



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

DIPLOMAMUNKA

Pontmegfogásos üveghomlokzat hőtechnikai modellezése
és termovíziós vizsgálata

Laczkó Arnold – L05P3A

2022

Konzulensek: Dr. Nagy Balázs

Dr. Stocker György

DIPLOMAMUNKA FELADAT

Név:	Laczkó Arnold	Neptun kód:	L05P3A
Képzés:	Szerkezet-építőmérnök mesterszak (MSc)	Szemeszter:	2022/23/1
Specializáció:	Magasépítő és rekonstrukció specializáció	Nyilvánt.sz.:	MSc-SP-M-001-22/23/1
Cím:	Pontmegfogásos üveghomlokzat hőtechnikai modellezése és termovíziós vizsgálata		

A feladat leírása:

1) A diplomamunka célkitűzése

A diplomamunka célja a pontmegfogásos üveghomlokzati rendszerek bemutatása, különféle az iparban elterjedt és alkalmazott pontmegfogásos rögzítési rendszer hőtechnikai modellezése és elemzése, valamint egy megépült szerkezet termovíziós vizsgálatának eredményével való összehasonlítása és validációja.

2) Kidolgozandó feladatrészek:

- Készítsen szakirodalmi összefoglalót a pontmegfogásos üveghomlokzati rendszerekről hazai és nemzetközi kitekintéssel, mutassa be a választott témára a vonatkozó szabványokat, valamint hazai és nemzetközi szakirodalmat és fogalmazza meg a kutatás főbb megválaszolandó kérdéseit.
- Dolgozzon ki parametrikus modelleket a pontmegfogásos üveghomlokzatok rögzítési rendszereinek vizsgálata céljából. Vizsgálja végeselemes numerikus modellezés alkalmazásával a kidolgozott parametrikus modelleket, írja le a modellezés folyamatát és paramétereit, határozza meg a pontbéli hőátbocsátási tényezőket melyből készítsen a szakma számára hasznosítható hőhíd-katalógust.
- Készítsen termovíziós vizsgálatot egy konzulenssel egyeztetett épület pontmegfogásos üveghomlokzatán, hasonlítsa össze a hőképeket a numerikus modellezés eredményeivel, validálja és szükség esetén kalibrálja a mérési eredmények felhasználásával a numerikus modellezést.
- Határozza meg és vizsgálja az eltérő paraméterek vonatkozásában az egyes kialakítások költség-teljesítőképességét.
- Készítse el a konzulens által kijelölt, releváns épületszerkezeti részek kiviteli terv szintű részletrajzainak M 1:10 léptékű tervdokumentációját.
- Hasonlítsa össze és értékelje ki a kapott numerikus modellek eredményeit, fogalmazzon meg az eredményekből levonható következtetéseket.
- Készítsen egy-egy oldalas összefoglalást magyar és angol nyelven (30-40 sor, Times New Roman 12 pont, diplomázó neve, diplomamunka címe és kódja, a konzulensek feltüntetése).

3) Adatszolgáltatás, hozzáférhető információk

Az adatok és információk gyűjtése, az adatok feldolgozása a diplomamunkát készítő hallgató feladata.
A feladat megoldásához szükséges adatok és információk a következő helyekről szerezhetők be: konzulensek, szakirodalmi adatgyűjtés.
A munka során diplomatervezési naplót kell vezetni, amelyet beadáskor csatolni kell. A tervezés további alapadatai és az egyes feladatrészek szükséges kidolgozottsága vonatkozásában a diplomatervezési napló bejegyzései a mértékadók.
Az Építőanyagok és Magasépítés Tanszék által meghirdetett diploma elővédésen a megjelenés kötelező!

Témavezető:

Dr. Nagy Balázs	EOEM	70%
-----------------	------	-----

Társ-témavezető(k), konzulens(ek):

Dr. habil. Stocker György	EOHS	30%
---------------------------	------	-----

A feladat kiadásának időpontja:

2022.09.05

A feladat beadásának határideje:

2022.12.09

Dr. Balázs L. György
a specializáció részéről

Dr. Rózsa Szabolcs
Dékán

NYILATKOZAT

Alulírott **Laczkó Arnold** hallgató (Neptunkód: **L05P3A**) jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a **Pontmegfogásos üveghomlokzat hőtechnikai modellezése és termovíziós vizsgálata** című diplomamunka (a továbbiakban: dolgozat) önálló munkám, a dolgozat készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. tv. szabályait, valamint az egyetem által előírt, a dolgozat készítésére vonatkozó szabályokat, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében.

Kijelentem továbbá, hogy a dolgozat készítése során az önálló munka kitétel tekintetében a konzulens, illetve a feladatot kiadó oktatót nem tévesztettem meg.

Kijelentem, hogy a dolgozatot korábban más felsőoktatási intézményben, illetve más szakon még nem nyújtottam be diplomamunkaként vagy szakdolgozatként.

Kijelentem, hogy az elektronikusan feltöltött és a papír alapú dokumentum mindenben megegyezik.

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy a dolgozatot nem magam készítettem vagy a dolgozattal kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi egyetem megtagadja a dolgozat befogadását és ellenem fegyelmi eljárást indíthat.

A dolgozat befogadásának megtagadása és a fegyelmi eljárás indítása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Budapest; 2022.12.15.


.....
hallgató aláírása

KONZULTÁCIÓS LAP

Laczkó Arnold – L05P3A

Pontmegfogásos üveghomlokzat hőtechnikai modellezése és termovíziós vizsgálata

Sorszám	A konzultáció időpontja	Aláírás
1.	2022.09.05. Dr. Nagy Balázs	Nagy Balázs
2.	2022.09.20. Dr. Nagy Balázs	Nagy Balázs
3.	2022.09.26. Dr. Nagy Balázs	Nagy Balázs
4.	2022.10.04. Dr. Nagy Balázs	Nagy Balázs
5.	2022.10.10. Dr. Stocker György	Stocker György
6.	2022.10.17. Dr. Nagy Balázs	Nagy Balázs
7.	2022.10.24. Dr. Nagy Balázs	Nagy Balázs
8.	2022.11.08. Dr. Nagy Balázs	Nagy Balázs
9.	2022.11.14. Dr. Nagy Balázs	Nagy Balázs
10.	2022.11.25. Dr. Stocker György	Stocker György
11.	2022.11.29. Dr. Nagy Balázs	Nagy Balázs
12.	2022.12.09. Dr. Stocker György	Stocker György
13.	2022.12.13. Dr. Stocker György	Stocker György
14.	2022.12.13. Dr. Nagy Balázs	Nagy Balázs

A diplomamunka beadható:

Budapest, 2022.12.13.

Nagy Balázs

Tartalomjegyzék

Ábrajegyzék.....	6
Táblázatjegyzék.....	8
Absztrakt	10
Summary	12
1 Bevezetés	14
1.1 Elméleti áttekintés	16
1.1.1 Szakirodalom kutatás.....	16
1.1.2 Alkalmazott szabványok.....	19
2 Vizsgált rendszerek és anyagok.....	20
2.1 Pontokon rögzített függönyfal rendszerek	20
2.1.1 Üvegtábla megfogása.....	20
2.1.2 Háttérszerkezet [19].....	21
2.2 Hőszigetelő üvegezés [19].....	21
2.3 Hézagképzés [19]	23
3 Hőtechnikai modellezés és vizsgálat.....	24
3.1 Parametrikus geometria modell	24
3.2 Hőtechnikai modell	25
3.2.1 Hálófüggetlenségi vizsgálat.....	26
3.2.2 További hálóvizsgálatok	28
3.2.3 Anyagbeállítások	30
3.2.4 Peremfeltételek.....	36
3.2.5 Végeselemes számítási módszer.....	37
3.2.6 Eredmény lekérdezések	37
4 Eredmények kiértékelése.....	37
4.1 Vonalmenti hőátbocsátási tényező.....	38
4.2 Pontbeli hőátbocsátási tényező.....	38
4.3 Belső felületi hőmérséklet tényező.....	39
5 Eredmények bemutatása	39
5.1.1 Átfogó tányéros rögzítés	45
5.1.2 Süllyesztett fejű rögzítés	49
5.1.3 Rejtett rögzítés.....	53
5.2 Összegző megállapítások és az adatok felhasználása	58

5.3	Összehasonlítás a mechanikus rögzítőelemek korrekciós tényezőjének számításával	59
6	Gazdasági szempont.....	62
7	Termovíziós vizsgálat	67
7.1	Az épület bemutatása	67
7.2	Alapfogalmak	67
7.3	Vizsgálat	68
7.4	Vizsgálat kiértékelése.....	70
7.5	Numerikus modell	74
7.6	Hőmérsékletek összehasonlítása	77
8	További javaslatok a kutatási témában.....	78
9	Összefoglalás.....	79
	Köszönetnyilvánítás	80
	Irodalomjegyzék.....	80

Ábrajegyzék

1. ábra: Del Amo Fashion Center homlokzata [2]	14
2. ábra: Etele pláza üveghomlokzata kivitelezés közben [3]	14
3. ábra: Az iowai bírósági épület az Egyesült Államokban [4]	15
4. ábra: Pontbeli hőátbocsátás vizsgálata [5]	15
5. ábra: A kutatás során vizsgált pontok az üvegfelületen	16
6. ábra: Hőmérés-klet alakulása a vizsgált pontokban és a gáztöltésben	16
7. ábra: Numerikus modell és a valós mért eredmények összehasonlítása tűzteherre	17
8. ábra: Pontmegfogó szerelvény mechanikai vizsgálata.....	17
9. ábra: A kutatás során változó paraméterek jelölése	18
10. ábra: Hőáram a különböző profilméretet vonatkozásában	18
11. ábra: Nyílászáró üvegezés vizsgálatának eredményei.....	18
12. ábra: Az üvegtáblák megfogása [18].....	20
13. ábra: Tányéros rögzítés [20]	20
14. ábra: Színelő rögzítés [20]	20
15. ábra: Rejtett rögzítés [20].....	20
16. ábra: Geometriai modell és modellfa a pontmegfogóról Inventorban	25
17. ábra: Geometriai modell Comsol-ban	25
18. ábra: Geometriai modell közelítve, Comsol-ban.....	25
19. ábra: Megoldott szfokok száma - futtatási idő ábrázolása	27
20. ábra: Hiba mértékének ábrázolása az alapesetekben.....	27
21. ábra: Hálósűrűség a pontmegfogásnál és a hézagképzésnél	28
22. ábra: Rozsdamentes acél pók hatása	28
23. ábra: Egyszerűsített modell hálózása	29
24. ábra: Egyszerűsített modell eredménye.....	29

25. ábra: Anyagok szemléltetése színekkel.....	30
26. ábra: Átfogó tányéros rögzítés komponens listája anyagok szerint	31
27. ábra: Peremzárás MSZ EN 12631 szabvány szerint [23].....	32
28. ábra: Guardian Glass Analytics jelentés eredménye [25]	33
29. ábra: Auricon Energetic üvegjellemzők meghatározása [26].....	33
30. ábra: Hőmérséklet eloszlás alumínium távtartóval, Argon + SNX esetben (bal)	40
31. ábra: Hőmérséklet eloszlás rm. acél távtartóval, Argon + SNX esetben (közép)	40
32. ábra: Hőmérséklet eloszlás műanyag távtartóval, Argon + SNX esetben (jobb).....	40
33. ábra: Hőmérséklet eloszlás alumínium távtartóval, csak Argonnal (bal)	40
34. ábra: Hőmérséklet eloszlás rm. acél távtartóval, csak Argonnal (közép)	40
35. ábra: Hőmérséklet eloszlás műanyag távtartóval, csak Argonnal (jobb).....	40
36. ábra: Vonalmenti hőátbocsátási tényező változása az üvegösszetételek szerint kétoldalon szilikonos hézagképzéssel.....	41
37. ábra: Vonalmenti hőátbocsátási tényező gumiprofilos hézagban	42
38. ábra: Hőmérséklet eloszlás alumínium távtartóval, Argon + SNX esetben (elől- és hátnézet).....	45
39. ábra: Hőmérséklet eloszlás műanyag távtartóval, Argon + SNX esetben (elől- és hátnézet)	45
40. ábra: Hőmérséklet eloszlás metszeten, Argon + SNX esetben alumínium (bal) és műanyag (jobb) távtartóval.....	45
41. ábra: Pontbeli hőátbocsátási tényező tányéros rögzítésnél	47
42. ábra: Hőmérséklet eloszlás alumínium távtartóval, Argon + SNX esetben (elől- és hátnézet).....	49
43. ábra: Hőmérséklet eloszlás műanyag távtartóval, Argon + SNX esetben (elől- és hátnézet)	49
44. ábra: Hőmérséklet eloszlás metszeten, Argon + SNX esetben alumínium (bal és műanyag (jobb) távtartóval.....	50
45. ábra: Pontbeli hőátbocsátási tényező süllyesztett fejű rögzítésnél.....	51
46. ábra: Hőmérséklet eloszlás műanyag távtartóval, Argon + SNX esetben (elől- és hátnézet)	53
47. ábra: Hőmérséklet eloszlás alumínium távtartóval, Argon + SNX esetben (elől- és hátnézet).....	54
48. ábra: Hőmérséklet eloszlás metszeten, Argon + SNX esetben alumínium (bal) és műanyag (jobb) távtartóval.....	54
49. ábra: Numerikus és a számolt eredmények összehasonlítása.....	61
50. ábra: Teljesítőképesség vizsgálata SNX bevonat, alu távtartó és eltérő töltőgáz esetén.....	63
51. ábra: Teljesítőképesség vizsgálata SNX bevonat, rm acél távtartó és eltérő töltőgáz esetén	63
52. ábra: Teljesítőképesség vizsgálata SNX bevonat, műanyag távtartó és eltérő töltőgáz esetén	63
53. ábra: Teljesítőképesség vizsgálata low-e bevonat, alu távtartó és eltérő töltőgáz esetén	64
54. ábra: Teljesítőképesség vizsgálata low-e bevonat, rm acél távtartó és eltérő töltőgáz esetén	64
55. ábra: Teljesítőképesség vizsgálata low-e bevonat, műanyag távtartó és eltérő töltőgáz esetén	64
56. ábra: Távtartó anyagának a hatása	65
57. ábra: Bevonatok ár hatása melegperemes távtartóval	65

58. ábra: Távtartó szélességének hatása low-e bevonatos üvegek esetén	66
59. ábra: Üvegösszetétel és a távtartó szélességének hatása	66
60. ábra: Castrumház, feszített hátszerkezetű üvegfal, Budapest [31]	67
61. ábra: A tükröződő szög a felület minőségének vonatkozásában	68
62. ábra: Test korrigálatlan hőképe a reflexió miatt	69
63. ábra: „Hibás” üvegtábla korrigálatlan hőképe a homlokzaton	69
64. ábra: Képek átfedése TwinPix-szel	70
65. ábra: Négy ágú pók kiértékelt eredménye	71
66. ábra: Hőmérséklet profil IIRSoft szofverben	72
67. ábra: Hőmérséklet gyakoriságok	72
68. ábra: Két ágú pók szerelvény eredményének kiértékelése	73
69. ábra: Két ágú pók szerelvény eredményének kiértékelése szélső mezőben	73
70. ábra: Teljes üveghomlokzat 3D modellje	74
71. ábra: Üveghomlokzat részlet eredménye Comsolban	75
72. ábra: Négy ágú pók szerelvény numerikus eredménye	75
73. ábra: Két ágú pók szerelvény numerikus eredménye mezőközépen	75
74. ábra: Két ágú pók szerelvény numerikus eredménye az üveghomlokzat szélén	76
75. ábra: Hőmérséklet lekérdezések IIRSoft-ban zónák megadásával	76

Táblázatjegyzék

1. táblázat: Hálófüggetlenségi vizsgálat eredménye	26
2. táblázat: Eredmények táblázatos formában	28
3. táblázat: Egyszerűsített modell táblázatos eredménye	30
4. táblázat: Anyagjellemzők és színek kódok [16][17][18]	31
5. táblázat: Üvegtípusokhoz tartozó hőátbocsátási tényező	33
6. táblázat: Számolt egyenértékű hővezetési tényezők a légrétegre	35
7. táblázat: Belső légüregek számítása	36
8. táblázat: Vonalmenti hőátbocsátási tényező táblázatos eredménye	41
9. táblázat: Min. belső felületi hőmérséklet	43
10. táblázat: Min. belső felületi hőmérséklet a hézagképzésnél	44
11. táblázat: Pontbeli hőátbocsátási tényező tányéros rögzítésnél	46
12. táblázat: Min. belső felületi hőmérséklet tányéros rögzítés esetén	47
13. táblázat: Min. belső felületi hőmérséklet a hézagképzésnél, tányéros rögzítés esetén	48
14. táblázat: Pontbeli hőátbocsátási tényező szüllyesztett fejű rögzítésnél	50
15. táblázat: Min. belső felületi hőmérséklet szüllyesztett fejű rögzítés esetén	52
16. táblázat: Min. belső felületi hőmérséklet a hézagképzésnél, szüllyesztett fejű rögzítés esetén	52
17. táblázat: Pontbeli hőátbocsátási tényező rejtett rögzítésnél	55
18. táblázat: Pontbeli hőátbocsátási tényező rejtett rögzítésnél	56
19. táblázat: Min. belső felületi hőmérséklet, rejtett rögzítés esetén	56
20. táblázat: Min. belső felületi hőmérséklet a hézagképzésnél, rejtett rögzítés esetén	57
21. táblázat: Első módszer átfogó és színelő rögzítés típusnál	60
22. táblázat: Második módszer átfogó és színelő rögzítés típusnál	60
23. táblázat: Második módszer rejtett rögzítés típusnál	61

24. táblázat: Korrekciós táblázat.....	71
25. táblázat: Korrekciós táblázat.....	73
26. táblázat: Hőmérsékletek összehasonlítása.....	77

Mellékletek

Rajzi mellékletek

AN-001 - Castrum ház üveghomlokzata	nézeti rajz	M=1:50	A3
AN-002 - Pontmegfogó szerelvények	nézeti rajz	M=1:5	A3
DE-001 - Üvegbefogás	részletterv	M=1:5,1:1	A3
DE-002 - Pók szerelvény	részletterv	M=1:5	A3
DE-003 - Üvegmegmunkálás	részletterv	M=1:10	A3

Diplomatervezési napló

Absztrakt

Szerző: Laczkó Arnold

Cím: Pontmegfogásos üveghomlokzat hőtechnikai modellezése és termovíziós vizsgálata

Konzulensek: Dr. Nagy Balázs, Dr. Stocker György

Jelenleg az új és modern épületek homlokzatképzése esetén egyre népszerűbbek a függőnyfalak és az üveghomlokzatok alkalmazása. A pontmegfogásos rögzítés függőnyfalak esetén esztétikailag kedvező megoldás, mivel egy transzparens, egybefüggő, már-már súlytalannak tűnő felületet kapunk a masszív szerkezetek között. Ez esetben az többrétegű hőszigetelő üvegezések csupán pontokban vannak rögzítve a háttérszerkezethez. A függőnyfalaknak bár nincs teherhordó szerepük, de a homlokzati falszerkezetek többi funkciójával rendelkeznek, tehát teljesíteniük kell nemcsak az épületszerkezeti, de az egyre szigorúbb energetikai követelményeket is.

A diplomamunkám a hazai és nemzetközi szakirodalom tanulmányozásával kezdtem. Megállapítottam, hogy a pontmegfogásos rögzítés tervezéséről igen kevés információ van, majd a vonatkozó szabványok áttekintésével folytattam. A hatályos MSZ EN ISO 12631 szabvány leírja a függőnyfalak hőtechnikai viselkedését és a hőátbocsátási tényező számítását ugyan, de ebben csak a vonalmenti megtámasztású függőnyfalakra helyezi a fókuszot és szerepeltet példákat. A strukturális kitöltés alkalmazható az üvegek közötti hézagképzéshez, viszont a pontbeli rögzítésekre és azok hőveszteségének meghatározására jelenleg nincs szabványos megoldás. Ezért kutatásomban háromdimenziós hőtechnikai numerikus modellezéssel vizsgáltam a pontbeli rögzítéseket hőtechnikai viselkedését.

A szilárdtesteket paraméteresen adtam meg a háromdimenziós geometriai modellekben, majd a hőtechnikai vizsgálatot és a pontbeli valamint átlagos hőátbocsátási tényező meghatározását hálófüggetlenségi vizsgálatot követően végeselemes szoftver alkalmazásával végeztem el. Az eltérő rögzítés típusok mellett a modell geometriai és anyagi paramétereit is változtattam (pl.: hézagképzés, távtartó anyaga stb.), hogy minél több opciót tudjak megvizsgálni. Összehasonlítottam továbbá a numerikus modellezés eredményeit, az MSZ EN ISO 6946 szabvány F melléklete szerint a mechanikus rögzítőelemek korrekciós tényezőjének közelítő számításával, hogy ez az eljárás mekkora eltérést ad a numerikus modellek eredményéhez képest.

Az eltérő paraméterek vonatkozásában megvizsgáltam a kialakítások költség-teljesítőképességét. Az árajánlathoz külsős, konzulens által ajánlott céget kerestem fel. Továbbá egy kiválasztott épület pontmegfogásos üveghomlokzatán végzett termovíziós vizsgálat eredményét összehasonlítottam az üveghomlokzat numerikus modelljével. Az épület üveghomlokzatának modelljéből készítettem kiviteli terv szintű tervrajzokat.

A diplomamunkám célja, hogy átfogó képet kapjunk a pontmegfogásos függönyfalaknál fellépő pontbeli hőhidakról, illetve, hogy egy adott paraméter változtatásával milyen eltérés tapasztalható. A kutatás eredménye és a meghatározott kialakításokra vonatkozó pontbeli hőátbocsátási tényezők a későbbiekben tervezést támogató javaslatként, illetve hőhídkatalógusként is alkalmazhatók.

Summary

Author: Arnold Laczkó

Title: Thermal modelling and thermovision testing of point-contact glass façade

Consultants: Dr. Balázs Nagy, Dr. György Stocker

Curtain walls and glass façades are becoming increasingly popular for new and modern buildings. Point fixing is an aesthetically pleasing solution for curtain walls, providing a transparent, continuous, almost weightless surface between solid structures. In this case, the multilayered insulating glazing is fixed to the supporting structure only in points. Although curtain walls do not have a load-bearing function, they have the other functions of façade wall structures and must therefore meet not only structural requirements but also increasingly stringent building energy performance requirements, respectively.

I started my thesis by studying the national and international literature. I found that there is very little information on the design of point fixings and then continued with a review of relevant standards. The current MSZ EN ISO 12631 standard describes the thermal behaviour of curtain walls and the calculation of the thermal transmittance, but it only focuses on curtain walls with line-supported structures. Structural infill can be used to form gaps between panes, but there is currently no standard solution for calculating point fixing systems and their heat loss. Therefore, in my research I investigated the thermal behaviour of point fixings using three-dimensional thermal numerical modelling.

The solids were parametrized in three-dimensional geometric models, and then the thermal analysis and the determination of the point and average thermal transmittances were carried out using finite element software after a mesh independence analysis. In addition to the different types of fixings, I also varied the geometric and material parameters of the model (e.g., gap formation, spacer material, etc.) to explore as many options as possible. I also compared the results of the numerical modelling with an approximate calculation of the correction factor of the mechanical fasteners according to Annex F of the current MSZ EN ISO 6946 standard to see how much difference this procedure gives compared to the results of the numerical models.

For the different parameters, the cost-performance of the designs was investigated. For the quotation, an external company recommended by a consultant was contacted.

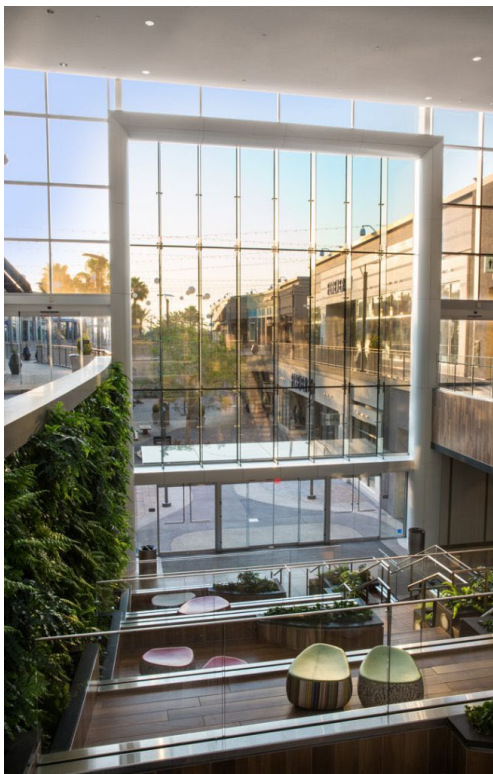
Furthermore, I compared the results of a thermo-visual test on a point-fixed glass façade of a selected building with the numerical model of the glass façade. From the model of the glass façade of the building, I produced design drawings at the level of the construction plan.

The aim of my research is to obtain a comprehensive picture of the point thermal bridges in point-fixed glass facade systems and the variation of the thermal bridges that can occur when a given parameter is changed. The results of this research and the point thermal transmittances for specific designs can be used for supporting design decisions or as a thermal bridge catalogue in the future.

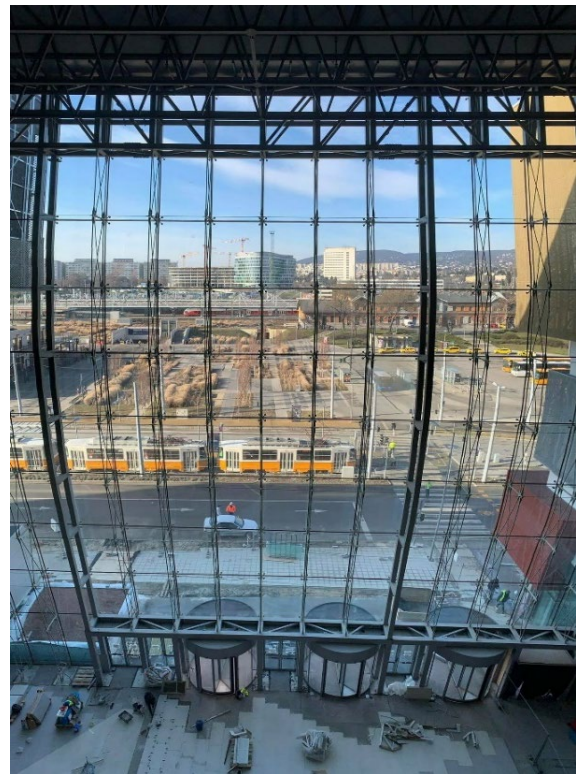
1 Bevezetés

Ma már egyre népszerűbb a függőnyfalak és üveghomlokzatok alkalmazása az új, modern épületeknél. A pontokon rögzített homlokzatok az 1970-es évek környékén jelent meg. Ez a fajta homlokzat, abban különbözik a hagyományos függőnyfalaktól, hogy nem az üveg széleinél végig menő támaszt alkalmazunk, lehetővé téve a homlokzat nagyobb átláthatóságát. A fém alépítmény biztosítja a terhek átadását az épület tartószerkezetére. A folyamatos fejlődés hatására a fémszerkezeteket is teherhordó üvegezett rendszerek fogják felváltani. [1]

Magyarországon és külföldön is számos épület homlokzatánál alkalmazzák ezeket a rendszereket. Az Egyesült Államokban lévő Del Amo Fashion Center homlokzata (1. ábra) is pontmegfogásos üveghomlokzat. Budapesten ilyen üveghomlokzat például az 2. ábrán látható Etele pláza főbejáratának homlokzata, amely az elmúlt években épült. Szintén a 11. kerületben az Allee bevásárlóközpont homlokzata is pontmegfogásos függőnyfal.

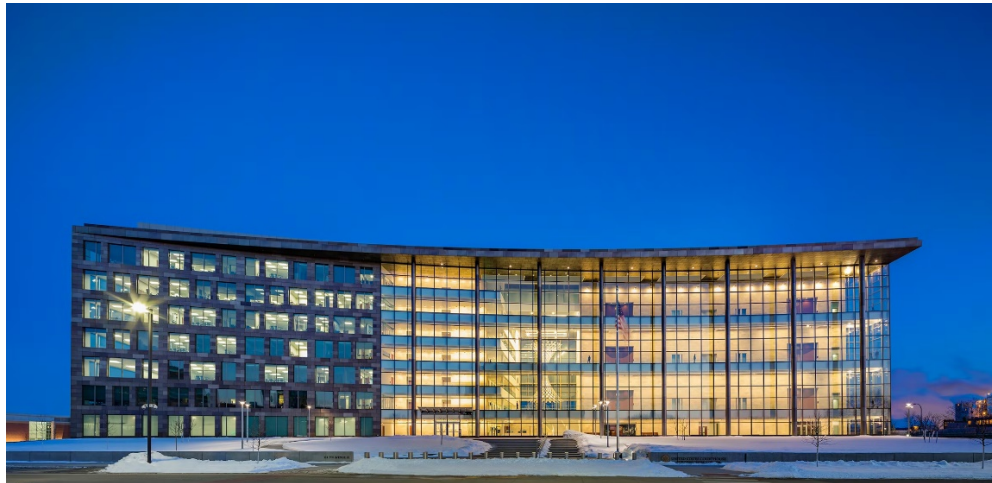


1. ábra: Del Amo Fashion Center homlokzata [2]

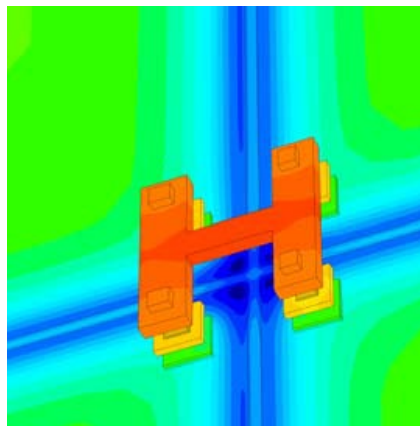


2. ábra: Etele pláza üveghomlokzata kivitelezés közben [3]

Az egyre szigorúbb energetikai követelmények elvárják, hogy minden megépülő szerkezet a lehető legkevesebb hőveszteséget produkálja. Az Egyesült Államokban a Cedar Rapids iowai bírósági épületéhez (3. ábra) végeztek el numerikus modellezést, hogy meghatározzák a pontbeli hőátbocsátás értékét „H” konzol esetén és a belső felületi páralecsapódás kockázatának mértékét (4. ábra). Ez kutatásként nem lett publikálva.



3. ábra: Az iowai bírósági épület az Egyesült Államokban [4]



4. ábra: Pontbeli hőátbocsátás vizsgálata [5]

Diplomamunkám fő célja, hogy a pontmegfogásos rendszerekben keletkező pontbeli hőhidak értékét végelelem modell segítségével megkapjam. Megvizsgálom, hogy ennek a mértéke bizonyos paraméterek változtatásával, hogyan módosul. Konzulens segítségével kiválasztott épület termovíziós vizsgálat eredményének összehasonlítása a numerikus modell eredményével. A kidolgozott eredmények a későbbiekben tervezési javaslatként is alkalmazhatók.

1.1 Elméleti áttekintés

1.1.1 Szakirodalom kutatás

Az irodalomkutatást a pontmegfogó rendszerekkel és ahhoz kapcsolódó cikkek, tanulmányok keresésével kezdtem. A kínai műszaki egyetem, tűzzel foglalkozó laboratórium munkatársai az egyik kutatásban négy ponton rögzített üvegtáblát vizsgálták valós modellen, tűzteher hatására. Mérték a felületi hőmérsékletváltozást különböző pontokban, a kitöltő gáz hőmérsékletét, a hőleadás sebességét (5-6. ábra). Ezen kívül a törés képét és idejét. Többféle modellt építettek, ahol változtatták a rögzítési távolságokat, és ennek hatását vizsgálták. Ezt a kutatást tovább vitték és meghatározták a különböző esetekben a feszültségek értékét. [7][8]

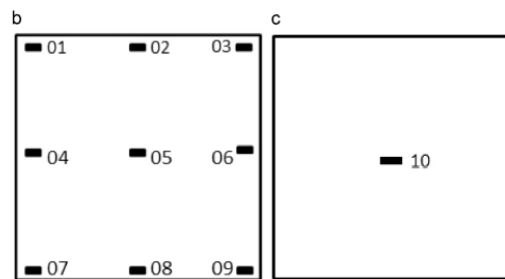
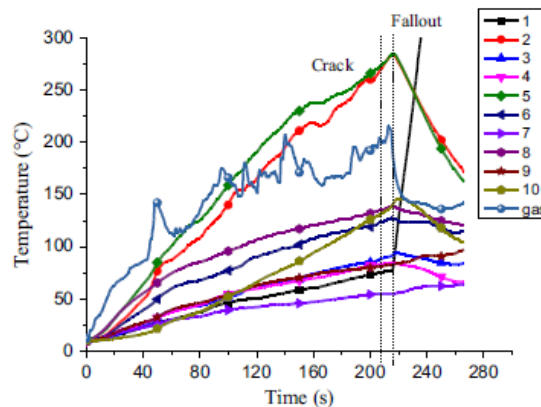


Fig. 5. The thermocouple distribution on the surface of the glazing pane. (a) Sheet thermocouple; (b) Exposed side; (c) Ambient side.

5. ábra: A kutatás során vizsgált pontok az üvegfelületen



6. ábra: Hőmérséklet alakulása a vizsgált pontokban és a gáztöltésben

Egy hasonló kutatásban készítettek egy modellt többféle üvegmegfogásra. A tűzteher numerikus modelljét hasonlították össze a valós mért eredményekkel (7. ábra). [9]

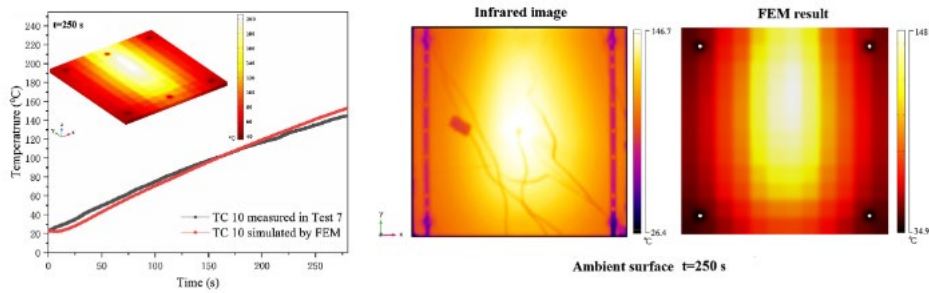


Fig. 7. Comparison of temperature variation between simulation and experiment in Test 7.

7. ábra: Numerikus modell és a valós mért eredmények összehasonlítása tűzterherre

A Norvég Élettudományi Egyetemen a pontmegfogott üveghomlokzatok esetén használt szerelvényeket már vizsgálták, de nem energetikai, hanem mechanikai szempontok alapján (8. ábra). [10]

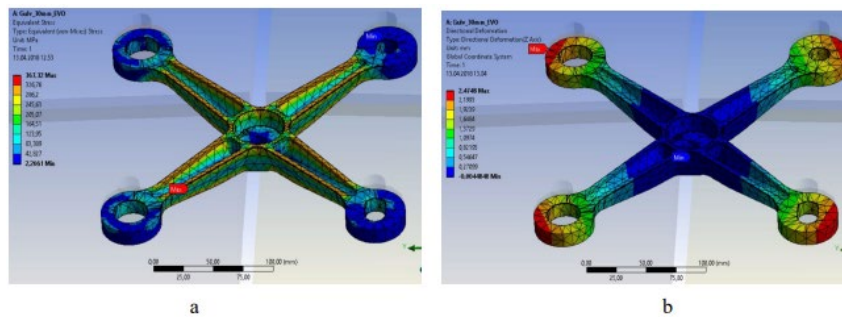


Figure 6. Case 6: a) Von Mises equivalent stress distribution; b) Spider deformation.

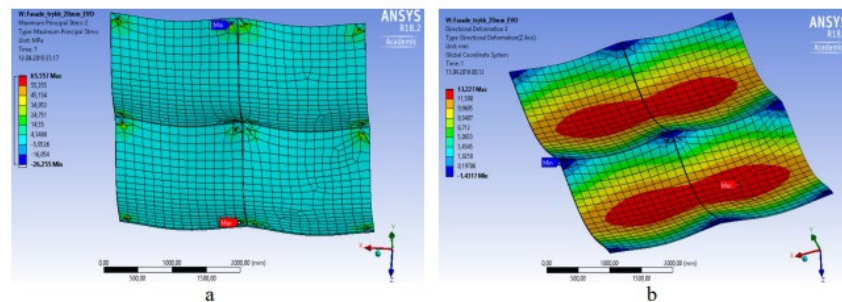


Figure 7. Case 1: a) Principal stress distribution; b) Glass deformation.

8. ábra: Pontmegfogó szerelvény mechanikai vizsgálata

Hasonló keresési feltételekkel nem volt számomra további hasznos cikk, ezért általánosan a függönyfalakra kerestem hőtechnikai kutatásokat. Nathan Van Den Bossche a függönyfal rendszereket vizsgálta hőtechnikailag, változó paraméterekkel (9-10. ábra). A paraméterek például: profilméretek, üvegvastagság, üveg felfekvési mérete, a rögzítőcsavar hossza és anyaga. [11]

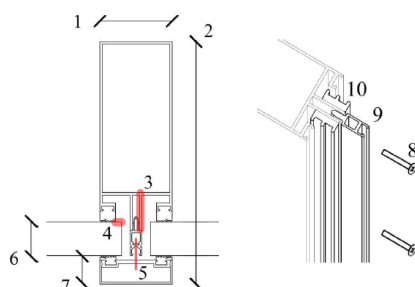


Figure 2: Visualization of sensitive parameters (1: Profile width, 2: profile length, 3: length of the screw fins, 4: position of the IGU, 5: intermediate distance between mechanical fixings, 6: IGU thickness, 7: snap cover length, 8: λ -value of the screws, 9: λ -value of compartmentalization profile, 10: insulating interior gasket)

9. ábra: A kutatás során változó paraméterek jelölése

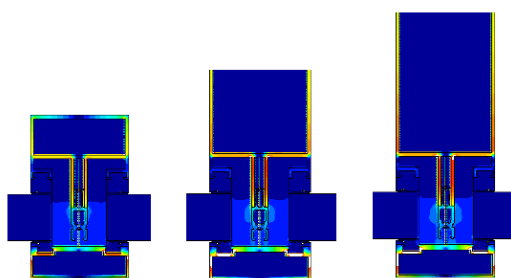
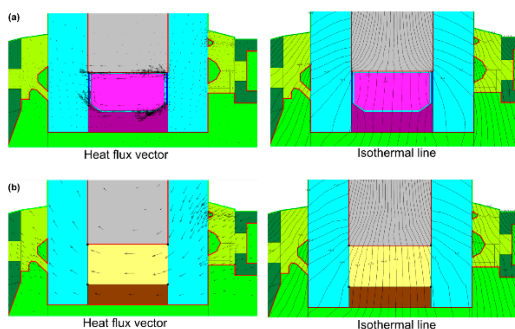


Figure 4: Heat flux profile for 100 mm (left), 200 mm (middle) and 300 mm (right) profile length and 60 mm width

10. ábra: Hőáram a különböző profilméretetek vonatkozásában

További kutatásokban volt, ahol építettek egy minta függönyfalat és megnézték, hogy a hőkamerával mért eredmények milyen mértékben térnek el a hőtechnikai szimulációk eredményétől. Különböző eseteket is megvizsgáltak. [12] Egy másik cikkben a függönyfalak energiamegtakarítását vizsgálták a panelek közötti hézagok hőhídjainak csökkentésével.[19]

Az üvegezésekkel kapcsolatban nagyon sok cikk és kutatás megtalálható, ahol numerikus 2D vagy 3D modellel vizsgálták a távtartók hővezető képességét, a felületi hőellenállást (11. ábra). De ezek többsége nyílászárókba beépített üvegezés. [14][15]



11. ábra: Nyílászáró üvegezés vizsgálatának eredményei

Petresevics Fanni (Dr. Nagy Balázssal közösen) megjelent cikkében az átszellőztetett homlokzatok pontbeli rögzítőrendszereit vizsgálta és készített hőhídkatalógust különböző paraméterek által. A kutatás témája és módszertana hasonló az üveghomlokzatok pontbeli rögzítésének vizsgálatához.

Konkrétan egyik kutatás sem foglalkozott a pontmegfogott üveghomlokzatok pontbeli hőátbocsátási tényező értékének meghatározásával, viszont a kutatások áttekintése jó kiindulást adtak, hogyan érdemes ezt a témát megközelíteni és milyen legyen a diplomamunka felépítése.

1.1.2 Alkalmazott szabványok

A 7/2006 TNM rendelet megfogalmazza, hogy az épületek milyen energetikai követelményeknek kell megfeleljenek, illetve melyik szabvánnyal számítható az egyes tényezők értéke. A diplomamunkám során a hőátbocsátási tényezőt és a hőveszteségek hatását vizsgáltam. Egy épület határoló szerkezetén fellépő hőátbocsátási tényező meghatározható számítással vagy szimulációs eljárással, értéke megadja, hogy a határoló felületek egységnyi hőmérséklet különbség hatására mennyi energia távozik egységnyi idő alatt, egységnyi idő felületen. Hőátbocsátási tényező: U [W/m^2K].

A hatályban lévő követelményértékek a függönyfalak, üvegfalak esetén: $1.4 W/m^2K$. [17]

A korrigálatlan hőátbocsátási tényező az alapüveg lesz, megszakítások nélkül. Számítható a különböző rétegvastagságok és hővezetési tényezők ismeretében. A hővezetési tényező nem felületre, hanem egységnyi vastagságra nézi meg a fellépő hőáramot egységnyi idő alatt, egységnyi hőmérséklet különbség hatására. Ez megtalálható katalógusokban, szabványokban. Pl.: MSZ EN ISO 10456 szabvány, építési anyagok és termékek tervezési értékeit írja le táblázatos formában. A figyelembe vett hatásokkal kapható meg a korrigált hőátbocsátási tényező értéke.

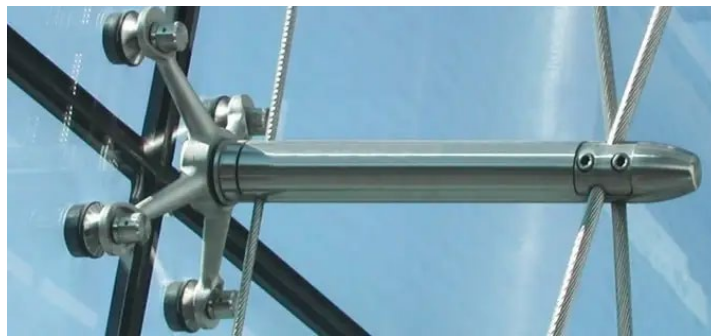
Az MSZ EN ISO 12631 szabvány leírja a függönyfalak hőtechnikai viselkedését. A hőátbocsátási tényező számítását. A vonalmenti megfogású függönyfalakra hoz példát, de tudtam alkalmazni a strukturális tömítésre vonatkozó számítási elvet.

2 Vizsgált rendszerek és anyagok

2.1 Pontokon rögzített függőfal rendszerek

2.1.1 Üvegtábla megfogása

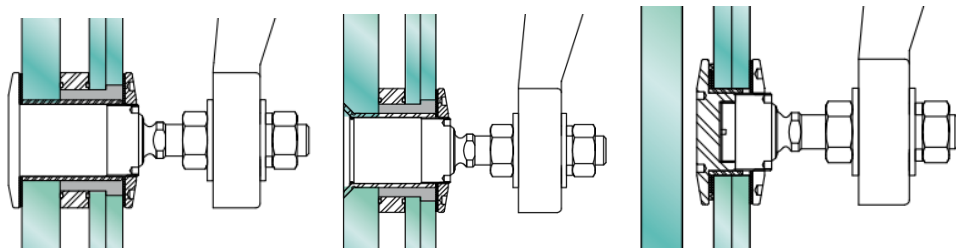
A pontszerűen rögzített üveghomlokzatokra jellemző a rozsdamentes acélból készült, általában póknak nevezett szerelvény, amely összefogja a pontmegfogókat, felveszi az üvegfelületre ható terheket és továbbítja a háttérszerkezetre. (12. ábra)



12. ábra: Az üvegtáblák megfogása [18]

A leggyakoribb pontmegfogó megoldások fűrt csatlakozások esetén [19]:

- tányéros rögzítés, amikor az üveg külső és belső felületére egy acéltárcsa kerül, ezek a furaton keresztül vannak összekötve egy menetes szárral (13. ábra)
- színelő (süllyesztett) fejű rögzítés, ahol az üveg külső oldalán süllyesztett furatot kell létrehozni és a pontmegfogó szerelvény az üveg síkjába simul (14. ábra)
- rejtett rögzítés, hőszigetelő üvegek alkalmazásakor a külső üveget nem kell megfűrní, csak a belsőt. Ilyen esetben rögzítőszerelvény előre el van helyezve a furatba, így a külső felület egyáltalán nincs megszakítva. A belső üveg esetén itt lesz min. vastagság az acél hornyok miatt. (15. ábra)



13. ábra: Tányéros rögzítés [20] 14. ábra: Színelő rögzítés [20] 15. ábra: Rejtett rögzítés [20]

Az acél pontmegfogók legfőbb feladat a terhek továbbítása a pók szerelvénynek. Fontos a megfelelő tervezés, mert a furat körül lesz a legnagyobb valószínűsége a

feszültségcsúcsok kialakulásának (a teher továbbítás nagyon kis felületen történik). A fenti típusok közül a tányéros rögzítés a legkedvezőbb statikai szempontból.

A feszültség koncentrációt befolyásolja a furat mérete, típusa, a megtámasztás kialakítása és az anyagválasztás. Az üvegtábla felületre merőleges terhek esetén lemezként viselkedik. Kedvező, ha a pontmegfogó nem merev, hanem csuklós kialakítású. Statikailag a csukló lehetővé teszi a tervező számára, hogy előre számoljon egy lyukat az üvegen, ami nem terhelődik hajlításra, még szélterhelés és szerkezeti mozgás esetén sem. Az üvegtábla mögött, a forgócsuklós rögzítés szabadon foroghat 10 fokos szögben, bármely irányban, de ügyelni kell rá, hogy a csukló ne kerüljön messze a tábla középfelületétől!

Az üvegtáblát függesztett módon kell megfogni annak érdekében, hogy elkerüljük az üveg beszorulását és a karcsúságból származó kihajlás veszélyét. Ehhez olyan támaszerők szükségesek, melynek hatásvonalai nem egy egyenesen vannak. Továbbá ez határozza meg az üveg dilatációját. A síkban való dilatációs mozgást a pókon lévő furatmegmunkálás biztosítja. A fix furat adja a függesztést, nem enged semmilyen mozgást ebben a pontban. A mellett lévő ovál furat oldalirányba engedi a síkban való mozgást. A többi furat nagyobb kialakítású, mint a fix, hogy minden irányban tudjon mozogni.

2.1.2 Háttérszerkezet [19]

Az üveghomlokzatokat megtámasztó hátszerkezeteknek két típusa van, merev és a rugalmas háttérszerkezet. Merev kialakítás pl. egy épület vasbeton vagy acél váza. A rugalmas szerkezetnek tekinthető a kötélszerkezet. Nagyobb légtér esetén esztétikai követelmény, hogy az átláthatóság a legkisebb mértékben csökkenjen. A sodronyköteles rendszer előre meg van feszítve (ezzel minimalizálható a szerkezet elmozdulása).

Diplomamunkámban a vizsgálat szempontjából elhanyagolható a háttérszerkezet típusa.

2.2 Hőszigetelő üvegezés [19]

Az üvegek nagy része float-technológiával készülnek. A korábban említett, rögzítésnél fellépő feszültség koncentrációk miatt edzett vagy hőerősített üvegek kellenek, illetve ezek laminálása fóliával, vagy műgyanta ragasztással. Az edzett üveg

speciális hőkezeléssel készül, nagy hőmérsékletre hevítik majd hirtelen lehűtik. Ennek hatására belső feszültségek keletkeznek, így a float üveghez képest nagyobb teherbírás kapható, de utólag már nem lehet a felületet megmunkálni és törés esetén apró darabokra hullik szét. Az edzett üvegek jele: ESG. ESG-H, heat soak eljárással készül, amely során a nikkel-szulfid zárványokat is képesek eltávolítani, ezzel elkerülhető a későbbiekben a spontán törés.

A laminált üvegek alkalmazása azért fontos, mert ha tönkremenetel következik be, az üveg nem képes maradandó teherbírásra. A fólia rétegek veszik fel a továbbiakban a terheléseket, ezért az üveg maga meghajlik és "paplan"-ként viselkedik. Az üveg felületi egyenletlensége miatt, lehet a réteg között kialakuló "rés". A biztos áthidalás érdekében kell a 4 réteg fólia (4x0.38 mm) a lamináláshoz. Pontmegfogás esetében a többrétegű, ragasztott üvegezéseket kell alkalmazni!

A kutatás során egy lokális helyet, 4 üveg találkozását vizsgáltam. Statikai szempontból emiatt nem méreteztem a szerkezetet. Az alkalmazott üvegtípus esetén a külső, belső üvegréteget nem módosított és egy általános vastagságot vettem fel.

A két (vagy több) üvegréteg között távtartó peremzárást kell kialakítani, a maradó légrécsben levegővel vagy egyéb gáztöltéssel. Felépítéstől függően változik az egyes üvegszerkezetek tulajdonsága.

A távtartó szerepe, a légréteg megfelelő szélesség biztosítása. Anyaga szerint lehet alumínium, acél vagy műanyag. A távtartó belső üregébe páramentesítő anyagot raknak. Az üveg és a távtartó kapcsolata egy elsődleges és egy másodlagos tömítésből áll. Az elsődleges tömítés a távtartó széle és az üvegfelület között van, ez biztosítja a megfelelő kapcsolatot, anyaga általában butyl. A peremzárás a másodlagos tömítés, két üvegréteget és a távtartó légréccsel szembeni oldalát köti össze. Ennek anyaga poliuretán, poliszulfid vagy valamilyen szilikontömítés.

Leggyakrabban alkalmazott bevonatok, hogy energetikai szempontból is előnyös üvegfelépítést kapjunk:

- SNX: a SunGuard típusú üvegek jellemző bevonata, tripla ezüstbevonatos. Kedvező szelektivitási index érhető el, mely megadja a fényáteresztés és az

összegenergia-átbocsátás hányadosát. Minél nagyobb az index annál kedvezőbb, hiszen jó fényáteresztés kevés energia átbecsátással elérhető. Alkalmazása olyan homlokzatok esetén, ahol nagy homlokzati felület van jelentős napfénynek kitéve. Kevesebb energiaköltség érdekében, zöld épületek esetén.

Figyelembe vett bevonat SNX 60.

- low-e: leggyakrabban használt bevonat. Egy lágy nemesfém-réteg, melynek jó a hőszigetelő képessége. Általában a belső oldali üveg, légrés felőli oldalára rakják. Az infravörös sugarakat képes megszűrni, így a fény, napsugárzás bejut a helyiségbe, de a hőáteresztés alacsonyabb lesz.

Alkalmazott üvegfelépítés:

10 ESG-H - 16 Ar, mp - 6.6.4 ESG-H

Jelentése:

- külső üveg 10 mm ESG-H
- a távtartó 16 mm, ahol meg kell adni a géztöltés típusát, a távtartó anyagát (mp: melegperemes – műanyag)
- belső biztonsági üveg két 6 mm-es ESG-H üvegből, 4db fóliával összelaminálva

2.3 Hézagképzés [19]

A két egymás utáni üvegtábla közötti közvetlen érintkezés elkerülhető a megfelelő fugák révén, amelyek nemcsak a táblák tágulását és összehúzódását teszik lehetővé törés nélkül, hanem biztosítják a homlokzat lég- és vízzáróságát is. A hézagképzés történhet habszivacs kitöltéssel és kétoldali szilikon képzéssel, illetve egy előre elhelyezett tömítő gumiprofillal és külső oldali szilikon kitöltéssel. A hézagképzés szélességét 20 mm-nek választottam, amely figyelembe veszi az üvegtáblák szerelhetőségét és utólagos csere esetén a hozzáférhetőséget. Esetleg üveg tönkremenetelnél a táblák ne legyenek egymásra hatással (egy üveg törése miatt a körülötte lévők ne szenvedjenek károsodást, ha más kritikus hatás nem érné őket).

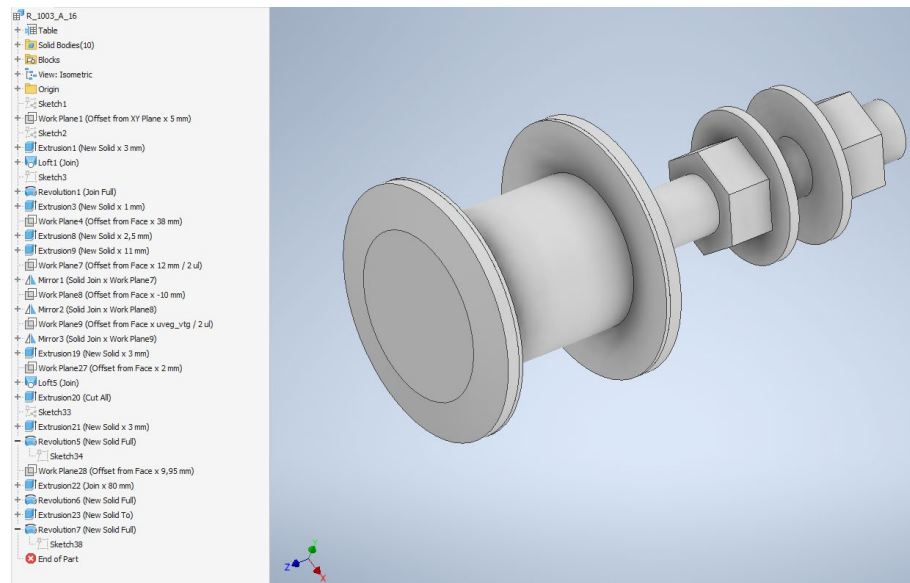
3 Hőtechnikai modellezés és vizsgálat

3.1 Parametrikus geometria modell

A geometriai modell Autodesk Inventor szoftverben készült el. Alapvetően egy 3D CAD modellezőprogram, melynek számos előnye van építőipari használaton belül is, főleg homlokzattervezésnél. Például lemezek tervezése, szabásterve a SheetMetal funkcióval. Vonalmenti megtámasztású függőnyfal esetén az Inventor segítségével könnyedén lehet egy drótváz vonalaira különböző profilokat illeszteni. Ennek automatizálása, programozása a homlokzattervezés egyik előre lépése a BIM alapú tervezéshez.

A parametrikus tervezés során, egy méretvonalnak, bármilyen távolságnak adunk egy azonosítót, amely alapján könnyen elérhetjük és módosíthatjuk. A paraméterek megadása lehetővé teszi, hogy a modellt iPart-ként kezeljük, melynek jelentése, hogy az alkatrész képes különböző változatokban megjelenni, az ismert paraméterek automatikus módosulásával. Az én esetemben ez nagyon hasznos volt, mert így elég volt csak 1 modellt létrehozni egy bizonyos rögzítés típushoz.

A modellezés során a SADEV katalógus elemeit vettem alapul [20]. A pontmegfogókat (16. ábra), az acél pókot és az üvegeket külön alkatrészként készítettem el. Anyagonként külön-külön testelemeket vettem, hogy az élek és a határok jól látszódnak. Az alkatrészeket egy összeállításba rendeztem, pontos hozzárendelésekkel, kényszerekkel. A hőszigetelt üvegekben lévő távtartó szélességet adtam meg parametrikusan.

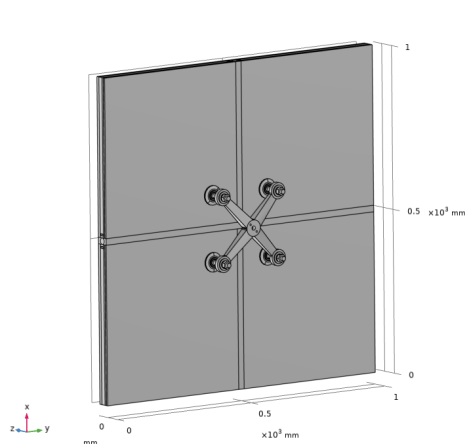


16. ábra: Geometriai modell és modellfa a pontmegfogóról Inventorban

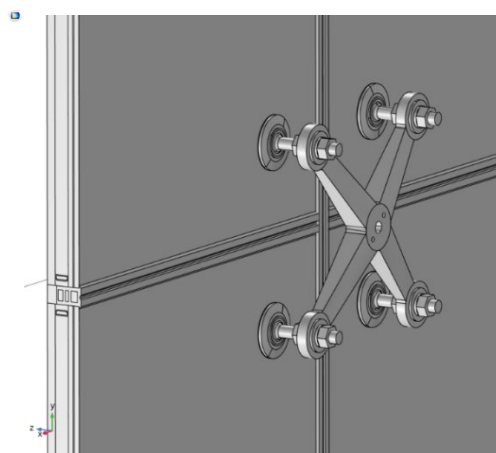
3.2 Hőtechnikai modell

A Comsol szoftvert különböző szimulációkhoz használják, mely lehet 2D vagy 3D. Jelenleg én a Heat Transfer in solids (testelemek hőátadás) fizikát használtam állandó, stacioner állapotban.

LiveLink Inventor segítségével a Comsol képes kapcsolatot létrehozni a kettő program között, felismeri a geometriát, testelemeket és bármilyen modell változtatás esetén újra lehet szinkronizálni (17-18. ábra). A szinkronizálás a modellben azonos paramétereket, alkatrészeket felismeri és a beállításai nem változnak.



17. ábra: Geometriai modell Comsol-ban



18. ábra: Geometriai modell közelítve, Comsol-ban

3.2.1 Hálófüggatlenségi vizsgálat

A hőtechnikai szimuláció egyik alapvető lépése a geometria felosztása kis elemekre, amit hálónak hívunk. A végeelem háló generálásához ki kell választani a megfelelő hálósűrűséget, a szoftverben 9 féle alapháló közül választhatunk. A megadott típusok különböző sűrűségű és méretű hálót hoznak létre, mely befolyásolja a számítás eredményét és a futtatás idejét. Van lehetőség kézi beállításra is.

Az egyik legösszetettebb modellt választottam hálófüggatlenségi vizsgálatra, átfogó tányéros rögzítés, szilikonos hézagátömítéssel. A hálóképzés során voltak geometriai problémák, túl kicsi vagy nem teljesen összeérő felületek. Ezeket nem tudta értelmezni a program, így módosítanom kellett az alap modellben. Igyekeztem a biztonság javára tévedni. Például elhanyagoltam a távtartó és az üveg felülete között lévő 0.5 mm-es butyl ragasztóréteget. A távtartó anyagvastagsága 1 mm.

A háló kiválasztásához hálófüggatlenségi vizsgálatot csináltam. [21]

	elemek száma	csomópontok száma	min. elemminőség	átl. elemminőség	hálózás ideje [s]	Futtatás ideje [s]	megoldott szabadságfokok száma/ belső szf. száma	U_{tot} [W/m ² ·K]	ΔU [W/m ² ·K]	Hiba mértéke [%]
Extremely Fine	62 077 783	10 453 771	0,00012	0,6465	1 473	-	-	-	-	-
Extra Fine	15 840 030	2 717 128	0,01086	0,6663	249	3 564	21 397 258	9 479 992	1,88144	0,8814
Finer	2 007 402	362 796	0,03952	0,5746	60	172	2 781 364	2 202 286	1,88672	0,8867
Fine	449 871	88 465	0,01371	0,5234	19	48	653 057	632 962	1,89952	0,8995
Normal	242 027	49 773	0,00144	0,4832	15	31	360 167	374 898	1,9046	0,9046
Coarse	109 503	23 102	0,00220	0,4023	12	21	165 321	198 332	1,91632	0,9163
Coarser	114 374	24 453	0,00080	0,4296	15	22	173 801	204 150	1,93184	0,9318
Extra Coarse	86 011	18 669	0,00107	0,4049	15	22	131 676	161 838	1,94924	0,9492
Extremely Coarse	69 523	15 136	0,00029	0,3901	18	17	106 617	136 816	1,96244	0,9624

$$\Delta U = U_{tot} - U_g$$

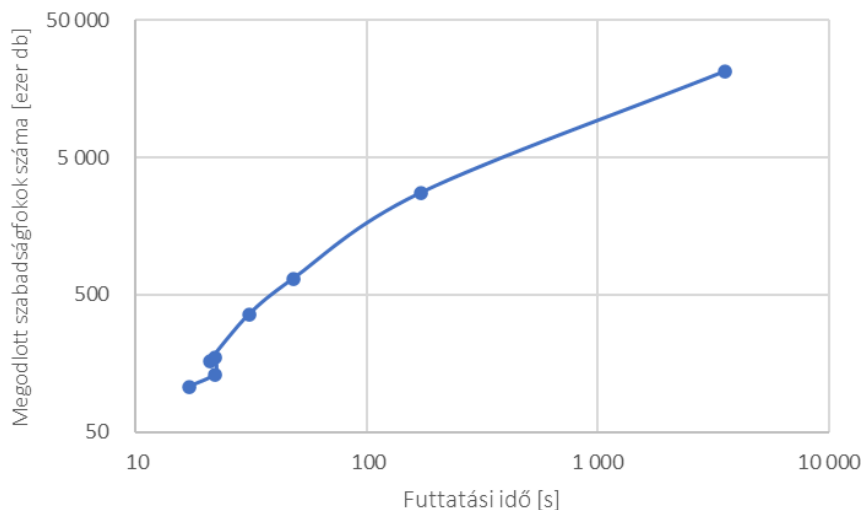
$$U_g = 1 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

Extra Fine + Finer	6 126 008	1 032 500	0,01054	0,6396	131	708	8 327 637	4 621 568	1,88132	0,8813
Finer + Fine	989 509	181 928	0,03520	0,5799	38	90	1 386 750	1 148 232	1,88756	0,8876

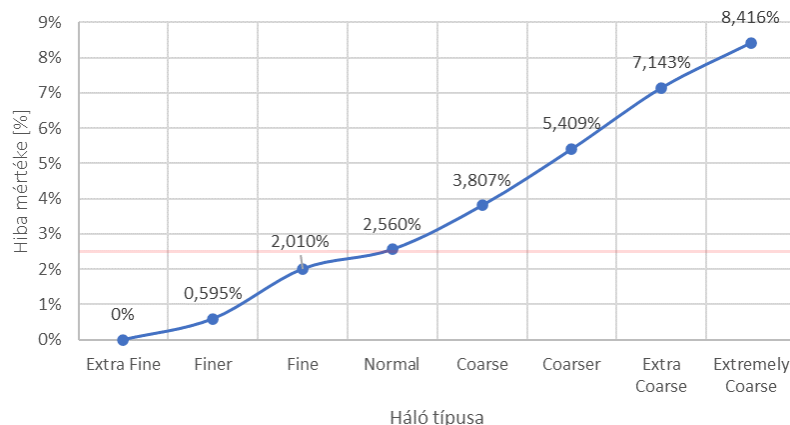
1. táblázat: Hálófüggatlenségi vizsgálat eredménye

Látható az eredménytáblázatban (1. táblázat), hogy a modell összetettsége miatt, már az Extra Fine esetében is több mint 15 millió elem volt. A futtatási idő, 1 órára nőtt. A legsűrűbb, Extremely Fine hálózás 62 millió elemet adott, a számítógép nem bírta a számításokat elvégezni és az eredményeket meghatározni, nem volt elegendő memória (RAM) hozzá, a végeelemháló generálása is több mint 30 perc volt. Az Extra Fine-t vettem az alap hálónak. A hiba mértékét a ΔU érték eltéréseivel vizsgáltam (futtatási eredmény és a korrigálatlan hőátbocsátási tényező különbsége). Igyekeztem 3%-os hibahatáron belül maradni, de nem szerettem volna, hogy a futtatási idő jelentősen növekedjen.

Grafikonon (19-20. ábra) ábrázoltam azokat az eredményeket, amik alapján kiválasztottam a megfelelő hálótípust.



19. ábra: Megoldott szfokok száma - futtatási idő ábrázolása

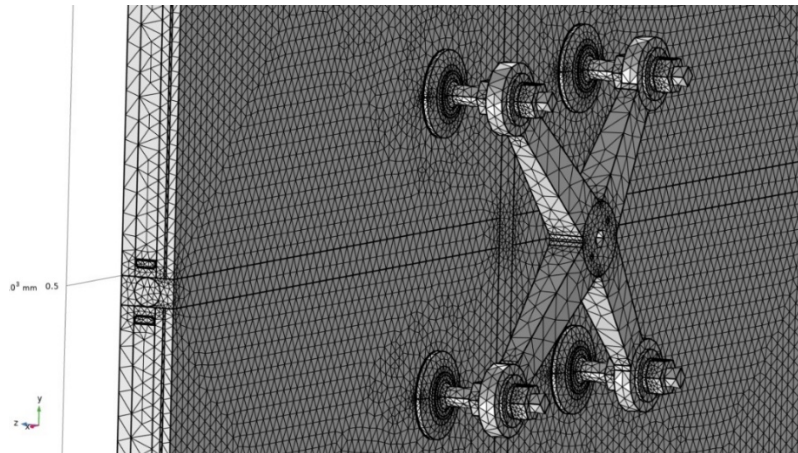


20. ábra: Hiba mértékének ábrázolása az alapesetekben

A futtatási idő és a hibahatár miatt a Fine típust választottam. Ennél ritkább hálózásnál nagy volt az eredmény közötti különbség és a hibahatárt meghaladta, de a futtatás idő nagyon kis mértékben csökkent.

Teszt gyanánt készítettem kézi háló beállítást, amely során 2 lehetőséget vizsgáltam. Úgy állítottam be, hogy a hőszigetelt üveg és a pók szerelvény ritkább hálózást kapott, a pontmegfogás és a hézagképzéshez képest. A futtatási idő így is lényegesen magas volt mindkét esetben. Finer – Fine opciónál a futtatási idő körülbelül kétszeresére nőtt.

A 21. ábrán látható a választott hálósűrűség.



21. ábra: Hálósűrűség a pontmegfogásnál és a hézagképzésnél

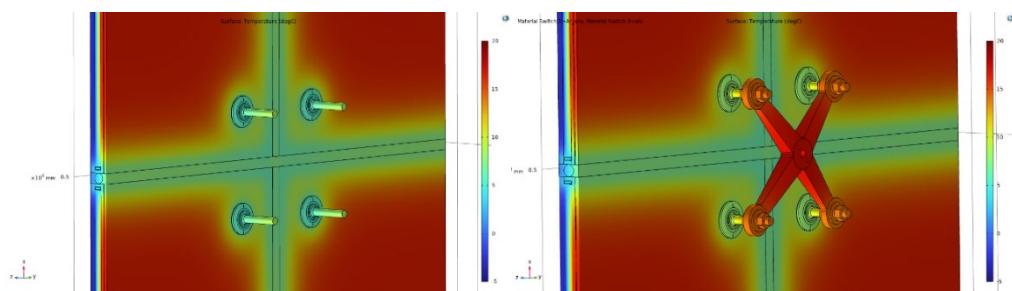
3.2.2 További hálóvizsgálatok

Annak érdekében, hogy legyen egy Extremely Fine futtatáshoz tartozó eredmény, próbáltam egyszerűsíteni a modellt, azáltal, hogy kivettem a rozsdamentes acél pókot. A futtatási idő nem változott, és az Extremely Fine itt sem adott megoldást, de a többi eredménynél az adódott, hogy a hőáram mértéke csökkent.

Arra lehet következtetni, hogy a rozsdamentes acél szerelvény, anyagát tekintve jó hővezető képességgel rendelkezik. A belső 20 °C hőmérséklet miatt a pók többlet hőmérsékletet biztosít a rögzítésnek (22. ábra), amely nagyobb hőáramot eredményez és a belső felületen is 1 °C hőmérséklet emelkedés tapasztalható. Tehát ha figyelmen kívül hagyjuk kedvezőbb hőátbocsátási értéket kapunk (2. táblázat).

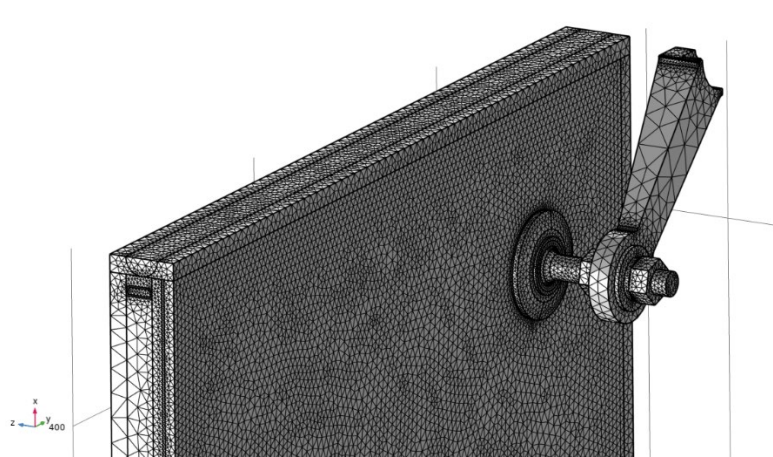
	elemek száma	csomópontok száma	min. elemminőség	átl. elemminőség	hálózás ideje [s]	Futtatás ideje [s]	megoldott szabadságfokok száma/ belső szf. száma	U_{tot} [W/m ² ·K]	ΔU [W/m ² ·K]	Hiba mértéke [%]
Extremely Fine	62 160 527	10 458 148	0,00010	0,6465	1 494	-	-	-	-	-
Extra Fine	15 853 539	2 715 465	0,01094	0,6663	239	2 743	21 399 139	9 406 518	1,83176	0,8318
Finer	1 965 329	354 116	0,04209	0,5737	67	190	2 718 191	2 166 646	1,8368	0,8368

2. táblázat: Eredmények táblázatos formában



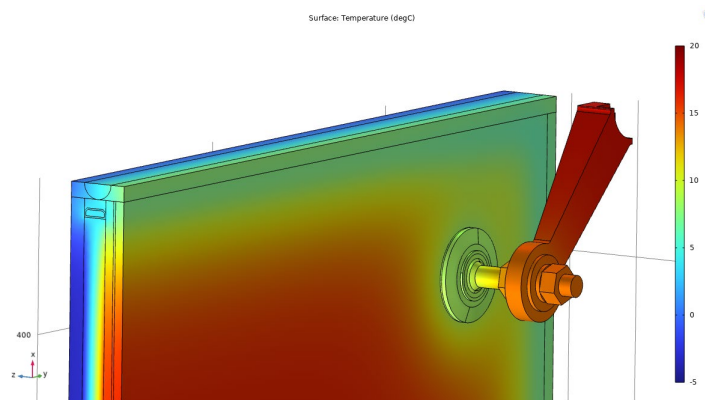
22. ábra: Rozsdamentes acél pók hatása

A másik egyszerűsítés, a modell felbontása szimmetrikus elemekre. Elmondható, hogy a modell a pókon lévő furatméreteken kívül kétszeresen szimmetrikus, de annak hatása elhanyagolható. Felbontottam a modellt egy negyed elemre, mely 0.25 m^2 (23. ábra). A futtatási idő nem változott, de a csökkentett elemszám miatt képes volt az Extremely Fine is lefutni.



23. ábra: Egyszerűsített modell hálózása

Az egységnyi felületre átszámolt eredmények azt mutatják (24. ábra és 3. táblázat), hogy van eltérés a két futtatás között. A legjobb közelítés is a hibahatáron kívül esik, ha figyelembe veszem a 1. táblázatban kapott eredményeket. Pontos következtetés nincs, de elképzelhető, hogy az üvegtáblák a közös sarokpontban hatással vannak egymásra. A hézagképzés felezősíkja ebben az esetben adiabatikus határként értelmezett, tehát a rendszer és a környezete között nem jön létre hőátadás. Az ábrán látható az eredmény vizuálisan.



24. ábra: Egyszerűsített modell eredménye

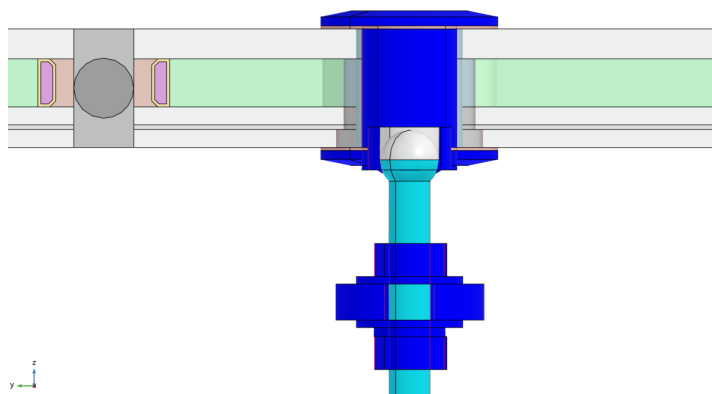
	elemek száma	csomópontok száma	min. elemminőség	átl. elemminőség	hálózás ideje [s]	Futtatás ideje [s]	megoldott szabadságfokok száma/ belső szf. száma		U_{tot} [W/m ² ·K]	ΔU [W/m ² ·K]	Hiba mértéke [%]
Extremely Fine	24 810 454	4 168 342	6,02E-05	0,6382	595	9283	33 211 227	9 623 407	1,940	-	-
Extra Fine	5 059 208	866 760	3,66E-03	0,6641	82	421	6 833 911	2 924 055	1,941	0,941	0,000
Finer	2 460 562	425 027	2,38E-02	0,6465	50	174	3 334 667	1 598 035	1,943	0,943	0,002
Fine	295 472	55 211	5,57E-02	0,5499	10	35	416 149	380 391	1,950	0,950	0,009
Normal	105 236	20 562	1,04E-02	0,4999	6	17	151 973	160 035	1,959	0,959	0,019
Coarse	53 990	10 995	1,25E-02	0,4416	4	12	79 751	90 347	1,966	0,966	0,026
Coarser	43 049	9 116	1,16E-02	0,4358	4	11	64 981	75 073	1,971	0,971	0,031
Extra coarse	19 333	4 035	1,24E-03	0,3133	4	8	28 964	37 313	1,984	0,984	0,043
Extremely Coarse	14 375	3 084	2,40E-03	0,3059	3	8	21 863	29 119	1,995	0,995	0,054

3. táblázat: Egyszerűsített modell táblázatos eredménye

3.2.3 Anyagbeállítások

3.2.3.1 Általános anyagok

Comsolban a különböző anyagokhoz színeket rendeltem hozzá, hogy szemléltetni tudjam (25. ábra) hányféle anyagot használtam és azok milyen formában jelennek meg. Az anyagjellemzőket és színek jelentését a 4. táblázat tartalmazza.

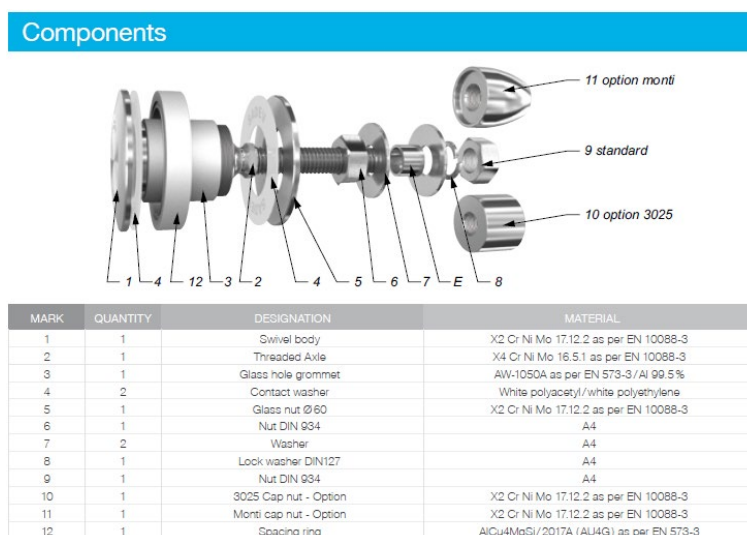


25. ábra: Anyagok szemléltetése színekkel

Anyagok	Szín jelölés	Felvett hővezetési tényező λ [W/(mK)]	Megjegyzések
Üveg	fehér	1,00	
PVB fólia	bordó	0,20	
poliszulfid	barna	0,40	
szilikagél	lila	0,13	
Belső alumínium távtartó + persely	sötét zöld	160,00	
rm acél ausztenites	sötétkék	17,00	
rm acél ferrites	világos kék/cián	30,00	
polietilén gyűrű	piros	0,50	
szilikon	világos szürke	0,50	
fugatómítő cső	sötét szürke	0,16	
gumiprofil*	sötét szürke*	0,25	Másik eset!
légüreg	rózsaszín	0,013	Számolva!
gáztöltés	világos zöld	-	Értékek számolva!
A peremzáró távtartó (citromsárga) anyaga lehet:			
alumínium		160,00	
rm acél		17,00	
műanyag		0,20	
A másik hézagképzés további anyagai			
Légüregek a gumiprofilban		0,0394	Számolva!
		0,0278	Számolva!
		0,0191	Számolva!

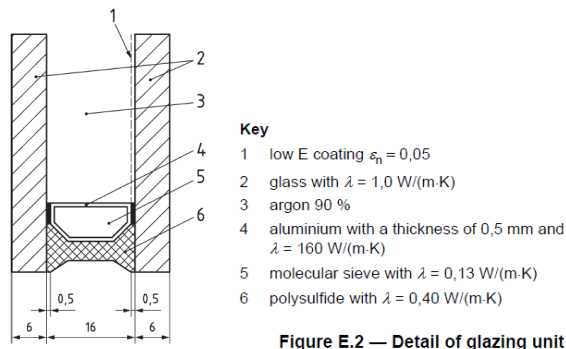
4. táblázat: Anyagjellemzők és színek [22][23][24]

A SADEV katalógus [4] (26. ábra) alapján vettem fel a szerelvények anyagtulajdonságait, az ehhez tartozó hővezetési tényezőt az MSZ EN ISO 10456 szabvány alapján írtam be.



26. ábra: Átfogó tányéros rögzítés komponens listája anyagok szerint

Az MSZ EN 12631 szabványban lévő peremzárást alkalmaztam és a megadott anyagjellemzőkkel számoltam. A távtartó anyaga változtatható, ez az egyik beállított paraméter. (27. ábra)



27. ábra: Peremzárás MSZ EN 12631 szabvány szerint [23]

3.2.3.2 Az üvegben lévő gáztöltés meghatározása

Az üvegezésben szereplő gáztöltés értékét egyenértékű hővezetési tényezővel határoztam meg, figyelembe véve a bevonat típusát. Az SNX bevonatos üvegekhez a Guardian Glass Analytics-t [25] (28. ábra), a low-e bevonat esetén az Auricon Energetic szoftvert [26] (29. ábra) használtam. A két különböző forrást össze tudtam hasonlítani a bevonat nélküli üvegek esetén és nem voltak eltérések.

Az üveg hőátbocsátásának ismeretében könnyen vissza tudtam számolni a légüregre vonatkozó hővezetést az alábbi képlettel:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + R_{se}}$$

U : réteg hőátbocsátási tényezője, $\text{W/m}^2\text{K}$

R_{si} : belső oldali hőátadási ellenállás, $\text{m}^2\text{K/W}$

R_{se} : külső oldali hőátadási ellenállás, $\text{m}^2\text{K/W}$

d : a különböző rétegek vastagsága, m-ben

λ : a különböző rétegek hővezetési tényezői, W/mK

A képletből csak a légréteg hővezetési ellenállása nem ismert, átrendezve az egyenletet, könnyen kiszámítható.

Make-up Name	Glass 1 & Coating	Glass 2 & Coating	Visible Light			Solar Energy				Thermal Properties
			Transmittance	Reflectance		Transmittance	Reflectance	Solar Factor (g%)	Secondary Heat Transfer (q _g)	U-Value
				Visible (τ _v %)	p _g % out					
Default Make-up 01	Guardian ExtraClear (CE)	SunGuard® SNX 60 (CE) on Guardian ExtraClear (CE)	57.5	12.7	12.6	24.6	33.9	44.0	19.4	1.0

Calculation Standard: EN 410:2011 / EN 673:2011

Default Make-up 01

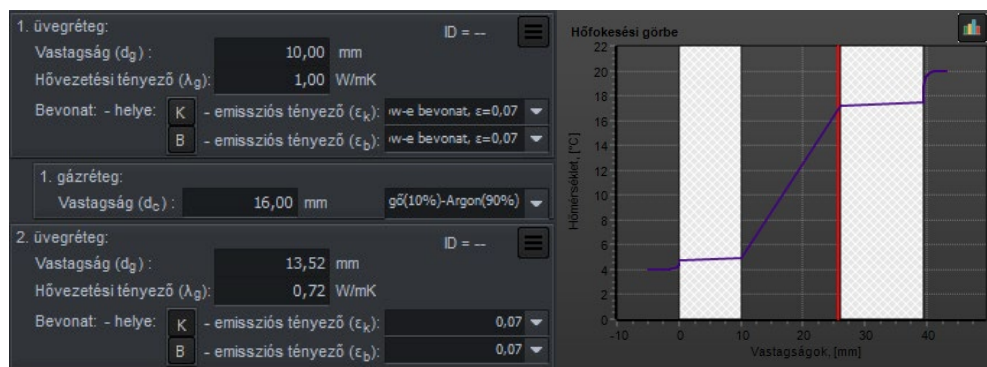
Outdoors

GLASS 1	Guardian ExtraClear (CE)	#1
	Thickness = 10mm	#2
GAP 1	10% Air, 90% Argon, 16mm	
GLASS 2	Guardian ExtraClear (CE)	#3 SunGuard® SNX 60 (CE)
	Thickness = 6mm	#4
INTERLAYER 1	PVB Clear 1.52mm (CE)	
GLASS 3	Guardian ExtraClear (CE)	#5
	Thickness = 6mm	#6

Total Unit (Nominal) = 39.524 mm Slope = 90°
Estimated Nominal Glazing Weight: 55.18 kg/m²

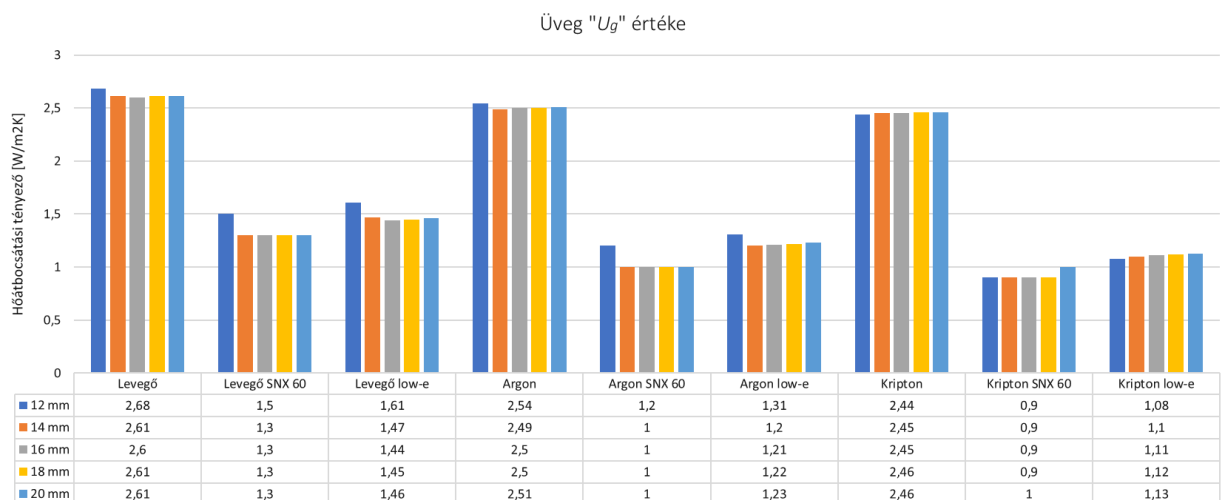
Indoors

28. ábra: Guardian Glass Analytics jelentés eredménye [25]



29. ábra: Auricon Energetic üvegjellemzők meghatározása [26]

Az eredményeket az alábbi táblázatban foglaltam össze:



5. táblázat: Üvegtípusokhoz tartozó hőátbocsátási tényező

A diagramon és a táblázaton jól látszik, hogy az egyes bevonatok és gáztöltések milyen hatással vannak a hőszigetelt többrétegű üveg hőátbocsátási tényezőjére.

Megállapítások:

- Általánosságban elmondható, hogy a levegő a legegyszerűbb, de a legrosszabb töltőgáz, majd utána jön az Argon és a Krypton. Ez azért van, mert a nemesgázok sűrűsége nagyobb, a hővezetési tényezője kisebb, mint a levegőé.
- A legkedvezőtlenebb eset, amikor nem használunk bevonatot. Így az eltérés az egyes gáztípusok között ~5%. A távtartó szélessége többségben nem befolyásolja az értékeket.
- SNX60 bevonat a belső üveg légréteg felőli oldalán. Jelentős javulás látható, levegőnél a felére, a nemesgázok esetén ~40%-ra esett vissza a hőátbocsátás mértéke.
Kryptonnál a 20 mm-es távtartó, a másik két gáztöltésnél a 12 mm-es távtartó ad eltérő, eredményt.
- A low-e bevonat alkalmazása ugyanazon a felületen, kicsivel rosszabb eredményt ad az SNX60 fóliához képest. Viszont a távtartó szélessége minimálisan befolyásolja.
- Az ideális távtartó méret Argon gáz esetén 14 mm, de az ennél nagyobb távtartó nagyon minimális eltérést ad. Krypton gáz alkalmazásánál 12 mm is elegendő. De ez csak az alap üvegre vonatkozik, még nincs figyelembe véve a vonalmenti és a pontbeli hőveszteség mértéke!

Nem elég megfelelő gáztöltést alkalmazni, fontos, hogy az üvegfelépítésben szerepeljen bevonatréteg is (nagyobb mértékben csökkenti a hőátbocsátási tényező értékét).

A számolt egyenértékű hővezetési tényezők:

	12 mm	14 mm	16 mm	18 mm	20 mm
Levegő	0,0701	0,0755	0,0863	0,0970	0,1078
Levegő + SNX 60	0,0257	0,0246	0,0281	0,0316	0,0351
Levegő + low-e	0,0284	0,0291	0,0323	0,0367	0,0412
Argon	0,0597	0,0697	0,0797	0,0896	0,0996
Argon + SNX 60	0,0189	0,0175	0,0200	0,0225	0,0250
Argon + low-e	0,0213	0,0221	0,0255	0,0290	0,0326
Krypton	0,0552	0,0644	0,0736	0,0827	0,0919
Krypton + SNX 60	0,0132	0,0154	0,0175	0,0197	0,0250
Krypton + low-e	0,0165	0,0197	0,0228	0,0259	0,0292

6. táblázat: Számolt egyenértékű hővezetési tényezők a légrétegre

3.2.3.3 Belső légüregek meghatározása

A belső légüregek számítása az MSZ EN 6946 szabvány D4. melléklete alapján.

Kis méretű osztott légüregek.[27]

$$R_a = \frac{1}{h_a + h_r}$$

R_a : légréteg hővezetési ellenállása, $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

h_a : hővezetési/hőátadási tényező, $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$

h_r : sugárzási tényező, $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$

A légrétegek kis mérete miatt, előre feltételeztem, hogy a hőmérsékletkülönbség mértéke nem lesz nagyobb 5K-nél. A D1. táblázat szerint így vízszintes irányban $h_a=1,25$ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$.

$$h_r = \frac{h_{r0}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 2 + \frac{2}{(1 + \sqrt{1 + \frac{d^2}{b^2} - \frac{d}{b}})}}$$

h_{r0} : fekete test sugárzási tényezője ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$: légréteget határoló felületek emissziós tényezői (minden irányban átlagolva)

b : légréteg szélessége, hőáramra merőleges méret

d : légréteg hosszúsága, hőárammal párhuzamos méret

$$h_{r0} = 4 \cdot \sigma \cdot T_{mn}^3$$

σ : Stefan-Boltzmann-állandó: $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

T_{mn} : felület és a környezet átlagos termodinamikai hőmérséklete, K-ben

Táblázatosan az adatok:

Légréteg	szélesség		hossz, vtg		ϵ_1 ϵ_2		HŐÁRAM IRÁNY VÍZSZINTES					
	b	b [m]	d	d [m]			R	$\lambda=d/R$	ha	hr	hr0	Tm [K]
1	19,9	0,0199	4,3	0,0043	0,59	0,59	0,32	0,013	1,25	1,8559	4,52	271,15
2	12	0,012	8	0,008	0,9	0,9	0,20	0,0394	1,25	3,6767	4,72	275,15
3	12,00	0,012	4	0,004	0,9	0,9	0,21	0,0191	1,25	3,5187	4,52	271,15
4	12	0,012	6	0,006	0,9	0,9	0,22	0,0278	1,25	3,3794	4,37	268,15

7. táblázat: Belső légüregek számítása

3.2.4 Peremfeltételek

Az anyagok definiálása után a külső és a belső hőmérsékleti peremfeltételeket adtam meg. Pontos peremfeltétel megadással érjük el, hogy a bemeneti adatok hatására, a modell a valósághoz legközelebbi megoldást adja. Ennek érdekében az alábbi peremfeltételeket vettem fel:

Belső oldali léghőmérséklet: $T_i = +20 \text{ }^\circ\text{C}$

hőátadási ellenállás: $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$

Külső oldali léghőmérséklet: $T_e = -5 \text{ }^\circ\text{C}$

hőátadási ellenállás: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

A külső léghőmérséklet meghatározása a felület állagvédelmi ellenőrzésének céljából. MSZ 24140:2015 szabvány G melléklete szerint. [28]

Comsol [23] az alábbi egyenlettel veszi figyelembe a külső, belső peremfeltételeket:

$$-n \cdot q = q_0$$

$$q_0 = h_{\text{felületi hőátadási tényező}} \cdot (T_{\text{lég hőmérséklet}} - T_{\text{felületi hőmérséklet}})$$

h , számolható a felületi hőátadási ellenállásból (külső, belső oldal esetén külön)

q_0 , felületi hőáramsűrűség

n , felület esetén a síkra merőleges vonal, az érintési pontban

q , hőáramsűrűség

A metszősíkok adiabatikus határoknak kell lenniük! Ami azt jelenti, hogy a termodinamikai rendszer és a környezete között nem jön létre hőátadás. Tehát:

$$-n \cdot q = 0$$

3.2.5 Végeselemes számítási módszer

A vizsgálat stacioner állapotban történt. A szoftver végeselem megoldása a differenciálegyenletekre [29]:

$$\nabla \cdot q = 0$$

$$q = -\lambda \cdot \nabla \cdot T$$

∇ , nabla operátor

q , hőáramsűrűség

λ , hővezetési tényező, W/mK

T , hőmérséklet, K-ben

3.2.6 Eredmény lekérdezések

A különböző modellek esetén azonos lekérdezéseket állítottam be, hogy a kapott eredményeket össze lehessen hasonlítani. Ezek a következők:

- Belső felületi integrált hőáram, W-ban
Az egyenlőtlen, tagolt felület miatt nem lehet átlagos értéket lekérni.
- Belső felületi minimum hőmérséklet, °C-ban
- A hézagképzés belső felületi minimum hőmérséklete, °C-ban
- Az üveg belső felületi minimum hőmérséklete, °C-ban

Ezek alapján a továbbiakban ki tudom számolni a hőveszteségek mértékét, illetve a belső hőmérséklet alakulását.

4 Eredmények kiértékelése

A Comsol az 1080 db futtatáshoz tartozó lekérdezések eredményeit táblázatként adta meg. Ezekkel az adathalmazokkal Microsoft Excel-ben számoltam tovább. A kapott eredményeket táblázatos és grafikonos formában dokumentáltam az egyes részekhez. A különböző esetekhez Comsol-ból kimentett ábrát is csatolok, ahol jól látszanak a számolt eredmények.

4.1 Vonalmenti hőátbocsátási tényező

Ebben a modellben a pontbeli rögzítések nem voltak benne, csak a kétféle hézagképzés, különböző paraméterű távtartókkal.

A vonalmenti hőveszteség tényezőjét (ψ_{TJ}) az alábbi módon számoltam ki:

$$Q_{TJ} = Q_{tot1} - U_g \cdot \Delta T$$

Q_{tot} , a lekérdezésben kapott hőáram

Q_{TJ} , (thermal joint) hőáram mennyisége a hézagképzésben

U_g , az alapüveg hővezetési tényezője (5. táblázat)

ΔT , a külső-belső felületek közötti hőmérsékletkülönbség

$$U = \frac{Q}{\Delta T} \text{ alapegyenlet segítségével, ezt kapjuk:}$$

$$\Delta U_{TJ} = U_{tot1} - U_g$$

$$\psi_{TJ} = \frac{\Delta U_{TJ}}{l_{TJ}} = \frac{U_{tot1} - U_g}{l_{TJ}}$$

l_{TJ} , a vonalmenti hőveszteség hossza, m -ben

ψ_{TJ} , a vonalmenti hőveszteség tényezője

4.2 Pontbeli hőátbocsátási tényező

A modellben már szerepel az üveg furatolása és a pontszerű megfogások szerelvényei.

A számítás a különböző rögzítési típusoknál azonos:

$$Q_p = Q_{tot2} - U_g \cdot \Delta T - \Delta U_{TJ} \cdot \Delta T$$

Q_p , (point-fixed) pontbeli hőáram mennyisége

Az alapegyenletet itt is használva, ezt kapjuk:

$$\Delta U_p = U_{tot2} - U_g - \Delta U_{TJ} = U_{tot2} - U_g - \psi_{TJ} \cdot l_{TJ}$$

$$\chi = \frac{\Delta U_p}{n}$$

ΔU_p , a felületen lévő pontbeli rögzítések hőátbocsátási tényezőinek összege

n , a rögzítések száma (itt ez $n=4$ db)

χ , egy rögzítéshez tartozó pontbeli hőátbocsátási tényező [W/K]

4.3 Belső felületi hőmérséklet tényező

Meghatározása a belső felületi min. hőmérséklet ismeretében az alábbi képlettel, MSZ EN ISO 10211 szabvány [30] szerint:

$$f_{R_{si}} = \frac{T_{si} - T_e}{T_i - T_e}$$

T_{si} , belső felületi min. hőmérséklet

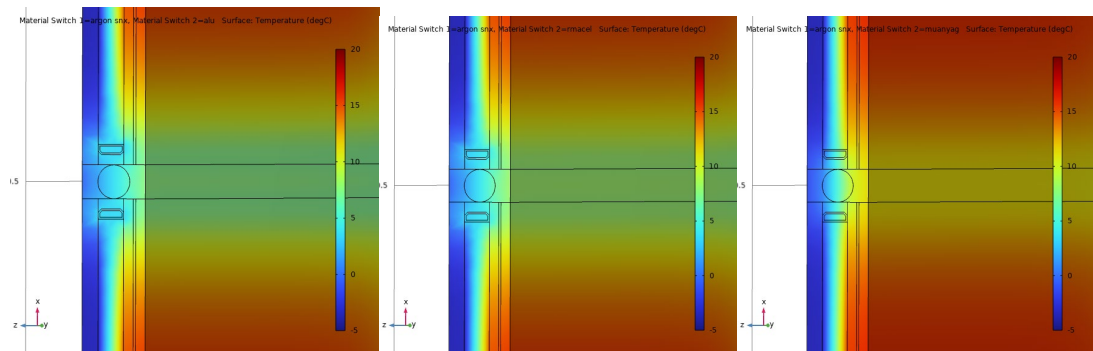
Ha $f_{R_{si}} > 0.8$, akkor nem alakul ki páralecsapódás a lehülő felületen.

Páralecsapódás, mint jelenség: kisebb hőmérsékletű levegő kevesebb páramennyiséget képes felvenni, a belső tér levegőjének páratartalma meghaladja ezt és a leghidegebb felületen kicsapódik. Jellemzően hidegebb időszakokban, főként éjszaka tapasztalható, mert nappal a felületet érő napsugárzás felmelegítheti. [3]

Ha visszaszámoljuk a határértékből a min. hőmérsékletet, akkor azt kapjuk, hogy a határérték, amit el kell érni: $T_{si} \geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5 Eredmények bemutatása

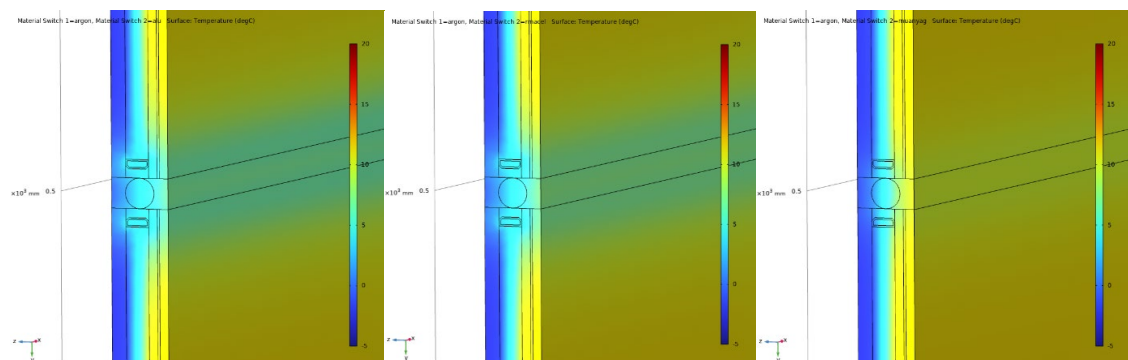
Az alábbi ábrákon (30-35. ábra) a távtartó anyagának hatását szerettem volna jelölni a hézagképzés helyén. Az első esetben egy jó hőátbocsátással rendelkező üveget vettem (Argon gáztöltés és SNX bevonat), míg a másodikonál kivettem a bevonat hatását. A hézagképzésben és a körülötte lévő üvegfelületen a hőmérséklet látszólag nem, vagy nagyon kis mértékben változott. Az üveg átlagos hőmérséklete viszont jól láthatóan lecsökkent. Ez a korábban tett megállapítást igazolja.



30. ábra: Hőmérséklet eloszlás alumínium távtartóval, Argon + SNX esetben (bal)

31. ábra: Hőmérséklet eloszlás rm. acél távtartóval, Argon + SNX esetben (közép)

32. ábra: Hőmérséklet eloszlás műanyag távtartóval, Argon + SNX esetben (jobb)



33. ábra: Hőmérséklet eloszlás alumínium távtartóval, csak Argonnal (bal)

34. ábra: Hőmérséklet eloszlás rm. acél távtartóval, csak Argonnal (közép)

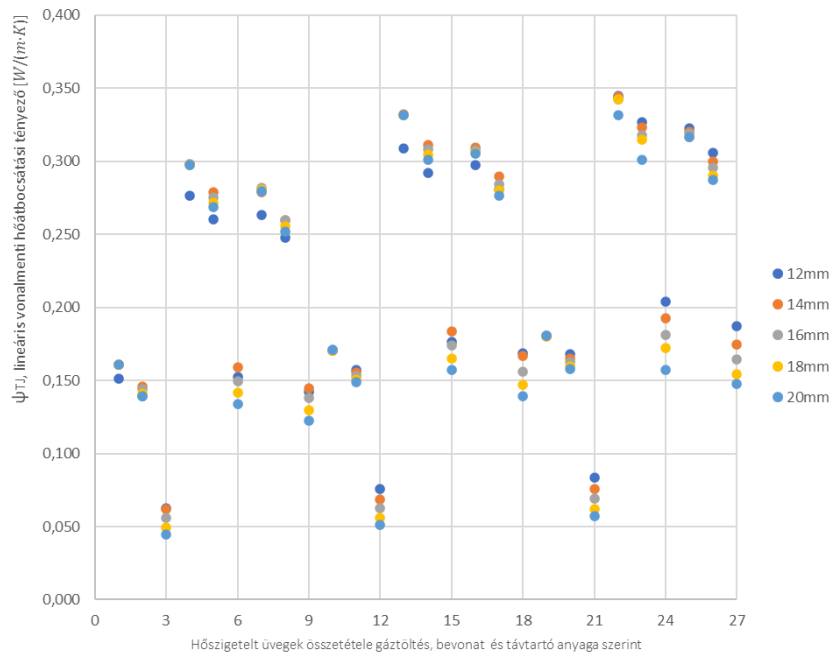
35. ábra: Hőmérséklet eloszlás műanyag távtartóval, csak Argonnal (jobb)

A kapott eredményeket táblázatban foglaltam össze, így számszerűen is látni lehet a változásokat az egyes paramétereknél.

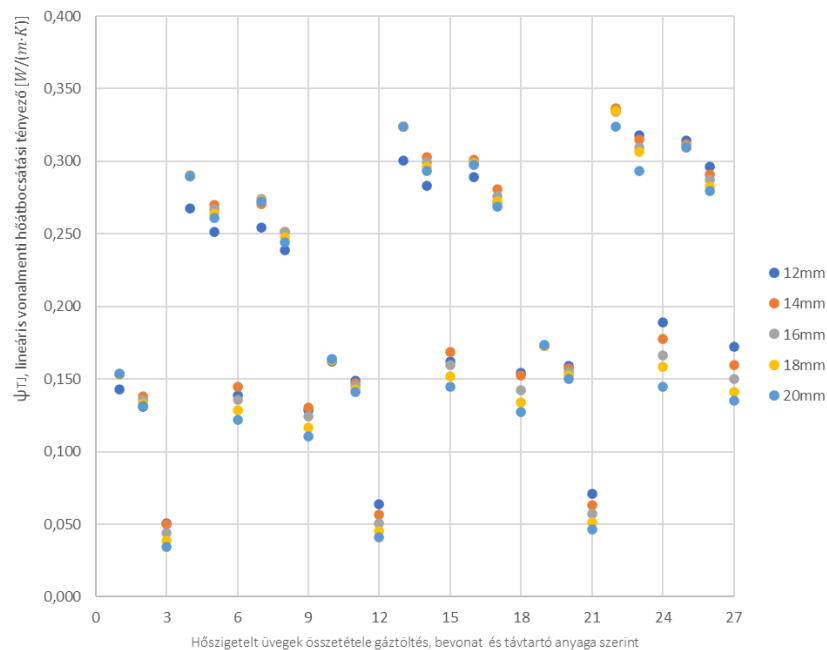
ψ_{Tl} , vonalmenti hőátbocsátási tényező [W/(m·K)]			Távtartó szélessége Hézagképzés típusa									
Gáztöltet + bevonat	Távtartó anyaga	Azonosító szám	12 mm		14 mm		16 mm		18 mm		20 mm	
			Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos
Levegő	alumínium	1	0,151	0,143	0,161	0,153	0,161	0,153	0,161	0,153	0,161	0,154
	rm acél	2	0,139	0,131	0,146	0,138	0,144	0,136	0,141	0,134	0,139	0,132
	műanyag	3	0,063	0,051	0,062	0,050	0,056	0,044	0,050	0,039	0,045	0,035
Levegő + SNX	alumínium	4	0,276	0,268	0,298	0,290	0,298	0,290	0,298	0,290	0,297	0,290
	rm acél	5	0,260	0,251	0,279	0,270	0,275	0,267	0,272	0,264	0,269	0,261
	műanyag	6	0,153	0,139	0,159	0,145	0,150	0,136	0,141	0,128	0,134	0,122
Levegő + low-e	alumínium	7	0,263	0,255	0,279	0,271	0,282	0,274	0,281	0,273	0,280	0,272
	rm acél	8	0,247	0,239	0,260	0,251	0,260	0,251	0,256	0,248	0,252	0,244
	műanyag	9	0,143	0,129	0,145	0,131	0,138	0,125	0,130	0,117	0,122	0,110
Argon	alumínium	10	0,170	0,162	0,171	0,163	0,171	0,163	0,171	0,163	0,171	0,164
	rm acél	11	0,158	0,149	0,155	0,147	0,153	0,145	0,151	0,143	0,149	0,141
	műanyag	12	0,076	0,064	0,069	0,056	0,062	0,051	0,056	0,045	0,051	0,041
Argon + SNX	alumínium	13	0,309	0,300	0,332	0,324	0,332	0,324	0,332	0,324	0,331	0,324
	rm acél	14	0,292	0,283	0,312	0,303	0,308	0,300	0,305	0,297	0,301	0,293
	műanyag	15	0,177	0,162	0,184	0,169	0,174	0,160	0,165	0,152	0,158	0,145
Argon + low-e	alumínium	16	0,297	0,289	0,309	0,301	0,307	0,300	0,306	0,299	0,305	0,298
	rm acél	17	0,281	0,272	0,289	0,281	0,284	0,276	0,280	0,272	0,276	0,268
	műanyag	18	0,168	0,154	0,167	0,152	0,156	0,142	0,147	0,134	0,139	0,127
Kripton	alumínium	19	0,181	0,173	0,181	0,173	0,181	0,173	0,180	0,173	0,181	0,173
	rm acél	20	0,168	0,159	0,165	0,157	0,163	0,155	0,160	0,152	0,158	0,150
	műanyag	21	0,084	0,071	0,076	0,063	0,069	0,057	0,062	0,051	0,057	0,046
Kripton + SNX	alumínium	22	0,345	0,336	0,344	0,336	0,342	0,334	0,342	0,335	0,331	0,324
	rm acél	23	0,327	0,318	0,323	0,315	0,318	0,310	0,315	0,307	0,301	0,293
	műanyag	24	0,204	0,189	0,193	0,178	0,181	0,167	0,172	0,159	0,158	0,145
Kripton + low-e	alumínium	25	0,323	0,314	0,320	0,312	0,319	0,311	0,317	0,309	0,317	0,309
	rm acél	26	0,306	0,297	0,300	0,291	0,296	0,287	0,290	0,282	0,287	0,279
	műanyag	27	0,187	0,172	0,174	0,160	0,164	0,150	0,155	0,141	0,147	0,135

8. táblázat: Vonalmenti hőátbocsátási tényező táblázatos eredménye

Grafikonok segítségével jól lehet szemléltetni az egyes paraméterek hatását. Külön szedtem kettő ábrára, az egyik a szilikonos, a másik gumiprofilos hézagképzés elemeit tartalmazza.



36. ábra: Vonalmenti hőátbocsátási tényező változása az üvegszerkezetek szerint kétoldalon szilikonos hézagképzéssel



37. ábra: Vonalmenti hőátbocsátási tényező gumiprofilos hézagban

A grafikonok vízszintes tengelye az üvegrétegek azonosítóját jelöli a 8. táblázatból (3. oszlop). A kiosztás aszerint csináltam, hogy egy tartományon belül legyenek az azonos gáztöltésű eredmények (pl.: levegő 0-3, Argon + low-e 15-18), így egy függőleges raszteren belül szépen látszik, hogy az első adathalmaz az alu, a második a rozsdamentes acél és végül a harmadik a műanyag távtartót jelöli. A különböző árnyalatú pontok a távtartó szélességét jelképezik, minél sötétebb a pont, annál vastagabb a távtartó.

Megállapítások:

- Főként alumínium távtartó esetén a távtartó szélességénél van olyan eset amikor az a kedvező, ha minél kisebb. A rozsdamentes acél távtartónál kis tartomány belül mozognak az értékek.
- A bevonat nélküli üvegek hozzák a legjobb eredményt, ez annak is köszönhető, hogy ilyenkor az alap üveg hőátbocsátása olyan nagy, hogy a hézagra jutó hőáram mellette kicsi lesz.
- Az SNX60 és a low-e bevonat hasonló tartományokban mozognak, egy kicsivel jobb eredményt ad a low-e bevonatos üvegösszetétel.

- Egy tartományon belül a legnagyobb szórást a Krypton töltésű üvegek adják, ami azt jelenti, hogy ott számít a távtartó szélessége a leginkább. Minél nagyobb a távtartó mérete annál jobb értéket kapunk a vonalmenti hőátbocsátási tényezőre.

A belső felületi minimum hőmérséklet alakulása is fontos kérdés. (9-10. táblázat)

T _{min,int} , min. belső felületi hőmérséklet [C°]			Távtartó szélessége Hézagképzés típusa									
Gáztöltet + bevonat	Távtartó anyaga	Azonosító szám	12 mm		14 mm		16 mm		18 mm		20 mm	
			Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos
Levegő	alumínium	1	5,8456	6,0187	5,9022	6,0494	5,9326	6,0722	5,9411	6,0801	5,9639	6,0864
	rm acél	2	6,0928	6,2863	6,2254	6,394	6,3239	6,4747	6,4089	6,5506	6,4972	6,6262
	műanyag	3	8,2977	8,7888	8,6454	9,1467	8,9005	9,3869	9,1326	9,5949	9,3383	9,774
Levegő + SNX	alumínium	4	6,1937	6,3949	6,2686	6,4472	6,3049	6,4805	6,3342	6,4895	6,3518	6,5043
	rm acél	5	6,4227	6,6426	6,5832	6,7809	6,69	6,8781	6,8	6,9704	6,8978	7,056
	műanyag	6	8,8877	9,5095	9,3065	9,9561	9,6073	10,247	9,883	10,499	10,13	10,719
Levegő + low-e	alumínium	7	6,1658	6,3613	6,2381	6,401	6,2709	6,4401	6,2918	6,4461	6,3094	6,4556
	rm acél	8	6,3953	6,6162	6,5426	6,7389	6,6556	6,8419	6,7615	6,9307	6,8548	7,0127
	műanyag	9	8,8416	9,4533	9,2315	9,8667	9,5405	10,169	9,8066	10,41	10,044	10,619
Argon	alumínium	10	5,916	6,089	5,9372	6,0853	5,9675	6,1089	5,9795	6,1163	6,0005	6,1252
	rm acél	11	6,1559	6,3565	6,2577	6,4302	6,3565	6,512	6,4479	6,5881	6,5327	6,6643
	műanyag	12	8,4112	8,9265	8,7051	9,2195	8,9627	9,4644	9,1987	9,6769	9,4079	9,8592
Argon + SNX	alumínium	13	6,2616	6,4759	6,3439	6,5235	6,3815	6,5615	6,4125	6,5733	6,4275	6,5869
	rm acél	14	6,488	6,716	6,6506	6,8552	6,7616	6,9534	6,8724	7,0511	6,9727	7,1372
	műanyag	15	9,0114	9,6587	9,4355	10,11	9,7454	10,41	10,03	10,67	10,285	10,896
Argon + low-e	alumínium	16	6,2337	6,4463	6,2947	6,4726	6,3283	6,5077	6,3552	6,5131	6,3708	6,5246
	rm acél	17	6,4626	6,689	6,6064	6,8062	6,7122	6,9008	6,8202	6,9941	6,9154	7,0757
	műanyag	18	8,9663	9,6048	9,3504	10,008	9,6496	10,297	9,9236	10,546	10,167	10,761
Krypton	alumínium	19	5,9397	6,1238	5,9706	6,1203	6,0016	6,1439	6,0136	6,1525	6,0359	6,1612
	rm acél	20	6,1833	6,3893	6,2884	6,4645	6,3857	6,5482	6,4817	6,6246	6,5677	6,7031
	műanyag	21	8,4639	8,9912	8,7627	9,2897	9,0234	9,5395	9,2639	9,7563	9,4771	9,9433
Krypton + SNX	alumínium	22	6,3316	6,5496	6,3683	6,5482	6,4073	6,588	6,4381	6,5991	6,4275	6,5869
	rm acél	23	6,5523	6,7825	6,6724	6,8788	6,7846	6,9786	6,8965	7,0777	6,9727	7,1372
	műanyag	24	9,1264	9,7958	9,4764	10,158	9,7909	10,464	10,079	10,726	10,285	10,896
Krypton + low-e	alumínium	25	6,2907	6,5063	6,3197	6,4988	6,3537	6,5343	6,3817	6,5419	6,3936	6,551
	rm acél	26	6,5139	6,7419	6,6289	6,8312	6,7362	6,9262	6,8442	7,0209	6,94	7,1034
	műanyag	27	9,0584	9,7149	9,394	10,06	9,696	10,351	9,9734	10,604	10,219	10,82

Az eredményeket színskálán értelmeztem, ahol a szélsőértékeket az alábbiak szerint vettem fel:

Legnagyobb érték Legkisebb érték Átlaghoz közeli érték

9. táblázat: Min. belső felületi hőmérséklet

T _{min} , hézag, min. hézag belső felületi hőmérséklet [°C]			Távtartó szélessége Hézagképzés típusa									
Gáztöltet + bevonat	Távtartó anyaga	Azonosító szám	12 mm		14 mm		16 mm		18 mm		20 mm	
			Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos
Levegő	aluminium	1	6,126	6,4314	6,1701	6,4639	6,1906	6,4925	6,1945	6,4938	6,2153	6,5093
	rm acél	2	6,349	6,685	6,4692	6,7922	6,5545	6,8732	6,6375	6,949	6,7167	7,0266
	műanyag	3	8,3936	9,0012	8,7273	9,3546	8,975	9,5931	9,2024	9,7992	9,405	9,9774
Levegő + SNX	aluminium	4	6,4572	6,7695	6,5132	6,828	6,5395	6,8613	6,5604	6,8731	6,5761	6,8877
	rm acél	5	6,6529	7,0073	6,8008	7,1437	6,8987	7,2401	6,9982	7,3329	7,0902	7,4165
	műanyag	6	8,9564	9,6669	9,3645	10,1	9,6603	10,384	9,9306	10,632	10,173	10,849
Levegő + low-e	aluminium	7	6,431	6,7394	6,4853	6,7848	6,5043	6,8246	6,5223	6,8336	6,5357	6,8434
	rm acél	8	6,6269	6,9826	6,7629	7,105	6,8674	7,2062	6,9615	7,2958	7,0494	7,3747
	műanyag	9	8,9123	9,6155	9,2915	10,017	9,5956	10,312	9,857	10,55	10,09	10,757
Argon	aluminium	10	6,1922	6,4945	6,201	6,4973	6,2219	6,5257	6,2293	6,5276	6,2484	6,5436
	rm acél	11	6,4072	6,7464	6,4994	6,8244	6,5847	6,9093	6,6704	6,9823	6,7497	7,0613
	műanyag	12	8,5002	9,1312	8,7838	9,4235	9,0354	9,6652	9,2668	9,8758	9,4725	10,057
Argon + SNX	aluminium	13	6,5203	6,8444	6,5824	6,9011	6,6122	6,9373	6,6341	6,9504	6,6485	6,9634
	rm acél	14	6,7137	7,0744	6,8649	7,2093	6,9662	7,3086	7,0671	7,4069	7,1608	7,4891
	műanyag	15	9,0762	9,8024	9,4899	10,241	9,7945	10,532	10,072	10,787	10,322	11,011
Argon + low-e	aluminium	16	6,4948	6,8165	6,5371	6,8526	6,5618	6,8878	6,5802	6,8947	6,5924	6,9062
	rm acél	17	6,6904	7,0497	6,8224	7,1649	6,9198	7,2609	7,0174	7,3548	7,1069	7,4341
	műanyag	18	9,0324	9,753	9,4072	10,148	9,7018	10,43	9,9697	10,675	10,208	10,888
Krypton	aluminium	19	6,2179	6,5257	6,232	6,5298	6,2523	6,5572	6,2615	6,5616	6,2802	6,577
	rm acél	20	6,4331	6,7743	6,5285	6,8548	6,6149	6,9417	6,7024	7,016	6,782	7,0963
	műanyag	21	8,5499	9,1921	8,8384	9,4879	9,0944	9,7346	9,3303	9,9493	9,5389	10,135
Krypton + SNX	aluminium	22	6,5849	6,912	6,605	6,9243	6,6361	6,9628	6,6577	6,9749	6,6485	6,9634
	rm acél	23	6,773	7,1316	6,8842	7,2305	6,9876	7,3314	7,09	7,431	7,1608	7,4891
	műanyag	24	9,1879	9,9276	9,5297	10,284	9,8381	10,58	10,119	10,838	10,322	11,011
Krypton + low-e	aluminium	25	6,5472	6,8728	6,5601	6,8778	6,5861	6,9119	6,605	6,9209	6,6163	6,9299
	rm acél	26	6,7375	7,0947	6,8441	7,1875	6,9423	7,284	7,0408	7,3797	7,1299	7,4589
	műanyag	27	9,1219	9,8541	9,4496	10,196	9,7468	10,479	10,018	10,728	10,258	10,941

Az eredményeket színskálán értelmeztem, ahol a szélsőértékeket az alábbiak szerint vettem fel:

Legnagyobb érték Legkisebb érték Átlaghoz közeli érték

10. táblázat: Min. belső felületi hőmérséklet a hézagképzésnél

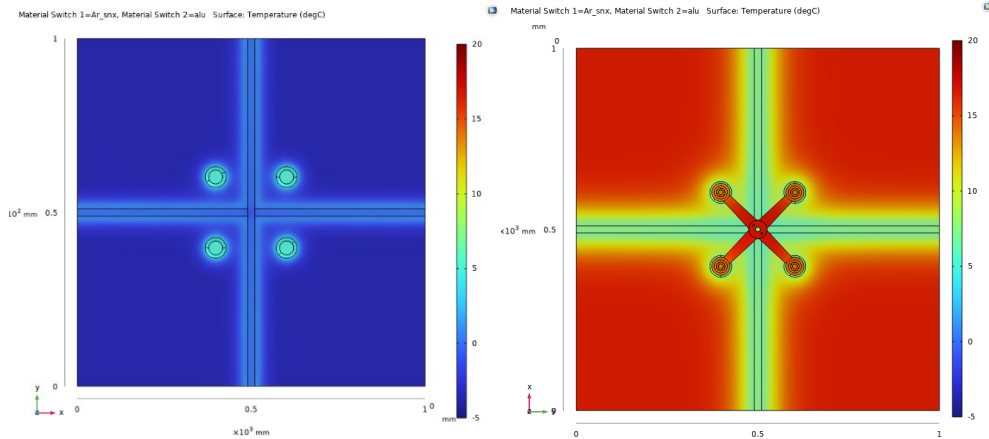
Minden esetben min. hőmérséklettel számoltam. Az üveg esetében az átlag nem mérhető, mert csak az üveg szélénél és a pont rögzítésnél alacsony a hőmérséklet, ami területarányosan elég kis felületet jelent. A többi helyen attól függően hogyan épül fel az üveg, egységes. A távtartónál a min. és az átlag közötti eltérés sokkal kisebb, ez a képek alapján is megállapítható.

A hőmérséklettel kapcsolatos megállapítások:

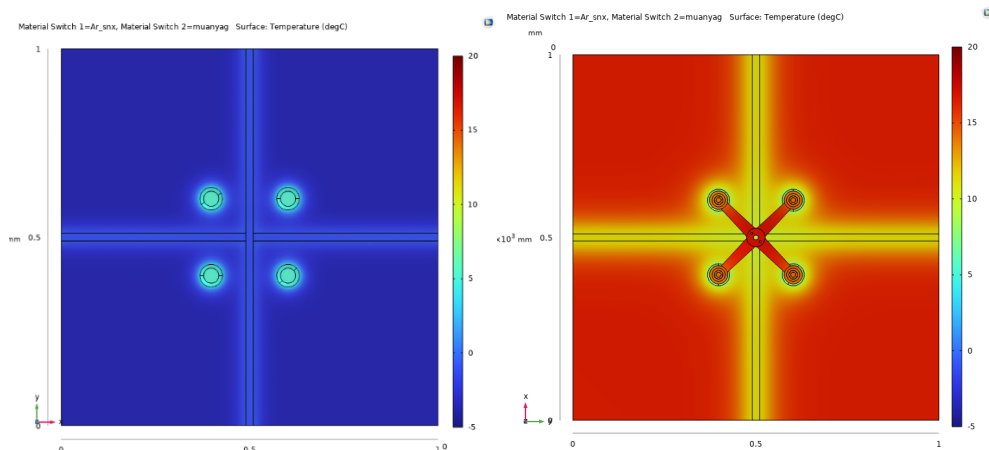
- A min. belső felületi hőmérséklet az üveg min. belső hőmérsékletével lesz egyenlő.
- Műanyag távtartó esetén számít a legtöbbet a bevonat jelenléte és a távtartó szélességének változása, mert 0.6-1 °C közötti hőmérséklet növekedés is elérhető. (21-26. ábra)
- A táblázatban szereplő eredmények nem érik el ezt a hőmérséklet tényező határértékét, tehát a belső felületen ilyen körülmények között biztosan lesz páralecsapódás (az üveg és a hézagképzés csatlakozásánál).

5.1.1 Átfogó tányéros rögzítés

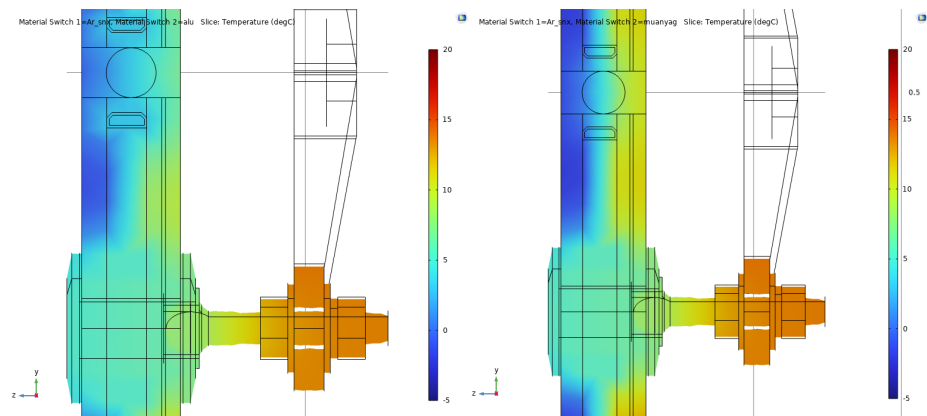
A képeken jól látható (38-40. ábra), hogy a pontszerű rögzítés a belső felületi hőmérsékletre van nagy hatással. A műanyag távtartó esetén ez a hatás kisebb.



38. ábra: Hőmérséklet eloszlás alumínium távtartóval, Argon + SNX esetben (elöl- és hátulnézet)



39. ábra: Hőmérséklet eloszlás műanyag távtartóval, Argon + SNX esetben (elöl- és hátulnézet)



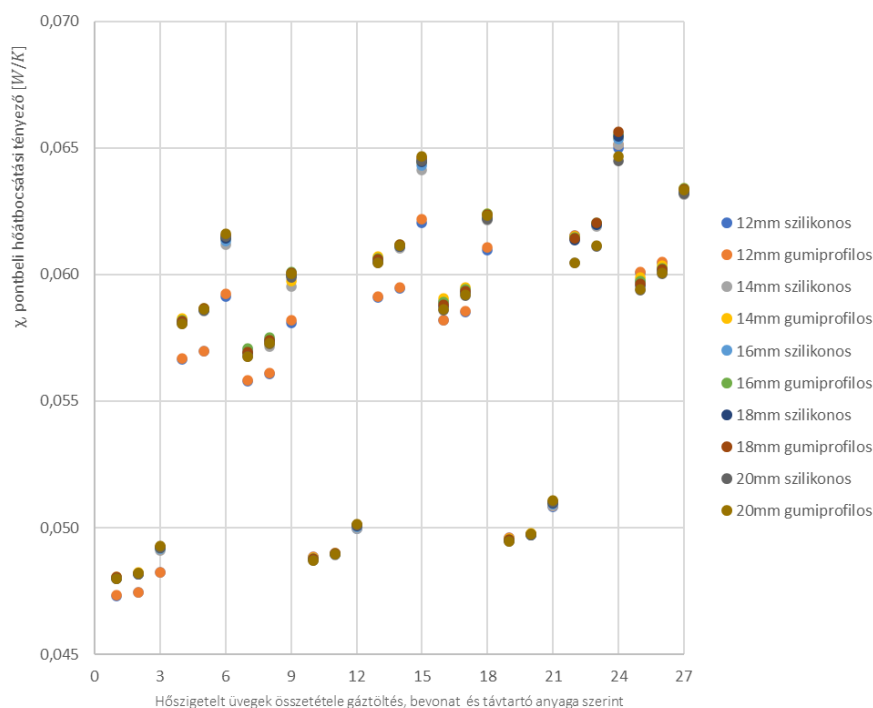
40. ábra: Hőmérséklet eloszlás metszeten, Argon + SNX esetben
alumínium (bal) és műanyag (jobb) távtartóval

A kapott eredményeket táblázatban foglaltam össze, így számszerűen is látni lehet a változásokat az egyes paramétereknél.

χ , pontbeli hőátbocsátási tényező [W/K]			Átfogó tányéros rögzítés									
			Távtartó szélessége Hézagképzés típusa									
Gáztöltet + bevonat	Távtartó anyaga	Azonosító szám	12		14		16		18		20	
			Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos
Levegő	alumínium	1	0,047	0,047	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048
	rm acél	2	0,047	0,047	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048
	műanyag	3	0,048	0,048	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049
Levegő + SNX	alumínium	4	0,057	0,057	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058
	rm acél	5	0,057	0,057	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059
	műanyag	6	0,059	0,059	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,062	0,061	0,062
Levegő + low-e	alumínium	7	0,056	0,056	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057
	rm acél	8	0,056	0,056	0,057	0,057	0,057	0,058	0,057	0,057	0,057	0,057
	műanyag	9	0,058	0,058	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060
Argon	alumínium	10	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049
	rm acél	11	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049
	műanyag	12	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
Argon + SNX	alumínium	13	0,059	0,059	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,060	0,060
	rm acél	14	0,059	0,059	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061
	műanyag	15	0,062	0,062	0,064	0,064	0,064	0,065	0,064	0,065	0,065	0,065
Argon + low-e	alumínium	16	0,058	0,058	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059
	rm acél	17	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059
	műanyag	18	0,061	0,061	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062
Krypton	alumínium	19	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,049	0,050	0,049	0,049
	rm acél	20	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
	műanyag	21	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051
Krypton + SNX	alumínium	22	0,062	0,062	0,061	0,062	0,061	0,061	0,061	0,061	0,060	0,060
	rm acél	23	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,061	0,061
	műanyag	24	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,066	0,065	0,066	0,065	0,065
Krypton + low-e	alumínium	25	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,059	0,059
	rm acél	26	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060
	műanyag	27	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063

11. táblázat: Pontbeli hőátbocsátási tényező tányéros rögzítésnél

Korábbi grafikon kiosztást itt is alkalmaztam, hogy egységesen átlátható legyen az ábrák közötti különbség. Most és a többi pontbeli esetben nem szedtem szét hézagképzés szerint több grafikonra, mert az eredmények között nincs vagy nagyon kicsi az eltérés.



41. ábra: Pontbeli hőátbocsátási tényező tányéros rögzítésnél

A belső felületi minimum hőmérséklet értékei (12-13. táblázat).

Átfogó tányéros rögzítés											
T _{min, int.} , min. belső felületi hőmérséklet [C°]			Távtartó szélessége Hézagképzés típusa								
Gáztöltet + bevonat	Távtartó anyaga	Azonosító szám	12 mm		14 mm		16 mm		18 mm		20 mm
			Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos
Levegő	aluminium	1	5,815	5,982	5,858	6,012	5,887	6,034	5,904	6,026	5,923
	rm acél	2	6,059	6,237	6,176	6,342	6,272	6,428	6,362	6,494	6,447
	műanyag	3*	6,932	6,950	6,989	6,992	7,006	7,008	7,019	7,020	7,038
Levegő + SNX	aluminium	4	6,041	6,219	6,102	6,268	6,143	6,295	6,164	6,303	6,187
	rm acél	5	6,265	6,468	6,397	6,593	6,504	6,684	6,605	6,763	6,696
	műanyag	6*	7,314	7,336	7,397	7,405	7,425	7,433	7,455	7,458	7,486
Levegő + low-e	aluminium	7	6,024	6,200	6,084	6,239	6,117	6,270	6,148	6,275	6,158
	rm acél	8	6,251	6,451	6,375	6,566	6,484	6,660	6,582	6,738	6,672
	műanyag	9*	7,284	7,305	7,352	7,357	7,385	7,392	7,410	7,413	7,437
Argon	aluminium	10	5,862	6,030	5,882	6,037	5,911	6,059	5,928	6,053	5,947
	rm acél	11	6,102	6,284	6,198	6,366	6,296	6,446	6,386	6,520	6,472
	műanyag	12*	7,006	7,022	7,025	7,028	7,042	7,045	7,057	7,059	7,077
Argon + SNX	aluminium	13	6,086	6,269	6,147	6,317	6,188	6,346	6,209	6,353	6,234
	rm acél	14	6,304	6,512	6,437	6,635	6,544	6,729	6,647	6,811	6,740
	műanyag	15*	7,396	7,420	7,478	7,488	7,508	7,518	7,541	7,545	7,572
Argon + low-e	aluminium	16	6,069	6,251	6,118	6,285	6,157	6,312	6,177	6,316	6,198
	rm acél	17	6,290	6,497	6,411	6,608	6,517	6,699	6,617	6,777	6,706
	műanyag	18*	7,366	7,389	7,424	7,433	7,451	7,459	7,479	7,482	7,505
Krypton	aluminium	19	5,882	6,052	5,904	6,061	5,932	6,082	5,952	6,078	5,971
	rm acél	20	6,121	6,305	6,219	6,388	6,316	6,470	6,409	6,544	6,496
	műanyag	21*	7,039	7,055	7,059	7,063	7,078	7,081	7,094	7,096	7,116
Krypton + SNX	aluminium	22	6,128	6,315	6,161	6,331	6,203	6,363	6,224	6,370	6,234
	rm acél	23	6,339	6,550	6,449	6,648	6,558	6,744	6,661	6,825	6,740
	műanyag	24*	7,472	7,498	7,504	7,517	7,537	7,545	7,569	7,573	7,572
Krypton + low-e	aluminium	25	6,104	6,288	6,134	6,301	6,172	6,327	6,193	6,333	6,214
	rm acél	26	6,318	6,528	6,425	6,622	6,530	6,713	6,631	6,793	6,721
	műanyag	27*	7,428	7,452	7,452	7,461	7,478	7,487	7,508	7,511	7,535

Az eredményeket színkálán értelmeztem, ahol a szélsőértékeket az alábbiak szerint vettem fel:

Legnagyobb érték Legkisebb érték Átlaghoz közeli érték

12. táblázat: Min. belső felületi hőmérséklet tányéros rögzítés esetén

Átfogó tányéros rögzítés												
T _{min} ,hézag, min. hézag belső felületi hőmérséklet [C°]			Távtartó szélessége Hézagképzés típusa									
Gázöltet + bevonat	Távtartó anyaga	Azonosító szám	12 mm		14 mm		16 mm		18 mm		20 mm	
			Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos
Levegő	alumínium	1	6,102	6,399	6,135	6,435	6,151	6,461	6,166	6,452	6,176	6,480
	rm acél	2	6,324	6,644	6,427	6,748	6,510	6,834	6,598	6,899	6,673	6,982
	műanyag	3	8,326	8,921	8,639	9,251	8,878	9,483	9,100	9,685	9,301	9,860
Levegő + SNX	alumínium	4	6,308	6,613	6,355	6,666	6,384	6,694	6,404	6,702	6,418	6,723
	rm acél	5	6,513	6,846	6,631	6,967	6,722	7,058	6,821	7,136	6,896	7,227
	műanyag	6	8,737	9,418	9,100	9,805	9,376	10,077	9,635	10,313	9,867	10,518
Levegő + low-e	alumínium	7	6,292	6,597	6,336	6,640	6,359	6,671	6,388	6,678	6,390	6,697
	rm acél	8	6,500	6,832	6,611	6,944	6,704	7,037	6,800	7,114	6,874	7,202
	műanyag	9	8,707	9,382	9,050	9,747	9,332	10,025	9,584	10,254	9,809	10,452
Argon	alumínium	10	6,145	6,444	6,156	6,458	6,173	6,483	6,188	6,476	6,199	6,504
	rm acél	11	6,364	6,686	6,447	6,769	6,531	6,850	6,620	6,921	6,695	7,005
	műanyag	12	8,409	9,022	8,683	9,305	8,924	9,540	9,150	9,745	9,354	9,923
Argon + SNX	alumínium	13	6,350	6,659	6,397	6,710	6,426	6,740	6,447	6,747	6,462	6,774
	rm acél	14	6,548	6,886	6,667	7,005	6,759	7,097	6,860	7,177	6,935	7,271
	műanyag	15	8,818	9,513	9,183	9,904	9,466	10,181	9,731	10,424	9,969	10,633
Argon + low-e	alumínium	16	6,335	6,643	6,370	6,681	6,396	6,709	6,416	6,713	6,428	6,734
	rm acél	17	6,535	6,871	6,644	6,980	6,734	7,070	6,832	7,147	6,905	7,238
	műanyag	18	8,789	9,479	9,129	9,839	9,404	10,109	9,662	10,344	9,891	10,546
Krypton	alumínium	19	6,165	6,464	6,175	6,480	6,192	6,504	6,210	6,499	6,221	6,519
	rm acél	20	6,381	6,704	6,465	6,789	6,549	6,871	6,640	6,943	6,716	7,027
	műanyag	21	8,446	9,069	8,724	9,356	8,970	9,595	9,198	9,803	9,405	9,984
Krypton + SNX	alumínium	22	6,389	6,701	6,411	6,723	6,440	6,755	6,461	6,763	6,462	6,774
	rm acél	23	6,577	6,921	6,678	7,017	6,772	7,111	6,873	7,191	6,935	7,271
	műanyag	24	8,890	9,600	9,209	9,933	9,495	10,214	9,762	10,459	9,969	10,633
Krypton + low-e	alumínium	25	6,367	6,676	6,384	6,696	6,410	6,723	6,431	6,728	6,443	6,752
	rm acél	26	6,558	6,900	6,656	6,993	6,747	7,083	6,845	7,161	6,918	7,253
	műanyag	27	8,848	9,549	9,157	9,872	9,434	10,144	9,694	10,381	9,926	10,585

Az eredményeket színskálán értelmeztem, ahol a szélsőértékeket az alábbiak szerint vettem fel:

Legnagyobb érték
 Legkisebb érték
 Átlaghoz közeli érték

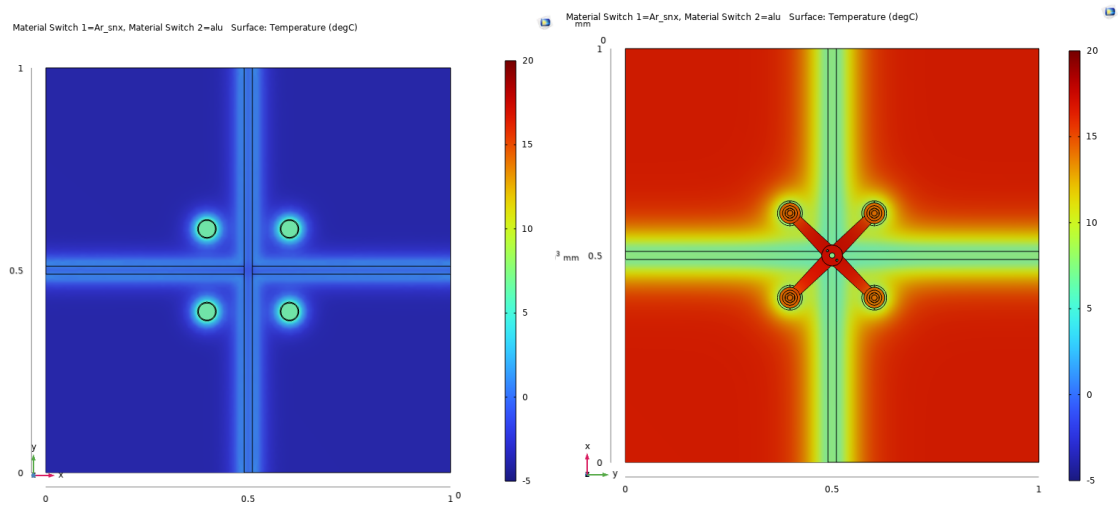
13. táblázat: Min. belső felületi hőmérséklet a hézagképzésnél, tányéros rögzítés esetén

A hőmérséklettel kapcsolatos megállapítások:

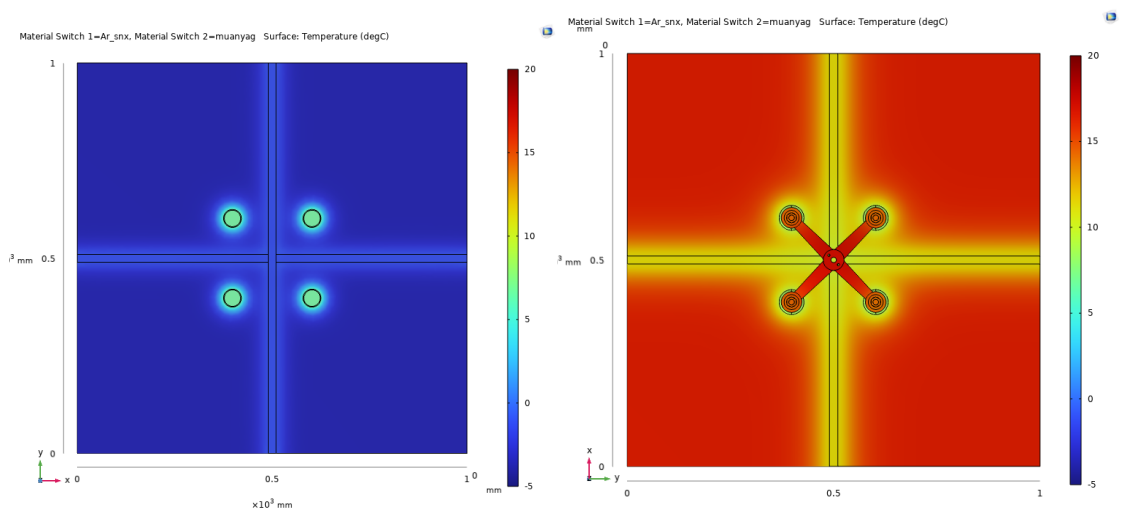
- A min. belső felületi hőmérséklet az üveg min. belső hőmérsékletével lesz egyenlő, kivéve a műanyag távtartós esetekben. Az üveggösszetétel azonosítóját egy „*” jelöltem.
- Az értékek a hézagképzésnél lévő hőméréskeltekhez képest (9-10. táblázat) jelentős mértékben csökkentek. Számértékekkel is bebizonyosodott a rögzítés hatása.
- Műanyag távtartó esetén számít a legtöbbet a távtartó szélességének változása, mert több °C hőmérséklet növekedés is elérhető. (12-13. táblázat)

5.1.2 Süllyesztett fejű rögzítés

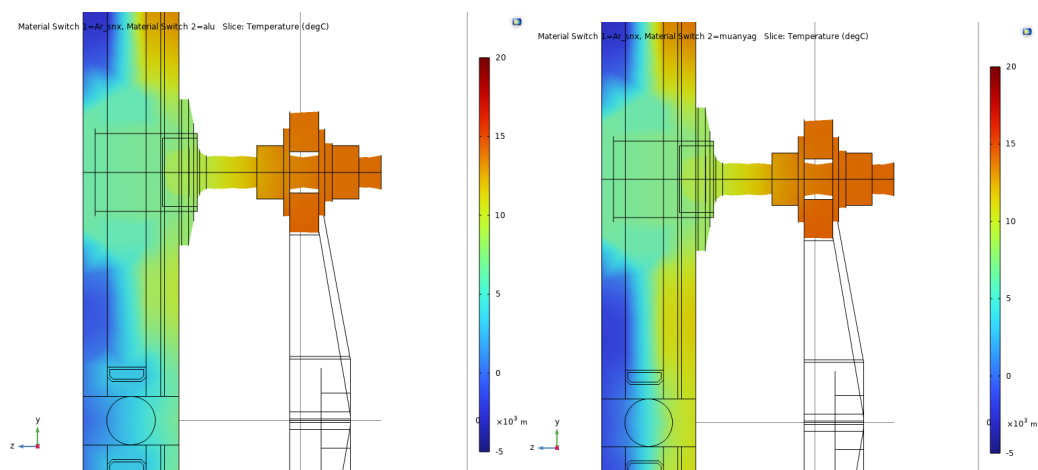
A képeken látható (42-44. ábra), hogy a süllyesztett fejű rögzítés nagyon hasonló eredményt adott a tányéros rögzítéshez képest.



42. ábra: Hőmérséklet eloszlás alumínium távtartóval, Argon + SNX esetben (elől- és hátnézet)



43. ábra: Hőmérséklet eloszlás műanyag távtartóval, Argon + SNX esetben (elől- és hátnézet)



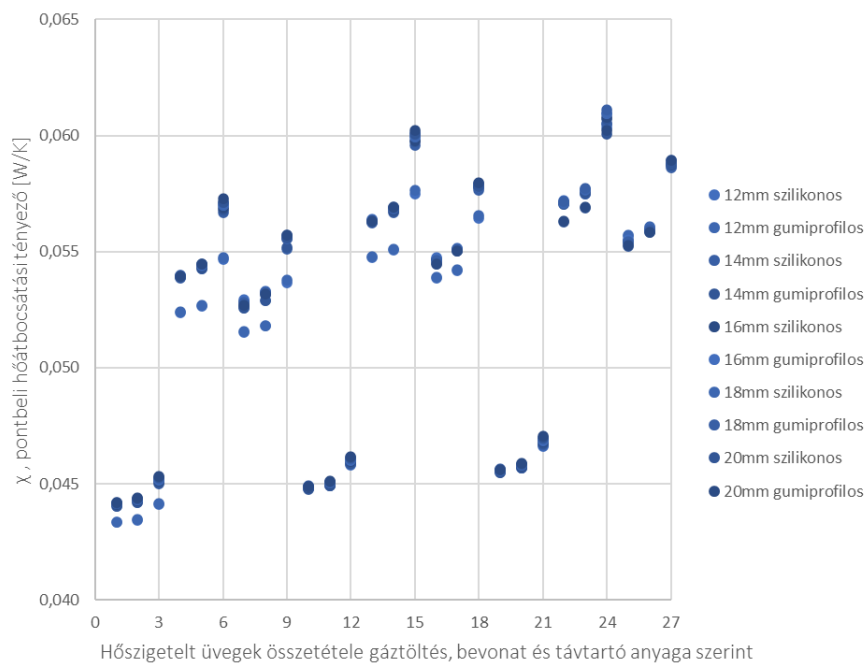
44. ábra: Hőmérséklet eloszlás metszeten, Argon + SNX esetben
alumínium (bal) és műanyag (jobb) távtartóval

A kapott eredményeket táblázatban foglaltam össze, így számszerűen is látni lehet
a változásokat az egyes paramétereknél.

χ , pontbeli hőátbocsátási tényező [W/K]			Süllyesztett fejű rögzítés									
			Távtartó szélessége									
			Hézagképzés típusa									
Gáztöltet + bevonat	Távtartó anyaga	Azonosító szám	12		14		16		18		20	
			Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos
Levegő	alumínium	1	0,043	0,043	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044
	rm acél	2	0,043	0,043	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044
	műanyag	3	0,044	0,044	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
Levegő + SNX	alumínium	4	0,052	0,052	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054
	rm acél	5	0,053	0,053	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054
	műanyag	6	0,055	0,055	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057
Levegő + low-e	alumínium	7	0,052	0,052	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053
	rm acél	8	0,052	0,052	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053
	műanyag	9	0,054	0,054	0,055	0,055	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056
Argon	alumínium	10	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
	rm acél	11	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
	műanyag	12	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046
Argon + SNX	alumínium	13	0,055	0,055	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056
	rm acél	14	0,055	0,055	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057
	műanyag	15	0,058	0,058	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060
Argon + low-e	alumínium	16	0,054	0,054	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,054	0,054
	rm acél	17	0,054	0,054	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055
	műanyag	18	0,056	0,057	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058
Kripton	alumínium	19	0,046	0,046	0,045	0,045	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046
	rm acél	20	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046
	műanyag	21	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047
Kripton + SNX	alumínium	22	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,056	0,056
	rm acél	23	0,057	0,058	0,057	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,057	0,057
	műanyag	24	0,060	0,060	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,060	0,060
Kripton + low-e	alumínium	25	0,056	0,056	0,055	0,055	0,055	0,056	0,055	0,055	0,055	0,055
	rm acél	26	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056
	műanyag	27	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059

14. táblázat: Pontbeli hőátbocsátási tényező süllyesztett fejű rögzítésnél

A számolt eredmények is azt mutatják, hogy a tányéros rögzítéshez képest nagyon kicsi az eltérés. Összeségében elmondható, hogy 5-10%-kal jobb a pontbeli hőátbocsátási tényező értéke.



45. ábra: Pontbeli hőátbocsátási tényező süllyesztett fejű rögzítésnél

A belső felületi minimum hőmérséklet értékei (15-16. táblázat).

Süllyesztett fejű rögzítés												
T _{min,int} , min. belső felületi hőmérséklet [C°]			Távtartó szélessége Hézagképzés típusa									
Gáztöltet + bevonat	Távtartó anyaga	Azonosító szám	12 mm		14 mm		16 mm		18 mm		20 mm	
			Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos
Levegő	alumínium	1	5,835	6,012	5,882	6,050	5,922	6,064	5,941	6,071	5,966	6,083
	rm acél	2	6,087	6,269	6,204	6,374	6,298	6,450	6,389	6,529	6,476	6,604
	műanyag	3*	7,647	7,652	7,696	7,712	7,696	7,683	7,694	7,703	7,694	7,695
Levegő + SNX	alumínium	4	6,067	6,256	6,127	6,310	6,174	6,342	6,198	6,346	6,222	6,360
	rm acél	5	6,293	6,502	6,424	6,628	6,533	6,713	6,635	6,799	6,734	6,888
	műanyag	6*	8,067	8,086	8,154	8,171	8,166	8,180	8,182	8,200	8,196	8,207
Levegő + low-e	alumínium	7	6,050	6,237	6,105	6,281	6,150	6,317	6,178	6,319	6,195	6,333
	rm acél	8	6,278	6,485	6,400	6,600	6,511	6,690	6,612	6,773	6,710	6,858
	műanyag	9*	8,033	8,052	8,101	8,117	8,122	8,125	8,133	8,150	8,141	8,154
Argon	alumínium	10	5,881	6,061	5,905	6,074	5,946	6,090	5,966	6,097	5,991	6,110
	rm acél	11	6,131	6,313	6,223	6,398	6,321	6,474	6,413	6,554	6,501	6,631
	műanyag	12*	7,724	7,733	7,736	7,752	7,735	7,725	7,736	7,753	7,738	7,740
Argon + SNX	alumínium	13	6,111	6,307	6,173	6,361	6,220	6,392	6,246	6,396	6,271	6,414
	rm acél	14	6,333	6,547	6,464	6,671	6,575	6,760	6,678	6,847	6,782	6,939
	műanyag	15*	8,158	8,178	8,245	8,262	8,259	8,274	8,277	8,296	8,294	8,307
Argon + low-e	alumínium	16	6,095	6,288	6,142	6,327	6,188	6,356	6,211	6,360	6,233	6,372
	rm acél	17	6,319	6,531	6,438	6,643	6,546	6,729	6,646	6,812	6,746	6,903
	műanyag	18*	8,125	8,144	8,185	8,200	8,195	8,211	8,208	8,226	8,219	8,231
Kripton	alumínium	19	5,902	6,084	5,928	6,098	5,971	6,115	5,990	6,122	6,005	6,127
	rm acél	20	6,150	6,335	6,242	6,420	6,343	6,498	6,436	6,579	6,523	6,657
	műanyag	21*	7,759	7,771	7,775	7,791	7,775	7,766	7,778	7,795	7,782	7,784
Kripton + SNX	alumínium	22	6,153	6,354	6,186	6,376	6,236	6,398	6,262	6,414	6,271	6,414
	rm acél	23	6,369	6,586	6,476	6,683	6,588	6,775	6,692	6,862	6,782	6,939
	műanyag	24*	8,244	8,253	8,274	8,291	8,291	8,306	8,308	8,327	8,294	8,307
Kripton + low-e	alumínium	25	6,128	6,327	6,158	6,344	6,203	6,372	6,228	6,377	6,249	6,389
	rm acél	26	6,348	6,563	6,451	6,658	6,560	6,744	6,661	6,829	6,762	6,921
	műanyag	27*	8,193	8,215	8,216	8,233	8,226	8,242	8,241	8,258	8,252	8,264

Az eredményeket színskálán értelmeztem, ahol a szélsőértékeket az alábbiak szerint vettem fel:

Legnagyobb érték
 Legkisebb érték
 Átlaghoz közeli érték

15. táblázat: Min. belső felületi hőmérséklet süllyesztett fejű rögzítés esetén

Süllyesztett fejű rögzítés												
T _{min,hézag} , min. hézag belső felületi hőmérséklet [C°]			Távtartó szélessége Hézagképzés típusa									
Gáztöltet + bevonat	Távtartó anyaga	Azonosító szám	12 mm		14 mm		16 mm		18 mm		20 mm	
			Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos
Levegő	alumínium	1	6,124	6,430	6,154	6,470	6,190	6,484	6,201	6,494	6,218	6,511
	rm acél	2	6,348	6,675	6,452	6,780	6,538	6,853	6,624	6,935	6,702	7,007
	műanyag	3	8,351	8,950	8,664	9,282	8,904	9,514	9,132	9,718	9,331	9,894
Levegő + SNX	alumínium	4	6,332	6,650	6,383	6,705	6,420	6,733	6,437	6,741	6,448	6,758
	rm acél	5	6,536	6,878	6,653	7,002	6,751	7,085	6,847	7,171	6,935	7,259
	műanyag	6	8,765	9,451	9,129	9,840	9,406	10,112	9,669	10,348	9,900	10,556
Levegő + low-e	alumínium	7	6,316	6,633	6,362	6,678	6,399	6,711	6,415	6,717	6,423	6,734
	rm acél	8	6,522	6,863	6,631	6,978	6,734	7,065	6,826	7,149	6,913	7,233
	műanyag	9	8,735	9,415	9,078	9,781	9,361	10,060	9,618	10,289	9,841	10,489
Argon	alumínium	10	6,166	6,474	6,175	6,491	6,212	6,506	6,224	6,517	6,240	6,535
	rm acél	11	6,386	6,715	6,470	6,801	6,558	6,875	6,645	6,957	6,724	7,030
	műanyag	12	8,434	9,052	8,708	9,336	8,951	9,571	9,182	9,778	9,384	9,957
Argon + SNX	alumínium	13	6,375	6,697	6,426	6,751	6,465	6,779	6,482	6,789	6,494	6,807
	rm acél	14	6,572	6,919	6,689	7,041	6,790	7,126	6,883	7,214	6,976	7,304
	műanyag	15	8,846	9,547	9,213	9,939	9,496	10,218	9,767	10,459	10,002	10,672
Argon + low-e	alumínium	16	6,360	6,679	6,397	6,720	6,434	6,745	6,449	6,754	6,458	6,769
	rm acél	17	6,559	6,905	6,665	7,015	6,763	7,098	6,857	7,183	6,945	7,270
	műanyag	18	8,817	9,512	9,157	9,874	9,434	10,145	9,696	10,379	9,925	10,584
Kripton	alumínium	19	6,185	6,496	6,196	6,514	6,234	6,529	6,246	6,540	6,251	6,549
	rm acél	20	6,404	6,734	6,487	6,821	6,579	6,896	6,665	6,979	6,744	7,054
	műanyag	21	8,473	9,098	8,750	9,387	8,997	9,626	9,231	9,837	9,436	10,018
Kripton + SNX	alumínium	22	6,414	6,739	6,439	6,765	6,480	6,783	6,497	6,805	6,494	6,807
	rm acél	23	6,603	6,956	6,700	7,053	6,802	7,139	6,897	7,228	6,976	7,304
	műanyag	24	8,920	9,635	9,239	9,970	9,526	10,251	9,798	10,495	10,002	10,672
Kripton + low-e	alumínium	25	6,391	6,714	6,412	6,736	6,449	6,761	6,464	6,771	6,474	6,785
	rm acél	26	6,584	6,934	6,677	7,029	6,776	7,112	6,868	7,198	6,959	7,286
	műanyag	27	8,877	9,583	9,186	9,908	9,464	10,180	9,729	10,417	9,959	10,623

Az eredményeket színskálán értelmeztem, ahol a szélsőértékeket az alábbiak szerint vettem fel:

Legnagyobb érték
 Legkisebb érték
 Átlaghoz közeli érték

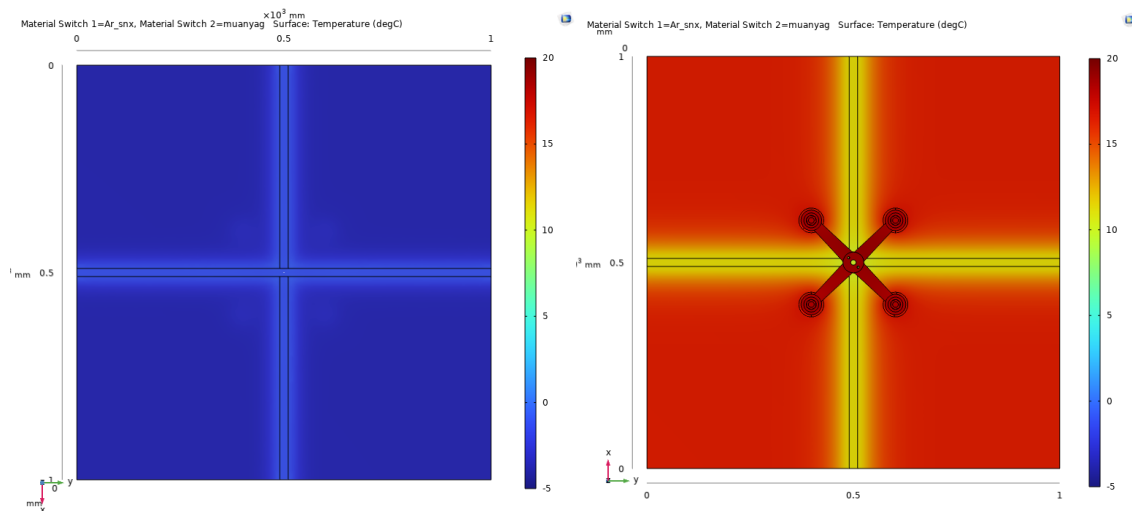
16. táblázat: Min. belső felületi hőmérséklet a hézagképzésnél, süllyesztett fejű rögzítés esetén

A hőmérséklettel kapcsolatos megállapítások:

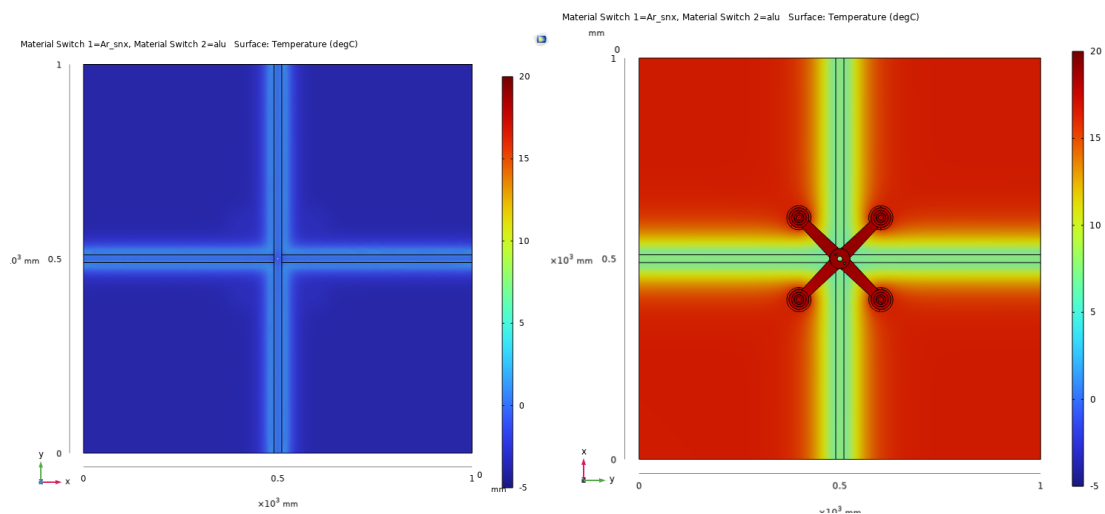
- A min. belső felületi hőmérséklet az üveg min. belső hőmérsékletével lesz egyenlő, kivéve a műanyag távtartós esetekben. Az üvegösszetétel azonosítóját egy „*” jelöltem.
- Az értékek a tányéros rögzítés hőmérsékleteihez képest (12-13. táblázat) kis mértékben növekedtek.
- Műanyag távtartó esetén számít a legtöbbet a távtartó szélességének változása, mert több °C hőmérséklet növekedés is elérhető. (15-16. táblázat)

5.1.3 Rejtett rögzítés

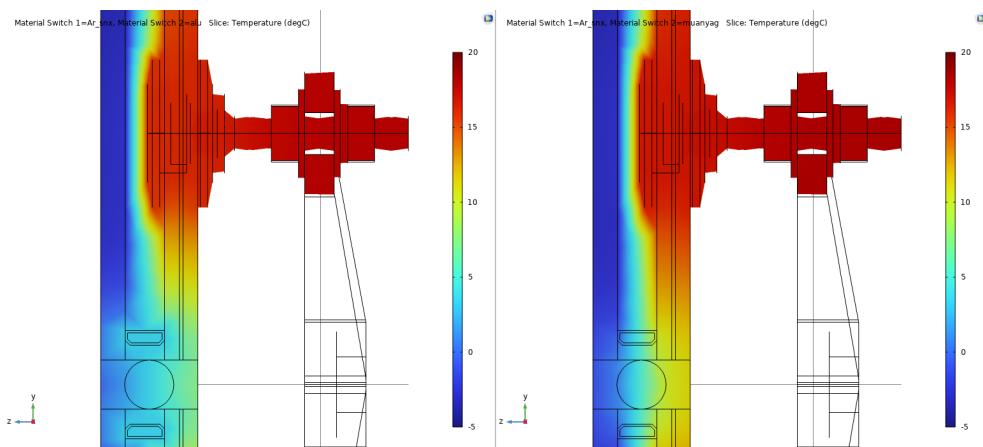
A képeken látható (46-48. ábra), hogy a rejtett rögzítés szinte elhanyagolható hatása van a hézagképzésre és annak környezetére. A kialakítás miatt a külső oldalon a rögzítésnél a hőveszteség közel nulla értéket mutat.



46. ábra: Hőmérséklet eloszlás műanyag távtartóval, Argon + SNX esetben (elől- és hátulnézet)



47. ábra: Hőmérséklet eloszlás alumínium távtartóval, Argon + SNX esetben (elől- és hátulnézet)



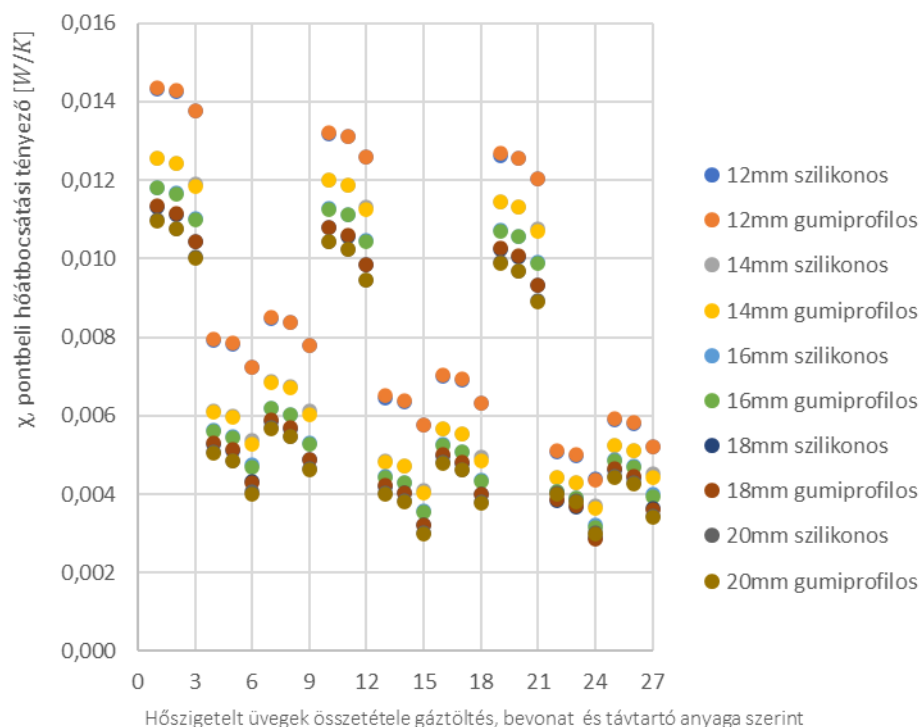
48. ábra: Hőmérséklet eloszlás metszeten, Argon + SNX esetben
alumínium (bal) és műanyag (jobb) távtartóval

A kapott eredményeket táblázatban foglaltam össze, így számszerűen is látni lehet a változásokat az egyes paramétereknél.

χ , pontbeli hőátbocsátási tényező [W/K]			Rejtett rögzítés									
			Távtartó szélessége Hézagképzés típusa									
			12		14		16		18		20	
Gáztöltet + bevonat	Távtartó anyaga	Azonosító szám	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos
Levegő	alumínium	1	0,014	0,014	0,013	0,013	0,012	0,012	0,011	0,011	0,011	0,011
	rm acél	2	0,014	0,014	0,012	0,012	0,012	0,012	0,011	0,011	0,011	0,011
	műanyag	3	0,014	0,014	0,012	0,012	0,011	0,011	0,010	0,010	0,010	0,010
Levegő + SNX	alumínium	4	0,008	0,008	0,006	0,006	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005
	rm acél	5	0,008	0,008	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	műanyag	6	0,007	0,007	0,005	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004
Levegő + low-e	alumínium	7	0,008	0,009	0,007	0,007	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
	rm acél	8	0,008	0,008	0,007	0,007	0,006	0,006	0,006	0,006	0,005	0,005
	műanyag	9	0,008	0,008	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Argon	alumínium	10	0,013	0,013	0,012	0,012	0,011	0,011	0,011	0,011	0,010	0,010
	rm acél	11	0,013	0,013	0,012	0,012	0,011	0,011	0,011	0,011	0,010	0,010
	műanyag	12	0,013	0,013	0,011	0,011	0,010	0,010	0,010	0,010	0,009	0,009
Argon + SNX	alumínium	13	0,006	0,006	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
	rm acél	14	0,006	0,006	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
	műanyag	15	0,006	0,006	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003
Argon + low-e	alumínium	16	0,007	0,007	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	rm acél	17	0,007	0,007	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	műanyag	18	0,006	0,006	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
Krypton	alumínium	19	0,013	0,013	0,011	0,011	0,011	0,011	0,010	0,010	0,010	0,010
	rm acél	20	0,013	0,013	0,011	0,011	0,011	0,011	0,010	0,010	0,010	0,010
	műanyag	21	0,012	0,012	0,011	0,011	0,010	0,010	0,009	0,009	0,009	0,009
Krypton + SNX	alumínium	22	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
	rm acél	23	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
	műanyag	24	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Krypton + low-e	alumínium	25	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004
	rm acél	26	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004
	műanyag	27	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003

17. táblázat: Pontbeli hőátbocsátási tényező rejtett rögzítésnél

A számolt eredmények az eddigiekhez képest nagyobb szórást ad, de a tartomány, amiben értéket vehet fel nagyon alacsony. Jól látszik, hogy ennél a rögzítésnél már jelentősen számít, hogy az üvegen valamilyen bevonat réteg legyen. A bevonatos eredmények közel a tizedére csökkentek.



18. táblázat: Pontbeli hőátbocsátási tényező rejtett rögzítésnél

A belső felületi minimum hőmérséklet értékei (19-20. táblázat).

T _{min,int} , min. belső felületi hőmérséklet [°C]			Rejtett rögzítés									
			Távtartó szélessége Hézagképzés típusa									
Gáztöltet + bevonat	Távtartó anyaga	Azonosító szám	12 mm		14 mm		16 mm		18 mm		20 mm	
			Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos
Levegő	alumínium	1	6,008	6,181	6,075	6,226	6,102	6,241	6,117	6,263	6,127	6,274
	rm acél	2	6,249	6,444	6,388	6,563	6,490	6,654	6,591	6,737	6,684	6,819
	műanyag	3	8,424	8,938	8,776	9,306	9,046	9,556	9,284	9,774	9,498	9,963
Levegő + SNX	alumínium	4	6,328	6,533	6,406	6,605	6,448	6,623	6,473	6,641	6,490	6,652
	rm acél	5	6,544	6,772	6,710	6,916	6,824	7,018	6,940	7,114	7,034	7,205
	műanyag	6	8,986	9,621	9,406	10,069	9,715	10,366	9,996	10,624	10,246	10,848
Levegő + low-e	alumínium	7	6,313	6,504	6,366	6,554	6,416	6,588	6,436	6,603	6,450	6,611
	rm acél	8	6,521	6,746	6,673	6,876	6,793	6,985	6,905	7,076	6,998	7,164
	műanyag	9	8,943	9,569	9,334	9,985	9,652	10,292	9,925	10,541	10,165	10,756
Argon	alumínium	10	6,073	6,249	6,105	6,260	6,134	6,275	6,149	6,296	6,159	6,307
	rm acél	11	6,305	6,512	6,417	6,596	6,518	6,687	6,622	6,772	6,716	6,854
	műanyag	12	8,531	9,070	8,832	9,376	9,105	9,630	9,348	9,852	9,565	10,044
Argon + SNX	alumínium	13	6,399	6,604	6,474	6,664	6,517	6,695	6,545	6,713	6,558	6,723
	rm acél	14	6,606	6,841	6,771	6,984	6,886	7,088	6,998	7,184	7,100	7,277
	műanyag	15	9,104	9,762	9,527	10,212	9,844	10,516	10,133	10,780	10,390	11,011
Argon + low-e	alumínium	16	6,373	6,580	6,429	6,618	6,470	6,646	6,492	6,661	6,506	6,669
	rm acél	17	6,583	6,816	6,731	6,939	6,844	7,040	6,958	7,133	7,050	7,221
	műanyag	18	9,061	9,710	9,448	10,118	9,755	10,413	10,034	10,667	10,280	10,887
Kripton	alumínium	19	6,103	6,279	6,130	6,293	6,165	6,308	6,180	6,329	6,191	6,341
	rm acél	20	6,333	6,543	6,441	6,628	6,548	6,719	6,651	6,806	6,747	6,888
	műanyag	21	8,581	9,132	8,887	9,444	9,161	9,702	9,410	9,928	9,631	10,124
Kripton + SNX	alumínium	22	6,464	6,673	6,496	6,687	6,540	6,718	6,569	6,736	6,558	6,723
	rm acél	23	6,664	6,906	6,791	7,006	6,906	7,111	7,019	7,207	7,100	7,277
	műanyag	24	9,213	9,890	9,566	10,256	9,887	10,565	10,179	10,831	10,390	11,011
Kripton + low-e	alumínium	25	6,426	6,632	6,452	6,642	6,493	6,669	6,518	6,685	6,528	6,692
	rm acél	26	6,630	6,868	6,752	6,962	6,864	7,063	6,980	7,158	7,072	7,245
	műanyag	27	9,148	9,815	9,488	10,166	9,798	10,463	10,080	10,720	10,329	10,941

Az eredményeket színskálán értelmeztem, ahol a szélsőértékeket az alábbiak szerint vettem fel:

Legnagyobb érték Legkisebb érték Átlaghoz közeli érték

19. táblázat: Min. belső felületi hőmérséklet, rejtett rögzítés esetén

Rejtett rögzítés												
T _{min} , hézag, min. hézag belső felületi hőmérséklet [C°]			Távtartó szélessége Hézagképzés típusa									
Gáztöltet + bevonat	Távtartó anyaga	Azonosító szám	12 mm		14 mm		16 mm		18 mm		20 mm	
			Szilikonos	Gumiprofilo	Szilikonos	Gumiprofilo	Szilikonos	Gumiprofilo	Szilikonos	Gumiprofilo	Szilikonos	Gumiprofilos
Levegő	aluminium	1	6,276	6,591	6,336	6,636	6,356	6,649	6,368	6,674	6,372	6,688
	rm acél	2	6,501	6,840	6,627	6,955	6,722	7,047	6,811	7,128	6,899	7,210
	műanyag	3	8,516	9,138	8,853	9,498	9,117	9,745	9,351	9,961	9,557	10,150
Levegő + SNX	aluminium	4	6,574	6,907	6,642	6,981	6,676	6,997	6,699	7,015	6,707	7,028
	rm acél	5	6,772	7,135	6,922	7,274	7,030	7,375	7,137	7,470	7,224	7,558
	műanyag	6	9,050	9,766	9,461	10,200	9,763	10,489	10,039	10,745	10,283	10,965
Levegő + low-e	aluminium	7	6,559	6,880	6,604	6,931	6,645	6,964	6,665	6,979	6,669	6,989
	rm acél	8	6,752	7,112	6,888	7,238	7,001	7,345	7,105	7,434	7,190	7,521
	műanyag	9	9,007	9,718	9,391	10,122	9,702	10,421	9,970	10,668	10,205	10,879
Argon	aluminium	10	6,333	6,651	6,363	6,667	6,385	6,680	6,398	6,705	6,400	6,718
	rm acél	11	6,552	6,899	6,654	6,984	6,749	7,075	6,841	7,159	6,930	7,242
	műanyag	12	8,617	9,259	8,908	9,562	9,174	9,813	9,412	10,033	9,621	10,224
Argon + SNX	aluminium	13	6,641	6,974	6,706	7,035	6,741	7,065	6,766	7,084	6,771	7,095
	rm acél	14	6,830	7,197	6,979	7,335	7,088	7,438	7,190	7,531	7,287	7,623
	műanyag	15	9,164	9,896	9,579	10,334	9,888	10,631	10,171	10,893	10,422	11,119
Argon + low-e	aluminium	16	6,616	6,951	6,664	6,992	6,696	7,019	6,717	7,034	6,722	7,043
	rm acél	17	6,809	7,175	6,941	7,294	7,048	7,394	7,155	7,487	7,239	7,573
	műanyag	18	9,122	9,848	9,502	10,245	9,802	10,533	10,075	10,785	10,316	11,002
Kripton	aluminium	19	6,361	6,679	6,384	6,697	6,412	6,710	6,427	6,733	6,428	6,749
	rm acél	20	6,578	6,925	6,676	7,011	6,777	7,103	6,869	7,188	6,960	7,271
	műanyag	21	8,664	9,316	8,960	9,624	9,227	9,880	9,472	10,104	9,685	10,297
Kripton + SNX	aluminium	22	6,703	7,038	6,726	7,056	6,763	7,087	6,787	7,106	6,771	7,095
	rm acél	23	6,884	7,255	6,997	7,354	7,107	7,459	7,210	7,552	7,287	7,623
	műanyag	24	9,270	10,016	9,617	10,376	9,929	10,677	10,214	10,941	10,422	11,119
Kripton + low-e	aluminium	25	6,666	7,000	6,685	7,014	6,718	7,040	6,741	7,058	6,743	7,065
	rm acél	26	6,852	7,221	6,961	7,315	7,067	7,415	7,175	7,510	7,260	7,595
	műanyag	27	9,208	9,945	9,541	10,291	9,843	10,580	10,120	10,835	10,362	11,053

Az eredményeket színskálán értelmeztem, ahol a szélsőértékeket az alábbiak szerint vettem fel:

Legnagyobb érték Legkisebb érték Átlaghoz közeli érték

20. táblázat: Min. belső felületi hőmérséklet a hézagképzésnél, rejtett rögzítés esetén

A hőmérséklettel kapcsolatos megállapítások:

- A min. belső felületi hőmérséklet az üveg min. belső hőmérsékletével lesz egyenlő.
- Az értékek az eddigi rögzítés típusok hőmérsékleteihez képest (12-13. táblázat) kis mértékben növekedtek.
- Műanyag távtartó esetén számít a legtöbbet a távtartó szélességének változása, mert több °C hőmérséklet növekedés is elérhető. (15-16. táblázat)

5.2 Összegző megállapítások és az adatok felhasználása

Igyekeztem az egyes eredménytípusokat hasonlóképpen dokumentálni, hogy egyértelműen össze lehessen hasonlítani őket. Az egész kutatást figyelembe véve az összegző megállapításaim:

- A nemesgáz mellett, a bevonat jelentősen javítja az üvegszerkezet hőátbocsátási tényezőjét.
- A hézagképzés típusai kis mértékben térnek el egymástól az eredményeket tekintve.
- A vonalmenti hőátbocsátási tényező értékére a bevonat nélküli üvegek hozzák a legjobb eredményt, ez annak is köszönhető, hogy ilyenkor az alap üveg hőátbocsátása olyan nagy, hogy a hézagra jutó hőáram mellette kicsi lesz.
- Vonalmenti hőátbocsátási tényező értéke műanyag távtartónál a legkedvezőbb, és számít a távtartó szélessége is, növelésével javulás tapasztalható.
- Hézagképzés vizsgálatánál a belső felületi min. hőmérséklet az üveg belső min. hőmérsékletével lesz egyenlő. Műanyag távtartó és a távtartó szélességének növelése javítja a hőmérsékletet.
- Hőtechnikailag a rejtett pontmegfogás adta a legjobb eredményt, majd a süllyesztett fejű és végül a tányérosan átfogó. Itt már statikai szerepet is számításba kell venni, mert a tányéros rögzítés esetén alakulnak ki a legkisebb feszültségcsúcsok.
- A tányérosan átfogó és a süllyesztett fejű rögzítés pontbeli hőátbocsátási tényező értéke a bevonat nélküli üvegek esetén volt a legkedvezőbb. Rejtett megfogásnál a bevonatos üvegek adják a legjobb eredményt (akár a tizedére is csökkenhet). Egyiknél sem számít a távtartó anyaga és szélessége, mert nagyon kis mértékben befolyásolja az eredményeket.
- A belső min. hőmérséklet a legtöbb esetben itt is az üveg belső min. hőmérsékletével lesz egyenlő (kivéve a tányéros és süllyesztett rögzítésnél és akkor is csak műanyag távtartó esetén). A hőmérséklet javítható, ha a jobb üvegösszetételt választjuk, távtartó szempontjából a műanyag a legjobb, a szélesség viszont nem befolyásolja nagy mértékben.

- Mindegyik esetben várható páralecsapódás, mert a belső felületi min. hőmérséklet egyik esetben sem éri el a határértéket, így a hőmérséklet tényező a megengedett érték alatt lesz.

A kapott pontbeli hőátbocsátási tényezők jó közelítést adnak egy darab rögzítésre. Ha egy homlokzat az átlagos hőátbocsátást szeretnénk meghatározni, akkor az alábbi módon kell ezt figyelembe venni:

$$\Delta U_{f,cw} = n_{f,cw} \cdot \chi$$

$\Delta U_{f,cw}$, a rögzítésekre vonatkozó pontbeli hőátbocsátási tényező, függönyfalnál (curtain wall)

$n_{f,cw}$, az egy négyzetméterre jutó rögzítések száma

5.3 Összehasonlítás a mechanikus rögzítőelemek korrekciós tényezőjének számításával

Az MSZ EN ISO 6946 szabvány megadja a mechanikus rögzítőelem korrekciós tényező közelítő számítását:

$$\Delta U_f = \alpha \cdot \frac{\lambda_f \cdot A_f \cdot n_f}{d_1} \cdot \left(\frac{R_1}{R_{tot}}\right)^2$$

$\alpha = 0.8$, a rögzítőelem teljesen átszúrja a hőszigetelést adó réteget

$\alpha = 0.8 \cdot \frac{d_0}{d_1}$, süllyesztett rögzítőelem esetén

λ_f , a rögzítés hővezetési tényezője, minden esetben $\lambda_f = 17 \text{ W/mK}$

A_f , a rögzítés keresztmetszeti területe, Ø36 furat esetén $A_f = 1,0179 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

n_f , a rögzítőelemek száma, most 1 darabra számolom ki az összehasonlításhoz

d_0 , a rögzítőelemet tartalmazó hőszigetelés vastagsága

d_1 , a hőszigetelő réteget átszűrő rögzítőelem hossza

R_1 , a rögzítőelemek által átszűrt hőszigetelő réteg hővezetési ellenállása, $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

R_{tot} , a szerkezet hőhídhátas nélkül számított hővezetési ellenállása, $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

Kétféle módon számítottam ki ezt az értéket, az első, amikor a közbenső légrétegem a hőszigetelő réteg (így a rejtett megfogást nem lehet értelmezni), a második eset, amikor a teljes üvegrétegrendet veszem hőszigetelő rétegrendnek. Mindkét esetben a pontmegfogó teljesen átszűri a szigetelést. A d_1 vastagság lesz eltérő, mert mászt vettem a hőszigetelő rétegrendnek és a $\frac{R_1}{R_{tot}}$ értéke (második esetben ez a hányados 1).

$\Delta U_f [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$	Üvegvastagságok				
	0,03552 m	0,03752 m	0,03952 m	0,04152 m	0,04352 m
	Távtartó vastagságok				
	0,012 m	0,014 m	0,016 m	0,018 m	0,02 m
Levegő	0,901245	0,784526	0,687934	0,610187	0,549168
Levegő+ SNX 60	1,085584	0,950159	0,83139	0,739013	0,665112
Levegő+ low-e	1,072163	0,93355	0,819492	0,72766	0,654191
Argon	0,928827	0,804186	0,702268	0,624238	0,560693
Argon+ SNX 60	1,119332	0,976942	0,854825	0,759844	0,68386
Argon+ low-e	1,107415	0,959428	0,838702	0,744802	0,669679
Krypton	0,947378	0,810483	0,709173	0,62916	0,566244
Krypton+ SNX 60	1,14943	0,985226	0,862072	0,766287	0,68386
Krypton+ low-e	1,131775	0,968349	0,846538	0,751793	0,675995

21. táblázat: Első módszer átfogó és színelő rögzítés típusnál

	Üvegvastagságok távtartó szelességek esetén				
	0,03552 m	0,03752 m	0,03952 m	0,04152 m	0,04352 m
ΔU_f [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]	0,4131306	0,3911087	0,3713158	0,3534297	0,3371875

22. táblázat: Második módszer átfogó és színelő rögzítés típusnál

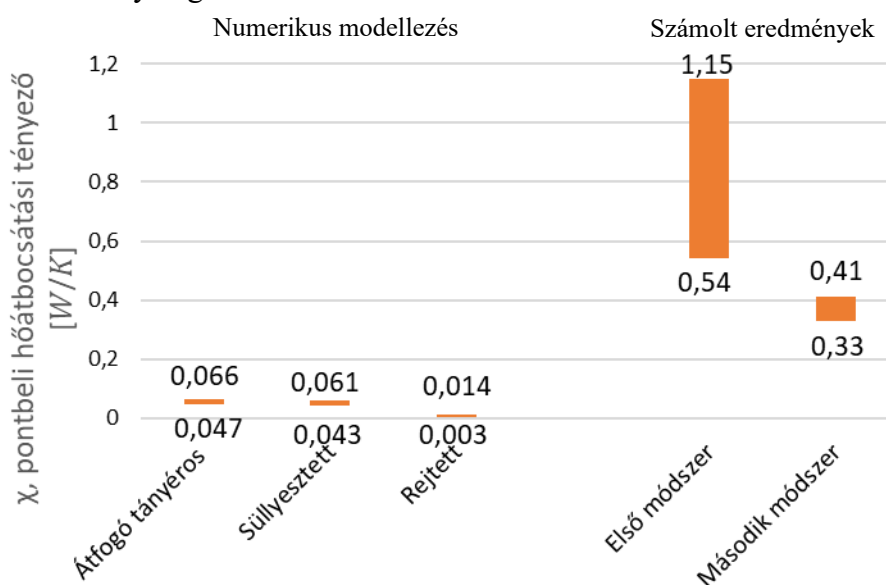
Rejtett rögzítést csak a második módszer alapján lehet figyelembe venni. Ahol a belső 6.6.4 ESG-H üveget veszem átszűrt rétegrendnek.

$\Delta U_f [W/(m^2 \cdot K)]$	Üvegvastagságok távtartó szelességei esetén				
	0,03552 m	0,03752 m	0,03952 m	0,04152 m	0,04352 m
Levegő	0,00351	0,003188	0,003144	0,003188	0,003188
Levegő+ SNX 60	0,000586	0,000402	0,000402	0,000402	0,000402
Levegő+ low-e	0,00071	0,000555	0,000525	0,000535	0,000545
Argon	0,002893	0,002699	0,002737	0,002737	0,002775
Argon+ SNX 60	0,000328	0,00021	0,00021	0,00021	0,00021
Argon+ low-e	0,00041	0,000328	0,000335	0,000342	0,000349
Kripton	0,002516	0,002552	0,002552	0,002588	0,002588
Kripton+ SNX 60	0,000163	0,000163	0,000163	0,000163	0,00021
Kripton+ low-e	0,000253	0,000264	0,00027	0,000276	0,000282

23. táblázat: Második módszer rejtett rögzítés típusnál

A szabvány leírja, hogy ilyenkor a képlet nem alkalmazható, mert a rögzítőelem fémese része mindkét vége fémlemezrel van termikus kapcsolatban. Az eredmények alapján (21-23. táblázat) is elmondható, hogy még közelítés szintjén sem lehet alkalmazni, mert akár nagyságrendekkel is eltérhet a numerikus modell eredményéhez képest.

Az eredmények grafikonos szemléltetése:



49. ábra: Numerikus és a számolt eredmények összehasonlítása

6 Gazdasági szempont

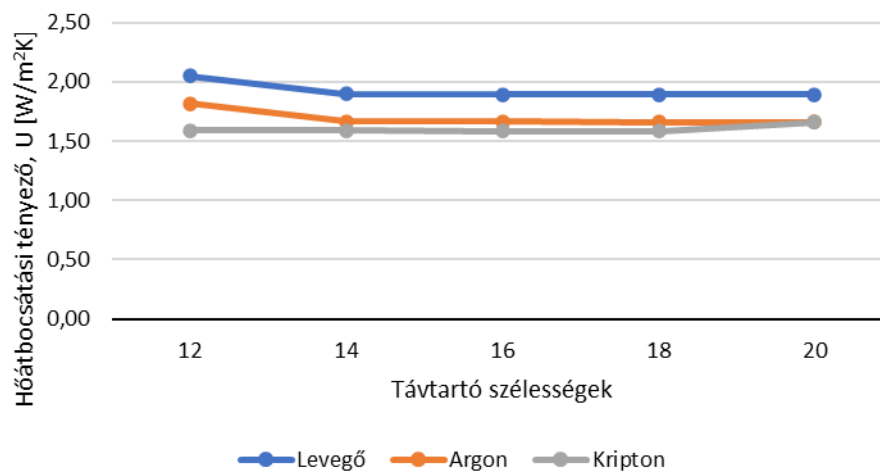
A gazdaságosság kérdése már a tervezési fázisban felmerül, a különböző műszaki jellemzőket, mint paramétereket hasonlítom össze az árszintek szerint. Ehhez a konzulensem által kértem segítséget az Orosházas Kft. -től. A pontmegfogó szerelvényekhez pedig a SADEV külföldi céget kerestem fel. A pontmegfogó szerelvények árajánlatára nem kaptam választ. Az Orosházas Kft.-től 1 m² összeépített üvegről kaptam ajánlatot, melyben különböző paraméterek árhatását adták meg százalékosan.

Az alábbi összehasonlítások alapján értékelném a kapott árakat, árkülönbségeket. A távtartó anyag és szélesség szerint. A gáztöltés és a bevonat típusa. Az összehasonlításhoz a numerikus vizsgálatból kapott „U” értékeket néztem, mert a hézagképzés vonalmenti hőátbocsátásnak értékelése nem adna releváns eredményt. Ezt igazolja a korábbi megállapításaim:

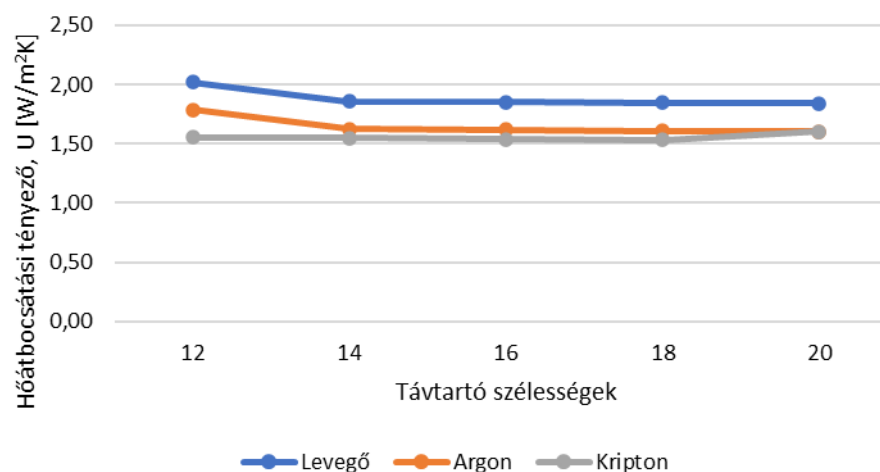
- A bevonat nélküli üvegek hozzák a legjobb eredményt a vonalmenti hőátbocsátási tényező értékére, ez annak is köszönhető, hogy ilyenkor az alap üveg hőátbocsátása olyan nagy, hogy a hézagra jutó hőáram mellette kicsi lesz.

A gumiprofilos és a kétoldali szilikon tömítés hézagképzés eredményei között átlagosan 1-1,5% eltérés van. Ez nem számottevő és itt figyelembe kell venni a kivitelezés idejét, szükséges szakértelmet és az időjárási körülményeket.

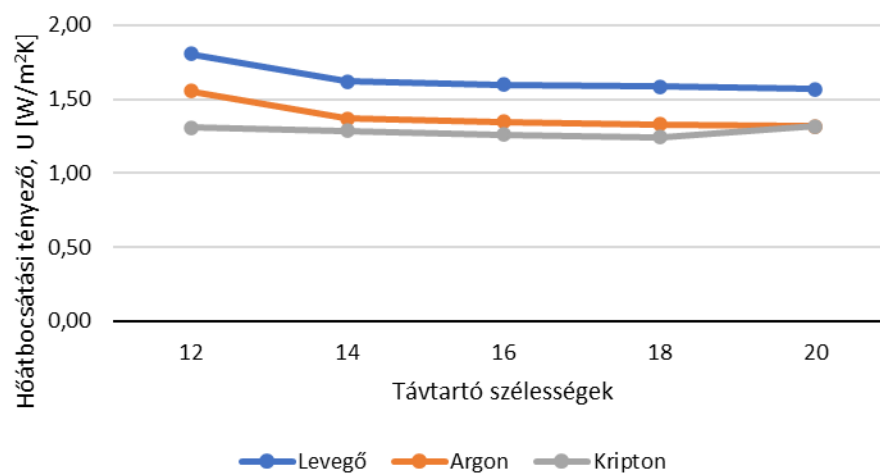
A gáztöltés típusok eredményét szemléltetem távtartószélesség szerint. A különböző távtartókhoz és bevonatokhoz külön ábrákat csináltam.



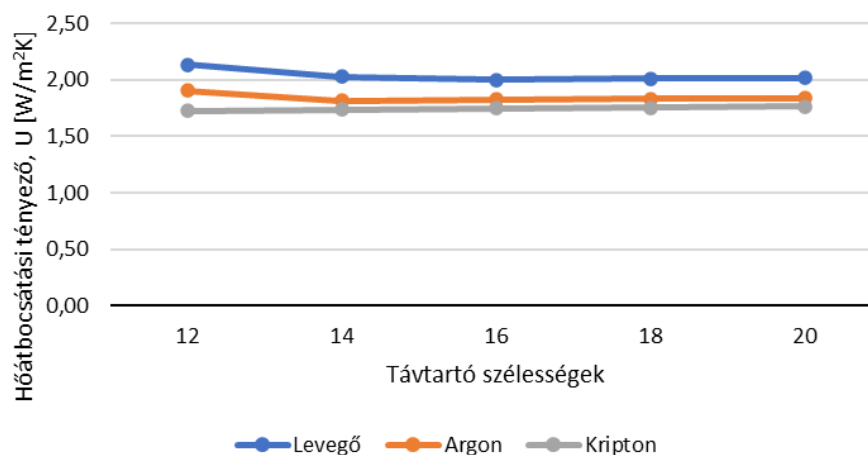
50. ábra: Teljesítőképesség vizsgálata SNX bevonat, alu távtartó és eltérő töltőgáz esetén



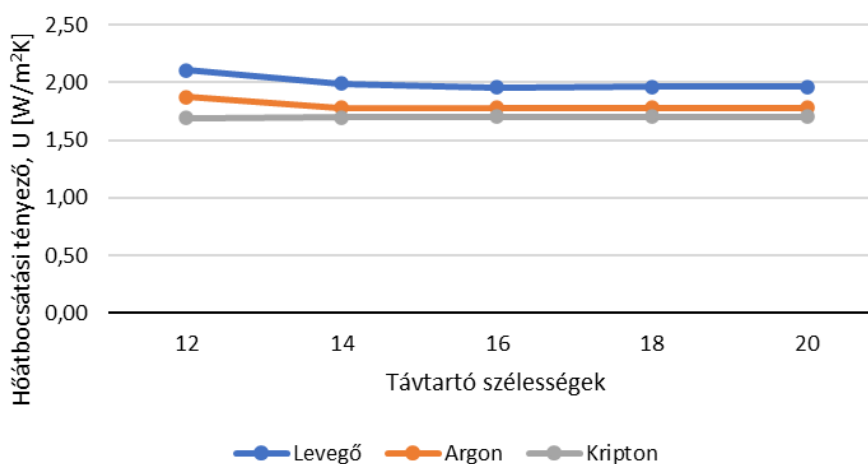
51. ábra: Teljesítőképesség vizsgálata SNX bevonat, rm acél távtartó és eltérő töltőgáz esetén



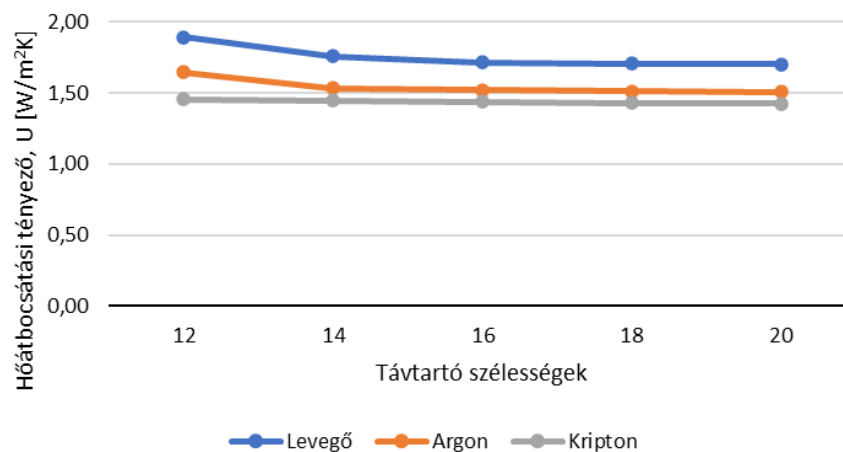
52. ábra: Teljesítőképesség vizsgálata SNX bevonat, műanyag távtartó és eltérő töltőgáz esetén



53. ábra: Teljesítőképesség vizsgálata low-e bevonat, alu távtartó és eltérő töltőgáz esetén

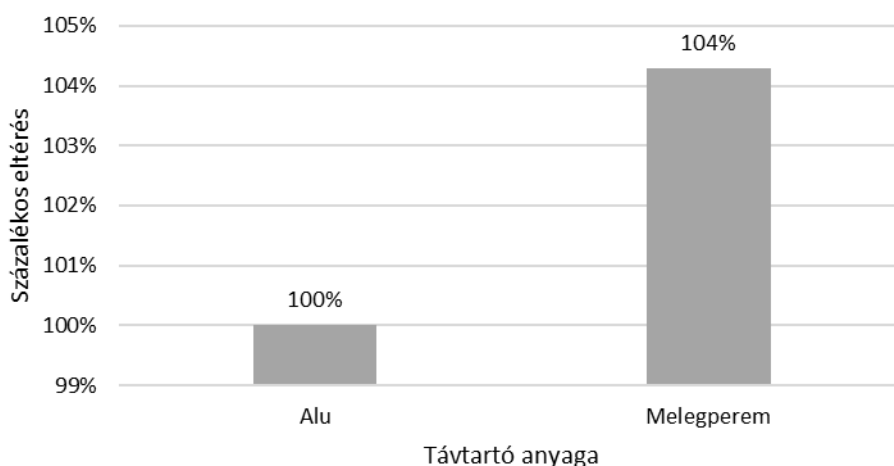


54. ábra: Teljesítőképesség vizsgálata low-e bevonat, rm acél távtartó és eltérő töltőgáz esetén



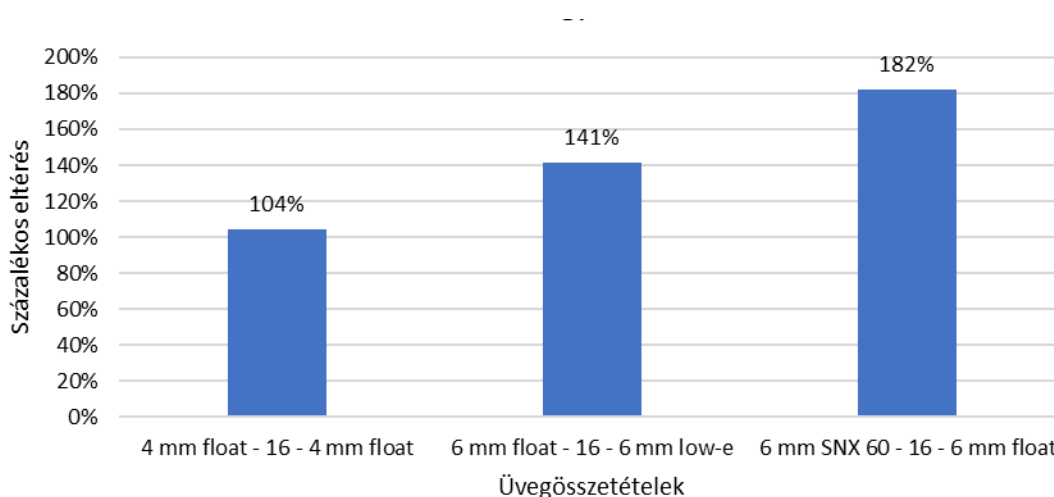
55. ábra: Teljesítőképesség vizsgálata low-e bevonat, műanyag távtartó és eltérő töltőgáz esetén

Az árajánlatban a százalékos eltérést egy alapüveghez képest adták meg, melynek felépítése 4 mm float – 16 mm Ar, alu légrés – 4 mm float. Ez tekinthető 100%-nak.



56. ábra: Távtartó anyagának a hatása

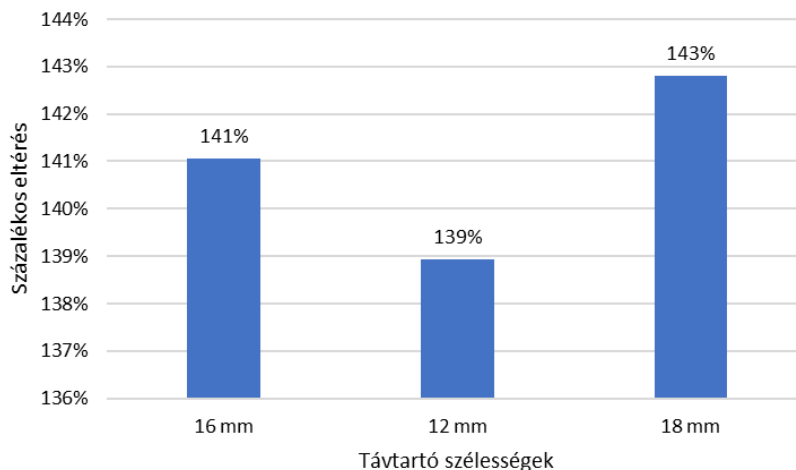
A műanyag, melegperemes távtartó alkalmazásával jelentős javulás várható, csak a hézagot figyelembe véve az egységnyi üvegfelület megfelel az energetikai követelményeknek (üveghomlokzatot tekintve a legkedvezőtlenebb helyen). Az árakat tekintve 4% az eltérés az alumínium és a melegperem között, ez gazdasági szempontból kedvező.



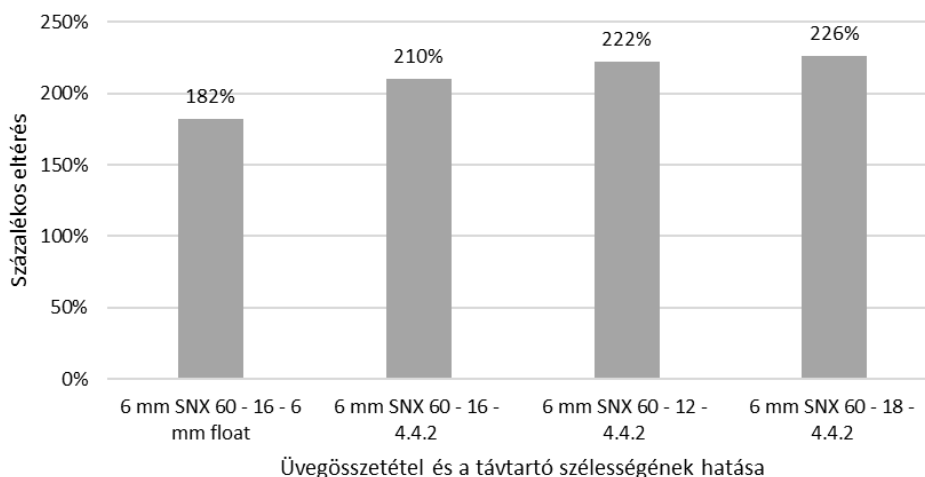
57. ábra: Bevonatok ár hatása melegperemes távtartóval

Az ábrákat és a kutatásban lévő táblázatokat tekintve a low-e bevonatos üvegek kicsivel rosszabb eredményt adnak, mint a napvédő bevonattal rendelkezők. Az SNX

bevonat a szelektivitási indexet is növeli, ezért egy bizonyos árszintig megéri a befektetett összeget.



58. ábra: Távtartó szélességének hatása low-e bevonatos üvegek esetén



59. ábra: Üvegösszetétel és a távtartó szélességének hatása

Látható, hogy a low-e bevonatos üvegek esetén a 12 mm távtartó minimálisan olcsóbb, viszont nagy mértékű javulás várható, ha 16 mm szélességet alkalmazunk. Az SNX esetén szemléltettem a biztonsági és a float üvegek közötti árkülönbségeket. Itt a 16 mm-es távtartó a legkedvezőbb ár szempontjából.

A Krypton gazdaságtalan ezért Magyarországon nem szokták alkalmazni se ajánlani. Az előfordulása a légkörben kisebb és az előállítása költsége magasabb, mint az Argonnak. Továbbá az ábrákon látszódik, hogy az Argon gáz csak kicsivel rosszabb eredményt ad, mint a Krypton.

7 Termovíziós vizsgálat

7.1 Az épület bemutatása

A vizsgált épület konzulensem, Dr. Stocker György egyik korábbi munkája, Budapest, IX ker., Lechner Ödön fasor 3 szám alatt található Castrum ház épülete (60. ábra). Az építés éve: 2006. Funkcióját tekintve vegyesnek mondható, a felső szinteken lakások, alatta irodák vannak. A főbejárat egy előcsarnokba vezet, amely kétoldali pontmegfogásos üveghomlokzattal van kialakítva. Ezt az üveghomlokzatot vizsgáltam. [31][32]



60. ábra: Castrumház, feszített hátszerkezetű üvegfal, Budapest [31]

7.2 Alapfogalmak

A termovíziós vizsgálatot Testo hőkamerával végeztem el Dr. Nagy Balázs segítségével. A hőkamerák a hosszú hullámú infra sugárzást mérik, ez alapján lehet a felület hőmérsékletét meghatározni. Passzív érintésmentes eljárás. A vizsgálat a mért felület emissziós tényezőjének és a reflektált hőmérsékletek figyelembevételével történik. A hőkamerával rögzített sugárzás a vizsgált felületen a kibocsátott, visszavert és áteresztett infravörös sugárzásból áll. [33]

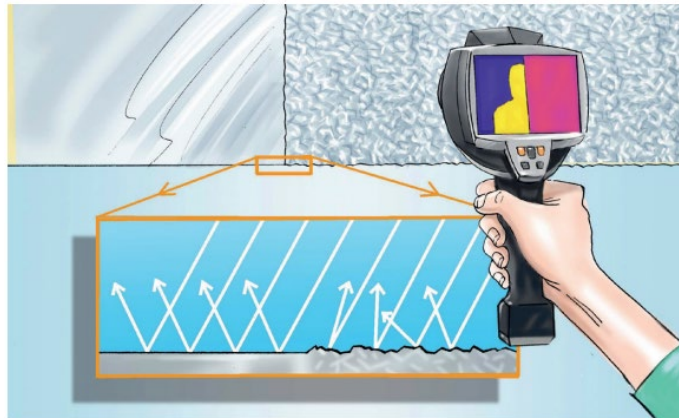
Emisszió (ϵ)

Az anyagok infravörös sugárzást kibocsátó képessége. Függ a test tulajdonságaitól, a mérési hőmérséklettől és a vizsgálat során használt hőkamera beállításaitól. A fekete test emissziós tényezője $\epsilon = 1$, ami azt jelenti, hogy a test maximális elnyelőképességű és maximális energia kibocsátó is. A testek hősugárzását az abszolút fekete testéhez viszonyítjuk, ez lesz a relatív emisszióképesség (feketeségi fok).

A viszonyításból következik, hogy a valós testek: $\varepsilon < 1$. A nem fémes anyagok esetén ez az érték általában $\varepsilon = 0,8-0,95$, fém felületek esetén $\varepsilon = 0,1-0,2$. [33][34]

Reflexió

Az anyagok infravörös sugárzást visszaverő képessége. A visszaverő képesség függ a felület kialakításától, hőmérsékletétől és anyagtól. A sima, csiszolt felületek erősebben tükröződnek, mint az azonos anyagú durva (matt) felületek. A visszatükröződő infravörös sugárzás szöge mindig megegyezik a beesési szögével (61. ábra). Ez a diffúz reflexió vezet ahhoz, hogy a visszavert infravörös sugárforrások körvonalai nem ismerhetők fel.

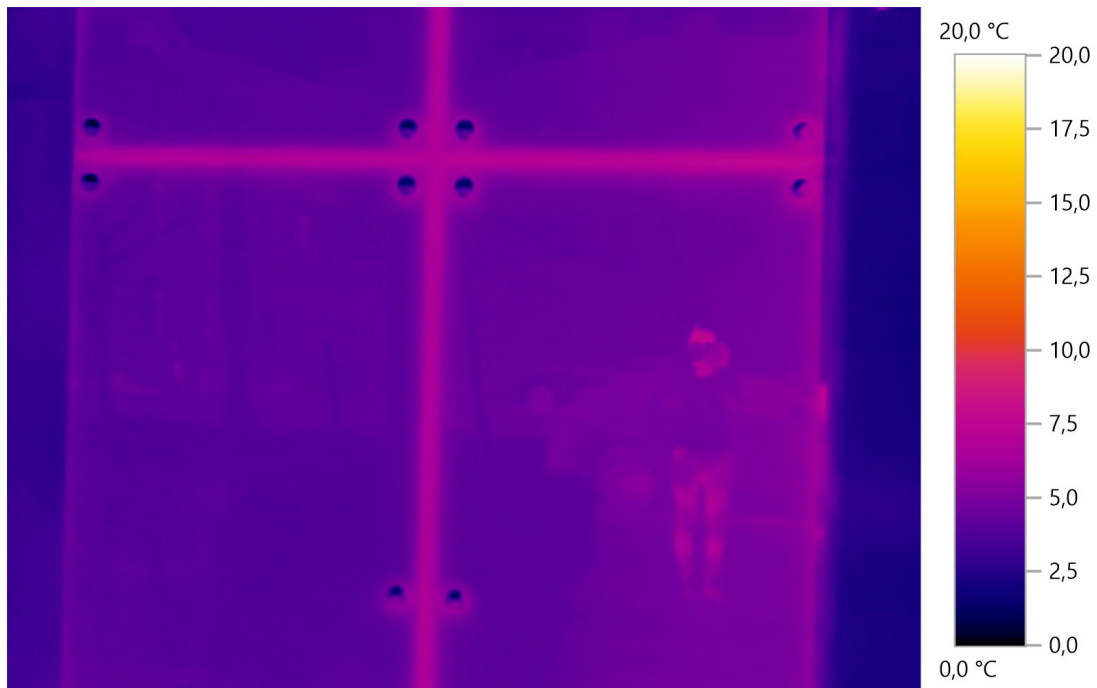


61. ábra: A tükröződő szög a felület minőségének vonatkozásában

Az RTC (Reflected Temperature Compensation), a reflektált hőmérséklet korrekciója. A hőkép korrigálásához az emissziós tényező mellett ezt az értéket is be kell állítani. A teljes környezet, ami a mért felületre sugárzik, ez főként az égboltból származó sugárzás, amit a felület tükröz vissza.

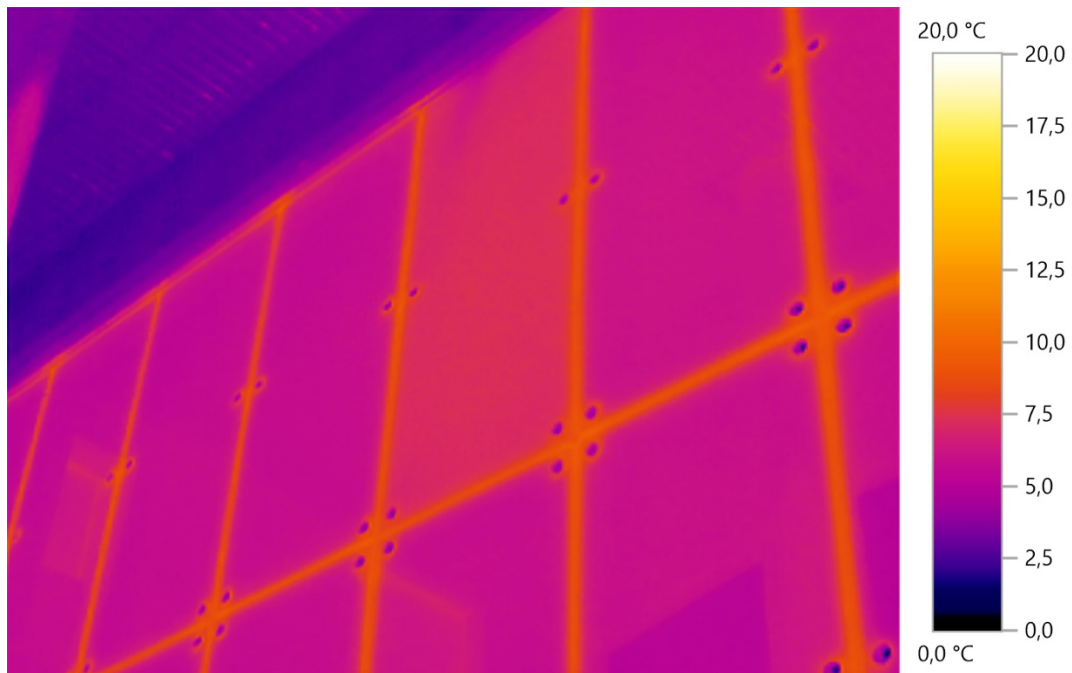
7.3 Vizsgálat

A vizsgálatot 2022.11.29-én csináltam Dr. Nagy Balázs segítségével. A mérés során nem volt csapadékos, szeles időjárás. A levegő nem volt szennyezett. 35 különböző hőkamerás kép készült a homlokzatokról. Az ideális hőkamerás mérés feltétele, hogy a kamera a vizsgálandó felületre merőleges. Az üvegfelület reflexiója miatt ez nem volt lehetséges, mert akkor az én alakom is látszódna a képeken (62. ábra). A másik hátrány, hogy a vizsgált pontmegfogó szerelvények magasabban helyezkedtek el, mint az átlagos szemmagasság.



62. ábra: Test korrigálatlan hőképe a reflexió miatt

A vizsgálat során megfigyelhető volt, hogy az egyik felső üvegtábla hőszigetelő értéke rosszabb volt és pár °C-kal melegebb hőmérsékletet adott. Feltételezhető, hogy az üvegben lévő gáztöltés egy része az eltelt évek során elszivárgott (63. ábra).

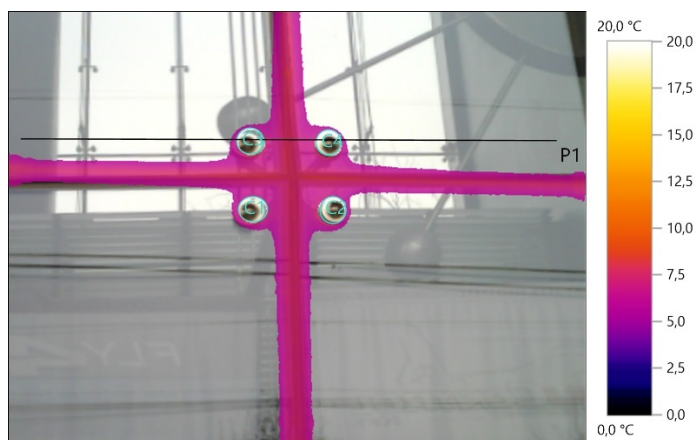


63. ábra: „Hibás” üvegtábla korrigálatlan hőképe a homlokzaton

A fenti két korrigálatlan ábrán jól látszik, hogy a pontmegfogások felülete negatív hőmérsékletűnek látszódik, a valóságban pedig az adja a pontbeli hőhidakat a szerkezetben.

7.4 Vizsgálat kiértékelése

A mérési eredmények kiértékelése a testo IRSof elemző szoftverrel készült. Lehetőség van termográfiai jegyzőkönyv készítésére, kép átfedéses megjelenítésre (64. ábra), hogy a hőhídhidatást a lehető legjobban szemléltetni tudjuk. [34]



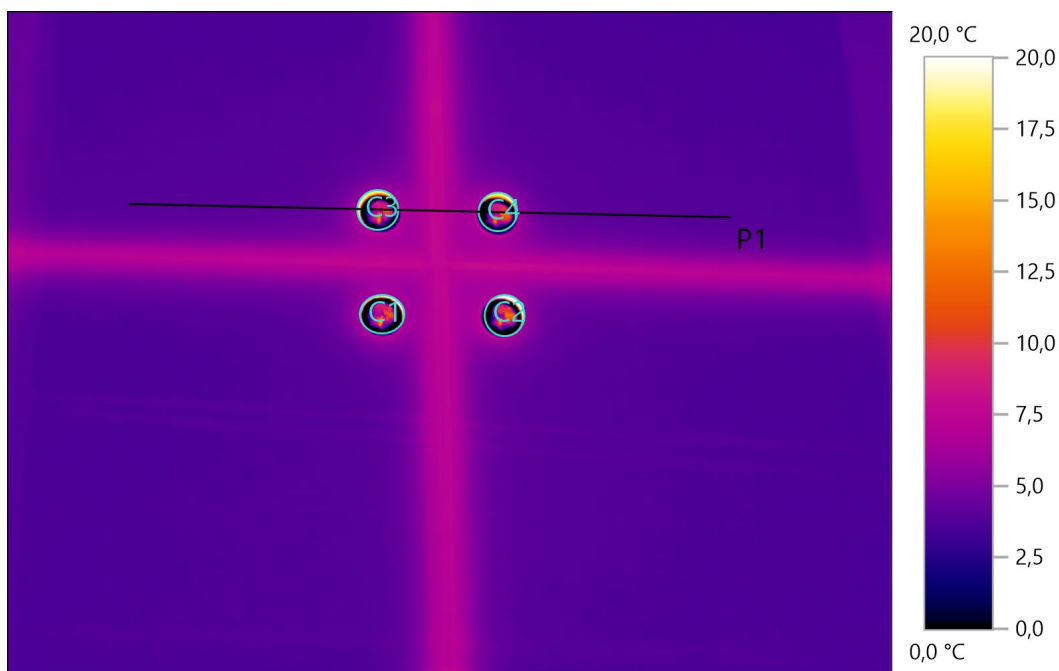
64. ábra: Képek átfedése TwinPix-szel

A felület emissziós tényezőjét 0,85-re állítottam. Ez az üveg értékének felel meg. A hézagképzés szilikon felülete 0,9, de ez az eltérés olyan kicsi, hogy nem szükséges a hézagképzést külön beállítani, ebből adódóan nem keletkeznek nagy eltérések. A pontmegfogó szerelvény külső felülete magas reflexióval rendelkezik, mert rozsdamentes acél az anyaga. Az emissziós tényező értéke így 0,1-0,2 között vehető fel. Az eltelt évek figyelembevételével én ezt az emissziós értéket 0,2-nek vettem fel. Minimálisan kopott, karcolt felület, és a szennyeződés miatt. A Testo beépített hőmérője a vizsgálat során 2-4 °C közötti értéket mutatott, ezért a továbbiakban 3 °C külső hőmérséklettel számoltam. Az égbolt -17 °C volt. A tiszta égből érkező infravörös sugárzást, hideg diffúz égi sugárzásnak nevezzük. Az égbolt sugárzása meghaladja a nap sugárzását, ezért napos időben is a visszavert hőmérséklet 0 °C alatt van.

A homlokzaton kiválasztottam három lényeges pontot, amelyeket kiértékeltem. A négy és két ágú pók szerelvény vizsgáltam, illetve a harmadik hely a kétágú pók szerelvény az üveghomlokzat szélén. A korábbiakban már megfogalmazott és

alátámasztott állítás, miszerint a pontmegfogás és a hézagképzés hatással van egymásra a képek alapján is jól látszódik.

A négyágú pók szerelvény eredményei az alábbi ábrákon látszódnak:



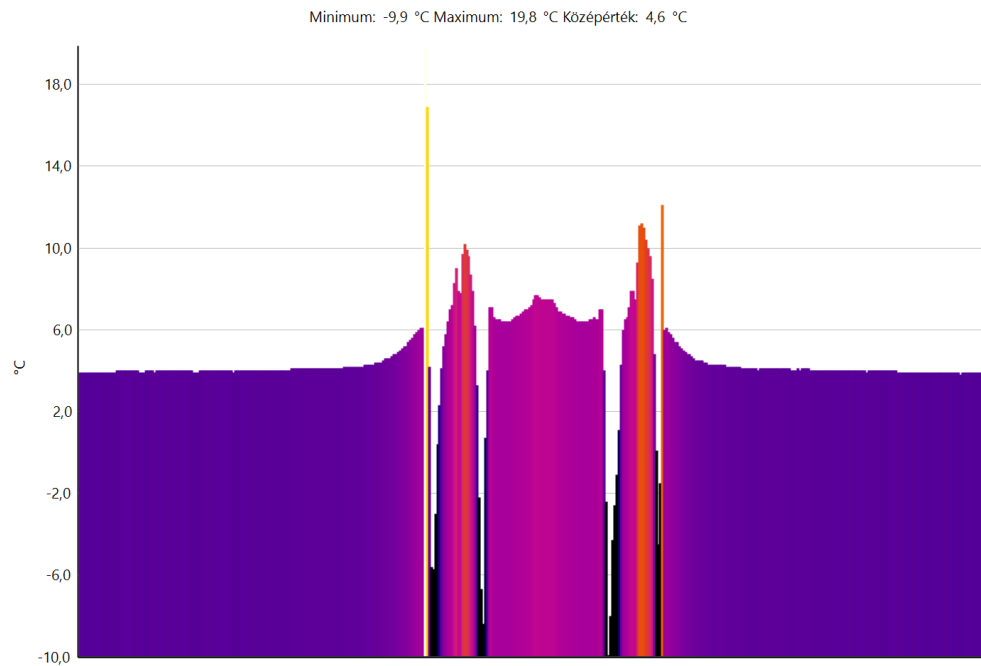
65. ábra: Négy ágú pók kiértékelt eredménye

Az alábbi táblázatban szerepel a pontmegfogó felületén az emissziós tényező korrigálása.

Sz.	Hőm. [°C]	Emissz.	Refl. hőm. [°C]	Megjegyzés
C1	-	0,20	1,5	
C2	-	0,20	1,5	
C3	-	0,20	1,5	
C4	-	0,20	1,5	

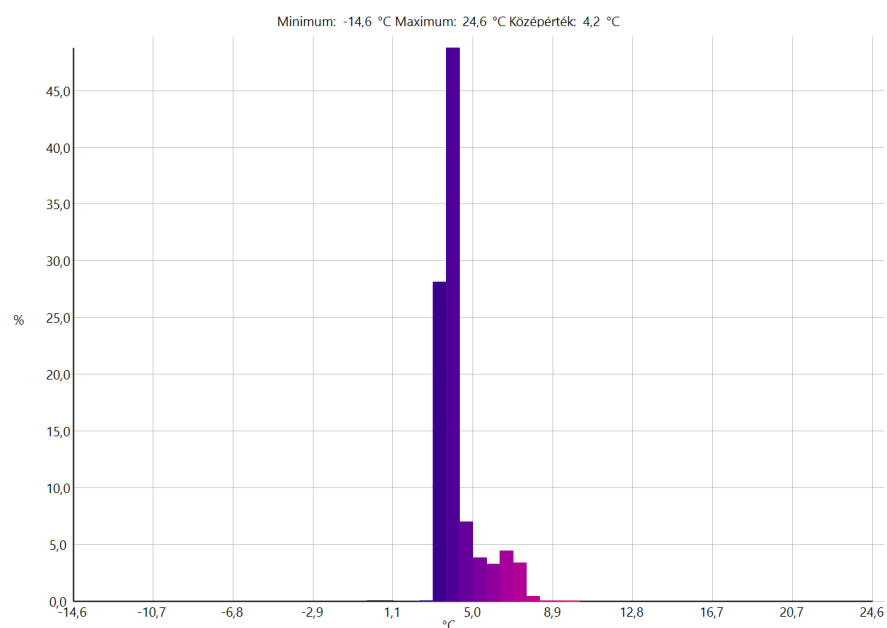
24. táblázat: Korrekciós táblázat

A P1 hőmérsékletprofil (66. ábra) segített a reflektált hőmérsékletet pontosan beállítani, ez az érték 0-2 °C közötti tartományon vehető fel. Ezen a tartományon nagyon kis mértékben változnak a hőmérsékletek, viszont negatív vagy ennél magasabb érték esetén a pontmegfogó szerelvény extrém felületi hőmérsékleteket ad. Én a továbbiakban +1,5 °C-os reflektált hőmérséklettel számoltam.



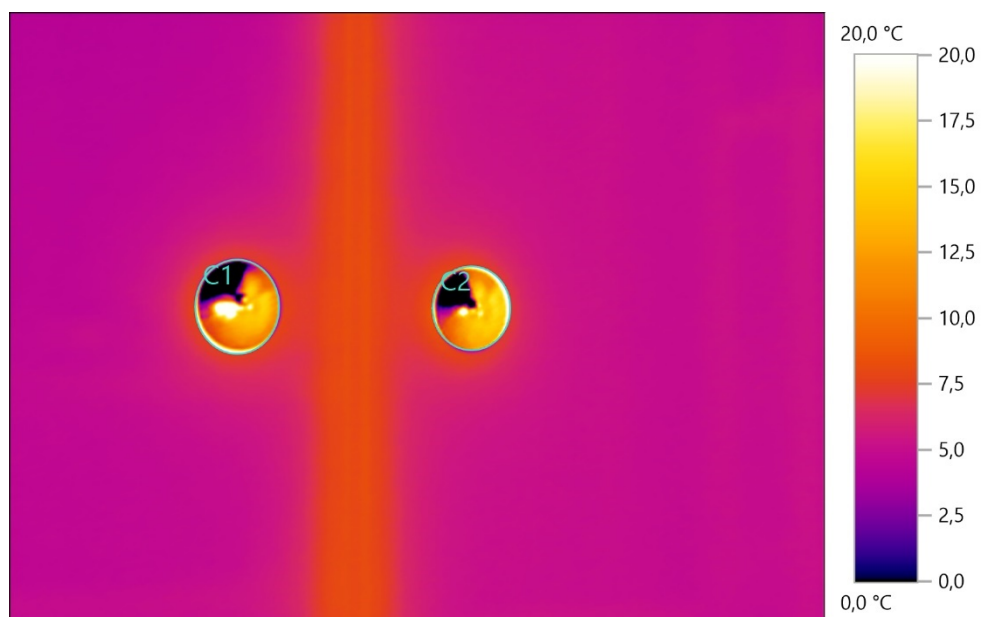
66. ábra: Hőmérséklet profil IRSofit szofverben

A hőmérséklet értékek gyakoriságát a következő (67. ábra) mutatja. A hőméréskelti skálán is látható, hogy pontokban még elég extrém hőmérsékletek adódnak. Ez betudható a pontmegfogó szerelvény íves felületének és az égbolt sugárzásának.

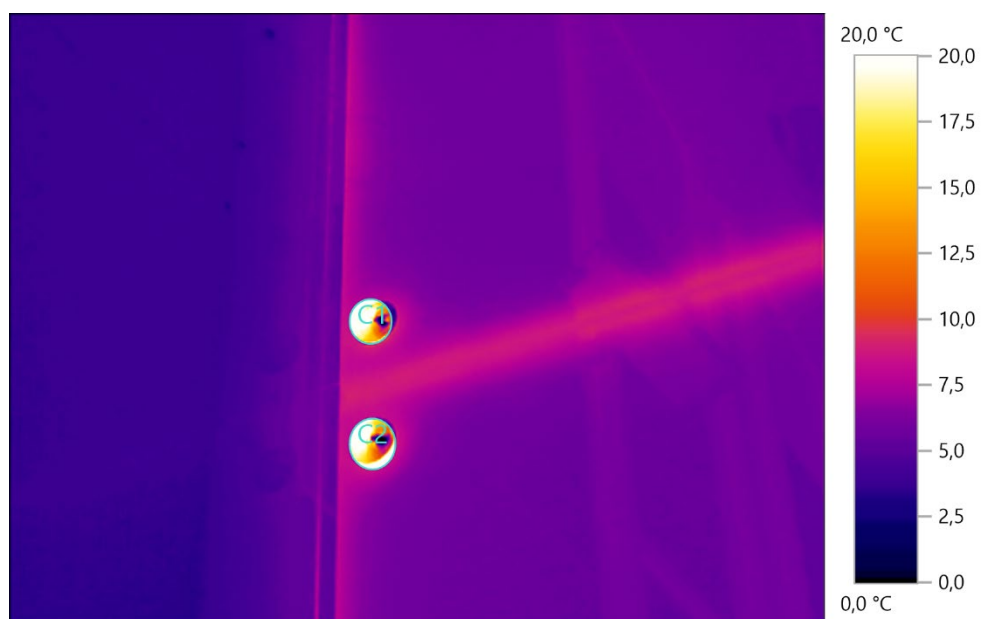


67. ábra: Hőmérséklet gyakoriságok

A kétágú pók szerelvény eredményei:



68. ábra: Két ágú pók szerelvény eredményének kiértékelése



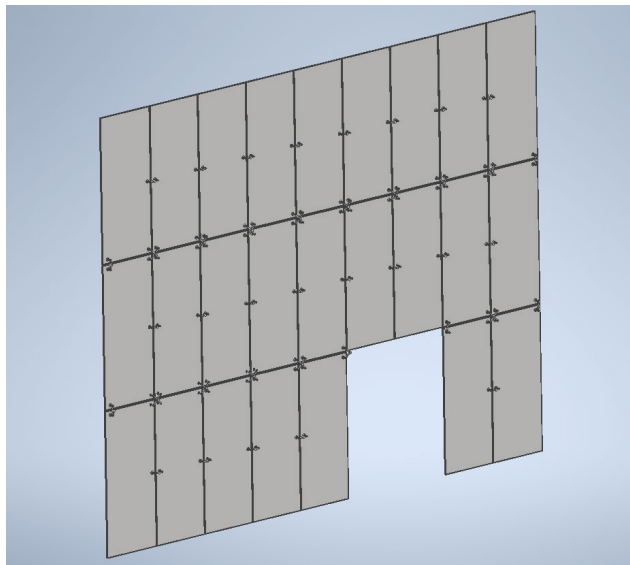
69. ábra: Két ágú pók szerelvény eredményének kiértékelése szélső mezőben

Sz.	Hőm. [°C]	Emissz.	Refl. hőm. [°C]	Megjegyzés
C1	-	0,20	1,5	
C2	-	0,20	1,5	

25. táblázat: Korrekciós táblázat

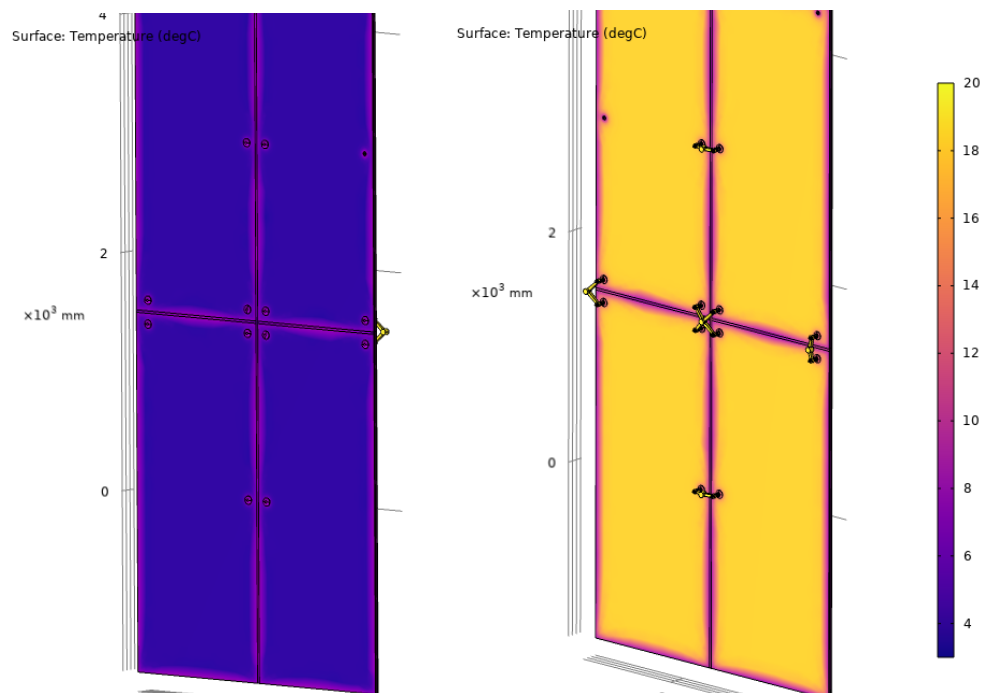
7.5 Numerikus modell

A teljes üveghomlokzatot bemodelleztem a szélcső falcsatlakozások, részletek nélkül (70. ábra). Erről készültek a műszaki rajzok, amelyek a mellékletben találhatók. Egyes részeltrajzok esetében a méretarányt a konzulensekkel egyeztetve, módosítottam 1:5-re. Szemléletesebbek és átláthatóbbak a tervek így.

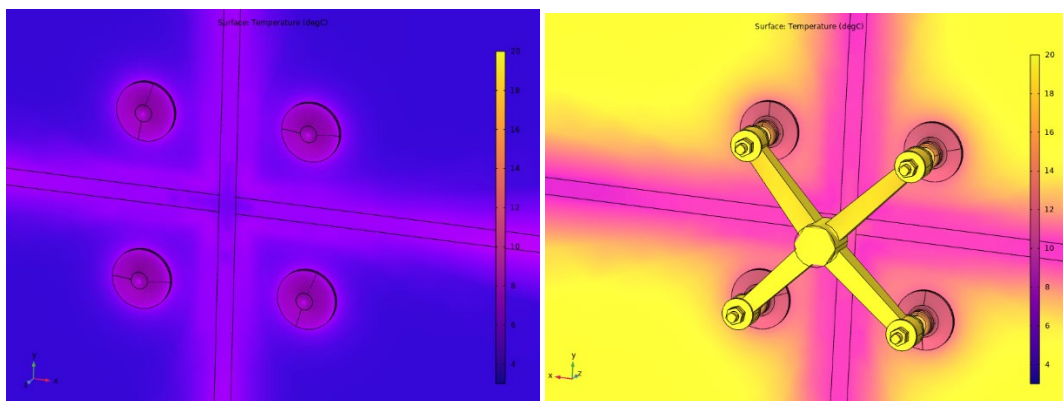


70. ábra: Teljes üveghomlokzat 3D modellje

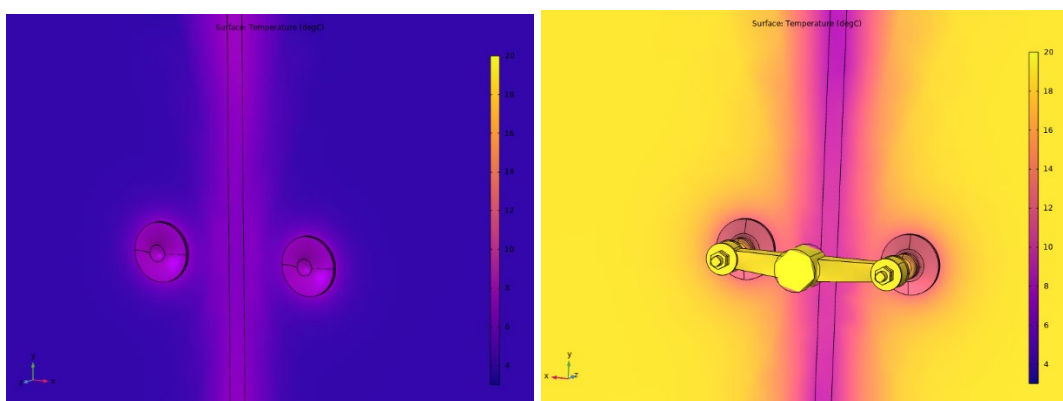
A teljes modellt sikerült beimportálni a Comsol szoftverbe, de a részletezettség és méret miatt nem sikerült lefuttatni, ezért egy kisebb homlokzati részt emeltem ki, melyben négy darab teljes üveg szerepel és azok pontmegfogó szerelvényei (71. ábra). Ehhez külön hálófüggetlenségi vizsgálatot nem csináltam, a modell nagysága miatt itt is Fine hálóval készítettem el a szimulációkat. Az anyagbeállítások hasonló módon történtek, mint a kutatásban. A peremfeltételeket annyiban változtattam meg, hogy a külső felületi hőmérsékletet $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra módosítottam, hogy a hőkamerás vizsgálathoz közel azonos feltételek legyenek. A numerikus modellt nem terheli a környezetből a homlokzat felületére érkező sugárzás, amit a korábbi hőképeken korrigáltunk, de teljes egészében megszűntetni nem tudtuk.



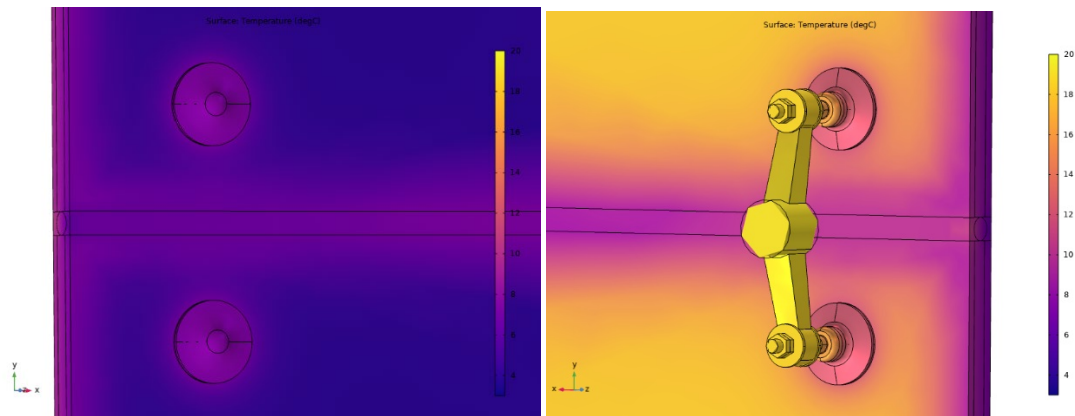
71. ábra: Üveghomlokzat részlet eredménye Comsolban



72. ábra: Négy ágú pók szerelvény numerikus eredménye

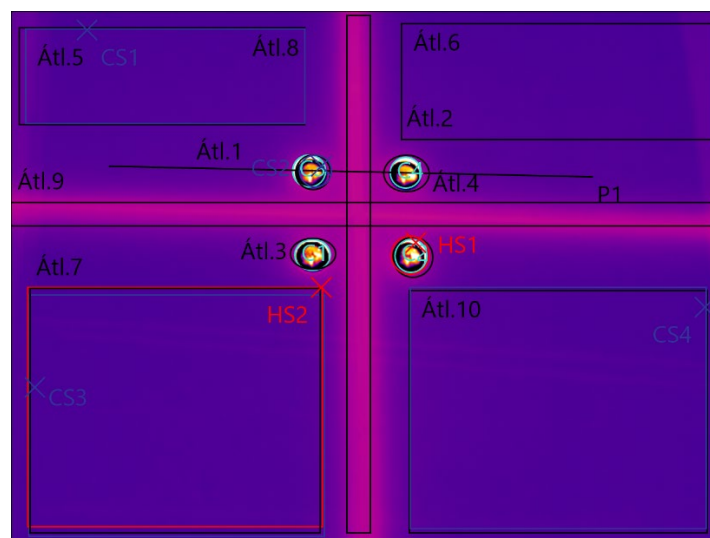


73. ábra: Két ágú pók szerelvény numerikus eredménye mezőközépen



74. ábra: Két ágú pók szerelvény numerikus eredménye az üveghomlokzat szélén

A modellből kapott eredmények jól mutatják azt, ami a hőkamerás felvételeken is látszódik. A hőmérsékleteket összehasonlítottam táblázatos formában. A numerikus modellben lekérdezéssel kaptam meg az eredményeket, a hőkamerás képeknél pedig manuális, zónák megadásával (75. ábra).



75. ábra: Hőmérséklet lekérdezések IRSOFT-ban zónák megadásával

7.6 Hőmérsékletek összehasonlítása

Hőmérséklet értékek összehasonlítása [°C]	Numerikus modell	Hőkamerás vizsgálat	Százalékos eltérés
	4 ágú pók		
Felületi max hőmérséklet	8,156	-	-
Felületi min hőmérséklet	3,364	-	-
Felületi átlag hőmérséklet	4,003	4,2	105%
Pontmegfogó min hőmérséklet	6,695	-	-
Pontmegfogó átl hőmérséklet	7,286	6,9	95%
Üveg min hőmérséklet	3,364	3,5	104%
Üveg átlag hőmérséklet	3,963	3,8	96%
Hézag min hőmérséklet	5,236	5,6	107%
Hézag átlag hőmérséklet	6,394	6,8	106%

26. táblázat: Hőmérsékletek összehasonlítása

A 26. táblázat jól szemlélteti, hogy a korrigált mérések közel azonos eredményt adnak a numerikus modell eredményeivel. A kihúzott, illetve a csillagozott értékeket azért nem lehetett egyértelműen megadni, mert ami a korábbi ábrákon is látszódik, hogy vannak a pontmegfogó szerelvények körül extrémén kiugró értékek. A modellnek van egy bizonytalansága, hálózásból, anyagbeállításból és geometriából adódóan.

A százalékos eltérés jól mutatja, hogy a legnagyobb különbség a hézag min hőmérsékleténél van. A hőkamerás kép 7%-kal nagyobb értéket adott, mint a numerikus modell, szám szerint 0,36 °C. A legkisebb eltérés az üveg min hőmérsékleténél volt, 4%, azaz 0,136 °C. Az átlagos eltérés 5% volt a mért pontok között.

Összeségében elmondható, hogy a 2006-ban épült Castrum ház üveghomlokzata még jó állapotban van. A numerikus modell felhasználható utólagos állapotfelmérésre, a régebbi épületek hőkamerás vizsgálatával való összehasonlításával. Ehhez tudni kell a tervezett és megépített rendszert, az üvegfelépítést és a főbb paramétereket.

8 További javaslatok a kutatási témában

Már a hálófüggetlenségi vizsgálat során is felmerült több kérdés, amit érdemes lehet a későbbiekben kutatás keretein belül megvizsgálni.

Ilyen volt például a rozsdamentes pók szerelvény hatása. Jelentős mértékben befolyásolta az eredményeket (biztonság javára tévedve), tehát mindig számításba kell venni. Továbbiakban meg lehetne vizsgálni a különböző típusokat, ugyanolyan hatással vannak-e a modellre. Gondolok itt formai kialakításra és az ágainak számára, mert én a kutatásban olyan lokális felületet vettem, ahol 4 üveg találkozik, de mezőközépen ez nem lesz már feltétlenül igaz. Egy 6 ponton rögzített üvegtáblánál 2 db rögzítést érint.

A negyed felület vizsgálatánál is nagy mértékben eltért az eredmény, ennek oka lehet az, hogy a sarokpontokban az üvegek egymásra is hatással vannak. Egy mezőközépen történő vizsgálattal ezt is meg lehetne nézni.

Másik végelesemes szoftver használatával egy pontosabb modell alkotása. Comsol-ban voltak korlátok a geometria modellt illetően, ezért volt, ahol egyszerűsítettem rajta. Bizonyos elemeket elhanyagoltam, mert olyan vékony felület volt, amit a program nem engedett. Statikai számítással alátámasztva lehet új anyagokat javasolni, hogy minél kisebb legyen a hőveszteség. Furatátmérő és a furattávolság változtatása, a hézagképzés szélességének módosítása milyen mértékben befolyásolják a kapott eredményeket?

Az eredményeket tekintve a páralecsapódás jelenségének vizsgálata. Mekkora annak a mértéke, változtat-e a komfortérzetet? Hosszú távon milyen hatásai vannak, vagy bizonyos légcserre és napsugárzás mellett ez a mennyiség elhanyagolható lesz?

Van lehetőség olyan rögzítéseket alkalmazni, ahol az üveget egyáltalán nem kell megfűrni és a hézagokban strukturális jelleggel van rögzítve az üvegtábla. Ebben az esetben a rögzítés hogyan növeli a hézagokban fellépő hőveszteséget? Érdemes több gyártó katalógust megnézni és akár külön-külön megvizsgálni azokat.

Helyszíni vagy laboratóriumi termográfias, illetve épületfizikai méréseken alapuló vizsgálatok kidolgozása és végzése a numerikus modellezés és eredményeinek igazolása céljából.

Az üveghomlokzatok és további épületszerkezetek csatlakozásának (pl. fal-, padló-, tetőszerkezet) épületfizikai, elsősorban hőtechnikai teljesítőképesség és kritikus felületi nedvesség vizsgálata és elemzése, javaslattétel az épületszerkezetileg megfelelő csomóponti kialakításokra. Továbbá a pontmegfogásos üveghomlokzatokat energetikai szempontokból a vonalmenti megtámasztású üveghomlokzatokkal össze lehet hasonlítani, hogy megállapítható legyen az egyes kialakítások egymáshoz képesti, valamint az üveghomlokzatú épületek üzemeltetése során az épületenergetikai hatásuk.

9 Összefoglalás

Diplomamunkám során az egyre inkább elterjedt pontmegfogott üveghomlokzatokat vizsgáltam hőtechnikai szempontból. A geometria modellt egy lokális helyen, négy üvegtábla találkozásánál vettem fel egységnyi felületnek. Már a modell is tartalmazott változó paramétert, az anyagdefiniálás során még több változót vettem fel úgy, hogy azok várhatóan befolyásolják majd az eredményeket.

Kutatási célja az volt, hogy a rögzítőrendszerek hatását és pontbeli hőátbocsátási tényezőjét meghatározzam az összes esetre. Hőtechnikailag a rejtett pontmegfogás adta a legjobb eredményt, majd a süllyesztett fejű és végül a tányérosan átfogó. A pontmegfogások láthatóan hatással voltak a hézagképzésre, viszont a hézagképzés típusai között nem volt nagy eltérés. Csak hőtechnikai szempontok alapján nem lehet kiválasztani a rögzítés típusát, mert statikailag nem ugyanazt képesek teljesíteni.

Összeségében az gondolom, hogy különböző pontatlanságok ellenére jó közelítést ad, akár tervezési javaslatként is felhasználható lesz. A pontatlanságok egy része hardveres korlátok miatt volt. További kutatásokkal ezt lehet pontosítani és a javaslatokban megfogalmazott további témák hatásait megvizsgálni.

Az egyre szigorúbb energetikai követelmények majd elvárják, hogy minden esetben kell ezzel számolni. Jelenleg csak 3D-s hőtechnikai modellezéssel lehet ezt meghatározni, mert a pontszerű rögzítéseket nem lehet 2D-s szimulációval vizsgálni és közelítő számítás még nincs, az MSZ EN 6946 szabvány F mellékletében szereplő egyszerűsített számítás a rögzítésekre nem volt használható.

A költség-teljesítőképesség jól vizsgálható, de a megfelelő koncepció kiválasztását befolyásolja még a piaci helyzet (kereslet-kínálat mértéke), a gazdasági helyzet és az épületfizikai követelmények.

A termovíziós vizsgálat jól szemlélteti, hogy a mérések egy része megegyezik a numerikus modell eredményeivel, a pontatlanságok a mérési, illetve numerikus modellből is adódnak. Felhasználható utólagos állapotfelmérésre, illetve az eredeti állapothoz lehet viszonyítani az üvegfelületek romlására.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni a konzulenseimnek, Dr. Nagy Balázs adjunktusnak, Dr. Stocker György egyetemi docensnek, hogy segítették a diplomamunkám és a kutatást szakmai tanácsokkal és építő jellegű kritikákkal. Biztos vagyok benne, hogy diplomamunka során szerzett szakami tapasztalatokat tudom majd a későbbiekben is hasznosítani.

Külön meg szeretném köszönni az Orosházas Kft.-nek és az ALUKOL Homlokzatechnika Kft.-nek a segítséget.

Irodalomjegyzék

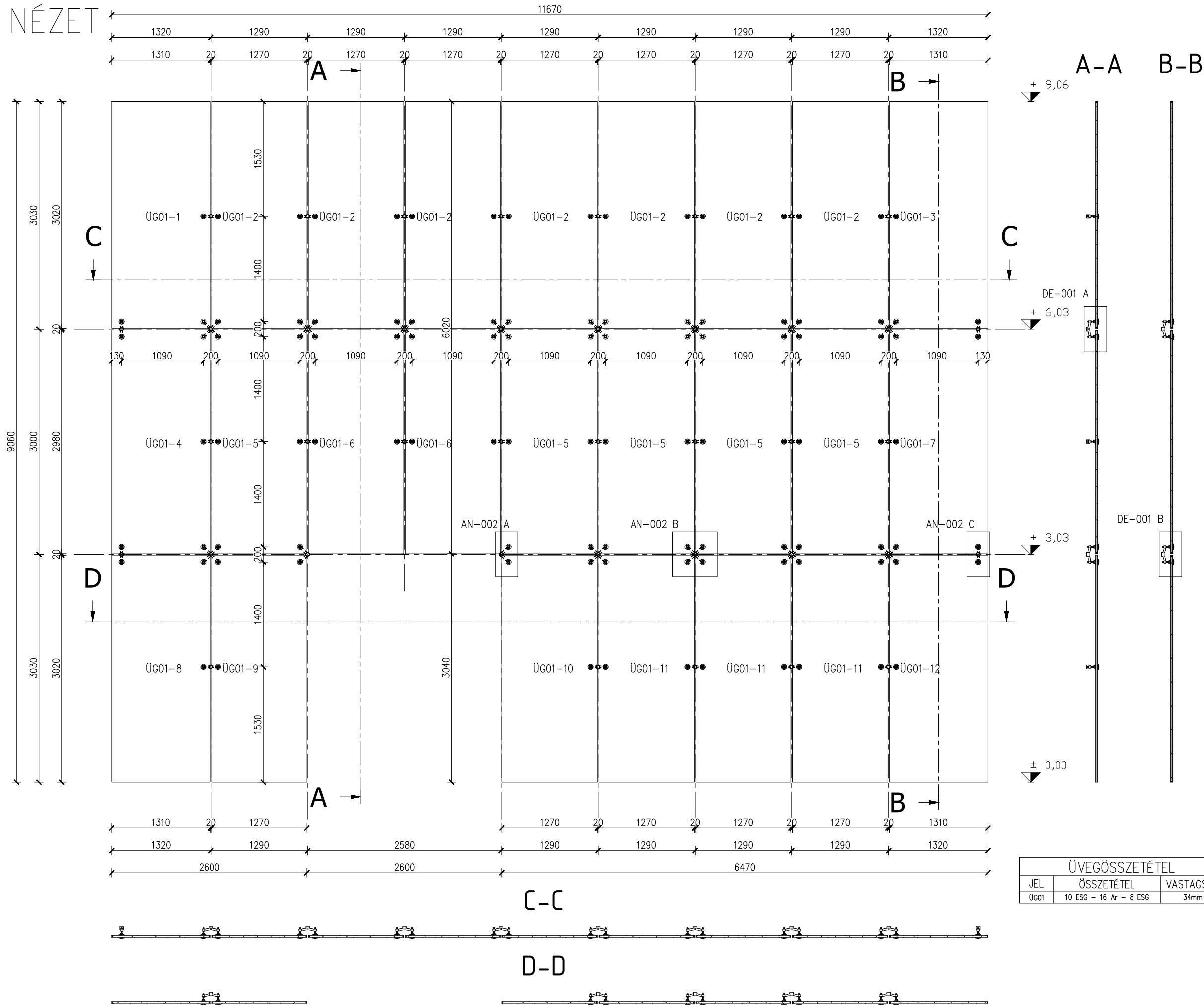
- [1] Del Amo Fashion Center Mall Receives An Upgrade, blog <https://www.wvglass.com/blog/post/del-amo-fashion-center-mall-receives-upgrade/> (Utolsó letöltés: 2022.12.14.)
- [2] Carolina Silveira Machado Pereira Costa (2018), *Quality Control of Glass Facades. Curtain Wall and Point-Fixed Systems*, Master in Civil Engineering Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal
- [3] *Szeptemberben nyithat az új budai bevásárlóközpont, az Etele Plaza*, Építészfórum, 2021.03.04. <https://epiteszforum.hu/szeptemberben-nyithat-az-uj-budai-bevasarlokozpont-az-etele-plaza#lg=1&slide=4> (Utolsó letöltés: 2022.10.24.)

-
- [4] A kép forrása: <https://rawnarch.com/projects/cedar-rapids.html> (Utolsó letöltés: 2022.12.16.)
- [5] ARUP building physics, 27. oldala
- [6] Yusuf Ýlhan, Murat Aygün (2006), *CONSTRUCTIONAL CLASSIFICATION OF CONTINUOUSLY AND POINT FIXED CURTAIN WALL SYSTEMS*, 1st International CIB Endorsed METU Postgraduate Conference Built Environment & Information Technologies, Ankara (569-579)
- [7] Yu Wang, Qingsong Wang, Guangzheng Shao, Haodong Chen, Yanfei Su, Jinhua Sun, Linghui He, K.M. Liew (2014), *Fracture behavior of a four-point fixed glass curtain wall under fire conditions*, Fire Safety Journal 67, 24-34
- [8] Yu Wang, Qingsong Wang, Jinhua Sun, Linghui He, K.M. Liew (2014), *Effects of fixing point positions on thermal response of four point-supported glass façades*, Construction and Building Materials 73, 235-246
- [9] Wei Lu, Qiangling Duan, Haodong Chen, Huang Li, Yujun Liu, Qingsong Wang, Jinhua Sun (2019), *Thermal response and resistance optimization of various types of point-supported glass facades*, Construction and Building Materials 224, 610-621
- [10] Themistoklis Tsalkatidis, Magne Moastuen (2019), *Numerical Investigation of Façade and Floor Glazing Systems*, International Journal of Engineering and Technologies, Vol. 17, pp 1-10
- [11] Nathan Van Den Bossche Ph.D, Wahid Maref Ph.D, ASHRAE member, *Thermal analysis of Curtain Wall Systems – a parametric study*
- [12] Sang-Tae No, Kang-Soo Kim, Jin-Se Jung (2008), *Simulation and mock-up tests of the thermal performance of curtain walls*, Energy and Buildings 40, 1135-1144
- [13] Jung-Min Oh, Jin-Hee Song, Jae-Han Lim, Seung-Yeong Song (2016), *Analysis of building energy savings potential for metal panel curtain wall building by reducing thermal bridges at joints between panels*, Energy Procedia 96, 696-709
- [14] Mi-Su Shin, Kyu-Nam Rhee, Ji-Yong Yu, Gun-Joo Jung (2017), *Determination of Equivalent Thermal Conductivity of Window Spacers in Consideration of Condensation Prevention and Energy Saving Performance*, Energies 2017, 10(5), 717
-

-
- [15] So Young Koo, Sihyun Park, Jin-Hee Song, Seung-Yeong Song (2018), *Effect of Surface Thermal Resistance on the Simulation Accuracy of the Condensation Risk Assessment for a High-Performance Window*, *Energies* 2018, 11(2), 382
- [16] Jinfan Lin, Xiaobin Hong, Zeming Ren, Junhao Chen (2022), *Scanning laser in-depth heating infrared thermography for deep debonding of glass curtain walls structural adhesive*, *Measurement* 192, vol. 205, inprogress (December 2022)
- [17] 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról, <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0600007.tnm>
- [18] Madeh Izat Hamakareem: *Types of Glazing Panels, Methods and Construction Details*, *The Constructor*, <https://theconstructor.org/building/glazing-panels-types-methods-construction/17626/> (Utolsó letöltés: 2022.10.27.)
- [19] Dr. Széll Mária, Stocker György et al. (2010): *Alumínium függőnyfalak, üvegtetők*, TERC Kft., Budapest
- [20] SADEV Classic, Technical Catalogue (2015) EN katalógus <https://www.sadev.com/downloads/>
- [21] Fanni Petresevics, Balázs Nagy (2022), *FEM-Based Evaluation of the Point Thermal Transmittance of Various Types of Ventilated Façade Cladding Fastening Systems*, *Buildings* 12, 1153
- [22] MSZ EN ISO 10456 Építési anyagok és termékek. Hő- és nedvességtechnikai tulajdonságok. Táblázatos tervezési értékek, illetve eljárások a közölt és tervezési hőtechnikai értékek meghatározására (ISO 10456:2007)
- [23] MSZ EN ISO 12631 Függőnyfalak hőtechnikai viselkedése. A hőátbocsátási tényező számítása (ISO 12631:2012)
- [24] Saflex, műszaki katalógus, <https://www.saflex.com/products/saflex-clear-pvb-interlayer>
- [25] Guardian Glass Analytics, Performance Calculator (EN 410 és EN 673) <https://www.guardianglass.com/eu/en/tools-and-resources/tools/glass-analytics>
- [26] Auricon Energetic szoftver anyagadatbázis
- [27] MSZ EN ISO 6946 Épületszerkezetek és épületelemek. Hővezetési ellenállás és hőátbocsátás. Számítási módszerek (ISO 6946:2017)
- [28] MSZ 24140 Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai

- [29] ComsolMultiphysics, felhasználói kézikönyv
- [30] MSZ EN ISO 10211 Hőhidak az épületszerkezetekben. Hőáramok és felületi hőmérsékletek. Részletes számítások (ISO 10211:2017)
- [31] Vargha Mihály (1952-2010), 2007.08.06, *Erő s vár a mi Castrumunk*, Építészfórum, <https://epiteszforum.hu/ero-s-var-a-mi-castrumunk> (Utolsó letöltés: 2022.12.13.)
- [32] Stocker György DLA: Üveg épületszerkezet előadás diái, 2020.
- [33] Dr. Nagy Balázs: Homlokzatok című előadása (Épületfizika tárgy, 2022)
- [34] TESTO, 2017 December, Termográfiai kisokos (Elmélet – Gyakorlat – Tippek és trükkök)

KÜLSŐ NÉZET

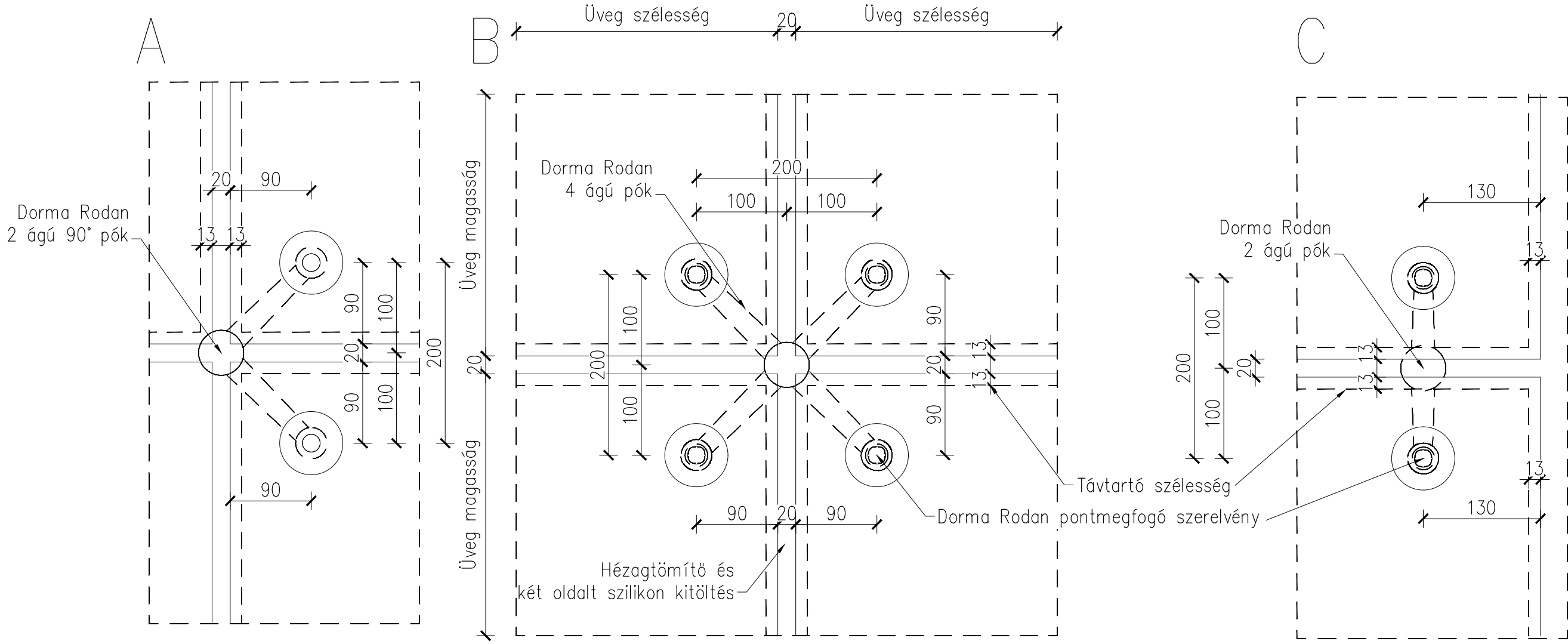


CONSTRUCTION / SZERKEZET: CASTRUM HÁZ
DRAWING TITLE / RAJZ MEGNEVEZÉS: NÉZET RAJZ
FORMAT / MÉRET: A3
SCALE / LEPTÉK: 1:50

PROJECT / MUNKA: DIPLOMAMUNKA
SZERKEZET-ÉPÍTŐMÉRNÖK MESTERSZAK
DR. NAGY BALÁZS
DR. STOCKER GYÖRGY

DESCRIPTION: NEPTUN: L05P3A
NAME: LACZKÓ ARNOLD
DATE: 2022-12-12
REV: 01

DRAWING NR / RAJZSZÁM: AN-001



REV	DATE	NAME	DESCRIPTION
01	2022-12-12	LACZKÓ ARNOLD	NEPTUN: L05P3A
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-

DRAWING NR / RAJZSZÁM:

AN-002

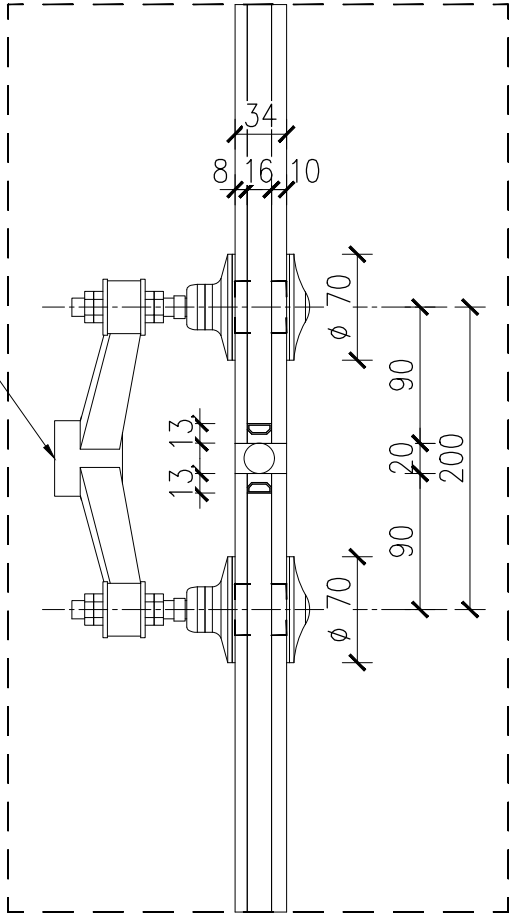
PROJECT / MUNKA:	DIPLOMAMUNKA
SUPERVISOR / KONZULENS:	SZERKEZET-ÉPÍTŐMÉRNÖK MESTERSZAK
ADVISOR / KONZULENS:	DR. NAGY BALÁZS
ADVISOR / KONZULENS:	DR. STOCKER GYÖRGY

CONSTRUCTION / SZERKEZET:	CASTRUM HÁZ
DRAWING TITLE / RAJZ MEGNEVEZÉS:	NÉZET RAJZ
FORMAT / MÉRET:	A3
SCALE / LÉPTÉK:	1:5

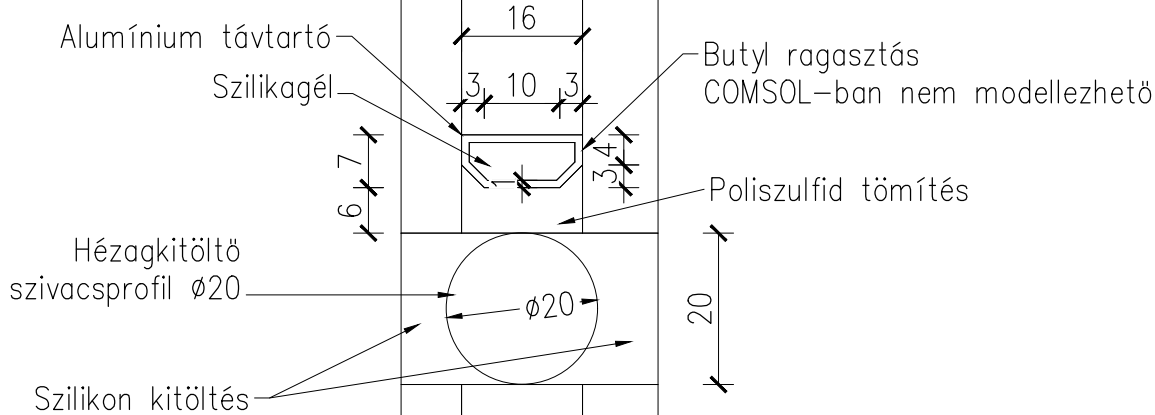
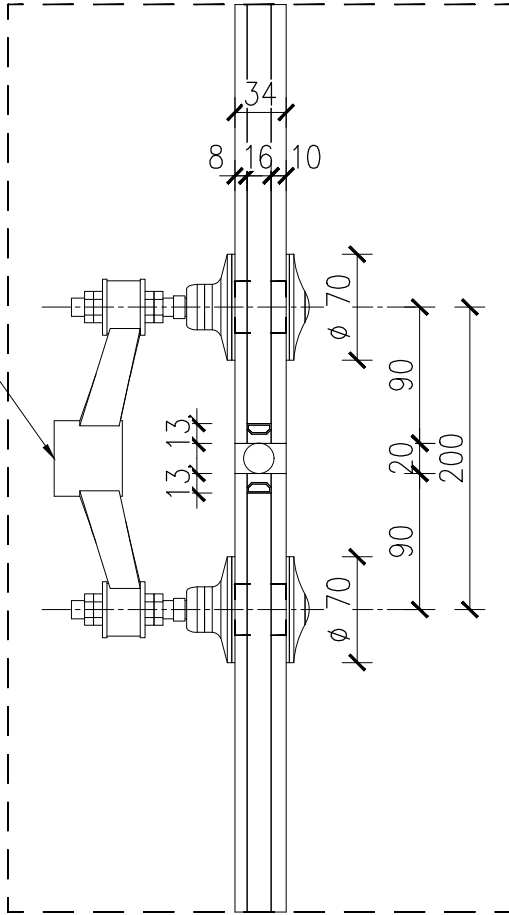


ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR
ÉPÍTŐANYAGOK ÉS MAGASÉPÍTÉSI TANSZÉK

Dorma Rodan
4 ágú pók



Dorma Rodan
2 ágú pók



REV	DATE	NAME	DESCRIPTION
01	2022-12-12	LACZKÓ ARNOLD	NEPTUN: L05P3A
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-

DRAWING NR / RAJZSZÁM:

DE-001

PROJECT / MUNKÁ:
DIPLOMAMUNKA

SZERKEZET-ÉPÍTŐMÉRNÖK MESTERSZAK

ADVISOR / KONZULENS:

DR. NAGY BALÁZS

DR. STOCKER GYÖRGY

CONSTRUCTION / SZERKEZET:

CASTRUM HÁZ

DRAWING TITLE / RAJZ MEGNEVEZÉS:

RÉSZLET TERV

FORMAT / MÉRET:

A3

SCALE / LÉPTÉK:

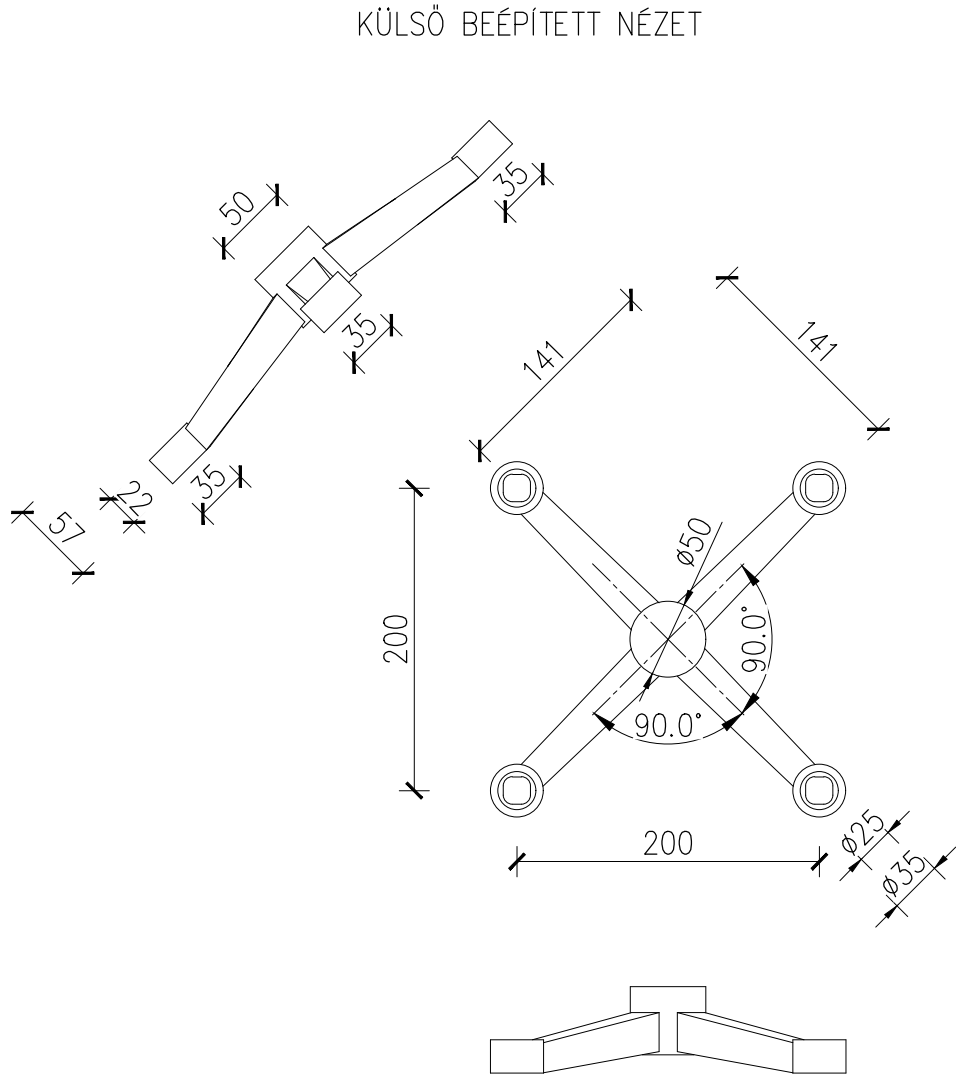
1:5, 1:1



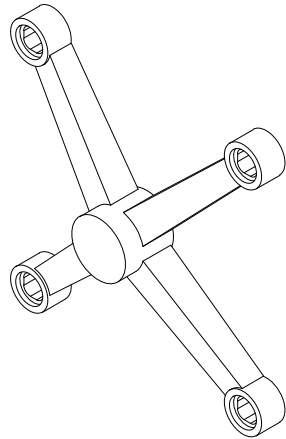
M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR

ÉPÍTŐANYAGOK ÉS MAGASÉPÍTÉS TANSZÉK



3D AXONOMETRIKUS ÁBRÁZOLÁS



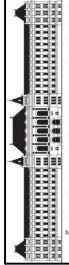
REV	DATE	NAME	DESCRIPTION
01	2022-12-12	LACZKÓ ARNOLD	NEPTUN: L05P3A
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-

DRAWING NR / RAJZSZÁM:

DE-002

PROJECT / MUNKA:	DIPLOMAMUNKA
ADVISOR / KONZULENS:	SZERKEZET-ÉPÍTŐMÉRNÖK MESTERSZAK
	DR. NAGY BALÁZS
	DR. STOCKER GYÖRGY

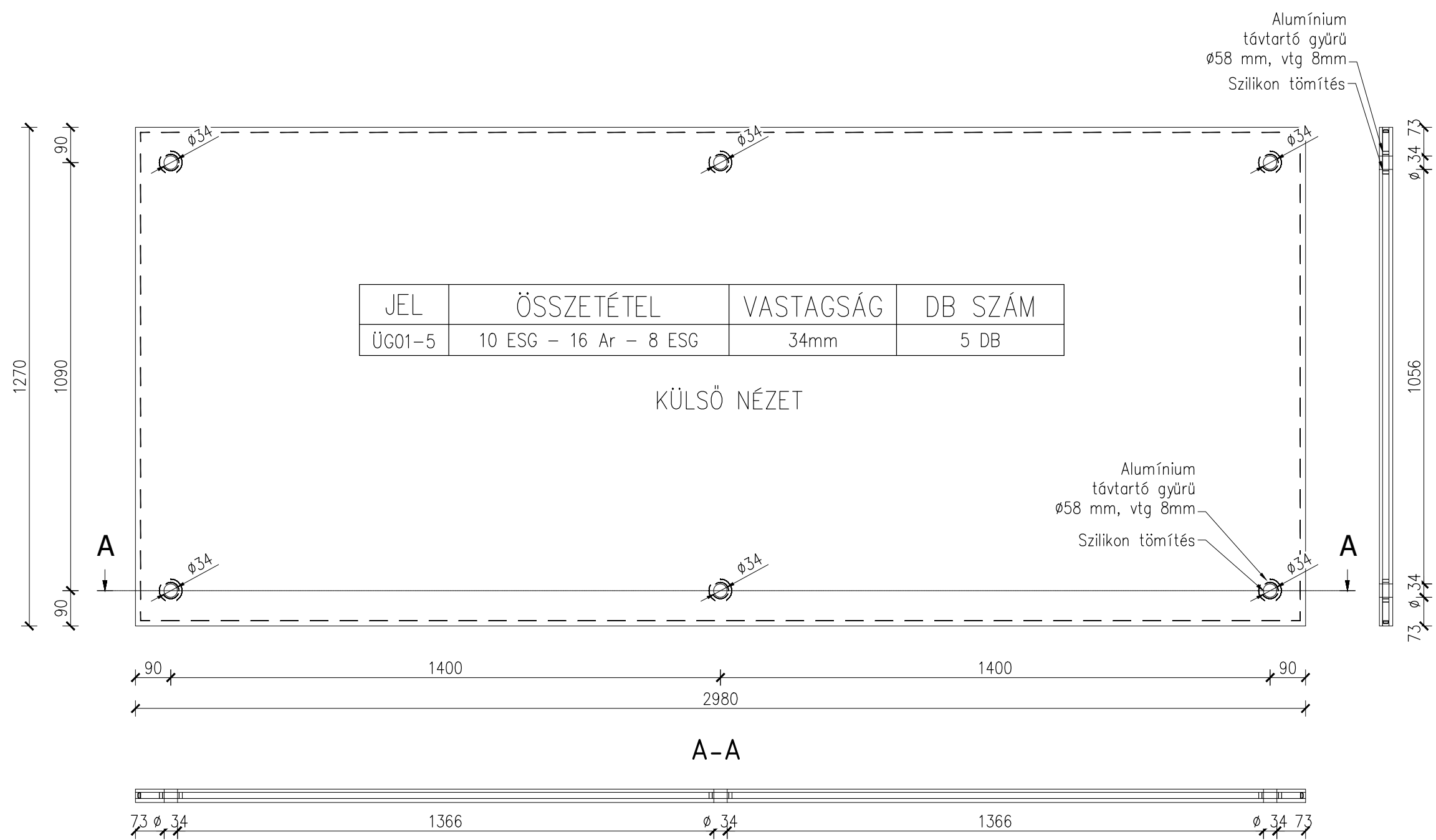
CONSTRUCTION / SZERKEZET:	DORMA PONTMEGFOGÓ
DRAWING TITLE / RAJZ MEGNEVEZÉS:	RÉSZLET TERV
FORMAT / MÉRET:	A3
SCALE / LÉPTÉK:	1:5



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR

ÉPÍTŐANYAGOK ÉS MAGASÉPÍTÉS TANSZÉK



JEL	ÖSSZETÉTEL	VASTAGSÁG	DB SZÁM
ÜG01-5	10 ESG - 16 Ar - 8 ESG	34mm	5 DB

KÜLSŐ NÉZET

A-A

REV	DATE	NAME	DESCRIPTION
01	2022-12-12	LACZKÓ ARNOLD	NEPTUN: L05P3A
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-

DRAWING NR / RAJZSZÁM:

DE-003

PROJECT / MUNKA:	DIPLOMAMUNKA
ADVISOR / KONZULENS:	SZERKEZET-ÉPÍTŐMÉRNÖK MESTERSZAK DR. NAGY BALÁZS DR. STOCKER GYÖRGY

CONSTRUCTION / SZERKEZET:	DORMA PONTMEGFOGÓ
DRAWING TITLE / RAJZ MEGNEVEZÉS:	RÉSZLET TERV
FORMAT / MÉRET:	A3
SCALE / LÉPTÉK:	1:10

M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR

ÉPÍTŐANYAGOK ÉS MAGASÉPÍTÉSI TANSZÉK

KONZULTÁCIÓS NAPLÓ

Név- Neptun: Laczkó Arnold – L05P3A

Cím: Pontmegfogásos üveghomlokzat hőtechnikai modellezése és termovíziós vizsgálata

2022.09.05.

Dr. Nagy Balázs

Átbeszéltük, hogy mi lesz majd a kutatási területem, milyen előzetes szakirodalomkutatás szükséges. A diplomamunka feladatkiírás megírásához szükséges információk megbeszélése.

Dr. Stocker György Mihály felkérése társkonzulensnek.

2022. 09. 20.

Dr. Nagy Balázs

A témakiírás pontosítása, mik lesznek a feladataim és részfeladataim. Előzetes absztrakt megírása a TDK jelentkezéshez. A szükséges szabványok átbeszélése, pl. anyagokhoz, a numerikus modell építéshez, függönyfalakhoz.

2022.09.26.

Dr. Nagy Balázs

Magyar és angol absztrakt véglegesítése. TDK jelentkezés és az azzal kapcsolatos egyéb információk megbeszélése. A paraméterek előzetes meghatározása, milyen futtatásokat érdemes vizsgálni majd.

2022.10.04.

Dr. Nagy Balázs

Az első modellváltozat bemutatása, Comsol Multiphysics egyes részeinek átbeszélése (pl. változó anyagparaméterek megadása a futtatáshoz). Hogyan kell majd a modellt kezelni, milyen részfeladataim lesznek.

A légrés számításának lépései nagy vonalakban, hol lesznek ilyenek.

2022.10.10.

Dr. Stocker György Mihály

Eddigi munkámat bemutattam. A 3D modellezéshez kaptam egy gyártói katalógust, abból melyik szerelvényeket érdemes használni a továbbiakban. Ilyen esetekben a csuklós megfogás a kedvező, mert a merev megfogásnál többletfeszültség lesz a furat körül. Az alapüveg összetételének átbeszélése, mi a szükséges, mit fogok alkalmazni.

2022.10.13.

Dr. Nagy Balázs

Az új pontmegfogó rendszer és annak modelljének bemutatása. A végleges témakiírás átbeszélése, melyik feladatokat mikorra kell teljesítenem (TDK része).

2022.10.17.

Dr. Nagy Balázs

Anyagbeállítási hibák, futtatási figyelmeztetések megnézése.

2022.10.21.

Dr. Nagy Balázs

Hálófüggetlenségi vizsgálat eredményei. Nem futott le a legrészletesebb háló, ezért egyszerűsítések alkalmazása.

2022.10.24.

Dr. Nagy Balázs

Hálófüggetlenség vizsgálat során különböző egyszerűsítésekre más eredményt adott a modell, ezért az eredeti modell meghagyása, megfelelő háló kiválasztása.

Az eredmény lekérdezések pontosítása. A kapott, táblázatos értékek feldolgozása. Szükséges képletek, módszerek.

2022.10.31.

Dr. Nagy Balázs

Eredmények kiértékelése milyen formában jelenjen meg és ehhez az értelmező kiegészítő szöveg. TDK-hoz a formai követelmények átbeszélése pl. ábra-, táblázat- és hivatkozásjegyzék.

2022.11.08.

Dr. Nagy Balázs

TDK véglegesítés és leadás után a diplomához szükséges további részek átbeszélése. Fajlagosan, teljesítmény alapon vizsgálom a különböző paramétereket. Hőkamerás vizsgálathoz kell-e nagy, egész homlokzatot ábrázoló numerikus modell. Az előadáshoz szükséges diasor átbeszélése nagy vonalakban.

2022.11.14.

Dr. Nagy Balázs

Elődvédéshez és a TDK előadáshoz a diasor összeállítását beszéltük át. Szükséges diák, ábrák, képek, amelyek jól leírják az adott kutatási témát. Mennyi idő lesz előadni, az egyes részeket mennyire kell részletesen elmagyarázni. TDK bíráló kérdéseinek átbeszélése.

2022. 11. 16.

Laczkó Arnold - L05P3A
MSc-SP-M-001-22/23/1

Pontmegfogásos üveghomlokzat hőtechnikai modellezése és termovíziós vizsgálata

részletrajzok – legyenek majd Stocker tanárral lekonzultálva
sok munka van hátra, de a diploma is hatalmas munka
eredmények – diák szétválasztása, jobban látszana
12 dia -ára még egy táblázatot be kellene tenni, diagramm....
tizedes jegy vesszővel, m² felső indexbe

A diploma elővédés beszámolóját sikeresen megtartotta, a diploma határidőre befejezhető.

Tömböly Cecília

2022.11.25.

Dr. Stocker György

További feladatrészek átbeszélése. A termovíziós vizsgálathoz az épület kiválasztása. Az épülettel kapcsolatos alap információk átbeszélése. A költségekhez szükséges árajánlat átbeszélése.

2022.11.29.

Dr. Nagy Balázs

Hőkamerás vizsgálat a helyszínen. Az eredmények kiértékeléséhez használt szoftver bemutatása. A további feladatrészek átbeszélése.

2022.12.09.

Dr. Stocker György

A műszaki rajzok előzetes bemutatása. Javaslat, hogy az egyes rajzoknál 1:5 méretarány legyen az átláthatóbb, szemléletesebb megjelenítés miatt.

2022.12.13.

Dr. Stocker György

A műszaki rajzok előzetes bemutatása. Javaslat, hogy az egyes rajzoknál 1:5 méretarány legyen az átláthatóbb, szemléletesebb megjelenítés miatt.

2022.12.13.

Dr. Nagy Balázs

Dr. Stocker György

Beadás előtti utolsó konzultáció. Az eddigi dolgok véglegesítése. A formai követelmények átbeszélése.