadék fázisegyensúly tökéletesebb kialakulását biztosítsuk. E folyamat során szuszpenziót állíthatunk elő, mivel a vertikális folyadékáramlás a folyadékban lévő szilárd részecskéket magával ragadja.

Homogén anyagoknál nem szükséges vertikális áramlást alkalmaznunk, erősen viszkózus homogén anyagok melegítése során például célszerű horizontális kényszerített áramlást előidézni, mivel az egyes komponensek a keverő tartály falára sülhetnek ennek hiányában [1].

Összességében a keverési feladatokat csoportosíthatjuk az alábbi pontokba [1]:

- Homogenizálás
 - célja: az egymásban oldódó alkotórészek egyenletes eloszlása
- Szuszpendáltatás

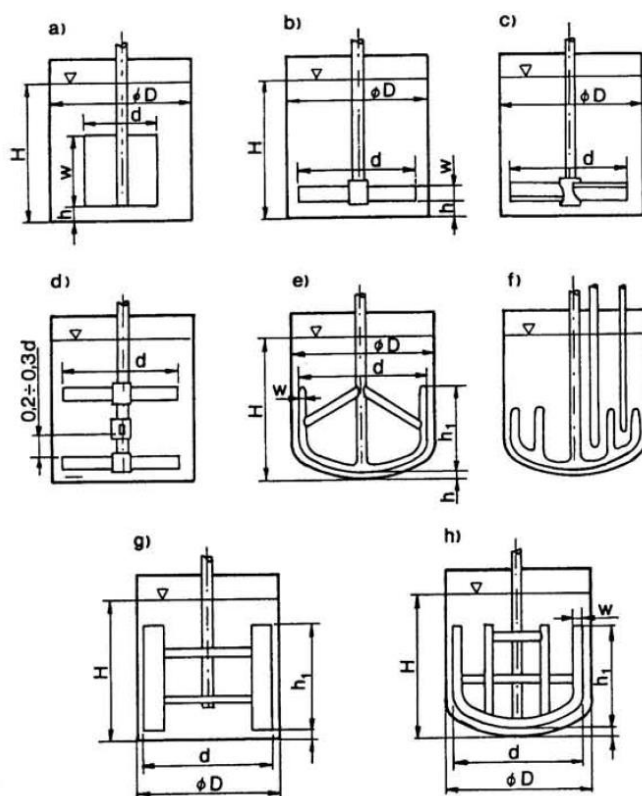
- célja: szemcsés anyagok egyenletes eloszlataása folyadékban
- Diszpergáltatás
 - célja: gáz szétozlatása folyadékban
- Egyásban nem oldódó folyadékok emulgeálása
 - alkalmazása: szolvens extrakciónál
- Hőcsere
 - célja: hűtés vagy fűtés intenzifikálása

3. Keverőtípusok

A legtöbb keverős berendezés forgó mozgást végző, függőleges tengelyre szerelt keverőelemmel ellátott szerkezet.

A különböző eredmények eléréséhez számos típusú különböző keverő áll a rendelkezésünkre. Ezeket a keverőket rendszerint a fizikai dimenzióik szerint, valamint a kívánt feladatellátás és a keverendő közeg alapján választjuk meg.

A legegyszerűbb, jelentősen gyakran alkalmazott keverőtípusok a **lapátos keverők**. Ezt a típust lassú, kisebb fordulatszámú keveréshez alkalmazzuk. A fordulatszám 100 alatti percenként, általában 20-40 1/perc. A keverőelem lapátjainak anyagát tekintve készülhet lemezből, laposacélból, szögacélból, illetve csőből [1] [2].



3.1 ábra - Különböző lapátos keverőtípusok [1]

A 3.1 ábrán láthatóak a különböző lapátos keverőtípusok:

- a) lapkeverő,
- b) karos keverő,
- c) ferde lapátú karos keverő,
- d) többkarú karos keverő,
- e) horgonykeverő,
- f) ujjkeverő,
- g) kalodás keverő (sík edényfenék),
- h) kalodás keverő.

Elnevezés	d/D	w/D	h/d	H/d	h_1/d	Max. din. viszkozitás (Pa·s)
Lapkeverő	0,4...0,5	0,9...1	0,1...0,2	1,5...2	-	20
Karos keverő	0,7...0,9	0,05...0,1	0,1...0,2	1...1,4	-	10
Horgonykeverő	0,9...0,98	0,055...0,1	0,01...0,06	1,1...1,4	0,4...0,8	20...(50)
Kalodás keverő és kalodás ankerkeverő	0,9...0,98	0,055...0,1	0,01...0,06	1,1	0,7...1	20...(50)

3.1 táblázat – Lapátos keverők adatai [1]

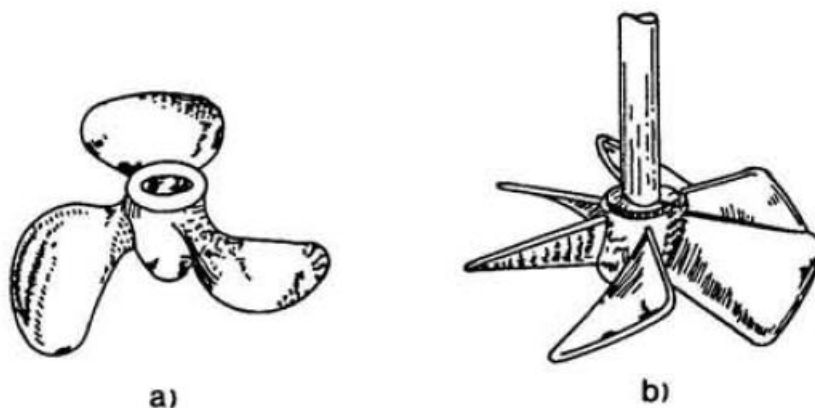
Ahhoz, hogy a keverők adatait megismerjük, tisztában kell lennünk a keverők fizikai dimenzióinak jelölésével. A legfőbb jellemző méretek:

- **D** - az edény belső átmérője,
- **d** - a keverőelem maximális átmérője,
- **H** - az edényben lévő folyadék nyugalmi magassága,
- **h** - az edényfenéktől a keverőelem aljáig mért távolság,
- **h₁** - a keverőelem magassága,
- **w** – jellemző szélesség (lapkeverőnél $h_1=w$).

A keverők jellemző adatait különböző arányszámokkal szokványos megadni. A 3.1 táblázat néhány lapátos keverő adatait foglalja össze.

A következő kategória a **propellerkeverők** típusa. A propellerkeverők szárnylapátjai mértani csavarfelületek, viszonylag nagy fordulatszámon üzemeltetik őket. Erős

axiális áramlás létrehozására képesek, nagy folyadéktömeg megmozgatására alkalmasak. Jellemző fordulatszámuk 150-1600 1/min. [1]

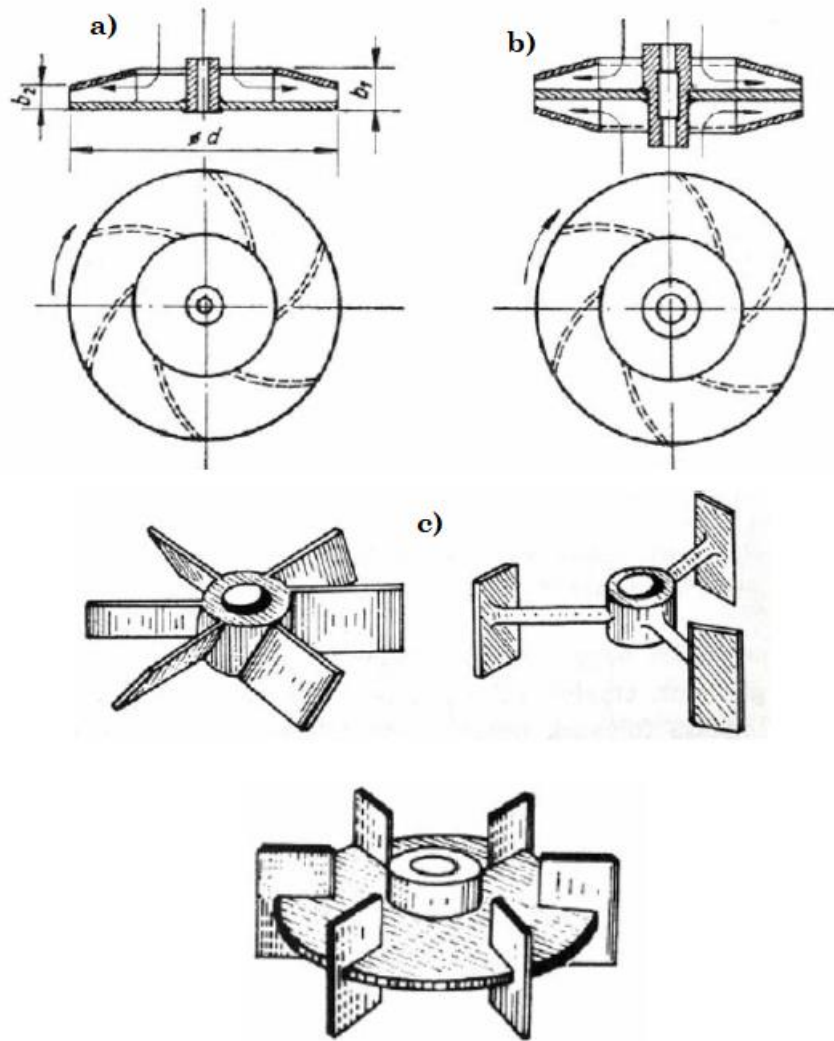


3.2 ábra – Propellerkeverők [1]

A 3.2 ábrán láthatóak a propellerkeverők:

- a) háromszárnyú propellerkeverő,
- b) hatszárnyú propellerkeverő.

Megkülönböztetünk továbbá **nyitott és zárt turbinakeverőket**. Ezek a keverők nagy sebességekhez használatosak, több célra is alkalmasak. Emulgeálásra, diszpergálásra, hőátadás javítására és a reakciók gyorsítására egyaránt alkalmasak. A nyitott és zárt turbinakeverők jellemző fordulatszáma megegyezően 50-1800 1/min, azonban a fő különbség közöttük, hogy a zárt turbinakeverő maximum 1000 cP viszkozitású közeghez használható, míg a nyitott egészen 20000 cP-ig [1] [2].



3.3 ábra – Turbinakeverő kialakítások [1]

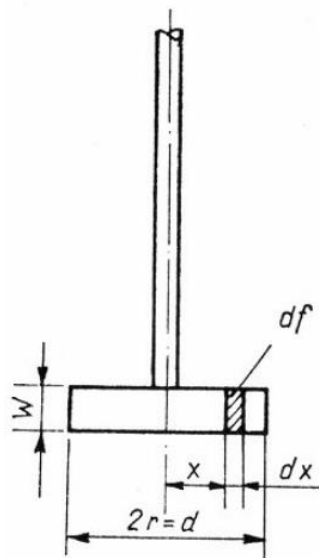
A 3.3 ábrán láthatóak a turbinakeverők:

- a) egyszeres beömlésű zárt turbinakeverő,
- b) kettős beömlésű zárt turbinakeverő,
- c) nyílt turbinakeverő.

4. Teljesítményszükséglet és méretnövelés

A keverés teljesítményszükséglete

A mechanikus keverők teljesítményszükségletének megoldására a hasonlósági elméletet alkalmazhatjuk. A következő műveletekben az alábbi jelölések jelennek meg [2].



4.1 ábra – A vizsgált keverőelem [2]

A fejezetben szereplő képletekhez tartozó jelmagyarázat:

- ξ - ellenállás-tényező [-]
- n – fordulatszám [1/s]

- η - a folyadék viszkozitása [Pa·s]
- ρ - a folyadék sűrűsége [kg/m³]
- g - nehézségi gyorsulás [m/s²]
- Re - Reynolds-szám [-]
- Re_m - módosított Reynolds-szám [-]
- Fr - Froude-szám [-]
- Fr_m - módosított Froude-szám [-]
- Eu - Euler-szám [-]
- Eu_m - módosított Euler-szám [-]
- P - teljesítményszükséglet [W]
- A - a vizsgált felület [m²]
- d - a keverőelem átmérője [m]
- w - a keverőlapát szélessége [m]
- Δp - a felületre ható nyomás [Pa]

Először le kell írunk az áramlást kritériális egyenletekkel. Szükséges kifejeznünk a Reynolds-számot, a Froude-számot, az Euler-számot, valamint ezen értékek módosított változatát is. Az utóbbiakra azért van szükség, mert a keverők számításainál a hasonlósági kritériumok módosított értékeivel dolgozunk. Jelen esetben a módosítás az alábbi összefüggés alapján történik [2]:

$$w \sim n \cdot d \quad (1)$$

A hasonlósági tényezőket és azok módosított értékeit kifejezhetjük az alábbi módon:

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \rho}{\eta} \quad (2)$$

$$Re_m = \frac{n \cdot d^2 \cdot \rho}{\eta} \quad (3)$$

$$Fr = \frac{w^2}{g \cdot d} \quad (4)$$

$$Fr_m = \frac{n^2 \cdot d^2}{g \cdot d} = \frac{n^2 \cdot d}{g} \quad (5)$$

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho \cdot w^2} \quad (6)$$

$$Eu_m = \frac{\Delta p}{\rho \cdot n^2 \cdot d^2} \quad (7)$$

Ismertek a következő összefüggések:

$$F = \frac{P}{w} \quad (8)$$

$$A \sim d^2 \quad (9)$$

Ezek segítségével Δp kifejezhető a következő módon:

$$\Delta p = \frac{F}{A} = \frac{P}{w \cdot d^2} \quad (10)$$

A módosított Euler-szám képletébe behelyettesítve a ξ ellenállás-tényezőt kapjuk.

$$Eu_m = \frac{\Delta p}{\rho \cdot n^2 \cdot d^2} = \frac{P}{w \cdot d^2 \cdot \rho \cdot n^2 \cdot d^2} = \frac{P}{n \cdot d \cdot d^2 \cdot \rho \cdot n^2 \cdot d^2} = \frac{P}{\rho \cdot n^3 \cdot d^5} = \xi \quad (11)$$

A fenti összefüggésből a keverés teljesítményszükséglete már kifejezhető [1] [2]:

$$P = \xi \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d^5 \quad (12)$$

Méretnövelés

Méretnövelésre olyan esetekben van szükségünk, melyek során az adott keverési kísérletet csak kismintával tudtuk elvégezni, viszont ipari (üzemi) méretekre kívánunk áttérni. Ebben az esetben kétféle szempont szerint járhatunk el.

Az **első szempont** szerint a térfogategységre vonatkoztatott teljesítményigény azonos legyen a két esetben, azaz $P/V = \text{állandó}$, ahol V az aktív keverőedény-térfogatot jelöli [m³] [1] [4].

Lamináris tartomány esetén a következő összefüggés érvényes [1]:

$$P = A \cdot d^3 \cdot n^2 \cdot \eta \quad (13)$$

Mivel $V \sim D^3$, illetve $D^3 \sim d^3$, ezért az ipari méretű készülékre és a kismintára az alábbi egyenlet írható fel:

$$\frac{A \cdot n^2 \cdot d^3 \cdot \eta}{d^3} = \frac{A \cdot n_{km}^2 \cdot d_{km}^3 \cdot \eta_{km}}{d_{km}^3} \quad (14)$$

Ahol a **km** alsó index a kisminta jellemzőinél található meg. A fenti egyenletet egyszerűsítve megkapjuk a következő változatot:

$$n^2 \cdot \eta = n_{km}^2 \cdot \eta_{km} \quad (15)$$

Innentől két különböző esetet különböztetünk meg. Ha a dinamikai viszkozitások azonosak, akkor a fordulatszámok is azonosak lesznek. Ha azonban a kisminta kísérlete során a dinamikai viszkozitás kisebb, mint a kívánt esetben, akkor értelemszerűen a kisminta kísérlete során alkalmazandó fordulatszámnak nagyobbak kell lennie, mint a kívánt kísérletben.

Turbulens esetben az alábbi egyenlet érvényes:

$$\frac{A \cdot n^3 \cdot d^5 \cdot \rho}{d^3} = \frac{A \cdot n_{km}^3 \cdot d_{km}^5 \cdot \rho}{d_{km}^3} \quad (16)$$

A fenti egyenletet egyszerűsítve megkapjuk a következő változatot:

$$n^3 \cdot d^2 = n_{km}^3 \cdot d_{km}^2 \quad (17)$$

A következő rendezéshez célszerű bevezetni a **k** méretarányt, melynek jelentése:

k = ipari / kisminta.

$$n = n_{km} \cdot \left(\frac{d_{km}}{d} \right)^{\frac{2}{3}} = n_{km} \cdot k^{-\frac{2}{3}} = n_{km} \cdot \left(\frac{1}{k} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (18)$$

A **második szempont** szerint a keverők kerületi sebességét kell állandónak tekintenünk. Ez a felvetés akkor helyes, ha a keverés hatásossága arányos a kerületi sebességgel [1].

Gázok diszpergálásánál, ahol a keverés kerületi sebessége döntő jellegű, érvényes a következő összefüggés:

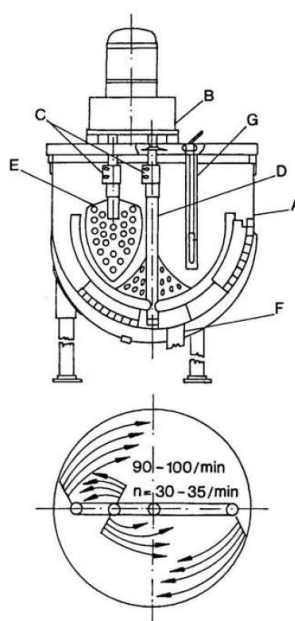
$$n \cdot \pi \cdot d = n_{km} \cdot \pi \cdot d_{km} \quad (19)$$

Az ebből következő végleges egyenlet használatos alakja:

$$n = \left(\frac{d_{km}}{d} \right) \cdot n_{km} = \frac{1}{k} \cdot n_{km} \quad (20)$$

5. Nagy viszkozitású anyagok keverése

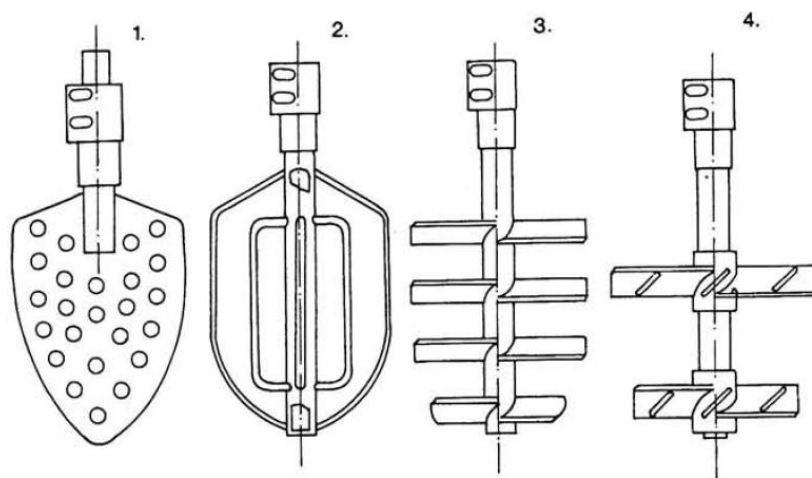
A nagy viszkozitású anyagok keverésére többféle speciális berendezést használhatunk a dagasztókon kívül is. Ilyen különleges berendezések a többtengelyű keverőgépek, melyek egyik típusa (kétkeverős főzőüst) a 4.1 ábrán látható. A lassú keverő fordulatszáma 30-35 1/min, az oldalkeverőé pedig 90-100 1/min. A keverőben kaparólapátok találhatók, melyek a kevert közeg keverőfalhoz történő odasülését igyekeznek meggátolni. A palást melletti anyagrétegek így befelé áramlanak, ezzel a lapkeverő hatósugarába kerülve. A közegáramlás iránya a 5.1 ábrán jelölve látható [1].



5.1 ábra - Kétkeverős főzőüst [1]

A 5.1 ábrán láthatóak a kétkeverős főzőüst és a közegáramlás iránya:

- A. Keverős főzőüst
- B. Hajtómű
- C. Tengelykapcsolók
- D. Horgonykeverő
- E. Lapkeverő
- F. Leeresztőnyílás
- G. Hőmérőtok



5.2 ábra – Keverőlapát kialakítások [1]

A 5.2 ábra mutatja a különböző keverőváltozatokat:

- 1. Nagylyukú lapkeverő
- 2. Kalitkás köracél kavará
- 3. Felfelé irányuló kavará
- 4. Lefelé irányuló kavará

6. Az ellenállástényező

A keveréshez tartozó mérésem lényege, hogy a különböző mérhető értékek alapján meghatározzuk a keverés teljesítményszükségletét, a módosított Reynolds-számot, valamint a keverőelem ellenállástényezőjét. Ezeket a számított értékeket összehasonlítottam a szakirodalomban [3] található értékekkel.

A mérést két részletben végeztem el. Először egy keverőelemet használtam, ennek az eredményei könnyedén összehasonlíthatók a szakirodalomban található eredményekkel, mivel ennek ellenállástényezője ismert. A dolgozatomban szerettem volna megvizsgálni, hogy hogyan változik az ellenállási tényező a Reynolds-szám függvényében, ha egy keverőszáron két keverőelemet helyezünk el, ezért a mérésem második része ugyanazon körülmények között, ugyanazon berendezésekkel történt, az alapvető különbség az, hogy itt már két azonos keverőelemet használtam egy keverőszáron rögzítve, azonban a folyadékmagasság eltérő volt. Végül az eredményeket egy közös, átlátható diagramban ábrázoltam.

A keverő és mérő berendezés kialakítása

A keverés egy felülről nyitott tartályban történik, melybe vizet töltöttem a tartály átmérőjével (D) megegyező magasságig (két keverőelemnél $D + 0,125$ m). A tartályba felülről benyúló keverőszár a keverőelemmel egy motorhoz (SPG S9I60GXH-S12CE) van csatlakoztatva. A keverőszár forgó mozgásának sebességét a motoron egy sebességszabályozó (SPG SRX02CE) segítségével lehet szabályozni, ennek köszönhetően több különböző fordulatszámmal tudunk adatokat gyűjteni.

A motor aktuális teljesítményének meghatározásához egy 3 erőkarból álló rudazat van a motorhoz csatlakoztatva, amely segítségével a motor nyomatékát tudjuk

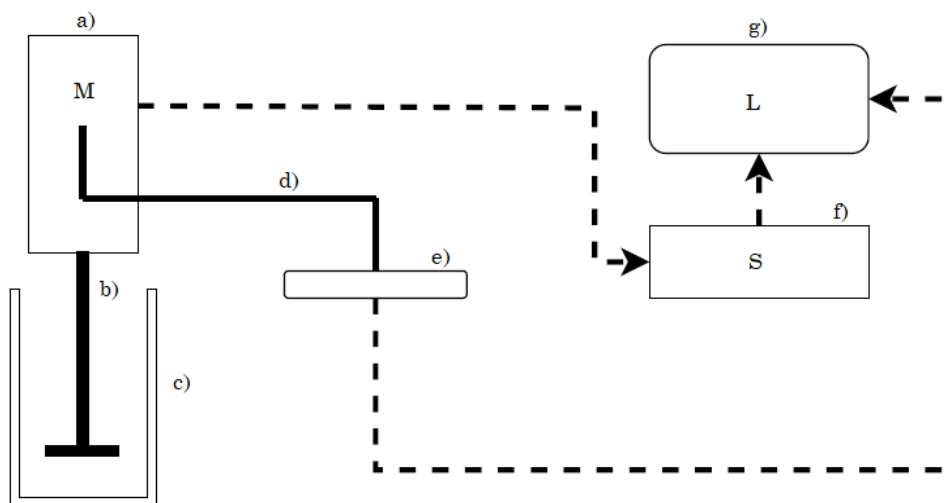
számolni. A rudazat egy mérleget (AXIS AG2000C) nyom a keverés közben folyamatosan, a mérleg pedig az aktuális tömeget mutatja, mellyel éppen a motor terheli az adott időpillanatban.

Természetesen nem elegendő mindig a pillanatnyi értékekre hagyatkozni, egy terjedelmesebb időintervallumban kell rögzítenünk a mért adatokat. A lemért, időpillanatokra egy adatgyűjtő, -és továbbító rendszer (HBM Spider8) rögzíti a motor fordulatszámát. A mérleggel mért adatok rögzítésének érdekében pedig a méréshez kapcsolt számítógéphez a mérleg egy RS232 porton keresztül csatlakozik.

A laptopon a Catman program segítségével a mérés közben is nyomon tudjuk követni az adott időpontbeli adatokat, továbbá a korábban rögzített adatokat is tudjuk kezelni. A 6.1 ábrán a méréshez szükséges berendezés látható, melyről egy egyszerűsített vázlatot (6.2 ábra) készítettem a jobb követhetőség érdekében.



6.1 ábra – A méréshez használt berendezések



6.2 ábra – A mérő berendezések egyszerűsített vázlata

A 6.2 ábrán feltüntetett alkatrészek és részegységek:

- a) Motor és sebességszabályozó egység
- b) Keverőszár és keverőelem
- c) Nyitott tartály
- d) Rudazat
- e) Mérleg
- f) Adatgyűjtő, -és továbbító
- g) Laptop

A keverés valós teljesítményszükségletének meghatározása

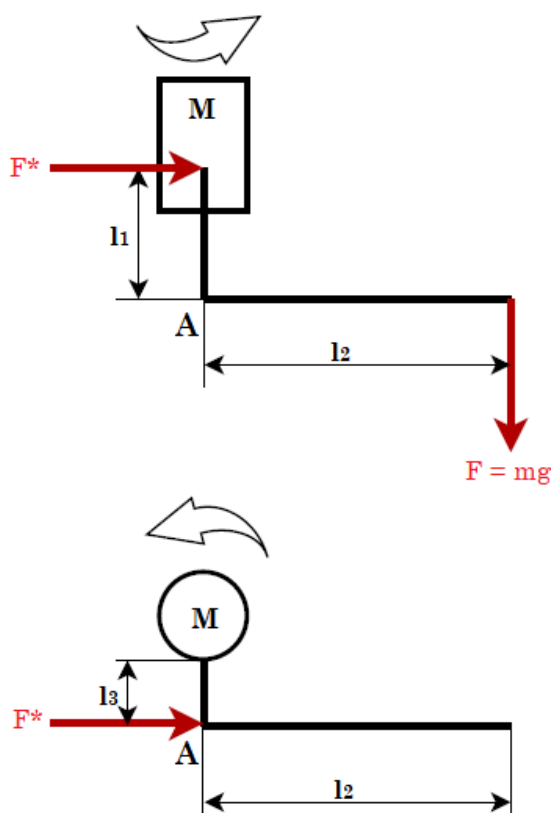
Ahhoz, hogy a keverés teljesítményszükségletét meghatározzuk, egy és két keverőelem esetén is 2-2 mérés szükséges. Először víz nélküli esetben meghatározzuk a súrlódásból adódó teljesítményigényt. Az így kapott teljesítményigénnyel csökkentjük a vízzel töltött esetben adódó teljesítményszükségletből.

Először is szükségünk van a nyomaték meghatározására, amelyet a rudazat ábrázolásával és az erőkarok értelmezésével kell kezdeni.

A 6.3 ábrán a rudazat látható, a 6.4 ábrán pedig az általam készített, az erőkarokat elől, -és felülnézetből ábrázoló egyszerűsített vázlat.



6.3 ábra – Terhelést továbbító rudazat



6.4 ábra – Mechanikai vázlata a mérésnek

A motor F^* erőt fejt ki l_3 és l_1 találkozásánál. Ennek hatására az „L” alakú, l_1 és l_2 erőkarokból álló karos mechanizmus a rögzített A csukló mentén elfordul. Az elfordulás során az l_2 kar végére rögzített tű lenyomja a mérleglapot.

Az A csuklóra kifejtett nyomaték:

$$M_A = F^* \cdot l_1 + F \cdot l_2 = 0 \rightarrow F^* = \left| -F \cdot \frac{l_2}{l_1} \right| \quad (21)$$

A motor által kifejtett nyomaték:

$$M = F^* \cdot l_3 \quad (22)$$

A (21) és (22) összefüggések alapján felírható:

$$M = F \cdot \frac{l_2 \cdot l_3}{l_1} \quad (23)$$

Az eddigiek által a motor által leadott teljesítmény:

$$P_0 = M \cdot \omega = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n = F \cdot \frac{l_2 \cdot l_3}{l_1} \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \quad (24)$$

A (24) összefüggés segítségével a motor leadott teljesítménye határozható meg. Látható, hogy ez meg fog egyezni a (12) egyenlettel, amely a folyadék keveréséhez szükséges teljesítményt adja meg. P_1 értéke így már számítható.

A (24) összefüggést a mért adatok birtokában meg tudjuk határozni

$$F = m \cdot g \quad (25)$$

A (12) képlet alkalmazásához viszont még szükségünk van a módosított Reynolds-szám ismeretére, valamint az ellenállástényező kiszámítására is. A módosított

Reynolds-szám a (3) képlettel adható meg, ahol ρ a víz sűrűsége [kg/m³] és η a víz dinamikai viszkozitása [Pa·s].

$$\text{Re}_m = \frac{n \cdot d^2 \cdot \rho}{\eta} \quad (3)$$

Az ellenállástényezőt pedig a (11) képlet segítségével számíthatjuk ki.

$$\xi = \frac{P}{\rho \cdot n^3 \cdot d^5} \quad (11)$$

Az utolsó lépés a valós teljesítményszükséglet ismeretéhez nem más, mint a vizes és víz nélküli teljesítményszükségletek különbségének kiszámítása.

$$P = P_1 - P_0 \quad (26)$$

A keverés teljesítményszükségletét egy és két keverőelem esetén is kiszámítottam, az eddigi számítások eredményeit pedig táblázatokba foglaltam.

f [Hz]	m [kg]	F [N]	M [Nm]	n [1/s]	P ₀ [W]
1,5	0,00375	0,0368	0,0108	1,5	0,1016
3	0,00403	0,0395	0,0116	3	0,2180
3,5	0,00410	0,0402	0,0118	3,5	0,2587
4	0,00425	0,0417	0,0122	4	0,3067
5	0,00420	0,0412	0,0121	5	0,3791
6	0,00390	0,0383	0,0112	6	0,4224
7	0,00426	0,0418	0,0122	7	0,5383
8	0,00444	0,0435	0,0127	8	0,6406
9	0,00453	0,0444	0,0130	9	0,7359

6.1 táblázat – Víz nélküli mérés egy keverőelemmel

f [Hz]	m [kg]	F [N]	M [Nm]	n [1/s]	P₁ [W]	Re_m [-]
1,5	0,00410	0,0402	0,0118	1,5	0,1110	16537,5
3	0,00551	0,0540	0,0158	3	0,2982	33075
3,5	0,00591	0,0580	0,0170	3,5	0,3736	38587,5
4	0,00680	0,0667	0,0195	4	0,4910	44100
5	0,00816	0,0801	0,0234	5	0,7365	55125
6	0,00970	0,0956	0,0279	6	1,0506	66150
7	0,01230	0,1207	0,0353	7	1,5542	77175
8	0,01459	0,1431	0,0419	8	2,1065	88200
9	0,01655	0,1624	0,0476	9	2,6894	99225

6.2 táblázat – Vizes mérés egy keverőelemmel

f [Hz]	m [kg]	F [N]	M [Nm]	n [1/s]	P₀ [W]
1,5	0,0015	0,0146	0,0043	1,5	0,0402
3	0,0014	0,0141	0,0041	3	0,0780
3,5	0,0014	0,0134	0,0039	3,5	0,0865
4	0,0016	0,0153	0,0045	4	0,1126
5	0,0016	0,0158	0,0046	5	0,1453
6	0,0017	0,0162	0,0047	6	0,1787
7	0,0018	0,0176	0,0051	7	0,2262
8	0,0023	0,0222	0,0065	8	0,3262
9	0,0024	0,0235	0,0069	9	0,3899

6.3 táblázat – Víz nélküli mérés két keverőelemmel

f [Hz]	m [kg]	F [N]	M [Nm]	n [1/s]	P ₁ [W]	Re _m [-]
1,5	0,0041	0,0404	0,0118	1,5	0,1115	16537,5
3	0,0063	0,0618	0,0181	3	0,3412	33075
3,5	0,0072	0,0706	0,0207	3,5	0,4549	38587,5
4	0,0078	0,0768	0,0225	4	0,5650	44100
5	0,0101	0,0989	0,0290	5	0,9098	55125
6	0,0122	0,1197	0,0351	6	1,3213	66150
7	0,0162	0,1589	0,0465	7	2,0470	77175
8	0,0195	0,1915	0,0561	8	2,8185	88200
9	0,0252	0,2472	0,0724	9	4,0940	99225

6.4 táblázat – Vizes mérés két keverőelemmel

A (26) képletet felhasználva elvégeztem a számítást, amelyből az egy és két keverőelemes keverés valós teljesítményszükséglete adódik, majd ezeket is táblázatba foglaltam.

f [Hz]	n [1/s]	P [W]	ξ [-]	Re _m [-]
1,5	1,5	0,0094	0,2194	16537,5
3	3	0,0802	0,2328	33075
3,5	3,5	0,1148	0,2099	38587,5
4	4	0,1843	0,2256	44100
5	5	0,3574	0,2240	55125
6	6	0,6282	0,2279	66150
7	7	1,0159	0,2321	77175
8	8	1,4659	0,2243	88200
9	9	1,9534	0,2100	99225

6.5 táblázat – A keverés valós teljesítményszükséglete egy keverőelemnél

f [Hz]	n [1/s]	P [W]	ξ [-]	Re_m [-]
1,5	1,5	0,0713	1,6553	16537,5
3	3	0,2632	0,7638	33075
3,5	3,5	0,3684	0,6733	38587,5
4	4	0,4524	0,5538	44100
5	5	0,7645	0,4792	55125
6	6	1,1426	0,4145	66150
7	7	1,8208	0,4159	77175
8	8	2,4923	0,3814	88200
9	9	3,7041	0,3981	99225

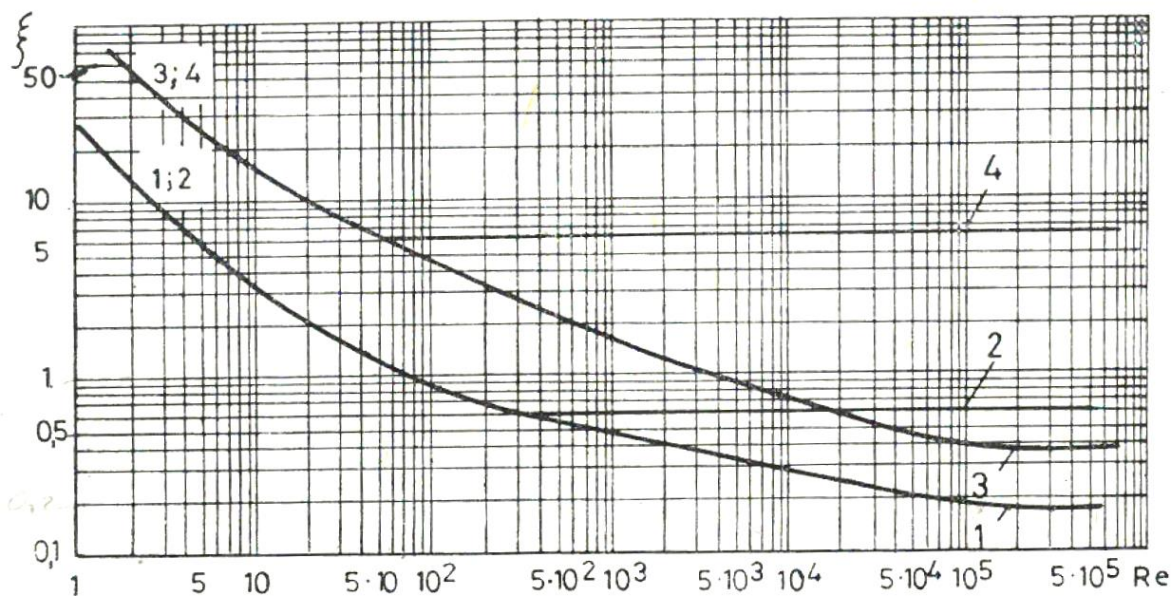
6.6 táblázat - A keverés valós teljesítményszükséglete két keverőelemnél

Összehasonlítás a szakirodalmi értékekkel

Az egy keverőelemes keverésnél mért és számított eredményeimet egy szakirodalmi [3] referenciával hasonlítottam össze. Ez azért volt szükséges, hogy megbizonyosodjak arról, hogy a mérés pontos volt-e vagy sem. A számításaim után a [3] forrásban található, a keverők ellenállástényezőire vonatkozó ellenállás-Reynolds-szám diagramon megkerestem a mérésem különböző Reynolds-számaihoz tartozó ellenállástényező értékeket. Ez egy logaritmikus diagram. A megfelelő Reynolds-szám x-tengelyről történő vetítése a karos keverőkhöz tartozó görbére, majd a görbén keletkező vetületi pont y-tengelyre történő vetítése megadja a megfelelő Reynolds-számhoz tartozó ellenállástényezőt. A diagram a 6.5 ábrán látható.

Ezen referencia alapján számolható keverési teljesítményszükséglet minél közelebb áll a mérésből számított eredményeinkhez, annál pontosabb volt a mérés.

A 6.7 táblázatban összevetem az egy keverőelemre számított értékeinket a szakirodalomban [3] foglaltak alapján számított értékekkel.

6.5 ábra - ξ - Re diagram a szakirodalom alapján [3]

n [1/s]	Re [-]	Mért értékek		Szakirodalmi értékek	
		P [W]	ξ [-]	P [W]	ξ [-]
1,5	16537,5	0,0094	0,2194	0,0099	0,2300
3	33075	0,0802	0,2328	0,0724	0,2100
3,5	38587,5	0,1148	0,2099	0,1122	0,2050
4	44100	0,1843	0,2256	0,1634	0,2000
5	55125	0,3574	0,2240	0,3111	0,1950
6	66150	0,6282	0,2279	0,5238	0,1900
7	77175	1,0159	0,2321	0,8099	0,1850
8	88200	1,4659	0,2243	1,1762	0,1800
9	99225	1,9534	0,2100	1,6282	0,1750

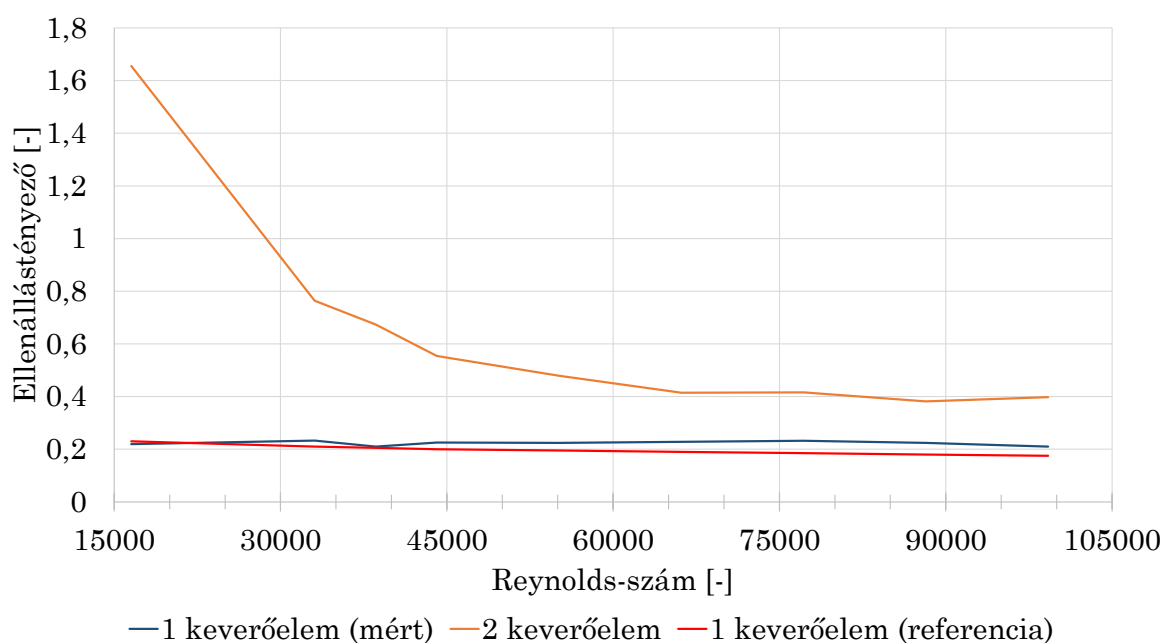
6.7 táblázat – A mért és szakirodalmi értékek összehasonlítása

Végül a 6.8 táblázatban összegeztem a mérési számításom százalékos eltéréseit a szakirodalmi referenciához képest.

n [1/s]	Eltérés [%]
1,5	-4,8399
3	9,7949
3,5	2,3263
4	11,3434
5	12,9595
6	16,6185
7	20,2825
8	19,7610
9	16,6480

6.8 táblázat – A keverés teljesítményszükségletének mért és szakirodalmi adatok százalékos eltérései

Számításaim lezárásaként közös diagramon (6.6 ábra) ábrázoltam három különböző görbét, melyek a különböző ellenállástényezőket ábrázolják a Reynolds-szám függvényében. A diagramon jól látszik, hogy az egy keverőelemmel mért értékekből számított eredmények közel állnak a szakirodalom [3] értékeihez, így a mérés eredményes volt. Ábrázoltam továbbá a két keverőelemes mérés során számított eredményt is, ezáltal látható annak viszonyulása az egy keverőelemes görbékhez.



6.6 ábra – A három görbe közös ξ – Re diagramja

Befejezés

A dolgozatban a keverés, mint egy nagyon gyakori vegyipari művelet kísérleti vizsgálatát mutattam be. A művelet során alapvető célunk a homogenizálás, melyhez egy keverőtengelyen keresztül a korábban ismertetett számos paramétertől függő teljesítményt kell a rendszerbe bevezetni. Ezen teljesítmény meghatározásának egyik fontos eleme az alkalmazott keverőelem ellenállástényezője. A vonatkozó szakirodalmakban számos geometriájú elem ellenállástényezője meghatározható, azonban, ha ez nem ismert akkor az egyik mód, hogy kísérleti úton, méréssel meghatározzuk. Jelen dolgozatban egy ilyen eljárást ismertetek.

A számítások elvégzése után megvizsgáltam, hogy a kapott eredmények mennyire állnak közel a szakirodalomban [3] fellelhető adatokhoz, ezáltal visszajelzést kaptam a mérések pontosságáról.

Ezen kívül elvégeztem néhány további számítást, mely alapjaiban igen hasonló az előbbi kísérletemhez, azzal a különbséggel, hogy itt két azonos keverőelem volt rögzítve ugyanazon a keverőszáron. A kapott teljesítményszükségleteket és ellenállástényezőket az egy keverőelemnél mért eredményekkel együtt táblázatokban rögzítettem, a jobb átláthatóság és követhetőség kedvéért. Végül egy közös diagramon ábrázoltam a három különféle eset görbéit.

Az összegzés és az adatok összehasonlítása után a kísérletet eredményesnek tekintem, hiszen az elvárásaimnak megfelelő pontossággal tudtam elvégezni a méréseket. A két keverőelem kísérlete és számítása szintén eredményesnek és látványosnak bizonyult. A dolgozat végén ábrázolt görbét látva úgy hiszem, hogy referenciaként felhasználható lesz a jövőben a szakdolgozatomhoz, vagy alkalmas lesz akár további tudományos felhasználásra is.

Irodalomjegyzék

- [1] DR. FONYÓ ZSOLT, DR. FÁBRY GYÖRGY – *Vegyipari műveletti alapismeretek*, Nemzeti Könyvkiadó, 1998
- [2] <http://vgt.uni-miskolc.hu/down/keveres.pdf> (letöltve: 2022.03.09.)
- [3] DR.PÁLFI ZOLTÁN –*Vegyipari készülékek – Szerkesztési atlasz*, Műszaki Könyvkiadó, 1986
- [4] DON W. GREEN, ROBERT H. PERRY – *Perry's chemical engineer's handbook (8th edition)*, The McGraw-Hill Companies Inc., 2008

Eredetiség nyilatkozat

Alulírott Patócs Ádám, a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karának hallgatója büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és aláírással igazolom, hogy a „A keverés, mint vegyipari folyamat, keverési mérés ipari keverővel” című dolgozatot saját magam készítettem, a benne leírt vizsgálatokat – ha ezt külön nem jelzem – magam végeztem el, és az ismertetett eredményeket magam értem el. Adatokat, információkat csak az irodalomjegyzékben felsorolt forrásokból használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Miskolc, 2022.04.11.

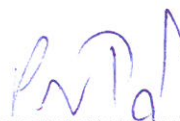


.....
a hallgató aláírása

A konzulens nyilatkozata

Alulírott Pusztai Tamás, a Miskolci Egyetem Vegyipari Gépészeti Intézeti Tanszékének (Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet) PhD hallgatója Patócs Ádám „A keverés, mint vegyipari folyamat, keverési mérés ipari keverővel” című TDK dolgozatát beadásra alkalmasnak ítélem.

Miskolc, 2022.04.11.

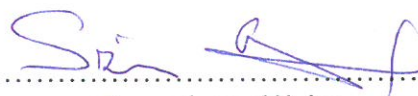


.....
a konzulens aláírása

A konzulens nyilatkozata

Alulírott Dr. Szepesi L. Gábor, a Miskolci Egyetem Vegyipari Gépészeti Intézeti Tanszékének (Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet) egyetemi docense Patócs Ádám „A keverés, mint vegyipari folyamat, keverési mérés ipari keverővel” című TDK dolgozatát beadásra alkalmasnak ítélem.

Miskolc, 2022.04.11.



.....
a konzulens aláírása