

Ördög Rita Rebeka¹, Szűrös Zsolt², Horváth Tamás³

NAGY FELÜLETEN ÜVEGEZETT ÉPÜLETEK ENERGETIKAI VIZSGÁLATA

ENERGY ANALYSIS OF BUILDINGS WITH A LARGE GLAZED FACADE

KIVONAT / HUN

A modern építészet az ipar és a technológia fejlődésével újszerű lehetőségeket hozott. Többek között, lehetségessé vált a külső és belső tér transzparens szerkezetekkel történő vizuális összekapcsolása a klimatikus elválasztás biztosításával együtt. A cikkben egy esettanulmány vizsgálatán keresztül, arra keressük a választ, hogy a nagy felületen üvegezett épületek energetikai viselkedésének megismerésében, a hőnyereségek és hőveszteségek számítására milyen lehetőségeink vannak a rendeletben szabályozott energetikai számítások keretei között, az egyszerű és részletes számítási módszerekkel; hogy ezen épületek energetikai megfeleltetésében milyen szerepet játszik a passzív szoláris hőnyereségek; hogy a szerkezeti megoldások alapesetei közül a két- vagy háromrétegű üvegezés, a belső és külső oldali árnyékolás alkalmazása előnyösebb-e a belső tér komfortjának megteremtése érdekében. A vizsgálatokat a TNM rendelet és a 2023 novemberétől hatályos ÉKM rendelet szabályai szerint is elvégeztük. A kutatás alapján megállapítottuk, hogy energetikai szempontból a háromrétegű üvegezés és a külső oldali mozgatható árnyékolás bizonyul a legjobb választásnak.

Kulcsszavak: energetikai szabályozás, nagy felületen üvegezett épületek, két- és háromrétegű üvegezés, árnyékolás, szoláris energianyereség

ABSTRACT / ENG

Modern architecture brought new possibilities with the development of industry and technology. Among other things, it has become possible to visually connect the exterior and interior with transparent structures while ensuring climatic separation. In this article, through the examination of a case study, we are looking for the answer to what possibilities do we have in learning about the energetic behaviour of buildings with large glazed areas, for calculating heat gains and heat losses within the framework of regulated energy calculations, the simple and detailed calculation methods; what role does passive solar heat gain play in the energetic compliance of these buildings; that among the basic cases of structural solutions, two- or three-layer glazing, internal and external shading, the use of which is advantageous in order to create the comfort of the interior space. The investigations were carried out according to the calculations of TNM Decree and the rules of ÉKM Decree, effective from November 2023. Based on the research, we found that from an energy point of view, three-layer glazing and movable shading on the outside prove to be the best choices.

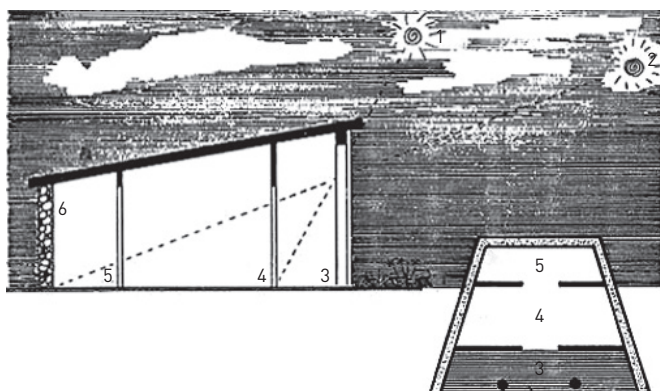
Keywords: energy regulations, large glazed buildings, double and triple glazing, shading, solar energy gain

¹ okl. építésmérnök, egyetemi tanársegéd, Széchenyi István Egyetem, Építészeti és Épületszerkezet-tani Tanszék, e-mail: ordogrita2@gmail.com

² okl. építésmérnök, egyetemi tanársegéd, Széchenyi István Egyetem, Építészeti és Épületszerkezet-tani Tanszék, e-mail: szuros98@gmail.com

³ okl. építésmérnök, PhD, egyetemi docens, Széchenyi István Egyetem, Építészeti és Épületszerkezet-tani Tanszék, e-mail: htms@ga.sze.hu

A cikk a szerzők azonos című TDK munkája alapján készült, melyet előadtak a 37. OTDK Műszaki Tudományi Szekcióján Debrecenben.



1. ÁBRA: Szókratész napháza [1]

1: nyári napállás, 2: téli napállás, 3: fedett terasz, 4: lakóter, 5: tároló, termikus védőzóna, 6: északról védelmet biztosító fal

1. | TRANSPARENS SZERKEZETEK AZ ÉPÜLETEKEN

A fejlett épületszerkezeti- és a magas komfortot biztosító épületgépészeti megoldásoknak köszönhetően egyre gyakrabban építünk nagy felületen üvegezett épületeket, melyekben az üvegezések alkalmazása az esztétikai előnyök mellett számos energetikai kihívással jár együtt. Kiemelten figyelembe veendő ezek közül az üvegházhatás jelensége, mely nyáron jelentős túlmelegedéshez vezethet, rontva a komfortérzetet a belső terekben.

1.1. TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS

Kezdetben a belső terek megvilágításának nem volt akkora jelentősége, az üvegfelületek alkalmazása a technikai lehetőségek bővülésével jelent meg az épületeken. A barlangokban a nyílásokat csak a be- és kiközlekedésre használták, esetleg a füst kivezetésére. Mezopotámiában a házakon már megjelentek apró nyílások, melyeket állati bőrdarabokkal takartak le, ezzel szabályozva a fény bejutását és a szellőztetést. Az ókori görögök idejéből érdemes megemlíteni Szókratész nap-

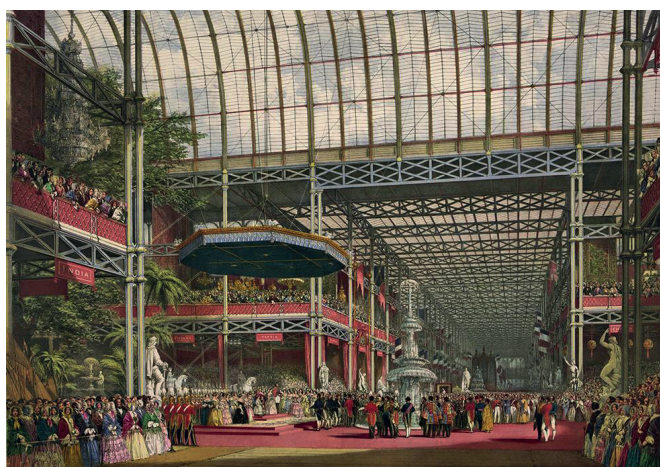


2. ÁBRA: A párizsi Sainte-Chapelle belső tere (fotó: HT)

házát. Elmélete szerint az 1. ábrán látható módon az épületnek nyitnia kell dél felé, de úgy, hogy csak az előteret ériék a napsugarak nyáron, télen viszont az alacsonyabb hajlásszögű sugarak a lakóterbe is behatolhassanak; az épület északról legyen zárt, sőt a lakóteret egy puffer zóna is védje [1].

Az ezt követő évszázadokban szépen lassan megjelentek az épületeken az üvegezett felületek és nyílászárók, melyek kézműves módszerekkel készültek és jelentős értéket képviseltek. Nagyméretű üvegfelületekkel először a gótikában találkozhatunk (2. ábra), főként a szakrális épületekben. A rendkívül dekoratív transzparens szerkezetek mint „áttetsző faliképek” [2] kő keretekbe készültek, melyekben a kisméretű, színes üvegeket olómmal építették össze [3]. A polgári épületeken fokozatosan jelentek meg az egyre nagyobb méretű ablakok, egyre nagyobb üvegtáblákkal, melyet a síküveggyártás fejlődésének köszönhetünk.

Az ipari forradalom lehetővé tette a nagyobb és olcsóbb üvegtáblák, valamint a bonyolultabb és erősebb acélszerkezetek alkalmazását. A Paxton tervéből 1851-ben megépülő Kristálpalotában (3. ábra) [4] már hatalmas méretű tisztán üvegezett térelhatároló felületekkel találkozhattak a korabeli látogatók. Normann Foster ehhez az épülethez köti a modern építészet megszületését [5].



3. ÁBRA: A Kristálpalota belső tere [5]



4. ÁBRA: A Farnsworth-ház „belső” tere [6]

A korai modern építészetben Mies van der Rohe munkáiban megjelennek a függönyfalak (például a New York-ban található Seagram Building) és a természettel kapcsolatot létesítő lakóházak (például a Farnsworth-ház, **4. ábra**). Ez utóbbi egy új szerepet ad az üvegezésnek, ami nagy és transzparens felülete révén kapcsolatot tud teremteni a természetes külső tér és a belső tér között. Ez a szerep napjainkban már szinte természetes elvárás a nyílászáró szerkezetekkel szemben.

A XX. században a fejlettebb szerkezetek alkalmazásával az üvegházhatás jelensége egyre nagyobb problémákat okozott. Korábban a rossz hőszigetelésű és légzárású szerkezeteken keresztül sok volt a hőveszteség, így nem jelentett gondot a belépő jelentős napsugárzás. Napjainkban a kétrétegű üvegezést felváltja a jobb hőszigetelő képességű háromrétegű üvegezés, melyeken speciális bevonatokat alkalmazunk a hőnyereség megtartása érdekében. Az új nyílászárók tömítettsége szinte nullára csökkenti a filtrációs hőveszteséget. Így az üvegházhatás révén keletkező belső hőnyereség igen nagy hatékonysággal reked meg az épületben, ami komfort problémákhoz vezethet. A túlmelegedés elkerüléséhez fokozott tervezői odafigyelésre, részletes számításokra van szükség, melyet a hatályos szabályozás is szorgalmaz.

1.2. A TRANSZPARENS SZERKEZETEK ALKALMAZÁSÁNAK AKTUÁLIS KÉRDÉSEI

Az Európai Unió vonatkozásában az épületek a teljes végső energiafelhasználás körülbelül 40%-át használják fel, míg a teljes CO₂-kibocsátás 36%-át fogyasztják [7]. Az elmúlt években már nemzetközi szinten is többeket foglalkoztatott a nyílászárók energetikában betöltött szerepe.

Például egy norvég kutatás [8] a sötétedő, elhomályosodó üvegek alkalmazásával foglalkozott, mely az épület energiafelhasználásának csökkenését eredményezheti, a hűtési- és fűtési, illetve a világítási költségeket figyelembe véve. A kutatás alapján legígéretesebbnek az elektrokromatikus üvegezések tűnnek. Egy friss közel keleti hotel épületeket vizsgáló kutatás [9] megállapította, hogy az épületekbe épülő hatékony passzív rendszerek – különös tekintettel az árnyékolásra és a hőszigetelésre – tervezése szorosan összefügg az éghajlattal, a földrajzi elhelyezkedéssel, a nyílások arányával és a geometriával. Yiqian Zheng és társai kutatásukban vizsgáltak egy

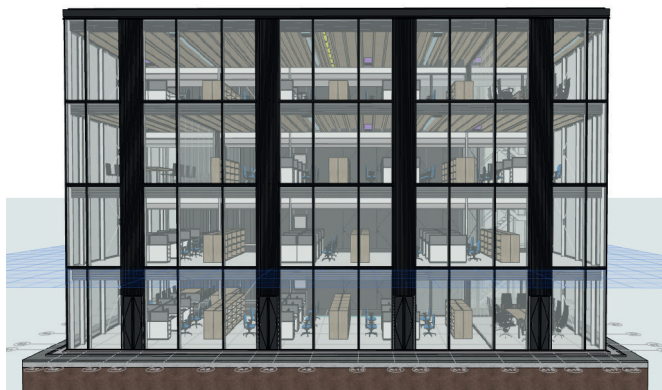
különleges félárnyékoló rendszert, melynek értékelésénél három fontos mutatót vizsgáltak: a tér nappali megvilágítását, a térbeli nappali fény vakításának valószínűségét és a teljes energiafogyasztást. Kutatásuk eredményeképp megállapították, hogy a különböző éghajlati és fényviszonyoktól függően a vizsgált árnyékoló esetében fontos, hogy állítható legyen az árnyékoló lécek száma és azok elfordulási szöge [10].

1.3. KUTATÁSUNK CÉLJAI

Kutatásunk célja az volt, hogy a nagy felületen üvegezett épületek energetikai viselkedését vizsgáljuk egy esettanulmányon keresztül, a rendelkezésünkre álló szabványos vizsgálati módszerekkel. Célunk volt, hogy kimutassuk az elérhető passzív eszközök – a két- és háromrétegű üvegezés, illetve az árnyékolás különböző megoldásainak – energetikai hatékonyságát, és meghatározzunk olyan előnyös kombinációkat, melyekkel az épületek energetikailag jobbra tehetőek. A kutatási téma jellemzően magyar vonatkozású, hiszen egy a magyarországi jogszabályi környezetbe ültetett épületen végeztük el a kutatást, ami egyszersmind alkalmat adott arra is, hogy megvizsgáljuk az energetikai szabályozás üvegezett szerkezetekre vonatkozó aktuális változásait is.

2. I A VIZSGÁLT ÉPÜLET BEMUTATÁSA

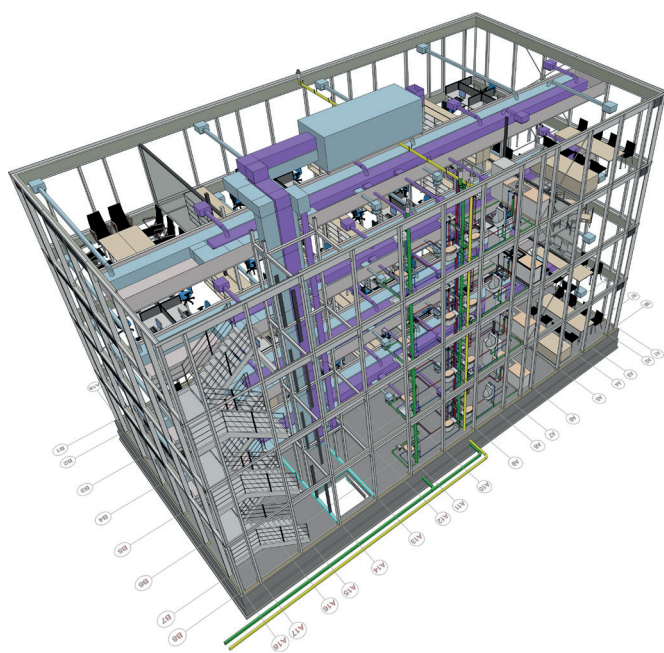
Az **5. ábrán** látható a tanulmány készítése során esettanulmányként vizsgált épület modellje. A „Demountable Office Building” (szétbontható irodaépület) megnevezésű épületet a Cepezed építésziroda tervezte 2019-ban és Delftben (Hollandia) épült meg 2020-ban. Az épület egy 3-4 szintes épületekkel viszonylag sűrűn beépített területen áll (**6. ábra**) [11]. Az irodaépület téglalap alaprajzú, kubus jellegű tömeggel rendelkezik, és 930 m² hasznos alapterületű. A négyszintes épület három oldalról teljes felületen üvegezett, így jelentősen éri napsugárzás az üvegezett homlokzatokon. Az épület érdekessége, hogy a „bölcsőtől bölcsőig” elv szerint tervezték, így környezeti hatásait tekintve példaértékű, moduláris elemek köszönhetően élete végén darabokra szerelhető, így szerkezeti elemei újrahasználatosá válnak [12] [13].



5. ÁBRA: Az irodaépület BIM modelljéről készített perspektív nézet [14]



6. ÁBRA: A delfti épület és környezete a Google StreetView felvételén [11]

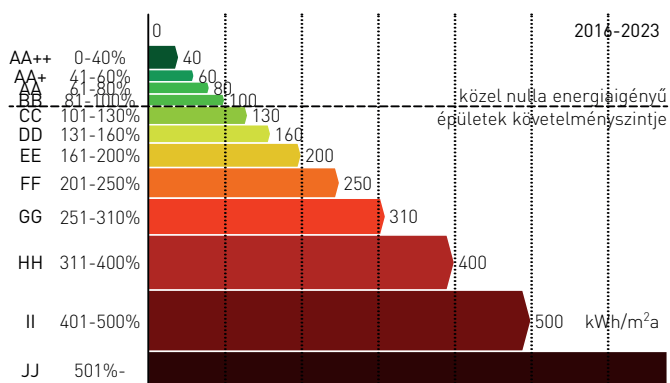


7. ÁBRA: A Demountable Office Building gépészete a BIM modellben [14]

Az esettanulmány épületről először egy BIM modell készült [14], majd ezt követően kezdődhetett meg az energetikai vizsgálata. Az épületet elvi szinten átemeltük a magyarországi éghajlati körülmények közé, és a magyar energetikai szabályozás szerint vizsgáltuk. Az irodaház fűtött térfogata $V=2884 \text{ m}^3$, melyet $A=1367 \text{ m}^2$ lehűlő felület ölel körbe. A rendkívül kompakt épület A/V aránya 0,47. A homlokzati felületek több mint 60%-át adják transzparens szerkezetek, a következő elosztásban:

- 228 m² délkeleti tájolással,
- 139 m² délnyugati tájolással,
- 117 m² északkeleti tájolással,
- 44 m² északnyugati tájolással.

Az irodaépület a BIM modellünkben (7. ábra) és az energetikai számításban is elektromos üzemű, hőszivattyús hőtermelővel működik, ami a fűtésről és a használati melegvíz ellátásról egyaránt gondoskodik. Hűtését légkondicionáló osztott kivitelű folyadékűtő biztosítja. Szellőztetése 90%-os hatásfokú hővisszanyeréssel működik.



8. ÁBRA: Lakóépületek épületenergetikai osztályai a TNM rendelet szerint (balra) és az ÉKM rendelet szerint (jobbra)

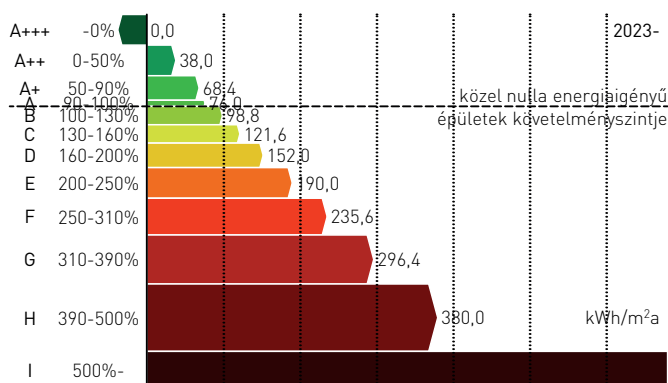
3. | ÜVEGEZETT ÉPÜLETEK ENERGETIKAI VIZSGÁLATA

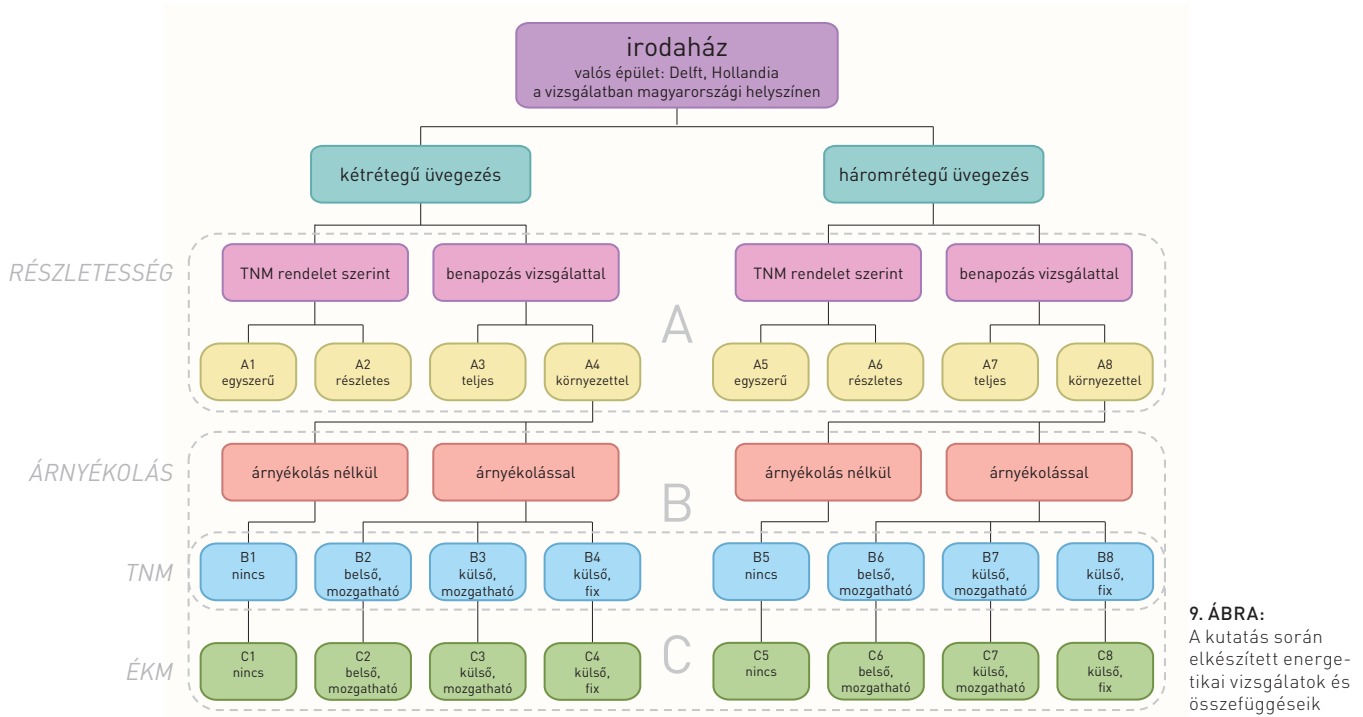
3.1. ÉPÜLETENERGETIKAI SZABÁLYOZÁS

Az Európai Unió direktívákkal szabályozza az energetikai törekvéseket, melyek Magyarországon is meghatározó erővel bírnak. A kapcsolódó legfontosabb uniós direktíva az EPBD (Energy Performance of Buildings Directive). Ennek első változata a 2002/91/EK irányelv, melyet azóta többször felülvizsgáltak. Így születtek meg a 2010/31/EU, a 2018/844/EU és az EU/2024/1275 irányelvek, melyek alapján a magyar szabályozás is számos változáson ment keresztül [15] [16] [17].

Az épületenergetikai szabályozás 2023-ban történt változásai a 2018-as EPBD módosításhoz történő igazodást valósították meg a korábbi 7/2006. TNM rendelet [18] leváltásával és a 9/2023. ÉKM rendelet [19] hatályba lépésével. A TNM és az ÉKM rendelet szerinti számítások közötti legfontosabb különbségek az alábbiak [20] [21]:

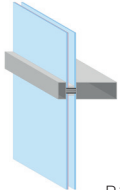
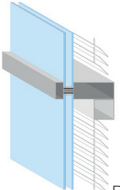
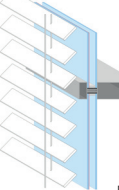
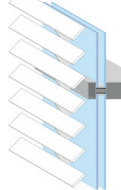
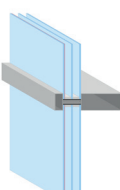
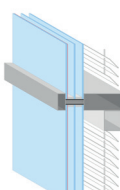
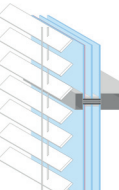
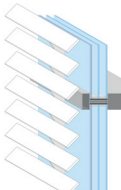
- A szerkezetekre vonatkozó hőátbocsátási tényező követelmények értékei kis mértékben változtak.
- A TNM rendeletben csak könnyű és nehéz épületeket különböztettünk meg, azonban az ÉKM rendeletnél már négy kategória közül kell választani.
- Lényeges változtatás, hogy a szezonális számítási módszerek helyett az elmúlt évekre jellemző meteorológiai adatok alapján már havi számítási módszereket alkalmazva kell meghatározni a fűtési és hűtési energiaigényeket.
- Az épülettechnikai rendszerek igényeit új primerenergia átalakítási tényezőkkel kell számítanunk.
- A TNM rendelet alapján a nyári túlmelegedés kockázatát minősítettük, az ÉKM rendeletben ezt felváltotta a nyári hővédelem vizsgálata, ami egy egészen új megközelítés.
- Az összesített energetikai jellemző követelményértékei szigorodtak. A korábbi lakó-, oktatási és irodaépületekre meghatározott követelmények helyett már csak a lakóépületekre találunk konkrét számszerű követelményeket.
- A tanúsítás besorolási skálája megváltozott (8. ábra), eddig a BB osztály felelt meg a közel nulla energiaigénynek, ezt most már az A kategória jelenti.
- A sokat vitatott 25%-os megújuló energia részarány követelményét kiveztették, helyette az energiafogyasztásból származó CO₂ kibocsátását kell kimutatni és minősíteni.





3.2. A KUTATÁS MÓDSZERTANA

A kutatás során alapvetően az vizsgáltuk, hogy a hatályos energetikai szabályozás alapján, szoftveres segítséggel elvégzett energetikai számítások milyen lehetőségeket nyújtanak a tervezők számára a nagy felületen üvegezett épületek energetikai viselkedésének elemzésére. Kutatásunk esettanulmány jellegű, mivel egy épületen vizsgáltunk meg többféle számítási módszert, többféle szerkezeti kialakítás esetén. Közben arra kerestük a választ, hogy milyen módszerekkel csökkenthető az épület túlmelegedése, hogyan befolyásolható az üvegházhatás kialakulása.

	árnyékolás nélkül	belső mozgatható árnyékolással	külső mozgatható árnyékolással	külső fix árnyékolással
kétrétegű üvegezés	 B1	 B2	 B3	 B4
háromrétegű üvegezés	 B5	 B6	 B7	 B8

10. ÁBRA: Az épület üvegezésének nyolc vizsgált változata

Az energetikai számításokhoz az Auricon Energetic szoftvert alkalmaztuk, mely a TNM és az ÉKM rendelet szabályait alkalmazó igazolt, hitelesített és elfogadott tanúsítószoftver. A következő vizsgálatokat folytattunk le **(9. ábra)**:

- Minden vizsgálatot elvégzettük a legerjedtebben alkalmazott két- és háromrétegű üvegezéssel is.
- Elsőként a szoláris nyereségek négy különböző részletes-ségű számítását hasonlítottuk össze:
A1 és A5 a TNM rendelet szerinti egyszerűsített módszert, mely minden nyílászárót északi tájolásúként kezel;
A2 és A6 a TNM rendelet szerinti részletes módszert, melyben a nyílászárókat égtájak szerint (déli, keleti/nyugati és északi) különböző besugárzási értékekkel számít;
A3 és A7 az Auricon szoftver részletes módszerét, mely online adatbázisból vett, helyszínhez kötött adatokkal számítja az energiahozamot; és végül
A4 és A8 az Auricon részletes módszerét oly módon, hogy az épület környezetét is modelleztük, hogy a környezet árnyékolása is figyelembe vehető legyen.
- A második körben az üvegezett felületek árnyékolási megoldásait vizsgáltuk az Auricon szoftver kínálta legrészletesebb számítási módszer segítségével, a környezetet is figyelembe véve **(10. ábra)**. A vizsgált esetek voltak:
B1 és B5 árnyékolás nélküli felület,
B2 és B6 belső oldali mozgatható árnyékoló,
B3 és B7 külső oldali mozgatható árnyékoló (zsaluzia),
B4 és B8 külső oldali fix árnyékoló (fém lamella).
- A harmadik körben, az energetikai szabályozás változása után megvizsgáltuk, hogy a korábban TNM rendelet szerint elkészített számításaink, milyen eredményeket hoznak, ha a hatályos ÉKM rendelet szerint is elkészítjük őket. A két rendelet számítási módszereinek összehasonlításához az árnyékoltságot vizsgált legrészletesebb, a környezetet is figyelembe vevő számításokat vettük alapul.

4. | A VIZSGÁLATOK ÉS EREDMÉNYEIK

4.1. SZÁMÍTÁSOK KÜLÖNBÖZŐ RÉSZLETESSÉGGEL

Az első vizsgálatban különböző részletességű számításokat készítettünk, kétrétegű és háromrétegű üvegezéssel a 9. ábrán látható variációkban. Így összesen nyolc számítási variációt hasonlíthattunk össze. Eredményeinket az 1. táblázat mutatja be.

A kétrétegű üvegezés rétegfelépítése, belülről kifelé

- ($U_g=1,12 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g=0,60$):
- 4 mm low-e bevonatos üveg +
- 16 mm argon gázréteg +
- 4 mm üveg.

A háromrétegű üvegezés rétegfelépítése, belülről kifelé

- ($U_g=0,55 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g=0,45$):
- 4 mm low-e bevonatos üveg +
- 16 mm argon gázréteg +
- 4 mm low-e bevonatos üveg +
- 16 mm argon gázréteg +
- 4 mm üveg.

Először a TNM rendelet egyszerűsített módszere szerint készítettük el a számítást, mindkét üvegezési megoldással (A1, A5). Ezekben az esetekben az összes nyílászárót északi tájolásúnak feltételezi a módszer és a szoftver. Majd a számítási módszert részletesre állítottuk (A2, A6). Eszerint már megkülönböztethető a déli, a keleti / nyugati és az északi tájolás, különböző energiahozamokkal. A harmadik számítási módszerrel (A3, A7) az Auricon benapozásvizsgálat lehetőségét használtuk, ami az épület földrajzi helyét megadva az adott lokációra jellemző besugárzási értékekkel számol. A negyedik legrészletesebbnek szánt esetben (A4, A8) is ezt a módszert használtuk, de beállítottuk a környezetben található épületek árnyékmaszkiát is, hogy az elérhető legpontosabb vizsgálatot is elvégezzük és a legpontosabb eredményt kapjuk.

Az épület energetikai besorolása a kétrétegű üvegezésű épület egyszerűsített számításán kívül minden esetben elérte az elvárt „BB” besorolást. Ugyanebben az esetben a fajlagos hőveszteség tényezőre vonatkozó követelmény sem teljesül. Ebből látható, hogy a passzív szoláris nyereségek elhanyagolása jelentős hatással lehet az épületünk megfelelőségére.

A számítási módszer részletessége szerinti vizsgálat során az egyik vizsgált mutató a nyári túlmelegedés kockázata volt. Az eredmények alapján megállapítható, hogy ez az érték

1. TÁBLÁZAT: Vizsgálati eredmények a számítás részletesség szerint két- és háromrétegű üvegezés esetén
(zöld / piros számok: követelményeknek megfelelő / nem megfelelő értékek)

Vizsgált adatok	Kétrétegű üvegezés				Háromrétegű üvegezés			
	A1 egyszerű	A2 részletes	A3 teljes	A4 környezettel	A5 egyszerű	A6 részletes	A7 teljes	A8 környezettel
Sugárzásátbocsátási tényező [g]	0,6				0,45			
Üvegezett szerkezetek jellemzői	Üvegezés hőát. tényezője [W/m²K]				0,55 < 1,00			
	Üvegezett szerkezetek átlagos hőátbocsátási tényezője [W/m²K]				1,31 < 1,40			
Sugárzási energiahozamok	Hőveszteségtényezőhöz [kWh/a]	13 355	34 264	28 567	34 530	13 355	34 264	26 833
	Nyári túlmelegedéshez [W]	36 050	36 050	31 985	31 985	3 650	36 050	31 985
	Egyensúlyi hőm.különbséghez [W]	0	8 415	8 125	8 125	0	8 415	8 125
	Direkt sugárzási nyereség [kWh/a]	11 522	26 517	22 242	26 896	11 456	25 018	19 800
Hőveszteség, hőszükséglet	Egyensúlyi hőm.különbség [K]	3,99	9,12	8,95	8,94	4,35	10,43	10,22
	Éves fűtési hőfokhíd [hK]	77 647	69 650	70 075	70 101	77 200	65 712	66 412
	Fűtési idény hossza [h]	5 784	4 075	4 123	4 126	5 658	3 692	3 753
	Fűtési energiaigény [kWh/a]	26 383	11 109	15 372	10 892	10 763	2 856	2 941
	Hűtési idény hossza [h]	690	690	571	571	726	726	596
	Hűtési energiaigény [kWh/a]	29 409	29 409	22 015	22 004	30 915	30 915	22 952
Gépészeti energiaigények [kWh/m²a]	Fűtési energiaigény	24,08	11,77	15,2	11,59	11,49	2,81	5,18
	Szellőztetési energiaigény	23,08	23,48	23,47	23,46	23,11	23,57	23,55
	Hűtési energiaigény	26,34	26,34	19,72	19,71	27,69	27,69	20,56
	Passzív szoláris energianyereség	14,35	36,83	30,70	37,11	14,35	36,83	28,78
Követelmények	Nyári túlmelegedés értéke [K]	4,29 > 2	4,29 > 2	3,88 > 2	3,88 > 2	4,40 > 2	4,40 > 2	3,98 > 2
	Fajlagos hőveszteségtényező [W/m³K]	0,22 > 0,16	0,15 < 0,16	0,12 < 0,16	0,12 < 0,16	0,14 < 0,16	0,04 < 0,16	0,07 < 0,16
	Összesített energetikai jellemző [kWh/m²a]	91,92 > 85	80,01 < 85	76,81 < 85	73,19 < 85	80,71 < 85	72,49 < 85	67,75 < 85
	Megújuló energia részarány [%]	78,42 > 25	103,20 > 25	93,54 > 25	102,10 > 25	76,13 > 25	104,12 > 25	90,35 > 25
	Épület besorolása	CC	BB	BB	BB	BB	BB	BB

csökkent a részletesebb számításoknál. A jelenséget magyarázhatja, hogy a hőnyereség az árnyékolás pontosabb figyelembevételével csökken. Ugyanakkor kiemelendő, hogy mind a nyolc vizsgált esetben magasabb volt ez az érték a könnyűszerkezetes épületek esetében megengedett határértéknél.

Számos különbség látható a két- és a háromrétegű üvegezéssel végzett számítások eredményei között. Ezekből néhány kiemelkedő értékre szeretnénk fókuszálni a következőkben. A kétrétegű üvegezéshez képest a háromrétegű üvegezés hőátbocsátási tényezője közel a felére csökkent. Ezzel együtt a sugárzásátbocsátási képessége is csökkent a bonyolultabb szerkezetnek. Ennek köszönhetően az épület direkt sugárzási nyeresége is jelentősen csökkent a háromrétegű üvegezés alkalmazása esetén, ami egyértelműen az eggyel növelt rétegszámnak köszönhető. Az egyre részletesebb számítás felé haladva mindegyik esetben csökkenést mutatott a hűtési energiaigény, a sugárzási nyereség változásával összhangban. Háromrétegű üvegezés esetén viszont a hűtési energiaigény enyhén magasabbnak mutatkozik, hiszen az üvegházhatás fokozottabban jelenik meg, ha a határoló szer-

kezetek hőszigetelése is hatékonyabb (a nyári túlmelegedés kockázatának értéke is nő ezzel összefüggésben).

Ezzel párhuzamban a fűtési energiaigény jelentősen csökkent a háromrétegű üvegezés esetén a kétrétegű épületverzióhoz képest. A fajlagos hőveszteségtényező és az összesített energetikai jellemző értékei is javultak az üvegezési rétegszám növelésével az egyre részletesebb számítások felé haladva.

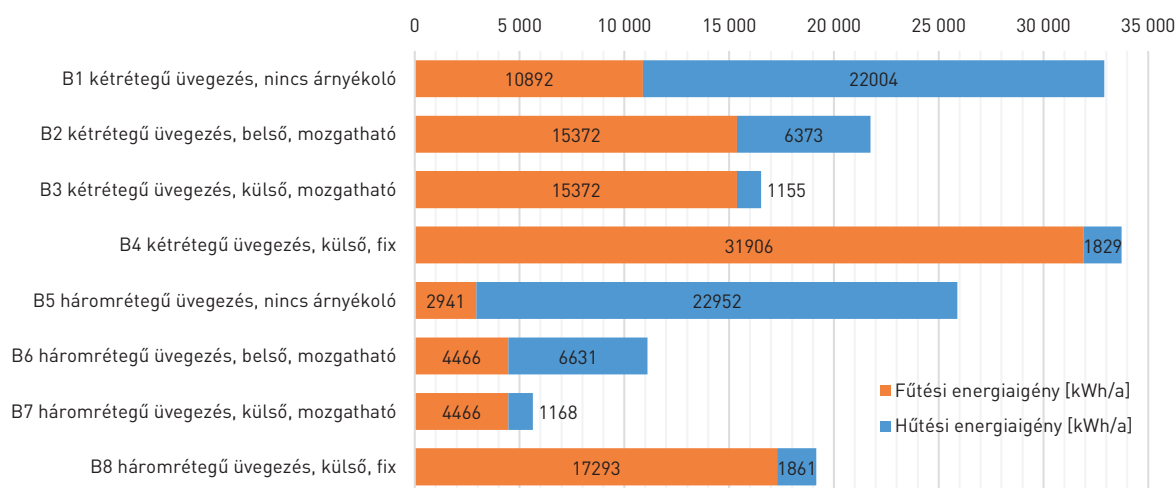
Fentiek alapján érdemes megfigyelni azt, és hasonló épületek tervezése során érdemes tudatában lenni annak, hogy az egyre jobb energetikai jellemzők fokozzák a nyári túlmelegedés kockázatát, ami a nyári időszakban további energiafelhasználást igényelhet az épület hűtéséhez.

4.2. SZÁMÍTÁSOK KÜLÖNBÖZŐ ÁRNYÉKOLÓ SZERKEZETEKSEL

Az első körben elkészített számítások rámutatnak arra, hogy a napsugárzás szabályozatlan bejutása az épületekbe kellemetlen problémákat okozhat. Különböző árnyékoló szer-

2. TÁBLÁZAT: Vizsgálati eredmények két- és háromrétegű üvegezés és különböző árnyékolási megoldások esetén (zöld / piros számok: követelményeknek megfelelő / nem megfelelő értékek)

Vizsgált adatok	Kétrétegű üvegezés				Háromrétegű üvegezés			
	B1 nincs árnyékoló	B2 belső, mozgatható	B3 külső, mozgatható	B4 külső, fix	B5 nincs árnyékoló	B6 belső, mozgatható	B7 külső, mozgatható	B8 külső, fix
Sugárzásátbocsátási tényező [g]	0,6				0,45			
Üvegezett szerkezetek jellemzői	Árnyékolás sug.át. t. télen [g _{téli}]	1	1	1	0,2	1	1	0,2
	Árnyékolás sug.át. t. nyáron [g _{nyári}]	1	0,55	0,2	0,2	1	0,55	0,2
	Üvegezés hőát. tényezője [W/m²K]	1,12 > 1,00				0,55 < 1,00		
	Üvegezett szerkezetek átlagos hőátbocsátási tényezője [W/m²K]	1,18 < 1,40				0,71 < 1,40		
Sugárzási energia-hozamok	Hőveszteségtényezőhöz [kWh/a]	34 530	28 567	2 867	7 114	26 833	24 765	6 430
	Nyári túlmelegedéshez [W]	31 985	17 591	3 198	6 397	31 985	17 591	3 198
	Egyensúlyi hőm.különbséghez [W]	8 125	8 125	8 125	1 625	8 125	8 125	1 625
	Direkt sugárzási nyereség [kWh/a]	26 896	22 242	22 242	6 041	19 800	18 275	5 402
Hővesztesség, hőszükséglet	Egyensúlyi hőm.különbség [K]	8,94	8,95	8,95	4,98	10,22	10,22	5,52
	Éves fűtési hőfokhíd [hK]	70 101	70 075	70 075	76 426	66 412	66 412	75 604
	Fűtési idény hossza [h]	4 126	4 123	4 123	5 441	3 753	3 753	5 253
	Fűtési energiaigény [kWh/a]	10 892	15 372	15 372	31 906	2 941	4 466	17 293
	Hűtési idény hossza [h]	571	264	119	141	596	275	144
	Hűtési energiaigény [kWh/a]	22 004	6 373	1 155	1 829	22 952	6 631	1 861
Gépészeti energia-igények [kWh/m²a]	Fűtési energiaigény	11,59	5,2	15,2	28,53	5,18	6,41	16,75
	Szellőztetési energiaigény	23,46	23,47	23,47	23,16	23,55	23,55	23,2
	Hűtési energiaigény	19,71	5,71	1,04	1,64	20,56	5,94	1,05
	Passzív szoláris energianyereség	37,11	30,70	30,70	7,65	28,84	26,62	6,91
Követelmények	Nyári túlmelegedés értéke [K]	3,88 > 2	2,43 > 2	0,98 < 2	1,30 < 2	3,98 > 2	2,49 > 2	1,01 < 2
	Fajlagos hőveszteségtényező [W/m³K]	0,12 < 0,16	0,15 < 0,16	0,15 < 0,16	0,25 < 0,16	0,07 < 0,16	0,08 < 0,16	0,18 < 0,16
	Összesített energetikai jellemző [kWh/m²a]	73,19 < 85	62,80 < 85	58,12 < 85	71,75 < 85	67,71 < 85	54,32 < 85	49,43 < 85
	Megújuló energia részarány [%]	102,1 > 25	87,63 > 25	85,03 > 25	55,84 > 25	90,43 > 25	78,54 > 25	74,44 > 25
	Épület besorolása	BB	BB	BB	CC	BB	BB	BB



11. ÁBRA:
A fűtési és hűtési energiaigények alakulása a vizsgált nyolc épületvariáció esetében

kezetek használatával a besugárzás által létrejövő üvegházhatás csökkenthető. A második vizsgálati körben a környezet árnyékmasszkjaival is kiegészített, benapozásvizsgálaton alapuló módszert (A4, A8) alapul véve végeztük el a számításainkat árnyékolás nélkül (B1, B5), belső oldali mozgatható árnyékolóval (B2, B6), külső oldali mozgatható árnyékolóval (B3, B7), illetve külső oldali fix árnyékolóval (B4, B8). A számítások variációi a **9. ábrán**, a nyolc szerkezeti kialakítás pedig a **10. ábrán** látható. Vizsgálatunk eredményeit a **2. táblázat** mutatja be.

Az üvegezett szerkezetek sugárzásátbocsátó képessége egyrészt függ az üvegezés, másrészt a társított szerkezetek sugárzásátbocsátási tényezőjétől (0 és 1 közötti értékek). A különböző árnyékolási megoldásokhoz különböző tényezők tartoznak, melyeket eltérő időszakokban kell alkalmazni. Például a külső oldali fix árnyékoló (B4, B8) minden évszakban árnyékolja a nyílászárót, nem szabályozható a fénybeeresztés kedvezősége alapján, mely különösen abból a szempontból lényeges, hogy így a téli hónapokban sem engedi meg a fény bejutását az épületbe, tehát meggátolja a passzív szoláris hőnyereség létrejöttét. Ezzel szemben a mozgatható árnyékolók hatását a számításban csak a nyári időszakban vesszük figyelembe, feltételezve, hogy az épület használói télen célszerűen nem használják azokat.

A számítások kimutatták a nyári túlmelegedés kockázatát az árnyékolás nélküli (B1, B5) és a belső oldali mozgatható árnyékolás (B2, B6) esetén, és megfelelőnek minősítették a külső oldali árnyékolást feltételező megoldásokat (B3, B4, B7, B8). Ez alátámasztja az általános tervezési elvet, miszerint az üvegházhatás kialakulását a külső oldalon lehet hatékonyan megelőzni. Ezzel érdekes összevetni, hogy a külső oldali fix árnyékolás esetén (B4, B8) a fajlagos hőveszteségtényező viszont nem teljesítette a vonatkozó követelményt. Ebben az esetben az üvegezés relatív magas hőveszteségét nem tudja ellensúlyozni a passzív szoláris hőnyereség, amit a fajlagos hőveszteség tényező a két- és háromrétegű üvegezésű épületverzióknál is megmutat.

Az összesített energetikai jellemző értéke a belső oldali (B2, B6) és a külső oldali (B3, B7) mozgatható árnyékoló esetén közel azonosan alakult, azonban a külső oldali fix árnyékoló (B4, B8) esetében ez az érték kiemelkedően magasabb volt, közel 10 kWh/m²a emelkedést mutatott. Ezek az épület-

variációk a BB besorolást sem tudták elérni, mivel a fajlagos hőveszteségtényezőre vonatkozó követelményt nem teljesítik. Ez azzal indokolható, hogy kevesebb passzív szoláris energia jut az épületbe a fent említett okok miatt, mivel a fix lamellák a teljes fűtési időnyben is gátolják a napsugarak bejutását, mikor az kedvező lenne.

Összességében a két- és háromrétegű üvegezés esetén is a külső oldali mozgatható árnyékolás (B3, B7) felelt meg maradéktalanul. Ez a megoldás a napsugarakat télen beengedi, így segít a fűtési energiaigény csökkentésében, nyáron pedig kizárja a napsugárzást, így csökkenti az üvegházhatás és a túlmelegedés kialakulását, segít a hűtési energiaigények alacsony tartásában. Tehát kijelenthető, hogy külső oldali mozgatható árnyékolóval jelentős mennyiségű fűtési- és hűtési energiát tudunk megtakarítani.

Érdekes kérdés, hogy a kétrétegű üvegezéssel összevetve valóban energiahatékony megoldást jelent-e a nyilvánvalóan költségesebb háromrétegű üvegezés. Számításaink azt mutatják, hogy a háromrétegű üvegezés jobb hőszigetelő tulajdonsága nagyon hatékonyan (27-54%) volt képes csökkenteni a fűtési energiaigényt, és ezzel egyidejűleg elhanyagolhatóan kicsiny mértékben (1-4%) növelte a hűtési hőigényt, ahogy azt a **11. ábra** is mutatja.

4.3. A TNM ÉS ÉKM RENDELET SZERINTI SZÁMÍTÁSOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A kutatás első és második körének lefolytatása közben a hazai épületenergetikai szabályozás, az EU-s direktívák és szabványok változásai nyomán jelentősen módosult. Ezért szükségét éreztük, hogy vizsgálataink eredményeit frissítsük a módosított eljárás szerint. A második kutatási kör számításait az új ÉKM rendelet szerint módosított Auricon Energetic szoftverrel készítettük el. A TNM és az ÉKM rendelet szerinti számítás főbb eredményeit a **3. táblázat** mutatja be összevetésre alkalmas módon.

Az új európai szabványok alkalmazásának következményeként az üvegezés és az árnyékolás sugárzásátbocsátási tényezőjének értéke kis mértékben változott. Szintén megfigyelhető, hogy a nyílászárók hőátbocsátási tényezőinek számításánál a szerkezetekben található hőhidakat jellemző

vonalmenti hőátbocsátási értékek magasabb értékekkel számíthatók. Ezek a változások együttesen eredményezték, hogy az épület üvegezését jellemző átlagos hőátbocsátási tényező növekedett a számításainkban.

A főként az épület átszellőztetésével befolyásolható nyári túlmelegedés kockázatát minősítő értékét az ÉKM rendelet elhagyja, helyette bevezet egy az üvegezés- és árnyékolás együttes áteresztőképességét jellemző értéket, mely az üvegezett szerkezetek tájolásának és árnyékolásának tudatos tervezésére ösztönöz. A hatályos követelmény szerint a nem északra néző üvegezett szerkezetek áteresztő képessége maximum 30%-os lehet. A régi és az új szabályozás a nyári komfortot eltérően minősíti belső oldali árnyékolás számításba vétele esetén [B2 vs. C2 és B6 vs. C6], a TNM rendelet szerint ez a megoldás nem tűnik elég hatékonynak, az új ÉKM szerint viszont kimutatható a megfelelő hatékonyság. A többi vizsgált esetben az eredmények hasonlóak, a külső oldali árnyékolás extrém hatékonyságát szépen kimutatják.

Az ÉKM rendelet szerinti számításnál a fűtési és a hűtési energiaigény is jelentősen más értékeket mutat, mint a korábbi verziókban szereplő igen kedvező értékek. A nagyará-

nyú változások a hűtési energiaigénynél fedezhetők fel, ami alapján kijelenthetjük, hogy az új számítási eljárás érzékenyebb a nyári komfort biztosítását célzó energiafelhasználás kimutatását illetően. Az épülettechnológiai rendszerek energiaigénye az ÉKM rendelet szerint számolva azért is változik, mert a primerenergia átalakítási mutatók is növekedtek.

Az összesített energetikai jellemző általunk számított értékei jelentősen magasabbak az ÉKM rendelet szerinti számítás esetén a TNM rendelet szerinti számításhoz viszonyítva. Ezzel összhangban az épületverziók energetikai besorolása is kedvezőtlen irányba változott néhány esetben. Meglepő lehet, hogy az épület primer energia fogyasztásán alapuló jellemző értékének jelentős változása nem eredményezi az épület besorolásának jelentős változását. Ez annak a következménye, hogy míg a közel nulla energiaigényű épületekre definiált követelmény a TNM rendeletben irodaépületekre vonatkozóan egy igen alacsony fix érték (85 kWh/m²a) volt, addig az ÉKM rendeletben már az irodaépületekre is a referenciamódszert kell alkalmazni, ami rendszerint sokkal enyhébb követelményértéket ad.

3. TÁBLÁZAT: TNM- és ÉKM rendelet szerinti számítások eredményeinek összevetése
(zöld / piros számok: követelményeknek megfelelő / nem megfelelő értékek)

Vizsgált adatok	TNM rendelet szerint								ÉKM rendelet szerint							
	kétrétegű üvegezés				háromrétegű üvegezés				kétrétegű üvegezés				háromrétegű üvegezés			
	B1 nincs árny.	B2 belső, mozg.	B3 külső, mozg.	B4 külső, fix	B5 nincs árny.	B6 belső, mozg.	B7 külső, mozg.	B8 külső, fix	C1 nincs árny.	C2 belső, mozg.	C3 külső, mozg.	C4 külső, fix	C5 nincs árny.	C6 belső, mozg.	C7 külső, mozg.	C8 külső, fix
Üvegezés hőátbocsátási tényezője [W/m²K]		1,12 > 1,00				0,55 < 1,00				1,12 > 1,00				0,55 < 1,00		
Üvegezett szerkezetek átlagos hőátbocsátási tényezője [W/m²K]		1,18 < 1,40				0,71 < 1,40				1,31 < 1,40				0,85 < 1,40		
Üvegezés sugárzásátbocsátási tényezője [g]		0,60				0,45				0,53				0,50		
Árnyékolás sug.átb. tényezője télen [g _{téli}]	1	1	1	0,2	1	1	1	0,2	1	1	1	0,15	1	1	1	0,15
Árnyékolás sug.átb. tényezője nyáron [g _{nyári}]	1	0,55	0,2	0,2	1	0,55	0,2	0,2	1	0,45	0,15	0,15	1	0,45	0,15	0,15
Fajlagos hővesztéségtényező [W/m²K]	0,12 < 0,16	0,15 < 0,16	0,15 < 0,16	0,25 > 0,16	0,07 < 0,16	0,08 < 0,16	0,08 < 0,16	0,18 > 0,16	0,15 < 0,18	0,15 < 0,18	0,15 < 0,18	0,26 > 0,18	0,09 < 0,18	0,09 < 0,18	0,09 < 0,18	0,17 < 0,18
Nyári túlmelegedés értéke [K]	3,88 > 2	2,43 > 2	0,98 < 2	1,30 < 2	3,98 > 2	2,49 > 2	1,01 < 2	1,34 < 2	kivezetett jellemző							
Nyári hővédelem értéke	korábban nem használt jellemző								0,424 > 0,3	0,191 < 0,3	0,064 < 0,3	0,064 < 0,3	0,395 > 0,3	0,178 < 0,3	0,059 < 0,3	0,059 < 0,3
Fűtési energiaigény [kWh/m²a]	11,59	15,2	15,2	28,53	5,18	6,41	6,41	16,75	7,04	7,04	7,04	20,05	0,71	0,71	0,71	7,49
Hűtési energiaigény [kWh/m²a]	19,71	5,71	1,04	1,64	20,56	5,94	1,05	1,67	140,30	63,27	28,47	28,71	140,34	66,37	31,38	31,48
Összesített energetikai jellemző [kWh/m²a]	73,19 < 85	62,80 < 85	58,12 < 85	71,75 < 85	67,71 < 85	54,32 < 85	49,43 < 85	60,04 < 85	172,6 > 142,81	95,63 < 127,42	60,84 < 122,51	74,09 < 142,81	164,9 > 137,01	90,95 < 121,62	55,98 < 116,71	64,29 < 142,81
Megújuló energiaigény [%]	102,1 > 25	87,63 > 25	85,03 > 25	55,84 > 25	90,43 > 25	78,54 > 25	74,44 > 25	46,46 > 25	kivezetett jellemző							
CO ₂ emisszió [E _{CO2}] [kg/m²a]	korábban nem használt jellemző								34,15 > 30,70	18,92 < 27,66	12,04 < 26,68	14,66 < 30,70	32,62 > 29,55	17,99 < 26,51	11,07 < 25,54	12,72 < 30,70
Épület besorolása	BB	BB	BB	CC	BB	BB	BB	CC	B B	A+ A+	A++ A++	A+ A++	B B	A+ A+	A++ A++	A++ A++

A TNM rendelet alapján megújuló energia részarányt számoltunk, de ezt a követelményt az ÉKM rendelettel eltörölték, és helyette az épület használatához kapcsolódó CO₂ emisszió számítását vezették be. Ez a módosítás az életciklus-elemzés (LCA) alkalmazásának irányába tereli az épületenergetika szakmát az EU-s direktívák szándékaival összhangban. Számítási eredményeink alapján a TNM rendelet szerint az összes épületverzió megfelelt a megújuló energia részarány követelményének, CO₂ emisszió tekintetében viszont csak az árnyékolással ellátott verziók voltak megfelelőek, ami ismét kiemeli az árnyékolás tervezésének szükségességét.

5. | KONKLÚZIÓ, MEGÁLLAPÍTÁSOK

A nagy felületen üvegezett épületek tervezése izgalmas, kihívásokkal teli feladat, melynél az építészeti, épületszerkezeti tervezés mellett elengedhetetlen az épület energetikai viselkedésének vizsgálata és tervezése az épülettechnológiai rendszerekkel összhangban. Ehhez alapszintű segítséget nyújthat a hatályos szabályozás szerinti energetikai számítás és az ezt támogató szoftverek.

A fent bemutatott esettanulmány jellegű vizsgálatokból, számításaink eredményeiből arra a következtetésre jutotunk, hogy a nagy felületen üvegezett épületek esetén

- fontos a részletes benapozásvizsgálaton alapuló energetikai számítás elkészítése az épület belső komfortjának és gazdaságos működésének biztosítása érdekében.
- elengedhetetlen az árnyékolás megtervezése, mivel árnyékolás nélkül az épület nyáron túlmelegszik, ami irreális hűtési energiaigényekhez vezet. Egy ilyen kialakítású épület több ponton sem feleltethető meg a közel nulla energiaigényű épületek összetett követelményrendszerének.
- a külső oldalon elhelyezett mozgatható árnyékolók (pl. zsaluzia) adják az energetikailag leginkább megfelelő megoldást két- és háromrétegű üvegezés alkalmazása esetén is. Ha a napsugarak beltérbe történő bejutását már a külső oldalon meg tudjuk akadályozni, akkor hatékonyan tudjuk csökkenteni az üvegházhatás kialakulásának kockázatát.
- a külső oldali fix árnyékolás energetikai szempontból előnytelen, mivel az nagymértékben árnyékolja az üvegfelületeket a fűtési időnyben is, amikor a passzív szoláris hőnyereségre szükségünk van.

A TNM és ÉKM rendelet szerinti számítások összehasonlításával láthatóvá vált a szabályozás szigorodása, a közel nulla energiaigénynek való megfelelés bevezetése. Az ÉKM rendelet szerinti számítás alkalmazásával az új EU-s szabványokkal összhangban számíthatók az üvegezett szerkezetek hőveszteségei és hőnyereségei, pontosabb besugárzási adatok alapján. A két rendelet néhány energetikai kérdést eltérő módon vizsgál: a nyári túlmelegedés helyett a nyári hővédelmet minősíti, a megújuló energia részarány helyett a CO₂ emisszióra vonatkozik követelmény. Az eltérések miatt az általunk vizsgált épületvariációk számítási eredményei is változtak, de a korábban levont tanulságokat továbbra is alátámasztják az ÉKM rendelet szerinti eredmények.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **Szűcs Miklós:** Passzív napenergia-hasznosítás, Országépítő, 11. évf., 1-2.sz., [2000], 18-20. https://epa.oszk.hu/02900/02952/00039/pdf/EPA02952_orzagepito_2000_01-02_18-20.pdf
- [2] **Bujdosó Ildikó, Vukosavljev Zorán:** Az építészeti üveg története. In: Reith András (szerk.): Üveg az építészetben. Terc, Budapest, 2012, 9-43. o.
- [3] [1]: French Gothic stained glass windows, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/French_Gothic_stained_glass_windows
- [4] [1]: Kristálypalota. In: A Pallas nagy lexikona, Arcanum, online szócikk, <https://www.arcanum.com/hu/online-kiadvanyok/Lexikonok-a-pallas-nagy-lexikona-2/k-E039/kristalypalota-FCED/>
- [5] **Norman Foster:** 50 Wonders | Norman Foster: Crystal Palace. Building Design Online, 2020.10.23. <https://www.bdonline.co.uk/building-s/50-wonders-norman-foster-crystal-palace/5108624.article>
- [6] **Lessismore2020 fényképe:** Farnsworth House Interior, 2014.10.08., https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Farnsworth_House_Interior.jpg
- [7] **Ayca Kirimat, Basak Kundakci Koyunbaba, Ioannis Chatzikonstantinou, Sevil Sariyildiz:** Review of simulation modeling for shading devices in buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier Ltd, 2016, pp. 23-49. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.020>
- [8] **Ruben Baetens, Bjørn Petter Jelle, Arild Gustavsen:** Properties, requirements and possibilities of smart windows for dynamic daylight and solar energy control in buildings: A state-of-the-art review. Solar Energy Materials and Solar Cells 94(2), 2010, pp. 87-105. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2009.08.021>
- [9] **Waleed Khalid Alhuwayil, Faris Abdullah Almaziad, Muhammad Abdul Mujeeru:** Energy performance of passive shading and thermal insulation in multistory hotel building under different outdoor climates and geographic locations. Case Studies in Thermal Engineering 45 (2023), 102940. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.102940>
- [10] **Yiqian Zheng, Jinxuan Wu, Hao Zhang, Caifang Lin, Yu Li, Xue Cui, Pengyuan Shen:** A novel sun-shading design for indoor visual comfort and energy saving in typical office space in Shenzhen. Energy and Buildings 328, 115083, 2025, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.115083>
- [11] **Google StreetView** felvétel alapján készült kép, <https://maps.app.goo.gl/LXGpNAYLXthYP4tK7>
- [12] **María Francisca González:** Building D(Emountable) / architecten-bureau cepezed, ArchDaily, 2020, <https://www.archdaily.com/936389/building-d-emountable-architectenbureau-cepezed>
- [13] **Barbara Zettel:** Rückbaubares Bürohaus in Delft / Demountable Office Building in Delft, DETAIL 2021/6, 74-81.
- [14] **Szűrös Zsolt, Géczy Nóra:** Az épített környezet létrehozásának és üzemeltetésének digitális eszközrendszere. Magyar Építőipar 71(2), 2022, 65-75. <https://ojs.magyarepitoipar.com/index.php/MEI/article/view/2022-2-2/2022-2-2>
- [15] **Horváth Tamás:** Épületenergetikai szabályozásunk körvonalai és előzményei, Magyar Építőipar, 67 évf., 2017, pp. 156-165, DOI10.17168/MEIP.2017.67.156
- [16] [1]: Energy Performance of Buildings Directive, az Európai Bizottság tájékoztató oldala, https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en
- [17] **Ördög Rita Rebeka, Szűrös Zsolt, Horváth Tamás:** Energy analysis of buildings with large glazed surfaces, IET Conference Proceedings, 2024, Issue 8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1049/icp.2024.2682>
- [18] **7/2006 (24. V.) TNM rendelet** az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról. <https://njt.hu/jogszabaly/2006-7-20-6F>
- [19] **9/2023. (V. 25.) ÉKM rendelet** az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról. <https://njt.hu/jogszabaly/2023-9-20-8X>
- [20] **Csoknyai Tamás, Szalay Zsuzsa:** Változott az épületenergetikai és a tanúsítási rendszer, online cikk, E-gépész.hu, 2023.07.10, <https://www.e-gepesz.hu/cikkek/19007-valtozott-az-epuletenergetikai-es-a-tanositasi-rendelet>
- [21] **Csoknyai Tamás, Szalay Zsuzsa, Nagy Balázs, Horváth Miklós és mtsi:** Alkalmazott épületenergetika, Innovációs és Technológiai Minisztérium – Magyar Mérnöki Kamara – Budapesti és Pest Megyei Mérnöki Kamara, 2024, <https://www.e-gepesz.hu/tetoltes/alkalmazott-epuletenergetika-isbn.pdf> ISBN 978-615-81965-9-8