

MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR



RUGÓTERHELÉSŰ BIZTONSÁGI SZELEP MŰKÖDÉSÉNEK ELMÉLETI ÉS KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA

PHD ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

KÉSZÍTETTE:

SIMÉNFALVI ZOLTÁN

OKLEVELES GÉPÉSZMÉRNÖK

GÉPÉSZMÉRNÖKI TUDOMÁNYOK DOKTORI PROGRAM,
GÉPÉSZMÉRNÖKI ALAPTUDOMÁNYOK ALPROGRAM, MÉRNÖK-MATEMATIKA RÉSZPROGRAM

DOKTORI ALPROGRAM VEZETŐ:

DR. PÁCZELT ISTVÁN

AZ MTA RENDES TAGJA

A MŰSZAKI TUDOMÁNY DOKTORA

TUDOMÁNYOS VEZETŐ:

DR. ORTUTAY MIKLÓS

A MŰSZAKI TUDOMÁNY KANDIDÁTUSA

MISKOLC, 2000

Bíráló bizottság tagjai

Elnök:

DR. PÁCZELT ISTVÁN

az MTA rendes tagja
a műszaki tudomány doktora

Titkár:

DR. SZABÓ SZILÁRD

a műszaki tudomány kandidátusa

Tagok:

DR. HABIL GALÁNTAI AURÉL

a matematikai tudományok kandidátusa

DR. HABIL KÓSA LEVENTE

a műszaki tudomány kandidátusa

DR. HALÁSZ AURÉL

a műszaki tudomány kandidátusa

Hivatalos bírálók:

DR. NYÍRI ANDRÁS

a műszaki tudomány doktora

DR. TAKÁCS ISTVÁN

a műszaki tudomány kandidátusa

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

A vegyiparban, a kőolaj- és földgáziparban, a gyógyszergyártásban, az élelmiszer- és az energetikai iparban a nyomástartó rendszerek, berendezések túlnyomás elleni védelme biztonsági, gazdasági, környezetvédelmi és technológiai szempontból is rendkívül fontos feladat. Normál körülmények között a technológiai folyamatban az üzemi nyomás nem haladhatja meg a nyomástartó edény engedélyezési nyomásának értékét. Rendellenes folyamat következtében a rendszer nyomása az engedélyezési nyomás fölé emelkedhet.

A biztonsági szelepek kiválasztását, méretezését érvényben lévő szabványok és előírások szabályozzák. A műszaki gyakorlatban a rendszerparaméterek ismeretében, művelettani és rendszertechnikai eszközök segítségével határozzák meg a nyomástartó rendszer várható zavara esetén lefűvándó tömegáram nagyságát, majd a közeg fizikai-kémiai tulajdonságai (halmazállapot, fázisok száma, hőmérséklet), és a nyomástartó edény terhelhetősége (üzemi, maximális nyomás) alapján kiválasztják a megfelelő méretű és típusú biztonsági szelepet.

A műszaki gyakorlatban és az előírásokban alkalmazott összefüggések általában a biztonsági szelepek általános jellemzésénél, mindennapi gyakorlatnak megfelelő beállításánál használhatók, de nem alkalmasak arra, hogy a működési folyamatot a dinamikai viszonyok figyelembevételével, nagy pontossággal leírják.

A biztonsági szelepek kutatásai napjainkban a megbízható, a veszély megjelenését követő gyors és hatékony működés fejlesztésének irányába mutatnak. Ezek a kutatások – az Európai Unió Irányelveivel összhangban – a biztonsági szelep és a védett nyomástartó rendszer együttes vizsgálatát helyezik előtérbe. Értekezésemben is ezt az irányvonalat követve kívánok a biztonsági szelepek működésének vizsgálatával foglalkozni.

Kutatások elvégzésének és az értekezés elkészítésének alapvető feladata volt hozzájárulni ahhoz a világszerte folytatott kutatómunkához, amely lehetővé teszi a biztonsági szelepek korszerűsítését, működési pontosságának, megbízhatóságának növelését, mindezzel elősegítve az élet- és vagyonbiztonság minél magasabb szintű megvalósítását.

Az értekezés fő célja matematikai modell kidolgozása a rugóterhelésű biztonsági szelep működésének megbízható leírására, valamint a modell alkalmazásával olyan észrevételek, javaslatok megfogalmazása, amelyekkel a biztonsági szelep fejlesztését elősegítő rendkívül költséges és időigényes kísérleti vizsgálatok száma csökkenthető.

E cél elérését részleteiben a következő célkitűzések segítik:

- létrehozni egy kísérleti berendezést, amellyel a biztonsági szelep működésének vizsgálatát valós technológiai körülmények között lehet elvégezni;
- felállítani a biztonsági szelep mechanikai modelljének a szakirodalmi forrásokhoz képest pontosított és részletes vizsgálatokra alkalmas változatát;

- kidolgozni egy olyan eljárást a biztonsági szelepre jellemző felhajtóerő-függvény kísérleti méréseken alapuló meghatározására, amely alkalmazható a biztonsági szelep szimulációs számítása során;
- elméleti és kísérleti módszereket dolgozni ki a mechanikai modell ismeretlen elemeinek meghatározására, különös tekintettel a csillapító, súrlódó és ütközési hatásokra;
- felállítani a biztonsági szeleppel védett kísérleti nyomástartó rendszer áramlástanai modelljét, kísérleti vizsgálatokkal ellenőrizni a modell alkalmazhatóságát;
- létrehozni a mechanikai és az áramlástanai modell működését leíró szimulációs programrendszert;
- a kísérleti berendezés és a szimulációs programrendszer felhasználásával megvizsgálni a biztonsági szelep működését befolyásoló tényezőket, különös tekintettel a mechanikai és az áramlástanai modell elemeire (tartálytérfogat, rugókarakterisztika, csillapító és ütközési hatások), ezzel rávilágítani néhány – a gyakorlatban és az előírásokban nem, vagy eltérő módon szereplő – kiválasztási és működési paraméter jelentőségére.

2. TUDOMÁNYOS ELŐZMÉNYEK

A biztonsági szelep, mint a nyomástartó rendszerek túlnyomáshatárolására szolgáló szerkezet már régóta ismert, irodalma igen szerteágazó. A bevezetésben megfogalmazott szempontok alapján, a célkitűzésekkel összhangban, a következőkben röviden áttekintem a kutatási területet érintő szakirodalmi forrásokat.

Az előző évtizedekben szerte a világon kutatóbázisok alakultak a biztonsági szelepek kutatására, vizsgálatára, fejlesztésére. Ezek közül jelentősebbek TARASZEV és munkatársai, valamint GRINBERG-KRICSKER a volt Szovjetunió területéről, FÖLLMER-ZELLER Aachenből (Aerodynamisches Institut der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen), FROMMANN-FRIEDEL Hamburgból (Lehrstuhl für Strömungsmechanik an der TU Hamburg), SINGH és munkatársai az USA-ból (Electric Power Research Institute, California), valamint BENE-BOZÓKI-FEJES-JOÓ-LÉDERER-ORTUTAY-SZABÓ Magyarországról (Miskolci Egyetem Vegyipari Gépek Tanszék).

A *biztonsági szelepek mechanikai modelljével* a legtöbb kutatóbázis foglalkozott. Az alkalmazott modell minden esetben az egyszabadságfokú rezgőrendszer mechanikai modellje volt, a mozgásegyenlet figyelembe vett elemei azonban eltérést mutattak.

A *rugalmas elem tömegének figyelembevételével* BOZÓKI, FÖLLMER, KONDRATYEVA és a miskolci kutatóbázis foglalkozott érdemben.

Mindannyian arra a következtetésre jutottak, hogy a szerkezet mozgó elemeinek tömegét a rugó tömegének 50%-ával szükséges megnövelni. Az említett szerzők közül BOZÓKI átfogó művében egy számítási eljárást is bemutat a rugó tömegének figyelembevételére.

A *csillapító hatások vizsgálatával* csak néhány szerző foglalkozott. BORZOV, FROMMANN-FRIEDEL és FÖLLMER ugyan említést tesz a sebességgel arányos lineáris csillapításról, de számítási módszert, konkrét értéket egyikük sem közöl. MOSIDIS a rugó elmozdulásából és az egyenlőtlen nyomásterhelésből adódó szelepszár-befeszülés, ezen keresztül a sűrűlódás jelenlétéről közöl cikket, ugyancsak mérési eredmények nélkül. SINGH művében a lineáris csillapítási tényező értékét a kritikus csillapítást jellemző érték – ez a periodikus mozgás határeset – 20%-ában, SHAK 33%-ában határozza meg, azonban erre az értékre sem elméleti, sem kísérleti magyarázatot nem ad.

A *felhajtóerő, mint gerjesztőhatás vizsgálatának* irodalma igen terjedelmes, az említett kutatóbázisok szinte mindegyike részletesen foglalkozott a témával. Abban minden szerző egyetértett, hogy adott geometriai kialakítás esetén a felhajtóerő a szeleptányér elmozdulásától és a biztonsági szelep előtti nyomástól függ. *Elméleti megközelítéssel* több szerző foglalkozott. LANGERMAN és SINGH (EPRI, California) műveikben az impulzustétel segítségével, egy adott geometriájú biztonsági szelep esetén számította a felhajtóerőt. Eredményeiket csak a mozgásegyenlet megoldásával, működési vizsgálat formájában publikálták, a felhajtóerő tényleges értékéről nem adtak felvilágosítást. Hasonló módszert más szerzők is alkalmaztak, azonban mindannyian – köztük KONDRATYEVA – egyetértettek abban, hogy a felhajtóerő megbízható meghatározása *csak kísérleti módszerek felhasználásával* lehetséges. E területen jelentős elméleti és kísérleti kutatás fűződik az aacheni kutatócsoport nevéhez (Aerodynamisches Institut der RWTH). A zárt állapotú szeleptányérra ható felhajtóerő számítása alapvető kérdés, mivel ez a pont a biztonsági szelep működésének egyik fontos pillanatát, a nyitást, ezen keresztül a nyitónyomást jellemzi. A szakirodalom és az előírások ebben a kérdésben nem egységesek. JENETT, LANGERMAN, KERN, MANLEY, SINGH, WEISMANTEL, WOOLFOLK és ZAHORSKY, illetve az amerikai, angol és német előírások a szeleptányér és szeleptülék geometriájának, és a szeleptányérra ható különböző nyomások (tartály-, ellen- és környezeti nyomás) figyelembevételével számított erőhatások alapján határozza meg ezt az erőértéket. A magyar és volt szovjet kutatóbázisok a szeleptülék és a szeleptányér érintkező felületének középátmérőjére vonatkoztatja zárt szeleptányér állapotnál a felhajtóerő nagyságát.

A biztonsági szelep szeleptányérja mozgása közben *ütközési jelenségek* játszódhatnak le, amely során a szeleptányér a szeleptülékkel, illetve a vezetőtárcsával kerülhet kapcsolatba. Ezzel a problémával a kutatók nagy része nem foglalkozott. A feldolgozott szakirodalomban csupán egyetlen utalást találtam SINGH részéről, aki az ütközési jelenséget a szeleptányér ütközés előtti és utáni sebességének hányadosával, az

ütközési tényezővel jellemezte, amelyet mindkét ütközési jelenségre $0,01$ értékben határozott meg.

Egy mechanikai rendszer modellegyenletének megoldása valamely gerjesztőhatás és a kezdeti feltételek ismeretében határozható meg. A biztonsági szelep mechanikai modelljének mozgásegyenletében a gerjesztőhatást a felhajtóerő, közvetett módon a védendő edény nyomása szolgáltatja. A biztonsági szelepet „vezérlő” nyomás a védendő tartályba érkező, és a működő biztonsági szelepen keresztül onnan távozó közeg mennyiségétől és állapotától függ, ezért a számításokat a *nyomástartó rendszer áramlástan vizsgálatára* is ki kell terjeszteni. A szakirodalomban szinte minden szerző, aki a modell megoldásával foglalkozott, kísérletekkel is igazolta a választott modell jóságát, alkalmazhatóságát. A kísérletek céljára valós nyomástartó rendszereket hoztak létre, amelyek védelmét valamely tervezett technológiai zavar – váratlan tömegáram érkezése, szabályozószelep hibás működése, stb. – következtében biztonsági szelep látta el.

A biztonsági szelep alapfeladatával összefüggésben alapvetően fontos jellemző a *biztonsági szelepen átáramló tömegáram nagysága*. A szakirodalom a felhajtóerőnél tapasztalt elméleti bizonytalanságok, valamint az általános kiválasztási elvek következtében a kísérleti megoldást részesíti előnyben.

3. AZ ELVÉGZETT VIZSGÁLATOK, KÍSÉRLETEK MÓDSZEREI

3.1. Biztonsági szelep mechanikai modelljének vizsgálata

A rugóterhelésű biztonsági szelep mozgó és nyugvó tömegeket, valamint rugalmas elemet tartalmaz. A lengések vizsgálatára az *egyszabadságfokú, lineáris, csillapított, gerjesztett rezgőrendszer mechanikai modelljét* alkalmaztam. A modell elemeit elméleti és kísérleti módszerekkel vizsgáltam.

A mechanikai modell *rugalmas elemének vizsgálatánál* kísérleti mérésekkel határoztam meg a rugó jellemzőit (geometriai méretek, rugómerevség). Pontosítottam a rugó mozgó tömegének figyelembevételére a szakirodalomban közölt eljárást, amely során megállapítottam, hogy a vizsgált mechanikai modellben a rugó tömegének egy részét figyelembe kell venni a mozgó tömegek meghatározásánál.

Figyelembe véve a vizsgált biztonsági szelep felépítését, működését, valamint a rezgőrendszerekkel foglalkozó szakirodalomban általában tárgyalt eseteket, az értekezésben a sebességgel arányos (*lineáris csillapítás*), és az állandó erővel leírható (*Coulomb-féle súrlódás*) csillapító hatásokat elméleti és kísérleti módszerekkel vizsgáltam. A *lineáris csillapítás* meghatározására kidolgoztam egy vizsgálati módszert. A módszer egy kísérleti eljárásból, és a kísérlet eredményeire támaszkodó elméleti számításból áll.

A számítások során a harmonikusan gerjesztett, csillapított rezgőrendszer komplex változós mozgásegyenletét oldottam meg analitikus úton. A *Coulomb-féle súrlódás* meghatározásához szükséges kísérleti vizsgálatokat a lineáris csillapításnál alkalmazott kísérleti berendezésen, a szeleptányér teljes elmozdulástartományán végeztem el.

A szeleptányér mozgása során bekövetkező – szelepüléssel és vezetőtárcsával történő – *ütközési jelenségek* leírására kísérleti módszert dolgoztam ki, amelynek eredményeiből az ütközéseket jellemző ütközési tényező meghatározható.

A *felhajtóerő számítására* egy módszert dolgoztam ki, amely a műszaki gyakorlatban alkalmazott felhajtóerő-mérési eljárás eredményeit felhasználva tetszőleges, – az üzemi nyomástartományon belüli – nyomáson meghatározza a felhajtóerő-függvény értékét.

A mért – elmozdulás-nyomás és erő-nyomás – adatmezőket regressziós módszerrel közelítettem. Foglalkoztam a felhajtóerő kezdőpontja számításának kérdésével, és megállapítottam, hogy a szakirodalomban fellelhető eltérő megközelítések következtében a probléma további vizsgálata szükséges. A felhajtóerő kezdőpontjából és a mért adatokból álló alappontok közelítésére kidolgoztam a 8-adfokú ortogonális Legendre-polinomokból felépített bázisfüggvényekkel végzett közelítő eljárást.

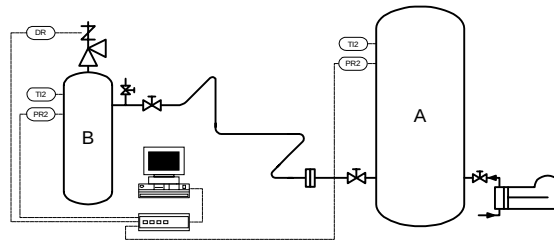
Az előzőekben tárgyalt vizsgálatok ismeretében felírtam a biztonsági szelep működését leíró *mechanikai modell mozgásegyenletét*, amely az

$$y = f(\tau, y, \dot{y}) = \frac{I}{m} \left(-\frac{I}{c} (y + y_0) - r\dot{y} - m_0 g + F_f(p_B, y) + F_S \right) \left\{ \begin{array}{l} \dot{y} > 0 \text{ esetén } F_S = -S \\ \dot{y} < 0 \text{ esetén } F_S = +S \end{array} \right. \quad (1)$$

összefüggéssel adható meg. A képletben y a szeleptányér elmozdulását, τ az időt, m a mozgó elemek tömegét, c a rugóállandót, y_0 a rugó előfeszítését, r a lineáris csillapítási tényezőt, m_0 a nyugvó tömegeket, F_f a felhajtóerőt, F_S a Coulomb-féle súrlódóerőt jelöli. Áttekintettem a működés során előforduló folyamatokat és állapotokat, tárgyaltam a szeleptányér mozgása során bekövetkező határhelyzetek – elindulás, megállás, ütközés – felismerésének feltételeit. A biztonsági szelep működését leíró szimulációs program részeként egy *számítógépes eljárást* dolgoztam ki a mozgásegyenlet numerikus számítására, amelyben a mozgásegyenletet Runge-Kutta módszerrel oldottam meg.

3.2. A nyomástartó rendszer áramlástani modelljének vizsgálata

A biztonsági szelep működésének vizsgálatára a tanszék laboratóriumában egy *kísérleti berendezés* került kialakításra, amelynek felépítése és műszerezettsége a 3.1. ábrán látható. A kísérleti berendezés fő részei a kompresszorral táplált A táptartály, a B mérőtartály, a tartályokat összekötő, fojtóelemmel ellátott csővezeték, a vizsgált biztonsági szelep és a mérő- adatgyűjtő rendszer elemei (DR , $T11$, $T12$, $PR1$, $PR2$).



3.1. ábra Kísérleti berendezés biztonsági szelep működésének vizsgálatára

Kidolgoztam a kísérleti berendezés, mint nyomástartó rendszer – adiabatikus rendszerben végbemenő sűrűdésos áramlást leíró – *áramlástan* modelljét, amelynek elemeit elméleti és kísérleti módszerek felhasználásával határoztam meg.

Kidolgoztam a fojtóelemet tartalmazó adiabatikus csőben történő gázáramlás iterációs számítási módszerét, szakaszonként tárgyaltam az állapotváltozásokat leíró egyenleteket. A megoldás során a nemlineáris egyenletek és egyenletrendszerek megoldására Newton-módszert alkalmaztam. *Számítógépes eljárást* dolgoztam ki a modellegyenletek megoldására. A számítógépes eljárás eredményeit a biztonsági szelep üzemi nyomástartományán kísérleti mérésekkel hasonlítottam össze, és igazoltam az áramlástan modell alkalmazhatóságát.

A műszaki gyakorlatban alkalmazott kísérleti eljárással különböző szeleptányér elmozdulásokon meghatároztam a biztonsági szelep *teljesítménytényezőjét*, majd a diszkrét pontokat a felhajtóerő-függvény számítására kidolgozott eljárással közelítettem.

3.3. Biztonsági szelep működésének szimulációs és kísérleti vizsgálata

Vizsgáltam a biztonsági szelep működését és a védendő nyomástartó rendszerben végbemenő folyamatokat leíró, *elméleti és kísérleti módszerekkel* meghatározott modellegyenleteket. A feladat elvégzésére egy *szimulációs programot* készítettem, amelynek alapját a felhajtóerő-függvény, a mozgásegyenlet, és az áramlástan egyenletek számítására kidolgozott eljárások szolgáltatják. A kísérleti berendezéssel olyan valós nyomásnövekedési folyamatokat állítottam elő, amelyek a biztonsági szelep működését váltották ki. Azonos kezdeti feltételekkel elvégezve a szimulációs számításokat, azok összehasonlíthatók a kísérletek során rögzített mérési eredményekkel. Az értekezésben több mérés és szimuláció eredményét közöltem.

Kidolgoztam egy *módszert a felhajtóerő kezdőpontjának számítására*, amelynek alkalmazhatóságát mérési eredményekkel igazoltam. A módszer korábbi szakirodalmi közlésekkel való összehasonlítását szimulációs számításokkal is elvégeztem. Ezt követően a modellegyenletek elemeinek – védendő edény térfogata, rugómerevség, lineáris csillapítási

tényező, Coulomb-féle súrlódás, ütközési tényező – biztonsági szelep működésére gyakorolt hatását vizsgáltam.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

- I. Kidolgoztam egy módszert, amely a biztonsági szelep működésének számítógépes szimulációja során szükséges felhajtóerő-függvényt mérési és számítási eredmények felhasználásával határozza meg [P2, P5, P6]. Ennek keretében:
 - I.1. Eljárást dolgoztam ki a felhajtóerő-függvény kezdőpontjának számítására, amelyet kísérletekkel igazoltam. Kimutattam, hogy a kapott felhajtóerő értékek szakirodalomban közölt módszerektől való eltérése a mérőtartály nyomás és az ellennyomás közötti jellemző szakadási felület elmozdulásának következménye.
 - I.2. Kidolgoztam a mért-számított felhajtóerő-alappontok 8-ad fokú ortogonális Legendre-polinomokból felépített bázisfüggvényekkel végzett közelítő eljárását.
- II. Felállítottam a rugóterhelésű biztonsági szelep mechanikai modelljét, amely alkalmas a működés nagypontosságú vizsgálatára [P1, P2, P3, P4, P6, P7, P10]. Ennek keretében:
 - II.1. Pontosítottam a szakirodalomban közölt rugó mozgó tömegének figyelembevételét vizsgáló eljárást.
 - II.2. Kidolgoztam egy vizsgálati módszert, amellyel a korlátozott elmozdulásra képes biztonsági szelepek mozgó elemeit jellemző lineáris csillapítási tényező meghatározható. Kimutattam, hogy a jellemző elmozdulás-amplitúdók tartományában a lineáris csillapítási tényező állandónak tekinthető.
 - II.3. Kidolgoztam egy vizsgálati módszert, amellyel a biztonsági szelepek mozgó elemeit jellemző Coulomb-féle súrlódás meghatározható. Kimutattam, hogy a jellemző elmozdulás amplitúdók tartományában a Coulomb-féle súrlódás állandónak tekinthető.
 - II.4. Kidolgoztam egy kísérleti módszert, amellyel a biztonsági szelep szeleptányérjának mozgása során bekövetkező ütközési jelenségek jellemzésére szolgáló ütközési tényezők meghatározhatók. Kimutattam, hogy az ütközési tényezők értékei a vizsgált tartományban függetlenek a becsapódás sebességétől.
- III. Felállítottam egy biztonsági szeleppel védett technológiai rendszer áramlástanai modelljét, amely alkalmas a védett rendszerben bekövetkező nyomás- és hőmérsékletváltozási folyamatok leírására [P2, P8, P9]. Ennek keretében:
 - III.1. Kidolgoztam a fojtóelemet tartalmazó adiabatikus csőben történő gázáramlás jellemzőinek iterációs számítási módszerét.

III.2. Előállítottam a biztonsági szelep közelített teljesítménytényező-függvényét.

IV. A kidolgozott felhajtóerő-függvény közelítő eljárás (I.), mechanikai modell (II.) és áramlástanai modell (III.) alapján létrehoztam egy számítógépes programot, amely alkalmas a biztonsági szelep működésének leírására, és általánosan felhasználható a biztonságtechnikai feladatok megoldásánál [P1, P2, P6, P8, P9, P10]. A számítógépes program felhasználásával:

IV.1. Kísérleti mérésekkel összehasonlítva kimutattam a modellek alkalmazhatóságát.

IV.2. Kimutattam, hogy a biztonsági szelepek kiválasztásánál figyelembe kell venni a védendő nyomástartó edény térfogatát.

5. AZ EREDMÉNYEK HASZNOSÍTÁSA, TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

Értekezésemben a rugóterhelésű biztonsági szelep működésének elméleti és kísérleti vizsgálatával foglalkoztam. Az értekezés eredményei a műszaki gyakorlatban is hasznosíthatók. A szimulációs és kísérleti vizsgálatoknál megfogalmazott törvényszerűségek – ilyen a felhajtóerő-függvény kezdőpontjával és a védendő tartály térfogatával kapcsolatos észrevétel – a biztonsági szelep kiválasztásánál és működtetésénél alkalmazhatóak. A kifejlesztett szimulációs program a biztonsági szelepek fejlesztési szakaszában, és a kiválasztást megelőző rendszerbiztonsági elemzésekénél hasznosítható.

Elő kapcsolattal rendelkezem az *AAA Technology and Specialties Co., Inc.* (Houston, Texas, USA) céggel, akik a CHEMCAD vegyipari rendszerszimulációs programrendszerbe kívánják beépíteni a biztonsági szelep modelljét. Tárgyalásokat folytatok a *Paksi Atomerőmű Rt.*-vel, ahol a beépített biztonsági szelepek folyamatos üzem közbeni működési paramétereinek (nyomás, szeleptányér elmozdulás) regisztrált és tárolt adatbázisának feldolgozásával az értekezésben kimutatott törvényszerűségek általánosíthatók.

Az értekezés eredményei az oktatásban is jól hasznosíthatók. A graduális és posztgraduális képzés keretein belül a kísérleti berendezés és a szimulációs program kitűnő lehetőséget biztosítanak a biztonsági szelep működésének, és a rendszerközpontú tervezés szükségességének bemutatására.

Az értekezésben bemutatott *tudományos eredmények továbbfejlesztésének* egyik lehetséges irányvonala a többfázisú közegekkel történő lefűvás, és a tápvezetékben fellépő nyomáslengések biztonsági szelep működésére gyakorolt hatásának vizsgálata. Egy másik – jelenleg is vizsgált – irányvonal a mechanikai modell pontosítása, azon belül a felhajtóerő kezdőpontjának számításánál meghatározott összefüggés más méretű és típusú biztonsági szelepekre történő általánosítása.

További lehetőség a kidolgozott szimulációs program továbbfejlesztése oly módon, hogy az általánosan felhasználható legyen a biztonsági szelepek fejlesztésénél és kiválasztásánál.

6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓK

Szóbeli előadás:

- [P1] *Siménfalvi Z.*: Biztonsági szelepek működésének vizsgálata, V. Vegyipari Gépészeti Konferencia, 1999. szeptember 7-9, Budapest.
- [P2] *Siménfalvi Z.*: Eljárás rugóterhelésű biztonsági szelep dinamikai vizsgálatára, GTE Energia és Vegyiparigép ill. Áramlástechnikai Gépek Szakosztályának vezetőségi ülése, 2000. május 9, Budapest.

Teljes terjedelmű közlemények:

- [P3] *Bene, F.; Léderer, P.; Ortutay, M., Siménfalvi, Z.*: Biztonsági szelep nyitási folyamata, fejlesztési lehetőségek, Gép 1997/11. pp. 15-17.
- [P4] *Siménfalvi Z.*: Biztonsági szelep dinamikai modellje, Doktoranduszok fóruma kiadványa, Miskolci Egyetem Gépészmérnöki Kar, 1997, pp. 35-40.
- [P5] *Siménfalvi, Z.*: Biztonsági szelepek felhajtóerő-karakteristikájának meghatározása laboratóriumi mérési eredmények felhasználásával, Munkavédelem és biztonságtechnika, 1998/1. pp. 47-52.
- [P6] *Siménfalvi, Z., Ortutay, M.*: Numerical simulation of safety and relief valves' dynamic, CHISA '98 13th Int. Congress of Chemical and Process Engineering, Full text CD-ROM, Prague, 1998.
- [P7] *Siménfalvi, Z.; Ortutay, M.*: Safety valves for pressure vessel protection, Proceedings of first conference on mechanical engineering, Gépészet '98, Budapest 1998. May, pp. 409-413.
- [P8] *Siménfalvi, Z.*: Kísérleti berendezés rugóterhelésű biztonsági szelep vizsgálatára, Munkavédelem és biztonságtechnika 1999/4. pp. 37-44.
- [P9] *Siménfalvi, Z., Ortutay, M.*: Experimental and numerical simulation of spring-loaded safety valve, 11th Conference on Fluid and Heat Machinery and Equipment, Full text CD-ROM, Budapest, 1999.
- [P10] *Patkó, Gy., Ortutay, M., Siménfalvi, Z.*: On vibrations during operation of safety valve's disc, Publ. Univ. of Miskolc, Series C, Mechanical Engineering, Vol. 49. (1999) pp. 135-142.