



HŐS CSABA

DIREKT RUGÓTERHELÉSŰ BIZTONSÁGI SZELEPEK DINAMIKUS VISELKEDÉSE ÉS  
STABILITÁSA

című - a Magyar Tudományos Akadémia doktora tudományos cím elnyeréséért  
benyújtott – Doktori mű bírálata

Megtiszteltetés számomra, hogy bírálója lehetek Hős Csaba MTA doktori értekezésének. Örömmre szolgál, hogy olyan témát – a biztonsági szelepek működésének vizsgálatát – bírálhatok, amelyet magam is művelek, bár megjegyzem a mű magas szintű áramlástan fejezetei már távolabb állnak munkásságotól.

A szerző életpályáját követve Hős Csaba a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Karának kiváló oktatója, kutatója, aki szakmailag kitűnő, támogató környezetben végezhetett tevékenységét, lehetősége volt szakterületét egy éven át Bristolban (UK) művelnie, számos szakmai elismerés birtokosa és nem utolsó sorban rendszeresen kivette részét tudomány-közéleti feladatokban is, jelenleg a kar tudományos és nemzetközi dékánhelyettese.

A fentiek okán is nagy érdeklődéssel vettem kezembe a jelölt értekezését, amelynek témája „örök”. Értem ezalatt, hogy az ipari– különösen energetikai és vegyipari – környezet teljes vertikumának kötelező eleme a technológiák rendszer-biztonságának biztosítása, amelynek kulcsberendezései bizonyos nyomásnövekedési tartományban a biztonsági szelepek. Ezen szerelvények helyes működése – miután védelmi berendezésről van szó – minimumkövetelmény, azonban egy helyesen méretezett rendszernél működési gyakoriságuk nagyon alacsony, szélső esetben előfordulhat, hogy a karbantartási ciklusok között működésük egyszer sem következik be. Különösen fontosnak tartom a mérnöki gyakorlat alkalmazott „ököl szabályok” tudományos megalapozottságának igazolását, amelyre a szerző dolgozatában kísérletet is tesz.



## Formai szempontok

Az magyar nyelven írt mű 110 oldal terjedelmű, ezen tartalom kívül tartalmazza a címlapot, a tartalomjegyzéket, a jelölések jegyzékét, az előszót, az előzetes megjegyzéseket, továbbá a mellékleteket, amelyek bizonyos részszámításokat, a kísérleti szakaszban vizsgált biztonsági szelepek adatait, néhány levezetés főbb lépéseit, az elvégzett mérések összeállítását és azok eredményeit foglalja össze 37 oldal terjedelemben.

Tézisfüzete 13 oldal terjedelmű, amelyben a téziseken túl ismerteti releváns saját publikációit és a füzet szakirodalmi hivatkozásait.

Az értekezést megalapozó eredeti közlemények száma 12, amelyek angol nyelvűek, egy kivétellel többszerzősek. Kettő konferencia kiadvány, többségük magas minőségű folyóirat közlemény.

Tudományos munkásságát tekintve minden tekintetben jelentősen meghaladja az MTA VI. osztály habitusvizsgálatának minimum követelményeit. A bíráló elkészítésének időpontjában Q-értéke 23,8, független hivatkozásainak száma 405, ebből WoS idézet 272, kumulatív impakt faktorainak értéke 59,9 (relatív IF 18,87), IF cikkek száma 29, Hirsch-indexe 13, amely adatok 124 publikációjának imponáló minőségi mutatói.

A dolgozat érdemi része 7 fejezetből áll, amelyek sorrendben a bevezetés, matematikai modellezés, elsődleges instabilitási típusok összefoglalása, numerikus szimulációk és kísérletek, globális ütközési dinamika vizsgálata, bonyolult csővezetékek elemzése a módosított impedancia módszerrel, végül a lehetséges továbblépési lehetőségeket foglalja össze.

A dolgozat formai bontását illetően az egyes fejezetek terjedelmét megfelelőnek találom, ábrái jól szerkesztettek, képletek jól rendezettek, diagramok jól olvashatók, a külalak rendkívül tetszetős, összességében nagyon igényes munka. Tézisfüzete lényegre törő és az előző pozitív jelzőkkel jellemezhető. A fejezetekben, ahol releváns, kellő mélységű szakirodalmi áttekintést ad, mindösszesen 84 tételt sorol fel, amelyek mindegyikére található hivatkozás a szöveges részben.

Formai kritikám, hogy a gyakran több soros ábra aláírások nehezen különböztethetőek meg a szövegtörzstől, így sokszor úgy tűnik, egy félbehagyott mondat van a környezetében. Szerencsésebb lett volna *dőlt karakterekkel* megkülönböztetni az ábra aláírásokat.



A dolgozatban nem fedeztem fel elírásokat, nyelvi hibákat, azonban több esetben előfordul, hogy a fejezetre történő hivatkozásoknál elmarad az utolsó pont: pl. 3.2. a fejezet száma és 3.2 a hivatkozás.

## A dolgozat felépítése

A 2. fejezetben ismerteti az egyes rendszerelemek (szelep, tartály, csővezeték) matematikai-fizikai modelljét. Pozitív eleme a fejezetnek, hogy a további vizsgálatokat megkönnyítő dimenziótlan összefüggéseket vezet be.

A 3. fejezetben a kidolgozott modellek segítségével azonosítja az elsődleges instabilitási típusokat, melyek a 2. fejezetben ismertetett rendszerelemeken értelmez.

A 4. fejezetben az elsődleges instabilitásokból összeálló "kevert" instabilitásokat, valamint a mérési és szimulációs eredmények összevetését mutatja be.

Az 5. fejezetben az ún. Tartály-szelep modell dimenziótlan alakját mutatja be, egy 3 egyenletből álló nemlineáris hibrid dinamikai rendszert vizsgál, amelyben a hibrid jelzőt a szelepdinamika és az ütközés alkotja.

A 6. fejezetben az ún. hidraulikus impedanciák módszeréből kiindulva egy általános módszert mutat be bonyolult csővezeték és egy szelep lineáris stabilitásának vizsgálatára, továbbá egy mérnöki szempontból egyszerű módszert mutat be a negyedhulláminstabilitás kimutatására.

A 7. fejezetben összefoglalja az eredményeket és javaslatot tesz a jövőbeli kutatások irányára.

## A doktori műhöz kapcsolódó észrevételeim, kérdéseim

Ipari környezetben az önműködő, biztonsági célú szerelvények meghibásodásainak nagy része az ideális üzemi tartományon kívüli működési állapotokból adódó, rezgésekből és lengésekből származó igénybevételekre vezethető vissza. Ezek a szerelvények gyakran szélsőséges üzemi körülmények között mindig megbízhatóan kell, hogy működjenek. Működési elvük rendkívül egyszerű, egy egyszabadságfokú gerjesztett rezgőrendszerként modellezhetőek, ugyanakkor a rendszer instabilitását befolyásolja a belépő és kilépő környezet, a belső geometriai kialakítás, a mozgó alkatrészek súrlódási és ütközési viszonyai.



- 1) Az 1.2. fejezetben említi a nem tervezett túlnyomás kialakulásának okaira. A felsorolásnál célszerű lett volna megemlíteni, hogy a biztonsági szelepeket dinamikus, nagy nyomásnövekedési sebességgel járó zavarokra nem szabad alkalmazni, a felsorolásból az exoterm reakciók megszabadása tipikusan ilyen zavar. Ugyanezen fejezetben említi a nyitónyomás 110%-ának szabályát, mint maximális lefúvási nyomás értéket, azonban pl. külső tűzbe került készülék nyomásnövekedése esetén 105% ez az érték. Továbbá szeretném megjegyezni, hogy a 3. ábra a direkt rugóterhelésű szelepek egyfajta típusának – a folyadékok lefúvására általában használt, ún. arányos működésű szelepek – működési karakterisztikáját mutatja, de létezik az ún. teljes emelkedésű, általában gázokhoz, gőzökhöz alkalmazott szerelvény is.
- 2) A 2. fejezetben rögzíti, hogy az alapcél az instabilitási jelenségek vizsgálata, ezért ennek megfelelő egyszerűsített modellel végzi a vizsgálatait. A „k” csillapítási tényező elhanyagolását illetően a bíráló kutatásai között található kísérleteken alapuló vizsgálatok, ahol rezgetőasztalon végzett mérésekkel éppen a rezgések/lengések tartományában tökéletesen mérhető volt az alsó és felső holtpontokban értelmezett nyugvó súrlódási tényező, valamint mozgás közben a mozgó súrlódási tényező pusztán a jelenségekben érintett alkatrészek figyelembevételével.
- 3) A 2. fejezetben a szeleptányérra ható áramlásból származó erőhatások – magyar nyelvterületen nem túl szabályosan felhajtóerő, nemzetközi szakirodalomban flow-force – meghatározására az  $A_{eff}(x)$  effektív felületet definiálja. Véleményem szerint a működési tartomány kezdeti állapotában, kis szeleptányér elmozdulásoknál ez a módszer pontatlansághoz vezet. A szeleptányér nyitási pillanatában, kis áramlási keresztmetszeteknél megfigyelhető, hogy az áramlásból származó erőhatás a nyitást követően csökkenő tendenciát mutat. A másik felvetésem, hogy a nyitónyomás elérésének pillanatában kialakuló erőhatások (nyugalmi és mozgó állapot határállapota) vizsgálatához elengedhetetlen annak ismerete, hogy a tömítettséget biztosító illeszkedő felületek között hogyan alakul ki a szivárgási állapot. A nyitás pillanatában az illeszkedő felületek jellemző keresztmetszete (átmérője) a nyomás ismeretében határozza meg az erőhatások értékét. Kérdésem, hogy tapasztalta-e, vizsgálta-e ezt a tartományt? Amennyiben nem, az cseppet sem von le a mű értékéből, mivel a fejezet elején rögzítette, hogy nem a nyitási, hanem a működés közben fellépő jelenségek



- vizsgálatát tűzte ki célul, amelyek tökéletesen tanulmányozhatók a nyitási anomáliák tisztázása nélkül is.
- 4) A 3. fejezetben az elsődleges instabilitási típusokkal foglalkozik. A 3.4. fejezetben a negyedhullám-instabilitással kapcsolatban megjegyzem, hogy a probléma felvetése jogos, amit konkrét tapasztalatok és az irodalmi hivatkozások is igazolnak. A vizsgálatoknál alkalmazott modellek (a szelep, a tartály és az összekötő csővezeték) és a jelenségek leírására szolgáló alapegyenletek helyesek és alkalmasak a jelenség vizsgálatára. Az igen bonyolult, összetett fizikai jelenség leírására összeállított elméleti vizsgálati módszer leírása kellően részletes, jól követhető. A bemutatott eljárás komplexitását és bonyolultságát jelzik a kidolgozás során szükségszerűen alkalmazott közelítések, elhanyagolások. Erről a 8. oldalon a szerző előre és jogosan a következőket írja: *"...elsődleges célunk az instabilitási jelenségek minőségi leírása, megértése, a pontosság feláldozásával."* Ezt figyelembe véve például a 38. oldal utolsó bekezdésétől a 39. oldal közepéig a tartályból a csővezetékbe belépő gáz nyomáseséséről van szó. A sűrűségváltozást a becsült 3,2%-os hiba alacsonynak vélt volta miatt végül a 39. oldal második képletében elhanyagolja. A nyomást módosító, a sebességet tartalmazó tag nagyságrendje ezzel azonos nagyságrendű lehet még azon időpillanatokban is, amikor a sebesség maximális. Ezt akkor miért tarja meg? Később, a 3.4.4 fejezetben a stabilitásvizsgálatoknál persze még ezt a sebességet tartalmazó  $\chi$  tagot mégis elhanyagolja. Mivel a dolgozat nem tartalmaz olyan teljes adatrendszert, ahol ezen tagok konkrét értéke, nagyságrendje visszakereshető lenne, kérem egy adott konkrét szelep geometriai és valós nyomás- és hőmérsékletviszonyai esetén mutassa be az említett tagok nagyságrendjét és elhanyagolásuk jogosságát! A megfogalmazott két tézist a bemutatott eredmények kellően alátámasztják. Mindkét tézis utolsó mondatában jelzett összefüggéseket, kritériumokat célszerű lenne a képletszámukkal egyértelművé tenni. Számomra nem volt egyértelmű melyre, melyekre utalnak.
- 5) A 4. fejezetben numerikus szimulációk és kísérletek bemutatásával, azok összehasonlításával foglalkozik. A szimuláció lehetőségeit maximálisan kihasználva nagyon sok hatást vizsgált és mutatott be. Kísérleti alátámasztást csak a 4.1. pontban mutat be, ahol folyadék munkaközeggel történt mérésekről számol be. A felépített vizsgálati környezet alkalmassá tehető lenne további jelenségek mérési alátámasztásra? A CFD szimuláció során milyen  $k-\varepsilon$  modellt alkalmaz? CFD modellezései során milyen



- modellel dolgozott, vizsgálta-e a feladatot 2D vagy 3D modellel? Végzett-e az eredményekre vonatkozóan érzékenység vizsgálatot?
- 6) Az 5. fejezetben ütközési dinamikát vizsgál a 3.2. fejezetben levezetett folyadék munkaközegen alapuló tartály-szelep modellen, azonban az ütközéseket csak a szelep és szelepülék között tanulmányozza. Kérdésem, hogy miért csak az alsó pozíciót vizsgálta? Továbbá az ütközési jelenségek leírására elterjedt ütközési tényező (becsapódás és visszaindulás sebességének hányadosa) egyszerű mérési technikával vizsgálható, a jelenség a szelep működtetése során könnyen validálható. Végzett az ütközésekre vonatkozóan méréseket? A fejezetben található 3. és 4. sz. téziseket elfogadom, de szerencsésebb lett volna egy tézisen belül megfogalmazni.
- 7) A 6. fejezetben csővezetékek, csővezeték rendszerek hatását vizsgálja. Kidolgozta a módosított impedancia módszert. A 6.5. fejezetben bemutatott „szelep alatti vakcső” megoldásra kérem adjon ipari alkalmazási példát. A kapcsolódó téziseket elfogadom.

### Tézisekkel kapcsolatos megállapítások

1. tézis az elsődleges instabilitási típusokra vonatkozik. A tézis utolsó mondatában jelzett összefüggéseket, kritériumokat célszerű lenne a képletszámukkal egyértelművé tenni. *A tézist elfogadom új tudományos eredményként.*
2. tézis a negyedhullám instabilitás kritériumról, továbbá mérnöki gyakorlatban alkalmazható méretezési képlet felírásáról szól. A tézis utolsó mondatában jelzett összefüggést, kritériumot célszerű lenne a képletszámmal egyértelművé tenni. *A tézist elfogadom új tudományos eredményként.*
3. tézis a tartályhoz közvetlenül kapcsolt szelep stabilitásvesztés utáni viselkedésének előrejelzésére ad megoldást. *A tézist elfogadom új tudományos eredményként, de a 3. és 4. tézist célszerű lenne egy tézisen belül megfogalmazni.*
4. tézis a tartályhoz közvetlenül kapcsolt szelep működését leíró modellben a Shilnikov-szerű ütközéses homoklinikus pályákkal foglalkozik. *A tézist elfogadom új tudományos eredményként, de a 3. és 4. tézist célszerű lenne egy tézisen belül megfogalmazni.*
5. tézis módosított impedancia módszert mutat be lineáris stabilitásvizsgálatra. *A tézist elfogadom új tudományos eredményként.*



**MISKOLCI**  
EGYETEM  
UNIVERSITY OF MISKOLC

6. tézis a tetszőleges bonyolultságú felvízoldali vezetékrendszer esetében negyedhullám-típusú instabilitással foglalkozik. A tézist *elfogadom új tudományos eredményként*.

## Összefoglalás

A dolgozat biztos ipari háttérű tématerületet dolgozott fel az elméleti és gyakorlati részek szinergiájában. A mű értékes és hiteles munka. Tudományos eredményeit a szakterület nemzetközi, minőségi folyóirataiban publikálta. Bemutatott téziseit elfogadom új tudományos eredményként.

Mindezek alapján az értekezést nyilvános vitára alkalmasnak tartom, sikeres védés esetén javaslom a Magyar Tudományos Akadémia doktora tudományos cím odaítélését.

Miskolc, 2020. június 30.

Dr. Siménfalvi Zoltán  
egyetemi docens  
Miskolci Egyetem  
Gépészmérnöki és Informatikai Kar  
Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet