

# Lakóépület fűtési energiafogyasztásának csökkentése passzív módszerekkel

## Reduction of Energy Use for Heating in Detached Houses using Passive Technics

KALMÁR F.<sup>1</sup>, KALMÁR T.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Debrecen, Faculty of Engineering, Department of Building Services and Building Engineering, fkalmar@eng.unideb.hu

<sup>2</sup>University of Debrecen, Faculty of Engineering, Department of Building Services and Building Engineering, kalmar\_tk@eng.unideb.hu

*Absztrakt. Az épületek energiafogyasztásának csökkentése továbbra is a szektor egyik kiemelt célkitűzése. Kutatásunk célja az egyes passzív megoldások fűtési energiaigényt csökkentő hatásának vizsgálata volt. Egy mintaépület esetében elemeztük, hogy a naptér, a tömegfal és a Trombe-Michel fal milyen fűtési energiaigény csökkenést eredményez. A számításokat elvégeztük egy átlagos hőtechnikai jellemzőkkel rendelkező épület esetében és arra az esetre is, amikor a mintaépület határolószervezetei teljesítik a közel nulla energiaigényű épület követelményeit. Az eredmények rámutatnak, hogy ezen szerkezetek alkalmazása előtt a racionális döntés érdekében elengedhetetlenek a komplex energetikai számítások.*

*Abstract. Reduction of energy use in buildings continue to be one of the most important goals in this sector. The aim of our research was to analyse the effects on the heating energy demand of passive technics. In the case of a detached house the energy savings using mass wall, Trombe-Michel wall and sunspace was determined. The calculations have been performed in the case of a building with average thermophysical characteristics and in the case of a building having similar geometry but its external building elements fulfilling the requirements of nearly zero energy buildings. It was proven, that some of the mentioned technics may lead to higher energy demand for heating, so a complex energy analysis has to be carried out before implementing them.*

*Kulcsszavak: épület, fűtés, passzív, napsugárzás, közvetett hőnyereség*

*Keywords: building, heating, passive, solar radiation, indirect heat gains*

## Bevezetés

Az Európai Unió tagországaiban a 91/2002 EC EPBD irányelv alapján az épületeket energetikai szempontból minőségi osztályokba kell sorolni, [1]. Magyarországon 2006-ban jelent meg a 7/2006 TNM rendelet, mely tartalmazza a számítási módszert és a követelményeket, [2], majd 2008-ban a 176/2008 rendelet mely iránymutatást ad az energetikai osztályokba történő besorolásokkal

kapcsolatban, [3]. Mindkét rendelet többször változott a megjelenésük óta, [4-7]. A 91/2002 irányelvet 2010-ben felülvizsgálták (EPBD Recast) és bevezették a költségoptimalizált és a közel nulla energiaigényű épület fogalmát, melyeknek követelményeit minden tagállam a saját gazdasági lehetőségeinek a figyelembe vétele mellett kellett meghatározni, [8]. 2018-ban újra felülvizsgálták az EPBD irányelvet és az intelligens épületekkel, illetve az elektromobilitással kapcsolatban jelentek meg fogalmak és ajánlások, [9]. A kutatások fókuszja jelenleg a nettó nulla energiaigényű illetve a karbonsemleges épületszektor, [10]. Ugyanakkor, Magyarországon 1934-ben kerül első alkalommal említésre az épületek hőszigetelésével kapcsolatos kérdés. Möller Károly a külső falak hőszigetelését a páralecsapódás elkerülésének szempontjából vizsgálja és kijelenti, hogy a hőszigetelés mértékének alsó határa az, amikor nem lép fel páralecsapódás a falszerkezet belső felületén, [11]. Megállapítja, hogy  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  külső- és  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  belső hőmérséklet esetében, ha a belső levegő relatív nedvességtartalma 60%, akkor a külső fal hőátmeneti (hőátbocsátási) tényezője legalább  $k=1,45\text{ kcal/m}^2\text{ h }^{\circ}\text{C}$  ( $1,685\text{ W/m}^2\text{K}$ ) kell legyen. Egy 1966-ban kiadott műszaki előírásban a külső fal hőátbocsátási tényezőire vonatkozó értékek a szerkezet tömegének függvényében vannak megadva, [12]. A legnagyobb tömegű falszerkezet esetében a követelmény  $1,64\text{ W/m}^2\text{K}$  volt. Az 1970-es években jelent meg először a 04140 szabvány, melyben az épületek határolószerkezeteinek hőtechnikai paramétereire vonatkozóan már  $0,85\text{ m}^2\text{K}$  maximális értéket javasolt [13]. A határolószerkezetekre vonatkozó ajánlások az 1980-as években [14], illetve 1991-ben is szigorodtak ugyan [15], de a megengedett hőátbocsátási tényező értékei jóval nagyobbak a jelenleg érvényes követelményeknél. Ennek megfelelően a hazai épületállomány hőtechnikai minősége igen változatos, hiszen az új épületek mellett, száz évnél régebben épült épületek is még használatban vannak. A közel nulla energiaigényű épületek energetikai követelményeit természetesen csak megfelelő vastagságú hőszigetelő rétegekkel érhetjük el. Az alkalmazott hőszigetelő rétegek vastagsága függ az anyag hőfizikai paramétereitől és azok változásától, [16-21]. Középeurópai országokban, figyelembe véve az éghajlati viszonyokat és az elmúlt évtizedekben alkalmazott építési technológiákat, egy átlagos hőtechnikai paraméterekkel rendelkező lakóépületekben a felhasznált energiamennyiség közel 70%-át fűtésre fordítják, [22]. Az energetikai számítások során a sugárzási hőnyereségeket figyelembe lehet venni. Ehhez benapozás vizsgálat szükséges, de abban az esetben, ha bizonyítást nyer a besugárzás, akkor a hőnyereségek az épület energiamérlegében figyelembe vehetők. Megkülönböztetünk közvetlen ( $Q_{sd}$ ) és közvetett ( $Q_{sid}$ ) sugárzási hőnyereségeket. Utóbbiak vonatkoznak a transzparens hőszigeteléseken, naptereken, tömegfalakon vagy Trombe-Michel falakon keresztül az épületbe juttatott hőnyereségekre. A tömegfal és Trombe-Michel fal esetében az eredő hőnyereség értékét kell meghatározni, mivel a szerkezeteken keresztül nem csak hőnyereség, hanem hőveszteség is fellép.

A kutatásaink során megvizsgáltuk egy mintalakóépület (kádárkocka) esetében hogyan alakulnak a hőveszteségek, illetve a fűtési energiaigény egy átlagos hőtechnikai paraméterekkel rendelkező épület esetében, illetve egy közel nulla energiaigényű épület esetében. A passzív módszerek közül vizsgálat tárgyát képezte, a fűtési energiafelhasználás szempontjából, a naptér csatlakoztatása az épülethez, valamint tömegfal, illetve Trombe-Michel fal beépítése. Megvizsgáltuk havi bontásban az éves hőnyereséget, illetve naptér esetében a lakható ( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -t meghaladó hőmérséklet) órák számát is.

## 1. Sugárzásos hőnyereségek

A 7/2006 TNM Rendelet szerint egy épület energetikai szempontból egy követelményrendszert kell teljesítsen: határolószervezetek hőátbocsátási tényezője, fajlagos hőveszteség, összesített energetikai mutató és megújuló energia részaránya. A fajlagos hőveszteségtényező meghatározása különböző összefüggésekkel történhet. Lehetőség van a sugárzásos hőnyereségek elhanyagolására vagy az É-i tájolás hőnyereségeinek a figyelembevételére (egyszerűsített számítás esetében), de a sugárzásos hőnyereségek figyelembe vehetők, amennyiben bizonyítást nyert, hogy az adott üvegezett szerkezetet valóban éri napsugárzás legalább napi három órát november 15 és március 15 közötti időszakban.

A fajlagos hőveszteségtényező összefüggése ez utóbbi esetben, [2]:

$$q = \frac{1}{V} \left( \sum CAU + \Psi_p \sum l + \sum \Psi l - \frac{Q_{sd} + Q_{sid}}{H/1000} \right) \quad (1)$$

ahol:  $V$  – a fűtött térfogat, [m<sup>3</sup>];  $A$  – a határolószervezet felülete, [m<sup>2</sup>];  $U$  – a határolószervezet hőátbocsátási tényezője, [W/m<sup>2</sup>K];  $C$  – hőmérséklet korrekciós tényező, [-];  $\Psi_p$  – a talajra fektetett padló fiktív vonalmenti hőátbocsátási tényezője, [W/mK];  $\Sigma l$  – a talajra fektetett külső fal és a talajra fektetett padló csatlakozási élének hossza, [m];  $\Psi$  – az egyes hőhidak fiktív vonalmenti hőátbocsátási tényezője, [W/mK];  $l$  – az egyes hőhidak (csatlakozási él) hossza, [m];  $Q_{sd}$  – direkt sugárzásos hőnyereségek, [kWh/a];  $Q_{sid}$  – indirekt sugárzásos hőnyereségek, [kWh/a];  $H$  – hőfokhíd, [hK].

Az összefüggésből megállapítható, hogy a sugárzásos hőnyereségek figyelembevételével a fajlagos hőveszteségtényező csökkenthető. Nem mindegy tehát, hogy elhanyagolásra kerülnek a hőnyereségek, vagy az É-i tájolás hőnyereségeivel számolnak, vagy – benapozás vizsgálat után – az adott tájolásnak a hőnyereségei (az É-i tájoláshoz viszonyítva kétszeres vagy akár négyszeres értékek is lehetnek) kerülnek levonásra.

A  $Q_{sd}$  értékének meghatározásához a 7/2006 Rendeletben az 1. táblázatban megadott értékek szerepelnek.

É	D	K	Ny
100	400	200	200

1. táblázat: Sugárzási energiahozam a fűtési idenyre, a fajlagos hőveszteségtényező számításához, [kWh/m<sup>2</sup>a]

Az indirekt sugárzásos hőnyereségek számításához a Rendelet nem biztosít sem összefüggéseket, sem pedig alap adatokat. Ezeket a szakma szabályai szerint, illetve a vonatkozó szabványok alapján kell meghatározni. A számítások során figyelembe kell venni az épület hőtároló tömegét, [2]:

$$M = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^p \rho_{ij} d_{ij} A_j \quad (2)$$

ahol:  $n$  – a hőtárolásban résztvevő épületszerkezetek száma;  $p$  – a rétegek száma a  $j$  szerkezetben;  $\rho_{ij}$  – a  $j$  szerkezetben az  $i$  réteg anyagának testsűrűsége, [kg/m<sup>3</sup>];  $d_{ij}$  – a  $j$  szerkezetben az  $i$  réteg anyagának vastagsága, [m];  $A_j$  – a  $j$  szerkezet felülete, belméretek szerint, [m<sup>2</sup>].

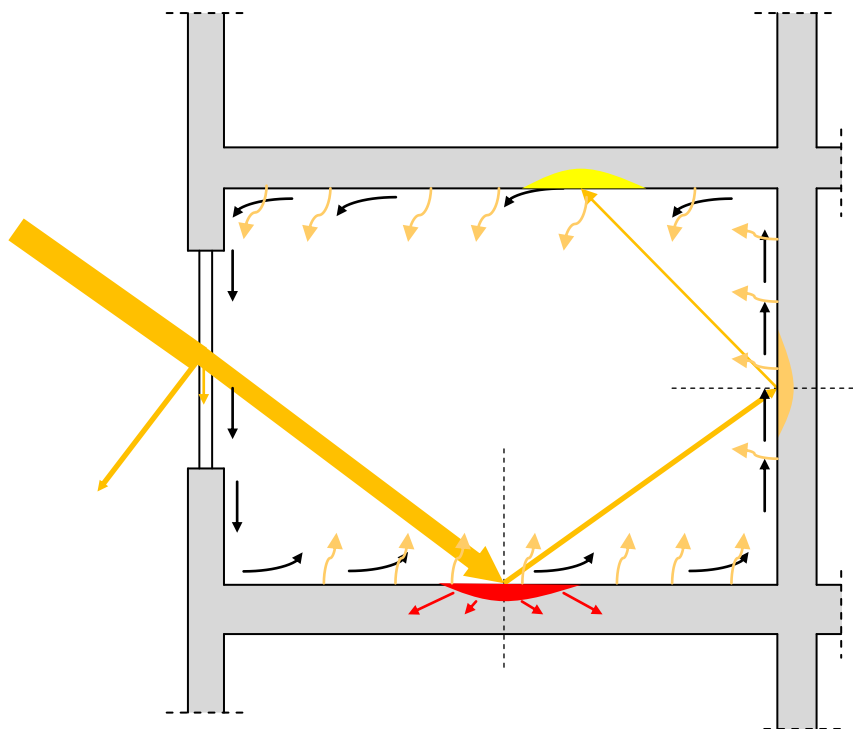
A sugárzásos hőnyereségek (úgy a direkt, mint az indirekt) az üvegházhatásnak köszönhetőek. Az energetikai számítások során viszont nem szabad figyelmen kívül hagyni a hőnyereségek hasznosítási fokát, [23]:

$$\eta_H = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}} \quad (3)$$

ahol:  $\gamma_H$  – a hőnyereségek és a hőveszteségek aránya;  $a_H$  – mértékegység nélküli tényező az épület időállandójának függvényében.

## 2. Az üvegházhatás

A tömör szerkezeteket érő napsugárzás túlnyomó része elnyelődik, kisebb része pedig visszaverődik. Az elnyelt rész az abszorpció tényezővel, a visszavert rész pedig a reflexió tényezővel számítható. Az elnyelt és visszavert energiameennyiségek aránya szelektív bevonatokkal módosítható. Egy transzparens szerkezet esetében a beérkező napsugárzás túlnyomó része változatlan hullámhosszal átjut a szerkezeten, kisebb része visszaverődik és egy rendkívül kis része elnyelődik az üvegben. Természetesen ebben az esetben is módosíthatók az arányok, amennyiben szelektív bevonatokat alkalmaznak. Az elnyelt hőmennyiség az üveg hőmérsékletének emelkedéséhez vezet. A transzparens szerkezet mögötti helyiségbe tehát nem csak a szerkezeten áthaladó transzmissziós energiaáram jelenik meg, hanem a szerkezet által hosszú hullámhossz tartományban kibocsátott hőmennyiség is. A helyiségbe bejutó rövidhullámú sugárzásos energiaáram nagy része elnyelődik a padlón, vagy a helyiséget határoló falszerkezeteken, kisebb része visszaverődik de ez az energiaáram rendkívül csekély és néhány visszaverődés után szinte teljes mértékben elnyelődik a tömör szerkezetekben (1. ábra), [24].



1. ábra: Hőáramok egy üvegezett szerkezetekkel rendelkező zárt helyiségben

A tömör szerkezetek által elnyelt hőmennyiség hővezetéssel áramlik tovább a szerkezetben, azonban a szerkezetek felületi hőmérséklete emelkedik és a szerkezetek által sugárzással kibocsátott hőmennyiség is jelentősen növekszik. A kibocsátott hosszűhullámú sugárzás elnyelődik a helyiség többi tömör szerkezetében, ezáltal azoknak a szerkezeteknek is emelkedik a hőmérséklete, melyeket nem ér közvetlenül a napsugárzás. Továbbá az egyes szerkezetekkel közvetlenül érintkező légrétegek hőmérséklete is emelkedni kezd. A nagyobb hőmérsékletű levegő a gravitációs felhajtóerő hatására rétegződik, így a nagyobb hőmérsékletű rétegek eljutnak a padlótól a mennyezet közelébe, ahol konvekcióval átadják a hő egy részét a szerkezetnek, majd kissé lehűlve ismét visszaáramlanak a padló irányába, ahol ismét hőt vesznek fel. A helyiségben így kialakul egy természetes áramlás, mely a nagyobb felületi hőmérsékletű szerkezetek felületéről (padló) átveszik a hőt és eljuttatják az alacsonyabb hőmérsékletű szerkezetekhez (födém). A transzparens szerkezet belső felületét is éri a tömör szerkezetek által kibocsátott sugárzás. Ez az energiaáram viszont nem jut át az üvegezésen, hanem részben elnyelődik, részben pedig visszaverődik. Ennek az oka az, hogy az ablaküveg transzmissziós tényezőjének értéke függ a beérkező sugárzás hullámhosszától. Rövid hullámhossz esetében a transzmissziós tényező 0,8 körüli értéket vesz fel, míg 2,5–3,0  $\mu\text{m}$  felett nagymértékben csökken és 4,0  $\mu\text{m}$  feletti hullámhossz esetében elenyésző energiamennyiség jut át az üvegezésen

Ennek a komplex sugárzásos és konvekciós hőcsere folyamatoknak köszönhetően, amíg sugárzás éri az üvegezett szerkezetet, a helyiség közepes sugárzási hőmérséklete és a léghőmérséklet is folyamatosan növekszik. Téli időszakban ez a folyamat az épületek energiamérlegében kívánatos, hiszen a beérkező hőmennyiség hozzájárul a hőveszteségek fedezéséhez. Nyári időszakban azonban a hőterhelés miatt rendkívül megnövekedhet a hűtési energiafogyasztás. Ennek megfelelően energiatudatosan üzemeltetett mobil vagy körültekintően tervezett fix árnyékolók segítségével biztosítható, hogy a sugárzásos energiamennyiség csak a kívánatos időszakban és mennyiségben jusson az épület helyiségeibe.

### 3. Naptér (üvegház)

A naptér vagy üvegház fém- vagy favázás szerkezettel és transzparens szerkezetekkel rendelkezik. A tető lehet szintén transzparens, de lehet tömör is. Egy épülethez közvetlenül csatlakozik és az épület a naptéren keresztül megközelíthető. A naptérnek és az épületnek egy-, kettő- vagy három közös függőleges határolószerkezete van, vagyis a naptér egy-, kettő vagy három transzparens külső szerkezettel rendelkezik. A naptérnek a padlója tömör, nagy hőelnyelő- és hőtároló képességgel rendelkező szerkezet kell legyen. A külső transzparens szerkezetek rendelkezzenek árnyékolószerkezetekkel, melyek segítségével nagy mennyiségű beérkező sugárzásos hőmennyiség esetében a hőterhelés csökkenthető. Előny, ha a transzparens szerkezetek közül néhány nyitható, illetve, ha a naptér tetőszerkezete is rendelkezik egy szellőző nyílással, annak érdekében, hogy a nyáron a túlzott túlmelegedés elkerülhető legyen. A fűtési idény során a naptérben, az üvegházhatás miatt, a külső hőmérsékletnél nagyobb lég hőmérsékletek alakulnak ki, ezért az épület naptérrel takart határolószerkezeteinek transzmissziós hővesztesége csökken. A naptér üvegezett szerkezetein keresztül bejutó közvetlen napsugárzás éri az épület határolószerkezeteit és a sugárzás nagy része a tömör szerkezeteken elnyelődve hővezetéssel az épület belső terei felé halad. Ha az épületnek van a naptérre nyíló transzparens szerkezete, akkor a beérkező sugárzás akár közvetlenül is bejuthat az

épület belső tereibe. Az épület és a naptér közötti nyílászárón (ajtó és/vagy ablak) megvalósítható az épület szellőztetése is, de ebben az esetben nem a külső alacsony hőmérsékletű levegő jut az épületbe, hanem a naptérben részben felmelegedett, kevert, magasabb hőmérsékletű levegő. Ez viszont a szellőzési hőveszteségek jelentős csökkenését eredményezi. Az épület hőveszteségeinek csökkenése, tehát passzív módon érhető el, vagyis a naptérben semmilyen fűtőtest nincs elhelyezve. Az energiamérleg meghatározása mellett a naptér esetében fontos kérdés, hogy éves szinten hány olyan óra lesz, melyek során a naptérben legalább annyi lesz a léghőmérséklet, mint az épület belső tervezési hőmérséklete, [25, 26].

## 4. Tömegfal

Az épület energiamérlege javítható, ha a külső falak egy részét tömegfalként alakítják ki. A tömegfal (ahogy az elnevezéséből kitűnik) egy nagy tömegű szerkezet (beton vasbeton, kő, tömör téglá), amely elé egy transzparens szerkezetet helyeznek el. A tömegfal és a transzparens szerkezet között néhány centiméteres légréteg van, amelybe előnyös, ha egy mobil árnyékolót is elhelyeznek. Az üvegszerkezeten átjutó napsugárzás elnyelődik a nagy tömegű szerkezet felületén és vezetéssel a szerkezet belső felülete felé áramlik. A szerkezet anyagának hővezetési tényezője nagy, így a tömegfal hőátbocsátási tényezője lényegesen nagyobb lehet, mint az épület külső falszerkezetének hőátbocsátási tényezője. A „rosszabb” hőtechnikai minőséget ellensúlyozza az, hogy a tömegfal és az üvegezés közötti légréteg hőmérséklete jóval nagyobb a külső hőmérsékletnél, így a tömegfalon fellépő, a külső tér felé irányuló hőáramok fajlagos értékét ez jelentősen csökkenti. A légréteg egyenértékű ellenállása is mérsékli a hőveszteséget és ehhez még hozzájárul az árnyékoló szerkezet hatása is (pl. a légréteg két részre osztásával). A tömegfal által elnyelt hőmennyiség késleltetéssel éri el a szerkezet belső felületét, így a fűtési idény során, amikor a nappali időszakban sugárzásos hőnyereség lép fel, akkor az esti-éjszakai órákban a tömegfal belső felületi hőmérséklete emelkedik és úgy működik a szerkezet, mint a falfűtés (csak passzív módon, energiafelhasználás nélkül). Természetesen lesznek időszakok, amikor a beérkező sugárzásból elnyelt és az épületbe juttatott hőmennyiség kevesebb, mint a szerkezeten a nap folyamán kialakuló hőveszteség. Ennek megfelelően a tömegfalnál a fűtési idényre vonatkozóan energiamérleget kell meghatározni, [27].

## 5. Trombe-Michel fal

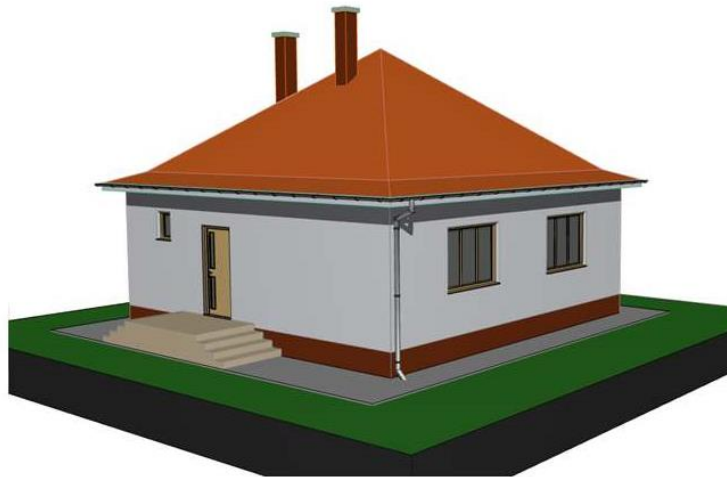
A Trombe-Michel fal egy olyan tömegfal, amelynek alsó és felső részén egy-egy légbefúvató, illetve légelvezető nyílás található. Az üvegezett szerkezeten is elhelyezhetők szellőző nyílások. A hagyományos tömegfalhoz viszonyítva ennek a szerkezetnek az energetikai hatékonysága nagyobb, mivel a fal és az üvegezés között térben csapdába esett hőmennyiség nem csak hővezetéssel juttatható a mögöttes térbe, hanem légáramlással is. Ugyanis, abban az esetben, amikor a fűtési idény során a levegő hőmérséklete jóval nagyobb, mint az épületben a léghőmérséklet, akkor a falszerkezetbe elhelyezett légbefúvató és légelvezető nyílásokat megnyitva a hidegebb levegő az alsó nyíláson beáramoltatható a köztes térbe, ahonnan viszont kiszorítja a nagyobb hőmérsékletű levegőt, amely a felső nyíláson keresztül beáramlik a belső térbe. Így a rendszer légfűtésként is üzemeltethető, de nincs szükség sem léghevítőre, sem pedig ventilátorra. Természetesen a hő vezetéssel is halad a szerkezeten keresztül a belső tér felé, ezzel is csökkentve a hőigényt. Nyári időszakban viszont a túlmelegedés

elkerülése céljából, a falat árnyékolószerkezettel védeni szükséges. Az üvegezésbe elhelyezett szellőző nyílásokon keresztül éjjel a szerkezet előhűthető, így csökkenthető az esetlegesen kialakuló hőterhelés mértéke. A Trombe-Michel fal esetében is éves energiamérleget kell számítani ahhoz, hogy meghatározható legyen az szerkezet energiahozama, [28, 29].

## 6. A vizsgált épület

A fűtési energiaigényt a 2. ábrában bemutatott 9,8 m×10,2 m bruttó alapterülettel rendelkező, 2,7 m belmagasságú családi ház esetében vizsgáltuk (kádárkocka). A ház fűtetlen padlástérrel és talajra fektetett padlóval rendelkezik és a nettó fűtött alapterület 88 m<sup>2</sup>. Az épület felület/térfogat aránya 1,14. Nyílászárók mind a négy homlokzaton találhatóak. Az üvegezési arány az É-i homlokzaton 7%, a D-i homlokzaton 15%, a K-i és Ny-i homlokzaton pedig egyaránt 19%.

A benapozás vizsgálat szerint úgy a téli, mint a nyári időszakban az üvegezett szerkezetek nem árnyékolnak. Az éghajlati adatok a Budapestre vonatkozó paraméterekkel lettek figyelembe véve. A fűtési energiaigényre vonatkozó számításokat a Siegeni Egyetem által készített Casanova szoftverrel, [30] és a BME Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszéke által készített Saint Gobain ISOVER szoftverrel [31] is elvégeztük. Az eredmények között 2 % különbség jelentkezett.



2. ábra: A vizsgált épület

A számításokat elvégeztük egy meglévő állapotra ( $U_{kfal}= 1,47 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;  $U_{padlásfödém}= 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;  $U_{padló}= 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;  $U_{nyílászárók}= 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), illetve arra az esetre, amikor a határolószerkezetek teljesítik a közel nulla energiaigényű (KNE) épület követelményeit ( $U_{kfal}= 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;  $U_{padlásfödém}= 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;  $U_{padló}= 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;  $U_{nyílászárók}= 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). Mindkét esetben a belső átlaghőmérséklet a fűtési idény során 20 °C, a feltételezett légcsereszám pedig 0,5 h<sup>-1</sup>. A KNE épület esetében hővisszanyerővel ellátott gépi szellőzést feltételeztünk (a hővisszanyerés hatásfoka 70%). A két szoftverrel kapott eredmények között 5% (meglévő állapot), illetve 2 % (felújított állapot) különbség jelentkezett. Úgy a meglévő állapotra vonatkozóan, mint a KNE épület esetében további három esetet vizsgáltunk:

- a D-i homlokzaton egy naptér csatlakozás, amely 10 m<sup>2</sup> homlokzatot takar és a szellőztetés rajta keresztül történik);
- a D-i, K-i és Ny-i homlokzatokon 2-2 m<sup>2</sup> tömegfal van beépítve;
- a D-i, K-i és Ny-i homlokzatokon 2-2 m<sup>2</sup> Trombe-Michel fal van beépítve.

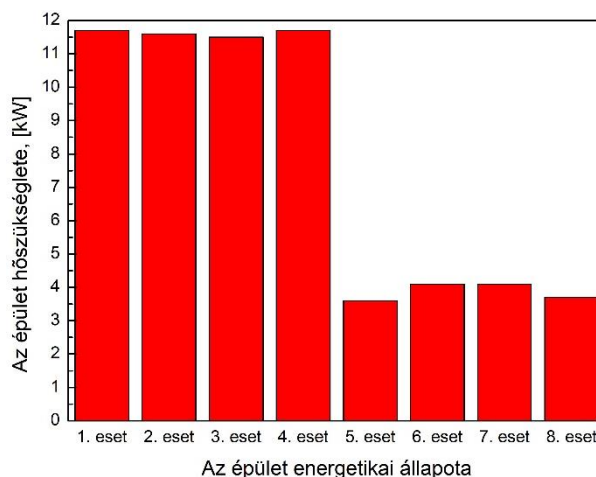
Mindezek alapján tehát összesen nyolc esetet vizsgáltunk (a kiegészítő passzív elemekkel történő számításra csak az ISOVER szoftver biztosít lehetőséget):

- 1. eset: meglévő állapot
- 2. eset: meglévő állapot+ tömegfal
- 3. eset: meglévő állapot+ Trombe-Michel fal
- 4. eset: meglévő állapot+ naptér
- 5. eset: KNE állapot
- 6. eset: KNE állapot+ tömegfal
- 7. eset: KNE állapot+ Trombe-Michel fal
- 8. eset: KNE állapot+ naptér

A 4. és 8. esetben a szellőző levegő a naptéren keresztül jut az épületbe.

## 7. Eredmények

A számítások során számos eredményt kaptunk az épületek energetikai jellemzőire vonatkozóan, azonban ebben a fejezetben, a cikk céljával összhangban, kizárólag a fűtési energiafogyasztással kapcsolatos adatokat közöljük. A 3. ábrában bemutatásra kerül a vizsgált esetekre vonatkozóan az épület hőszükséglete. Mint látható a jelenlegi állapothoz viszonyítva, a KNE követelményeknek megfelelő épület hőszükséglete mintegy harmadára csökken (11,7 kW-ról 3,6 kW-ra).

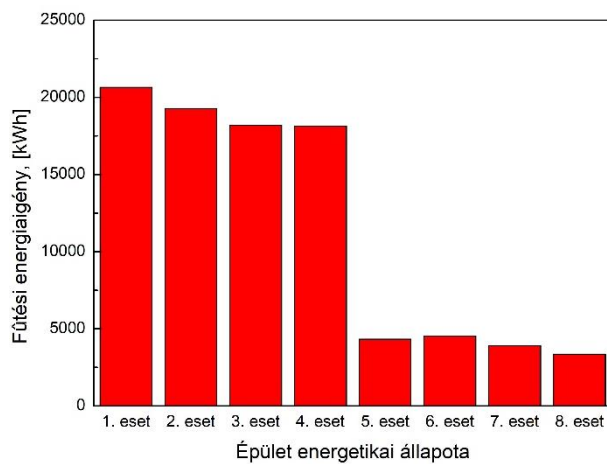


3. ábra: Az épület hőszükséglete

A meglévő állapot vonatkozásában, a tömegfal és a Trombe-Michel fal beépítése 0,1, illetve 0,2 kW hőszükséglet csökkenést eredményez. Ezzel szemben a KNE épület esetében úgy a tömegfal, mint a Trombe-Michel fal 0,5 kW hőszükséglet növekményt eredményez.



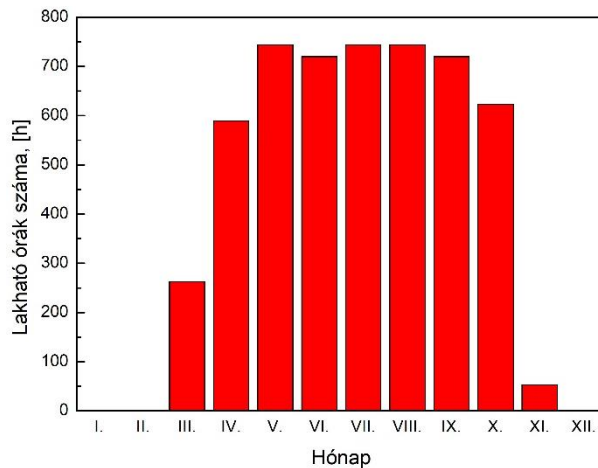
A fűtési energiaigényt a 4. ábra szemlélteti. Megállapítható, hogy a meglévő állapot esetében a fűtési energiaigény 20650 kWh, ami a tömegfal beépítésével 19270 kWh-ra csökken. A Trombe fal esetében a fűtési energiaigény 18180 kWh-ra, míg a naptér építése esetében 18130 kWh lesz.



4. ábra: Az épület fűtési energiaigénye

Ha az épület határolószervezetei teljesítik a KNE épület követelményeit, akkor a tömegfal esetében az energiaigény növekszik 4630 kWh-ról 4843 kWh-ra. A Trombe fal ebben az esetben is az energiaigény csökkenését eredményezi, mivel az energiaigény 4630 kWh-ról 3925 kWh-a csökken. A naptér esetében érjük el a legnagyobb energiaigény csökkenést. Ebben az esetben ugyanis a fűtési energiaigény csupán 3352 kWh.

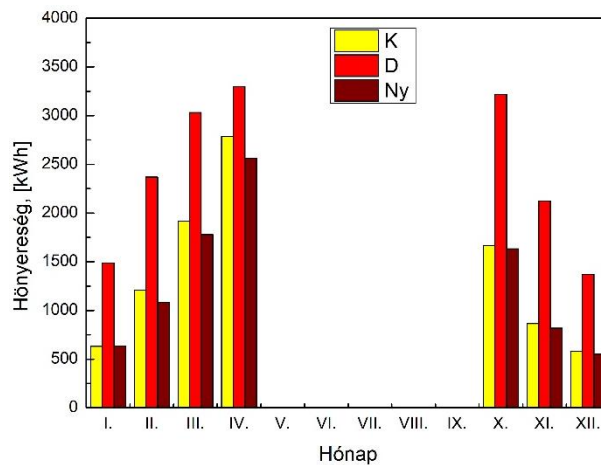
Az 5. ábrában kerül bemutatásra havi bontásban a naptér lakható óráinak száma. A lakható órák alatt azokat az órákat értjük, amikor a naptérben a léghőmérséklet eléri az épület tervezési belső hőmérsékletét (jelen esetben 20 °C).



5. ábra: A naptér lakható óráinak száma

Megállapítható, hogy a nyári és az átmeneti (tavaszi-őszi) időszakban is jelentős óraszámokkal számolhatunk. Természetesen a nyári hónapokban ez kevésbé fontos, illetve tekintettel kell lenni arra, hogy igen magas hőmérsékletek is kialakulhatnak (a komforttartomány felső határát is meghaladó értékek). A nyári hónapok a fűtési energiaigény vonatkozásában nem fontosak, viszont április és október hónapokban, amikor többnyire van fűtés, közel 600 órával számolhatunk.

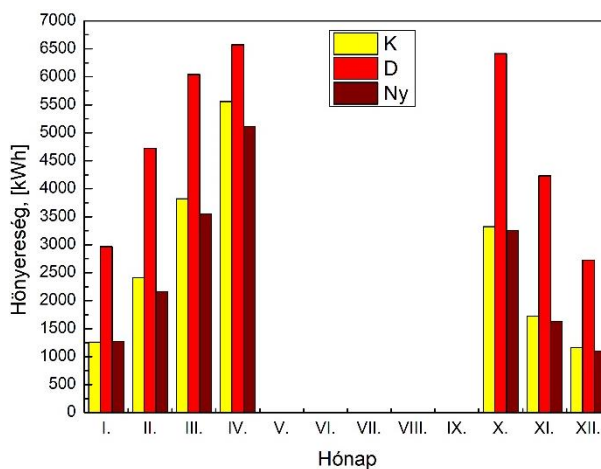
A 6. ábra mutatja be a tömegfal esetében az energiahozamot. Látható, hogy az azonos mérettel rendelkező tömegfal, eltérő tájolások esetében különböző energiahozamot eredményez.



6. ábra: A tömegfal energiahozama

A hidegebb hónapokban a D-i tájolás esetében csaknem kétszeres az energiahozam, összehasonlításban a K-i és Ny-i tájolásokkal., azonban a magasabb átlaghőmérséklettel rendelkező hónapokban ez az arány kisebb.

A Trombe fal esetében viszont az energiahozamok jóval nagyobbak (7. ábra). Ez elsősorban a konvektív passzív fűtésnek köszönhető.



7. ábra: A Trombe-Michel fal energiahozama

Megállapítható, hogy nagy mennyiségű hőnyereséggel számolhatunk, azonban azokban az időszakokban, amikor nincs napsugárzás (vagy nagyon alacsony értékű), akkor a szerkezetnek hővesztesége van, ami meghaladja azt a hőveszteséget, ami fellépne egy ugyanakkora méretű, KNE követelményt teljesítő falszerkezeten. Néhány száz vagy néhány ezer kWh hőnyereség jelentkezik még a leghidegebb hónapokban is, viszont jelentős a hőveszteség is. Továbbá a passzív fűtési megoldások esetében tekintettel kell lenni a hőnyereségek hasznosítási fokára is. Ugyanis, hiába jelentős a hőnyereség, ha azt nem tudjuk megfelelő módon felhasználni, illetve tárolni és az épületbe juttatni akkor, amikor éppen igény lenne rá.

## 8. Összefoglalás

Az épületek energiafogyasztásának csökkentése néhány évtizede már fókuszban van, de tekintettel a környezetvédelmi törekvésekre, az energiabiztonságra és az energiaárak növekedésére, az energiaigények minimalizálása továbbra is kiemelt célkitűzése a szektornak. Magyarországon és más közép-európai államokban is, egy átlagos hőtechnikai paraméterekkel rendelkező lakóépület esetében, az összes energiafogyasztásnak kétharmadát fűtésre fordítják. Elsőrendű célkitűzés tehát a fűtési hőigények csökkentése. Kutatásunk célja az volt, hogy megállapítsuk, hogy passzív eszközökkel milyen mértékben csökkenthető a fűtési energiaigény. A mintapéldánk (átlagos lakóépület) esetében ez 10% körüli értékre adódott. Viszont megvizsgáltuk, hogy hogyan alakulna a fűtési energiaigény, ha a vizsgált épület határolószervei megfelelnének a közel nulla energiaigényű épület követelményeinek. Az átlagos jellemzőkkel rendelkező épülethez viszonyítva, megállapítható, hogy a hőszükséglet harmadára csökken, az energiafogyasztás pedig csaknem ötödére. Viszont a kiváló energetikai jellemzőkkel rendelkező épület esetében, már nem mindegyik passzív megoldás jelent további javulást. A tömegfal esetében a fűtési energiaigény 5%-al növekszik. A Trombe-Michel fal ebben az esetben is pozitív energiamérleggel rendelkezik, hiszen alkalmazása 10% további energiamegtakarítást eredményezett a példaépületnél. A naptér viszont több mint 20% energiamegtakarítást eredményezett. Az eredmények tehát azt mutatják, hogy a hagyományos energiamegtakarítási megoldások elengedhetetlenek ahhoz, hogy a fűtési energiafogyasztás jelentős csökkenését érjük el. A passzív megoldások esetében pedig feltétlenül szükségesek az alapos, komplex energetikai számítások, ahhoz hogy ezen szerkezetek alkalmazásának gazdaságosságáról megalapozott döntést hozhassunk.

## Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-34 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

## Hivatkozások

- [1] Európai Parlament és a Tanács 2002/91/EK irányelve (2002. december 16.) az épületek energiateljesítményéről, Az Európai Unió Hivatalos Lapja, Brüsszel.
- [2] 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról.
- [3] 176/2008. (VI. 30.) Korm. rendelet az épületek energetikai jellemzőinek tanúsításáról.
- [4] A belügyminiszter 40/2012. (VIII. 13.) BM rendelete az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról szóló 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet módosításáról.
- [5] A belügyminiszter 20/2014. (III. 7.) BM rendelete az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról szóló 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet módosításáról.
- [6] A Miniszterelnökséget vezető miniszter 39/2015. (IX. 14.) MvM rendelete az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról szóló 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet módosításáról.

- [7] 61/2020. (XII. 30.) ITM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról szóló 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet és a motorhajtóanyagok minőségi követelményeiről szóló 17/2017. (V. 26.) NFM rendelet módosításáról.
- [8] Az Európai Parlament és a Tanács 2010/31/EU Irányelve (2010. május 19.) az épületek energiahatékonyságáról, Az Európai Unió Hivatalos Lapja.
- [9] Az Európai Parlament és a Tanács 2018/844 Irányelve (2018. május 30.) az épületek energiahatékonyságáról szóló 2010/31/EU irányelv és az energiahatékonyságról szóló 2012/27/EU irányelv módosításáról, Az Európai Unió Hivatalos Lapja
- [10] Ürge-Vorsatz, D., Khosla, R., Bernhardt, R., Chan, Ch.Y, Vérez, D., Hu, Sh., Cabeza, L., (2020), Advances Toward a Net-Zero Global Building Sector, *Annual Review of Environment and Resources*, 45:227–69, <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012420-045843>.
- [11] Möller, K. (1934), *Építési Zsebkönyv*, Királyi Magyar Egyetemi Nyomda, 1934.
- [12] ME-30-65 (1966), *Műszaki Előírás: épületek és épületszerkezetek hőtechnikai méretezése (szokványos használatú épületek)*, Építésügyi Minisztérium.
- [13] MSZ-04.140/2-79 (1979), *Építésügyi Ágazati Szabvány: épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai, hőtechnikai méretezés.*
- [14] MSZ-04-140/2-85 (1985), *Építésügyi Ágazati Szabvány: épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai, hőtechnikai méretezés.*
- [15] MSZ-04-140-2:91 (1991), *Építésügyi Ágazati Szabvány: épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai, hőtechnikai méretezés.*
- [16] Kalmár, F. (2002), Energy analysis of building thermal insulation, *Proceedings of the 11th conference for building physics : Bauklimatisches Symposium Dresden*, pp. 103-112.
- [17] Lakatos, Á., Csík, A., Csarnovics, I. (2021), Experimental verification of thermal properties of the aerogel blanket, *Case Studies in Thermal Engineering*, 25 Paper: 100966.
- [18] Lakatos, Á, Kovács, Zs (2021), Comparison of thermal insulation performance of Vacuum Insulation Panels with EPS protection layers measured with different methods, *Energy and Buildings*, 236 Paper: 110771.
- [19] Lakatos, Á, Szodrai, F. (2017), Effect of the air motion on the heat transport behaviour of wall structures, *International Review of Applied Sciences and Engineering* 8 : 1 pp. 67-73.
- [20] Szodrai, F. (2020), Analysis of a wall structure thermal transmittance sensitivity in function of meteorological parameters at constant internal surface temperature, *AIP Conference Proceedings* 2275 pp. 1-8. Paper: 020029.
- [21] Lakatos, Á. (2014), Comparison of the thermal properties of different insulating materials, *Advanced Materials Research* 899, pp. 381-386.
- [22] Chwieduk, D., (2003), Towards sustainable-energy buildings, *Applied Energy* 76, 211–217, doi:10.1016/S0306-2619(03)00059-X.

- [23] MSZ EN ISO 13790:2008, *Épületek energetikai teljesítőképessége. A fűtési és hűtési energiaigény számítása* (visszavont 2017.11.01).
- [24] Kalmár, F. (2018), *Energy flows in Buildings*, Debreceni Egyetem.
- [25] Mihalakakou, G., Ferrante, A., (2000), Energy conservation and potential of a sunspace: sensitivity analysis, *Energy Conversion & Management* 41 (2000) 1247-1264.
- [26] Ulpiani, G., Giuliani, D., Romagnoli, A., di Perna, C., (2017), Experimental monitoring of a sunspace applied to a NZEB mock-up: Assessing and comparing the energy benefits of different configurations, *Energy and Buildings* 152, 194–215.
- [27] Bansal, N.K., Thomas, P.C., (1991), A Simple Procedure for Selection and Sizing of Indirect Passive Solar Heating Systems, *Building and Environment*, Vol. 26, No. 4, pp. 381-387.
- [28] Saadatian, O., Sopian, K., Lim, C.H., Asim, N., Sulaiman, M.Y., (2012), Trombe walls: A review of opportunities and challenges in research and development, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012) 6340–6351.
- [29] Hu, Zh., He, W., Ji, J., Zhan, Sh., (2017), A review on the application of Trombe wall system in buildings, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 70, 976–987.
- [30] Clemens, J., Benkert, St., Braeske, T, CASAnova (version 3.3.08a), *An educational software for heating and cooling energy demand as well as temperature behaviour of buildings*, University of Siegen, 1999-2007.
- [31] Borda, R., Zöld, A., Berg, K., Dallmann, P., Hódossy, Sz., Huray, Z., Szűcs, Á., Várfalvi, J., Reis, F., Parti, M., Bürszem, G., *Isover, Épületek energetikai jellemzőinek számítása vázlattevek alapján*, Saint-Gobain Isover Hungária, 2002.