



Nagy Balázs

okl. szerkezet-
építőmérnök,
okl. épületenergetikai
szakmérnök
doktorandusz,
BME Építőanyagok
és Magasépítés
Tanszék

Talajjal érintkező szerkezetek épületfizikája

Történeti áttekintés, egyszerűsített számítások

Az épületfizikai és -energetikai számítások során jelenleg a talajjal érintkező szerkezeteken keresztül fellépő hőveszteségek figyelembevétele hordozza a legtöbb bizonytalanságot, mivel a talaj és a szerkezetek anyagtulajdonságai és a folyamatosan változó külső környezeti tényezők miatt a szerkezet többdimenziós, instacioner (nem állandósult) hőtechnikai állapottal írható le maradéktalanul. A jelenlegi közelítő számítási eljárások azonban stacioner (állandósult) állapotbeli modellekre épülnek. A hazai energetikai rendeletek azonban megengedik, sőt bizonyos esetekben kötelezővé teszik a részletes számításokat, illetve a dinamikus szimulációkat is. Jelen cikkben elemzem és összefoglalom a talajjal érintkező szerkezetek épületfizikai számításait a kezdetektől napjaink közelítő eljárásáig.

Nowadays, in the course of building physics and energetic calculations, the consideration of heat losses through the ground contact structures have the biggest uncertainty due to the material properties of soil and structures, and the ever-changing external environmental factors which resulting multi-dimensional transient thermal conditions. However, current methods for calculating based on steady-state models. Nevertheless, domestic regulations allow, moreover in some cases, make it compulsory for detailed calculations and dynamic simulations. The present article analyses and summarizes the building physical calculations of ground contact structures from the beginning till today's approximate calculation procedures.

Kulcsszavak: épületfizika, épületenergetikai számítások, hőhidak, talajjal érintkező szerkezetek

Bevezetés

Az elmúlt években a hazai épületenergetikai szabályozás és a rendeletek követelményei folyamatosan szigorodtak, rákényszerítve a tervezőket az energiatudatos épületek tervezésére. Nem változtak azonban jelentősen az épületfizikai tervezés módszerei és számítási eljárásai (ez alatt a rendeletben közölt, illetve az MSZ EN ISO szabványos számítási eljárásokat értjük), holott a jelenlegi technológiák lehetővé tennék a régebbi, állandósult állapotot feltételező egyszerűsített közelítő módszerek és táblázatok felülvizsgálatát, valamint új számítási eljárások és táblázatok kidolgozását.

A talajjal érintkező szerkezeteken keresztül fellépő hőveszteségek az épületek egészére nézve is jelentősek lehetnek, az egyre inkább

energiatudatos épülettervezés következtében (mely a hazai rendeletek miatt inkább a határoló felületek hőszigetelésére összpontosít, mint a csomóponti részletek kidolgozására) összességében akár az összes hőveszteség egyharmadát-felét is adhatja [3, 16]. Fontos tehát ezzel a témával foglalkoznunk, és az energetikai számítások során a talajjal érintkező szerkezetek hőveszteségeit minél jobb közelítéssel meghatároznunk.

Az épületenergetikai, illetve hőtechnikai számításokon túl természetesen a padlószerkezetek kapcsolt hő- és nedvességtranszport-folyamataival is foglalkozhatunk, melyeket hazánkban leggyakrabban rekonstrukciós feladatok során [15] alkalmaznak, azonban akár csomóponti megoldások kiválasztásához és padlószerkezetek tervezéshez is alkalmazhatóak [14].



Ahhoz, hogy összefüggésükben átláthassuk és megérthessük a talajjal érintkező szerkezetekre vonatkozó jelenlegi hőtechnikai számítási módszereket, melyeket az épületenergetikával foglalkozó szakemberek alkalmaznak, valamint a rendeletek és szabványok egyszerűsített eljárásain túlmutató módszereket, nem árt megismerni a hazai és nemzetközi szakirodalomban publikált eljárásokat és módszereket, azok változatosságát, ezáltal pedig megismerni a számítási eljárások fejlődését is.

Jelen cikkben először a talajjal érintkező szerkezetek (pl. padló, pincefal) épületfizikai, ezen belül is elsősorban hőtechnikai számítások lehetőségeit és történeti fejlődését tekintjük át, majd a hazánkban alkalmazott egyszerűsített számítási eljárást elemezzük.

Számítási eljárások és fejlődésük

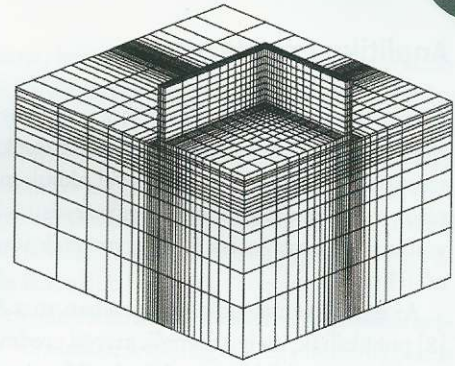
A talajjal érintkező épületszerkezetek hőveszteségeinek számítási eljárásainak kidolgozása már az 1940-es években elkezdődött [5]. A témával foglalkozó kutatók évtizedeken át tartó kutatásai és publikált számítási megoldások tucatjai után [lásd pl. 12, 16] jutottunk el a ma hazánkban leggyakrabban alkalmazott közelítő táblázatos módszerig [7/2006. (V. 24.) TNM rendelet], a részletes számítási módszer szabványos közelítő képleteiig (MSZ EN ISO 13370), illetve a numerikus szimulációkra vonatkozó szabvány vonatkozó részleteiig (MSZ EN ISO 10211).

Numerikus szimulációs módszerek

Bár az épületenergetikai tanúsítás során a mindennapokban jelenleg még viszonylag ritkán jelennek meg a numerikus szimulációk, azonban az egyetemi oktatásban és kutatásban, speciális tervezési feladatok esetében már egyre gyakrabban találkozhatunk ezekkel a módszerekkel. A hőtechnikai számítások során a numerikus módszerek alkalmazásához vezető utat általában a végesesemes módszer (VEM) vagy a végesdifferencia-módszer (VDM) jelenti [10].

Az egyik első, talajjal érintkező szerkezetekre vonatkozó szimuláció is az explicit végesdifferencia-módszeren alapult, mely során

1. ábra: Diszkrétizált geometriai modell talajon fekvő padló és falsarok szimulációjakor, VDM alkalmazása esetén [1]



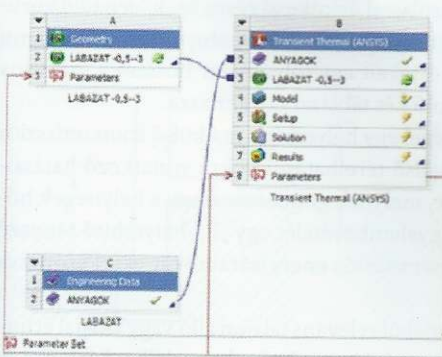
kísérleti föld alatti menedékhelyek hő- és nedvességtranszport-folyamatait vizsgálták [6], majd évek múltán, és természetesen egymásra is épülő publikációk sokaságával jutottak el a kutatók odáig, hogy többdimenziós számítógépes szimulációk eredményeit nagymodell-kísérletekkel ellenőrizték és igazolják [12], valamint instacioner állapotban paraméteres VEM-szimulációs vizsgálatok keretében, hazai éghajlati és környezeti körülmények között is vizsgálják a talajon fekvő padlók hőveszteségeit [11].

Az Európai Szabványügyi Testület már 1998-ban adott ki egy szabványt, melyben az épületszerkezetekben kialakuló hőáramok és a felületi hőmérsékletek numerikus szimulációs meghatározásának metódusát szabályozta. Ennek a szabványnak a jelenleg érvényben lévő változata az MSZ EN ISO 10211:2008. A szabvány leírja a padló szerkezetek és falszerkezetek csatlakozásánál kialakuló vonalmenti hőhidak jellemzésére szolgáló vonalmenti hőátbocsátási tényező számítását két dimenziós szimuláció, mind pedig háromdimenziós szimuláció esetén. A számítás során két opciót ajánl, egyik esetben a padló szerkezet hőveszteségeit is tartalmazza a vonalmenti hőátbocsátási tényező (ezt a szemléletet képviselik a hazai számítási eljárások is), míg másik esetben nemcsak a csatlakozó falszerkezet hőveszteségeit kell kivonni, hanem a padló szerkezetét is, melyet külön szimuláció útján határozhatunk meg. A szabvány rögzíti továbbá, hogy 8 méteres belső hosszánál szélesebb épületek esetén a veszteségeket elegendő a 8 méteres padló szerint meghatározni. Azonban a szabványban leírt módszerek egyike sem említi a geotermikus gradiens szerepét, azaz a földhőt teljesen elhanyagolja.

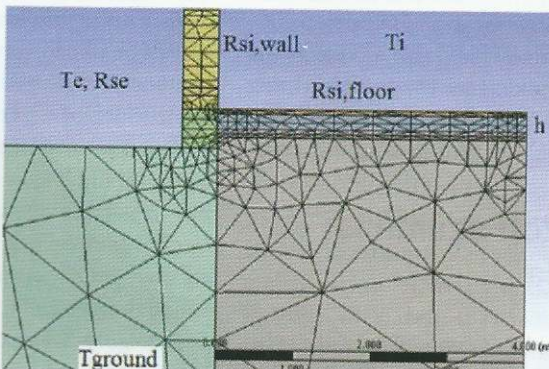
Material properties

Structure and material, Standard	Thickness [m]	Thermal conductivity λ [W/mK]	Volumetric heat capacity C_v [MJ/m ³ K]
Floor, concrete - EN ISO 10456:2007	0,06	1,35	2,00
Floor, insulation, EPS - EN ISO 10456:2007	parametrized	0,04	0,03
Floor, reinforced concrete, 1% steel - EN ISO 10456:2007	0,10	2,30	2,30
Soil, sand and gravel - EN ISO 13370:2007	15,00	2,00	2,00
Soil, clay and silt - EN ISO 13370:2007	15,00	1,50	3,00
External walls (PTH 44 K + 2 cm lime plaster)	0,46	0,11	0,69
Plinth walls and basement walls (PTH 44 HS + 2 cm lime plaster)	0,46	0,14	0,61

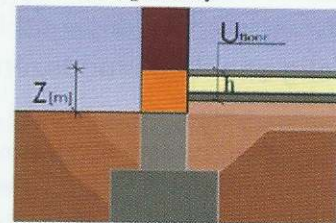
Simulation set



Modeled geometry, mesh, boundary conditions



Parameters, geometry



$$h = \lambda_{ins} \cdot \left(\frac{1}{U_{floor}} - R_{si} - \frac{d_e}{\lambda_e} - \frac{d_{re}}{\lambda_{re}} \right) [m]$$

$$T_e = T_m + T_v \cdot \cos \left(2,9 + \frac{2 \cdot \pi \cdot X}{365} \right) [^\circ C]$$

$$T_i = 20^\circ C$$

$$R_{se} = \frac{1}{4 + 4 \cdot v + \varepsilon \cdot 4 \cdot \sigma \cdot (T_e + 273,15)^3}$$

$$R_{si} = \frac{1}{h_{ei} + \varepsilon \cdot 4 \cdot \sigma \cdot (20 + 273,15)^3}$$

$$h_{ei} = walls: 5 \frac{W}{m^2K}, floor: 0,7 \frac{W}{m^2K}$$

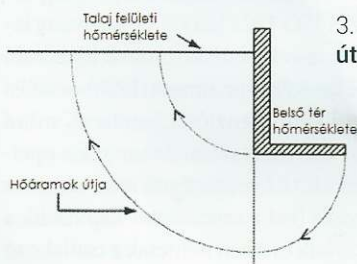
$$T_{ground} = 9^\circ C \text{ at } -15 m$$

2. ábra: Talajon fekvő padló instacioner állapotbeli, paraméteres VEM-szimulációja [11]

Analitikus módszerek

Az analitikus megoldások során a tranzien hővezetés differenciálegyenletét részletes vizsgálatok, elemzések után létrehozott, egyszerűsített egyenletek segítségével oldjuk meg. Az analitikus eljárások során általában a legelső egyszerűsítés a probléma dinamikus voltának elhanyagolása és az egyenletek stationer állapotra történő felírása.

Az egyik ilyen megoldást már a hatvanas évek végén Kanadában [8] publikálták, mely a szerzők mérési eredményein alapult. Egy fűtött pince körüli földtömeg-hőmérséklet eloszlását vizsgálva jutottak arra a megállapításra, hogy a hőáramvonalak körív alakú útvonalat írnak le a pincefaltól és pincepadlótól a felszínig. A hőveszteségek ezáltal a talaj felületi hőmérsékletének és a belső tér léghőmérsékletének különbségétől, a pincefal és pincepadló hővezetési ellenállásától és a talaj hővezetési tényezőjétől, valamint a körív alakú útvonalaknak a hosszától függenek (tehát a pincepadló mélységétől) az egyenleteikben, ahogy a 3. ábrán is látható. Ez a számítási módszer azonban csak a felszín irányába tartó hőáramokkal foglalkozik, és amint az egyik épített szerkezet hőszigetelést is tartalmaz, a hőáramok útja megváltozik. Állandósult állapot feltételezése révén pedig a talaj hőtároló kapacitását szintén nem veszi számításba.



3. ábra: Hőáramok feltételezett útvonala [9]

Az analitikus számítási eljárások ezután a nyolcvanas évekre jutottak odáig, hogy megoldást adtak a periodikusan változó peremfeltételekkel rendelkező két-

dimenziós esetekre vagy akár háromdimenziós állandósult állapotú négyzetes padló szerkezetű épületek hőveszteségeire is [4].

Ugyancsak analitikus számítási eljárásokat tartalmaz a jelenleg érvényben lévő, talajok hőátviteli folyamatainak egyszerűsített számítási módszereit tartalmazó MSZ EN ISO 13370:2008 szabvány is, mely gyakorlatilag svéd kutatók nyolcvanas évek végén végzett kutatásaira és kilencvenes évek eleji publikációira épül [2].

Félig analitikus módszerek

A félig analitikus megoldások az előbbieken tárgyalt analitikus megoldási módokat vegyítik a numerikus módszerekkel megkapott eredményekkel. Megfelelő példa lehet az efféle eljárások megismeréséhez az a módszer [7], melyben a peremérték-problémát Green-függvény felhasználásával dinamikus háromdimenziós hővezetési egyenlet felírásából oldották meg. A kutatásban a hőszigetelt padló szerkezet hőveszteségeit a talaj hővezetési tényezője és vastagsága, valamint a padlólemez átlagos hőmérsékletének és a padló szerkezet alatti aljzat, adott mélységben numerikus módszer segítségével meghatározott havi átlaghőmérsékletének függvényében számították.

A hazánkban alkalmazott számítási módszerek bemutatása

A nemzetközi publikációs adatbázisokban számos eljárás leírása található a talajjal érintkező szerkezetek hőtechnikai modellezésére, de a hazai gyakorlatban ezek az eljárások többnyire nem honosod-

tak meg. A továbbiakban a magyarországi mérnökök által leggyakrabban használt 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet szerinti módszer fejlődésének áttekintésével foglalkozunk.

Az MSZ-04-140 szabványok módszerei

Az MSZ-04-140 jelzésű Magyar Népköztársaság Építésügyi Ágazati Szabványai 1978 és 1991 között három alkalommal jelentek meg, 1987-ig az Építésügyi és Városfejlesztési Minisztérium, majd 1991-ben a Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium adta ki őket. A szabványok magyar nyelvűek, és négy fejezetből állnak, melyek önálló egységeket képeznek. Az MSZ-04-140/1 a meghatározásokat és jelöléseket tartalmazza, az MSZ-04-140/2 a hőtechnikai méretezés eljárását szabványosítva, az MSZ-04-140/3 a fűtési hőszükséglet, míg az MSZ-04-140/4 a hűtési hőterhelés számítását tartalmazza. A kutatás szempontjából a 3-as, majd később a 2-es jelű szabványok tartalmaznak számítási módszereket a talajjal érintkező szerkezetek hőveszteségeinek meghatározásához.

A szabványok ugyan 2012. január 15-én visszavonásra kerültek, de azóta is számos épületenergetikus, energetikai tanúsító szoftver és a későbbiekben bemutatott jelenleg hatályos 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet talajjal érintkező szerkezetekre vonatkozó részei alkalmazzák a visszavont szabványból vonatkozó részeket.

MSZ-04-140/3 – 1978

Az épületek fűtési hőszükséglet-számítását a szabványok új verziói egyre komplexebb formában tartalmazták. Kezdetben a hőveszteségeket a következő egyenlettel írták le:

$$\dot{Q}_v = \sum A_1 \cdot k_1 \cdot (T_b - T_k) \quad (1),$$

ahol „A” az egyes határoló szerkezetek jellemző felülete, „k” a határolók hőátbocsátási tényezője, „T_b” a helyiség jellemző hőmérséklete, míg „T_k” a határolókon túli hőmérséklet. A talajon álló vagy talajjal érintkező határoló szerkezeteknél ún. vonalmenti hőátbocsátással számolhatunk.

MSZ-04-140/3 – 1987

A külső transzmissziós energiaáram számításának képlete egy átrendezésen és a hőmérsékletek b (belső) és k (külső) paramétere helyett i (interior) és e (exterior) jelölésű paraméterek alkalmazásán kívül változatlan maradt. A szabvány e változata tartalmazza a talajba irányuló energiaáramok meghatározására szolgáló képletet is, mely:

$$Q = l \cdot k_l \cdot (T_i - T_e) \quad (2)$$

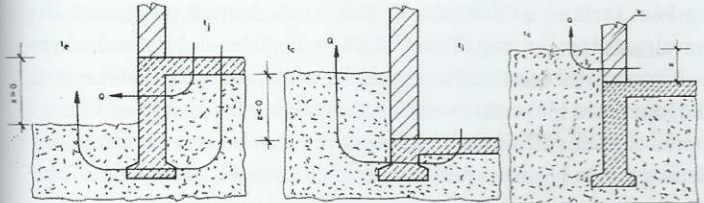
összefüggés segítségével határozható meg, ahol „l” a padló kerületének a külső térelhatárolással érintkező része és „k_l” a padló kerületére vonatkozó vonalmenti hőátbocsátási tényező. A vonalmenti hőátbocsátási tényező értékeit egy folyóméter hosszra a szabvány 1. mellékletében szereplő két táblázat tartalmazza.

A szabványban szerepel egy helyesbítés is a külső transzmissziós energiaáramok egyes külső térelhatárolásokra vonatkozó hatásainak figyelembevételére, melynek gondolata, hogy a helyiségek hőtároló képességének figyelembevételét egy „P_i” helyesbítő tényező alkalmazásával, a transzmissziós energiaáramokat ezzel szorozva vehetjük figyelembe.

A dolgozat szempontjából releváns talajon álló vagy talajjal érintkező szerkezetek hőveszteségeit a szabványban található 1.1. és 1.2. táblázat tartalmazza. Előbbi a padlón keresztüli hőveszteségeket adja



meg a padlószint és a talajszint közötti magasságkülönbség és a padló szerkezet hővezetési ellenállásának függvényében, míg utóbbi a talajjal érintkező falon keresztüli hőveszteségeket tartalmazza, a földdel érintkező falszakasz magassága és a falszerkezet eredeti, stacioner állapotban kiszámított hőátbocsátási tényezőjének függvényében. Az egyes értékek nem konkrét számértékek függvényében, hanem bizonyos tartományok közötti értékeként kereshetők ki a táblázatból, melyek két tizedes jegy pontossággal szerepelnek a táblázatban.



4. ábra: Az MSZ-04-140/3 – 1987 szabvány talajjal érintkező szerkezeteire vonatkozó táblázatok magyarázó ábrája

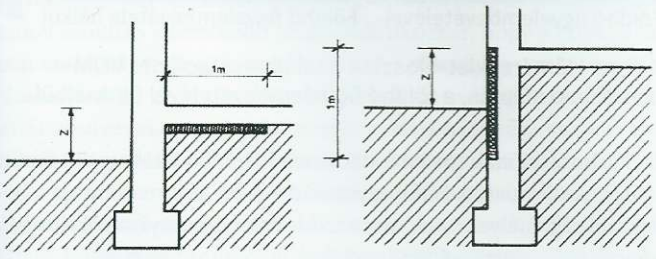
A padló és falcsatlakozásnál kialakuló szerkezeti hőhíd miatti többlet-hőveszteségekkel a szabvány nem foglalkozik. Megfigyelhető továbbá a fenti ábrán, hogy a padló szerkezet és a falszerkezet is homogén rétegeként van jelen, az alaptest ábrázolása pedig gyakorlatilag csak szimbolikus jelentőségű.

A táblázatos értékek az ábrák tekintetében tehát állandó vastagságú homogén rétegek változó hővezetési ellenállás melletti értékei, mely a valóságban egy bizonyos vastagság után kivitelezhetetlen. A táblázatos értékek továbbá állandósult állapot feltételezésével készültek, mivel a szabvány idején a tranziens egyenletek megoldásához szükséges számítási kapacitás nem állt még rendelkezésre, és a hőtárolás hatásait is egy helyesbítő tényező segítségével vehettük figyelembe.

A szabványban szereplő számítási eljárás értelmezésében tehát egy fűtött pince hőveszteségeinek meghatározásához a pince falszerkezetének külső, talajjal érintkező kerülete mentén mind a padló szerkezet hőveszteségeit, mind pedig a talajjal érintkező falszerkezet hőveszteségeit összegeznünk kell.

MSZ-04-140/2 – 1991

A szabvány rendelkezik arról, hogy a talajra fektetett padló szerkezet hőveszteségeit az MSZ-04-140/3 – 1987 szabványban is közölt, táblázatos módon számíthatjuk. A táblázat értékei, melyek azt M.5.6. mellékletben szerepelnek, az előzőekhez képest pedig nem változtak, csupán a szabványban szereplő magyarázó ábra vált kidolgozottabbá, ahogy az az 5. ábrán is látható. Szerepel továbbá egy talajon fekvő padlók egyenértékű hőátbocsátási tényezőjének meghatározására vonatkozó diagram és képlet, mely diagram a talajon fekvő padló kerületének és a padló területének hányadosának függvényében adja meg a szabvány szerint szigetelt peremű padló szerkezet egyenértékű hőátbocsátási tényezőjét.



5. ábra: Szigetelősáv elhelyezés 1 méter hosszon a padló szerkezet alatt vagy a lábazon

A szabvány tehát leírja, hogy a talajjal érintkező padló szerkezetnek az épület külső kerülete mentén húzódó 1 méter széles sávjában szükséges hőszigetelés a padló talajhoz viszonyított szintjéhez képest mekkora hővezetési ellenállással rendelkezzen, azonban a szövegezés ellentmondásba kerül a magyarázó ábrákkal, mivel a szöveg a padló alsó síkját említi viszonyítási pontként, míg a kótázás szerint a padló felső síkja számít. A szigetelősáv elhelyezésére vonatkozó magyarázó ábrákat alább láthatjuk.

Visszatérve a padló egyenértékű hőátbocsátási tényezőjének számításához, a szabvány 50. oldalán lévő diagram egy összefüggést is tartalmaz, mely a következő:

$$k = \frac{K}{A} \cdot [1,55 - (\frac{R}{R_{sz}} - 1) \cdot 0,30] \quad (3),$$

ahol „R” a padló hővezetési ellenállása a padló alsó szintjéig, „R_{sz}” a szabvány szerint szigetelt peremű padló szerkezet 1 méteres szigetelősávjában lévő hővezetési ellenállása, míg „K” a talajon fekvő padló kerülete, „A” pedig a padló területét jelöli.

Az MSZ EN 832 számítási módszere

Ez a nemzeti szabvány és annak 2002-es változata (előtte megjelent egy 1999-es változat is, mely angol nyelvű szövegezést tartalmazott) teljesen megegyezik az EN 832:1998 európai szabvánnyal, és tartalmazza annak AC:2000 és AC:2002 jelű helyesbítéseit is. A szabvány szerint a hőveszteségek számítását a következő összefüggés alapján számíthatjuk:

$$Q_l = H \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t \quad (4),$$

ahol „θ_i” a parancsolt (belső) hőmérséklet, „θ_e” a külső hőmérséklet átlaga az adott időszakra, „t” a számításba vett időtartam, „H” pedig az épület hőveszteség-tényezője, mely két tag összegéből áll: „H_T” az EN 13789:2000 szabvány szerint számított transzmissziós hőveszteség-tényező és „H_V” a szellőzési hőveszteség-tényező.

A transzmissziós hőveszteségek az európai szabvány szerint a következőkből állnak a közölt összefüggés szerint:

$$H_T = \sum_i A_i \cdot U_i + \sum_k l_k \cdot \psi_k + \sum_j \chi_j \quad (5),$$

ahol „A” a felületek nagysága, „U” a hozzájuk tartozó hőátbocsátási tényezők, „l” a vonalmenti hőátbocsátási tényezők hossza, „ψ” a vonalmenti hőátbocsátási tényezők, míg „χ”-vel a pontszerű hőátbocsátási tényezőket jelölhetjük.

A szabvány alapján tehát a hőveszteségeket az EN 13789 szabvány alapján kell számítanunk, tehát a talajjal érintkező szerkezetek esetében is ennek az angol nyelvű európai szabványnak az alkalmazása az elvárt.

Ezt a tényt bizonyítja a szabvány L mellékletében szereplő, tájékoztató mintapélda, mely egy Lausanne-ban, Svájcban építendő épület előzetes energiafogyasztásának meghatározására irányul. A talaj felé irányuló hőveszteségeket a számítások során az EN ISO 13370-ben közölt legegyszerűbb módszerrel számították, mely során a hőátbocsátási tényező alapértéke került kiszámításra, a talaj hővezetési tényezőjének előírt értéke 2,0 W/mK volt. A geometriai méreteket az épület külső méretei alapján határozták meg és vették számításba.

Legegyszerűbb módszer alatt valószínűleg az állandósult állapotról vonatkozó, talajon fekvő homogén padló szerkezetekre vonatkozó összefüggéssel számították a hőveszteségeket, azonban ez a szabvány

hőátbocsátási tényezőt számol, és nem vonalmenti hőátbocsátási tényezőt, melyet külön numerikus szimuláció vagy az EN ISO 14683 szabványban közölt értékek alapján vehetünk fel. E szabványok jelenlegi, hazánkban is hatályos változatainak bemutatásával a cikk 2. részében foglalkozunk részletesen. Az MSZ EN 832:2002 szabvány viszont 2008. szeptember 1-jei dátummal visszavonásra került, azaz a magyar MSZ 04-140 szabványcsoport túlélte ezt.

A 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet táblázatos módszere

A hazánkban jelenleg is érvényben lévő energetikai rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározására vonatkozik, mely alapja az épületek energetikai tanúsításának is, és az utóbbi években számos alkalommal esett át módosításon. A rendelet ún. követelményszinteket határozott meg, mely során a talajjal érintkező szerkezetek hőveszteségei az első és második lépcsőt érintik közvetlenül. Az első követelményszint a határoló és nyílászáró szerkezetek hőátbocsátási tényezőire vonatkozó követelményeknek való megfelelést jelenti, mely során a talajjal érintkező fal 0 és 1 méter között az általános követelményszint szerint $U = 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$, míg a lábazaton elhelyezett azonos ellenállású hőszigeteléssel helyettesíthető $U = 0,5 \text{ W/m}$.

A második szint során a fajlagos hőveszteség-tényezőre vonatkozó követelményértékeknek kell megfelelnie az épületnek, melyet az épület fűtött épülettérfogatot határoló szerkezetek (belső összfelülete és a fűtött épülettérfogat (fűtött légtérfogat) hányadosa alapján a rendeletben szereplő összefüggés segítségével határozhatunk meg. A fajlagos hőveszteség-tényező számításához az épület esetében a következő összefüggést kell alkalmaznunk:

$$q = \frac{1}{V} \cdot (\sum A \cdot U_R + \sum l \cdot \psi - \frac{Q_{sd} + Q_{sid}}{72}) \quad (6),$$

ahol a „V” a fűtött épülettérfogatot, „A” a belső lehűlő felületet, „ U_R ” az egyszerűsített esetben a hőhídveszteségek figyelembevételével korrigált rétegrendi hőátbocsátási tényező, míg részletes módszer esetében megegyezik a rétegrendi hőátbocsátási tényezővel (ez esetben azonban a hőhídveszteségeket a második tag szerint és az MSZ EN ISO 10211 szabvány alkalmazásával kell figyelembe venni). A képlet jobb oldalának második tagjában „l” a vonalmenti hőhidak hossza, „ ψ ” a hosszokhoz tartozó vonalmenti hőátbocsátási tényező, majd pedig „ Q_{sd} ” a direkt sugárzási nyereségeket, „ Q_{sid} ” pedig az indirekt sugárzási nyereségeket jelöli, melyeket egyszerűsített számítás esetén elhanyagolhatunk. A képletben szereplő 72 a standard magyarországi fűtési időnyre meghatározott hófokhíd ezredrésze.

A rendelet meghatározása szerint a talajjal érintkező szerkezetek hőveszteségeit részletes számítás esetében az MSZ EN ISO 13370 szabvány szerint, míg egyszerűsített számítás esetén a rendelet 3. mellékletében közölt vonalmenti hőátbocsátási tényezők alkalmazásával kell meghatározni.

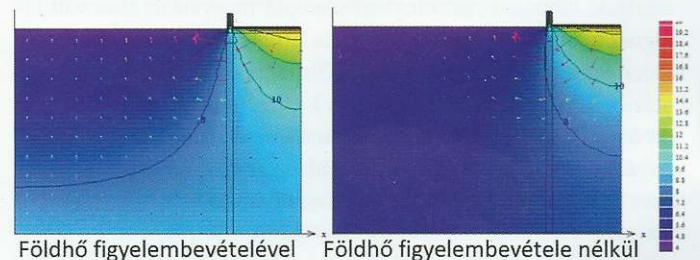
Ez utóbbi eset azért érdekes, mert a rendeletben közölt táblázatok gyakorlatilag megegyeznek az előbbieken bemutatott MSZ-04-140 szabványokban szereplő táblázatokkal, így a padló szerkezetek vonalmenti hőátbocsátási tényezőit a terület hosszegységére vonatkoztatva az MSZ-04-140/2 – 1991 alapján, míg a talajjal érintkező fal esetében (mivel az nem szerepelt az 1991-es szabványban) az MSZ-04-140/3 – 1987 szabványban megismert táblázat alapján számíthatjuk.

A TNM rendelet szerint tehát míg minden méretet belső méretek alapján kell figyelembe vennünk, a táblázatos értékek külső kerületre meghatározva szerepelnek, az értékek pedig a rendelet hatályba lépésekor mintegy harmincévesek. A hővezetési tényezők követelményértékeit felsoroló táblázatban a padló szerkezet esetében másfél méter szélességben lévő hőátbocsátási tényezőt kell figyelembe vennünk, a régi MSZ szabványok 1 méter szélességben írták elő a hőszigetelés szükségességét, bár a táblázatban szereplő értékek nyilvánvalóan a hőszigetelő réteg figyelembevétele nélkül, homogén padló szerkezetként kerültek a táblázatba, és csak a már említett magyarázó ábraváltozás történt meg. Továbbá míg a rendelet első követelményszintje a talajjal érintkező szerkezetek esetében az épített szerkezetek hőátbocsátási tényezőire vonatkozik, a táblázatban továbbra is hővezetési ellenállás alapján kell kikeresnünk az értékeket, mely figyelemtelenség esetén könnyen hibához vezetheti az épületenergetikusokat.

A 40/2012. (VIII. 13.) BM rendelet a módosításról

2012-ben érkezett az első módosítás a 7/2006. (V. 24.) TNM rendelethez, melyben többek között a padló szerkezetek vonalmenti hőátbocsátási tényezőit tartalmazó táblázat is módosult. Ez alatt pedig a táblázat bővülését érthetjük, mivel az addigi táblázat (lévén harminc éve változatlan volt) nem tartalmazott olyan nagy, kvázi a kétezres években valójában megépítésre szánt padló szerkezeteknek megfelelő hővezetési ellenállású szerkezetekhez tartozó oszlopokat.

A rendelet táblázata így bővítésre került, de a régi értékek változatlanok maradtak, és az új értékeket illesztették inkább a régiékhöz, mintsem a teljes táblázatot újra elkészítsék a kor valódi technikai színvonalának megfelelően. Az új értékek a régiékhöz hasonlóan végesdifferencia-módszerrel készülhettek, a szimuláció során az MSZ EN ISO 10211 szabvány instrukcióit betartva, de mivel ebben a szabványban nem kerül elő említés szintjén sem a földhőmérséklet mint alsó peremfeltétel, így ezek valószínűleg továbbra sem szerepelnek az új táblázatos értékekben sem. Meg kell jegyeznünk, hogy ez a hiányosság akár 5–10%-os pontatlanságot is okozhat az eredményekben, valamint teljesen eltérő hőmérséklet-eloszlást eredményez a padló szerkezet alatti talajban (szimulációs kísérletre mutat példát a 6. ábra), mivel hazánkban átlagosan 10–15 méter mélységben állandósul a talajhőmérséklet, melyek értéke kb. 9–10 °C, és hatása a talajjal érintkező szerkezetek hőtranszport-folyamataiban is szerepet játszik.



6. ábra: Hőmérséklet-eloszlás a talajban stacioner VDM-szimuláció alapján, a földhő figyelembevételével és anélkül

A szimulációnak továbbá stacioner állapotban kellett történnie, és az illesztés miatt további egyszerűsítésekre és korrekciókra lehetett szükség, melyek a valóságos modellezés hátrányára közelítették a harmincéves értékek tendenciáit.

A táblázatos értékek tehát továbbra is **nélkülözik** a padló és a fal csatlakozásánál kialakuló vonalmenti hőveszteségtöbbleteket.



A 1246/2013. (IV. 30.) kormányhatározat, illetve a 20/2014. (III. 7.) BM rendelet miatti módosításról

Bár a szigorúbb hőátbocsátási követelményértékek csak 2015-től léptek hatályba középületek esetében, és csak 2018-tól kell lakó- vagy irodaépületek tanúsítása során megfelelni a költségoptimalizált/közel nulla hőátbocsátási követelményszintnek, mivel az épületeknek a követelményeket használatbavételük idején kell teljesíteniük, a gyakorlatban a legtöbb épület tervezésekor már most célszerű alkalmazni az új követelményrendszert.

A rendelet tehát új „költségoptimalizált” hőátbocsátási tényező követelményértékeket határoz meg, bevezetve a lábazati falra vonatkozó követelményeket is, így a külső falra vonatkozó érték $U_m = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$, és a talajjal érintkező fal a terepszinttől 1 méter mélységig, valamint lábazati falra vonatkozó követelményérték $U_m = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ lesz. A padlószerkezet követelményértéke új építésű épületek esetén szintén $U_m = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, mely esetén az értékek immáron nemcsak a padlószerkezet szélső 1,5 m-es sávjára, hanem a padló egészére vonatkoznak.

A TNM rendelet táblázatos módszere talajjal érintkező padló esetén tartalmaz értékeket, melyekkel az új követelménynek megfelelő padlók is figyelembe vehetőek (az előzőekben tárgyalt jelentős egyszerűsítésekkel). Azonban a pincefalra vonatkozó táblázat $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ alatti hőátbocsátási tényezővel rendelkező falszerkezet esetén már nem tartalmaz értékeket, így a követelményértékeknek megfelelő szerkezetek tervezése esetén azokat a rendelet egyszerűsített módszerével nem tudjuk figyelembe venni. A rendelet táblázatához hasonló, de korszerű szimulációs technikákon és szabványokon alapuló továbbfejlesztett változata a cikk 2. részében bemutatásra kerül, mely a későbbiekben megfelelően átvehetné a közel harmincéves táblázat helyét.

Összefoglalás

Összefoglalva az előzőekben bemutatott számítási eljárásokat és módszereket, láthatjuk, hogy számos kutató foglalkozott az elmúlt közel száz évben a talajjal érintkező szerkezetek hőtechnikai számításának pontosításával, mind egyszerűbben alkalmazható, mind pedig a valóságot jobban közelítő modellek kidolgozásával.

Áttekintve a hazánkban épületenergetikai számítások, illetve tanúsítások során jelenleg leggyakrabban alkalmazott, 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet egyszerűsített módszerét, megállapítható a módszer előzményeiből, hogy a módosító rendeletek során már bővített táblázatban a padló kerületénél az épület külső méreteit kellene alapul venni (mivel a módszer eredetileg erre a hosszra lett kidolgozva), míg a rendelet összes többi számításánál belső méretekkel kell dolgozni, ezt azonban a rendelet szövegezése sehol sem említi. Ugyanígy következtelen, hogy a jelenlegi rendelet ragaszkodik a padló esetében a hővezetési ellenállás szerint megadott értékekhez, holott a követelményszinteknél a padló hőátbocsátási tényezőjét adják meg, ennél azonban jelentősebb problémát okozhat, hogy a táblázatokban szereplő értékek (és itt elsősorban a pincefalra vonatkozó táblázatot értjük) nem tartalmaznak olyan tartományban értékeket, mint amelyeket napjaink energiatudatos tervezése megkövetel. Ráadásul a táblázatok értékei esetében semmilyen információ, illetve paraméter nem áll rendelkezésünkre, hogy az adott épületet milyen talajra építettük, holott belátható, hogy az eltérő talajoknak eltérő hővezetési tényezőjük és térfogatihőkapacitás-értékük van. Továbbá egyik számítási módszer sem veszi figyelembe, illetve említi meg a talajhő hatását.

Az említett hiányosságok egy része kiküszöbölhető a részletes módszernek tekintett MSZ EN ISO 13370 szabvány szerinti számításokkal, valamint olyan számítási módszerek alkalmazásával, amelyek a jelenlegi eljárások pozitív tulajdonságainak megtartása és a jelenkori technikai fejlettség mellett tranziens numerikus szimuláción alapulnak. Ezen eljárások bemutatásával a cikk 2. részében foglalkozunk.

Irodalomjegyzék

- [1] Blomberg, T.: *Heat conduction in two and three dimensions, Computer Modelling of Building Physics Applications*, Doktori értekezés, Lund University, Department of Building Physics, 1996.
- [2] Claesson, J., Hagentoft, C.E.: *Heat loss to the ground from a building – I. General theory*, Building and Environment, vol. 26. (2), 195–208. oldal, 1991.
- [3] Csanaky J.: *Épületszerkezetek energiatudatos fejlesztése az építészeti és épületfizikai tervezés határfelületén*, Doktori értekezés, SZE Építészeti és Épületszerkezet-tani Tanszék, 2012
- [4] Delsante, A. E.: *Theoretical calculation of the steady-state heat loss through a slab-on-grade floor*, Building and Environment, 1988. vol. 23. (1), 11–17. oldal
- [5] Houghten, F. C., Taimuty, S. K., Gutberlet, C. and Brown, C. J.: *Heat loss through basement walls and floors*, Heating, Piping and Air-Conditioning, 1942. vol. 14., 69–74. oldal
- [6] Kusuda, T., Achenbach, P. R.: *Numerical analysis of the thermal environment of occupied underground spaces with finite cover using a digital computer*, ASHRAE Transactions, 1963. vol. 69., 439–452. oldal
- [7] Kusuada, T., Bean, J. W.: *Simplified methods for determining seasonal heat loss from uninsulated slab-on-grade floors*, ASHRAE Transactions, 1984. vol. 90. (1-B), 611–632. oldal
- [8] Latta, J. K., Boileau, G. G.: *Heat losses from house basements*, Canadian Builders, 1969. vol. 19. (10), 39–42. oldal
- [9] Nagy B.: *Talajjal érintkező szerkezetek hőtechnikai modellezésének lehetőségei*, TDK-dolgozat, BME Magasépítési Tanszék, 2013.
- [10] Nagy B.: *Pontszerű és vonalmenti hőhidak I.: A hőhidak, meghatározásuk módszerei és hatásuk az épületek energiavesztéseire*, Megtérülő Épületenergetika, 2014. 1. évf. 5. szám, 44–48. oldal
- [11] Nagy B.: *Thermal Calculation of Ground Contact Structures: New Methods Based on Parametrized Transient Finite Element Thermal Modeling*, Acta Physica Polonica A, 2015. vol. 128. (2-B), 164–166. oldal
- [12] Rees, S. W., Adjali, M. H., Zhou, Z., Davies, M., Thomas, H. R.: *Ground heat transfer effects on the thermal performance of earth-contact structures*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2000. vol. 4., 213–265. oldal
- [13] Rees, S. W., Zhou, Z., Thomas, H. R.: *Ground heat transfer: A numerical simulation of a full-scale experiment*. Building and Environment, 2007. vol. 42. (3), 1478–1488. oldal
- [14] Szagri D.: *Acélszálerezősítésű ipari padlók laborvizsgálatokkal támogatott dinamikus hő- és páratechnikai modellezése*, TDK dolgozat, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék, 2015.
- [15] V. Horn V., Dudás A.: *Talajon fekvő padló szerkezetek rekonstrukciójának elméleti alapjai és lehetséges megoldásai*, Magyar Építőipar, 2014. 64. évf. 5. szám, 194–201. oldal
- [16] Zoras, S.: *A Review of Building Earth-Contact Heat Transfer*, Advances in Building Energy Research, 2009. vol. 3., 289–314. oldal

Lektorált szakmai cikk.