

Dinamikus paraméterek az energiaigény számításában

2. rész: Nettó hűtési energiaigény

Szalay Zsuzsa¹ – Kiss Benedek²

Abstract

This paper compares the calculation of cooling energy need according to the Hungarian official methodology used for the certification of buildings with the seasonal method in the EN ISO 13790 standard. The Hungarian method contains several simplifications and neglects several factors, for example the dynamic parameters accounting for the thermal inertia of the building. This paper analyses the error as a result of the simplifications 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, internal heat capacity and night ventilation volumes.

According to the results, the Hungarian method underestimates the cooling energy need by 4-6 kWh/m²a on average. As the energy need is a relatively small number, the relative error can be very large. The two methods do not correlate well. For buildings with high internal gains (e.g. offices), it is advisable to apply the method of the international standard or to perform a dynamic simulation.

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 hővezetési ellenállások, a hőnyereségek és a hőtárolás kölcsönhatását órás szinten modellezik. A havi és a szezonális módszerek a dinamikus hatásokat egyszerűsített módon, a hasznosítási tényezőkkel veszik figyelembe.

A 7/2006. TNM rendeletben a hűtési energiaigény számítása néhány egyszerű képlettel történik. Először a hűtési napok számát határozzuk meg, amikor a belső hőmérséklet gépi hűtés nélkül várhatóan meghaladná a hőérzet szempontjából elfogadható maximumot, majd az ezeken a napokon fellépő hőterhelést vesszük hűtési igénynek. A hőveszteségekkel és a dinamikus hatásokkal a rendelet nem foglalkozik. A módszer célja a hűtési energiaigény előzetes becslése, ennél pontosabb eredményeket a rendelet szerint csak helyiségenkénti vagy zónánkénti hőterhelés számítás esetén kaphatnánk.

Ebben a cikkben összehasonlítjuk a TNM rendelet egyszerűsített eljárását az MSZ EN ISO 13790 szabvány havi és szezonális módszerével a hűtési energiaigény meghatározására. A cikk első része a fűtési energiaigény számítási módszereivel foglalkozott.

A továbbiakban a 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 [1] a fűtéshez hasonlóan a hűtésre is 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 hűtési energiaigény számítása a szabvány szerint a fűtési energiaigény számítás „tükörképe”:

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} Q_{C,ht} \quad (1)$$

ahol:

$Q_{C,nd}$ – az épület hűtési energiaigénye [MJ];

$Q_{C,ht}$ – a teljes transzmissziós és szellőzési hőátvitel a hűtési módban [MJ];

$Q_{C,gn}$ – a teljes szoláris és belső hőterhelés a hűtési módban [MJ];

$\eta_{C,ls}$ – a veszteség hasznosítási tényező [-].

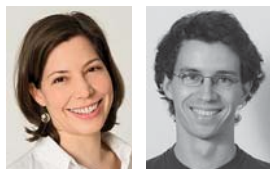
A számítási időszak a szezonális és a havi módszer esetén a fix időnyhossz.

Lehetőség van nemcsak épületszintű, hanem zónákra vonatkozó számításokra is. A zónázásnak hűtés esetén kiemelt jelentősége lehet, hiszen a használói profilok különbözőek lehetnek az épület egyes zónáiban (pl. irodaházban az irodák – tárgyalók – közlekedők). A szabvány lehetőséget ad az épület zónánkénti kezelésére is, de ezzel ebben a cikkben nem foglalkozunk részletesen. Szintén nem térünk most ki a szakaszos üzem hatására.

A „hővesztesség” és „hőnyereség” elnevezések használata helyett helyesebb a hőátvitel és a hőterhelés kifejezések használata. A transzmissziós és szellőzési „hővesztesség” alapvetően kedvező hatású és csökkenti a hűtési energiaigényt, de fordított irányú, a külső térből befelé irányuló hőáram esetén hőterhelésként jelenhet meg, ezért jobb hőátvitelről beszélni. A szoláris és a belső „hőnyereség” a nyári időnyben a belső tér szempontjából kedvezőtlen hatású hőterhelésként jelenik meg. Fizikai értelemben nem egyszerűen a veszteségeket és a nyereségeket különböztetjük meg, hanem a hővezetéssel és a konvekcióval történő hőcserét, valamint az alapvetően sugár-

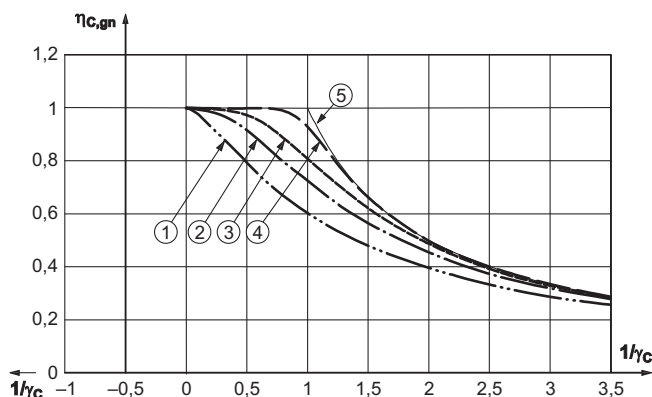
¹ BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

² BME Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék



zásos hőcserét. Előbbi közvetlenül függ a belső és külső levegő közötti hőmérsékletkülönbségtől (transzmissziós és szellőzési hőátvitel), utóbbi nem függ ettől (rövid hullámhosszú sugárzás, hosszú hullámhosszú sugárzásos hőcsera az égbolttal, belső hőforrások).

Az (1) összefüggés azt fejezi ki, hogy a hűtési energiaigényt alapvetően a hőterhelés okozza, de a belső és külső hőmérsékletkülönbség függvényében szellőzéssel és transzmisszióval hő is távozik az épületből, amely csökkenti a hűtési energiaigényt. A hővesztések azonban jellemzően akkor lépnek fel, amikor kicsi a hőterhelés (pl. éjszaka), ezért az adott időszakban a teljes hővesztés nem tud hasznosulni, csak egy bizonyos – a hasznosítási tényezővel jellemezhető – hányada. A fűtéshez hasonló a hasznosítási görbék alakja (1. ábra). Egy nagyon nagy hőtehetetlenségű épületben (5 – végtelen időállandó) a veszteségek maximálisan hasznosulnak, amíg az összes veszteség el nem éri az összes nyereséget, azután viszont csak a nyereségek mértékéig. Kisebb hőtehetetlenségű épületben az ideális hasznosulás nem tud megvalósulni, ezért kisebb a hasznosítási tényező az elméleti határnál. A fűtéshez hasonlóan a hűtés esetén is tökéletes szabályozást és végtelen rugalmasságot feltételezve vezették le a görbéket. Ezt a hatást nem itt, hanem a hűtési rendszer szabályozási veszteségeinél kezelik.



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

- (1) – 8 órás, (2) – 1 napos, (3) – 2 napos, (4) – 1 hetes,
(5) – végtelen időállandó

A veszteség hasznosítási tényező ($\eta_{C,ls}$) képlettel is leírható a hőterhelés és a hőátvitel aránya (γ_C), illetve az épület hőtehetetlenségétől függő a_C numerikus tényező segítségével:

$$\text{ha } \gamma_C > 0 \text{ és } \gamma_C \neq 1 \quad \eta_{C,ls} = \frac{1 - \gamma_C^{-a_C}}{1 - \gamma_C^{-(a_C+1)}}, \quad (2)$$

$$\text{ha } \gamma_C = 1 \quad \eta_{C,ls} = \frac{a_C}{a_C + 1}, \quad (3)$$

$$\text{ha } \gamma_C < 0 \quad \eta_{C,ls} = 1. \quad (4)$$

A hőterhelés és a hőátvitel aránya a hűtési időszakban:

$$\gamma_C = \frac{Q_{C,gn}}{Q_{C,ht}}. \quad (5)$$

A γ_C abban az esetben lehet negatív, ha a hőátvitel negatív előjelű, azaz a külső térből befelé áramlik a hő akár transzmisszióval, akár szellőzéssel.

Az a_C numerikus tényező:

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

ahol:

$a_{C,0}$ – referencia numerikus tényező hűtésre [-];

τ – az épületzóna időállandója [h];

$\tau_{C,0}$ – referencia időállandó hűtésre [h].

Az $a_{C,0}$ és $\tau_{C,0}$ értékek a fűtéshez hasonlóan dinamikus szimuláció alapján levezetett empirikus értékek. Értékei nemzeti szinten is megadhatók, de nemzeti értékek hiányában az 1. táblázat értékei használhatók. Több országra is vannak már levezetett értékek, például [2].

1. táblázat. Az $a_{C,0}$ numerikus paraméter és a $\tau_{C,0}$ viszonyítási időállandó értékei [1]

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

Az épület hőtehetetlenségét jellemző időállandó, valamint a transzmissziós és a szellőzési hőátviteli tényezők azonos módon számíthatók, mint fűtés esetén (lásd a cikk első részét). A nyári és a téli értékek azonban esetenként eltérőek lehetnek (pl. téli és nyári szellőztetési mód, mozgatható épületszerkezetek, napterek, illetve a talaj felé irányuló hőáramban is lehetnek különbségek).

A módszer fontos jellemzője, hogy a fűtéshez hasonlóan hűtés esetén is fix idényhosszal és az ehhez tartozó éghajlati adatokkal kell számolni. Nincs szükség tehát arra, hogy a hűtési napok számát vagy a hűtési idényt minden épületre kiszámítsuk. A pontos időtartam nem kritikus, mert a hasznosítási tényezővel automatikusan korrigáljuk az idényhosszat. A valósnál hosszabb idényhosszat feltételezve az időszak elején és végén lenullázódik a hűtési igény. A feltételezett idényhosszon belül is lehetnek olyan időszakok, amikor nem kell hűteni. Túl rövid hűtési idényt azonban nem szabad feltételezni, mert akkor a hűtési napok egy részét figyelmen kívül hagyjuk.

A szabvány azt javasolja, hogy jellemző épületekre nemzeti szinten határozzák meg a hűtési idény hosszát a következő képlet alapján:

$$\theta_{e,day} \geq \theta_{int,set,C,day} + \frac{Q_{gn,day}}{\eta_{C,ls,1}(H_{tr,adj} + H_{ve,adj}) t_{day}}, \quad (7)$$

ahol:

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

$\theta_{int,set,C,day}$ – a hűtés parancsolt hőmérséklete [$^{\circ}\text{C}$];

$\eta_{C,ls,1}$ – a veszteség hasznosítási tényező,

$1/\gamma_C = 1$ -gyel számítva;

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

- $H_{tr,adj}$ – a transzmissziós hőátviteli tényező, korrigálva az esetlegesen eltérő belső-külső hőmérsékletkülönbség miatt (pl. fűtetlen terek hatása) [W/K];
- $H_{ve,adj}$ – a szellőzési hőátviteli tényező, korrigálva az esetlegesen eltérő belső-külső hőmérsékletkülönbség miatt (pl. fűtetlen terek hatása) [W/K];
- t_{day} – a nap hossza, azaz 24 h vagy 0,086 4 Ms.

$A(\theta_{int,set,C,day} - \theta_{e,day})$ az a hőmérsékletkülönbség, amikor a hasznosított veszteségek pont ellensúlyozzák a hőterhelést. A szoláris nyereség a hűtési idény határánál jellemző érték.

7/2006. TNM rendelet

A nettó hűtési energiaigény a rendelet szerint a következő képlettel becsülhető [3]:

$$Q_{hü} = \frac{24}{1000} \cdot n_{hü} \cdot (\sum A_N \cdot q_b + Q_{sdnyár}) \text{ [kWh/a]}, \quad (8)$$

- ahol
- 24/1000 – egy nap hossza órában és a mértékegység átváltáshoz szükséges szorzó;
- $n_{hü}$ – a hűtési napok száma;
- A_N – nettó fűtött szintterület [m²];
- q_b – a belső hőterhelés fajlagos értéke [W/m²];
- $Q_{sd,nyár}$ – a direkt sugárzási hőterhelés a nyári idényben [W].

Nincsen tehát standard hűtési idény, hanem meg kell határozni a hűtési napokat, amikor a külső napi átlaghőmérséklet meghaladja a

$$\bar{t}_e \geq 26 - \Delta t_{bnyár} \quad (9)$$

hőmérsékletet. A $\Delta t_{bnyár}$ a belső és a külső hőmérséklet átlagos különbsége, amely az épület nyári túlmelegedésének kockázatára vonatkozó követelmény alapja is:

$$\Delta t_{bnyár} = \frac{Q_{sdnyár} + A_N q_b}{\sum AU + \sum l\Psi + 0,35 n_{nyár} V}, \quad (10)$$

- ahol
- $Q_{sd,nyár}$ – a direkt sugárzási hőterhelés a nyári idényben [W];
- $\sum AU$ – a lehülő felületek területének és hőátbocsátási tényezőjének szorzata [W/K];
- $\sum l\Psi$ – a hőhidak hosszának és vonalmenti hőátbocsátási tényezőjének szorzata [W/K];
- $n_{nyár}$ – légcsereszám nyáron [1/h];
- V – fűtött térfogat [m³].

Igazolni kell, hogy a $\Delta t_{bnyár}$ 3 K alatt marad nehéz és 2 K alatt könnyű épületek esetén. A rendelet a komfortkövetelményeket tekintve max. 26 °C-os elfogadható belső hőmérsékletből indul ki. Például egy olyan nehéz épületben, ami éppen megfelel a követelményeknek, 23 °C külső napi átlaghőmérséklet mellett a belső átlaghőmérséklet várhatóan 26 °C lesz.

Amennyiben azonban a $\Delta t_{bnyár}$ meghaladja a követelményt, akkor már alacsonyabb külső átlaghőmérséklet esetén is szükséges a hűtés. Könnyű épületek esetén a kisebb hőtároló tömeg miatt kisebb határértéket engedünk meg.

Nehéz épület esetén, ahol a belső és külső hőmérséklet átlagos különbsége pont 3 K, 26 °C – 3 K = 23 °C külső hőmérsékletet meghaladó esetben passzív eszközökkel már nem tudjuk a kívánt belső hőmérsékletet tartani, ezért gépi hűtésre lesz szükség. A rendelet tartalmaz egy táblázatot a napi középhőmérsékletek eloszlásáról: eszerint 15 db olyan nap van a nyári félévben, amikor a napi középhőmérséklet 23 °C fölött van, ez lesz a hűtési napok száma. Ezekre a napokra a hűtési energiaigényre vonatkozó képlet szerint a keletkező összes hőterhelést a gépi hűtéssel kell eltávolítanunk. Kiszámítjuk tehát az átlagos belső és a szoláris hőterhelést W-ban, majd ezt számítjuk át kWh-ra a hűtési napok alapján meghatározott órák száma alapján.

A nyári sugárzásos hőterhelés északi és bizonyítottan árnyékban lévő homlokzatokra:

$$Q_{sdnyár} = 85 \sum A_{Ü} g_{nyár}, \quad (11)$$

egyébként

$$Q_{sdnyár} = 150 \sum A_{Ü} g_{nyár}, \quad (12)$$

ahol a $g_{nyár}$ abban különbözik a téli idényben használt g értéktől, hogy az esetleges társított szerkezet hatását is figyelembe szabad venni. A 85, illetve a 150 W/m² a nyári sugárzási átlagintenzitás északi és egyéb tájolás esetén.

A légcsereszámot a rendelet nyári feltételekre megadott értékeivel kell figyelembe venni (**2. táblázat**), kedvező szellőztetési stratégiát feltételezve (ha a külső hőmérséklet a magasabb, akkor csak a szükséges, ha a külső hőmérséklet alacsonyabb, akkor intenzív légcserét feltételezünk) [4]. Az értékek függenek a nyílászárók helyétől: a több homlokzaton elhelyezett nyílászárók lehetővé teszik a keresztthuzatot és ezáltal az intenzívebb légcserét. Az éjszakai szellőztetés jobb hatékonyságot magasabb értékekkel lehet figyelembe venni. A rendelet is leírja, hogy ez a magasabb érték nem csak nagyobb légcserét jelent, hanem az alacsonyabb hőmérsékletű külső levegő kedvező előhűtő hatását is kifejezi.

2. táblázat. Légcsereszám tervezési adatok a nyári túlmelegedés kockázatának megítéléséhez természetes szellőztetés esetén [3]

A légcsereszám tervezési értékei nyáron, természetes szellőztetéssel	Nyitható nyílások		
	egy homlokzaton	több homlokzaton	
Éjszakai szellőztetés	nem lehetséges	3	6
	lehetséges	5	9

A transzmissziós veszteségek számításáról a rendelet külön nem szól, ezért ugyanazokkal a feltevésekkel élhetünk, mint a téli esetben (hőhidak, fűtetlen terek hatása stb.).

A rendelet kihangsúlyozza, hogy ez a számítási módszer a nettó hűtési energiaigény *előzetes becslésére* alkalmas. Nem veszi figyelembe a transzmisszióval és filtrációval/ szellőztetéssel távozó hőt, illetve szintén nem foglalkozik azzal az esettel, ha a hűtés szakaszos üzemű. Ennél pontosabb számítás a rendelet szerint a beépítendő teljesítmény és az üzemidő meghatározásával adható, ha a tervező elvégezte a hűtési hőterhelés helyiségenkénti vagy zónánkénti számítását.

Látható, hogy míg a fűtési energiaigény számítása nagyvonalakban azonos tagokból áll, mint az MSZ EN ISO 13790 szabvány számítás módszere, a hűtési energiaigény számításában a szabványhoz képest még több az elhanyagolás és egyszerűsítés.

Feltételezések

A TNM rendelet szerinti módszer eredményeit ugyanannak az esettanulmánynak a segítségével hasonlítjuk össze a 13790 szabvány szerinti eredményekkel, mint fűtés esetén (lásd a cikk 1. részét). Az épület egy középmagas, közepes méretű, téglalap alaprajzú épület fűtetlen pincével és lapostetővel (3. táblázat). A fő bemenő adatok azonosak a cikk 1. részében megadottakkal, ezért itt csak a nyári sajátosságokra térünk ki.

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 ablak-felülethez képest	25%	50%
É-i ablakok aránya az összes ablak-felülethez 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)
Az árnyékoló összes sugárzásátbocsátási képessége ($z_{árnyékoló}$)	0,10	1,0
Hőtároló képesség (C_m)	125 000 · A_N	600 000 · A_N
Belső hőnyereség (q_b), lakó/iroda	5 (7) W/m ²	5 (7) W/m ²
Átlagos légcsereszám (n), lakó/iroda	0,5 (0,8) 1/h	0,5 (0,8) 1/h
Éjszakai légcsereszám nyáron ($n_{nyár}$)	3 1/h	9 1/h

Az éghajlati adatok tekintetében nehéz a két módszer közötti teljes egyezőséget biztosítani. A szabványban a havi módszerben a havi középhőmérsékletekre, a szezonális módszerben a hűtési idény átlaghőmérsékletére van szükség, a rendelet viszont ezek helyett a nyári hőfokgyakorisági értékeket használja. A sugárzási értékek szintén problémásak, hiszen a rendeletben a júniusi átlagintenzitás értékek szerepelnek, a szabványban viszont a feltételezett hűtési idény havi, illetve idényre vonatkozó átlagintenzitásaira vagy energiahozamaira van szükség.

A havi hőmérsékleti adatokat Budapest 1981 – 2010 közötti éghajlati adataiból vettük [5] alapján, a függőleges felületre érkező havi sugárzási energiahozamot [6] alapján a budapesti napfénytartam adatokból levezetve (1981 – 2010). Alapesetben május – szeptember közötti hűtési idényt feltételeztünk és a havi adatokból a hűtési idényre vonatkozó értékeket erre az időszakra összegeztük. Nem állt módunkban ellenőrizni, hogy az adatokban mekkora az eltérés a rendelet hőfokgyakorisági adataihoz képest, ezért ebből adódhat némi különbség.

A transzmissziós hővesztés-tényezőt a télivel azonosnak feltételeztük. Felvetődhet, hogy megfelelőek-e ugyanazok a fűtetlen tér miatti korrekciós tényezők, mint télen, de ezzel a kérdéssel itt nem foglalkozunk.

A sugárzási nyereségekhez az ablakok esetén fix keretaránnyal számoltunk és teljes benapozottsággal (külső akadályok, tagozatok elhanyagolva). Nyáron az árnyékoló hatását a $z_{árnyékoló}$ tényező veszi figyelembe, amellyel az üveg g -értékét megszorozva megkapjuk a $g_{nyár}$ értéket. A TNM rendelet nem fogalmaz meg feltételt az árnyékoló működési idejére. A szabvány javasolja a működési idő meghatározását, például a 300 W/m² meghaladó sugárzási küszöbérték alapján. Itt ilyen érték hiányában azt feltételeztük, hogy nyáron napközben végig használjuk az árnyékolót.

Nyáron a rendelet és a szabvány is lehetővé teszi az éjszakai átszellőztetés pozitív hatásának figyelembe vételét. Éjszakai szellőztetés esetén azt feltételezhetjük, hogy az éjszakai időszakban maximális légcsereszámot engedünk meg (amennyiben a belső hőmérséklet az elfogadható komfortszint fölött van, és a belső és külső hőmérséklet különbsége meghalad egy bizonyos mértéket). A szabvány nem tartalmaz légcsereszámokat, mivel ezek nagyon nehezen meghatározható értékek, ezért az összehasonlíthatóság érdekében mindkét esetben a rendelet számait alkalmazzuk. Ezek az értékek a megnövelt légcsereszám mellett a teljes napi átlaghoz képest alacsonyabb hőmérsékletet is figyelembe vesznek.

Az éjszakai szellőztetés időtartama előírható nemzeti szinten, de amennyiben nincs ilyen adat, a szabvány szerint az este 11 és reggel 7 közötti 8 órás időszakot ajánlott figyelembe venni. A rendeletben az időtartam nem szerepel a képletben, a szabványban viszont figyelembe vettük.

A számításokat lakóépület és irodaépület funkció feltételezésével is lefuttattuk, a rendeletben megadott tervezési alapadatokkal. Alapesetben folyamatos működést feltételeztünk, és a rendeletnek megfelelően 26 °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 szabvány útmutatást ad többzónás számításra is, de itt egy zónaként kezeltük az épületet. A hasznosítási tényezők megadásához és a hűtési energiaigény számításához az előző pontokban ismertetett képleteket használtuk. Bizonyos pontokat a rendelet elhanyagol, például a tömör (opak) szerkezetek által elnyelt sugárzási energiát a nyári időszakban, illetve a felületek és az égbolt közötti sugárzásos hőcserét, ezeket nem vettük figyelembe.

Hibabecslés

A cél 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:

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

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

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

Eredmények

Havi kontra szezonális módszer

Először megvizsgáltuk, hogy a szabványban közölt havi és a szezonális módszer eredményei hogyan viszonyulnak egymáshoz. A bemenő éghajlati adatok azonosak, a szezonális módszerben a május-szeptember közötti időszak átlagértékei szerepelnek.

A 2. ábra szerint a szezonális módszer mindig túlbecsüli a hűtési energiaigényt, átlagosan 2-3 kWh/m²a értékkel. A hűtési energiaigény abszolút értékben viszonylag kicsi, ezért százalékosan egy ilyen kis eltérés is nagy lehet.

Megvizsgáltuk a fix idényhossz megválasztásának hatását a szezonális módszerben. Rövidebb (június-augusztus), illetve

hosszabb (április-október) idényhosszat feltételezve az eredmények kismértékben, 1 kWh/m²a értéken belül változtak. A fix idény pontos hossza tehát nem kritikus adat, a tényleges idény hossza ettől eltérő lesz, amit a hasznosítási tényező vesz figyelembe.

TNM kontra 13790, folyamatos hűtés

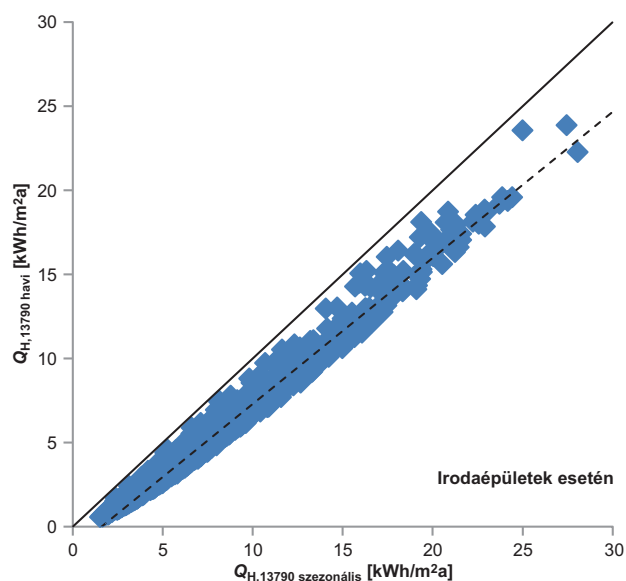
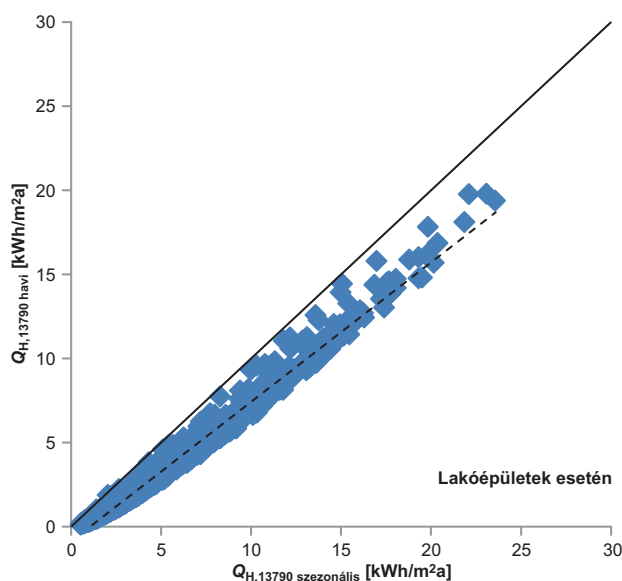
A következő oldalon látható 3. ábra a rendelet és a szabvány szerint számított hűtési energiaigényt mutatja lakóépületek és irodaépületek esetén. Az ábrákon feltüntettük a két számítási módszer egyezősége esetén kapott egyenest. Látható, hogy a rendelet szerint minden esetben kisebb hűtési energiaigényt kapunk, mint a szabvány szerinti módszerrel. Ez azt jelenti, hogy a TNM rendelet a „biztonság kárára” téved. Az átlagos hiba 4 kWh/m²a lakó- és 6 kWh/m²a irodaépületek esetén. A hiba szórása 3 kWh/m²a körül van, de a maximális hiba nagyon nagy is lehet: egyes esetekben akár 18–20 kWh/m²a.

Az abszolút értékek kicsik, ezért egy viszonylag kis eltérés is nagy százalékos hibát okoz. A nehéz épületek hűtési energiaigénye kissé alacsonyabb a könnyű épületeknél, de nem nagy a különbség.

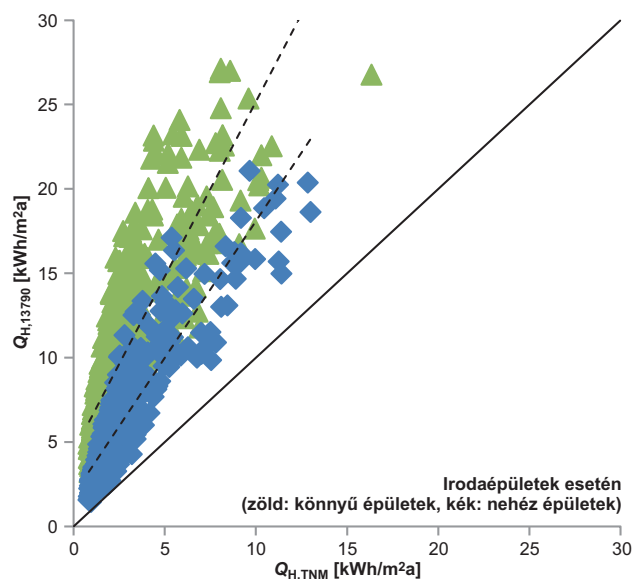
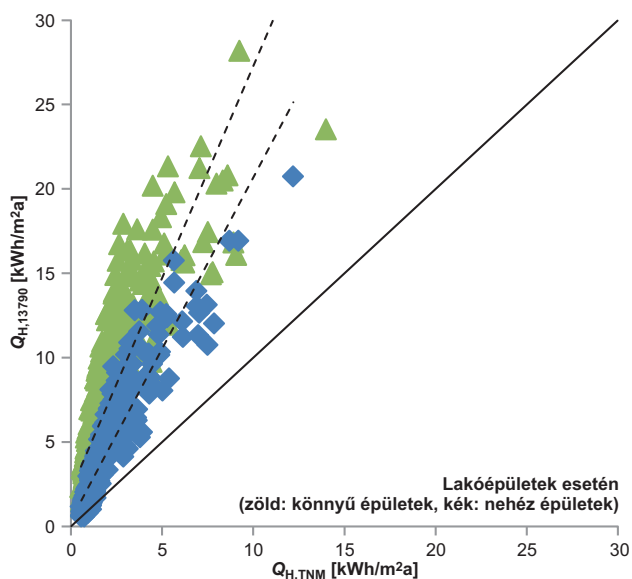
A szabvány szezonális módszere néhány kWh-val eltér a havi módszertől, tehát a szabvány szerinti értékekben is van bizonytalanság. Különbséget okoz még az éghajlati adatok eltérése a rendelet és a szabvány szerinti számításban, ezt azonban megfelelő adatok hiányában nem tudtuk számszerűsíteni (lásd fent).

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

	MAE [kWh/m ² a]	MAE szórása [kWh/m ² a]	MAPE [%]	MAPE szórása
13790 szezonális – 13790 havi, lakóépületek	1,8	0,8	80,7	52,6
13790 szezonális – 13790 havi, irodaépületek	2,5	0,8	58,8	31,3



2. ábra. Hűtési energiaigény a 13790 szabvány havi és szezonális módszerével számolva



3. ábra. Hűtési energiaigény TNM módszerrel, valamint a 13790 szabvány szerint számolva

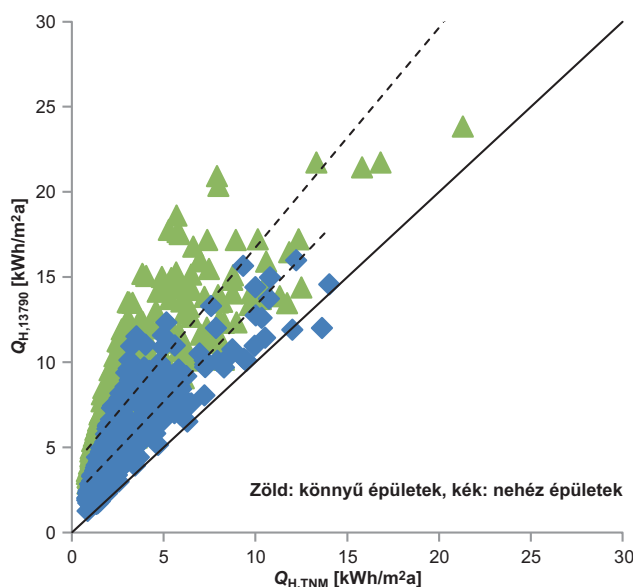
A szakaszos üzem hatása

A magyar rendelet nem foglalkozik a hűtési szakaszos üzem hatásával, nincsen a fűtéshez hasonló korrekciós szorzó. A szabvány szerint is a fűtéshez képest hűtés esetén kisebb a jelentősége az éjszakai leszabályozásnak/kikapcsolásnak a napi hőmérsékletgörbe lefutása és az épület hőtehetetlensége miatt. Az így elérhető energiamegtakarítás nagyon kicsi, kivéve az igen meleg időszakokat vagy az olyan épületeket, ahol a nagyon magas belső hőnyereségek nagyon alacsony hőveszteségekkel társulnak [1]. A szabvány ezért az éjszakai leszabályozás/kikapcsolás hatását elhanyagolja, csak a hétvégi csökkentett üzemmódot veszi figyelembe a heti hűtési napok számán alapuló képlettel (az összefüggést itt nem részletezzük). Mivel irodaépületek esetén releváns a hétvégi zárás, ennek a hatását is megvizsgáltuk.

A szabvány szerinti hűtési energiaigény nyilvánvalóan kisebb, mint folyamatos hűtés esetén. Szombat-vasárnapi zárást feltételezve max. 2/7 megtakarítás érhető el, a tényleges megtakarítás azonban ennél kisebb: a számítások szerint a hétvégi zárás miatti csökkentő tényező átlagosan 0,8. A szabvány szerinti számításban ezt figyelembe véve, a rendelet szerinti számításban ezt a jogszabállyal összhangban figyelmen kívül hagyva, a szabvány és a rendelet szerinti értékek közelebb kerülnek egymáshoz, de még így is elmondható, hogy a TNM minden esetben alulbecsüli a hűtési energiaigényt (4. ábra).

Mire a legérzékenyebb az eredmény?

Az értékeknek viszonylag nagy a szórása, illetve van néhány kiugró érték. Vizsgáljuk meg, hogy mely bemenő paraméterekre a legérzékenyebbek az eredmények. Ehhez a bemenő paramétereket rögzítettük, majd egyesével megvizsgáltuk egy-egy paraméter változtatásának a hatását. Az alapesetben az ablakarány 30%, a D-i ablakok aránya 30%, az árnyékoló g-értéke 0,5, a hőtároló képesség $250000 \cdot A_N$, az éjszakai légcserezszám 5 h^{-1} , a hőszigetelés költségoptimum szintű és a geometriai adatok változnak a 3. táblázat szerint. Vizsgáltuk az ablakarány, a D-i ablakok aránya, az árnyékoló g-értéke, a hőtároló képesség, valamint a légcserezszám hatását a rendelet és a szabvány szezonális módszere szerint. Az alapesetben



4. ábra. Hűtési energiaigény a TNM rendelet, valamint a 13790 szabvány szerint számolva, hétvégi zárást feltételezve, irodaépületek esetén

képest mindig egy paramétert változtattunk -100% , -50% , $+50\%$, $+100\%$ -kal az alapértékhez képest. A paraméterek reális tartományban mozogtak, a -100% változtatással az adott paramétert lenullázzuk. Folyamatos hűtést feltételezünk, mivel a szakaszos üzem hatását az előzőekben már vizsgáltuk.

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

		MAE [kWh/m ² a]	MAE szórása [kWh/m ² a]	MAPE [%]	MAPE szórása
1	Lakóépületek	4,0	3,2	62,2	17,3
2	Irodaépületek	5,8	3,5	66,5	13
3	Irodaépületek, hétvégi zárás	3,7	2,1	57,9	15,4

Az 5. ábra szerint a szabvány szerinti számítással nagy hatása van az eredményekre az árnyékoló típusának és az ablakarányának, amelyek akár $\pm 5 - 10 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ különbséget okoznak. A hőtároló képesség hatása kisebb, de így is jelentős. Az éjszakai szellőztetés alapesetben is viszonylag nagy volt (5 h^{-1}), ennek további növelésének kicsi a hatása, viszont nagyon megemelkedik a hűtési energiaigény, ha egyáltalán nincsen éjszakai szellőztetés ($n = 0 \text{ h}^{-1}$).

A tájolás jelentősége kicsi, ugyanis a sugárzási energiahozamban kis különbség van a D-K-Ny szektor adatai között, illetve alapesetben is viszonylag jó árnyékolást feltételeztünk.

A rendelet szerinti számítással több tényezőnek nincs, vagy elhanyagolható a hatása, mivel a számítási módszerben egyáltalán nem, vagy csak indirekt módon jelennek meg. A hőtároló képesség nem szerepel a képletekben, a D-K-Ny szektorra ugyanazt a sugárzásintenzitást használjuk, ezért ezek nem okoznak különbséget. Az árnyékolásnak és az ablakarányának kimutatható a hatása, de kisebb, mint a szabvány szerinti számításban. Nagy a hatása annak, ha a légcsereszámot 0-nak vesszük (de ilyen opció nincs a rendelet szerinti táblázatban).

Összefoglalás

A cikkben áttekintettük a 7/2006. TNM rendelet és az MSZ EN ISO 13790 szabvány szerinti nettó hűtési energiaigény számítás módszereket, különös tekintettel a dinamikus tényezők kezelésére. Egy 1000 darabos mintán összehasonlítottuk a TNM rendelettel és a szabvány szezonális módszerével kapott eredményeket mai követelményeknek megfelelő, középmagas lakó- és irodaépületek esetén.

A TNM rendelet minden esetben alulbecsülte a hűtési energiaigényt, a hiba átlagosan $4-6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Az eredményeknek nagy a szórása, a maximális eltérés akár $20 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ is lehet. A két módszer nem korrelál egymással, mivel a rendelet sok tényezőt elhanyagol, pl. a hőtároló képességet, a pontos tájolást, a veszteségeket. Ezért a rendelet szerinti módszer valóban csak előzetes becslésre alkalmas, de sajnos a fűtéssel szemben rendszerint a „biztonság kárára” téved. Fontos azonban megjegyezni, hogy a hűtési energiaigény várható értéke a legtöbb esetben igen alacsony, a fűtési igényhez képest jóval kisebb.

Pontosabb eredmény a hűtési hőterhelés helyiségenkénti vagy zónánkénti számításával érhető el. A cikkben egyzónás

számítást végeztünk, de a 13790 szabvány szerinti módszer alkalmas többzónás számításokra is. Összetett épület esetén a dinamikus szimuláció használata célszerű, amellyel a használói profilok (óraóra lebontott menetrendek) zónánként is megadhatók. Nehézséget jelent, hogy a rendelet ugyan lehetővé teszi a részletes módszerek, illetve a dinamikus szimuláció alkalmazását, de a gyakorlatban ezekkel mégsem készíthető tanúsítás. A rendelet ugyanis előírja a módszerek és bemenő adatok egyenértékűségét, ami különösen az éghajlati adatok tekintetében nem valósítható meg. Szükség lenne egy, tanúsítás céljára használandó egységes éghajlati adatsorra, amelynek szezonális átlagértékei megegyeznek a rendeletben megadott értékekkel.

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 és hamarosan életbe lépő utódja, az ISO 52016 elő is írja majd ezeknek a háttérszámításoknak az elvégzését.

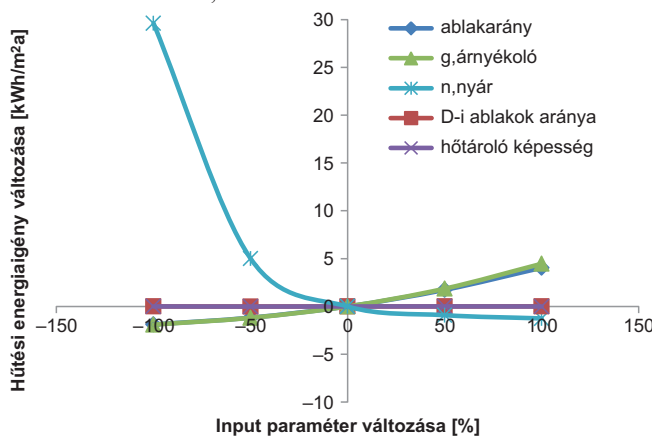
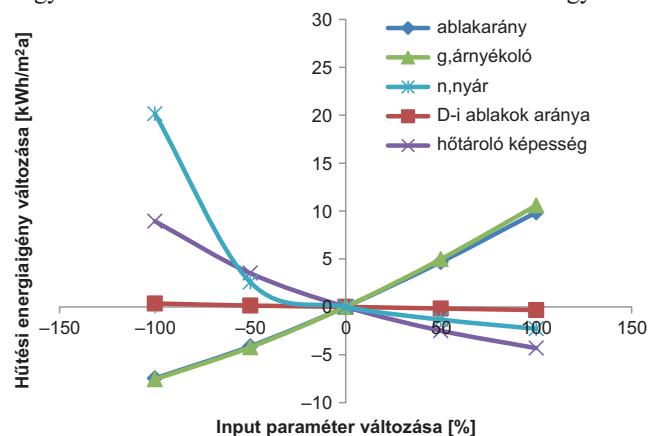
Az eredmények tükrében elmondható, hogy fontos lenne a rendeletben szereplő jelenlegi módszert felülvizsgálni és a 13790 szabványon alapuló módszert bevezetni a hűtés nettó energiaigényének becslésére.

Köszönetnyilvánítás

Szalay Zsuzsa munkáját a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatta.

Irodalomjegyzék

- [1] MSZ EN ISO 13790:2008 Épületek energetikai teljesítő-képessége. A fűtési és hűtési energiaigény számítása
- [2] 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>.
- [3] 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról
- [4] Zöld et al: Épületenergetika. PTE Műszaki Kar, 2009.
- [5] Nagy Balázs: A szoláris nyereségek pontosítása a hazai épületenergetikai számításoknál. TDK dolgozat, BME, 2011.
- [6] Horváth Miklós: Adott felületre érkező globálsugárzás számítása, rendszerszintű hasznosítása épületekben. PhD disszertáció, 2017.



5. ábra. Hűtési energiaigény változása ($\text{kWh/m}^2\text{a}$) a bemenő paraméterek változásának (%) függvényében irodaépületek esetén a) 13790 szabvány szezonális módszere szerint, b) TNM rendelet szerinti módszerrel számolva