

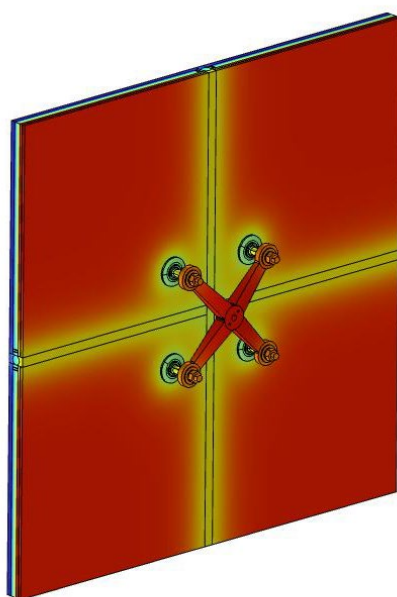


M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

BME Építőmérnöki Kar Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

Pontmegfogásos üveghomlokzatok hőtechnikai modellezése

TDK Dolgozat



Laczkó Arnold – L05P3A

Konzulens: Dr. Nagy Balázs

2022

Tartalomjegyzék

Ábrajegyzék	3
Táblázatjegyzék	4
Absztrakt.....	5
Summary	6
1 Bevezetés.....	7
1.1 Elméleti áttekintés	8
1.1.1 Szakirodalom kutatás	8
1.1.2 Alkalmazott szabványok	8
2 Vizsgált rendszerek és anyagok.....	9
2.1 Pontokon rögzített függőnyfal rendszerek.....	9
2.1.1 Üvegtábla megfogása	9
2.1.2 Háttérszerkezet [3].....	10
2.2 Hőszigetelt üvegezés [3].....	10
2.3 Hézagképzés [3].....	12
3 Hőtechnikai modellezés és vizsgálat	12
3.1 Parametrikus geometria modell.....	12
3.2 Hőtechnikai modell	13
3.2.1 Hálófüggetlenségi vizsgálat	14
3.2.2 További hálóvizsgálatok	15
3.2.3 Anyagbeállítások.....	17
3.2.4 Peremfeltételek.....	22
3.2.5 Végeselemes számítási módszer	23
3.2.6 Eredmény lekérdezések.....	23
4 Eredmények kiértékelése	24
4.1 Vonalmenti hőátbocsátási tényező	24
4.2 Pontbeli hőátbocsátási tényező	24
4.3 Belső felületi hőmérséklet tényező.....	25
5 Eredmények bemutatása	26
5.1.1 Átfogó tányéros rögzítés	30
5.1.2 Süllyesztett fejű rögzítés.....	34
5.1.3 Rejtett rögzítés	38
5.2 Összegző megállapítások és az adatok felhasználása	42
5.3 Összehasonlítás a mechanikus rögzítőelemek korrekciós tényezőjének számításával.....	43

6	További javaslatok a kutatási témában	45
7	Összefoglalás	46
	Köszönetnyilvánítás	46
	Irodalomjegyzék	47

Ábrajegyzék

1. ábra: Etele pláza üveghomlokzata kivitelezés közben [2]	7
2. ábra: Az üvegtáblák megfogása [2]	9
3. ábra: Tányéros rögzítés [4]	9
4. ábra: Színelő rögzítés [4]	9
5. ábra: Rejtett rögzítés [4]	9
6. ábra: Geometriai modell és modellfa a pontmegfogóról Inventorban	13
7. ábra: Geometriai modell Comsol-ban	14
8. ábra: Geometriai modell közelítve, Comsol-ban	13
9. ábra: Megoldott szfokok száma - futtatási idő ábrázolása	15
10. ábra: Hiba mértékének ábrázolása az alapesetekben	15
11. ábra: Hálósűrűség a pontmegfogásnál és a hézagképzésnél	15
12. ábra: Rozsdamentes acél pók hatása	16
13. ábra: Egyszerűsített modell hálózása	16
14. ábra: Egyszerűsített modell eredménye	17
15. ábra: Anyagok szemléltetése színekkel	17
16. ábra: Átfogó tányéros rögzítés komponens listája anyagok szerint	18
17. ábra: Peremzárás MSZ EN 12631 szabvány szerint	19
18. ábra: Guardian Glass Analytics jelentés eredménye	20
19. ábra: Auricon Energetic üvegjellemzők meghatározása	20
20. ábra: Hőmérséklet eloszlás alumínium távtartóval, Argon + SNX esetben (bal)	26
21. ábra: Hőmérséklet eloszlás rm. acél távtartóval, Argon + SNX esetben (közép)	26
22. ábra: Hőmérséklet eloszlás műanyag távtartóval, Argon + SNX esetben (jobb)	26
23. ábra: Hőmérséklet eloszlás alumínium távtartóval, csak Argonnal (bal)	26
24. ábra: Hőmérséklet eloszlás rm. acél távtartóval, csak Argonnal (közép)	26
25. ábra: Hőmérséklet eloszlás műanyag távtartóval, csak Argonnal (jobb)	26
26. ábra: Vonalmenti hőátbocsátás szilikonos hézagnál	27
27. ábra: Vonalmenti hőátbocsátási tényező gumiprofilos hézagban	28
28. ábra: Hőmérséklet eloszlás alumínium távtartóval, Argon + SNX esetben (elől- és hátulnézet)	30
29. ábra: Hőmérséklet eloszlás műanyag távtartóval, Argon + SNX esetben (elől- és hátulnézet)	30
30. ábra: Hőmérséklet eloszlás metszeten, Argon + SNX esetben alumínium (bal) és műanyag (jobb) távtartóval	31
31. ábra: Pontbeli hőátbocsátási tényező tányéros rögzítésnél	32
32. ábra: Hőmérséklet eloszlás alumínium távtartóval, Argon + SNX esetben (elől- és hátulnézet)	34
33. ábra: Hőmérséklet eloszlás műanyag távtartóval, Argon + SNX esetben (elől- és hátulnézet)	34
34. ábra: Hőmérséklet eloszlás metszeten, Argon + SNX esetben alumínium (bal és műanyag (jobb) távtartóval	35
35. ábra: Pontbeli hőátbocsátási tényező sülyesztett fejű rögzítésnél	36
36. ábra: Hőmérséklet eloszlás műanyag távtartóval, Argon + SNX esetben (elől- és hátulnézet)	38

37. ábra: Hőmérséklet eloszlás alumínium távtartóval, Argon + SNX esetben (elől- és hátulnézet).....	38
38. ábra: Hőmérséklet eloszlás metszeten, Argon + SNX esetben alumínium (bal) és műanyag (jobb) távtartóval	39

Táblázatjegyzék

1. táblázat: Hálófűggetlenségi vizsgálat eredménye.....	14
2. táblázat: Eredmények táblázatos formában	16
3. táblázat: Egyszerűsített modell táblázatos eredménye	17
4. táblázat: Anyagjellemzők és színek kódok	18
5. táblázat: Üvegtípusokhoz tartozó hőátbocsátási tényező	20
6. táblázat: Számolt egyenértékű hővezetési tényezők a légrétegre	21
7. táblázat: Belső légüregek számítása.....	22
8. táblázat: Vonalmenti hőátbocsátási tényező táblázatos eredménye.....	27
9. táblázat: Min. belső felületi hőmérséklet.....	29
10. táblázat: Min. belső felületi hőmérséklet a hézagképzésnél.....	29
11. táblázat: Pontbeli hőátbocsátási tényező tányéros rögzítésnél	31
12. táblázat: Min. belső felületi hőmérséklet tányéros rögzítés esetén	32
13. táblázat: Min. belső felületi hőmérséklet a hézagképzésnél, tányéros rögzítés esetén.....	33
14. táblázat: Pontbeli hőátbocsátási tényező süllyesztett fejű rögzítésnél.....	35
15. táblázat: Min. belső felületi hőmérséklet süllyesztett fejű rögzítés esetén	36
16. táblázat: Min. belső felületi hőmérséklet a hézagképzésnél, süllyesztett fejű rögzítés esetén	37
17. táblázat: Pontbeli hőátbocsátási tényező rejtett rögzítésnél.....	39
18. táblázat: Pontbeli hőátbocsátási tényező rejtett rögzítésnél.....	40
19. táblázat: Min. belső felületi hőmérséklet, rejtett rögzítés esetén	40
20. táblázat: Min. belső felületi hőmérséklet a hézagképzésnél, rejtett rögzítés esetén	41
21. táblázat: Első módszer átfogó és színelő rögzítés típusnál	44
22. táblázat: Második módszer átfogó és színelő rögzítés típusnál	44
23. táblázat: Második módszer rejtett rögzítés típusnál.....	44

Absztrakt

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.

Tudományos diák kutatásom 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 fókusz 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 végelelemes 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.

A kutatásom célja, hogy átfogó képet kapjunk a pontmegfogásos függőnyfalaknál 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

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 student research 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.

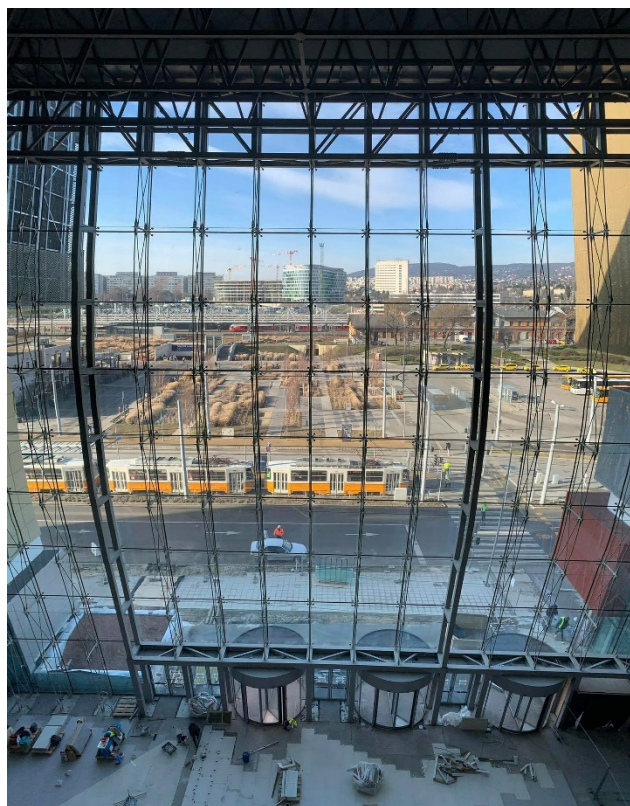
The solids were parametrized in three-dimensional geometric models, and then the thermal analysis and the determination of the point and average thermal transmittances were carried out using finite element software after a mesh independence analysis. In addition to the different types of fixings, I also 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.

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]

Budapesten is található ilyen üveghomlokzat. Például az 1. ábrán látható Etele pláza főbejáratának homlokzata, amely az elmúlt években épült. Szintén a 11. kerületben az Allee bevásárlóközpont homlokzata is pontmegfogásos függőnyfal.



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

Az egyre szigorúbb energetikai követelmények elvárják, hogy minden megépülő szerkezet a lehető legkevesebb hőveszteséget produkálja. Kutatásom fő célja, hogy a pontmegfogásos rendszerekben keletkező pontbeli hőhidak értékét végeselem modell segítségével megkapjam. Megvizsgálom, hogy ennek a mértéke bizonyos paraméterek változtatásával, hogyan módosul. A kidolgozott eredmények a későbbiekben tervezési javaslatként is alkalmazhatók.

1.1 Elméleti áttekintés

1.1.1 Szakirodalom kutatás

Első körben a pontmegfogásos függönyfalakról kerestem cikkeket, kutatásokat. Találtam a témában olyanokat, amelyben a pontszerűen rögzített függönyfal rendszereket írták le, hasonlították össze a vonalmenti megtámasztású rendszerekkel. [3]

Ezek után szűkítettem a keresést és megadtam, energetikai, hőtechnikai szempontokat. A kínai műszaki egyetem, tűzzel foglalkozó laboratórium munkatársai az egyik kutatásban négy ponton rögzített üvegtáblát vizsgálták valós modellen, tűzteher hatására. Mérték a felületi hőmérsékeltváltozást különböző pontokban, a kitöltő gáz hőmérsékletét, a hőleadás sebességét. 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. [4][5]

Ezekkel a 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. A paraméterek például: profilméretek, üvegvastagság, üveg felfekvési mérete, a rögzítőcsavar hossza és anyaga. [6]

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. [7] Egy másik cikkben a függönyfalak energiamegtakarítását vizsgálták a panelek közötti hézagok hőhídjainak csökkentésével.[8]

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. Az én kutatásom 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: $1.4 W/m^2K$. [10]

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.

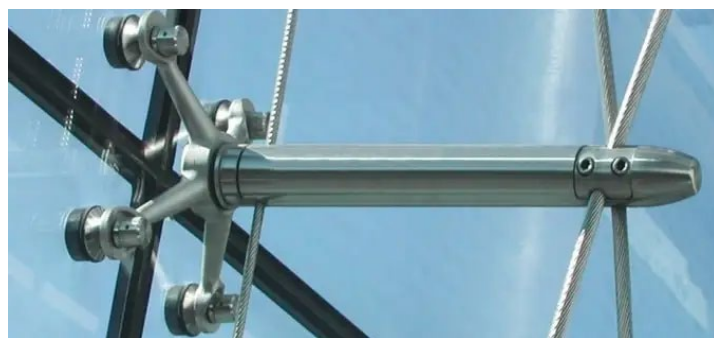
Az MSZ EN ISO 12631 szabvány leírja a függönyfalak hőtechnikai viselkedését. A hőátbocsátási tényező számítását. A vonalmenti megfogású függönyfalakra hoz példát, de tudtam alkalmazni a strukturális tömítésre vonatkozó számítási elvet.

2 Vizsgált rendszerek és anyagok

2.1 Pontokon rögzített függönyfal rendszerek

2.1.1 Üvegtábla megfogása

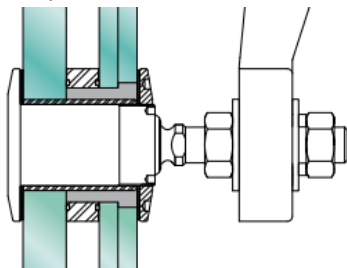
A pontszerűen rögzített üveghomlokzatokra jellemző a rozsdamentes acélból készült, általában póknak nevezett szerelvény, amely összefogja a pontmegfogókat, felveszi az üvegfelületre ható terheket és továbbítja a háttérszerkezetre. (2. ábra)



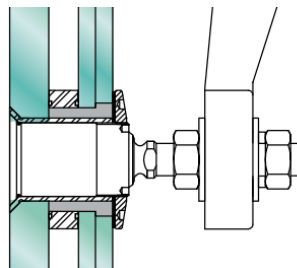
2. ábra: Az üvegtáblák megfogása [11]

A leggyakoribb pontmegfogó megoldások fúrt csatlakozások esetén [12]:

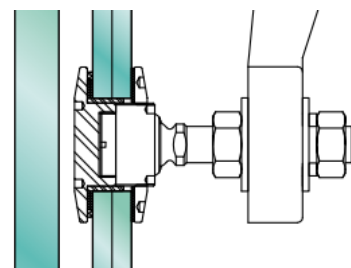
- tányéros rögzítés, amikor az üveg külső és belső felületére egy acéltárcsa kerül, ezek a furaton keresztül vannak összekötve egy menetes szárral (3. ábra)
- színelő (süllyesztett) fejű rögzítés, ahol az üveg külső oldalán süllyesztett furatot kell létrehozni és a pontmegfogó szerelvény az üveg síkjába simul (4. ábra)
- rejtett rögzítés, hőszigetelő üvegek alkalmazásakor a külső üveget nem kell megfúrni, 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. (5. ábra)



3. ábra: Tányéros rögzítés [13]



4. ábra: Színelő rögzítés [13]



5. ábra: Rejtett rögzítés [13]

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 padlólemezként viselkedik. Kedvező, ha a pontmegfogó nem merev, hanem csuklós kialakítású. Statikailag a csukló lehetővé teszi a tervező számára, hogy előre megjósoljon 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 [12]

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 kötél szerkezet. Nagyobb légtér esetén esztétikai követelmény, hogy az átláthatóság a legkisebb mértékben csökkenjen. A sodronyköteles rendszer előre meg van feszítve (ezzel minimalizálható a szerkezet elmozdulása).

Kutatásomban a vizsgálat szempontjából elhanyagolható a háttérszerkezet típusa.

2.2 Hőszigetelt üvegezés [12]

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 későbbieknek 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 meglóg és "paplan"-ként viselkedik. Az üveg felületi egyenetlensége miatt, lehet a réteg között kialakuló "rés". A biztos áthidalás érdekében kell a

4 réteg fólia (4x0.38mm) 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 légrésben 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 légréssel 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 összenergia-átbocsátás hányadosát. Minél nagyobb az index annál kedvezőbb, hiszen jó fényáteresztés kevés energia átbocsátással 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 a kutatás során

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

Jelentése:

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

2.3 Hézagképzés [12]

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 habzivacs kitöltéssel és kétoldalú szilikon képzéssel, illetve egy előre elhelyezett tömítő gumiprofillal és külső oldali szilikon kitöltéssel. A hézagképzés szélességét 20mm-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).

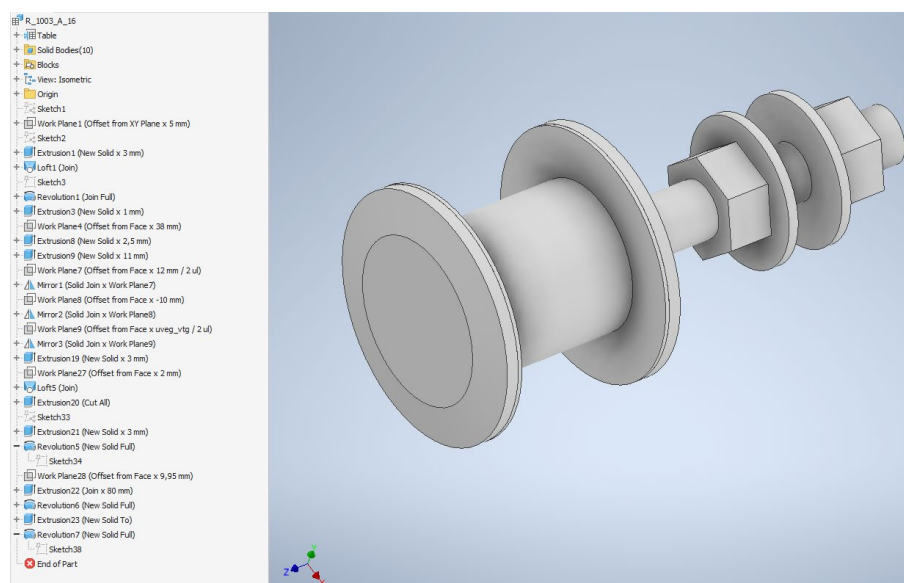
3 Hőtechnikai modellezés és vizsgálat

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 [13]. A pontmegfogókat (6. 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.

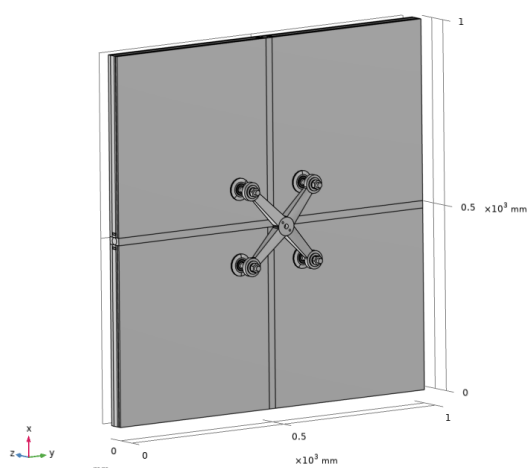


6. ábra: Geometriai modell és modellfa a pontmegfogóról Inventorban

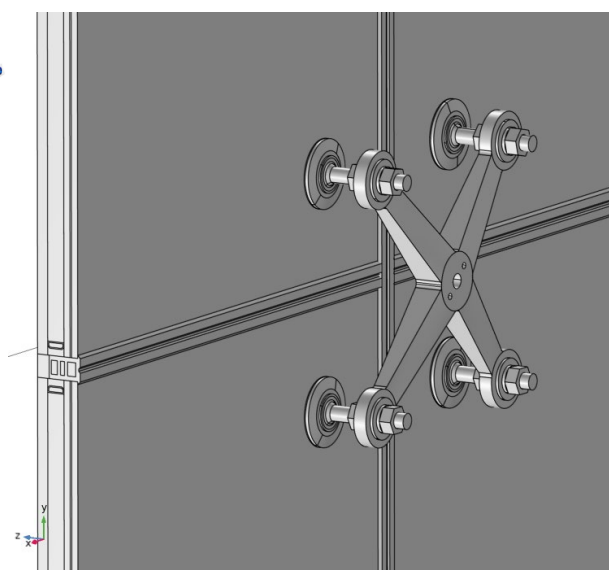
3.2 Hőtechnikai modell

A Comsol szoftvert különböző szimulációkhoz használják, mely lehet 2D vagy 3D. Ennél a kutatásnál 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 (7-8. ábra). A szinkronizálás a modellben azonos paramétereket, alkatrészeket felismeri és a beállításai nem változnak.



7. ábra: Geometriai modell Comsol-ban



8. ábra: Geometriai modell közelítve, Comsol-ban

3.2.1 Hálófügggetlenségi 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 hálófügggetlenségi vizsgálatra, átfogó tányéros rögzítés, szilikonos hézag tömítéssel. 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 0.5mm-es butyl ragasztóréteget. A távtartó anyagvastagsága 1 mm.

A háló kiválasztásához hálófügggetlenségi vizsgálatot csináltam. [14]

	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	0%
Finer	2 007 402	362 796	0,03952	0,5746	60	172	2 781 364	2 202 286	1,88672	0,8867	0,595%
Fine	449 871	88 465	0,01371	0,5234	19	48	653 057	632 962	1,89952	0,8995	2,010%
Normal	242 027	49 773	0,00144	0,4832	15	31	360 167	374 898	1,9046	0,9046	2,560%
Coarse	109 503	23 102	0,00220	0,4023	12	21	165 321	198 332	1,91632	0,9163	3,807%
Coarser	114 374	24 453	0,00080	0,4296	15	22	173 801	204 150	1,93184	0,9318	5,409%
Extra Coarse	86 011	18 669	0,00107	0,4049	15	22	131 676	161 838	1,94924	0,9492	7,143%
Extremely Coarse	69 523	15 136	0,00029	0,3901	18	17	106 617	136 816	1,96244	0,9624	8,416%

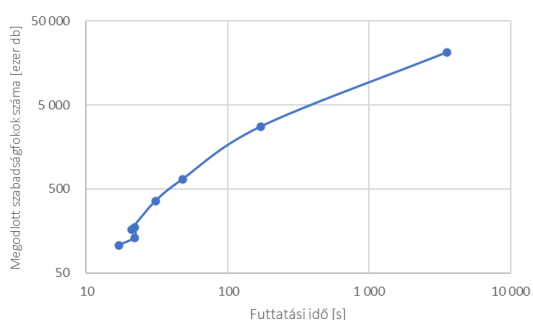
$\Delta U = U_{tot} - U_g$
 $U_g = 1 \text{ W/m}^2 \cdot K$

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	-0,014%
Finer + Fine	989 509	181 928	0,03520	0,5799	38	90	1 386 750	1 148 232	1,88756	0,8876	0,690%

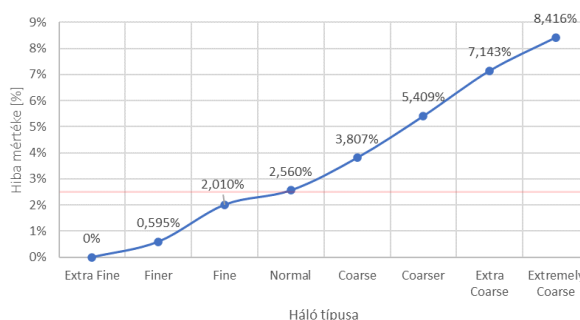
1. táblázat: Hálófügggetlenségi vizsgálat eredménye

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 (9-10. ábra) ábrázoltam azokat az eredményeket, amik alapján kiválasztottam a megfelelő hálótípust.



9. ábra: Megoldott szfokok száma - futtatási idő ábrázolása

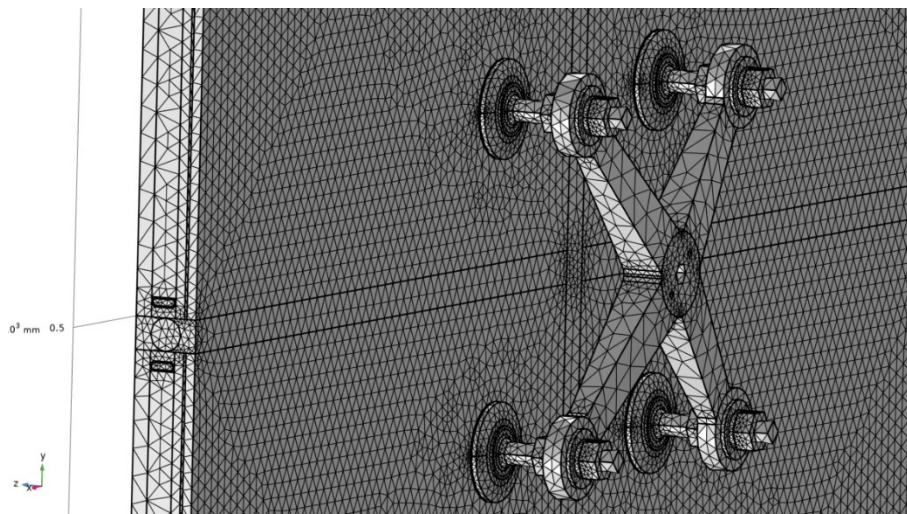


10. ábra: Hiba mértékének ábrázolása az alapesetekben

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 11. ábrán látható a választott hálósűrűség.



11. ábra: Hálósűrűség a pontmegfogásnál és a hézagképzésnél

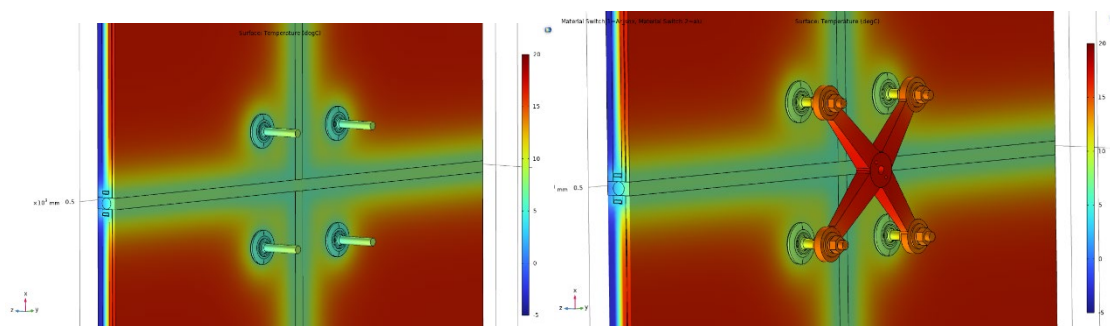
3.2.2 További hálóvizsgálatok

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 (12. 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).

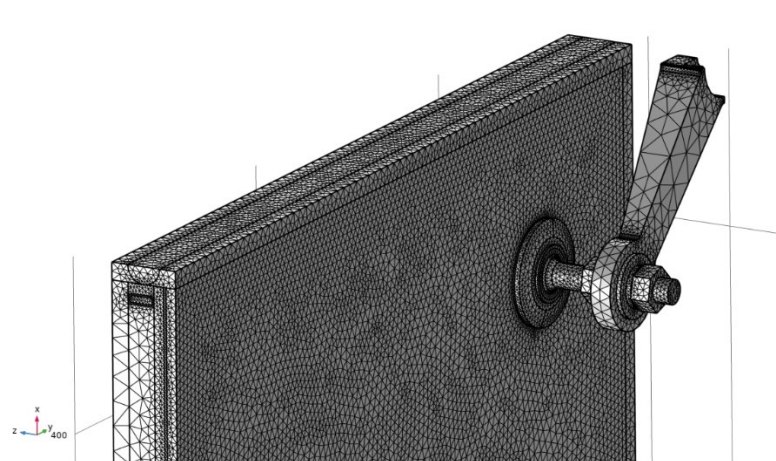
	elemek száma	csomópontok száma	min. elemminőség	átl. elemminőség	hálózás ideje [s]	Futtatás ideje [s]	megoldott szabadságfokok száma/ belső szf. száma	U_{tot} [W/m ² ·K]	ΔU [W/m ² ·K]	Hiba mértéke [%]
Extremely Fine	62 160 527	10 458 148	0,00010	0,6465	1 494	-	-	-	-	-
Extra Fine	15 853 539	2 715 465	0,01094	0,6663	239	2 743	21 399 139	1,83176	0,8318	0,000%
Finer	1 965 329	354 116	0,04209	0,5737	67	190	2 718 191	1,8368	0,8368	0,602%

2. táblázat: Eredmények táblázatos formában



12. ábra: Rozsdamentes acél pók hatása

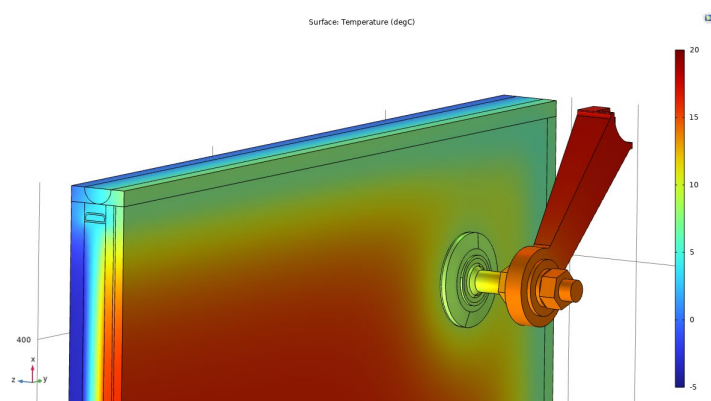
A másik egyszerűsítés, a modell felbontása szimmetrikus elemekre. Elmondható, hogy a modell a pókon lévő furatméreteken kívül kétszeresen szimmetrikus, de annak hatása elhanyagolható. Felbontottam a modellt egy negyed elemre, mely 0.25 m² (13. ábra). A futtatási idő nem változott, de a csökkentett elemszám miatt képes volt az Extremely Fine is lefutni.



13. ábra: Egyszerűsített modell hálózása

Az egységnyi felületre átszámolt eredmények azt mutatják (14. 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. Az ábrán látható az eredmény vizuálisan.



14. ábra: Egyszerűsített modell eredménye

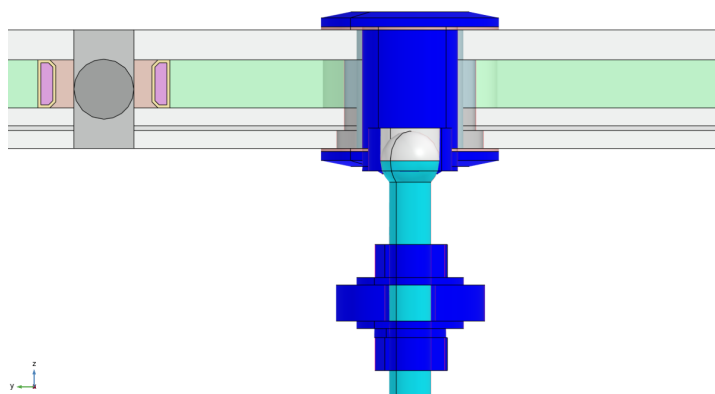
	elemek száma	csomópontok száma	min. elemminőség	átl. elemminőség	hálózás ideje [s]	Futtatás ideje [s]	megoldott szabadságfokok száma/ belső szf. száma	U_{tot} [W/m ² ·K]	ΔU [W/m ² ·K]	Hiba mértéke [%]
Extremely Fine	24 810 454	4 168 342	6,02E-05	0,6382	595	9283	33 211 227 9 623 407	1,940	-	-
Extra Fine	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 (15. ábra) hány féle anyagot használtam és azok milyen formában jelennek meg. Az anyagjellemzőket és színek jelentését a 4. táblázat tartalmazza.

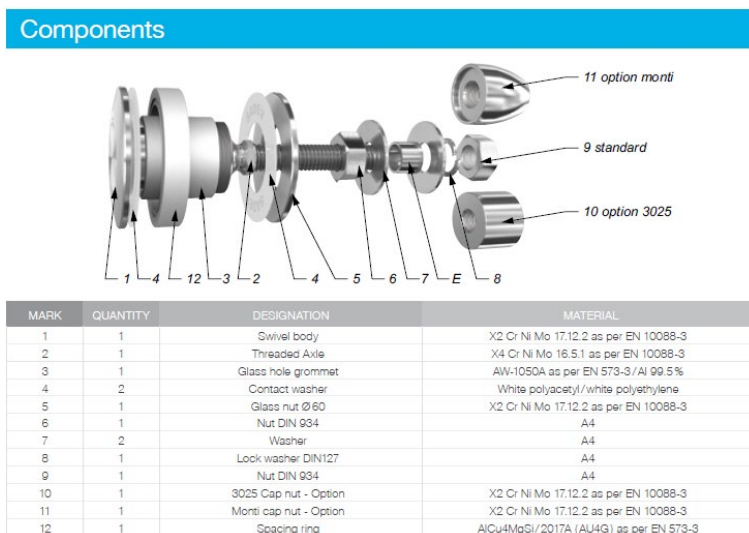


15. ábra: Anyagok szemléltetése színekkel

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	
légüreg	rózsaszín	0,013	Számolva!
gáztöltés	világos zöld	-	Értékek számolva!
A peremzáró távtartó (citromsárga) anyaga lehet:			
alumínium		160,00	
rm acél		17,00	
műanyag		2,00	
A másik hézagképzés további anyagai			
fugatómítő cső helyett gumiprofil		0,25	
légüregek (3db) a gumiprofilban		0,0394	Számolva!
		0,0278	Számolva!
		0,0191	Számolva!

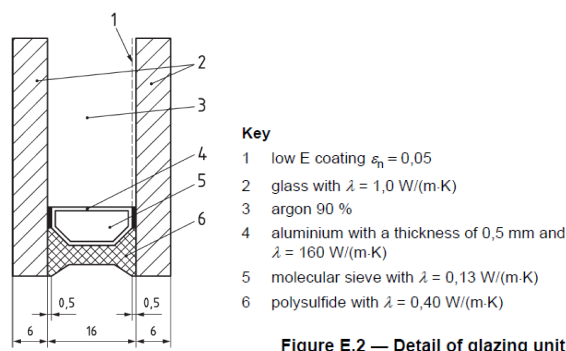
4. táblázat: Anyagjellemzők és színkódok [15][16][17]

A SADEV katalógus [4] (16. ábra) alapján vettem fel a szerelvények anyagtulajdonságait, az ehhez tartozó hővezetési tényezőt az MSZ EN ISO 10456 szabvány alapján írtam be.



16. 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. (17. ábra)



17. ábra: Peremzárás MSZ EN 12631 szabvány szerint [16]

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 [18] (18. ábra), a low-e bevonat esetén az Auricon Energetic szoftvert [19] (19. 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 _s)	U-Value
			Visible (τ _v %)	p _v % out	p _v % in	Solar (τ _s %)	p _s % 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

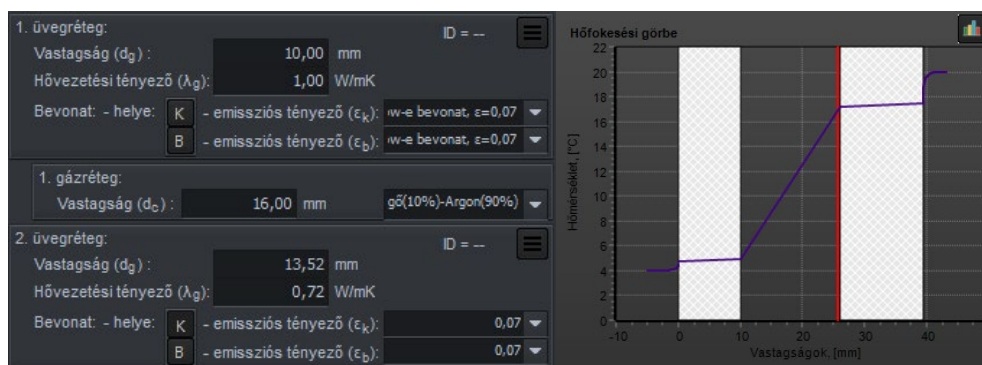
GLASS 1	Guardian ExtraClear (CE)	#1 -----
Thickness = 10mm		#2 -----
GAP 1	10% Air, 90% Argon, 16mm	
GLASS 2	Guardian ExtraClear (CE)	#3 SunGuard® SNX 60 (CE)
Thickness = 6mm		#4 -----
INTERLAYER 1	PVB Clear 1.52mm (CE)	
GLASS 3	Guardian ExtraClear (CE)	#5 -----
Thickness = 6mm		#6 -----

Total Unit (Nominal) = 39.524 mm Slope = 90°

Estimated Nominal Glazing Weight: 55.18 kg/m²

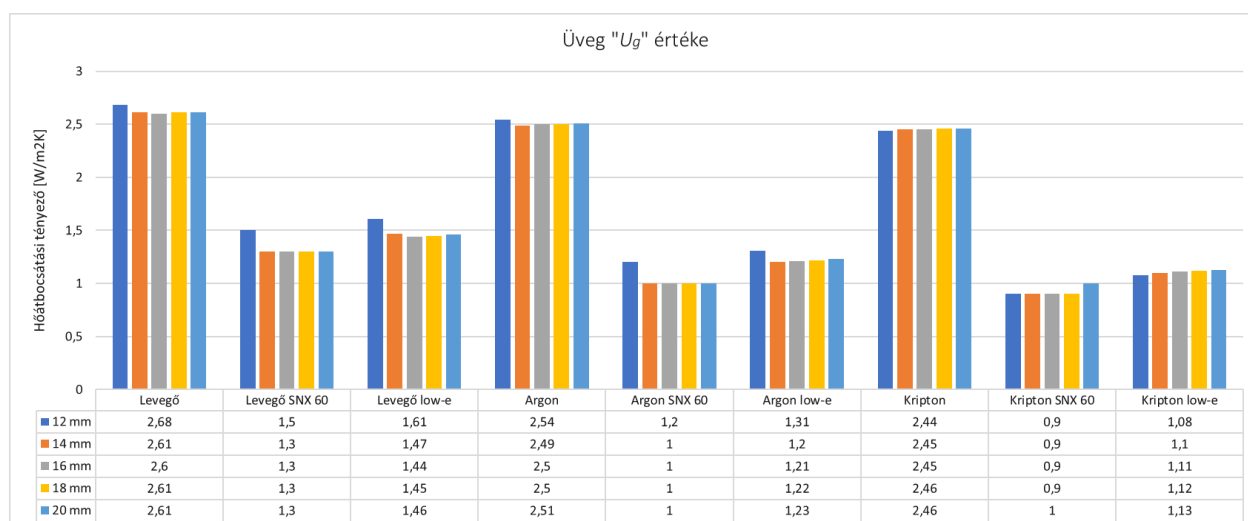
Indoors

18. ábra: Guardian Glass Analytics jelentés eredménye [18]



19. ábra: Auricon Energetic üvegjellemzők meghatározása [19]

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. Kriptonnál a 20mm-es távtartó, a másik két gáztöltésnél a 12mm-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 14mm, de az ennél nagyobb távtartó nagyon minimális eltérést ad. Krypton gáz alkalmazásánál 12mm 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 légüreg meghatározása

A belső légüreg számítása az MSZ EN 6946 szabvány D4. melléklete alapján. Kis méretű osztott légüregek.[20]

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

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

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	$\lambda=d/R$	h_a	h_r	h_{r0}	T_m [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: $T_i = +20 \text{ C}^\circ$

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

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

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. [21]

Comsol [22] az alábbi egyenlettel veszi figyelembe a külső, belső peremfeltételeket:

$$-n \cdot q = q_0$$

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

h , számolható a felületi hűtadási 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 [23]:

$$\nabla \cdot q = 0$$

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

∇ , 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_{tot1} , 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

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

$$\begin{aligned}\Delta U_{TJ} &= U_{tot1} - U_g \\ \psi_{TJ} &= \frac{\Delta U_{TJ}}{l_{TJ}} = \frac{U_{tot1} - U_g}{l_{TJ}}\end{aligned}$$

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 (ebben a kutatásban 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 [23] szerint:

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

T_{si} , belső felületi min. hőmérséklet

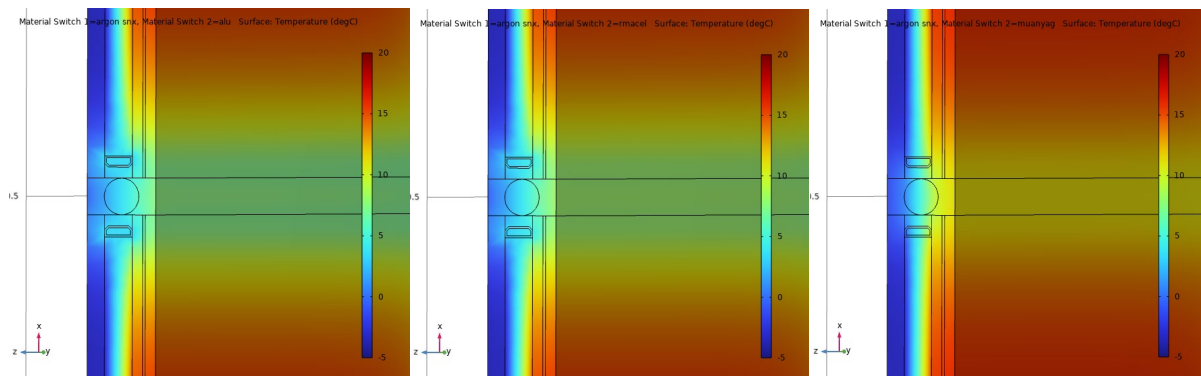
Ha $f_{R_{si}} > 0.8$, akkor nem alakul ki páralecsapódás a lehűlő felületen.

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 visszszámoljuk 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

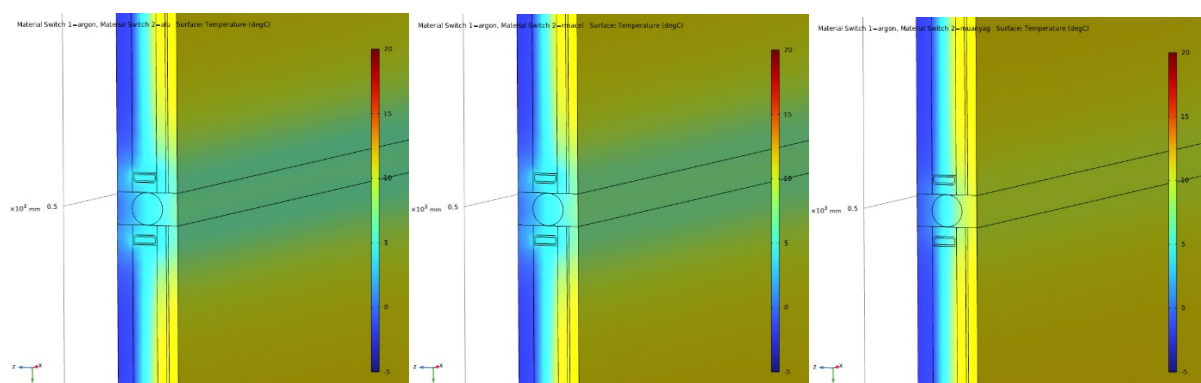
Az alábbi ábrákon (20-25. ábra) a távtartó anyagának hatását szerettem volna jelölni a hézagképzés helyén. Az első esetben egy jó hőátbocsátással rendelkező üveget vettem (Argon gáztöltés és SNX bevonat), míg a másodiknál kivettem a bevonat hatását. A hézagképzésben és a körülötte lévő üvegfelületen a hőmérséklet látszólag nem, vagy nagyon kis mértékben változott. Az üveg átlagos hőmérséklete viszont jól láthatóan lecsökkent. Ez a korábban tett megállapítást igazolja.



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

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

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



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

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

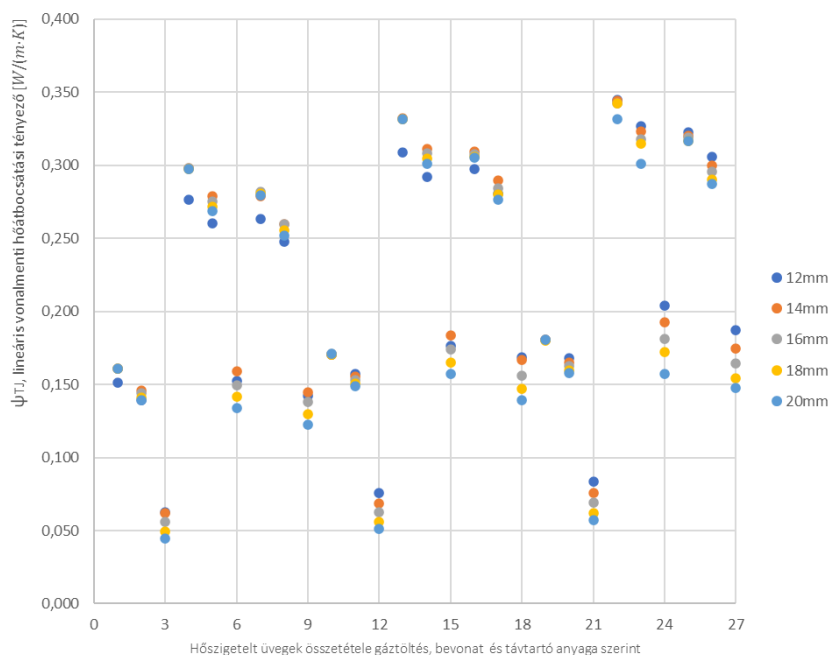
25. ábra: Hőmérséklet eloszlás műanyag távtartóval, csak Argonnal (jobb)

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

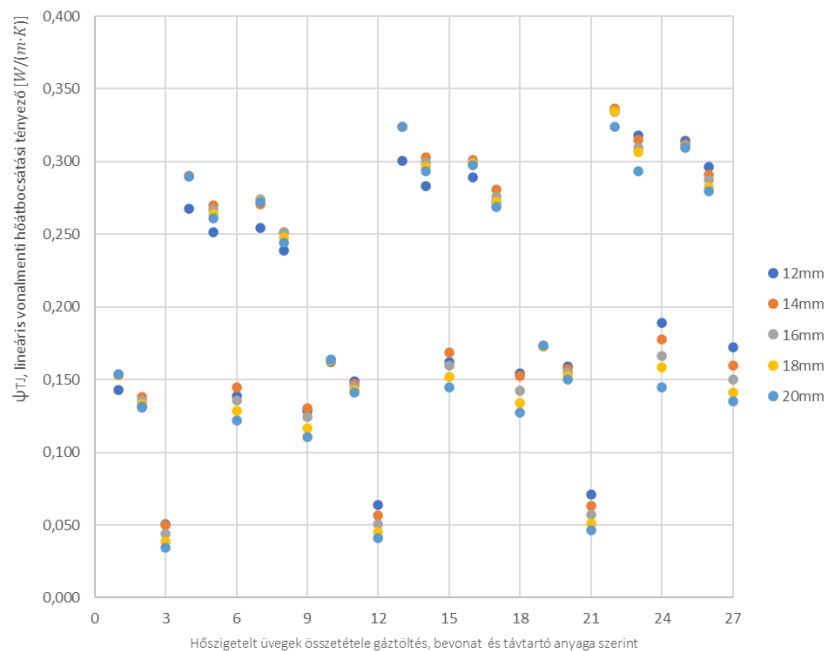
ψ_{Tl} , vonalmenti hőátbocsátási tényező [W/(m·K)]			Távtartó szélessége Hézagképzés típusa									
Gáztöltet + bevonat	Távtartó anyaga	Azonosító szám	12 mm		14 mm		16 mm		18 mm		20 mm	
			Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos	Szilikonos	Gumiprofilos
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
Krypton	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
Krypton + 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
Krypton + 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.



26. ábra: Vonalmenti hőátbocsátási tényező változása az üveghomlokzatok szerint kétoldalon szilikonos hézagképzéssel



27. 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 Kripton 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°]			Távartó szélessége Hézagképzés típusa									
Gáztöltet + bevonat	Távartó 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	6,3088	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
Kripton	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
Kripton + 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
Kripton + 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°]			Távartó szélessége Hézagképzés típusa									
Gáztöltet + bevonat	Távartó 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	6,126	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	alumínium	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	alumínium	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	alumínium	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	alumínium	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	alumínium	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
Kripton	alumínium	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
Kripton + SNX	alumínium	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
Kripton + low-e	alumínium	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

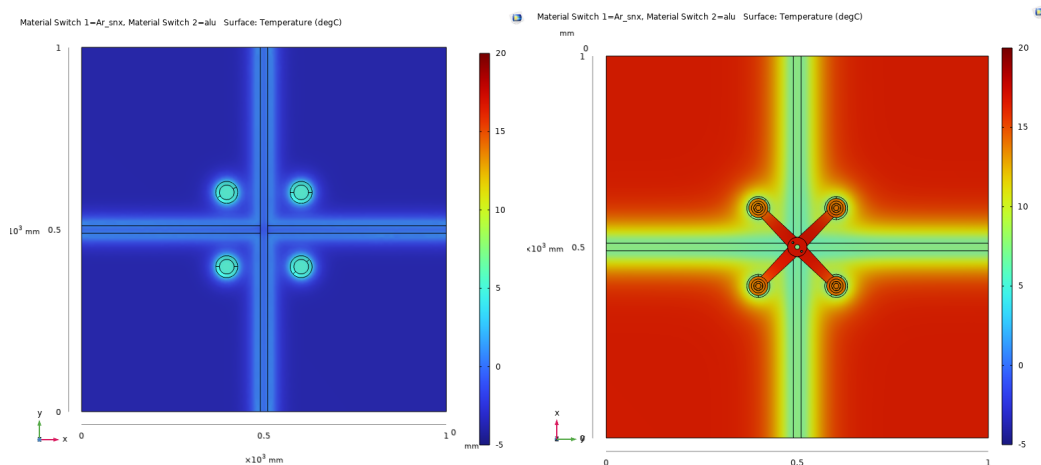
Minden esetben min. hőmérséklettel számoltam. Az üveg esetében az átlag nem mérhető, mert csak az üveg szélénél és a pont rögzítésnél alacsony a hőmérséklet, ami területarányosan elég kis felületet jelent. A többi helyen attól függően hogyan épül fel az üveg, egységes. A távtartónál a min. és az átlag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

A hőmérséklettel kapcsolatos megállapítások:

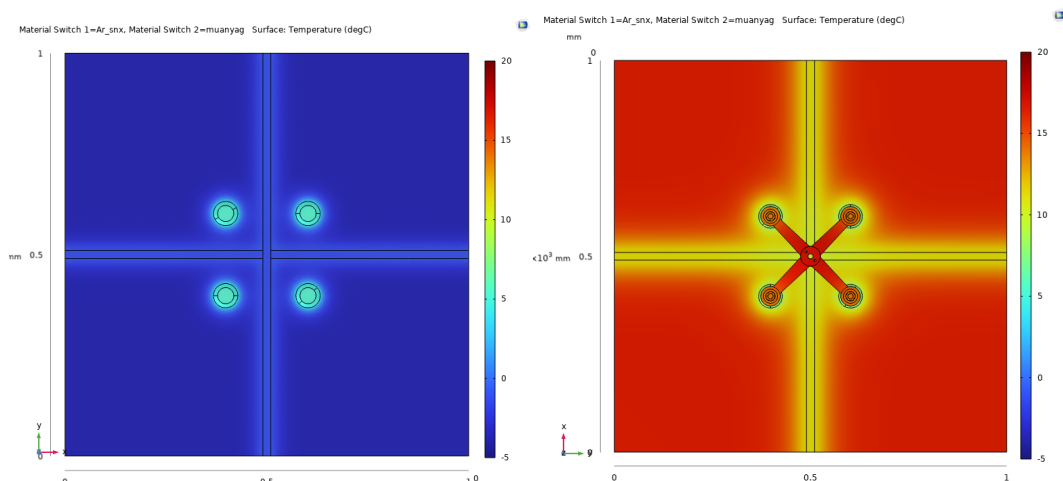
- A min. belső felületi hőmérséklet az üveg min. belső hőmérsékletével lesz egyenlő.
- Műanyag távtartó esetén számít a legtöbbet a bevonat jelenléte és a távtartó szélességének változása, mert 0.6-1 °C közötti hőmérséklet növekedés is elérhető. (20-25. ábra)
- A táblázatban szereplő eredmények nem érik 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

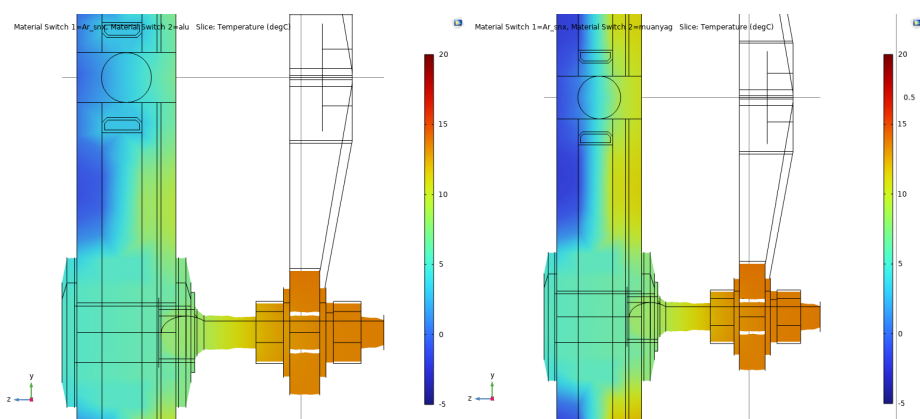
A képeken jól látható (28-30. ábra), hogy a pontszerű rögzítés a belső felületi hőmérsékletre van nagy hatással. A műanyag távtartó esetén ez a hatás kisebb.



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



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



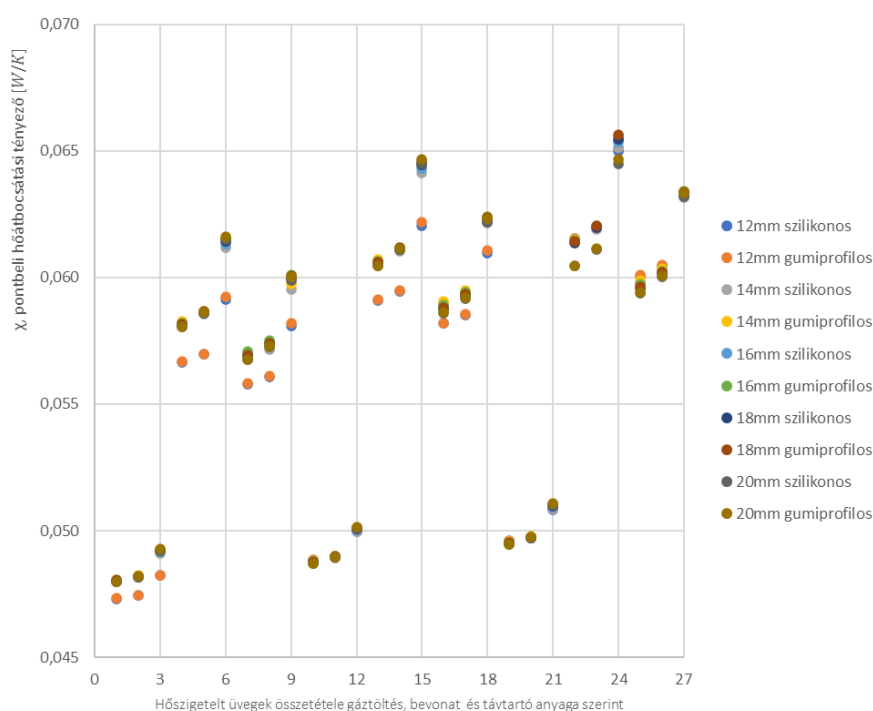
30. ábra: Hőmérséklet eloszlás metszeten, Argon + SNX esetben
alumínium (bal) és műanyag (jobb) távtartóval

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
Kripton	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
Kripton + 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
Kripton + 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 esetről nem szedtem szét hézagképzés szerint több grafikonra, mert az eredmények között nincs vagy nagyon kicsi az eltérés.



31. ábra: Pontbeli hőátbocsátási tényező tányéros rögzítésnél

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

T _{min,int} , min. belső felületi hőmérséklet [C°]			Átfogó tányéros 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	aluminium	1	5,815	5,982	5,858	6,012	5,887	6,034	5,904	6,026	5,923	6,052
	rm acél	2	6,059	6,237	6,176	6,342	6,272	6,428	6,362	6,494	6,447	6,572
	műanyag	3*	6,932	6,950	6,989	6,992	7,006	7,008	7,019	7,020	7,038	7,035
Levegő + SNX	aluminium	4	6,041	6,219	6,102	6,268	6,143	6,295	6,164	6,303	6,187	6,322
	rm acél	5	6,265	6,468	6,397	6,593	6,504	6,684	6,605	6,763	6,696	6,854
	műanyag	6*	7,314	7,336	7,397	7,405	7,425	7,433	7,455	7,458	7,486	7,490
Levegő + low-e	aluminium	7	6,024	6,200	6,084	6,239	6,117	6,270	6,148	6,275	6,158	6,292
	rm acél	8	6,251	6,451	6,375	6,566	6,484	6,660	6,582	6,738	6,672	6,824
	műanyag	9*	7,284	7,305	7,352	7,357	7,385	7,392	7,410	7,413	7,437	7,441
Argon	aluminium	10	5,862	6,030	5,882	6,037	5,911	6,059	5,928	6,053	5,947	6,080
	rm acél	11	6,102	6,284	6,198	6,366	6,296	6,446	6,386	6,520	6,472	6,598
	műanyag	12*	7,006	7,022	7,025	7,028	7,042	7,045	7,057	7,059	7,077	7,076
Argon + SNX	aluminium	13	6,086	6,269	6,147	6,317	6,188	6,346	6,209	6,353	6,234	6,381
	rm acél	14	6,304	6,512	6,437	6,635	6,544	6,729	6,647	6,811	6,740	6,904
	műanyag	15*	7,396	7,420	7,478	7,488	7,508	7,518	7,541	7,545	7,572	7,580
Argon + low-e	aluminium	16	6,069	6,251	6,118	6,285	6,157	6,312	6,177	6,316	6,198	6,334
	rm acél	17	6,290	6,497	6,411	6,608	6,517	6,699	6,617	6,777	6,706	6,867
	műanyag	18*	7,366	7,389	7,424	7,433	7,451	7,459	7,479	7,482	7,505	7,512
Kripton	aluminium	19	5,882	6,052	5,904	6,061	5,932	6,082	5,952	6,078	5,971	6,097
	rm acél	20	6,121	6,305	6,219	6,388	6,316	6,470	6,409	6,544	6,496	6,623
	műanyag	21*	7,039	7,055	7,059	7,063	7,078	7,081	7,094	7,096	7,116	7,115
Kripton + SNX	aluminium	22	6,128	6,315	6,161	6,331	6,203	6,363	6,224	6,370	6,234	6,381
	rm acél	23	6,339	6,550	6,449	6,648	6,558	6,744	6,661	6,825	6,740	6,904
	műanyag	24*	7,472	7,498	7,504	7,517	7,537	7,545	7,569	7,573	7,572	7,580
Kripton + low-e	aluminium	25	6,104	6,288	6,134	6,301	6,172	6,327	6,193	6,333	6,214	6,354
	rm acél	26	6,318	6,528	6,425	6,622	6,530	6,713	6,631	6,793	6,721	6,884
	műanyag	27*	7,428	7,452	7,452	7,461	7,478	7,487	7,508	7,511	7,535	7,541

Az eredményeket színskálán 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									
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	6,102	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
Kripton	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
Kripton + 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
Kripton + 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

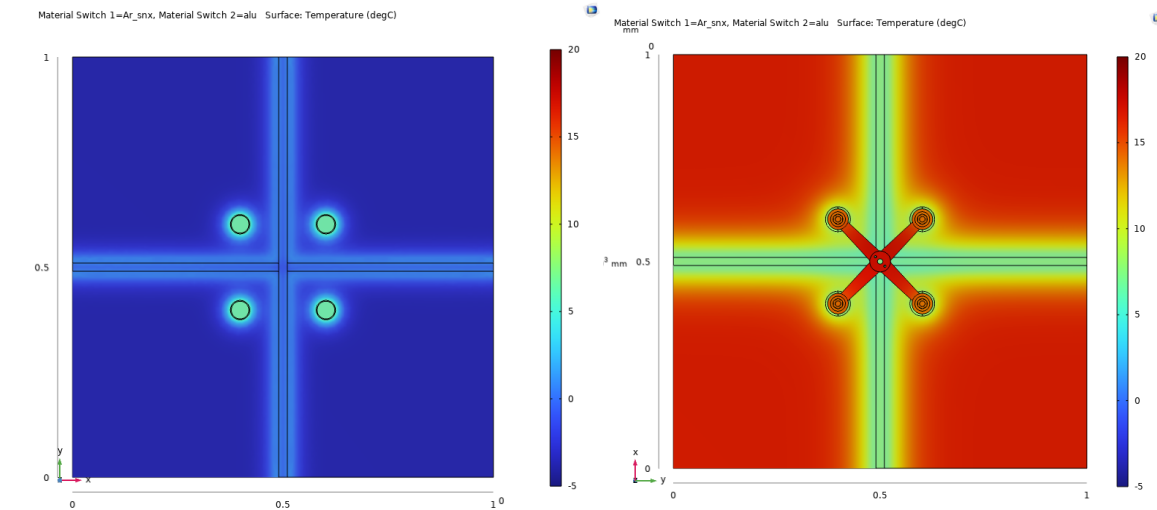
13. táblázat: Min. belső felületi hőmérséklet a hézagképzésnél, tányéros rögzítés esetén

A hőmérséklettel kapcsolatos megállapítások:

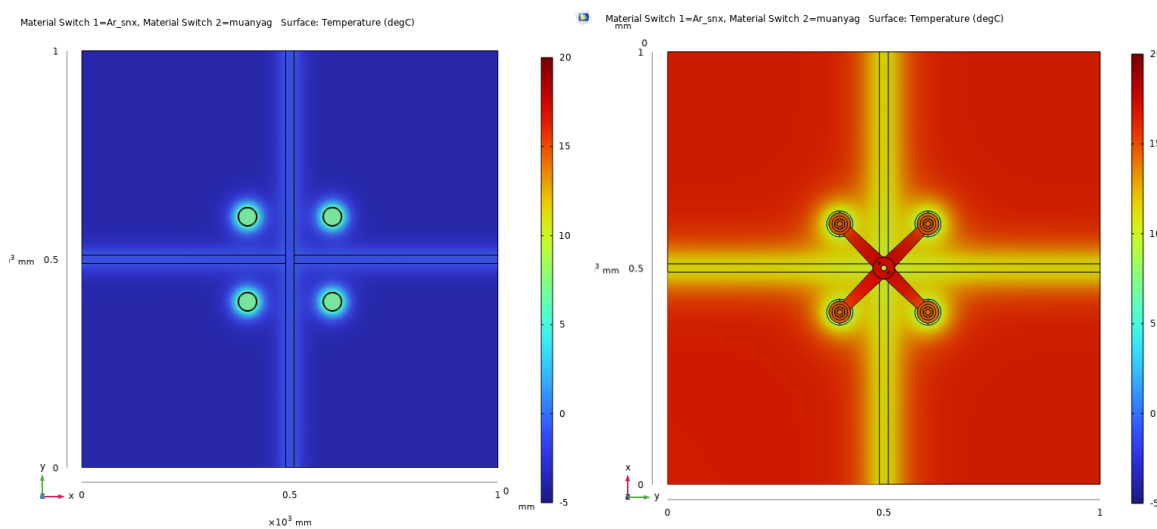
- A min. belső felületi hőmérséklet az üveg min. belső hőmérsékletével lesz egyenlő, kivéve a műanyag távtartós esetekben. Az üvegösszetétel azonosítóját egy „*” jelöltem.
- Az értékek a hézagképzésnél lévő hőmérsékletkezeléshez képest (9-10. táblázat) jelentős mértékben csökkentek. Számértékekkel is 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

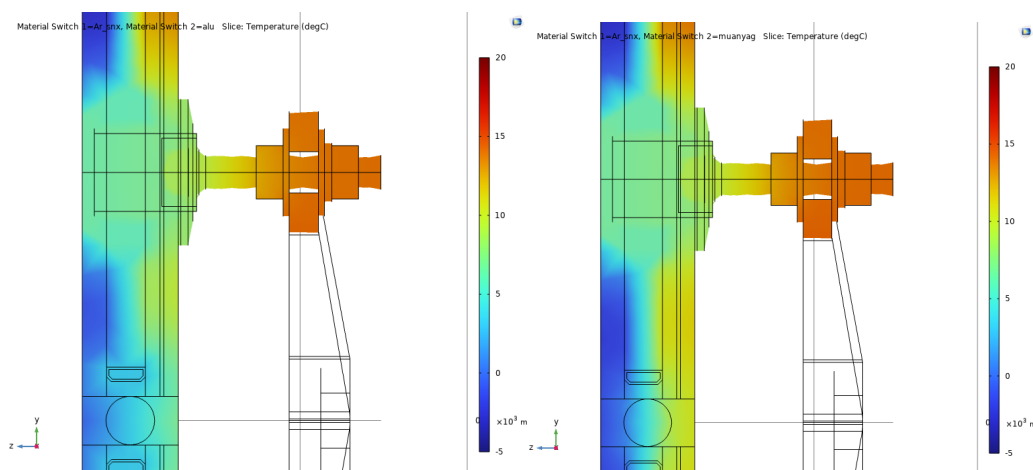
A képeken látható (32-34. ábra), hogy a süllyesztett fejű rögzítés nagyon hasonló eredményt adott a tányéros rögzítéshez képest.



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



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



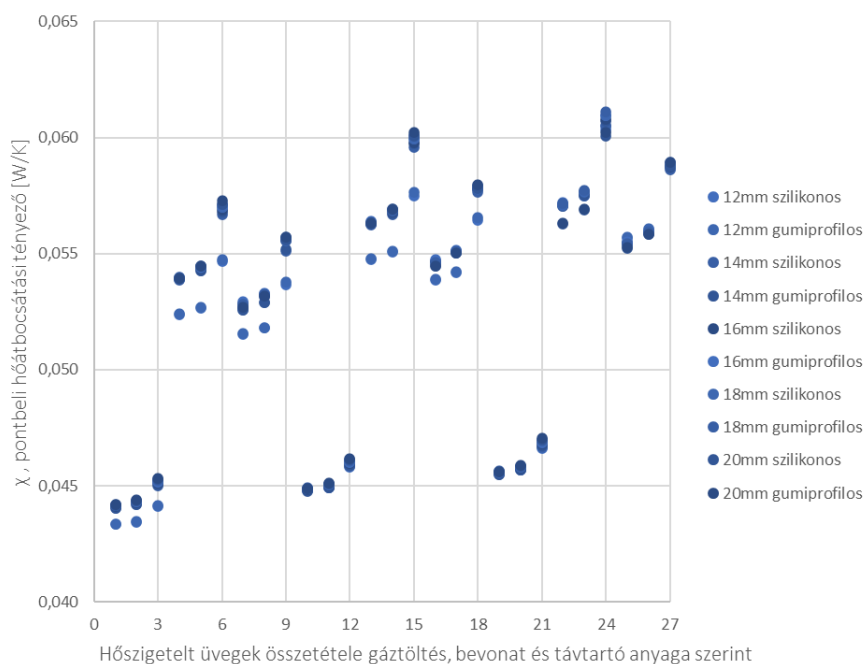
34. ábra: Hőmérséklet eloszlás metszeten, Argon + SNX esetben
alumínium (bal) és műanyag (jobb) távtartóval

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

Süllyesztett fejű rögzítés												
χ , pontbeli hőátbocsátási tényező [W/K]			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
Krypton	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
Krypton + 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
Krypton + 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.



35. ábra: Pontbeli hőátbocsátási tényező súllyesztett fejű rögzítésnél

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

Súlyesztett 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	aluminium	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	aluminium	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	aluminium	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	aluminium	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	aluminium	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	aluminium	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
Krypton	aluminium	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
Krypton + SNX	aluminium	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
Krypton + low-e	aluminium	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 súllyesztett 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	aluminium	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	aluminium	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	aluminium	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	aluminium	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	aluminium	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	aluminium	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
Krypton	aluminium	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
Krypton + SNX	aluminium	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
Krypton + low-e	aluminium	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

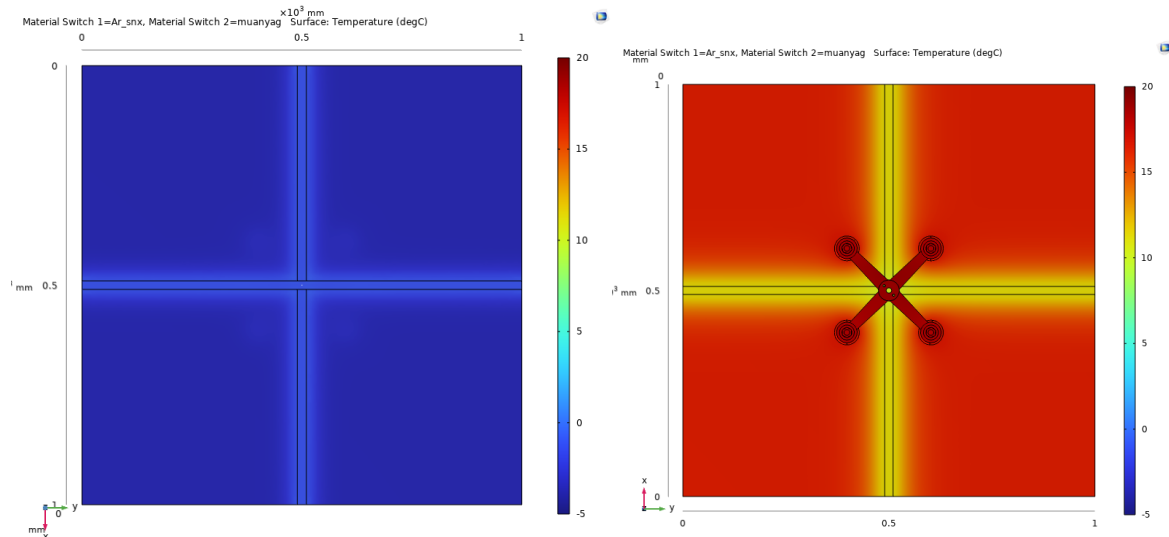
16. táblázat: Min. belső felületi hőmérséklet a hézagképzésnél, süllyesztett fejű rögzítés esetén

A hőmérséklettel kapcsolatos megállapítások:

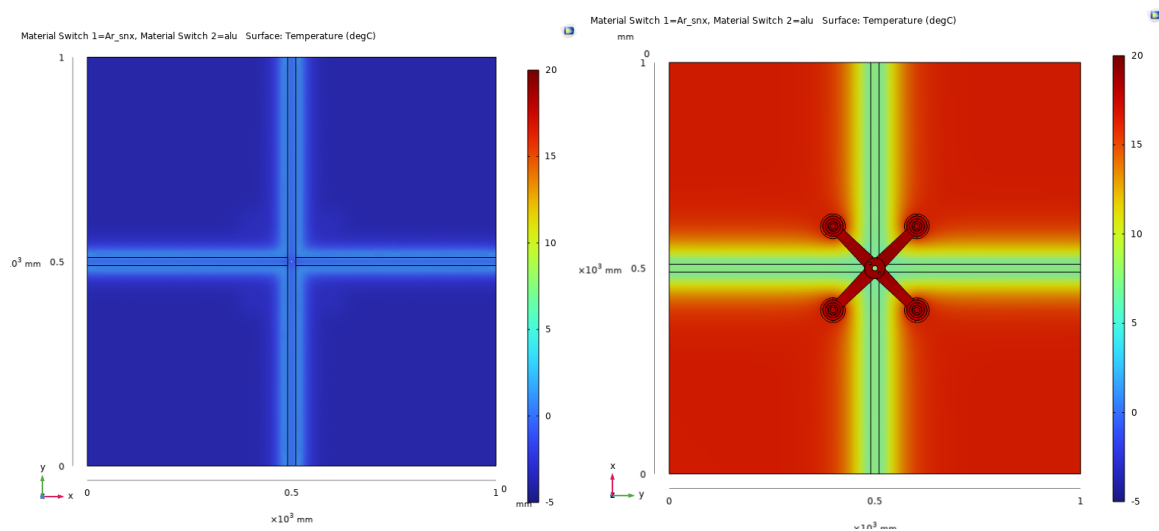
- A min. belső felületi hőmérséklet az üveg min. belső hőmérsékletével lesz egyenlő, kivéve a műanyag távtartós esetekben. Az üvegösszetétel azonosítóját egy „*” jelöltem.
- Az értékek a tányéros rögzítés hőmérsékleteihez képest (12-13. táblázat) kis mértékben növekedtek.
- Műanyag távtartó esetén számít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

5.1.3 Rejtett rögzítés

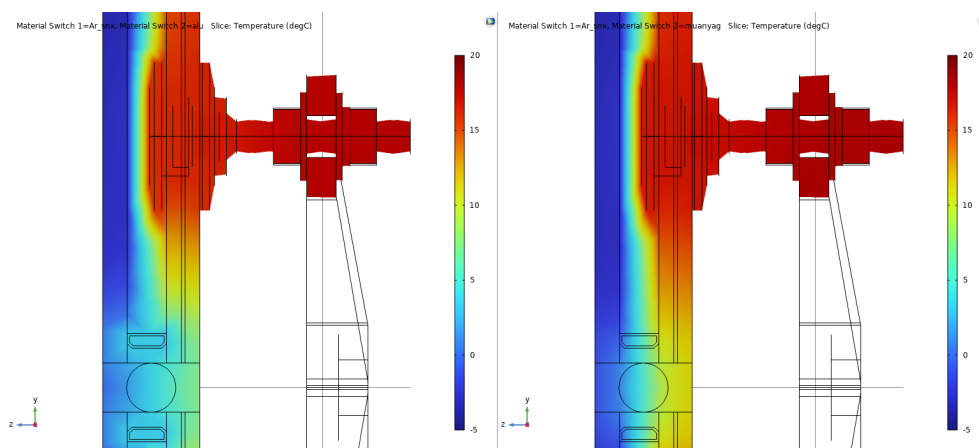
A képeken látható (36-38. ábra), hogy a rejtett rögzítés szinte elhanyagolható hatása van a hézagképzésre és annak környezetére. A kialakítás miatt a külső oldalon a rögzítésnél a hővesztesség közel nulla értéket mutat.



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



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



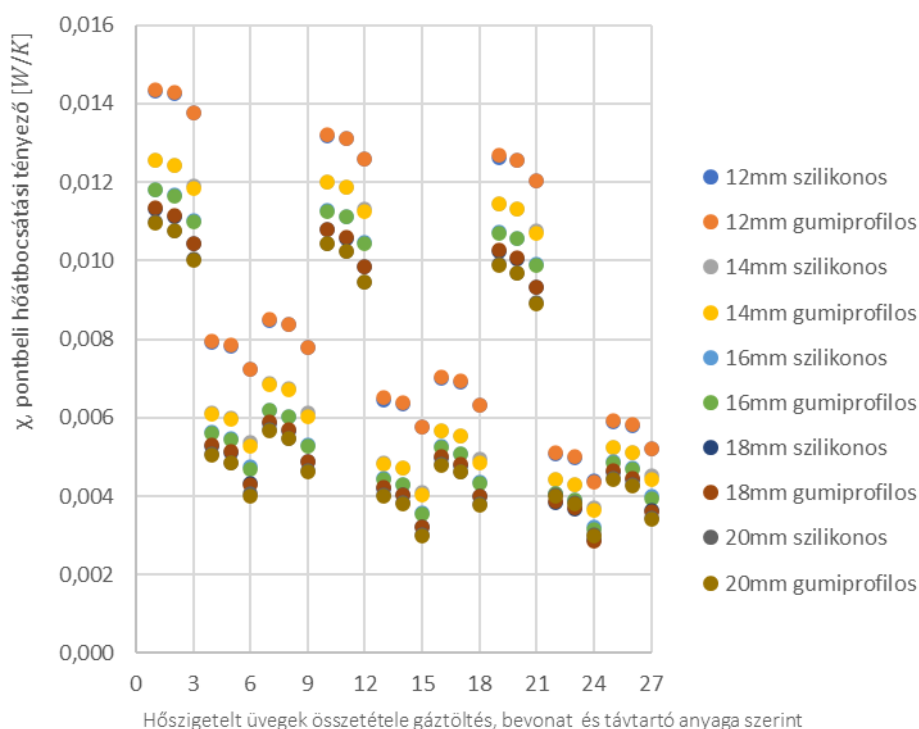
38. ábra: Hőmérséklet eloszlás metszeten, Argon + SNX esetben
alumínium (bal) és műanyag (jobb) távtartóval

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

χ , pontbeli hőátbocsátási tényező [W/K]			Rejtett rögzítés									
Gáztöltet + bevonat	Távtartó anyaga	Azonosító szám	Távtartó szélessége Hézagképzés típusa									
			12		14		16		18		20	
			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
Krypton	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
Krypton + 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
Krypton + 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	Gumiprofilo
Levegő	alumínium	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	alumínium	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	alumínium	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	alumínium	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	alumínium	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	alumínium	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
Krypton	alumínium	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
Krypton + SNX	alumínium	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
Krypton + low-e	alumínium	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 átszúrt hőszigetelő réteg hővezetési ellenállása, $\text{m}^2\text{K/W}$

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

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 átszúrja a szigetelést. A d_1 vastagság lesz eltérő, mert mást vettem a hőszigetelő rétegrendnek és a $\frac{R_1}{R_{tot}}$ értéke (második esetben ez a hányados 1).

$\Delta U_f [W/(m^2 \cdot K)]$	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 szelességei esetén				
	0,03552 m	0,03752 m	0,03952 m	0,04152 m	0,04352 m
$\Delta U_f [W/(m^2 \cdot K)]$	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
Krypton	0,002516	0,002552	0,002552	0,002588	0,002588
Krypton+ SNX 60	0,000163	0,000163	0,000163	0,000163	0,00021
Krypton+ 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 fémes része mindkét vége fémllemezrel 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.

6 További javaslatok a kutatási témában

Már a hálózatlenségi 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 komfortérzeten? 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 megfúrni 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.

7 Összefoglalás

Kutatásom 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.

Kutatásom 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.

Köszönetnyilvánítás

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

Irodalomjegyzék

- [1] 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
- [2] *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.)
- [3] 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)
- [4] 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
- [5] 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
- [6] Nathan Van Den Bossche Ph.D, Wahid Maref Ph.D, ASHRAE member, *Thermal analysis of Curtain Wall Systems – a parametric study*
- [7] 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
- [8] 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
- [9] 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)
- [10] 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról, <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0600007.tnm>

-
- [11] 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.)
- [12] Dr. Széll Mária, Stocker György et al. (2010): *Alumínium függönyfalak, üvegtető*, TERC Kft., Budapest
- [13] SADEV Classic, Technical Catalogue (2015) EN katalógus <https://www.sadev.com/downloads/>
- [14] Fanni Petreševics, Balázs Nagy (2022), *FEM-Based Evaluation of the Point Thermal Transmittance of Various Types of Ventilated Façade Cladding Fastening Systems*, Buildings 12, 1153
- [15] 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)
- [16] MSZ EN ISO 12631 Függönyfalak hőtechnikai viselkedése. A hőátbocsátási tényező számítása (ISO 12631:2012)
- [17] Saflex, műszaki katalógus, <https://www.saflex.com/products/saflex-clear-pvb-interlayer>
- [18] Guardian Glass Analytics, Performance Calculator (EN 410 és EN 673) <https://www.guardianglass.com/eu/en/tools-and-resources/tools/glass-analytics>
- [19] Auricon Energetic szoftver anyagadatbázis
- [20] MSZ EN ISO 6946 Épületszerkezetek és épületelemek. Hővezetési ellenállás és hőátbocsátás. Számítási módszerek (ISO 6946:2017)
- [21] MSZ 24140 Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai
- [22] ComsolMultiphysics, felhasználói kézikönyv
- [23] MSZ EN ISO 10211 Hőhidak az épületszerkezetekben. Hőáramok és felületi hőmérsékletek. Részletes számítások (ISO 10211:2017)