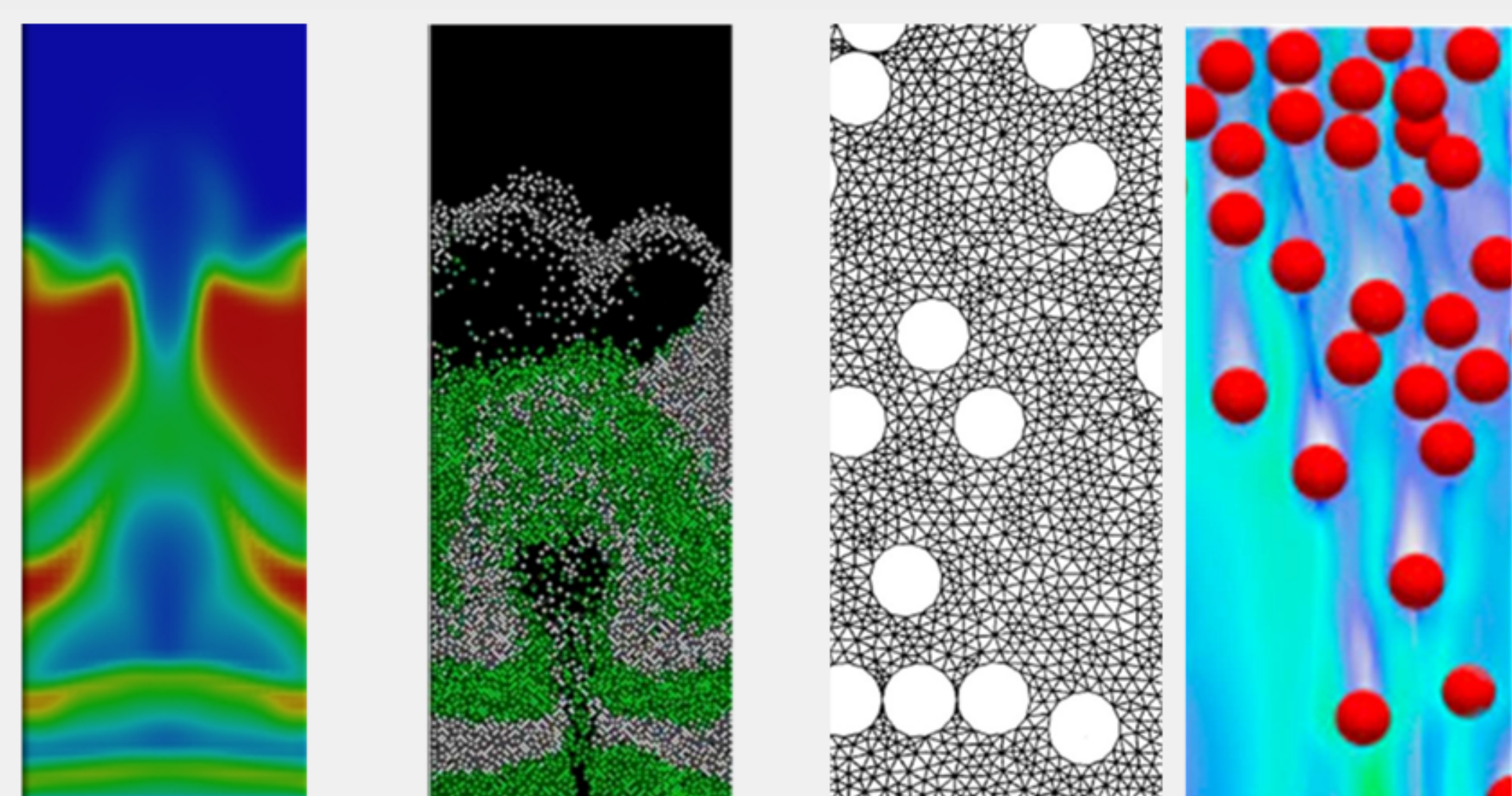


## Bevezetés

A vegyiparban gyakran alkalmaznak gáz és szilárd fázist tartalmazó rendszereket, azonban ezen rendszerek áramlásának leírása igen komplex feladat. Az ilyen műveleti egységekben kialakuló áramlások megismerésére, illetve optimalizálására sokszor a folyamatok modellezésére és szimulációjára van szükség. Napjainkban a numerikus áramlástani szimulátorokat és szimulációkat egyre gyakrabban alkalmazzák a komplex, akár többfázisú áramlások vizsgálatára. A kutatásainkban a fluidizáció során lejátszódó gáz-szilárd kétfázisú áramlás szimulációját tűztük ki célul a two-fluid elméletet felhasználva az ANSYS FLUENT áramlástani szimulátorban. Későbbi cél a szimulációs eredmények validálása egy laboratóriumi méretű kísérleti fluidizációs berendezés mérési adatai alapján.

### Gáz-szilárd kétfázisú áramlások szimulációs módszerei

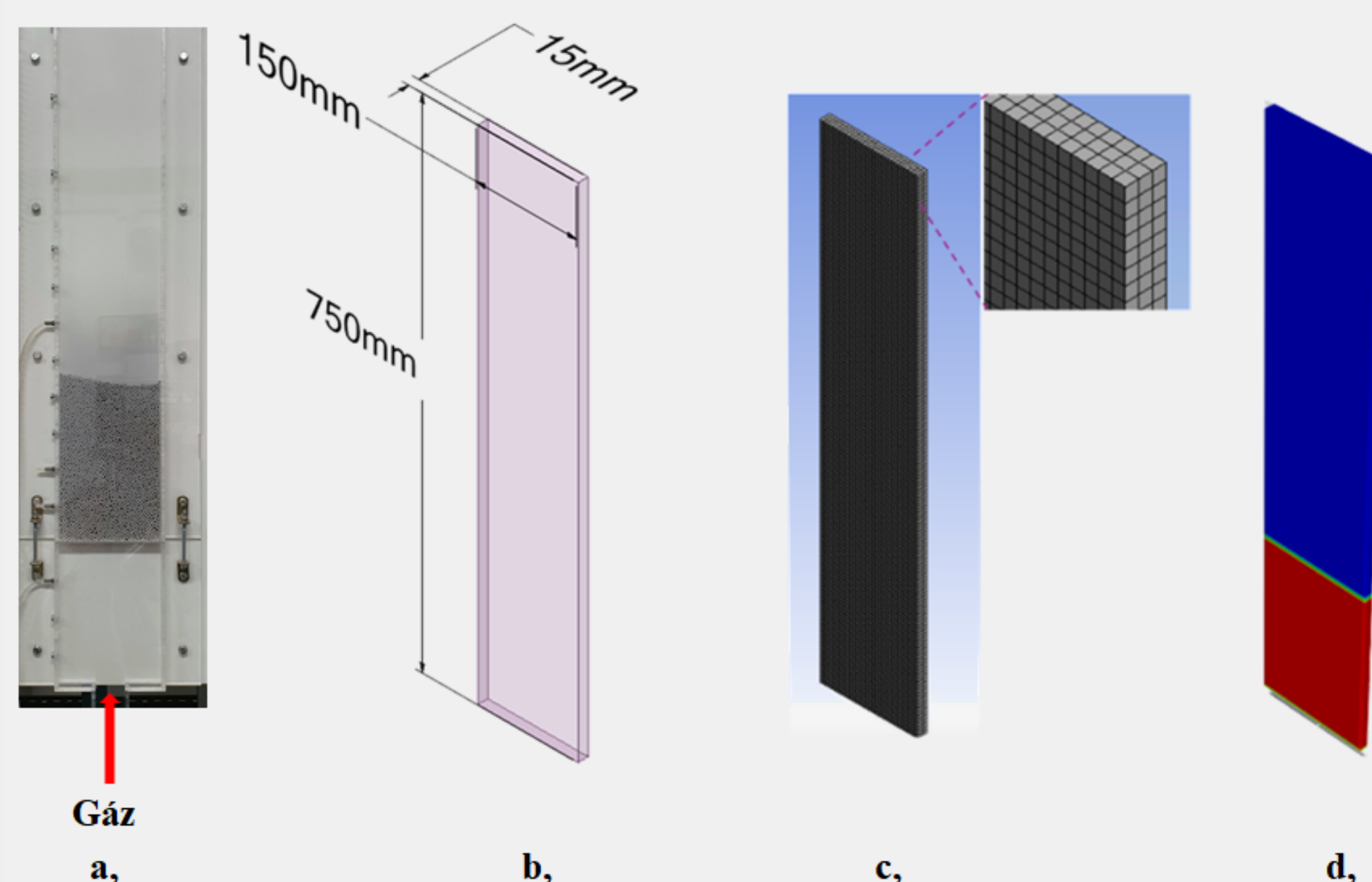
A gáz-szilárd kétfázisú rendszerek áramlásának leírására a Two-fluid elmélet, a numerikus áramlástan (CFD) és a diszkrét elem módszer (DEM) együttes alkalmazása, valamint a Direkt numerikus szimuláció (DNS) terjedt el.



1. ábra. A gáz-szilárd kétfázisú áramlások leírására alkalmazott modellezési módszerek.

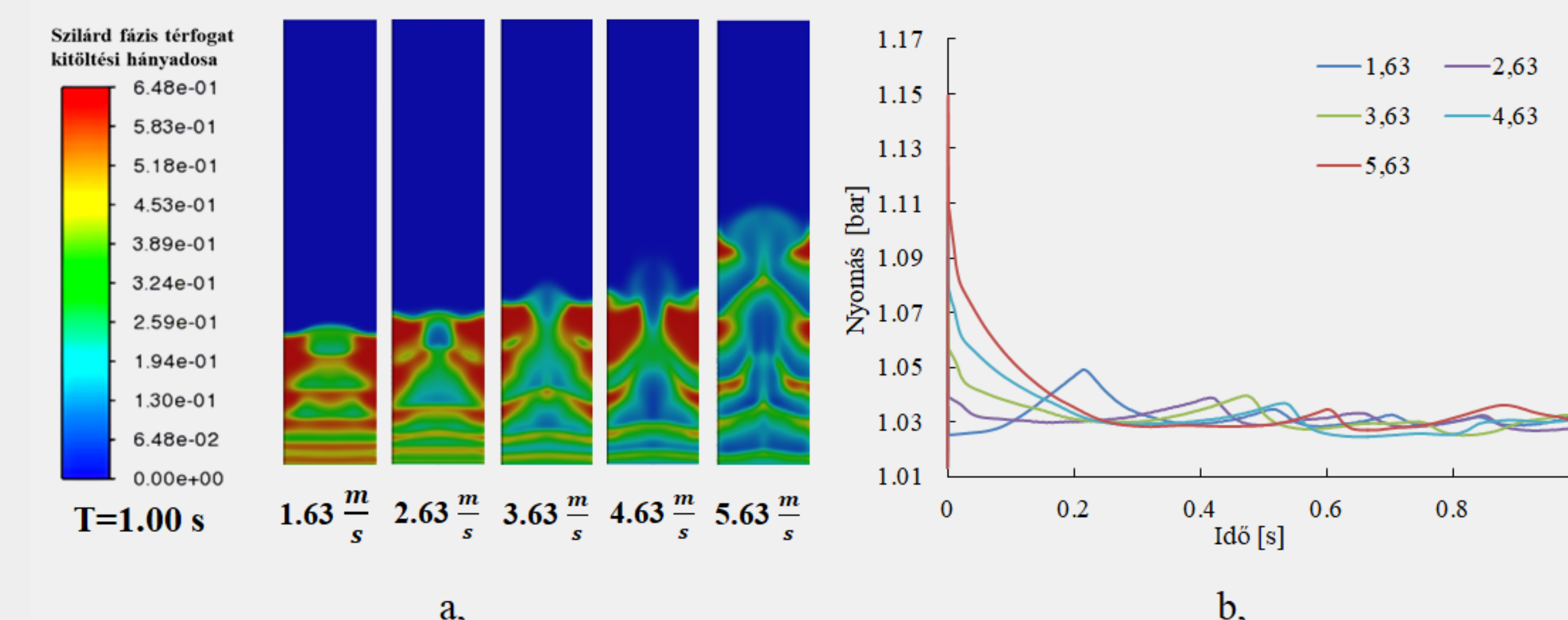
### A szimuláció felépítése

A fluidágy szimulációjához az Ansys Fluent 2021 R1 szoftvert használtuk. A számításokhoz egy strukturált hexahedral számítási hálót hoztunk létre, amelyet hálófűggetlenségi vizsgálatokkal optimalizáltunk.

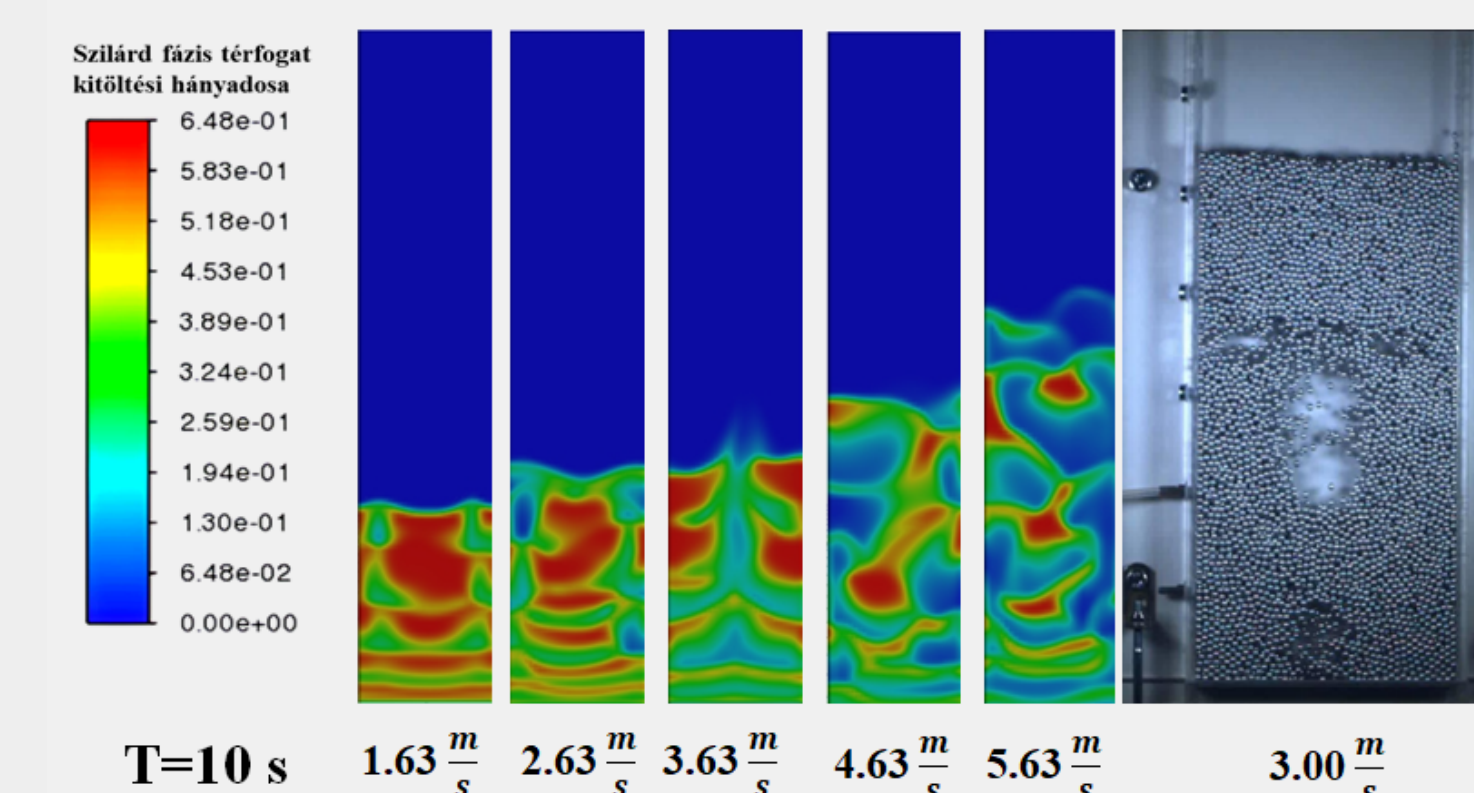


2. ábra. (a) A kísérleti berendezés; (b) a berendezés főbb méretei; (c) a generált számítási háló; (d) a kezdeti fluidágy.

### Szimulációs eredmények



4. ábra. (a) A különböző belépő gázsebességek mellett kialakuló áramlási képek a  $t=1$ s szimulációs időben; (b) A belépő felülethez tartozó nyomásérték időbeli változása.



5. ábra. A különböző belépő gázsebességek mellett kialakuló áramlási képek a  $t=10$ s szimulációs időben.

Az első másodpercben a különböző gázsebesség hatására jelentősen eltérnek az áramlási képek, amelyek a 4. ábrán láthatóak. A 5. ábrán látható hogy a  $t=10$ s-hoz tartozó időpillanatban a kisebb gázsebességekhez tartozó ágymagasság és az áramlás jellege nem változott jelentősen, azonban a nagyobb gázsebességek mellett a szimmetrikus áramlási viszonyok megszűntek. A kialakuló áramlás a kifejlődő buborékokkal nagy hasonlóságot mutat a valós berendezésben kialakuló áramlásokhoz.

### Two-fluid elmélet

A Two-fluid elmélet (TFM) módszer esetében az Euler-Euler féle tárgyalás módot alkalmazzák a többfázisú rendszerek leírására. A módszer lényege, hogy gáz és szilárd fázist is folytonos, egymásra ható fázisként értelmezzük, ahol a szilárd fázis tulajdonságait a szemcsés áramlásra vonatkozó kinetikus elmélet (KTGF) írja le.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon_p \rho_p) + \nabla \cdot (\varepsilon_p \rho_p \vec{v}_p) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon_g \rho_g) + \nabla \cdot (\varepsilon_g \rho_g \vec{v}_g) = 0 \quad (2)$$

$$\varepsilon_g + \varepsilon_p = 1 \quad (3)$$

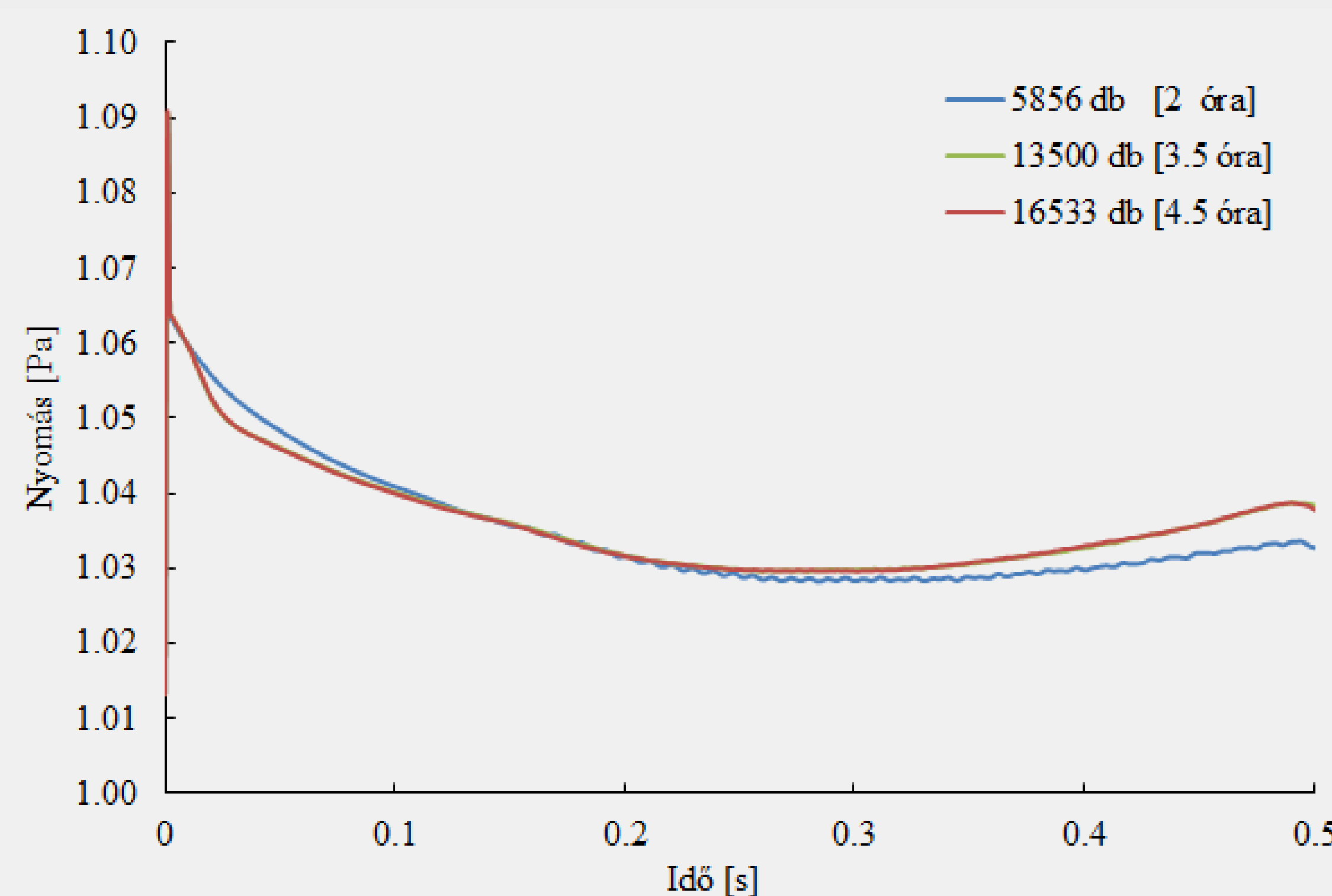
### Az ANSYS FLUENT szimuláció főbb paramétere

Megnevezés	Érték
Szemcse átmérő	0.0035 m
Szemcse-szemcse ütközési tényező	0.18
Szilárd fázis térfogatkitöltési hányada	0.50
Kezdeti fluidágy magasság	0.22 m
Számítási háló típusa	Hexahedral háló
Számítási háló elemszáma	13500 db

1. táblázat. A szimulációs vizsgálatokban alkalmazott főbb paraméterek.

### Hálófűggetlenségi vizsgálat

A hálófűggetlenségi vizsgálatban a belépő felülethez tartozó nyomásérték időbeli változását vizsgáltuk, amelynek eredményeként a 13500 db elemet tartalmazó hálót fogadtuk el optimális számítási hálóként. A szimulációk során 4  $\frac{m}{s}$  levegőáramot alkalmaztam.



3. ábra. A belépő felülethez tartozó nyomás változása különböző háló elemszám esetén.

### Összefoglalás

A kutatás célja egy valós fluidizáló berendezés szimulációja volt. A szimulációs vizsgálatokhoz az ANSYS FLUENT szoftvert használtuk, amelyben létrehoztuk a valós fluidizáló berendezés geometriáját. A számításokhoz egy strukturált számítási hálót hoztunk létre, amelyet hálófűggetlenségi vizsgálatokkal optimalizáltunk. A szimulációs vizsgálatok során a kialakuló kétfázisú áramlás jellemzőit vizsgáltuk különböző belépő gázsebességek mellett. Az elkövetkező kutatásokban a cél a szimulációs eredmények egy átfogóbb validálása kísérleti eredmények alapján.

### Hivatkozások

- Jianmin Ding and Dimitrif Gidaspow. A bubbling fluidization model using kinetic theory of granular flow. *AIChE Journal*, 36(4):523–538, 1990.
- Derek Geldart. Types of gas fluidization. *Powder technology*, 7(5):285–292, 1973.
- John R Grace, Xiaotao Bi, and Naoko Ellis. *Essentials of fluidization technology*. John Wiley & Sons, 2020.
- CC Pain, S Mansoorzadeh, CRE De Oliveira, and AJ H Goddard. Numerical modelling of gas–solid fluidized beds using the two-fluid approach. *International Journal for numerical methods in fluids*, 36(1):91–124, 2001.