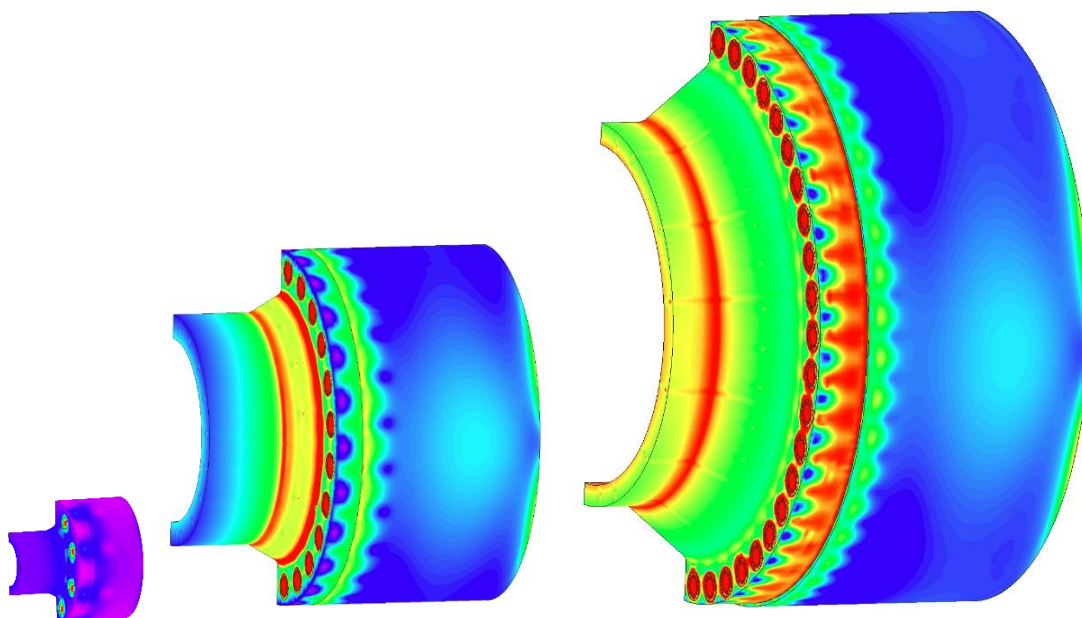




BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

**NAGYNYOMÁSÚ GÖMBBCSAPOK KARIMÁS KÖTÉSEINEK
OPTIMÁLIS ELŐFESZÍTÉSE**

OTDK dolgozat



Készítette:

Gróza Márton, a Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi
Egyetem gépészmérnöki mesterszakos, géptervező szakirányos
hallgatója

Egyetemi konzulens:

Kollár György, tudományos munkatárs

Budapest, 2014.január 6.

TARTALOMJEGYZÉK

FEJEZET	OLDAL
ABSTRACT	5
BEVEZETÉS	5
JELÖLÉSJEGYZÉK	7
TÁBLÁZATJEGYZÉK	7
ÁBRAJEGYZÉK	8
1. A KARIMÁS KÖTÉS	9
1.1. A KARIMÁS KÖTÉSEKRŐL ÁLTALÁBAN	9
1.2. GÖMBCSAPOK KARIMÁS KÖTÉSEI	10
2. SZABVÁNYOS MÉRETEZÉS	11
2.1. SZABVÁNYOS MÉRETEZÉSI ELJÁRÁSOK ISMERTETÉSE	11
2.2. SZABVÁNYOS SZÁMÍTÁS EN 13445-3 ALAPJÁN	14
2.2.1. SZERELÉSI ÉS ÜZEMI CSAVARERŐK EN 13445-3 SZERINT	14
2.2.2. SZÜKSÉGES KIEGÉSZÍTÉS: MEGHÚZÁSI NYOMATÉK BIZTONSÁGI TÉNYEZŐ	14
2.2.3. SZÜKSÉGES KIEGÉSZÍTÉS: A TÉNYLEGES ÜZEMI CSAVARERŐ MEGHATÁROZÁSA	15
2.2.4. A HÁZKARIMA ELLENŐRZÉSE EN 13445-3 ALAPJÁN	15
2.2.5. A KARIMACSAVAROK ELLENŐRZÉSE EN 13445-3 SZERINT	17
2.2.6. ANYAGMINŐSÉGEK, ANYAGJELLEMZŐK, MEGENGEDETT FESZÜLTSEGEK	17
2.3. AZ ELLENŐRZŐ SZÁMÍTÁSOK EREDMÉNYEI	19
3. A KARIMÁS KÖTÉS VIZSGÁLATÁNAK KIHÍVÁSAI	21
4. VÉGESELEMES MÉRETEZÉS ÉS ELLENŐRZÉS	22
4.1. A HÁZKARIMA KARIMÁS KÖTÉSÉNEK IGÉNYBEVÉTELEI A KARIMACSAVAROK ELŐFESZÍTÉSÉNEK FÜGGVÉNYÉBEN	23
4.1.1. A VÉGESELEMES MODELLEK FELÉPÍTÉSE	23
4.1.2. AZ EGYSZERŰSÍTETT GEOMETRIAI MODELL	24
4.1.3. ANYAGTULAJDONSÁGOK	24
4.1.4. HÁLÓZÁS	24
4.1.5. TERHELÉSEK	25
4.1.6. PEREMFELTÉTELEK	26
4.1.7. HÁLÓKAPCSOLÓDÁSI PEREMFELTÉTELEK	26
4.2. VÉGESELEMES SZÁMÍTÁSOK EREDMÉNYEI	27
4.2.1. A CSAVARKÖTÉSBEN FELLÉPŐ ERŐK	28
4.2.2. A KARIMACSAVAROK FESZÜLTSEGEI	31
4.2.3. A KARIMAFELEK ELEMELKEDÉSE	33
4.3. A SZÁMÍTÁSI EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE	35

5.	TOVÁBBI VÉGESELEMES SZÁMÍTÁSOK EREDMÉNYEI	35
5.1.	DN 100 GÖMBCSAP EREDMÉNYEI	35
5.1.1.	A CSAVARKÖTÉSBEN FELLÉPŐ ERŐK	37
5.1.2.	A KARIMAFELEK ELEMELKEDÉSE	39
5.2.	DN 1000 GÖMBCSAP EREDMÉNYEI	40
5.2.1.	A CSAVARKÖTÉSBEN FELLÉPŐ ERŐK	42
5.2.2.	A KARIMAFELEK ELEMELKEDÉSE	43
6.	EREDMÉNYEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA, KÖVETKEZTETÉSEK	45
7.	ELŐTERVEZÉSI MÓDSZER DN100-1000 GÖMBCSAPOK SZÁMÁRA	47
8.	ÖSSZEFOGLALÁS	49
	IRODALOMJEGYZÉK	50

ABSTRACT

The following study aims to create a pre-planning and analysis methodology for the bolted connections of housing-flanges of high-pressure ball valves based on the finite element method. The necessity of this methodology is justified by the inadequacy of current standards. As an introduction this work summarizes the general characteristics and basic types of flange joints, then it evaluates the standard design procedures in the knowledge of the design aspects and the main attributes of the flange joints. The study determines the magnitude of the optimal bolt pretension in the ratio of the operating force caused by the internal pressure on the basis of finite element results of more geometric designs.

KEYWORDS

FEA, high pressure ball valves, Taylor Forge method, bolt pretension, EN 13445, EN 1591

BEVEZETÉS

A dolgozat célja egy a végesselemes módszeren alapuló tervezési és ellenőrzési módszer megalkotása nagynyomású gömbcsapok házkarima csavarkötéseinek méretezésére. Ennek szükségességét a szabványos eljárások alkalmatlansága indokolja.

A nagynyomású gömbcsapok karimás kötéseire alkalmazható szabványos méretezési eljárások (EN 12516, EN 1591-1 és ASME Section VIII.) nem adnak támpontot a csavarok előfeszítésének szükséges mértékére. Ráadásul a házkarima kötések jellemzően O-gyűrűs tömítéssel rendelkeznek, így az általában iránymutató előfeszítő erő és a minimális tömítő erő sem nyújt megfelelő kiindulópontot az előfeszítésre. Felmerül a kérdés, mennyire érdemes tehát előfeszíteni egy ilyen gömbcsapban a házkarima csavarokat?

Bevezetésként a munka összefoglalja a karimás kötések általános jellemzőit és alapvető típusait, majd a gömbcsapokon megtalálható karimás kötések jellemzőinek és főbb méretezési szempontjainak ismeretében értékeli a szabványos méretezési eljárásokat. Mindezek alapján nyilvánvalóvá válik, hogy a mérnöki gyakorlatban leginkább elterjedt szabványos eljárások alapját képező Taylor Forge módszer elhanyagolásai miatt indokolt a numerikus analízis a probléma megoldásához.

A dolgozat több gömbcsap végesselemes számítási eredményei alapján meghatározza az optimális csavar-előfeszítés mértékét, a kötést lazító belső nyomásból származó erő függvényében. A házkarima csavarok előfeszítése nem csak a ház és a házkarima felületeinek egymáshoz viszonyított elemelkedését csökkenti, hanem a lazító hatás mértékét is a csavarerőkben. Az előfeszítés mértékének elsősorban a csavarok teherbírása szab határt. A

csavarok teherbírását azok összkeresztmetszete és anyaguk határállapotú jellemzői határozzák meg. A csavarok összkeresztmetszete a csavarok átmérőjétől és számától függ, amelyet a csavarkör átmérője és a ház falvastagsága szab meg. Tehát a csavarok előfeszítésének mértékét több konstrukciós paraméter is befolyásolja, és ez fordítva is igaz: ezek a paraméterek csak a szükséges előfeszítés pontos értékének ismeretében határozhatóak meg igazán ideálisan.

Az eredményeket szolgáltató végeselemes modell a gömbcsapok általános szilárdsági analíziséhez használt modellhez képest jelentős egyszerűsítéseket tartalmaz. Ezek nem befolyásolják a kapott eredményeket, de a modell egyszerűbb és áttekinthetőbb, továbbá pontosabb és könnyebben értelmezhető eredményeket kaphatunk a számításokból. A dolgozat a modell felépítésének részletes bemutatásával lehetővé teszi a számítások teljes reprodukálhatóságát is.

A bemutatásra kerülő számítási eredmények legfontosabb megállapítása az, hogy a karimacsavarok optimális előfeszítésének mértéke egyértelműen meghatározható. Az O-gyűrűs tömítéssel rendelkező gömbcsap házkarima csavarjainak ideális előfeszítése a belső nyomásból származó lazítóerő másfélszerese. A dolgozat az optimális érték helyességét a karimás kötés lelazulási folyamatával és a karimacsavarok teherbírásával egyaránt alátámasztja.

JELÖLÉSJEGYZÉK

DN	Diameter Nominal, névleges átmérő
PN	Pressure Nominal, névleges nyomás
ISO	International Organization for Standardization, Nemzetközi Szabványügyi Testület
ASME	American Society of Mechanical Engineers, Amerikai Gépészmérnökök Egyesülete
AD	Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter, Nyomástartó Edény Munkaközösség
DIN	Deutsches Institut für Normung, Német Szabványügyi Testület
P... [N]	... nyomás
W... [N]	... csavarerő
H... [N]	... erő
h... [Nmm]	... erő erőkarja
M... [N]	... nyomaték
z [–]	előfeszítés biztonsági tényező
f... [MPa]	... megengedett feszültség
R _{eH} /... [MPa]	... folyáshatár
R _m /... [MPa]	... szakítószilárdság
k [%]	kihasználtság
σ...[MPa]	... feszültség

TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. TÁBLÁZAT A KARIMATÁNYÉR ÉS A KARIMACSAVAROK ELLENŐRZÉSE EN 13445-3 CHAPTER	20
2. TÁBLÁZAT A KÜLÖNBÖZŐ SZABVÁNYOK SZERINT A KARIMACSAVAROK SZÁMÁRA MEGENGEDHETŐ FESZÜLTSEGEK	22
3. TÁBLÁZAT A VÉGESELEMES EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSÉHEZ SZÜKSÉGES KIINDULÓ ADATOK	28
4. TÁBLÁZAT A HÁZ-HÁZKARIMA CSAVARKAPCSOLATBAN FELLÉPŐ ERŐK	29
5. TÁBLÁZAT A KARIMACSAVAROKBAN FELLÉPŐ ERŐK	30
6. TÁBLÁZAT A KARIMACSAVAROK FESZÜLTSEGEI ÉS KIHASZNÁLTSÁGAI EN 13445, EN 12516 ÉS ASME MEGENGEDETT ÉRTÉKEK SZERINT	32
7. TÁBLÁZAT A KARIMAFELEK ELMOZDULÁSAI	34
8. TÁBLÁZAT A VÉGESELEMES EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSÉHEZ SZÜKSÉGES KIINDULÓ ADATOK	36
9. TÁBLÁZAT A HÁZ-HÁZKARIMA CSAVARKAPCSOLATBAN FELLÉPŐ ERŐK	37
10. TÁBLÁZAT A KARIMACSAVAROKBAN FELLÉPŐ ERŐK	38
11. TÁBLÁZAT A KARIMAFELEK ELMOZDULÁSAI	39
12. TÁBLÁZAT A VÉGESELEMES EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSÉHEZ SZÜKSÉGES KIINDULÓ ADATOK	41
13. TÁBLÁZAT A HÁZ-HÁZKARIMA CSAVARKAPCSOLATBAN FELLÉPŐ ERŐK	42
14. TÁBLÁZAT A KARIMACSAVAROKBAN FELLÉPŐ ERŐK	43
15. TÁBLÁZAT A KARIMAFELEK ELMOZDULÁSAI	44
16. TÁBLÁZAT FAJLAGOS ÜZEMI CSAVARERŐ ÉS FAJLAGOS ÜZEMI CSAVARERŐ NÖVEKMÉNY ÉRTÉKEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA A GÖMBCSAPOK KÖZÖTT	45
17. TÁBLÁZAT ÚJ MÓDSZER GÖMBCSAPOK HÁZ-HÁZKARIMA CSAVARKAPCSOLATÁNAK ELŐTERVEZÉSÉRE	48

ÁBRAJEGYZÉK

1. ÁBRA. GÖMBCSAP KARIMÁS KÖTÉSEINEK BEMUTATÁSA [15]	10
2. ÁBRA. TAYLOR FORGE: MODERN FLANGE DESIGN BULLETIN 502-EDITION VII	11
3. ÁBRA. A HÁZKARIMA GEOMETRIAI MÉRETEINEK ÉRTELMEZÉSE	15
4. ÁBRA. A HÁZKARIMA SZABVÁNYOS SZÁMÍTÁSBAN MEGJELENŐ MÉRTEI	19
5. ÁBRA. ÁLTALONOS VÉGESELEMES GEOMETRIAI MODELL ÉS AZ ANALÍZIS MODELL	24
6. ÁBRA. A VÉGESELEMES HÁLÓ, ÉS A CSAVARKÖTÉS MODELLEZÉSE GERENDA ÉS LEMEZ ELEMekkel	25
7. ÁBRA. A SZÁMÍTÁSI MODELL TERHELÉSEI (ARANYSÁRGA) ÉS PEREMFELTÉTELEI (PIROS)	26
8. ÁBRA. A HÁZ ÉS HÁZKARIMA EGYENÉRTÉKŰ FESZÜLTSGEI MÓDOSÍTOTT SKÁLÁVAL ÉS A GLOBÁLIS ELMOZDULÁSOK $z = 1$ ESETBEN	27
9. ÁBRA. A KARIMACSAVAROKBAN ÉS A KONTAKTFELÜLETEN FELLÉPŐ AXIÁLIS ERŐ $z = 1$ ESETBEN	27
10. ÁBRA. A HÁZ ÉS A HÁZKARIMA X-IRÁNYÚ ELMOZDULÁSA $z = 1$ ESETBEN	28
11. ÁBRA. A HÁZ-HÁZKARIMA CSAVARKAPCSOLATBAN FELLÉPŐ ERŐK AZ ELŐFESZÍTÉS BIZTONSÁGI TÉNYEZŐ FÜGGVÉNYÉBEN	29
12. ÁBRA. A HÁZ-HÁZKARIMA CSAVARKAPCSOLATBAN FELLÉPŐ ERŐK AZ ELŐFESZÍTÉS BIZTONSÁGI TÉNYEZŐ FÜGGVÉNYÉBEN	31
13. ÁBRA. A HÁZ-HÁZKARIMA CSAVARKAPCSOLATBAN FELLÉPŐ FAJLAGOSÍTOTT ERŐK AZ ELŐFESZÍTÉS BIZTONSÁGI TÉNYEZŐ FÜGGVÉNYÉBEN	31
14. ÁBRA. A KARIMACSAVAROK FESZÜLTSGEI ÉS KIHASZNÁLTSÁGAI EN 13445, EN 12516 ÉS ASME MEGENGEDETT ÉRTÉKEK SZERINT	32
15. ÁBRA. A HOMLOKFELÜLET ELMOZDULÁSAINAK ÉRTELMEZÉSE	33
16. ÁBRA. A HÁZKARIMA HOMLOKFELÜLETÉNEK RELATÍV ELMOZDULÁSAI	34
17. ÁBRA. A HÁZ ÉS HÁZKARIMA EGYENÉRTÉKŰ FESZÜLTSGEI MÓDOSÍTOTT SKÁLÁVAL ÉS A GLOBÁLIS ELMOZDULÁSOK $z = 1$ ESETBEN	36
18. ÁBRA. A KARIMACSAVAROKBAN ÉS A KONTAKTFELÜLETEN FELLÉPŐ AXIÁLIS ERŐ $z = 1$ ESETBEN	36
19. ÁBRA. A HÁZ-HÁZKARIMA CSAVARKAPCSOLATBAN FELLÉPŐ ERŐK AZ ELŐFESZÍTÉS BIZTONSÁGI TÉNYEZŐ FÜGGVÉNYÉBEN	37
20. ÁBRA. A HÁZ-HÁZKARIMA CSAVARKAPCSOLATBAN FELLÉPŐ ERŐK AZ ELŐFESZÍTÉS BIZTONSÁGI TÉNYEZŐ FÜGGVÉNYÉBEN	38
21. ÁBRA. A HÁZ-HÁZKARIMA CSAVARKAPCSOLATBAN FELLÉPŐ FAJLAGOSÍTOTT ERŐK AZ ELŐFESZÍTÉS BIZTONSÁGI TÉNYEZŐ FÜGGVÉNYÉBEN	38
22. ÁBRA. A HÁZKARIMA HOMLOKFELÜLETÉNEK RELATÍV ELMOZDULÁSAI	40
23. ÁBRA. A HÁZ ÉS HÁZKARIMA EGYENÉRTÉKŰ FESZÜLTSGEI MÓDOSÍTOTT SKÁLÁVAL ÉS A GLOBÁLIS ELMOZDULÁSOK $z = 1$ ESETBEN	41
24. ÁBRA. A KARIMACSAVAROKBAN ÉS A KONTAKTFELÜLETEN FELLÉPŐ AXIÁLIS ERŐ $z = 1$ ESETBEN	41
25. ÁBRA. A HÁZ-HÁZKARIMA CSAVARKAPCSOLATBAN FELLÉPŐ ERŐK AZ ELŐFESZÍTÉS BIZTONSÁGI TÉNYEZŐ FÜGGVÉNYÉBEN	42
26. ÁBRA. A HÁZ-HÁZKARIMA CSAVARKAPCSOLATBAN FELLÉPŐ ERŐK AZ ELŐFESZÍTÉS BIZTONSÁGI TÉNYEZŐ FÜGGVÉNYÉBEN	43
27. ÁBRA. A HÁZ-HÁZKARIMA CSAVARKAPCSOLATBAN FELLÉPŐ FAJLAGOSÍTOTT ERŐK AZ ELŐFESZÍTÉS BIZTONSÁGI TÉNYEZŐ FÜGGVÉNYÉBEN	43
28. ÁBRA. A HÁZKARIMA HOMLOKFELÜLETÉNEK RELATÍV ELMOZDULÁSAI	44
29. ÁBRA. FAJLAGOS ÜZEMI CSAVARERŐ EREDMÉNYEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA	46
30. ÁBRA. FAJLAGOS ÜZEMI CSAVARERŐ NÖVEKMÉNY EREDMÉNYEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA	46

1. A KARIMÁS KÖTÉS

1.1. A KARIMÁS KÖTÉSEKRŐL ÁLTALÁBAN

Karimás kötések elsősorban csővezetékekben és nyomástartó edényekben alkalmaznak oldható kötések létrehozására. Ilyenek például az armatúrák és szivattyúk kötései, de akkor is alkalmazzák őket, ha például technikai okokból nem lehetséges a hegesztett kapcsolat alkalmazása.

A karimás kötés két karimából, egy közöttük elhelyezett tömítésből, és a szükséges összeszorító erőt biztosító csavarokból és anyákból áll.

A karimák és a kapcsolódó csővezetékek, armatúrák és egyéb elemek számára az ISO EN 1092 szabvány 1-6 kötete írja elő a tömítő felületek kialakítását, méreteit, tűréseit és az egyéb paramétereket. Az ISO EN 1092 szabvány első kötete az acél karimákkal, a második az öntött karimákkal, a harmadiktól hatodik kötet pedig réz, alumínium és más fém és nem fém karimákkal foglalkozik.

A karimák névleges átmérő és nyomás (PN/DN) alapú szabványosításuknak köszönhetően kialakításuktól, anyaguktól függetlenül összekapcsolhatóak. Minden karima négygyel osztható számú furattal rendelkezik, melyek a szimmetriai fő tengelyekre szimmetrikusan helyezkednek el úgy, hogy egyikük sem esik a tengelyekre.

A tömítéseknek elég rugalmasnak kell lenniük a tömítő felület egyenetlenségeinek kiegyenlítéséhez, a mechanikai, termikus, és a szállított közeg igénybevételének való ellenállás mellett. Alapvetően lapos IT tömítéseket, fémerősítésű IT tömítéseket, és fém tömítéseket használnak ISO EN 1514 1-8 szerint, de gyakoriak a grafit és teflon alapú lapos tömítések is.

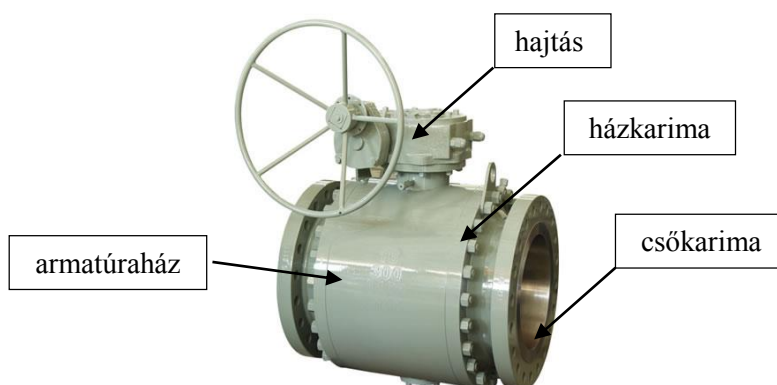
A karimás kötések szilárdsági ellenőrzése is szabványosított, adott PN és DN értékek alapján a számítás az ISO EN 1591, ISO 13445, vagy az AD 2000 B7 és B8 szabványok alapján végezhető el. ([6] *Wittel, Muhs, Jannasch, Voßiek. 2011. Roloff/Matek Maschinenelemente: Normung, Berechnung, Gestaltung. 641-643. oldal alapján*)

A csővezetékeket egymással, ill. csőszerelvényekkel összekapcsoló karimákat csőkarimáknak, a nyomástartó edények részeit összekapcsoló karimákat készülékkarimáknak nevezzük.

A készülékkarimák elvi kialakításukban megegyeznek a csőkarimákkal. Jellemzően kisebb a külső átmérőjük és a karimatányér vastagsága nagyobb mint a csőkarimáké, a karimacsavarok is kisebb méretűek, de a csavarok száma több.

Jellegüket tekintve megkülönböztetünk laza, menetes, felhegesztett sima, toldatos, hasított, bordázott és nagynyomású tekercselt készülékkarimákat. ([7] Szántay, Budapest 1966. *Vegyipari készülékek szerkesztése*, 426-436. oldal alapján)

1.2. GÖMBCSAPOK KARIMÁS KÖTÉSEI



1. ábra. Gömbcsap karimás kötéseinek bemutatása [15]

A nagyméretű gömbcsapok a nagynyomású víz-, kőolaj-, földgázvezetékek széles körben elterjedt elzáró szerelvényei. Elsődleges fontosságú követelmény, hogy a gömbcsap az igénybevételek változásától függetlenül bármikor zárható legyen, és a tömítettségét megőrizze.

A szerkezetnek a belső nyomás mellett el kell viselnie a csővezetékéről átadódó erőket és nyomatékokat, a hőmérséklet okozta termo-mechanikus igénybevételeket és adott esetben még a földrengés okozta terheléseket is.

A zárhatóság biztosításához korlátozni kell a meghajtó szerkezet és a gömb közvetlen környezetének deformációit, a tömítettséget pedig a belső nyomás függvényében megfelelően megválasztott csavar-előfeszítés biztosítja.

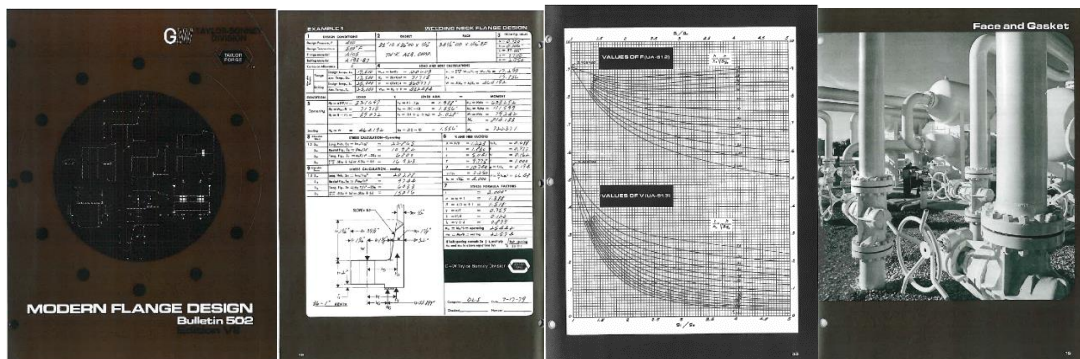
Az armatúrák csőkarima csatlakozása minden esetben szabványos kialakítású, ezek szabvány szerinti ellenőrzése mérnöki rutinfeladatnak tekinthető. Ezzel szemben az előfeszített csavarokkal rögzített házkarima nem szabványos kialakítású, méretezésére és ellenőrzésére nem vonatozik konkrét előírás. Megfelelő szabványos előírás hiányában az O-gyűrűs tömítéssel rendelkező ház-házkarima kapcsolatok esetében a tömítettség és szilárdsági megfelelés biztosítása a konstruktor feladata, akinek a számításhoz szabványok híján csak végeselemes eszközök állnak rendelkezésére.

2. SZABVÁNYOS MÉRETEZÉS

2.1. SZABVÁNYOS MÉRETEZÉSI ELJÁRÁSOK ISMERTETÉSE

A karimák szabványos méretezésének jelentőségét [10] Moss, *Basic: Pressure Vessel Design Manual* könyvének idevágó főszabálya megfelelően illusztrálja; mely szerint ahol csak lehet, szabványos karimákat kell alkalmazni, és amennyiben ez semmiképpen nem oldható meg, és egyedi konstrukció szükséges, akkor azok méretezésére is a karimaszabványok alkalmazandók. Nem mindig dönthető el azonban egyértelműen, hogy mikor melyik szabvány előírásai az iránymutatók. Nehézséget okoz az is, hogy a szabványok a csavarokra megengedhető feszültségek tekintetében egymástól jelentősen eltérő értékeket tartalmaznak, a 3. fejezet részletesen foglalkozik a karimás kötés méretezésének ilyen jellegű ellentmondásaival is.

A következőkben röviden áttekintjük a karimás kötések méretezésére vonatkozó ISO EN 13445-3, EN 1591, EN 12516-2 és ASME Section VIII DIV 1 szabványokat. A szabványok ismertetését azok közös őseinek, a Taylor Forge módszernek a bemutatása előzi meg.



2. ábra. Taylor Forge: Modern Flange Design Bulletin 502-Edition VII

A mai napig érvényben lévő rugalmas alapú méretezési és ellenőrzési eljárást Waters alkotta meg 1937-ben, a tömítési tényező fogalmát kiegészítésként 1943-ban a Taylor Forge cég mérnökei, Rossheim és Markl vezették be. Ez tekinthető a széles körben alkalmazott Taylor Forge módszer megszületésének. ([9] ASME-PVP 2002, *Bolted Flange Connections*, Kirkemo: *Design of compact flange joints alapján*)

A módszer egyszerűsítései [13] *Kollár György: Gépészeti szerkezetek tervezése – Gyakorlati útmutató: 5. Karimás kötések ellenőrzése alapján:*

- „a szerkezeti anyagok homogén, izotróp anyagtulajdonsággal rendelkeznek, a bennük ébredő feszültségek a rugalmassági határon belül maradnak,
- a karimacsavarok furatának hatásait elhanyagoljuk,
- a modell tengelyszimmetrikus, és figyelmen kívül hagyja a csavarok diszkrét elhelyezkedéséből származó terhelési egyenetlenségeket,
- a terheléseket erőpárok helyettesítik, amelyek meghatározott átmérőkön helyezkednek el,
- a karimatányér középfelületének megnyúlása elhanyagolható (merev tányér),
- a karimás kötés elmozdulásai kicsik, érvényes a szuperpozíció elve,
- nyomaték hatására a karimatányér és karimanyak csatlakozási pontjának nincs radiális elmozdulása,
- a karimanyak és a karimához kapcsolódó hengeres héj vékonyfalú héjak,
- a héjelméleti modellben a karima belsőátmérője a mértékadó, nem a középatmérő,
- a karimafelek kölcsönhatása elhanyagolható.”

A napjainkban Magyarországon leginkább alkalmazott EN 13445 szabvány is a Taylor Forge módszeren alapul. Az EN 13445 mellékleteként megjelent, alternatívan alkalmazható EN 1591 szabvány a Taylor Forge módszer továbbfejlesztésének tekinthető.

Az EN 1591 alapvető paraméterei a geometriai méretek mellett a belső nyomás, a karima, a csavarok és a tömítés mechanikai anyagjellemzői és a névleges csavar előfeszítés. Ami újdonságként jelenik meg az EN 13445-höz képest, az az előfeszítő erő szórásának figyelembevétele, a tömítő erő változása a kötésben részt vevő elemek deformációja miatt, a környezetről (csővezeték, tartály, készülék stb.) átadódó igénybevételek, azaz a külső axiális erők és hajlító nyomatékok hatása, valamint a karima és a csavarok hőmérsékletkülönbségének figyelembevétele.

Az EN 1591-1 alapján történő méretezés főbb lépései:

- I. A minimális kezdeti előfeszítő erő meghatározása úgy, hogy a tömítőerő semmilyen terhelési esetben ne csökkenjen az előírt érték alá. (tömítés jellemzője, pl.: ENV 1591-2 szerint) (Megjegyzés: Iteratív folyamat, hiszen ez függ a hatásos tömítés szélességtől, amely a keresett előfeszítő erő függvénye.)
- II. Az előfeszítő erő ismeretében a belső erők számítása minden terhelési esetre; azaz az előfeszítési folyamatra, ill. a teszt és üzemi körülményekre. Elsődleges a folyás elkerülése (kisméretű lokális, önkorlátozó jellegű képlékeny alakváltozás még megengedett).
- III. Ismételt ellenőrzés, hogy a deformációk hatására a tömítő erő (~csavarerő) ne hogy az előírt érték alá csökkenjen.
- IV. Szükséges esetben számítandó a karimafelek elfordulása.

A módszer előnyei akkor használhatók ki teljes mértékben, ha az előfeszítésnél beállított csavarerő értékét pontosan ismerjük.

A szabvány által használt – a leírtak alapján már körvonalazódni látszó – mechanikai modell:

- a karima és a tömítés geometriája tengelyszimmetrikus (a karimacsavarok furatainak, és az egyenetlen csavarerő eloszlás elhanyagolása)
- a karimagyűrű axiális és radiális alakváltozásainak és feszültségeinek elhanyagolása
- a karimához kapcsolódó csővezeték vékonyfalú hengeres héj, a kúpos karimanyak egyenértékű hengeres héjként modellezhető
- a karimafelek közötti tömítés szélessége kisebb lehet üzemi állapotban, a karimafelek elfordulásának következtében
- a tömítés rugalmassági modulusa növekedhet annak összenyomódása során
- esetleges kúszás becslése a kúszás faktorról
- a karima, csavar és a tömítés termikus és mechanikai axiális deformációinak figyelembevétele
- a karima terhelése tengelyszimmetrikus, a nem tengelyszimmetrikus nyomatékok ekvivalens axiális erővel vannak helyettesítve
- a külső terhelésváltozások hatására a belső erők is változnak
- határterhelések meghatározása az elemek határállapotú jellemzőinek alapján

Amit a modell nem vesz figyelembe:

- a karimacsavarok hajlítás merevsége (a csavar húzásmerevsége számításakor a felhasznált hossz a csavar menetek közötti részének hossza)
- a karima és a csavarok valós kúszási viselkedése
- a tömítés radiális deformációi
- a szerkezeti elemek kifáradása
- a karimára ható külső csavaró és nyíró igénybevételek

([3] EN 1591-1:2001 *Flanges and their joints — Design rules for gasketed circular flange connections Part 1: Calculation method* 3-7. oldal alapján)

A nemzetközi gyakorlatban használt karimaméretezéssel foglalkozó szabványok (nem teljes körűen átfogó jellegű) gyűjteménye:

- EN 13445-3, Unfired Pressure Vessels, Part 3 – Design /lényegében a Taylor Forge módszer/ (korábban ennek mellékleteként megjelent, ma már önálló szabványként létező EN1591-1)
- EN 1591-1 /a Taylor Forge módszer továbbfejlesztésének tekinthető/
- EN 12516-2, Industrial valves, Shell design strength, Part 2: Calculation method for steel valve shells
- ASME Section VIII DIV 1, Design and Fabrication of Pressure Vessels /lényegében a Taylor Forge módszer/
- AD 2000 - Merkbblätter B7/B8 (auf der Basis von DIN 2505 – Vornorm 1964)
- DIN 2505 (1990, már nem érvényes)
- KTA 3211.2 (1992; 2003)
- TGL 32903/13 (már visszavont DDR szabvány)
- EN 13480 (utalás az EN13445 szabványra)

([11] Schettki-Schäferdieck. 2010. *Flanschverbindungen – Berechnung nach nationalem Regelwerk AD oder nach harmonisierter Europäischer Norm EN 1591? 2. dia alapján*)

Összefoglalva elmondható, hogy a jelenleg érvényben lévő szabványok közül egyedül az EN 1591 szabvány (ill. az ezt mellékletként tartalmazó EN 13445 és a rá hivatkozó EN 13480) foglalkozik a karimás kötés tömítésének valós viselkedésével, és az üzem közbeni deformációk hatásaival.

[14] Schettki-Schäferdieck. 2011. Flanschverbindungen – nichts geht über Schraubenkräfte
 csőkarimákkal foglalkozó munkája többek között arra a meglepő következtetésre jut, hogy a
 karimás kötés csavarjait a maximálisan megengedett értékig kell előfeszíteni. Ez
 nagyszilárdságú csavarok alkalmazása esetén a csavarméret kisebbre választásával, szabványos
 karimák esetén gyengébb anyagi jellemzőkkel rendelkező csavarok alkalmazásával biztosítható.

2.2. SZABVÁNYOS SZÁMÍTÁS EN 13445-3 ALAPJÁN

A gömbcsap karimás kötéseinek konstrukciós kialakítására leginkább ráilleszthető EN 13445-3 szerinti ellenőrzési eljárás megismerésével általános képet alkothatunk a szabványos módszerekről, hiszen mint ahogyan már erről korábban részletesen szó esett, azok mind közös mechanikai alapokon nyugszanak. Az egyszerű héjelméleti megfontolásokon, erőkön és erőkarokon alapuló képletek komoly modellalkotási egyszerűsítések, elhanyagolások árán biztosítanak gyors eredményeket a tervező számára.

2.2.1. Szerelési és üzemi csavarerők [2] EN 13445-3 szerint

Az EN 13445-3 szerinti méretezési csavarerő W_{op} üzemi csavarerő és a W_A szerelési csavarerő.

$$W_{op} = H + H_G \text{ [N]} \quad \text{üzemi csavarerő} \quad (1)$$

$$H = \frac{\pi}{4} G^2 P \text{ [N]} \quad \text{belső nyomásból adódó erő} \quad (2)$$

$$H_G = 2\pi \cdot b G m P \text{ [N]} \quad \text{üzemi tömítettséghez szükséges tömítő erő} \quad (3)$$

$$W_A = \pi \cdot b G y \text{ [N]} \quad \text{szerelési csavarerő} \quad (4)$$

2.2.2. Szükséges kiegészítés: Meghúzási nyomaték biztonsági tényező

Az EN 13445-3 szerinti csavarerők alapvetően a karimás kötés szilárdsági megfelelőségének vizsgálatára szolgálnak, és a tapasztalatok szerint a kötés megfelelő tömítő képességét nem garantálják.

A gyakorlati tapasztalatok szerint a szivárgásmentesség biztosításához a csavarok előfeszítését a szabványban előírtnál magasabbra kell beállítani.

$$z = \frac{W_T}{W_{op}} \approx 1,5 \text{ [-]} \quad \text{előfeszítés biztonsági tényező} \quad (5)$$

$$W_T \text{ [N]} \quad \text{előfeszítő erő} \quad (6)$$

A "z" előfeszítés biztonsági tényező értéke a tapasztalatok szerint körülbelül másfél (végeselemes eredmények alapján határozható meg pontosan).

2.2.3. Szükséges kiegészítés: A tényleges üzemi csavarerő meghatározása

Nyilvánvaló, hogy a z előfeszítés biztonsági tényezővel megnövelt előfeszítésű csavarokon is többlet húzóerőként jelenik meg a belső nyomás hatása. A csavarerő növekedése elvileg arányos a belső nyomással, de a tömítés típusától és a karimás kötés geometriai kialakításától is függ. A EN 13445-3 szabvány (és általában a szabványos méretezési eljárások) erre a körülményre nincs figyelemmel, csavarerő tényleges növekedése (α) csak végeselemes számításokkal mutatható ki.

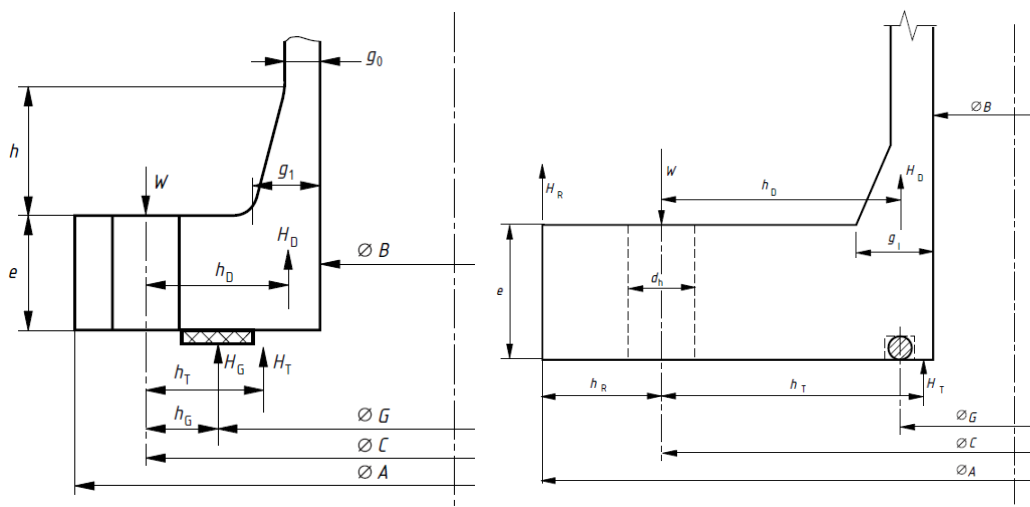
$$H_{\alpha} = \alpha \cdot P \frac{G^2 \pi}{4} = \alpha H \text{ [N]} \quad \text{üzemi csavarerő növekedés} \quad (7)$$

$z \approx 1,5$ meghúzási nyomaték biztonsági tényező mellett a növekedés házkarimára $\alpha = 0,1 - 0,3$, csőkarimára $\alpha = 0,25 - 0,35$. Az " α " tapasztalati tényező részletes ismertetése megtalálható [17] Kollár: NPS 16" Class 600 RTJ LGF gömbcsap prototípus fejlesztése. Statikus és földrengés-állósági vizsgálat dokumentumban.

2.2.4. A házkarima ellenőrzése [2] EN13445-3 alapján

A számítási eljárás alapját az EN 13445-3 szabvány 11.10 pontja (Full face flanges with metal to metal contact) képezi, amely a karimatányér szükséges vastagsága mellett a karimacsavarok ellenőrzésére is kiterjed.

A geometriai méretek értelmezését a 3. ábra mutatja be. A bal oldalon a karimás kötésre vonatkozó általános értelmezések láthatóak egy hagyományos hegesztőtoldatos karima példáján bemutatva, a jobb oldalon pedig a házkarima kialakításához legközelebb álló szabványos kialakítás, egy teljes homlokfelületén fémes érintkezésben lévő karima található.



3. ábra. A házkarima geometriai méreteinek értelmezése

A [mm]	karimatányér külső átmérő	(8)
B [mm]	karima belső átmérő	(9)
C [mm]	csavar osztókör átmérő	(10)
G [mm]	tömítés közepes átmérő	(11)
g_1 [mm]	falvastagság a karimatányérnél	(12)
P [MPa]	belső nyomás	(13)
H [N]	nyomásból származó erő	(14)
H_R [N]	reakcióerő, karimatányér külső átmérő	(15)
H_T [N]	nyomásból származó erő, karimatányér homlokfelület	(16)
H_D [N]	nyomásból származó erő, karima belső átmérő	(17)
M_R [Nmm]	karimatányért terhelő radiális nyomaték a csavar osztókörnél	(18)
$h_R = \frac{A-C}{2}$ [mm]	H_R erő karja	(19)
$h_T = \frac{C-G}{2}$ [mm]	H_T erő karja	(20)
$h_D = \frac{(C-B-g_1)}{2}$ [mm]	H_D erő karja	(21)
W_{op} [N]	üzemi csavarerő	(22)
W_A [N]	tömítő képesség biztosításához szükséges szerelési csavarerő	(23)

A karimatányér terhelései

$H = \frac{\pi}{4} G^2 P$ [N]	belső nyomásból származó erő a G átmérőn	(24)
$H_D = \frac{\pi}{4} B^2 P$ [N]	belső nyomásból származó erő a B átmérőn	(25)
$H_T = H - H_D$ [N]	belső nyomásból származó erő a B átmérőn	(26)
$H_G \equiv 0$ [N]	az alkalmazott O-gyűrűs tömítés nem igényel külön előfeszítő erőt	(27)
$H_R = \frac{M_R}{h_R}$ [N]	reakcióerő, karimatányér külső átmérő	(28)
$M_R = H_D h_D + H_T h_T$ [Nmm]	karimatányért terhelő radiális nyomaték	(29)
$W_{OP} = H + H_R$ [N]	üzemi csavarerő	(30)

A karimatányér ellenőrzése

A megfelelőség feltétele, hogy a karimatányér tényleges vastagsága nagyobb legyen a minimálisan szükségesnél.

$$e = \sqrt{\frac{6M_R}{f(\pi C - n \cdot d_h)}} \text{ [mm]} \quad \text{karimatányér szükséges vastagsága} \quad (31)$$

M_R [Nmm]	karimatányért terhelő radiális nyomaték a csavar osztókörnél
f [MPa]	a karima anyagának megengedett feszültsége
C [mm]	csavar osztókör átmérő

$$n \text{ [db]} \quad \text{karimacsavarok száma} \quad (32)$$

$$d_h \text{ [mm]} \quad \text{karimacsavarok furatátmérő} \quad (33)$$

2.2.5. A karimacsavarok ellenőrzése EN13445-3 szerint

A megfelelőség feltétele, hogy a tényleges csavar keresztmetszet nagyobb legyen a minimálisan szükségesnél.

$$A_B \geq A_{B,\min} = \max \left\{ \frac{W_A}{f_{B,A}}; \frac{W_{op}}{f_B} \right\} [\text{mm}^2] \quad \text{megfelelőség feltétele} \quad (34)$$

$$A_B [\text{mm}^2] \quad \text{tényleges csavarkeresztmetszet} \quad (35)$$

$$A_{B,\min} [\text{mm}^2] \quad \text{szükséges csavarkeresztmetszet} \quad (36)$$

$$W_A \equiv 0 [\text{N}] \quad \text{tömítő képesség biztosításához szükséges szerelési csavarerő} \quad (37)$$

(az alkalmazott O-gyűrűs tömítés nem igényel szerelési csavarerőt)

$$W_{op} [\text{N}] \quad \text{üzemi csavarerő}$$

$$f_{B,A} [\text{MPa}] \quad \text{csavarok megengedett szerelési feszültsége}$$

$$f_B [\text{MPa}] \quad \text{tervezési hőmérséklethez tartozó üzemi megengedett feszültség}$$

2.2.6. Anyagminőségek, anyagjellemzők, megengedett feszültségek

Armatúrák esetében jellemzően az ASME szerinti anyagjellemzőknek való megfelelés az általánosan elvárt, a számításban ezért ezeket az értékeket tekintjük mértékadónak.

Ház és karimás csatlakozó SA-350 LF2 (ASME szerint)

$$R_{eH} = 248,2 [\text{MPa}] \quad \text{folyáshatár} \quad (38)$$

$$R_{p0.2/t} = 219,3 [\text{MPa}] \quad \text{0.2%-os egyezményes folyáshatár t hőmérsékleten} \quad (39)$$

$$R_{p0.2/20} = 219,3 [\text{MPa}] \quad \text{0.2%-os egyezményes folyáshatár 20°C hőmérsékleten} \quad (40)$$

$$R_{m/20} = 482,6 [\text{MPa}] \quad \text{szakítószilárdság 20°C hőmérsékleten} \quad (41)$$

$$f = 146,2 [\text{MPa}] \quad \text{megengedett feszültség} \quad (42)$$

$$f_t = 236,4 [\text{MPa}] \quad \text{megengedett feszültség vizsgálati körülmények között} \quad (43)$$

Karimacsavarok SA-320 L7 (ASME szerint; méretfüggő anyagjellemzők: $x \leq 63,5 [\text{mm}]$)

$$R_{p0.2/t} = 648,8 [\text{MPa}] \quad \text{0.2%-os egyezményes folyáshatár t hőmérsékleten} \quad (44)$$

$$R_{p0.2/20} = 723,9 [\text{MPa}] \quad \text{0.2%-os egyezményes folyáshatár 20°C hőmérsékleten} \quad (45)$$

$$R_{m/20} = 861,8 [\text{MPa}] \quad \text{szakítószilárdság 20°C hőmérsékleten} \quad (46)$$

A különböző szabványok más-más megengedett feszültségértékeket tartalmaznak az előfeszített csavarokra:

EN 13445-3 (és EN 13480)

$$f_B = 215,5 \text{ [MPa]} \quad \text{megengedett feszültség üzemi állapotban} \quad (47)$$

$$f_{Bt} = 323,2 \text{ [MPa]} \quad \text{megengedett feszültség vizsgálati körülmények között} \quad (48)$$

$$f_{B,A} = 215,5 \text{ [MPa]} \quad \text{megengedett feszültség szereléskor} \quad (49)$$

EN 12516-2

$$f_B = 360,4 \text{ [MPa]} \quad \text{megengedett feszültség üzemi állapotban} \quad (50)$$

$$f_{Bt} = 402,2 \text{ [MPa]} \quad \text{megengedett feszültség vizsgálati körülmények között} \quad (51)$$

$$f_{B,A} = 402,2 \text{ [MPa]} \quad \text{megengedett feszültség szereléskor} \quad (52)$$

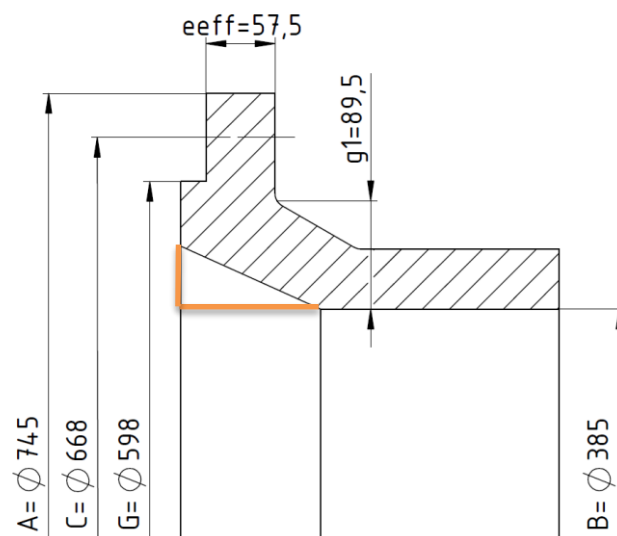
ASME

$$f_B = 324,4 \text{ [MPa]} \quad \text{megengedett feszültség üzemi állapotban} \quad (53)$$

$$f_{Bt} = 651,51 \text{ [MPa]} \quad \text{megengedett feszültség vizsgálati körülmények között} \quad (54)$$

$$f_{B,A} = 651,51 \text{ [MPa]} \quad \text{megengedett feszültség szereléskor} \quad (55)$$

2.3. AZ ELLENŐRZŐ SZÁMÍTÁSOK EREDMÉNYEI



4. ábra. A házkarima szabványos számításban megjelenő méretei

A 4. ábrán láthatóak a házkarima legfontosabb méretei, amelyek az 1. táblázatban közölt szabványos számításban szerepelnek. A tényleges házkarimák a bemutatottnál bonyolultabb kialakításúak, a dolgozatban vizsgált modell egy szilárdsági értelemben egyenértékű, a valódi mechanikai problémához nem közvetlenül kapcsolódó sajátosságokat elhanyagoló egyszerűsítés. A narancssárga vonal azt jelzi, hogy a közölt szabványos számítás közelítőleg milyen geometriára vonatkozik.

A bemutatott konstrukció az EN 13445-3 szabványos ellenőrzés alapján sem a karimatányér vastagságát tekintve, sem pedig a csavarok megengedett feszültsége alapján nem felel meg. A karimatányér kihasználtsága 175%, míg a csavaroké 247%.

A szakmai tapasztalatok és a végelelemes számítások azonban azt mutatják, hogy egy ehhez hasonló geometriával rendelkező ház-házkarima kapcsolat kellő biztonsággal képes a funkcióját betölteni.

Az EN 13445 szabvány szerinti számítás a 3. ábra bal oldalán látható kialakítású karimák szilárdsági méretezésére alkalmas, de már ezek esetében sem garantálja a szivárgásmentességet. Az általam vizsgált kialakítású házkarima méretezésére sem az EN 13445 sem a többi szabványos eljárás nem alkalmas.

Jel [Dimenzió]	Megnevezés	Adat
Kiinduló adatok		
A [mm]	karimatányér külső átmérő	745
B [mm]	karima belső átmérő	385
C [mm]	csavar osztókör átmérő	668
G [mm]	tömítés közepes átmérő	598
e_{eff} [mm]	karimatányér tényleges falvastagsága	57,5
g_1 [mm]	falvastagság a karimatányérnél	89,5
d_h [mm]	csavarfurat átmérő	38
P [MPa]	belső nyomás	10
H [N]	nyomásból származó erő	2808615,2
H_R [N]	reakcióerő, karimatányér külső átmérő	7604119
H_T [N]	nyomásból származó erő, karimatányér homloklapfelület	1644458,8
H_D [N]	nyomásból származó erő, karima belső átmérő	1164156,4
h_R [mm]	H_R erő karja	38,5
h_T [mm]	H_T erő karja	109,5
h_D [mm]	H_D erő karja	96,8
Karimatányér ellenőrzése (EN 13445-3, Section 11.10)		
	anyag jele	SA-350 LF2
R_{eH} [MPa]	folyáshatár	248,2
$R_{p0.2/150}$ [MPa]	0.2%-os egyezményes folyáshatár 150°C hőmérsékleten	219,3
$R_{m/20}$ [MPa]	szakítószilárdság 20°C hőmérsékleten	482,6
f [MPa]	megengedett feszültség	146,2
M_R [Nmm]	karimatányért terhelő radiális nyomaték a csavar osztókörnél	292758583
e [mm]	karimatányér szükséges vastagsága	100,62538
k [%]	karimatányér kihasználtsága	175
Karimacsavarok ellenőrzése (EN 13445-3, Section 11.10)		
	anyag jele	SA-320 L7
R_{eH} [MPa]	folyáshatár	723,9
$R_{p0.2/t}$ [MPa]	0.2%-os egyezményes folyáshatár t hőmérsékleten	648,8
$R_{m/20}$ [MPa]	szakítószilárdság 20°C hőmérsékleten	861,8
f_B [MPa]	üzemi megengedett feszültség	215,5
W_{op} [N]	üzemi csavarerő	10412734
$A_{B,min}$ [mm ²]	szükséges csavarkeresztmetszet	48318,953
D [mm]	névleges csavarátmérő	M36
n [db]	csavarok száma	24
d_2 [mm]	menet középpátmérő	33,402
d_3 [mm]	menet legkisebb átmérő	31,093
d_e [mm]	egyenértékű menetátmérő	32,2475
A_{B1} [mm ²]	egy csavar keresztmetszete	816,73654
A_B [mm ²]	összes csavar keresztmetszete	19601,677
k [%]	karimacsavarok kihasználtsága	247

1. táblázat A karimatányér és a karimacsavarok ellenőrzése EN 13445-3 Chapter 11 Section 11.10 alapján

3. A KARIMÁS KÖTÉS VIZSGÁLATÁNAK KIHÍVÁSAI

A gömbcsapok házkarima kialakítása egyedi konstrukció, nem vonatkozik rá konkrét szabványos előírás. A szilárdsági megfelelőségük ennek ellenére igazolandó, tehát a tervezőmérnöknek a szabványos karimatípusok közül a leghasonlóbbat kiválasztva kell az arra vonatkozó képleteket ráillesztenie az adott geometriára. Az előző fejezetben bemutatott EN 13445 szerinti karimaméretezés eredményei alapján látható, hogy ez nem járható út, ugyanis irreálisan túlméretezi a szerkezetet.

Fontos körülmény az is, hogy a karimacsavarok számára megengedett feszültségek tekintetében a különböző szabványok jelentősen eltérnek egymástól.

Az [1] EN 12516-2, Industrial valves, Shell design strength, Part 2: Calculation method for steel valve shells 10.5 fejezetében a d_s szükséges csavarátmérő explicit alakra hozott formulában a szabvány az "f" csavarra megengedhető feszültséget használja.

$$d_s = \sqrt{\frac{4}{\pi n} \cdot \frac{F_s}{f}} + c \text{ [mm]} \quad \text{szükséges csavarátmérő} \quad (56)$$

$$\sigma = \frac{1}{n} \frac{F_s}{A} \leq f \text{ [MPa]} \quad \text{húzófeszültség a csavarban, átrendezett képlet} \quad (57)$$

$$n \text{ [db]} \quad \text{csavarok száma} \quad (58)$$

$$\eta = 0,75 \dots 1 \text{ [-]} \quad \text{megmunkálási minőség tényező} \quad (59)$$

$$c \text{ [mm]} \quad \text{tervezési pótlék} \quad (60)$$

$$f \text{ [MPa]} \quad \text{megengedhető feszültség a csavarban} \quad (61)$$

Az [2] EN 13445-3, Unfired Pressure vessels, Part 3 11.4 szénacél és más nem ausztenites acél csavarok számára a megengedhető feszültség értéke $\frac{R_{p0,2}}{3}$ tervezési hőmérsékleten, és $\frac{R_m}{4}$ szobahőmérsékleten. Ausztenites acélok számára a tervezési hőmérsékleten értelmezett $\frac{R_m}{4}$ érték a mértékadó. Az EN13480 Metallic industrial piping, Designs and Calculation D.4.3 szabvány egy az egyben az EN13445-3-ban megtalálható kritériumokat tartalmazza.

Az [5] ASME SEC III DIV 1, ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III Division 1, Rules for Construction of Nuclear Facility Components NB-3232 a Section II, Part D, Subpart 1, Table 4 értékeinek kétszeresét, azaz kétszer a folyáshatár egyharmadát $\left(\frac{S_y}{3}\right)$ engedi meg a szabványban szereplő anyagminőségű, hőkezelt és mechanikai orientációval keményített csavarok számára. A konzervatívabb Table 3 $\frac{S_T}{5}$ (szakítószilárdság egyötöde szobahőmérsékleten), $\frac{S_y}{4}$ (folyáshatár egynegyed szobahőmérsékleten) értékeket tartalmaz.

Szabvány		Normál terhelések	Vizsgálati terhelések
EN 12516-2 Ház-fedél karimacsavarok	gyengített szárú	$f_B = \frac{R_{p0,2/t}}{1,5}$	$f_{Bt} = \frac{R_{p0,2}}{1,1}$
	egyéb	$f_B = \frac{R_{p0,2/t}}{1,8}$	$f_{Bt} = \frac{R_{p0,2}}{1,3}$
EN 13445-3 Karimás kötések karimacsavarjai (és EN 13480)		$f_B = \min\left(\frac{R_{p0,2/t}}{3}; \frac{R_m/20}{4}\right)$	$f_{Bt} = 1,5f_B$
ASME SEC III DIV 1 NB-3230 Karimás kötések előfeszített csavarjai		$f_B = 2 \cdot \min\left(\frac{S_{Y/T}}{4}; \frac{S_T}{5}\right)$	$f_{Bt} = 0,9 \cdot S_{Y/20}$

2. táblázat A különböző szabványok szerint a karimacsavarok számára megengedhető feszültségek

A szabványos értékek eltérését bemutató példa: szívós anyagot feltételezve (a folyással szembeni biztonság az elsődleges korlát), és a folyáshatár értelmezések közötti különbségeket elhanyagolva normál üzemi terhelések esetére elmondható: az EN 12516 a folyáshatár 67%-át, az EN 13445 a 33%-át, az ASME annak 50%-át engedi meg.

A házkarima csavarokat a házkarima elemelkedésének meggátolására mindenképpen elő kell feszíteni. Az EN 13445 szerinti megengedett csavarfeszültség betartása ebben az esetben gyakorlatilag nem lehetséges. Az ilyen mértékű biztonság a csavarkötés tönkremenetelével szemben teljes mértékben felesleges.

Az O-gyűrűs tömítés azonban kismértékű elemelkedés mellett is képes a gömbcsap megfelelő tömítettségének biztosítására, a szabvány erre az esetre nem tartalmaz minimálisan szükséges tömítőerőt. Felmerül a kérdés, hogy ez esetben mennyire kell a házkarima csavarokat előfeszíteni?

4. VÉGESELEMES MÉRLETEZÉS ÉS ELLENŐRZÉS

A jellemzően nagy darabszámban gyártott és különböző üzemi viszonyok között beépített csőszervevényekegyedi végeselemes ellenőrzése rendkívül időigényes, ezért az iparban a szerkezeti elemek ellenőrzésére a gyorsan és kényelmesen alkalmazható szabványos összefüggéseket használják. Egyedi készülékek, esetlegesen termékcsaládok fejlesztésekor azonban megjelenik a végeselemes módszer legfőbb előnye, a tetszőleges geometriai kialakítású alkatrészek szilárdsági értelemben valóságghű modellezése.

A gömbcsap ház-házkarima kapcsolat problémájának elmélyült vizsgálatával a későbbi előtervezési folyamatok számára hasznos tanulságok vonhatóak le a szerkezet viselkedéséről. Ilyenformán a gömbcsapok méretekáljától és nyomásviszonyaitól függetlenül, széles körben alkalmazható tervezési elvekhez juthatunk.

4.1. A HÁZKARIMA KARIMÁS KÖTÉSÉNEK IGÉNYBEVÉTELEI A KARIMACSAVAROK ELŐFESZÍTÉSÉNEK FÜGGVÉNYÉBEN

Annak érdekében, hogy a karimacsavarok optimális előfeszítése meghatározható legyen, a szerkezet viselkedését célszerű az előfeszítés mértékének széles skálán való változtatása mellett vizsgálni.

$$z = \frac{W_T}{W_{OP}} = 0,25 \dots 3 [-] \quad \text{előfeszítés biztonsági tényező}$$

A karimacsavarok előfeszítésének mértékét a kötést lazító belső nyomásból származó erő százalékaként jellemezve, az egyes előfeszítési állapotok megfelelő eredményeire görbét illesztve vizsgáljuk a kapcsolatot jól jellemző eredmények változását, azok változásának mértékét.

4.1.1. A végeselemes modellek felépítése

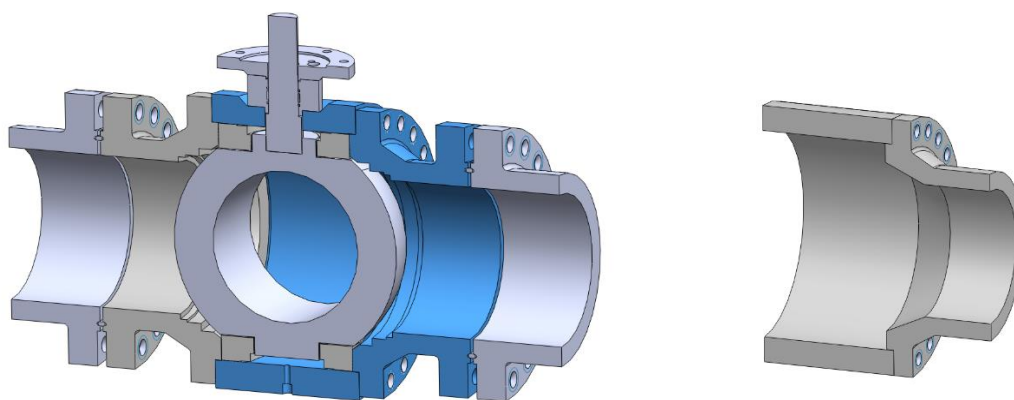
A vizsgált gömbcsap ház-házkarima kapcsolatok mind létező gömbcsapok egyszerűsített, kismértékben megváltoztatott méretű modelljei, azok jellemző arányainak megőrzésével. A mintaként felhasznált gömbcsapok kiválasztásával a dolgozat a nagynyomású gömbcsapok méretskálájának lehető legteljesebb reprezentációjára törekszik.

A végeselemes modellek az [16] Autodesk Simulation Multiphysics 2013 szoftverrel készültek, a probléma jellegének megfelelően „Static Stress with Linear Material Models” lineárisan rugalmas számítási környezetben.

4.1.2. Az egyszerűsített geometriai modell

A szilárdsági végeleemes számításokban felhasznált számítási modell rendszerint a gyártási modell leegyszerűsített változata, az egyszerűsítés célja a probléma mechanikai jellegének megtartásával a számítási idő csökkentése, és az eredmények megbízhatóságának növelése.

Az elemzés célja a gömbcsap karimacsavarjainak előfeszítésének vizsgálata. A gömbcsap általános szilárdsági és földrengés állósági ellenőrzése során alkalmazott geometriai modellt az eredményekre közvetlen hatást nem gyakorló szerkezetrészek elhagyásával tovább egyszerűsítve megragadható a mechanikai probléma gyökere. Az 5. ábra bemutatja az általános végeleemes modell és a ház-házkarima kapcsolat vizsgálatára szolgáló modell közti különbséget.



5. ábra. Általános végeleemes geometriai modell és az analízis modell

4.1.3. Anyagtulajdonságok

A ház és a házkarima kovácsdarabok, így a lineáris anyagtörvénnyel végzett végeleemes számítás szempontjából a csavarok és a fődarabok anyaga acélnak tekinthető.

A számítás szempontjából releváns anyagjellemzők:

$$E_{\text{VEM}} = 200\,000 \text{ [MPa]} \quad \text{rugalmassági modulus} \quad (62)$$

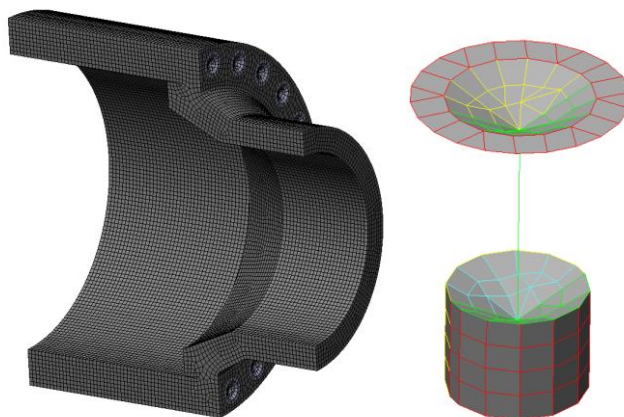
$$\nu_{\text{VEM}} = 0,29 \text{ [-]} \quad \text{Poisson tényező} \quad (63)$$

4.1.4. Hálózás

Az armatúraház és a karimás csatlakozó valós geometriáját a számítási modellben 8 mm-es jellemző elemmérettel rendelkező téglá (Brick) elemekből álló modell helyettesíti. A gerenda (Beam) elemmel helyettesített csavarok menetes kapcsolódását, ill. a csavaranyákat lemez (Plate) elemek modellezzik.

A hajlítónyomatékok felvételére is alkalmas gerenda elemek szögelfordulásként adják tovább a nyomatékokat az ezek felvételére szintén alkalmas lemez elemeknek, amellyel a csavarkötés kellő pontossággal modellezhető.

A 6. ábrán látható a végelelemes modellben alkalmazott egyszerűsített csavarkapcsolat.



6. ábra. A végelelemes háló, és a csavarkötés modellezése gerenda és lemez elemekkel

4.1.5. Terhelések

A szállított közeggel érintkező felületeken a számítási modellek terhelése p belső nyomás. Az elhanyagolt szerkezetrészek hatásait helyettesítésének céljából (a csővezetékben a belső nyomás következtében ébredő húzóerő) a házkarima szabad homlokfelületén $p_{h.VEM}$ nyomás hat. A negatív előjel jelzi a terhelés húzó jellegét. A nyomással terhelt felületeket a 7. ábrán aranszínű nyilak jelzik.

$$p_{h.VEM} = \frac{B^2}{E^2 - B^2} \cdot P \text{ [MPa]} \quad \text{elhanyagolt részeket helyettesítő nyomás} \quad (64)$$

$$B \text{ [mm]} \quad \text{karima belső átmérő} \quad (65)$$

$$E \text{ [mm]} \quad \text{karimás csatlakozó külső átmérő} \quad (66)$$

$$P \text{ [MPa]} \quad \text{belső nyomás} \quad (66)$$

A házkarima csavarok előfeszítésének kérdése alapvető fontosságú, ezért a csavar előfeszítés technikai megvalósításának lépéseit a továbbiakban részletesen bemutatjuk.

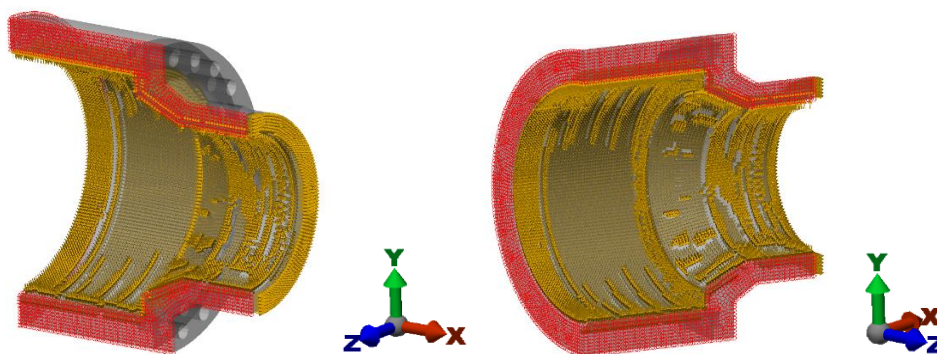
A csavarok előfeszítésének definiálása a modell alapértelmezett globális hőmérsékletének (Default nodal temperature) és az adott alkatrész feszültségmentes referencia hőmérsékletének (Stress free reference temperature) megfelelő beállításával biztosítható. A modell globális hőmérsékletét 0°C -on hagyva, és egy alkatrész feszültségmentes referencia feszültségének értékét pozitív értékre állítva a beállított hőmérsékletkülönbséggel egyenesen arányos összehúzóerő jön létre. Ezt az eljárást a csavarokat helyettesítő gerenda (Beam) elemekre

alkalmazva, egyszerű iterációval határozható meg a kívánt előfeszítő erő létrehozásához szükséges hőmérsékletkülönbség.

$$l = l_0(1 + \alpha \Delta T) \text{ [mm]} \quad \text{belső nyomás} \quad (67)$$

$$\alpha \left[\frac{1}{K} \right] \quad \text{lineáris hőtágulási tényező} \quad (68)$$

A fenti képletek alapján belátható, hogy a hőmérséklet-alakváltozás kapcsolat lineáris és az alakváltozás és feszültség között szintén egyenes arányosság áll fent.



7. ábra. A számítási modell terhelései (aransárga) és peremfeltételei (piros)

4.1.6. Peremfeltételek

A 7. ábrán láthatóak a végeselemes modell peremfeltételei is. A szerkezet rész statikai egyensúlyát a ház -X oldali homlokfelületének csomópontjainak X és Y irányú elmozdulásainak rögzítése biztosítja. A szimmetria, mint peremfeltétel, az XY síkba eső csomópontok Z irányú elmozdulásainak megkötéseként érvényesül.

4.1.7. Hálókapsolódási peremfeltételek

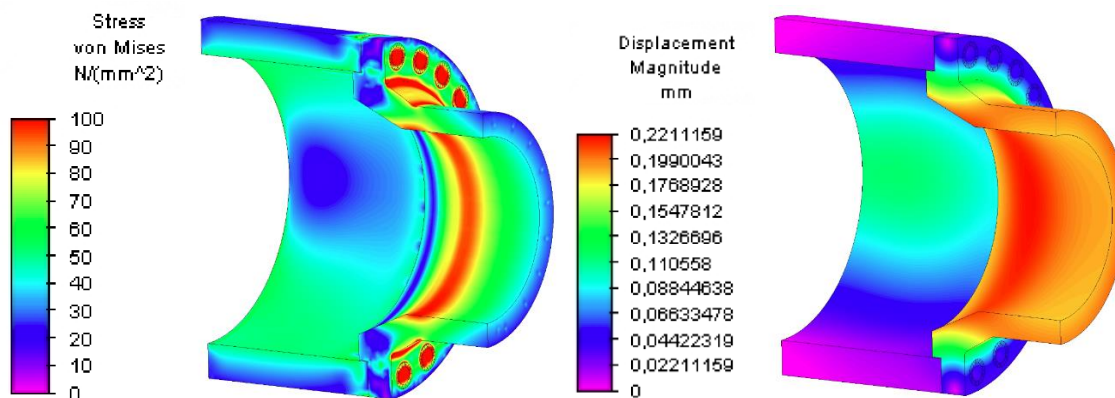
A csavarszáraakat modellező gerendaelemek a meneteket és anyákat modellező lemez elemekkel, ill. ezek a téglaelemekkel közvetlen kapcsolatban (Bonded) állnak. Ez megfelelően modellezi a menetes kapcsolatot, ill. az előfeszített csavaranyák felfekvését.

A ház és a hozzá csatlakozó házkarima kapcsolata a valóságnak megfelelő súrlódásmentes felületi érintkezés (Surface to surface contact).

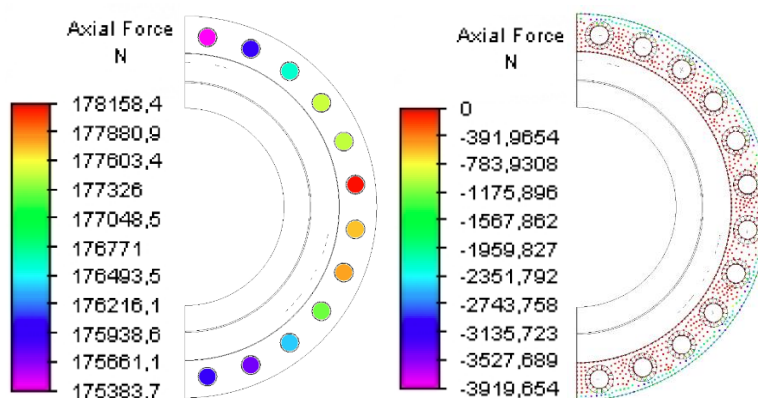
4.2. VÉGESELEMES SZÁMÍTÁSOK EREDMÉNYEI

A következőkben bemutatjuk a házkarima kapcsolat (csavarok, armatúraház, házkarima) igénybevételeinek legfontosabb számszerűsített jellemzőit, a csavarkötésben fellépő erőket és a karimafelek elemelkedését, és értelmezzük az eredményeket. A számítások egy DN400 PN100 gömbcsap adataival készültek.

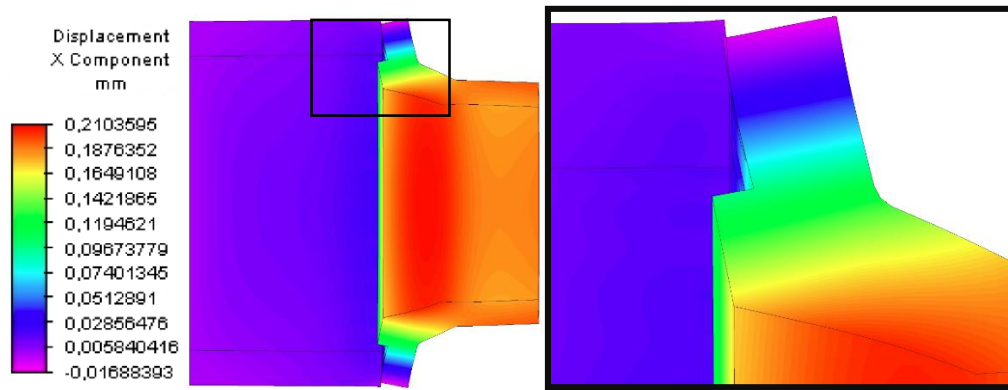
A csavarkapcsolatot jól jellemzi az üzemi állapotban a csavarban fellépő csavarerő, a csavarerő növekmény és az érintkező felületeket összeszorító kontakterő. A karimacsavarokban fellépő feszültség alapján értelmezhető azok kihasználtsága, a karimafelek egymástól való elemelkedésének ismeretében pedig minősíthető a kötés megfelelősége. Az eredmények ismertetése a "z" előfeszítés biztonsági tényező 0,25 ... 3 tartományban történő változtatása mellett kerül bemutatásra a továbbiakban.



8. ábra. A ház és házkarima egyenértékű feszültségei módosított skálával és a globális elmozdulások $z = 1$ esetben



9. ábra. A karimacsavarokban és a kontaktfelületen fellépő axiális erő $z = 1$ esetben



10. ábra. A ház és a házkarima X-irányú elmozdulása $z = 1$ esetben

A 3.táblázat tartalmazza az eredmények kiértékeléséhez szükséges legfontosabb adatokat.

Jel [Dimenzió]	Megnevezés	Adat
P [MPa]	armatúra tervezési nyomása	10
Csőkarima oldal		
B [mm]	karima belső átmérő	385
d_d [mm]	tömítő erő átmérője	469,9
E [mm]	karima külső átmérő	485
H_D [N]	nyomásból származó erő, karima belső átmérő	116415,64
$p_{h,VEM}$ [MPa]	helyettesítő megoszló terhelés	1,7037
Házkarima oldal		
G [mm]	tömítés közepes átmérő	598
n [db]	csavarok száma	24
d_e [mm]	csavar egyenértékű átmérője	32,2475
H [N]	házkarima csavarokat terhelő erő	2808615
H_1 [N]	egy csavarra jutó lazító hatás	117026
σ_{H1} [N]	egy csavarra jutó lazító hatás	143,28

3. táblázat A végeleemes eredmények kiértékeléséhez szükséges kiinduló adatok

4.2.1. A csavarkötésben fellépő erők

A ház-házkarima csavarkapcsolat kiértékelt végeleemes eredményei a 4. táblázatban láthatóak.

A táblázat oszlopaiban található jelölések részletes magyarázata a következő:

$$z = \frac{W_T}{W_{OP}} = 0,25 \dots 3 [-] \quad \text{előfeszítés biztonsági tényező}$$

$$\sigma_{WT} \text{ [MPa]} \quad \text{előfeszítő erő hatására ébredő feszültség} \quad (69)$$

$$W_{\Sigma T} \text{ [N]} \quad \text{bruttó elfeszítő erő} \quad (70)$$

$$W_{\Sigma VEM} \text{ [N]} \quad \text{bruttó csavarerő, összes üzemi csavarerő} \quad (71)$$

$$F_{\Sigma\text{kontakt}} [\text{N}] \quad \text{bruttó kontakt erő, összes üzemi összeszorító erő} \quad (72)$$

$$\Delta F = W_{\Sigma\text{VEM}} - H + F_{\Sigma\text{kontakt}} [\text{N}] \quad \text{kontakt iteráció hibája} \quad (73)$$

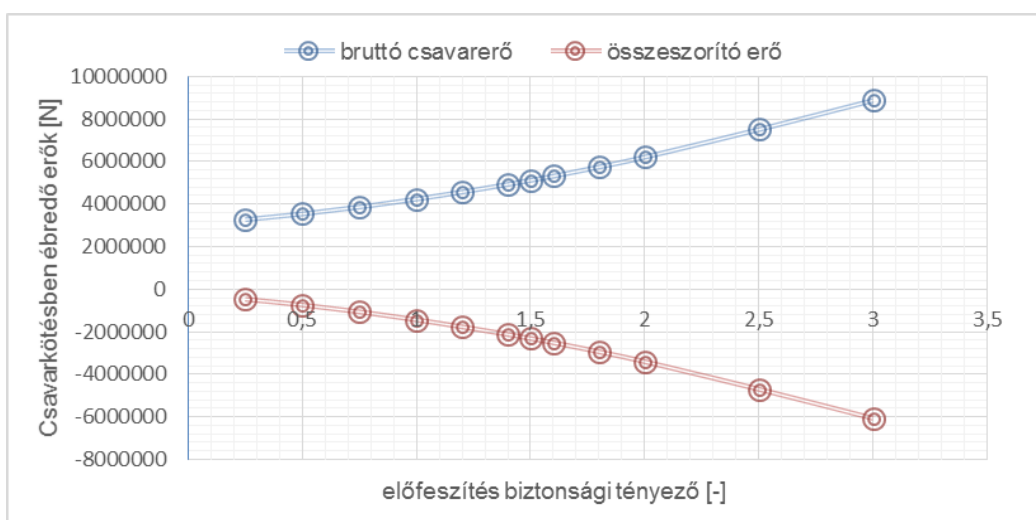
$$H [\%] \quad \text{kontakt iteráció hibája} \quad (74)$$

A $F_{\Sigma\text{kontakt}}$ kontakterő negatív értékei a megszokott előjelszabály szerint a felületek között fellépő nyomóerőre utalnak. A statikai egyensúly kiszámításával ellenőrizhető az eredmények helyessége és megbecsülhető a numerikus számítással járó hiba nagyságrendje.

A 11. ábrán látható görbék az összes üzemi csavarerőt és az ennek hatására fellépő összeszorító erőt ábrázolják az előfeszítés biztonsági tényező függvényében. Kis előfeszítő erők esetén a karima feleket összeszorító erő is kisebb, üzemi állapotban a felfekvő felületek számottevően elemelkednek.

Előfeszítés			Számított erők		Erőegyensúly	
z [-]	σ_{WT} [MPa]	$W_{\Sigma T}$ [N]	$W_{\Sigma VEM}$ [N]	$F_{\Sigma\text{kontakt}}$ [N]	ΔF [N]	H [%]
0,25	36	702154	3274885	-466284	-14,81	0,0005
0,5	72	1404308	3544602	-736001	-14,86	0,0004
0,75	107	2106461	3868405	-1059805	-14,83	0,0004
1	143	2808615	4243876	-1435275	-14,84	0,0003
1,2	172	3370338	4572228	-1763628	-14,85	0,0003
1,4	201	3932061	4930686	-2122086	-14,87	0,0003
1,5	215	4212923	5121937	-2313336	-14,82	0,0003
1,6	229	4493784	5320522	-2511922	-14,86	0,0003
1,8	258	5055507	5747224	-2938624	-14,80	0,0003
2	287	5617230	6212564	-3403963	-14,82	0,0002
2,5	358	7021538	7507003	-4698402	-14,73	0,0002
3	430	8425846	8874621	-6066021	-14,86	0,0002

4. táblázat A ház-házkarima csavarkapcsolatban fellépő erők



11. ábra. A ház-házkarima csavarkapcsolatban fellépő erők az előfeszítés biztonsági tényező függvényében

Az egy csavarra eső értékeket, a karimacsavarokban fellépő erőket az 5. táblázat tartalmazza. A táblázat oszlopaiban található jelölések részletes magyarázata az alábbi:

$$z = \frac{W_T}{W_{OP}} = 0,25 \dots 3 [-] \text{ előfeszítés biztonsági tényező}$$

$$W_T [N] \quad \text{egy csavarra eső előfeszítő erő} \quad (75)$$

$$W_{VEM} [N] \quad \text{egy csavarra eső üzemi csavarerő} \quad (76)$$

$$W_{VEMf} = \frac{W_{VEM}}{W_T} [-] \quad \text{egy csavarra eső előfeszítő erővel fajlagosított üzemi csavarerő} \quad (77)$$

$$\Delta W = W_{VEM} - W_T [N] \quad \text{egy csavarra eső csavarerő növekmény} \quad (78)$$

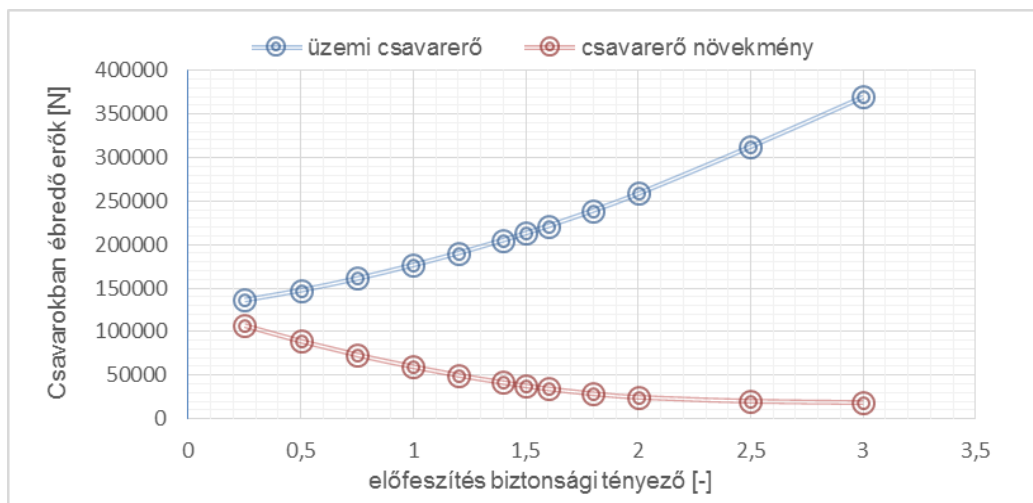
$$\Delta W_f = \frac{\Delta W}{W_{VEM}} [-] \quad \text{egy csavarra eső üzemi csavarerővel fajlagosított csavarerő növekmény} \quad (79)$$

A 12. ábra alapján elmondható, hogy az előfeszítés növelésének hatására a csavarerő egyre inkább közel lineárisan nő, míg a csavarerő növekmény egyre ellaposodóan tart a 0 felé. A belső nyomás hatása egyre inkább elhanyagolható, $z = 3$ esetén a csavarerő értékekben szinte alig észrevehető a csavarokra ható lazító erő.

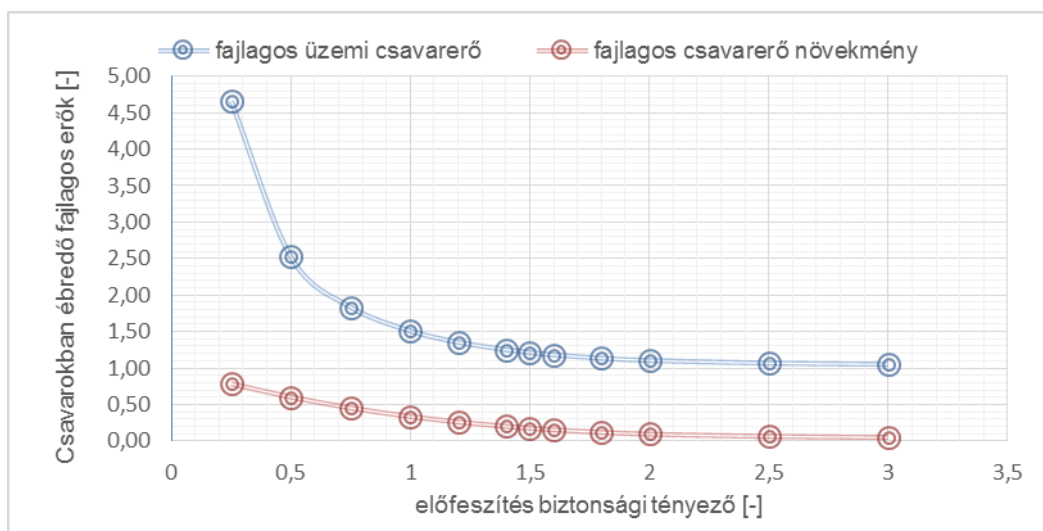
A 13. ábra alapján érthető meg talán a legjobban, hogy miért is érdemes a csavarokat előfeszíteni. A W_{VEMf} fajlagos üzemi csavarerő értéke 1-hez tart, azaz a külső lazító hatás egyre kevésbé jelenik meg a csavarokon. A radikális csökkenés körülbelül $z = 1,5$ –ig tart, ezután a görbe egyre inkább ellaposodik. A ΔW_f fajlagos üzemi csavarerő növekmény 0-hoz tartó jellege indokolja a csavarok lehetőség szerinti legnagyobb előfeszítő erőre történő méretezését. Amennyiben további járulékos igénybevételek jelennének meg a csavarokban, ezek hatásai már alig fognak érvényesülni bennük. Nagyobb előfeszítéseknél a lelazulással szembeni biztonság sokkal hatékonyabban érvényesül, mint amennyire az egyre lassabban növekvő csavarerő az egy csavarra megengedett korlátozó érték felé közelít.

Előfeszítés		Üzemi csavarerő		Csavarerő növekmény	
$z [-]$	$W_T [N]$	$W_{VEM} [N]$	$W_{VEMf} [-]$	$\Delta W [N]$	$\Delta W_f [-]$
0,25	29256	136454	4,66	107197	0,79
0,5	58513	147692	2,52	89179	0,60
0,75	87769	161184	1,84	73414	0,46
1	117026	176828	1,51	59803	0,34
1,2	140431	190510	1,36	50079	0,26
1,4	163836	205445	1,25	41609	0,20
1,5	175538	213414	1,22	37876	0,18
1,6	187241	221688	1,18	34447	0,16
1,8	210646	239468	1,14	28822	0,12
2	234051	258857	1,11	24806	0,10
2,5	292564	312792	1,07	20228	0,06
3	351077	369776	1,05	18699	0,05

5. táblázat A karimacsavarokban fellépő erők



12. ábra. A ház-házkarima csavarkapcsolatban fellépő erők az előfeszítés biztonsági tényező függvényében



13. ábra. A ház-házkarima csavarkapcsolatban fellépő fajlagosított erők az előfeszítés biztonsági tényező függvényében

4.2.2. A karimacsavarok feszültségei

$$\sigma_{VEM} = \frac{W_{VEM}}{A_{B1}} \text{ [MPa]} \quad \text{húzófeszültség a karimacsavar szárában} \quad (80)$$

W_{VEM} [N] egy csavarra eső üzemi csavarerő

A_{B1} [mm²] egy csavar teherhordó keresztmetszete

$$k = \frac{\sigma_{VEM}}{f_B} \cdot 100 \text{ [%]} \quad \text{csavar kihasználtsága} \quad (81)$$

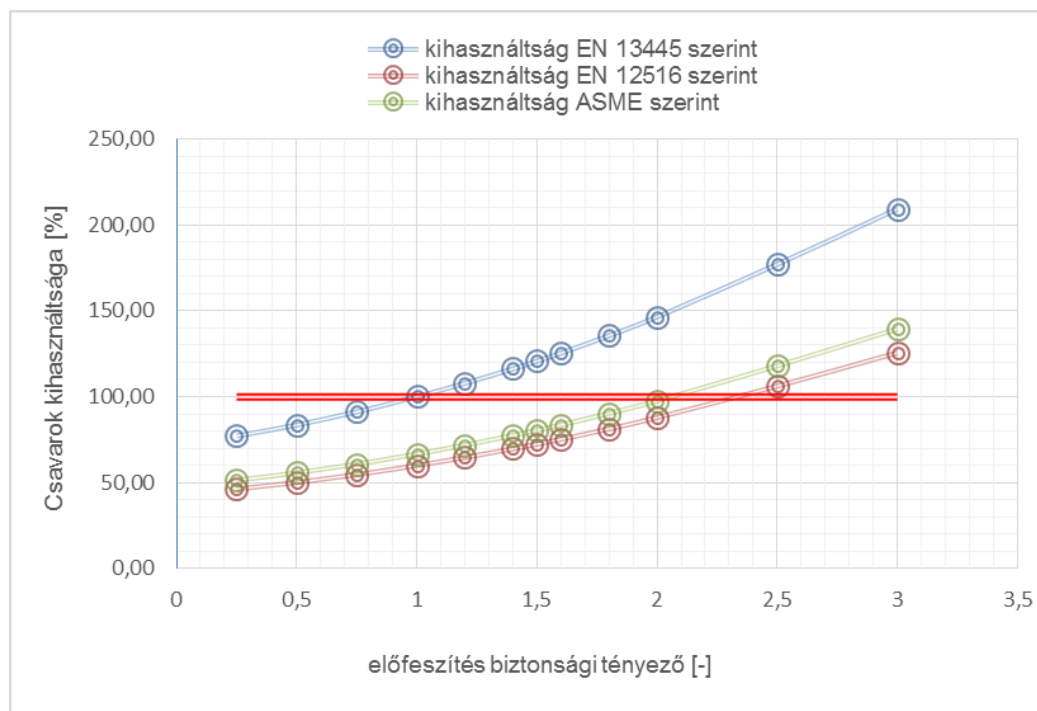
f_B [MPa] tervezési hőmérséklethez tartozó üzemi megengedett feszültség

A karimacsavarok feszültségei, és azok különböző szabványok szerinti megfelelőségének értékelése a 6. táblázatban látható. A $k > 100\%$ -os kihasználtságokat sárga színnel kiemeltük.

Látható, hogy EN 13445 szerint a csavarok a belső nyomással azonos mértékig sem feszíthetők elő. Ezzel szemben EN 12516 és ASME szerint akár a $z = 2$ arányú előfeszítés is megengedett. Az 5. táblázatban feltüntetett értékek szerint $z = 2$ mértékű előfeszítés esetén a belső nyomás okozta lazító hatás a csavarerőnek mindössze a 10%-a, következésképpen a belső nyomás növekedése esetén sem áll fenn a tönkremenetel kockázata, ugyanis a csavarok csak a folyáshatár feléig terheltek. Az eredmények alapján a karimacsavarok biztonsággal előfeszíthetők $z = 2$ -ig.

z [-]	Igénybevétel		Kihasználság [%]		
	W_{VEM} [N]	σ_{VEM} [MPa]	EN 13445	EN 12516	ASME
0,25	136454	167	77,25	46,35	51,50
0,5	147692	181	83,62	50,17	55,74
0,75	161184	197	91,25	54,75	60,84
1	176828	217	100,11	60,07	66,74
1,2	190510	233	107,86	64,71	71,90
1,4	205445	252	116,31	69,79	77,54
1,5	213414	261	120,82	72,49	80,55
1,6	221688	271	125,51	75,30	83,67
1,8	239468	293	135,57	81,34	90,38
2	258857	317	146,55	87,93	97,70
2,5	312792	383	177,09	106,25	118,06
3	369776	453	209,35	125,61	139,56

6. táblázat A karimacsavarok feszültségei és kihasználtságai EN 13445, EN 12516 és ASME megengedett értékek szerint



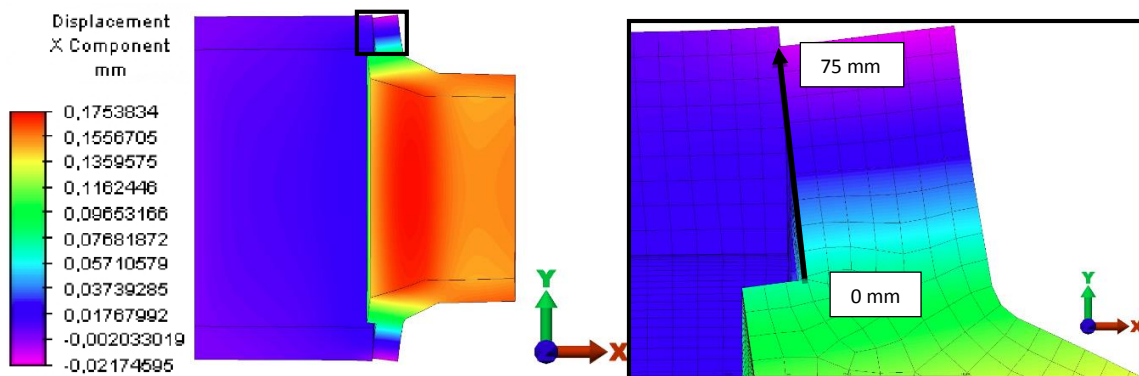
14. ábra. A karimacsavarok feszültségei és kihasználtságai EN 13445, EN 12516 és ASME megengedett értékek szerint

4.2.3. A karimafelek elemelkedése

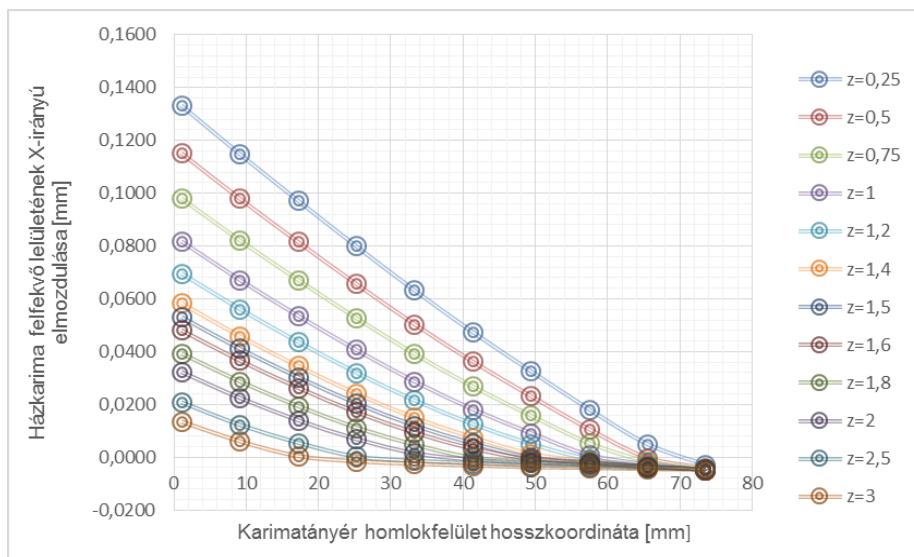
A karimafelek homlokfelületeinek elemelkedését a ház homlokfelületének X-irányú elmozdulásai és a karima homlokfelületének X-irányú elmozdulásai különbségeként értelmezzük, kiküszöbölendő a ház deformációnak zavaró hatását.

A karimafelek egymáshoz képesti elmozdulásainak értelmezését segíti a 15. ábra, a 16. ábrán pedig a karimafelek egymáshoz képesti X-irányú relatív elmozdulásai láthatók. A végeselemes elmozdulás értékek két csavar közti szimmetriasíkból származnak, ami a felfekvés szempontjából a legkedvezőtlenebb. A karimafelek az előfeszítés növelésével egyre inkább felfekszenek, a felfekvő rész kívülről befelé haladva növekszik. Az eredményekből látható, hogy az előfeszítés növelésével nem érhető el a teljes mértékű felfekvés, a karimafelek még $z = 3$ esetén sem fekszenek fel teljesen egymáson. A külső oldalon viszont az előfeszítéstől függetlenül mindig felfekvés alakul ki, a karimatányér pedig elfordul. A karimatányérok elfordulásának mértéke az előfeszítés növelésével hatékonyan csökkenthető, de a folyamat érezhetően egyre lassul. A legbelső pont elmozdulása $z = 0,25$ és $z = 1,5$ között 44%-al csökkent, míg ez az érték $z = 1,5$ és $z = 3$ között már csak 26%.

A 7. táblázatban a karimafelek egymáshoz képesti elmozdulásánál a sárgával kiemelt negatív értékek a felületek összeérését jelölik. Az előfeszítés növelésével a homlokfelületi felfekvés körülbelül 20%-ról 70%-ra növelhető.



15. ábra. A homlokfelület elmozdulásainak értelmezése



16. ábra. A házkarima homlokfelületének relatív elmozdulásai

Karimatányér homlokfelületének elmozdulása X irányban [mm]												
Előfeszítés biztonsági tényező z [-]												
Y [mm]	0,25	0,5	0,75	1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	2	2,5	3
1	0,1416	0,1254	0,1103	0,0961	0,0855	0,0758	0,0713	0,0670	0,0594	0,0534	0,0433	0,0366
9	0,1246	0,1092	0,0951	0,0818	0,0720	0,0630	0,0588	0,0549	0,0479	0,0424	0,0333	0,0274
17	0,1081	0,0937	0,0805	0,0683	0,0593	0,0511	0,0473	0,0437	0,0375	0,0326	0,0246	0,0195
25	0,0917	0,0783	0,0663	0,0551	0,0471	0,0398	0,0364	0,0333	0,0278	0,0237	0,0170	0,0137
33	0,0755	0,0632	0,0524	0,0425	0,0355	0,0292	0,0263	0,0236	0,0191	0,0157	0,0112	0,0085
41	0,0597	0,0485	0,0390	0,0304	0,0246	0,0193	0,0169	0,0148	0,0111	0,0090	0,0056	0,0031
49	0,0444	0,0345	0,0265	0,0192	0,0145	0,0102	0,0084	0,0071	0,0049	0,0031	0,0000	-0,0024
57	0,0294	0,0209	0,0143	0,0085	0,0054	0,0028	0,0016	0,0006	-0,0012	-0,0026	-0,0054	-0,0076
65	0,0151	0,0080	0,0038	0,0001	-0,0022	-0,0042	-0,0052	-0,0060	-0,0075	-0,0087	-0,0112	-0,0134
74	0,0033	-0,0014	-0,0048	-0,0077	-0,0096	-0,0111	-0,0119	-0,0125	-0,0137	-0,0148	-0,0171	-0,0192
Házkarima homlokfelületének elmozdulása X irányban [mm]												
Előfeszítés biztonsági tényező z [-]												
Y [mm]	0,25	0,5	0,75	1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	2	2,5	3
1	0,0083	0,0102	0,0122	0,0143	0,0158	0,0174	0,0181	0,0188	0,0200	0,0210	0,0225	0,0231
9	0,0096	0,0112	0,0128	0,0145	0,0158	0,0170	0,0176	0,0181	0,0191	0,0199	0,0210	0,0213
17	0,0108	0,0120	0,0133	0,0146	0,0155	0,0165	0,0169	0,0173	0,0180	0,0185	0,0191	0,0190
25	0,0117	0,0125	0,0134	0,0143	0,0150	0,0156	0,0159	0,0161	0,0165	0,0167	0,0167	0,0152
33	0,0122	0,0127	0,0131	0,0136	0,0139	0,0141	0,0142	0,0143	0,0143	0,0142	0,0126	0,0109
41	0,0121	0,0122	0,0122	0,0122	0,0119	0,0117	0,0116	0,0115	0,0112	0,0100	0,0078	0,0062
49	0,0117	0,0112	0,0106	0,0100	0,0094	0,0089	0,0085	0,0077	0,0064	0,0052	0,0030	0,0014
57	0,0112	0,0102	0,0089	0,0076	0,0060	0,0043	0,0035	0,0027	0,0014	0,0002	-0,0019	-0,0036
65	0,0100	0,0082	0,0053	0,0027	0,0008	-0,0009	-0,0017	-0,0025	-0,0038	-0,0049	-0,0071	-0,0089
74	0,0062	0,0027	-0,0002	-0,0029	-0,0047	-0,0064	-0,0072	-0,0079	-0,0092	-0,0103	-0,0126	-0,0145
Házkarima homlokfelületének a karimatányérhez mért elmozdulása X irányban [mm]												
Előfeszítés biztonsági tényező z [-]												
Y [mm]	0,25	0,5	0,75	1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	2	2,5	3
1	0,1334	0,1153	0,0981	0,0819	0,0697	0,0584	0,0531	0,0482	0,0394	0,0324	0,0209	0,0136
9	0,1150	0,0981	0,0823	0,0673	0,0563	0,0460	0,0412	0,0367	0,0288	0,0225	0,0124	0,0061
17	0,0973	0,0817	0,0673	0,0537	0,0438	0,0346	0,0304	0,0264	0,0195	0,0141	0,0055	0,0005
25	0,0800	0,0658	0,0528	0,0408	0,0322	0,0242	0,0205	0,0172	0,0113	0,0069	0,0003	-0,0015
33	0,0633	0,0505	0,0392	0,0288	0,0216	0,0150	0,0120	0,0094	0,0048	0,0016	-0,0013	-0,0025
41	0,0475	0,0363	0,0269	0,0183	0,0127	0,0076	0,0053	0,0033	-0,0001	-0,0010	-0,0023	-0,0031
49	0,0327	0,0233	0,0159	0,0092	0,0051	0,0013	-0,0001	-0,0006	-0,0015	-0,0021	-0,0030	-0,0038
57	0,0183	0,0107	0,0054	0,0009	-0,0006	-0,0015	-0,0018	-0,0021	-0,0026	-0,0029	-0,0035	-0,0040
65	0,0051	-0,0001	-0,0015	-0,0026	-0,0030	-0,0033	-0,0035	-0,0036	-0,0037	-0,0038	-0,0041	-0,0045
74	-0,0029	-0,0041	-0,0046	-0,0049	-0,0048	-0,0047	-0,0047	-0,0046	-0,0045	-0,0045	-0,0045	-0,0047

7. táblázat A karimafelek elmozdulásai

4.3. A számítási eredmények értékelése

A DN400 PN100 gömbcsap eredményei alapján elmondható, hogy a karimacsavarok még egy $z = 2$ nagyágú előfeszítés esetén is megfelelnek. A ház-házkarima felfekvő felületének elemelkedésének meggátolása céljából célszerű a csavarok legalább $z = 1,5$ arányú előfeszítése.

5. TOVÁBBI VÉGESELEMES SZÁMÍTÁSOK EREDMÉNYEI

A DN400-as gömbcsap mellett két további, egy DN100-as és egy DN1000-es gömbcsap egyszerűsített modelljén is elvégezve a 4. fejezetben részletesen ismertetett számítási eljárást, választ kaphatunk arra a kérdésre, hogy lehet-e a geometriailag hasonló gömbcsapok tervezésére általános tervezési irányelveket megfogalmazni. A modellek az összehasonlíthatóságot szem előtt tartva, azok teljes mértékben azonos módon épültek fel a korábban bemutatottal.

Tekintve, hogy három számítási modell teljes szélességében lefedi a PN100-as nagynyomású gömbcsapok méretsorozatát, amennyiben ezek eredményeiben sikerül egyértelműen értelmezhető hasonlóságot kimutatni, úgy a nagynyomású gömbcsapokra vonatkozó általános következtetések lennének levonhatók az eredményekből.

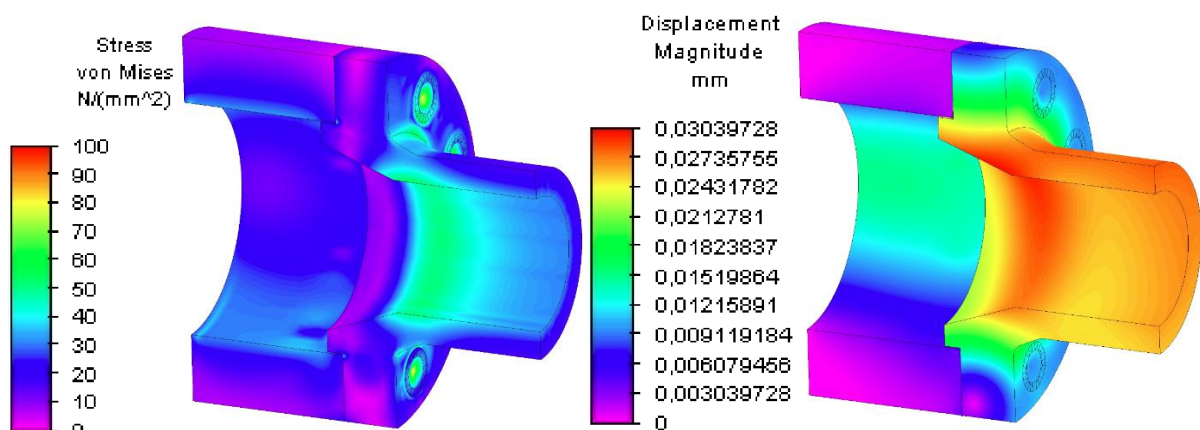
Amint látni fogjuk, az eredmények hasonlóak a korábban vizsgált DN400-as gömbcsap eredményeihez, ezért azok bemutatása csak a fontosabb adatok közlésére szorítkozik.

5.1. DN100 GÖMBCSAP EREDMÉNYEI

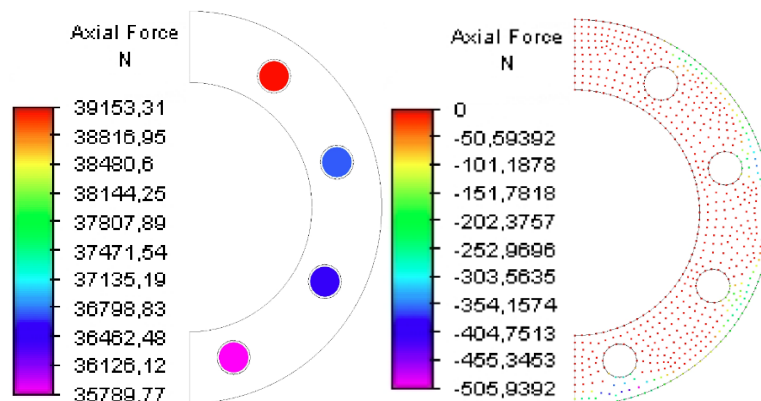
A DN100-as gömbcsap kis méretéből adódóan rendkívül nagy biztonsággal megfelel a korábban bemutatott szilárdsági ellenőrzés alapján. A másik két gömbcsappal összehasonlítva, már ránézésre látható az alapvető arányokban való eltérés, a házfal és a karimatányér sokkal nagyobb vastagsága. Az összes csavarkeresztmetszet is jelentősen nagyobb a szükségesnél, fajlagos értéke nagyobb mint a nagyobb társaiénál. A 18. ábrán látható a csavarok kiosztása, amely nem teljesen szimmetrikus. Ennek a lényegét nem érintő konstrukciós oka van.

Jel [Dimenzió]	Megnevezés	Adat
P [MPa]	armatúra tervezési nyomása	10
Csőkarima oldal		
B [mm]	karima belső átmérő	100
d_d [mm]	tömítő erő átmérője	149,2
E [mm]	karima külső átmérő	142
H_D [N]	nyomásból származó erő, karima belső átmérő	78539,82
$p_{h,VEM}$ [MPa]	helyettesítő megoszló terhelés	9,84
Házkarima oldal		
G [mm]	tömítés közepes átmérő	173
n [db]	csavarok száma	8
d_e [mm]	csavar egyenértékű átmérője	21,19
H [N]	házkarima csavarokat terhelő erő	235062
H_1 [N]	egy csavarra jutó lazító hatás	29383
σ_{H1} [N]	egy csavarra jutó lazító hatás	83,32

8. táblázat A végelelemes eredmények kiértékeléséhez szükséges kiinduló adatok



17. ábra. A ház és házkarima egyenértékű feszültségei módosított skálával és a globális elmozdulások $z = 1$ esetben



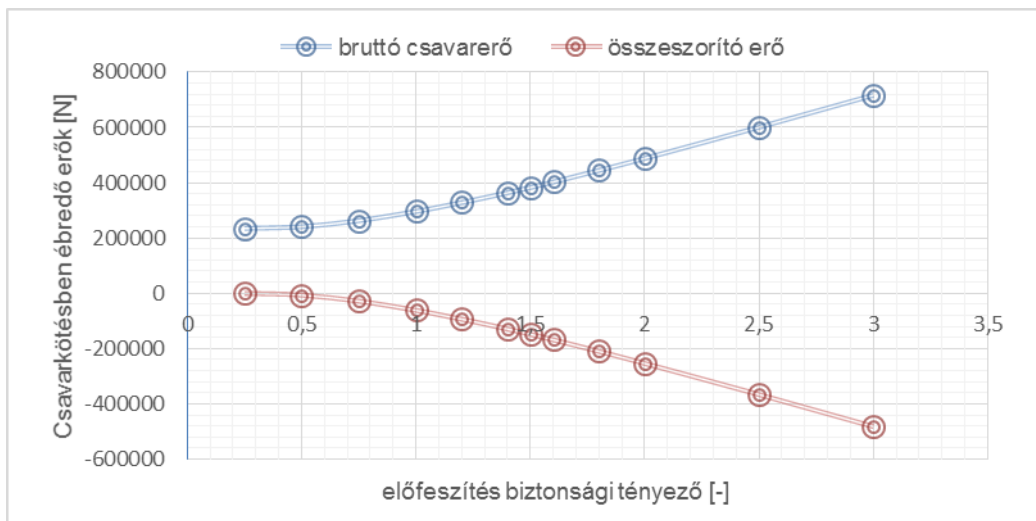
18. ábra. A karimacsavarokban és a kontaktfelületen fellépő axiális erő $z = 1$ esetben

5.1.1. A csavarkötésben fellépő erők

A 9. táblázat adatait vizsgálva érdekes megállapítás tehető. A DN100 gömbcsap karimás csatlakozója olyan merev, hogy a legkisebb vizsgált előfeszítés esetén ($z = 0,25$) a karima nem fekszik fel még a legnagyobb átmérőn sem. Az elfordulás mértéke olyan kicsi, hogy a csavarok megnyúlása nagyobb a karima szögelfordulásnál, és a karimás csatlakozó teljes egészében elemelkedik ($F_{\Sigma\text{kontakt}} = 0$).

Előfeszítés			Számított erők		Erőegyensúly	
z [-]	σ_{WT} [MPa]	$W_{\Sigma T}$ [N]	$W_{\Sigma VEM}$ [N]	$F_{\Sigma\text{kontakt}}$ [N]	ΔF [N]	H [%]
0,25	21	58765	235047	0	-14,76	0,0063
0,5	42	117531	241239	-6192	-14,76	0,0061
0,75	62	176296	263089	-28042	-14,75	0,0056
1	83	235062	296380	-61333	-14,76	0,0050
1,2	100	282074	328523	-93476	-14,76	0,0045
1,4	117	329087	364006	-128960	-15,76	0,0043
1,5	125	352593	383142	-148095	-14,75	0,0038
1,6	133	376099	403035	-167988	-14,77	0,0037
1,8	150	423111	444970	-209923	-14,76	0,0033
2	167	470124	488442	-253395	-14,75	0,0030
2,5	208	587655	601266	-366219	-14,76	0,0025
3	250	705185	716928	-481881	-14,75	0,0021

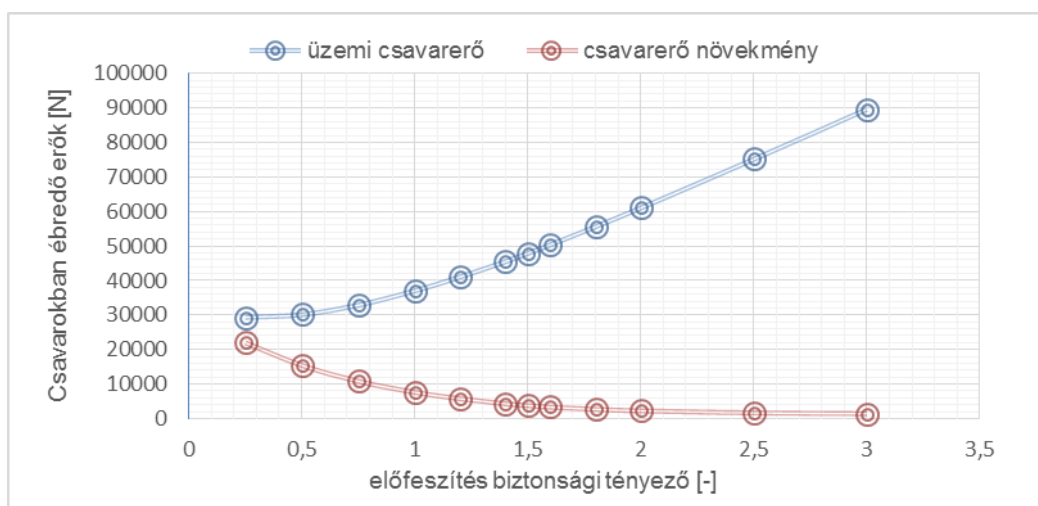
9. táblázat A ház-házkarima csavarkapcsolatban fellépő erők



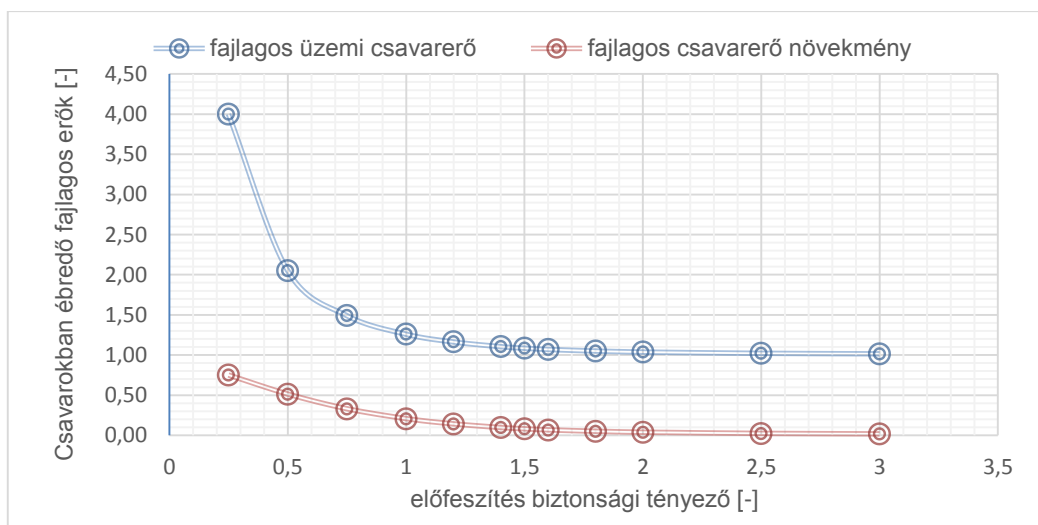
19. ábra. A ház-házkarima csavarkapcsolatban fellépő erők az előfeszítés biztonsági tényező függvényében

Előfeszítés		Üzemi csavarerő		Csavarerő növekmény	
z [-]	W_T [N]	W_{VEM} [N]	W_{VEMf} [-]	ΔW [N]	ΔW_f [-]
0,25	7346	29381	4,00	22035	0,75
0,5	14691	30155	2,05	15463	0,51
0,75	22037	32886	1,49	10849	0,33
1	29383	37048	1,26	7665	0,21
1,2	35259	41065	1,16	5806	0,14
1,4	41136	45501	1,11	4365	0,10
1,5	44074	47893	1,09	3819	0,08
1,6	47012	50379	1,07	3367	0,07
1,8	52889	55621	1,05	2732	0,05
2	58765	61055	1,04	2290	0,04
2,5	73457	75158	1,02	1701	0,02
3	88148	89616	1,02	1468	0,02

10. táblázat A karimacsavarokban fellépő erők



20. ábra. A ház-házkarima csavarkapcsolatban fellépő erők az előfeszítés biztonsági tényező függvényében



21. ábra. A ház-házkarima csavarkapcsolatban fellépő fajlagosított erők az előfeszítés biztonsági tényező függvényében

A 21. ábrán látható fajlagos üzemi csavarerő görbét tekintve elmondható, hogy a korábbi modellhez hasonló lefutású görbe $z = 1,5$ -ig mutat intenzív csökkenést.

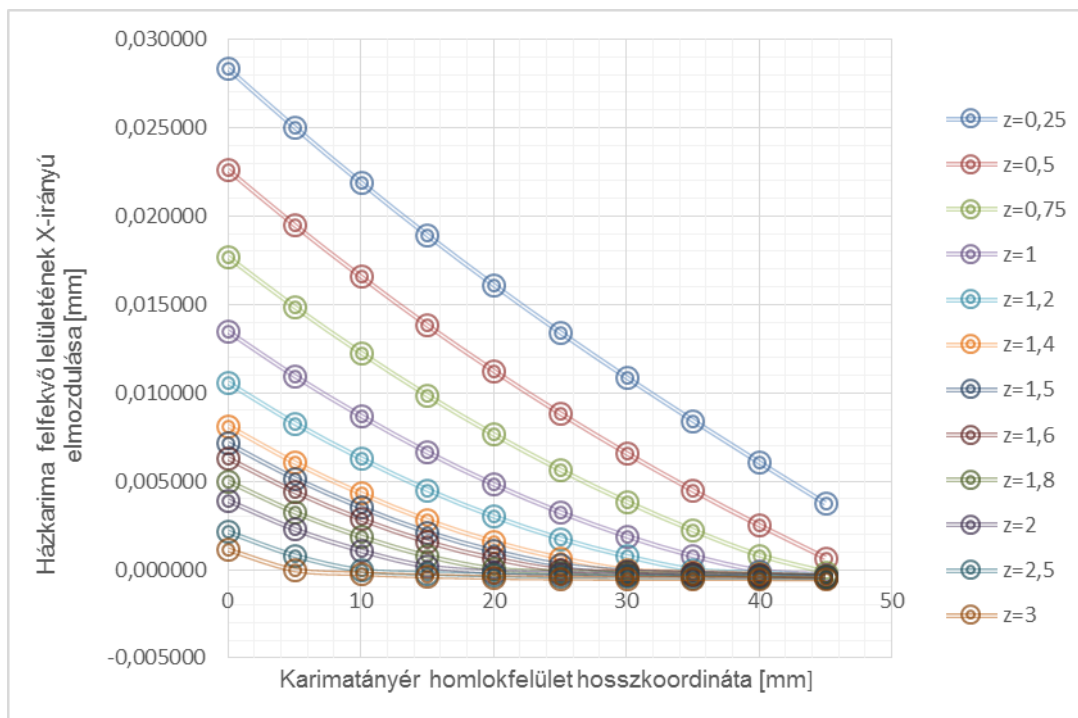
5.1.2. A karimafelek elemelkedése

Mint ahogyan azt már korábban említettük, a DN100 gömbcsap csavarkiosztása nem teljes mértékben szimmetrikus. A felső csavarok elhelyezésénél technológiai célzattal több helyet hagytak a tervezők a zárast - nyitást biztosító alkatrészek számára. Az összehasonlíthatóság érdekében ebben az esetben az elmozdulás értékek a szimmetriasíkba eső alsó csavarközből származnak.

Karimatányér homloklületének elmozdulása X irányban [mm]												
Előfeszítés biztonsági tényező z [-]												
Y [mm]	0,25	0,5	0,75	1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	2	2,5	3
0	0,000432	0,000708	0,001219	0,001746	0,002132	0,002463	0,002595	0,002702	0,002851	0,002977	0,003085	0,002984
5	0,000777	0,001000	0,001430	0,001872	0,002194	0,002466	0,002572	0,002656	0,002768	0,002853	0,002867	0,002713
10	0,001065	0,001234	0,001583	0,001939	0,002194	0,002404	0,002482	0,002542	0,002610	0,002644	0,002526	0,002122
15	0,001265	0,001381	0,001646	0,001914	0,002100	0,002242	0,002288	0,002319	0,002328	0,002291	0,001882	0,001499
20	0,001361	0,001419	0,001593	0,001763	0,001870	0,001933	0,001935	0,001927	0,001863	0,001647	0,001182	0,000814
25	0,001384	0,001375	0,001443	0,001504	0,001522	0,001486	0,001437	0,001383	0,001124	0,000890	0,000432	0,000069
30	0,001355	0,001267	0,001213	0,001148	0,001060	0,000917	0,000745	0,000595	0,000341	0,000113	-0,000337	-0,000708
35	0,001297	0,001114	0,000910	0,000696	0,000494	0,000105	-0,000061	-0,000206	-0,000448	-0,000668	-0,001116	-0,001501
40	0,001230	0,000916	0,000529	0,000118	-0,000334	-0,000712	-0,000868	-0,001005	-0,001234	-0,001446	-0,001897	-0,002301
45	0,001164	0,000685	-0,000049	-0,000735	-0,001173	-0,001529	-0,001675	-0,001804	-0,002024	-0,002233	-0,002696	-0,003127
50	0,001093	0,000025	-0,000945	-0,001611	-0,002026	-0,002359	-0,002495	-0,002618	-0,002831	-0,003040	-0,003522	-0,003987
Házkarima homloklületének elmozdulása X irányban [mm]												
Előfeszítés biztonsági tényező z [-]												
Y [mm]	0,25	0,5	0,75	1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	2	2,5	3
0	0,028781	0,023324	0,018919	0,015232	0,012721	0,010606	0,009747	0,009009	0,007864	0,006894	0,005228	0,004119
5	0,025821	0,020508	0,016312	0,012844	0,010501	0,008543	0,007752	0,007076	0,006030	0,005151	0,003671	0,002702
10	0,022985	0,017831	0,013873	0,010655	0,008505	0,006727	0,006016	0,005411	0,004483	0,003719	0,002497	0,001889
15	0,020200	0,015217	0,011516	0,008568	0,006627	0,005047	0,004424	0,003899	0,003110	0,002483	0,001675	0,001134
20	0,017482	0,012684	0,009261	0,006606	0,004891	0,003522	0,003000	0,002561	0,001920	0,001533	0,000875	0,000373
25	0,014828	0,010231	0,007108	0,004764	0,003288	0,002147	0,001728	0,001379	0,000998	0,000677	0,000073	-0,000410
30	0,012248	0,007870	0,005069	0,003054	0,001829	0,000919	0,000672	0,000460	0,000129	-0,000159	-0,000729	-0,001205
35	0,009748	0,005606	0,003153	0,001483	0,000510	-0,000039	-0,000248	-0,000429	-0,000721	-0,000985	-0,001529	-0,002004
40	0,007309	0,003440	0,001364	0,000080	-0,000512	-0,000965	-0,001143	-0,001299	-0,001560	-0,001803	-0,002326	-0,002805
45	0,004920	0,001354	-0,000187	-0,001021	-0,001510	-0,001888	-0,002040	-0,002176	-0,002409	-0,002634	-0,003145	-0,003635
50	0,002569	-0,000274	-0,001402	-0,002093	-0,002496	-0,002814	-0,002944	-0,003063	-0,003275	-0,003487	-0,003998	-0,004510
Házkarima homloklületének a karimatányérhez mért elmozdulása X irányban [mm]												
Előfeszítés biztonsági tényező z [-]												
Y [mm]	0,25	0,5	0,75	1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	2	2,5	3
0	0,028348	0,022616	0,017699	0,013486	0,010589	0,008143	0,007152	0,006307	0,005013	0,003918	0,002143	0,001135
5	0,025044	0,019508	0,014882	0,010972	0,008308	0,006077	0,005180	0,004419	0,003262	0,002297	0,000804	-0,000010
10	0,021920	0,016597	0,012290	0,008716	0,006310	0,004323	0,003534	0,002869	0,001873	0,001075	-0,000029	-0,000233
15	0,018936	0,013837	0,009869	0,006654	0,004527	0,002805	0,002137	0,001580	0,000781	0,000192	-0,000206	-0,000365
20	0,016120	0,011265	0,007668	0,004842	0,003201	0,001590	0,001065	0,000633	0,000057	-0,000115	-0,000307	-0,000441
25	0,013443	0,008855	0,005664	0,003260	0,001766	0,000661	0,000291	-0,000004	-0,000126	-0,000212	-0,000359	-0,000479
30	0,010893	0,006603	0,003856	0,001906	0,000769	0,000002	-0,000074	-0,000135	-0,000212	-0,000272	-0,000391	-0,000496
35	0,008451	0,004492	0,002243	0,000787	0,000016	-0,000144	-0,000187	-0,000223	-0,000273	-0,000317	-0,000413	-0,000503
40	0,006078	0,002523	0,000835	-0,000038	-0,000178	-0,000253	-0,000275	-0,000295	-0,000327	-0,000357	-0,000430	-0,000504
45	0,003756	0,000669	-0,000138	-0,000285	-0,000337	-0,000358	-0,000365	-0,000371	-0,000385	-0,000400	-0,000449	-0,000508
50	0,001476	-0,000300	-0,000457	-0,000481	-0,000470	-0,000455	-0,000449	-0,000445	-0,000444	-0,000447	-0,000477	-0,000523

11. táblázat A karimafelek elmozdulásai

A 22. ábrán is látható a korábban említett jelenség, a szerkezeti elemek csavarokhoz képesti nagy merevsége miatt $z = 0,25$ mértékű előfeszítés esetén még nincs felfekvés.



22. ábra. A házkarima homlokfelületének relatív elmozdulásai

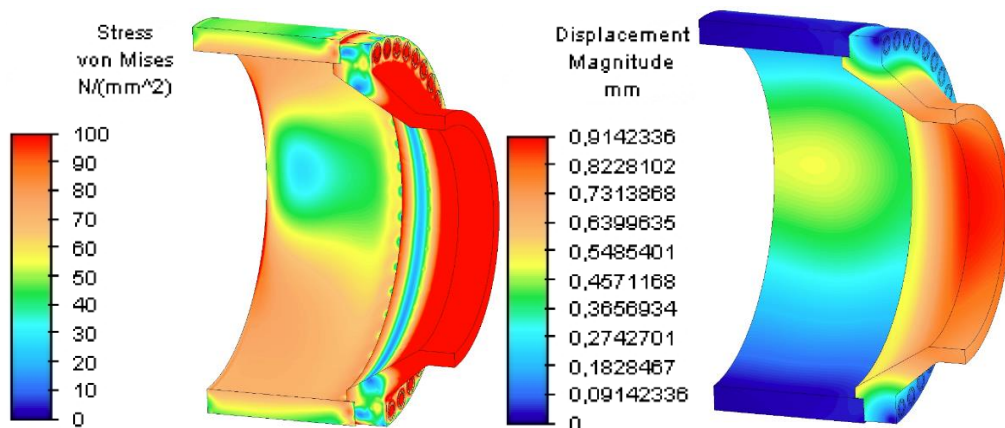
5.2. DN1000 GÖMBCSAP EREDMÉNYEI

Egy DN1000 PN100 gömbcsap megtervezése komoly mérnöki kihívás. Egy ilyen méretű gömbcsap esetében a ház átmérőjét alapvetően a csatlakozó csővezeték mérete határozza meg. A ház átmérője határozza meg a csavarkör átmérőjét, amely korlátozza a csavarok számát és méretét. A ház falvastagságának növelésével a csavarkör átmérő kismértékben növelhető, több és nagyobb méretű csavar alkalmazható. A ház falvastagságának növelésének elsődlegesen gazdasági (anyagtakarékossági) okok szabnak határt.

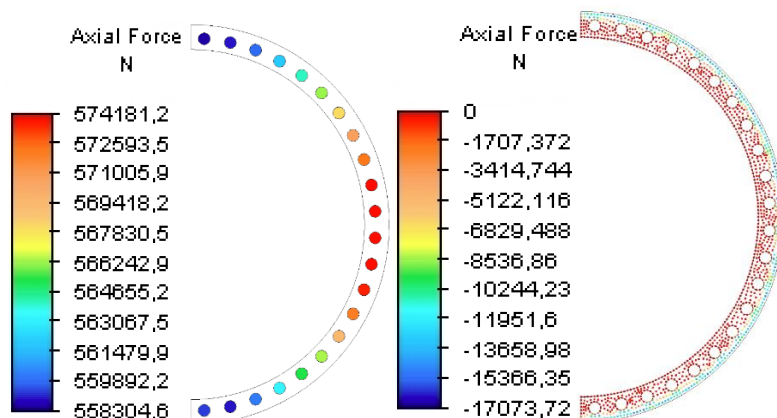
A DN1000 gömbcsap az általános szilárdsági ellenőrzésen még éppen megfelel, de ez, a méreteit tekintve nem meglepő. Ez a körülmény teszi kifejezetten ideálissá a jelen elemzés számára, hiszen nem arányosan felnagyított mása a DN400-as gömbcsapnak, mint ahogyan a DN100-as is jelentősen eltér a másik kettőtől.

Jel [Dimenzió]	Megnevezés	Adat
P [MPa]	armatúra tervezési nyomása	10
Csőkarima oldal		
B [mm]	karima belső átmérő	976
d _d [mm]	tömítő erő átmérője	976
E [mm]	karima külső átmérő	1100
H _D [N]	nyomásból származó erő, karima belső átmérő	7481514
p _{h,VEM} [MPa]	helyettesítő megoszló terhelés	37,00
Házkarima oldal		
G [mm]	tömítés közepes átmérő	1478
n [db]	csavarok száma	44
d _e [mm]	csavar egyenértékű átmérője	49,185
H [N]	házkarima csavarokat terhelő erő	17156897
H ₁ [N]	egy csavarra jutó lazító hatás	389929
σ _{H1} [N]	egy csavarra jutó lazító hatás	205,23

12. táblázat A végeleemes eredmények kiértékeléséhez szükséges kiinduló adatok



23. ábra. A ház és házkarima egyenértékű feszültségei módosított skálával és a globális elmozdulások $z = 1$ esetben

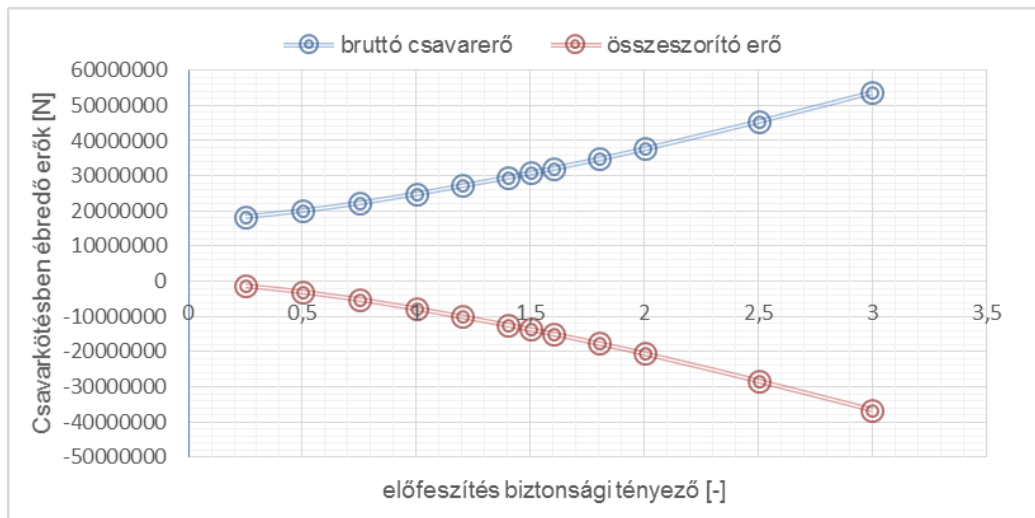


24. ábra. A karimacsavarokban és a kontaktfelületen fellépő axiális erő $z = 1$ esetben

5.2.1. A csavarkötésben fellépő erők

Előfeszítés			Számított erők		Erőegyensúly	
z [-]	σ_{WT} [MPa]	$W_{\Sigma T}$ [N]	$W_{\Sigma VEM}$ [N]	$F_{\Sigma kontakt}$ [N]	ΔF [N]	H [%]
0,25	51	4289224	18409407	-1252515	-5,49	0,00003
0,5	103	8578449	20131577	-2974685	-5,68	0,00003
0,75	154	12867673	22295666	-5138774	-5,62	0,00003
1	205	17156897	24930885	-7773994	-5,79	0,00002
1,2	246	20588277	27194500	-10037608	-5,59	0,00002
1,4	287	24019656	29579272	-12422381	-5,65	0,00002
1,5	308	25735346	30815733	-13658841	-5,50	0,00002
1,6	328	27451036	32101026	-14944134	-5,52	0,00002
1,8	369	30882415	34811028	-17654137	-5,84	0,00002
2	410	34313794	37678520	-20521628	-5,58	0,00001
2,5	513	42892243	45458007	-28301115	-5,73	0,00001
3	616	51470692	53704685	-36547793	-5,60	0,00001

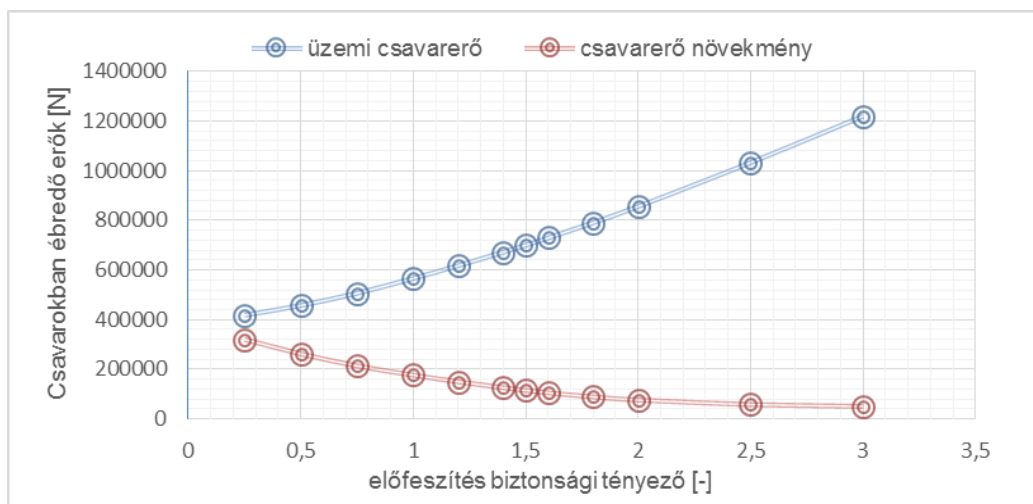
13. táblázat A ház-házkarima csavarkapcsolatban fellépő erők



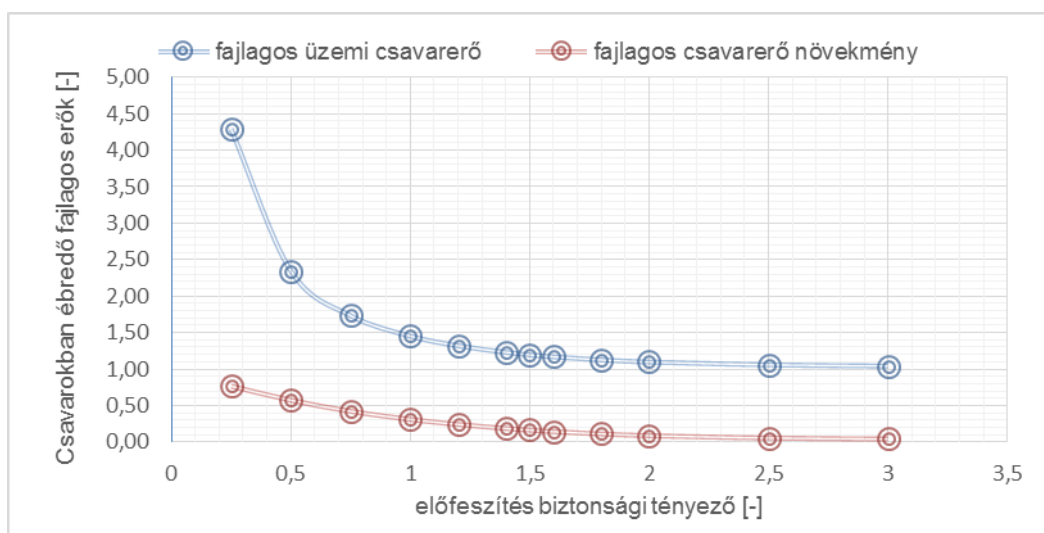
25. ábra. A ház-házkarima csavarkapcsolatban fellépő erők az előfeszítés biztonsági tényező függvényében

Előfeszítés		Üzemi csavarerő		Csavarerő növekmény	
z [-]	W_T [N]	W_{VEM} [N]	W_{VEMf} [-]	ΔW [N]	ΔW_f [-]
0,25	97482	418396	4,29	320913	0,77
0,5	194965	457536	2,35	262571	0,57
0,75	292447	506720	1,73	214273	0,42
1	389929	566611	1,45	176682	0,31
1,2	467915	618057	1,32	150141	0,24
1,4	545901	672256	1,23	126355	0,19
1,5	584894	700358	1,20	115463	0,16
1,6	623887	729569	1,17	105682	0,14
1,8	701873	791160	1,13	89287	0,11
2	779859	856330	1,10	76471	0,09
2,5	974824	1033137	1,06	58313	0,06
3	1169788	1220561	1,04	50773	0,04

14. táblázat A karimacsavarokban fellépő erők



26. ábra. A ház-házkarima csavarkapcsolatban fellépő erők az előfeszítés biztonsági tényező függvényében



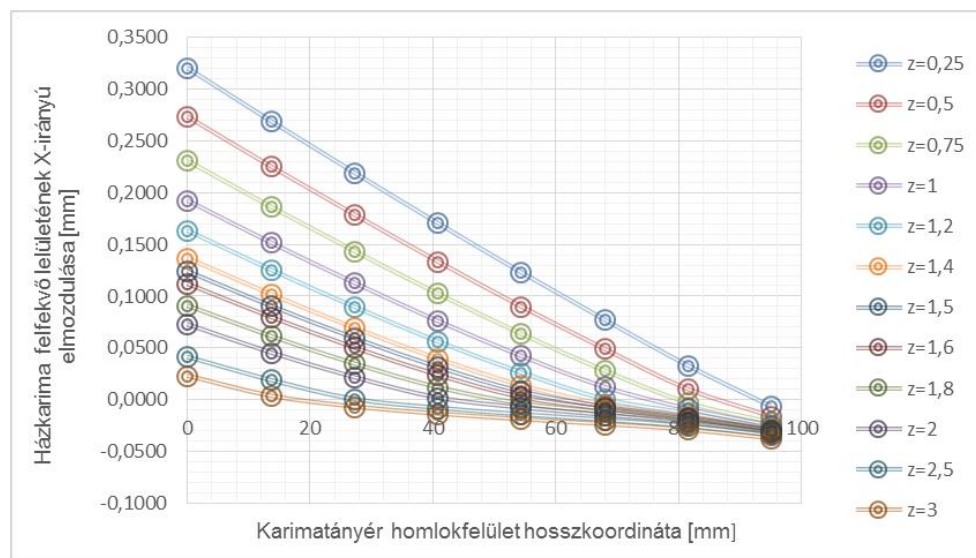
27. ábra. A ház-házkarima csavarkapcsolatban fellépő fajlagosított erők az előfeszítés biztonsági tényező függvényében

5.2.2. A karimafelek elemelkedése

A 28. ábrán látható elmozdulások kis mértékben eltérnek a korábban látottaktól. Nagyobb előfeszítések mellett a ház is deformálódik, kifelé fordul. Ez a magyarázat arra, hogy a nagyobb átmérők tartományában, a belső nyomás okozta jelentős axiális húzás ellenére, az érintkezési felület pontjai viszonylag nagy negatív értékeket vesznek fel.

Karimatányér homlokfelületének elmozdulása X irányban [mm]												
Előfeszítés biztonsági tényező z [-]												
Y [mm]	0,25	0,5	0,75	1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	2	2,5	3
0	0,02401	0,03006	0,03657	0,04332	0,04874	0,05364	0,05607	0,05837	0,06228	0,0656	0,07034	0,07093
14	0,03011	0,03487	0,03994	0,04522	0,0495	0,05326	0,05514	0,05693	0,05991	0,06244	0,06564	0,06558
27	0,03572	0,03919	0,04279	0,04656	0,04968	0,05227	0,05359	0,05484	0,05676	0,05835	0,0598	0,0567
41	0,04041	0,04253	0,04457	0,04673	0,0486	0,04981	0,05046	0,05108	0,05171	0,05219	0,04885	0,04566
54	0,04349	0,04407	0,04428	0,04447	0,04483	0,04432	0,04416	0,04399	0,042	0,03977	0,03521	0,03189
68	0,04519	0,04388	0,04197	0,03992	0,03856	0,03478	0,03294	0,03119	0,02799	0,02524	0,02001	0,01637
81	0,04614	0,04268	0,03749	0,03099	0,02629	0,02167	0,01952	0,01747	0,01386	0,01075	0,00496	0,00095
95	0,04569	0,03777	0,03021	0,0233	0,01824	0,01333	0,01102	0,00882	0,00498	0,00168	-0,0043	-0,0083
Házkarima homlokfelületének elmozdulása X irányban [mm]												
Előfeszítés biztonsági tényező z [-]												
Y [mm]	0,25	0,5	0,75	1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	2	2,5	3
0	0,3446	0,30378	0,26765	0,23604	0,21238	0,19069	0,18038	0,17059	0,15343	0,13868	0,11201	0,09446
14	0,29954	0,26057	0,22659	0,19723	0,1753	0,15545	0,14601	0,13707	0,12158	0,1083	0,08483	0,06965
27	0,2554	0,21841	0,18675	0,15981	0,13977	0,12194	0,11347	0,10548	0,09191	0,0804	0,06056	0,05025
41	0,21129	0,17646	0,14736	0,1231	0,10513	0,08965	0,0823	0,07539	0,06404	0,05447	0,04117	0,03245
54	0,16697	0,13453	0,10831	0,08711	0,07149	0,05858	0,05245	0,0467	0,03872	0,03247	0,02133	0,01335
68	0,12288	0,09336	0,07039	0,05249	0,03938	0,03053	0,02644	0,02259	0,0163	0,01089	0,00077	-0,0069
81	0,07946	0,05326	0,03476	0,02247	0,01353	0,00619	0,00273	-0,0006	-0,006	-0,0108	-0,0202	-0,0277
95	0,03967	0,02205	0,00874	-0,0013	-0,0086	-0,0148	-0,0178	-0,0205	-0,0253	-0,0296	-0,0382	-0,0453
Házkarima homlokfelületének a karimatányérhez mért elmozdulása X irányban [mm]												
Előfeszítés biztonsági tényező z [-]												
Y [mm]	0,25	0,5	0,75	1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	2	2,5	3
0	0,3206	0,2737	0,2311	0,1927	0,1636	0,1370	0,1243	0,1122	0,0912	0,0731	0,0417	0,0235
14	0,2694	0,2257	0,1867	0,1520	0,1258	0,1022	0,0909	0,0801	0,0617	0,0459	0,0192	0,0041
27	0,2197	0,1792	0,1440	0,1133	0,0901	0,0697	0,0599	0,0506	0,0352	0,0221	0,0008	-0,0065
41	0,1709	0,1339	0,1028	0,0764	0,0565	0,0398	0,0318	0,0243	0,0123	0,0023	-0,0077	-0,0132
54	0,1235	0,0905	0,0640	0,0426	0,0267	0,0143	0,0083	0,0027	-0,0033	-0,0073	-0,0139	-0,0185
68	0,0777	0,0495	0,0284	0,0126	0,0008	-0,0042	-0,0065	-0,0086	-0,0117	-0,0144	-0,0192	-0,0233
81	0,0333	0,0106	-0,0027	-0,0085	-0,0128	-0,0155	-0,0168	-0,0180	-0,0199	-0,0216	-0,0252	-0,0286
95	-0,0060	-0,0157	-0,0215	-0,0246	-0,0269	-0,0282	-0,0288	-0,0294	-0,0303	-0,0313	-0,0339	-0,0370

15. táblázat A karimafelek elmozdulásai



28. ábra. A házkarima homlokfelületének relatív elmozdulásai

6. EREDMÉNYEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA, KÖVETKEZTETÉSEK

Megállapítható, hogy a három vizsgált gömbcsap eredményei jellegre megegyeznek, ami a modellek geometriai hasonlóságának ismeretében nem meglepő. A fajlagos értékeket egymással összehasonlítva és a görbéket közös diagramon ábrázolva látható, hogy a pusztán hasonlóságnál többről van szó, és az eredményekből a nagynyomású gömbcsapok tervezésével és méretezésével kapcsolatban értékes megállapítások tehetők.

A 16. táblázat mindhárom modell fajlagos, csavarokra vonatkozó értékeit tartalmazza az alábbi jelölésekkel:

$$z = \frac{W_T}{W_{OP}} = 0,25 \dots 3 [-] \text{ előfeszítés biztonsági tényező}$$

$$W_T [N] \quad \text{egy csavarra eső előfeszítő erő}$$

$$W_{VEM} [N] \quad \text{egy csavarra eső üzemi csavarerő}$$

$$W_{VEMf} = \frac{W_{VEM}}{W_T} [-] \quad \text{egy csavarra eső előfeszítő erővel fajlagosított üzemi csavarerő}$$

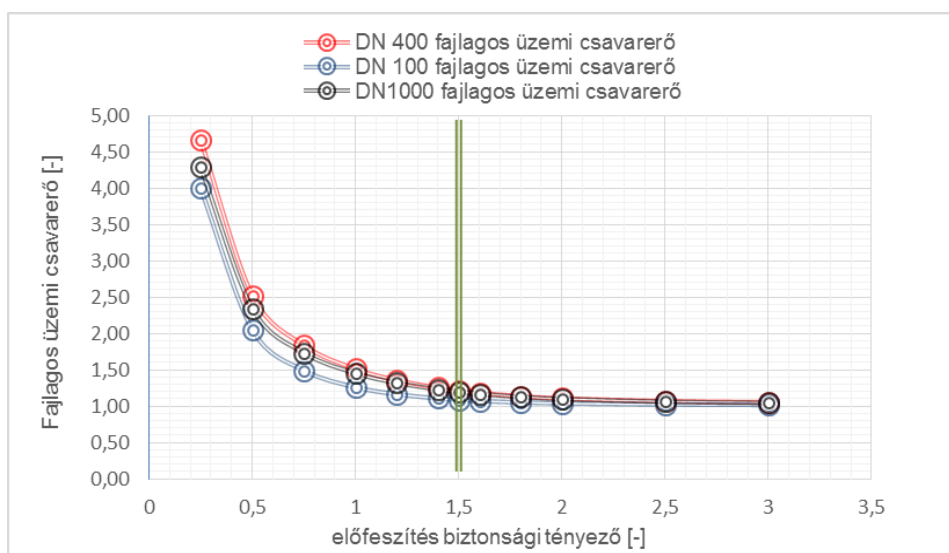
$$\Delta W = W_{VEM} - W_T [N] \quad \text{egy csavarra eső csavarerő növekmény}$$

$$\Delta W_f = \frac{\Delta W}{W_{VEM}} [-] \quad \text{egy csavarra eső üzemi csavarerővel fajlagosított csavarerő növekmény}$$

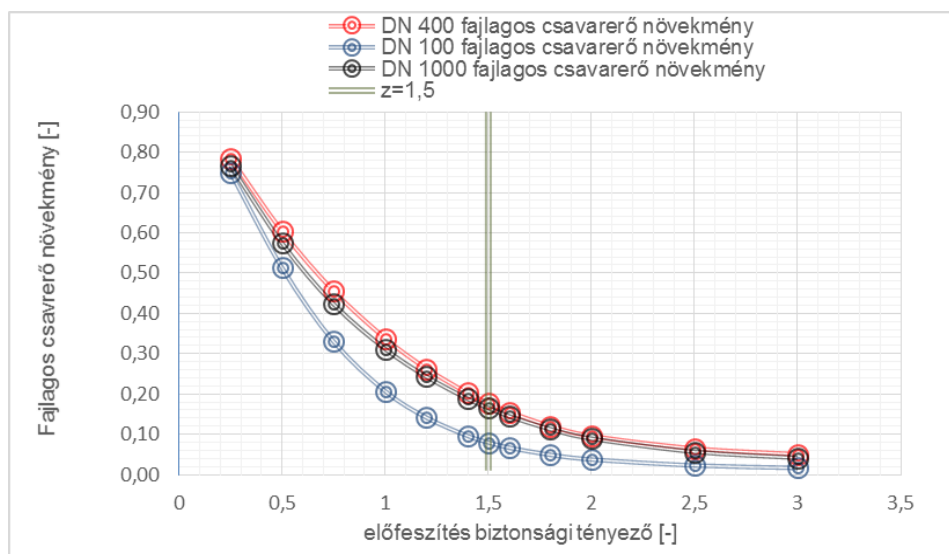
z [-]	DN 400		DN 100		DN 1000	
	$W_{VEMf} [-]$	$\Delta W_f [-]$	$W_{VEMf} [-]$	$\Delta W_f [-]$	$W_{VEMf} [-]$	$\Delta W_f [-]$
0,25	4,66	0,79	4,00	0,75	4,29	0,77
0,5	2,52	0,60	2,05	0,51	2,35	0,57
0,75	1,84	0,46	1,49	0,33	1,73	0,42
1	1,51	0,34	1,26	0,21	1,45	0,31
1,2	1,36	0,26	1,16	0,14	1,32	0,24
1,4	1,25	0,20	1,11	0,10	1,23	0,19
1,5	1,22	0,18	1,09	0,08	1,20	0,16
1,6	1,18	0,16	1,07	0,07	1,17	0,14
1,8	1,14	0,12	1,05	0,05	1,13	0,11
2	1,11	0,10	1,04	0,04	1,10	0,09
2,5	1,07	0,06	1,02	0,02	1,06	0,06
3	1,05	0,05	1,02	0,02	1,04	0,04

16. táblázat Fajlagos üzemi csavarerő és fajlagos üzemi csavarerő növekmény értékek összehasonlítása a gömbcsapok között
Ugyanezt szemléltetik a 29. és 30. ábrák, amelyek alapján elmondható, hogy a DN400-as és DN1000-es gömbcsapok eredményei közel azonos értéket adnak. Az ezektől kissé eltérő, de velük gyakorlatilag szintén egybeeső eredményeket adó DN100-as gömbcsap eredményeinek eltérése a jelentős szerkezeti merevségeknek tudható be. A merevebb szerkezeten kevésbé jelenik meg a karimátányér elfordulásának jelensége, és ezáltal kissé eltérő a lazító hatás okozta többlet igénybevétel is.

A tendencia alapján feltételezhető, hogy a DN100 – DN1000 mérettartományba eső bármely más gömbcsap vonatkozó görbéi szintén hasonló lefutást mutatnak. Amennyiben ez így van, akkor az eredményekből általános érvényű tervezési irányelvek vonhatók le. Az ábrákon jól látható módon a fajlagos üzemi csavarerő körülbelül $z = 1,5$ -ig mutat radikális ütemű csökkenést. Mint az az elmozdulás eredményekből is látható, az előfeszítő erő e határt meghaladó növelése már csak egyre csökkenő mértékben segíti a karimafelek elemelkedését. Tehát a DN100 – DN1000 mérettartományba eső nagynyomású gömbcsapokra általánosan levonható a következtetés, hogy a karimacsavarokat a belső nyomásból származó axiális erő másfélszeresére érdemes előfeszíteni. Amennyiben ilyen feltételek mellett a csavarok nem felelnek meg, a geometria módosításával nagyobb átmérőn több, és/vagy nagyobb átmérőjű csavart kell elhelyezni.



29. ábra. Fajlagos üzemi csavarerő eredmények összehasonlítása



30. ábra. Fajlagos üzemi csavarerő növekmény eredmények összehasonlítása

7. ELŐTERVEZÉSI MÓDSZER DN100-1000 GÖMBCSAPOK SZÁMÁRA

A DN100, DN400 és DN1000 PN100-as gömbcsapokon végzett szilárdsági számításokban a csavarerőkre és a karimafelek elemelkedésére vonatkozóan hasonlóságot sikerült kimutatni. A geometriai arányaikban hasonló szerkezetek azonos módon reagálnak az előfeszítő erő növelésére, amely jelentékenyen csökkent a külső terhelések okozta lazító hatást a kötés elemeiben, és kedvező hatással van a karima felek gátolni kívánt elemelkedésére.

A karimacsavarokban ébredő erőket és a karimafelek elemelkedését széles előfeszítési tartományban vizsgálva az tapasztalható, hogy az előfeszítő erő növelése egy bizonyos határt átlépve már egyre kevésbé hatásos: egyre kevésbé gátolja a karimafelek elválását, és az üzemi csavarerő növekmény csökkenése is egyre jelentéktelenebb. A házkarima csavarokat mindenféleképpen elő kell feszíteni, ezért érdemes meghatározni az előfeszítő erőnek azt az optimális értékét, amely az említett előnyöket a legkisebb kihasználtság mellett biztosítja. Annak köszönhetően, hogy a vizsgált jellemzők görbéi mind azonos, fokozatosan lassuló csökkenést mutattak, könnyen és egyértelműen meghatározható volt az optimális előfeszítő erő nagysága.

Az optimális előfeszítő erő nagysága DN 100 – DN 1000 mérettartományú nagynyomású gömbcsapok karimacsavarjainak esetében a belső nyomásból származó lazítóerő másfélszerese.

Szabványos jelölésekkel:

$$W_{T.OPT} = H_1 \cdot z_{OPT} \text{ [N]} \quad \text{egy csavarra eső előfeszítő erő} \quad (82)$$

$$z_{OPT} = 1,5 \text{ [-]} \quad \text{optimális előfeszítés biztonsági tényező} \quad (83)$$

$$H_1 = \frac{H}{n} \text{ [N]} \quad \text{egy csavarra eső lazító hatás}$$

$$H = \frac{G^2 \pi}{4} \cdot P \text{ [N]} \quad \text{házkarima csavarokat terhelő lazító hatás}$$

$$G \text{ [mm]} \quad \text{O-gyűrűs tömítés közepes átmérője a házkarima oldalon}$$

$$P \text{ [MPa]} \quad \text{armatúra tervezési nyomása}$$

Ez a megállapítás a gömbcsapok előtervezésekor, méretezésekor, de egész termékcsaládok tervezésekor is alapvető jelentőségű lehet, gyakorlati alkalmazhatósága a bemutatott példák alapján elvitathatatlan.

Az állítás alátámasztásaként összefoglaljuk a dolgozat eredményeiből egyenesen következő előtervezési lépéseket.

Egy adott névleges átmérőjű és nyomású tervezendő gömbcsap esetén elegendő a csővezeték karima tömítésének ismerete, amely az adott armatúra esetében a szabványos méretekből adódik. Ezzel adott a belső nyomásból származó lazító erő.

Az előfeszítő erőt a $z=1,5$ előfeszítés biztonsági tényező alapján számoljuk ki. Az üzemi csavarerő és előfeszítő erő arányát ($W_{fz=1,5} = 1,2$) a 16. táblázat alapján határozzuk meg. Ez egy $z=1,5$ előfeszítés biztonsági tényező mellett a DN400-as és DN1000-as gömbcsapok vonatkozó eredményei (1,22 és 1,2) alapján $W_{fz=1,5} = 1,2$. Mindezekből adódik az üzemi csavarerő és a szükséges összes csavarkeresztmetszet, amelynek alapján fel lehet venni a karimacsavarok számát és méretét. A csavarok száma és mérete (csavarkör átmérő és falvastagság) meghatározza a gömbcsap házának szükséges méreteit, amelynek ismeretében a tervezés már a szokásos, szabványos módszerekkel folytatható.

A közölt gondolatmenet részleteit a 17. táblázat összegzi egy DN600 PN100 gömbcsap esetére.

Jel [Dimenzió]	Megnevezés	Adat
Előtervezés során felvett adatok		
DN [mm]	névleges átmérő	600
PN [bar]	névleges nyomás	100
P [Mpa]	belső nyomás	10
G [mm]	tömítés közepes átmérő	910
	karimacsavarok anyaga	SA-320 L7
$R_{m/20}$ [MPa]	szakítószilárdság 20°C hőmérsékleten	861,8
$R_{p0,2/t}$ [MPa]	0.2%-os egyezményes folyáshatár t hőmérsékleten	648,8
d_e [mm]	M42 csavarok egyenértékű átmérője	37,78
n [db]	csavarok darabszáma	36
Tanulmány eredményei alapján		
$W_{fz=1,5} = \frac{W_{z=1,5}}{W_{Tz=1,5}} [-]$	csavarerő és előfeszítő erő aránya	1,2
$z_{OPT} [-]$	optimális előfeszítés biztonsági tényező	1,5
$f_B = 2 \cdot \min\left(\frac{S_{Y/T}}{4}; \frac{S_T}{5}\right)$	megengedett feszültség ASME SEC III DIV 1 NB-3230 szerint	324,40
Számítások		
$H = \frac{G^2 \pi}{4} \cdot P$ [N]	nyomásból származó erő	6503882,19
$H_1 = \frac{H}{n}$ [N]	egy csavarra jutó nyomásból származó erő	180663,39
$W_{T.OPT} = H_1 \cdot z_{OPT}$ [N]	optimális csavar előfeszítőerő	270995,09
$W = W_{T.OPT} \cdot W_{fz=1,5}$ [N]	becsült csavarerő	325194,11
σ_W [MPa]	húzófeszültség a csavarszárban	290,09
k [%]	karimacsavarok kihasználtsága	89,42

17. táblázat Új módszer gömbcsapok ház-házkarima csavarkapcsolatának előtervezésére

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A napjainkban a gömbcsapok ház-házkarima kapcsolatának szabványos méretezésére és ellenőrzésére használt szabványos eljárás ([2] EN 13445-3, Unfired Pressure Vessels, Part 3 11.10 Full face flanges with metal to metal contact) alkalmatlan a kötés értékelésére. Az EN 13445 által a csavarokra előírt megengedett feszültségértékek a kötés megfelelő előfeszítése mellett nem betarthatók. Az említett két probléma a mai napig megoldatlan, komolyan megnehezíti a szakterületen dolgozó mérnökök munkáját.

1. A dolgozat a karimás kapcsolat viselkedésének végeselemes modellezéséből általánosítva javaslatot tesz egy megbízhatóbb, modernebb méretezési eljárás megfogalmazására, amelynek alapvető állításai a következők: A vizsgált kialakítású gömbcsapok esetében a ház-házkarima csavarok előfeszítésének optimuma van, és ez a gömbcsap méreteitől független.
2. Az előfeszítés mértékét a csavar teherbírása szabja meg.
3. A fajlagos üzemi csavarerő alapján adott előfeszítés biztonsági tényező mellett meghatározható az előfeszítő erő és az üzemi csavarerő aránya.
4. A kötés optimális előfeszítettsége akkor biztosítható, amennyiben az ASME SEC III DIV 1 $\frac{S_y/T}{2}$, vagy az EN12516-2 szerinti $\frac{R_{p0,2/t}}{1,8}$ értékeket tekintjük mértékadónak.

A bemutatott eljárás további vizsgálatok után alkalmassá válhat a vonatkozó szabványos méretezési eljárások kiegészítésére, és alapul szolgálhat az EN, DIN, ISO és ASME gömbcsapokra vonatkozó előírásainak pontosítására.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] EN12516-2, Industrial valves, Shell design strength, Part 2: Calculation method for steel valve shells [szabvány]
- [2] EN13445-3, Unfired Pressure Vessels, Part 3 – Design [szabvány]
- [3] EN1591-1 Flanges and their joints — Design rules for gasketed circular flange connections Part 1: Calculation method
- [4] EN13480-3 Metallic industrial piping, Designs and Calculation
- [5] ASME SEC III DIV 1, ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III Division 1, Rules for Construction of Nuclear Facility Components
- [6] Wittel, Muhs, Jannasch, Voßiek. 2011. Roloff/Matek Maschinenelemente: Normung, Berechnung, Gestaltung [szakkönyv]
- [7] Szántay, Budapest 1966. Vegyipari készülékek szerkesztése [szakkönyv]
- [8] Bodor, Szabó, Budapest 1982. Nyomástartó berendezések szilárdsági méretezése [szakkönyv]
- [9] ASME-PVP 2002, Bolted Flange Connections, Kirkemo: Design of compact flange joints. <http://mycommittees.api.org/standards/ecs/sc17/Items%20to%20Review/deesigncfj.pdf> [letöltve: 2014.09.24.]
- [10] Moss, Basic. 2013. Pressure Vessel Design Manual Fourth Edition
- [11] Schettki-Schäferdieck. 2010. Flanschverbindungen – Berechnung nach nationalem Regelwerk AD oder nach harmonisierter Europäischer Norm EN 1591? <https://www.netinform.de/GW/files/pdf/Flanschverbindungen.pdf> [letöltve: 2014.09.24.]
- [12] Taylor Forge & Pipe Works. 1964. Modern Flange Design – Bulletin 502 – Edition VII. <http://www.steeltank.com/Portals/0/docs/Modern%20Flange%20Design%20-%20Taylor%20Forge%20Engineered%20Products.pdf> [letöltve: 2014.09.24.]
- [13] Kollár: Gépészeti szerkezetek tervezése – Gyakorlati útmutató [oktatási segédanyag]
- [14] Schettki-Schäferdieck. 2011. Flanschverbindungen – nichts geht über Schraubenkräfte. https://www.netinform.de/GW/files/pdf/BSS_IBM_DGT.pdf [letöltve: 2014.09.28]
- [15] <http://www.kojocn.com/uploads/images/ball-valve/forged-trunnion-ball-valve-1500.jpg> [weboldal, megtekintve: 2014.09.23.]
- [16] <http://www.autodesk.com/products/simulation-mechanical/overview> [weboldal, megtekintve: 2014.09.23.]
- [17] Kollár: NPS 16” Class 600 RTJ LGF gömbcsap prototípus fejlesztése. Statikus és földrengés-állósági vizsgálat [műszaki méretezés, megtekinthető a GKSoft Mérnöki Szolgáltató Bt. archívumában]