

SZILI BETTINA VIKTÓRIA
TDK DOLGOZAT

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
ÉPÜLETGÉPÉSZETI ÉS GÉPÉSZETI ELJÁRÁSTECHNIKA TANSZÉK



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
ÉPÜLETGÉPÉSZETI ÉS GÉPÉSZETI ELJÁRÁSTECHNIKA TANSZÉK

SZILI BETTINA VIKTÓRIA

Lakóépületek üzemeltetésének és korszerűsítésének energia-
megtakarítási lehetőségei és állagvédelmi kockázatai

Témavezető:

Dr. Horváth Miklós
adjunktus

Témavezető:

Dr. Csoknyai Tamás
tanszékvezető, egyetemi docens

Budapest, 2022

NYILATKOZAT

Nyilatkozat az önálló munkáról

Alulírott, *Szili Bettina Viktória* (E0N6J5), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója, büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és sajátkezű aláírással igazolom, hogy ezt a TDK dolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és dolgozatomban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a hatályos előírásoknak megfelelően, a forrás megadásával megjelöltem.

Budapest, 2022.11.10.

Szili Bettina Viktória

TARTALOMJEGYZÉK

Köszönetnyilvánítás	vii
Jelölések jegyzéke	viii
1. Bevezetés.....	1
1.1. Célkitűzések.....	1
1.2. Áttekintés	1
2. A Vizsgálat jelentősége és áttekintése	2
2.1. Energiamegtakarítási lehetőségek.....	2
2.2. Állagvédelmi kockázat.....	3
2.3. Dinamikus épületenergetikai szimuláció	5
2.3.1. DesignBuilder	5
2.3.2. Auricon Energetic	6
2.4. Vizsgált épület bemutatása.....	6
2.4.1. Magyar épülettípológia.....	6
2.4.2. Kádár-kocka.....	8
3. Modellezés lépései.....	10
3.1. Vizsgált épületmodell.....	10
3.1.1. Definiált alapmodellek.....	10
3.1.2. Épület geometriai és szerkezeti tulajdonságai.....	11
3.1.3. Épülethasználat	12
3.1.4. Gépészet	15
3.2. Energiamegtakarítási lehetőségek.....	16
3.2.1. Belső levegő hőmérséklet csökkentés	16
3.2.2. Szakaszos fűtés.....	17
3.2.3. Fűtött alapterület csökkentése	17
3.3. Hőhíd modellezés	19
3.3.1. Külső falsarok.....	19
3.3.2. Összesítés	20
4. Eredmények feldolgozása	22
4.1. Exportált adatok.....	22
4.2. Energiamegtakarítás mértéke	22
4.2.1. Belső levegő hőmérséklet csökkentés	23
4.2.2. Szakaszos fűtés.....	24
4.2.3. Fűtött alapterület csökkentés	25
4.3. Felületi kondenzáció vizsgálat.....	28
4.3.1. Kritikus értékek.....	28

4.3.2. Számítás menete.....	30
4.3.3. Relatív nedvességtartalom a térben	31
4.3.4. Kondenzáció valószínűségének vizsgálata.....	34
5. Összefoglalás.....	37
5.1. Eredmények értékelése	37
5.2. Jövőbeni kutatási területek	37
6. Summary	38
7. Felhasznált források	39
8. Melléklet.....	41
8.1.1. Külső és belső fal csatlakozás.....	41
8.1.2. Külső fal és födém csatlakozás	42
8.1.3. Ablak beépítés	43

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnék köszönetet mondani Dr. Horváth Miklósnak és Dr. Csoknyai Tamásnak, témavezetőimnek, akik a tdk dolgozat készítése során mindig rendelkezésemre álltak ha kérdésem vagy problémám adódott és mindvégig hasznos tanácsokkal láttak el.

* * *

JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

Latin betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
f_{RSI}	sajátléptékben mért hőmérséklet	-
U	hőátbocsátási tényező	W/(m ² K)
p	parciális nyomás	Pa
p_0	atmoszférikus nyomás	Pa
t	hőmérséklet	°C
x	abszolút nedvességtartalom	g/kg

Görög betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
φ	relatív páratartalom	%
ψ	vonalmenti hőátbocsátási tényező	W/(mK)

Indexek, kitevők

Jelölés	Megnevezés, értelmezés
b	általános futóindex (egész szám)
HH	hőhíd
k	külső
t	telítési
vg	vízgőz

1. BEVEZETÉS

1.1. Célkitűzések

Az idei év egyik legnagyobb kihívása az energiafelhasználás gyors és költséghatékony csökkentése mind lakossági, mind állami szinten. Ebben kiemelkedő szerepe van a lakóépület szektornak, hiszen innen származik Magyarország energiafelhasználásának körülbelül 40%-a. A szektoron belül az 1990 előtt épült családi házakra jut a fűtési energiaigény mintegy 71%-a. Dolgozatomban egy, ebbe a kategóriába tartozó jellegzetes épülettípus, A Kádár-kocka üzemeltetésének és korszerűsítésének energiamegtakarítási lehetőségeit és állagvédelmi kockázatait vizsgálom dinamikus szimulációs épületmodelleken. Maga a Kádár-kocka, mint típusépület a lakóépület állomány körülbelül 35%-át teszi ki [1] [2].

Célom, hogy vizsgáljam a fűtési energia megtakarítási lehetőségeit, melyek jelentősebb mértékben befolyásolhatják az energiafogyasztás mértékét. Ezek után állagvédelmi szempontból vizsgálom a belső levegő hőmérséklet csökkentés hatásait, hogy igazoljam a felületi kondenzáció meglétét vagy hiányát.

1.2. Áttekintés

Dolgozatom során elsőként vizsgálom az egyes energiamegtakarítási lehetőségeket és bemutatom az állagvédelmi követelményeket. Ezek után definiálom az esettanulmány tárgyát képező épület szerkezeti, geometriai és épülethasználati tulajdonságait. A szimulációs modell felépítését követően a fűtés paramétereinek változtatásával vizsgálom az energiamegtakarítási lehetőségeket. Az eredmények alapján meghatározom az egyes stratégiák energiafelhasználásra gyakorolt hatását, valamint a belső levegő hőmérséklet csökkentésének további állagvédelmi vonatkozásait. Végül pedig vizsgálom, hogy mindezen tulajdonságok hogyan változnak az épület korszerűsítésével, illetve elemzem a bemeneti paraméterek hatását (pl. geometriai és szerkezeti tulajdonságok).

2. A VIZSGÁLAT JELENTŐSÉGE ÉS ÁTTEKINTÉSE

Épületeink megfelelő tervezése alapvetően fontos a mindennapi életünk komfortjának megtartása érdekében. Egy 2001-ben publikált felmérés alapján az emberek a napjuk körülbelül 85-90%-át zárt téren belül töltik [3]. Kutatások azt is kimutatták, hogy a belső levegő tulajdonságai befolyással vannak az emberek teljesítőképességére, motivációjára és koncentrációjára. Általánosságban elmondható, hogy szellemi tevékenységek végzése esetén 24 °C hőmérséklet ideális a legjobb teljesítőképesség elérése érdekében. A felmérés során ennél kissé magasabb hőmérséklet esetén növekedett motivációt tapasztaltak, viszont ezzel együtt a koncentráció csökkenését is. A kísérlet eredményeként azt is megállapították, hogy ugyanakkora hőmérséklet csökkenés összességében kedvezőbb hatással van az emberi teljesítőképességre, mint ugyanakkora hőmérséklet növekedés [4].

A közelmúltban a bizonytalan politikai helyzet és az energiaárak drasztikus emelkedése miatt egyértelműen a középpontba került az energiafelhasználás csökkentésének jelentősége. 2022 szeptemberében hazánkban is megszületett egy erre vonatkozó rendelet (353/2022. (IX. 19.)), mely szerint bizonyos kivételekkel, az intézményekben a fűtés útján biztosított léghőmérséklet nem haladhatja meg a 18 °C-ot [5]. A belső léghőmérséklet korábban hatályos értékét a 3/2002. (II. 8.) SzCsM-EüM rendelet 20-22 °C között határozta meg szellemi munka végzéséhez [6].

Az emelkedő energiaárak mellett a lakosságot is arra ösztönözték, hogy valamilyen módon energiát takarítsanak meg. Az ilyen és ehhez hasonló vizsgálatokhoz támogatást nyújthat az épületszimuláció használata, mely az időjárás, a geometriai kialakítás, a gépészet és az emberi használat változóit kezelve képes vizsgálni az épületet, ezzel optimalizálva a költségeket.

2.1. Energiamegtakarítási lehetőségek

Az új rendelet (353/2022. (IX. 19.)) [5] bevezetését követően sorra jelentek meg az energiamegtakarítást ösztönző és ezek lehetőségeit taglaló online és nyomtatott értekezések. Ezek egy része beruházási költséget igényel, míg más, főleg a felhasználói szokásokban történő változtatások, ugyan kisebb eredménnyel, de rögtön és beruházási költség nélkül elérhetőek. Az utóbbi jelentősége is kiemelkedő lehet bizonyos háztartások esetén, ahol egy relatív nagy költséggel megvalósítható felújítás nem reális.

A legnagyobb energiamegtakarítás általában a megfelelő szigeteléssel valósítható meg. A külső falak hőszigetelése mellett nagy jelentőséggel bír a beépített tetőtérrel nem rendelkező házak esetén a padlásfödém szigetelése is. Ezek mellett a lábazat megfelelő szigetelése is kiemelkedő jelentőségű, mellyel a talaj felé irányuló veszteséget csökkenthetjük. Mindezek kivitelezése viszont igen magas beruházási költséggel jár.

Egy másik opció energiahatékony nyílászárók beépítése, illetve a meglévő nyílászárók felújítása is. A tömítetlenségből származó légcserének jelentős részéért felelhetnek

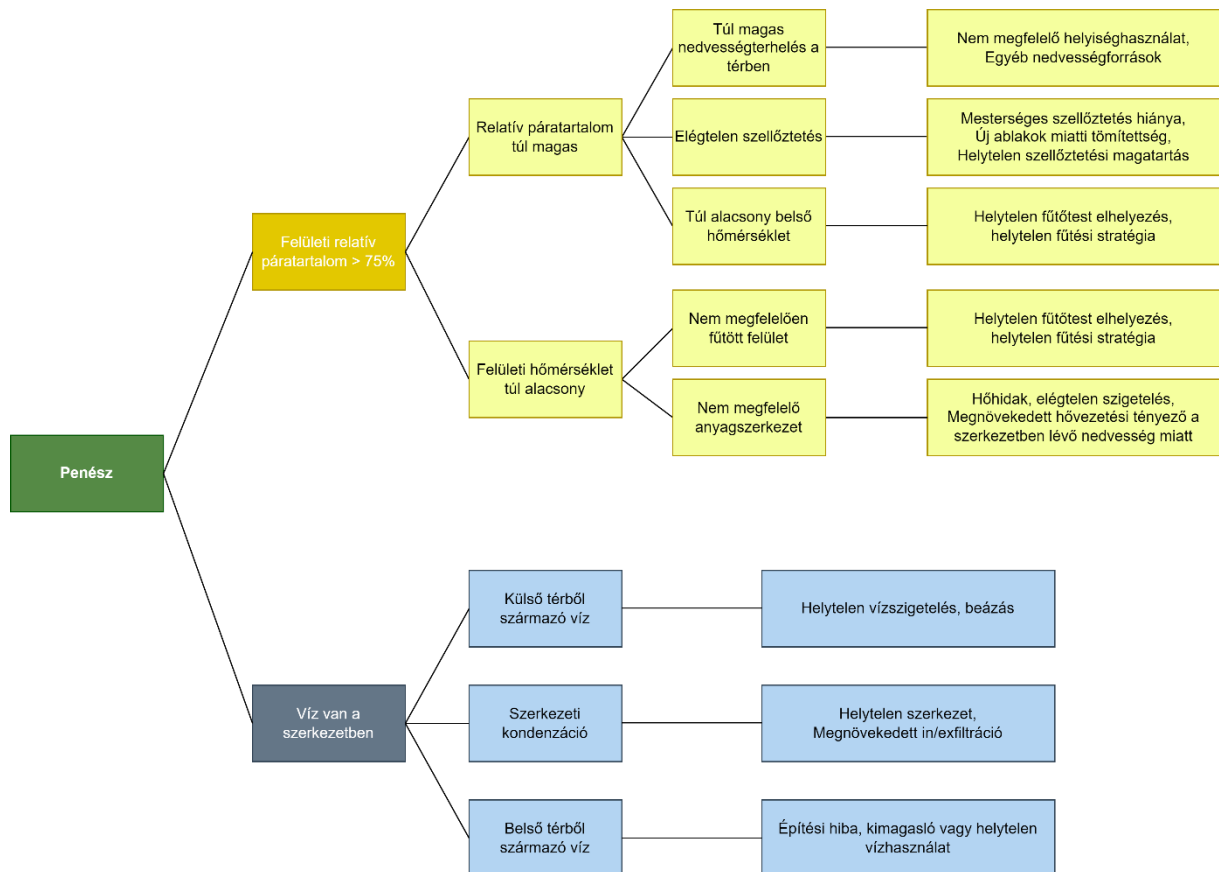
a nem megfelelően záródó ablakok és ajtók. Ablakok esetén egy költséghatékony megoldás lehet még a szigetelő gumi vagy huzatfogó párna alkalmazása. Utóbbi módszer a szegényebb régiókban és otthonokban igen elterjedtnek számít.

Alacsony beruházási költséggel rendelkezik, ha hőtükör fóliát alkalmazunk. Ezen fóliák igen sok üzletben elérhetőek és az előbbi két lehetőséghez képest jóval kisebb költséggel rendelkeznek. Magát a fóliát a fűtőtest, vagyis radiátor vagy konvektor mögé szükséges helyezni és így a fal felé irányuló hő nagy részét visszaveri a térbe. Ennek alkalmazási korlátja viszont, hogy például felületfűtés esetén nem alkalmazható.

Kevésbé tehetős háztartások esetén kiemelkedően fontos lehet beruházási költség nélkül megvalósítható energiamegtakarítási lehetőségek alkalmazása, mint például a komfort javításának céljára réteges öltözködés. Felhasználói magatartásunk mérlegelésével és esetleges megváltoztatásával sok megtakarítási opciót használhatunk. Fontos például, hogy a fűtőtesteket szabadon hagyjuk, vagyis ne rakjuk a bútorokat túl közel hozzá és a függöny se lógjon rá. Ennek oka, hogy minél nagyobb teret „lát” a hőleadó egység, annál hatékonyabban üzemelhet. Érdeemes odafigyelni a szellőztetésre is, hiszen, ha többször kevesebb ideig szellőztetünk, akkor nem tudnak áthúlni a belső térben lévő bútorok és egyéb tárgyak, melyek utána tovább hűtenék a belső levegőt. Az ablaknál még alkalmazható külső vagy belső árnyékoló, melyet éjszaka leengedhetünk, hogy minimalizáljuk a hővesztéseget az ablakokon keresztül. Emellett pedig a szoláris hőnyereség szerepe is számottevő lehet. Elterjedt fűtés csökkentési lehetőség még a szakaszos fűtés, mely során napközben és/vagy éjszaka alacsonyabb hőfokra csökkentjük a belső hőmérsékletet. Ebben segítséget nyújthat egy programozható termosztát használata. Továbbá kevésbé elterjedt és alacsonyabb komfortérzettel járó megoldás lehet a belső hőmérséklet csökkentése a teljes lakásra vonatkozóan, vagy a fűtött alapterület csökkentése. Az utóbbival kapcsolatban kiemelendő, hogy a belső tér temperálása bizonyos hőmérsékletre fontos a fagyveszély elkerülése érdekében [7], [8], [9], [10]. Egy másik forrásban a párologtatást javasolják a fűtött helyiségekben a komfortérzet javítására [11]. Ez a jelenség bizonyos fizikai korlátok között igazolható, viszont, ha az állagvédelmi szempontokat is figyelembe vesszük, akkor a belső térbe jutó plusz nedvességterhelés káros hatással lehet szerkezeteinkre megfelelően alacsony felületi hőmérséklet esetén.

2.2. Állagvédelmi kockázat

Az épületek állagkárosodását sokszor nedvesedési problémák okozzák, melynek egy látható formája a falfelületen megjelenő penész. Ennek kialakulását két fő csoportba sorolhatjuk, melyet az 1. ábra szemléltet.



1. ábra Penészképződés lehetséges okai [12]

Az ábrán látható módon a penészképződés egyik kialakulási módja, ha a felületi hátrétegben a relatív nedvességtartalom 75-80% fölé kerül. Ezt a felületi hőmérséklet és a helyiség relatív nedvességtartalma befolyásolja. Abban az esetben, ha a belső falfelületi hőmérséklete a harmatponti hőmérséklet alá esik, akkor a falfelület mentén 100 %-os relatív nedvességtartalom alakul ki, mely felületi kondenzációt okoz. Ez a jelenség látható, amikor az ablakok üvegfelülete bepárásodik vagy vízcseppek jelennek meg rajta. A penészképződés szempontjából ennél magasabb felületi hőmérséklet is veszélyes lehet. Ha a nedvességtartalom meghaladja a 75-80%-ot, a szerkezetben kialakulhat a kapilláris kondenzáció, ami hosszú távon penészesedéshez vezet [13]. A helyiségben kialakuló magas relatív nedvességtartalom adódhat a nem megfelelő helyiséghasználatból, túl sok nedvességforrásból, az elégtelen szellőztetésből vagy az alulfűtésből. A túl alacsony felületi hőmérséklet kialakulásának oka lehet a helytelen fűtőtest elhelyezés, a helytelen fűtési felhasználói magatartás, a hőhidak vagy a szerkezet nedvesedése külső hatásra. Összességében elmondható, hogy a kritikus helyek, ahol a kondenzáció létrejöhet a nem megfelelően hőszigetelt csomópontok, a hőhidak. A hőhidak közül is veszélyesebbek a hűvösebb északi és keleti tájolású szerkezetek, illetve, ha több hőhíd együttes hatása érvényesül és a hőhídzónák érvényesül, például, ha egy ablak a falsarokhoz megfelelően közel helyezkedik el [14].

A penészképződés másik oka a falak vízzel való közvetlen kapcsolata. Ezt okozhatja külső térből származó nedvesség, mint a kapilláris hatás hatására bejutó talajvíz vagy a csapóeső és a beázás. Helytelen szerkezeti kialakítás esetén akár a szerkezeten belül is lecsapódhat a nedvesség, mely ugyan nem látható, de érezhető egészségügyi problémákat okozhat [15]. Ezek mellett szélsőségesebb esetekben a falak vízzel érintkezését okozhatják még építési hibák és a helytelen vízhasználat [14]. A dolgozatban csak az alacsony hőmérsékletű belső felületek okozta penészképződés problémakörével foglalkozom.

2.3. Dinamikus épületenergetikai szimuláció

A felületi hőmérsékletek meghatározásához dinamikus épületszimulációt és hőhídszimulációt alkalmaztam. A dinamikus épületszimuláció az időjárás, a geometriai kialakítás, a gépészet és a felhasználói szokások különböző változóit kezelve képes vizsgálni az épület igényeit és terheléseit akár órás bontásban is. Ennek eredményeképp pontosan meghatározhatók a kritikus időszakok és egyes épületrészek egyedi tulajdonságai. A stacioner számítással ellentétben képes kezelni a dinamikus hatásokat és szélsőséges viszonyokat, mellyel valósabb képet kaphatunk.

2.3.1. DESIGNBUILDER

A DesignBuilder egy háromdimenziós, grafikus épületmodellező szoftver, melynek számító motorja az EnergyPlus szoftver. A programon belül 11 modul érhető el, így épületeink átfogó elemzésére alkalmas. Ezek többek közt a 3D modellező (ahol a modellünket felépíthetjük és tulajdonságait megadhatjuk), a vizualizációs panel (mely bevitt adataink alapján valós képet készít épületünkről a nap járását és ezzel az árnyékolást figyelembe véve). A program kiegészül még tanúsítási és energetikai szimulációs lehetőségekkel, illetve részletes gépészeti, időjárási beállításokkal. Alkalmas ezen felül részleges költségvetési tervek készítésére, valamint CFD és több kritériumos optimalizáció modellezésére is [16].

A program által használt szimulációs motor, az EnergyPlus, a teljes épületre kiterjedő szimulációt tesz lehetővé, mely tartalmazza az energiaigényeket fűtés, hűtés, szellőztetés, világítás és egyéb terhelések esetén, illetve az épület használati melegvíz felhasználását is. A modell képes kezelni fűtetlen tereket, a különböző gépészeti rendszereket, a belső hőtároló tömeget és a hőhidakat. A szimulációs eredmények pedig elérhetőek grafikus és szöveges formában is [17].

2.3.2. AURICON ENERGETIC

A DesignBuilder program kimeneti eredményként átlagos felületi hőmérsékletet határoz meg adott helyiségek minden falára vonatkozóan. Annak vizsgálatához, hogy a felületi kondenzáció valóban megjelenik-e, az adott falrész legalacsonyabb hőmérsékletű pontját szükséges vizsgálnunk. Ez a pont a hőhidaknál kialakuló felületi hőmérséklet. Ennek meghatározását Auricon Energetic programmal készítettem el.

Az Auricon Energetic épületenergetikai számításokhoz, tanúsításhoz és hőhídszimulációkhoz alkalmas szoftver. 2013 óta folyamatos fejlesztés alatt áll és számos funkció elérhető benne. Alapvető funkciója például az energetikai tanúsításokhoz használt „két betűs” besorolási rendszer teljes lekövetése, a BB és annál jobb szintekhez előírt plusz ellenőrzésekkel együtt. Emellett a program rendelkezik előre definiált anyag, rétegrend és nyílászáró adatbázissal, de igény szerint felhasználói adatbázisok is készíthetők. Ennek kiegészítéseként elérhető iteratív U-érték számítás a beépítési körülményeket figyelembe véve az MSZ EN ISO 10456:2008 szerint. A szoftver képes még a CO₂ emisszió számítására is [18].

A tanúsításon kívül extra funkció a párakondenzációs vizsgálat, az U-értéket módosító tényezők vizsgálata. Szimulációs modulként pedig elérhető U-érték modul, a bekapcsolás vizsgálatához Ablak modul és Hőhídszimuláció modul [18].

A hőhidak számítása háromféle módon tehető meg. Ezek az egyszerűsített módszer, a részletes, vagyis szabványos módszer és a kétdimenziós hőátvitel numerikus modellezése, vagyis a korábban említett Hőhídszimuláció modul. Dolgozatomban az egyes szerkezeti csomópontok modellezésével határoztam meg a hőhidaknál kialakuló felületi hőmérsékletet az adott peremfeltételek függvényében [18].

2.4. Vizsgált épület bemutatása

A vizsgált épület a KEOP-7.9.0/12-2013-0019 projekt keretein belül megalkotott magyar épülettípológia [19], 7-es típusépületének adatai alapján és az arra a korra jellemző épülettípus, a Kádár-kocka, jellegzetes tulajdonságait tekintve lett kialakítva.

2.4.1. MAGYAR ÉPÜLETTÍPOLÓGIA

Az utóbbi évtizedekben, ahogy az energiahatékonyság iránti törekvés egyre jelentősegteljesebbé vált, úgy a világ országai különböző lépéseket tettek ennek elérése érdekében. Az Európai Unió és az Intelligent Europe Programme együtt elindított egy IEE Projekt EPISCOPE (továbbiakban EPISCOPE) néven ismert projektet 2013 áprilisában. A projekt célja, hogy a résztvevő országokban olyan épülettípológiák alakulhassanak ki, melyek az épület felújítási munkákat jól átláthatóvá és effektívvé alakítják. Ez elősegíti, hogy a kitűzött klímapolitikai célok időben megvalósulhassanak. A projekt

a korábbi TABULA (Typology Approach for **B**uilding Stock Energy Assessment) kiterjesztése volt. A program lehetőséget biztosít a résztvevő országok esetén az épületállomány felmérésére és későbbiekben egy egységes európai épülettípológia létrehozására.

A TABULA projekt tipológiáinak tartalma:

- lakóépületek osztályozása kor, méret és további paraméterek szerint
- minden épülettípus esetén minta épület definiálása, melyek megfelelnek a típus általánosított követelményinek
- számítások az épületek energiafelhasználását illetően
- számítások a lehetséges energiamegtakarítási potenciálokról
- statisztikai adatok az épületekről és gépészeti rendszereikről.

Ennek kiegészítéseként az EPISCOPE projekten belül elkezdődtek az épülettípológiák épületmodelljeinek megvalósításai is, melyek célja, hogy meghatározzák az adott épülettípusokra jellemző energiamegtakarítási potenciálokat, illetve csökkentsék a felújítási munkálatok költségét és a felújított épület károsanyag kibocsátását. Ennek egyik módja, hogy a későbbiekben minden épülettípusra egy felújítási csomagot határoznak meg, mely támaszt nyújthat a megfelelő felújítási munkálatok meghatározására adott épületekre vonatkozóan [20], [21].

A 2009-2012 között tartó TABULA program keretében Magyarországon is megtörtént a meglévő épületállomány felmérése. Ennek eredményeként készült el a NÉES épülettípológia, melynek egy továbbfejlesztett változata a 2015-ben elkészített, már 2000 épület felmérésére alapozott KEOP-7.9.0/12-2013-0019 projekt keretein belül elkészült tipológia [19], mely 23 épülettípust különböztet meg az alábbi táblázat szerint.

1. táblázat Magyar épülettípológia épülettípusai [19]

	Családi ház				Kistár-sasház	Nagytársasház		
	kisebb	nagyobb	vályog1	vályog2		hagyom.	panel	egyéb ipar.
-1944	3		1	2	13	17	-	-
1945-1959	4				14	18	-	19
1960-1979	5	6					20	
1980-1989	7	8					21	
1990-2005	9	10			15	22	-	-
2006-	11	12			16	23	-	-

Az épületek besorolásának fő szempontjai az építés éve és az épület méretei voltak. Méretet tekintve megkülönböztetünk családi házakat, kis-, illetve nagytársasházakat. Családi házakon belül pedig 120 m²-nél kisebb és annál nagyobb épületeket. [19]

Építés éve szerint hat csoportot különböztetünk meg. A hagyományos, első világháború előtt épült házak jellemzően tömör téglából, vályogból vagy kőből épültek, általában egy szinttel és fűtetlen, vagy üres padlástérrel rendelkeznek. Emellett a nagyobb városokban gyakoriak voltak a főleg Magyarországra jellemző bérházak. A második világháború után lakáshiány alakult ki és emiatt az újjáépítés időszakában elterjedt vált az iparosított lakásépítés technológiája. Ilyen módon épültek az úgynevezett panelházak is. Ebben az időszakban jelentek meg főként vidéken a négyzetes alaprajzzal rendelkező egyszintes családi házak, melyeket „Kádár-kockának” nevezünk. Ezen épülettípus esetén jellemzően hőszigetelési hiányosságok tapasztalhatóak, amelyek miatt energetikai szempontból kedvezőtlen tulajdonságokkal rendelkeznek. A rendszerváltás után bekövetkezett energiaválság eredményeképp megnőtt az épületek hőveszteségének csökkentésére az igény, mely változásokat hozott az építőanyagok és az építési technológiák terén is. Az 1991-ben bevezetett Magyar Szabvány már meghatározta az épületek hőszigetelő képességét, amelyet 2006-ban bevezetett 7/2006 (V.24) TNM Rendelet (továbbiakban TNM rendelet) keretein belül tovább szigorítottak. Azóta a technika és a társadalom fejlődésével egyre szigorítják a követelményeket, melynek célkitűzése, hogy a későbbiekben csak közel nulla energiateljesítményű lakóépületek épülhessenek [22].

2.4.2. KÁDÁR-KOCKA

A Kádár-kocka egy jellegzetes négyzetes alaprajzú magyar családi háztípus, mely általában földszintes, sátozott és megközelítően 100 m² alapterületű. Ezen épületek többségében az 1960-70-es években épültek, de egészen 1990-ig valósultak meg kivételek még. Magyarországon belül a lakásállomány mintegy 21,5%-át ilyen típusú házak alkotják, melyek főleg Szabolcs-Szatmár-Bereg és Győr-Moson-Sopron megyékben találhatóak [23], [24]. Az 2. ábrán látható az épülettípus jellegzetes kocka kialakítása egy vidéki falukra jellemző házsoron.



2. ábra Kádár-kocka házsor [25]

A korabeli energetikai követelmények és alacsony energiaárak miatt a Kádár-kockák energetikai jellemzői kedvezőtlenek, hiszen nem hőszigetelték és pazarló fűtési rendszerrel szerelték fel őket. Ennek következtében az ilyen típusú épületeken nagymértékű a felújítások energiamegtakarítási potenciálja. Ez elsődlegesen utólagos hőszigetelést és a gépészeti rendszer korszerűsítését jelenti, de emellett szükségessé válhat a nyílászárók, a víz- és elektromos hálózat cseréje is. A Kádár-kockák fűtését régi típusú gázkazánnal vagy gázkonvektorokkal, használati melegvíz ellátásukat pedig gyakran villanybojlerrel biztosították korukban. Ezen épülettípus országos szintű, megfelelő felújítása kiemelkedő mértékben hozzájárulhatna a Magyarországi klímavédelmi célok megvalósításához [23], [26].

3. MODELLEZÉS LÉPÉSEI

A modellezés lépései során elsőként a definiált alapmodellek kerültek meghatározásra. Az alapmodellek kizárólag szerkezeti tulajdonságaikban térnek el, így az ezekhez tartozó felhasználói magatartások megegyeznek. A DesignBuilder szimulációk elvégzése előtt szükség volt a hőhidak definiálásra is, melyet Auricon Energetic program használatával végeztem el. Ezek után az energiamegtakarítási módszerek kerültek kiválasztásra, majd az egyes változatok a SimulationManager segítségével lefutásra.

3.1. Vizsgált épületmodell

A tipológia adatai a szezonális számítási módszerre optimalizálva kerültek felmérésre, így a dinamikus szimulációba való átültetésükhöz nem állt rendelkezésre minden adat. Ennek egyik fő oka, hogy a tipológia sok épület tulajdonságainak átlagolt értékeit tartalmazza és azok alapján egy átlagos típusépületet ír le. Egy korábbi kutatásom kapcsán már megtörtént a geometriai modell kialakítása, a szerkezeti tulajdonságok definiálása és bizonyos felhasználói magatartások felvétele. A jelenlegi kutatásom során a korábbi tapasztalatokat alapul véve került újradefiniálásra a modell a vizsgálat tárgyához illeszkedve [27].

Mint korábban említésre került, a Kádár-kocka 1960-1990 között terjedt el Magyarországon. A magyar épülettipológia erre az időtartamra két 120 m²-nél kisebb alapterületű családi háztípust is definiál. A '60-'70-es évek esetében az 5. típus, míg a 80-as években már a 7. típus jellemzi az általam vizsgálandó mintát. Ennek ellenére fontos megemlíteni, hogy a tipológia nem csak Kádár-kockát tartalmazza a felsorolt időszakokon belül, ez pedig okozhat esetleges tipológián belüli geometriai eltéréseket. Dolgozatom során a 7-es épületípust vettem alapul.

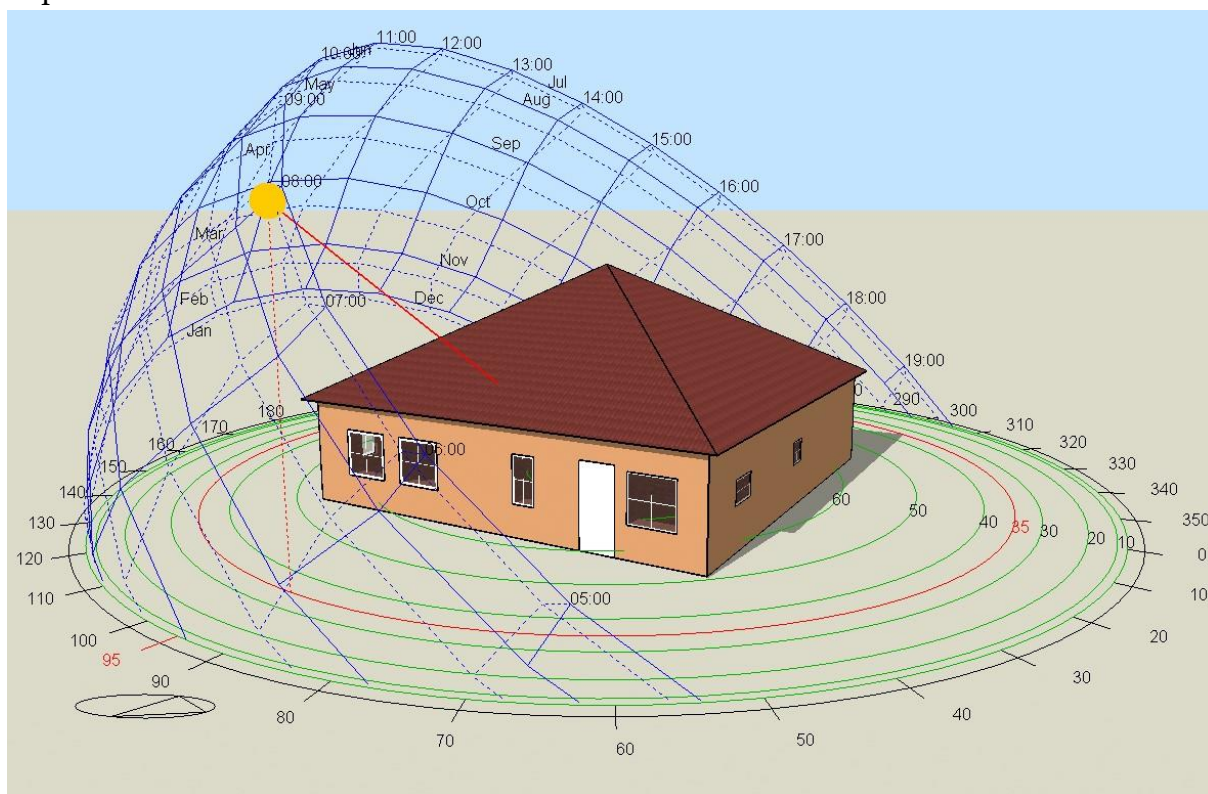
3.1.1. DEFINIÁLT ALAPMODELLEK

Dolgozotomban négy alapmodellt definiáltam, amelyen később az energiamegtakarítási stratégiákat vizsgálom. Az egyik verzió a teljesen szigetetlen eset, mely a magyar épülettipológia [19] szerinti hőátbocsátási tényező értékeit veszi figyelembe, mind a falak és az ablakok esetében is. A második verzióban azt feltételeztem, hogy az első esethez képest ablakfelújítás történik, mely során a TNM rendeletnek megfelelő U-értékkel rendelkező ablak történik beépítésre. Az ablak körbe szigetelt és az infiltráció mértékét emiatt 0 h⁻¹-nak tekintettem. A harmadik esetben az első esethez képest padlásfödém szigetelést feltételeztem, mely mérsékli a padlástér felé irányuló hővesztéséget. Ebben az esetben is a TNM rendeletnek megfelelő a szerkezet U-értéke. Továbbiakban ennek rövidítése „Padlfodszig”-ként szerepel. Az utolsó, vagyis negyedik esetben pedig mind ablakcsere és padlásfödém szigetelés is megvalósul, emellett a talajra

fektetett padló és a külső fal is TNM-nek megfelelően szigetelésre kerül. [22] [3.1.2]. Ezen alapmodellek definiálják az alapvető energetikai felújításokat és ezeken vizsgáltam az egyes változatok energiamegtakarítási lehetőségeit.

3.1.2. ÉPÜLET GEOMETRIAI ÉS SZERKEZETI TULAJDONSÁGAI

A modellezés során feltételeztem, hogy az épület Magyarországon helyezkedik el, így a pestszentlőrinci meteorológiai állomás 2007 és 2016 közötti TMY időjárás adatait vettem figyelembe [28]. A korábban említettek szerint az épület geometriai tulajdonságai egy korábban elvégzett kutatás során definiálásra kerültek, de a belső falak elrendezése és ezzel az ablakok kiosztása minimálisan változott. A modell axonometrikus képe a 3.ábrán látható.



3. ábra Modell épület keleti és északi homlokzata július 15. 8:00 órakor

A geometriai méretek meghatározása után a tipológiában megadott ablakfelületekhez közelítő valós ablakméreteket vettem fel, az üvegezési arány és a tájolás figyelembevételével. A szigetetlen esetben a tipológiában definiált hőátbocsátási tényező értékeket felhasználva rétegrendi hőellenállásokat határoztam meg, melyekre a szerkezetek tulajdonságainak beállításainál volt szükség. A szigetelt esetekben pedig ezt fel-

használva számoltam az új értékeket. Az ablakcsere nélküli esetekre az infiltráció mértéké szintén a tipológia alapján került felvételre. Mindezen tulajdonságok összehasonlítását az alapmodellek között az 2. táblázat szemlélteti.

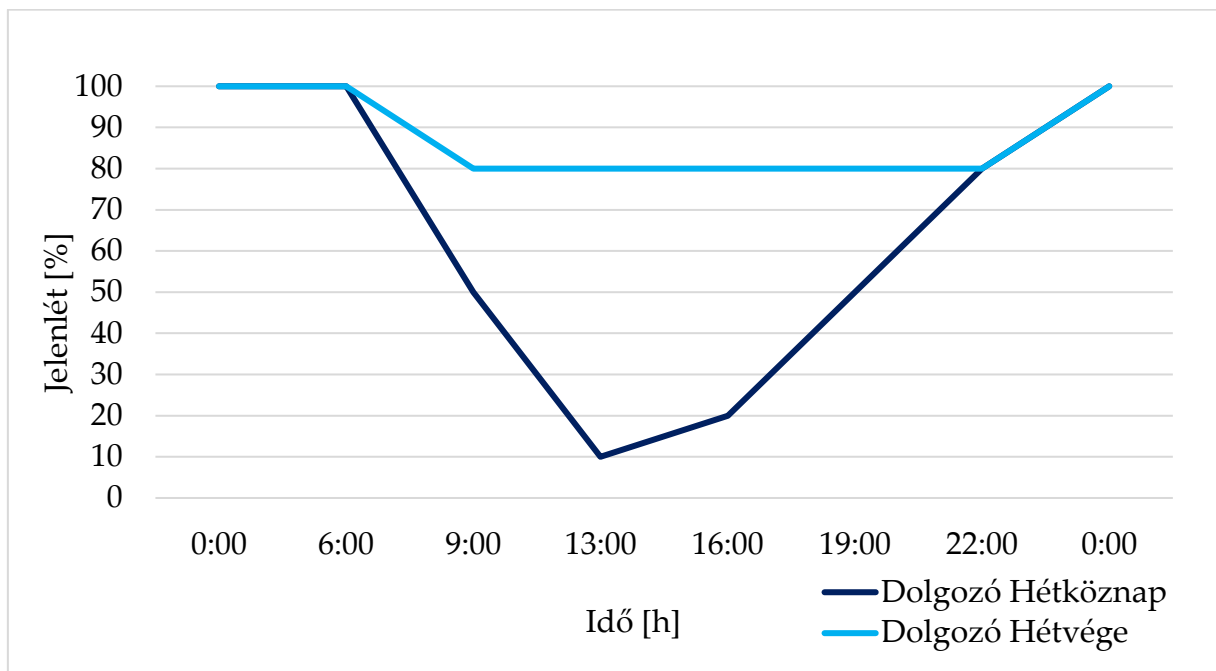
2. táblázat Alapmodellek szerkezeti tulajdonságai

Tulajdonság	Szigeteletlen	Ablakcsere	Padlásfödém szigetelés	Szigetelt
Külső fal U-érték [W/(m²K)]	1,1	1,1	1,1	0,24
Padlásfödém U-érték [W/(m²K)]	0,96	0,96	0,17	0,17
Talajra fektetett padló U-érték [W/(m²K)]	1,31	1,31	1,31	0,3
Ablak U-érték [W/(m²K)]	2,83	1	2,83	1
Infiltráció [1/h]	0,102	0	0,102	0

A táblázatban látható módon minden felújítási eset a TNM rendelet követelményeinek megfelelően lett definiálva. Ebbe beletartozik az ablakcsere után a tömítettség miatt az infiltrációs légcsereszám lecsökkenése is. Fontos megjegyezni, hogy már a Szigeteletlen és Padlásfödém szigetelt esetben is közel tömítettnek tekinthető az ablak az alacsony infiltráció miatt.

3.1.3. ÉPÜLETHASZNÁLAT

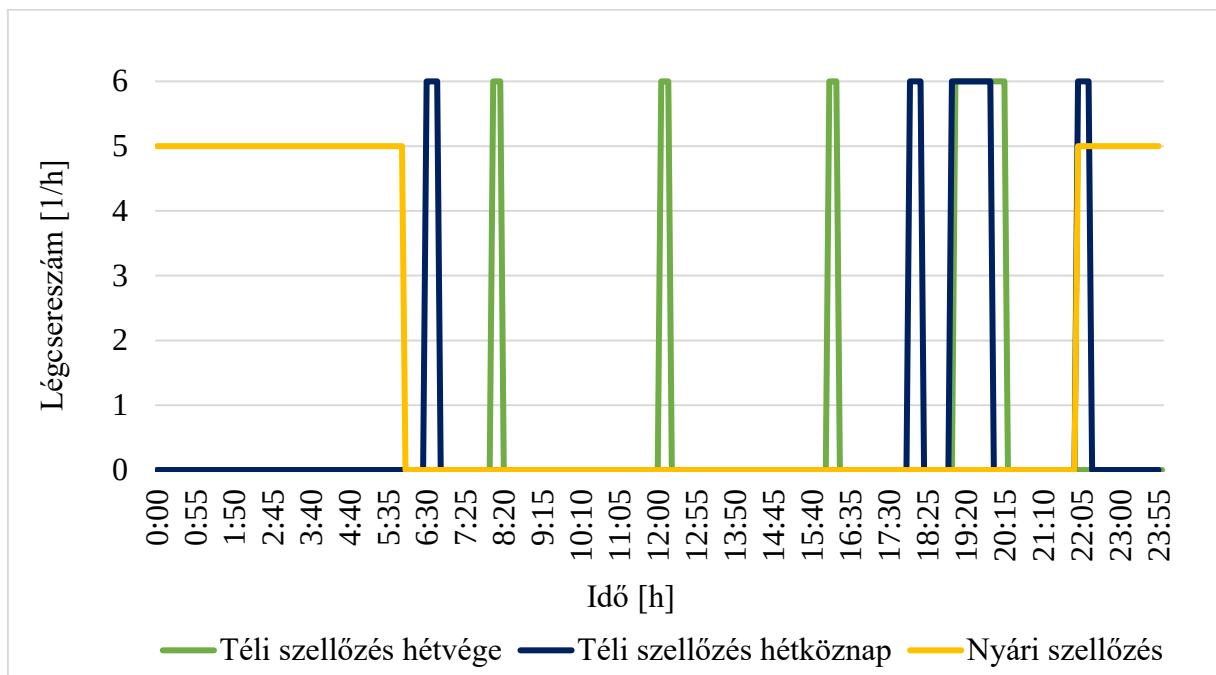
A modellek kialakítása során két szabványt, az MSZ EN 16798-1 [29] és az MSZ EN 12831-3 [30] szabványokat, illetve a 7/2006 TNM (V.24) [22] rendeletet használtam fel. A konkrét számértékeket, mint például napi használati melegvízfogyasztás, a rendelet adatai alapján vettem fel, míg a menetrendek legnagyobb többségét az említett szabványok alapozták meg. Az MSZ EN 16798-1 lakóépületekre meghatároz egy jelenléti alapmodellt, mely egy dolgozó ember magatartását írja le. Ebben az esetben 2 fő tartózkodik az épületben, akik napközben elhagyják az épületet, hogy dolgozni menjenek. Ez a jelenléti profil a „dolgozó menetrend” a modelljeimben, mely hétköznapi és hétvégi részre oszlik meg és a jelenlét százalékos valószínűségét adja meg. A menetrend lefutását a 4. ábra szemlélteti. A világítás és az egyéb belső hőterhelések menetrendje is ezen szabvány alapján lett meghatározva.



4. ábra Jelenléti menetrend

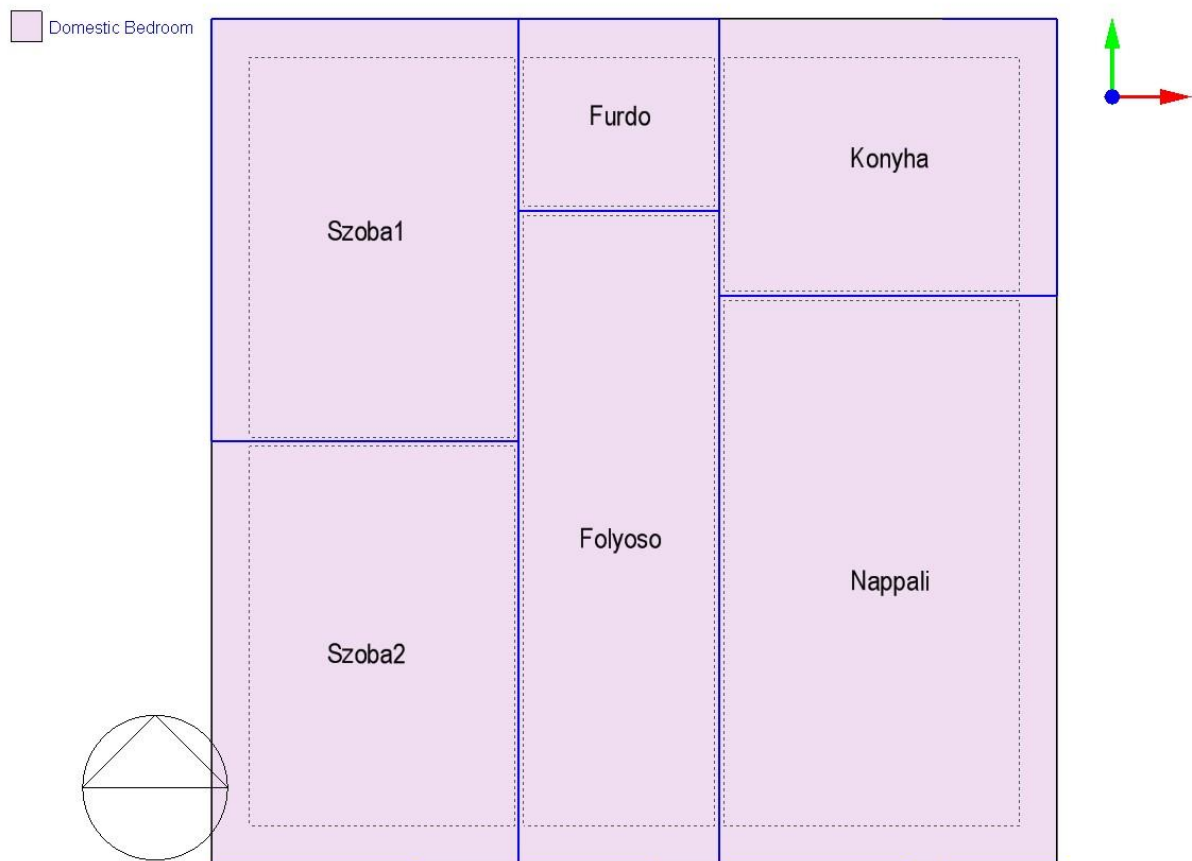
Az alap jelenléti profilhoz DesignBuilderben hozzáadható plusz belső hőterhelés is. Ennek meghatározása során átlagosan 5 W/m^2 -re adódott a belső hőterhelés. Ebbe minden olyan belső hőterhelés beletartozik, amelyet nem az emberek és a világítás ad le. Ilyenek például a számítógépek, a hűtő, a vasaló és az egyéb használati eszközök.

A modellezés során árnyékolást nem vettem fel. A TNM rendelet [22] alapján $0,5 \text{ 1/h}$ az a légcsereszám, amely biztosítása elvárt zárt tartózkodási tereken belül, így modell kialakítása során ezt alkalmaztam, illetve természetes szellőztetést feltételeztem ablaknyitással. A szellőzés a dolgozói menetrendhez igazodva hétköznapi naponta három 20 perces és egy 1 órás, hétvégén pedig három 15 perces és szintén egy 1 órás intenzív szellőztetést fogalmaz meg. A nyári szellőzés esetén a nap folyamán nem következik be szellőzés, de helyette egy 8 órás éjszakai szellőztetés valósul meg. A szellőztetési menetrendek a 5.ábrán láthatóak.



5. ábra Szellőztetési menetrend

A hőtároló tömeg hatása jelentős a hőáramokat tekintve. A szerkezetek hőelnyelő képességei holtidőt jelentenek a hőnyereségek és hőveszteségek épületre gyakorolt hatásában. DesignBuilderben zónák definiálhatóak, melyek falai alkotják a hőtároló tömeget. Ezek a belső falak. A belső falak felvétele a Kádár-kockák általános elrendezése szerint történt [31]. A modellben felépített alaprajzot a 6. ábra szemlélteti.

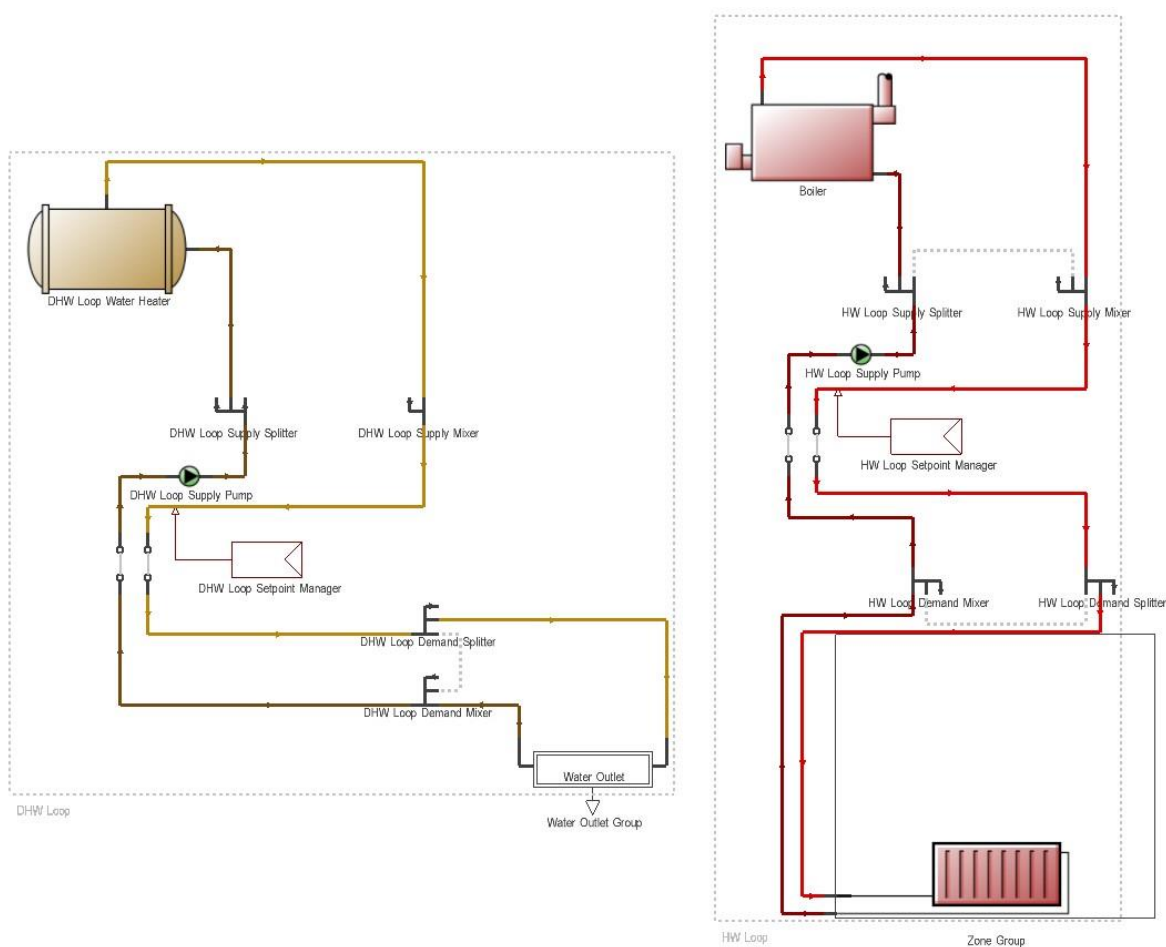


6. ábra Modell alaprajz

3.1.4. GÉPÉSZET

Az épülettípológia adatai többek között tartalmazzák a felmért épületek gépészeti megoldásait is. Az általam vizsgált időszakra és annak jellemző épületére, a 7. épület-típusra hűtés és gépi szellőztetés alkalmazása nem volt használatos, így ezen okból dolgozatomban csak a fűtéshez szükséges gépészettel foglalkoztam. A tipológia megfogalmazza még, hogy a 7. típus esetén a leggyakoribb hőtermelő berendezések a gázkazán, a gázkonvektor és a biomassza tüzelésű kandalló. A modell felépítése során ezek közül a manapság legelterjedtebbet, a gázkazánt választottam.

A fűtést ezek alapján egy régi típusú 1983-as 24 kW teljesítményű, moduláció nélküli gázkazán szolgáltatja, a használati melegvizet pedig egy 3680 W-os elektromos bojler, mely 55 °C-os vizet szolgáltat. Ezeket a DesignBuilder részletes gépészet beállításainál adtam meg, melyek kapcsolási rajzát a 7. ábra mutatja.



7. ábra Kazánházi kapcsolás

3.2. Energiamegtakarítási lehetőségek

A korábban [2.1] már említett energiamegtakarítási lehetőségek közül a valószínűsíthetően nagyobb megtakarítással járó eseteket vizsgáltam. Az alapmodellek definiálása során is szempont volt, hogy ezek energetikai tulajdonságaikban eltérőek legyenek és ezeken vizsgálom a beruházási költséggel nem járó energiamegtakarítási lehetőségek hatását. Fontos megemlíteni, hogy a teljes vizsgálat folyamán léghőmérsékletre történt a szimuláció.

3.2.1. BELSŐ LEVEGŐ HŐMÉRSÉKLET CSÖKKENTÉS

A legalapvetőbb energiamegtakarítási opció a belső hőmérséklet csökkentése. Ennek legegyszerűbb formája, amikor az egész épületben folyamatos fűtést alkalmazunk egy adott hőmérsékletig. Dolgozatomban az 5-24 °C közötti belső hőmérsékletekre való fűtést vizsgáltam. Valóságban átlagos anyagi helyzetben lévő háztartásokat tekintve igen kicsi a valószínűsége, hogy 16°C-nál kisebb hőmérsékletre fűtsenek egy állandó

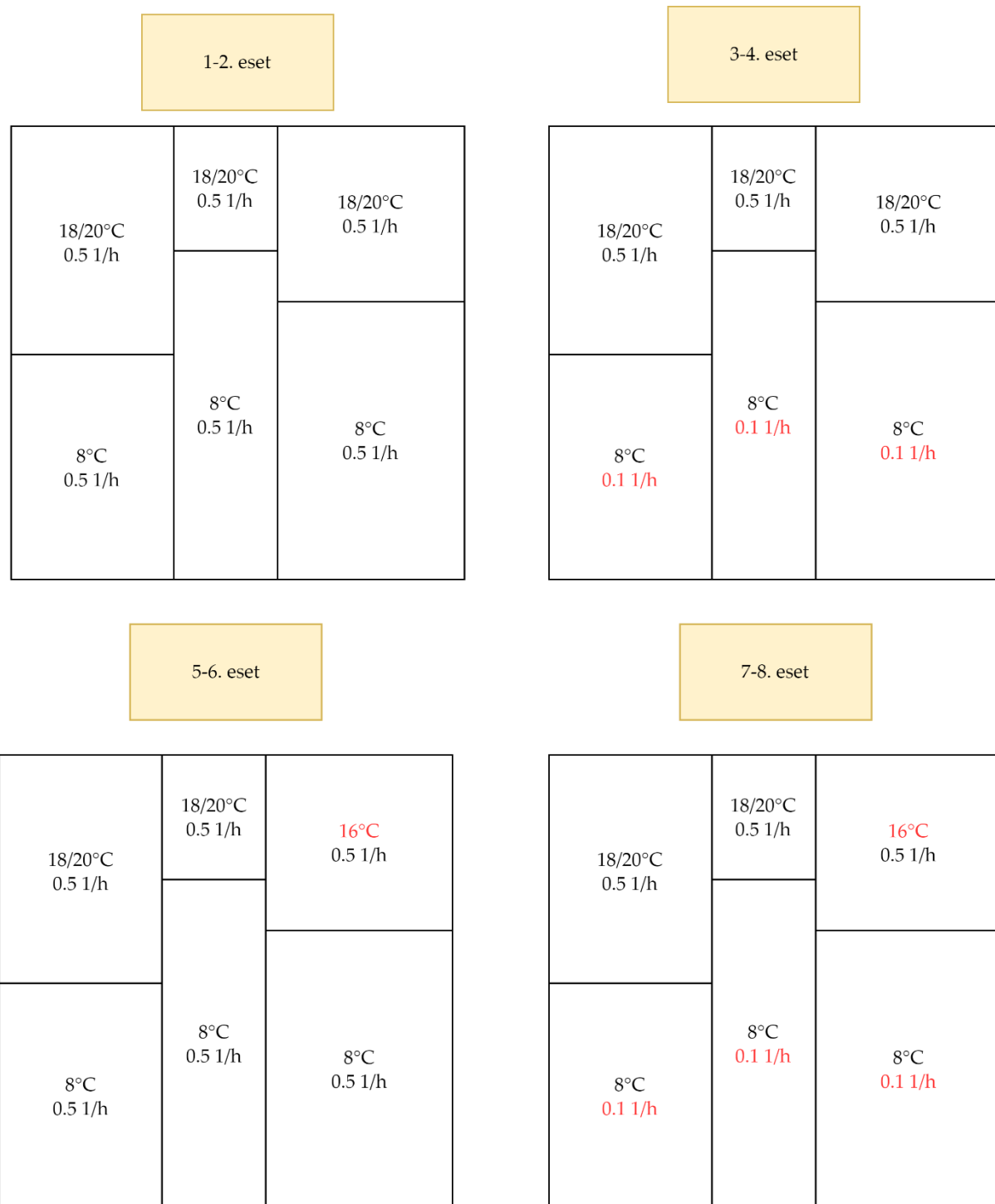
tartózkodási zónában, hiszen ennek komfortja már igen alacsony. Ugyanakkor reális opció lehet szakaszosan alacsonyabb hőmérsékletet tartása vagy a ritkán használt helyiségek alacsonyabb hőmérsékletre fűtése a fogyasztás csökkentésének érdekében.

3.2.2. SZAKASZOS FŰTÉS

Szintén elterjedt energiamegtakarítási mód a szakaszos fűtés. Ennek hatását a fűtési igényekre három eseten keresztül vizsgáltam. Az első eset a népszerű éjszakai fűtés-csökkentés esete, mikor késő estétől a korai órákig történik a csökkentés. A második eset, amikor napközbeni fűtés-csökkentés valósul meg, vagyis, amikor nincs vagy alacsony a valószínűsége a jelenlétnek a térben. A harmadik esetben éjszakai és napközbeni fűtés-csökkentés is megvalósul. Mindhárom esetben a visszaszabályozás 20 vagy 18 °C-ról 12 °C-os minimum értékre történik.

3.2.3. FŰTÖTT ALAPTERÜLET CSÖKKENTÉSE

Kevésbé elterjedt energiamegtakarítási megoldás a fűtött alapterület csökkentése. Ennek egyik oka, hogy ekkor a lakás kisebb hányada használható komfortos körülmények között. Fontos kiemelni a fagyveszély kockázatát is, vagyis sose szabad teljesen magára hagyni a helyiséget, különben fagyási károk keletkezhetnek a lakáson belül. Dolgozatomban nyolc esetet vizsgáltam, melyek során az egyik esetben 20 °C fokra fűtjük az egyik szobát (Szoba1), a konyhát és a fürdőt. A többi helyiséget 8 °C hőmérsékletig fűtjük. Ennek két variációját vizsgáltam, mely során az egyikben az egész épületben 0,5 1/h légcserét vettem fel, míg a másikban a ki nem használt helyiségekben 0,1 1/h légcseré valósult meg. Fontos megemlíteni, hogy mivel azon a feltételezésen alapul a fűtött alapterület csökkentés, hogy a fűtetlen terekben nem tartózkodnak emberek, így a szimulációs modelletem is ez alapján módosítottam. Másik két eset volt, amikor ugyanezen paraméterek mellett, de a konyhát csak 16 °C-ra fűtöttem. Illetve további négy eset ezek mátrixa azzal a változtatással, hogy az eredetileg fűtött terekben megjelenő hőmérséklet 20 °C helyett csak 18 °C. A nyolc esetet az alábbi ábra szemlélteti.



8. ábra Fűtött alapterület csökkentés esetei

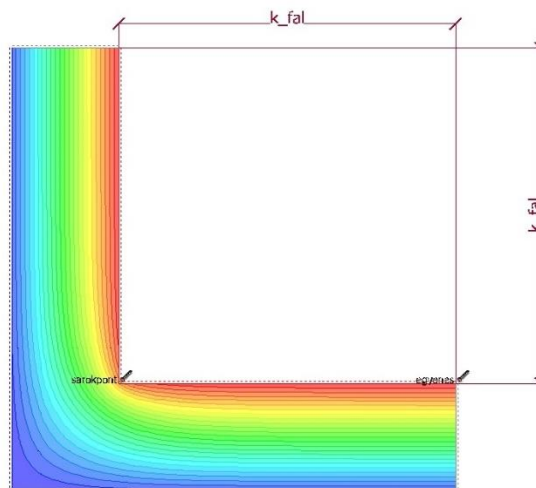
A szimulációval kapcsolatosan fontos megemlíteni, hogy annak ellenére, hogy nem tartózkodnak emberek térben, a nedvességtranszport megjelenik a helyiségek között. Ennek oka, hogy a modellben jelenléthez kötve az idő 5%-ban félig nyitott állapotban vannak az ajtók, mely az ajtónyitásokat hivatott modellezni.

3.3. Hőhíd modellezés

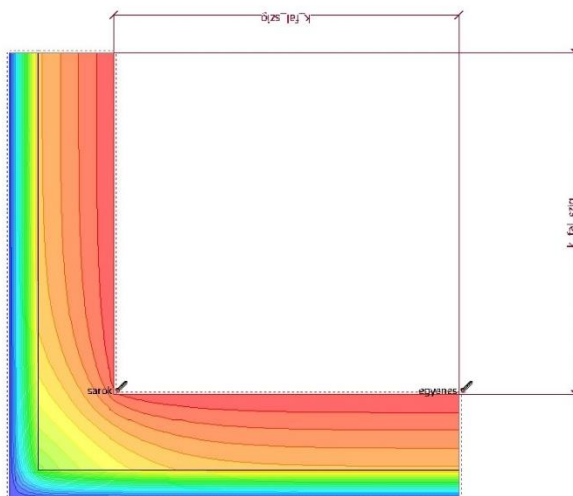
A hőhidaknál a belső fal felületi hőmérsékletének meghatározása volt az elsődleges célom. Az Auricon Energetic programot felhasználva felépítettem a releváns hőhíd csomópontokat, majd megkerestem a kritikus csomópontot, mely esetben a legalacsonyabb hőmérséklet alakul ki. A felépített modellek alapján a lineáris hőátbocsátási tényezők értékét felvettem a DesignBuilder szimulációs modellekbe is. A talajra fektetett padló esetében, a kialakítás ismeretlen mivolta és a hőhíd szempontból alacsony relevanciája miatt, a lineáris hőátbocsátási értékét az NKFI-6 FK_18-128663 projekt keretében elkészített nemzeti hőhidkatalógust felhasználva határoztam meg [32]. A feltételezés oka, hogy a lábazaton keresztül a talaj kiemelkedő hőtároló tömege miatt a hőáramok késleltetve, lassabban haladnak. A lábazat megfelelő szigetelése esetén a hőáramok tovább is csökkenthetőek.

3.3.1. KÜLSŐ FALSAROK

Az Auricon Energetic szoftver felhasználásával összesen 4 féle csomóponton 10 féle kialakítást vizsgáltam [8]. Ezek a csomópontok a falsarok, a belső és külső fal találkozása, az ablakbeépítés és a külső fal-födém találkozása. A külső falsarok szigetetlen felépített modelljét a 9. ábra, szigetelt modelljét pedig a 10. ábra szemlélteti.



9. ábra Szigetetlen falsarok



10. ábra Szigetelt falsarok

A 9.ábra és a 10.ábra összehasonlítása alapján látható, hogy a szerkezet hőtároló képessége szigetelt esetben jelentősen megnőtt és a falfelületi hőmérséklet is magasabb, mely állagvédelmi szempontból igen kedvező.

3.3.2. ÖSSZESÍTÉS

A lefuttatott hőhíd szimulációk összesítését a 3.táblázat szemlélteti, mely tartalmazza a verziók vonalmenti hőátbocsátási tényezőjét, a belső falfelületi hőmérsékleteket és a sajátléptékben mért hőmérsékletet. A jelölések magyarázata a következő:

- Falsarok: Külső falsarok
 - k_{fal} : szigeteletlen külső falsarok
 - k_{fal_szig} : szigetelt külső falsarok
- Belső fal: Külső és belső fal csatlakozása T alakban
 - b_{fal} : szigeteletlen külső és belső fal csatlakozás
 - b_{fal_szig} : szigetelt külső fal és belső fal csatlakozása
- Ablak: Régi típusú ablak beépítés szigetelés nélkül
 - keret-fal: a keret és a fal találkozási pontja
 - keret-ablak: a keret és az ablak találkozási pontja
 - üveg: az üveg egy pontja
- Ablakcsere: Új típusú ablak, beépítésnél szigeteléssel
 - keret-fal: a keret és a fal találkozási pontja
 - keret-ablak: a keret és az ablak találkozási pontja
 - üveg: az üveg egy pontja

- Ablak_szig: Új típusú ablak, beépítésnél szigeteléssel és külső fal szigeteléssel
 - keret-fal: a keret és a fal találkozása
 - keret-ablak: a keret és az ablak találkozása
 - üveg: az üveg egy pontja
- Padlásfödém: Külső fal és födém csatlakozása
 - padlf: szigeteletlen külső fal és szigeteletlen padlásfödém csatlakozása
 - padlf_szig: szigeteletlen külső fal és szigetelt padlásfödém csatlakozása
 - padlf_szig_szig: szigetelt külső fal és szigetelt padlásfödém csatlakozása

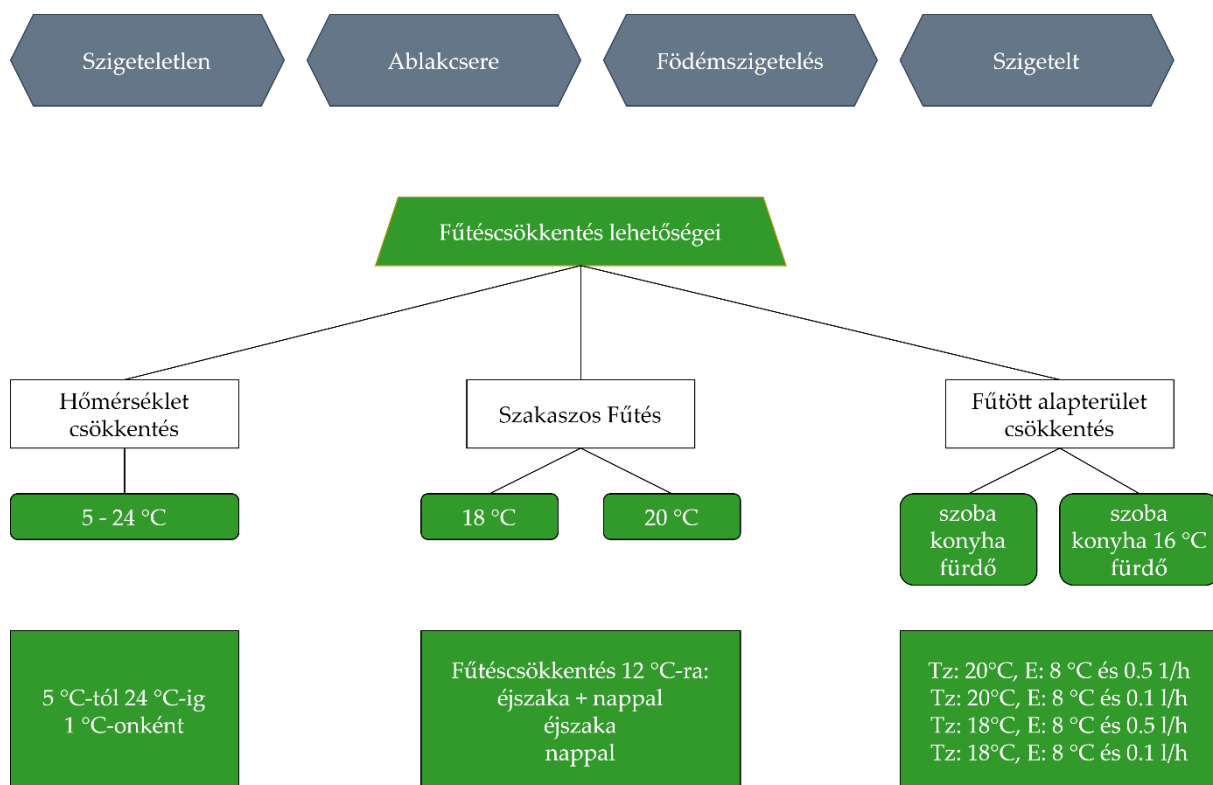
3. táblázat Hőhidak tulajdonságai

Típus	Hőhíd	ψ [W/(mK)]	$t_{b,fal}$ [°C]	f_{RSI} [-]
Falsarok	k_fal	0,15	13,13	0,73
	k_fal_szig	0,12	17,96	0,92
Belső fal	b_fal	0,1	16,6	0,86
	b_fal_szig	0,02	19,31	0,97
Ablak	keret-fal	0,11	13,04	0,72
	keret-ablak		10,49	0,62
	üveg		10,88	0,64
Ablakcsere	keret-fal	0,04	15,87	0,83
	keret-ablak		13,39	0,74
	üveg		16,79	0,87
Ablak_szig	keret-fal	0,05	16,45	0,86
	keret_krit		15,96	0,84
	keret-ablak		13,53	0,74
	üveg		16,79	0,87
Padlásfödém	padlf	0,21	13,83	0,75
	padlf_szig	0,14	15,72	0,83
	padlf_szig_szig	0,13	17,96	0,92

A táblázat alapján látható, hogy a kritikus belső falfelületi hőmérséklet az ablakoknál a keret és az ablaküveg találkozásánál jelenik meg. Ezt követi a régi ablak beépítés esetén a keret és fal csatlakozása, a szigeteletlen falsarok és a szigeteletlen külső fal és szigeteletlen padlásfödém csatlakozás. Dolgozatomban az állagvédelmi vizsgálatokat a szigeteletlen falsarokban kialakuló belső falfelületi hőmérsékletre végeztem. Ennek oka, hogy vizsgálatom során azt kerestem, hogy falfelületek mentén kialakulhat-e kapilláris kondenzáció és ezzel penészedés.

4. EREDMÉNYEK FELDOLGOZÁSA

A szimulációk lefuttatását követően hozzáfértem az eredmények feldolgozásához. Ennek első lépése az adatok exportálása volt, melyet a diagramok elkészítése majd elemzése követett. Ezután állagvédelmi számolásokat végeztem és következtetéseket vontam le a penészedés megjelenési valószínűségéről. A négy alapmodell és a lefuttatott energiamegtakarítási verziók a 11. ábrán láthatóak, melyek összesen 136 futtatást eredményeztek.



11. ábra Energiamegtakarítási lehetőségek

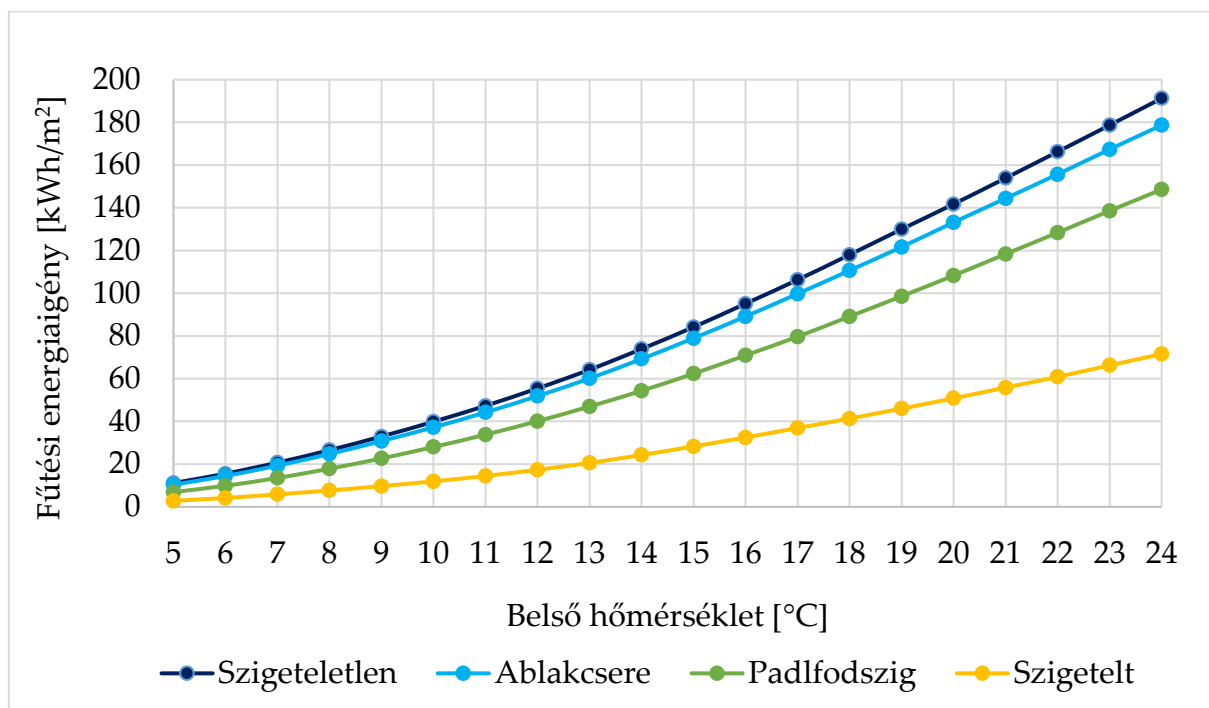
4.1. Exportált adatok

A szimuláció eredményeinek kiértékelésekor felhasznált kimeneti adatok az egy egész évre vonatkozó nettó fűtési energiaigény (q_{net}), illetve az egyes helyiségek léghőmérséklet és relatív páratartalom adatai órás bontásban.

4.2. Energiamegtakarítás mértéke

4.2.1. BELSŐ LEVEGŐ HŐMÉRSÉKLET CSÖKKENTÉS

A belső levegő hőmérséklet csökkentésének hatását húsz esetre határoztam meg 5-24°C között. Ezek eredményeit a 12. diagram szemlélteti, melyen a vízszintes tengelyen a belső hőmérséklet, a függőleges tengelyen pedig a hozzá tartozó nettó fűtési energiaigény szerepel. A diagram görbéi a négy alapesetet mutatják.

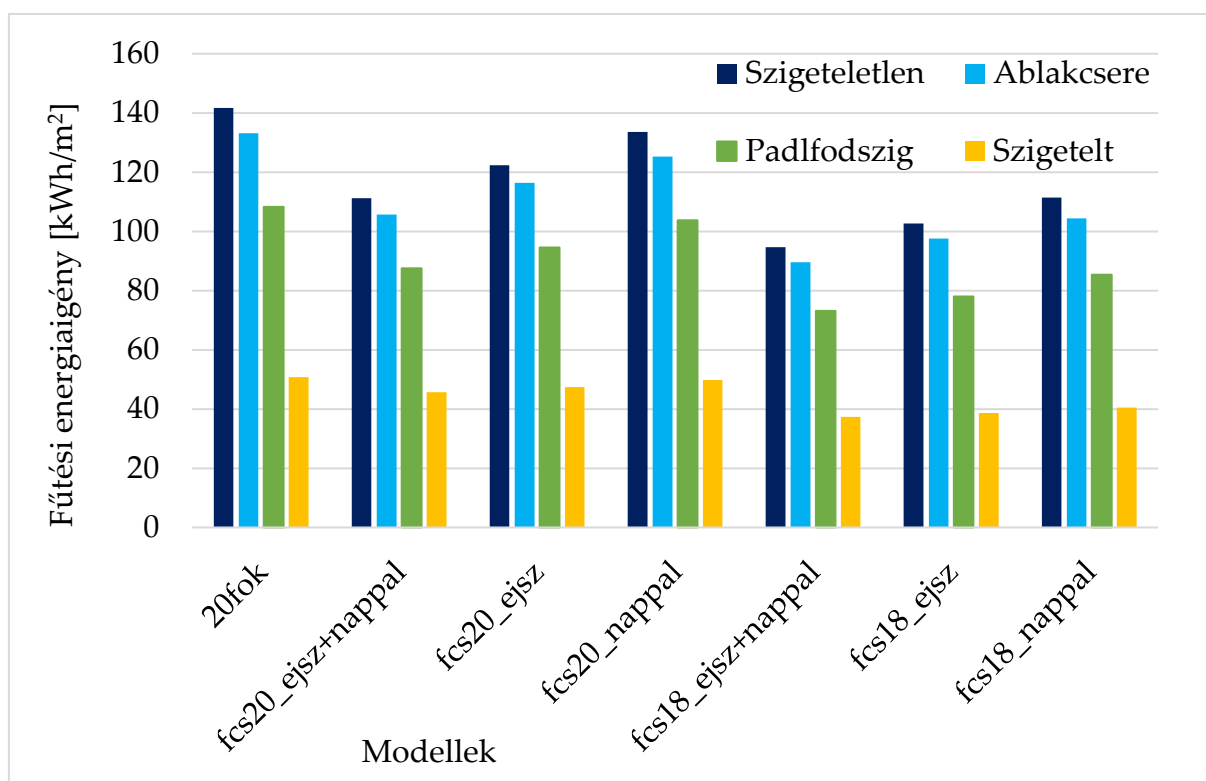


12. ábra Belső levegő hőmérséklet csökkentés hatása

A 12. diagramon megfigyelhető, hogy minél magasabb hőmérsékletet tartunk a belső térben, annál nagyobb energiamegtakarítási jelentősége van az egyes felújítási változatoknak. Például 20 °C belső hőmérséklet esetén a Szigeteletlen esethez képest az Ablakcsere 7 %, a Padlásfödém szigetelés 24% és a teljes Szigetelés, illetve ablakcsere pedig 49% megtakarítást eredményez. Fontos megjegyezni, hogy az ablakcsere nem tartalmazó alapmodellek eseteiben az infiltrációs légcseré értéke már eleve alacsony volt, így ablakcsere után ennek 0 h⁻¹-ra csökkenése nem okozott jelentős energiamegtakarítást. Egy másik ok, amiatt az Ablakcsere esete alacsony megtakarítást eredményez az a Kádár-kockákra jellemző alacsony üvegezési arány. A diagram alapján elmondható, még, hogy minden alapesetre hasonlóan a belső levegő hőmérsékletének 2°C-al való megemelése vagy lecsökkentése kb. 17-18% többlet energiát, vagy energia megtakarítást eredményez az eredeti esethez képest.

4.2.2. SZAKASZOS FŰTÉS

A modellezés során legvalószínűbb esetnek tekintettem, hogy a belső levegőt 20 °C-ra fűtjük, így a további esetek eredményeit ehhez hasonlítottam. A szakaszos fűtés azon szimulációs eredményei közt vizsgáltam a különbséget, amikor nincs fűtéseszkökcsoökkentés („20fok”), amikor van fűtéseszkökcsoökkentés 20 („fcs20”) vagy 18 °C-ról („fcs18”) 12 °C-ra. Egyik esetben csak éjszaka („ejsz”), másik esetben csak nappal („nappal”) és harmadik esetben éjszaka és nappal is („ejsz+nappal”) történik fűtéseszkökcsoökkentés. A szimuláció eredményeit a 13. ábra szemlélteti.



13. ábra Fűtéseszkökcsoökkentés energiamegtakarítása

A 13. diagram alapján megfigyelhető, hogy a 20°C-os belső hőmérsékletre fűtés esetét tekintve a legkisebb megtakarítást a csak nappal alkalmazandó fűtéseszkökcsoökkentés eredményezi. Ennek oka, hogy ekkor kevesebb időre történik a csökkentés. Ez 6 % megtakarítást jelent. Ezzel szemben a csak éjszakai fűtéseszkökcsoökkentés 14 %, míg az éjszakai és nappali fűtéseszkökcsoökkentés 22 % nettó fűtési energiafelhasználás csökkenést jelent. Fontos megjegyezni, hogy a 18 °C-ról történő fűtéseszkökcsoökkentés 1-2%-al kevesebb megtakarítást jelent a három esetben, mint a 20°C belső hőmérsékletéről történő csökkentés. Ez azt jelenti számunkra, hogy bizonyíthatóan minél alacsonyabb belső hőmérsékletről szeretnénk fűtést csökkenteni, annál kisebb lesz az energiafelhasználás csökkenés. Ezen hatás igazolására számíthattunk is.

Az alapmodellek közötti különbséget tekintve elmondható, hogy az Ablakcsere és a Padlásfödém szigetelés esetében kb. 2-3 %-al kevesebb az energiamegtakarítás mértéke minden esetben, mint a Szigeteletlen esetben. A Szigetelt esetre vonatkozóan az éjszakai és nappali fűtés csökkentés energiaszükségletének csökkenése 12%-al, csak éjszakai esetre 6%-al és csak nappali esetre 4%-al kisebb. Ez azt jelenti, hogy a csak nappali fűtés csökkentés alig 2% energiamegtakarítást eredményez, mely igen alacsony.

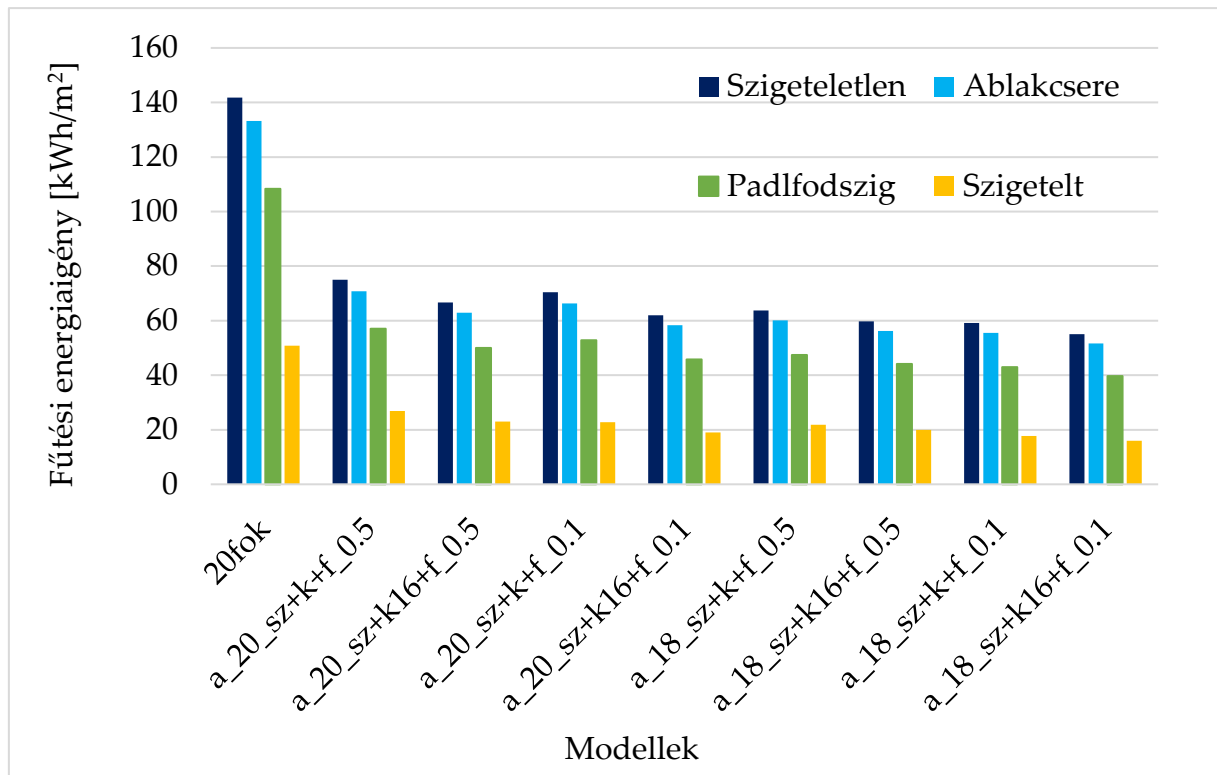
Összességében elmondható, hogy a fűtés csökkentés jelentősége szigeteletlen, rossz ablakokkal rendelkező épületek esetén a legkedvezőbb hatású. Ennek ellenére fontos megjegyezni, hogy még a Szigetelt esetben is az éjszakai és nappali fűtés csökkentés 20% energiamegtakarítást eredményezett, mely szintén igazolja a stratégia sikerességét.

4.2.3. FÜTÖTT ALAPTERÜLET CSÖKKENTÉS

A fűtött alapterület csökkentés hatásának vizsgálatát a fűtési igények szintén meghatározásával végeztem, melynek eredményei a következő diagramról olvashatóak le. A diagramon lévő jelöléseket az alábbi felsorolásban részletezem:

- 20fok – 20°C folyamatos belső hőmérséklet az egész alapterületre
- a_20_sz+k+f_0.5 – A Szoba1, Konyha és Fürdő helyiségekben 20°C belső hőmérséklet tartása. A többi helyiségben 8 °C-ig fűtés. Az egész alapterületen 0,5 1/h légcserre megléte.
- a_20_sz+k+f_0.1 – A Szoba1, Konyha és Fürdő helyiségekben 20°C belső hőmérséklet tartása 0,5 1/h légcserre mellett. A többi helyiségben 8 °C-ig fűtés 0,1 1/h légcserre mellett.
- a_20_sz+k16+f_0.5 – A Szoba1 és Fürdő helyiségekben 20°C, a Konyha helyiségben 16°C belső hőmérséklet tartása. A többi helyiségben 8 °C-ig fűtés. Az egész alapterületen 0,5 1/h légcserre megléte.
- a_20_sz+k16+f_0.1 – A Szoba1 és Fürdő helyiségekben 20°C, a Konyha helyiségben 16°C belső hőmérséklet tartása 0,5 1/h légcserre mellett. A többi helyiségben 8 °C-ig fűtés 0,1 1/h légcserre mellett.
- a_18_sz+k+f_0.5 – A Szoba1, Konyha és Fürdő helyiségekben 18°C belső hőmérséklet tartása. A többi helyiségben 8 °C-ig fűtés. Az egész alapterületen 0,5 1/h légcserre megléte.
- a_18_sz+k+f_0.1 – A Szoba1, Konyha és Fürdő helyiségekben 18°C belső hőmérséklet tartása 0,5 1/h légcserre mellett. A többi helyiségben 8 °C-ig fűtés 0,1 1/h légcserre mellett.
- a_18_sz+k16+f_0.5 – A Szoba1 és Fürdő helyiségekben 18°C, a Konyha helyiségben 16°C belső hőmérséklet tartása. A többi helyiségben 8 °C-ig fűtés. Az egész alapterületen 0,5 1/h légcserre megléte.

- a_18_sz+k16+f_0.1 – A Szoba1 és Fürdő helyiségekben 18°C, a Konyha helyiségben 16°C belső hőmérséklet tartása 0,5 1/h légcserre mellett. A többi helyiségben 8 °C-ig fűtés 0,1 1/h légcserre mellett.

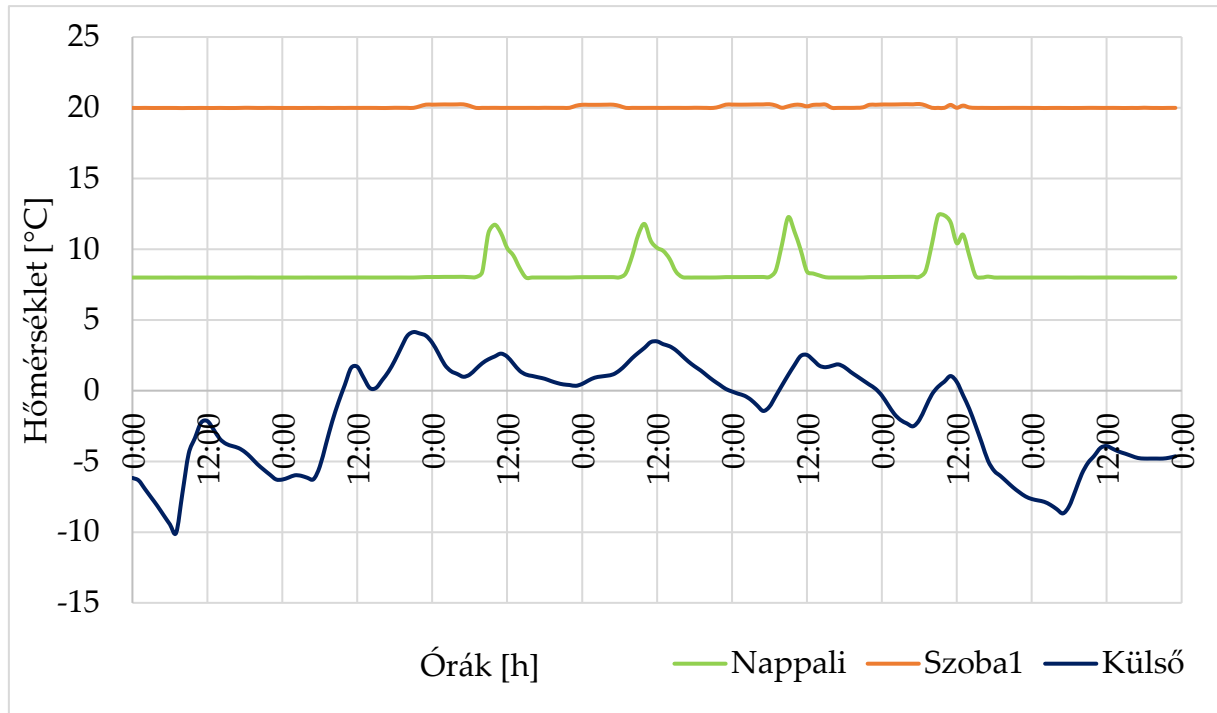


14. ábra Fűtött alapterület csökkentés energiamegtakarítása

A 14.ábra alapján elmondható, hogy a teljes alapterület 20°C-ra való fűtése és a megvalósult fűtött alapterület csökkenés energiaigénye közt láthatóan nagy a különbség. A „20fok”-hoz képest már az „a_20_sz+k+f_0.5” eset is 47 % energiamegtakarítást eredményez Szigeteletlen esetben. A 8°C-ra temperált helyiségekben a légcserre csökkentése további 4%-al, míg a Konyha 16°C-ra fűtése további 6% energiamegtakarítást jelent. Ezek együttes alkalmazása pedig közel 56% teljes megtakarításra adódik a „20fok” esethez képest. Fontos megjegyezni, hogy itt is megjelenik az a jelenség, hogy a már eleve kisebb, vagyis 18°C-ra fűtött teljes alapterület energiaigényéhez képest az alapterület csökkentés kisebb energiafelhasználás csökkenést eredményez. Ellentétben viszont a szakaszos fűtés esetétől, a fűtött alapterület csökkentéssel elérhető energiamegtakarítás növekszik a felújítottság mértékével. Az „a_20_sz+k16+f_0.1” esetet tekintve a Ablakcsere és a Padláfödém szigetelés esetében ez a növekmény elhanyagolható mértékű, de a Szigetelt esetben 63% megtakarítás tapasztalható a teljes alapterület 20°C-ra való fűtéséhez képest, mely 7%-al több, mint Szigeteletlen esetben.

A fűtött alapterület csökkentés egy másik jellegzetesége, hogy Szigeteletlen esetben a 8°C-ig fűtött helyiségek valóban lehűlnek erre a hőmérsékletre. Érdekesség még,

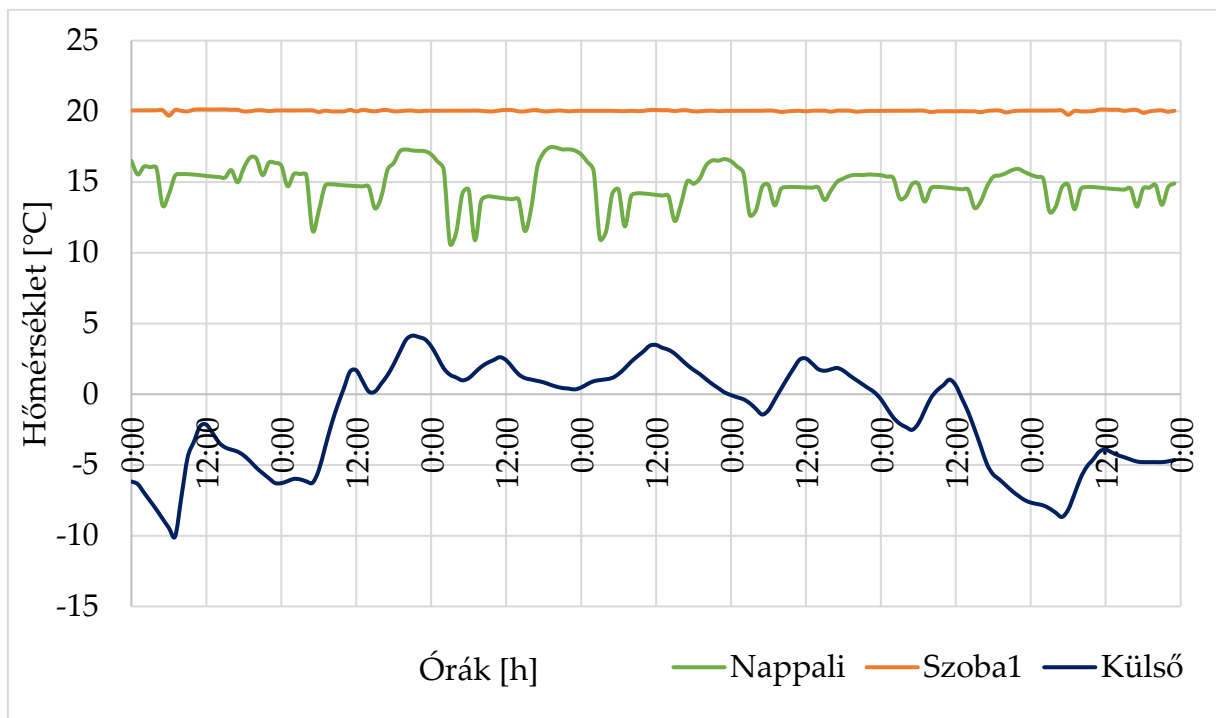
hogy láthatóan megjelenik a napsugárzás és a külső hőmérséklet változásának hatása, ha diagramon ábrázoljuk az egyes helyiségek hőmérséklet változását időben. Ezt a jelenséget a 15. diagram szemlélteti.



15. ábra Szigetetlen eset helyiség temperálása

A 15. diagramon látható, hogy a külső hőmérséklet növekedésével napközben a napsugárzás bejut a térbe és körülbelül 3-5 °C hőmérséklet emelkedést okoz, melynek legmagasabb értéke délben jelentkezik. Később az éjszaka folyamán viszont visszahűl a belső hőmérséklet a térben tartott 8°C-ra.

A Szigetelt eset ezzel szemben különbözik, hiszen ekkor a 8°C-ig fűtött helyiségekben szinte 10°C-ra se hűl le a belső hőmérséklet. Ennek oka a megfelelő szigetelés és ezzel a hőtároló tömeg növekedése. A „fűtetlen” helyiségek felé megjelenik a hőtranszport a fűtött helyiségek felől és ugyan a „fűtetlen” helyiségeket ez nem melegíti fel 20°C-ra, de átlagosan a 15°C megjelenik. Ennek jelenségét a 16. ábra szemlélteti.



16. ábra Szigetelt eset helyiség temperálása

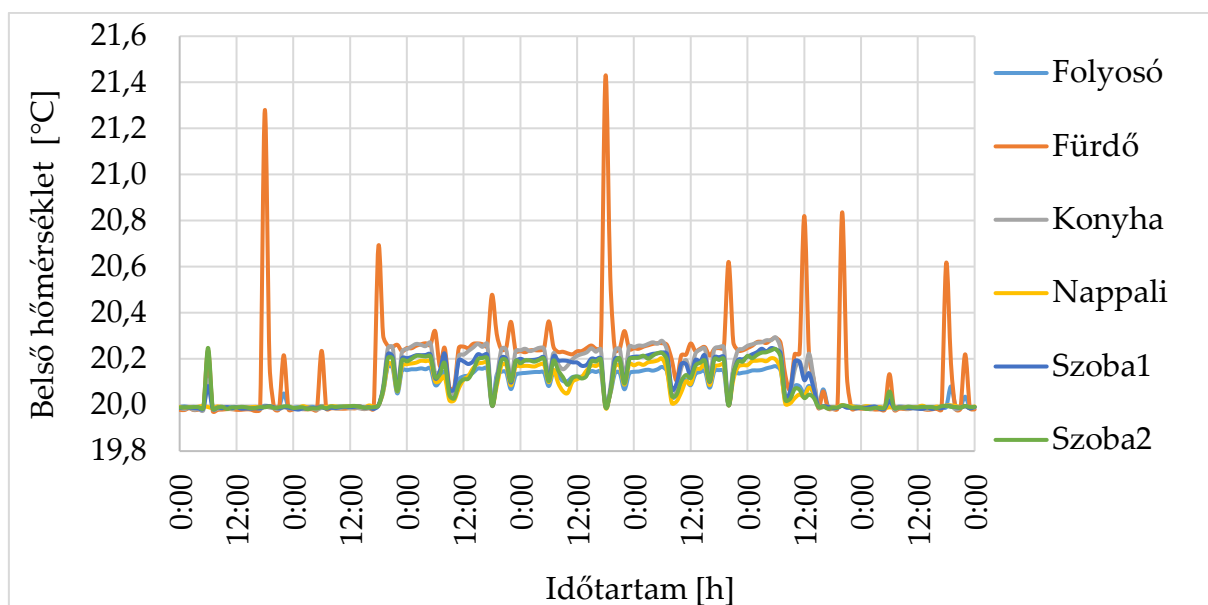
4.3. Felületi kondenzáció vizsgálat

A felületi kondenzáció vizsgálata során először meghatároztam a kritikus helyiséget és a kritikus csomópontot, melyre a szimulációs eredményeket vizsgálom. Ezután elemeztem az abszolút és a relatív nedvességtartalom alakulását a térben több belső hőmérséklet mellett. Ezek alapján definiáltam a vizsgálat szempontjait és a megfelelő szimulációk lefuttatása után számoltam a határrétegben kialakuló relatív nedvességtartalom értékét. Ezt felhasználva meghatároztam az állagvédelem szempontjából kritikus időszakokat és eseteket.

4.3.1. KRITIKUS ÉRTÉKEK

A dinamikus szimuláció egy kimagasló előnye, hogy bonyolult folyamatokat relatív rövid idő alatt kezelni tud és hasonlóan a kimentő adatok széles skáláját is meghatározza. Ennek ellenére fontos mérlegelni, hogy ezek közül, mely adatokat használjuk fel. Minden lehetőség kihasználása esetén szükségtelenül nagy adathalmazokat kaphatunk, melyek nehezítik a vizsgálat megértését. Ebből a feltételezésből kiindulva megvizsgáltam az épület helyiségeit a belső hőmérséklet és a relatív páratartalom alakulása, illetve az általam definiált modellek szerint. Ezután úgy választottam ki a kritikus helyiséget, hogy állagvédelmi szempontból helyesen reprezentálja az épületet.

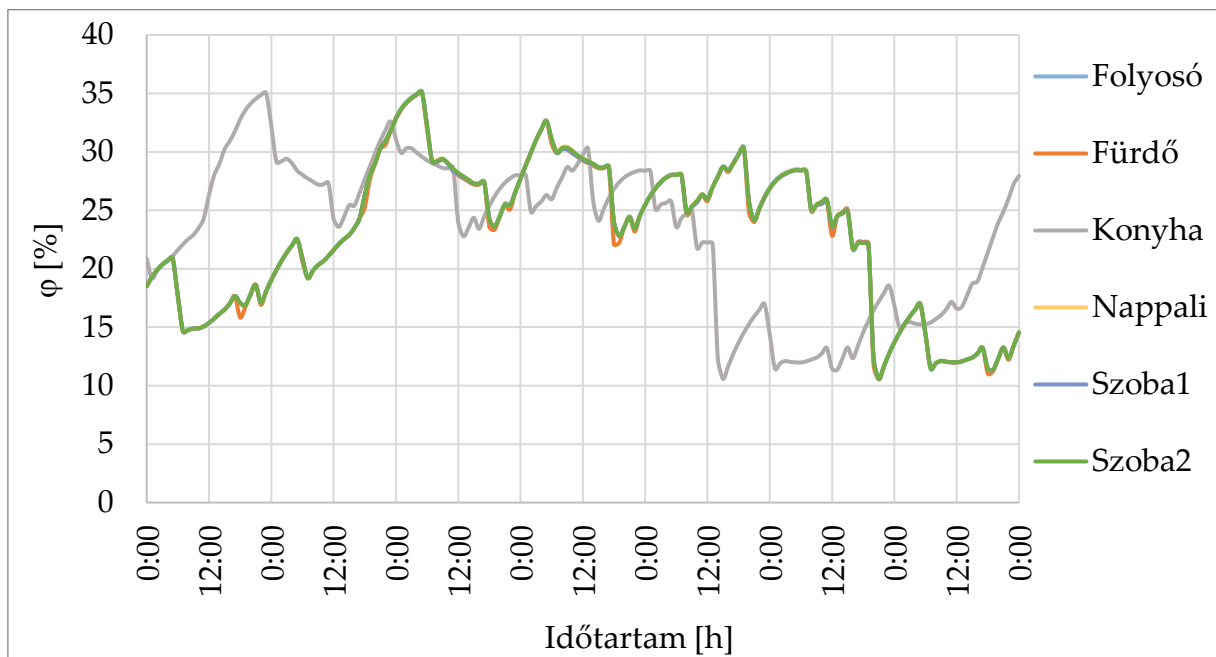
Az épület helyiségeiben a belső hőmérséklet alakulását egy hetes időszakra a 17.ábra szemlélteti.



17. ábra Belső hőmérséklet alakulása az egyes helyiségekben

A 17.diagramon megfigyelhető, hogy a Fürdő hőmérséklete sok esetben eltér a többi helyiségéhez képest, míg azok közel azonosak. A vizsgálat során fontos volt számomra, hogy északi oldalon elhelyezkedő helyiséget válasszak, hiszen a téli időszakban az északi homlokzatra elhanyagolható napsugárzás érkezik, így ez állagvédelmi szempontból kritikusabb. Másik szempont volt, hogy a helyiség két fala külső fal legyen, vagyis a helyiség ne legyen három oldalról fűtve, illetve rendelkezzen külső falfarokkal. A jelen modell két helyisége alkalmas ezen feltételek szerint, melyek a Szoba1 és a Konyha.

A belső hőmérséklet alakulásának vizsgálata mellett szükséges a relatív páratartalmat is figyelembe venni, melynek alakulását a Szigeteletlen eset 20°C-ra fűtött verziójában a 18.diagram ábrázol szintén egy hetes időszakra.



18. ábra Relatív páratartalom alakulása az egyes helyiségekben

A 18.ábrán látható, hogy a Konyha relatív páratartalma eltér a többi helyiségéhez képest, melynek oka, hogy nincs közvetlen kapcsolatban a Folyosó helyiséggel, mely minden más helyiséget összeköt.

Mindezek alapján az állagvédelmi vizsgálatokhoz a Szoba1 helyiséget választottam kritikus térnek. Ehhez tartozóan a kritikus hőhíd csomópont a külső falsarok, melynél a kialakult felületi hőmérséklet alapján tekintem a határrétegben kialakuló relatív nedvességtartalmat [3.3.2].

4.3.2. SZÁMÍTÁS MENETE

A határrétegben kialakuló relatív nedvességtartalom kiszámításához a szimulációs adatokból szükséges volt számomra a külső száraz hőmérséklet, a belső tér léghőmérséklete és relatív nedvességtartalma, illetve az Auricon Energeticből meghatározott sajátléptékben mért hőmérséklet.

A számítás első lépéseként meghatározzuk az adott belső léghőmérséklethez tartozó telítési parciális vízgőznyomást. Ehhez használható például a levegő telítési parciális vízgőznyomás táblázata.

$$t_b \rightarrow p_{vg,t}$$

Ha meghatároztuk a telítési parciális vízgőznyomást akkor számolható a hozzá tartozó telítési abszolút nedvességtartalom az alábbi módon.

$$x_t = 0,622 \cdot \frac{p_{vg,t}}{p_0 - p_{vg,t}}$$

Ennek kiszámítása után és a belső relatív nedvességtartalom ismerete mellett számítható a belső levegő abszolút nedvességtartalma.

$$x_b = \varphi_b \cdot x_t$$

Következő lépésben szükséges meghatározni a hőhídnál kialakuló hőmérsékletet, mely az alábbiak szerint alakul.

$$t_{HH} = f_{RSI} \cdot (t_b - t_k) + t_k$$

Ezután az első lépéshez hasonlóan meghatározható a hőhídnál fellépő parciális telítési vízgőznyomás.

$$t_{HH} \rightarrow p_{vg,t,HH}$$

Majd számolható a hőhíd határrétegéhez tartozó telítési abszolút nedvességtartalom.

$$x_{t,HH} = 0,622 \cdot \frac{p_{vg,t,HH}}{p_0 - p_{vg,t,HH}}$$

A korábban meghatározott belső tér abszolút nedvességtartalom felhasználásával számítható a határréteg relatív nedvességtartalma.

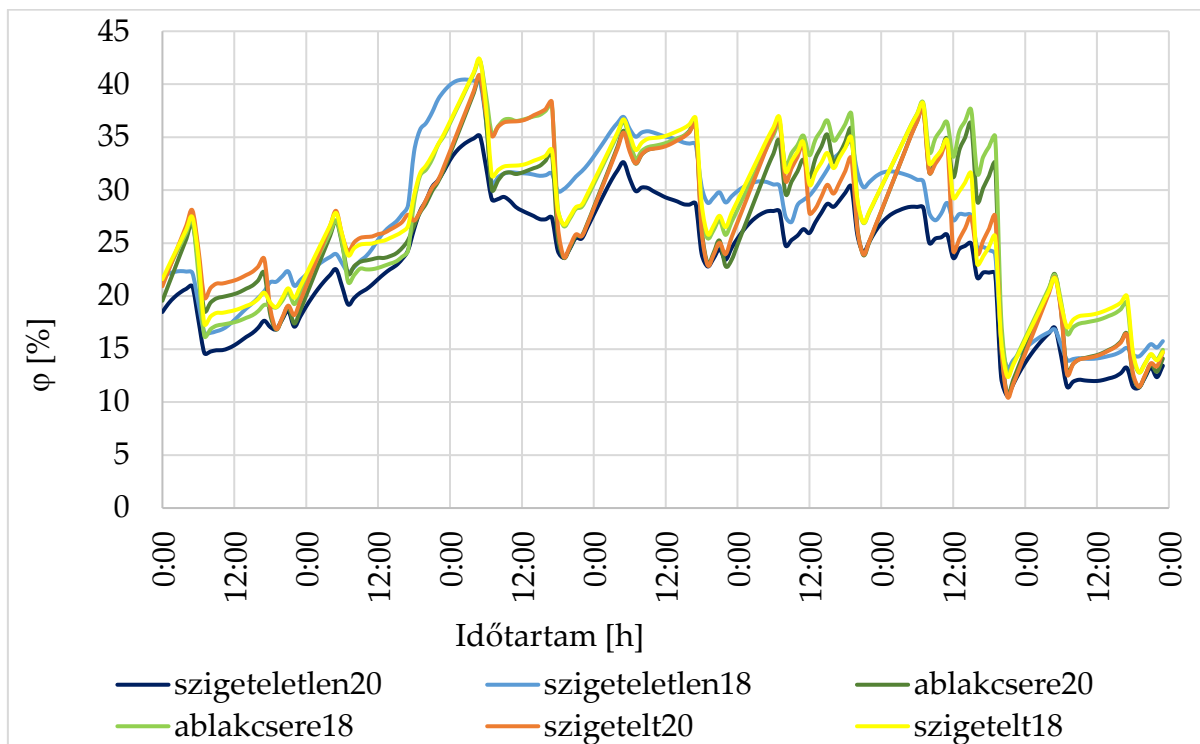
$$\varphi_{HH} = \frac{x_b}{x_{t,HH}}$$

Miután megkaptuk a határréteg nedvesség relatív tartalmának értékét, azután szükséges vizsgálni, hogy átlépi-e a 75%-ot és így kialakul-e a kapilláris kondenzáció.

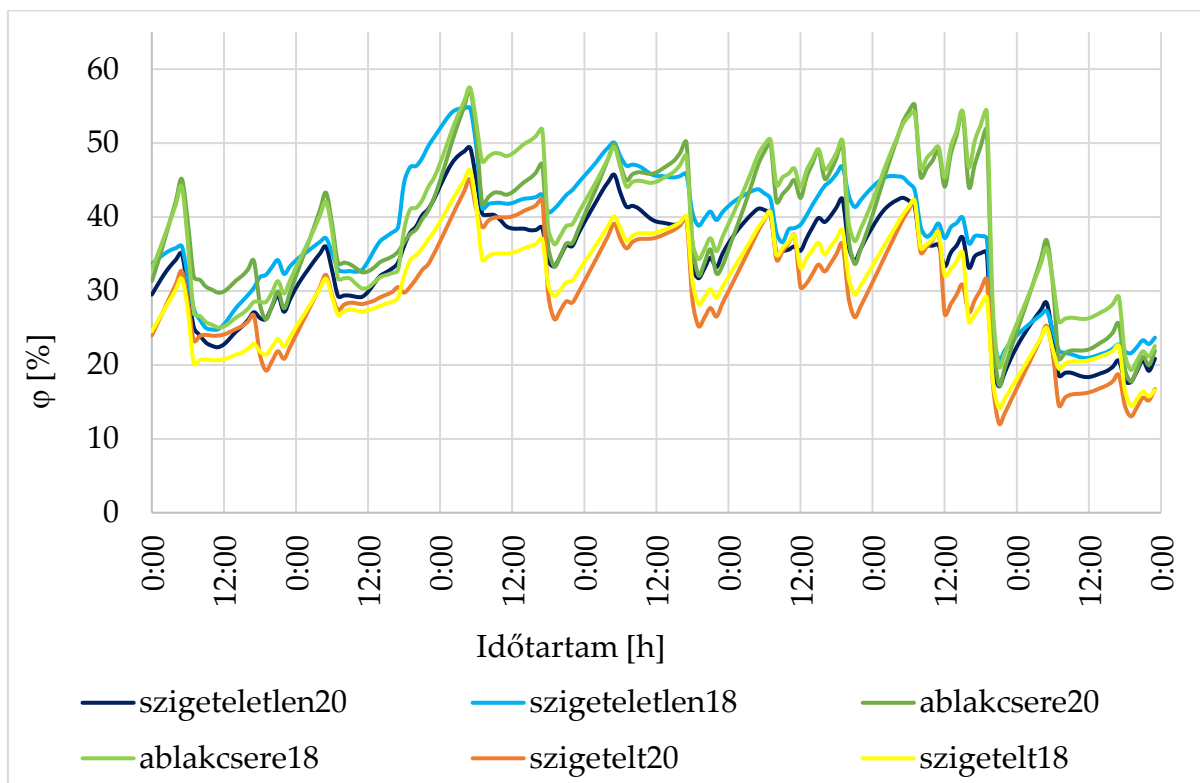
$$\varphi_{HH} \stackrel{?}{>} 75\%$$

4.3.3. RELATÍV NEDVESSÉGTARTALOM A TÉRBEN

A relatív nedvességtartalom alakulása fontos meghatározó tényező a helyiségek állagvédelmi vizsgálata során. Fontos megjegyezni, hogy a vizsgálat során csak az emberek hőleadása lett figyelembe véve, mert más nedvességforrások modellezése Design-Builder programban nem követhető pontosan, így nem határozható meg helyesen. Ha a három alapesetet összehasonlítva vizsgáljuk a belső levegő relatív páratartalmát (19.ábra) és a határrétegben kialakuló relatív páratartalmat (20.ábra) akkor meghatározható az az eset, melyben legvalószínűbb a penészedés kialakulása. A diagram leírásában az alapesetek mellett megjelenő szám a belső hőmérséklet, melyre a helyiség fűtve van.



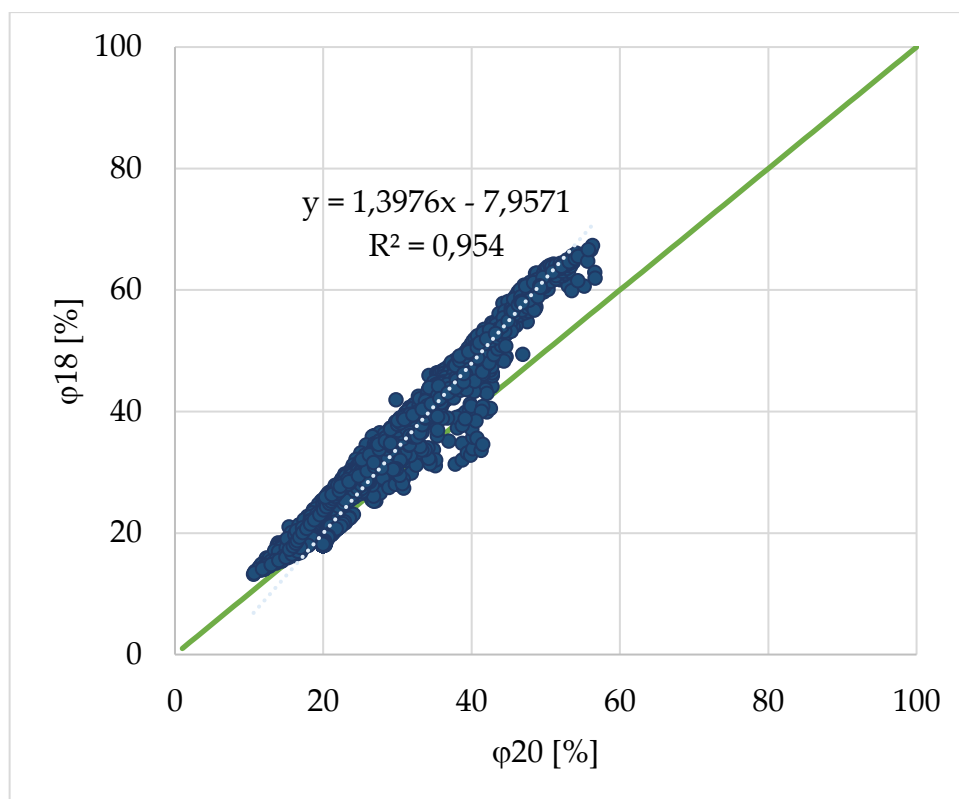
19. ábra Belső levegő relatív nedvességtartalmának alakulása az egyes alapmodellek esetén



20. ábra Hőhídnál a felületi határréteg relatív nedvességtartalmának az alakulása egyes alapmodellek esetén

Ha a két diagramot vizsgáljuk akkor megállapítható, hogy az egyes esetekben kialakuló levegő relatív páratartalom közel azonos értéket mutat. Megfigyelhető, hogy a belső levegő relatív nedvességtartalma az Ablakcsere és a Szigetelt esetekben magasabb, melynek valószínűsíthető oka a csökkent infiltráció és az effektívebb hőtárolás. Ezzel ellenben, ha a határréteg relatív nedvességtartalmát figyeljük akkor ott a Szigetetlen és az Ablakcsere esete adódik magasabbra, melynek oka, hogy ezekben az esetekben a kialakuló felületi hőmérséklet körülbelül 4°C-al alacsonyabb a Szigetelt esethez képest.

Fontos megvizsgálni még a különböző belső hőmérsékletek hatását a belső relatív páratartalomra. Ennek hatását a Szigetetlen esetben a 21. ábra szemlélteti, mely x tengelyén a 20°C, az y tengelyen a 18°C belső hőmérsékletre tartozó relatív belső páratartalmat láthatjuk.



21. ábra 18°C-ra és 20°C-ra fűtött helyiségek belső relatív nedvességtartalmának egymáshoz viszonyulása

A diagramról meghatározható, hogy az alacsonyabb hőmérsékletre tartozó relatív belső páratartalom magasabb, mint a magasabb hőmérsékletre tartozó. Ez azt jelenti számunkra, hogy a hőmérséklet csökkentésével növekszik az állagvédelmi kockázat. A szimulációs eredmények elemzése során az is meghatározható, hogy minél magasabb hőmérsékletre fűtünk annál magasabb a belső abszolút nedvességtartalom, mely bizonyítja, hogy a DesignBuilder figyelembe veszi, hogy az emberi hőleadás függ a hőmérséklettől.

Összességében vizsgálatom során arra jutottam, hogy az Ablakcsere esetét vizsgálok tovább 20 és 18°C-os esetekre, hiszen az Ablakcsere esetében már megjelenik az infiltráció csökkenés, de még a felületi hőmérséklet értéke alacsony marad, így ez az eset a legkritikusabb állagvédelmi szempontból.

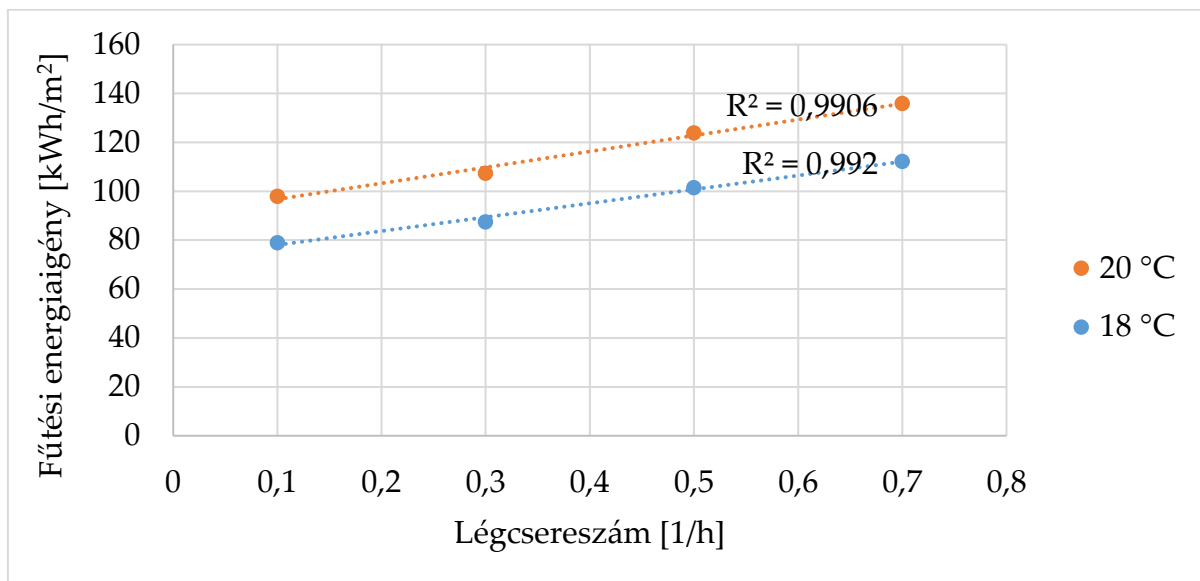
4.3.4. KONDENZÁCIÓ VALÓSZÍNŰSÉGÉNEK VIZSGÁLATA

A penészképződés kockázatát négy fő dolog befolyásolja. Az egyik a szerkezetek rossz hőtechnikai vagy páratechnikai tulajdonságai, melyeket az alapesetek definiálásával vettem figyelembe. Egy másik a túlságosan nagy nedvességterhelés, mely vizsgálatához azt feltételeztem, hogy kettő helyett négy fő tartózkodik a térben. Harmadik az elégtelen szellőztetés, melyet a légcsereszám 0.1-0.3-0.5-0.7 1/h közötti változtatásával figyeltem. A negyedik és utolsó eset pedig a nem megfelelő hőmérsékletre történő fűtés, melyet a 20 és 18 °C között vizsgáltam. A szimulációs eredményeket az Ablakcsere alapesetre a 4.táblázat szemlélteti, ahol a táblázatban a nettó fűtési energiaigények szerepelnek alapterületre vonatkoztatva a belső hőmérséklet és a légcsereszám függvényében.

4. táblázat Ablakcsere állagvédelmi ellenőrzésének szimulációs eredményei

kWh/m ²	18 °C	20 °C
0.1 1/h	79	98
0.3 1/h	87	107
0.5 1/h	101	124
0.7 1/h	112	136

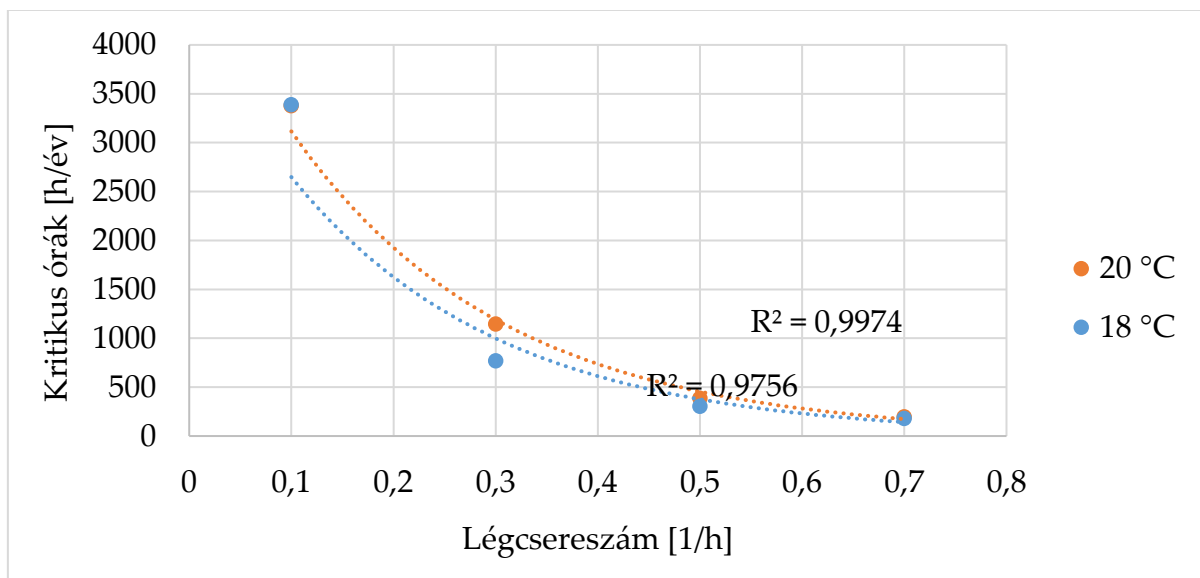
Ezt diagramon ábrázolva a következő ábrán láthatjuk.



22. ábra Fűtési energiaigény alakulása a légcserezszám függvényében

A 22.ábrát vizsgálva elmondhatjuk, hogy a fűtési energiaigény nagyjából ugyanolyan mértékben csökken minden tekintett légcserezszám esetén, ha 20°C-ról 18°C-ra csökkentjük a hőmérsékletet. Ennek oka, hogy külső levegővel szellőztetünk, melyet, ha bejut a térbe szintén fel kell melegítenünk.

Továbbiakban tekinthetjük a kritikus órákat, melyekben az állagvédelmi kockázat fellép. Kritikus órának tekintjük azt az órát, amelyben a határrétegben kialakuló relatív nedvességtartalom meghaladja a 75%-ot. Az alábbi diagramon az adott évben lévő kritikus órák számát láthatjuk a légcserezszám függvényében.



23. ábra Kritikus órák száma a légcserezszám függvényében

A 23. diagramról megállapítható, hogy míg az energiaigény növekedett a légcsereszám növelésével, addig a kritikus órák száma csökken. Ennek oka, hogy minél többet szellőztetünk annál alacsonyabb lesz a belső relatív páratartalom, hiszen a belső térben keletkezett nedvességet is kiszellőztetjük ekkor. A kritikus órák közt legmagasabb a 0.1 1/h légcsereszám esetén jelentkezik, mely a fűtési időszak körülbelül 77 %-át jelenti mindkét hőmérséklet esetén. Ez megközelítőleg exponenciálisan csökkent a légcsereszám növelésével és 0.7 1/h esetén már csak a fűtési időszak 4,5%-a kritikus.

Leghosszabb kritikus időszaknak tekintjük, amikor egy huzamban kevesebb, mint 4 óra szünetekkel a határrétegben a relatív nedvességtartalom 75%-nál magasabb. A szimulációk alapján ez szinte csak a légcsereszámától függ, mert mind 20°C-nál, mind 18°C-nál közel ugyanazok az értékek jöttek ki. A legkisebb, vagyis 0.1 1/h légcsereszám esetén van a leghosszabb időszak, mely 18,5 nap hosszúságú. A többi légcsereszámhoz növekedve 3, 1 és 0.5 nap tartozik. Ezen időszakok közt egyértelmű korreláció nem látható, de általában tél végén és tél elején fordulnak elő.

Összességében elmondható, hogy az ablakcsere esetén vizsgált három eset közül a belső tér nedvességterhelése és a légcsereszám befolyásolja legjobban a kritikus órák számát.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

5.1. Eredmények értékelése

Dolgozatom során bemutattam energiamegtakarítási lehetőségeket és az állagvédelmi kockázatokat, amelyeket ezek rejthetnek. A legjövedelmezőbb energiamegtakarítási lehetőségeket, mint az ablakcsere, a padlásfödém szigetelés és a TNM rendelet szerinti teljes felújítás eseteit alap esetnek tekintettem a szigeteletlen eset mellett. Ezek után definiáltam a tanulmány tárgyát képező épület szerkezeti, geometriai és épület-használati tulajdonságait. Felépítettem a szimulációs modelleket és fűtés paramétereinek változtatásával vizsgáltam a definiált energiamegtakarítási lehetőségeket, melyek a belső levegő csökkentése, a szakaszos fűtés és a fűtött alapterület csökkentés voltak.

A belső levegő csökkentése esetén elmondható volt, hogy minél magasabb hőmérsékletet tartunk a belső térben, annál nagyobb energiamegtakarítási jelentősége van az egyes felújítási változatoknak. Igazolható volt még, hogy minden alapesetre hasonlóan a belső levegő hőmérsékletének 2°C -al való megemelése vagy lecsökkentése kb. 17-18% többlet energiát, vagy energia megtakarítást eredményez az eredeti esethez képest.

A szakaszos fűtés vizsgálatokor meghatározható volt, hogy a legkisebb megtakarítást a csak nappal alkalmazandó fűtés csökkentés eredményezi. Elmondható még, hogy a fűtés csökkentés szigeteletlen épületek esetén a legkedvezőbb hatású, de még a szigetelt esetben is jelentős energiamegtakarítást eredményez.

A fűtött alapterület csökkentés esetén is igaznak bizonyult, hogy minél alacsonyabb hőmérsékletre fűtünk annál kevesebb energiamegtakarítást eredményez a fűtött alapterület csökkentés. Emellett az eredmények azt mutatták, hogy az energiamegtakarítás növekszik a felújítottság mértékével.

Az energiamegtakarítási lehetőségek vizsgálata után definiáltam az állagvédelem szempontjából kritikus teret és a kritikus csomópontot. Ezután az Ablakcsere alappmodellen vizsgáltam a nedvességterhelés növelésének, a légcsereszám változtatásának és a belső hőmérséklet két fokkal csökkentésének hatását. Ennek eredményeképp meghatározható volt, hogy a három eset közül az első kettő befolyásolta jelentősebben az állagvédelem szempontjából kritikus órák számát.

5.2. Jövőbeni kutatási területek

Az épületek állagvédelmi vizsgálata egy igen szerteágazó terület, hiszen az állagvédelmi kockázatot több tényező is befolyásolja, melyek egymásra hatásának kutatásához több időre lenne szükség. A jövőben célom minden alapeset részletes vizsgálata a kritikus órákat és az ezeket befolyásoló tényezőket tekintve. Emellett jelen esettanulmány nem tárgyalta a hőhidak egymásra hatását sem, melynek hatásait szintén vizsgálni fogom a jövőben.

6. SUMMARY

In the present study, energy-saving options and the related conservation risks were presented. The most profitable energy saving options, such as window replacement, insulation of the external floor and a complete renovation, were considered as base cases beside the uninsulated case. Then the structural, geometrical and occupancy characteristics of the building were defined. After the simulation models were set up, the defined energy saving potentials were varied by the heating parameters, which were reduction of indoor air, intermittent heating and reduction of the heated floor area.

In case of indoor air reduction, it was found that the higher the indoor temperature, the greater the energy saving potential of each renovation option. It was demonstrated that in each base case, increasing or decreasing the indoor air temperature by 2°C would result in additional energy or energy savings of about 17-18% compared to the original case.

In case of intermittent heating, it was determined that smallest savings would be achieved by reducing the heating during the daytime only. It can also be said that the heating reduction has the most beneficial effect in the case of uninsulated buildings, but even in the insulated case it still leads to significant energy savings.

For heated space reduction, it has also been shown that the lower the heating temperature, the lower the energy savings from heated space reduction. Furthermore, the results showed that energy savings increase with the degree of renovation.

After investigating the energy saving potential, the critical room and the critical node for conservation were defined. Then the effects of increasing the moisture load, varying the air exchange rate and reducing the internal temperature by two degrees were investigated using the Window Replacement Base Model. The results showed that the first two of the three cases had the most significant effect on the number of hours critical for the fabric degradation of the building.

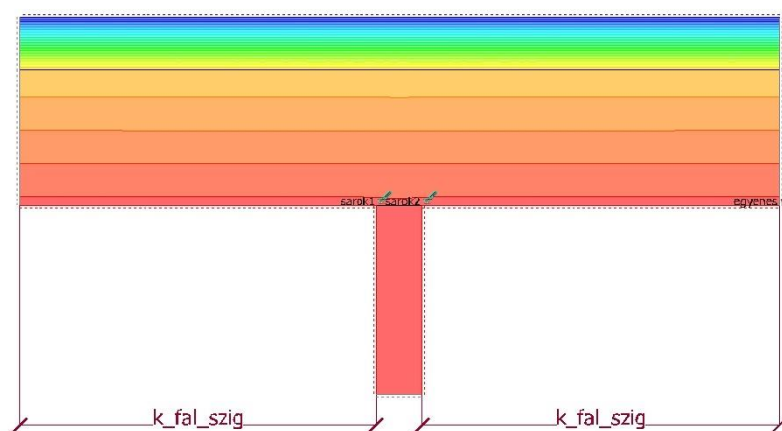
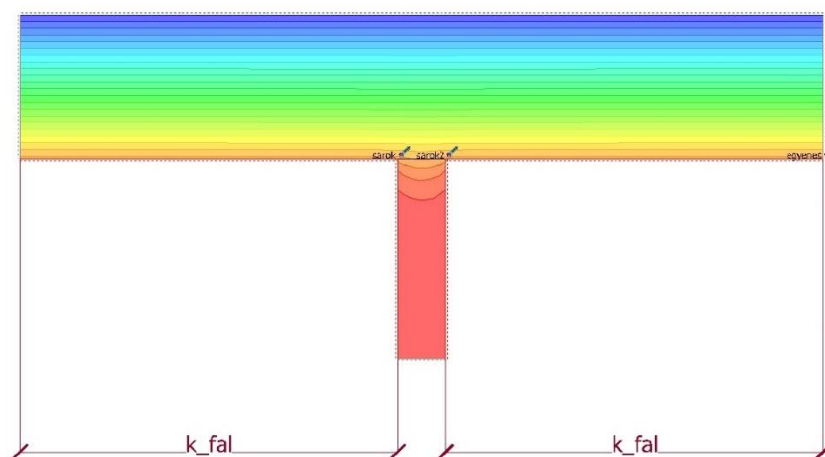
7. FELHASZNÁLT FORRÁSOK

- [1] <https://epiteszforum.hu/a-kadar-kockakban-rejlo-energiahatekonysagi-felujitasi-potencial> (Megtekintés: 2022.11.06.)
- [2] Tamás Csoknyaia, Sára Hrabovszky-Horvátha, Zdravko Georgievb, Milica Jovanovic-Popovicc, Bojana Stankovicc, Otto Villatorod, Gábor Szendrő, „Building stock characteristics and energy performance of residential buildings in Eastern-European countries,” *Building and Environment*, vol. 132, pp. 39–52, 2016, doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.062
- [3] N. E. Klepeis et al., “The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants,” *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, vol. 11, pp. 231–252, 2001, doi: 10.1038/sj.jea.7500165.
- [4] W. Cui, G. Cao, J. H. Park, Q. Ouyang, and Y. Zhu, “Influence of indoor air temperature on human thermal comfort, motivation and performance,” *Building and Environment*, vol. 68, pp. 114–122, 2013, doi: 10.1016/j.buildenv.2013.06.012.
- [5] <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A2200353.KOR&dbnum=1> (Megtekintés: 2022.11.06.)
- [6] <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0200003.scm> (Megtekintés: 2022.11.06.)
- [7] https://maradokapenzemnel.blog.hu/2017/10/12/10_1_tipp_a_teli_gazfogyasztasunk_csokkentese (Megtekintés: 2022.11.06.)
- [8] <https://energiaklub.hu/cikk/epuletenergetikai-felujitassal-az-energiaszegenyseg-ellen-4969> (Megtekintés: 2022.11.06.)
- [9] EHK, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Műhely lapja, XX.évf./6.szám
- [10] Nicola Willand, Cecily Maller, Ian Ridley, „It’s not too bad” – The lives experience of energy saving practices of low-income older and frail people”, vol. 121, pp. 166–173, 2017
- [11] <https://www.kiskegyed.hu/életmod/hogyan-lehet-csokkenteni-gazfogyasztas-gazszamla-tippek-tanacsok/etq7bfx> (Megtekintés: 2022.11.06.)
- [12] Stephane Ginestet, Christina Aschan-Leygonie b, Thomas Bayeux c, Marion Keirsbulck, „Mould in indoor environments: The role of heating, ventilation and fuel-poverty. A French perspective, 2022, doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106577
- [13] Leela Kempton, Georgios Kokogiannakis, Paul Cooper, „Mould risk evaluations in residential buildings via site audits and longitudinal monitoring,” 2021, doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107584
- [14] Petri J. Annila*, Matti Hellemaa, Toni A. Pakkala, Jukka Lahdensivu, Jommi Suonketo, Matti Pentti, „Extent of moisture and mould damage in structures of public buildings”, 2017, doi.org/10.1016/j.cscm.2017.01.003
- [15] Csoknyai Tamás, Iparosított technológiával létesített lakóépületek energiatudatos felújítása, PhD értekezés, 2004

- [16] "DesignBuilder." DesignBuilder Software Ltd., Stroud, Egyesült Királyság, 2020.
- [17] "EnergyPlus," 2021. <https://energyplus.net/> (Megtekintés: 2022.11.08.)
- [18] <https://energetic.auricon.hu/> (Megtekintés: 2022.11.08.)
- [19] T. Csoknyai, J. Farkas, L. Formanek, and M. Horváth, "Épülettípológia tanulmány, KEOP-7.9.0/12-2013-0019 projekt," Budapest, 2015.
- [20] T. Csoknyai, S. Hrabovszky-Horváth, M. Seprődi-Egeresi, and G. Szendrő, "National Typology of Residential Buildings in Hungary," Budapest, 2014.
- [21] T. Loga, B. Stein, and N. Diefenbach, "TABULA building typologies in 20 European countries—Making energy-related features of residential building stocks comparable," *Energy and Buildings*, vol. 132, pp. 4–12, 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.06.094.
- [22] 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról. Magyarország, 2006.
- [23] M. Hulesch and M. Winkler, "A Kádár-kockákban rejlő energiahatékonysági felújítási potenciál," 2021. <https://epiteszforum.hu/a-kadar-kockakban-rejlo-energiahatekonysagi-felujitasi-potencial> (Megtekintés: 2022.11.08.)
- [24] Z. Fodor and A. Somogyi, "Újraértelmezett 'kockaház,'" Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2016.
- [25] <https://www.hodpress.hu/2022/08/24/minden-negyedik-kadar-kocka-haztulajdonos-meg-iden-felujitasba-kezd-a-rezsipani-miatt-egy-felmeres-szerint/> (Megtekintés: 2022.11.08.)
- [26] G. Gröller and Z. Szalay, "Megéri-e egy Kádár-kocka felújítása környezeti szempontból?," 2021. <https://epiteszforum.hu/megeri-e-egy-kadar-kocka-felujitasa-kornyezeti-szemponthol> (Megtekintés: 2022.11.08.)
- [27] Szili Bettina Viktória, Tipizált lakóépületek modellezése DesignBuilder szoftverrel, 2021
- [28] Typical Meteorological Year (TMY) | E3P, (2021). <https://e3p.jrc.ec.europa.eu/articles/typicalmeteorological-year-tmy>
- [29] MSZ EN 16798-1 Épületek energetikai teljesítőképessége. Magyarország, 2019, p. 81.
- [30] EN 12831-3:2017 - European standard
- [31] <http://kadarkocka.blogspot.com/2012/11/alaprajz.html> (Megtekintés: 2022.11.08.)
- [32] B. Nagy, "Hőhídkatalógus v1.1," Budapest, 2020.

8. MELLÉKLET

8.1.1. KÜLSŐ ÉS BELSŐ FAL CSATLAKOZÁS



8.1.2. KÜLSŐ FAL ÉS FÖDÉM CSATLAKOZÁS

