

KOMPLEX ELEMZÉSI MÓDOK A VEGYIPARI GÉPÉSZET TERÜLETÉN

Petrik Máté

tanársegéd, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet,
Vegyipari Gépészeti Intézeti Tanszék
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: petrik@uni-miskolc.hu

Jármai Károly

egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet,
Vegyipari Gépészeti Intézeti Tanszék
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: altjar@uni-miskolc.hu

Szepesi L. Gábor

egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet,
Vegyipari Gépészeti Intézeti Tanszék
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: szepesi@uni-miskolc.hu

Absztrakt

A vegyipari gépészet területén belül öt nagyobb területet lehet felsorolni, melyek a művelettan, szilárdságtan, áramlástan, biztonságtechnika és rendszertechnika. A különböző tervezési és ellenőrzési feladatoknál azonban nem lehet élesen szétválasztani ezeket a részterületeket, gyakorlatilag minden esetben komplex módon kell a problémát megközelíteni. Jelen cikkünkben ilyen komplexen vizsgált rendszerekre szeretnénk néhány jellemző példát bemutatni.

Kulcsszavak: vegyipari gépészet, művelettan, szilárdsági méretezés

Abstract

Within the field of the chemical engineering five major areas can be mentioned, which are the unit operations, the structural design, fluid engineering, safety engineering and system technique. However, in the case of different design and checking tasks, it is not possible to sharply separate these minor areas. In the practice, all problem must be approached in a complex way. In this present paper, some typical examples of complex systems would be presented.

Keywords: chemical engineering, unit operations, structural design

1. Bevezetés

A vegyipari műveleteket nagyon leegyszerűsítve úgy lehetne definiálni, hogy vagy több anyagot szeretnénk egymással egyesíteni, vagy egy heterogén rendszer alkotóit szeretnénk egymástól szétválasztani. A vegyipari gépészet alapfeladata pedig ezen vegyipari technológiák végrehajtása, rendszerbe foglalása és a hozzá tartozó berendezések megtervezése [1]. A hétköznapi életből példákat hozva ide sorolhatóak szeszgyártási technológiák (a kiindulást jelentő cefre alkoholtartalma túlságosan alacsony, desztillációs művelettel a végtermékben feldúsítjuk), környezetvédelmi technológiák (a füstgázokban lévő kén kalcium-tartalmú vízzel érintkeztetve leválasztható, így nem kerül a légkörbe és

nem okoz környezetkárosító kéneseit) vagy a legkülönbözőbb műanyagok gyártása (melyek kiindulási anyagát a kőolajfinomítók különböző termékeiből állítanak elő) [2].

Ezek a legkülönbözőbb technológiák a környezetitől eltérő nyomáson és hőmérsékleten mennek végbe, melyekhez nyomástartó berendezéseket kell gyártanunk. Ezek a készülékek mindig valamilyen rendszerben működnek (a reakció beindításához bizonyos hőmérsékletre és nyomásra van szükség). A hőmérséklet növelésének bevált módszere a gőzfűtés, melyet egy hőcserélővel tudunk biztosítani. A nyomásfokozást valamilyen szivattyú vagy kompresszor fogja elvégezni, azonban mivel ezek a berendezések az üzemek „szívei”, védeni kell a szennyeződésektől. Ezek jelentkehetnek szilárd anyag formájában, melyeket egy szűrőberendezéssel választhatunk le, vagy jelentkehetnek gázbuborékok formájában, melyeket valamilyen gáztalanító berendezéssel távolíthatunk el [3].

Mai modern világunkban a népesség növekedésével mind az élelmiszer, energia és áru fogyasztás is fokozatosan növekszik. A vegyipari gépészetnek mindhárom szektoron belül jelentős szerepe van.

Az energiatermelés helyszínei az atom- és fosszilis tüzelésű erőművek, ahol előbbi esetben a radioaktív anyagok hasadásából, utóbbi esetben a biomassza anyagok elégetéséből származó hő segítségével gőzt fejlesztünk, mellyel munkát végeztetünk egy turbinán. Az élelmiszergyártás esetén számtalan jellemző példát lehet hozni:

- szeszes italok gyártásánál a desztilláció és rektifikálás műveletét,
- lekvárok, szirupok, tengervíz sóalanítása esetén a bepárlás műveletét,
- cukorgyártás esetén a mechanikai műveleteket, extrakciót, kristályosítást,
- gabonák feldolgozása esetén az őrlést, osztályozást, pneumatikus szállítást.

Ennél a pontnál szeretnénk felhívni a figyelmet arra, hogy a felsoroltak ugyan mindegyike emberi fogyasztásra alkalmas, adott körülmények között potenciális veszélyforrásként viselkedhetnek (a etilalkohol gőze éghető, a por formában lévő anyagmennyiségek megfelelő méret- és koncentrációtartományban robbanásra hajlamosak).

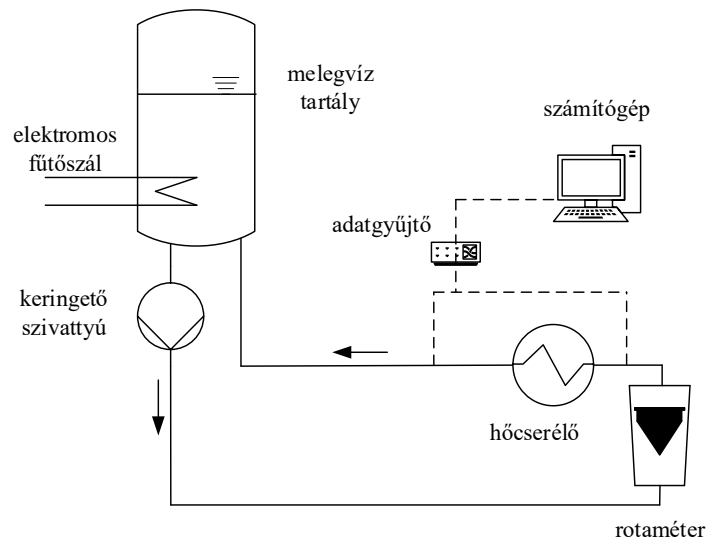
Ebből a rövid felsorolásból is érezhető, hogy a gépészmérnöki tudományok területén belül jelentős szerepet képvisel a vegyipar. Természetesen ennek a tudományágnak a fejlődése nem mehetne végbe a többi, klasszikusként is definiálható terület fejlődése nélkül. Mindenki célja, hogy ezt a szinergikus kapcsolatot fenntartsa. Valamint elmondható az is, hogy ezen a területen belül is komplex gondolkodásmódra van szükség, a hatékonyság növeléséhez a csoportmunka elengedhetetlen. Jelen cikk célja, hogy egy rövid betekintést nyújtson ezek közé a komplex feladatok közé.

2. Növelt felületű hőcserélők vizsgálata

Az elsőként bemutatásra kerülő tématerület a növelt felületű, vagy bordácsövös hőcserélők vizsgálata. Ha a kompresszorok nevezhetők az üzemek szívének, akkor a hőcserélők az ígáslovak. Nem csupán üzemi, hanem a háztartások és a járműipar is széles körben alkalmazza őket. Feladatuk kettős: egyrészt biztosítani az adott művelethez szükséges hőmérsékletet, másrészt a különböző folyamatok közben keletkező hő felhasználása. Utóbbira jó példa lehet a járművekben található radiátorok. Hagyományos belső égésű motorok esetén a hengerekben bekövetkező robbanás hője a motorblokkot egy folyamatos hőárammal látja el, melynek következtében a blokk hőmérséklete növekedni fog, mely viszonylag rövid idő alatt működésképtelenné teheti. Ennek elkerülése érdekében a blokkban csatornákat képeznek ki, melyben hűtőfolyadékot keringtetnek. Itt a hűtőfolyadék felmelegszik, hőt von el a motorbloktól, mely hőt a radiátorban a levegőnek adja át. A 2020-as évek áttörését az elektromos autók térhódítása fogja jelenteni, melyben elektromos motor fogja a hajtást biztosítani, viszont ezekben is szükség lesz ilyen hűtőkre, csak nem a motor hűtésére, hanem az akkumulátor-cellák hűtésére.

Az ilyen típusú berendezések vizsgálatához megterveztünk egy mérőkört, mellyel gyakorlatilag minden kisebb méretű hőcserélő berendezés vizsgálata elvégezhető [4-5]. Ennek a mérőkörnek a sematikus rajzát az 1. ábra mutatja.

A járművekben található síklemez-bordás hőcserélők másik elterjedt felhasználása a légkondicionáló berendezések külső egységében történik. Itt is említhetők a háztartásokban felhasznált berendezések, ipari szempontból viszont sokkal nagyobb teljesítményekről beszélhetünk. Erre példaként hagy hozzuk a nagy üzemek számítógépparkját. A rengeteg mért jellemző (hőmérséklet-, nyomás-, összetétel- és folyadékszint értékek), a szabályozó és vezérlő jelek ezekbe a számítógépekbe érkeznek, melyek működésük során rengeteg hőt termelnek, ezért az egész termet, ahol ezek elhelyezkednek, hűteni kell. A komplex gondolkodásmódra és együttműködésre itt a villamosmérnökökkel és informatikusokkal történő kooperációt szeretném megemlíteni, akik nélkül mind a mérési, mind a beavatkozási lehetőségek sokkal korlátozottabbak lennének.

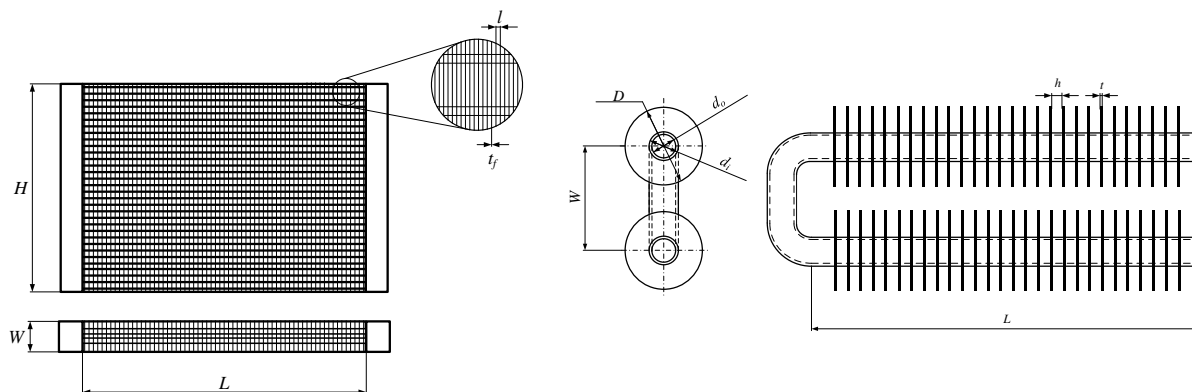


1. ábra. Hőcserélők termikus tulajdonságai méréséhez tervezett mérőkör sematikus ábrája

A mérés a következőképp működik: a melegvíz tartályt vízzel feltöltjük, mely elektromos fűtőszálak és egy hőmérsékletszabályozó segítségével a kívánt hőmérsékletig melegíthető. A melegágba be van építve egy keringető szivattyú, mely ennek a közegnek az áramlását fogja előidézni. Ennek a szivattyúnak a szállítómennyisége állítható, így több üzemállapot kimérésére is lehetőség van. A pontos térfogatáram méréséhez egy rotaméter használható. Ezután van bekötve a vizsgálandó hőcserélő, melyből a lehűtött közeg visszavezetődik a tartályba. A hőcserélő előtt és után a hőmérsékletek mérése számítógép segítségével történik. Attól függően, hogy milyen típusú a vizsgált hőcserélő, többféle módon is megoldható a hűtése:

- autóradiátor esetén a ventilátor rá volt építve a radiátor házára, mely a levegő áramlását biztosította. Ebben az esetben frekvenciaváltóval biztosítottuk a ventilátor több fordulatszámát. A mérések során az átlagos légsebesség, a levegő átlaghőmérsékletét és nedvességtartalmát, valamint a radiátort elhagyó levegő hőmérsékletét kellett mérnünk.
- Egy bordás hajtúcsöves csőregiszter mérése szélcsatornában történt. A szélcsatornában különféle légsebesség mellett lehetett méréseket végezni.

- Vízszintes orientációjú cső a csőben hőcserélő belső terében kialakuló kondenzáció vizsgálatánál a köpenytérbe vezetett hűtővíz segítségével végezhető mérések. Itt a gőzmennyiséget az időegység alatt lekondenzálódott víz mennyiségének méréséből lehet meghatározni.



2. ábra. A vizsgált hőcserélők sematikus ábrája

Az első két mérés mérési eredményeiből sikerült a szakirodalomban található összefüggéseknél sokkal pontosabb Nu-szám összefüggést meghatározni. A harmadik mérés eredményeinek feldolgozása jelenleg is folyamatban van.

A 2. ábra bal oldalán látható radiátor hőtechnikai számításaihoz szükséges általunk meghatározott Nu-szám összefüggés

$$\text{Nu}_a = 0.817 \cdot \text{Re}_a^{0.6} \cdot \left(\frac{A}{A_{T0}} \right)^{-0.39} \cdot \text{Pr}_a^{1/3}, \quad (1)$$

míg a csőregiszter esetén a következő:

$$\text{Nu}_a = 29,59 \cdot \text{Re}_F^{0,237} \cdot \text{Pr}_a^{1/3}. \quad (2)$$

3. Hőcserélők rezgéstani vizsgálata

Ahogy az előző fejezetekben is látszik, bármilyen berendezésről van is szó, nem lehet csak és kizárólag egy szemlélettel hozzálátni a tervezéséhez. Az 1. ábrán látható melegvítartálynak és 2. ábrán látható hőcserélőknek ugyanúgy ki kell bírni a szivattyú által létrehozott nyomást (a keringető szivattyú ugyan csak minimálisan növeli a közeg nyomását, de a biztonságos működéséhez a légköritől nagyobb nyomás szükséges, mert a szerelvényeken áthaladva nyomáscsökkenést szenved el). A nyomáshatároló szerepen túl a dinamikus terheléseket mutatjuk be. Kisebb méretű berendezések esetén ennek nincs nagy jelentősége, viszont nagyobb berendezések esetén komoly problémákat okozhat [6].

Az ipari gyakorlatban leggyakrabban használt hőcserélő típusok a csőköteges hőcserélők. Ezek esetén viszonylag kis térfogatba nagymértékű hőátadási felületeket lehet elhelyezni. Ahogy az 1. és 2. összefüggésből is látszik, a kialakuló hőátadási tényező a Re-szám, vagyis a közegsebesség függvénye. Minél nagyobb sebességgel áramlik a közeg, annál nagyobb lesz a hőátadási tényező, így a berendezés hőteljesítménye is [7].



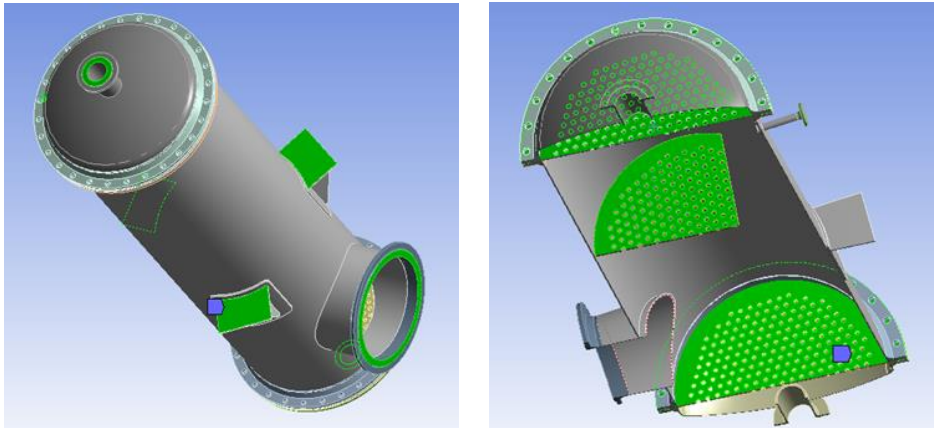
3. ábra. Köpenytérben elhelyezett különböző terelőlemezek

A köpenytéri közeg a külső hengeres héj és a benne lévő hőátadó csövek között áramlik, ami már így is egy csökkentett keresztmetszetet jelent, azonban sok esetben szükséges tovább csökkenteni ezeket. Ennek oka egyrészt a közegsebesség növelése, másrészt a hőátadásban részt nem vevő térfogatok, pangó térrészek, angol meghatározással dead zone-ok csökkentése.

A 3. ábrán látható, hogy ezeket a terelőlemezeket egymáshoz képest többféle módon is elhelyezhetjük. Amiatt, mert az áramlási térben elhelyezünk ilyen lemezeket, az áramlási keresztmetszet le fog csökkenni, vagyis a Re-szám értéke, így a hőátadási tényező értéke növekedni fog. Ezzel szinkronban a berendezés nyomásvesztése is növekedni fog. Ez üzemeltetés szempontjából káros, viszont mindkét értéket a tervezés során figyelembe lehet venni, akár egy optimalizálási feladatot is lehet végezni ezek felhasználásával. Azonban sokkal nagyobb problémát jelenthetnek a rezgések. A terelőlemeznél a közeg felgyorsul, két lemez között lelassul, majd újra. Nagy sebességnél kisnyomási energia, kis sebességnél nagy nyomási energia fog folyamatosan változni a hőcserélő tengelye mentén, mely rezgést fog okozni a berendezés belsejében. Ennek a rezgésnek az amplitúdója és rezgése CFD szimuláció alkalmazásával, míg a köpeny teherviselő képessége VEM alkalmazásával történhet.

Egy csököteges hőcserélő végesselemes szimulációjának eredményei láthatók a következő ábrákon. A 4. ábra a vizsgált berendezést mutatja, melyben a csököteget megfogásokkal helyettesítettük.

A vizsgálatához az ANSYS környezet sajátfrekvencia meghatározására szolgáló modulját alkalmaztuk. Az elemzések során, valamint a hálófüggetlenségi vizsgálatok alatt a berendezésnek csupán az első hat sajátfrekvencia értékét kerestük. Azonban nem is kellett többet, mert a szakirodalomban találtunk olyan szivattyút, melynek a sajátfrekvenciája nagyon közel esett a hőcserélő sajátfrekvenciájához, mely gyakorlatilag azt jelentette, hogy valamilyen szilárdsági áttervezésre van szükség [8].



4. ábra. A vizsgált hőcserélő köpenyterének modellje, a megfogásokkal

Hasonló rezgéstani problémák számtalan egyéb helyen kialakulhatnak. Egyik ilyen témakör a keverős készülékek területe. Keverős berendezések a hőátadási folyamatok elősegítését, a reakciók beindítását, anyagok homogenizálását, kristályosítást, folyadékban oldott gázok eltávolítását segíthetik elő. Ezen berendezések legfontosabb alkatrésze a keverőtengely, melyen a keverőlapátok helyezkednek el [9]. A lapátok száma általában 3-4, de még nyitott turbinakeverőknél sem haladja meg a 8-10 lapátot. A forgás következtében a lapátok hatnak a folyadékra, ami mozgásba lendül, és ez a mozgó folyadék pedig hatással lesz a készülékben található többi elemmel, amik áramlástörők, fűtőcsőkégyők, vagy amennyiben nagyobb méretekben gondolkozunk, komplett csőkötegek is lehetnek. Ilyen esetben hasonló elemzéseket kell végezni: meg kell vizsgálni, hogy adott fordulatszám és geometriai méretek mellett milyen erőhatások, nyomáshullámok alakulnak ki a vizsgált térfogatban, majd az itt kapott eredményeket a szerkezeti elemekre külső terhelésként kell megadni. Amennyiben az eredmények szerint nincs jelentős hatással a kialakuló rezgések a szerkezeti elemekre, a berendezés rezgéstani szempontból üzemeltethető.

4. Acélszerkezetek vizsgálata

Az acélszerkezetek minden gyár, üzem alapvető részét képezi, gyakorlatilag azok csontvázát jelentik. A beruházás során, az építkezés kezdetén nagyon erőforrásigényes ennek a szerkezetnek a beépítése. Az üzemhez készített tervek során gyakorlatilag már egy optimalizálási folyamat zajlik; elvi korlátja nem lenne annak, hogy ezeket az üzemeket jelentősebb acélszerkezet nélkül, vertikális építési móddal építsék meg, valamint annak sem, hogy nagyon magas épületekben történjen a termelés. A vertikális építési módnak a hátrányai közé tartozik az, hogy nagyon nagy területre lenne szükség, ami a mezőgazdasági területek méretének csökkenését okozná, valamint a közegek áramlását nem tudnánk gravitációs módon megvalósítani, így sokkal több szivattyúra lenne szükség, amely az üzem energiafogyasztását növelné meg túlságosan (ami folyamatos kiadást jelent). A nagyon magas vázszerkezeteknél nagyon nagy szelvénykeresztmetszetekre lenne szükség, egyrészt a szerkezet öntömegének következtében, másrészt a rajta elhelyezett készülékek tömegéből. Egyik szélsőséges esetben sem elhanyagolható a kezelőszemélyzet beavatkozásának ideje sem, mely egyik esetben sem ideális [10-11].

Önálló példa esetén is van jelentőségük, gondoljunk például a 2. fejezetben bemutatott klímarendszer külső egységére. Már a kisebb üzemek esetén is a számítógépszoba jelentős hűtést

igényel, melyhez nagy teljesítményű hűtőberendezést és nagy felületű bordás hőcserélő tartozik. Ezeket általában vagy a szerverterem, vagy a vezérlőépület tetején szokták elhelyezni. Nagy tömegű berendezések esetén az épület szerkezetében kell nagy keresztmetszetű szelvényeket beépíteni. Ebbe a tömegbe a készülék teljes tömegét bele kell számítani, vagyis az acélszerkezet, a töltet, a szigetelés, a szerelvények és minden hozzá tartozó egyéb tartozék tömegét bele kell számítani. Gyártás- és hegesztéstechnológiai és a csatlakozási pontok kialakításának szempontjából a legjobb választás az I- és szekrényszelvények lehetnek, de más igénybevételek esetén cellalemezek alkalmazása is ajánlott. Utóbbira jó példa lehet a kompresszorok, szivattyúk talplemezei.

A rácsos tartók két végükön csuklókkal összekötött merev testekből állnak. Az így kialakított tartót az öt alátámasztó szerkezetekkel a már tanult kényszerek, támaszok kötik össze. A rácsos tartókat az esetek többségében a rudak végpontjaiban, a csuklókon terhelik a külső erők, tehát egy rudat csak a két végén levő csuklóknál ébredő erők terhelnek. A két erő egyensúlyából következik, hogy ezeknek közös hatásvonalon kell működni, tehát ez az egyenes a rúd két végén levő csuklót összekötő egyenes.

Amennyiben a rácsos tartót csak a csomópontjaiban ható erők terhelnek, a tartó rúdjai részben csak nyomottak, illetve részben csak húzottak. Tehát nem hajlítottak. Összetett tartók esetében akkor mondhatjuk, hogy a tartó merev, ha bármilyen teher esetében nyugalomban marad. Ez a merevség a statikailag határozott tartóknál akkor valósul meg, ha a kapcsolatot a legkevesebb kapcsolórúddal biztosítják. A szükségesnél több kapcsolórúd esetében a tartó határozatlan, ha a szükségesnél kevesebb a kapcsolórúd, akkor a tartó labilis.

Az olyan egyenes tengelyű vagy görbetengelyű rudakból álló tartószerkezetet, amelyben a rudak találkozásánál létrejövő csomópontok sarokmerevek, keretszerkezetnek nevezzük. Másik kevésbé szokásos elnevezésük: törttengelyű tartószerkezetek. A sarokmerevség azt jelenti, hogy a rúdvégek, amelyek a csomópontban találkoznak, külső erő vagy más egyéb hatás következtében egyformán mozdulnak el. Keretszerkezetnek nevezzük az egyenes rudakból sarokmerev kapcsolattal létrehozott, síkbeli vagy térbeli terhelést felvevő szerkezetet [12-13].

5. Biztonságtechnikai alapok

Jelen cikkünkben próbáltuk a bevezetőben leírt részfeladatokat egymással összekötni, melyben gyakorlatilag mindenhol valamilyen hőátadási folyamatot kötöttünk össze egy másik részterülettel. ebben a fejezetben szintén a hőátadást kötjük össze, most a biztonságtechnikai szemlélettel. Itt két jelentősebb problémát mutatunk be, egy hőcserélő berendezésben bekövetkezett csőtörés hatását, valamint egy tűzbe került légtartály időbeli viselkedését.

5.1. Hőcserélőben bekövetkezett csőtörés

Csőköteges hőcserélőkben történt meghibásodás esetén azt kell feltételezni, hogy egyetlen cső törik el, mégpedig teljes keresztmetszetben. A valóságban a csövekben kialakuló feszültségállapot következtében biztosan nem ilyen típusú meghibásodás fog bekövetkezni, mivel a tangenciális feszültség lesz a jellemző feszültsége, melynek következtében hosszirányban fog a cső felszakadni. Ezt a keresztmetszetet azonban szinte lehetetlen meghatározni, ezért a biztonság irányába tévedve feltételezzük a cső keresztmetszetet, méghozzá úgy, hogy a törött cső mindkét részéből érkezik a nagyobb nyomású közeg [14-15].

5.1.1. Gázokra és gőzökre vonatkozó összefüggések

Gázok és gőzök áramlása esetén a számításokat a kritikus viszonyok ellenőrzésével kell kezdeni. Ehhez a kritikus nyomást kell meghatározni:

$$p_{cr} = p_1 \cdot \left[\frac{2}{\kappa + 1} \right]^{\kappa / \kappa - 1} \quad (3)$$

- p_1 a nagyobb nyomású tér nyomása (psi)
- κ az izentropikus kitevő (-)

A folyamat hajtóereje a nyomáskülönbség lesz, mely a következő összefüggéssel számítható:

$$\Delta p = p_1 - \max(p_{cr}, p_2) \quad (4)$$

ahol p_2 a kisebb nyomású tér nyomása (psi).

$$m_{be} = 2407,7 \cdot C \cdot A \cdot Y \cdot \sqrt{\Delta p \cdot \rho} \quad (5)$$

- C az átfolyási tényező
 - csőből a köpenybe történő áramlásnál 0,74
 - köpenyből a csőbe történő áramlásnál 0,6
- A az áramlási keresztmetszet (cső belső keresztmetszetének kétszerese), inch²
- Y az expanziós kitevő, amelyet szintén a lefűvás irányának megfelelően kell meghatározni
 - csőből a köpenytérbe történő áramlás esetén

$$Y = 1 - 0,4 \cdot \frac{\Delta p}{p_1} \quad (6)$$

- köpenyből a csőtérbe történő áramlás esetén

$$Y = 1 - 0,317 \cdot \frac{\Delta p}{p_1} \quad (7)$$

- ρ a nagyobb nyomású közeg sűrűsége (lb/ft³)

Az összefüggésekben látható, hogy az API-nak megfelelően az angolszász mértékegységekben helyettesítettük be a jellemző értékeket.

5.1.2. Folyadékokra vonatkozó összefüggések

Folyadékok átáramlása esetén nem kell kritikus nyomásviszonyokat számolni, hanem egyszerűen a két tér nyomáskülönbsége adja a folyamat hajtóerejét:

$$m_{be} = 2407,7 \cdot C \cdot A \cdot \sqrt{\Delta p \cdot \rho} \quad (8)$$

ahol

$$\Delta p = p_1 - p_2 \quad (9)$$

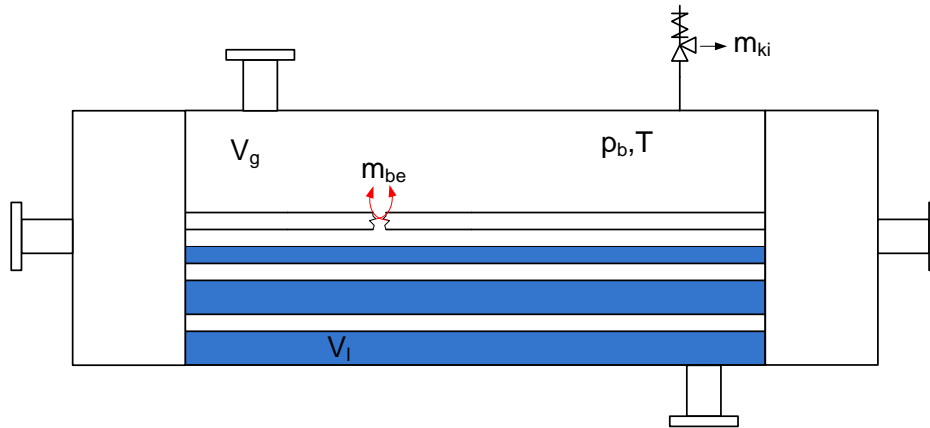
Ebben az esetben is meg kell különböztetni az áramlási irányokat, de a C átfolyási tényező értéke nem változik (0,74 csőből köpenybe és 0,6 köpenyből csőbe történő áramlás esetén).

5.1.3. Készülék dinamikus modellje csőtörés esetén

Abban az esetben, ha a vizsgált készülékben csőtörés következik be, akkor két lehetséges esetén állhat fenn:

- a köpenytérben lévő nyomás nagyobb, mint a csőtéri nyomás,
- csőtérben lévő nyomás nagyobb, mint a köpenytérben.

A második esetet vizsgálva tekintjük az 5. ábrát:



5. ábra. A csőtörés egyszerűsített ábrája

Az ábrán látható egy hőcserélő vázlat, melyben lehet gáz és folyadék is (V_g , V_l). A köpenytérben lévő kezdeti nyomást p_k -val jelöltük. A készülékbe csőtörés esetén anyag áramolhat be. A készülék el van látva biztonsági szeleppel, melynek nyitónyomását p_s -el jelöltük. A készülék gáztérben lévő nyomás meghatározásánál feltételezzük, hogy érvényes az ideális gáztörvény:

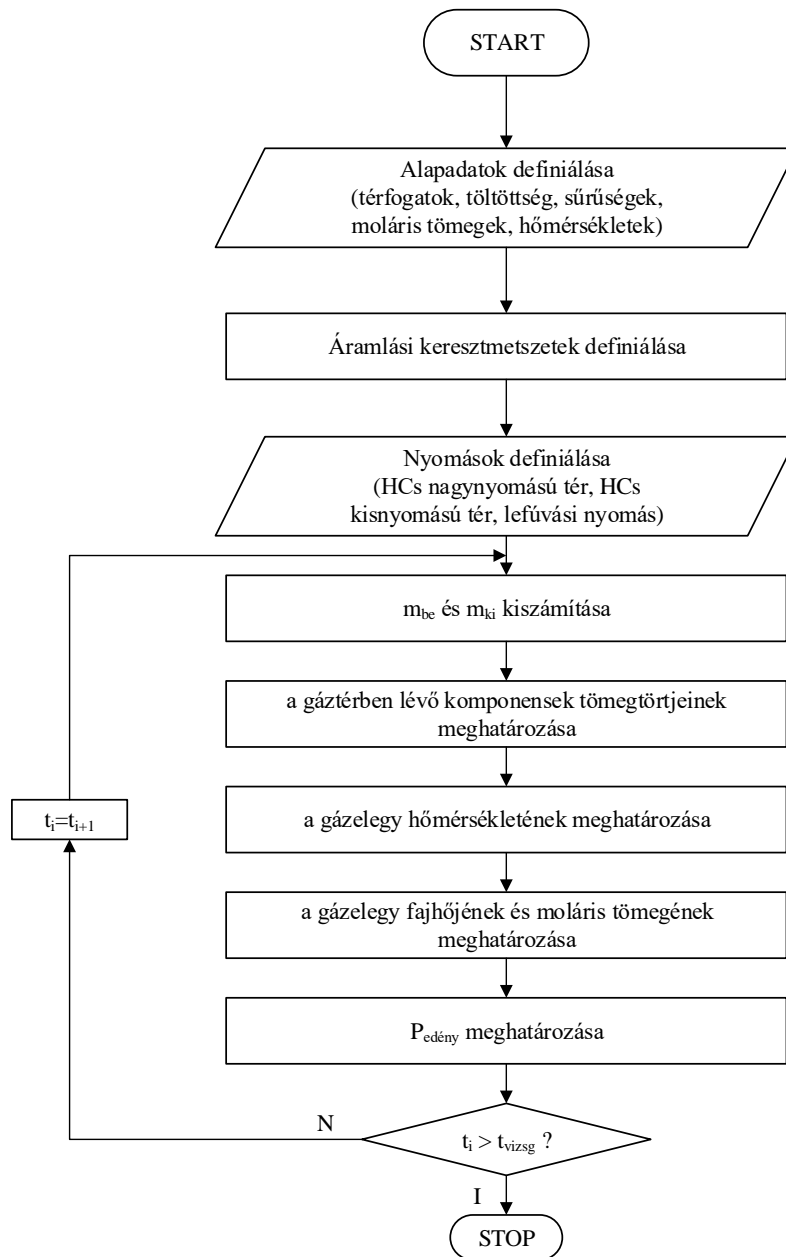
$$p_b(\tau) = \frac{m_g(\tau)}{M_g(\tau) \cdot V_g(\tau)} \mathfrak{R}T \quad (10)$$

Amennyiben a gáztérbe gáz halmazállapotú közeg áramlik be vagy olyan folyadék, ami az adott állapothoz tartozóan gáz halmazállapotúvá válik, úgy a gáztérben lévő anyagmennyiség megnő, valamint változik a gáztérben lévő molekulatömeg. Ha folyadék halmazállapotú közeg érkezik be kiforralódás nélkül, akkor ebben az esetben a rendelkezésre álló gáztérfogat csökken, ami szintén a nyomás növekedését okozza. A gáztér tömegének megváltozása az alábbi differenciálegyenlettel írható fel abban az esetben, ha gáz halmazállapotú közeg áramlik be:

$$\frac{dm_g}{d\tau} = m_{be} - m_{ki} \quad (11)$$

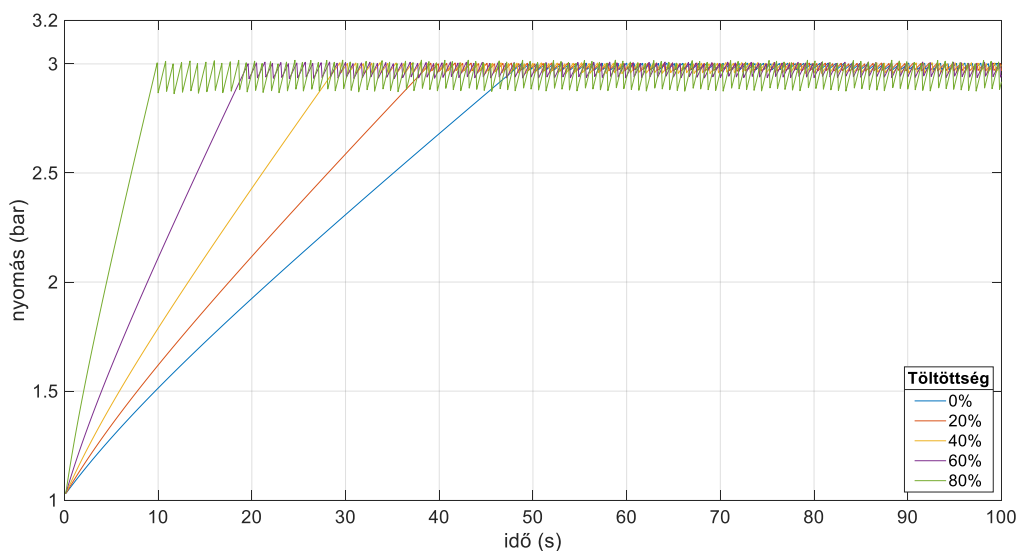
A készített program folyamatábrája a 6. ábrán látható.

A modell vizsgálatánál egy 42 m^3 térfogatú tartályt vizsgáltunk, melyen egy 3 bar_g nyitónyomású biztonsági szelep van elhelyezve. A nagy nyomású közeg $7,6 \text{ barg}$ nyomású volt, míg a tartály a folyamat kezdetén atmoszférikus volt. A nyomásnövekedés számításához elengedhetetlen adat az edény töltöttségi szintje. Ezt változtatva összehasonlító grafikonokat készítettünk, melyről leolvasható a nyitáshoz szükséges idők.



6. ábra. A dinamikus modell számításának folyamatábrája, gőz/gáz átáramlás esetén

Az ábrából jól látszik (ahogy várható is volt) minél inkább fel van töltve folyadékkal az edény, annál gyorsabban el fogja érni a nyomás a nyitónyomás értékét. A lefúvás bekövetkezése után a görbék fűrészfog jelleget mutatnak. Ez a szelep nagy lefúvó keresztmetszetének a következménye. A nagy lefúvási keresztmetszet nagy lefúvási kapacitást fog eredményezni, mely megakadályozza, hogy a nyitónyomásnál nagyobb nyomás kialakuljon a rendszerben, viszont minden egyes fűrészfog egy-egy nyitást reprezentál, ami káros a szelep élettartamára nézve.



7. ábra. A vizsgált edényben lévő nyomás időbeli viselkedése, a töltöttségi szint függvényében

6. Összefoglalás

Jelen cikkben többféle olyan tervezési feladatot mutattunk be, melyek első ránézésre nem, egy tüzetesebb vizsgálat során viszont szoros kapcsolat fedezhető fel. Ezek közül az egyik legszorosabb kapcsolat a műveletani és szilárdságtani vizsgálatok között van. Bemutattuk, hogy kísérleti módszerekkel hogyan lehet egy bordáscsőves hőcserélő hőtéljesítményét meghatározni, milyen acélszerkezetet lehet hozzá építeni. Csőköteges hőcserélők esetén az áramlási jellemzőkből hogyan lehet rezgéstani jellemzőket meghatározni, mely a szivattyú kiválasztására is hatással van, valamint egy esetlegesen bekövetkező csőtörés esetén milyen módszerrel lehet a kisebb nyomású tér nyomását meghatározni.

7. Köszönetnyilvánítás

A bemutatott kutatómunka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) támogatásával a K 134358 számú projekt keretében valósul meg.

Irodalom

- [1] Jourdan N. *et al.*: *Compartmental Modelling in chemical engineering: A critical review*, Chem. Eng. Sci., vol. 210, (2019) p. 115196. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2019.115196>
- [2] Fakhroleslam, M., Sadrameli, S. M.: *Thermal/catalytic cracking of hydrocarbons for the production of olefins; a state-of-the-art review III: Process modeling and simulation*, Fuel, vol. 252, (2019) pp. 553-566. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.04.127>
- [3] Wagenfeld, J.-G., Al-Ali, K., Almheiri, S., Slavens, A. F., Calvet, N.: *Sustainable applications utilizing sulfur, a by-product from oil and gas industry: A state-of-the-art review*, Waste Manag., vol. 95, (2019) pp. 78-89. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.06.002>

- [4] Yao, J., *A Review of industrial heat exchange optimization*, IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci., vol. 108, no. 4, (2018) <https://doi.org/10.1088/1755-1315/108/4/042036>
- [5] Taler, D., Taler, J., Trojan, M.: *Thermal calculations of plate–fin–and-tube heat exchangers with different heat transfer coefficients on each tube row*, Energy, vol. 203, (2020) p. 117806, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117806>
- [6] Jo, J. C., Jhung, M. J.: *Flow-induced vibration and fretting-wear predictions of steam generator helical tubes*, Nucl. Eng. Des., vol. 238, no. 4, (2008) pp. 890-903. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2006.12.001>
- [7] Abd, A. A., Naji, S. Z.: *Analysis study of shell and tube heat exchanger for clough company with reselect different parameters to improve the design*, Case Stud. Therm. Eng., vol. 10, no. October, (2017) pp. 455-467. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2017.10.002>
- [8] Zhao, W. Y., Ge, J. G., Ma, D. Li, C. M. Bao, S. B.: *Vibration analysis of large centrifugal pump rotors*, IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. OPEN, vol. 52, (2013) p. 022033. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/52/2/022033>
- [9] Singh, B.: *CFD Simulation of mixing by maxblend impeller in a lab-scale anaerobic digester*, (2019) pp. 23-24. <https://doi.org/10.26649/musci.2019.010>
- [10] Xu, Y., Wang, Z., Zhu, Q.: *An improved hybrid genetic algorithm for chemical plant layout optimization with novel non-overlapping and toxic gas dispersion constraints*, Chinese J. Chem. Eng., vol. 21, no. 4, (2013) pp. 412-419. [https://doi.org/10.1016/S1004-9541\(13\)60490-6](https://doi.org/10.1016/S1004-9541(13)60490-6)
- [11] Wu, Y., Zhang, S., Wang, R., Wang, Y., Feng, X.: *New model for large scale chemical industrial layout optimization*, Chem. Eng. Res. Des., vol. 161, (2020) pp. 58-71. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2020.06.026>
- [12] Farkas, J., Jármai, K.: *Fémszerkezetek Innovatív tervezése*. Miskolc: Gazdász-Elasztik Kiadó és Nyomda, 2015.
- [13] Farkas, J., Jármai, K.: *Analysis and Optimum Design of Metal Structures*. Rotterdam, Hollandia: Balkema Publishers, 1997.
- [14] Harhara, A., Hasan, M. M. F.: *Dynamic modeling of heat exchanger tube rupture*, BMC Chem. Eng., vol. 2, no. 1, (2020) pp. 1-20. <https://doi.org/10.1186/s42480-020-0029-1>
- [15] Crane Technical Paper 410: *Flow of Fluids Through Valves, Pipes and Fittings*, Crane Valves, 2009.