



# Talajjal érintkező szerkezetek épületfizikája 2. rész

## Részletes számítások és dinamikus szimulációk



Nagy Balázs

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

Az épületfizikai és -energetikai számítások során jelenleg a talajjal érintkező szerkezeteken keresztül fellépő hőveszteségek figyelembevétele hordozza a legtöbb bizonytalanságot. A talaj és a rajta fekvő padló szerkezetek hőtechnikáját a folyamatosan változó külső környezeti tényezők miatt többdimenziós, instacioner (nem állandósult) állapottal írhatjuk csak le maradéktalanul. Jelen cikkben az előzőekben közöltek [1] folytatásaként a szabványos részletes számításokkal és a dinamikus szimulációkkal foglalkozunk. Továbbá egy új, komplex dinamikus szimulációkon alapuló közelítő táblázatos számítási módszer is bemutatásra kerül.

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 ever-changing external environmental factors, the heat transfer in the soils and slab on ground structures only describable with multi-dimensional transient thermal conditions. This article continues the preceding paper [1] on presenting the detailed calculation methods and dynamic simulations. Furthermore, new tabulated method based on complex dynamic simulations will be also presented.

**Kulcsszavak:** épületenergetikai számítások, talajjal érintkező szerkezetek, dinamikus szimuláció, hőhidak

### Bevezetés

A talajjal érintkező szerkezetek épületfizikai viselkedését és hőtechnikai számításait bemutató cikksorozat második részében a jelenleg hatályos MSZ EN ISO szabványos [2, 3, 4] részletes számításokat és numerikus szimulációs megoldásokat, valamint egy új, dinamikus szimulációkon alapuló közelítő táblázatos eljárást mutatunk be.

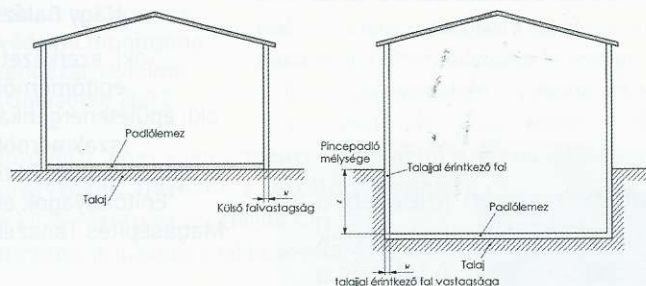
A padló szerkezetek és pincefalak hőtechnikai figyelembevétele kiemelt fontosságú az épületenergetikai tervezés során, mivel azokat utólag csak rendkívül költséges módon vagy korlátozottan tudjuk javítani, felújítani. Ezért is fontos, hogy a lehető legpontosabban vegyük figyelembe a padló szerkezetek hőveszteségeit, tervezzük és optimalizáljuk őket, melyekre a jelenlegi egyszerűsített módszerek korlátozottan alkalmasak.

### Részletes számítások a hatályos szabványok alapján

#### Talajon fekvő padlók és pincefalak hőveszteségei

Az előző cikkben [1] számos alkalommal esett utalás a 2008 óta hazánkban is érvényben lévő MSZ EN ISO 13370:2008 szabványra [2], melyre a hatályos 7/2006. TNM rendelet a talajjal érintkező szerkezetek esetén részletes számítási módszerként hivatkozik. A szabvány számítási eljárásainak elvi elrendezési vázlata az 1. ábrán látható. A modell alapján homogén, egyetlen hővezetési ellenállással jellemzett padlólemez (melynek vastagsága a modell szempontjából lényegtelen, csupán az ellenállás mértéke fog

számítani) és a csatlakozó külső fal  $w$  vastagsága alapján és a talaj hővezetési tényezőjének ismeretében, valamint természetesen a padló szerkezet geometriai méreteinek ismeretében számíthatjuk a  $U_{bf}$  padló hőátbocsátási tényezőjét. Fűtött pince esetén a transzmissziós hőveszteségek meghatározásához a pincepadló  $z$  mélysége és a talajjal érintkező fal hővezetési ellenállásának ismerete is szükséges, és természetesen a pincefal  $U_{bw}$  hőátbocsátási tényezőjét is meg kell határoznunk.



1. ábra: Szabványos talajon fekvő padló szerkezet (balra) és fűtött pince (jobbra) értelmezése [2] alapján

A szabványos számítások alapja, hogy a padló- vagy falszerkezet hővezetési ellenállása alapján meghatározunk egy egyenértékű padló-, illetve falvastagságot, mely a padló alatti vagy fal melletti talaj hővezetési tényezőjével rendelkezik, és ugyanazt az ellenállást feje ki. A további számításokat ezzel végezzük, a tényleges padlóvastagság vagy a padló/fal rétegrendi kialakítása nem játszanak szerepet a számítások során. A számításokhoz tehát először meg kell határozni  $d_t$  egyenértékű padlóvastagságot:

$$d_t = w + \lambda \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (1),$$

ahol  $w$  a külső (lábazati) fal vastagsága,  $\lambda$  a padlólemez alatti talaj hővezetési tényezője, melyekre ajánlott értékeket tartalmaz a szabvány (általános esetekben  $\lambda = 2,0 \text{ W/mK}$ ),  $R_f$  a padlórétegek hővezetési ellenállása, míg  $R_{si}$  és  $R_{se}$  a belső és külső felületi ellenállásokat jelöli. A szabvány értelmében a tömör betonlemezek és vékony padlóburkolatok hővezetési ellenállása elhanyagolható, valamint a lemez alatti tömörített talaj (pl. homok és kavics) hővezetési tényezőjét a talajéval azonosnak kell feltételezni, és a hővezetési ellenállását el kell hanyagolni a padló  $R_f$  hővezetési ellenállás meghatározása során. Amennyiben fűtött pincéről van szó, számolnunk kell a pincefal hőátbocsátási tényezőjét is, melyhez szükség van  $d_w$  egyenértékű pincefal vastagság meghatározására a következő összefüggéssel:

$$d_w = \lambda \cdot (R_{si} + R_w + R_{se}) \quad (2),$$

ahol „ $\lambda$ ” a falszerkezet melletti talaj hővezetési tényezője,  $R_w$  a talajjal érintkező falrétegek hővezetési ellenállása. Ki kell továbbá számítanunk  $B'$  segédmenyiséget, melyet a talajon fekvő padló területe és a padló kerület hosszának ismeretében tehetünk meg:

$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P} \quad (3),$$

amely képletben  $A$  jelöli a területet, míg  $P$  a padló kerületét. Ezután a szabvány az előbbieken meghatározott mennyiségek összehasonlításával dönti el, hogy két képlet közül melyiket alkalmazzuk a padló hőátbocsátási tényezőjének kiszámítására. Értelmeszerűen, amennyiben nem fűtött pince padlóját számoljuk,

z pincepadló mélységét nullának kell felvenni, ekkor a szabvány  $U_{bf}$  helyett egyszerűen  $U$  vagy  $U_0$ -ként hivatkozik a padló hőátbocsátási tényezőjére.

Ha  $d_t + 0,5 \cdot z < B'$ , tehát a padló hőszigeteltlen, vagy mérsékelten hőszigeteltnek tekinthető, akkor:

$$U_{bf} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_t + 0,5 \cdot z} \cdot \ln\left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t + 0,5 \cdot z} + 1\right) \quad (4).$$

Ha  $d_t + 0,5 \cdot z \geq B'$ , tehát a padló jól hőszigeteltnek tekinthető, akkor:

$$U_{bf} = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t + 0,5 \cdot z} \quad (5).$$

Az egyenértékű pincefal vastagság, a talaj hővezetési tényezőjének, valamint a padló szerkezet egyenértékű vastagságának és a pincepadló mélységének ismeretében számíthatjuk a pincefal hőátbocsátási tényezőjét is:

$$U_{bw} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot z} \cdot \left(1 + \frac{0,5 \cdot d_t}{d_t + z}\right) \cdot \ln\left(\frac{z}{d_w} + 1\right) \quad (6).$$

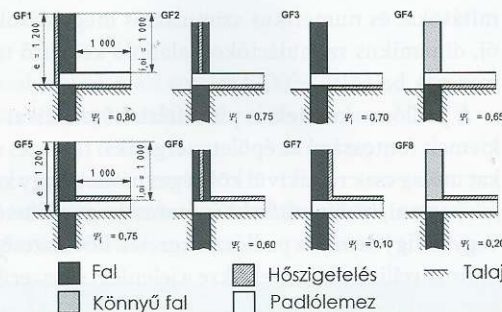
Az összefüggés abban az esetben alkalmazható, ha  $d_w \geq d_t$ . Az összefüggés alapján látható, hogy a pincefal hőátbocsátási tényezőjére a padló hőátbocsátási tényezője is hatással van. Amennyiben viszont az előbbi feltétel nem teljesül, a 6-os összefüggésben  $d_t$  helyett  $d_w$  írandó.

A hőátbocsátási tényezők meghatározása utána a talajon fekvő padló vagy fűtött pince teljes, állandósult állapotra vonatkozó transzmissziós hővesztesége is számítható a következő összefüggéssel:

$$H_g = (A \cdot U_{bf}) + (z \cdot P \cdot U_{bw}) + (P \cdot \psi_g) \quad (7),$$

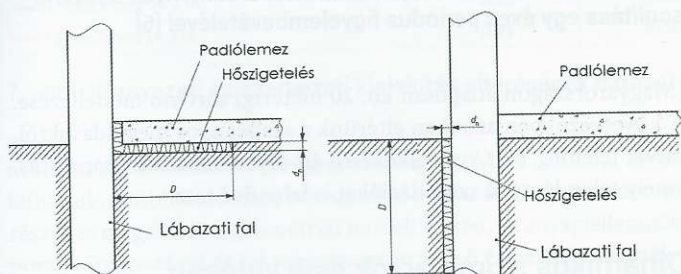
ahol „ $\psi_g$ ” a padló szerkezet és falcsatlakozásnál kialakuló hőveszteséget számításba vevő vonalmenti hőátbocsátási tényező, melynek értékét MSZ EN ISO 10211:2008 szerinti [3] numerikus szimuláció útján, vagy az MSZ EN ISO 14683:2008 szabványban [4] szereplő értékek alapján vehetjük fel. Ez utóbbi szabványban (lásd 2. ábra) a vonalmenti hőátbocsátási tényezők meghatározásánál a könnyűszerkezetes falak esetén  $U_{fal} = 0,375 \text{ W/m}^2\text{K}$ , míg szigetelt, hagyományos falazatoknál  $U_{fal} = 0,343 \text{ W/m}^2\text{K}$ -t vettek figyelembe. A csomóponti szimulációkban elhelyezett hőszigetelések hővezetési ellenállása  $R = 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ , a talaj hővezetési tényezőjének  $\lambda = 2,0 \text{ W/mK}$ -t alkalmaztak. Gond azonban, hogy a szabványos hőhíd katalógusban szereplő csomóponti kialakítások egyáltalán nem tekinthetőek példaértékűnek, valamint az alkalmazott hőátbocsátási tényezők sem felelnek már meg az új követelményeknek.

2. ábra: Talajon fekvő padló és falcsatlakozások vonalmenti hőátbocsátási tényezői, eltérő szerkezeti kialakítások esetén [4] szerint



## Hőszigetelő sávok figyelembevétele

Abban az esetben, ha a padló kerülete mentén vízszintesen vagy függőlegesen a lábazat mellett valamilyen szélességben és vastagságban hőszigetelő sávot alakítottak ki, lásd 3. ábra. Az ebből származó hőveszteség-csökkenést (vonalmenti hőátbocsátási tényezőként) az MSZ EN ISO 13370:2008 B melléklete szerint számíthatjuk. A régebbi, visszavont magyar szabványok megkövetelték az épület külső kerülete mentén történő hőszigetelést [1], melynek számítása azonban nem került át a 7/2006. TNM rendeletbe. A TNM rendelet jelenleg még érvényben lévő általános követelményrendszerében a padló megfelelőségét csupán 1,5 méteres szélső sáv alapján kell igazolnunk (költségoptimalizált szinten már a teljes padlót, amennyiben új építésről van szó). Ez alapján, amennyiben csak szélső szigetelő sávot helyeztek el, a TNM rendelettel akkor is a teljes padlóra vonatkoztatva kapjuk meg az egyszerűsített táblázatos módszerrel az egyenértékű vonalmenti hőátbocsátási tényező értékeit, még ha a padló szerkezet belső része egyáltalán nem rendelkezik hőszigeteléssel. A szabványos számítások, melyek a részletes módszert adják, láthatóan eltérő, pontosabb megközelítéssel rendelkeznek.



3. ábra: Vízszintes (balra) és függőleges (jobbra) peremszigetelések értelmezése [2] alapján

A részletes módszer megkülönböztet vízszintesen és függőlegesen elhelyezett hőszigetelő sávot, melyek hatását  $\psi_{g,e}$  vonalmenti hőátbocsátási tényező által vehetjük figyelembe, akár transziens hőtechnikai állapotban is, mivel a szabvány A és B melléklete szerint a padlóélnél kialakuló hőhídhatások (ide értve a hőszigetelő sáv hatását is) figyelembe vehetőek  $H_{pi}$  belső periodikus hőveszteség-tényező és  $H_{pe}$  külső periodikus hőveszteség-tényező esetén.

A hőszigetelő sávok vonalmenti hőátbocsátási tényezőjének számításánál először meg kell határozni  $d'$  többlet egyenértékű talajvastagságot:

$$d' = R' \cdot \lambda \quad (8)$$

ahol  $R'$  a peremszigetelés vagy lábazati fal melletti többlet hővezetési ellenállás, azaz a hőszigetelő sáv  $R_n$  hővezetési ellenállásának és a „kiszorított” talaj vagy padlólemez  $d_n$  vastagságának (mely vastagság megegyezik a hőszigetelő sáv vastagságával) és hővezetési tényező hányadosának a különbsége:

$$R' = R_n - \frac{d_n}{\lambda} \quad (9)$$

A vízszintes hőszigetelő sáv vonalmenti hőátbocsátási tényezője ezután  $D$  hőszigetelő sáv hosszának ismeretében számítható:

$$\psi_{g,e} = -\frac{\lambda}{\pi} \cdot \left[ \ln \left( \frac{D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left( \frac{D}{d_t + d'} + 1 \right) \right] \quad (10)$$

mely összefüggés alkalmazható mind lemez alatt, lemez felett vagy akár az épületen kívül elhelyezett vízszintes szigetelés (pl. fagyvédő szoknya) esetén is. A függőlegesen elhelyezett sáv esetén az összefüggés, melyet belső és külső, valamint a lábazati falban elhelyezett függőleges hőszigetelések esetén alkalmazhatunk, a következő:

$$\psi_{g,e} = -\frac{\lambda}{\pi} \cdot \left[ \ln \left( \frac{2D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left( \frac{2D}{d_t + d'} + 1 \right) \right] \quad (11)$$

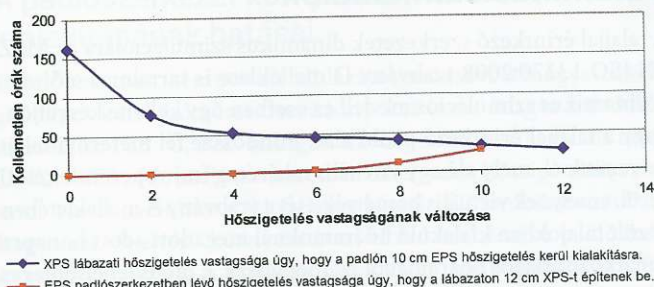
Az egyenletek alapján látható, hogy a függőlegesen az alaptest mellé elhelyezett peremszigetelés hatásosabb.

Állandósult állapotbeli számítás esetén a padlóél melletti vízszintes vagy függőleges hőszigetelő sáv hatását a padló hőátbocsátási tényezőjében is figyelembe vehetjük:

$$U = U_0 + \frac{2 \cdot \psi_{g,e}}{B_l} \quad (12)$$

ahol  $U_0$  a padló hőszigetelő sáv nélküli hőátbocsátási tényezője.

További érdekesség, hogy a lábazat melletti hőszigetelés nem csupán hőveszteség-minimalizálás szempontjából hatásosabb, mint a padló hőszigetelése, hanem nyári állapotban a kellemetlen órák számának csökkentésében is segít. A 4. ábrán dinamikus szimulációval végzett vizsgálat alapján [5] eltérő vastagságú lábazati, illetve padló-hőszigetelés hatását láthatjuk a nyári kellemetlen órák számára. Az előbbi megállapításokon túl megfigyelhető, hogy a padló szerkezet hőszigetelésének növelésével a kellemetlen órák száma is növekszik, melyet egyszerűen a talaj mint hőtároló tömeg elszigetelése magyaráz.



4. ábra: Padló szerkezet hőszigetelésének hatása a nyári hőkomfortra [5]

## További szabványos számítások

Az MSZ EN ISO 13370:2008 szabvány az előbbieken részletesebben bemutatott számítások mellett tartalmazza a légréteges padlók (valamint ezek szellőzésének) és a fűtetlen pincék feletti födékek hőátbocsátási tényezőjének meghatározását, továbbá a mellékletek számos instacioner (nem állandósult állapotbeli) jelenség lehetséges figyelembevételét is közli. Ilyenek például a talajokban kialakuló hőáramok számításai havi, fűtési idő szerinti vagy éves átlagos módszer szerint, melyekhez tartalmazza a periodikus hőveszteség-tényezők meghatározásának lehetséges képleteit (a periodikus behatolási mélység számításával a belső, ill. külső hőmérséklet-ingadozást, valamint fáziskülönbségeket). A szabvány melléklete tartalmaz az áramló talajviz, a padlóba ágyazott fűtésrendszer és hűtőházak hőtechnikai figyelembevételére is közelítő képleteket. A szabványban közöltekől eltérően vagy részletesebb esetekben numerikus szimulációs módszerek alkalmazandóak, melyeket az MSZ EN ISO 10211:2008 szabvány határoz meg.

## Részletes számítás numerikus szimulációval

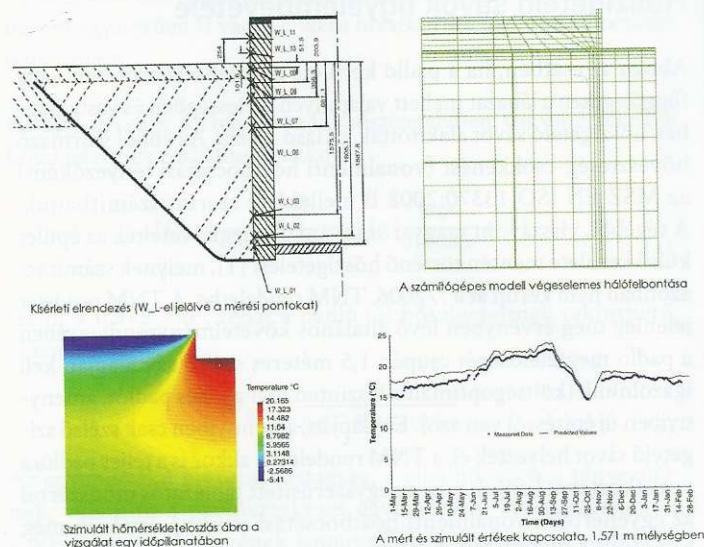
Talajjal érintkező padlók esetén a TNM rendelet részletes módszerként az MSZ EN ISO 13370:2008 szabvány számításait határozza meg, azonban természetesen e szabvány értelmében lehetőségünk van numerikus szimulációt készíteni. Ezeket az előbbieken már említett MSZ EN ISO 10211:2008 szabályozza, azonban csupán a kétdimenziós vonalmenti hőátbocsátási tényező meghatározását mutatja be padló- és falcsatlakozás, valamint talajon fekvő padló külső periodikus hővesztés-tényezőjének meghatározása esetén. A padló- és falcsatlakozásnál adódó hőhídvesztés-tényezőt a szabvány értelmében úgy határozhatjuk meg, hogy vagy a szimulációval megkapott hővesztésből kivonjuk a hőtechnikai számítások során felületi hővesztéssel figyelembe vett komponenseket (talajjal nem érintkező lábazati fal, talajon fekvő padló legfeljebb 4 méteres szakasza), vagy elkészítjük a csomópont hőhíd-szimulációját, és a kapott eredményből a fal és egy csupán padló szerkezetet tartalmazó szimulációval kapott hővesztés-tényezőt vonunk ki. A szabvány értelmében tehát a padló vonalmenti hőátbocsátási tényezője csupán a padló- és fal csatlakozásánál kialakuló hőhíd miatti többlethővesztés-tényezőt tartalmazza, ellentétben a TNM rendeletben alkalmazottakkal, amikor a teljes padló hővesztését vonalmenti hőátbocsátási tényezőként vesszük figyelembe. A szimulációs szabvány hátránya, hogy nem tesz említést talajjal érintkező padlók esetén háromdimenziós szimulációról, továbbá az MSZ EN ISO 13370:2008 szabványra irányít át a talaj (periodikus) virtuális hőmérsékletének meghatározásához.

## Dinamikus szimulációk

A talajjal érintkező szerkezetek dinamikus szimulációjára az MSZ EN ISO 13370:2008 szabvány D melléklete is tartalmaz előírást. A dinamikus szimulációs modell ez esetben úgy kellene készüljön, hogy a talajjal érintkező padló alatt mindössze fél méternyi talajt helyezünk el, mely alá egy virtuális talajréteg (mint peremfeltétel) kerül, amelynek virtuális hőmérsékletét a szabvány A mellékletében közölt talajokban kialakuló hőáramoknál megadott adott hónapra vonatkozó átlagos hőáramából számol vissza. E módszer elsődleges célja a dinamikus szimulációk erőforrásigényességének csökkentése lehetett, belátható, hogy gyorsabb számítást tesz lehetővé a virtuális rétegek alkalmazása, mint a talaj legalább állandósult állapotáig

6. ábra: Padló szerkezetek táblázatos egyenértékű vonalmenti hőátbocsátási tényezői dinamikus szimuláció alapján az új követelményeknek megfelelően

Talajjal érintkező padló szerkezetek vonalmenti hőátbocsátási tényezői [W/mK]											
z [m]	$U_{\text{padló}} \text{ [W/m}^2\text{K]}$										
	4	2	1	0,75	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1
-3	0,92	0,82	0,64	0,57	0,47	0,41	0,34	0,30	0,25	0,20	0,13
-2	1,03	0,91	0,70	0,63	0,52	0,46	0,38	0,34	0,29	0,23	0,16
-1,5	1,10	0,96	0,75	0,67	0,55	0,49	0,41	0,36	0,31	0,25	0,18
-1	1,20	1,06	0,80	0,72	0,59	0,52	0,44	0,39	0,33	0,27	0,20
-0,75	1,25	1,10	0,84	0,75	0,61	0,54	0,46	0,41	0,35	0,28	0,21
-0,5	1,32	1,16	0,88	0,78	0,64	0,57	0,48	0,43	0,37	0,30	0,22
-0,25	1,40	1,22	0,93	0,82	0,67	0,60	0,50	0,45	0,38	0,31	0,24
0	1,51	1,31	0,98	0,87	0,71	0,63	0,53	0,47	0,40	0,33	0,25
0,25	1,65	1,42	1,05	0,93	0,77	0,68	0,55	0,49	0,42	0,35	0,26
0,5	1,51	1,31	1,00	0,89	0,74	0,65	0,55	0,50	0,43	0,36	0,27
0,75	1,41	1,23	0,96	0,85	0,72	0,64	0,53	0,47	0,42	0,34	0,26
1	1,34	1,18	0,92	0,82	0,68	0,61	0,52	0,46	0,40	0,33	0,26
1,5	1,23	1,09	0,87	0,78	0,65	0,58	0,50	0,44	0,39	0,32	0,25
2	1,15	1,02	0,82	0,74	0,62	0,56	0,48	0,43	0,37	0,31	0,24
3	1,04	0,92	0,76	0,68	0,58	0,52	0,45	0,41	0,36	0,30	0,23

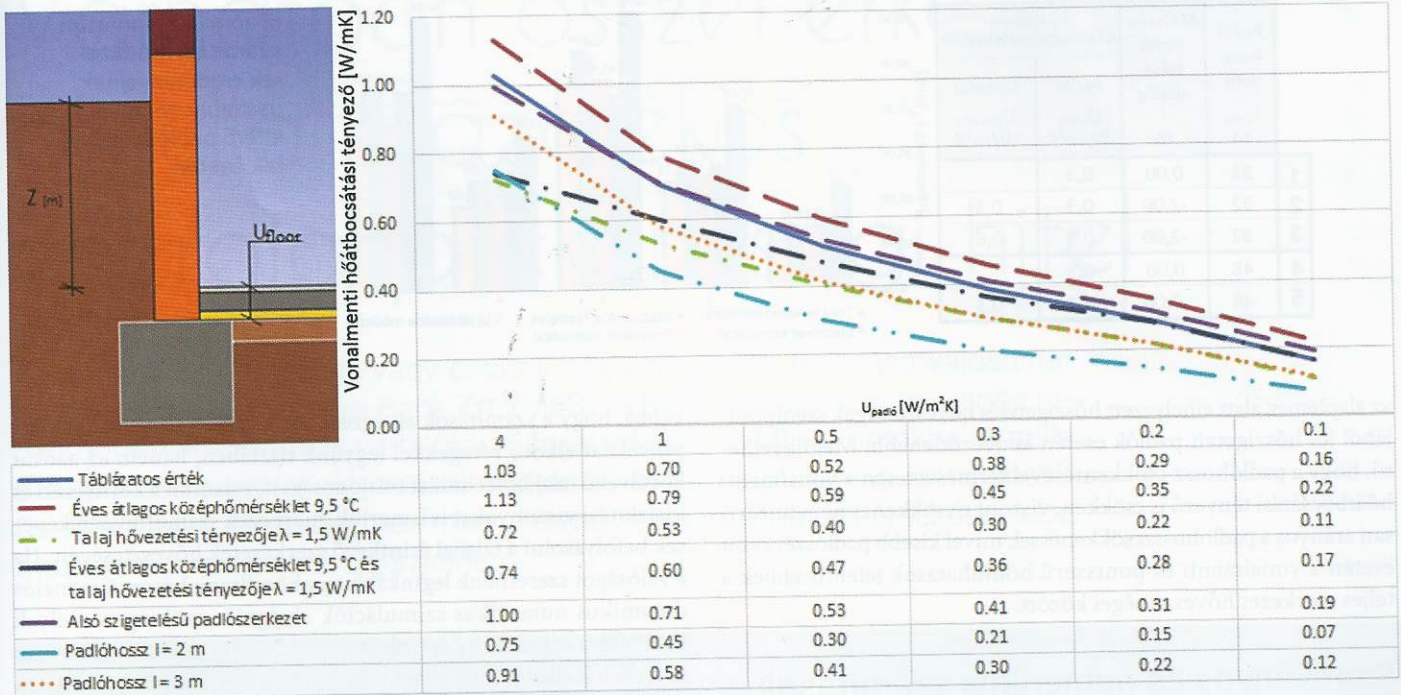


5. ábra: Talajjal érintkező pincefal és padló nagymodell kísérleten mért felületi hőmérsékleteinek és kétdimenziós dinamikus hőtechnikai szimuláció útján számított eredmények összehasonlítása egy éves periódus figyelembevételével [6]

(Magyarországon átlagosan kb. 20 méterig) történő modellezése. A következőkben azonban eltérünk a szabványos megoldásoktól, mivel jelenleg már rendelkezésre áll olyan számítási kapacitás, amely teljes léptékű szimulációkat is lehetővé tesz.

## Dinamikus szimulációk és a valóság kapcsolata

Felmerülhet a kérdés az olvasóban, hogy mennyire adhat megfelelő közelítést a dinamikus szimuláció a valósághoz képest. Rees és kutatótársai több mint egy évig mérték egy kísérleti, fűtött pincefal rendelkező épület hőmérsékleteit a pincefal bizonyos pontjainál, és ezt vetették össze a szimulált eredményekkel [6]. A szimulációhoz véges elem módszer alkalmaztak, mely során a szükséges differenciálegyenleteket kétdimenziós térben oldották meg. A talajjal érintkező szerkezet időben változó szimulációhoz szükséges hőtechnikai (hővezetési tényező, térfogati hőkapacitás) tulajdonságait feltárással, majd a minták vizsgálata során közvetett, számítási



7. ábra: Környezeti és szerkezeti kialakítás eltéréseinek hatásai  $z = -2 \text{ m}$  mélységben található pincepadló esetén

módszerek alkalmazásával határozták meg. Mint azt az 5. ábrán láthatjuk, a többdimenziós hőtechnikai szimuláció megfelelően és részletes megalkotott geometriai modell esetén, az anyagjellemzők pontos ismeretével és jól megválasztott külső és belső hőmérsékletfüggvények (mint peremfeltételek) alkalmazásával, a numerikus szimulációval kapott eredmények kellő pontossággal meg tudják közelíteni a mért értékeket.

## Dinamikus szimuláción alapuló új táblázatos módszer

A TNM rendelet táblázatos módszerének hiányosságai [1] és az előbbieken röviden bemutatott dinamikus teljes léptékű szimulációk ismeretében a kor követelményeivel haladva egy új, háromdimenziós végesesemes napi időlépéssel végzett dinamikus szimuláción alapuló táblázatos eljárást [7] mutatok be.

Az új táblázat lényege, hogy alkalmazása nem bonyolultabb a jelenlegi TNM rendelet táblázatánál, azonban használatával dinamikus szimulációkat megközelíthető pontosság érhető el. A táblázatban közölt értékek több ezer parametrikusan vezérelt dinamikus szimuláció alapján lettek meghatározva, melyek során a padló helyzete és a padló rétegtrendje is változtatásra került. A jelenlegi szabványos módszerek egyenértékű vastagságokkal számítanak, azonban nem elhanyagolható, hogy a jelenlegi hőszigetelt padló szerkezetek inhomogén, több rétegből álló szerkezetek, melyek vastagsága a hővezetési ellenállással növekedésével számottevően növekedhet, melynek kihatással kell lennie a padló hőáramvonalaira is. Ezért a módszer megalkotása során a valósághoz hasonlóan a padlórétegben elhelyezett hőszigetelés vastagságának változtatásával állítottuk be a padló hővezetési ellenállását.

Különbség a TNM rendelet táblázatos módszeréhez képest, hogy az új táblázat a padló rétegtervi hőátbocsátási tényezőjének konkrét értéke alapján (nem hővezetési ellenállási tartományok szerint) ad meg vonalmenti hőátbocsátási tényezőket, melyekben a csatlakozó falszerkezetek miatti vonalmenti hőveszteségtöbbletek is figyelem-

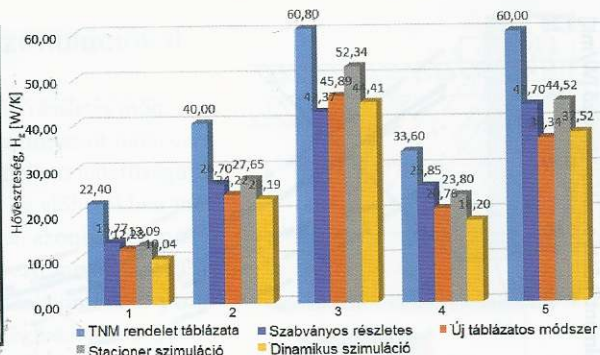
bevételre kerültek, ezáltal komplex és egyszerű megoldást nyújt a padló szerkezetek számításához. A táblázatot a 6. ábra tartalmazza.

## A padló szerkezet környezetének és kialakításának hatásai

Az előbbieken bemutatott táblázatos módszer a magyarországi átlagos külső hőmérsékletviszonyokat (éves átlagos külső hőmérséklet:  $10,5 \text{ °C}$ , éves hőingás:  $22 \text{ °C}$ ), homokos-kavicsos talajt ( $\lambda = 2,0 \text{ W/mK}$ ), padló szerkezetben elhelyezett hőszigetelést valamint 4 m-es padlóhosszt feltételezve készült. Előfordulhat azonban, hogy ezektől eltérő környezetben, eltérő kialakítású padló szerkezetek készülnek. A táblázatos módszert továbbfejlesztve ezért elkészültek olyan korrekciós tényezők, melyek számos környezeti és szerkezeti kialakítás eltérés miatti hatást figyelembe képesek venni [8], úgymint a külső hőmérséklet, talaj, szigetelési kialakítás, padlóhossz eltérése miatti korrekciók. A háromdimenziós padló kialakítások miatt a pozitív sarkok esetén hőveszteség-csökkentő tényező került bevezetésre, mivel a kétdimenziós értékeket a teljes terület mentén alkalmazva a padló szerkezet sarki zónáit azok átlapolása miatt többszörösen vettük figyelembe. Ugyanezen korrekciós tényezővel különféle eltérő geometriájú padló szerkezetek is megfelelően számíthatóak.

A 7. ábrán egy 2 méter mélyen fekvő pincepadló esetén láthatóak a különböző eltérések miatti változások a vonalmenti hőátbocsátási tényezőkön, a padló rétegtervi hőátbocsátási tényezőjének függvényében. Látható, hogy az éves átlagos középhőmérséklet csökkenésével nő a hőveszteség, azonban a padló hőszigetelésével a növekedés mértéke egyre kisebb. Fontos, hogy a talaj hővezetési tényezőjének csökkenésével (iszapos-agyagos talaj,  $\lambda = 1,5 \text{ W/mK}$ ) a hőveszteségek is jelentősen csökkennek, tehát a számítások során akár részletes számítást, akár numerikus szimulációt készítünk, a talaj hőtechnikai tulajdonságának megismerése és pontos figyelembevétele szükséges, ennek hiányában akár kirívó mértékben hibásan határozzuk meg a hőveszteségeket. Látható továbbá, hogy

	Padló kerülete $l_{\text{padló}}$ m	Mélység padló felső síkjáig $z$ m	Rétegtervi hőátbocsátási tényezők	
			Padló $U_{\text{padló}}$ $W/m^2K$	Pincefal $U_{\text{pincefal}}$ $W/m^2K$
1	32	0,00	0,3	
2	32	-2,00	0,3	0,3
3	32	-2,00	0,8	0,6
4	48	0,00	0,3	
5	48	-2,00	0,3	0,3



8. ábra: A bemutatott számítási módszerek eredményeinek összehasonlítása eltérő padló szerkezetek esetén

az alapelem alatt elhelyezett hőszigetelés hőveszteségek szempontjából jól hőszigetelt padlók esetén kedvezőtlenebb. Megfigyelhető, hogy a padlóhossz csökkentésével természetesen a vonalmenti hőátbocsátási tényező is csökken, viszont e csökkenés nem lineárisan arányos a padlóhosszcsökkenéssel, mivel kisebb padló szerkezet esetén a vonalmenti és pontszerű hőhidhatások jelentősebbek a teljes szerkezet hőveszteségei között.

## Szabványos és numerikus számítások eredményeinek összehasonlítása

Adódik ismét a kérdés, hogy mekkora lehet az eltérés az állandósult állapotbeli számítások (TNM rendelet, szabvány), a stacioner és a dinamikus szimulációval kapott eredmények között. Miután láthattuk, hogy a dinamikus szimuláció megfelelő adatok ismeretében jól közelíti a valóságot, a kérdés leginkább azért is érdekes, hogy az előbbiekben bemutatott táblázatos módszer mennyire képes megközelíteni a dinamikus szimuláció eredményeit, és ezzel közvetetten a valóságot is. A 8. ábrán egy erre vonatkozó összehasonlító elemzés [9] egy részletét láthatjuk, mely öt eltérő padló szerkezet (3 darab  $8 \times 8$  méteres négyzetes és 2 darab  $8 \times 16$  méteres téglalap alapú) számításának eredményeit mutatja be a hatályos TNM rendelet, az MSZ EN ISO 13370:2008 szabvány, az új táblázatos módszer, stacioner szimuláció, valamint dinamikus szimuláció alapján. Megfigyelhető, hogy a TNM rendelet táblázatos módszere minden esetben számottevően nagyobb eredményt adott, valamint hogy szabványos részletes számítás jól hőszigetelt padlók és pincefalak esetén hasonló eredményt ad, mint a stacioner szimulációk. Azonban az előbbiek minden esetben magasabb eredménnyel járnak, mint a padló hőátroló képességét is figyelembevevő dinamikus szimuláció és az azon alapuló új táblázatos módszer. Az új táblázatos közelítő módszer háromdimenziós esetekben is a legjobb közelítést adta a rendelkezésre álló korrekciók alkalmazásával a dinamikus szimulációkhoz.

## Összegzés

Jelen cikkben a talajjal érintkező szerkezetek hőtechnikai számításához alkalmazható szabványos módszereket, valamint numerikus szimulációs eljárásokat mutattam be. A legalább szabványos számítási eljárások alkalmazása a padló szerkezetek számításának szempontjában elengedhetetlenül fontos, már csak a TNM rendelet értékeihez képesti kedvezőbb eredmények végett is. Mivel a TNM rendelet egyszerűsített számítása és az MSZ EN ISO szabványos részletes számítások között az előbbiekben bemutatott jelentős különbségek adódhatnak, az egyszerűsített számításokat érdemes lehetne felülvizsgálni, modernizálni és pontosítani. Szükséges to-

vábbá, hogy a számítások elvégzése során ne csupán a padló vagy pincefalat alkotó rétegekkel legyünk tisztában, hanem az azokat körülvevő talaj hőtechnikai tulajdonságait, valamint a környezeti és kialakítási viszonyokat is ismerjük, mert ezek számottevően képesek befolyásolni a talajjal érintkező szerkezetek hőveszteségeit. Ha a valóságot szeretnénk leginkább megközelíteni, háromdimenziós dinamikus numerikus szimulációk elvégzése szükséges, melyek kiváltására egyedül egy új táblázatos módszer és az ahhoz szükséges korrekciók alkalmazása képes jelenleg. Ez a bemutatott új táblázatos módszer a hatályos 7/2006. TNM rendelet egyszerűsített módszerét is kiválthatná, és ekkor jelentősen pontosabban számíthatnánk a talajjal érintkező padlók hőveszteségeit.

## Irodalomjegyzék

- [1] Nagy B. (2016): *Talajjal érintkező szerkezetek épületfizikája 1. rész – Történeti áttekintés, egyszerűsített számítások*, Megtérülő Épületenergetika III. évf (3), pp. 38-43.
- [2] MSZ EN ISO 13370:2008 *Épületek hőtechnikai viselkedése. Hőátvitel a talajban. Számítási módszerek (ISO 13370:2007)*
- [3] MSZ EN ISO 10211:2008 *Hőhidak az épületszerkezetekben. Hőáramok és felületi hőmérsékletek. Részletes számítások (ISO 10211:2007)*
- [4] MSZ EN ISO 14683:2008 *Hőhidak az épületszerkezetekben. Vonalmenti hőátbocsátási tényező. Egyszerűsített módszerek és felülrható kiindulóértékek (ISO 14683:2007)*
- [5] Medgyasszay P. (2007): *A földépítés optimalizált alkalmazási lehetőségei Magyarországon: különös tekintettel az építésökológia és az energiatudatos épülettervezés szempontjaira*, Doktori értekezés, BME Épületszerkezettani Tanszék
- [6] Rees, S.W., Zhou, Z., Thomas, H.R. (2007): *Ground heat transfer: A numerical simulation of a full-scale experiment*, Building and Environment vol. 42. (3), pp. 1478-1488.
- [7] Nagy B. (2015): *Thermal Calculation of Ground Contact Structures: New Methods Based on Parametrized Transient Finite Element Thermal Modeling*, Acta Physica Polonica A vol. 128. (2-B), pp. 164-166.
- [8] Nagy B. (2015): *Thermal calculation of ground contact structures: Correction factors of environment- and structure-dependent effects on the heat transfer coefficient*, International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering (IJCESN) vol. 1., pp. 26-29.
- [9] Nagy B. (2014): *Talajjal érintkező szerkezetek tranziens numerikus hőtechnikai modellezése*, MSc diplomamunka, BME Magasépítési Tanszék

Lektorált szakmai cikk.