9.2. Tartózkodási idő eloszlás mérése kamrás reaktorban és töltött oszlopban

9.2.1. Bevezetés

A vegyipari berendezésekben az anyagok meghatározott hatásoknak (hőmérséklet, nyomás, fizikai és kémiai hatás) vannak kitéve. A különböző folyamatoknál lényeges, hogy ez a hatás mennyi ideig tart. Sok esetben a jó keveredés hátrányos, pl. a tej sterilizálásánál a csírák elpusztításához megfelelően magas hőmérsékletet kell elérni, de a tej csak rövid ideig lehet ezen a hőmérsékleten, hogy az értékes hatóanyagok (vitaminok) ne menjenek tönkre. Tehát gyors felmelegítést, rövid ideig tartó magas hőmérsékletű sterilizálást és gyors lehűtést kell elérni.

Ha a sterilizálást keverős tartályban folyamatos üzemben akarnánk végezni, akkor az eredmény nem lenne kielégítő. Éppen a jó keveredés miatt a bevezetett folyadék egy része rögtön, azaz sterilizálás nélkül távozna a készülékből, más részei viszont a kívánatosnál hosszabb ideig tartózkodnának a készülékben magas hőmérsékleten, ezalatt a vitaminok károsodnának. Mint látható, a keverős tartály folyamatos üzemben nem használható, ha az anyag csak meghatározott ideig tartózkodhat a készülékben magas hőmérsékleten.

Szakaszos üzemeltetésnél ez a probléma nem jelentkezik, mivel ekkor minden részecske tartózkodási ideje ugyanakkora.

A legtöbb esetben egy egységes tartózkodási idő lenne a kedvező, amikor is az anyag minden részecskéje, térfogateleme egyenlő sebességgel, ugyanolyan hosszú úton haladna át a készüléken (ez dugattyúszerű áramlásnál teljesül) és az áthaladás során az egymás után haladó fluidumelemek nem keverednének egymással. Ezt az ideális áramlási esetet **tökéletes kiszorítás**nak nevezzük.

9.2.2. Elméleti összefoglaló

Közepes tartózkodási idő

Stacionáriusan működő berendezésnél a közepes tartózkodási idő a következő összefüggés alapján számítható:

$$\bar{t} = \frac{m}{\dot{m}} \tag{9.2-1}$$

ahol m a készülékben levő anyag tömege (kg), $\dot{m}$ a készülékbe időegység alatt betáplált anyag tömege (tömegáram: kg/s). Ha a berendezésben az anyag sűrűsége nem változik, akkor a fenti képlet alapján:

$$\bar{t} = \frac{V}{\dot{V}} \tag{9.2-2}$$

ahol V a készülékben levő anyag térfogata (m^3), $\dot{V}$ térfogatáram (m^3/s).

Folyamatos üzemeltetésű berendezésben a betáplált anyag egyes részecskéinek tartózkodási ideje nagyon különböző lehet és, hogy egy adott részecske tartózkodási ideje mekkora , az a véletlentől függ. Csak azt tudjuk megmondani, hogy mekkora a valószínűsége annak, hogy a t tartózkodási idő valamilyen megadott határok közé fog esni.

A tartózkodási idő eloszlás vizsgálatok célja

A cél a vegyipari berendezésekben kialakuló valóságos áramlási és makrokeveredési viszonyok, a hő- és komponens-átadás matematikai modellekkel történő leírása. A matematikai modell segítségével számítani tudjuk anyagátadó berendezéseknél az elérhető szétválasztást, reaktoroknál a konverziót. Ismerve a tartózkodási idő eloszlás és a matematikai modell paramétereinek változását az üzemeltetési körülmények függvényében meghatározhatók az optimális üzemeltetési viszonyok, és tanulmányozható a matematikai modell alapján a szabályozóval összekapcsolt berendezés dinamikus viselkedése.

A modell kiválasztásánál fontos szempont, hogy az minden lényeges hidrodinamikai folyamat matematikai leírását tartalmazza, de az egyenlet lehetőleg egyszerű és a kísérleti úton meghatározandó paraméterek száma csekély legyen.

Ha a készülék nem megfelelően működik, rossz a szétválasztás, kicsi a konverzió, akkor a tartózkodási idő eloszlás mérés segítséget nyújt a hibás működés okainak felderítésében. A tartózkodási idő eloszlás vizsgálattal kimutatható a készülékben a csatorna (rövidzár), a főárammal rosszul keveredő holt-tér, és belső recirkuláció.

A tartózkodási idő eloszlás leírására az $E(t)$ sűrűség- és az $F(t)$ eloszlásfüggvény szolgál.

A tartózkodási idő eloszlás sűrűségfüggvény E(t)

A készüléket elhagyó anyagáramnak az a törtrésze, amely t' és $t' + dt$ intervallumba eső ideig tartózkodott a készülékben $E(t')\,dt$-vel egyenlő (9.2-1a. ábra). A sűrűségfüggvény 0-tól ∞-ig vett integrálja egy.

$$\int_0^\infty E(t)dt = 1 \tag{9.2-3}$$

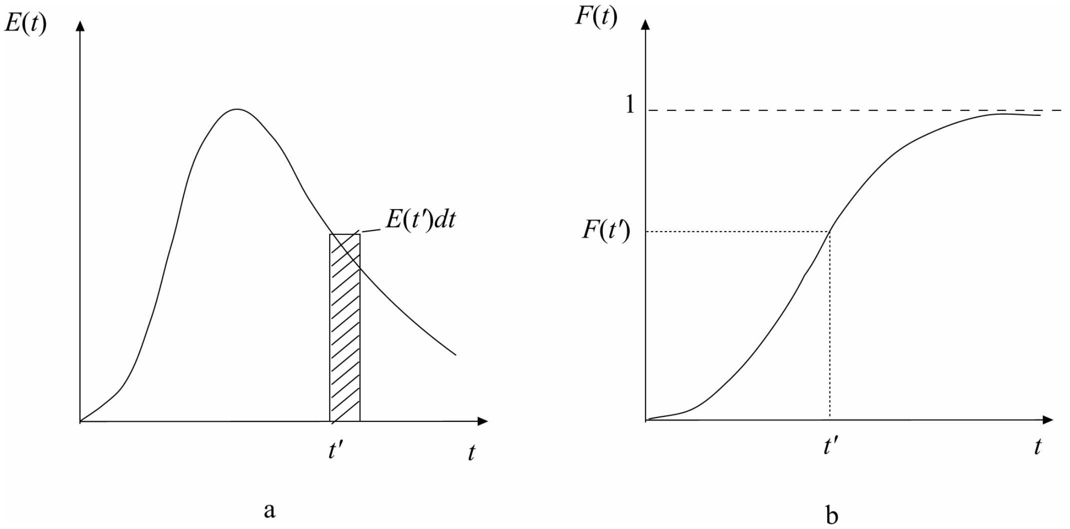
Az $E(t)$ függvény definíciójából következik, hogy dimenziója [1/idő]. Ha megszorozzuk az $E(t)$ függvényt a közepes tartózkodási idővel, akkor a dimenziónélküli alakot kapjuk:

$$E(\vartheta) = \bar{t}E(t) \tag{9.2-4}$$

ahol $\vartheta = t/\bar{t}$ a közepes tartózkodási időre vonatkoztatott relatív idő.

Tartózkodási idő eloszlásfüggvény F(t)

Az $F(t)$ eloszlásfüggvénynek valamely t' időponthoz tartozó értéke megadja a kilépő anyagáramnak azon hányadát, amely t' vagy annál rövidebb időt töltött a készülékben (9.2-1b. ábra).



9.2-1. ábra. Tartózkodási idő eloszlás: a) sűrűségfüggvény; b) eloszlásfüggvény

Az eloszlásfüggvény a sűrűségfüggvénynek 0-tól t'-ig vett integráljával egyenlő.

$$F(t') = \int_0^{t'} E(t)dt \qquad (9.2\text{-}5)$$

Ebből következik, hogy az eloszlásfüggvény t-vel mindig nő és határértékben egyhez tart, ha $t \to \infty$.

Tartózkodási idő eloszlás mérése

A tartózkodási idő eloszlását nyomjelzéses kísérlettel határozzuk meg. Nyomjelzőként olyan vegyületet választunk, amely kielégíti a következő követelményeket: csak a vizsgált fázisban oldódjon, az áramlást ne zavarja, a rendszeren változatlanul haladjon át (azaz ne reagáljon a készülékben lévő anyaggal, ne kötődjön meg), áramlástanilag a környező fázis részecskéihez hasonlóan viselkedjen és koncentrációja könnyen mérhető legyen.

A tartózkodási idő eloszlás meghatározására szolgáló módszerek lényege, hogy a stacionáriusan működő berendezés elején a betáplálási áramban koncentráció zavarást hozunk létre és a rendszert elhagyó áramban mérjük a válaszjelet. A készülékhez csatlakozó betápláló és anyagelvezető csővezetékékben csak konvektív anyagtranszporttal kell számolnunk, mivel a csővezetékekben az áramlási sebesség lényegesen nagyobb, mint a készülékben. Ez azt jelenti, hogy a berendezésből anyag nem jut ki (illetve nem kerül vissza) diffúzió vagy turbulens keveredés útján; azaz **a vizsgált rendszer keveredésre nézve zárt**.

Az **impulzuszavarás-**nál a betáplálási áramba n_0 (mol) mennyiségű nyomjelzőt juttatunk be a közepes tartózkodási időnél lényegesen rövidebb idő alatt és mérjük a jelzőanyag $c(t)$ koncentrációját (mol/m^3) a kilépő áramban az idő függvényében. A nyomjelző anyagnak az a hányada, amely a rendszert t és $t + dt$ időközben elhagyja $\dot{V}c(t)dt/n_0$ –val egyenlő.

A tartózkodási idő eloszlás sűrűségfüggvénynek az előzőekben ismertetett definíciója értelmében:

$$E(t)dt = \frac{\dot{V}c(t)dt}{n_0} \tag{9.2-6}$$

A bevitt nyomjelző mennyiségét nem szükséges előzőleg megmérni, mivel a mért $c(t)$ koncentráció–idő görbéből számítható:

$$n_0 = \dot{V}\int_0^\infty c(t)dt \tag{9.2-7}$$

Ennek felhasználásával:

$$E(t) = \frac{c(t)}{\int_0^\infty c(t)dt} \tag{9.2-8}$$

Tartózkodási idő eloszlás sűrűség görbék kiértékelése

A választott matematikai modell P_i paramétereinek értékét úgy határozzuk meg, hogy az impulzus zavarásra kapott válaszgörbéhez regresszióval közelítjük a modell alapján számított válaszgörbét. A számított görbe akkor illeszkedik a legjobban a mérési adatokhoz, ha az eltérések négyzeteinek összege minimális.

Momentum módszer

Az impulzus-válaszgörbék értékelésére az előzőnél gyorsabb módszer a momentum módszer. A tartózkodási idő eloszlás sűrűségfüggvénynek az origóra (t = 0) vonatkoztatott n-edik *kezdeti momentum*a definíció szerint

$$(M_n)_t = \int_0^\infty t^n E(t)dt \tag{9.2-9}$$

A t index M_n mellett arra utal, hogy ez a momentum [idő^n] dimenziójú. Az első kezdeti momentum $(M_1)_t$ az eloszlás középértéke. Keveredésre nézve zárt rendszernél $(M_1)_t$ a közepes tartózkodási idővel egyenlő. A középértékre, az eloszlás centrumára vonatkoztatott momentumot ***centrális momentum***-nak nevezzük.

$$(\mu_n)_t = \int_0^\infty (t-\bar{t})^n E(t)dt \tag{9.2-10}$$

A számítások során célszerű dimenziómentes mennyiségekkel dolgozni. A dimenziómentes momentumok definíciói:

$$M_n = \frac{(M_n)_t}{(\bar{t})^n} \quad és \quad \mu_n = \frac{(\mu_n)_t}{(\bar{t})^n} \tag{9.2-11}$$

A sűrűségfüggvény szélessége, a tartózkodási idők szórása a középérték körül μ_2 értékével jellemezhető. A második centrális momentumot ezért szórásnégyzetnek is nevezik, jelölése σ^2.

A momentum módszer lényege, hogy a mért tartózkodási idő eloszlás sűrűség görbéből (9.2-9) vagy (9.2-10) egyenletek szerint numerikus integrálással számított momentumokat $M_{n,\text{mért}}$ egyenlővé tesszük a választott modell megfelelő elméleti momentumaival $M_n(P_i)_{\text{modell}}$.

$$M_{n,\text{mért}} = M_n(P_i)_{\text{modell}} \tag{9.2-12}$$

Az egyenletek megoldásával megkapjuk a P_i paraméterek értékét.

Az impulzus-zavarás módszer hiányosságai: Az impulzus-zavarásra kapott válaszgörbe vége pontatlanul, nagy relatív hibával mérhető. Ezek a mérési pontatlanságok a magasabbrendű momentumok számításánál a t^n szorzótényező miatt különösen nagy súllyal szerepelnek. Ezenkívül az integrálás felső határának ($t = \infty$) a betartása sem valósítható meg.

A momentum módszerrel, az említett hibák miatt, nem kaphatunk feleletet arra a kérdésre, hogy a választott modell a tartózkodási idő eloszlást helyesen írja-e le vagy sem. Ez a kérdés csak a mért és a momentum módszerrel meghatározott paraméter értékkel számított $E(t)$ görbék összehasonlításával dönthető el. Ha a paraméterek egymástól függetlenek, akkor n paraméter értékének számításához n momentumot kell meghatároznunk. Mivel a második momentumnál magasabb rendűek egyre pontatlanabbul számíthatók, ezért ezt a módszert elsősorban egyszerű, két paraméteres modellek esetén használjuk.

Tökéletesen kevert tartály

Egy tartályt akkor tekinthetünk tökéletesen kevertnek, ha a betáplált anyag az átlagos tartózkodási időnél lényegesen rövidebb idő alatt egyenletesen eloszlik a teljes tartálytérfogatban. A gyakorlatban, ha nem túl viszkózus anyagot keverünk, ez a követelmény könnyen teljesíthető. Tökéletes keveredésnél a tartályban mindenütt ugyanaz a koncentráció és a kilépő áram összetétele megegyezik ezzel.

A nyomjelzőanyag instacionárius mérleg egyenlete:

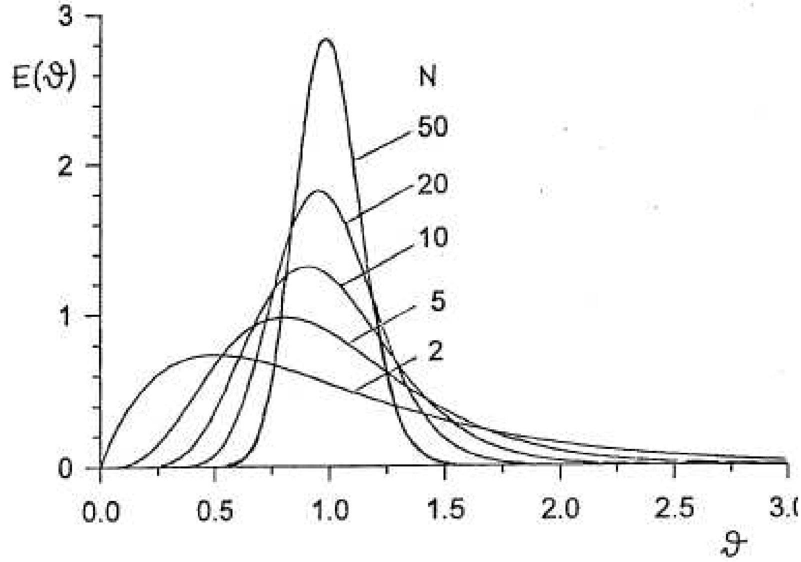
$$\dot{V}\left(c_{be} - c_{ki}\right) = V\frac{dc_{ki}}{dt} \tag{9.2-13}$$

Ebből levezethető a tartózkodási idő eloszlás sűrűségfüggvény:

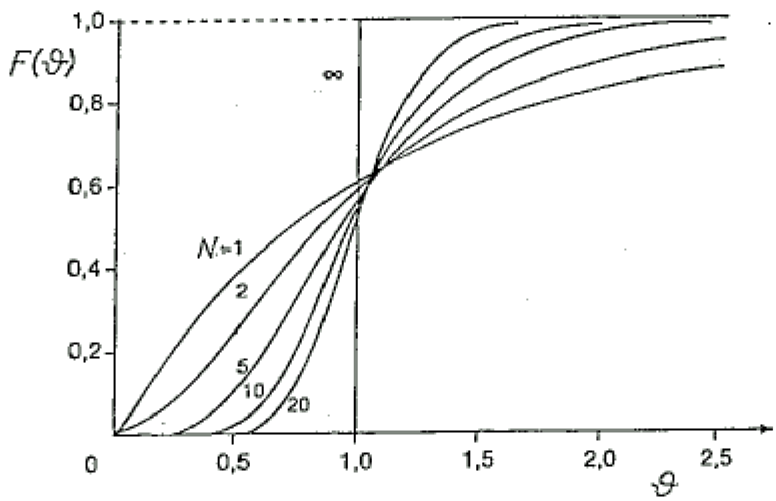
$$E(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{1}{\bar{t}}\exp\left(-t/\bar{t}\right) \tag{9.2-14}$$

Tartózkodási idő eloszlás sorbakapcsolt tartályok esetén (cellás modell)

A tartózkodási idő eloszlás matematikai leírására legelőször a sorbakapcsolt, azonos térfogatú, teljesen kevert tartályokból álló modellt (az ú.n. *cellás vagy kaszkád modell*-t) használták.



9.2-2. ábra. Tartózkodási idő eloszlás sűrűségfüggvény N darab tartályból álló kaszkád esetén



9.2-3. ábra. Tartózkodási idő eloszlásfüggvény sorbakapcsolt tartályokból álló rendszernél

A cellás modell dimenziómentes tartózkodási idő eloszlás sűrűségfüggvénye:

$$E(\vartheta) = \frac{N(N\vartheta)^{N-1}}{(N-1)!}\exp(-N\vartheta) \qquad (9.2\text{-}15)$$

ahol N a teljesen kevert tartályok (cellák) száma, $\vartheta = t/\bar{t}$ a közepes tartózkodási időre vonatkoztatott dimenziómentes relatív idő, $\bar{t}$ az átlagos tartózkodási idő az egész rendszerben.

A dimenziómentes szórásnégyzet:

$$\sigma^2 = 1/N \tag{9.2-16}$$

A cellás modell lépcsős készülékeknél használható, ahol megfelelő szerkezeti kialakítással megakadályozzuk a lépcsők közötti keveredést: pl. perforált tányérokkal lépcsőkre osztott egyenáramú buborékoltató oszlopnál a folyadékfázis tartózkodási idő eloszlásának leírására adekvát ez a modell.

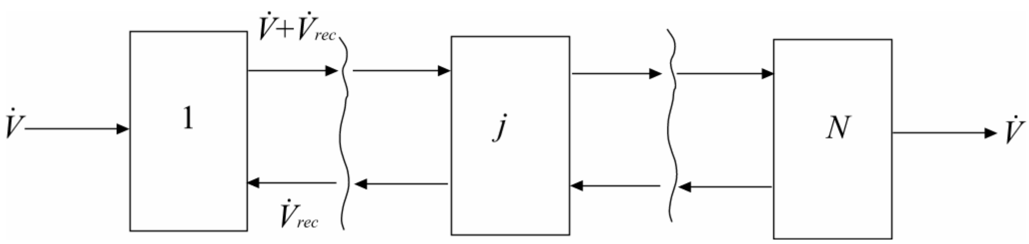
A tartózkodási idő eloszlás sűrűségfüggvény számításánál, ha a σ^2-ből számított cellaszám (N) nem egész szám, akkor a (9.2-16) egyenlet nevezőjében lévő (N – 1)! helyébe a Γ-függvényt kell behelyettesíteni (Γ-modell).

$$\Gamma(n) = \int_0^\infty x^{n-1} \exp(-x) dx \tag{9.2-17}$$

ha N pozitív egész szám, akkor $\Gamma(N) = (N-1)!$

Recirkulációs modell

E modell szerint a készülék N egyenlő térfogatú tökéletesen kevert cellából áll. A szomszédos cellák között fellépő recirkuláció erősségét a γ recirkulációs tényező értékével jellemezzük: $\gamma = \dot{V}_{rec} / \dot{V}$, a recirkulációs áram ($\dot{V}_{rec}$) és a betáplálási áram ($\dot{V}$) hányadosa. A modell vázlata a következő ábrán látható.



9.2-4. ábra. Recirkulációs modell

A tartózkodási idő eloszlás sűrűségfüggvény egyenlete [1]:

$$E(\vartheta) = 2N\gamma \cdot a^{N+1} \sum_{j=1}^{N} A_j \cdot exp(-z_j \vartheta) \tag{9.2-18}$$

ahol

$$A_j = (-1)^{j+1} \frac{sin^2 \psi_j}{1+z_j}$$

$$z_j = N\left[1 + 2\gamma\left(1 - a \cdot cos\psi_j\right)\right]$$

$$a = \left(\frac{1+\gamma}{\gamma} \right)^{1/2}$$

ψ_j a következő transzcendens egyenlet j-edik gyöke

$$\psi_j \left(N+1 \right) + 2arctg \left(\frac{sin\,\psi_j}{a - cos\,\psi_j} \right) = j\pi$$

A szórásnégyzet

$$\sigma^2 = \frac{1+2\gamma}{N} - \frac{2\gamma(1+\gamma)}{N^2} \left[1 - \left(\frac{\gamma}{1+\gamma} \right)^N \right] \tag{9.2-19}$$

Diffúziós modell

A nyomjelzőanyagnak a készülék térfogatelemére vonatkozó instacionárius mérlegegyenlete [2]:

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = -\mathrm{div}(\mathbf{v}c_i) + \mathrm{div}(D\,\mathrm{grad}\,c_i) \tag{9.2-20}$$

ahol D diszperziós (más néven makrokeveredési vagy turbulens diffúziós) tényező (m^2/s), $\mathbf{v}$ sebességvektor (m/s).

Az időegység alatt bekövetkező koncentrációváltozás egyrészt konvekcióval [$-\mathrm{div}(\mathbf{v}c_i)$], másrészt diffúzióval [$\mathrm{div}(D\mathrm{grad}\ c_i)$] jön létre. A (9.2-20) összefüggés a diffúziós vagy más néven diszperziós modell alap egyenlete.

Alkalmazzuk a fenti egyenletet nagy átmérőjű henger alakú készülékre.

$$D_{rad} \left[\frac{\partial^2 c}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial c}{\partial r} \right] + D_{ax} \frac{\partial^2 c}{\partial l^2} - \mathrm{v}\frac{\partial c}{\partial l} = \frac{\partial c}{\partial t} \tag{9.2-21}$$

ahol D_{rad} és D_{ax} a radiális ill. tengelyirányú (axiális) keveredési tényező, r a sugárirányú helykoordináta (m), l hosszkoordináta (m), v a dugattyúszerű axiális áramlás sebessége.

- A fenti egyenlet akkor érvényes, ha a készülékben az áramlás turbulens (ekkor a fluidum axiális sebességprofilja közel dugattyúszerű),
- a radiális és az axiális keveredési tényező állandó,
- a radiális irányú sebesség zérus.

Kis átmérőjű, kör keresztmetszetű hengeres csőben, turbulens áramlásnál a radiális keveredés következtében a koncentráció a készülék egy adott keresztmetszetében mindenütt azonos. Ebben az esetben a (9.2-21) egyenlet tovább egyszerűsödik:

$$D_{ax}\frac{\partial^2 c}{\partial l^2}-\mathrm{v}\frac{\partial c}{\partial l}=\frac{\partial c}{\partial t} \qquad (9.2\text{-}22)$$

Ez az *egydimenziós diffúziós modell* transzportegyenlete.

Szorozzuk meg a (9.2-22) egyenlet mindkét oldalát a közepes tartózkodási idővel ($\bar{t}=L/\mathrm{v}$) és osszuk el a nyomjelző betáplálási koncentrációjával c_{be} (a bemenőjel értékével).

$$\frac{D_{ax}}{\mathrm{v}L}\frac{\partial^2 C}{\partial z^2}-\frac{\partial C}{\partial z}=\frac{\partial C}{\partial \vartheta} \qquad (9.2\text{-}23)$$

ahol L a készülék hossza (m), $z=l/L$ dimenziómentes helykoordináta, $C=c/c_{be}$. A $(\mathrm{v}L/D_{ax})$ dimenziómentes csoportot a szakirodalomban PECLET számnak (Pe) hívják. Tökéletes makroméretű keveredésnél $D_{ax}/\mathrm{v}L=\infty$, tökéletes kiszorításnál $D_{ax}/\mathrm{v}L=0$.

Ha a készülékhez csatlakozó betápláló és termékelvezető csővezetékek átmérője a készülékénél lényegesen kisebb, akkor keveredés (diszperzió) csak a készülékben lép fel és a csövekben tökéletes kiszorítással számolhatunk (keveredésre nézve zárt rendszer). Ennek megfelelően a készülék elejére, illetve végére vonatkozó peremfeltételek:

$$\mathrm{v}c_0=\mathrm{v}c\big|_{l=0}-D_{ax}\frac{\partial c}{\partial l}\bigg|_{l=0} \qquad \text{és} \qquad \frac{\partial c}{\partial l}\bigg|_{l=L}=0 \qquad (9.2\text{-}24)$$

A készülék elejére felírt LANGMUIR–DANCKWERTS peremfeltétel csak kevert rendszerre (pl. mechanikusan kevert oszlop) érvényes. E peremfeltétel szerint a koncentráció lefutásban a $z=0$ helyen szakadás van, stacionárius esetben is.

A tartózkodási idő eloszlás leírására az egydimenziós diffúziós modell a legkülönbözőbb folytonos üzemű vegyipari berendezésnél (töltött abszorber, folyadék-folyadék és szilárd-folyadék extraktor, buborékoltató oszlop reaktor, golyós malom, stb.) bevált.

A keveredésre nézve mindkét végén zárt *egydimenziós diffúziós modell* tartózkodási idő eloszlás sűrűségfüggvénye [3]:

$$E(\vartheta)=\frac{2}{Pe}exp\left(\frac{Pe}{2}\right)\sum_{j=1}^{\infty}B_j\cdot exp\left(-m_j\vartheta\right) \qquad (9.2\text{-}25)$$

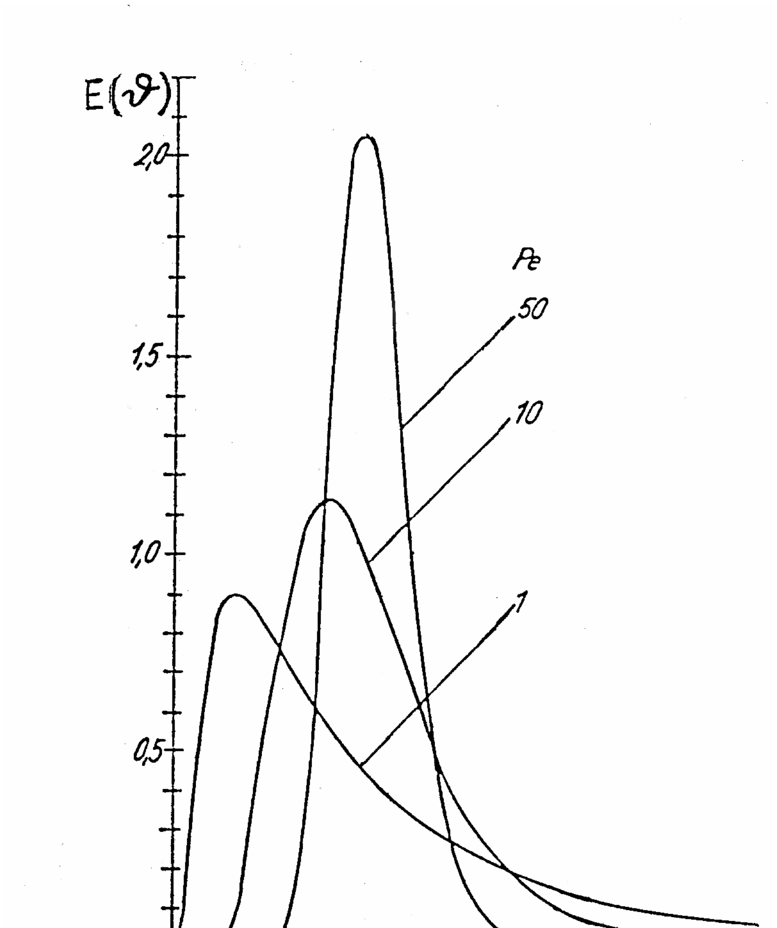
ahol

$$B_j = (-1)^{j+1} \frac{\varphi_j^2}{1+m_j}$$

$$m_j = \frac{\varphi_j^2}{Pe} + \frac{Pe}{4}$$

φ_j a $\operatorname{ctg}\varphi_j = \dfrac{\varphi_j}{Pe} - \dfrac{Pe}{4\varphi_j}$ transzcendens egyenlet j-edik gyöke.

A szórásnégyzet: $\sigma^2 = \dfrac{2}{Pe}\left(1 - \dfrac{1}{Pe}\left[1 - exp(-Pe)\right]\right)$ (9.2-26)



9.2-5. ábra. Egydimenziós diffúziós modell tartózkodási idő eloszlás sűrűségfüggvénye, ha a rendszer keveredésre nézve mindkét végén zárt

9.2.3. A készülék leírása és üzemeltetése

A kísérleti berendezés folyamatvázlata a 9.2-6. ábrán látható. A felső szinten elhelyezett adagoló tartályból desztillált vizet táplálunk a vizsgált készülékbe. A térfogatáramot rotaméterrel mérjük. A csapok megfelelő beállításával a kamrás reaktort, vagy a töltött oszlopot üzemeltethetjük.

A **kamrás reaktor** 58,5 mm átmérőjű, 200 mm hosszú acélcső, melyet távtartó rudakra fűzött fémgyűrűk 5 egyenlő térfogatú kamrára (cellára) osztanak. Az álló gyűrűk belső átmérője 18,5 mm. A kamrák keverését a reaktorcsővel koncentrikus tengelyre szerelt, 40 mm átmérőjű sima keverőtárcsák biztosítják. A keverő fordulatszáma 0-1200 1/min tartományban fokozatmentesen változtatható. A folyadékot a reaktorba alul vezetjük be és fent távozik. A nyomjelzőt (300 g/l koncentrációjú konyhasó oldatot) a reaktor alján levő injekciós tűn keresztül juttatjuk be a készülékbe. A koncentrációval arányos vezetőképesség mérésére a reaktor felső részébe beépített elektródpár szolgál. A reaktort termosztáló köpeny veszi körül.

A **töltött oszlop** 35 mm átmérőjű, 910 mm hosszú üvegcső. A töltetet (gömb, Raschig-gyűrű stb.) rendszeresen változtatjuk. Az oszlopban a folyadék alulról felfelé áramlik. A sóoldatot injekciós tűn keresztül adjuk be. A válaszjelet az oszlop tetején vezetőképesség mérő cellával mérjük.

A készülékbe beépített mérőcellák egy konduktométerhez csatlakoznak. A konduktométer kijelzi a koncentrációval arányos vezetőképességet. A konduktométer feszültség kimenőjele egy interfacen keresztül számítógépes mérő-adatgyűjtő rendszerbe jut. A mérés indításától a számítógép, beállítható időközönként, a konduktométer kimenőjelét megméri és analóg/digitális jelátalakítás után 0-5 tartományban kijelzi. A mérés végén az adatok file-ba elmenthetők.

A mérés kivitelezése

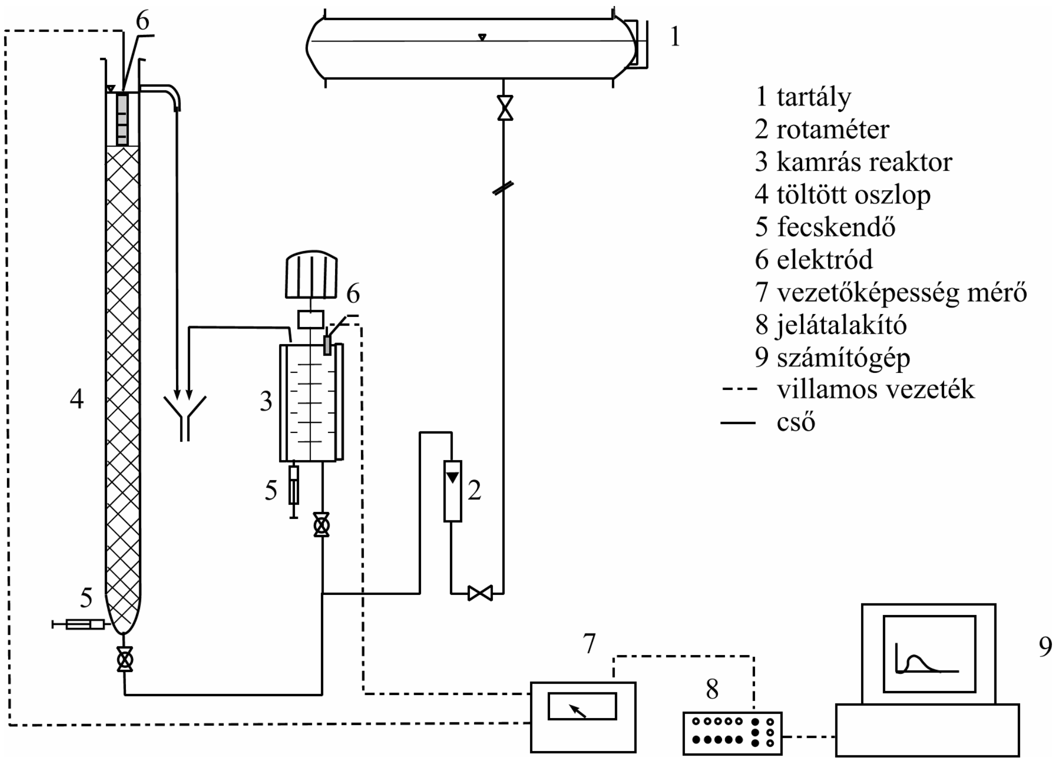
Az adagoló tartályt desztillált vízzel feltöltjük. Elkezdjük a folyadék betáplálást. Célszerű a készüléket a mérés elkezdése előtt desztillált vízzel átmosni, hogy a folyadék kicserélődjék. Ezután állítsuk be a mérésvezető által megadott térfogatáramot (5-15 l/h) és a kamrás reaktornál a fordulatszámot (500-900 1/min). Injektáljuk be a nyomjelző anyagot és ezzel egyidejűleg indítsuk el az adatgyűjtést. A mérés-adatgyűjtést a LABDAS program végzi. A részletes használati útmutató a számítógép mellett megtalálható. Kérjük, hogy az előírásnak megfelelően végezzék a mérést. Ha a válaszjel megközelíti az alapjelet (a mérés kezdésekor az első szám a képernyőn) állítsuk le a mérést és az egyéb paraméterek beírása után mentsük el az adatokat. Az elvégzendő mérések számát a mérésvezető adja meg.

9.2.4. A mérések értékelése

A mért impulzus válaszgörbék a tartózkodási idő eloszlás (TIE) programmal értékelhetők. A számítógép mellett részletes útmutatót találnak a program használatához.

Az adatfile könyvtárból egymás után válasszák ki a saját méréseiket. Mindegyik adatsort értékeljék a momentum módszerrel. A program a mért görbe második centrális momentumából a (9.2-16), (9.2-19) és (9.2-26) összefüggésekkel kiszámítja az effektív cellaszámot (N), a recirkulációs tényezőt (g) és a Peclet számot (Pe). Töltött oszlopnál a recirkulációs tényező nem értelmezhető. Ezután a mért impulzus-válaszból kapott sűrűségfüggvényt ($E(\vartheta)$) hasonlítsák össze a keveredési modellek (Γ-modell, recirkulációs modell, diffúziós modell) elméleti görbéivel. A számításokhoz a momentummódszerrel kapott paramétereket (N, g, Pe) használják. A grafikus ábrán megjelenik a mért és számított görbe közötti eltérés–négyzetösszeg (dimenziómentes!). Ezek értéke alapján válasszák ki a készülékben fellépő makrokeveredés leírására alkalmas matematikai modellt.

Javasolt kiegészítő feladat: A keveredést jól leíró modellnél, a mért és számított görbe közötti eltérés-négyzetösszeg minimalizálásával, keressék meg a mért tartózkodási idő eloszlás sűrűséggörbét legjobban közelítő elméleti görbe paraméterét.



9.2-6. ábra Kísérleti berendezés tartózkodási idő eloszlás mérésére

Mérési jegyzőkönyv

Készülék: kamrás reaktor/töltött oszlop

Keverő fordulatszám:	1/min
Betáplálási térfogatáram:	dm^3/h
Átlagos tartózkodási idő:	s

Modell	**Paraméter**	**Eltérés-négyzetösszeg**
Γ-modell	*N*:	
Recirkulációs	*g*:	
Diffúziós	*Pe*:	

Megjegyzés:

Irodalom:

[1] Roemer, M.H., Durbin, L.D.: Ind. Eng. Chem. Fundam., 6, 120 (1967)

[2] Fonyó Zs., Fábry Gy.: Vegyipari művelettani alapismeretek, 552. old., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1998.

[3] Nagata, Sh.: Mixing, 227. old., J. Wiley, N.Y., 1975.

Ajánlott irodalom:

1. Levenspiel, O.: Chemical Reaction Engineering, J. Wiley, New York, 1972.
2. Pekovits L.: Az axiális keveredés problémája a modellezésben, Kémiai Közlemények, 35, 293 (1971)
3. Sawinsky J.: Kémiai reaktorok, (Egyetemi jegyzet kézirat), Budapest, 1999.

Készítette: Sawinsky János
Simándi Béla

Ellenőrizte: Deák András