

Épületinformációs modell felhasználása mérnöki számítások futtatására

Fürtön Balázs EOXI55

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Építészmérnöki Kar

Urbanisztika Tanszék és Épületszerkezzettani Tanszék

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	3
Bevezetés	5
Szakirodalom áttekintése	7
Mérnöki tervezést segítő számítások	11
Adatcsere formái BIM és BEM között	17
Módszertan	18
Eredmények	30
Összefoglalás	42
Források	46
Ábrajegyzék	46

Jelen specializációs diplomamunka keretében készített dolgozat elválaszthatatlan részét képezik az alábbi, diplomaterv részeként leadott dokumentumok:

- építészeti műszaki leírás
- épületszerkezetani műszaki leírás
- épületgépészeti műszaki leírás
- építéskivitelezés és -szervezés műszaki leírás
- tartószerkezeti műszaki leírás
- tervlapok
- tablók
- A3 portfólió

Fürtön Balázs EOXI55

építészmérnök hallgató

Bevezetés

Tervezőként gyakran kerülünk olyan helyzetbe, amikor objektív és szubjektív szempontok szerint kell mérlegelnünk megoldási lehetőségeket. Az esztétikát firtató kérdésekre nehezen tudunk megnyugtatóan objektív válaszokkal szolgálni, viszont a környezethez való illeszkedést képesek vagyunk realiztikusan bemutatni, és az életciklus során felmerülő energetikai kérdésekre is tudunk válaszolni, erősen a digitálisan megtervezett épített környezetre támaszkodva. Korábbi TDK munkámban a valós idejű vizualizáció kérdéseivel foglalkoztam, most a diplomatervem kiegészítéseként az energetikai működéssel és komfortvizsgálattal.

A digitális tervezés mindennapos: a technológiai lehetőségek adottak a WYSIWYG¹ tervezéshez. Az épületmodellek fotorealisztikusan ábrázolhatóak valós időben is², megfelelő paraméterezéssel a teljes életciklusra vonatkozó költség-, energetikai- és ökológiai szempontú elemzéseket végezhetünk. A “hogyan építjük meg” kérdéskörével az épületinformációs modellezés³ (Building Information Modelling - BIM), a “hogyan fog viselkedni” kérdéseivel - részben - az épületenergetikai modellezés (Building Energy Modelling - BEM) foglalkozik. Két olyan fogalom, melyekhez szorosan kapcsolódik választott kiemelt szakágam, az épületszerkeztan is. A BIM és BEM modellek között teoretikusan nem feltétlenül kellene, hogy fogalmi, vagy gyakorlati különbség legyen, a 2019-ben elfogadott ISO 19650-1:2018⁴ szabványban rögzített CDE (Common Data Environment) fogalom egyik pillére a virtuálisan, teljeskörűen és interdiszciplináris hozzájárulással megmodellezett épület - azaz elvi síkon minden adatot tárol(hat)unk egy épületre vonatkozóan ugyanazon modellben. Ehhez a közös megegyezésen alapuló adattárolás kiemelt fontosságú, azonban az értelmezési keretek pontos szemantikai kijelölése nagyon lassan történik: például a “BIM” és az “épületszerkeztani” zsargon még túlságosan eltérő. A közös nyelv hiányában a digitális épületek szerkezetileg he-

¹ What You See Is What You Get - azt kapod, amit látsz.

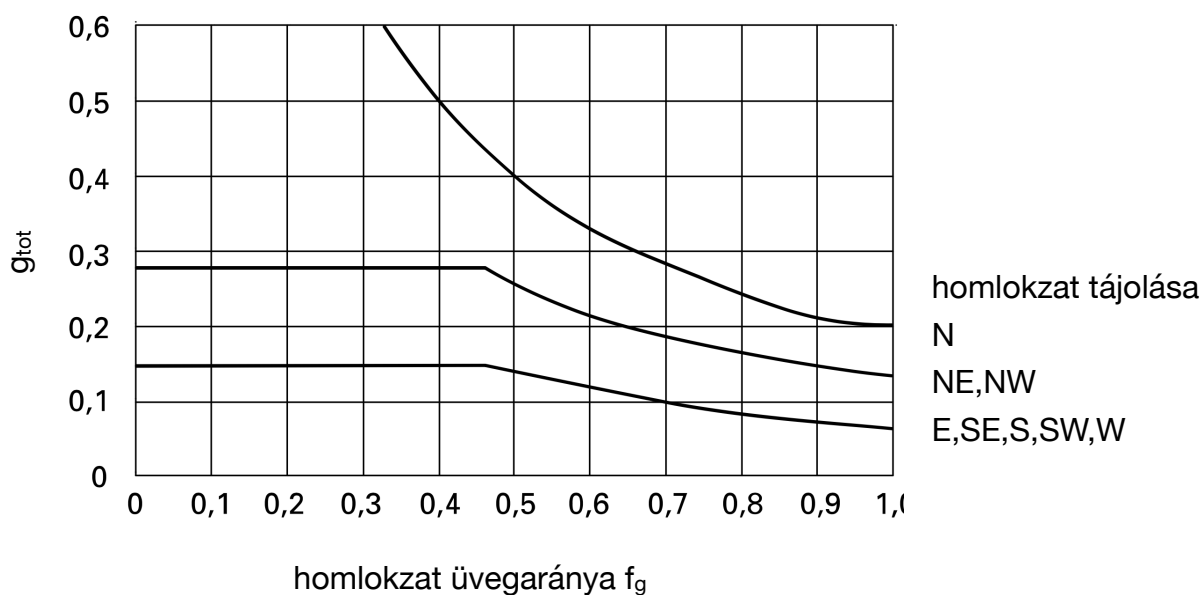
² Fürtön, Balázs, Háda, Ádám: Interaktív építészeti prezentációs lehetőségek. 2014. Web: <https://tdk.bme.hu/EPK/eptudepgeo/Interaktiv-epiteszeti-prezentacio> Megtekintve: 2020. november 25.

³ Angol terminológiából: BIM. A *Building Information Modelling* feloldása *Building Information Management*-ként is megtalálható.

⁴ International Organization for Standardization: Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles. 2019. Web: <https://www.iso.org/standard/68078.html> Megtekintve: 2020. november 21.

lyes modellezése, és az épületmodellek felhasználása az informált döntéshozatalban még nem kifejezetten elterjedt Magyarországon.

Ennek okait mélyebb megismerni az alábbi feladatot választottam: egy térszervezés és funkcionális értelemben állandó tervállapotot figyelembe véve a diplomatervem nyílászáró-paramétereit dinamikus épületszimuláció segítségével igyekszem meghatározni. Az eltérő tájolásból fakadó eltérésekre külföldön szabványok jelentik a támpontot. Alább példa a svájci SIA 180 szabvány előírása a naptényező értékeire vonatkozóan:



1. ábra: Üvegezés naptényezője a homlokzat üvegarányának és tájolásának függvényében⁵.

A digitális épületmodellek felvetik a lehetőséget, hogy a statikus, előírt értékek helyett mérnöki módszerrel, dinamikus épületszimuláció eredményeinek felhasználásával határozzunk meg épületfizikai paramétereket. A tájolásból valamint a használatból eredő követelmények számszerűsítéséhez szükséges a vizuális komfort és az energetikai működés vizsgálata is. Lehetséges BIM modellből automatikusan épületenergetikai számításokat generálni? Rögzíthetőek-e a szükséges bemeneti adatok, visszaolvasható-e a szimuláció eredménye? Dolgozatomban többek között a fenti kérdésekre keresem a választ.

⁵ Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein: Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden (SIA 180:2014), Figur 12 pp. 42. Web: <http://shop.sia.ch/normenwerk/architekt/sia%20180/d/2014/D/Product> Megtekintve: 2020. november 29.

Szakirodalom áttekintése

Az épületszerkezettani tervezésre jellemző hatékony, az alapvető rendszerszintű problémákra figyelmet irányító tervezésmódszertan egy BIM modell felépítése esetében is alapvető fontosságú. Szerkezetileg helyes modellt felépíteni nem triviális feladat, messzemenően túlmutat a fejlesztők oktatási anyagain és az online elérhető oktatóvideók szintjén. A tapasztalat azt mutatja, hogy a két terület összekapcsolódása lassan halad, aminek alapvető oka az, hogy a műszaki tudást hosszú évek tapasztalati munkájával lehet biztos alapokon elsajátítani, a digitális modellezés pedig jellemzően a frissen végzetek területe. Így e képességek tekintetében hamarabb kifejlődhet a “hogyan” készségszintű megválaszolása, mint a “miért” mély megértése.

Jelen dolgozat az épületinformációs modellezés és épületszerkezettan fogalmainak egyeztetésével ezt a fent érintett, egyértelmű határt igyekszik elmosni. Kulcsfontosságú annak a megértése, és követése, hogy a tervezés során műszaki leírásokon, részletrajzokon, rétegrendekeken feltűnő adathalmaznak a modellben milyen adatstruktúra jelenti a forrását, az milyen részletezettséggel bír: mi a modell “részletezettségi szintje”. Az angol szakirodalom ezt általában LOD-nak hívják.

BIM alapfogalmak

LOD, LOG, LOI

Nehezen érthető a LOD⁶ fogalma is a papíralapú tervek szerinti építéshez szokott iparágnak: a feloldás kettős, a geometriai részletezettség (LOG - Level Of Geometry) és az információtartalommal való feltöltöttség (LOI - Level Of Information) van az Egyesült Államok terminológiája szerint LOD 100-500 szintekre osztva: a magasabb “LOD-érték” magasabb részletezettséget is jelent. Ez nem feleltethető meg egyértelműen a papíron rajzolt tervek (jellemzően) 1:5-1:5000 léptékével. A részletes kifejtésükhöz a közismerten használt anyagok közül a BIMForum LOD Specification táblái⁷ adják a mértékadó hivatkozási alapot, nemzetközi szabványhivatkozás hiányában. Ebben LOG szempontjából az észak-amerikai építési gyakorlatban használt szerkezeti megoldásokat találjuk

⁶ Level Of Development / Level Of Detail: szakirodalom függvényében eltérő az értelmezés.

⁷ BIMForum: Level of Development (LOD) Specification Part I & Commentary, For Building Information Models and Data. 2019. április, második kiadás. Web: https://bimforum.org/resources/Documents/BIMForum_LOD_2019_reprint.pdf Megtekintve: 2020. november 21.

összegyűjtve LOD-szintenként ábrázolva. LOI szempontjából nincs nemzetközileg, vagy hazai szabványosított adattartalom, a BIMForum LOD Specification Table Part II képezi általában az alapot a projekt-specifikus LOI definiálására. A LOI kitöltéséhez célszerű egy osztályozási rendszert is választani, mely segítségével a szerkezeti elemekhez tartozó- és az egyéb, projekt során rögzített információ rövid kódokkal rendszerezhetővé válik. Az osztályozási rendszerek sokfélék, az átjárás közöttük nem mindig lehetséges maradéktalanul.

A LOD 500 gyártmánytervi részletezettsége össz-szakági, de még szakági modell esetében is ritka, legtöbb esetben szükségtelen. A részletezettség nem csak időben, de térben is változik, a homogén értelmezés zavart kelt. Jellemző felosztása a részletezettségnek egy hazai közbeszerzésen:

Tervfázis	LOD	LOG	LOI
konceptióterv	0	0	0
vázlaterv	100	100	200
engedélyezési terv	200	200	200
kiviteli terv	300 (- 350)	300 (- 350)	300 (- 350)
megvalósulási terv	400	350	400
üzemeltetés	450	400	450

2. ábra: LOD szintek, EKR dokumentáció nyomán.⁸

A kiviteli tervfázis után a modellek LOG szempontjából történő részletezés szükségtelenül elvárt a gyakorlatban, a felhasználás miatt akár egy csökkentett szint is elégséges lenne: a megvalósulási terv állapotörögzítés, a beüzemelési, beépítési adatokkal több, az üzemeltetési modell ellenben már dinamikusán változó adattartalmú.

Grafikai analógiával élve a probléma a következő: ahogyan a raszter- és vektorgrafika között is a különbséget a technológia jelenti (diszkrét egységekben ábrázolás, vagy matematikailag leírt entitásokkal történő ábrázolás). Nyomtatott vagy digitális médiumon megjelenítve alapvető jellemzője egy terméknek a dpi/ppi (dot per inch - pixel per inch), úgy a papíralapú tervek olvashatóságában a használt méretarány és nyomtatás minősége jelenti a különbséget. Az ember számára az észlelhető felbontás a távolság csökkenésével növekszik a szem látószöghatárának függvényében. "Azt a legkisebb látószöget, amelynél két különálló A és B pontot éppen meg tudunk különböztetni

⁸ A forrásdokumentumokhoz a hozzáférést a Future Plans Hungary Kft. biztosította.

egymástól, látószöghatárnak (α) nevezzük. A normális, vagyis látáshibákban nem szenvedő szem esetén ennek értéke kb. 1 szögperc (1'). A látószöghatár egyéneenként változó érték.”⁹

Az óriásplakátok esetén emiatt a felületi felbontásuk kisebb (30-100 dpi, méret függvényében)¹⁰, orvosi képalkotás esetén nagyobb¹¹.

Ez a jelenség gátat szab a papíron történő tervek részletezettségének, limitált az “1:100-as” engedélyezési tervek információtartalma, ahogyan az “1:5” részletrajzoké is.

A virtualizált épített környezetben LOD szempontjából a felső érték nehezen állapítható meg, alkalmazás függvénye. Egy városléptékű modellhez a LOG 100 is “sok” lehet, ha a LOI 350, egy kétszer görbült felületet alumíniumfegyverzetű szendvicspanelekkel lefedő cég számára a LOG 400 is “kevésnek” bizonyulhat LOI 100 mellett (például színekkel jelzik a különböző anyagminőségeket). Épületek esetén ez a kidolgozottság a kettő között keresendő, nagyonnehezen meghatározható. Általános vélemény, hogy több, egymásra hivatkozó modellel lehetséges áthidalni a szakágak közötti szükséges LOD-különbséget¹², így az absztrakció mikéntje is megoldandó feladat. Ebben a korlátot általában nem a kapcsolt információ részletessége, hanem a geometria jelenti.

OSZTÁLYOZÁSOK

Az osztályozási rendszerek jellemzője, hogy a költségvetés-készítés szempontjából az épületszerkezeti szintű osztályozásokat tekinthetjük mérvadónak (pl. UniFormat), ehhez azonban sokszor elemszintű osztályozásra van szükség. Például, ha “réteges” falként írja elő a megrendelő egy falszerkezet megmodellezését, akkor nem lehetséges a teherhordó szerkezetet, a termikus burkot, a homlokzatburkolatot stb. külön osztályozni, mert nem hozzáférhető a végfelhasználó számára. Megoldás lehet, hogy OpenBIM

⁹ SZTE Orvosi Fizikai és Orvosi Informatikai Intézet: A szem optikája. pp. 3. Web: <http://www2.szote.u-szeged.hu/dmi/downloads/fizika/2018-2019-1/hu/5-Optics-hu.pdf> Megtekintve: 2020. november 21.

¹⁰ OptiPoster Köztéri Médiaügynökség: Óriásplakát és Citylight plakát mérete, anyagleadási paraméterei. Web: <https://optiposter.hu/oriasplakat-es-citylight-merete/> Megtekintve: 2020. november 22.

¹¹ Eizo RadiForce RX1270 Specification. Web: <https://www.eizoglobal.com/products/radiforce/rx1270/index.html#tab02> Megtekintve: 2020. november 22. “Pixel pitch: 0.1554 x 0.1554 mm, ami ppi-re átszámolva kb. 163,5 ppi-t jelent (25,4/0,1554).

¹² GRAPHISOFT: What does “Reference Concept” mean? Web: <https://graphisoft.com/downloads/addons/ifc/faq#4> Megtekintve: 2020. november 30.

munkafolyamatot választunk, ahol az épülethez rendelt mindennemű adat (geometriai és alfanumerikus) hozzáférhető, tervező által áttekinthető.

NYÍLT- VAGY ZÁRT BIM

Az OpenBIM megértéséhez a BIM esetén nem fájlformátumokra, vagy bizonyos szoftverekre gondoljunk, hanem tervezésmódszertanként tekintünk rá. A számítógéppel segített tervezés valamilyen program futtatásával történik, ezeknek lehet, hogy van felhasználói felülete, lehet, hogy nincsen. Az építészeti tervezés BIM segítségével túlnyomórészt valamilyen felhasználói felületen át történik, amin keresztül egy bizonyos séma szerint felépített adatmodell manipulációja történik. Attól függően, hogy ez a séma könnyedén megismerhető-e, esetleg bárki számára hozzáférhető, beszélhetünk nyílt (OpenBIM) és zárt (closed BIM) épületinformációs modellezésről.

A gyakorlatban ezek váltva használtak, ahol lehet, ott gyakorlati szempontok szerint jellemzően a zárt megoldások használata preferált, de vannak esetek, amikor az épületmodellt (vagy a belőle kinyerhető adatot) szeretnénk konkrét számításokra használni, amire még az általánosabb felhasználási célú BIM programok sem alkalmasak. Ez lehet például időbeli ütemezés animálva, tartószerkezeti méretezés, vagy épületenergetikai szimuláció is.

Ezekben az esetekben célszerű a lehető legkisebb adatvesztéssel járó, legtranszparensabb fájlformátumokat választani. Az épületenergetikai célú adatátvitelre jelenleg az IFC és a gbXML a legalkalmasabb séma, mely képes valamilyen szintű geometriai reprezentációra és egy bizonyos mértékű metaadat megjelenítésére is.

IFC

1994¹³ óta zajlik a platformtól függetlenül, számítógép és felhasználó által is olvasható (*machine and human readable*) módon, nyíltan elérhető szerkezetű leírása az épített környezetnek, ennek legelterjedtebb keretrendszerét nevezzük IFC-nek. Az IFC az Industry Foundation Classes rövidítése, ami geometriát és metaadatot, valamint a közöttük lévő relációkat, hierarchiát és öröklődést leíró szemantikus szabvány, fentről lefelé definiáló adatstruktúrával (IfcRoot -> pl. IfcWall). Az IFC rövidítés egyaránt használt a séma és a fájlformátum (IFC SPF fájl) megnevezésére is, ez zavart okozhat.

¹³ buildingSMART: Basic Informations. Web: http://www.ifcwiki.org/index.php?title=Basic_Information Megtekintve: 2020. november 30.

GBXML

A gbXML a Green Building XML¹⁴ rövidítése. Az épületenergetikai szimulációkhoz a .gbXML bizonyul a használhatóbb formátumnak, ehhez a modell zónákra (Zone - Space - Room: szoftverenként eltérő fogalmakat értünk alattuk) alapozva egyszerűsített, analitikai modellként kerül exportálásra¹⁵. Ehhez szükséges, hogy a fejlesztők által implicit előírt terminológia szerint modellezünk: egy fal vagy födém réteges szerkezetként (*Composite structure*) legyen létrehozva, a helyiségek a válaszfalak felezővonalában érintsék egymást, a termikus burok külső síkján legyen a helyiség külső burka... Ha mindent szabály szerint modellezünk¹⁶, a BIM modell analitikai modellé konvertálása akkor is a legtöbb esetben black box¹⁷ módon történik: az elérhető dokumentáció függvényében ismertek ezek a metódusok. Ez azt jelenti, hogy a teljes mechanizmust nem fedik fel a végfelhasználó felé. Ez okozhatja a mennyiségkimutatások esetén felmerülő többletek megjelenését is, vagy számos, váratlan helyzetben okozhat kellemetlenséget.

Míg egy rajzolásra használt program esetén valószínűleg eszünkbe sem jut, hogy maradéktalanul megértsük a görbék parametrizált leírását, addig a jogszabályi környezetbennegyensúlyozó energetikai számítások esetében alapvetés, hogy megbízzunk a számítást végző szimulációs motorban, adott esetben értsük, és lássuk is át a működését.

MéRNÖKI TERVEZÉST SEGÍTŐ SZÁMÍTÁSOK

Az épületinformációs modellekből kinyerhető adatokat különféle szimulációkra használhatjuk, melyek eredményei segíthetnek az informált döntéshozatalban. A szimuláció lehet állandósult állapotot feltételező (steady state simulation), amikor a peremfeltételek

¹⁴ XML: Extensible Markup Language - kiterjeszhető jelölőnyelv

¹⁵ A nemzetközi irodalomban gyakran csak cipősdoboznak, "shoebox model"-nek nevezve a házat.

¹⁶ Thomson, Andy: ARCHICAD, EcoDesigner and Passive House. Web: <https://www.thomsonarchitecture.ca/2020/08/15/archicad-ecodesigner-and-passive-house/> Megtekintve: 2020. november 23.

¹⁷ Black box testing, vagy "fekete doboz tesztelés": a szoftverfejlesztésnél használt tesztelési eljárás, amikor a felhasználó számára a kód belső működése nem ismert, csak a kimeneti és bemeneti adatok fontosak. Forrás: Web: <https://softwaretestingfundamentals.com/black-box-testing/> Megtekintve: 2020. november 23.

időbeli változását elhanyagoljuk, vagy dinamikus szimuláció (dynamic simulation), amikor a peremfeltételek és hatások bizonyos időlépésenként változnak. Ez az időlépés az épület léptékében 15 perc és 1 óra között felvéve már hasznos, használható eredményeket ad a számítási idő észszerű keretek között tartása mellett, de például a talajban lejátszódó viszonyok sokszor hónapok, vagy évek során követhető folyamatok.

A releváns mennyiségek vizsgálhatóak abszolút skálán (pl. fajlagos energiafelhasználás - EUI (Energy Use Intensity)), vagy a hő-, valamint vizuális komfortra gyakorolt hatásuk szempontjából egymáshoz képest relatív összevetésben is.

Energiafelhasználás

A szerkezetválasztás egyik fontos kritériuma, hogy az üzemeltetési energiát minimalizáljuk. Ez összeadódik a hűtés-fűtés, a szellőztetés, a használati melegvíz-előállítás, vizek keringetésére, illetve a világítás- és eszközök üzemeltetésére fordított energiából. Ez egyszerűen is számítható a hűtési-fűtési hőfokhidak ismeretében, vagy részletesen, időlépésenkénti bontásban. Utóbbi esetében is van lehetőség a részletezésre, dolgozhatunk egyszerűsített leírásokkal és idealizált rendszerekkel is az utolsó paraméterig történő egzakt leírást időben széthúzva a tervezési folyamaton. Például az általam felállított energetikai modell a légtechnikai rendszerekre első közelítésként "Ideal Air Load" egyszerűsítést alkalmazott, ami a hőegyensúlyhoz szükséges "hiányzó" energiát pótolja, vagy a többletet vonja ki a rendszerből. Ez a könyvtárban jó közelítést feltételez, a parapet-fancoil használata miatt, de a későbbiekben a rendszerre vonatkozó energiaigényt megadó sablonok használata tűnt célravezetőbbnek.

Hőkomfort vizsgálata

PMV, ADAPTÍV MODELL

Povl Ole Fanger volt, aki leírta az emberi test első, könnyen programozható hőegyensúlyi modelljét. A nevét viselő Fanger-egyenlet alapján számítható az egyik legelterjedtebb index, a "Predicted Mean Vote"¹⁸ (jóérzés-index)¹⁹. A belső, gépészeti rendszerekkel temperált helyiségek egyik széles körben alkalmazott mérőszáma lett a PMV.

¹⁸ Predicted Mean Vote

¹⁹ Kovács, Tamás: Különböző bioklíma indexek összehasonlító vizsgálata. ELTE TTK, 2010. Web: http://nimbus.elte.hu/tanszek/docs/KovacsTamas_2010.pdf
Megtekintve: 2020. december 17.

Későbbi tanulmányok bemutatták, hogy a Fanger-féle egyenlet mesterséges szellőztetésű épületek esetében ad a használók körében tett felmérésekkel korreláló becslést. A passzív működésű épületek esetében a PMV modell helyett az adaptív modell használata a célravezető, a nyáron passzív, télen aktív stratégiákkal operáló épületek esetében (amilyen a diplomatervem is), a két modell közötti váltás szükséges. Az átmeneti időszakok kérdéses, e tekintetben jelenleg is folynak a kutatások.

A PMV modell a légáram szempontjából 0,1 m/s légsebesség feletti értékekre ad jó eredményt teljes testet érő hőkomfort szempontjából, a boka körüli huzat a 0,8 clo²⁰ alatti ruházat (a hölgyek esetében nyári lengébb öltözet) lényegesen szűkebb tartományban ad valódi komfortot. A nagy üvegfelületek jelenléte a helyiségben az átlagos felületi sugárzási hőmérsékletet rontja, az EnergyPlus esetében a helyiség középpontjára számolt PMV érték a bútorozás kitakaró hatásait, valamint a térbeli eloszlást nem veszi figyelembe. Ezek vizsgálatához mikroklimatikus térképek generálására van szükség.

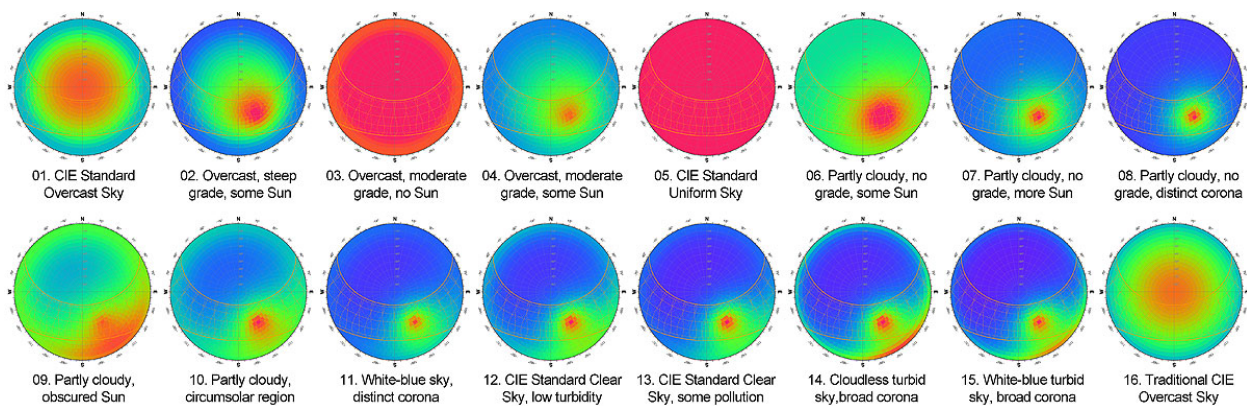
²⁰ A "clo" a ruházat hőszigetelő képességét leíró mennyiség, az öltözködés jellemzésére használjuk. Az 1 clo a hagyományos, háromrészes öltöny szigetelőképessége. A későbbiekben látni fogjuk, hogy Litvániában az idő nagy részében ehhez közeli öltözöttséget feltételezhetünk, nyáron a 0,6-0,7 clo közötti érték hosszúujjú polónak és nadrágnak feleltethető meg. 1 clo = 0,155 m²K/W

Vizuális komfort vizsgálata

TERMÉSZETES VILÁGÍTÁSI TÉNYEZŐ (DAYLIGHT FACTOR (DF))

A természetes világítási tényező a belső megvilágítás értékének és egy külső takaratlan síkon mért megvilágítás mértékének hányadosa százalékban kifejezve. Az égbolt takaratlan, zavartalan képe egy belső pontból (pl. nyitott ablak) 100% értéket jelentene. A természetes világítási tényező mind a belső, mind a külső reflektált fényt is figyelembe veszi.²¹

$$DF = \frac{E_{int}}{E_{ext}} \times 100$$



3. ábra: A számítás módját a ISO 15469:2004(E) szerinti tökéletesen borult égbolt jelenti (01. égbolt-modell).

A fentiekből fakadóan gyorsan számítható, de helyszíntől független mennyiség. A minősítési rendszerek az eloszlására, valamint az átlagos értékére is írnak elő követelményeket.²²

²¹ Marsh, Andrew J.: Performance Analysis and Conceptual Design, Part B, pp.57. 1997. Web: http://companyshed.com/downloads/documents/Thesis_AJMarsh.pdf
Megtekintve: 2020. november 22.

²² A BREEAM Health and Wellbeing Hea 01 Visual comfort táblái alapján az általánosan elvárt átlagos DF értékek 2% körül mozognak: a tér alapterületének 80%-ának kell ezt teljesítenie, "Innovation credit" teljesítéséért ez 3-5% környékére nő. Egészségügyi intézmények esetében és börtönök esetében magasabb, mint egy általános irodaház esetében. Web: https://www.breeam.com/BREEAM2011SchemeDocument/Content/05_health/hea01.htm
Megtekintve: 2020. november 22.

DAYLIGHT AUTONOMY (DA)

Ez a mennyiség az éves benapozottságot jellemző mennyiségek sorában az elsőként jelent meg 1989-ben, Christoph Reinhart finomította a számítási módszert 2001 és 2004 között.²³

Azon használati órák száma, melyekben a megvilágítás értéke egy bizonyos küszöbérték feletti: általában 300 lux felett szokták vizsgálni a *DA* értékét. Míg a *DF* helyszíntől független, addig a *DA* figyelembe veszi a helyszín-specifikus nappályákat és sugárzás-intenzitást is. A vizsgálat síkja jellemzően 720mm magasan történik (olvasófelület).

Historikusan a megvilágítás szükségessége magasabb volt, az alábbi okok miatt:

- kevésbé volt fontos a természetes világítás megléte, az Egyesült Államokban iskolák is működtek ablak nélkül, ez a tanulók mentális állapotára és tanulmányi eredményeire is hatással volt²⁴
- az analóg munkafelület vízszintesen helyezkedett el
- nem volt saját világítóképessége a munkafelületeknek

Jelölésére pl. 300 lux esetében a *DA300* jelölés használt.

USEFUL DAYLIGHT ILLUMINANCE (UDI)

Azon használati órák száma, melyekben a megvilágítás értéke egy bizonyos tartományban található: általában 100-2000 lux között szokták vizsgálni az *UDI* értékét.²⁵ Amely diszkrét területértékeken az *UDI* a tartományból felfelé szór, ott káprázás kapcsán számíthatunk problémára. A kutatások által a 2000 lux felső értékére vonatkozóan kevés adat áll rendelkezésre, ezért annak validitása viták tárgyát képezi.

Ez az épületem esetében az első és második emelet déli oldalát érinti a legérzékenyebben, főképpen a téli időszakban: a könyvtár és az irodák ablakain is besüt a nap, de a szoláris nyereséget a használhatóság miatt csökkenteni kell.

²³ Daylighting Pattern Guide: Daylight Autonomy. Web: <https://patternguide.advancedbuildings.net/using-this-guide/analysis-methods/daylight-autonomy> Megtekintve: 2020. november 22-én. **Eredeti források:** Reinhart, C. F., Mardaljevic, J., & Rogers, Z. (2006). Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. *Leukos*, 3(1), 7-31. és Reinhart, C. F., & Walkenhorst, O. (2001). Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds. *Energy and Buildings*, 33(7), 683-697.

²⁴ Adrian ...: Daylighting Workshop, a McNeel Europe szervezésében. 2020. november 9-én elhangzott előadása nyomán. Jegyzetet készítette: Fürtön Balázs

²⁵ Daylighting Pattern Guide: Useful Daylight Illuminance. Web: <https://patternguide.advancedbuildings.net/using-this-guide/analysis-methods/useful-daylight-illuminance> Megtekintve: 2020. november 22-én. Eredeti források: Nabil A, & Mardaljevic J. (2005a). Useful Daylight Illuminance: A New Paradigm to Access Daylight in Buildings. *Lighting Research & Technology*, 37(1), 41-59.

KÁPRÁZÁS VIZSGÁLATA (GLARE ANALYSIS)

A kézi eszközökkel történő megvilágítás-alapú káprázás-vizsgálat sok hibát és bizonytalanságot rejtett magában: az eszközök (fotométer) drágák, valamint a belső világítási viszonyok változékonysága is kihatott az eredmények értékelésére. A 32bit színmélységű HDR (High Dynamic Range) fényképészet elterjedésével a költségét csökkent, számítási módszerek kidolgozásával pedig a 32 bites²⁶ képek (.EXR formátumban) elemezhetővé váltak.²⁷

A káprázás egy szubjektív érzet, a látótérben lévő fényforrások okozzák. Mértéke szerint beszélhetünk zavaró káprázásról (mesterséges világítás mellett ez jellemző), illetve vakító káprázásról is. Utóbbi esetében a látótér egy része, vagy egésze érzékelhetlenné válik a fényviszonyok miatt, a szem adaptációs képességének korlátjai miatt. Utóbbira jó példa, amikor egy félhomályos belső térből a déli órákban kilépünk az utcára, velünk szemben lévő napállás esetén.

A természetes világítás esetében a nyílászáróra elhelyezett külső-, vagy belső oldali árnyékolóval segíthetünk a káprázás ellen. A külső oldali árnyékolás télen nem szerencsés, nem csak a látható tartományban érkező fényt blokkolja, de a nap és égbolt felől érkező direkt és diffúz sugárzás UV tartományban lévő, magas energiasűrűségű áramait is.

A káprázás vizsgálatára használt mérőszám a "daylight glare probability" (DGP). Értéke 0 és 1 között változik, megadja, hogy a káprázás mekkora valószínűséggel következik be adott pozícióból, adott napállás mellett, adott irányba nézve. A DGP tér- és időérzékeny mérőszám, ebből fakadóan hatalmas számítási igénnyel bír.

²⁶ Hagyományosan a digitális formában tárolt képek 8 bitben tároltak csatornánként és pixelenként. Ez egy RGB kép esetében a vörös, zöld és kék csatornán is 256 szín (0-255), kombinálva 16777216 szín megjelenítésére alkalmas. 32 bitben már nem integer, hanem float számként reprezentáltak az egyes értékek, így a látható fehér skálán felül ez intenzitás rögzítésére is alkalmas. A számítógépes grafika HDR képeket világításra is használ a fotorealisztikus fényki-bocsátás lehetőségét kihasználva.

²⁷ wxfalsecolor: "A wxPython GUI for the Radiance falsecolor2 tool, maintained by Thomas Bleicher." Web: <http://tbleicher.github.io/wxfalsecolor/index.html>
Megtekintve: 2020. november 23.

Adatcsere formái BIM és BEM között

EGYZÓNÁS TERMIKUS MODELL

A helyiségre vonatkozó hő- és vizuális komfort szempontjából a használt árnyékoló-szerkezetek, anyagminőségek vizsgálatára alkalmazható módszer. Az egész épületet érintő energiateljesítmény szempontjából nem ad értelmezhető eredményt, esetleg moduláris, ismétlődő egységekre bontható házak esetén extrapolálható az eredmény.

Felépítésük egyszerű, néhány felület felparaméterezésével az alap geometria előállítható, megállapíthatóak vizsgálati paraméterek, aminek a változtatásával érzékenységvizsgálatot, és optimalizációt végezhetünk.

TÖBBZÓNÁS TERMIKUS MODELL

Az épület egészére jellemző energetikai mutatók-, az energiateljesítmény jellemzésére használható modelleket jelent. Felépítésük azonban sokkal bonyolultabb, az általam használt munkafolyamatban az EnergyPlus szimulációs motor rendkívül érzékeny a nem megfelelő geometriára. Legyen szó két, egymástól a BIM környezetben tolerancián belül eső vertexekről, ami exportálva már külön térbeli pozíciót jelent (ezáltal a közös síkra eső, csatlakozó felületek megtalálása, a rajtuk keresztül folyó egydimenziós vezetési hőáramok számításáról), vagy pusztán a feldolgozandó felületek számosságáról.

Módszertan

Ablak az IFC Schema-ban

Az IFC szemantikailag pontosan elkülöníthető kategóriákra (osztály) osztja az épület-szerkezeteket, ezért fontos leírni, hogy mit nevez ablaknak: az ISO 6707-1²⁸ terminológiája szerint “olyan függőleges, vagy közel függőleges, falban vagy magastetőben lévő nyílások lezárására szolgáló szerkezet, mely fényt enged be, és esetleg friss levegőt is beengedhet”.

Az ablak az IFC fájlban az *IfcWindow*²⁹ osztály egy példányaként jelenik meg, amivel inverz relációban van a tényleges paramétereit összegyűjtő *IfcWindowStyle*³⁰. Benne további alosztályokban és tulajdonságkészletekben halmozódó struktúrákon keresztül alakul ki a tényleges leírás³¹.

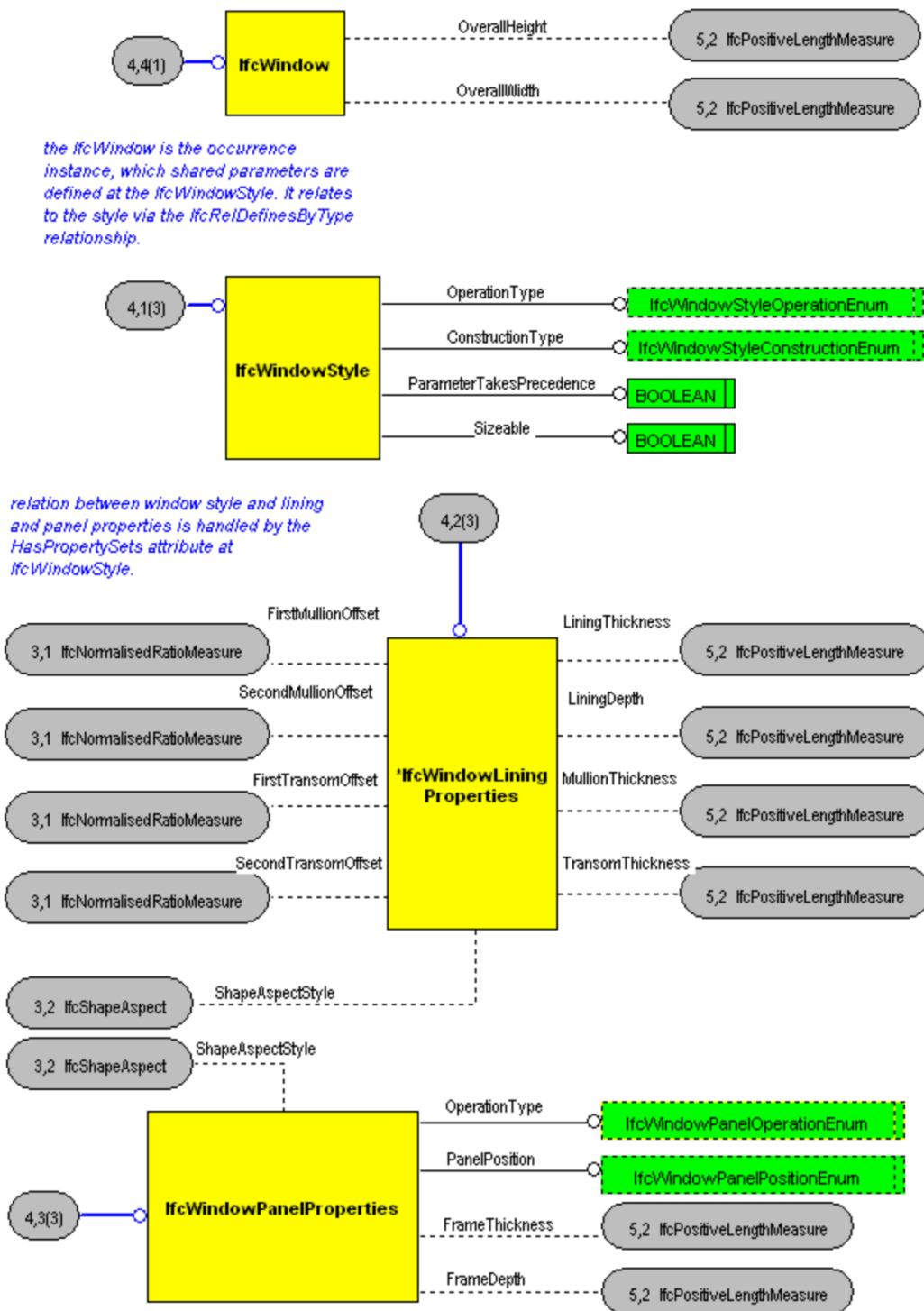
Az épületfizikai paramétereket az alábbi táblázatokban találjuk. Egy *IfcWindow* példány ezeket az öt leíró *IfcWindowStyle (IFC2x3)* / *IfcWindowType (IFC4)* alapján kapja meg, mely a *HasPropertySets* listában tárolja az *IfcWindowPanelProperties* és *IfcWindowLiningProperties* értékeit az *IfcWindowStyleOperationTypeEnum* felsorolását követően. Az *IfcWindowPanelProperties* tartalmazza a *Pset_DoorWindowGlazingType* tulajdonságkészletet (Pset - Property Set), mely az épületfizikai paraméterek hozzárendelését teszi lehetővé. A sémában is leírt Pset-ek alkalmazása teszi lehetővé, hogy az alábbi formátumokon keresztül fordítókat létrehozva (MVD - Model View Definition) az egyes szakemberek ugyanazzal az információhalmazzal dolgozhassanak:

²⁸ Buildings and civil engineering works — Vocabulary — Part 1: General terms (ISO 6707-1:2017). Web: <https://www.iso.org/standard/72244.html>
Megtekintve: 2020. november 29.

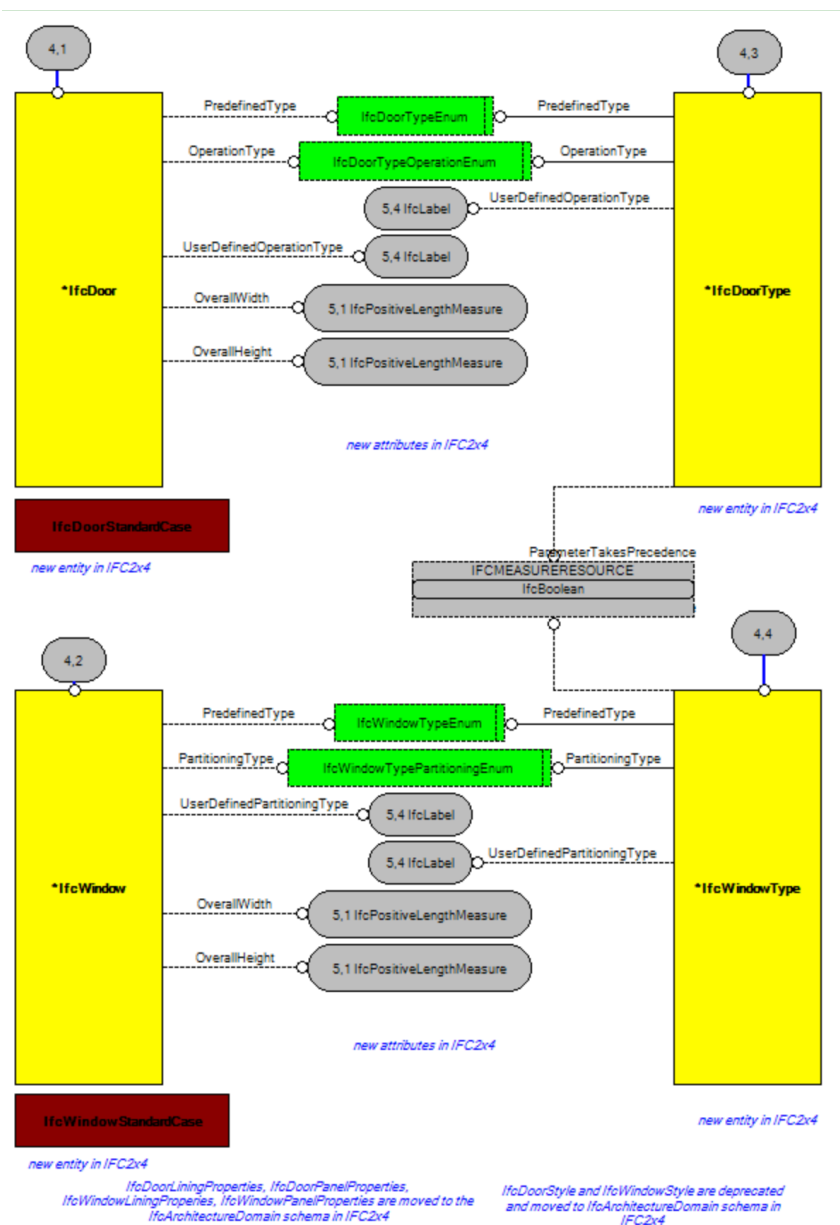
²⁹ buildingSMART: *IfcWindow*. Web: https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC2x3/FINAL/HTML/ifcsharedbldgelements/diagrams/diagram_0004.htm
Megtekintve: 2020. november 29.

³⁰ buildingSMART: *IfcWindowStyle*. Web: <https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC2x3/TC1/HTML/ifcsharedbldgelements/lexical/ifcwindowstyle.htm>
Megtekintve: 2020. november 29.

³¹ Az IFC séma megértéséhez az EXPRESS leírnyelv szintaxisát szükséges ismerni. The EXPRESS Definition Language for IFC Development Web: <https://standards.buildingsmart.org/documents/Implementation/The EXPRESS Definition Language for IFC Development.pdf>
Megtekintve: 2020. december 03.



4. ábra: Az IfcWindow IFC 2x3 szerinti sematikus ábrázolása az öröklődések és relációk ábrázolásával.



5. ábra: Az *IfcWindow* IFC4 szerinti sematikus ábrázolása az öröklődésekkel és relációkkal.

Az IFC2x3 és IFC4 között az *IfcWindowStyle* és *IfcWindowType* definiáló szerepe változott, utóbbi is a fentebb IFC2x3 esetén leírt hierarchia szerint rendeli hozzá az egyre kevésbé absztrakt szinten lévő tulajdonságokat. Az üvegezésre számos, specifikusan szimuláció céljára használható programból kinyerhető mennyiséget tárolhatunk, a keretszerkezetre csak a hőátbocsátást, a beépítés körülményeit figyelembe vevő vonalmenti hőhidat (Ψ) egyedi tulajdonságkészlettel rendelhetjük hozzá.

Name	Property Type	Data Type	Definition
GlassLayers	IfcPropertySingleValue	IfcCountMeasure	Number of glass layers within the frame. E.g. "2" for double glazing.
GlassThickness1	IfcPropertySingleValue	IfcPositiveLengthMeasure / LENGTHUNIT	Thickness of the first (inner) glass layer.
GlassThickness2	IfcPropertySingleValue	IfcPositiveLengthMeasure / LENGTHUNIT	Thickness of the second (intermediate or outer) glass layer.
GlassThickness3	IfcPropertySingleValue	IfcPositiveLengthMeasure / LENGTHUNIT	Thickness of the third (outer) glass layer.
FillGas	IfcPropertySingleValue	IfcLabel	Name of the gas by which the gap between two glass layers is filled. It is given for information purposes only.
GlassColor	IfcPropertySingleValue	IfcLabel	Color (tint) selection for this glazing. It is given for information purposes only.
IsTempered	IfcPropertySingleValue	IfcBoolean	Indication whether the glass is tempered (TRUE) or not (FALSE) .
IsLaminated	IfcPropertySingleValue	IfcBoolean	Indication whether the glass is layered with other materials (TRUE) or not (FALSE).
IsCoated	IfcPropertySingleValue	IfcBoolean	Indication whether the glass is coated with a material (TRUE) or not (FALSE).
IsWired	IfcPropertySingleValue	IfcBoolean	Indication whether the glass includes a contained wire mesh to prevent break-in (TRUE) or not (FALSE)
Translucency	IfcPropertySingleValue	IfcPositiveRatioMeasure	Fraction of the visible light that passes the glazing at normal incidence. It is a value without unit.
Reflectivity	IfcPropertySingleValue	IfcPositiveRatioMeasure	Fraction of the visible light that is reflected by the glazing at normal incidence. It is a value without unit.
BeamRadiationTransmittance	IfcPropertySingleValue	IfcPositiveRatioMeasure	Direct solar radiation transmittance that passes the glazing at normal incidence. It is a value without unit, often referred to as (Tsol).
SolarHeatGainTransmittance	IfcPropertySingleValue	IfcPositiveRatioMeasure	Total solar heat transmittance that passes the glazing at normal incidence. It is a value without unit, often referred to as (SHGC):.
ThermalTransmittance-Summer	IfcPropertySingleValue	IfcThermalTransmittanceMeasure / THERMALTRANSMITTANCEUNIT	Thermal transmittance coefficient (U-Value) of a material. Summer thermal transmittance coefficient of the glazing only, often referred to as (U-value)
ThermalTransmittance-Winter	IfcPropertySingleValue	IfcThermalTransmittanceMeasure / THERMALTRANSMITTANCEUNIT	Thermal transmittance coefficient (U-Value) of a material. Winter thermal transmittance coefficient of the glazing only, often referred to as (U-value)

6. ábra: Az üvegezésre vonatkozó Pset_DoorWindowGlazingType³² tulajdonságkészlet.

Ezek az értékek kiegészülnek az ablakpéldány egyéb tulajdonságkészleteivel, melyek elszórva tartalmazzák az egyes számításoknál fontos paramétereket.

³² buildingSMART: Pset_DoorWindowGlazingType. Web: https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC2x3/TC1/HTML/psd/IfcSharedBldgElements/Pset_DoorWindowGlazing-Type.xml Megtekintve: 2020. november 29. "Definition from IAI: Properties common to the definition of the glazing component of occurrences of IfcDoor and IfcWindow, used for thermal and lighting calculations."

Ezeket részletesen az IfcWindow tulajdonságkészletei³³ írják le (kékkel a szimulációhoz szükségeseket kiemelve):

Pset_WindowCommon	Adattípus	Magyar megnevezés	Vonatkozó előírások
Reference	IfcIdentifier (karakterlánc 255 karakterig (MR))	referencia	–
AcousticRating	IfcLabel (karakterlánc 255 karakterig (HR))	akusztikai besorolás	MSZ EN 15601-2:2007
FireRating	IfcLabel (karakterlánc 255 karakterig (HR))	tűzvédelmi teljesítményjel- lemzők	54/2014. (XII. 5.) BM rendelet
SecurityRating	IfcLabel (karakterlánc 255 karakterig (HR))	biztonsági osztály	MSZ EN 1627:2011
IsExternal	IfcBoolean (igaz/hamis)	külső/belső	–
Infiltration	IfcVolumetricFlowRateMeasure (térfogatáram)	légáteresztés	MSZ 9333:2011
ThermalTransmittance	IfcThermalTransmittanceMeasure (hőátbocsátás)	hőátbocsátási tényező	7/2006 TNM rendelet
GlazingAreaFraction	IfcPositiveRatioMeasure	üvegezési arány	–
HasSillExternal	IfcBoolean (igaz/hamis)	külső párkány	–
HasSillInternal	IfcBoolean (igaz/hamis)	belső párkány	–
HasDrive	IfcBoolean (igaz/hamis)	motor	–
SmokeStop	IfcBoolean (igaz/hamis)	füstgátló	–
FireExit	IfcBoolean (igaz/hamis)	menekítési nyílás	–
WaterTightnessRating	IfcLabel (karakterlánc 255 karakterig (HR))	vízzárási osztály	MSZ 9333:2011
MechanicalLoadRating	IfcLabel (karakterlánc 255 karakterig (HR))	mechanikai igénybevételi osztály	MSZ EN 12400:2003, MSZ EN 13115:2001
WindLoadRating	IfcLabel (karakterlánc 255 karakterig (HR))	szélzáróság	MSZ 9333:2011
Status	IfcLabel (karakterlánc 255 karakterig (HR))		–

7. ábra: Az IfcWindow általános tulajdonságai³⁴ az épületszerkezettani fogalomkészlettel társítva.

A magyar előírásokat az Épületszerkezettan 3. Nyílászáró konzignációs segédletének kiegészítése alapján³⁵ gyűjtöttem össze. Az IFC teljeskörű leírását adja egy ablaknak, a konzignációs lapon szereplő összes tétel lefedhető a sémában alapértelmezetten szereplő tulajdonságkészletekkel, ráadásul a felhasználó által ez bővíthető is, ha egyedi szoftveres megoldások miatt ez szükséges.

³³ buildingSMART: IfcWindow, IFC4_1. Web: https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/schema/ifcsharedbldgelements/lexical/ifcwindow.htm Megtekintve: 2020. november 29.

³⁴ buildingSMART: Pset_WindowCommon. Web: https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/schema/ifcsharedbldgelements/pset/pset_windowcommon.htm Megtekintve: 2020. november 30.

³⁵ Pataky, Rita: Külső és belső nyílászárók követelményrendszere. BME Épületszerkezettani Tanszék, 2019. Web: <http://www.epszerk.bme.hu/docs.php?n=71988> Megtekintve: 2020. november 30.

A nehézséget nem csak az adat felvitele jelenti bizonyos esetekben (pl. vonalmenti hőhíd mértéke), hanem a megfelelően szűrt információ kimentése is. Az IFC egy rendkívül általános, emiatt hatalmas kiterjedésű leírás, az építészetre vonatkozó területen³⁶ nagyjából megtalálunk minden szükséges osztályt. Az `IfcWindowLining` és `IfcWindowPanel` osztályok nagyon részletes geometriai reprezentációra képesek, az energetikai szimulációhoz ellenben nem kellene több az `IfcOpening` egy poligonnal lefedésénél.

Ezt az absztrakciós szintet egy limitáltabb, de annál elterjedtebben használt formátummal érhetjük el: a Green Building XML-el.

³⁶ Architecture Domain

Ablak a gbXML Schema-ban

A Green Building XML az IFC-vel ellentétben lentől felfelé definiálja a szerkezeteket. Egy gbXML fájlban például egy réteges szerkezet esetében is előbb az építőanyag (Material) definiált, majd a belőle épített réteg (Layer), majd az összes rétegből összeépíthető a falszerkezet. Az ablak is lényegesen egyszerűbb az IFC leíráshoz képest,

A GBXML WINDOWTYPE LEÍRÁSA

A gbXML "Window" a gbXML "WindowType" egy példánya, a geometrián túl minden releváns tulajdonságát a típusból örökli:

```
<WindowType
id="xsd:ID [1]"
DOELibIdRef="xsd:string [0..1] ?"
programId="xsd:IDREF [0..1] ?">
Start Choice [0..*]
<Name> ... </Name> [0..1]
<Description> ... </Description> [0..1]
<U-value> ... </U-value> [0..1]
<ShadingCoeff> ... </ShadingCoeff> [0..1]
<SolarHeatGainCoeff> ... </SolarHeatGainCoeff> [0..*]
<Transmittance> ... </Transmittance> [0..*]
<Reflectance> ... </Reflectance> [0..*]
<Emittance> ... </Emittance> [0..*]
<Blind> ... </Blind> [0..*]
<Frame> ... </Frame> [0..*]
<Gap> ... </Gap> [0..*]
<Glaze> ... </Glaze> [0..*]
<Cost> ... </Cost> [0..*]
<ExtEquipId> ... </ExtEquipId> [0..1] ?
End Choice
</WindowType>
```

Az energetikai, hő- és vizuális komfortvizsgálathoz szükséges épületfizikai jellemzőket a formátum képes tárolni, a mezők feltöltése a BIM programból exportálással kellene, hogy megtörténjen.

Ez mind az ARCHICAD³⁷, mind a Revit³⁸ esetében problémákba ütközik. Ezek alapvető okaként a nyílászárók modellezésének módját azonosítom: a fejlesztők ezeket “al-objektumként”, valamilyen elemhez hozzárendelve szánják. Ez analóg például az Energy-Plus “child surface” koncepciójával, ahol a falfelület “parent surface”, a benne lévő nyílás (ajtó, ablak, “air wall”) “child surface”, örökölve a beépítési peremfeltételeket.

³⁷ Saját tapasztalataim alapján: az ARCHICAD gbXML exporter modulja az “Energy Evaluation” modell-ellenőrző ablakában érhető el. Itt még PHPP felé tudunk exportálni, az ARCHICAD-Talk fórumbejegyzései alapján mérsékelt hatékonysággal. A gbXML exportáláshoz fel kell paramétereznünk a modellt, a nyílászárókhoz az üvegezés, a kerettulajdonságok ott állíthatóak be, a sehol máshol nem elérhető tulajdonságok exportálása a felhasználó elől zárt mechanizmusként működik.

³⁸ Tennessee State Government: Creating Revit Models to be exported via gbXML for Energy Analysis. Web: https://www.tn.gov/content/dam/tn/statearchitect/documents/BIM_RevitToGbXML.pdf Megtekintve: 2020. december 28.

Kipróbált munkafolyamatok leírása

ARCHICAD - IFC - OPENSTUDIO - ENERGYPLUS/RADIANCE

Az OpenStudio fejlesztése felhasználói felület és együttműködési lehetőségek terén elmaradott. Az IFC import modul a BIMserver futtatásán keresztül lehetséges, amit jelen formájában elméleti lehetőségként tudok számon tartani, semmilyen formában nem tudtam IFC-t az OpenStudio környezetébe importálni. A munkafolyamat 2016 óta nem támogatott³⁹.

ARCHICAD - GBXML - OPENSTUDIO - ENERGYPLUS/RADIANCE

Az ARCHICAD generálta gbXML fájl az OpenStudio 3.0.1 verziójával nem kompatibilis. A probléma okát a "Schedule"-ök formázásában célszerű keresni a Honeybee (a Ladybug Tools programcsomag energetikai modellezésért felelős része) importkísérletek nyomán kapott hibaüzenetek kapcsán⁴⁰. Ennek megoldása fejlesztői feladat, teoretikusan a dátumok törlésével orvosolható probléma, a gbXML fájlok szerkesztése nagyobb épületek esetében több tízezer (esetemben kb. 40 helyiségből ~18000) soros XML fájlt eredményez, aminek a manuális szerkesztése a tervezői gyakorlatban nem reális alternatíva. Az ARCHICAD egy régebbi gbXML implementáció szerint exportál, a Revit Analytical Model az EnergyPlus köré épített alkalmazások számára is értelmezhető formátumot ad.

ARCHICAD - LADYBUG TOOLS - OPENSTUDIO - ENERGYPLUS/RADIANCE

Áthidaló megoldás lehet, hogy a Rhino-Grasshopper felhasználói felületén keresztül elért nyílt forráskódú Ladybug Tools nevű interfész-plugineket használjuk. Ez azt jelenti, hogy a Rhinoceros 3D felületmodellező programhoz szervesen kapcsolódó vizuális programozófelület, a Grasshopper egyik legelterjedtebb beépülő modulját használjuk. Ennek előnye, hogy a Grasshopper ökoszisztémájához az ARCHICAD is kapcsolódik, a modellünket a létrehozó eszközök típusa, vagy egyedi tulajdonságokra szűrve exportálhatjuk. Hátránya, hogy a felhasználói felület nem ad lehetőséget az építőanyag-szinten tárolt információk elérésére (lásd "gbXML WindowType" leírásánál), a befoglaló mé-

³⁹ **Notice** The IFC plugin was built by the [BIMDataHub](https://bimdatahub.org/) group. The functionality has not been maintained since 2016." Web: https://openstudiocoalition.org/tutorials/tutorial_ifcimport/ Megtekintve: 2020. december 22.

⁴⁰ Ladybug Tools Discours: Import gbXML file generated from ARCHICAD. Web: <https://discourse.ladybug.tools/t/import-gbxml-file-generated-from-archicad/4142> Megtekintve: 2020. december 22.

reték érhetőek el. Néhány felhasználói fogás használható, interaktív listázással készíthetünk szűréseket

ARCHICAD - CLIMATE STUDIO - ENERGYPLUS/RADIANCE

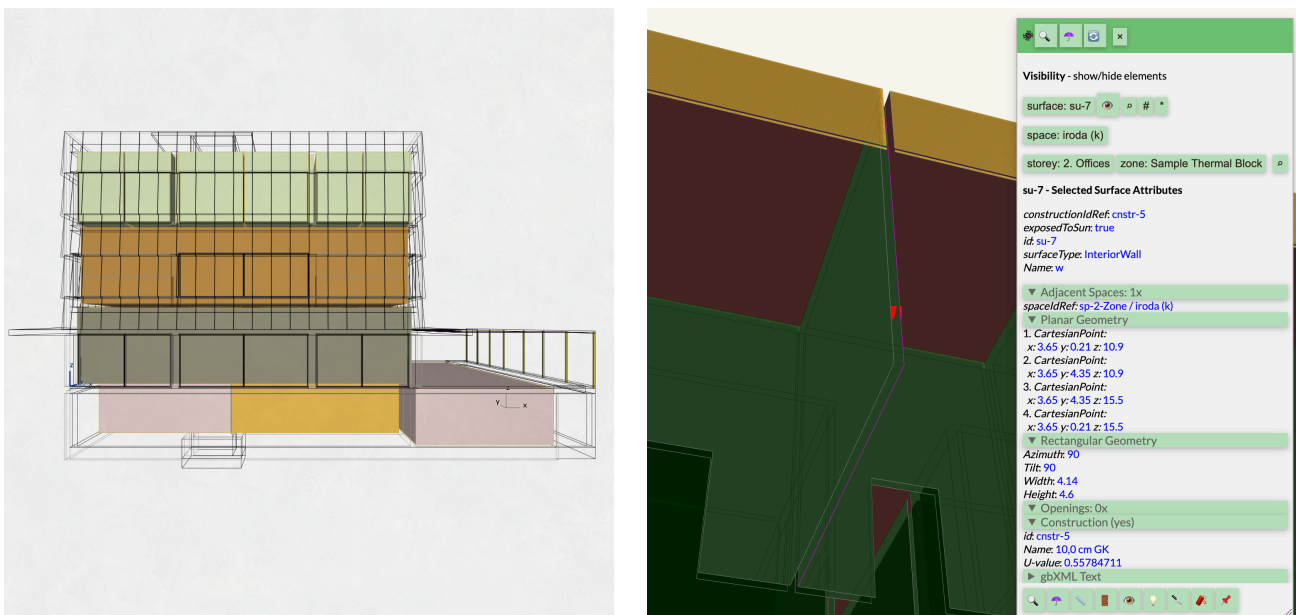
A legegyszerűbb importmechanizmus a Climate Studio felé bizonyult. A ClimateStudio alapvetően a vizuális komfort modellezésében erős megoldás. Christoph Reinhart, a cégvezető, a világítástechnikai modellezés egyik legismertebb alakja. A Ladybug Tools-szal ellentétben a Climate Studio piaci termék, ennek megfelelően a felhasználói felülete villámgyorsan tanulható, alkalmazható. A használatot segíti, hogy az ASHRAE 90.1 és a SIA 2014 szabványoknak megfelelő szerkezetek, valamint az LBNL Window adatbázisából is több száz nagyságrendben exportált azonnal használható adatbázissal bír. Konceptiószintű modellezésnél, kevésbé érdeklődő mérnökök, hallgatók számára ezt tartom a legbiztosabb folyamatnak. Energetikai oldalról nem olyan erős megoldás, mint a vizuális komfort modellezéséhez. A Radiance renderelőmotor progresszív változatát használja, a “bucket rendering” és “progressive rendering” eljárások között dióhéjban a különbség, hogy előbbi esetében egy-egy szál egy kijelölt területet renderel csupán, ám azt végleges minőségben, míg a progresszív eljárásoknál az egész kép tisztul folyamatosan, lépcsőről-lépésre. A lépést “pass”-nek hívjuk, az első néhány után teljesen zajos a kép, mint egy éjszaka, magas ISO mellett fotózott fénykép, ez fokozatosan tisztul. Jelenleg a progresszív renderelés itt érhető el a Radiance-hez, emiatt az eredmény villámgyors. A zajszint csökkenésével a szimuláció pontossága növekszik, de a mérnöki gyakorlatban sokszor elég a “megfelelően pontos” eredmény is. A hal-szemoptikájú, gömbpanorámás képek a technológiának köszönhetően minden irányban nézhetőek, a Honeybee esetében a DGP csak fix irányban értelmezhető⁴¹.

⁴¹ Gömbpanorámát renderelni gépigényes feladat, korábbi, látványtervezési tapasztalataim alapján nem próbálkoztam meg vele. Többféle kameratípust szimulálhatunk, a gömbi vetítést alkalmazóknál (spherical camera) 2:1 arányú “torz” képeket tudunk renderelni.

Pipeline

A cél a legkevesebb manuális modelljavítás, és anyagtulajdonság-felvitel volt. Utóbbi a kipróbált munkafolyamat esetén elégtelen eredményt adott, se IFC-ben, se gbXML-ben nem tudtam egy általános célú BIM modellből megfelelő energetikai modellt generálni.

A probléma oka: a gbXML zónákat keres a modellben, majd a közös síkra eső felületekből generál tulajdonságokat. A modellem ezen a részletezettségen túlhaladt. Kísérleteztem egy dedikált energetikai modell létrehozásával is:



8. ábra: gbXML modell alapját képező energetikai céllal épített BIM modell.

A többzónás modell rengeteg manuális munka árán tűnt csak feltakaríthatónak gbXML útján⁴², ezért végül a helyiségeket exportáltam mesh modellként, a tulajdonság-hozzárendelést pedig a geometria Rhino-ban történő feltakarítását követően Grasshopperrel értem el. Az EnergyPlus körül épülő nyílt forrású szoftverekre helyeztem a hangsúlyt: az EnergyPlus is nyílt forrású, GitHub-on hozzáférhető forráskóddal, rendkívül részletes dokumentációval. Tanulási platformnak ilyen tekintetben ideális, a nehézséget a szimulációs motor közvetlen kezelése jelenti, ami évtizedekkel marad el a megszokott fel-

⁴² Fernald, Haily: BIM to BEM translation workflows and their challenges: a case study using a detailed BIM model. 2018, IBPSA Canada. Web: <http://www.ibpsa.org/proceedings/eSimPapers/2018/2-3-A-3.pdf> Megtekintve: 2020. január 04. Hasonló konklúzióra jutottam, mint a hivatkozott cikkben. Manuális munka árán talán elérhető egyfajta kapcsolat, de ez semmiképpen sem nevezhető működőképesnek.

használói felületektől. Ezt kiküszöbölni valamelyik munkafázisban sokan használnak valamilyen más szoftvert, én az alábbiakat választottam:

Káprázásvizsgálat	Radiance (GUI: Climate Studio)
Hűtési/fűtési/világítási energia/hő-komfort	EnergyPlus, Radiance (GUI: Ladybug Tools)

Mindkettő a Rhino+Grasshopper ökoszisztémán belüli, ezáltal kiaknázzható sok más lehetőség is - iteratív vizsgálatok, moduláris munkafolyamatok építhetőek.

HŐKOMFORT (PMV) - ENERGYPLUS - HONEYBEE

Az általam a vizuális komfortparaméterek számításához használt program nem támogatja a PMV számítást, ezért a hőkomfort vizsgálatához az Energy Plus szimuláció futtatásához használt bemeneti fájl (.idf) közvetlen szerkesztése szükséges. Az Internal-Gains :: People tárgyhoz alapértelmezetten rendelt ASHRAE 55 szerinti adaptív hőkomfort modellt a Fanger-féle PMV modellre szükséges cserélni, illetve fel kell venni a kimeneti adatok közé a Zone Thermal Comfort Fanger Model PMV paramétert is. A dolgozat esetében a kimeneti fájl vizsgálatát az SQL adatbázison keresztül végeztem el, ezért a módosításhoz az Output Reporting :: Output:SQLite "Simple" felvétele is hozzátartozott. Ebből a használati időtartamban egy script segítségével vizsgáltam meg, hogy az ISO 7730 szerinti komfortosztályokba az idő hány százalékában tartózkodik a kérdéses helyiség. Az SQL adatbázisban az épület összes helyiségére óránkénti bontásban elérhető a hőkomfortot leíró PMV értéke. Az osztályozás a PMV értékei alapján az alábbiak szerint elvégezhető:

"A" osztályba sorolt a vizsgált időtartam, ha $|PMV| \leq 0.2$,

"B" osztályba sorolt a vizsgált időtartam, ha $0.2 < |PMV| \leq 0.5$,

"C" osztályba sorolt a vizsgált időtartam, ha $0.5 < |PMV| \leq 0.7$.

Az éves kiértékeléshez használt mérőszámot (ν_{oszt}) a fenti összefüggés szerint számoltam, mely megadja, hogy a vizsgált helyiség az év hány százalékában tartozik az adott osztályba. Az ideális állapot, ha $\nu_A = 100\%$.

Eredmények

Bemutató

VIZSGÁLT HELYISÉG BEMUTATÁSA

A teljes épületenergetikai modell 42 zónából épül fel, ennek szimulációja és kezelése a feladat keretein túlmutat. A kiválasztott, vizsgált tér a **103. olvasó**, délre tájolt első emeleti könyvtárhelyiség. A keleti, déli, nyugati tájolású ablakai jó vizsgálati alannyá teszik. A funkciót az ASHRAE 90.1:2013 szabványban leírt SecondarySchool::Library működési programmal modelleztem, a nyitvatartási időn (Occupancy schedule) módosítottam, 07:00-19:00 órára.

SZERKEZETEK, PEREMFELTÉTELEK

A helyiséget alul-felül és belső fala mentén adiabatikus, a külső falak mentén pedig "Outdoors" peremfeltétellel modelleztem, utóbbi szerkezetek rétegrendjének az Fk.02 rétegrendet választottam.

Fk.02 ELŐREGYÁRTOTT KITÖLTŐFAL				
Réteg	h (W/m ² K)	d (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
külső légréteg ell.	24,00	-	-	0,04
ásványgyapot hőszigetelés (Rockwool Fixrock)	-	0,25	0,039	6,41
fa rétegtelt lemez	-	0,025	0,130	0,19
ásványgyapot hőszigetelés (Rockwool Airrock)	-	0,20	0,035	5,71
fa rétegtelt lemez	-	0,025	0,130	0,19
párazáró réteg	-	-	-	-
ásványgyapot hőszigetelés (Rockwool Airrock)	-	0,075	0,035	2,14
fa burkolat	-	0,025	0,130	0,19
belső légréteg ell.	8,00	-	-	0,13
Σ	-	0,60	-	15,01
U (W/m ² K)	0,067			

Elhanyagolások: a felső gerenda az Fk.03 rétegrend szerinti⁴³, homogénnek feltételeztem. Azokat az elképzeléseket, hogy az üvegezést rétegek szintjén modellezem meg az ablakszerkezetben, elvettem. Egy EnergyPlus üvegezés anyag az alábbi tulajdonságokkal definiálható:

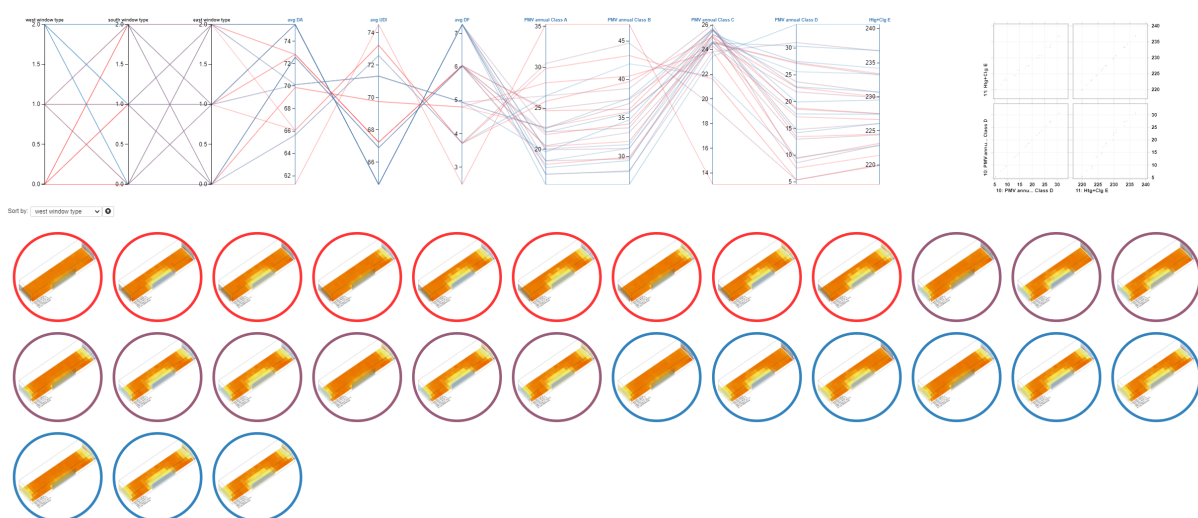
⁴³ A teljes manuális energetikai számítás az Épületgépészeti munkarészben található.

A vastagságot leszámítva az energetikai működéshez 0..1 közötti, dimenzió nélküli mennyiségekről beszélünk. Egyetlen nyílászáró esetén egyetlen réteg modellezése 3 lépcsőben (0.0, 0.5, 1.0), az üveg esetén fix (pl. 3mm) vastagságot feltételezve $3^6 = 729$ lehetséges kombináció létezik. Ezek közül ugyan nem mindegyik valódi lehetőség, a szimulációk száma azonban exponenciálisan nő. Ez egy teljesen elméleti, anyagkutatókat segítő irány lenne.

Célszerűbb, ha konkrét termékként, legalábbis az LBNL Window adatbázisában fellelhető opciók közül kerülnek ki a lehetőségek. Az üvegezésre többféle opciót modelleztem meg: egy rendkívül jó U-értékű, 3 rétegű üvegezéssel ellátott, alacsony összenergia-átbocsátású, egy általános, a hatályos TNM rendeletek szerint kialakított, és egy nagy összenergia-átbocsátású ablakot. Az SHGC a direkt transzmissziós és az elnyelt energia vezetékes hőáramait is kifejezi.

Paraméter	Kr töltetű 3rtg. Low-E	“Normál”	Transzmisszív
U-érték (W/m ² K)	0,6	1,15	2
SHGC	0,2	0,6	0,8
T _{vis}	0,25	0,7	0,9

A fenti paraméterek nem konkrét termékre vonatkoznak, a három teljesítményjellemző értelmezési tartományából különböző helyen felvett értékek: egy nagyon alacsony energiaátbocsátású, egy hétköznapiak tekinthető, és egy nagyon magas átteresztőképességű üveget vizsgáltam.



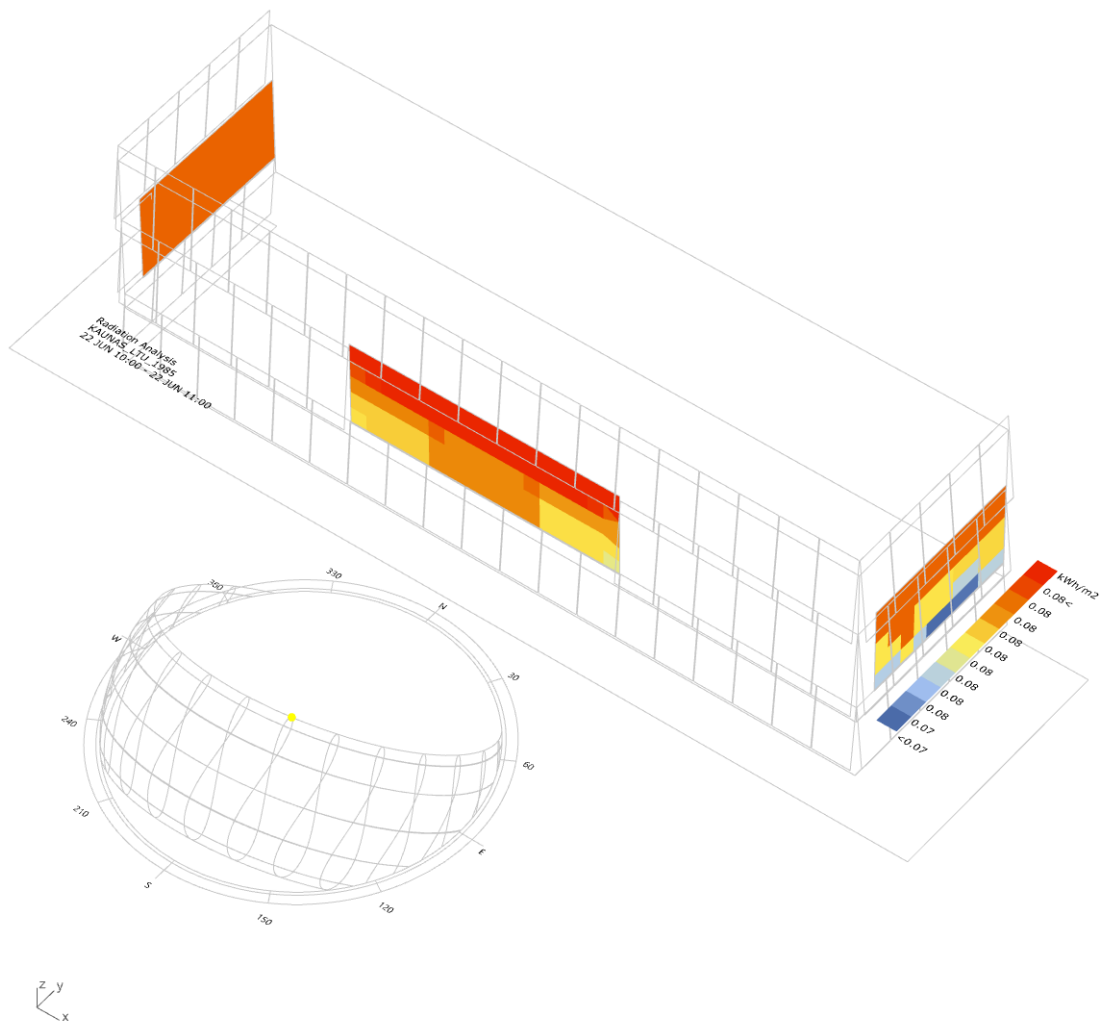
9. ábra: Az összes lehetséges ablakkombináció a 3 üvegtípussal.⁴⁴

A továbbiakban az egyes konkrét esetekre “WSE101”, vagy “WSE222” néven fogok hivatkozni. W: west window (nyugati ablak), S: south window (déli ablak), E: east window (keleti ablak). A számok 0,1,2 lehetőség szerint az előző oldalon felsorolt üvegeztípusokat jelölik, oszlop szerint balról jobbra haladva.

VIZUÁLIS KOMFORT

A napvédő üvegezés (WES000) adta a legrosszabb eredményt, az idő 61,27%-ában lenne lehetőség csupán napfénnel biztosítani a megfelelő megvilágítást. A déli üveg “normál” üvegezésre cserélésével (WES010) ez 69,89%-ra növelhető (+14%), a fűtési energia 0,5%-al csökkenthető (12,18 kWh/m²a -> 12,14 kWh/m²a). A hűtés-fűtés-világítás viszonylatában azonban növekmény keletkezik, amit a nyári órákban érkező plusz direkt szoláris nyereség okoz. Ez javítható az árnyékoló működési profiljának módosításával amely ebben a verzióban az alábbi elven működött: “On”, ha $T_e > 25^\circ\text{C}$ és a beeső sugárzási teljesítmény $P_d > 100 \text{ W/m}^2$. Utóbbi magas érték lett, a tipikus nyári hét sugárzásos értékei alapján próbáltam becsülni, ez az árnyékolás hatékonyságát csökkenti. A nyári hőnyereségek a fehér árnyékolóval kiküszöbölhetőek, a működést az előbbiek alapján a beeső sugárzás és külső hőmérséklettel alacsonyabb nyereséggel (pl. óránként 50 Wh/m²), vagy egy “ShadeSch: AlwaysOn” alapján folyamatosan leeresztett állapottal lehet javítani. Utóbbi a kilátást korlátozza, ezért nem ítélem alkalmazhatónak.

⁴⁴ Az ábrát a Thornton Tomasetti CORE Studiojának “Desgin Explorer” nevű, többváltozós



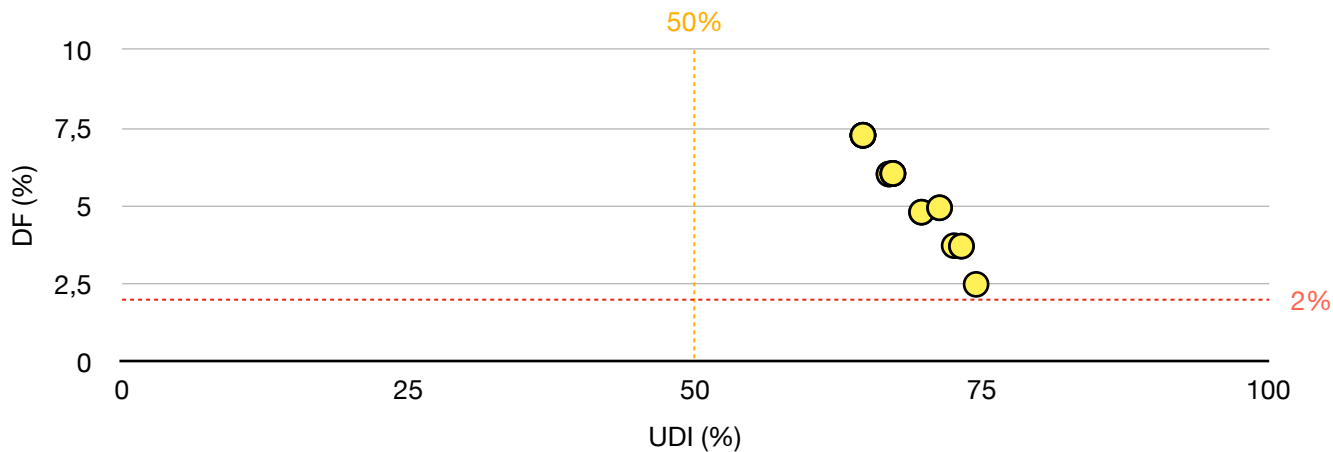
10. Beeső sugárzás (kWh/m²) egy vizsgált egy "tipikus nyári", délelőtti órában, amit mértékadónak feltételeztem az árnyékoló vezérléséhez.

Az árnyékolószerkezet anyagát az alábbi paraméterekkel modelleztem:

WindowMaterial:Blind,
 SERGEFERRARI_371, !-Name
 0.65, !-Reflectance
 0.15, !-Transmittance
 0.9, !-Emissivity
 0.001, !-Slat Thickness
 221.0; !-Conductivity

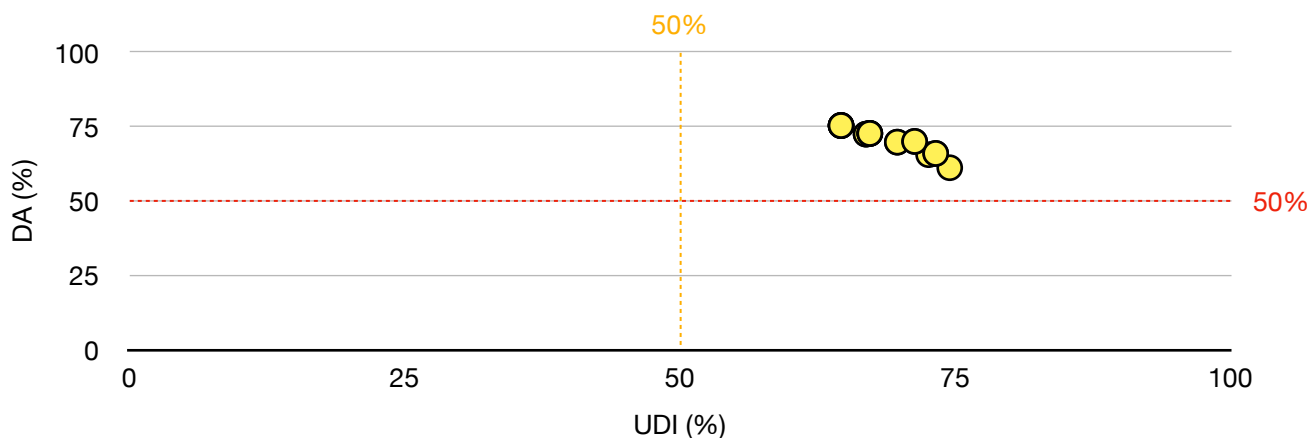
USEFUL DAYLIGHT ILLUMINANCE (UDI)

A hasznos napsugárzás szempontjából az előbbi, "rosszabb" üvegezések jobban teljesítenek, a magasabb T_{vis} érték túl erős megvilágítást eredményez:



11. ábra: UDI(DF) a vizsgált lehetőségek esetén.

A jobb felső térnegyedbe esnek az elfogadható megoldások. A jobb alsó a WSE000.

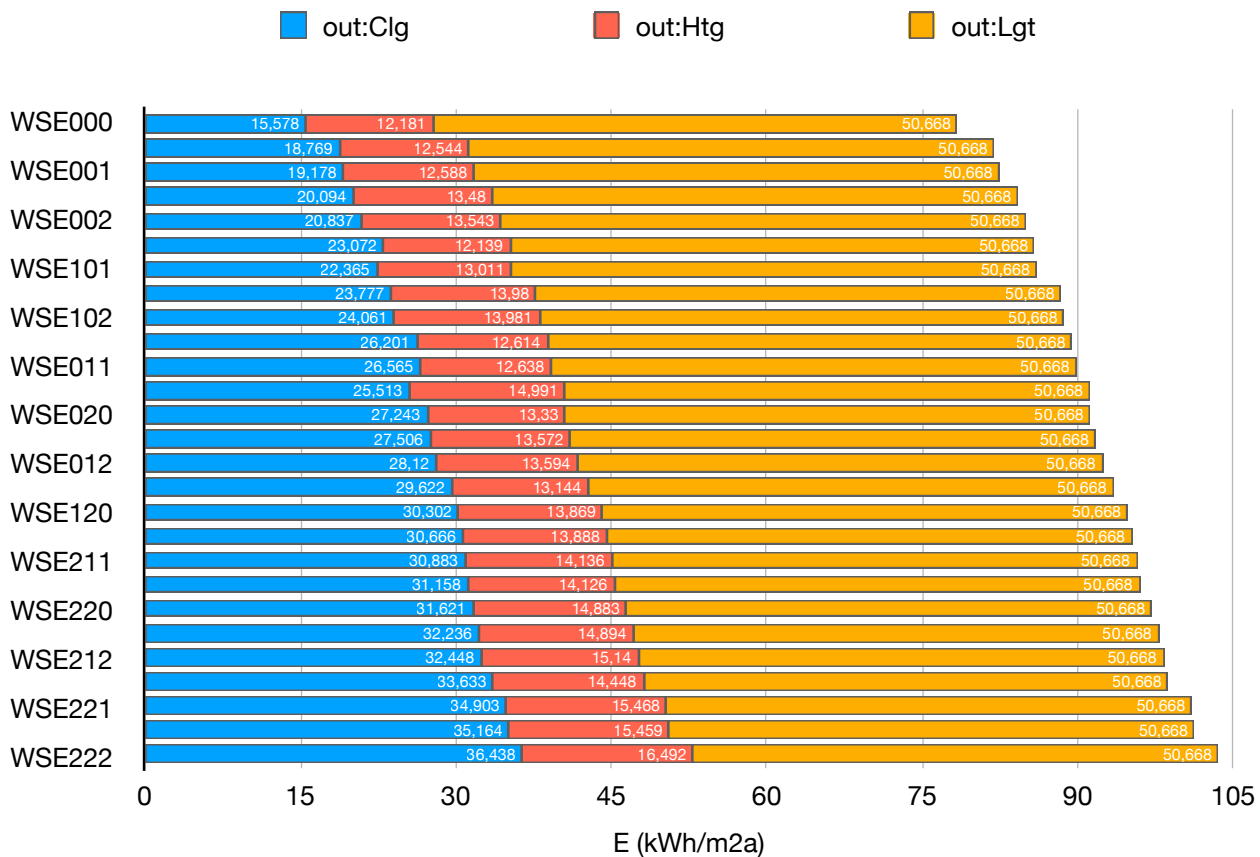


12. ábra: UDI(DA) a vizsgált lehetőségek esetén.

A jobb felső térnegyedbe esnek az elfogadható megoldások.

ENERGIAFELHASZNÁLÁS

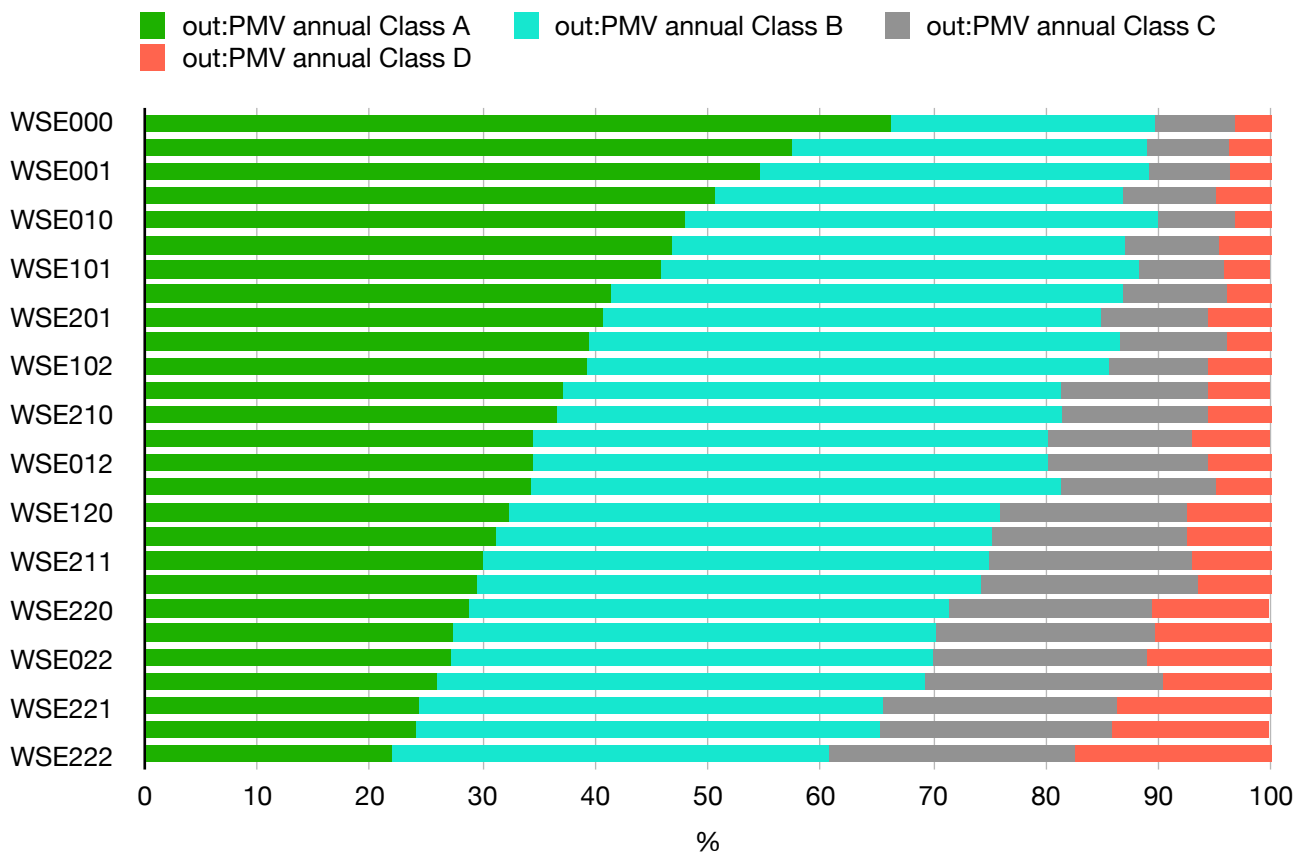
A hűtés/fűtés és a mesterséges világítás energiafelhasználása az alábbiak szerint alakult:



Az eredményt torzítja a mesterséges világítás fix konstans 50,6676 kWh/m2a értéke, ez a világítás schedule hibája.

HŐKOMFORT

Az éves vizsgálat alapján a vizsgált lehetőségek⁴⁵:

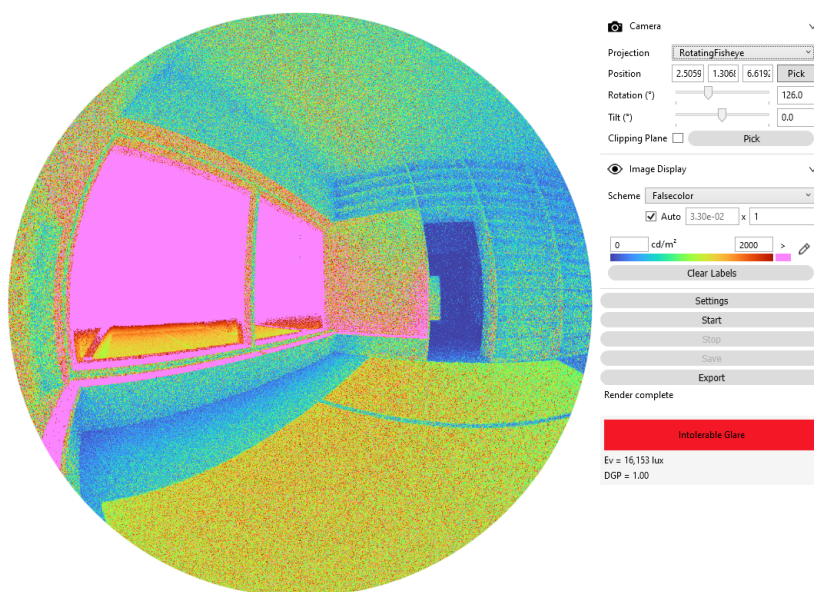


A PMV meghatározó tényezője a felületek közepes sugárzási hőmérséklete (mean radiant temperature). A nagy ablakfelületek miatt az opciókat a nyílászárók alapján rendezhetjük sorba, a legtöbb komfort a legmagasabb felületi hőmérsékletek mellett észlelt.

⁴⁵ A legutolsó szimuláció eredménye. A PMV nagy szórást mutatott, ezek feltárt és feltételezett okairól

Értékelés

A várakozásaimnak megfelelően a legalacsonyabb energiafelhasználás a déli napvédő, és kelet-nyugati irányban jobb transzmissziós képességű üvegezések esetén alakult. A legalacsonyabb energiafogyasztást a legalacsonyabb U-értékű ablakok felhasználása jelentette - ebben közrejátszik, hogy csak a hűtés-fűtés energiáját vettem figyelembe. Az energetikailag legalacsonyabb megoldásnál a DF és DA értékei elmaradnak a kelet-nyugati tengelyen benapozás szempontjából nyitottabb lehetőségektől (kb. 2/3 része - $DF_{WSE000} = 2,49\%$, $DF_{WSE100} = 3,73\%$, $DF_{WSE001} = 3,73\%$), de a fényvédő jelleg miatt az UDI értéke itt a legmagasabb. A többi esetben a DGP magas. A káprázás vizsgálatára az éves vizsgálatot kiegészítendő konkrét időpontra vonatkozó vizsgálatotkat végeztem⁴⁶. Ezek azt mutatják, hogy a napvédő üvegek a kelet-nyugati tengely miatt az alacsony napállás miatt nem túl hatékony megoldást jelentenek, az árnyékolók használata az olvasás és szellemi munka miatti koncentráció zavartalan biztosítása miatt szükségesek.



13.ábra: A 0,2 SHGC és T_{vis} feltételezése mellett: a délutáni órákban elviselhetetlen a káprázás a napvédő üveg ellenére is.

⁴⁶ Ún. "point in time" szimuláció, egy kiragadott időpillanatban készített pillanatkép. A vizuális komfortvizsgálat megengedőbb, mint a hőterhelenséget is figyelembe vevő energetikai szimuláció, de progresszív raytracing és azt támogató NVIDIA RTX kártyák nélkül a napsugárzásos órákra elvégezni is több napig futó munkában, több ezer képet kellene renderelni.

A növekvő energiaigény két komponensnek is köszönhető, a nyári hűtési energiaigény és a téli többletveszteségek miatti fűtési energigény növekményeként áll elő.

Az energetikai oldalról a korai szimulációs eredményeimben rendkívül magas 200+ kWh/m²a érték hűtési és fűtési energiára az ASHRAE template-ben lévő elavult fűtési rendszernek köszönhető (VAV - variable air volume - with reheat). Az éghajlati adatokat vizsgálva a hűtési és fűtési hőfokhíd értékeiből arra számítottam, hogy a hűtési energia elhanyagolható lesz⁴⁷, ez a fűtési rendszer koncepcióhoz illesztésével el is értem.

A fűtési rendszert a gépészeti számításnál is figyelembe vett talajszondás hőszivattyút közelítve (DOAS with water source heat pumps with ground source heat pump) már 18,52 kWh/m²a értéket kapunk a hűtés-fűtésre. A dedikált légtechnikai rendszerek neutrális hőmérsékletű befúvással dolgoznak, az üzemeltetési energia ezért jóval kisebb.

WSE000 esetén a különböző fűtési rendszerek energiaigénye fajlagos alapterületre vetítve:

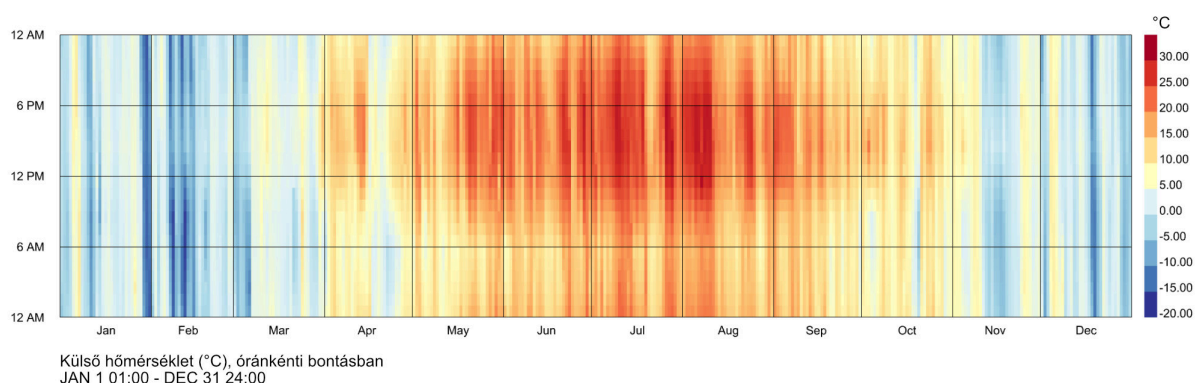
Rendszer	Template	E (hűtés-fűtés) (kWh/m ² a)	“A” osztályban töltött idő (%)
ideális	IdealAirLoad	27,97	12,99
fan coil + kazán	DOAS with fan coil chiller with boiler	31,75	34,35
fan coil + hőszivattyú	DOAS with fan coil chiller with central air source heat pump	20,1	34,35
fan coil + hőszivattyú	DOAS with fan coil chiller with central air source heat pump	34,62	34,35

(A hővisszanyerés mértéke a látens és érzékelhető hő esetében is 0,8.)

Érdekes, hogy a hőkomfort szempontjából a helyiség nem mozdul feljebb az “A” osztályt vizsgálva az éves használati időtartam kb. 35%-ánál. Ez több paraméternek is köszönhető: a ruházat hőszigetelőképességére feltételezett fix 0,7 clo érték (ezzel számoltam a fentiekben) a litván időjárás mellett lenge öltözetnek számít, télen-nyáron nem valószínű, hogy mindenki hosszúujjúban és hosszú nadrágban öltözzön. A CBE

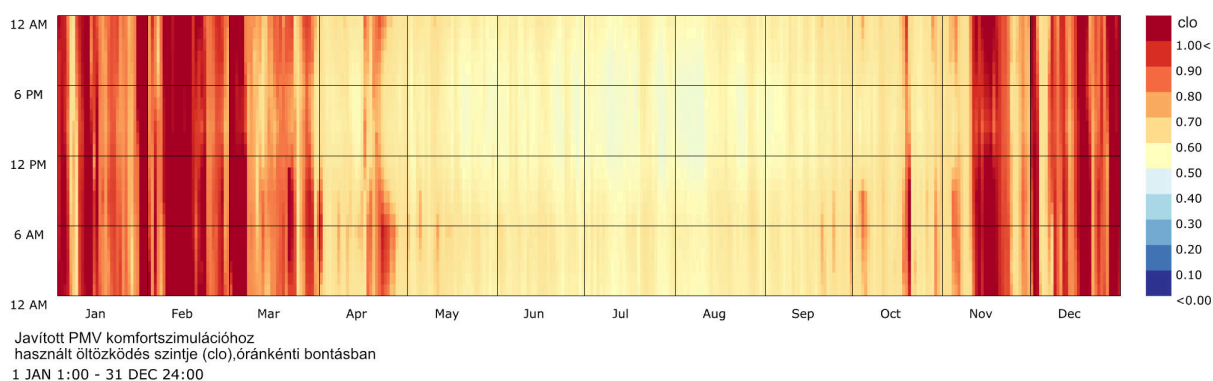
⁴⁷ A kézi számításnál ezt igazolódni láttam: a hűtési igény mindössze 1 kWh/m²a, a fűtés pedig a rendkívül alacsony U-érték miatt 10 kWh/m²a értékre adódott talajhő-levegő földszivattyú alkalmazásával.

Comfort Tool⁴⁸ Dynamic Predictive Clothing⁴⁹ algoritmusának alapján a külső léghőmérséklet figyelembevételével egy minimum-maximum öltözködésre vonatkozó hőszigetelési értelmelési tartományon az óránkénti szimulációhoz 8760 clo értéket generáltam:



14. ábra: Kaunas hőmérsékleteloszlása éves bontásban.

Éves viszonylatban nem igazán kerülünk 30°C fölé, nem ritka a -10°C körüli sem. Ezekből az értékekből a clo eloszlása:



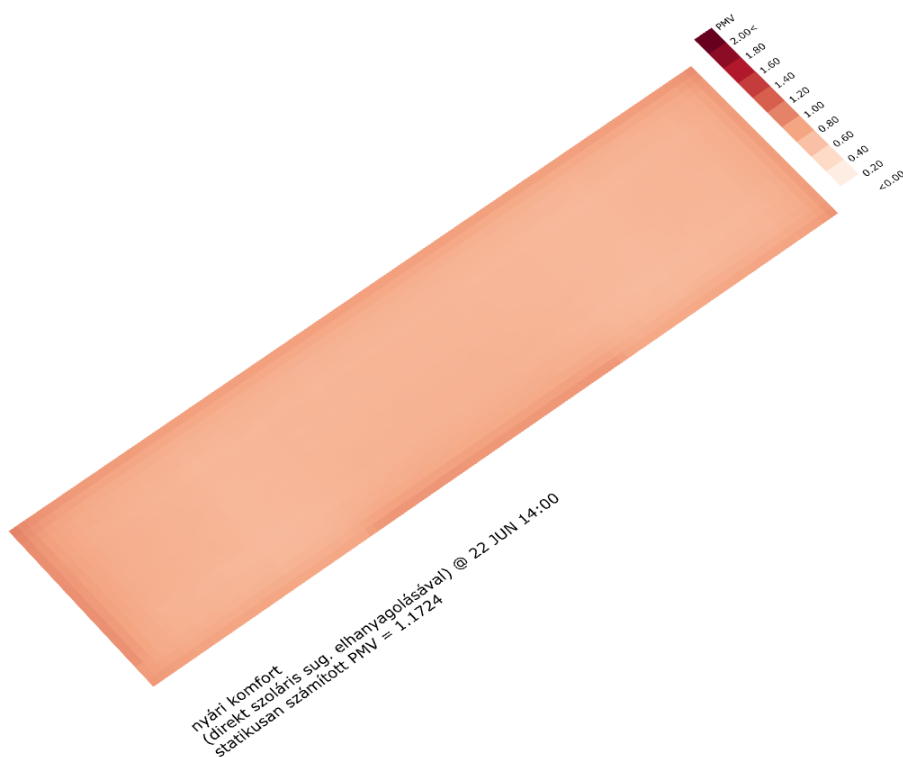
A hőkomfort szimuláció eredményei nehezen vizualizálhatóak térben: az EnergyPlus a helyiségre vonatkoztatva annak középpontjába számolja ki a PMV értékét. Ez a nagy, több égtáj felé tájolt üvegfelületek miatt a komfort térbeli eloszlásáról nem sokat árul el. A PMV számításához felhasznált közepes felületi sugárzási hőmérséklet (mean radiant temperature, MRT) a helyiségben mozogva változik. Közelítő megoldásként kiszámíthatjuk, ha ismertek a felületi hőmérsékletek (EP szimulációból óránként adott minden

⁴⁸ A Berkeley Egyetem kutatói (Center for the Built Environment (CBE)) által karbantartott online projekt. Web: <https://comfort.cbe.berkeley.edu>

⁴⁹ Schiavon, Stefano: Dynamic predictive clothing insulation models based on outdoor air and indoor operative temperatures. 2013. Building and Environment, 59, 250-260 Web: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132312002260?via%3Dihub> Megtekintve: 2020. január 8.

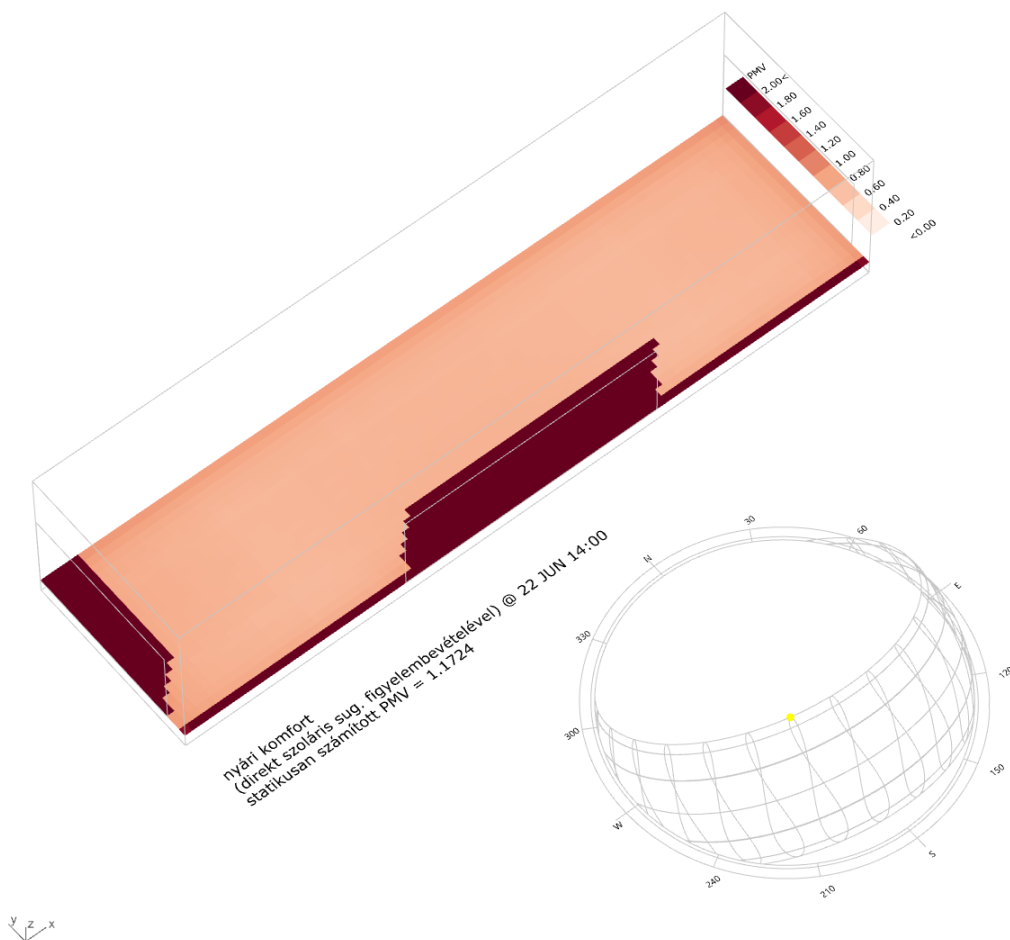
felület), illetve számított a nézettényező (view factor) az adott felülethez. A kettő ismeretében a teljes látógömbben észlelt felületek paramétereiből számítható a vizsgálati pontban az MRT változása.

Mivel ennek számolása időigényes, ezért csak egy tipikus nyári hetet vettem figyelembe (a használt EPW fájl melletti STAT fájl "typical summer week" dátumaiból), annak is az első napját, június 22-t, 06:00-20:00 között vizsgáltam, az árnyékolók nélkül.



15. Nyári hőkomfort a direkt napsugárzás elhanyagolásával.

A helyiség középpontjára számított PMV nagyjából egyezik a mikroklimatikus térkép alapján számított PMV értékek átlagával (a gradiens csak finom eltéréseket mutat). Az ablakok melletti felmelegedő sávok az üvegre érkező direkt sugárzás elnyeléséből felmelegedő üvegfelületek miatt jöttek létre.



16.ábra: Nyári hőkomfort a direkt napsugárzás figyelembevételével.

A számított PMV értéke nagyjából megegyezik az általános felületen mérttel, azonban az ablakok mellett nem ad használható eredményt a beeső sugárzás figyelembevételével. A direkt sugárzás az emberi testre érve jelentősen megnöveli a hőérzetet, a délen és keleten tesztként alkalmazott üvegezés⁵⁰ jó transzmissziós tulajdonságokkal bír. Az animált napi PMV értékek azt mutatják, hogy árnyékolás nélkül még a rendkívül jó hőátbocsátási tényezőjű, háromrétegű napvédő üvegezéssel ellátott, kripton-gázzal töltött nyílászáró sem képes megakadályozni a rossz hőkomfort-érzetet.

⁵⁰ déli, nyugati: $U = 1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$, $SHGC = 0.8$, $VT = 0.8$
keleti: $U = 0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$, $SHGC = 0.2$, $VT = 0.5$

Összefoglalás

Tanulságok

MUNKAFOLYAMAT

A félévben tett kísérleteim arra, hogy a diplomatervem kapcsán felépített modellből a mérnöki számítást segítő analitikai modellt generáljak, vegyesek. A pozitívum, hogy a vizuális komfort szimulációja IFC használatával valóban lehetséges, valamilyen biztonságosan exportált alapattribútum szerint rendeljük hozzá az anyagtulajdonságokat (például a diffúz szín, vagy fólia alapján). A vizuális komfortvizsgálat ebből a szempontból nem különbözik az építészeti látványtervezéstől, a használt renderelőmotor pontossága az, ami különbséget jelent. A Radiance a fizikailag hiteles fényvizsgálatra törekszik, míg a kereskedelmi szoftverek a gyorsaságot, minél szebb képalkotást célozzák. Az energetikai szimuláció szempontjából az általam vizsgált lehetőségek nem győztek meg arról, hogy lehetséges egy automatizált munkafolyamatot kiépíteni. Az EnergyPlus érzékeny a geometriai hibákra, és a BIM modellben tárolt részletezettség több nagyságrenddel nagyobb, mint az energetikai modell leírására használt. Gondot jelent a tárolt adatok migrálása a különböző céllal létrehozott adatstruktúrák között, az IFC és gbXML modellek bárki által megismerhető, a Ladybug Tools modelljei szintén nyílt forráskódúak (Ladybug-, Honeybee-, Dragonfly model schema), ezzel szemben az BIM modellek fekete dobozként működnek, az IFCPropertySet-ek leképezése nem világos a modellből, ahogyan a gbXML modell felépítése sem.

SZIMULÁCIÓ

A nagy üvegezett felületek mellett a direkt szoláris nyereségek modellezése létfontosságú, ezért mikroklimatikus térképek számítását tartom célszerűnek az egyszerűsített hőkomfort-számításokkal szemben. A vizuális komfortot leíró vizsgálati mérőszámok lényegesen előrébb tartanak értelmezhetőségben és (számítógépes) alkalmazások terén, mint az energetikai mutatók. A "Daylight Autonomy" mintájára "Thermal Autonomy"⁵¹ vizsgálata is szükséges. Ehhez a széles körben alkalmazott, téri viszonyokat elhanyagoló mérőszámok helyett mikroklimatikus térképek létrehozása lehet megoldás.

⁵¹ Levitt, Brendon; Ubbelohde, M. Susan; Loisos, George; Brown, Nathan: Thermal Autonomy as Metric and Design Process. Web: http://www.coolshadow.com/research/Levitt_Thermal%20Autonomy%20as%20Metric%20and%20Design%20Process.pdf Megtekintve: 2020. december 22.

Ezek számításigényes, a PMV vagy adaptív modell mérőszámainál bonyolultabban számítható téri jellemzők. A hőkomfort jellemzésére használt mérőszámaink talán elavultak: a PMV az 1970-es években jött létre, az aktív gépészettel működtetett épületek jellemzésére. A 0.1 m/s alatti légáram mellett már nem ad jó közelítést, az adaptív hőkomfort-modell használata célszerű a passzívház-közeli működésű épületek esetében.

ÜVEGVÁLASZTÁS

A dolgozat elején feltett kérdésre a válasz, a szimulációk eredményei alapján a **103. olvasó** helyiségben választott üvegezésre:

1. üvegtípus

Réteg (k->b)	Megnevezés	Gyártó	Megjegyzés	vtg. (mm)
1.	Solarban 72 + Starphire 6mm	Vitro Glazing	-	6
2.	Kripton gáz	-	EN673	13
3.	Solarban 72 + Starphire 6mm	Vitro Glazing	-	6
4.	Kripton gáz	-	EN673	13
5.	Solarban 72 + Starphire 6mm	Vitro Glazing	-	6
				44

2. üvegtípus

Réteg (k->b)	Megnevezés	Gyártó	Megjegyzés	vtg. (mm)
1.	Starphire	Vitro Glazing	-	6
2.	Kripton gáz	-	EN673	13
3.	Sungate 400 + Starphire	Vitro Glazing	-	6
4.	Kripton gáz	-	EN673	13
5.	Sungate 400 + Starphire	Vitro Glazing	-	6
				44

Tájolás	Nyugati: 2. üvegtípus	Déli: 1. üvegtípus	Keleti: 2. üvegtípus
U-érték (W/m ² K)	0,84	0,57	0,84
SHGC	0,605	0,216	0,605
T _{vis}	0,713	0,512	0,713
EE (MJ/m ²)	641,26	641,26	641,26
EC (kgCO ₂ /m ²)	117,5025	117,5025	117,5025

További kutatási lehetőségek

Az épületinformációs modellezéssel segített mérnöki tervezés hatalmas terület, melynek egy szegletében mélyedtem el a félévben. Demonstráltam, hogy az épületfizikai paraméterek meghatározása, mely jelenleg sokszor a gyártói termékadatlapokról történik, mérnöki módszerekkel is elérhető, habár munkás feladat.

Az eljárás, amivel épületfizikai paraméterek szintjén dolgozva fel tudjuk térképezni a lehetséges megoldási teret, rengeteg lehetőséget rejt magában és definíció szerint teljesítményelvű tervezést követel. A változtatások hatásait érzékenységteszt-vizsgálaton keresztül vizsgálhatjuk, illetve számítási kapacitás rendelkezésre állása esetén rengeteg opciót vizsgálhatunk meg, ami alapján a tervezők és a megrendelő is iránymutatást kap arra, hogy mibe érdemes fektetni. A termékfüggetlen vizsgálathoz diszkrét értékkészlet szükséges, ám ennek a gondolatnak a számítástechnikai teljesítmény részben gátat jelent. Esetemben a hőátbocsátási tényező (U), a összenergia-átbocsátás (SHGC) és a látható tartományban mért átbocsátás (VT vagy T_{vis}) vizsgálata ha 5-5 lehetséges értéket vizsgál⁵², akkor is 125 (5³) szimulációt jelent egy ablak vizsgálata esetén. 3 ablakot vizsgáltam, ekkor már 5⁹, majdnem kétmillió a lehetőségek száma. A nyers erővel (brute force) történő optimalizáció nem célravezető ebben a környezetben, ezen segíthet, ha konkrét terméket modellezünk meg. A brute force szimuláció teljesítményigényét nem feltétlenül a megoldástér limitálásával kell csökkenteni: az építészeti tervezésben egyre többen foglalkoznak genetikus algoritmusokkal, melyek optimumkeresésre fejlesztett eljárások. A dologzatomban tárgyalt, egyszerűnek tekinthető probléma is megmutatta reményeim szerint azt, hogy az építészeti tervezés általában sokdimenziós

⁵² Például az U-értéket 0,6 és 2 között: 0.6, 0.95, 1.3, 1.65, 2.0.

problémateret jelent, aminek a számítástechnikai és matematikai kezelése közel sem triviális feladat.

A megoldási tér árazása (anyagi és ökológiai szempontból) egy érdekes felvetés lehet a problémakör továbbgondolására. Építőipari normaadatokkal és költségekkel ugyanúgy összeköthető a modell, mint egy energetikai adatbázissal, az üzemeltetés energetikai költségvonzatával összesítve a bekerülés is árazható.

Zárszó

A fentiek alapján megfogalmazódhat a kérdés, hogy érdemes-e ennyi munkát beletenni egy ilyen kérdés megválaszolásába. Az értéket nem feltétlenül ebben látom: az épület-információs modellezés, épületenergetikai modellezés és a kapcsolódó, mintatanterv által lefedett ismeretanyag integrálását a jövőre, jövőmre való tekintettel rendkívül fontosnak érzem. Közismert, sokszor hivatkozott adat, hogy az épületállomány az emberiség energiafelhasználásának közel 40%-ért felel. A hosszú távon gazdaságos és környezetkímélő épített környezet tervezéséhez szükséges, hogy saját eszközöket hozunk létre a digitális tervezéshez, ehhez az elmúlt évtized robbanásszerű fejlődést hozott az építésinformatikában. Azt gondolom, hogy a dolgozat mellé kidolgozott scriptekhez hasonló eszközök segítenek a tervezői intuíció kialakulásában.

A rossz eredmények, a követhetetlen eredmények nem feltétlenül jó minták rögzülését segítik elő, ezen segít, ha lépésenként követhető minden számítás.

Források

A szöveges hivatkozások az adott oldal alján, lábjegyzet formájában találhatóak.

Ábrajegyzék

A nem hivatkozott ábrákat én készítettem (a hivatkozás az adott oldalon, lábjegyzetben).

1. ábra: Üvegezés naptényezője a homlokzat üvegarányának és tájolásának függvényében.-----	6
2. ábra: LOD szintek, EKR dokumentáció nyomán. -----	8
3. ábra: A számítás módját a ISO 15469:2004(E) szerinti tökéletesen borult égbolt jelenti (01. égbolt-modell).--	14
4. ábra: Az IfcWindow IFC 2x3 szerinti sematikus ábrázolása az öröklődések és relációk ábrázolásával. -----	19
5. ábra: Az IfcWindow IFC4 szerinti sematikus ábrázolása az öröklődésekkel és relációkkal. -----	20
6. ábra: Az üvegezésre vonatkozó Pset_DoorWindowGlazingType tulajdonságkészlet. -----	21
7. ábra: Az IfcWindow általános tulajdonságai az épületszerkezettani fogalomkészlettel társítva. -----	22
8. ábra: gbXML modell alapját képező energetikai céllal épített BIM modell.-----	28
9. ábra: Az összes lehetséges ablakkombináció a 3 üvegtípussal. -----	32
10. Beeső sugárzás (kWh/m ²) egy vizsgált egy "tipikus nyári", délelőtti órában, amit mértékadónak feltételeztem az árnyékoló vezérléséhez.-----	33
11. ábra: UDI(DF) a vizsgált lehetőségek esetén. -----	34
12. ábra: UDI(DA) a vizsgált lehetőségek esetén.-----	34
13. ábra: A 0,2 SHGC és Tvis feltételezése mellett: a délutáni órákban elviselhetetlen a káprázás a napvédő üveg ellenére is. -----	37
14. ábra: Kaunas hőmérsékleteloszlása éves bontásban. -----	39
15. Nyári hőkomfort a direkt napsugárzás elhanyagolásával. -----	40
16. ábra: Nyári hőkomfort a direkt napsugárzás figyelembevételével. -----	41