

Dinamikus paraméterek az energiaigény számításában

1. rész: Nettó fűtési energiaigény avagy szorozzuk-e hasznosítási tényezővel?

Szalay Zsuzsa¹ – Kiss Benedek²

Abstract

This paper compares the calculation of heating energy need according to the Hungarian official methodology used for the certification of buildings and the seasonal method in the EN ISO 13790 standard. Both methods have a similar structure, but the Hungarian method contains several simplifications. A major simplification is that dynamic parameters in the utilisation of heat gains are not calculated, but the utilisation factors are fixed values for two categories of buildings (lightweight and heavyweight). This paper analyses the error as a result of this simplification on an example residential and office building. To increase the number of cases, a Monte Carlo analysis is performed with varying parameters of the geometry of the building, the orientation, thermal transmittance, window-to-wall ratio, shading and internal heat capacity.

According to the results, the Hungarian methods consequently overestimates the heating energy need by 3–4 kWh/m²a on average, which is acceptable for conventional buildings. However, for very low energy buildings with high internal heat gains it is advisable to calculate the utilisation factors according to the 13790 standard, as in this range the Hungarian method may underestimate the energy need.

Bevezetés

A fűtési és hűtési energiaigény számításakor a hőtárolás – hőtehetetlenség miatti dinamikus hatások figyelembe vétele különböző módszerekkel történhet. A dinamikus szimulációs szoftverek egyik erőssége – az elnevezésükkel összhangban – az épület dinamikus viselkedésének komplex leírása: a hőveszteségek, a hőnyereségek és a hőtárolás kölcsönhatását óras szinten modellezik. A havi és a szezonális módszerek a dinamikus hatásokat egyszerűsített módon, a hasznosítási tényezőkkel veszik figyelembe. Ezek azt fejezik ki, hogy a hőnyereségeknek havi vagy idény átlagban csak egy bizonyos hányada hasznosul: hiába vannak bizonyos időszakokban nagy nyereségek, ezek a veszteségektől és az épület hőtehetetlenségétől függő mértékben járulnak hozzá a fűtési energiaigény csökkentéséhez.

A 7/2006. TNM rendelet is alkalmaz hasznosítási tényezőket a fűtési energiaigény meghatározásakor, ugyan erősen leegyszerűsített formában.

Az épületeket két kategóriába osztja (könnyű és nehéz) és a kategóriákhoz állandó hasznosítási tényezőket rendel (0,5 és 0,75). Eredetileg a hasznosítási tényezők csak a sugárzási nyereségek képletében szerepeltek, de a legutóbbi rendelet-módosításkor bekerült a IV.1. Tervezési adatok c. táblázatba egy lábjegyzet, miszerint „a fűtési energia igény számításánál a belső hőnyereség hasznosult hányadát fajlagos hőtároló tömeg függvényében le kell csökkenteni.” [1] A képletek nem módosultak, ezért a szakmában van némi bizonytalanság arra vonatkozóan, hogy a hasznosítási tényezőt hol és hogyan lenne helyes figyelembe venni.

Ebben a cikkben összehasonlítjuk a TNM rendelet egyszerűsített eljárását az MSZ EN ISO 13790 szabvány szerinti havi és szezonális módszerrel a fűtési és a hűtési energiaigény meghatározására, különös tekintettel a dinamikus paraméterek hatására. A cikk első része a fűtési, a második rész a hűtési energiaigény számítási módszereivel foglalkozik.

A továbbiakban a 7/2006. TNM rendeletre az olvashatóság kedvéért „rendeletként”, az MSZ EN ISO 13790 szabványra pedig „szabványként” hivatkozunk.

MSZ EN ISO 13790

Az MSZ EN ISO 13790 szabvány [2] különböző részletességű módszereket tartalmaz: a havi és a szezonális módszer mellett egy egyszerűsített órai módszert is megad, illetve a dinamikus szimulációra is közöl peremfeltételeket. Itt a havi és a szezonális módszerről lesz szó, különös tekintettel a dinamikus paraméterek alkalmazására.

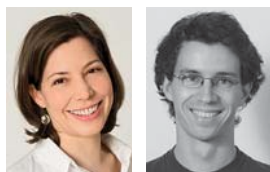
A módszer nem újkeletű: alapjait a PASSYS projekt fektette le 1989-1993 között [3] A projekt fő célja a passzív szolár energia hasznosításának fokozása volt, ehhez dolgoztak ki egy egyszerűsített tervezési szoftvert, amely sok módszertani fejlesztést kívánt. Felismerték a hiányt, hogy az addig alkalmazott módszerek a nyereségek hasznosulási fokát egyáltalán nem, vagy csak durva közelítéssel vették figyelembe. A projektben nagyszámú, több éghajlatra, hőtehetetlenségi kategóriára és üvegezési arányra elvégzett szimuláció alapján vezettek le korrelációs együtthatókat a hasznosítási tényező leírásához. Az eredeti módszer csak a fűtési energiaigénnyel foglalkozott, azóta továbbfejlesztették, kiegészítették a hűtési energiaigény számításával és más éghajlatokra is levezettek együtthatókat [4, 5], de a módszer alapjaiban nem változott.

A fűtési energiaigény a szabvány szerint a téli hőveszteség és a hőnyereség hasznosított hányadának a különbsége. A számítási időszak a fix idényhossz a szezonális és a hónap a havi módszer esetén.

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,g} Q_{H,g} \quad (1)$$

¹ BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

² BME Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék

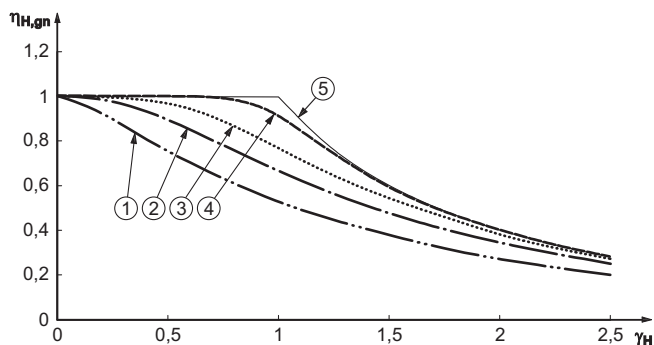


ahol

- $Q_{H,nd}$ – az épület fűtési energiaigénye [MJ];
 $Q_{H,ht}$ – a teljes hőveszteség a fűtési módban, transzmisszió és szellőzés [MJ];
 $Q_{H,gn}$ – a teljes hőnyereség a fűtési módban, szoláris és belső nyereségek [MJ];
 $\eta_{H,gn}$ – a nyereség hasznosítási tényező [-].

Lehetőség van nemcsak épületszintű, hanem zónákra vonatkozó számításokra is, de ezzel itt nem foglalkozunk részleteesen. Szintén nem térünk most ki a szakaszos üzem hatására, melyre külön képletek vonatkoznak.

A hasznosítási tényező függ a nyereségek és a veszteségek arányától (γ_H), illetve az időállandótól. Az **1. ábra** szerint egy nagyon nagy hőtehetetlenségű épületben (5 – elméleti végtelen időállandó) a nyereségek maximálisan hasznosulnak, amíg az összes nyereség el nem éri az összes veszteséget, azután viszont csak a veszteségek mértékéig (a többi nyereség túlfűtést okozna). Kisebbségi hőtehetetlenségű épületben az ideális hasznosulás nem tud megvalósulni, ezért a hasznosítási tényező kisebb az elméleti határnál. Fontos megjegyezni, hogy a görbéket a fűtési rendszer jellegétől függetlenül, tökéletes szabályozást és végtelen rugalmasságot feltételezve határozták meg. A valóságban a fűtési rendszer szabályozása és reakcióideje nagyban befolyásolhatja a nyereségek hasznosítását, azonban ezt nem itt, hanem a szabályozási veszteségeknél vesszük figyelembe.



1. ábra. A nyereség hasznosítási tényező különböző időállandó esetén, havi számítási módszer

1 – 8 órás, 2 – 1 napos, 3 – 2 napos, 4 – 1 hetes és 5 – végtelen időállandó

A nyereség hasznosítási tényező ($\eta_{H,gn}$) képlettel is leírható a nyereségek és a veszteségek aránya (γ_H), illetve az épület hőtehetetlenségétől függő a_H numerikus tényező segítségével:

$$\text{ha } \gamma_H > 0 \text{ és } \gamma_H \neq 1 \quad \eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}}, \quad (2)$$

$$\text{ha } \gamma_H = 1 \quad \eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1}, \quad (3)$$

$$\text{ha } \gamma_H < 0 \quad \eta_{H,gn} = \frac{1}{\gamma_H}. \quad (4)$$

A nyereségek és veszteségek aránya a fűtési időszakban:

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}}. \quad (5)$$

Az a_H numerikus tényező:

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}}, \quad (6)$$

ahol:

- $a_{H,0}$ – fűtési referencia numerikus tényező, [-];
 τ – az épületzóna időállandója, [h];
 $\tau_{H,0}$ – fűtési referencia időállandó, [h].

Az $a_{H,0}$ és $\tau_{H,0}$ értékek dinamikus szimuláció alapján levezetett empirikus értékek. Értékei nemzeti szinten is megadhatók, de nemzeti értékek hiányában az **1. táblázat** értékei használhatók.

1. táblázat. Az $a_{H,0}$ referencia numerikus tényező és a $\tau_{H,0}$ referencia időállandó értékei [2]

A módszer típusa	$a_{H,0}$	$\tau_{H,0}$ [h]
Havi számítási módszer	1,0	15
Idény szerinti számítási módszer	0,8	30

Az épület *időállandója* (τ) az épület hőtehetetlenségét, az épülettömeg hőmérsékletváltozásának a gyorsaságát jellemzi. Az időállandó nemcsak a hőtároló képességtől függ, hanem a hőveszteség-tényezőtől is:

$$\tau = \frac{C_m / 3600}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj}}, \quad (7)$$

ahol:

- C_m – az épület vagy épületzóna hőtároló képessége, [J/K];
 $H_{tr,adj}$ – a transzmissziós hőveszteség-tényező jellemző értéke, korrigálva az esetlegesen eltérő belső-külső hőmérsékletkülönbség miatt (pl. fűtetlen terek hatása), [W/K];
 $H_{ve,adj}$ – a szellőzési hőveszteség-tényező jellemző értéke, korrigálva az esetlegesen eltérő belső-külső hőmérsékletkülönbség miatt (pl. fűtetlen terek hatása), [W/K].

Nagy időállandó tehát többféleképpen is elérhető: nagy hőtároló képességgel vagy alacsony hőveszteség-tényezővel (jó hőszigeteléssel és légzárással). Jól hőszigetelt épületekben ezért a hőtároló képesség jelentősége kisebb.

A hőtároló képesség a belső levegővel közvetlen termikus kapcsolatban lévő épületszerkezetek hőtároló képességének az összege:

$$C_m = \sum \kappa_j \times A_j \quad (8)$$

ahol

- κ_j – a j épületszerkezet felületre vonatkoztatott hőtároló képessége, [J/m² K];
 A_j – a j épületszerkezet területe [m²].

Az EN ISO 13786 szabvány egyszerűsített, az effektív vastagságon alapuló módszere szerint a hőtároló képesség az egyes

rétegek vastagságának, testsűrűségének és fajhőjének a szorzata, a belső felülettől az effektív vastagságig összegezve a rétegeket:

$$\kappa_j = \sum_i \rho_i d_i c_i, \quad (9)$$

ahol

d_i – a réteg vastagsága [m];

ρ_i – a réteg testsűrűsége [kg/m³];

c_i – a réteg fajhője [J/kgK].

A 13790 szabvány a napi hőingadozást veszi figyelembe. Az effektív vastagság napi hőingadozás esetén a következő három érték közül a legkisebb vastagság: a belső felülettől vett 10 cm; a belső felülettől az első hőszigetelő rétegeig vett vastagság; vagy a szerkezet vastagságának fele.

A hőtároló képességet elegendő közelítőleg meghatározni, mivel az eredmények kevésbé érzékenyek erre a tényezőre. Elfogadható az épületek osztályokba sorolása, például a **2. táblázat** szerint vagy nemzeti szinten is meghatározhatók alapértékek.

2. táblázat. Hőtároló képesség szerinti osztályok [2]

Osztály	Havi és idény szerinti módszer $C_m, \text{J/K}$
Nagyon könnyű	80 000 · A_f
Könnyű	110 000 · A_f
Közepes	165 000 · A_f
Nehéz	260 000 · A_f
Nagyon nehéz	370 000 · A_f

A_f – az épület fűtött alapterülete

Fontos, hogy a szabvány nem tartalmaz hőfokhíd-korrekcíót, hanem fix fűtési idény hosszal és az ahhoz tartozó éghajlati adatokkal (sugárzási nyereség, hőmérsékletkülönbség) számol. A fix idényhossz időtartama nem kritikus adat, mivel a tényleges idényhosszat a hasznosítási tényező fogja meghatározni. Például, ha a ténylegesnél hosszabb idényt feltételezünk, a hasznosítási tényező értéke automatikusan kisebb lesz, mivel a fűtési igény nélküli időszakban fellépő extra nyereségek nem fognak hasznosulni. A feltételezett idényhosszon belül is lehetnek olyan időszakok, amikor nem kell fűteni. Túl rövid idényhosszat azonban nem szabad feltételezni.

A szabvány azt javasolja, hogy jellemző épületekre nemzeti szinten határozzák meg a fűtési idény hosszát. A fűtési idény tartalmazza mindazon napokat, amelyekre a hasznosított hőnyereség nem ellensúlyozza a hővesztéséget:

$$\theta_{e,\text{day}} \leq \theta_{\text{int,set,H,day}} - \frac{\eta_{\text{H,gn,l}} Q_{\text{gn,day}}}{(H_{\text{tr,adj}} + H_{\text{ve,adj}}) t_{\text{day}}}, \quad (10)$$

ahol:

$\theta_{e,\text{day}}$ – a napi átlagos külső hőmérséklet [°C];

$\theta_{\text{int,set,H,day}}$ – a fűtés parancsolt hőmérséklete [°C];

$\eta_{\text{H,gn,l}}$ – a nyereség hasznosítási tényező, $\gamma_{\text{H}} = 1$ -gyel számítva;

$Q_{\text{gn,day}}$ – a napi átlagos belső és szoláris nyereségek [MJ];

$H_{\text{tr,adj}}$ – a transzmissziós hővesztés-tényező, korrigálva az esetlegesen eltérő belső-külső hőmérsékletkülönbség miatt (pl. fűtetlen terek hatása) [W/K];

$H_{\text{ve,adj}}$ – a szellőzési hővesztés-tényező, korrigálva az esetlegesen eltérő belső-külső hőmérsékletkülönbség miatt (pl. fűtetlen terek hatása) [W/K];

t_{day} – a nap hossza, azaz 24 h vagy 0,0864 Ms.

A $(\theta_{\text{int,set,H,day}} - \theta_{e,\text{day}})$ érték hasonlít a TNM rendelet szerinti egyensúlyi hőmérsékletkülönbséghez: azt a hőmérsékletkülönbséget keressük, amikor a nyereségek pont ellensúlyozzák a veszteségeket. A szoláris nyereség a fűtési idény határánál jellemző érték (a rendeletben a novemberi intenzitás). Itt napi energiahozamok/vesztések szerepelnek, a rendeletben átlagos napi intenzitások.

7/2006. TNM rendelet

Az éves nettó fűtési energiaigény a rendelet szerint [1]:

$$Q_{\text{F}} = H V (q + 0,35n) \sigma - Z_{\text{F}} A_{\text{N}} q_{\text{b}}, \quad [\text{kWh/a}], \quad (11)$$

ahol

H – az éves fűtési hőfokhíd ezredrésze [khK/a];

V – fűtött térfogat [m³];

q – fajlagos hővesztés-tényező [W/m³K];

0,35 – a levegő sűrűségének, fajhőjének és a mértékegység átváltásához szükséges tényezőknek a szorzata [Wh/m³K];

n – légcsereszám [1/h];

σ – a szakaszos üzemvitel hatását kifejező korrekciós tényező;

Z_{F} – a fűtési idény hosszának ezredrésze [kh/a];

A_{N} – nettó fűtött szintterület [m²];

q_{b} – a belső hőterhelés fajlagos értéke [W/m²].

Egyszerűsített módszer esetén a standard hőfokhíddal és a fűtési idény hosszával lehet számolni, $H = 72$ és $Z_{\text{F}} = 4,4$. Más képlet vonatkozik arra az esetre, ha a fűtési igényt részben a légtechnikai rendszerbe épített hővisszanyerő vagy léghevítő fedezi, de ezekkel az esetekkel itt nem foglalkozunk.

A fajlagos hővesztés-tényező értéke:

$$q = \frac{1}{V} \left(\sum AU + \sum l \Psi - \frac{Q_{\text{sd}} + Q_{\text{sid}}}{72} \right), \quad (12)$$

ahol:

AU – a lehűlő felületek területének és hőátbocsátási tényezőjének a szorzata [W/K];

$l \Psi$ – a hőhidak hosszának és vonalmenti hőátbocsátási tényezőjének a szorzata [W/K];

Q_{sd} – a direkt sugárzási hőnyereség [kWh/a];

Q_{sid} – az indirekt sugárzási hőnyereség [kWh/a].

A fajlagos hővesztés-tényező képletét a nettó fűtési energiaigény képletébe helyettesítve, átrendezve és az indirekt sugárzás tagot elhanyagolva a következő összefüggést kapjuk:

$$Q_F = H \left(\sum AU + \sum l\Psi + 0,35n \right) \sigma - Q_{sd} \cdot \frac{H}{72} \cdot \sigma - Z_F A_N q_b, \text{ [kWh/a]} \quad (13)$$

Az átrendezett képlet hasonlít az (1) képletre: a transzmissziós és a szellőzési hőveszteségek összegét csökkentjük a szoláris és a belső hőnyereségekkel. A különbség a dinamikus paraméterek kezelésében és az idényhossz meghatározásában van. A belső hőnyereségek nincsenek megszorozva a hasznosítási tényezővel, bár a legutóbbi rendeletmódosítás ezt megváltoztatta, de nem egyértelmű az előírás. A szoláris nyereségek tagban szerepel a hasznosítási tényező:

$$Q_{sd} = \varepsilon \sum A_{\dot{U}} g Q_{TOT}, \text{ [kWh/a]}, \quad (14)$$

ahol

- ε – hasznosítási tényező;
- $A_{\dot{U}}$ – az üvegezés felülete [m²];
- g – az üvegezés összesített sugárzásátbocsátó képessége;
- Q_{TOT} – a hagyományos fűtési idényre vonatkozó sugárzási energiahozam [kWh/m², idény].

A hasznosítási tényező a 13790 módszerrel szemben itt fix érték: 0,75 nehéz és 0,5 könnyű épületek esetén. Fix idényhossz helyett viszont részletes módszer esetén lehetőség van az idényhossz korrekciójára az egyensúlyi hőmérsékletkülönbség alapján:

$$\Delta t_b = \frac{Q_{sd} + Q_{sid} + A_N q_b}{\sum AU + \sum l\Psi + 0,35nV} + 2. \quad (15)$$

Ez azt a belső-külső hőmérsékletkülönbséget jellemzi, amikor a nyereségek és a veszteségek pont egyensúlyban vannak. A szoláris nyereséget az egyensúlyi hőmérsékletkülönbség számításához tartozó novemberi átlagintenzitás alapján kell számolni. Ez alapján a rendeletben közölt táblázatból felvehető az idény hossza és a hőfokhíd.

Feltételezések

A TNM rendelet szerinti módszer eredményeit egy esettanulmány segítségével hasonlítjuk össze a 13790 szabvány szerinti eredményekkel. A bemenő adatokat lehetőség szerint azonosnak vettük fel. Mivel a havi módszer éghajlati bemenő adatai nem teljesen egyeznek a TNM rendeletbeli értékekkel, ezért a szezonális módszert alkalmaztuk a TNM szerinti standard hőfokhíddal (okt. 15. – ápr. 15, 72000 hK, 4400 h) és sugárzási értékekkel (D: 400, K – Ny: 200, É: 100 kWh/m²), de később a havi és a szezonális módszer közötti különbséget is elemezzük.

Az épület fő alapadatait a **3. táblázat** tartalmazza. Az épület közép magas, közepes méretű, az egyszerűség kedvéért téglalap alaprajza van, fűtetlen pincéje és lapostetője, a megadott méretek belméretek. Az ablakok felületét a teljes homlokzati felülethez képest százalékosan adjuk meg. Az ablakok tájolását a D-i és az É-i ablakok aránya jellemzi a teljes ablakfelülethez képest. Az épület hőszigetelési szintje a TNM rendelet 1. mellékletben (alap) és az 5. mellékletben (költségoptimális) megadott értékek között van. A hőhidasságot a TNM ren-

delet egyszerűsített módszere szerint falak esetén 0,3-nak, a tető és a pince esetén 0,1-nek feltételeztük. A pincében a fűtetlen tér miatt alkalmazott szorzó 0,5.

A sugárzási nyereségekhez az ablakok esetén fix keretaránnyal számoltunk és teljes benapozottsággal (külső akadályok, tagozatok elhanyagolva). Az összesített sugárzásátbocsátási képességet (g -érték) 0,5-nek feltételeztük 3 rétegű és 0,65-nek 2 rétegű ablakok esetén (egyszerűsített módon az 1,3 W/m²K fölötti U -értéket 2 rétegűnek tekintve).

A hőtároló képességet az összehasonlíthatóság érdekében J/K-ben adtuk meg, a 400000 · A_N -nél nagyobb értékek a TNM rendelet szerint a nehéz kategóriába esnek.

A számításokat lakóépület és irodaépület funkció feltételezésével is lefuttattuk, ennek megfelelően a belső hőnyereség értéke 5, illetve 7 W/m², az átlagos légcsereszám 0,5, illetve 0,8 1/h, hővisszanyerőt nem feltételeztünk. Alapesetben folyamatos működést feltételeztünk, és a rendeletnek megfelelően télen 20 °C parancsolt hőmérsékletet.

A vizsgált mintaszám növelése érdekében Monte Carlo elemzést végeztünk, ahol az egyes értékek a 3. táblázatban megadott minimum és maximum között véletlenszerűen változtak (egyenletes eloszlással), így 1000 különböző lehetséges esetet állítottunk elő.

A rendelet és a szabvány számítási módszere nagy vonalakban azonos gondolatmenetet követ, de a szabványban lehetőség

3. táblázat. Bemenő paraméterek

	Minimális érték	Maximális érték
Egy szint fűtött alapterülete (A_f)	200 m ²	400 m ²
Fűtött szintek száma	3	4
Alaprajz egyik oldalhossza	10 m	$\sqrt{A_f}$
Belmagasság	2,7 m	3 m
Ablakarány a teljes homlokzathoz képest	10%	30%
D-i ablakok aránya az összes ablakfelülethez képest	25%	50%
É-i ablakok aránya az összes ablakfelülethez képest	5%	10%
Hőátbocsátási tényező, fal (U_{fal})	0,24 W/m ² K	0,45 W/m ² K
Hőátbocsátási tényező, tető ($U_{tető}$)	0,17 W/m ² K	0,25 W/m ² K
Hőátbocsátási tényező, pince (U_{pince})	0,26 W/m ² K	0,50 W/m ² K
Hőátbocsátási tényező, ablak (U_{ablak})	1,15 W/m ² K	1,60 W/m ² K
Ablak keretaránya	30%	30%
Összes sugárzásátbocsátási képesség ($g_{üveg}$)	0,50	0,65 (ha $U_{ablak} > 1,3$ W/m ² K)
Hőtároló képesség (C_m)	125 000 · A_N	600 000 · A_N
Belső hőnyereség (q_b)	5 (7) W/m ²	5 (7) W/m ²
Átlagos légcsereszám télen (n_{tel})	0,5 (0,8) 1/h	0,5 (0,8) 1/h

van több bemenő paraméter pontosabb megadására, illetve többzónás számításokra is útmutatást ad. A hasznosítási tényezők megadásához és a fűtési energiaigény számításához az előző pontokban ismertetett képleteket használtuk.

A rendelet és a szabvány között több kisebb eltérés is van. Például a szellőzési veszteséghez szükséges a levegő sűrűségének és fajhőjének a szorzata, ami pontosan $\rho_a c_p = 0,33 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K})$, de a TNM rendeletben 0,35-re van kerekítve, az egységesség kedvéért itt az utóbbit használtuk.

Hibabecslés

A cél a kétféle számítási módszer összehasonlítása volt, ezért az eredmények közötti eltérést vizsgáltuk hibabecsléssel.

Az átlagos abszolút hiba (MAE) számításakor a két érték különbségének abszolút értékét vesszük kWh/m²a értékben. Ez nem veszi figyelembe a hiba irányát, viszont kiküszöböli a különböző irányú hibák egymást kiegyenlítését:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_n |Q_{F,TNM} - Q_{F,13790}|$$

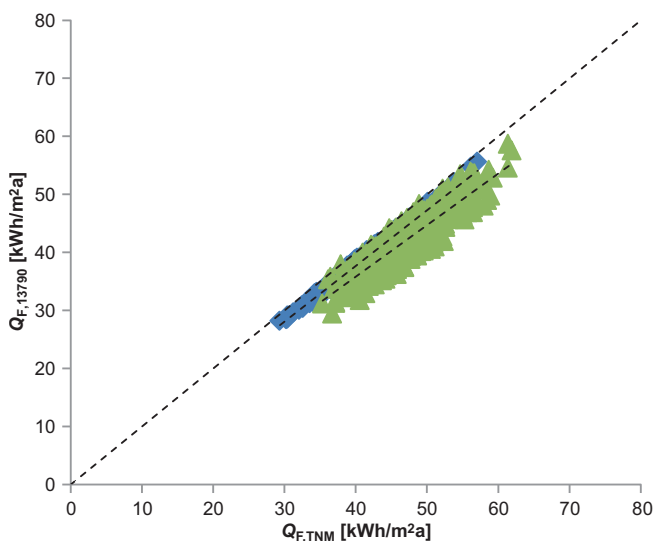
Ezenkívül vizsgáltuk a százalékos eltérést is az átlagos abszolút százalékos hiba (MAPE) segítségével:

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_n \left| \frac{Q_{F,13790} - Q_{F,TNM}}{Q_{F,13790}} \right|$$

Eredmények

Havi kontra szezonális módszer

Az összehasonlíthatóság érdekében a rendelet szerinti módszert a 13790 szabvány szezonális módszerével lehet összevetni. Felmerülhet azonban a kérdés, hogy mennyire pontos a szabvány szezonális módszere a havi módszerhez képest. A TNM-ben megadott idényre vonatkozó éghajlati adatoknak pontosan megfelelő havi adatok azonban nem álltak rendelkezésünkre. Az éghajlati adatok alapvetően befolyásolják az energiaigényt, de ennek a cikknek nem célja a rendeletben megadott éghajlati adatok megfelelőségének vizsgálata, ezzel foglalkozó kutatások megtalálhatóak máshol [pl. 6].



4. táblázat. A 13790 szabvány szerinti szezonális fűtési energiaigény becslés hibája a havi módszerhez képest

	MAE [kWh/m ² a]	MAE szórása [kWh/m ² a]	MAPE [%]	MAPE szórása
13790 szezonális – 13970 havi, lakó- épületek	0,8	0,5	2,4	1,5
13790 szezonális – 13970 havi, iroda- épületek	0,8	0,5	1,6	0,9

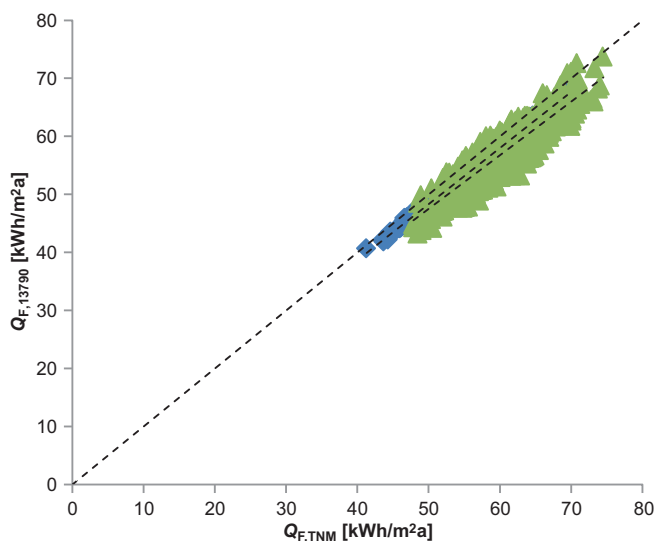
A havi hőmérsékleti adatokat Budapest 1981-2010 közötti éghajlati adataiból vettük [7] alapján, a függőleges felületre érkező havi sugárzási energiahozamot [8] alapján a budapesti napfénytartam adatokból levezetve (1981 – 2010). A havi adatokból a fűtési idényre vonatkozó értékeket az október 15. – április 15. közötti időszakra összegeztük. A 4. táblázat szerint a havi és a szezonális módszer szerinti különbség nagyon kicsi, átlagban 1 kWh/m²a alatt marad.

Érdeklődésként megvizsgáltuk, hogy a szezonális módszerben az idényhossz választása mennyire befolyásolja az eredményeket. Október 1. – április 30., illetve november 1. – március 30. idényhosszat feltételezve az eredmények alig változnak (1 kWh/m²a-n belül). Ennek az az oka, hogy a szabvány szerinti módszer (reális tartományban) kevésbé érzékeny az idényhossz változására a hasznosítási tényező változása miatt.

TNM kontra 13790

A 2. ábra a rendelet és a szabvány szerint számított fűtési energiaigényt mutatja lakóépület és irodaépület esetén. A TNM szerinti számításban a hőfokhidat részletesen számítottuk, a belső hőnyereséget az eredeti képletnek megfelelően nem szoroztuk hasznosítási tényezővel. Az ábrákon feltüntettük a két számítási módszer egyezősége esetén kapott egyenest.

A TNM szerint számított érték lakóépületek esetén mindig nagyobb, mint a szabvány szerinti érték, az átlagos eltérés 3,8 kWh/m²a vagy 9,5% (4. táblázat 1. sor). A TNM tehát a „biztonság javára” téved. Irodaépületek esetén valamivel kisebb a hiba, és kis számban előfordul olyan eset, amikor a



2. ábra. Fűtési energiaigény TNM részletes módszerrel, valamint a 13790 szabvány szerint számolva a) lakóépületek és b) irodaépületek esetén (zöld: könnyű épületek, kék: nehéz épületek)

TNM alulbecsli az energiaigényt. Könnyű épületek esetén mindkét épületfunkció esetén nagyobb a hiba és a hiba szórása, mint nehéz épületeknél. Kis mértékben nő a hiba, ha a hőfokhidat és az idényhosszt egyszerűsített módon, a standard értékkel vesszük figyelembe (4. táblázat, 3-4. sor).

Belső nyereség hasznosítási tényezővel szorozva

Nézzük meg, hogy mit jelentene a rendelet legutóbbi, a hasznosítási tényezőre vonatkozó módosítása, ha a belső hőnyereséget is megszoroznánk ugyanazzal a hasznosítási tényezővel, mint a szoláris nyereségeket. A 3. ábrán jól látszik, hogy a 13790 eredményektől való eltérés ennek hatására növekszik, a képlet ugyanígy már egyértelműen túlságosan a biztonság javára téved. Az átlagos abszolút hiba 12-14 kWh/m²a között van, ez 26-30% százalékos hibát jelent, tehát sokkal nagyobb, mint az eredeti képlettel (4. táblázat, 5-6. sor). Jól látszik, hogy a könnyű és a nehéz épületek populációja elkülönül egymástól: a könnyű épületek esetén a belső hőnyereséget is 0,5-tel kell szorozni, ami nagymértékben növeli a fűtési energiaigényt, de ez nem egyezik a szabvány szerinti eredménnyel.

A hőszigetelés hatása

Megvizsgáltuk a hőszigetelési szint hatását az eredményekre a TNM szerinti eredeti képlettel (a belső hőnyereséget nem szorozva a hasznosítási tényezővel). Először rosszabb hőszigetelést tételeztünk fel, ami a meglévő épületállományra jellemző ($U_{fal} = 0,45 - 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{tető} = 0,25 - 1 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{pince} = 0,5 - 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{ablak} = 1,6 - 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$) (4. táblázat, 7-8. sor). A TNM rendelet ebben az esetben is a biztonság javára felülbecsüli a fűtési energiaigényt, átlagosan 5 – 7 kWh/m²a értékkel, de a nagyobb abszolút érték miatt százalékosan ez kisebb tévedést jelent (4-6%), mint az átlagos hőszigetelési szint esetén.

A jobb hőszigetelésű szint a közel nulla energiaigénytű vagy annál is jobb épületekre lesz jellemző ($U_{fal} = 0,15 - 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{tető} = 0,12 - 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{pince} = 0,2 - 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{ablak} = 0,8 - 1,15 \text{ W/m}^2\text{K}$). A lakóépületek esetén az előzőekhez hasonlóan a TNM mindig felülbecsli az energiaigényt, de csak 2 – 3 kWh/m²a értékkel. A kis abszolút értékek miatt szá-

zalékosan ez többet jelent. Könnyű irodaépületek esetén nagyon kevés esetben, de előfordul, hogy a TNM ad kisebb értéket, de a különbség csak 1 – 2 kWh/m²a (4. táblázat, 9-10. sor).

A hővisszanyerő hatása

Következő esetben a légtechnikai rendszerbe épített hővisszanyerő hatását vizsgáltuk (4. táblázat, 11-12. sor). A hővisszanyerő a veszteségeket és ezáltal a nettó fűtési energiaigényt csökkenti. 70% hatásfokú, folyamatosan működő hővisszanyerőt feltételeztünk. Ez a feltétel irodaépületek esetén nem életszerű, de ebben a cikkben a szakaszos üzem hatását nem vizsgáljuk, arra külön képletek vonatkoznak a szabványban. Az eltérés 2 – 3 kWh/m²a, de a százalékos hiba a kis abszolút értékek miatt akár 13 – 22% is lehet.

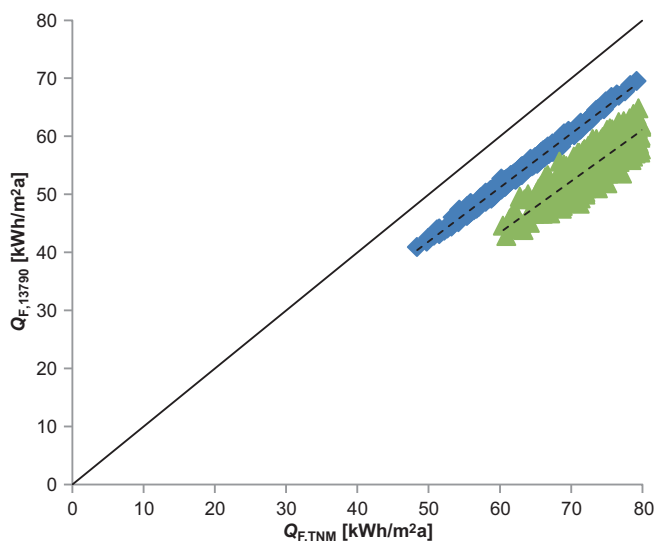
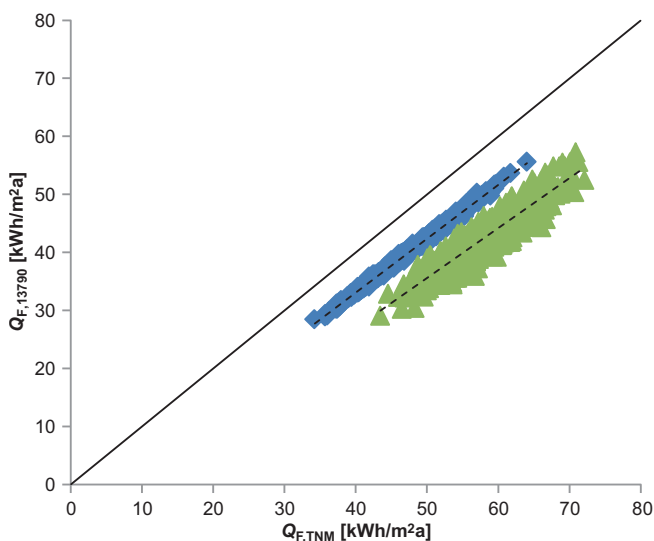
Jó hőszigetelés és hővisszanyerés

Ha a jó hőszigetelést és a hővisszanyerést kombináljuk, a hőveszteségek nagyon lecsökkennek. Lakóépületek esetén az eddigi megállapítások általánosan még érvényesek, az átlagos eltérés 2 kWh/m²a és csak néhány esetben fordul elő, hogy a TNM alulbecsüli az energiaigényt (4. ábra a) eset). A százalékos eltérés már igen magas is lehet, átlagosan 40% körüli, de ez az igen alacsony abszolút értékeknek köszönhető. Irodaépületek esetén viszont a 4. ábrán jól látható, hogy bár az átlagos abszolút hiba kicsi, de a TNM-féle képlet sok esetben alulbecsüli az energiaigényt és ezzel a biztonság kárára tévedünk. A TNM képlettel néhány esetben akár negatív energiaigényt is kaphatunk, ami nyilvánvalóan nem reális.

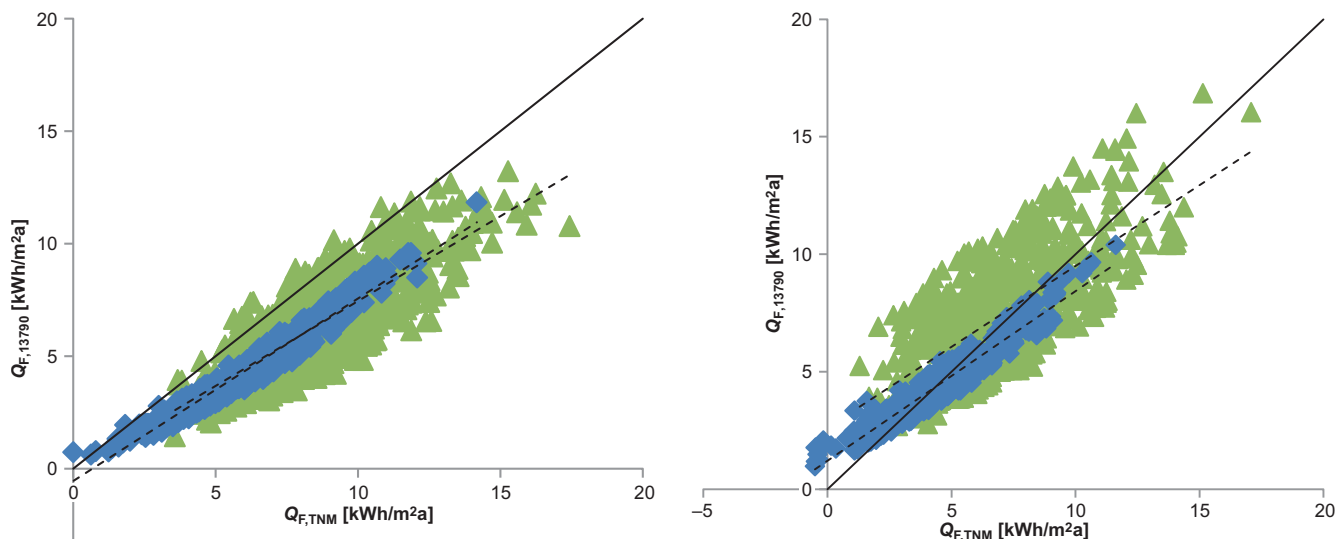
Próbaképpen megnéztük, mi történik, ha ebben az esetben beszoroznánk a belső hőnyereséget a hasznosítási tényezővel a TNM új módosítása szerint. A negatív értékek eltűnnek, a biztonság javára tévedünk, de a képlet nem korrelál jól a szabvány szerinti képlettel, az eltérés 10 kWh/m²a körül van, a százalékos eltérés akár 200% is lehet.

Összefoglalás

A cikkben áttekintettük a 7/2006. TNM rendelet és az MSZ EN ISO 13790 szabvány szerinti nettó fűtési energiaigény



3. ábra. Fűtési energiaigény TNM részletes módszerrel, belső hőnyereséget is hasznosítási tényezővel szorozva, valamint a 13790 szabvány szerint számolva, a) lakóépületek és b) irodaépületek esetén (zöld: könnyű, kék: nehéz épületek)



4. ábra. Fűtési energiaigény TNM részletes módszerrel, valamint a 13790 szabvány szerint számolva, jól hőszigetelt és hővisszanyerővel rendelkező épületek, a) lakóépületek és b) irodaépületek esetén (zöld: könnyű épületek, kék: nehéz épületek)

5. táblázat. A TNM szerinti fűtési energiaigény becslés hibája a 13790 szabványhoz képest

		MAE [kWh/m ² a]	MAE szórása [kWh/m ² a]	MAPE [%]	MAPE szórása
1	TNM részletes, lakó- épületek	3,8	2,0	9,4	5,0
2	TNM részletes, iroda- épületek	2,8	1,9	5,1	3,3
3	TNM egyszerűsített, lakóépületek	4,3	1,9	10,7	5,2
4	TNM egyszerűsített, irodaépületek	3,2	1,8	6,0	3,5
5	TNM részletes, belső nyereség is hasznosítási tényezővel, lakóépület	12,1	4,3	30,4	10,8
6	TNM részletes, belső nyereség is hasznosítási tényezővel, irodaépület	14,2	4,8	26,1	8,7
7	TNM részletes, lakóép., rosszabb hőszigetelés	6,6	2,5	6,8	2,4
8	TNM részletes, iroda- épület, rosszabb hőszig.	4,8	2,2	4,3	1,9
9	TNM részletes, lakó- épületek, jó hőszigetelés	2,6	1,6	9,3	5,7
10	TNM részletes, iroda- épület, jó hőszigetelés	1,9	1,4	4,4	3,3
11	TNM részletes, lakó- épület, hővisszanyerő	3,4	1,6	22	12
12	TNM részletes, iroda- épület, hővisszanyerő	2,1	1,3	13,2	8,6
13	TNM részletes, lakóépü- let, hővisszanyerő és jó hőszigetelés	2,1	1,15	41,7	24,9
14	TNM részletes, irodaépü- let, hővisszanyerő és jó hőszigetelés	1,1	1	19,1	17,3

számítási módszereket, különös tekintettel a dinamikus tényezők kezelésére. Monte Carlo elemzés segítségével egy 1000 darabos mintán összehasonlítottuk a TNM rendelettel és a szabvány szerinti szezonális módszerrel kapott eredményeket mai követelményeknek megfelelő, középmagas lakó- és irodaépületek esetén.

Az eredmények szerint a TNM módszere szinte minden esetben kismértékben (3 – 4 kWh/m²a) túlbecsüli a fűtési energiaigényt a szabvány szezonális módszeréhez képest, amennyiben az eredeti TNM képletet használjuk. Ha viszont a belső hőnyereséget is megszorozzuk a rendelet szerinti hasznosítási tényezővel, a túlbecslés mértéke tovább nő (12 – 14 kWh/m²a). Tehát az eredeti képlet elfogadható, a számítások alapján nem indokolt a legutóbbi rendeletmódosítás, miszerint a belső hőnyereség hasznosult hányadát le kellene csökkenteni. Ennek az az oka, hogy a TNM-ben a szoláris nyereségek esetén alkalmazott 0,5 és 0,75 hasznosítási tényezők alacsonyabbak a 13790 szabvány szerint kapott hasznosítási tényezőknél, viszont ezt ellensúlyozza, hogy a belső hőnyereséget jelenleg nem szorozzuk semmivel.

Az elvégzett számítások alapján a jelenlegi módszer elfogadható. Hangsúlyozni kell azonban, hogy az összehasonlítás nem dinamikus szimulációkkal, hanem egy másik stacioner számítási módszerrel történt. A 13790 szabvány módszere dinamikus szimulációkkal validált, elfogadott módszer, de az itt közölt eredményekben van némi bizonytalanság, mivel a dinamikus paraméterekre a szabvány alapértékeit alkalmaztuk. Ezeket az értékeket nemzeti szinten érdemes felülvizsgálni és pontosítani dinamikus szimulációk vagy órai számítások elvégzésével. A szabvány júniusban elfogadott utódja, az ISO 52016, várhatóan elő is írja majd ezeket a háterszámításokat.

Nagyobb számítási pontosság igénye esetén, illetve ha jobb energetikai minőséget szeretnénk igazolni, javasolható a 13790 szabvány szerinti módszer. Nagyon alacsony hőveszteségek (közel nulla szintű hőszigetelés és hővisszanyerős szellőzés) és nagy hőnyereségek (irodaépületek vagy ennél is nagyobb belső hőnyereségek) esetén célszerű a 13790 szabvány szerint meghatározni a hasznosítási tényezőket, mivel ebben a tartományban a TNM képlet már sok esetben alulbecsüli az energiaigényt, extrém esetben akár negatív energiaigény is kijöhet. A 13790 szerinti számítás egyébként nem sokkal munkaigényesebb: a minimális bemenő adatok azonosak, a hasznosítási tényező képlete bonyolultabb, viszont nem szükséges a hőfokhidat korrigálni.

Köszönetnyilvánítás

Szalay Zsuzsa munkáját a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatja.

Irodalomjegyzék

- [1] 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról
- [2] MSZ EN ISO 13790:2008. Épületek energetikai teljesítőképessége. A fűtési és hűtési energiaigény számítása
- [3] PASSYS-II, Research Report of the Simplified Design Tool Subgroup. Commission of the European Communities, Directorate General XII, Contract JOUE-CT90-0022, Brüsszel, September 1993
- [4] Oliveira Panão, M.J.N., Camelo, S.M.L. & Gonçalves, H.J.P., 2011. Assessment of the Portuguese building thermal code: Newly revised requirements for cooling energy needs used to prevent the overheating of buildings in the summer. *Energy*, 36(5), pp. 3262–3271. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2011.03.18>.
- [5] Van Dijk, H.A.L., Spiekman, M.E., De Wilde, P., A monthly method for calculating energy performance in the context of European building regulations, Proceedings of the Building Simulation 2005 Conference, Montreal (Kanada), August 2005
- [6] Csomor Rita: Hőfokhid és fűtési idény hossza. Elmélet és gyakorlat. 3. rész: Régi és új definíciók – folytatás. Magyar Épületgépészet, 2017/6.
- [7] Nagy Balázs: A szoláris nyereségek pontosítása a hazai épületenergetikai számításoknál. TDK dolgozat, BME, 2011.
- [8] Horváth Miklós: Adott felületre érkező globálsugárzás számítása, rendszerszintű hasznosítása épületekben. PhD disszertáció, 2017.

Gábor Dénes-díj

A NOVOFER Alapítvány immár 29. alkalommal hirdeti meg a **Gábor Dénes-díj** felterjesztési felhívását. A díjjal a műszaki és természettudományi felsőoktatás képviselőit, kutató-fejlesztő szakembereit kívánják elismerni és további alkotó munkára ösztönözni. A Gábor Dénes-díjat 2017 decemberében ünnepélyes keretek között, több kategóriában a **Parlamentben** adják át.

A kritériumokat tartalmazó részletes felhívás és a jelentkezéshez szükséges adatlapok a

<http://www.gabordenes.hu/palyazati-felhivasok>

internetes címen érhető el letölthető formátumban.

A felterjesztések leadási határideje: **2017. október 10.**

További információk:

e-mailben a barany.alapitvany@novofer.hu, illetve az alapitvany@novofer.hu címen

Ipari szellőztetési megoldások a Lindabtól



Légcsatorna hálózat

Légkezelők
EX minősítéssel



Ipari befűvők

Ventilátorok



+36 23/531-111

info.vent@lindab.com

Lindab[®]
www.lindab.hu