

Fluidizációs szárító hőmérséklet-különbség számítási módszerének hatása a hő- és anyagátadást leíró modellre

Effect of the mean temperature difference in the heat and mass transfer model of fluidized bed dryer

SZABÓ Viktor¹, PhD gépészmérnök
POÓS Tibor², PhD egyetemi docens

^{1,2}Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar,
Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék
H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., D épület 110., Tel.:+3614632529, <http://www.epget.bme.hu>,
¹szabo.viktor@gpk.bme.hu, ²poos.tibor@gpk.bme.hu

Abstract

The fluidized bed dryers' heat and mass transfer models are sensitive to the mean temperature difference calculation method. Since the outlet temperature of the drying gas and the product are nearly the same, the limits of each mean temperature difference cause a significant error in the description of the drying process. Paterson formula is suggested to determine the mean temperature difference when the temperature of the drying gas at the dryer's inlet and outlet and the temperature of the particles are known.

Keywords: fluidized bed dryer, mean temperature difference, heat and mass transfer model

Kivonat

A fluidizációs szárítók műveletének méretezésére kidolgozott hő- és anyagátadást leíró modell érzékeny a közepes hőmérséklet-különbség számításának módszerére. Mivel a szárítóból kilépő szárítógáz hőmérséklete és a száradó szemcsés anyag hőmérséklete közel azonos, ezért az egyes hőmérséklet-különbségek határértékei jelentős hibát okoznak a szárítási folyamat leírásában. Vizsgálatunk eredményeként a Paterson-formulát javasoljuk a közepes hőmérséklet-különbség meghatározására, ha a szárítógáz szárítóba be- és kilépő, valamint a száradó szemcsés anyag hőmérséklete ismert.

Kulcsszavak: fluidizációs szárító, közepes hőmérséklet-különbség, hő- és anyagátadást leíró modell

1. BEVEZETÉS

Hő- és anyagátadást leíró modellt dolgoztunk ki térfogati hőátadási tényező felhasználásával fluidizációs szárítóra. A modell segítségével számítható a száradó szemcsés anyag és a szárítógáz tulajdonságainak változása az idő függvényében, amelynek segítségével a szárítás műveleti ideje meghatározható. Továbbá a modellel meghatározható a szárítótér szárítás szempontjából aktív magassága is. A hő- és anyagátadást a szárítási idő függvényében leíró modell esetén a száradó szemcsés anyag hőmérsékletének differenciális változása meghatározható [1]:

$$dT_P = (\alpha a) \frac{A_d L}{m_P c_P} \Delta T_{G-P} dt + \frac{m_{dP} r_F}{m_P c_P} \frac{dX}{dt}, \quad (1)$$

ahol (αa) a térfogati hőátadási tényező, A_d a szárítótér üres keresztmetszete, L az anyaghalmoz nyugvó ágymagassága, m_P a nedves szemcsés anyaghalmoz tömege, c_P a nedves szemcsés anyag fajhője, ΔT_{G-P} a közepes hőmérséklet-különbség a szárítógáz és a száradó szemcsés anyag között, m_{dP} a száraz szemcsés anyaghalmoz tömege, r_F a párolgási hő, dX a szemcsés anyag száraz anyagra vonatkoztatott nedvességtartalmának megváltozása dt időintervallum alatt.

Kutatásunk célja megvizsgálni a közepes hőmérséklet-különbség értékének hatását a hő- és anyagátadást leíró modell eredményeire. A szárítási folyamatok leírásában általánosan az 1. táblázatban látható módon számított logaritmikus közepes hőmérséklet-különbség hajtóerőt (ΔT_{lm}) használják [2].

A logaritmikus közepes hőmérséklet-különbség meghatározása számos pontatlanságot eredményez numerikus számításokban [3]. Az 1. táblázat tartalmazza a szakirodalomban található összefüggéseket a logaritmikus közepes hőmérséklet-különbség helyettesítésére, amelyeket eddig főként hőcserélők méretezésénél alkalmaztak. A táblázatban ΔT_A jelöli a szárítóba belépő szárítógáz hőmérsékletének és a száradó szemcsés anyag hőmérsékletének különbségét, míg ΔT_B a szárítóból kilépő szárítógáz és a száradó szemcsés anyag hőmérsékletének különbségét. A hőmérséklet-különbség hajtóerő számításából adódó pontatlanság abból ered, hogy fluidizációs szárításnál ΔT_B tagnak alacsony az értéke ($\Delta T_B < 1^\circ C$), ezáltal megbízhatatlan eredményeket kapunk a számítások során.

1. táblázat. A közepes hőmérséklet-különbség számítására alkalmas összefüggések

Név	Egyenlet	Hivatkozás
ΔT_{lm}	$\frac{\Delta T_A - \Delta T_B}{\ln \frac{\Delta T_A}{\Delta T_B}}$	[2]
$\Delta T_{Underwood}$	$\left(\frac{\Delta T_A^{1/3} + \Delta T_B^{1/3}}{2} \right)^3$	[4]
$\Delta T_{Paterson}$	$\frac{\Delta T_A + \Delta T_B}{2} + 2\sqrt{\Delta T_A \Delta T_B}$	[5]
ΔT_{Chen}	$\sqrt[3]{\frac{\Delta T_A + \Delta T_B}{2}} \sqrt[3]{\Delta T_A \Delta T_B}$	[6]

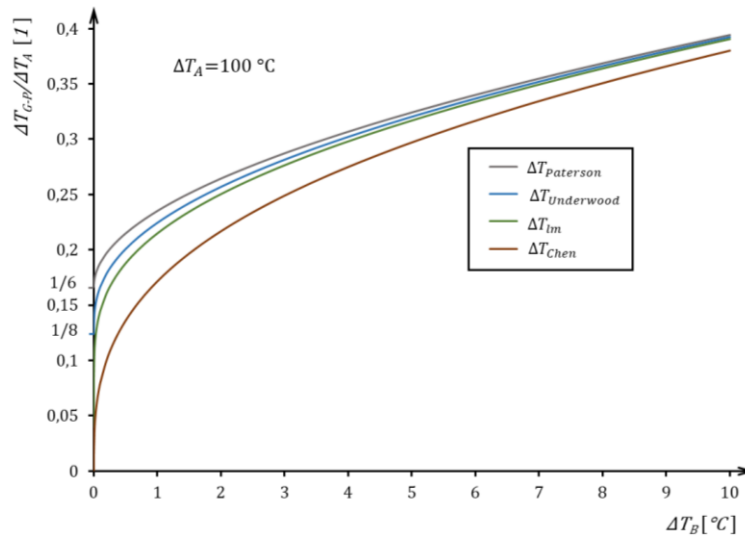
Munkánk célja, hogy összefüggést javasoljunk a közepes hőmérséklet-különbség számítására fluidizációs szárítás esetén, amennyiben a szárítógáz szárítóba be- és kilépő hőmérséklete, valamint a száradó szemcsés anyag hőmérséklete ismert egy adott időpillanatban.

2. MÉRÉS ÉS MÓDSZER

Az 1. táblázatban szereplő egyenletek felhasználásával adódó eltéréseket grafikusán is lehet szemléltetni. Az 1. ábrán a közepes hőmérséklet-különbség (ΔT_{G-P}) és a nagyobb hőmérséklet-különbség (ΔT_A) arányának változása látható a kisebb hőmérséklet-különbség (ΔT_B) függvényében. Ebben a példában ΔT_A számértéke $100^\circ C$. Az említett egyenletekkel meghatározott hőmérséklet-különbségek határértékei $\Delta T_B \rightarrow 0$ esetén a 2. táblázatban láthatóak. Megfigyelhető, hogy a határértékek jelentősen eltérnek egymástól.

2. táblázat. Az egyes egyenletekkel számított közepes hőmérséklet-különbségek határértékei

$\lim_{\Delta T_B \rightarrow 0} \Delta T_{lm} = 0$	$\lim_{\Delta T_B \rightarrow 0} \Delta T_{Underwood} = \frac{1}{8} \Delta T_A$	$\lim_{\Delta T_B \rightarrow 0} \Delta T_{Paterson} = \frac{1}{6} \Delta T_A$	$\lim_{\Delta T_B \rightarrow 0} \Delta T_{Chen} = 0$
---	---	--	---



1. ábra. A vizsgált közepes hőmérséklet-különbségek és a nagyobb hőmérséklet-különbségek arányának változásai a kisebb hőmérséklet-különbségek függvényében

Az 1. ábra alapján számottevő eltérés mutatkozik a különböző hőmérséklet-különbségekkel számított értékek között $\Delta T_B < 10 \text{ }^\circ\text{C}$ alatt. Ez a bizonytalanság pontatlanságokat eredményez a fluidizációs szárítók hő- és anyagátadást leíró modelljében, főként alacsony ΔT_B esetén, ami nagyon gyakori a valóságban.

A továbbiakban megvizsgáltuk egy fluidizációs szárítás választott mérési adatsorának felhasználásával a szárítóból kilépő szárítógáz hőmérsékletének eltéréseit, ha különböző hőmérséklet-különbség formulákat alkalmazunk a számítások során. A mérési adatsor főbb műveleti értékei a 3. táblázatban láthatók. A táblázatban d_p jelöli az anyag jellemző méretét, $T_{G,in}$ a szárítóba belépő szárítógáz hőmérsékletét, \dot{m}_{dG} a szárítógáz tömegáramát, $T_{G,out}^{me}$ a szárítóból kilépő szárítógáz hőmérsékletének mért értékét, $T_{G,out}^{const}$ a modellel számított kilépő gázhőmérséklet értékét, míg T_G^{sat} a Mollier-diagram által meghatározott telítési hőmérsékletet.

3. táblázat. A vizsgálatához felhasznált mérési adatsor

anyag ^a	d_p	$T_{G,in}$	$Y_G^{z=z_0}$	\dot{m}_{dG}	m_{dP}	L	$T_{G,out}^{me}$	$T_{G,out}^{const}$	T_G^{sat}
	m	$^\circ C$	$\frac{g_{H_2O}}{kg_{dG}}$	g/s	g	m	$^\circ C$	$^\circ C$	$^\circ C$
	m	C	kg_{dG}	g/s	g	m	C	C	C
k	1	6	5	0	0	1	2	2	2
öles	,8	1,0	,3	,029	,904	80	5,3	1,2	5,4

3. EREDMÉNYEK

Az abszolút eltérések meghatározhatók a különböző hőmérséklet-különbség formulákkal (ΔT_{lm} , $\Delta T_{Underwood}$, $\Delta T_{Paterson}$, ΔT_{Chen}), a modell által számított értékek és a Mollier-diagram által meghatározott telítési értékek, valamint a mért értékek között, a szárítás állandó száradási sebességű szakaszán. A modellel számított és a telítési érték közötti abszolút eltérés az alábbi összefüggéssel számítható:

$$\Delta T_{G,out}^{sat} = |T_{G,out}^{const} - T_G^{sat}|, \quad (2)$$

illetve a modellel számított és a mért hőmérsékletek közötti eltérés:

$$\Delta T_{G,out}^{me} = |T_{G,out}^{const} - T_{G,out}^{me}|. \quad (3)$$

Az abszolút eltérések a 4. táblázatban szerepelnek.

4. táblázat. A mért és a telítési értékek összehasonlítása a modellel számított értékekkel [1]

logaritmikusan			Underwood			Paterson			Chen		
$T_G^{const} _{\Delta T_{lm}}$	$\Delta T_{G,out}^{sat}$	$\Delta T_{G,out}^{me}$	$T_G^{const} _{\Delta T_{Und.}}$	$\Delta T_{G,out}^{sat}$	$\Delta T_{G,out}^{me}$	$T_G^{const} _{\Delta T_{Pat}}$	$\Delta T_{G,out}^{sat}$	$\Delta T_{G,out}^{me}$	$T_G^{const} _{\Delta T_{Chen}}$	$\Delta T_{G,out}^{sat}$	$\Delta T_{G,out}^{me}$
$^\circ C$	$^\circ C$	$^\circ C$	$^\circ C$	$^\circ C$	$^\circ C$	$^\circ C$	$^\circ C$	$^\circ C$	$^\circ C$	$^\circ C$	$^\circ C$
18,2	7,2	7,1	17,8	7,6	7,5	21,2	4,2	4,1	11,8	13,6	13,5

Az összehasonlításból megállapítható, hogy a Paterson-formulával számított átlagos hőmérséklet-különbséggel adódtak a legkisebb eltérések a modellel számított értékek és a telítési értékek között. A hő- és anyagátadást leíró modellel meghatározott és a telítési hőmérséklet különbség ebben az esetben $4,2^{\circ}\text{C}$, a modell és a mérési eredmény közötti különbség pedig $4,1^{\circ}\text{C}$ volt.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A hő- és anyagátadást leíró modell érzékeny a közepes hőmérséklet-különbség számítási módszerére. Mivel a szárítóból kilépő szárítógáz és a száradó szemcsés anyag hőmérséklete közel azonos, ezért az egyes hőmérséklet-különbségekből számított értékek jelentős hibát okoznak a szárítási folyamat leírásában. Vizsgálatunk eredményeként a Paterson-formulát javasoljuk a közepes hőmérséklet-különbség meghatározására, ha a szárítógáz szárítóba be- és kilépő, valamint a száradó szemcsés anyag hőmérséklete ismert. A közepes hőmérséklet-különbségek tényleges értékeinek közvetlen mérése segíthet eldönteni, hogy mely egyenlet alkalmazható a fluidizációs szárítók hőmérséklet-különbség hajtóerejének számítására.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet a Gépészmérnök-képzésért Alapítványnak (1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.) a munkában nyújtott anyagi támogatásért. Köszönjük a Richter Gedeon Nyrt. Centenárium Alapítványnak (1103 Budapest, Gyömri út 19-21.) a munkában nyújtott anyagi támogatást. Külön köszönet Dr. Örvös Máriának a munkában nyújtott segítségével.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] V. Szabó, *Fluidizációs szárítás hő- és anyagátadási folyamatainak modellezése*. Budapest: Doktori értekezés, 2019.
- [2] A. Iguaz, A. Esnoz, G. Martinez, A. Lopez, and P. Virseda, 'Mathematical modelling and simulation for the drying process of vegetable wholesale by-products in a rotary dryer', *Journal of Food Engineering*, vol. 59, no. 2, pp. 151–160, Sep. 2003, doi: 10.1016/S0260-8774(02)00451-X.
- [3] A. Zavala-Río, R. Femat, and R. Santiesteban-Cos, 'An analytical study of the logarithmic mean temperature difference', *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 4, no. 3, pp. 201–212, 2005.
- [4] A. J. V. Underwood, 'Simple Formula to Calculate Mean Temperature Difference', *Chemical Engineering*, vol. 77, p. 192, 1970.
- [5] W. R. Paterson, 'A replacement for the logarithmic mean', *Chemical Engineering Science*, vol. 39, no. 11, pp. 1635–1636, 0 1984, doi: 10.1016/0009-2509(84)80090-1.
- [6] J. J. J. Chen, 'Comments on Improvements on a Replacement for the Logarithmic Mean', *Chemical Engineering Science*, vol. 42, pp. 2488–2489, 1987.