



Pannon Egyetem  
Vegyészmérnöki- és Anyagtudományok Doktori Iskola

## **Szilárd töltetű hőtároló optimális kialakítása**

PhD ÉRTEKEZÉS  
TÉZISEI

Készítette:  
**Borbély Tibor**  
okleveles gépészmérnök

Témavezető:  
**Dr. habil Timár Imre**  
egyetemi tanár

Pannon Egyetem  
Géptan Intézeti Tanszék  
2014.

## 1. Bevezetés és célkitűzések

Az emberiség történelmével egyidős törekvés a természet erőinek munkára fogása, hasznosítása saját céljainak érdekében. Ha ezek az erőforrások nem állnak folyamatosan, elégséges mennyiségben rendelkezésre, akkor meg kell oldanunk a minél kisebb veszteséggel történő tárolásukat. Ilyen törekvés a napsütés energiájának begyűjtése és tárolása a teljes évi hő- és villamosenergia-szükséglet biztosítására.

A hőtárolás lehetséges. A hőtároló megépítése azonban nyilvánvalóan nagyon költséges, a hőtárolás során pedig hővesztés lép fel (ez is költség).

A begyűjtött hő teljes egészében nem tárolható be a hőtárolóba, a betárolt hő nem üríthető ki teljes mértékben a hőtárolóból, ezek is veszteségek (költségek).

A hőtároló töltésének és ürítésének (üzemeltetésének) energiaigénye (költsége) van.

Mindezek miatt az ipari méretű hőtárolás gyakorlati megvalósításának legfőbb feltétele: a költségek szempontjából leggazdaságosabb, vagyis optimális konstrukció kialakítása.

Rövid időtartamú (átment) hőtárolók léteznek már alacsony tárolási hőmérsékletre, családi ház melegvíz- és fűtőeszközök hőigényeihez igazított méretben, magas tárolási hőmérsékletre pedig hőerőművi méretben.

Szezonális hőtárolók is vannak már alacsony hőmérsékletre, kisebb falu melegvíz- és fűtési hőigényeit kielégítő méretben.

Magas hőmérsékletű, nagyméretű, szezonális hőtárolókat, amelyek melegvíz-, fűtési hőigény és erőművi hőigény kielégítésére is használhatók, még nem építettek.

Az értekezés témája ezen az eddig csak részlegesen kutatott területen új rendszerű, azon belül optimális megoldás számítási módszerének megalapozása és alkalmazási feladaton keresztül történő bemutatása.

## 2. Alkalmazott módszerek

A disszertáció új konstrukciójú, a hőt érzékelhető (szenzibilis) hó formájában tároló, szilárd töltetű hőtároló optimális kialakításával foglalkozik.

A tervezett hőtároló spirálszerűen felfűzött, kaszkád rendszerű. Saját fejlesztés és a hőtárolás területén már meglévő, valamint más területekről származó megoldások ötvözésével megalkotott, elvi modell, csöcsatornás és golyótöltetes kivitelre kidolgozva.

A tervezett, speciális kialakítás célja a meglévő érzékelhetőhő-tárolóknál nagyobb összhatásfok elérése. Ezt a célt a nagy áramlási úthosszú kialakításából fakadó, erőteljes hőmérsékleti rétegződéssel, valamint a kaszkád rendszerű, spirális vonalvezetésű, kis hőveszteséget biztosító töltési és ürítési módszerrel kívánta elérni.

A tervezett rendszer működésének matematikai leírására a hőterjedés differenciálegyenletének véges differenciák módszerével történő megoldására kidolgozott módszerek egyikét adaptáltam. Számítási módszert dolgoztam ki a töltés és ürítés szimulációjára, a szimuláció eredményeiből történő összhatásfok meghatározására. Az összhatásfok a töltési-ürítési ciklus alatt, hőveszteség nélküli esetben kiüríthető hőmennyiség mellett tartalmazza a határoló felületeken át a környezetbe jutó hőveszteséget és a hőhordozó közeg szállítási elektromos munkaszükségletének hőegyenértékét is.

A spirálszerűen felfűzött, kaszkád rendszerű hőtároló legjobb összhatásfokot biztosító geometriai méreteit és működési paramétereit genetikai algoritmust használó optimumkereső eljárással határoztam meg a korlátozási feltételek által határolt keresési térben.

A disszertáció alkalmazási feladatokon keresztül mutatja be a szimulációs számítási és az optimumkereső módszer alkalmazását gáz és folyadék hőhordozó közeggel csöcsatornás, valamint gáz hőhordozó közeggel golyótöltetes kivitel esetében.

### 3. Új tudományos eredmények, tézisek

#### I.

Új konstrukciójú, egyenlő oldalú háromszögosztású, hengeres áramlási csatornákkal ellátott, szilárd töltetű érzékelhetőhő-tároló (csőcsatornás hőtároló) töltésének és ürítésének matematikai leírására alkalmas számítási modellt fejlesztettem ki.

- a. Szemcsés szilárd töltettel ellátott hőtárolóban és a rajta keresztüláramló hőhordozó közegben történő hőterjedést leíró, szakirodalomban található differenciálegyenlet-rendszerek felhasználásával dolgoztam ki a csőcsatornás hőtároló szilárd hőtároló anyagában és a rajta átáramló hőhordozó közegben történő hőterjedést leíró differenciálegyenlet-rendszert (kétfázisú, általános, mindkét fázisban egydimenziós modellt).
- b. A hőterjedést leíró differenciálegyenlet-rendszer véges differenciák módszerével történő megoldására alkalmas, szimulációs programot fejlesztettem ki, amellyel kiszámítható a hőtároló szilárd anyag és a hőhordozó közeg térbeli és időbeni hőmérsékleteloszlása.
- c. A csőcsatornás hőtárolóban történő hőterjedés szimulációs számításain alapuló, genetikai optimáló algoritmust felhasználó számítási módszert dolgoztam ki a hőtároló legjobb összehatásfokot biztosító, optimális geometriai méreteinek és működési paramétereinek meghatározására.

#### II.

A kidolgozott matematikai modell segítségével igazoltam, hogy a nagy áramlási úthosszú, szilárd töltetű érzékelhetőhő-tároló a benne elérhető erőteljesebb áramlásirányú hőmérsékleti rétegződés révén előnyösebb az ugyanakkora hőtároló anyagtömeget tartalmazó, kis áramlási úthosszú hőtárolónál, mert:

- a. töltéskor a szilárd hőtároló anyag nagyobb része melegszik fel a hőhordozó közeg belépő hőmérsékletéhez közeli hőmérsékletre a feltöltési időtartam végére,
- b. töltéskor a hőhordozó közeg a feltöltési időtartam nagy részében a hőtároló anyag feltöltés előtti (alacsony) hőmérsékletéhez közeli hőmérsékleten lép ki, így a kollektorokhoz visszavezetve tartósan nagy a hőfelvevő képessége,
- c. ürítéskor a szilárd hőtároló anyag nagyobb része hűl le a hőhordozó közeg belépő hőmérsékletéhez közeli hőmérsékletre az ürítési időtartam végére,

- d. ürítéskor a hőhordozó közeg az ürítési időtartam nagy részében a hőtároló anyag feltöltés végi (magas) hőmérsékletéhez közeli hőmérsékleten lép ki, ez a magasabb hőmérsékletű hő értékeesebb,
- e. a nagy áramlási úthosszú hőtároló kisebb áramlási keresztmetszete mentén könnyebben biztosítható a hőhordozó közeg egyenletesebb elosztása, mint a kis áramlási úthosszú, nagy áramlási keresztmetszetű hőtároló esetében.

### III.

A kis áramlási keresztmetszetű, nagy áramlási úthosszú, nagy fajlagos külső felületű, szilárd töltetű érzékelhetőhő-tároló hátrányos tulajdonságainak kiküszöbölésére a következő megoldásokat dolgoztam ki:

- a. A hőhordozó közeg szállítási teljesítményszükségletének csökkentése céljából a nagy áramlási úthosszú hőtárolót szakaszokra (járatokra) bontottam, amelyekből kaszkád rendszert alakítottam ki. Igazoltam, hogy a szállítási teljesítményszükséglet jelentősen csökkenthető, ha a hőhordozó közeget csak azokon a járatpárokon vezetjük át, amelyeken a hőmérsékletváltozási front éppen áthúzódik, kiiktatva ezzel a hőhordozó közeg áramlási útvonalából azokat a járatpárokat, amelyekben már állandósult a hőmérsékleteloszlás.
- b. A nagyobb fajlagos külső felületből adódó nagyobb hőveszteség csökkentésére a kaszkád rendszerű hőtároló szakaszaiból (járataiból)  $H/St \approx 1$  arányú, szabályos hatszög alapú hasáb befoglaló geometriájú, spirálszerűen felfűzött hőtárolót alakítottam ki.
  - A feltöltéskor spirálszerűen, belülről kifelé haladó hőhordozó közeg áramlásirányban és sugárirányban kifelé is csökkenő hőmérsékleteloszlást hoz létre, így a hőtároló oldalfelületei a külső járatokból álló gyűrű feltöltésének kezdetéig alacsony hőmérsékletűek, ezért ez idő alatt a környezetbe irányuló hőveszteség kicsi.
  - A töltéssel ellentétes irányú ürítéskor a hőtároló oldalfelületei a külső járatokból álló gyűrű kiürítését követően alacsony hőmérsékletűek, a környezetbe irányuló hőveszteség ez idő alatt kicsi.
  - A járatszám növelésével növekszik a töltési és ürítési időnek az a része, amelyben a hőtároló külső járatai alacsony hőmérsékletűek.

#### IV.

Állandó nagyságú, 2 MW feltöltési, majd ugyanakkora ürítési hőáram mellett, 63 nap feltöltési és 58 nap ürítési idő esetében szimulációs számításokon alapuló optimumkereséssel határoztam meg az összhatásfok szempontjából optimális tervezési változók értékeit *gáz és folyadék* hőhordozó közeggel *csőcsatornás*, valamint *gáz* hőhordozó közeggel *golyóöltetes* kivitelben, mindegyik esetben többféle járatszámra. A számítási eredményekből megállapítottam:

- a. A nagy áramlási úthosszú, spirálisan felfűzött, kaszkád rendszerű hőtárolóval lényegesen nagyobb összhatásfok érhető el, mint az ugyanakkora hőtároló anyagmennyiséget tartalmazó egyjáratúval.
- b. A csőcsatornás hőtároló a kisebb áramlási ellenállás miatt nagyobb összhatásfokú a golyóöltetes hőtárolónál.
- c. Csőcsatornás kialakítás esetében a nagyobb összhatásfok kis belső falvastagságok és a csővezetékben szokásos, optimális áramlási sebességnél jóval kisebb áramlási sebesség alkalmazásával érhető el. Az erőteljes hőmérsékleti rétegződés nagy csatornaszámot és kis csatornaátmérőt igényel, de levegő hőhordozó közeg esetében a szállítási munkaszükséglet növekedése miatt nagyobb járatszámoknál nagyobb optimális csatornaátmérők adódnak.
- d. Folyadék hőhordozó közeggel nagyobb összhatásfokú hőtároló építhető, ez azonban üzemvitel szempontjából veszélyesebb, alkalmazhatóságát korlátozza a folyadék hőhordozó közeg hőállósága. Üzembiztonsági szempontból legkedvezőbb a közel légköri nyomású, levegő hőhordozó közegű, többjáratú, csőcsatornás változat, amelynek felső hőmérsékletlátárát nem korlátozza a hőhordozó közeg hőállósága.
- e. Az érzékenységvizsgálatokból kitűnik, hogy a tervezési változók értékének az optimum közelében történő kismértékű változtatása az összhatásfokot csekély mértékben változtatja meg. Ez a tény lehetőséget biztosít a számított optimumtól való eltérésre.
- f. A kidolgozott szimulációs számítási és az optimumkereső modell hatékonyan alkalmazható az optimális járatszám, a geometriai méretek és a működési jellemzők meghatározására.

## 4. Publikációk

### Az értekezés témakörében megjelent saját publikációk és konferenciaelőadások:

1. Borbély, T.: *Optimal design of high-temperature thermal energy store filled with ceramic balls*, Hungarian Journal of Industrial Chemistry Veszprém, Vol. 40 (2), (2012), pp: 93-99.
2. Borbély, T.: *Optimal design of seasonal pipe-channelled thermal energy store with liquid heat transport medium*, Annals of the Oradea University, Fascicle of Management and Technological Engineering, Volume XXII (XII) Issue 3, (2013), pp: 9-14.
3. Borbély, T.: *Optimal design of seasonal pipe-channelled thermal energy store with gas heat transport medium*, Acta Tehnica Corviniensis – Bulletin of Engineering, Tome VII, Fascicule 1., (2014), pp: 19-26.
4. Timár, I., Horváth, P., Borbély, T.: *Optimierung von profilierten Sandwichbalken*, Stahlbau 72 (2), (2003), pp: 109-113.
5. Timár, I., Horváth, P., Borbély, T.: *Optimization of framework construction*, Strojárska Technologie 8 (1), (2003), pp: 9-12.
6. Timár, I., Horváth, P., Borbély, T.: *Optimization of cylindrical sandwich constructions*, Publ. Univ. of Miskolc, Series G. Mechanical Engineering Vol. 48. (1999), pp: 175-184.
7. Timár, I., Borbély, T.: *Optimization of insulated pipelines*, Publ. Univ. of Miskolc, Series G. Mechanical Engineering Vol. 47. (1997), pp: 253-258.
8. Timár, I., Horváth, P., Borbély, T.: *Profilos szendvicstartók optimális méretezése*, Gép 50 (1) (1999), pp: 35-40.
9. Timár, I., Horváth, P., Borbély, T.: *Optimization of a welded I-section frame with size limitation*, In: Jármái&Farkas (eds): Metal Structures Design, fabrication Economy, Rotterdam, Millpress (2003), pp: 183-188.
10. Timár, I., Horváth, P., Borbély, T.: *Optimization of sandwich constructions*, MicroCAD'99 International Computer Science Conference, Miskolc, 1999. február 24-25. Section K, pp: 145-149.
11. Timár, I., Borbély, T., Horváth, P.: *Hengeres szendvicshéj optimalása*,

- Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, VIII. Országos Gépésztalálkozó, Marosvásárhely, 2000. április 7-9., pp: 63-66.
12. Timár, I., Borbély, T., Horváth, P.: *Keretszerkezet optimalálása*, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, VII. Országos Gépésztalálkozó, Félixfürdő, 1999. április 23-25., pp: 86-89.
  13. Timár, I., Borbély, T.: *Rétegezett szerkezetek optimalálása*, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, VI. Országos Gépésztalálkozó, Hargitafürdő, 1998. április 24-26., pp: 168-172.
  14. Timár, I., Borbély, T.: *Költségmegtakarítás optimális méretezéssel*, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, V. Országos Gépésztalálkozó, Kolozsvár, 1997. május 23-25., pp: 48-48.
  15. Timár, I., Borbély, T.: *Rétegezett tartók költségbecslése és optimalálása*, MicroCAD'97 International Computer Science Conference, Miskolc, 1997. február 26-27., pp: 11-17.
  16. Timár, I., Bencs, G., Borbély, T., Kulcsár, T., Veres, G.: *Szerkezetek előzetes költségbecslése. Windows alkalmazás konstrukciók előzetes költségbecslésére*, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, IV. Országos Gépésztalálkozó, Szováta, 1996. április 12-14., pp: 29-30.
  17. Timár, I., Bencs, G., Borbély, T., Kulcsár, T., Veres, G.: *Konstrukciók előzetes költségbecslése*, MicroCAD'96 International Computer Science Conference, Miskolc, 1996. február 29., pp: 31-34.

### **Más témakörben megjelent saját publikációk és konferenciaelőadások:**

18. Balácsi, Cs., Timár I., Verdes S., Bálint, A., Horváth, P., Borbély, T., Lisztes, I.: *Preparation and examination of nanostructured steel powders*, ANNALS of the ORADEA UNIVERSITY, Fascicle of Management and Technological Engineering, Volume IX (XIX), NR1, (2010), p: 3.10.
19. Hanák, L., Szánya, T., Marton, Gy., Pencz, I., Borbély, T., Nagy, K., Kiss, Cs.: *Detoxification of cyanide-containing pharmaceutical wastes by hydrolisys at high temperature*, Conference proceedings Hungarian Journal of Industrial Chemistry Vol. 1. (1999), pp: 18-20.



20. Timár, I., Horváth, P., Lisztes, I., Borbély, T: *Nanoszerkezetű acél kutatási eredményei*, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, XIX. Országos Gépésztalálkozó, Csíksomlyó, 2011. április 28 – május 1., pp: 368-371.
21. Ködmön, I., Timár, I., Lisztes, I., Borbély, T: *Speciális gyártástechnológia kifejlesztése gipsz öntőformák készítésére*, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, XIX. Országos Gépésztalálkozó, Csíksomlyó, 2011. április 28 – május 1., pp: 216-219.
22. Timár, I., Lisztes, I., Borbély, T: *A DFM-módszer alkalmazása a terméktervezésben*, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, XVIII. Országos Gépésztalálkozó, Nagybánya, 2010. április 22-25., pp: 444-447.
23. Ködmön, I., Timár, I., Handa, L., Borbély, T: *Változtatható geometriájú gipszmagok modellezése és új gyártástechnológiájának kifejlesztése*, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, XVIII. Országos Gépésztalálkozó, Nagybánya, 2010. április 22-25., pp: 241-244.