

Nyugat-magyarországi Egyetem
Faipari Mérnöki Kar
Cziráki József
Faanyagtudomány- és Technológiák
Doktori Iskola
Sopron

Fa bordavázis lakóépületek energetikai minősítési módszere, és alkalmazása fejlesztési célokra

Készítő:
Hantos Zoltán

Témavezető:
Winkler Gábor
az MTA doktora

2008.október
Sopron

Kivonat

Fa bordavázás lakóépületek energetikai minősítési módszere, és alkalmazása fejlesztési célokra

Hantos Zoltán okleveles faipari mérnök, egyetemi tanársegéd, NymE-FMK, Építéstani Intézet

Magyarország energiafelhasználásában jelentős hányadot képvisel a lakossági energiafogyasztás, ami télen a fűtési célú földgázfogyasztásban, nyáron pedig a hűtési célú villamosenergia-fogyasztásban mutatkozik meg. Az energiával való takarékos bánásmód globális érdekünk, de ennél közelebbi indok az Európai Unió 2002/91/EK energetikai direktívája, valamint az ezzel összhangban született 7/2006. (V.24.) TNM rendelet az energetikai számításokról, és a 176/2008. (VI.30.) Korm. Rendelet az energiatanúsításról. Az említett jogszabályok közvetlenül szabályozzák az épületekkel szemben támasztott hőtechnikai és energetikai követelményeket. Felhasználói oldalról a rohamosan emelkedő földgáz-árak, illetve az állami támogatások arányának fokozatos csökkentése sürgeti az épületállomány energetikai hatékonyságának fejlesztését. A könnyűszerkezetes épületek kedvező hőtechnikai jellemzőkkel rendelkeznek, ezáltal jelentős szerepet kaphatnak az energiatakarékos épületek piacán. A jelenleg átlagosnak mondható szerkezet némi fejlesztéssel megfelel a legmagasabb energetikai besorolásnak. A dolgozat ezt a szükséges fejlesztést vizsgálja meg teljesítménynövekedés, költség, és megtérülési idő szempontjából. A vizsgálathoz a hagyományos épületekre kidolgozott módszerek közvetlenül nem alkalmazhatóak, így az eltéréseket is magába foglaló számítási eljárást kellett kidolgozni. A számítási módszerrel szemben támasztott követelmények, hogy legyen pontos, vegye figyelembe a szerkezet sajátosságait, ugyanakkor maradjon egyszerű és gyors, ugyanis az energiatanúsítás elkészítésére legfeljebb két munkaóra számolható el. A dolgozat jelentős figyelmet fordít az üvegezett szerkezetek számításaira is. A kidolgozott eljárás némi módosítással a hagyományos szerkezetű épületek minősítésében is alkalmazható.

Kulcsszavak: *fa bordavázás épületek, energetikai minősítés, számítási módszer, energetikai fejlesztés*

Abstract

Energetical certification method of wooden frame housing system, and application for development

HANTOS, Zoltán CE for timber stuctures, assistant lecturer, Univ. of West-Hungary, Fac. of Wood Sciences, Institute of Architecture

Community energy consumption take a major share of the national energy usage in Hungary. This appear in the heating usage of natural gas in winter, and cooling usage of electrical energy in summer. Saving the energy is our global interest, but the 2002/91/EK Energetical Directive of the European Union is a more exact reason. In Hungary, the 7/2006 (V.24.) Ministerial decree about the energetical calculations and the 176/2008 (VI.30.) Governmental decree about the energetical certificate of buildings regulate the energy consumption of buildings in harmony with the european regulations. These rules control the thermal and energetical requirements of building directly, but the rapidly rising price of the natural gas, and the gradual decreasing of the subsidies are also pressing the bettering of the energetical efficiency of hungarian building stock. The wooden frame houses have got favourable energetical properties, so this kind of buildings can get significant mission on the market of the energy-saving houses. The average hungarian wooden-frame-construction can be suitable for the highest energetical classification after some development. This dissertation examine the necessary development from the point of decreasing the energy-need and heating cost, rising the building cost and time of refunding. The common methods are usable for the „traditional” brick and concrete structures, but the wooden-frame buildings need some changes in calculaton method. These changes were to be worked out. The modified method had to be exact, detailed, fitted to the specialities of the wooden-frame system, but simple and quick, because the maximal time of making a certification will be two hours (according to the 176/2008 (VI.30.)). The dissertation turns significant attention to calculation of glazed structures. This part of the calculation method is very useful for the certification of the traditional (brick) buildings, too.

Keywords: *wooden-frame housing system, energetical certification, calculation method, energy-efficiency development*

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	4
1. Bevezetés	6
2. A hőtechnikai fejlesztések háttere	8
2.1. Energiaviszonyok Magyarországon.....	8
2.1.1 Magyarország energiagazdálkodása, különös tekintettel a földgázra.....	10
2.1.2. A magyar gázpiac várható helyzete	13
2.1.3. Magyarország energetikai megítélése nemzetközi szinten.....	14
2.1.4. Energiahatékonyság	15
2.1.5. Az energiatanúsítás	16
2.2. Favázás épületek a lakáspiacon	18
2.2.1. Fa bordavázás épületek.....	18
2.2.2. A borított vázas faházrendszer.....	19
2.2.3. A bordavázás rendszer előregyártása.....	21
2.2.4. Faszerkezetű födémek.....	23
2.2.5. Tetőszerkezetek	23
2.2.6. A magyarországi bordavázás építési rendszerek értékelése	25
2.3. Passzívházak	27
2.3.1. A passzívházak megszületése és fejlődése	27
2.3.2. Passzívházak Európában és Magyarországon.....	29
2.3.3. Passzívházak építészeti jellegzetességei.....	30
2.3.4. Passzívházak térelhatároló szerkezetei	32
2.3.5. Légtömörség és szellőzés.....	33
3. A fa bordavázás épületek vizsgálata	36
3.1. Előzmények	36
3.1.1. Az analízis előkészítése	38
3.2. A rétegrendek vizsgálata.....	42
3.2.1. Az egyes külső térelhatároló szerkezetek számítása és ellenőrzése	42
3.3. A hőhidak vizsgálata.....	46
3.3.1. Vonalmenti hőhidak.....	46
3.3.2. <i>Therm 5.0</i> végeselem-alapú hőhíd-modellező szoftver bemutatása	47
3.3.3. A <i>Therm</i> eredmények feldolgozása – hőtechnikai adatok	49
3.3.4. A <i>Therm</i> eredmények feldolgozása – páratechnikai adatok	49
3.3.5. Pontszerű hőhidak vizsgálata.....	50

3.4. A nyílászárók vizsgálata	51
3.4.1. Az üvegezett szerkezetek eredő hőátbocsátása.....	51
3.4.2. A napsugárzás hőnyeresége	53
3.5. Az épület vizsgálata	55
3.5.1. Az épület fajlagos hőveszteség-tényezője	56
3.5.2. Az épület összesített energetikai jellemzője	56
3.6. Az általános kivitelű mintaépület minősítése	58
3.6.1. Kiindulási adatok	59
3.6.2. Ellenőrzés.....	60
3.6.3. Értékelés.....	63
4. Az ellenőrzési módszer alkalmazása fejlesztésre	64
4.1. Célkitűzések.....	64
4.2. A fejlesztett rétegrendek kiválasztása.....	65
4.3. A fejlesztett lehűlőfelületek számításai és ellenőrzése	68
4.4 Az épület minősítése részletes módszerrel	70
4.5.1. Értékelés.....	71
4.6. Az épület minősítése egyszerűsített módszerrel	72
4.6.1. Értékelés.....	72
4.7. A fejlesztés értékelése.....	73
4.8. Költségelemzés	78
5. Összefoglalás	82
5.1. Megállapítások.....	83
6. A szövegben említett hivatkozások	88
7. Felhasznált irodalom.....	89
8. Mellékletek	94
8.1. A vizsgált lakóépület rajzai.....	95
8.2. Átlagos kivitelű fa bordavázás épület.....	101
8.2.1. Rétegrendek adatlapjai.....	101
8.2.2. Hőhídkatalógus	105
8.2.3. A nyílászárók adattáblázatai	120
8.3. Fejlesztett hőszigetelésű fa bordavázás épület.....	125
8.3.1. Rétegrendek adatlapjai.....	125
8.3.2. Hőhídkatalógus	129
8.3.3. A nyílászárók adattáblázatai	144
8.4. Anyagköltségek összegzése	149

Fa bordavázás lakóépületek energetikai minősítési módszere, és alkalmazása fejlesztési célokra

1. Bevezetés

Kutatásom célja, hogy ellenőrizsem a napjainkban alkalmazott könnyűszerkezetes építési megoldásokat hő- és páratechnikai szempontból, majd az eredmények alapján fejlesztési irányokat határozzak meg, illetve ajánlásokat tegyek a jövőre vonatkozóan. Az Európai Unió 2002/91/EK irányelve az energiatanúsítási rendszerek bevezetéséről és az épületek hőenergia-felhasználásának csökkentéséről rendelkezik (Csehi 2007), ennek a folyamatnak látványos hatása a 7/2006-os TNM kormányrendelet érvénybelépése, és az ismétlődő energiatakarékossági pályázatok kiírása hazánkban. Ismeretes, hogy ezen pályázatok a hazai energiaveszteség jelentős részét okozó, iparosított technológiával épített épületek korszerűsítését célozzák, azonban az évenként kiadott építési és használatbavételi engedélyek száma a könnyűszerkezetes családi házak tekintetében is egyre növekszik. Magyarországon a fűtés-hűtés célú energiafelhasználás az országos primerenergia 30%-át teszi ki. Épületállományunk energiahatékonysága rendkívül gyenge, energiaveszteségük az EU-15 országok átlagának kétszerese, ami a lakóépületek kedvezőtlen szerkezeti adottságaira, és a korszerűtlen gépészeti rendszerekre vezethető vissza (Prohászka 2007). A helyzet javítását sürgeti a 2009 január 1-től hatályba lépő 176/2008-as, az energiatanúsításról szóló kormányrendelet. A rendelet szabályozza az energiatanúsítvány kiállításának feltételeit, többek között a tanúsítást végző szakember díjazását is. A tanúsítvány elkészíttetésének költségeit alacsonyan kell tartani, ami csak úgy lehetséges, hogy gyors, átlátható módszereket dolgozzunk ki a számításokhoz. Célkitűzésemet ezért bővítettem: kidolgozni egy számolási módszert, ami kifejezetten könnyűszerkezetes épületek minősítésére alkalmazható.

Vizsgálatom tárgyát képezi a magyar piacot meghatározó kivitelező cégek által kínált fa bordavázás épületszerkezet. Természetesen nem cél minden Magyarországon készülő szerkezet vizsgálata, azonban figyelembe véve, hogy a MAKÉSZ (Magyar Készhágyártók Szövetsége) tagsággal rendelkező vállalkozások közel azonos hőtechnikai jellemzőkkel ajánlják az alapkiviteli épületeiket, a vizsgálataimhoz létre tudtam hozni egy kivitelezőtől független, átlagot képviselő lakóépület-szerkezetet. Az ellenőrzési módszer alapját a szabványharmonizáció során átvett, és részben

magyarosított európai szabványok, számítási módszerek képezik. Az ellenőrzési módszer a lehető legnagyobb mértékben igyekszik számítógépes szoftverek integrálására.

A vizsgálat kiterjed a külső térelhatároló szerkezetek rétegrendjeinek kialakítására, valamint ezen szerkezetek kapcsolódási pontjaira. A kutatás során ellenőrzésre kerülnek olyan szerkezeti részek is, amik a hagyományos építési módnál is hasonló módon kerülnek kialakításra (tetőszerkezet csomópontjai, nyílászárók, és ezek beépítési megoldása), így az eredmények egy része a hagyományos építési rendszerekre is alkalmazható.

A kutatás egyik eredménye az a számolási módszer, ami kifejezetten könnyűszerkezetes lakóépületek minősítésekor alkalmazható. A dolgozat iránymutató irodalomként szolgálhat azok számára, akik könnyűszerkezetes épületekről készítenek hőtechnikai ellenőrzést, vagy energiatanúsítványt. A módszer alkalmazását egy átlagosnak mondható és egy hőtechnikailag fejlesztett építési rendszer összehasonlításán keresztül mutatom be. A dolgozatban bemutatott mintaépület az energetikában kevésbé jártas tervezők és kivitelezők számára hasznos segítség a mindennapi munkájukhoz, ezzel igyekszem hozzásegíteni hazánkat ahhoz, hogy mihamarabb fel tudjunk zárkózni az alacsony-energiafelhasználású, illetve passzívházak építését szorgalmazó európai törekvésekhez.

A kutatás indokoltsága és időszerűsége a hazai energiapolitika várható tendenciáival támasztható alá. Ezek megismerésével könnyen belátható, hogy hazánkban a közeljövőben nagyarányú gázár-emelés fogja megfékezni a jelenlegi rossz hatásfokú, egyes esetekben már mértéktelennek is nevezhető energiacsúszást a lakossági és az ipari felhasználás területén egyaránt. Ennek eredményeként meg fog növekedni az igény az alacsony energiacsúszású épületek iránt. A külföldi tendencia hamarosan a hazai lakásépítési számadatokon is megfigyelhető lesz. A könnyűszerkezetes, és azon belül is a fa bordavázas szerkezetek évről-évre egyre nagyobb részt hasítanak ki maguknak az új építésű családi házak piacáról. Ennek a szerkezeti rendszernek a bővebb megismerése, és összefoglaló elemzése lehetőséget nyújt fejlesztési irányok meghatározására. A magyar építési piacon jellegzetes, átlagos szerkezetből egy alacsony energiájú ház a hőszigetelés tudatos alkalmazásával egyszerűen kialakítható. A hosszútávú fejlesztési célok között pedig mindenképp a passzívházak szerepelnek. Ezek jellemzői is bemutatásra kerülnek az értekezés elméleti fejezeteiben.

2. A hőtechnikai fejlesztések háttere

2.1. Energiaviszonyok Magyarországon

Magyarország energiapolitikájának megismerése segít belátnunk, hogy a hőszigetelés hamarosan az egyik legfontosabb eleme lesz épületeinknek. Jelen kutatás a lakóépületek, mint energia-végfelhasználók energiaszükségletének csökkentési lehetőségét keresi, elemzi. Nem kérdéses, hogy az energiaellátás egy ország gazdasági életének súlypontja, sőt, életképességének alapfeltétele. Az Európai Unió 2002/91/EK irányelve első és legfontosabb feladatként tűzi ki az energiafogyasztás csökkentését. Ezt elsősorban a fogyasztók hatékonyságának fokozásával lehet elérni. A hatékonyság növelése alatt lakóépületek esetén az energiafelhasználás csökkenését értjük, azonos, vagy javuló komfortszint mellett. Tényként elfogadhatjuk, hogy egy adott épület energiaszükséglete az alkalmazott hőszigetelés növelésével csökken. Ez azonban a beruházásnál többlet költséget okoz, ami a fűtés, illetve a hűtés költségcsökkenése során térül meg. A fűtési energiaegységre vonatkoztatva vizsgálható a beruházás többletköltsége, vagyis a megtérülési idő. Ehhez értelemszerűen csak az aktuális, és esetleg valamilyen alapelv szerint prognosztizálható energiaárak állnak rendelkezésre. Így adott beruházás megtérülését az épület teljes élettartamára, vagy a többlet beruházással beépítésre kerülő anyagok élettartamára vonatkoztatva csak becsülni lehet. A számolható megtérülési időből levonhatunk többféle következtetést, de nem hagyható figyelmen kívül, hogy adott energiahordozó – fűtés szempontjából a földgáz – árát a világpiaci ár mellett az állam intézkedései is jelentősen befolyásolják. Energiapolitikának nevezzük egy adott állam befolyásoló lehetőségeit az ország energiagazdálkodási folyamataiban. Ezen lehetőségek erősen függnek attól a tényről, hogy az energiaszektor, illetve annak egyes divíziói milyen tulajdonban vannak. A tervgazdálkodást folytató időszakban a magyar állam, illetve a végrehajtó hatalom kizárólagos tulajdonnal rendelkezett az energiaszektor felett, mára azonban az állam csak a szektor egyes területein rendelkezik tulajdonnal. A magyar energiaszektor piacgazdálkodási környezetben, egyes területein már teljesen, míg más területein egyelőre csak részben liberalizált feltételek közt működik. Az állam, mint végrehajtó hatalom feladatköre a működési modell meghatározása, a támogatási rendszerek kidolgozása és működtetése, a stratégiai készletezés előirányzása, az adók és járulékok kezelése, a kötött áras szolgáltatások árainak meghatározása, és ellenőrzése, piacformálás, stb.

Az energiaellátás alapvető követelményei az ellátásbiztonság, a primerenergia-hordozókkal való takarékoskodás, a környezetvédelem, és a gazdasági hatékonyság.

A primerenergia-hordozókkal való takarékos bánásmód több helyszínen is megtörténhet. Az egyik, és leghatékonyabb mód a végfelhasználás helyén történő megtakarítás. Ezt úgy

lehet elérni, hogy az energiafelhasználás helyén csökkentjük az energiaveszteségeket, hatékonyabb technológiát, berendezéseket alkalmazunk, vagy netán épp az energiaszükségletet mérsékeljük. „A legolcsóbb energia a fel nem használt energia” – hallható a legtöbb passzívház népszerűsítő propaganda szlogenjében. Az energiafelhasználás csökkentése a szállított mennyiségeket is csökkenti, így a szállítási veszteségek is arányosan csökkenthetők. Az energiatakarékosság másik fő lehetősége a kapcsolt energiatermelés, vagyis a hő és villamos energia egy erőműben történő előállítása. Itt viszont nem az a cél, hogy egy helyen kerüljön előállításra a kétféle energia, hanem a hatékonyság. Fontos, hogy egységnyi primerenergia-hordozóból a lehető legtöbb másodlagos energiahordozó legyen nyerhető. Nem szabad azonban megfedkezünk a kibocsátási mennyiségekről sem. Az egyes energia-előállító eljárások különböző hatásokkal, és ezzel egyáltalán nem összefüggő károsanyag emisszióval rendelkeznek. Előfordult már Magyarországon, hogy a tiszta, nukleáris energiával működő atomerőművünk energiatermelését azért fogták vissza, hogy a fosszilis energiahordozók égetésével, és jelentős emisszióval rendelkező erőműveink gazdaságosan üzemeltethetők maradjanak.

A megújuló energiahordozók alkalmazása valóban csökkenti a primer-energiahordozók felhasználását, azonban olyan új forrásokat vonhat be az energia-előállítási folyamatba, amikre a fosszilis energiahordozók esetén nincs szükség. Így összességében ezek környezeti előnyeiről a szakmai álláspont nem egységes. A CO₂-kibocsátás mérséklése nem egyértelmű a megújuló-energiák alkalmazása esetén. A szél-erőművek működtetéséhez szintén szükséges földgáz, illetve tüzelőolaj, így nem nevezhetők 0-emissziós berendezéseknek. A működtetésükhöz szükséges, időszakosan változó mennyiségű többlet-energiát a vízierőművekben gazdag országok, pl. Ausztria könnyen pótolja „zöld”-energiával, azonban hazánkban ez megkerülhetetlen problémát jelent. Az erdők villamosenergia-termelési célú hasznosítása szintén jelentős CO₂-terhelést okoz a környezetnek. Tény, hogy a fa, mint élő növény a levegő CO₂ tartalmát szabadítja fel az égése során. Azonban a teljes fatömegnek csak egy része kerül ténylegesen az erőműbe, nem hanyagolható el az a mennyiség sem, ami az erdőn kerül elégetésre. Az ökológiai egyensúly szempontjából nem mellékes az sem, hogy a fa kivágásával és elégetésével, hirtelen CO₂-elnyelőből CO₂-kibocsátót hozunk létre. Ez tényleges előnyt akkor tud jelenteni, ha újonnan telepített energiaerdőkre vonatkoztatjuk, amik valóban először megkötik a légkör CO₂ tartalmát, és égetésük során azt szabadítják fel ismét. Az ipari feldolgozás melléktermékeinek (erdei hulladék, fűrészfűrészszelvény, használt bútorkészlet, stb.) erőművekbe szállítása szintén jelentős környezetterhelést okoz, és aránytalanul megnövelhetik az egységnyi energiamennyiség előállításának árát is. Ezen hatások

figyelembevétele komplex döntéshozatalban történhet meg, amikor is felelősségteljesen határozzuk meg, hogy „mit mivel váltunk ki”.

Az energiatermelő hatékonyság növelése, illetve az olcsóbb energiahordozókra való átállás természetesen csökkenti az energiaköltségeket, de a környezetterhelést is figyelembe véve a legjobb megoldás a végfelhasználás mérséklése.

2.1.1 Magyarország energiagazdálkodása, különös tekintettel a földgázra

Magyarország halmozatlan éves energiafelhasználása 1100 PJ környékén alakul, melynek havi bontásán látható, hogy a téli időszakban hozzávetőlegesen kétszeres az elfogyasztott mennyiség, mint nyáron.

1. Táblázat Magyarország halmozatlan összes energiafelhasználása 2001-ben és 2004-ben, havi lebontás (forrás: Gazdasági és Közlekedési Minisztérium)

Hónap	2001	2004
	PJ	
Január	117,0	125,0
Február	102,0	110,0
Március	100,0	111,0
Április	81,0	81,0
Május	68,0	69,0
Június	67,0	64,0
Július	66,0	64,0
Augusztus	65,5	63,0
Szeptember	72,5	69,0
Október	91,4	90,0
November	116,0	113,0
December	123,0	118,0
Összesen	1069,4	1077,0

A szezonális energiaszükséglet-eloszlás arra utal, hogy hazánk energiafelhasználásában jelentős szerepe van a térfűtésnek, illetve olyan gazdasági tevékenységeknek, melyek erősen függenek a külső léghőmérséklettől. Az országos összevont energiamérlegek szerint a halmozatlan energiafelhasználáson belül a földgáz felhasználásának aránya a 2001-2004-es időszakban 15%-kal növekedett, és így már 44%-ot tesz ki az összes részesedés.

2. Táblázat A magyarországi energiafelhasználás összevont forrásszerkezete
(forrás: GKM)

Megnevezés	2001		2004	
	PJ	%	PJ	%
Szilárd energiahordozók + egyéb megújuló + kommunális hulladék	170,1	15,0	161,3	14,3
Folyékony szénhidrogének	356,9	31,5	367,5	32,5
Földgáz + PB	429,7	38,0	496,5	43,9
Primer villamos energia*	174,9	15,5	157,5	13,9

A hazai összes földgázfelhasználás 2004-ben 14,5 Mrd m³ körüli érték, ennek a mennyiségnek közel 20%-át fedezte a hazai termelés, de a hazai földgázmérleget jelentősen befolyásolja a földalatti tárolók feltöltése és kisütése is. Az import földgáz Oroszországból érkezik, csővezetéken. Az Ausztria felől érkező földgáz vezeték szintén orosz forrásból származó gázt szállít. Az összes belföldi felhasználáson belül a lakossági és kommunális célú felhasználás teszi ki a domináns mennyiséget, emellett jelentős az erőműszektor földgázfelhasználása is. Ez a mennyiség a kapcsolt energiatermelés révén a villamos-energia termelés mellett távhőszolgáltatási célokra is fordítódik.

3. Táblázat Főbb fogyasztói területek földgáz-felhasználása 2003-ban és 2004-ben
(forrás: GKM)

	2003. I-IV. negyed- év		2004. I-IV. negyed- év		Eltérés Mm ³	Előző év = 100 %
	Mm ³	%-os arány	Mm ³	%-os arány		
Együttműködő erőművek	3842	27,4	3816	27,4	-26	99,3
Lakossági fogyasztók	4745	33,9	4439	31,9	-306	93,6
Egyéb fogyasztók	5416	38,7	5657	40,7	241	104,4
ÖSSZESEN	14003	100,0	13912	100,0	-91	99,4

Jelenleg a hazai ellátásbiztonság kritikus pontja a gázellátás. Egy részleges gázbeszállítási kiesés a hideg időjárással egybeesve figyelemreméltó ellátási zavarokat okozhat, melyre jó példa a 2006. év eleji gázhiány. Sajnálatos tény, hogy a hazai villamosenergia-termelés új kapacitásai szinte kizárólag földgáz-üzemre rendezkedtek be, és így a hazai villamosenergia-termelésünk 35%-a földgázra támaszkodik, ráadásul növekvő trendet mutat. Mivel a fűtési és a villamosenergia-termelési csúcsgények általában egybeesnek, és a gázbeszállítás zavara is hideg időben valószínűbb, ezért hazánk inkább kiszolgáltatott az ilyen időszakokban, mintsem a két energiahordozó kiváltására jutna lehetősége.

A politikai beavatkozással mesterségesen alacsonyan tartott gázár nemkívánatos energiafelhasználási szerkezetet okozott, úgy energiatermelési, mint a lakossági felhasználás területén. A nagyerművek 2000. év vége óta már nem részesülnek az államilag alacsonyan tartott gázárakból (a magyarországi fogyasztói gázár alacsonyabb volt a termelői áránál), és a lakossági földgáz árak is folyamatosan közelítenek a piaci alapon megfogalmazott összegekhez. Azonban a kapcsolt energiatermelés állami támogatása további földgázalapú villamosenergia-termelő kapacitások létesítésére ösztönöz.

Magyarország energiahordozó forrásszerkezete várhatóan változni fog a jövőben. A növekvő energiahordozó-igény a meglévő források mellett további források bevonását teheti szükségessé. A hazai fosszilis energiahordozó-kitermelés csökkenése az import arányának növekedését eredményezi. A szigorodó környezetvédelmi követelmények visszaszorítják a magasabb széndioxid kibocsátással járó technológiákat és energiahordozókat. Az előregedő erőműparkunk jelentős megújításra fog szorulni, a korszerűsítés mellett egyre nagyobb igény lesz a kapcsolt energiatermelési technológiák elterjesztésére. Fontos feladat a túlzott gázfüggőség csökkentése, és a gázellátás beszerzési forrásainak diverzifikálása.

Az energiahordozó-szerkezet állami befolyásra történő alakításának egyik leghatékonyabb módszere a támogatási-rendszer. Ez alatt valamennyi olyan állami befolyásoló tényezőre, ösztönzésre, vagy pénzeszköz-átcsoportosításra kell gondolni, amely valamely energiahordozó vagy technológia kedvezményezését eredményezi. Az egyes egyének és vállalkozások érdeke nem esik egybe a társadalom érdekeivel, de a támogatások egyfajta eszközt képviselnek ezen érdekek közelítésére. Az energetikai támogatást nem szabad jótékonyági lépésként felfogni, inkább valamilyen ésszerű szabályozási eljárásként kell tekinteni rá. Az állami támogatások célja többféle lehet. Össznmzeti szinten csökkenti a külkereskedelmi mérleg egyensúlytalanságait, hiszen az importált fosszilis energiahordozókkal való takarékos bánásmód csökkenti a külkereskedelmi mérleg hiányát. A hazai forrásból való energiahordozók felhasználása munkahelyet teremt (gondoljunk a biomassza termelés munkaigényességére). A nemzetközi kötelezettségek, pl. szennyezőanyag-kibocsátási kvóták teljesítése is biztosítható a fogyasztás mérséklésével. A társadalom hosszú távú érdekei nehezen fordíthatóak le a gazdaságban értelmezhető számokká, és legtöbbször csak a támogatási rendszerek segítségével vehető rá a lakosság vagy a vállalkozói szféra olyan beruházásokra, amik az ország energetikai érdekeit hosszú távon szolgálja (pl. hőtechnikai, energetikai korszerűsítés épületek, vagy épp gyártó technológiák esetén). Az energiahatékonyság több szinten is megvalósítható. A végenergia-felhasználás csökkentése javítja az energiaiimport-függő ország külkereskedelmi mérlegét. A fosszilis

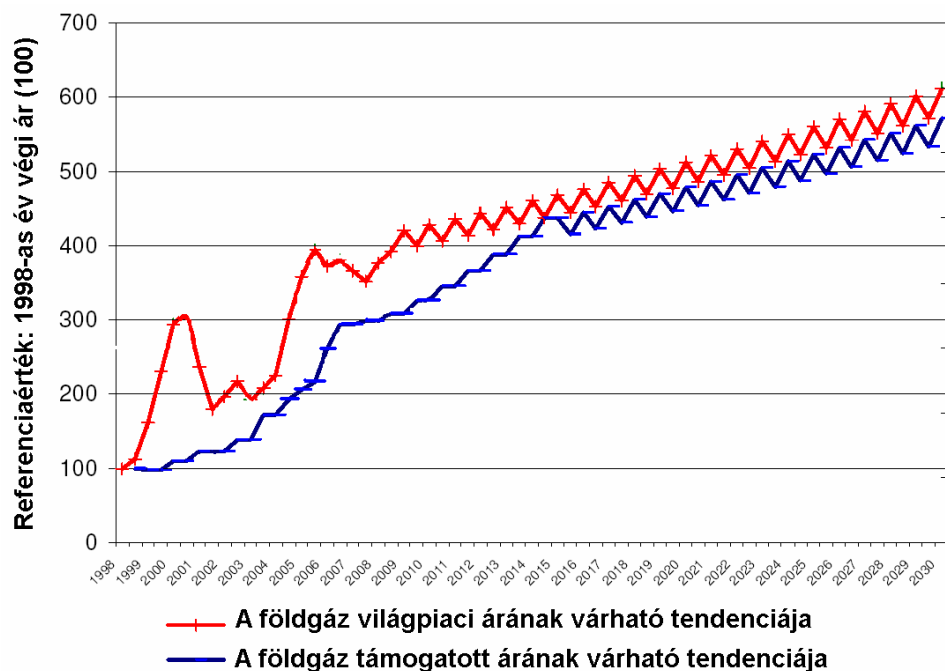
tüzelőanyagok felhasználásának csökkenése közvetlenül csökkenti a szennyezőanyag-kibocsátást, elősegítve a nemzetközi egyezmények betartását. A kisebb kibocsátás csökkenti az imissziót, és a káros környezeti hatások csökkentése révén a külső költségeket is. Amennyiben az energia-megtakarítás épület-felújításban testesül meg, akkor az összekapcsolódik az épített környezetünk védelmével, a nemzeti vagyon megőrzésével. Az átalakítási hatások növelése és a szállítási veszteségek csökkentése elsősorban technológiai feladat. Költségvonzata a megtakarítás függvényében ítélandó meg. A kapcsolt energiatermelés első megközelítésre előnyös, hiszen egy primerenergia-hordozóból kétféle energiát állít elő. Azonban figyelembe kell venni, hogy a kapcsolt energiatermelő erőműveket általában a felhasználás közelében telepítik, így a környezetterhelő hatásuk fokozottabb károsítást okozhat.

2.1.2. A magyar gázpiac várható helyzete

A hatóságilag alacsony szinten tartott árak nagyon hosszú megtérülési időket eredményeztek a korszerűsítési beruházást tervező magánszemélyek és vállalkozások terveihez. Az energetikai fejlesztések megtérülési mutatói azonban torz képet hoztak létre, hiszen a közelmúltbéli gázárak semmiképp, de a még a mai gázárak sem tarthatóak hosszú távon, és a valós költségeket nem viselő gázárak hamis, ideiglenesen érvényes döntési információkat adtak a piac szereplőinek. Eredményként gyakorlatilag nem történtek hatékonysági fejlesztések sem a gázellátó-rendszer, sem a végfelhasználói oldalon. A helyzet sajnos még ennél is súlyosabb, mert a nyomott gázárak a szükségesnél nagyobb földgáz-igényt gerjesztettek, és több területről szorítottak ki az adott felhasználáshoz hatékonyabb energiahordozókat. Ez a felesleges többlet-felhasználás főleg a csúcs-időszakokban okoz problémákat, és a tartalékképzésben is jelentős többletköltségeket eredményez. A valós költségeket tükröző árak fejlesztő, korszerűsítő beruházásokra, és takarékosagra, de legalább is fogyasztás-mérséklésre ösztönöznek.

Az ország klimatikus viszonyaiból adódóan a földgázfelhasználás erősen szezonális jelleget mutat, aminek műszaki kezelésében nagy segítséget nyújtanak a nagy országos földalatti gáztározók. Ezek jelenlegi kapacitásának bővítése javítaná az ellátásbiztonságot, azonban tetemes beruházási költségei lennének.

A gázár problémája összetett kérdéskör. A folyamatos áttérés a jelenlegi irracionális értékről a tényleges, állami szinten is kigazdálkodható piaci árra jelentős árnövekedést fog okozni. Ennek a folyamatnak a lakosság illetve a vállalkozói szféra felé való kommunikálása, szociálpolitikai kezelése kemény feladat elé állítja a mindenkori országvezetést. Az 1. ábra a földgáz árának váltakozására mutat tendenciákat.



1. ábra A földgáz árának várható tendenciája

(forrás: IMF Commodity Price database, GKI Gazdaságkutató Rt.GKM)

Összefoglalva elmondható, hogy a beszerzési forrásaink korlátozottsága, illetve a beszállítói feltételek hiánya erős függőséget okoz a magyar gázpiacon. A problémát tovább erősíti a tény, hogy hazánk energiafelhasználásában a földgáz jelentős hányadot képvisel, ami nemcsak az ellátásbiztonság, hanem az árfüggőség és az árérzékenység tekintetében is nagy befolyással bír. Az amúgy is magas földgázfelhasználáson belül pedig különösen kedvezőtlen a mással ki nem váltható lakossági gázfelhasználás aránya.

2.1.3. Magyarország energetikai megítélése nemzetközi szinten

2007 április 3-án mutatta be a sajtónyilvánosságnak Budapesten Claude Mandil, a Nemzetközi Energia Ügynökség ügyvezető igazgatója Az IEA Tagországok Energiapolitikája – Magyarország 2006. évi vizsgálata című tanulmányt, melyben a Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) elismerően nyilatkozik a magyar energiapolitika 2003 óta bekövetkezett fejlődéséről, de felhívja a figyelmet a piaci reform és az energiahatékonyság terén még jelenlévő kihívásokra. A jelentés szerint a magyar kormány a legutóbbi energiapolitikai vizsgálat óta jelentős fejlődést könyvelhet el a piaci reformok területén. Az ügyvezető helyeselte a kormány döntését az energiaszektorban jelen lévő piactorzító támogatások megreformálásáról. Véleménye szerint Magyarország földgáztól való függése jelentős mértékű és annak felhasználása nem elegendően hatékony. Emiatt a magyar kormánynak lépéseket kell tennie a hatékonyság fokozása érdekében a gazdaság minden, de különösen a villamos energia-termelés és a lakossági fűtés területén. Feltételezései szerint a megújuló energiaforrásokra, valamint a kapcsolt

hő- és villamos-energia termelésre fordított közvetlen pénzügyi támogatás rendkívül magas és nem valószínűsíti, hogy gazdaságos.

Az energiaellátás biztonsága és vészhelyzeti felkészültség tekintetében Magyarország az egyik legjobban szervezett IEA tagország. Az Oroszország és Ukrajna között 2006. januárjában lezajlott gázár-vita az ellátásbiztonság kérdését Magyarország figyelmének középpontjába terelte. Claude Mandil szerint a szállítási útvonalak és a források diverzifikációja, valamint a fokozott energiahatékonyság éppoly hatékonyan segíthet a magasabb szintű ellátásbiztonság elérésében, mint a stratégiai gáztárolók létrehozása.

Magyarország az energiahatékonyság területén jelentős lehetőségekkel rendelkezik, ám a kormány támogatást nyújt a lakossági földgázfelhasználóknak, ami csökkenti az általuk fizetendő árat, és így nem kényszeríti őket a földgázzal való takarékosagra. Ugyanakkor a villamos-energia fogyasztók a díjszabásban foglalt adókon keresztül megújuló energiaforrásokra illetve kapcsolt hő- és villamos energia termelésre irányuló támogatásokat finanszíroznak. Annak biztosítása érdekében, hogy Magyarország jövőbeni energiaellátásában a leggazdaságosabb és leghatékonyabb megoldások kerüljenek kiválasztásra, a kormánynak mérlegelnie kell a lakossági felhasználóknak nyújtott támogatások csökkentését, és azt esetleg másfajta támogatási rendszerrel helyettesítenie.

2.1.4. Energiahatékonyság

Az elmúlt 15 évben elért eredményeken túl jelentős lehetőségek állnak még rendelkezésre Magyarországon az energiafelhasználás hatékonyabbá tételére. A szakértő felhívta a figyelmet arra is, hogy az energiahatékonyság, különös tekintettel a földgázfelhasználás kérdése továbbra is kulcsszerepet fog játszani a magyar energiaellátás jövőbeni biztosításában, és a kormánynak további erőfeszítéseket kell tennie az abban rejlő lehetőségek kihasználása érdekében. A tanulmány két olyan fejlődési területre mutat rá, ahol a csökkentett földgázfelhasználás lenyűgöző eredményeket hozhat: az egyik a földgázból előállított villamos-energia termelés területe, ahol a régi erőművek cseréjére, a másik a lakossági szektor, ahol az épületek hőtakarékosságának javítására van szükség (IEA 2007).

Medgyasszay Péter 2004-ben elkészített tanulmánya rámutat, hogy a mintegy 4,3 milliós magyar épületállomány közel fele, több mint 2 millió ingatlan (melyből 1,8 millió családi ház) energetikai besorolása „nagyon rossz”, emellett 33 % energetikailag „rossz”, illetve további 11 % „gyenge” besorolással rendelkezik. A családi házak fajlagos energiafogyasztása magasabb, mint a többlakásos épületeké: a hazai fűtési-energiafogyasztás 75 %-a a családi házakhoz köthető (Medgyasszay, 2008).

Sajnálatos, hogy a magyar építetők lassan reagálnak a külföldi fejlesztésekre. Az üzleti célú beruházók hamarabb veszik át ez európai trendeket, azonban a magánberuházók óvatosak, idegenkednek az új technológiáktól. Hazánkban is elterjedően van környezet- és energiatudatos szemléletmód, de a családi házak építésekor a legtöbb építető szívesebben választja a jól megszokott megoldásokat, még akkor is, ha azok már teljesen elavultak. A kezdeti többletköltség megtérülési ideje a nyomott gázárak miatt hosszabb, és így nehezen kerül be a köztudatba, hogy bizonyos megoldásokon már nem szabad gondolkodni, hanem kötelezően be kell tervezni/építeni az épületekbe. (Lakóhelyem 2007-ben átadott, európai uniós pályázatból épült, világra szóló propagandával átadott általános iskolája 30 cm-es vázkerámia falazattal készült, homlokzati hőszigetelés nélkül. Az üzemeltető önkormányzatnak az első tél után tízmilliós nagyságrendű tartozása van a gázszolgáltató felé. – a szerző megjegyzése) A tökehiány természetesen folyamatos akadályozó tényező. Célravezető lenne olyan hitel- és támogatási konstrukciók kidolgozása, amik megkönnyítik a beruházói döntéseket, felszámolva azt a jelenlegi paradox helyzetet, hogy „nincs pénzünk spórolni”.

2.1.5. Az energiatanúsítás

2008. június 30-án nyilvánosságra hozták a 176/2008-as Kormányrendelet az energiatanúsításról. Ez a rendelet a 2002/91 EK energetikai direktíva magyarországi alkalmazásának második fő mérőföldköve. 2009 január 1-től minden új építési épület, illetve lényeges felújításon áteső meglévő épület használatbavételi eljárásához, valamint meglévő épületek eladásakor és tartós bérbeadásakor el kell készíteni az energiatanúsítványt. Az építési piac szereplői a tanúsítvány révén pontos adatokkal fognak rendelkezni az épület energiafelhasználásáról, illetve hatékonyságáról. A primer energia fogyasztás csökkentése össznemzeti érdekünk. A fogyasztói magatartás jelentősen befolyásolja az energiafogyasztás mértékét, gondoljunk csak a fűtési, melegvíz-használati, szellőztetési szokásokra. A fogyasztói magatartás formálása sürgető feladat, hiszen a mesterségesen alacsonyan tartott energiaárak elszoktatták a társadalmat a takarékoságtól. Az energiatanúsítvány a takarékoság, vagy épp a pazarlás mérőszáma, egyfajta tükör a fogyasztók előtt. Jelentős hatása lehet a közintézményekben kötelezően kifüggesztendő tanúsítványoknak. A csillogó-villogó üvegpalaták téli fűtési, illetve a nyári légkondicionálási szezonban feltételezhetően hatalmas gáz illetve villanyszámlákat produkálnak, amiket természetesen nem mutatnak meg a látogató közönségnek, de az energiatanúsítványt jól látható helyen kell elhelyezniük, hogy mindenki lássa, és elgondolkozhasson az értékeken.

Az összesített energetikai jellemző egy olyan mérőszám, ami az épületet gépészettel, működés közben vizsgálja. Sok múlik azon, hogy milyen az épületen belüli fogyasztói

magatartás, ezt a modellezhetőség céljából „standard fogyasztóval”, vagyis átlagos emberekkel kell vizsgálni. Akik valójában nem léteznek, hiszen nem minden háztartásban 20 °C a belső hőmérséklet, és nem mindenki fürdik szabványos mennyiségű és hőmérsékletű fürdővízben. Ezen hátrány ellenére a standard fogyasztóval lehetőség nyílik az épületek fogyasztói magatartástól független összehasonlítására.

Az energetikai jellemző lényeges szerepe az, hogy az adott épület, mint működő rendszer primer-energia fogyasztását jellemzi. Az összesített energetikai jellemzőben azonban könnyen elveszhet az épület, hiszen jogosan fogalmazódik meg a kérdés, hogy miért nem elég a korszerű gépészeti rendszer beépítése, ami hatékony működése révén az előírt mennyiség alatt tartja az energiafogyasztást. Valóban, formai akadályja nincs annak, hogy egy korszerűtlen épület modern gépészettel ellátva, szoláris, vagy geotermikus energiaforrások bevonásával a legjobb energetikai besorolásba kerüljön. Azonban nem szabad elfelejtenünk, hogy az épületszerkezetek élettartama 50-100 év, míg az épületgépészet 10-15 év alatt elavul, és cserére szorul. Senki nem garantálja, hogy a gépészeti rendszer cseréjekor legalább olyan, vagy jobb, hatékonyabb rendszer kerül az előző helyére. Ugyanígy előfordulhat, hogy az épületnek esetleges átépítése, vagy funkcióváltozása után más követelményeknek kell megfelelnie. Az ilyen esetekhez szükséges tartalékokat az épületszerkezet hőtechnikai teljesítményével lehet megteremteni. Vagyis az épületnek a gépészet nélkül is teljesítenie kell a kor színvonalát. Ezt a célt szolgálja a 7/2006-os rendelet két további szabályozási szintje, a fajlagos hővesztésgtényező, és a rétegtervi hőátbocsátási tényező követelménye (Baumann, 2006).

Az épületeink hatékony hőszigetelése globális, társadalmi és egyéni érdekünk. Az alacsonyabb energiafogyasztás csökkenti a környezetterhelést, javítja az ország gazdaságának versenyképességét, és csökkenti a végfelhasználók háztartási költségeit. A hatékonyabb hőszigetelés beruházáskori többletköltségét az állam és az építtető a támogatási rendszerek által meghatározott arányban viselik. Miután már nem kétséges, hogy hőszigetelni kell, nézzük meg, hogy a vázas faházrendszerekben ez hogyan kivitelezhető.

2.2. Favázás épületek a lakáspiacon

A mai magyar épületállomány energiahatékonyság tekintetében messze elmarad az európai szinttől. Ez sajnos nem csak a meglévő épületekre igaz, hanem az újonnan épülőkre is. Az új tervezésű épületek határértéken teljesítik az új követelményeket, esetenként nem is teljesítik, csupán a számolásból kifelejtett tényezők segítségével felelnek meg az előírásoknak. Mindez az energiahordozókhoz való pazarló hozzáállás eredménye. Az energiahatékonyság javítása minden szereplő közös érdeke lesz az energiaárak elszabadulása következtében. Ha minden szakterület célul tűzi ki a hatékonyság növelését, látványos eredményeket produkálhatunk. Vizsgálataim célja a szakmám részét képező fa bordavázás épületek fejlesztése. Ezen fejlesztés eredményei a könnyűszerkezetes épületek terjedésével egyre jelentősebbé válhatnak. Az új építésű lakások között folyamatosan növekvő arányban szerepelnek a könnyűszerkezetes épületek. Az ÉVOSZ Könnyűszerkezet-építő Szakmai Tagozatának huszonhat tagvállalata 2007-ben 877 lakást épített fel, ami 17 %-kal több az egy évvel ezelőtti teljesítménynél. Hazánkban a könnyűszerkezetes épületek darabszáma így már meghaladja a 2.000 db-ot, ami Ausztria 20 évvel ezelőtti helyzetének felel meg. Az osztrák építőipar vezető szerepet tölt be a könnyűszerkezetes technológiák alkalmazásában, náluk manapság 34 %-os a könnyűszerkezetes épületek építésének aránya, vagyis minden harmadik újonnan épült ház készül könnyűszerkezetes technológiával. A fejlett európai országokban ugyanez az arány 20-25 % közé tehető, és a növekvő tendencia hazánkban, illetve a környező országokban egyaránt megfigyelhető (ÉVOSZ 2008). A könnyűszerkezetes épületek hőszigetelő tulajdonságai a jelenlegi átlagot tekintve jobbak, mint a tégláépületeké. Az előnyük abból ered, hogy a bordaközökbe, illetve a homlokzatra nagy mennyiségű szigetelőanyag kerül. A nagy mennyiség kifejezés persze viszonylagos, mert a magyarországi könnyűszerkezetes épületek nyugat-európai szemmel nézve már nem lennének piacképesek. De előnyként így is elmondható, hogy lényegesen több hőszigeteléssel, és ezáltal lényegesen jobb hőszigetelő képességgel rendelkeznek, mint a tégláépületek. Ez az előny pedig viszonylag kis változtatással tovább fokozható. Nem véletlen, hogy Nyugat-Európában az alacsony-energiájú és a passzív házak főként könnyűszerkezetes rendszerrel készülnek. A fejlesztési lehetőség felkutatásához a fa bordavázás építési rendszer megismerése elengedhetetlen. A következőkben azokat a jellemzőket foglalom össze, melyek alapvetően összefüggenek a rendszer hőtechnikai tulajdonságaival.

2.2.1. Fa bordavázás épületek

Vázás faházakról beszélünk, ha az épület falainak tartószerkezete fa fűrészáruból készült, adott tengelytávval elhelyezett oszlopsorból (bordaváz) áll. A kialakuló bordaközöket valamilyen anyaggal kitöltve (kifalazás, hőszigetelés, nyílászáró) a fal egybefüggő

határolószervezetté válik. Az egyes szerkezeti rendszereket a falszerkezet kialakítása alapján csoportosítjuk. A kifalazásos technika fachwerkes ház (fachwerk) néven rendkívül elterjedt Európa számos területén. Vakolt kivitele hazánkban is megtalálható a népi építészetben (pl. baranyai sváb fachwerkes házak), de piacgazdasági jelentőséggel nem bír ez a szerkezetípus Magyarországon. A kialakult bordaváz építőlemezekkel, vagy deszkázattal való borítása az ún. helyszínen szerelt házat eredményezi, ami Észak-Amerika talán legelterjedtebb lakóépület-szerkezete. Ennek az építési módnak Európában is nagy hagyományai vannak, és Magyarországon is nagy számban alkalmazzák családi házak építésénél. A nagy üvegfelületekkel való lezárás egy viszonylag újszerű megoldás. Néhány nyugat-európai példát eltekintve még nem elterjedt.

2.2.2. A borított vázas faházrendszer

A borított vázas faházrendszer falszerkezete négyzetes szelvényű fűrészáruból készül, adott osztásközzel elhelyezett oszlopok, és kétoldali borítás összeépítésével. Az oszlopok keresztmetszete szerint elkülönítünk palló- és gerendaváz szerkezetet. A pallóváz szerkezetek szerkesztési elvei némiképp hasonlóak a helyszínen szerelt és az üzemben előkészített rendszerek esetén. A bordakiosztást, vagyis a bordák tengelyvonalainak távolságát az építőlemezek mérete határozza meg. A bordaelemek vastagságát az határozza meg, hogy a borítólemezek kellő biztonsággal toldhatóak legyenek. A bordák szelvénymagassága (a fal vastagságának irányába vett mérete) a bordaközbe tervezett hőszigetelés méretétől függ. Ez rendszerint 10 és 20 cm közötti érték. Nem érdemes a végtelenségig növelni a bordamérettel a falvastagságot, mert a fentebb említett szerkesztési elvek alapján kialakuló bordaváz statikailag sokszorosán túlméretezetté válik, viszont a borda hőhídként viselkedik a szerkezetben. 20 cm-nél vastagabb hőszigetelést már több falréteg alkalmazásával, vagy belső szerelő-lécvázzal, illetve homlokzati hőszigeteléssel ajánlatosabb kialakítani.

A bordaváz szerkezetek falszerkezetei azonos alapelvek szerint épülnek fel, függetlenül az előregyártottság fokától. A faltól, mint külső térelhatároló teherhordó elemtől több funkciót is elvárunk. Ezt az elvárást egy réteges szerkezet esetén több, különböző alkatrész együttesen elégíti ki. A teherhordást a bordaváz végzi, míg a merevítést a borítás. Egyes gerendaváz szerkezetek esetén a merevítést dúcokkal oldják meg, de a teherhordó borítás alkalmazása a jobb megoldás. A faanyag lehet normál fűrészáru, vagy hossztoldott szerkezeti fa, nagyobb áthidalásokhoz a rétegelt-ragasztott gerenda beépítése is szükségessé válhat. A teherhordó borítás céljára használható OSB-lap, forgácslap, gipszrost-lap, rétegelt lemez, ritkább esetben cementkötésű forgácslap, vagy cementkötésű fagyapot-lemez.

A hőszigetelés funkció több rétegben megtalálható. A bordaközben elhelyezett hőszigetelés lehet ásványgyapot, üveggyapot, vagy szigetelő farostlemez paplan. Elterjedőben lévő szigetelőanyag a cellulózzrost.

A másik elterjedt szigetelési mód a homlokzati hőszigetelés. Ez a legegyszerűbb esetben a külső borítólemezre rögzített expandált polisztirol réteget jelent. A drágább, ásványgyapot alapú homlokzati hőszigetelés jóval kisebb párafékező tulajdonságú, ami a szerkezet páratechnikai viselkedését javítja. Hasonló hatást érünk el, ha a bordaváz külső oldalára hőszigetelő borítólemez készül. Ez lehet vastag, önhordó szigetelő farostlemez, vagy fagyapotlemez. Ezen anyagok mindegyikére közvetlenül felhordható a homlokzati vakolat is. Kapható polisztirol magréteggel gyártott fagyapotlemez is, ami kétség kívül nagyon jó szigetelőképesseggel bír, de arra ügyelni kell, hogy a polisztirol réteg miatt a párafékező mutatószám erősen megnövekedik.

A harmadik lehetőség, hogy a bordaváz belső oldalán kerül kialakításra egy kiegészítő hőszigetelő réteg. Itt egy szerelő lécvázat kell elkészíteni, ami valójában a gépészeti vezetékek burkolat alatti elvezetését teszi lehetővé, de a falszerkezet hőszigetelésének fokozására ki lehet tölteni valamilyen lágy (üveggyapot, vagy ásványgyapot) szigetelőpaplannal. Amennyiben ez a szigetelőréteg a párazáró rétegen belülre kerülne, akkor azt az ökölszabályt kell alkalmazni, hogy a párazáró fólián belül eső hőszigetelés vastagsága ne legyen több, mint a teljes hőszigetelés vastagságának ötöde.

A párazáró-párafékező funkció legbiztosabban egy belső burkolat alatti párazáró fólia elhelyezésével biztosítható. Az alkalmazott fólia mindenképp nagy páradiffúziós ellenállású, erre a célra gyártott párazáró fólia legyen. A falszerkezet hőszigetelést alumínium-kasírozással ellátott, ún. hőtükros párazáró fóliával növelhetjük. Ezek hatása számszerű hőszigetelés-növekedéssel nem adható meg, mert a szabványok a szerkezetek hőszigetelő-képességét az anyagok hővezetési ellenállásából számítják, a hőtükros fólia pedig a hőszugárzást befolyásolja, nem a hőátadást. A gyártók azonban különböző kísérleti helyzetekben mért eredményeik alapján megadnak viszonyszámokat, amik alapján mindenki mérlegelheti a hőtükros fólia beépítésének előnyeit.

A „lélegző” falszerkezetek kialakításakor nem építenek be párazáró fóliát, de a párafékező réteg ilyenkor sem hagyható el. Párafékező réteg lehet OSB vagy rétegeltlemez alátétborítás, ami párazáró ragasztószalaggal van az illesztési fugáknál folytonosítva.

A párazárás-párafékezés témához több ökölszabály is kapcsolható. Az egyik, hogy a falszerkezet rétegrendje belülről kifelé egyre kisebb páradiffúziós ellenállású rétegeket tartalmazzon. Egy-egy réteg páradiffúziós ellenállása nem csak az anyagától, hanem természetesen a rétegvastagságtól is függ. A másik ökölszabály, hogy a megszakított párazáró/párafékező réteg semmit sem ér. Hiába kerül akár a legjobb minőségű párazáró fólia a falszerkezetbe, ha a sarkoknál, toldásoknál, villamos csatlakozásoknál, nyílászárók körül nincs folytonossá téve. Ezzel eljutottunk a légzárás, légtömörség problémájához.

Fűtésidényben a belső térben megnövekszik a párányomás. Ez a belső párányomás megtalálja azokat páratechnikailag tömítetlen pontokat, ahol megindulhat a kültér felé, jelentősen növelve a légcsereszámot, és ezzel együtt a fűtés energiaigényét. Ezért minden olyan helyen, ahol a párazáró réteg megszakításra kerül, el kell végezni a tömítést, a folytonossá tételt.

A nyílászárók nem hagyhatóak ki a felsorolásból. A vázas faházakhoz a piacon kapható műanyagprofilos, fa, fa-alumínium kombinációjú ablak/ajtó bármelyike alkalmazható. Bármelyiket is építjük be, a nyílászáró és a belső párafékező/párazáró réteg folytonos összekapcsolása elengedhetetlenül szükséges. A nyílászárókhoz kapcsolódóan kerül szóba az árnyékolás. Egy könnyűszerkezetes épület viszonylag kis hőtárolótömeget képvisel, így a nyári hővédelem szempontjából kritikusan viselkedik. Megfelelő tájolás, üvegezési felületek átgondolt elhelyezése, és végül az árnyékolástechnika az, ami kompenzálja ezt a hátrányt. Árnyékoló szerkezetek közül megemlíthető a külső árnyékvető, a redőny és a zsalugáter. A belső árnyékoló szerkezetek alkalmazása nem ajánlatos, mert hatékony hővédelmet csak az üvegfelületen kívül lehet elérni.

2.2.3. A bordavázás rendszer előregyártása

A bordavázás faházrendszer előkészítettségét tekintve három nagy csoportba sorolható: a helyszínen szerelt, a kispaneles, és a nagypaneles építési rendszer. A helyszínen szerelt bordavázás rendszer a fachwerk modernizációja. A fűrészáruból készült vázrendszert kétoldról építőlemezrel burkolva, a kialakult bordaközöket szigetelve készül. A felületképzés alkalmassá teszi, hogy a homlokzati oldalon kiegészítő hőszigetelő-rendszerrel legyen ellátva. A helyszínen szerelt kifejezés nem tartalmazza, hogy a váz gerendákból készül-e, vagy pallóból, a merevítést dűcök végzik-e vagy a megfelelően rögzített teherhordó építőlemez. Mindezek megválasztására a tervezés során adódik lehetőség, fontos, hogy az építés során ez már ne változzon.

A helyszínen szerelt szerkezet előnye, hogy teljesen rugalmas a tervezési és a kivitelezési folyamata egyaránt. Egyszerű eszközökkel, költséges gyártósor nélkül is kivitelezhető. Jól kiküszöbölhetőek az alapozási egyenetlenségek. A helyszínen beépített hőszigetelés nem rázódik össze a szállítás során, a párazáró fólia folytonosítása könnyen, megbízhatóan elvégezhető. A gépészeti szerelvények elrejtése a szerkezetbe megoldható. A szerkezet hátrányai nem idegeníthetőek el az itt felsorolt előnyeitől. A rugalmas tervezési és kivitelezési folyamat gyakorta válik ötletszerű, esetleges műveletek átláthatatlan sorozatává. Az egyszerű kivitelezés csábítja a kontárokat, és a kalákaszerű építkezőket. Mivel nem igényel üzemi előkészítést, emiatt gyakori, hogy az alapanyagot a fűrészüzemből, válogatatlanul, és magas nedvességtartalommal szállítatják az építés helyszínére, ami állagvédelmi problémákat okoz. A helyszíni műveletek minősége

hatóságilag ellenőrizhetetlen, a minőségbiztosítás nem megoldható, így a végeredmény csak a kivitelező lelkiismeretén múlik.

Kispaneles faház alatt olyan pallóvázas szerkezetet értünk, ami egy (vagy esetenként kettő) borítólemeznyi hosszúságú panelok (teljes magasságú falszakaszok) formájában, üzemi előregyártásban készül. Az így készült táblákat a helyszínen egymáshoz rögzítik. A paneltömeg függvényében ez kézi erővel, vagy daru segítségével történhet. A panelek egymáshoz rögzítését összehúzó vasalatokkal, vagy csavarral lehet megoldani. Nútféderes, vagy idegencsapos kialakítás esetén precízebb illesztés érhető el. Az összeépített falakat felülről koszorúgerendával össze kell kötni. A belső oldali párazárás folytonosságát a panelok élére felfutatott, és tömörített-szivaccsal rögzített fóliával lehet biztosítani. A homlokzatképzést mindenképp érdemes a helyszínen elkészíteni, mert a kis panelszakaszok tetszetős összedolgozása nem készíthető elő az üzemben.

A kispaneles szerkezet átmeneti állapot a helyszínen szerelt, és a nagypaneles technológiák között. Gyártásához egy kisebb, célszerszámokkal felszerelt üzem, építéséhez egy olcsóbb autódaru már elengedhetetlen, azonban ezek költsége még messze nem közelíti meg a nagypaneles technológia beruházási költségeit. Az építés időszükséglete viszonylag rövid, az időjárási viszonyok kevésbé befolyásolják az épület minőségét, és így már lehetőség adódik egy részleges minőségbiztosítási rendszer alkalmazására is. Viszont mindent összevetve talán félmegoldásnak tűnhet egy nagypaneles rendszerrel szemben, emiatt a piacon ritkán szerepel.

Nagypaneles faház alatt olyan pallóvázas szerkezetet értünk, ami teljes falhosszúságú panelek formájában, üzemi előregyártásban készül. A panelek hossz méretét a szállítás korlátozza: az alkalmazott szállítójármű platójához (pl. 7,5m, 13,2 m) igazítják a legyártott panelek méreteit. Az így készülő falakat a helyszínen daruval emelik a helyükre, és talpgerenda alkalmazásával, vagy anélkül, L-vasak segítségével a fogadó betonlemezhez, illetve állványcsavarok segítségével egymáshoz rögzítik. Az épület merevségét az biztosítja, hogy a síkjukban merev (tárcsaként működő) panelek egymásra merőlegesen csatlakoznak, és éleik mentén többször össze vannak csavarozva. Az egyes panelek hossztooldása T-csatlakozásokban ütköztetve a merevség elvesztése nélkül megoldható.

A nagypaneles technológia viszonylag költséges gyártósort, darukat, nagy kamionokat követel meg, cserébe folyamatosan ellenőrizhető, gyors, tiszta építési folyamatot biztosít. Közepes és nagy mennyiségek esetén (főleg az automatizálható üzemi műveletek révén) azonban mindez kifizetődik. 2008-ban 15 kivitelező vállalkozás viselheti a MAKÉSZ védjegyet, közülük 10 nagypaneles technológiával építi fa bordavázas épületeit (Makész, 2008).

2.2.4. Faszerkezetű födémek

Födémszerkezetnek nevezzük az épület vízszintes határoló szerkezeit. A födémszerkezet erőtani szempontból lehet teherhordó, önhordó, vagy függesztett típus.

A teherhordó födémek jellemzője, hogy a felső oldalán elhelyezkedő helyiség funkciójának megfelelő teher hordására van tervezve, felső felületén járóréteg van kialakítva. A teherhordás mellett tűzállósági és hangszigetelési követelményeket támasztunk vele szemben. Az önhordó födém (zárófödém, padlásfödém) csak a saját súlyát hordja. Felső oldalán nem alakítanak ki járóréteget. Főbb követelményei a hőszigetelés, a hangszigetelés, és a tűzállóság.

Fa tartószerkezetű födémek többféle erőjáték szerint működhetnek. A hagyományos födémszerkezetek gerendákat, esetenként pallókat fektetnek a tartófalakra, majd ezeket valamilyen alsó illetve felső burkolattal látják el. A gerendák/pallók készülhetnek tömören egymás mellé helyezve, vagy adott, statikailag méretezett osztástávval. A felső oldalon kialakított aljzatbeton-réteg több szempontból is kedvező: javítja a födém lépéshang-szigetelő tulajdonságait, csökkenti a lengésből származó zajokat, növeli a hőtárolótömeget, tárcsaként merevíti a szerkezetet, valamint lehetővé teszi, hogy egyszerű kivitelben készüljön hidegburkolat a tetőtérben is. A rábetonozás megfelelő kialakításával megoldható, hogy a fagerendázat és a felbeton együttdolgozó, öszvérszerkezetként viselkedjen. Alsó borításként alkalmazható gipszkarton tábla, lambéria, esetleg valamilyen álmennyezet rendszer is.

A felgyorsult építési igényeket, és a megváltozott lakáskultúrát jól követi, és emiatt nagyon elterjedőben van a rácsostartós tetőszerkezet. Nagyfokú üzemi előregyártása révén leegyszerűsített helyszíni szerelőmunkát igényel, és az egyébként is hasznosítatlan padlásterek esetén nagyon gazdaságos megoldást nyújt. A hasznosítatlan padlástereken nincs födémteher, így egy egyszerű, önhordó mennyezet elegendő. Ezt a rácsostartó alsó övéből, gipszkarton burkolattal egyszerűen és gazdaságosan ki lehet alakítani. A rácsostartóból készített zárófödémekben elhelyezhető a mai kor követelményeinek megfelelő hőszigetelés is. Szükség esetén kisebb rakodófelületek kialakíthatóak, de ezek csak néhány háztartási holmi elhelyezésére alkalmasak. Rácsostartóból kialakítható tetőtérbeépítéses tetőszerkezet is, de hazánkban nem gyakori. A rácsostartó tetőszerkezet a héjazat kialakítását tekintve azonos az ácsszerkezettel. A szarufákat itt a rácsostartók felső öve adja, erre kerül a merevítő deszkázat, és a héjazatnak megfelelő további rétegrend.

2.2.5. Tetőszerkezetek

Az épület legfelső térelhatároló/teherhordó eleme a tetőszerkezet. A tetőszerkezet eredeti feladata az épületet felülről érő hatások (leginkább az időjárás) elleni védelem, illetve teherviselés. A célra ácsolt fedélszékeket használnak, az évszázadok során kifejlesztett anyagok és megoldások szinte tökéletesen ellájták az időjárásvédelmi igényeket. A mai,

hőszigetelt tetőszerkezetekkel szembeni követelmények szempontjából inkább a hőszigetelés és a hőtárolás jelenti a komolyabb kihívást. Ezzel párhuzamosan biztosítani kell a páratechnikai megfelelőséget, a tűzállóságot, hangszigetelést is.

A statikailag szükséges méretű szarufák közti hőszigetelés nem teljesíti a hőszigetelt tetősíkkal szemben támasztott követelményeket, kiegészítő hőszigetelés szükséges. Ez a kiegészítő hőszigetelés a falszerkezetekhez hasonlóan történhet külső oldali, és belső oldali megoldásokkal egyaránt. Belső oldali kiegészítő szigetelés szerelő lécváz közé fektetett ásványgyapot, üveggyapot, vagy cellulóz alapú szigetelés. A párazáró réteget érdemes a szerelő lécváz alá tenni, hogy azt a villamos vezetékezéssel ne kelljen megszakítani. A tetőtérben különösen ajánlatos a kétrétegű burkolatok használata, hiszen ott télen-nyáron egyaránt nagyobb szükség van a hőtárolótömegre. A külső oldali hőszigetelés legegyszerűbb megoldása, ha a tetőszerkezetet merevítő borítás nem a hagyományos deszkázattal, hanem szigetelő farostlemezzel készül. A hatékonyabb megoldás a szarufák feletti hőszigetelés. Ez lehet párnafák közé fektetett üveg-, vagy ásványgyapot paplan, vagy terhelhető habszigetelés. Utóbbiak a végigfutó ellenlécek átcsavarozásával rögzíthetők. Bármelyik megoldás kerül beépítésre, gondoskodni kell a héjazat alátétszigeteléséről. Ez páraáteresztő tulajdonságú, rendszerint üvegszövet-erősítésű tetőfólia alkalmazásával érhető el. Elengedhetetlen eleme a rétegrendnek az ellenléc, ami biztosítja a héjazat alatti légréteg kiszellőzését. Az egyes héjazati anyagok különböző rögzítő szerkezetet igényelnek. A családi házakon általában pikkelyfedések készülnek. Cserépfedés, illetve palafedés alá adott távolságú tetőlécezés kerül, míg a bitumenes zsindeley és a fémlemezfedés összefüggő hordozófelületet igényel. A zsindeley hordozófelülete (OSB tábla, vagy deszkázat) nem lehet azonos a szarufák felső síkjára helyezett borítással, a héjazat alatti átszellőztetést mindenképp biztosítani kell. A légréteg be- és kiszellőzését – különösen a vastagon hőszigetelt tetősíkok esetén – biztosítani kell.

A beépített tetők fontos kiegészítői a tetőablakok. Az álló tetőablakok önálló tartószerkezetek, melyek a tetőszerkezettel együtt készülnek, a kialakított nyílásba normál, homlokzati nyílászáró (ablak, vagy teraszajtó) kerül. A fekvő tetőablakok a szarufák közti mezőben, a héjazat síkjában kapnak helyet. Szükség esetén a szarufák által behatárolt nyílásméret mindkét ablaktípus esetén kiváltásokkal módosítható.

Az álló tetőablak előnye, hogy ténylegesen növeli a belső teret, lehetővé teszi, hogy olcsóbb, és megszokottabb homlokzati nyílászárók kerüljenek beépítésre, az időjárástól védettebb a szerkezet. Hátránya, hogy jelentősen befolyásolja az épület homlokzati megjelenését, méretét és formáját építési előírások is korlátozhatják. A szerkezet elkészítése költséges.

A fekvő tetőablak lényegesen egyszerűbb szerkezet. A billenő, vagy felnyíló ablakszerkezet tokja a szarufák felső síkjára van fektetve, és rögzítve. Előnye, hogy egyszerűen, komolyabb szerkezeti módosítás nélkül, gyorsan beépíthető. A benapozási mutatója magas, jelentős fénymennyiség nyerhető egy viszonylag kicsi ablakkal is. Hátránya a ferde, kissé kényelmetlen elhelyezés, az időjárásnak való jelentős kitettség, és

az ebből eredő hibalehetőség. A belső burkolatok készítésénél figyelni kell arra, hogy a legkedvezőbb fény és ventillációs viszonyokat az alsó oldal függőleges, illetve a felső oldal vízszintes kialakításával lehet elérni. Az ablak beépítése során különösen ügyelni kell a vízzárás, hőszigetelés és párazárás műveleteire. A vízzárás a tetőfólia előírásoknak megfelelő kivágásával, és ablakhoz való ragasztásával biztosítható. Nevesebb gyártók ajánlataiban kapható szigetelő csomag is, ami bádogprofilokat, és öntapadós bitumenes szigetelőszalagot tartalmaz. Az alsó és felső csomóponton a belső oldali elvékonyodó burkolat alatt nem szabad összetömöríteni a hőszigetelést, mert azzal a hatásfoka romlik. A hőszigetelő csomag az ablak tokja körüli szigetelő-hab keret, ami gyártó függvényében eleve a tokra van rögzítve, vagy a beszerelés során kell összeépíteni. A szarufaköz és az ablak méretviszonya jelentősen befolyásolja a belső burkolat alatti szigetelés elhelyezhetőségét. Érdemes a szarufák kiosztásánál figyelembe venni a tervezett ablakok méretét, hogy az ablak előírásoknak megfelelő beépítése megoldható legyen. A párazárás folytonossága a tetőablakok esetén is fontos. A belső oldali párazáró fóliát hozzá kell rögzíteni az ablaktokhoz. Ez történhet a burkolat alatt a tokra való ráhajtással és ragasztószalaggal, vagy a tokra gyárilag ráragasztott fólia-csík segítségével. A tetőablakok hővédelme korlátozott. A sötétítő roló és a külső árnyékoló a szárnyra akasztva feszíthető ki, inkább csak fényvédelmet biztosítanak, mint tényleges hővédelmet. Alkalmazható azonban relaxa, és redőny is.

2.2.6. A magyarországi bordavázás építési rendszerek értékelése

A magyarországi bordavázás építési rendszerek néhány évvel követik a nyugat-európai trendeket. Több külföldi tulajdonnal, de legalább is befolyással bíró vállalkozás van ma Magyarországon, akik többé-kevésbé piacformáló szerephez is jutnak. Ezek hozzák magukkal a nyugati fejlesztéseiket, ottani piacokon kipróbált megoldásaikat. Az energetikai követelmények itthon egyelőre nem olyan szigorúak, mint a nyugati országokban, de az építetők között már előfordul olyan, aki azért dönt a könnyűszerkezetes rendszer mellett, mert nem a követelményt éppen teljesítő, hanem – könnyűszerkezetes építéssel gazdaságosabban kivitelezhető – alacsony energiateljesítményű épületben akar lakni.

A magyar készház-gyártók érdekvédelmi szervezetekbe tömörülnek. Ilyen szervezet a Makész, tagjai csak ÉME-engedéllyel rendelkező, minősített kivitelezők lehetnek. Már a mai építési előírások szerint is csak ÉMI által kiadott minősítő okirattal rendelkező szerkezetre lehetne építési engedélyt kiadni, azonban a legtöbb műszaki osztályon egyelőre nem, vagy csak részben érvényesítik ezt az előírást. A Makész természetesen sürgeti a szigorítást, ezzel is tisztítva az építési piacot a minősítéssel nem rendelkező kivitelezőktől.

4. Táblázat Áttekintő SWOT-analízis a hazai fa bordavázás építési rendszerekről

Gyengeségek	- Korábbi évtizedekben készült silány minőségű épületek rossz híre - Nincs jelentős és látványos energia-megtakarítás a hagyományos épületekkel szemben - Kis hőtárolótömeg, gyenge nyári hővédelem - Belső zajvédelem gyenge teljesítménye	- Ellenőrzési, minőségbiztosítási és érdekvédelmi rendszerek jelenléte (ÉMI, ISO, MAKÉSZ) - Az építési rendszerben jártas országokból idetelepülő technológiai és szakmai húzóerő - Ténylegesen gyors, és tiszta építési mód	Erősségek
Lehetőségek	- Alacsonyenergiájú és passzívházak területén kialakult tapasztalatok átvétele külföldről - Átépitések, felújítások, korszerűsítési beruházások területére való beépülés - Többszintes épületek, társasházak, középületek területére való betörés	- Karbantartási hibákból eredő állagromlások és az építési rendszer egybefonódása a közvéleményben - Nincs jogi védelem a szakma megítélését jelentősen rontó kontárokkal szemben - A „téglalobby” erősen befolyásolja a piacot, az építési szakmát és a hatósági folyamatokat	Veszélyek

A fa bordavázás épületek SWOT-analíziséből látható, hogy a könnyűszerkezetes épületekben rejlő hőszigetelési lehetőségek egyáltalán nincsenek kiaknázva. Érdemes azokat a fejlesztési lehetőségeket kihasználni, amik még nem kívánnak különleges többletmunkát, vagy jelentős többletköltséget, azonban látványosan javítják a szerkezet jellemzőit. Ilyen lépés lehet a vastagabb, de még azonos technológiával készülő hőszigetelés, vagy a fejlettebb ablakszerkezet beépítése. Ugyanezen megfontolásból fejlődött ki a Nyugat-Európában már általánosnak és természetesnek mondható alacsony-energiájú ház, ami jó hőszigeteltsége révén nagy hatásokkal hasznosítja az energiahordozókat. A nyugati országokban terjedő passzívház rendszer tulajdonképpen ennek az irányvonalnak a következő állomása. De míg alacsony energiájú épületben minden a megszokott, csak vastagabbak a szigetelések, és alacsonyabb a gázszámla, addig a passzívház már egy másfajta, modern és energiatudatos szemlélet eredménye. A passzívház komplex építészeti, épületszerkezeti és épületgépészeti rendszer, aminek minden eleme aktívan szolgálja az energiatakarékosságot.

2.3. Passzívházak

2.3.1. A passzívházak megszületése és fejlődése

A passzívház fogalmát a németországi Passivhaus Institut Darmstadt alapítója, dr. Wolfgang Feist (német fizikus, a passzívházak fejlesztése terén végzett munkásságáért 2001-ben a német Környezetvédelmi Díjjal jutalmazták) alkotta meg. Az eredeti megfogalmazás szerint azt az épületet nevezhetjük passzívháznak, amelyben csupán a szellőztetéshez szükséges és elégséges levegőmennyiség felfűtésével, illetve lehűtésével elérhető a folyamatos emberi tartózkodáshoz szükséges klímaállapot. Ez a megfogalmazás rejtetten magába foglalja azt is, hogy kiegészítő fűtőberendezés beépítése mellőzhető, ehhez pedig a passzívházakra jellemző energiavesztés-minimalizálás ad megfelelő műszaki alapot (Feist, 1997).

Milyen kritériumoknak kell megfelelni az épületnek, hogy passzívháznak nevezhessük?

- éves fűtési energia-igény: legfeljebb $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
- a használati melegvíz, szellőztetés és a háztartási elektromos szükségletekkel összevont éves primer energiaigény: legfeljebb $120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
- óránkénti filtrációs légcsere szám 50 Pa túlnyomáson: legfeljebb 0,6 1/h

A passzívház arra törekszik, hogy az épület energiaszükséglete minimális legyen. Ezt a következő irányelvek alapján lehet elérni:

- energiatakarékos, kompakt épületforma
- árnyékoltságmentes, déli tájolás
- külső térelhatároló szerkezetek legnagyobb hőátbocsátása falak esetén $U=0,15$ (ajánlott 0,10) $\text{W/m}^2\text{K}$, tető esetén $U=0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$
- nyílászárók hőátbocsátása üvegre nézve $U=0,50-0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$, tokkal összevonva $U=0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, napnyereségi tényező $g \sim 50\%$
- hőhídmentes szerkezetkialakítás, legnagyobb vonalmenti hőhídveszteségi tényező: $\psi=0,01 \text{ W/m}\times\text{K}$
- légtömör szerkezetkialakítás, legnagyobb óránkénti filtráció (légcsere) $n_{50 \text{ Pa}}=0,6 \text{ 1/h}$
- használt-levegő hőenergiájának visszaforgatása (hőnyereség): legalább 75%
- energiatakarékos villamos berendezések a háztartásban
- napkollektoros, vagy hőszivattyús vízmelegítő berendezés
- passzív szellőzőlevegő-előmelegítés/előhűtés talajban elhelyezett csőrendszerrel (földhőcserélő)

A '80-as évek közepén Svédországban és Dániában az alacsony energiaigényű házak már átlagosnak számítottak az új építésű épületek között. Bo Adamson és Wolfgang Feist a svédországi Lund-ban, az ottani egyetem épületszerkezet-tani tanszékén folytattak

kutatásokat az alacsony-energiaigényű házak továbbfejlesztésére. Számításaik szerint a megfelelő tájolású, kompakt tömegű, kiváló hővédelemmel, és minimális hőhidassággal rendelkező légmentesen lezárt épületeket kiemelkedően hőszigetelt nyílászárókkal és ellenőrzött szellőztetéssel ellátva elhagyhatóak az épületből a primer energiával működtetett fűtőberendezések. Az így kialakított épületek fűtési energia-igényét már a passzív napenergia-nyereség, a benttartózkodó emberek, illetve a napi tevékenységük ún. hulladékhője képes kielégíteni. Itt kell megemlíteni, hogy a passzív-ház nem csak a fűtési-, hanem mindenféle energiafelhasználás csökkentésére törekszik, tehát nem a hulladékhő (főzés, tisztálkodás, villamos berendezések stb.) aránytalan növelésével igyekszik a fűtőtestek hiányát kompenzálni. A szellőző-levegő előfűtése, illetve nyáron előhűtése alapvető követelmény, azonban ez a bevitt, illetve elvont hőmennyiség nem azonos egy légfűtés/légűtés során alkalmazott mennyiséggel.

Az első passzívház megépítése előtt Wolfgang Feist vezetésével tudományos munkacsoportot hoztak létre a németországi Hessen tartományban. A tartományi Gazdasági- és Műszaki Minisztérium anyagi támogatásával dolgozták ki a passzívházak építési rendszerének műszaki tartalmát, amik alapján 1991-ben épült meg Darmstadt városában a világ első passzívháza. Négy magánépíttető hozta létre a Passzívház Építtető Társaságot, amely egy $4 \times 156 \text{ m}^2$ -es sorház megterveztetését és építtetését tűzte ki célul. A passzívházhoz az alacsony-energiaszükségletű házaknál már bizonyított megoldásokat fejlesztették tovább, és hangolták össze. Az épület megvalósítása abból a szempontból sikeres volt, hogy a tényleges fűtési- és egyéb energiaszükségleteket radikálisan tudták csökkenteni, azonban ennek megvalósításához egy sor akkor még egyedinek számító megoldást kellett alkalmazni, ami mai szemmel gazdaságtalanná tette az építkezést. A Hesseni Környezetvédelmi Minisztérium azonban átvállalta a többletköltségek jelentős részét, így a projekt megvalósulhatott. Az épületeket folyamatos monitoring alatt tartják azóta is. A forrásul szolgáló cikk megjelenésekor, mintegy tíz évvel a beköltözés után az épület hőkamerás és nyomásvizsgálata kimutatta, hogy a szerkezet továbbra is hőhidmentes, és légtömör (Feist, 2000).

Az Európai Közösség THERMIE-Programjain belül hozták létre a BU/0127/97-es, CEPHEUS (Cost Efficient Passive Houses as European Standards) alprogramot, ami 1998 és 2001 között mintegy 250 passzívház-kategóriás lakóegységet épített öt európai országban (Németország, Franciaország, Svájc, Ausztria és Svédország). A program elsődleges célja volt, hogy a műszaki kivitelezhetőséget realizálja. Vagyis egyensúlyt teremtsen a magasabb beruházási költségek, és az alacsonyabb fenntartási költségek kettősségében. Vizsgálja a passzív-házak minőségbiztosítási lehetőségeit a szabványosítás segítségével, csökkentve az egyedi tervezésből eredő többletköltségeket. Másik jelentős

célja volt, hogy széles körben tájékoztassa a befektető-tervező-kivitelező-használó társadalmat a passzívházak jelentőségéről, és jellemzőiről. A program egyes projektjeinek beszámolói a hivatalos honlapon is megtekinthetőek. Elvárható cél volt még, hogy kapcsolatot teremtsen egyéb, környezetvédelmi-, energiatakarékossági-, és megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos részprojektekkel (www.cephus.de, 2007).

2.3.2. Passzívházak Európában és Magyarországon

2006 év végén összesen 6000 passzívház besorolású épület állt Európában (Hüfner, 2006). Ezek közül mintegy 1000 épület Ausztriában található. Ausztria igyekezett az évek során világszínvonalú ismeretanyagot (know-how) összeállítani és hirdetni, ez az osztrák építőipar külföldi megrendeléseinek megnövekedését eredményezte. Az említett 1000 épület összesen 500.000 m² hasznos lakóterületet jelent, ami az országos lakásarányhoz viszonyítva Ausztriában a legmagasabb. Amennyiben a passzívház-építések aránya ilyen ütemben növekszik, úgy 2010-re akár minden negyedik új építésű épület passzívház lehet az országban, amivel Ausztriában megtízszereződhet a passzívházak mai darabszáma (a freiburgi Fraunhofer Institut előzetes becslései szerint). Az osztrák Közlekedési-, Innovációs- és Technológiai Minisztérium kezdeményezésére hozták létre a „Haus der Zukunft” programsorozatot. A program célja a széleskörű tájékoztatás, így az ausztriai passzívház projektek, illetve objektumok részletes beszámolói, egyes esetekben dokumentációi kerülhettek fel a program honlapjára (www.hausderzukunft.at). Nyugati országokban a passzívházak építését különböző támogatási programokkal is ösztönzik. Azok az építetők, akik felvállalják a passzívház-építés komplex feladatát, a legkedvezőbb támogatási besorolásokra számíthatnak. Állami oldalról ennek a megtérülése abban látható, hogy a lakossági energiaszükséglet csökkentésével az ország függetlenebbé tehető a fosszilis energiahordozóktól, illetve az energiainporttól. Emellett a fűtésből eredő emissziós értékek is alacsonyabban tarthatók, tehát az országra vonatkozó károsanyag-kibocsátási határértéket alacsonyabb értéken lehet tartani, esetleg ipari tevékenységből lehet kihasználni (Tökés, 2006).

Ma Magyarországon csak néhány, próbálkozásként épült passzívház található. A passzívházak tervezése és építése során olyan komplex szemléletmódot kell követni, ami a mai magyar építési piacon még nem általános. Ahhoz, hogy elterjedhessen, az építészeti tervezést alá kell rendelni az energetikai (épületfizikai, épületgépészeti) szempontoknak. A probléma pedig abból ered, hogy emiatt a projekt hivatalos vezető tervezője (az építész-tervező) alárendelt szerepet kap a szakági (pl. épületgépész) tervezőhöz képest, ami bizony komoly presztízs-kérdés a számára. A passzívházakban több olyan elengedhetetlen megoldást kell alkalmazni, ami a mai magyar építési szokások közé

nehezen illeszthető be. Szokatlannak tűnik a 20-30 cm vastag hőszigetelés, az alulról hőszigetelt vasbeton lemezalap, a párazáró fóliák alkalmazása a nyílászáró-beépítések peremén, a szellőztetőrendszer, és még egy sor olyan megoldás, ami ma Magyarországon – ahol sajnos „mindenki tud építkezni” – nehezen fogadtatható el kikerülhetetlen kritériumnak. A problémára egyetlen megoldás van, a jó passzívházak terjesztése, megismertetése. Terjesztés alatt az építést és bemutatást kell érteni. Terjesztetni kell az oktatásban (oktatóknak és tanulóknak), a gyakorló szakmában (tervezőknek, kivitelezőknek), a finanszírozási területeken (beruházók, hitelintézmények), lakossági oldalon, és nem utolsósorban a hatósági szektorban, és szakmai felügyeletek körében. Ez most, amíg csak néhány vállalkozásra korlátozódik a kivitelezés, nagyon nehéz döntés a számukra, hiszen a kitapasztalt ismeretanyagukat kellene közszemlére tenniük. Azonban nekik is érdekük, hogy a piacon ne jelenjenek meg a hamisítványok, a passzívházként árult, azonban a követelményeket nem, vagy nem megfelelő minőségben teljesítő épületek. Az ő időelőnyük még nagyon sokáig gazdasági előnyként fog megjelenni tevékenységükben. Jó példa erre Ausztria, azon belül is Karintia tartomány, ahová a világ minden tájáról járnak tanulni szakemberek, hogyan kell jó passzívházat építeni (Tőkés, 2006). Az állami szintű szabályozásban szintén Ausztria áll az élen: Vorarlberg tartományban 2007-től már csak passzív-ház követelményeknek megfelelő lakásépítésre adnak állami támogatást. Ez várhatóan 2015-ig Ausztria minden tartományában bevezetésre kerül (Feist 2007).

2.3.3. Passzívházak építészeti jellegzetességei

Az egyik legfontosabb jellemző az árnyékoltságmentes, déli tájolás. Direkt rendszernek nevezzük azokat az épületeket, melyek az üveghatáson alapulnak. A sugárzás elnyelése az egyes helyiségek belső felületén történik. Ez a sugárzás-felvétel a felületek felmelegedésével jár. Az így elnyelt energiát a helyiség burkolatai, felületalkotó anyagai tárolják. Amennyiben a léghőmérséklet lecsökken a felület hőmérséklete alá, úgy a korábbi hőfelvétel helyett hőleadás történik. Télen ilyen módon lehet a legtöbb „ingyen” energiát nyerni. Kíváncsús tehát, hogy az épület tömegformálása, kedvező felület/térfogat aránya, továbbá a tájolásból-, telepítésből eredő üvegházhatása a legmagasabb mértékben növelje a szoláris energianyereséget. Természetesen ez a téli hőnyereség nyáron jelentős túlmelegedéshez tud vezetni, azonban a nyílászárók árnyékolását konstrukciós módszerekkel kell biztosítani. A terepviszonyokból, beépítésből eredő árnyékviszonyok jelentősen rontják a téli energianyereséget. Az örökzöld növényzet szintén ilyen hatást kelthet. A lombhullató növényzet lényegesen kedvezőbb, hiszen az nyáron árnyékol, télen viszont szabadon engedi a napfényt. Árnyékvető szerkezetek alkalmazása esetén a

szerkezetet úgy kell megtervezni, hogy az a nyári, magas napjárás idején fejtse ki hatását, télen, alacsony napjárás idején azonban hagyja szabadon az üvegfelületeket. Külső oldali, mozgatható árnyékoló-szerkezetek, illetve berendezések alkalmazása kétségtelenül a legköltségesebb, azonban a leghatékonyabb megoldás. Az árnyékoló-képesség mellett további érvként szolgál ezek hőszigetelt kivitele esetén az éjszakai hőveszteségek csökkentése.

Az épület-tömeg, nyílászárók, és az árnyékolás mellett az épület alaprajza is sokat befolyásol a hőkomforton. A hőérzet és fényviszonyok tekintetében igényesebb helyiségeket a nagyobb sugárzási nyereségű homlokzatokhoz kell helyezni, míg az alacsonyabb fény- és hőigényű helyiségek kerüljenek a kis sugárzási nyereségű, szél- és csapadékhatásnak kitett homlokzathoz. Ezek a helyiségcsoportok így az igényesebb helyiségek védőzónájaként fognak viselkedni. Ez a védőzóna szigetel, hőtároló tömeget biztosít, és védi a huzamosabb tartózkodásra tervezett helyiségeket a kedvezőtlen infiltrációval szemben. A helyiségek igényességi-fontossági sorrendjében a nappali, étkező, dolgozó- és gyerekszobák vannak elől. Ezeket követik a hálósobák, konyha, fürdő. Védőzónás helyiségek az előterek, szélfogó, WC, kamra, gardrób. Védőzónaként nem csak helyiségek, hanem épületrészek is figyelembe vehetők: pl. a garázs, kazánház, pince, padlástér.

Kis épületek esetén könnyű biztosítani a kompakt épülettömeget, hiszen a kicsi traktusméretek könnyen „átvilágítható”. Nagyobb épületek esetén sem ajánlatos a napsugárzás szempontjából kedvezőtlen homlokzatokat megnyitni. Okosabb megoldás a háromszög, vagy körcikk alaprajz. Ezek a megoldások annak ellenére kedvezőnek mondhatók, hogy rontják a felület/térfogat arányt, és hőhidakat generálnak, ugyanis az így nyert hő- és fény mennyiség felülmúlja a veszteségeket. A kompakt épületformálás hátránya az, hogy nagyon lecsökkenti a kiaknázzható homlokzatokat. Ez nem csak a hőnyereség, hanem a természetes megvilágítás, és szellőztetés szempontjából is fontos. Mindig meg kell keresni azt az optimális formát, melynél a sugárzási nyereségek és az összetettebb épületformálásból adódó veszteségek arányosak. A feladat általában nem annyira összetett, hiszen az építési előírások, a telek adottságai, a természetes és épített környezet erősen meghatározza a tervezett épület formáját. A mérlegelés már csak ezen korlátok között kell, hogy megtörténjen.

Nagyobb traktusmélységű épületek esetén a napnyereség növelésére jó megoldást nyújthat a felülvilágító, azonban ezen szerkezetek árnyékolása már körülményesebb. A talajjal való érintkezés kedvezőbb hőveszteség-viszonyokat eredményez, így lejtős terepen érdemes kihasználni, hogy a védőzóna a talajba süllyeszthető. Ez kombinálható részleges, vagy teljes feltöltéssel. Részleges feltöltés alatt csak a terepszint megemelését

kell érteni, míg teljes feltöltés esetén az épület lapostetején kialakított zöldtetővel kombinálják a feltöltést. (Zöld, 1999)

2.3.4. Passzívházak térelhatároló szerkezetei

A térelhatároló szerkezetek tekintetében követelmény a nagy hőszigetelési teljesítmény. Számokkal kifejezve külső falak esetén legfeljebb $0,15 \text{ [W/m}^2 \times \text{K]}$, tető esetén pedig legfeljebb $0,10 \text{ [W/m}^2 \times \text{K]}$ hőátbocsátási tényező szükséges (www.passiv.de, 2008). A passzívház-szabvány falakra is ajánlja a $0,10$ -es értéket, ami egyes osztrák tartományokban előírás is. Ezen kívül előírás még, hogy a vonalmenti hőhidakat jellemző ψ tényező értéke $0,01 \text{ [W/m} \times \text{K]}$ alatt maradjon, vagyis a szerkezet vonalmenti hőhidaktól mentes legyen. Ezek a hőátbocsátási tényezők fal esetén (a tartószerkezet hőszigetelését elhanyagolva) 30 cm üveggypot/kőzetgypot/cellulóz, vagy 25 cm polisztirol réteget feltételeznek. Tető esetében pedig 42 cm gypot/cellulóz, vagy 30 cm poliuretán alapú szigetelés biztosíthatja a kívánt értéket. Hőszigetelések tekintetében ez legfeljebb rögzítés-technikai probléma lehet, vagyis a nagy szerkezeti vastagságokat (főleg a tető ferde síkjain) körülményes kialakítani. A másik nagy határoló-szerkezet csoport a nyílászáró. Nyílászárókra a passzívház-normatíva (tokkal együtt értelmezett) legfeljebb $0,80 \text{ [W/m}^2 \times \text{K]}$ hőátbocsátást engedélyez, mindezt legalább $50 \text{ \%}$ -os naptényező mellett. Ez annyit tesz, hogy az ablakon bejutó napfény mennyisége legalább annyi, mint az ablak nélküli nyíláson bejutó fény fele. A tok anyaga nem kizárólagos. Fa, műanyag, alumínium, és kombinált anyagokkal egyaránt kivitelezhető a kívánt teljesítmény. Azonban bármelyik anyagot is tekintjük, a passzívházak ablakszerkezete már tartalmaz egy habosított hőszigetelő réteget. A réteg készülhet két tömör (pl. fa) réteg között, vagy a keretszerkezet külső oldalán (hasonlóan a homlokzati hőszigetelő rendszerhez). Az üvegezés 3 üvegréteggel készül. A hagyományos, egykamrás üvegtábla már nem képes ezt a hőszigetelési tulajdonságot biztosítani. Továbbfejlesztése két módon történhet. Az egyik megoldás: kiegészítő üvegréteg rögzítése a szármyszerkezeten (ebben az esetben a két üveg közt kialakult kamrában elhelyezhető egy alumínium lamellás árnyékoló, ami sugárzás-visszaverő tulajdonságával nyáron és télen egyaránt előnyös). Másik megoldás a kétkamrás üvegtábla. Ha a két borítóüveg belülről fóliaborítást kap, a légkamrák pedig gáztöltést, akkor a $4/15/4/15/4 \text{ [mm]}$ kiosztású tábla a kívülről hőszigetelt tokkal $0,75 \text{ [W/m}^2 \times \text{K]}$ teljes hőátbocsátást ér el. A többretegű üvegtáblában a fém távtartó keret egy jelentős hőhidat képvisel. Ez a hőhídhatás azzal csökkenthető, hogy a távtartó hőszigetelt műanyagelemekkel kombinálva készül, illetve az üveg mélyebb árkolásba kerül a szárnyprofilban. Az emiatt meggyengített szárnyat az üvegtábla teherhordó ragasztásával lehet megerősíteni (forrás: Internorm).

Az üvegezett felületek jelentősen befolyásolják a belső komfortviszonyokat. A külső térelhatároló szerkezetek közül az üvegek hőátbocsátása a legnagyobb, a falra és a nyílászáróra előírt hőátbocsátási értékek között ötszörös reláció áll fenn. Emiatt az üvegfelületek felületi hőmérséklete egy kritikus része a passzívházban kialakuló komfortérzetnek. Egy, a mai követelményeknek megfelelő ablak ($U=1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$) belső felületi hőmérséklete a -15 °C -os külső, és $+20 \text{ °C}$ belső méretezési léghőmérsékletnél 13 °C körül alakul. Ez a hideg felület egy lefelé haladó légáramlatot hoz létre, ami egy padlóig érő teraszablak esetén a padló felszínén szétterülve egy nagy kiterjedésű hűvös (17 °C -os) légréteggé alakul, míg $1,10 \text{ m}$ magasságban a léghőmérséklet 20 °C . Ez a 3 °C hőmérsékletkülönbség, már kellemetlen, és nem engedhető meg. Ugyanez a jelenség passzívház-ablak ($U=0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$) esetén, ahol az üveg belső felületi hőmérséklete 16 °C , már nem lép fel, mert ilyen viszonyok mellett, a padló feletti léghőmérséklet eléri a $18,4 \text{ °C}$ -ot, ami mindössze $1,6 \text{ °C}$ hőmérsékletkülönbséget jelent. Ennek a jelenségnek csak passzívházban van jelentősége, mert ott az ablak alatt nincs fűtőtest, ami ezt a hideg légáramlatot felmelegítené, ahogy a hagyományos épületekben. [Pfluger, 2003]

2.3.5. Légtömörség és szellőzés

Az épülettől elvárjuk a légtömörséget, amit 50 Pa túlnyomáson mért 0,6-szeres óránkénti légcserével lehet számokban kifejezni (www.passiv.de, 2008). A filtrációs veszteségek közvetlenül viszik ki a beltér levegőjének hőenergiáját a kültérbe. A tetőtérben ez rendszerint exfiltráció, vagyis belülről kifelé távozó légmennyiséggel kell számolnunk, a földszinten pedig ezt a légmennyiséget pótlandó infiltráció (befelé áramló levegő) alakul ki. Egy passzívházban a külső térelhatároló szerkezeteken távozó hőmennyiség olyan kis mennyiséget képvisel, hogy a hagyományos szerkezetű épületek összes hőveszteségében elenyésző filtrációs veszteség passzívház esetén jelentős hányadot képvisel. A másik probléma az ilyen filtrációs jelenségekkel kapcsolatban, hogy a lakás mesterséges szellőztető áramlatait felboríthatja. Ezért kell különösen alacsony értéken tartani a filtrációs veszteségeket. A légtömör felületkialakítást téglapépületek esetén a vakolat, míg könnyűszerkezetes épületekben a párafékező fóliaréteg biztosítja. A nyílászárókat mindkét esetben hozzá kell „rögzíteni” ehhez a réteghez. A könnyűszerkezetes épületek párafékező rétege egy nagyon érzékeny, és sérülékeny anyag, általában valamilyen műanyag fólia. Az elemkapcsolatok, hajlatok, vezetékáttörések kialakításánál ragasztószalagot kell alkalmazni, hogy a réteg folytonossága ezeken a helyeken se szakadjon meg. A légtömörség ellenőrzésére az egységesített blower-door teszt alkalmas. A teszt lényege, hogy az épület egyik nyílásába (rendszerint az egyik teraszajtó helyére) rögzítenek egy légmennyiség mérővel és légnyomás-mérővel kombinált ventillátort. A

szabványos mérés 3 részből áll: az első részben állandó 50 Pa túlnyomáson tartják az épület belső légterét, és az egy órához tartozó légmennyiség mérése mellett réseket, tömítetlenségeket keresnek. A nagyobb hibák kézzel is érezhetőek, míg a kisebb hibákat füst segítségével derítik fel. A füstöt kétféleképpen alkalmazzák. Szerkezetkész épületek esetén egy füstgépet állítanak be a belső térbe, és elárasztják az egész lakóteret. Ilyenkor a hibák kívülről megfigyelhetők. Az egyszerűbb megoldás a kézi füstpumpa, amivel kis füstgomolyagokat lehet képezni a problémásnak feltételezett helyek környezetében. Ezt a vizsgálatot belülről végzik el, és elvileg a blower-door méréstől függetlenül is alkalmazható a légáramlatok megfigyelésére. A blower-door mérés második fázisában lépcsőzetesen változtatják a nyomást -30 Pa vákuumtól 100 Pa túlnyomásig, és minden állapothoz légcseremennyiséget mérnek. A harmadik mérés az első mérés olyan változata, hogy 50 Pa vákuumot létrehozva mérik a légveszteségeket. A mért értékek és a vizsgált lakótér űrtartalma alapján képezhető az n_{50} (50 Pa nyomáskülönbséghez tartozó óránkénti légcseré) jellemző. Ez az érték passzívházra legfeljebb 0.6 1/h, szellőzőberendezéssel ellátott épületekre 1,0 1/h, míg természetes szellőztetéssel ellátott épületekre 3,0 1/h (Kellner, 2005). A passzívházak 0,6-es értékét nem csak felső korlátnak, alsó korlátnak is tekinthetjük. 0,5-es óránkénti légcserét mindenképp ajánlatos lehetővé tenni az épületben. Ez a kis mennyiségű szellőzés akkor is biztosítja a belső légállapotokat, ha a lakásban senki sem tartózkodik, és a gépészeti rendszer ki van kapcsolva.

A légtömör kialakítás biztosítja beépített mesterséges szellőztető rendszer hatékony működését. A szellőztetés előnye az ablaknyitással szemben többszörös: egyrészt szabályozott légállapotokat biztosít, folyamatos frisslevegő-ellátás mellett. Másrészt a központi betápláló egységben megoldható a frisslevegő hőmérsékletének és nedvességtartalmának beállítása (nyáron felfűtés, télen hűtés). Ugyanitt az elszívott levegő hőtartalmának visszatartása is megtörténik. Passzívházak esetén a szellőztetés hővisszanyerése legalább 75 %-os hatásfokkal üzemel.

A szellőztetés akkor működik megfelelően, ha a konyhából, a fürdőszobából, a WC-ből és az egyéb terhelte helyiségekből a terhelte levegő folyamatosan elszívásra kerül. A friss kültéri levegő ezzel szemben betáplálásra kerül a nappaliba, a gyerekszobába, a dolgozó- és hálószobába. Az elszívási és a betáplálási zóna közötti helyiségeket, pl. a közlekedő, lépcsőház, stb. a belső légáramlatok öblítik át. Ennek érdekében biztosítani kell a helyiségek közti átszellőzést. A legkedvezőbb megoldás az ajtók nélküli falnyílások alkalmazása. Ezek áramlástani jellemzői könnyen számíthatóak. A belső ajtók esetén szellőzőnyílások beépítésére lehet szükség.

A passzívház nem csak épületszerkezeti fogalom, hanem komplex koncepció. Az épületgépészet elengedhetetlen része az épületnek. A mesterséges szellőztető rendszer a csöves talajkollektorokban előfűtött/előhűtött levegő hőmérsékletét állítja be a betáplálási hőmérsékletre. A napkollektor a használati melegvíz fűtésére, illetve a téli légfűtésre használható. A hőszivattyú a napkollektor funkcióját helyettesítheti. Mivel a mélyebb talajrétegek geotermikus energiáját hasznosítja, ezért a napkollektorral ellentétben folyamatos, egyenletes hőmennyiséget tud szállítani. Alkalmazását ismeretlensége, és magasabb telepítési költsége korlátozza hazánkban – egyelőre. Az épület gépészeti berendezéseinek villamos energiaigénye természetesen magasabb, mint egy hagyományos épületben, azonban az általuk megtakarított hőenergia nagyságrendekkel kisebb, így az épület összes energia-fogyasztása lényegesen alacsonyabb. Alacsony energiaszükségletűnek nevezzük az 'A' kategóriás házakat, amik a fűtött térfogat/lehűlőfelület arányukhoz tartozó megengedett energiaszükségletüknek legfeljebb 60 %-át igénylik (a százalékos határérték országonként változhat). Passzívházak esetén ez a hányados 20 %. Az energiatakarékosság nem csak a hőenergiára vonatkozik. Egy passzívházban energiatakarékos izzók, esetenként mozgásérzékelős villanykapcsolók vannak szerelve. A hűtőszekrény, a mosógép, és egyéb háztartási berendezések egyaránt a legalacsonyabb energiafelhasználási osztályba sorolhatóak.

Azonban lehetetlenség azt elvárni, hogy a jelenlegi építési kultúránkból egyből a passzívházak világába lépjünk át. Nekünk is meg kell tanulnunk takarékoskodni a világpiaci áron beszerezett energiahordozókkal, amit a fejlett kapitalista országok már kényszerűségből megtanultak. Meg kell céloznunk az 'A' kategóriás, energiatakarékos épületeket, azt a szintet, ahonnan már könnyebben, rugalmasabban léphetünk tovább. Az energiatakarékos épületekről pedig el kell tudnunk dönteni, hogy valóban azok-e. Szükség van egy módszerre, amivel értékelhetjük az épületállományt, amivel számszerűleg is kifejezhetjük a szükséges, illetve elért fejlődést.

3. A fa bordavázás épületek vizsgálata

3.1. Előzmények

A vizsgálataim előzményeként a könnyűszerkezetes építési rendszer megismerése, szakkönyvek és tanulmányi utak, valamint konkrét tervezési és építési feladatok sorolhatóak fel. Tapasztalataim szerint az épületfizika és épületenergetika könyvek, a szabványok, a számolási eljárások leginkább a téglaszerkezetek vizsgálatát tárgyalják. Sajnos a számítógépes szoftverek egyáltalán nem veszik figyelembe az inhomogén szerkezeteket, vagy a könnyűszerkezetes épületek hőhídveszteségi tényezőit, így fa bordavázás épületek minősítésére alig használhatóak. A téglaszerkezetekre való összpontosítás érthető is, ha az építkezések arányait nézzük. De az előírások a folyamatosan szaporodó könnyűszerkezetes épületekre is érvényesek; a számolást akkor is el kell végezni, ha a szükséges adatokat órákig kell böngészni az interneten, vagy némely lépést másként, esetleg többször kell alkalmazni. Ha figyelembe vesszük, hogy a 176/2008-as kormányrendelet az energiatanúsításra legfeljebb kettő munkaórát enged meg elszámolni, könnyen beláthatjuk, hogy egy ilyen hőtechnikai számításnak gyorsnak és egyszerűnek kell lennie. Emellett megbízható energetikai adatok gyors meghatározására már a tervezési fázisban is szükség van.

A közvetlen előkészítési folyamatban elsőként meg kellett határoznom egy általános építési rendszert, rétegrendekkel, csomópontokkal. Az összeállított rendszer jól tükrözi a mai magyar faház-építési szokásokat az anyagok minősége, mennyisége és összeépítése terén. A szerkezet saját ismereteim szerint megfelel a MAKÉSZ tagvállalatok alapkiviteli, és legnagyobb mennyiségben eladott épületeinek (természetesen a tagok többsége megfelelő felárral ennél magasabb kategóriájú szerkezetet is kínál). Az adott szerkezetből tervezett épület komplex vizsgálata kiterjed a rétegrendek, a fajlagos hőveszteség, és az összesített energetikai mutató ellenőrzésére. Annak érdekében, hogy általános módszert dolgozzak ki, először az egyes elemeket (felületek, kapcsolódási vonalak, üvegezett szerkezetek) vizsgáltam, majd ezekből állítottam össze egy épületet, hogy a teljes ellenőrzést elvégezzem. A rétegrendek hőátbocsátási tényezőinek meghatározása az MSZ EN 6946 szabvány szerint, a bordavázat is figyelembe vevő súlyozással történt, míg páratechnikai ellenőrzése az MSZ EN ISO 13788 szabványnak megfelelően készült. A hőhidak vizsgálata *Therm* végelelem-szoftverrel, a kiértékelése táblázatkezelő program segítségével történt. Az analízishez szükségessé vált a

csomópontok 1:1-es léptékű részletrajzainak elkészítése digitális formában (*.dxf kiterjesztéssel). Elsődleges eredményként a ψ_e vonalmenti hőhídveszteségi tényezők születtek meg, ezek meghatározása az MSZ EN 10211-1 és 2 szabványokkal összhangban történt. Másodlagos eredmény az f_{Rsi} belső felületi hőmérsékletek és az ezekkel összefüggő φ_{80} és φ_{100} értékek (páratechnikai küszöbértékek) meghatározása volt. A számításhoz a *Therm* adatain kívül a *Mollier-féle h-x diagram* szükséges. A nyílászárók elemzése összetett feladat. Az üvegezett szerkezetek hőtechnikai vizsgálatakor gyakran okoz problémát, hogy mikor milyen fizikai paraméterekkel kell dolgozni. Az üvegezés hőátbocsátása nem jellemzi pontosan az ablak viselkedését, a részletesebb számoláshoz szükséges adatok pedig csak ritkán állnak a tervezők rendelkezésére. Ezen probléma megoldása szerves része a vizsgálatomnak. Módszeremben először a tok-szárny profilt, mint vonalmenti hőhidat határoztam meg, majd ugyanezt a szerkezetet falba (tetőablakok estén tetősíkba) építve is vizsgáltam. Elgondolásom előnye, hogy a keret, illetve a beépítés vonalmenti hőhídveszteségét az üvegfelület hőátbocsátásából származtatom. Ehhez a módszerhez a későbbiekben elegendő a nyílászáró névleges méreteit ismerni, kihagyható a számolásból az üvegezési arány, és a tokprofil hőátbocsátási tényezője. Az üvegezett szerkezetek téli napnyeresége az előírások szerint elhanyagolható, azonban az ú.n. részletes számolási módszer lehetőséget ad ezek figyelembe vételére. Az üvegezett szerkezetek napnyereséggel összevont energiavesztesége kifejezhető alapadatok segítségével, de ehhez már mindenképp szükséges az ablak üvegezési aránya. Kidolgoztam egy összefüggést, amivel jó közelítéssel kifejezhető a névleges méretből az üvegfelület. Ezek táblázatos összefoglalása a szokványos ablakméretekhez rendkívüli módon meggyorsítja a számolást. Az építési rendszer komplex értékelésére egy választott tetőtérbeépítéssel mintaépület q_m fajlagos hőveszteség-tényezőjének meghatározása ad lehetőséget, amit a 7/2006-os TNM rendelet szerint végeztem el. Az épület rész-energiaveszteségei (lehűlőfelületek, vonalmenti hőhidak, üvegezett szerkezetek) az összes energiaveszteség százalékos arányaiban megmutatják, hogy mely szerkezeti részek a kritikusak. A fűtés nettó energiaigénye, az épület fűtési- és használati-melegvíz-ellátási energiaszükségletének meghatározása, valamint az energetikai besorolás szintén a 7/2006-os, illetve a 176/2008-as rendeletek előírásainak megfelelően történt.

3.1.1. Az analízis előkészítése

Magyarország klímaviszonyainak ismerete alapvetően szükséges ahhoz, hogy a tervezéshez szükséges külső viszonyokat meg tudjuk határozni. A külső hőmérséklet, a nedvességtartalom, a napsugárzás energiatartalma egyaránt befolyásolja az épületeink hőtechnikai minősítését.

Napsugárzás: A napfénytartam éves összegeinek területi eloszlásában ország méreteihez képest elég nagy különbségeket találunk. A hegyektől övezett alföldi rész középső táján a legkevesebb a felhő, ott a legtöbb a napsütés, kialakul egyfajta „medencehatás”. Ugyanez a globálsugárzás évi összegének területi eloszlásában is mutatkozik, azonban a napfénytartamtól eltérő helyen alakul ki a legnagyobb érték. Mindezeket felülbírálván a 7/2006-os kormányrendeletben foglalt sugárzásintenzitásokkal dolgoztam.

Hőmérséklet: Az évi középhőmérséklet az ország déli délkeleti részén a legmagasabb, mintegy 11-11,5°C, északon-északnyugaton 8-9°C körül alakul. A legmelegebb és leghidegebb hónap hőmérsékletének különbsége a Nagyalföldön, a Tiszántúl középső területein maximális, eléri a 24°C-ot, míg a magashegységekben, az Alpokalja egyes területein 20°C alatt marad. Az éves középhőmérséklet a talajhőmérséklet meghatározásához szükséges, a sokévi legalacsonyabb napi átlaghőmérséklet a nyílászárók felületén kialakuló páralecsapódáshoz, míg a havi középhőmérsékletek a szerkezeten belüli páratechnikai ellenőrzéshez szükségesek. Ez utóbbi vizsgálathoz szabványos értékek állnak rendelkezésre, míg a többi érték meteorológiai adatszolgáltatásból nyerhető.

Szél: Magyarország területén az északnyugati szélirány az uralkodó. A szélesebesség időbeli változékonysága nagy, ami a különböző nyomási képződmények (ciklon, anticiklon) mozgásaival magyarázható. Az a külső hőátadási tényezőt befolyásolja, de számításaimban a szabvány által megadott, egyszerűsített értékkel dolgoztam.

Légnedvesség: A relatív nedvesség maximuma december-januárra, minimuma júliusra tehető. Területileg nedvesebbek a nyugati és a hegyvidéki területek, szárazabbak a déli délkeleti részek. A páratechnikai ellenőrzéshez szabványos adatok állnak rendelkezésre.

Felhőzet: A felhőzet alapvetően befolyásolja a téli napnyereséget, illetve a nyári hőterhelést. A felhőzet modellezése összetett feladat, azonban a számolásokhoz rendelkezésre állnak előírás-jellegű napsugárzási intenzitások.

A dolgozatban egységes jelölésrendszert alkalmaztam, összhangban az alkalmazott szabványokkal és előírásokkal.

5. Táblázat A számítás során alkalmazott jelölések

A	felület	m^2
b	szélesség	m
l	hosszúság	m
sz	nyílászáró szélességi mérete	m
m	nyílászáró magassági mérete	m
a	felület-arány	
d	rétegvastagság	m
V	térfogat	m^3
ΣA	összes lehülőfelület	m^2
ΣV	összes fűtött térfogat	m^3
A_N	Az épület fűtött nettó alapterülete	m^2
H	Az épület belmagassága	m
Σl	vonalmenti hőhidak összhossza	m
λ	vonalmenti hővezetési tényező	$W/m \times K$
μ	páravezetési ellenállás tényező	
R	hővezetési ellenállás	$m^2 \times K/W$
R_{se}	külső hőátadási ellenállás	$m^2 \times K/W$
R_{si}	belső hőátadási ellenállás	$m^2 \times K/W$
R_T	teljes hővezetési ellenállás	$m^2 \times K/W$
R'_T	teljes hővezetési ellenállás felső értéke	$m^2 \times K/W$
R''_T	teljes hővezetési ellenállás alsó értéke	$m^2 \times K/W$
U	hőátbocsátási tényező	$W/m^2 \times K$
s_d	páradiffúziós egyenértékű légrétegvastagság	m
φ_i	beltéri levegő relatív nedvességtartalma	
φ_e	beltéri levegő relatív nedvességtartalma	
φ_{si}	belső felületen kialakuló relatív nedvességtartalom	
φ_{80}	80%-os felületi nedvességtartalmat okozó légnedvesség 20°C-os légnedvesség mellett	
φ_{100}	100%-os felületi nedvességtartalmat okozó légnedvesség 20°C-os légnedvesség mellett	
p_i	belső levegő parciális párányomása	Pa
p_e	külső levegő parciális párányomása	Pa
p_{sat}	telített levegő parciális párányomása adott hőmérsékleten	Pa
θ_i	Celsius-hőmérséklet a belső oldalon	$^{\circ}C$
θ_e	Celsius-hőmérséklet a belső oldalon	$^{\circ}C$
f_{Rsi}	belső felületi hőmérséklet sajátléptékben kifejezve	
$\theta_{si, min}$	megengedhető minimális belső felületi hőmérséklet	$^{\circ}C$

L	termikus vezetési érték	W/K
L^{2D}	vonalmonti hőveszteség-tényező	W/m×K
f_{Rsi}^{1D}	állandó hővezetési ellenállású sík építőelem felületi hőmérséklet-tényezője	
f_{Rsi}^{2D}	vonalmonti hőhíd felületi hőmérséklet-tényezője	
f_{Rsi}^{3D}	pontszerű hőhíd felületi hőmérséklet-tényezője	
Φ	hőáram	W
ψ_e	külméretekkel értelmezett vonalmonti hőhídveszteségi tényező	W/m×K
X	pontszerű hőhídveszteségi tényező	W/K
ψ_p	nyílászáró profiljának vonalmonti hőhídveszteségi tényezője	W/m×K
q_m	fajlagos hőveszteség-tényező	W/m ³ ×K
Q_{sd}	üvegezett szerkezet sugárzási nyeresége	kWh/a
Q_{TOT}	sugárzási energiahozam a fűtési időnyire vonatkoztatva	kWh/m ² a
ε	sugárzási napnyereség hasznosítási tényezője	
g	üvegezett szerkezet naptényezője	
s	tájékoztató tényező	
q	hőáramsűrűség	W/m ²
Q^{1D}	lehűlőfelületek hővesztesége	W/K
Q^{2D}	vonalmonti hőhidak hővesztesége	W/K
Q_T	épület hővesztesége	W/K
q	épület fajlagos hőveszteség tényezője	W/m ³ ×K
q_f	fűtés fajlagos hőszükséglete	kWh/m ² a
n	légcseres szám	1/h
σ	szakaszos üzem korrekciós tényezője	
q_b	belső hőnyereség	W/m ²
$q_{f,h}$	fűtés szabályozási veszteségei	kWh/m ² a
$q_{f,v}$	a fűtés elosztóhálózatának veszteségei	kWh/m ² a
$q_{f,t}$	fűtés tárolási veszteségei	kWh/m ² a
$q_{k,v}$	kazán villamos segédenergia igénye	kWh/m ² a
C_k	kazán (fűtőberendezés) teljesítménytényezője	
α_k	az egyes energiaforrások részaránya	kWh/m ² a
E_{FSz}	fűtés szabályozásának fajlagos villamos-energia szükséglete	kWh/m ² a
E_{FT}	a tárolás fajlagos villamos-energia szükséglete	kWh/m ² a
e_f	fűtéshez használt energiahordozó primer energiatartalma	
e_v	villamos áram primer energiatartalma	
$q_{H MV}$	használati melegvíz előállításának fajlagos hőszükséglete	kWh/m ² a
$q_{H MV,v}$	használati melegvíz elosztóhálózatának veszteségei	kWh/m ² a

$q_{HMV,t}$	használati melegvíz tárolásának veszteségei	kWh/m ² a
e_{HMV}	használati melegvíz előállításához használt energiahordozó primer energiatartalma	
E_C	használati melegvíz keringetésének fajlagos villamos-energia szükséglete	kWh/m ² a
E_K	használati melegvíz fűtőberendezésének villamos-energia szükséglete	kWh/m ² a
E_p	összesített energetikai jellemző	kWh/m ² a
$V_{FG,f}$	az épület fűtésére évenként elhasznált földgázmennyiség	m ³ /év
ΣV_{FG}	az egy évben elhasznált összes földgázmennyiség	m ³ /év
$P_{FG,f}$	a fűtés éves költsége	eFt
ΣP_{FG}	a fűtés és melegvíz-előállítás éves költsége	eFt
K	beruházás anyagköltsége	eFt

Az számításaim során alkalmazott anyagjellemző a vonalmenti hővezetési tényező, melyre az egyes anyagok esetében a következő értékeket alkalmaztam:

6. Táblázat A szerkezet anyagainak vonalmenti hővezetési tényezői

Anyag	λ (W/m×K)
alumínium	160
beton	2,00
könnyű aljzatbeton	1,65
dryvit-rendszer	0,04
EPDM-gumi	0,25
hőszigetelő farostlemez	0,05
fenyő	0,13
gipszlap	0,30
szálas hőszigetelés	0,04
habosított hőszigetelés	0,035
OSB-lemez	0,16
talaj	2,00
24mm-es 1.1-es üveg	0,0325
36mm-es 0.7-es üveg	0,0286
36mm-es 0.5-ös üveg	0,0197
24mm-es üvegtábla távtartója	0,297
36mm-es üvegtábla távtartója	0,305
zárt légréteg	Therm-szerint
kiszellőző légréteg	Therm-szerint

3.2. A rétegrendek vizsgálata

A rétegrendek vizsgálatán belül elsődlegesen a hőátbocsátási tényező meghatározása, illetve a belső felületi hőmérséklet sajátléptékben történő kifejezése történt meg. A számolás menete a terjedelem csökkentése érdekében csak vázlatosan kerül ismertetésre. A számolás az MSZ EN ISO 6946:1996 Épületszerkezetek és épületelemek - Hővezetési ellenállás és hőátbocsátási tényező – Számítási módszer – szabvány szerint történik. Jelölések az 1. Táblázat szerint értendők

$$U = \frac{1}{R_T} \quad [1]$$

Homogén rétegrend esetén (padló)

$$R_T = R_{si} + \sum R_j + R_{se} \quad [2]$$

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j} \quad [3]$$

Inhomogén rétegrend esetén (fal, földem, tető)

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} \quad [4]$$

$$R'_T = \frac{1}{R_{si} + \frac{a_1}{(\sum R_j)_1} + \frac{a_2}{(\sum R_j)_2} + \dots + \frac{a_n}{(\sum R_j)_n} + R_{se}} \quad [5]$$

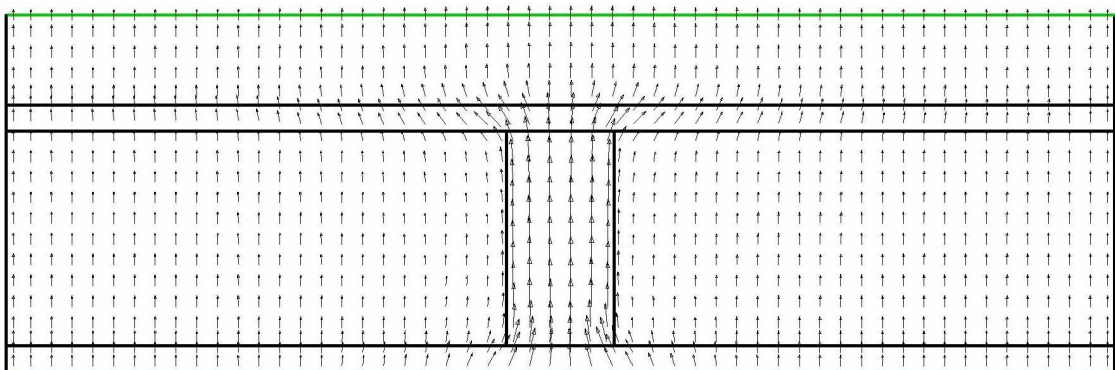
$$R''_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + \frac{1}{\frac{a_{j1}}{R_{j1}} + \frac{a_{j2}}{R_{j2}} + \dots + \frac{a_{jn}}{R_{jn}}} + \dots + R_n + R_{se} \quad [6]$$

3.2.1. Az egyes külső térelhatároló szerkezetek számítása és ellenőrzése

Az ellenőrizendő épület rétegrendjei a mellékletben szereplő tervdokumentáció E-3 és E-4 tervlapjain találhatóak. A padló rétegrendjébe az aljzatbeton, a lépésálló hőszigetelés, és a fogadólemez került beszámításra, külső hőátadási tényező – mivel a rétegrend a talajon fekszik – nincsen. A standard falszerkezet ellenőrzésénél figyelembe kell venni, hogy a 6 cm-es bordák 62,5 cm-es tengelytávolsággal vannak elhelyezve, így a felület mentén a táblázatban látható értékekkel súlyozva kell a számítást elvégezni. A súlyozást $0,097 \text{ m}^2/\text{m}^2$ bordafelülettel, és $0,903 \text{ m}^2/\text{m}^2$ bordaközzel számítottam. Ezeket az arányok korábbi kutatásaim, illetve tervezési munkáim során határoztam meg. A rétegrend páratechnikai ellenőrzése a WinWatt programmal végezhető el. A belsőoldali burkolat alatt elhelyezett párazáró fólia segítségével a szerkezet a páratechnikai követelményeket

teljesíti. A szerkezet ellenőrzési jelentése és a párányomás-diagramja a mellékletben található. A tetősík és a zárófödém számításánál már két, egymást keresztező inhomogén rétegrendet kell figyelembe vennünk, a tartógerendák, és a szerelő-lécváz síkját. A súlyozáshoz szükséges felület-arányok grafikus úton határozhatóak meg a legegyszerűbben: egy 1 m²-es felületdarabon ábrázolva az egyes elemeket az *AutoCad*-ben leolvashatóak a felületarányok. Szükség van a felület menti 4 különböző rétegrend felületarányára, és a két inhomogén rétegen belüli arányokra is. A számolás táblázatkezelő program használatával könnyen átlátható marad. A páratechnikai ellenőrzés itt is a *WinWatt* segítségével történt, a párazáró fólia a belső burkolat alatt elhelyezve megfelelő minősítést eredményez.

Kérdéses lehet, hogy az egyszerűen inhomogén falszerkezetben a bordák hatását elegendő-e az MSZ EN ISO 6946 szabvány szerint, inhomogén réteg figyelembevételével modellezni, vagy mindenképp az MSZ EN ISO 10211 szabvány szerint, hőhídként kell számítani. A bordák környezetében több-dimenzióssá váló hőáramokat az utóbbi, részletesebb módszer figyelembe veszi, míg az első módszer csak párhuzamos hőáramokat feltételez. Megvizsgáltam, hogy szükség van-e a pontosabb, de időigényesebb módszerre, vagy elegendő az egyszerűbb számítás is.



2. ábra Hőáramvektorok a borda környezetében

A borda növeli a bordaközben számított hőátbocsátást. Az egyszerűsített számolás szerint ez a növekedés az anyagi inhomogenitástól függ, míg a részletes számítás szerint a borda hőáramsűrűség módosító hatásától. A részletes számolás feltételezhetően magasabb eredményt ad, a kérdés inkább arra vonatkozik, hogy vajon ez a többlet elhanyagolható-e. Az egyszerű súlyozás az [1]~[6] összefüggések szerint a következő eredményt adja (a számítás a többi rétegrend ellenőrzésénél található):

$$U_s = 0,2223 \approx 0,22 \frac{W}{m^2 \times K}$$

A részletes módszerhez is szükségünk van a bordaarányra. Itt azonban nem a felület, hanem a hossz szükséges, vagyis az, hogy hány fm borda kerül egy m² referenciafelületre. A felületi bordaarányt elosztva a borda vastagságával ez az érték $r=0,097/0,065=1,49 \text{ m/m}^2$. A borda vonalmenti hőhíd-veszteségi tényezőjét a később ismertetésre kerülő módszerrel, a *Therm* program segítségével határoztam meg. A borda hőhídját is figyelembe vevő hőátbocsátást a bordaközben számított hőátbocsátásból az alábbi összefüggéssel kell számítani:

$$U_H = U_{\text{bordaköz}} + \psi \cdot r = 0,1992 + 0,0197 \cdot 1,49 = 0,2285 \approx 0,23 \frac{W}{m^2 \times K} \quad [7]$$

A részletes módszer magasabb eredményt ad, mint az egyszerűsített módszer, ami összhangban áll az előzetes feltételezéssel. A két eredmény különbsége:

$$\Delta U = 100 \cdot \frac{U_H - U_S}{U_S} = 100 \cdot \frac{0,2285 - 0,2223}{0,2223} = 2,8\% \quad [8]$$

A két számítási módszer eredményei között kevesebb, mint 3 %-os a különbség, ami a mérnöki gyakorlatban elhanyagolható. Fenti ellenőrzést a bordaváz hőszigetelésének optimalizálása során további 25 rétegrenden végeztem el, az eredmények alapján megállapítható, hogy az egyszerűsített, tehát az anyagi inhomogenitást figyelembe vevő, MSZ EN ISO 6946 szerinti számítás megfelelő, és elégséges. A megállapítás érvényes a kétszeresen inhomogén tető és födém vizsgálatára is, mert azokban az inhomogén rétegek hőhídjai egymásra merőlegesek, így a vonalas hőhíddátás kevésbé hangsúlyos, mint a fal esetében.

Az egyes térelhatároló szerkezetek határértékét a 7/2006-os rendelet szabályozza. Az [1]~[6] összefüggésekkel kapott értékekhez hozzá kell adni a hőhidak növelő hatását, és azzal együtt kell teljesíteni a követelményeket.

$$U_j = U_{s;j} + \frac{\sum \psi \cdot l + \sum X}{A_j} \quad [9]$$

A rendelet lehetőséget ad egyszerűsített számolásra, ez esetben a következő összefüggés alkalmazandó:

$$U_j = U_{s;j} (1 + \chi) \quad [10]$$

Ahol χ a hőhidak hatását kifejező korrekciós tényező, értéke a szerkezet hőhidasságának mértékétől, és a térelhatároló szerkezet fajtájától függ. A térelhatároló szerkezet besorolható gyengén közepesen és erősen hőhidas kategóriákba, a hőhidak hosszának fajlagos mennyisége szerint. A χ tényezőre eszerint 0,05~0,40 közötti értékek adódhatnak.

Az egyszerűsített számolás jelentősen túlbecsüli a hőhidak hatását. A részletes számolás realisabb képet ad, azonban a részletes számoláshoz ismernünk kell a szerkezet egyes

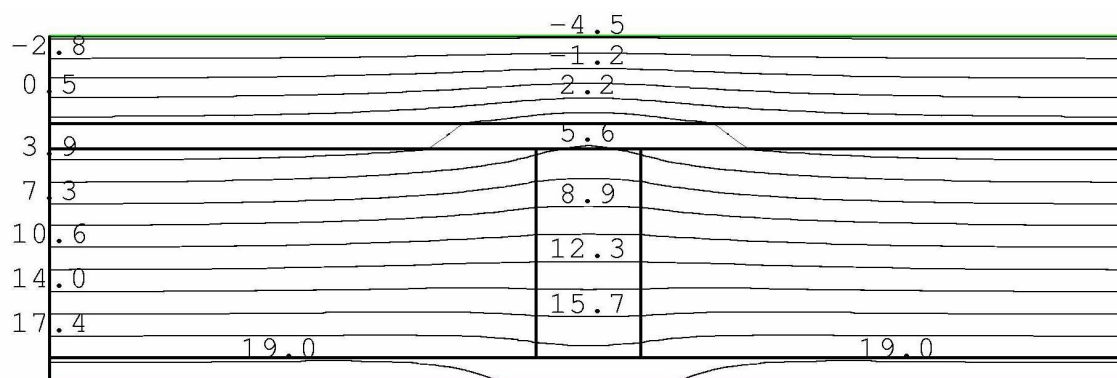
vonalminti hőhídjainak hőhídveszteségi tényezőit. Ezek meghatározását a következő fejezetben ismertetem.

A felületi hőmérséklet vizsgálata a lakótér komfortérzetének, és a szerkezet állagvédelmének ellenőrzése szempontjából lényeges. A felületi hőmérsékletet rendszerint sajátléptékben (a belső és külső tér hőmérsékletkülönbségének arányában) fejezzük ki, amiből a tényleges felületi hőmérséklet már gyorsan meghatározható tetszőleges hőmérsékleti viszonyok esetén.

$$f_{Rsi} = \frac{\Theta_{si} - \Theta_e}{\Theta_i - \Theta_e} = \frac{R_T - R_{si}}{R_T} \quad [11]$$

$$\Theta_{si} = \Theta_e + f_{Rsi} \cdot (\Theta_i - \Theta_e) = \Theta_e + \frac{R_T - R_{si}}{R_T} \cdot (\Theta_i - \Theta_e) \quad [12]$$

A bordák hőhídként viselkednek, és emiatt a bordák vonalában alacsonyabb felületi hőmérséklet alakul ki, mint a bordaközökben. A penészesedés kockázatának ellenőrzése megelőzhető, mert a vonalminti hőhidak mentén vett értékek lesznek a mértékadóak. A vonalminti hőhidak vizsgálatához azonban szükséges tudnunk, hogy a bordaváz képes-e lehűteni a felületet a bordán számított hővezetési ellenállásnak megfelelő értékre. Az ellenőrzés lényege, hogy meghatározom a borda felett kialakuló felületi hőmérsékletet a bordán értelmezett rétegtrend alapján, és összehasonlítom a borda számítógépes hőhíd-szimulációjából adódó értékkel.



3. ábra Hőmérséklet-eloszlás a borda környezetében

A ellenőrzést a bordaváz hőszigetelésének optimalizálása során 25 rétegtrenden végeztem el, az eredmények alapján megállapítható, hogy a 65 mm-es szélességű borda felett a számított és a modellezett felületi hőmérséklet azonosnak tekinthető. A csomópontokban kialakuló felületi hőmérséklet tekintetében a bordán felvett metszet eredményei változtatás nélkül alkalmazandóak.

3.3. A hőhidak vizsgálata

3.3.1. Vonalmenti hőhidak

A [9] összefüggésbe behelyettesítendő vonalmenti hőhídveszteségi tényezők értékét több módon lehet meghatározni. A legegyszerűbb, ha hőhíd-katalógusból keressük ki, de számítanunk kell arra, hogy az adott szerkezet nem szerepel a katalógusban, és meg kell elégednünk egy többé-kevésbé hasonló csomópont vonalmenti hőhídveszteségi tényezőjével. Precízebb megoldás, ha a hőhíd-szabványok alapján kiszámoljuk az egyes hőhidak tervezési értékeit. Ez elsőre hatalmas feladatnak tűnik, és természetesen nem járható megoldás, ha egy épület energetikai tanúsítását összesen 2 munkaóra alatt kell elvégezni. Azonban az egyes kivitelezők általában állandó rendszerrel dolgoznak (azzal, ami az ÉME minősítésükben szerepel), így ők elkészíttethetik saját hőhíd-katalógusaikat, ahonnan már gyorsan ki lehet olvasni a tényleges tervezési értékeket. Vizsgálataimban egy ilyen szituációt feltételezve készítettem el az átlagos szerkezet csomópontjainak, és a fejlesztett szerkezet csomópontjainak hőhíd-katalógusát.

A hőhídveszteségi tényezők meghatározásához előzetesen meg kell rajzolni az egyes csomópontok síkmetszetét. Korábbi tervezési megbízásom alapján a csomóponti megoldások a rendelkezésemre álltak, de a rajzokat át kellett alakítani a további felhasználáshoz. Ehhez *AutoCad* programot használtam, mentési fájlformátumként *.dxf kiterjesztést adva meg, amit a *Therm* program a továbbiakban kezelni tud. A modell geometriai méretének meghatározásához, valamint a peremfeltételek felvételéhez az MSZ EN ISO 10211 – Hőhidak az épületszerkezetekben – Hőáramok és felületi hőmérsékletek számítása, valamint a MSZ EN 13788 – Épületszerkezetek hő- és nedvességtechnikai viselkedése című szabványok adnak iránymutatást. Az egyes lehűlőfelületek csatlakozásainál a központi elemtől számított 1.000 mm-re, míg nyílászáró beépítéseknél 600 mm-re vettem fel a modell hosszirányú méreteit. Lábazatnál, illetve pincecsatlakozásnál a szabvány szerinti méretekkel dolgoztam. Ez hőáramszámításnál a padlóra és a falra 4.000–4.000 mm-t, míg a talajra lefelé és oldalirányban 20.000 mm-t, míg hőmérsékletszámításnál minden irányban 1.000 mm, talajmélységben 3.000mm-t jelent. A peremfeltételi hőmérséklethez a szabvány által meghatározott adatokat az OMSZ (Országos Meteorológiai Szolgálat) honlapján vezetett adatbázisból vettem át. Ilyenek voltak a napi középhőmérséklet legalacsonyabb havi átlaga (általános felületi hőmérséklet-számítások, penészképződési veszély számítása), illetve éves minimuma (felületi hőmérséklet-számítás nyílászárókon, páralecsapódás-veszély számítása). Az éves középhőmérséklet a talaj 3 m-es mélységben figyelembe vehető hőmérsékletét határozza meg. A belső hőmérséklet függ a helyiség funkciójától. A

számolásokhoz 20 °C-os hőmérsékletet vettem fel, amit a mennyezet esetén 21 °C-ra módosítottam. A felületi hőátadási ellenállásokat a program a hőátadási tényezővel, vagyis a reciprokával kéri, ez némi odafigyelést igényel.

7. Táblázat A végelem-analízishez alkalmazott peremfeltételek I.

hőáramok számítása			
Jelölés	Felületi peremfeltétel	θ (°C)	R_s (m ² ×K/W)
pf-1	belső (általános)	20	0,13
pf-2	belső (ablakszerkezet)	20	0,13
pf-3	külső (általános)	-2	0,04
pf-4	külső (ablakszerkezet)	-9	0,04
pf-5	talaj 20 m mélységben	adiabatikus	

8. Táblázat A végelem-analízishez alkalmazott peremfeltételek II.

felületi hőmérsékletek számítása			
Jelölés	Felületi peremfeltétel	θ (°C)	R_s (m ² ×K/W)
pf-6	belső (sarkokhoz)	20	0,25
pf-7	belső (felső térfél)	20	0,25
pf-8	belső (alsó térfél)	20	0,35
pf-9	belső (födém)	21	0,25
pf-10	külső (minimális)	-9	0,04
pf-11	külső (ablakszerkezet)	-9	0,04
pf-12	talaj 3 m mélységben	9,5	végtelen nagy

3.3.2. Therm 5.0 végelem-alapú hőhíd-modellező szoftver bemutatása

Rajzadási funkciók

- téglalap alakú, illetve tetszőleges oldalszámú poligon rajzolása előre beállítható raszterhálóra illesztve
- *.bmp illetve *.dxf fájlkiterjesztés bevetítése, és erre a geometriára történő rajzillesztés
- utólagos léptékezés

Kiindulási adatok kezelése

- bővíthető anyagkönyvtár, anyagokhoz tartozó λ [W/m×K] vonalmenti hővezetési tényező megadása, anyagok elkülönítése windows színpalettával

- bővíthető peremfeltétel könyvtár, levegőhőmérséklet θ [°C] és felületi hőátadási tényező $1/R_s$ [K/m²×W] megadása, peremfeltételek elkülönítése windows színpalettával
- beállítható hálósűrűség (4, illetve szükség esetén 3 csomópontú elemekkel)

Számolási módszer

- Végeselem-módszer

Eredmények megjelenítése

- végeselem-háló
- izotermák/izofluxusok (azonos hőmérsékletű, illetve azonos hőáramú színtvonalak)
- hőáramvektorok
- színes hőmérséklettérkép színskálával
- színes hőáramtérkép színskálával
- mértékegységek európai és angolszász rendszerben
- méretek utólagos lekérdezése
- hőmérséklet leolvasása kurzormutatóval

Származtatható eredmények

- ψ [W/K] hőhídveszteségi tényező számításához L_D [W/ m×K] vonalmenti hőveszteség-tényező értéke menüből lekérhető

Az hőtechnikai és a páratechnikai jellemzők számításához eltérő peremfeltételek szükségesek, így az egyes csomópontok ellenőrzéséhez a számítást az alábbi módon többször is le kellett futtatni.

- Szerkezeti csomópontok vízszintes metszetein egy analízist a hőáramok, egyet pedig a felületi hőmérsékletek számítására futtattam le, mindkettőt a megfelelő peremfeltételekkel.

- Szerkezeti csomópontok függőleges metszetein a hőáramok számítása két lépésben történt: az egyik egy borda síkjában, a másik pedig a bordaközben (hőszigetelésen) számította az eredményeket. A két eredményt a hőátbocsátási tényező számításához hasonlóan 1:9 arányban súlyozva vettem figyelembe. A felületi hőmérsékletet a bordaelem síkjában felvett modellről olvastam le, ezt az értéket a korábbi ellenőrzésemre támaszkodva nem módosítottam. Amennyiben a tényleges felületi hőmérséklet ennél mégis magasabb lenne, akkor a számolásommal a biztonság javára egyszerűsítettem.

- Nyílászárók vízszintes csomópontjain elegendő egy számítást lefuttatni, mert a hőáramok és a felületi hőmérsékletek esetén is azonos peremfeltételeket kell megadni. A felületi hőmérsékletek tekintetében a legalacsonyabb érték az ablakszerkezeten található

(általában az üveglécnél, vagy a belső tömítőprofilnál), a falszerkezeten egy ennél magasabb minimális érték alakul ki. Emiatt a nyílászáró csomópontoknál két minimális felületi hőmérsékletet különítettem el: a falszerkezet minimális hőmérsékletét, illetve külön az ablakszerkezet minimális hőmérsékletét.

- Nyílászárók függőleges csomópontjain ugyanazt a súlyozó módszert alkalmaztam, mint a szerkezeti csomópontok esetén. A hőáram és a hőmérsékletszámítás itt is azonos peremfeltételek mellett történt.

- Nyílászáró beépítés nélküli vizsgálatához (a tok vonalmenti hőhídjának meghatározásához) csak a hőáramok számítását végeztem el. Az eredmények alapján összeállítható egy táblázat, amiben a járatos ablak-teraszajtó, illetve tetősíklablak méretekhez tartozó tényleges hőátbocsátási tényezők szerepelnek. A számolást a következő fejezetben részletezem.

3.3.3. A *Therm* eredmények feldolgozása – hőtechnikai adatok

A számolás az MSZ EN 10211-1:1995 Hőhidak a szerkezetekben – Hőáramok és felületi hőmérsékletek számítása – szabvány szerint történik. Jelölések az 1. Táblázat szerint értendők

Vízszintes metszeti csomópontokon:

$$\psi_e = L^{2D} - U_1 \times l_1 - U_2 \times l_2 \quad [12]$$

Ahol:

L^{2D} : A *Therm* program által szolgáltatott vonalmenti hőveszteség-tényező

U : A külön számításokban kapott súlyozott rétegtervi hőátbocsátási tényező, üvegezett szerkezeteknél az üvegezésre megadott hőátbocsátás

l : Az adott hőátbocsátású réteg becsatlakozási hossza a számításhoz felépített modellben

Függőleges metszeti csomópontokon:

$$\psi_e = (0.1 \cdot L^{2D}_{Borda} + 0.9 \cdot L^{2D}_{Bordaköz}) - U_1 \times l_1 - U_2 \times l_2 \quad [13]$$

Ahol:

$L^{2D}_{borda/bordaköz}$: A *Therm* program által szolgáltatott vonalmenti hőveszteség-tényezők a borda síkjában és a bordaközben felvett rétegrendekek

3.3.4. A *Therm* eredmények feldolgozása – páratechnikai adatok

A penészesedés kialakulásához huzamosabb ideig fennálló $\varphi_{si}=0,8$ -as felületi relatív páratartalom szükséges. A huzamosabb ideig fennálló felületi hőmérséklet a kültéri legalacsonyabb havi átlaghőmérséklet, vagyis $\Theta_e = -2^\circ\text{C}$ (forrás: OMSZ) peremfeltétel mellett adódik. A felületi páralecsapódás $\varphi_{si}=1,0$ -ás értéket jelent. Ezt kis

hőtehetetlenségű szerkezet vizsgálatakor az MSZ EN 13788-as szabvány szerint éves legalacsonyabb napi középhőmérséklet mellett kell vizsgálni. Ez az 1900-2000 időintervallumra átlagolva $\Theta_e = -9^\circ\text{C}$ (forrás: OMSZ). A szabvány a nyílászárók mellett egyéb kis hőtehetetlenségű szerkezetekre is ezt a peremfeltételt írja elő, így minden esetben ezt alkalmaztam. A $\varphi_{si}=0,8$ -as, illetve $\varphi_{si}=1,0$ -ás felületi relatív páratartalom adott belső léghőmérsékleten adott relatív páratartalom mellett tud kialakulni. A φ_{80} illetve a φ_{100} értékek azt a relatív nedvességtartalmat mutatják meg, amelyek $\Theta_i = 20^\circ\text{C}$ beltéri léghőmérséklet mellett huzamosabb ideig fennállva felületi penészesedés, ideiglenesen fennállva pedig felületi páralecsapódás kialakulásához vezethetnek kedvezőtlen külső légállapotok mellett. Ezek az értékek a felületi hőmérséklet Θ_{Rsi} ismeretében a *Molliérféle h-x diagramról* leolvashatóak. A kétfajta szerkezet jellemző csomópontjain végzett vizsgálatok eredményeit, és azok százalékos összehasonlítását a mellékletben található csomópont-katalógus tartalmazza.

3.3.5. Pontszerű hőhidak vizsgálata

Az MSZ EN ISO 14683 – Hőhidak az épületszerkezetekben – Vonalmenti hőátbocsátási tényezők – szabvány rendelkezik arról, hogy milyen adatokat kell megadni egy hőhídkatalógus összeállításakor. Lehetőség van arra, hogy külső geometriára értelmezett hőhidak esetén a külső térelhatároló szerkezetek külméreteivel számoljunk. Ilyen esetben a pontszerű hőhidak többlet-hővesztése a vonalmenti hőhidak átfedése miatt elhanyagolható. A pontszerű hőhidak felületi hőmérséklete azonban vizsgálandó. A vizsgálat történhet háromdimenziós végelem-modellezéssel, ami azonban a legtöbb hőhíd-szoftver, így a *Therm* képességeit is meghaladja. Egyszerűsített módszerként alkalmazható a MSZ EN 10211 által ismertetett eljárás, ami az egy pontban csatlakozó vonalmenti hőhidak felületi hőmérsékleti tényezőiből származtatja pontszerű hőhíd felületi hőmérsékleti tényezőjét. Az ehhez a hőmérséklethez tartozó φ_{80} illetve a φ_{100} értékek meghatározása a korábban ismertetett összefüggésekkel végezhető el.

$$f_{Rsi}^{3D} = \frac{1}{\frac{1}{f_{Rsi}^{2D,x}} + \frac{1}{f_{Rsi}^{2D,y}} + \frac{1}{f_{Rsi}^{2D,z}} - \frac{6}{f_{Rsi}^{1D,a} + f_{Rsi}^{1D,b} + f_{Rsi}^{1D,c}}} \quad [14]$$

A korábban vizsgált vonalmenti hőhidak metszéspontjaiban kialakuló pontszerű hőhidak jellemző felületi hőmérséklet, penészesedési-, illetve páralecsapódási páratartalom értékeit táblázatos formában foglaltam össze.

3.4. A nyílászárók vizsgálata

A nyílászárók, azon belül is az üvegezett szerkezetek különös odafigyelést igényelnek a számítások során. Az üvegezett szerkezetek a téli/nyári, valamint a nappali/éjszakai viselkedésük révén a nyereség és veszteség oldalon is megjelennek. Nappal, benapozott állapotban a bejutó napfény által hőtübbletet termelnek, ami télen kedvező, nyáron kifejezetten hátrányos. Éjszaka, illetve árnyékolt helyzetben a viszonylag magas hőátbocsátási tényező révén jelentős hőveszteséget okoznak, különösen télen, amikor éjszaka jellemzően nagy a hőmérsékletkülönbség a szerkezet két oldalán. Nyáron viszont az éjszakai szellőztetéssel aktívan részt vesznek az épület hűtésében. A gyártók igyekeznek olyan bevonatokkal, illetve megoldásokkal kísérletezni, amik télen és nyáron egyaránt a kedvező irányba változtatják meg az épületfizikai jellemzőket. Számottevő eredmények piacra kerüléséig azonban maradnak a hőszigetelt árnyékoló szerkezetek, amik némiképp javítanak a szerkezetek téli éjszakai, és nyári nappali viselkedésén.

3.4.1. Az üvegezett szerkezetek eredő hőátbocsátása

A nyílászárókat a legtöbb forgalmazó az üvegezés U_g hőátbocsátási tényezőjével jellemzi. Lelkiismeretesebb gyártók emellett megadnak egy U_w tokkal összevont hőátbocsátási tényezőt is. A tokkal összevont hőátbocsátást az üvegezési arány, és a tokszerkezet U_f hőátbocsátási tényezőjéből lehet származtatni, és emiatt minden ablakméretnél más és más értékű.

$$U_w = \frac{U_g \times A_g + U_f \times A_f}{A_w} \quad [15]$$

indexek:

g : glazing – üvegezés

f : frame – tok

w : window – ablak

Azt a tény, hogy az üvegfelület-arány minden ablakméretnél máshogy alakul, könnyen beláthatjuk. Így viszont az U_w értéke adott üvegezéshez és adott tokprofilhoz egy ablakméret függvényében kifejezett összefüggéssel, de legalább is egy táblázattal adható meg. Ma az ablak-katalógusokban az U_w -t egy számértékkel, vagy a szerencsésebb esetben egy intervallummal adják meg. Ami arra enged következtetni, hogy a gyártó sem rendelkezik megfelelő adatokkal. De a számításokat akkor is el kell végezni, ha a gyártói adatszolgáltatás nem elégíti ki a részletes számítások igényeit. A tok hőátbocsátása a [15] egyenletben felületi hőátbocsátási tényezőként van definiálva, azonban a *Therm*-analízis lehetővé teszi, hogy adott üvegezés és tokszerkezet viszonyában az ablakprofil egy ψ_p

vonalmenti hőhídveszteségi tényezőben kerüljön kifejezésre, amit aztán az ablak kerülete mentén veszünk figyelembe.

$$U_w = \frac{U_g \times sz \times m + (\psi_{pa} + \psi_{pf}) \times sz + 2 \cdot \psi_{po} \times m}{sz \times m} \quad [16]$$

indexek:

a: alsó

f: felső

o: oldalsó

A [16] egyenlet az egyes ψ_p értékek összevonásával egyszerűsíthető (pl. a ψ_{pf} és ψ_{po} értéke a legtöbb ablakszerkezet esetén azonos), így egy könnyen kezelhető számolási eljárást kapunk, amihez csak a nyílászáró névleges méreteire, az üvegezés hőátbocsátási tényezőjére, és új adatként a profil vonalmenti hőhídveszteségi tényezőjére van szükségünk.

A ψ_p értékek meghatározása a szerkezeti csomópontoknál ismertett eljárással történhet, annyi különbséggel, hogy a [12] egyenlet [17] egyenletre egyszerűsödik.

$$\psi_p = L^{2D} - U_g \times l \quad [17]$$

A kapott eredményekből összeállítható egy-egy táblázat, ami az egyes nyílászáró-típusok járatos méreteihez tartozó U_w és $Q_w = U_w \times A_w$ értékeket adja meg. Ezek az értékek közvetlenül alkalmazhatók az egyszerűsített energetikai számítások során.

Az így kapott értékek a nyílászáró „labor” adatai, a beépítés hőhíd-hatását nem tartalmazzák. A legtöbb hőhíd-katalógusban az a megállapítás szerepel, hogy a nyílászárót a hőszigetelés síkjába építve a beépítés hőhídveszteségi tényezője elhanyagolható. A fa bordavázás épületekben azonban az ilyen elhelyezés nem megoldható, és emiatt további hőveszteséggel kell számolnunk. Amennyiben a hőhidakat a [10] összefüggés alapján, egyszerűsített módszerrel számítjuk, nincs jelentősége ennek az elgondolásnak, mert a χ tényező elegendő tartalékkal rendelkezik. A részletes számolási módszerben azonban pontosabb értékekre van szükségünk. A [17] összefüggéssel képezhetőek azok a ψ_p értékek is, melyek rögtön a beépítés hatását is magukban foglalják. Ehhez azonban az ablak beépítési csomópontjának hőhíd-analízise szükséges, ami a szerkezeti csomópontokkal azonos módszerrel történik. Az így képzett U_w és Q_w értékek magukban foglalnak minden olyan hőveszteséget, amit a részletes számolás során figyelembe kell vennünk. A falszerkezet, illetve tetősík vizsgálatánál már csak az üvegezett szerkezet névleges méretének megfelelő felületet kell kivonni a felületből, a vonalmenti hőhidakra nem kell gondot fordítani.

3.4.2. A napsugárzás hőnyeresége

A 7/2006-os Kormányrendelet az üvegezett szerkezetek hőnyereségének figyelembe vételét a tervezőre bízta. Az egyszerűsített számolásban a tervező elhagyhatja a sugárzási nyereségeket. Ilyen esetben az üvegezett szerkezetek csak a hőveszteség oldalon szerepelnek az energiamérlegben. Részletes számítási módszer esetén az üvegezett szerkezetek hőnyeresége is figyelembe vehető. A részletes módszeren belül két további eljárást lehet elkülöníteni: az egyik csupán minimális hőnyereséggel számol, tehát árnyékolt (északi) homlokzatokat feltételez, míg a másik ténylegesen figyelembe veszi a homlokzat tájolását, és benapozottságát. Ez utóbbi módszer csak akkor alkalmazható, ha az adott nyílászáró benapozottsága bizonyított, vagyis a 7/2006-os rendeletben foglalt időintervallumokban közvetlen napsugárzás éri. Ennek ellenőrzése a hagyományos árnyékmászk-szerkesztéses módszerrel, vagy építész-tervező szoftver segítségével történhet.

Az üvegezett szerkezet fűtésidényre számított sugárzási nyereségének számítása a következő összefüggéssel írható le:

$$Q_{sd} = \varepsilon \cdot \sum A_g \cdot g \cdot Q_{TOT} \quad [18]$$

Amit a fajlagos hőveszteségtényező számításakor az alábbi módon veszünk figyelembe:

$$q = \frac{\sum U_j \times A_j + \sum \psi_j \times l_j - \frac{Q_{sd}}{72}}{\sum V} \quad [19]$$

A számolás leegyszerűsítését a következő megfontolások szerint végzem el:

A 72-vel történő osztás a fűtésidény hosszának figyelembe vételére, valamint a mértékegységek átváltására szolgál. Az ε tényező a napnyereség hasznosulását fejezi ki, könnyűszerkezetes épületekre értéke: $\varepsilon=0,5$. Az A_g üvegfelület az ablak névleges méretéből számítható. Pontos értéke:

$$A_g = (sz - 2 \cdot b_o) \times (m - b_f - b_a) = f(A_w) \quad [20]$$

Ahol b a tok és szárny-profil összes szélessége.

indexek:

a : alsó

f : felső

o : oldalsó

Lényegesen egyszerűsíti a számítást egy olyan függvényt, ami az üvegfelületet az ablak névleges méreteinek ismeretében határozza meg. A b szélesség az átlagos, és a passzív ház-ablakok esetében is nagyjából 10-12 cm között alakul, tetősíklablakok esetén általában 9-11 cm. Amennyiben 11 cm-t választunk a b értékre, a következő összefüggés

a 45/45 cm-es kisablak és a 150/270-es teraszajtó közötti intervallumban elfogadható illeszkedéssel írja le az összefüggést az üvegfelület és a névleges méret között:

$$A_g = 0,5215 \cdot A_w^{1,38} \quad [21]$$

Az üvegezett szerkezet g naptényezője megmutatja, hogy az üvegfelületet érő energia mekkora része jut át az üvegen. Értéke egyszerűbb, kettős üvegezésű, egyszeres fényvédő bevonattal ellátott üvegeknél 0,65, míg a hármas üvegezésű, fokozottan hőszigetelő üvegeknél 0,55 körül adódik.

A sugárzási energiahozam értéke függ a benapozott homlokzat tájolásától. Amennyiben nincsenek figyelembe vehető adatok az egyes üvegfelületek benapozottságáról, úgy a rendeletben meghatározott értékek közül az északi tájoláshoz tartozót kell figyelembe venni. Ezt az értéket a továbbiakban referenciaértékként alkalmazva, belőle a többi homlokzati tájolás energiahozama kifejezhető egy újonnan bevezetett s tájolási tényező segítségével:

$$Q_{TOT,É} = 100 = 1 \times 100 = s_{É} \cdot 100 \rightarrow s_{É} = 1,0 \quad [22.1]$$

$$Q_{TOT,K/Ny} = 200 = 2 \times 100 = s_{K/Ny} \cdot 100 \rightarrow s_{K/Ny} = 2,0 \quad [22.2]$$

$$Q_{TOT,D} = 400 = 4 \times 100 = s_D \cdot 100 \rightarrow s_D = 4,0 \quad [22.3]$$

A tájolási tényezőt a köztes irányokhoz lineáris interpolálással közelítem:

$$s_{ÉK/ÉNy} = \frac{1,0 + 2,0}{2} = 1,5 \quad [22.4]$$

$$s_{DK/DNy} = \frac{2,0 + 4,0}{2} = 3,0 \quad [22.5]$$

A fenti megfontolások alapján az üvegezett szerkezetek hőnyeresége az alábbi összefüggéssel számítható:

$$Q_w^+ = s \times 0,2354 \cdot A_w^{1,38} \quad (\text{egykamrás, normál üvegezésre}) \quad [23.1]$$

$$Q_w^+ = s \times 0,1992 \cdot A_w^{1,38} \quad (\text{kétkamrás, extra üvegezésre}) \quad [23.2]$$

$$Q_w^+ = s \times g \times 0,3622 \cdot A_w^{1,38} \quad (\text{tetszőleges } g \text{ naptényezőjű üvegezésre}) \quad [23.3]$$

Ahol s a [22.1]-[22.5] összefüggések szerinti tájolási tényező. Egyszerűsített napnyereség számítás esetén (körbe észak feltételezéssel) elhagyható.

A tetősíklablakokat érő magasabb sugárzási intenzitás a tetősík hajlásszögétől is függ. Ez a magasabb intenzitás az s tájolási tényezőben kifejezhető. Részletesebb számítás hiányában a ferde a tetősíklablakokra másfélszeres s tényezőket vettem figyelembe.

A Q_w^+ értékeket táblázatban összefoglalva az üvegezett szerkezetek hőnyeresége a későbbi számolások során egyszerűen meghatározható.

3.5. Az épület vizsgálata

Egy adott épület összesített energiavesztesége több részveszteségből adódik össze. Figyelembe kell venni a fűtés, a melegvíz-előállítás, a szellőztetés, a hűtés, és a világítás energiaszükségletét. Jelen kutatás olyan lakóépületeket vizsgál, melyekben nincs gépi szellőztetés, vagy légkondicionálás. Az épület energia-felhasználásába így csak a fűtés és a melegvíz-előállítás számít bele. Számolásaim középpontjában a fűtés energiaszükséglete áll.

Télen a fűtött beltér magasabb hőenergiája háromféleképpen távozik a kültér felé. A hőáramlás mértékét leginkább a szerkezetet felépítő anyagok befolyásolják, hőáramlás tekintetében a lehűlőfelületek egydimenziós hőáramáról, illetve a vonalmenti és pontszerű hőhidak többdimenziós hőáramáról beszélhetünk. A filtrációs és konvekciós energiaveszteség (rosszul légzáró ablakok, szellőztetés, stb.) nem az anyagok fizikai paramétereinek, inkább a kivitelezési minőség, illetve az épület használatának jellemzője. Mértékét jelentősen befolyásolja az épület használóinak magatartása, gondoljunk csak egy feleslegesen nyitva felejtett ablakra. A sugárzásos energiaveszteség is jelentős mértékű lehet, azt azonban az összetett fizikai modellezhetőség miatt a mai hőtechnikai eljárások csak korlátozott mértékben, a szabványok pedig egyáltalán nem veszik figyelembe.

Épületenergetikai szempontból további veszteségek jelentkeznek a gépészeti rendszer működési határfokából eredően, melyek azonban csak a szabályozás legfelső szintjén, az összesített energetikai jellemzőben jelennek meg.

A veszteségek mellett nyereségeket is figyelembe vehetünk. Nyereségeket csoportosíthatjuk passzív és aktív nyereségekhez. Passzív hőnyereség alatt szinte kizárólagosan a napsütés közvetlen hasznosítását értjük, azonban más, pl. geotermikus energiák passzív hasznosítása is lehetséges. Aktív nyereség alatt a különböző természeti energiaforrások gépészeti rendszerek segítségével történő hasznosítását kell érteni. Ilyenek lehetnek pl. a napkollektorok, hőszivattyúk, hőcserélők. A hőszivattyú a földkéreg hőmérsékletét hasznosítja. Hőcserélő alkalmazásával az egyszer már felhasznált hőmennyiséget lehet az épületen belül tartani, és újrahasznosítani.

Az üvegezett szerkezetek napnyereségének elhanyagolása egy általános épület vizsgálatakor megengedhető, de egy kifejezetten passzív szolárisenergia-hasznosításra tervezett épület esetén éppen ennek a nyereségnek a növelése a cél. Számítása elkerülhetetlen.

3.5.1. Az épület fajlagos hőveszteség-tényezője

Egyszerűsített számolás esetén a következő összefüggést kell alkalmazni:

$$Q_T = \sum A_j \times U_{s,j} (1 + \chi_j) \quad [24]$$

Az összegzéshez táblázatkezelő használható, ahol egyből százalékos arányban is láthatóak az egyes rész hőveszteségek. A részletes számolási módszert csak abban az esetben tudjuk alkalmazni, ha a vonalmenti hőhidak ψ tényezői ismertek.

$$Q^{1D} = \sum U_j \times A_j \quad [24]$$

$$Q^{2D} = \sum \psi_j \times l_j \quad [25]$$

$$Q_T = \sum U_j \times A_j + \sum \psi_j \times l_j + \sum X_j \cong Q^{1D} + Q^{2D} \quad [26]$$

Az épület összességét jellemző fajlagos hőveszteség-tényező már egyszerűen kifejezhető.

$$q = \frac{Q_T}{\sum V} \quad [27]$$

Amennyiben a napnyereséget is figyelembe akarjuk venni, az összefüggés az alábbira módosul:

$$q = \frac{Q_T - \sum Q_w^+}{\sum V} \quad [28]$$

A követelményértéket a 7/2006-os rendelet határozza meg.

3.5.2. Az épület összesített energetikai jellemzője

A szerkezet hőveszteségét a fűtési idényre vonatkoztatva, a filtrációs veszteségekkel kiegészítve megkapjuk az épület fűtéséhez szükséges fajlagos energiaigényt. Ebből levonhatóak az épület használatából eredő belső nyereségek.

$$q_f = \frac{72 \cdot \sum V \cdot (q + 0,35 \cdot n) \cdot \sigma}{A_N} - 4,4 \cdot q_b \quad [29]$$

Lakóépületek esetén a légcseres szám $n=0,5$ 1/h, a szakaszos működés korrekciója $\sigma=0,9$, a belső hőnyereség $q_b=5$ W/m², így az összefüggés az alábbira egyszerűsíthető:

$$q_f = 64,8 \cdot \frac{\sum V}{\sum A} (q + 0,175) - 22 \quad [30]$$

Földszintes épületek esetén a $\sum V / \sum A$ arány helyére a H belmagasság helyettesíthető.

A fűtés fajlagos primer-energia igénye a következő összefüggéssel határozható meg:

$$E_f = (q_f + q_{f,h} + q_{f,v} + q_{f,t}) \cdot \sum (C_k \cdot \alpha_k \cdot e_f) + (E_{FSz} + E_{FT} + q_{k,v}) \cdot e_v \quad [31]$$

A használati melegvíz primer energiaigénye:

$$E_{HMV} = (q_{HMV} + q_{HMV,v} + q_{HMV,t}) \cdot \sum (C_k \cdot \alpha_k \cdot e_{HMV}) + (E_C + E_K) \cdot e_v \quad [32]$$

Egy lakóépület primer-energiamérlegébe beleszámít továbbá a szellőztetés, illetve a gépi hűtés energia-szükséglete. Az általam vizsgált épületben ilyen berendezések nincsenek.

Az összesített energetikai jellemző így az alábbi összefüggéssel számítható:

$$E_p = E_f + E_{HMV} \quad [33]$$

Az épületre vonatkozó követelményértéket a 7/2006-os rendelet tartalmazza. Az összesített energetikai jellemző és a követelményérték hányadosa mutatja meg, hogy az épület milyen energiateljesítési osztályba sorolandó. A besorolás határértékeit a 176/2008-as rendelet tartalmazza.

Az összesített energetikai jellemző földgáz-fogyasztásban fejezi ki az energiaszükségletet. Figyelembe véve, hogy Magyarországon a földgáz energiatartalma $\sim 9,5 \text{ kWh/m}^3$ (forrás: Égáz-Dégáz ZRt.), az épület fűtésére fordított, illetve összes energia szükségletének földgáz fogyasztásban kifejezett értéke az alábbi összefüggéssel számítható:

$$V_{FG,f} = \frac{E_f}{9,5} \cdot A_N \quad [34]$$

$$\sum V_{FG} = \frac{E_p}{9,5} \cdot A_N \quad [35]$$

A V_{FG} nem a tényleges gázfogyasztást mutatja, hiszen a gépészet villamos-energia igényét is tartalmazza. A villamos energia primer-energia tartalmát mutató $e_v=2,5$ –es érték azt mutatja meg, hogy hány-szoros súllyal szerepel a számításban a villamos energia a földgázhoz képest. Itt jegyzendő meg, hogy Németországban és Ausztriában az alacsony-energia fogyasztású épületeket az a V_{FG} -hez hasonló módon képzett, fűtött négyzetméterenkénti éves fűtőolaj-fogyasztással jellemzik. Innen ered a 3L-ház kifejezés.

Ha 120 Ft/m^3 -es gázárral számolunk, akkor 1 kWh energia földgázból előállítva $12,5 \text{ Ft}$ -ba kerül (forrás: Égáz-Dégáz ZRt.), míg ugyanez a mennyiség villamos energiából (éjszakai árral számítva) (forrás: E.O.N ZRt.) 30 Ft . A két ár hányadosa $30/12,5=2,4$, tehát a V_{FG} értéke költségbecslésre alkalmas, csupán a földgáz köbméterenkénti árával kell beszorozni:

$$P_{FG,F} = V_{FG,f} \cdot 120 = \frac{E_f}{9,5} \cdot A_N \cdot 120 \quad [36]$$

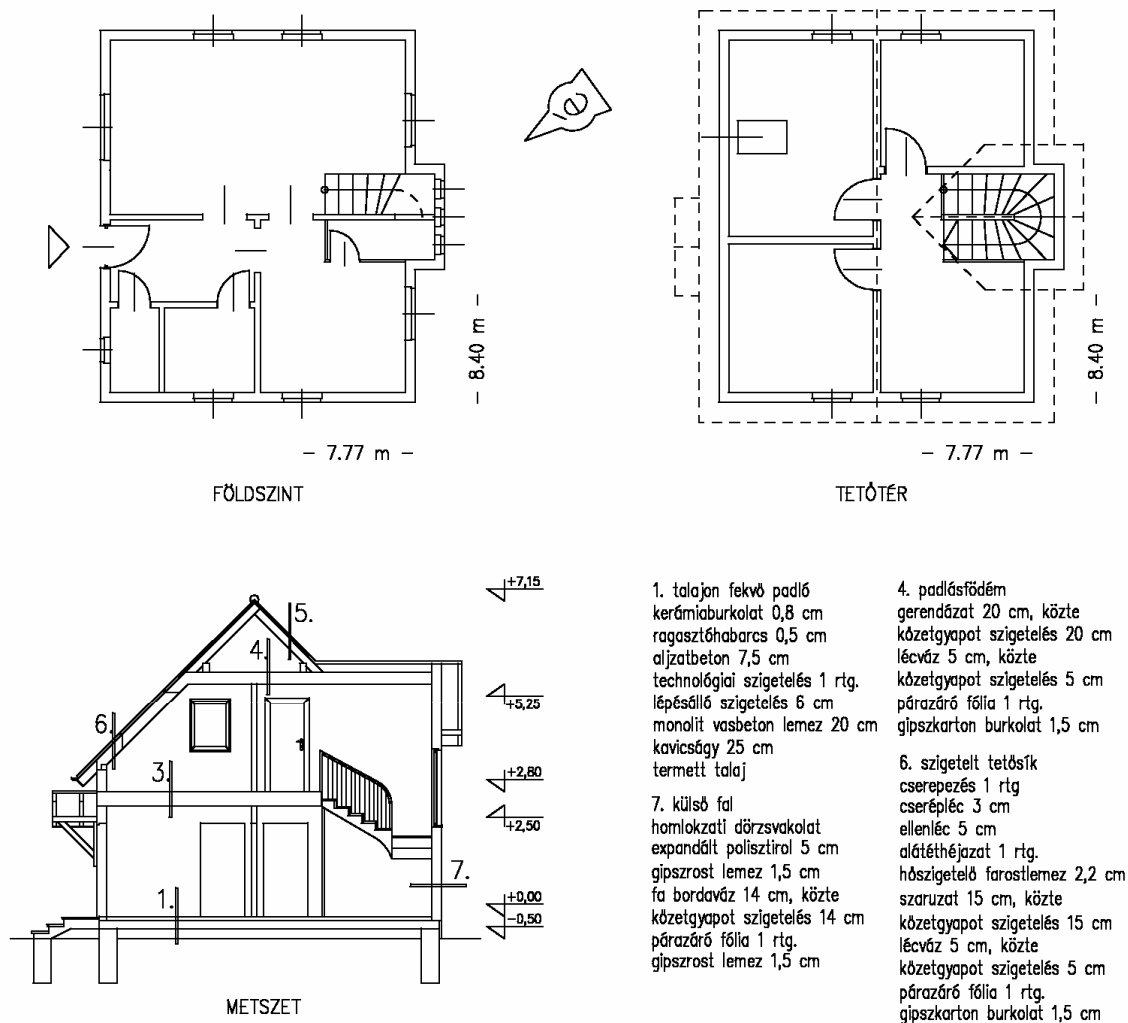
$$\sum P_{FG} = \sum V_{FG} \cdot 120 = \frac{E_p}{9,5} \cdot A_N \cdot 120 \quad [37]$$

(megjegyzés: az árak 2008.júliusi állapotokat tükröznek)

3.6. Az általános kivitelű mintaépület minősítése

A kiválasztott épület egy saját tervezésű tetőtérbeépítéses családi ház, földszintjén nappali, tetőtérben esti tartózkodásra használt helyiségekkel. A tervezési feladatom eredetileg egy nyaralóépület volt, ami egy Sopron környéki szőlőskertben kerül felépítésre. Az építető kívánsága az volt, hogy az épület tömegét illetve alaprajzi osztását tekintve alkalmas legyen arra, hogy későbbiekben lakóépületként használhassa. Az ellenőrzést már ennek a tervezett rendeltetésnek megfelelően végeztem el. A számítógépes rajzolás lehetőséget ad arra, hogy a lehülőfelületeket, a fűtött térfogatot illetve a vonalmenti hőhidak hosszát leolvassam. Az itt bemutatott épületben nincsenek jelentős üvegfelületű nyílászárók, azonban a benapozottsága az elhelyezkedése miatt zavartalan, így a szoláris nyereség számítási módszere is bemutatatható rajta.

Az épület engedélyezési-terv szintű rajzai (alaprajzok, metszetek) a mellékletben találhatók. A rétegrendeket a tervdokumentáció E-3 és E-4 tervlapjai tartalmazzák.



4. ábra A mintaépület vázlatrajzai

3.6.1. Kiindulási adatok

Geometria:

Az épület összes lehűlőfelülete:	$\Sigma A=255,5$	m^2
Az épület összes fűtött térfogata:	$\Sigma V=221,6$	m^3
Az épület nettó fűtött alapterülete:	$A_N=81,6$	m^2

Követelmények:

Padló hőátbocsátása:	$U_{padló}=0,50$	$W/m^2 \times K$
Fal hőátbocsátása:	$U_{fal}=0,45$	$W/m^2 \times K$
Tetősík hőátbocsátása:	$U_{tető}=0,25$	$W/m^2 \times K$
Zárófödém hőátbocsátása:	$U_{födém}=0,25$	$W/m^2 \times K$
Nyílászárók hőátbocsátása:	$U_{ablak}=1,60$	$W/m^2 \times K$

Gépészeti rendszer:

Fűtés/melegvzellátás:	alacsonyhőmérsékletű kombinált átfolyós gázkazán
Kazán elhelyezése:	fűtött téren belül
Tároló:	nincs
Hőfoklépcső:	55/45 °C
Elosztóhálózat:	kétcsöves elosztórendszer a fűtött téren belül
Keringetés:	állandó fordulatszámú keringetőszivattyú
Fűtőfelületek:	szabad fűtőfelületek (lapradiátorok)
Szabályozás:	termosztatikus szelepek 2 K arányossági sávval
Használati melegvíz-szükséglet:	$q_{HMV}=30 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
Melegvíz elosztóhálózata:	elosztás fűtött téren belül, cirkuláció nélkül

Fajlagos hőveszteség-tényező követelményértéke:

$$q_m = 0,38 \cdot \frac{\Sigma A}{\Sigma V} + 0,086 = 0,524 \text{ W/m}^3 \times K \quad [38]$$

Összesített energetikai jellemző követelményértéke:

$$E_p = 120 \cdot \frac{\Sigma A}{\Sigma V} + 74 = 212,4 \text{ kWh/m}^2\text{a} \quad [39]$$

3.6.2. Ellenőrzés

A nyílászárók U_w értékeit a mellékletben található segéd táblázatból ellenőrizve megállapítható, hogy az előírt teljesítmények teljesülnek.

$$U_{ablak}=1,299\sim 1,532 \text{ W/m}^2\times\text{K} < 1,60 \text{ W/m}^2\times\text{K} \rightarrow \text{megfelel}$$

Az ellenőrzés következő lépése a rétegrendek vizsgálata, illetve ellenőrzése.

9. Táblázat Padló rétegrendjének számítása

Rétegterv	λ_j	d_j	R_j
	W/m $\times$ K	m	m $^2\times$ K/W
Burkolatok			
Könnyű aljzatbeton	1,65	0,075	0,045
Hőszigetelés	0,04	0,060	1,714
Betonlemez	2,00	0,150	0,075
R_{se} :			0,00
R_{si} :			0,17
U :			0,4988
$U(\text{W/m}^2\times\text{K})$:			0,50
f_{Rsi}			0,915

$$U_{padló}=0,50 \text{ W/m}^2\times\text{K} \leq 0,50 \text{ W/m}^2\times\text{K} \rightarrow \text{megfelel}$$

10. Táblázat Falszerkezet rétegrendjének vizsgálata

		λ_j	d_j	R_j		
		W/m $\times$ K	m	m $^2\times$ K/W		
				Bordán	Bordaközben	Súlyozva
Felületarány				0,097	0,903	
Külső hőátadás (R_{se}):				0,04		
Rétegterv	Homl. Hőszig.	0,04	0,050	1,250	1,250	1,250
	Gipszrost	0,30	0,015	0,050	0,050	0,050
	Szálas hőszig.	0,04	0,140		3,500	2,873
	Bordaváz	0,13	0,140	1,077		
	Gipszkarton	0,30	0,015	0,050	0,050	0,050
Belső hőátadás (R_{si}):				0,13		
ΣR :				2,597	5,020	
R' :				4,603		
R'' :						4,393
R_T :				4,498		
$U_S(\text{W/m}^2\times\text{K})$:				0,22		
f_{Rsi}				0,971		

$$\chi=0,3 \rightarrow U_{fal}=U_S \times (1+\chi) = 0,29 \text{ W/m}^2\times\text{K} < 0,45 \text{ W/m}^2\times\text{K} \rightarrow \text{megfelel}$$

11. Táblázat Tetősík rétegtrendjének vizsgálata

		λ_j	d_j	Felület-	R_j				
		W/m ² ×K	m	arány	m ² ×K/W				Súlyozva
					Bordán	Bordaköz.	Bordán	Bordaköz.	
Felületarány					0,030	0,680	0,170	0,120	
Külső hőátadás (R_{se}):					0,04				
Rétegterv	Deszkázat	0,13	0,025		0,192	0,192	0,192	0,192	0,192
	Szarufa	0,13	0,150	0,120	1,154		1,154		2,953
	Szálas hőszig.	0,04	0,150	0,880		3,750		3,750	
	Bordaváz	0,13	0,050	0,120	0,385			0,385	0,984
	Szálas hőszig.	0,04	0,050	0,880		1,250	1,250		
Gipszkarton		0,30	0,015		0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
Belső hőátadás (R_{si}):					0,13				
ΣR :					1,951	5,412	2,816	4,547	
R' :					4,390				
R'' :									4,349
R_T :					4,370				
$U_S(W/m^2 \times K)$:					0,23				
f_{Rsi}					0,970				

$$\chi=0,1 \rightarrow U_{tető}=U_S \times (1+\chi) = 0,25 \text{ W/m}^2 \times K \leq 0,25 \text{ W/m}^2 \times K \rightarrow \text{megfelel}$$

12. Táblázat Zárófödém rétegtrendjének vizsgálata

		λ_j	d_j	Felület-	R_j				
		W/m ² ×K	m	arány	m ² ×K/W				Súlyozva
					Bordán	Bordaköz.	Bordán	Bordaköz.	
Felületarány					0,015	0,713	0,085	0,188	
Külső hőátadás (R_{se}):					0,04				
Rétegterv	Rácsostartó	0,13	0,150	0,097	1,154		1,154		3,078
	Szálas hőszig.	0,04	0,150	0,903		3,750		3,750	
	Bordaváz	0,13	0,050	0,120	0,385			0,385	0,984
	Szálas hőszig.	0,04	0,050	0,880		1,250	1,250		
	Gipszkarton	0,30	0,015		0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
Belső hőátadás (R_{si}):					0,10				
ΣR :					1,728	5,190	2,594	4,325	
R' :					4,503				
R'' :									4,252
R_T :					4,378				
$U_S(W/m^2 \times K)$:					0,23				
f_{Rsi}					0,977				

$$\chi=0,1 \rightarrow U_{födém}=0,9 \times U_S \times (1+\chi) = 0,23 \text{ W/m}^2 \times K \leq 0,25 \text{ W/m}^2 \times K \rightarrow \text{megfelel}$$

(fűtetlen padlástér padlásfödémjének 0,9-es módosító tényezőjét a 7/2006-os rendelet szerint alkalmaztam)

Az épület hőveszteségeinek összegzése a [26]-os összefüggés szerint, részletes módszerrel történik. A táblázatban az egyes energiaveszteségek aránya is megjelenik.

13. Táblázat Az épület hőveszteségeinek összegzése

Hőveszteségek					
Lehűlőfelületek					
Megnevezés	A	U	Q	résarány	összány
	m ²	W/m ² ×K	W/K	%	%
Külső fal	132	0,2196	28,981	36,1	31,4
Padló	28,3	0,4988	14,116	17,6	15,3
Zárófödém	30,2	0,1803	5,445	6,8	5,9
Tetőszék	43,9	0,1928	8,464	10,6	9,2
Ablak	20	1,1000	22,000	27,4	23,8
Tetőablak	1,1	1,1000	1,210	1,5	1,3
Q^{1D}			80,216	100	86,8
Hőhidak					
Megnevezés	l	ψ _e	Q	résarány	összány
	m	W/m×K	W/K	%	%
Pozitív falsarok (1)	24,4	-0,0387	-0,944	-7,7	-1,0
Negatív falsarok (2)	7,4	0,0459	0,340	2,8	0,4
Fal-T-sarok (7)	1,5	0,0617	0,093	0,8	0,1
Fal-T-csatlakozás (5)	17,4	0,0020	0,036	0,3	0,0
Tető-T csatlakozás (5)	5,65	0,0020	0,012	0,1	0,0
Födém-T csatlakozás (12)	11,12	-0,0021	-0,023	-0,2	0,0
Lábazat (9)	32,34	0,1121	3,625	29,7	3,9
Borított födém-él (14)	7,20	0,0313	0,225	1,8	0,2
Borított födém-él (15)	7,10	0,0393	0,279	2,3	0,3
Látszó födém-él (16)	7,20	0,0432	0,311	2,5	0,3
Látszó födém-él (17)	7,10	0,0412	0,293	2,4	0,3
Térdfal (18)	16,54	0,0966	1,598	13,1	1,7
Oromél (18)	14,24	0,0966	1,376	11,3	1,5
Fogópár (19)	20,62	-0,0533	-1,099	-9,0	-1,2
Konytél (11)	7,20	-0,0740	-0,533	-4,4	-0,6
Ablak oldalsó (21)	46,20	0,0519	2,396	19,6	2,6
Ablak alsó (22)	13,05	0,1478	1,929	15,8	2,1
Ablak felső (23)	14,05	0,0769	1,080	8,8	1,2
Tetőablak oldalsó (24)	1,40	0,4263	0,597	4,9	0,6
Tetőablak alsó (25)	0,76	0,3917	0,298	2,4	0,3
Tetőablak felső (26)	0,76	0,4222	0,321	2,6	0,3
Q^{2D}			12,207	100	13,2
Q_I=Q^{1D}+Q^{2D}			92,424		100

Az üvegezett szerkezetek hőnyeresége a [23.1] összefüggéssel számítható.

14. Táblázat Az üvegezett szerkezetek sugárzási hőnyeresége

Hőnyereségek					
sz	m	meny.	Tájolás	s	Q_w^+
cm	cm	db			kWh/a
90	150	2	Ény	1,5	1,069
90	120	2	Ény	1,5	0,785
60	60	1	ÉK	1,5	0,086
150	120	1	ÉK	1,5	0,795
120	150	2	DNy	3,0	3,179
45	180	3	DNy	3,0	1,584
90	150	2	DK	3,0	2,137
90	120	2	DK	3,0	1,571
76	140	1	ÉK-T	2,25	0,577
$\Sigma Q_w^+ =$					11,782

Fajlagos hővesztésgtényező a [28] összefüggés szerint:

$$q = \frac{92,424 - 11,782}{221,6} = 0,364 \text{ W/m}^2 \times \text{K} < 0,524 \text{ W/m}^2 \times \text{K} \rightarrow \text{megfelel}$$

A fűtés fajlagos nettó energiaigénye a [30] szerint:

$$q_f = 64,8 \cdot \frac{221,6}{81,6} \cdot (0,364 + 0,175) - 22 = 72,85 \text{ kWh/m}^2 \text{a}$$

A fűtés primer-energia szükséglete [31] szerint számítandó.

$$E_f = (72,85 + 3,3 + 2,1 + 0) \cdot (1,08 \cdot 1 \cdot 1) + (2,38 + 0 + 0,79) \cdot 2,5 = 92,44 \text{ kWh/m}^2 \text{a}$$

A használati melegvíz primer energiaigénye [32] szerint:

$$E_{HMV} = (30 + 3 + 0) \cdot (1,27 \cdot 1 \cdot 1) + (0 + 0,2) \cdot 2,5 = 42,41 \text{ kWh/m}^2 \text{a}$$

Összesített energetikai jellemző [33] szerint:

$$E_p = 92,44 + 42,41 = 134,85 < 212,4 \text{ kWh/m}^2 \text{a} \rightarrow \text{megfelel}$$

Energetikai besorolás az összesített energetikai jellemző és a követelmény hányadosa alapján, a 176/2008-as rendeletnek megfelelően:

$$\frac{E_p}{E_{p,köv}} = 100 \cdot \frac{134,85}{212,4} = 63,5 \% \rightarrow \text{'A' (energiatakarékos)}$$

3.6.3. Értékelés

Az épület teljesíti a 7/2006-os rendelet energetikai követelményeit.

Az épület energetikai besorolása 'A' (energiatakarékos)

Az épület éves fűtés és melegvíz-előállítási költsége 120 Ft/m³ földgáz árral számítva [36] szerint:

$$\Sigma P_{FG} = \frac{134,85}{9,5} \cdot 81,6 \cdot 120 \cong 140 \text{ eFt}$$

4. Az ellenőrzési módszer alkalmazása fejlesztésre

4.1. Célkitűzések

A munkahelyi vita óta megjelent 176/2008-as rendelet némiképp módosította korábbi célkitűzéseimet. A rendelet előtt megjelent szakirodalmak 60 %-ban határozták meg a határt az 'A' és a 'B' besorolás között. A fejlesztésem eredeti célja az volt, hogy meghatározzam, miként lehet az átlagos, 'B' besorolású (követelményeknél jobb) favázas épületeket 'A' kategóriás (energiatakarékos) épületté fejleszteni. A rendelet azonban tágabb kategória-határokat szabott meg, és a végleges besorolás szerint már az átlagos szerkezetű épület is 'A' minősítésű. A rendelet tartalmaz egy 55 % alatti, 'A+' (fokozottan energiatakarékos) besorolást, így célom ennek az elérése lett. A fejlesztett szerkezet teljesíti az 'A+' kategória követelményeit, de amiatt, hogy a kategória felső határán van, az 'A+' besorolást csak a részletes számítási módszerrel lehet bebizonyítani. A fejlesztett szerkezeti rendszer kijelölésénél az 'A+' besorolásnál szigorúbb, passzívház standard is szóba került. Ellenérvként az szolgált, hogy a passzívházakra egyelőre semmilyen magyar szabályozás nem született, így a követelmények tekintetében csak a német, vagy osztrák előírásokra lehetne támaszkodni. A passzívházakban a szigorú hőszigetelési követelményeken túl olyan épületgépészeti megoldások szükségesek, amit a magyar építési piac egyelőre idegenkedve fogadna. Ezek miatt a realisabb, 'A+' kategória feltételeinek meghatározása mellett maradtam.

A rétegrendek meghatározása a falszerkezet optimalizálása alapján történt. A később részletezendő összehasonlító számolásom alapján a 16 cm-es bordaváz, és a 12 cm-es homlokzati hőszigetelő-rendszer kombinációjával épülő falszerkezet több szempontból is kedvező tulajdonságokkal jellemezhető. Ezzel a rétegrenddel a legnagyobb lehűlőfelületet eredményező falszerkezet hőátbocsátása $0,15 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$ -re adódik. A másik két meghatározó felület (zárófödém és tető) hőátbocsátása ennél szigorúbb követelményeknek kell, hogy megfeleljen, hiszen a felfelé szálló meleg a felső felületeken intenzívebben távozik. A célként kitűzött értékre $0,13 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$ -t vettem fel. Alapvető cél volt, hogy a lehető legegyszerűbb módon legyen megoldott a hőszigetelés vastagítása. Födém esetén a belső szerelő lécváz távtartóval történő rögzítése biztosít helyet a többlet-hőszigetelésnek, míg tetőnél szarufák feletti hőszigetelés alkalmazásával értem el a kívánt hőszigetelő-teljesítményt. A nyílászárókból a magyar piacon jelenleg kapható legjobb teljesítményű, passzívház-követelményeket is teljesítő nyílászáró-

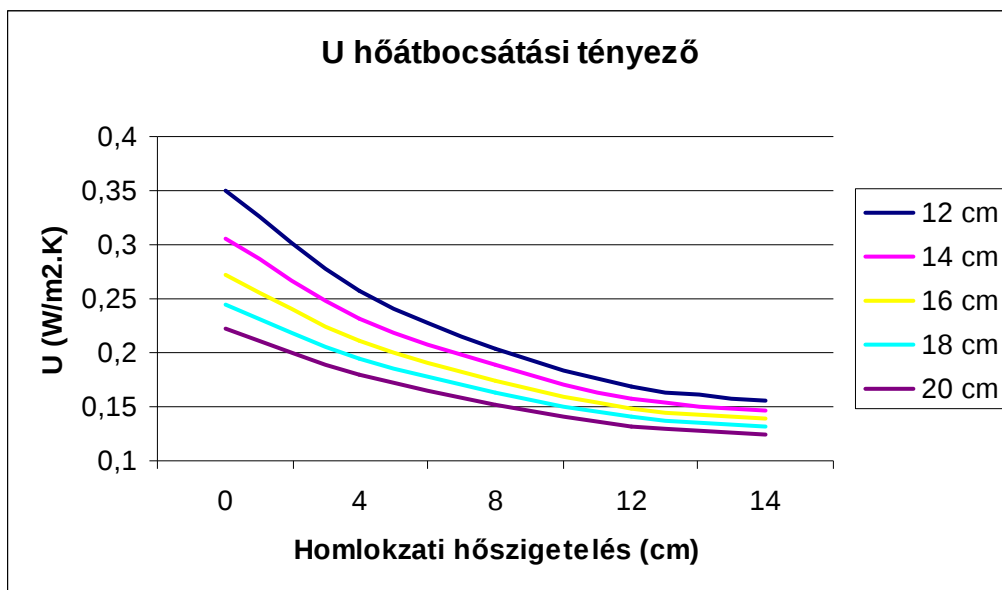
rendszer került betervezésre. A fejlesztett rendszer vizsgálata a kidolgozott módszerrel történt. A fejlesztett rendszer segédtablázatai a mellékletben találhatók.

Az eredmények összehasonlítása elsődlegesen a javulás százalékaival jellemezhető. A javulási érték minden esetben az átlagos szerkezet jellemzőjének százalékos arányával került kifejezésre. Az egyes vonalmenti hőhidak jellemzőit, és a javulási értékeket a hőhídkatalógus jelleggel összeállított ábrasorozat mutatja be.

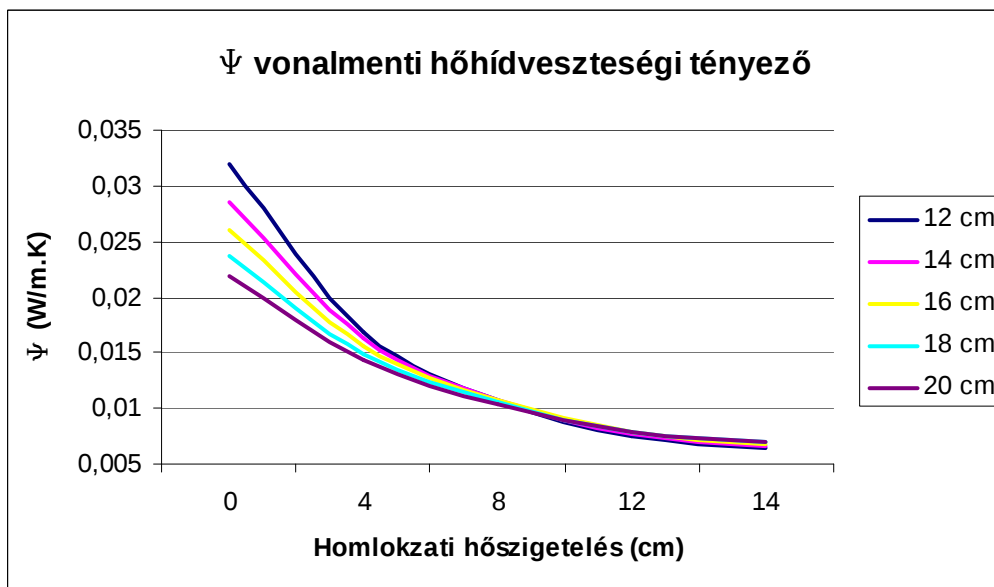
A javulási százalék önmagában is jellemzi a kétfajta építési rendszer közti különbséget, azonban a fejlesztés hatékonyságát jobban kifejezi, ha ugyanezt a beépített anyagköltség arányában mutatjuk meg. A vizsgált épület szerkezetkész (tartószerkezet, szigetelések, merevítések, nyílászárók) állapotának anyagköltségeiből megadhatjuk az egyes lehülőfelületek, illetve az egész épület teljesítménynövekedés/áremelkedés arányát. A felületenkénti összegzés pontosabban mutatja az egyes javulás/drágulás viszonyokat, de ezek egyike sem függetleníthető az épülettől, ahová beépítésre került.

4.2. A fejlesztett rétegrendek kiválasztása

A fa bordavázis falszerkezet hőtechnikai teljesítményét alapvetően két réteg, a bordaváz és a homlokzati hőszigetelés vastagsága határozza meg. A fa bordaváz alapanyagául szolgáló hosszitoldott szerkezeti fa általában 2 cm-es méretlépcsőben szerezhető be, valójában 12, 14, 16, 18 és 20 cm-es bordaváz vastagsággal számolhatunk. Homlokzati hőszigetelő rendszerként 0, 4, 8, 12, és 14 cm-es vastagságot feltételezve összesen 25 rétegrendet építettem fel, melyek mindegyikére meghatároztam a hőátbocsátási tényező súlyozott értékét. A súlyozást kétféleképp is elvégeztem: egyrészt az MSZ EN 6946 szerinti módszerrel, vagyis az inhomogén rétegek súlyozásával, másrészt a MSZ EN 10211 szerint, a bordaváz vonalmenti hőhídként való értelmezésével. A második módszerhez a *Therm* programot alkalmaztam. A kétféle módszerrel származtatott eredmények összehasonlításra is lehetőséget adnak. Feltételezhető, hogy a végeselemes számítás adja a pontosabb eredményt, mert az a hőáramvonalak elhajlását is figyelembe veszi, de a kis különbségek alapján megállapíthatjuk, hogy az egyszerűbb számítás eredményei is elfogadhatóak. A borda felett mérhető felületi hőmérséklet a *Therm*-modellről leolvasható. A vizsgálat azonban kiterjed annak az ellenőrzésére, hogy vajon a borda síkjában számolt felületi hőmérséklet alakul-e ki, vagy ennél magasabb. A nagy adatmennyiséget grafikonokon ábrázolva kiválasztható a legoptimálisabb rétegrend.



5. ábra Az egyes rétegrendek hőátbocsátási tényezői

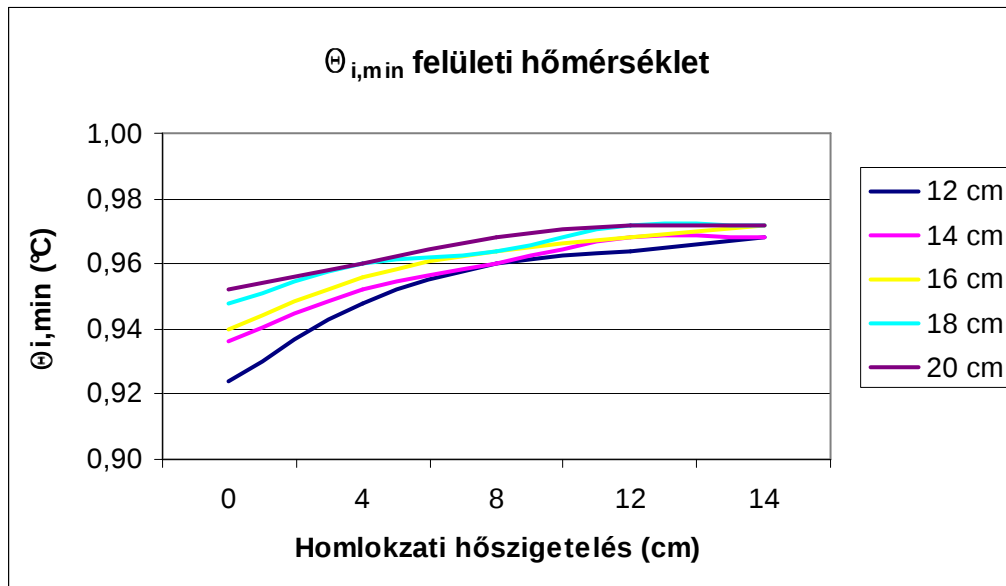


6. ábra Az egyes rétegrendek vonalmenti hőhídvesztési tényezői

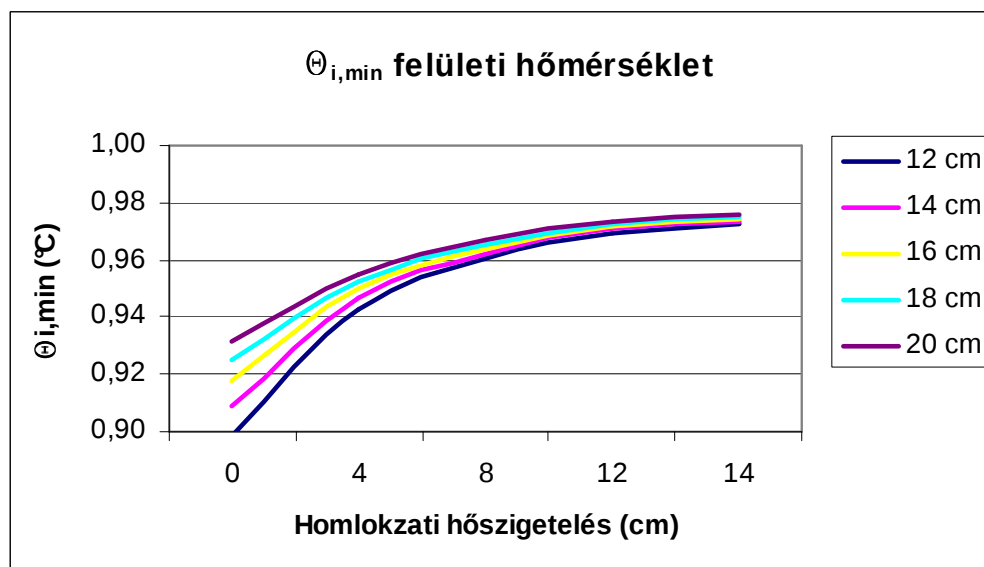
A grafikonokon jól látható, hogy a homlokzati hőszigetelés 12 cm-es vastagság felett már nem csökkenti látványosan a borda hőhíd-hatását, emellett a hőátbocsátási tényező és a felületi hőmérséklet is beáll egy állandó értékre. Ezzel a homlokzati hőszigetelő-réteggel a felár nélkül kapható 16 cm-es bordaváz épp $U=0,15 W/m^2 \cdot K$ értéket eredményez, ami a passzívház falszerkezet felső határa. A 16-os bordavázból és 12 cm-es homlokzati hőszigetelésből kialakított rétegrend optimálisnak mondható.

A fabordák hatását mindkét módszerrel ellenőrizve megállapítható, hogy a két módszer eredményei közötti különbség 1,0 %, alatti, az egyszerűbb, MSz EN ISO 6946 szerinti számolás kielégíti a számolástól megkövetelt pontosságot. A borda felett számított és

mért felületi hőmérsékletek különbsége általában 1,0 % alatti, ennél nagyobb különbségek csak a homlokzati hőszigetelés nélküli rétegrendekben találhatók, de ott sem nagyobbak 3 %-nál. Megállapítható, hogy a felületi hőmérsékletek esetén a bordasíkban számított értékek a mértékadóak.



7. ábra Az egyes rétegrendek minimális felületi hőmérsékletei (Therm)



8. ábra Az egyes rétegrendek felületi hőmérséklete a bordák felett (számított)

A földem és a tető rétegrendjére passzívházakban $U=0,10 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$ érték van meghatározva követelményértékként. Ennek elérése nem célja jelen fejlesztésnek, viszont a meleg levegő felfelé áramlásából eredően fontos, hogy a felső térelhatároló szerkezetek jobb hőszigeteléssel rendelkezzenek, mint a falak. Ha a tető és a földem hőátbocsátási tényezőjével az 'A+' (energiatakarékos) besorolást kívánjuk megcélozni, akkor a

követelményérték 50 %-a körül kell lennie a hőátbocsátásnak. Ez $0,25 \times 0,5 \approx 0,13$ $\text{W/m}^2 \times \text{K}$ értéket eredményez. A padló hőszigetelésének növelése megtörténhet a lépésálló szigetelő-réteg vastagításával, illetve a lábazati szigetelés növelésével. Ez utóbbi megoldást választottam, mert az egyben a lábazat hőhidasságát is csökkenti. Következésképpen a fejlesztett szerkezetben a talajon fekvő padló rétegrendje az átlagossal azonos.

4.3. A fejlesztett lehűlőfelületek számításai és ellenőrzése

A kiindulási adatok, tehát az épület geometriája és emiatt a vonatkozó követelmények az előző épülettel teljesen azonosak. A gépészeti rendszeren nem változtattam, hogy a szerkezet összehasonlíthatóságára koncentrálhassak.

A nyílászárók U_w értékeit a mellékletben található segéd táblázatból ellenőrizve megállapítható, hogy az előírt teljesítmények teljesülnek.

$$U_{ablak} = 0,648 \sim 0,828 \text{ W/m}^2 \times \text{K} < 1,60 \text{ W/m}^2 \times \text{K} \rightarrow \text{megfelel}$$

15. Táblázat Falszerkezet rétegrendjének vizsgálata

		λ_i	d_i	R_j		
		W/mK	m	$\text{m}^2 \times \text{K/W}$		
				Bordán	Bordaközben	Súlyozva
Felületarány				0,097	0,903	
Külső hőátadás (R_{se}):				0,04		
Rétegrend	Homl. hőszig. Rendszer.	0,04	0,120	3,000	3,000	3,000
	Gipszrost	0,30	0,015	0,050	0,050	0,050
	Szálas hőszig.	0,04	0,160		4,000	3,283
	Bordaváz	0,13	0,160	1,231		
	OSB	0,16	0,015	0,094	0,094	0,094
	Gipszkarton	0,30	0,013	0,042	0,042	0,042
Belső hőátadás (R_{si}):				0,13		
ΣR :				4,586	7,355	
R' :				6,948		
R'' :						6,639
R_T :				6,794		
$U_S(\text{W/m}^2 \times \text{K})$:				0,15		
f_{Rsi}				0,981		

$$\chi = 0,3 \rightarrow U_{fal} = U_S \times (1 + \chi) = 0,20 \text{ W/m}^2 \times \text{K} \leq 0,45 \text{ W/m}^2 \times \text{K} \rightarrow \text{megfelel}$$

16. Táblázat Tetősík rétegendjének vizsgálata

		λ_i	d_i	Felület-	R_j				
		W/m ² ×K	m	arány	m ² ×K/W				
					Bordán	Bordaköz.	Bordán	Bordaköz.	Súlyozva
Felületarány					0,030	0,680	0,170	0,120	
Külső hőátadás (R_{se}):					0,04				
Rétegtér	PUR-tecta	0,03	0,100		3,333	3,333	3,333	3,333	3,333
	Deszkázat	0,13	0,025		0,192	0,192	0,192	0,192	0,192
	Szarufa	0,13	0,150	0,120	1,154		1,154		2,953
	Szálas hőszig.	0,04	0,150	0,880		3,750		3,750	
	Bordaváz	0,13	0,050	0,120	0,385			0,385	0,984
	Szálas hőszig.	0,04	0,050	0,880		1,250	1,250		
	OSB	0,16	0,015		0,094	0,094	0,094	0,094	0,094
	Gipszkarton	0,30	0,013		0,042	0,042	0,042	0,042	0,042
Belső hőátadás (R_{si}):					0,13				
ΣR :					5,370	8,831	6,235	7,966	
R' :					8,005				
R'' :									
R_T :					7,887				
$U_S(W/m^2 \times K)$:					0,13				
f_{Rsi}					0,984				

$$\chi=0,1 \rightarrow U_{tető}=U_S \times (1+\chi) = 0,14 \text{ W/m}^2 \times K \leq 0,25 \text{ W/m}^2 \times K \rightarrow \text{megfelel}$$

17. Táblázat Zárófödém rétegendjének vizsgálata

		λ_i	d_i	Felület-	R_j				
		W/m ² ×K	m	arány	m ² ×K/W				
					Bordán	Bordaköz.	Bordán	Bordaköz.	Súlyozva
Felületarány					0,015	0,713	0,085	0,188	
Külső hőátadás (R_{se}):					0,04				
Rétegtér	Rácsostartó	0,13	0,150	0,097	1,154		1,154		3,078
	Szálas hőszig.	0,04	0,150	0,903		3,750		3,750	
	Szálas hőszig.	0,04	0,120		3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
	Bordaváz	0,13	0,050	0,120	0,385			0,385	0,984
	Szálas hőszig.	0,04	0,050	0,880		1,250	1,250		
	OSB	0,16	0,015		0,094	0,094	0,094	0,094	0,094
	Gipszkarton	0,30	0,013		0,042	0,042	0,042	0,042	0,042
Belső hőátadás (R_{si}):					0,10				
ΣR :					4,814	8,275	5,679	7,410	
R' :					7,723				
R'' :									
R_T :					7,530				
$U_S(W/m^2 \times K)$:					0,13				
f_{Rsi}					0,987				

$$\chi=0,1 \rightarrow U_{födém}=0,9 \times U_S \times (1+\chi) = 0,13 \text{ W/m}^2 \times K \leq 0,25 \text{ W/m}^2 \times K \rightarrow \text{megfelel}$$

4.4 Az épület minősítése részletes módszerrel

Az épület hőveszteségeinek összegzése a [26]-os összefüggés szerint, részletes módszerrel történik. A táblázatban az egyes energiaveszteségek aránya is megjelenik.

18. Táblázat Az épület hőveszteségei a fejlesztés után

Hőveszteségek						
Lehűlőfelületek						
Megnevezés	A	U	L	részarány	összarány	Javulás
	m ²	W/m ² ×K	W/K	%	%	%
Külső fal	132	0,1472	19,430	36,1	32,8	33,0
Padló	28,3	0,4988	14,116	26,2	23,8	0,0
Zárófödém	30,2	0,1328	4,011	7,4	6,8	26,3
Tetősík	43,9	0,1268	5,567	10,3	9,4	34,2
Ablak	20	0,5000	10,000	18,6	16,9	54,5
Tetőablak	1,1	0,7000	0,770	1,4	1,3	36,4
L^{1D}			53,893	100	91,0	32,8
Hőhidak						
Megnevezés	l	ψ _e	L	részarány	összarány	Javulás
	m	W/m×K	W/K	%	%	%
Pozitív falsarok (1)	24,4	-0,0511	-1,246	-23,4	-2,1	32,0
Negatív falsarok (2)	7,4	0,0340	0,252	4,7	0,4	26,0
Fal-T-sarok (7)	1,5	0,0268	0,040	0,8	0,1	56,6
Fal-T-csatlakozás (5)	17,4	-0,0002	-0,004	-0,1	0,0	110,3
Tető-T csatlakozás (5)	5,65	-0,0002	-0,001	0,0	0,0	110,3
Födém-T csatlakozás (12)	11,12	-0,0081	-0,090	-1,7	-0,2	287,8
Lábazat (9)	32,34	0,0375	1,214	22,8	2,0	66,5
Borított födém-él (14)	7,20	0,0123	0,089	1,7	0,1	60,6
Borított födém-él (15)	7,10	0,0141	0,100	1,9	0,2	64,1
Látszó födém-él (16)	7,20	0,0152	0,109	2,0	0,2	64,9
Látszó födém-él (17)	7,10	0,0140	0,099	1,9	0,2	66,0
Térdfal (18)	16,54	0,0328	0,543	10,2	0,9	66,0
Oromél (18)	14,24	0,0328	0,467	8,8	0,8	66,0
Fogópár (19)	20,62	-0,0503	-1,038	-19,5	-1,8	-5,6
Konytél (11)	7,20	-0,0825	-0,594	-11,1	-1,0	11,4
Ablak oldalsó (21)	46,20	0,0534	2,465	46,2	4,2	-2,9
Ablak alsó (22)	13,05	0,0682	0,890	16,7	1,5	53,8
Ablak felső (23)	14,05	0,0817	1,148	21,5	1,9	-6,3
Tetőablak oldalsó (24)	1,40	0,3083	0,432	8,1	0,7	27,7
Tetőablak alsó (25)	0,76	0,3024	0,230	4,3	0,4	22,8
Tetőablak felső (26)	0,76	0,2984	0,227	4,3	0,4	29,3
L^{2D}			5,333	100	9,0	56,3
L=L^{1D}+L^{2D}			59,226		100	35,9

Az üvegezett szerkezetek hőnyeresége a [23.2] összefüggéssel számítható.

19. Táblázat Az üvegezett szerkezetek sugárzási hőnyeresége

Hőnyereségek					
sz	m	meny.	Tájolás	s	Q_w^+
cm	cm	db			kWh/a
90	150	2	Ény	1,5	0,904
90	120	2	Ény	1,5	0,665
60	60	1	ÉK	1,5	0,073
150	120	1	ÉK	1,5	0,672
120	150	2	DNy	3,0	2,690
45	180	3	DNy	3,0	1,340
90	150	2	DK	3,0	1,808
90	120	2	DK	3,0	1,329
76	140	1	ÉK-T	2,25	0,488
$\Sigma Q_w^+ =$					9,970

Fajlagos hővesztésgtényező a [28] összefüggés szerint:

$$q = \frac{59,226 - 9,970}{221,6} = 0,225 \text{ W/m}^3 \times K < 0,524 \text{ W/m}^3 \times K \rightarrow \text{megfelel}$$

A fűtés fajlagos nettó energiaigénye a [30] szerint:

$$q_f = 64,8 \cdot \frac{221,6}{81,6} \cdot (0,225 + 0,175) - 22 = 48,47 \text{ kWh/m}^2 \text{a}$$

A fűtés primer-energia szükséglete [31] szerint számítandó.

$$E_f = (48,47 + 3,3 + 2,1 + 0) \cdot (1,08 \cdot 1 \cdot 1) + (2,38 + 0 + 0,79) \cdot 2,5 = 66,10 \text{ kWh/m}^2 \text{a}$$

A használati melegvíz primer energiaigénye [32] szerint:

$$E_{HMV} = (30 + 3 + 0) \cdot (1,27 \cdot 1 \cdot 1) + (0 + 0,2) \cdot 2,5 = 42,41 \text{ kWh/m}^2 \text{a}$$

Összesített energetikai jellemző [33] szerint:

$$E_p = 66,40 + 42,41 = 108,5 < 212,4 \text{ kWh/m}^2 \text{a} \rightarrow \text{megfelel}$$

Energetikai besorolás az összesített energetikai jellemző és a követelmény hányadosa alapján, a 176/2008-as rendeletnek megfelelően:

$$\frac{E_p}{E_{p,köv}} = 100 \cdot \frac{108,5}{212,4} = 51,1 \% \rightarrow \text{'A+' (fokozottan energiatakarékos)}$$

4.5.1. Értékelés

Az épület teljesíti a 7/2006-os rendelet energetikai követelményeit.

Az épület energetikai besorolása 'A+' (fokozottan energiatakarékos)

Az épület éves fűtés és melegvíz-előállítási költsége 120 Ft/m³ földgáz árral számítva [36] szerint:

$$\Sigma P_{FG} = \frac{108,5}{9,5} \cdot 81,6 \cdot 120 \cong 112 \text{ eFt}$$

4.6. Az épület minősítése egyszerűsített módszerrel

Összehasonlításként bemutatom az egyszerűsített módszerrel történő ellenőrzést is. Az egyszerűsített módszer felfelé kerekíti a hőhidak hőveszteség növelő hatását, és elhanyagolja az üvegezett szerkezetek hőnyereségét. Emiatt az épület egy kategóriával rosszabb besorolást kap.

20. Táblázat Hőveszteségek összegzése egyszerűsített módszerrel

Hőveszteségek			
Hőhidakkal összevont lehűlőfelületek			
Megnevezés	A	U	Q
	m ²	W/m ² ×K	W/K
Külső fal	132	0,2000	26,400
Padló	28,3	0,5000	14,150
Zárófödém	30,2	0,1300	3,926
Tetősík	43,9	0,1400	6,146
Ablak	19	0,7400	14,060
Q^{1D+2D}			64,682

Fajlagos hőveszteségtényező a [28] összefüggés szerint:

$$q = \frac{64,682}{221,6} = 0,292 \text{ W/m}^2 \times \text{K} < 0,524 \text{ W/m}^2 \times \text{K} \quad \rightarrow \quad \text{megfelel}$$

A fűtés fajlagos nettó energiaigénye a [30] szerint:

$$q_f = 64,8 \cdot \frac{221,6}{81,6} \cdot (0,292 + 0,175) - 22 = 60,16 \text{ kWh/m}^2 \text{a}$$

A fűtés primer-energia szükséglete [31] szerint számítandó.

$$E_f = (60,16 + 3,3 + 2,1 + 0) \cdot (1,08 \cdot 1 \cdot 1) + (2,38 + 0 + 0,79) \cdot 2,5 = 78,73 \text{ kWh/m}^2 \text{a}$$

A használati melegvíz primer energiaigénye [32] szerint:

$$E_{HMV} = (30 + 3 + 0) \cdot (1,27 \cdot 1 \cdot 1) + (0 + 0,2) \cdot 2,5 = 42,41 \text{ kWh/m}^2 \text{a}$$

Összesített energetikai jellemző [33] szerint:

$$E_p = 78,73 + 42,41 = 121,1 < 212,4 \text{ kWh/m}^2 \text{a} \quad \rightarrow \quad \text{megfelel}$$

Energetikai besorolás az összesített energetikai jellemző és a követelmény hányadosa alapján, a 176/2008-as rendeletnek megfelelően:

$$\frac{E_p}{E_{p,köv}} = 100 \cdot \frac{121,1}{212,4} = 57,0 \% \quad \rightarrow \quad \text{'A' (energiatakarékos)}$$

4.6.1. Értékelés

Az épület teljesíti a 7/2006-os rendelet energetikai követelményeit.

Az épület energetikai besorolása 'A' (energiatakarékos)

4.7. A fejlesztés értékelése

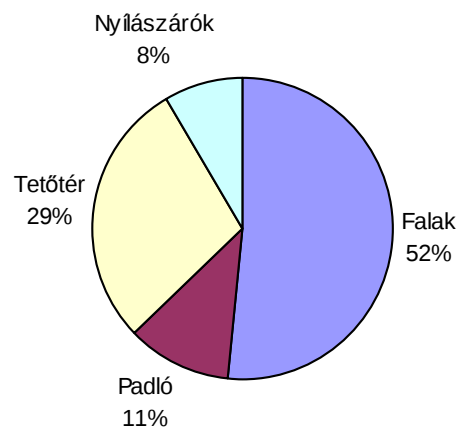
Az épület hőveszteségei csoportosíthatóak. Az összes hőveszteség eloszlása, vagyis az egyes felületekre és hőhidakra jellemző érték százalékos aránya jól megmutatja az épület gyenge pontjait. Itt nem kell, vagy nem lehet okvetlen továbbfejlesztési lehetőséget keresni, hiszen a falak magas értéke egyértelműen abból adódik, hogy a legnagyobb felületet képviselik az épületen, és kis fajlagos veszteségértékkel is nagy részarányt képviselnek. Fontos megjegyezni, hogy a vizsgált épület a 7/2006-os rendelet szerint az erősen hőhidas kategóriába tartozik, így a felületi hőátbocsátási tényezőket, vagyis a felületi hőveszteségeket az egyszerűsített számolási módszer alapján átlagosan 25%-kal kellene növelni.

$$\frac{\sum l}{\sum A} = \frac{263,2}{255,5} = 1,03 \rightarrow \text{erősen hőhidas, } \chi\text{-tényezők a rendelet szerint} \quad [40]$$

A grafikonokon azonban jól látható, hogy a hőhidak hővesztesége átlagosan 10%, vagyis a rendelet szerint ajánlott növelés erősen felfelé kerekít. Érdemes tehát a részletes számolást elvégezni, a többletmunkát pedig valamilyen programozási megoldással csökkenteni. A hőhidak egyes csoportjainak eloszlása szintén a gyenge pontokat mutatja. A lábazat nagy értéke egyértelműen a nagy fajlagos veszteségből ered. A legnagyobb értéket pedig a nyílászáró beépítések okozzák. A legtöbb hőhídkatalógus, de még az MSZ EN 14683-as szabvány is azt állítja, hogy a hőszigetelés síkjába beépített nyílászáró vonalmenti hőhídja elhanyagolható, de azok mindenképp tokkal egyesített U_w hőátbocsátással fejezik ki az ablak hőveszteségét. Jelen eredmények viszont az ablak üvegezésre vonatkoztatott U_g hőátbocsátásából származnak, így a magas vonalmenti hőveszteség egyben a profil hőveszteségeit is magában foglalja. Ez a megfontolás lényegesen egyszerűsíti a számolást. A magas részarányt tovább növeli, hogy a nyílászárók kerületéből eredő hőhíd hossz is viszonylag magas.

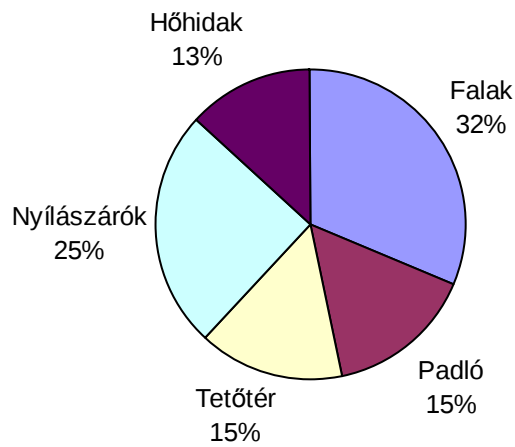
A fejlesztés mértékét az eredeti és fejlesztett szerkezet hőveszteségeinek különbségével, vagyis a hőveszteség csökkenés százalékos arányával lehet megmutatni. A fejlesztés költséghatékonyságát pedig a vele járó költségnövekedéssel lehet kifejezni. A legnagyobb előrelépés a nyílászárók, tehát az üvegezett szerkezetek esetében történt. Látványos fejlődés látható a külső falak, illetve a vonalmenti hőhidak esetén is, jellemzően a nagy felület, illetve hosszak miatt. A tetőtéri felületek (tetősík és zárófödém) szintén jól látható javulást mutatnak. A padlószerkezet azonos a két teljesítményszinten.

Az egyes lehűlőfelületek aránya

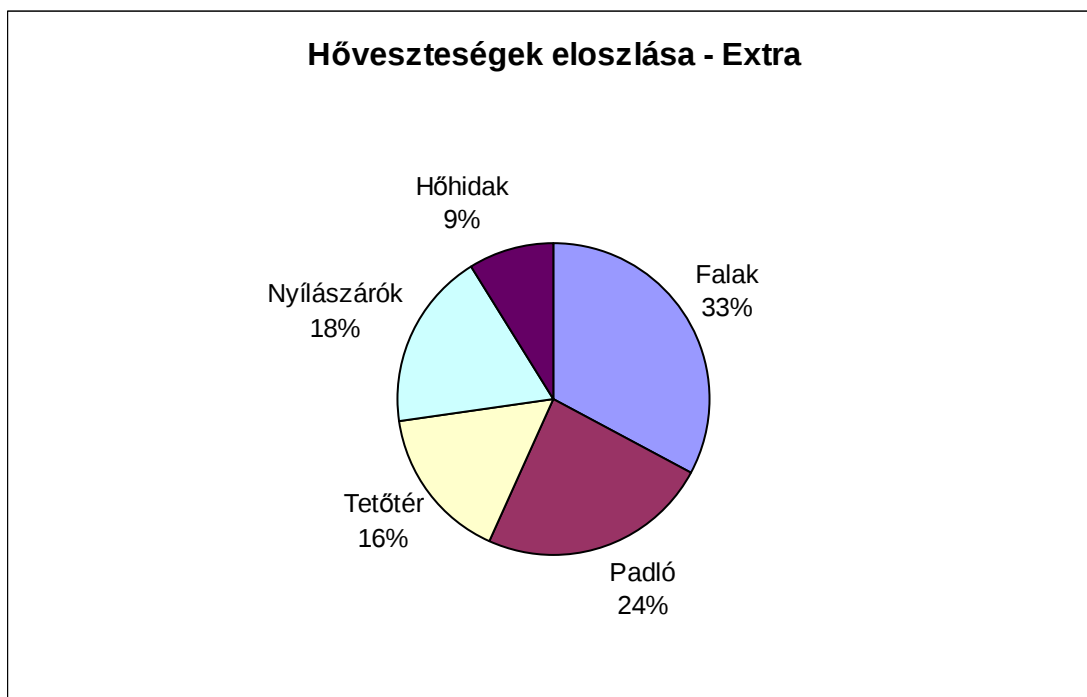


9. ábra Az egyes lehűlőfelületek aránya az épületen

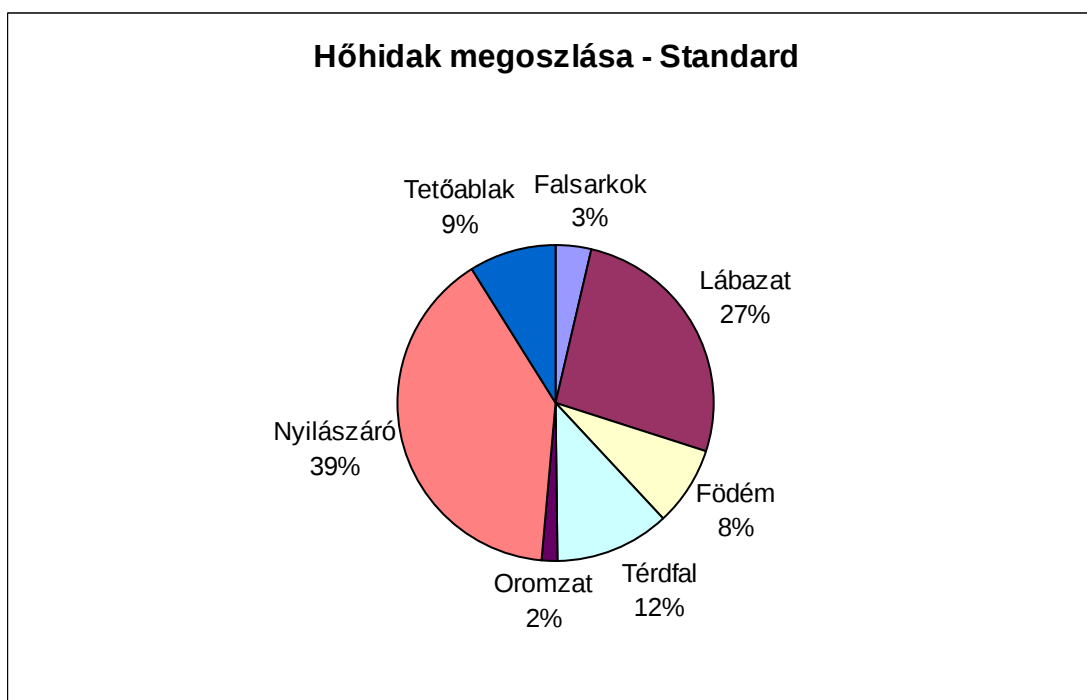
Hővesztések eloszlása - Standard



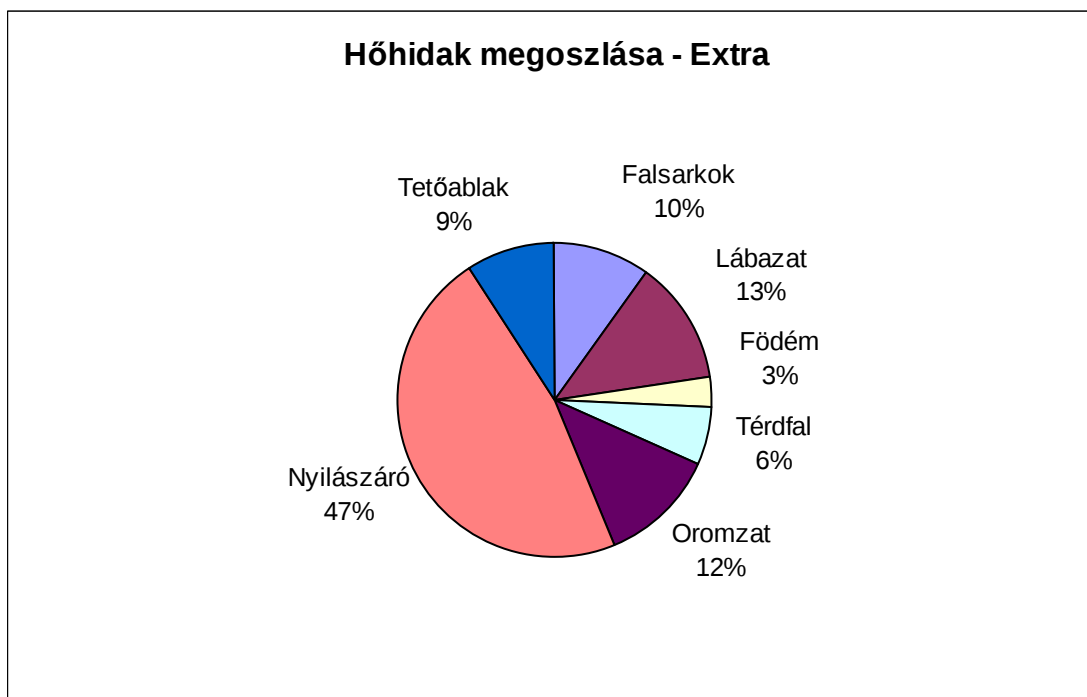
10. ábra Az átlagos szerkezetű épület hővesztéseinek eloszlása



11. ábra A fejlesztett szerkezetű épület hővesztéseinek eloszlása

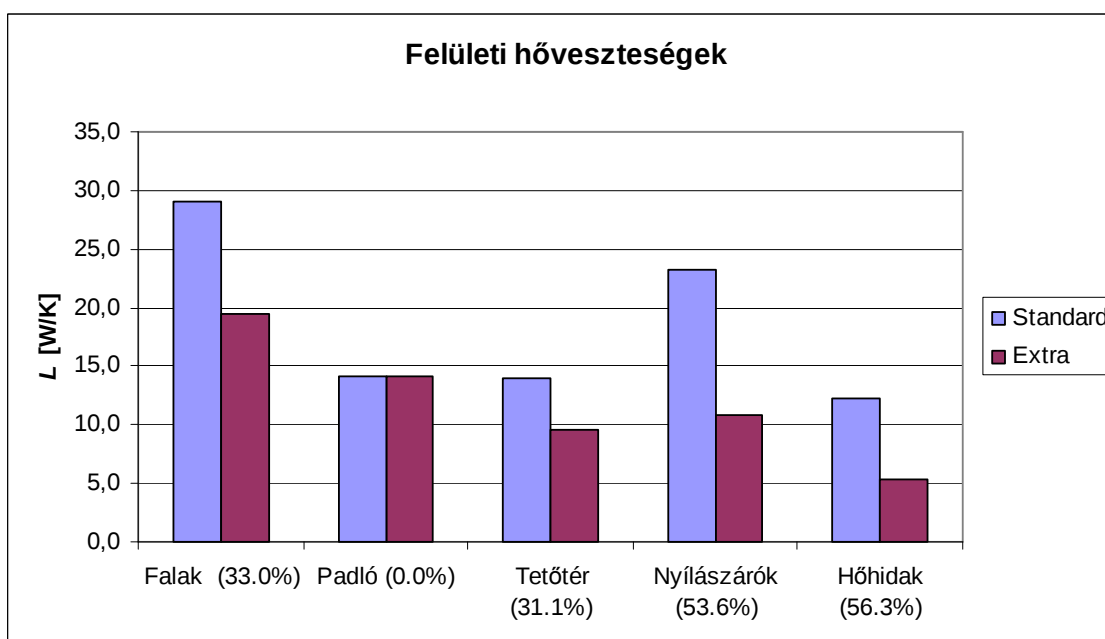


12. ábra Az egyes vonalmenti hőhíd-csoportok eloszlása az átlagos szerkezetben

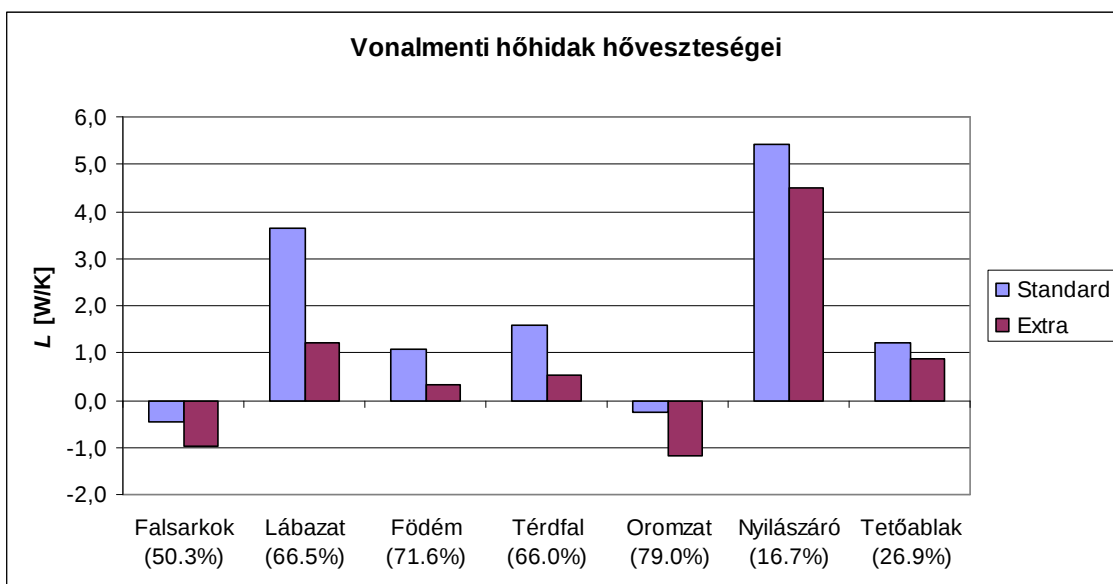


13. ábra Az egyes vonalmenti hőhíd-csoportok eloszlása a fejlesztett szerkezetben

A vonalmenti hőhidak csoportosan szerepelnek az összehasonlításban, így jobban követhető, hogy az egyes szerkezeti részek, illetve az egyes felületekhez köthető vonalmenti hőhidak mekkora részt tesznek ki az összes veszteségből. A legkisebb javulást a nyílászáró beépítések hőhídjai mutatják. Ez az amúgy is magas érték miatt kedvezőtlen. Be kell látnunk, hogy ez a hőveszteség az ablakprofil hőveszteségeit is magába foglalja, így látványos csökkentése csak a profil fejlesztésével lenne megoldható.

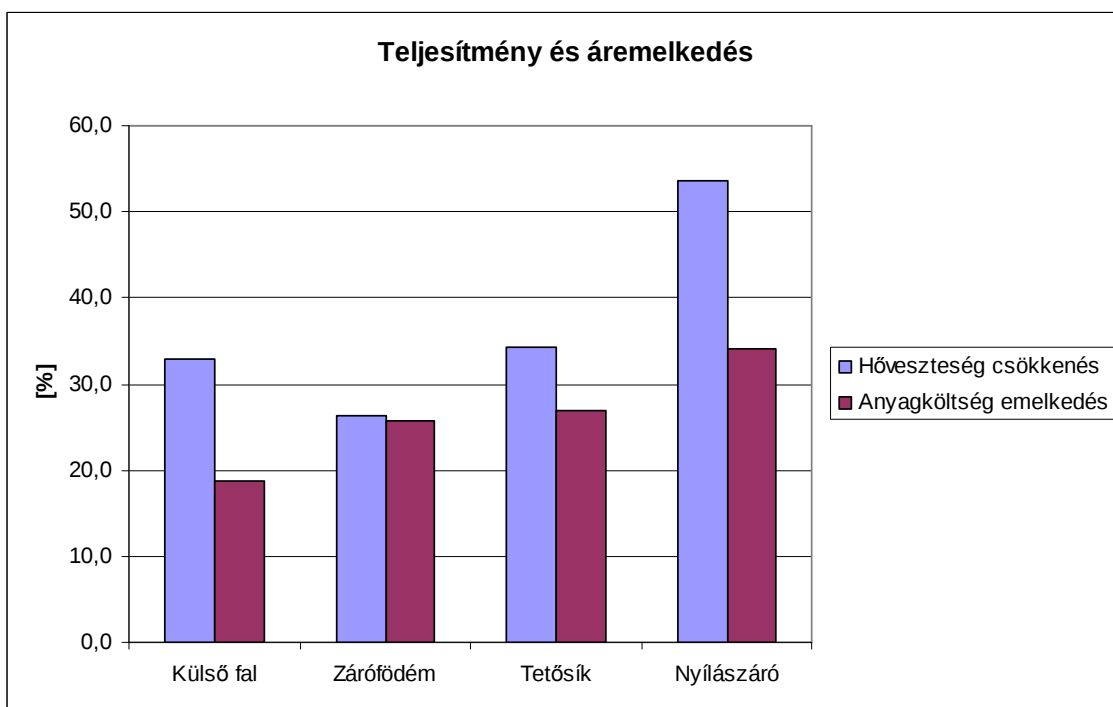


14. ábra A felületi hőveszteségek csökkenése a fejlesztés során



15. ábra A vonalmenti hőhíd-csoportok hőveszteségeinek csökkenése a fejlesztés során

A fejlesztés hatékonyságát leginkább az anyagköltségek növekedésének arányában lehet érzékelteni. A szerkezet költségelemzését később mutatom be részletesebben. A leglátványosabb javulást a nyílászárók mutatják. Ez annak tudható be, hogy az átlagos üvegezés hőátbocsátása $U_g=1,1 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$, míg a fejlesztett épületbe $U_g=0,5 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$ hőátbocsátású üvegezés került, tehát az üvegfelületek hővesztesége a felére csökkent. Jelentős javulás mutatkozik még a falak esetében, ami a viszonylag nagy felületaránynak tudható be.



16. ábra Az egyes lehűlőfelületek hőveszteség csökkenése, és anyagköltség növekedése

4.8. Költségelemzés

Egy könnyűszerkezetes épület kivitelezési költségei több rész-költségre bonthatóak. Az egyes rész-költségek általában valamilyen munkafázishoz, vagy szerkezeti elemhez köthetőek, és azon belül anyag- illetve munkaköltség összegeként adódnak. Egy könnyűszerkezetes épület szerkezetkész állapota alatt egy időjárástól védett tartószerkezetet (alapozás, vízszigetelés, teherhordó és külső falak, tető, héjazat, bádogosmunka, csapadékelvezetés, nyílászárók) értünk, míg féligkész állapotban ezen felül teljes hőszigetelés, kívülről kész homlokzatképzés, belül festésre illetve burkolásra előkészített falazatok, illetve aljzatbeton található. Ez a készülség nem tartalmazza a villamos- és gépészeti szerelést, a szanitereket, hideg és meleg burkolatokat, tapétázást vagy festést valamint a beltéri ajtókat [MAKÉSZ 2003]. Az összehasonlítás szempontjából a féligkész állapot a mértékadó, hiszen a kulcsrakész (beköltözhető) fokozathoz szükséges további lépések a szerkezet hőtechnikai teljesítményét már nem befolyásolják. Az épület energetikai minősítése természetesen ezen a szinten még nem dől el, hiszen az energiahatékonyságot jelentősen befolyásoló épületgépészetet még nem tartalmazza a féligkész fokozat.

Az átlagos és a fejlesztett teljesítményű épület kivitelezési költségei között az anyagköltségekben lehet jelentősebb különbség, hiszen az egyes építési lépések alig különböznek egymástól. A költségelemzés szempontjából négy különböző szintet különíthetünk el:

- az egyes külső térelhatároló szerkezetek anyagköltségeinek növekedését
- a féligkész állapotú épület összes anyagköltségének növekedését
- a féligkész állapotú épület összes (anyag- és munka-) költségének növekedését
- a kulcsrakész épület teljes kivitelezési költségének növekedését

Az összköltségek különbsége a készülségi szint emelkedésével az egyre több azonos költségű elem miatt folyamatosan csökken. A négy szint közül csak az első kettőt vizsgáltam, magasabb szinteken a két szint árkülönbsége egyre csökken. A mellékletben található árajánlatból látható, hogy a generál árban mindössze 10 %-os az árkülönbség.

A fejlesztés rétegrendenkénti vizsgálatában kiszámítottam, hogy az egyes rétegrendek hőátbocsátása mennyit csökken, mennyit javítanak a fajlagos hőátbocsátási tényezőn, és azonos gépészeti rendszer esetén mennyit javítanak az összesített energetikai jellemzőn. Költségelemzés során megvizsgáltam az egyes fejlesztési lépések hatását a fűtésre fordított földgáz-fogyasztás tekintetében. A fejlesztés eredményeként megtakarított földgáz árát összevetve az adott fejlesztési lépéshez tartozó beruházási-költség növekedéssel kimutatható az egyes lépések megtérülési ideje. Az eredmények táblázatos összefoglalásában feltüntettem az összes fejlesztés együttes hatását is.

21. Táblázat Az anyagköltségek összesítése és összehasonlítása

Anyagköltségek			
Szerkezet	Standard	Extra	Növekedés
Alap	696 000 Ft		
Padló	218 400 Ft		
Külső falak	1 451 050 Ft	1 723 100 Ft	18,7 %
Homlokzat	319 440 Ft		
Belső falak	628 000 Ft		
Vasalatok	130 000 Ft		
Födém	362 940 Ft		
Tetőszerkezet	719 200 Ft	913 450 Ft	27,0 %
Vasalatok	48 000 Ft		
Héjazat	663 000 Ft		
Zárfödém	274 500 Ft	345 200 Ft	25,8 %
Nyílászárók	2 930 250 Ft	3 929 400 Ft	34,1 %
Összesítve			
Fejlesztett szerkezetekre:	5 375 000 Ft	6 911 150 Ft	28,6 %
Összes szerkezetre:	8 440 780 Ft	9 976 930 Ft	18,2 %

22. Táblázat Az egyes fejlesztési lépések hatása és megtérülése

		Fal	Tető	Födém	Ablak	Összes
U^0	$W/m^2 \times K$	0,29	0,25	0,23	1,39	
U^+	$W/m^2 \times K$	0,2	0,14	0,13	0,74	
ΔU	%	-31,0	-44,0	-43,5	-46,8	
q^0	$W/m^3 \times K$	0,383				
q^+	$W/m^3 \times K$	0,330	0,362	0,370	0,328	0,239
Δq	%	-13,9	-5,6	-3,6	-14,4	-37,7
E_p^0	$kWh/m^2 a$	138,55				
E_p^+	$kWh/m^2 a$	128,36	134,41	135,96	127,95	111,03
ΔE_p	%	-7,4	-3,0	-1,9	-7,6	-19,9
$P_{FG,f}^0$	eFt/év	99,1				
$P_{FG,f}^+$	eFt/év	88,6	94,8	96,4	88,2	70,7
$\Delta P_{FG,f}$	%	-10,6	-4,3	-2,7	-11,0	-28,6
K^0	eFt	1451	719	275	2930	5375
K^+	eFt	1723	913	345	3930	6911
ΔK	%	18,7	27,0	25,5	34,1	28,6
Megtérülés	év	23	27	23	32	29

A megtérülési idő számítását 120 Ft/m^3 –es földgáz árral, és évenkénti 15 %-os áremelkedéssel számítottam. A beruházás anyagköltségei 2008. júniusi árakkal kerültek megállapításra. A munkadíjak a kétfajta hőszigeteltségi szinten azonosnak tekinthetők, így az összehasonlításban azok nem szerepelnek.

Az eredmények összhangban állnak az első fejezet megállapításaival, miszerint a jelenlegi, államilag alacsonyan tartott földgáz-ár beláthatatlanul hosszú megtérülési idő társít az energetikai fejlesztésekhez. Ugyanakkor figyelembe vehetjük, hogy az állam

fokozatosan csökkenteni fogja a támogatások mértékét. Nyugat-Európában kialakult aránya van az energiaárak állami támogatásának, ezért a megtérülési összehasonlítást elvégeztem németországi földgáz árakkal is. A számoláshoz a Verivox független német energetikai- és távközlési elemző vállalat honlapján található hivatalos ár kalkuláló programot alkalmaztam. A program összegyűjti és megjeleníti a megadott település gázszolgáltatóinak árajánlatát. Ez pl. München térségében nyolc árajánlatot jelent. A legolcsóbb és a legdrágább ajánlatot, illetve ezek átlagát kiválasztva újraszámoltam a fenti táblázatot.

23. Táblázat Fűtési költség csökkenése és megtérülés németországi földgáz árakkal

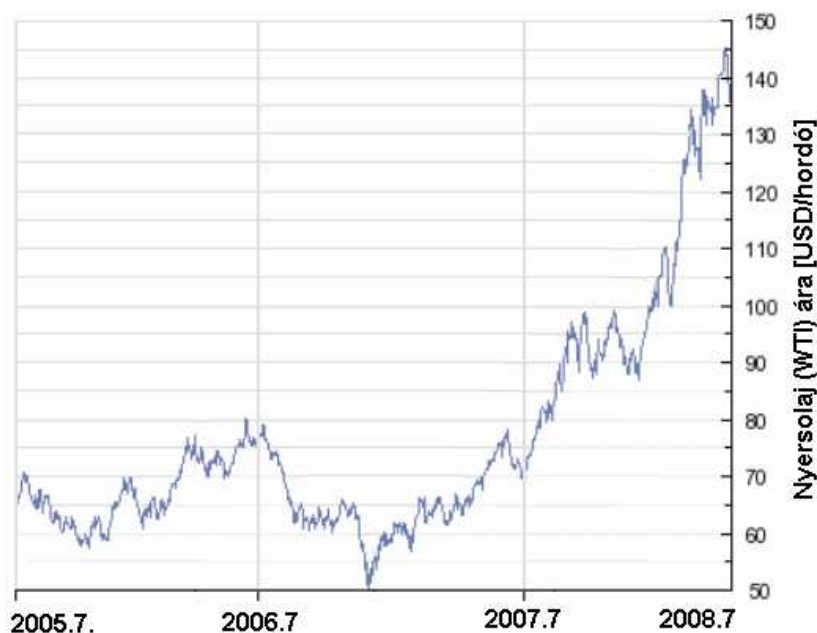
		Fal	Tető	Födém	Ablak	Összes
<i>fogyasztás</i> ⁰	kwh/év	7844,8				
<i>fogyasztás</i> ⁺	kwh/év	7013,28	7506,81	7633,42	6980,39	5599,49
fűtési költség (forrás: www.verivox.de)						
<i>min</i> ⁰	€/év	554,6				
<i>max</i> ⁰	€/év	651,1				
<i>átlag</i> ⁰	€/év	602,9				
<i>min</i> ⁺	€/év	502,0	533,2	541,3	499,9	412,5
<i>max</i> ⁺	€/év	596,5	628,9	637,3	594,4	503,6
<i>átlag</i> ⁺	€/év	549,3	581,1	589,3	547,1	458,1
megtakarítás (EUR)						
<i>min</i>	€/év	52,6	21,4	13,4	54,7	142,1
<i>max</i>	€/év	54,6	22,2	13,9	56,8	147,5
<i>átlag</i>	€/év	53,6	21,8	13,6	55,7	144,8
megtakarítás (1 HUF= 235 EUR, 2008.július)						
<i>átlag</i>	Ft/év	12 865	5 233	3 268	13 376	34 756
megtérülés						
Megtérülés	év	22	26	22	31	27

Az eredmények tekintetében elmondható, hogy ugyanezen fejlesztési lépések Németországban – ahol 0,70-0,80 €, tehát átlagosan 50 %-kal drágább a lakossági földgáz egységára – 20-30 év megtérülési időt mutatnak, 15 %-os évenkénti gázár-emelkedés mellett.

Az általam számított megtérülési idők azonban nem tükrözik a csökkenő CO₂ kibocsátást, nem tartalmazzák az esetleges állami támogatásokat, melyek a lakossági energia-felhasználás csökkentését célozzák a beruházások támogatásával. Ugyancsak lehetetlen belefoglalni ilyen összefüggésekbe, hogy mennyit növel az épület piaci értékén egy ehhez hasonló energiahatékonysági beruházás.

A megtérülési idő számításakor 15 %-os évenkénti áremelkedéssel számoltam. A növekedés azonban jelentősen magasabb is lehet. Németországban a földgáz jelenlegi 0,7 EUR/m³ fogyasztói ára a 100 USD/hordó világpiaci nyersolaj árhoz igazodik. Figyelembe véve, hogy az olaj jelenleg 145 dollár árfolyamon áll, a gázárak nagyjából 25

%-os emelkedése szükségszerű (forrás: Verivox). A Verivox prognózisának megjelenésével szinte egyidőben Alekszej Miller, a Gazprom elnöke bejelentette: a kőolaj árának emelkedése miatt a jelenlegi 400 dollár helyett év végén már 500 dollárt kérnek ezer köbméter földgázért, vagyis az év végéig 25 %-kal növelik az Európába, így a Magyarországra szállítandó földgáz árát. (forrás: MTI, 2008. július) Az olaj hordónkénti ára pontosan a duplája nőtt az elmúlt évben (forrás: NYBOT, 2008. július), és ez az áremelkedés hat ki a földgáz árára. Az olaj áremelkedése azonban nem áll meg: egyes elemző intézetek szerint év végére akár a 200 dolláros határt is átlépheti.



17. ábra A nyersolaj árának alakulása az elmúlt három évben (forrás: NYBOT)

Tschakib Chelil, az OPEC jelenlegi elnöke szerint az iráni atomkonfliktus az egekbe verheti a nyersolaj árát. Előrejelzése szerint az olaj ára a nyár végére 170 USD/hordó körül várható, és rövid időn belül számítanunk kell a 200~300 dolláros olajárakra is (forrás: wirtschaft.t-online.de). Elgondolkodtató tény a témával kapcsolatban, hogy az 1973-as olajár-robbanás során a nyersolaj ára 3 \$-ról emelkedett 5 \$-ra, ami a jelenleg tapasztalhatóval összemérhető, 67 %-os áremelkedés volt.

Ha a földgáz ára a korábbival azonos mértékben követi a nyersolaj árát, akkor a német Verivox előrejelzése szerint az alábbi földgáz árakkal számolhatnak a német háztartások:

24. Táblázat Földgáz fogyasztói árának előrejelzése Németországban (forrás: Verivox)

Nyersolaj világpiaci ára	USD/hordó	200	300	400
Földgáz fogyasztói ára	EUR/m ³	1,00	1,33	1,67

Mindezeket figyelembe véve elmondható, hogy a számított megtérülési idők jelentősen csökkenhetnek a földgáz árának 15 %-nál várhatóan nagyobb éves emelkedése során.

5. Összefoglalás

Az ember közérzetét, teljesítőképességét, egészségét a lakókörnyezetének kellemes klímája alapvetően befolyásolja. Ez a lakótéri klíma a különböző éghajlati viszonyok mellett energiahordozók alkalmazásával biztosítható. Ennek költsége az energiahordozó árából, és elhasznált mennyiségéből következik. E két mennyiség szorzata az a fűtésszámla, amit mindenki szeretne csökkenteni. A fűtési (és természetesen a hűtési) költségek csökkentésének két módja lehetséges: olcsó energiahordozók használata, illetve az energiafelhasználás mérséklése. Az olcsó energiahordozó kifejezés mára paradox fogalommal változott: a fosszilis energiahordozók árai folyamatosan emelkednek; a fa, illetve biomassa tüzelés nem képes az egyre növekvő igényeket követni; a természeti energiák (napenergia, geotermális energia, szélenergia, vízenergia) hasznosítása pedig viszonylag kis hatásfokkal rendelkezik, felhasználása költséges gépészeti berendezéseket, rendszereket igényel. Mindemellett a fokozott energiahasznosítás, az erőforrásaink csúcsra-járatása ellentétben áll a fenntartható fejlődés alapelveivel is. Így az egyetlen igazán járható út az energiafelhasználás mérséklése, természetesen a megszokott életmód, illetve komfortszint megtartása mellett. Jelen kutatás egy olyan fejlesztési lehetőséget jár körül, ami a fa bordavázazás épületek hőszigetelési teljesítményét fokozza. A jövőbe mutató, környezetkímélő megoldások mindig drágák, így elterjedésük csak akkor jelentkezik, ha már végképp nincs más lehetőség. Kis költségnövekedéssel azonban könnyebb elfogadtatni egy újítást, még akkor is, ha ez csak kismértékű fejlődést eredményez.

A kutatás eredménye egy olyan építési rendszer, ami fajlagos hőszükségletét tekintve megelégszik a 7/2006-os kormányrendelet szerinti határérték felével. Ez már átlagos épületgépészeti megoldások mellett is alkalmassá teszi arra, hogy fokozottan energiatakarékos, vagyis 'A+' besorolást kapjon. Kismértékű továbbfejlesztéssel – pl. belsőoldali hőszigetelt szerelőréteggel – akár arra is alkalmas, hogy teljesítse az egyes európai országokban már bevezetett passzívház-szabvány követelményértékeit. Az energetikai jellemzők mellett a felületi hőmérsékletek növekedésével a komfortérzet javulása is tapasztalható. Mivel a párafizika alapvető paramétere a hőmérséklet, a hőtechnikai paraméterek javulása során a páratechnikai jellemzők is kedvezőbbek lesznek. A magasabb felületi hőmérsékletek csökkentik a penészképződés veszélyét, vagy a páralecsapódás kockázatát.

A kutatásom során kidolgozásra kerültek olyan vizsgálati módszerek, amik alkalmasak egy könnyűszerkezetes épület komplex vizsgálatára. Az egyes inhomogén rétegrendek hőátbocsátása, belső felületi hőmérsékleti tényezője, páraesési diagramja egyszerűen meghatározható a megalkotott számológépek segítségével. A vonalmenti hőhidakat

jellemző vonalmenti hőhidveszteségi tényező, és a kialakuló felületi hőmérsékletek egy magyar anyagokkal bővített végeelem-programmal határoztam meg. A felületi hőmérsékletek függvényében pedig megadhatóak azok a belső levegő páratartalmi határértékek, amik tartósan fennállva penészesedés, vagy páralecsapódás kockázatához vezetnek. Az így megvizsgált vonalmenti hőhidak csatlakozási pontjaiban kialakuló pontszerű hőhidak felületi hőmérsékletei, illetve jellemző páratechnikai határértékei szintén számolással képezhetőek. Mellékszámításként megszületett egy olyan eljárás, amivel tetszőleges üvegezésű, illetve profilozású homlokzati és tetőablak szerkezetek tokkal – illetve ismert fal vagy tetőszerkezet esetén beépítéssel – egyesített hőátbocsátási tényezője, hővesztesége, illetve téli napnyeresége határozható meg a névleges méret, és az üvegezés hőátbocsátásának ismeretében.

A kidolgozott módszerekkel ellenőrzésre került egy konkrét épület, kétfajta hőszigetelési teljesítményű szerkezetekkel. A két épület komplex vizsgálata magába foglalta a lehűlőfelületek hőátbocsátási tényezőjének, illetve a vonalmenti hőhidak hőhidveszteségi tényezőjének meghatározását, valamint az épület összesített energetikai mutatójának meghatározását, illetve az épület energetikai besorolását.

A számolás során nyert adatok alkalmasak arra, hogy az adott építési rendszer hőtechnikai adatlapjaként, illetve hőtechnikai tervezési segédleteként kerüljenek alkalmazásra. A rétegrendekből és csomópontokból összeállítható egy rétegrend és hőhid-katalógus, amit a kivitelező vállalkozás a tervezők részére tud bocsátani. Ugyanezen katalógusokat építészeti tervező szoftverekbe integrálva adatok nyerhetők a kész épület várható hőveszteségeiről már az épületek tervezési fázisában is.

5.1. Megállapítások

Vizsgálataim eredményeiből megállapíthatom, hogy

1. a fa bordavázis könnyűszerkezetes épületek esetén a faelemek hőhidhatása nem elhanyagolható, azonban számításainkban elegendő a faborda és bordaközi hőszigetelés inhomogenitásának figyelembevétele. Amennyiben a falszerkezet hőátbocsátási tényezőjét az EN ISO 6946 szerint súlyozva számítjuk, a továbbiakban a falfelület hőhidmentes, homogén felületnek tekinthető.
2. A 16 cm-es bordamagasságú könnyűszerkezetes falszerkezet 12 cm-es homlokzati hőszigeteléssel alkalmas arra, hogy belőle a legmagasabb 'A+' besorolású (fokozottan energiatakarékos) épület készüljön. Ennél vastagabb homlokzati hőszigetelés már nem csökkenti látványosan a szerkezet hőtechnikai jellemzőit, alkalmazása csak abban az esetben indokolt, ha a passzívházakra jellemző követelményeket kívánjuk elérni.

3. A külső oldali, folytonos elhelyezett hőszigetelő-rendszer jelentős mértékben csökkenti egy fa bordavázás szerkezet hőhídjainak energiaveszteségét, és alkalmas arra, hogy megfelelő vastagságban történő alkalmazásával teljesen homogénnek tekinthető térelhatároló szerkezetet hozzunk létre.
4. A hőszigetelt bordaközű favázás falszerkezet legalacsonyabb belső felületi hőmérséklete a bordák vonalában mérhető. A legkisebb felületi hőmérsékletet a borda síkjában számolt hőátbocsátás határozza meg. A bordaköz jobb hőszigetelése nem vehető figyelembe a felületi hőmérséklet emelése szempontjából.
5. Az inhomogén térelhatároló szerkezetek csatlakozási éleinél kialakuló vonalmenti hőhíd szintén inhomogén. Az ilyen vonalmenti hőhíd energiaveszteségét kimutató vonalmenti hőhídveszteségi tényezőt súlyozással kell megállapítani.

A súlyozáshoz az alábbi összefüggés alkalmazandó:

$$\psi_e = (0.1 \cdot L^{2D}_{Borda} + 0.9 \cdot L^{2D}_{Bordaköz}) - U_1 \times l_1 - U_2 \times l_2$$

Ahol:

ψ_e : súlyozott vonalmenti hőhídveszteségi tényező

L^{2D}_{Borda} , $L^{2D}_{Bordaköz}$: a modellen kialakuló hőveszteség a borda síkjában illetve a bordaközben

U_1 , U_2 : a becsatlakozó térelhatároló szerkezetek súlyozott hőátbocsátási tényezői

l_1 , l_2 : a becsatlakozó szerkezetek referenciahossza a modellben

Az ilyen vonalmenti hőhíd felületi hőmérsékletét a bordák csatlakozásainál kell meghatározni, a bordaköz hőszigetelése nem vehető figyelembe a felületi hőmérséklet emelése szempontjából.

6. Üvegezett szerkezetek esetén a 7/2006-os rendelet meghatározza az eredő hőátbocsátási tényező határértékét. Az üvegezett szerkezetek tokprofilal együtt értelmezett hőátbocsátási tényezője az alábbi összefüggéssel számítható:

$$U_w = \frac{U_g \times sz \times m + (\psi_{pa} + \psi_{pf}) \times sz + 2 \cdot \psi_{po} \times m}{sz \times m}$$

Ahol:

U_w : üvegezett szerkezet tokprofilal együtt értelmezett hőátbocsátási tényezője

U_g : üvegezés hőátbocsátási tényezője

sz , m : az üvegezett szerkezet névleges szélessége és magassága

ψ_p : a tokprofil vonalmenti hőhídveszteségi tényezője

(indexek: a: alsó; f: felső; o: oldalsó)

Az egyes profilok vonalmenti hőveszteség tényezője az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$\psi_p = L^{2D} - U_g \times l$$

Ahol:

ψ_p : a tokprofil vonalmenti hőhídveszteségi tényezője

L^{2D} : az üvegezésen és a tokprofilon együttesen kialakuló hőveszteség

U_g : üvegezés hőátbocsátási tényezője

l : az üvegezett szerkezet referencialossza a modellben

7. A fa ablak és erkélyajtó-profilok belső felületi hőmérséklete jelentősen emelhető a kétkamrás üvegek és a profilra rögzített külső oldali habosított hőszigetelés alkalmazásával. A felületi hőmérséklet emelkedése a hagyományos szerkezetekhez képest olyan mértékű, hogy a szerkezeten történő páralecsapódás illetve penészképződés kockázata normál beltéri lakóterek esetén megszűnik. Különösen szükséges ez a tetősíkablakok esetén, ahol az alapkivitel nem teljesíti a minimális követelményeket.

8. A beépített üvegezett szerkezeteknek a beépítés hatását is magába foglaló összes hővesztesége az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$Q_w = U_g \times sz \times m + (\psi_{ba} + \psi_{bf}) \times sz + 2 \cdot \psi_{bo} \times m$$

Ahol:

Q_w : üvegezett szerkezet hővesztesége

U_g : üvegezés hőátbocsátási tényezője

sz, m : az üvegezett szerkezet névleges szélessége és magassága

ψ_b : a beépített tokprofil vonalmenti hőhídveszteségi tényezője

(indexek: a: alsó; f: felső; o: oldalsó)

az egyes beépített profilok vonalmenti hőveszteség tényezője az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$\psi_b = L^{2D} - U_g \times l$$

Ahol:

ψ_b : a beépített tokprofil vonalmenti hőhídveszteségi tényezője

L^{2D} : az üvegezésen és a tokprofilon együttesen kialakuló hőveszteség

U_g : üvegezés hőátbocsátási tényezője

l : az üvegezett szerkezet referencialossza a modellben

9. Üvegezett szerkezetek esetén a 7/2006-os rendelet meghatározza a figyelembe vehető napsugárzási nyereséget. Könnyűszerkezetes épületekben a fűtési szezonra vonatkozó összes hőnyereség nyílászárónként az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$Q_w^+ = s \times g \times 0,3622 \cdot A_w^{1,38}$$

Ahol:

s : az üvegezett szerkezet tájolási tényezője

g : az üvegezés naptényezője

A_w : az üvegezett szerkezet névleges méretéből számított felület

Az üvegezés g naptényezője összevonható a 0,3622-es szorzóval, így az egyes üvegtípusok esetén az összefüggés tovább egyszerűsödik:

egykamrás, normál üvegezésre: $Q_w^+ = s \times 0,2354 \cdot A_w^{1,38}$

kétkamrás, extra üvegezésre: $Q_w^+ = s \times 0,1992 \cdot A_w^{1,38}$

Az s tájolási tényező értékét az alábbi módon kell megválasztani:

Benapozott déli homlokzaton s_D : 4,0

Benapozott délkeleti és délnyugati homlokzaton $s_{DK/DNy}$: 3,0

Benapozott keleti és nyugati homlokzaton $s_{K/Ny}$: 2,0

Benapozott északkeleti és északnyugati homlokzaton $s_{ÉK/ÉNy}$: 1,5

Északi, és benapozatlan homlokzaton s_E : 1,0 (elhagyható)

Tetősíklablak esetén az s tájolási tényezők másfélszeres értékkel vehetők figyelembe

10. A 7/2006-os rendelet szerinti egyszerűsített számolási módszer mintegy 10 %-kal magasabb energiaszükségletet eredményez, és emiatt egyes esetekben az épület rosszabb energetikai osztályba kell sorolni. Az egyszerűsített számolási módszer az épület energetikai minősítése céljára kedvezőtlen. Az egyszerűsített energetikai módszer legnagyobb hátránya a vonalmenti hőhidak jelentős túlbecslése. Mivel a szerkezet hőveszteségében a vonalmenti hőhidak még az erősen hőhidas besorolás esetén is kevesebb, mint 10 %-ot tesznek ki, indokolatlan a 20 és 30 %-os növelő tényező. A hőhidasság kategóriahatárainak módosítása, illetve a kategóriákhoz tartozó χ növelő tényezők csökkentése javasolt.
11. Többlét hőszigetelés alkalmazása esetén megállapítható, hogy az egyes külső térelhatároló szerkezetek hőátbocsátási tényezőjének csökkenése számottevőbb, mint a csökkentés megvalósításához szükséges többlét-anyagköltség. Ebben a tekintetben az egyes térelhatároló szerkezetek fejlesztése hatékonynak mondható. Az épület összes energia-szükségletének csökkenése azonban egyéb tényezők befolyása miatt lényegesen kisebb, mint az egyes szerkezetek hőveszteségének csökkenése. Emiatt az aktuális beruházási költségek és földgáz-árak mellett a beruházás megtérülése nem kimutatható.

6. A szövegben említett hivatkozások

- [Csehi 2007] Csehi, J: Energetika, megújuló energiák (in: Vasi Építész és Mérnök, IV. évf. 7-8. szám, 2007. július-augusztus)
- [Pohászka 2007] Prohászka, R: Az épületenergetika helyzete hazánkban (in: Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szakszövetségének lapja, XLV/6 – 2007/6.)
- [IEA 2007] IEA: Az IEA Tagországok Energiapolitikája – Magyarország 2006. évi vizsgálata (International Energy Agency: Energy Policies of IEA Countries – Hungary 2006 Review) (IEA Kommunikációs és Információs Irodája, Párizs, 2007)
- [Gács 2006] Dr. Gács, I.- Bihari, P.- Dr. Fazekas, A. I.- Dr. Hegedűs, M.-Dr. Tihanyi, L.: Magyarország primerenergia-hordozó struktúrájának elemzése, alakításának stratégiai céljai (in: Az új magyar energiapolitika tézisei a 2005-2030 közötti időszakra, Gazdasági és Közlekedési Minisztérium, Budapest, 2006)
- [Feist 1997] Feist, Wolfgang: Tűrési vizsga: passzívházak a legkeményebb télben (Der Härtetest: Passivhäuser im strengen Winter 1996/97; GRE-Inform, 12/1997.)
- (http://www.domtec.hu/doc/passz_haz_cikk.doc.)
- [Feist 2000] Feist, Wolfgang: Objektív tapasztalatok: mérési eredmények a lakott passzívházakban (Erfahrungen objektiv: Meßergebnisse aus bewohnten Passivhäusern, in: Tagungsband zur 4. Passivhaus Tagung. Passivhaus Dienstleistung GmbH, 1. Auflage, Darmstadt 2000)
- [www.cepheus.de, 2007] A CEPHEUS EU-projekt hivatalos beszámoló-honlapja
- [www.hausderzukunft.at, 2008] Az osztrák Haus der Zukunft program hivatalos honlapja
- [www.passiv.de, 2008] – a németországi Passzívház Intézet hivatalos honlapja
- [Kellner, 2005] Kellner, Irma: Passzív házak ismertetése, elemzése – diplomamunka (Nyugat-magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar, Sopron, 2005)
- [Zöld, 1999] Zöld, András: Energiatudatos építészet (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1999)
- [Tőkés, 2006] Tőkés, Bence: Az ezredik osztrák passzívház (in: Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szakszövetségének lapja, XLIV/9 – 2006/9.)
- [Hüfner, 2006] Hüfner, Kornél: Passzívház Bécsben (in: AustroTimes – AustroTherm Magazin, II/3 – 2007 ősz)
- [Pfluger, 2003] Pfluger, R.; Schnieders, J.; Kaufmann, B.; Feist, W.: Nagy hőszigetelőképeségű ablakrendszerek: beépítés utáni vizsgálatok és optimalizáció (Hochwärmedämmende Fenstersysteme: Untersuchung und Optimierung im eingebauten Zustand, HIWIN-A részprojekt, kutatási beszámoló, Darmstadt, 2003)
- [Feist 2007] Feist, Wolfgang: Aufbruch zur Energieeffizienz; Tagungsband 11. International Passivhaustagung 2007, Bregenz
- [MAKÉSZ 2003] Készház ABC (Építőipari Vállalkozók Országos Szövetsége – Könnyűszerkezet-építő Tagozat, Magyar Készházgyártók Szövetsége, Budapest, 2003)
- [Baumann 2006] Baumann, M.– Dr. Csoknyai, T.– Dr. Kalmár, F.– Dr. Magyar, Z.– Dr. Majoros, A.– Dr. Osztrólczy, M.– Szalay, Zs.– Prof. Zöld, A: Az új épületenergetikai szabályozás segédlet, (Budapest, 2006)

- [Medgyasszay 2008] Medgyasszay Péter: Új elvek szerint kell építkezni (in: Vas Népe Ingatlanpiac melléklete, 2008. február 19.)
- [Makész 2008] Makészház magazin (a 3Ház magazin melléklete, kiadó: Folbau Kft., Budapest, 2008)
- [ÉVOSZ 2008] Kárpáti József az ÉVOSZ tagozati elnökének és Fazekas Péter Európai Készház Szövetség magyarországi küldöttjének az Építőipari Vállalkozók Országos Szakszövetség Könnyűszerkezet-építő Tagozatának (MAKÉSZ) 2008-as közgyűlésén elhangzott beszámoló

7. Felhasznált irodalom

- 1) Hantos, Z, Karácsonyi Zs: Fa bordavázás épület hőátbocsátási tényező számítása I.– Faipar LV/1-2 – 2007/1-2, kiadó: NymE-FMK)
- 2) Hantos, Z, Karácsonyi Zs: Fa bordavázás épület hőátbocsátási tényező számítása II. Faipar LVI/1-2 2008/1-2 kiadó: NymE-FMK)
- 3) Hantos, Z: Fabordák hőhídhátása egy könnyűszerkezetes falazatban – III. Regionális Természettudományos Konferencia, Szombathely, 2008.01.31.
- 4) Hantos, Z: Könnyűszerkezetes építési rendszer kidolgozása a Grand-Ács kft. részére – innovációs kutatás – 2007
- 5) Hantos, Z: Kétrétegű boronafalas faházrendszer hő-és páratechnikai vizsgálata a Grand-Ács Kft. részére – innovációs kutatás – 2008
- 6) Hantos, Z: Hő- és páratechnikai elemzés a Grand-Ács Kft. könnyűszerkezetes lakóépületeinek külső térelhatároló falszerkezetéről – innovációs kutatás – 2008
- 7) Szabó, P.– Winkler, G.– Hantos, Z.– Andor, K.– Bejő, L.– Oszvald, F.– Sági, É. – Wehoffer, V: A fa az építészetben – digitális jegyzet (Kézirat, 2007)
- 8) Hantos, Z: A magyar és európai uniós hő-és páratechnikai szabványok kapcsolata, összehasonlítása – doktori szigorlat, Sopron, 2008
- 9) Hantos, Z: Könnyűszerkezetes épületek hőtechnikai fejlesztése – doktori beszámoló, Sopron, 2008
- 10) Csehi, J: Energetika, megújuló energiák (in: Vasi Építész és Mérnök, IV. évf. 7-8. szám, 2007. július-augusztus)
- 11) Prohászka, R: Az épületenergetika helyzete hazánkban (in: Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szakszövetségének lapja, XLV/6 – 2007/6)
- 12) IEA: Az IEA Tagországok Energiapolitikája – Magyarország 2006. évi vizsgálata (International Energy Agency: Energy Policies of IEA Countries – Hungary 2006 Review) (IEA Kommunikációs és Információs Irodája, Párizs, 2007)
- 13) Dr. Gács, I.- Bihari, P.- Dr. Fazekas, A. I.- Dr. Hegedűs, M.-Dr. Tihanyi, L.: Magyarország primerenergia-hordozó struktúrájának elemzése, alakításának stratégiai céljai (in: Az új magyar energiapolitika tézisei a 2005-2030 közötti időszakra, Gazdasági és Közlekedési Minisztérium, Budapest, 2006)
- 14) Medgyasszay Péter: Új elvek szerint kell építkezni (in: Vas Népe Ingatlanpiac melléklete, kiadja a Pannon Lapok Társasága, Szombathely, 2008. február 19.)

- 15) Feist, Wolfgang: Tűrési vizsga: passzívházak a legkeményebb télben (Der Härtetest: Passivhäuser im strengen Winter 1996/97; GRE-Inform, 12/1997.)
(http://www.domtec.hu/doc/passz_haz_cikk.doc.)
- 16) Feist, Wolfgang: Objektív tapasztalatok: mérési eredmények a lakott passzívházakban (Erfahrungen objektiv: Meßergebnisse aus bewohnten Passivhäusern, in: Tagungsband zur 4. Passivhaus Tagung. Passivhaus Dienstleistung GmbH, 1. Auflage, Darmstadt 2000)
- 17) www.cepheus.de – A CEPHEUS EU-projekt hivatalos beszámoló-honlapja
- 18) www.hausderzukunft.at – Az osztrák Haus der Zukunft program hivatalos honlapja
- 19) www.passiv.de, 2008 – a németországi Passzívház Intézet hivatalos honlapja
- 20) Kellner, Irma: Passzív házak ismertetése, elemzése – diplomamunka (Nyugat-magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar, Sopron, 2005)
- 21) Zöld, András: Energiatudatos építészet (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1999)
- 22) Tőkés, Bence: Az ezredik osztrák passzívház (in: Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szakszövetségének lapja, XLIV/9 – 2006/9.)
- 23) Hüfner, Kornél: Passzívház Bécsben (in: AustroTimes – AustroTherm Magazin, II/3 – 2007 ősz)
- 24) Pfluger, R.; Schnieders, J.; Kaufmann, B.; Feist, W.: Nagy hőszigetelőképeségű ablakrendszerek: beépítés utáni vizsgálatok és optimalizáció (Hochwärmedämmende Fenstersysteme: Untersuchung und Optimierung im eingebauten Zustand, HIWIN-A részprojekt, kutatási beszámoló, Darmstadt, 2003)
- 25) Feist, Wolfgang: Aufbruch zur Energieeffizienz; Tagungsband 11. International Passivhaustagung 2007, Bregenz
- 26) Készház ABC (Építőipari Vállalkozók Országos Szövetsége – Könnyűszerkezet-építő Tagozat, Magyar Készházgyártók Szövetsége, Budapest, 2004)
- 27) Dr. Tihanyi, L.– Imre, T.– Solti, K.– I.- Dr. Szergényi, I.: Rendelkezésre álló fosszilis források (in: Az új magyar energiapolitika tézisei a 2005-2030 közötti időszakra, Gazdasági és Közlekedési Minisztérium, Budapest, 2006)
- 28) Zöld, A: Épületenergetika (Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000)
- 29) Zöld, A: Épületfizika (Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000)
- 30) Fekete, I.: Épületfizika kézikönyv (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985)
- 31) Baumann, M.– Dr. Csoknyai, T.– Dr. Kalmár, F.– Dr. Magyar, Z.– Dr. Majoros, A.– Dr. Osztrólczy, M.– Szalay, Zs.– Prof. Zöld, A: Az új épületenergetikai szabályozás segédlet, (Budapest, 2006)
- 32) Marsh, P.: Hőszigetelés és Kondenzáció (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984) Gábor, L.: Épületszerkezettan I.-IV. (Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2001)
- 33) Pásztory, Z. Hőhidak a faházban I. (Építési Piac, Kiadó: Terc Kft. Budapest XXXVII/2 – 2003/március)
- 34) Pásztory, Z. Hőhidak a faházban II. (Építési Piac, Kiadó: Terc Kft. Budapest XXXVII/3 – 2003/április)
- 35) Szikra, Cs: Hőhidak (Előadás, BME, Budapest, 2006)

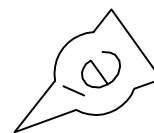
- 36) Brúzs, L.- Horváth, S.- Dr. Tóth, E: Tetőszerkezetek A-tól Z-ig (Verlag Dashöfer, Budapest, 2002)
- 37) Wittmann, Gy.: Mérnöki faszerkezetek I. (Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 2000)
- 38) Wittmann, Gy.: Mérnöki faszerkezetek II. (Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 2001)
- Sobó, J: Középítéstan I.-II. (Selmecbánya, 1888-89)
- 39) Lochner, D.: Tetőtérbeépítés (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983)
- 40) Kolb, J: Holzbau mit System (Birkhäuser, Basel-Boston-Berlin, 2007)
- 41) Götz, K.- Hoor, D.- Möhler, K.- Natterer, J: Holzbau Atlas (Birkhäuser Verlag AG, Basel, 2003)
- 42) Fritzen, K.- Krämer, Fr.-J.- Metzger, P.- Mandy, P.- Schwab, H.-Steinmetz, D.- Tobisch, S: Holzrahmenbau (Bund Deutscher Zimmermeister, Bonn, 2000)
- 43) Wärmebrückenkatalog (Bundesamt für Energie BFE, Zurich, 2002)
- 44) Moderner Holzhausbau in Fertigbauweise (Bundesverband Deutscher Fertigbau, Bad Honnef, 2001)
- 45) Massong, F.: Wärmeschutz im Dach- und Holzbau (Rudolf Müller, Köln, 2004)
- 46) Kaufmann, B.- Feist, W.- John, M.- Nagel, M: Das Passivhaus – Energie-Effizientes-Bauen (in: Informationdienst Holz - Holzbau Handbuch R1/T3/F10, Kiadó: Bruderverlag, Karlsruhe, 2002)
- 47) Hauser, G.- Otto, F: Niedrigenergiehäuser (in: Informationdienst Holz - Holzbau Handbuch R1/T3/F2, Kiadó: Bruderverlag, Karlsruhe, 1998)
- 48) Winter, S.- Schmidt, D: Holzbau und die Energieeinsparverordnung (in: Informationdienst Holz - Holzbau Handbuch R3/T2/F2, Kiadó: Bruderverlag, Karlsruhe, 2000)
- 49) Übelhör, Ch: Vergleich von Computerprogrammen zur Berechnung von 2-dimensionale Wärmeströmen und Erstellung eines Wärmebrückenkataloges (Diplomarbeit, Fachhochschule Rosenheim, Rosenheim, 2003)
- 50) Véghely, T: Megújuló energiáink (in: Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szakszövetségének lapja, XLIII/4 – 2005/4)
- 51) Török, A: A napenergia hasznosítása (in: Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szakszövetségének lapja, XLIII/4 – 2005/4)
- 52) Medgyasszay, P: Családi házak fenntartható építése (in: Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szakszövetségének lapja, XLIII/4 – 2005/4)
- 53) Sólyomi, P: Hőátbocsátás (in: Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szakszövetségének lapja, XLIII/7-8 – 2005/7-8)
- 54) Fritz, P: Bevezetés előtt az energiatanúsítvány (in: Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szakszövetségének lapja, XLIV/7-8 – 2006/7-8)
- 55) Véghely, T: Zéró energia házak (in: Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szakszövetségének lapja, XLIV/9 – 2006/9.)
- 56) Novák, Zs: Spóroljunk a fűtésszámlán (in: Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szakszövetségének lapja, XLIV/10 – 2006/10)
- 57) Kárpáti József: Növekvő igény készházakra (in: Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szakszövetségének lapja, XLIV/11 – 2006/11)

- 58) Bálint, P: Hol tart az épületenergetikai szabályozás? (in: Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szakszövetségének lapja, XLV/2-3 – 2007/2-3)
- 59) Csoknyai, T: Passzív házak (in: Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szakszövetségének lapja, XLV/2-3 – 2007/2-3)
- 60) Felföldi, I: A hőtároló szigetelés (in: Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szakszövetségének lapja, XLV/2-3 – 2007/2-3)
- 61) Szatmári, Z: Régi tetők korszerűsítése (in: Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szakszövetségének lapja, XLV/2-3 – 2007/2-3)
- 62) Farkas, R: Nincs épület hőhíd nélkül! (in: Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szakszövetségének lapja, XLV/2-3 – 2007/2-3)
- 63) Baumit Kft: Ne a dübel, a tárcsa tarsa! - reklámcikk (in: Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szakszövetségének lapja, XLV/6 – 2007/6)
- 64) Ádám, B: Geotermális hőszivattyús rendszerek (in: Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szakszövetségének lapja, XLV/9 – 2007/9)
- 65) DEEM: Kockázati alapú megoldások az épületenergetikában (in: Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szakszövetségének lapja, XLV/12 – 2007/12)
- 66) Balogh, L: Passzív házak (in: Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szakszövetségének lapja, XLVI/2 – 2008/2)
- 67) Kovách, L: Tetőtéri újdonságok (in: Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szakszövetségének lapja, XLVI/2 – 2008/2)
- 68) Berecz, T: Épületek hőfizikája (in: Bautrend I/6. – 2007/6, kiadó: HVG Press Kft, Budapest)
- 69) Obrusánszky, B: Energiamegtakarítás (in: Bautrend I/6. – 2007/6, kiadó: HVG Press Kft, Budapest)
- 70) Kékesy, P: Intelligens homlokzat (in: Bautrend I/6. – 2007/6, kiadó: HVG Press Kft, Budapest)
- 71) Timaffy, L: Passzívház konferencia (in: Bautrend II/1. – 2008/1, kiadó: HVG Press Kft, Budapest)
- 72) Wágner, T: Társasház geotermikus energiával (in: Bautrend II/1. – 2008/1, kiadó: HVG Press Kft, Budapest)
- 73) Debreczy, Z: Passzívház lépésről lépésre – a szigetelés (in: Bautrend II/3. – 2008/3, kiadó: HVG Press Kft, Budapest)
- 74) Makésház magazin (a 3Ház magazin melléklete, kiadó: Folbau Kft., Budapest, 2008)
- 75) 7/2006. (V.24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról in: Magyar Közlöny 2006/62. Kiadó: Magyar Hivatalos Közlönykiadó, Budapest, 2006
- 76) 176/2008. (VI.30.) Korm. rendelet az épületek energetikai jellemzőinek tanúsításáról in: Magyar Közlöny 2008/96. Kiadó: Magyar Hivatalos Közlönykiadó, Budapest, 2008
- 77) MSZ-04-140-2:1991 – Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai – Hőtechnikai méretezés Kiadó: Környezetvédelmi- és Területfejlesztési Minisztérium, Budapest, 1992
- 78) MSZ-EN.ISO 6946:1996 – Épületszerkezetek és épületelemek – Hővezetési ellenállás és hőátbocsátási tényező – Számítási módszerek (angol nyelvű) Kiadó: Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 1999

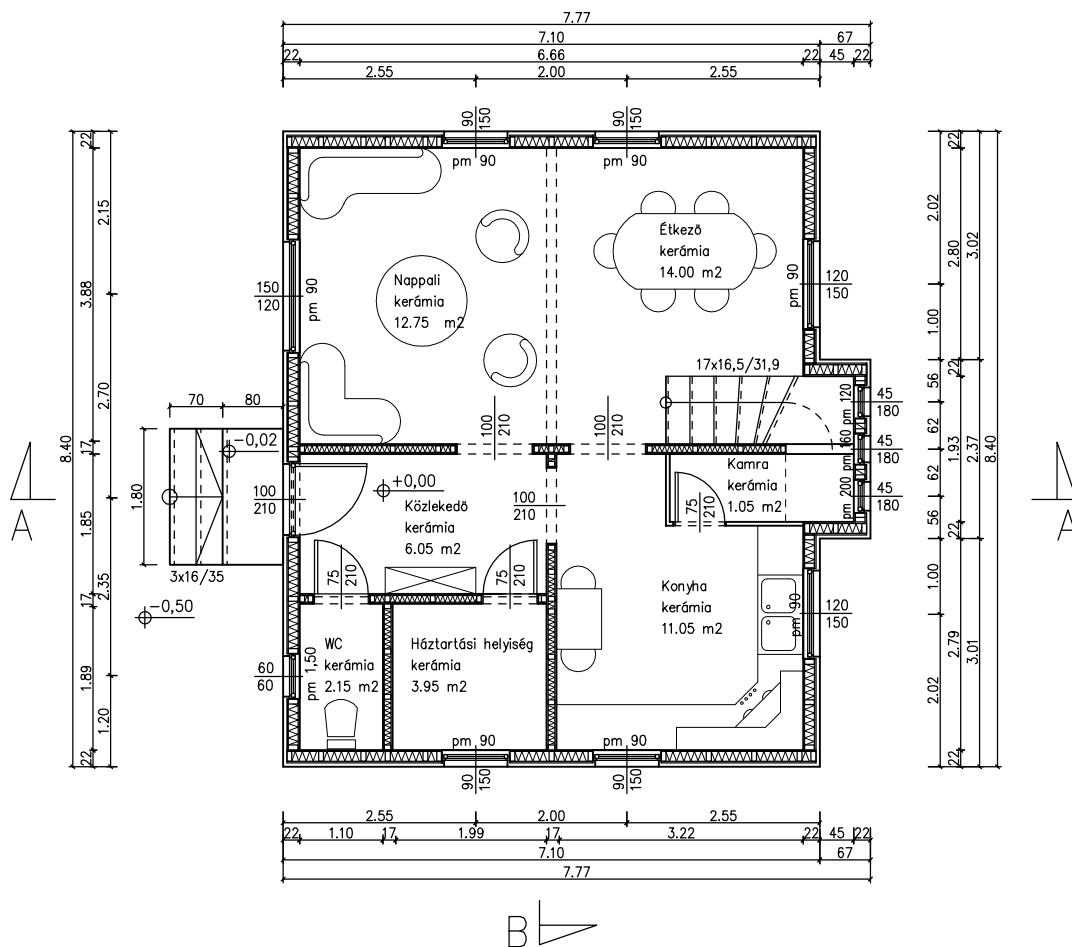
- 79) MSZ-EN.ISO 6946:2003 – Épületszerkezetek és épületelemek – Hővezetési ellenállás és hőátbocsátási tényező – Számítási módszerek (angol nyelvű) Kiadó: Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 2003
- 80) MSZ EN ISO 13788:2001 – Épületszerkezetek és épületelemek hő- és nedvességtechnikai viselkedése – Kritikus felületi nedvességet és a szerkezeten belüli páralecsapódást megelőző belső felületi hőmérséklet – Számítási módszerek Kiadó: Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 2002
- 81) MSZ EN 12524:2000 – Építési anyagok és termékek – Hő- és nedvességtechnikai tulajdonságok – Táblázatos tervezési értékek Kiadó: Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 2003
- 82) MSZ EN 10211-1:1995 – Hőhidak az épületszerkezetekben. Hőáramok és felületi hőmérsékletek számítása, általános módszerek Kiadó: Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 2003)
- 83) MSZ EN 10211-2:2001 – Hőhidak az épületszerkezetekben. Hőáramok és felületi hőmérsékletek számítása, vonal menti hőhidak Kiadó: Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 2002)
- 84) MSZ EN ISO 14683:2007 – Hőhidak az épületszerkezetekben. Vonal menti hőátbocsátási tényező. Egyszerűsített módszerek és felülírható kiindulóértékek Kiadó: Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 2008)
- 85) WinWatt – használati útmutató – Baunit Kft. – 2008
- 86) Irányelvek a szeglemezes kötésű fa tartók méretezésére és kivitelezésére – 1991
- 87) Fermacell – tervezési segédlet – www.xella.de
- 88) Roto – tervezési segédlet – www.roto.hu
- 89) Internorm – tervezési segédlet – www.internorm.hu
- 90) Internorm – Fenster Visionen (Internorm GmbH, Traun, 2008)
- 91) Baunit – tervezési segédlet – www.baunit.hu
- 92) Rockwool – tervezési segédlet – www.rockwool.hu
- 93) Therwoolin – műszaki adatlapok – www.ursa.hu
- 94) AustroTherm – műszaki adatlapok – www.austrotherm.hu
- 95) JafHolz Kft honlapja – www.jafholz.hu
- 96) Tondach – műszaki adatlapok – www.tondach.hu
- 97) IsoFloc – műszaki adatlapok – www.isofloc.de
- 98) Isover – műszaki adatlapok – www.isover.hu
- 99) Bachl – tervezési segédlet – www.bachl.hu
- 100) Az Avers Kft. (Lábatlan) honlapja: www.internetepitoanyag.hu
- 101) A német Passivhaus Institut (Darmstadt) honlapja: www.passiv.de
- 102) Carsten Grobe építészirodájának (Hannover) honlapja: www.passivhaus.de
- 103) A Passzívház Akadémia Kft. (Budapest) honlapja: www.passivhaz.akademia.hu
- 104) A Passzívház Kft (Gödöllő) honlapja: www.passzivhaz.info.hu
- 105) A Verivox GmbH honlapja – www.verovox.de

8. Mellékletek

8.1. A vizsgált lakóépület rajzai



B

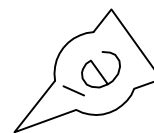


B

E1

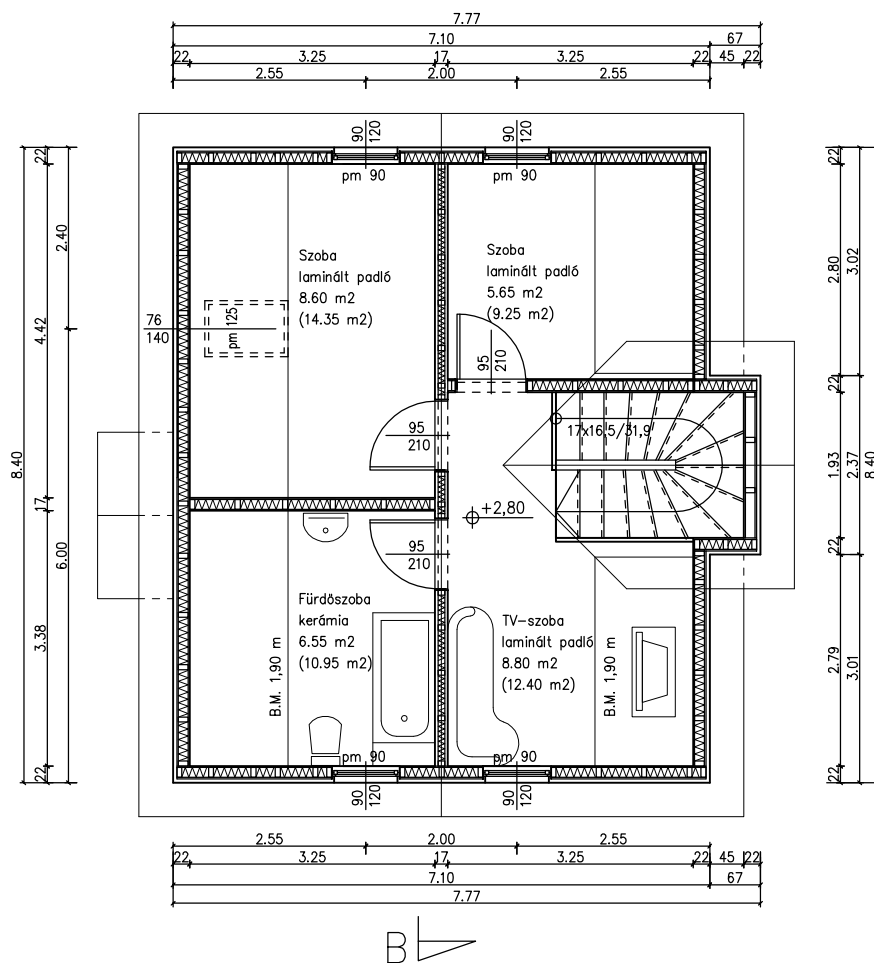
Földszint alaprajz
Fa-bordavázás építési rendszer
Alaprajz (M 1:100)
Hantos Zoltán

	Megnevezés	m2	m3
F-01	Nappali	12,75	31,85
F-02	Étkező	14,00	35,00
F-03	Közlekedő	6,05	15,15
F-04	Konyha	11,05	27,65
F-05	Kamra	1,05	3,75
F-06	Wc	2,15	5,35
F-07	Háztartási helyiség	3,95	9,85
Földszint összesen:		51,00	128,5



B

A



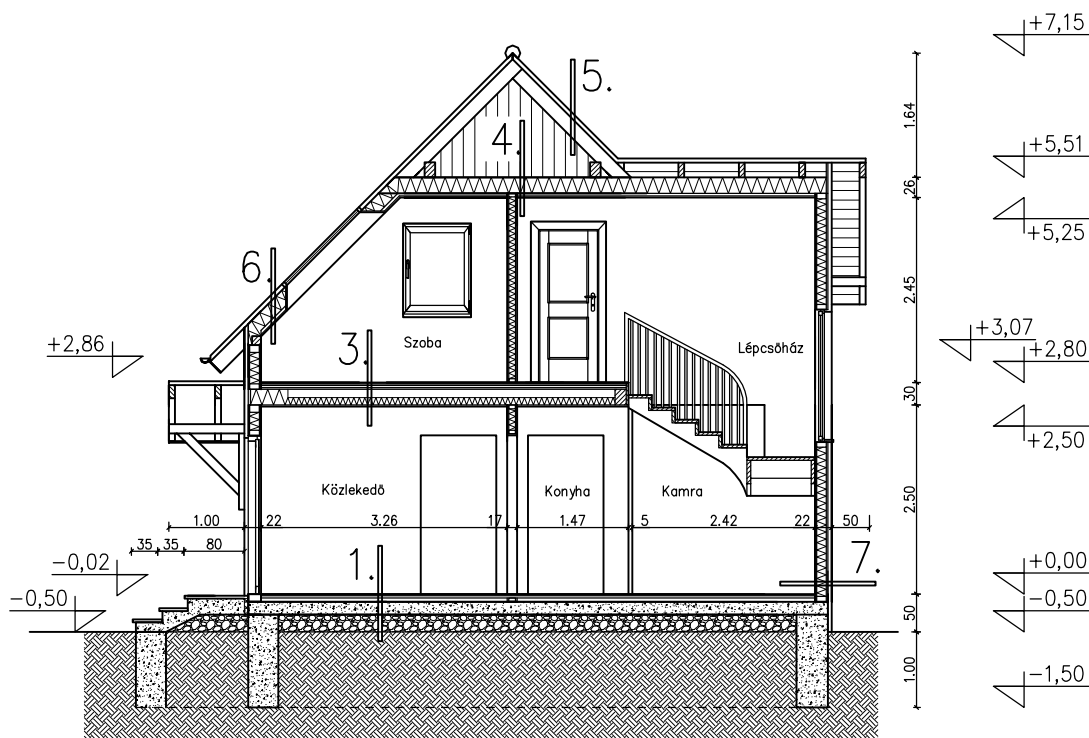
A

B

E2

Tetőtér alaprajz
Fa-bordavázazas építési rendszer
Alaprajz (M 1:100)
Hantos Zoltán

	Megnevezés	m2	m3
T-01	Szoba	8,60	27,65
T-02	Szoba	5,65	17,80
T-03	Fürdőszoba	6,55	21,15
T-04	TV-szoba	8,80	26,50
Tetőtér összesen:		30,60	93,10



1. talajon fekvő padló
kerámiaburkolat 0,8 cm
ragasztóhabarcs 0,5 cm
aljatbeton 7,5 cm
technológiai szigetelés 1 rtg.
lépésálló szigetelés 6 cm
monolit vasbeton lemez 20 cm
kavicságy 25 cm
termett talaj

2. látszó födém
laminált padló 0,8 cm
úszatóhab 0,5 cm
aljatbeton 5 cm
technológiai szigetelés 1 rtg.
lépésálló szigetelés 4 cm
hajópadló terítés 1,8 cm
gerendázat 20 cm

3. köztés födém
laminált padló 0,8 cm
úszatóhab 0,5 cm
aljatbeton 5 cm
technológiai szigetelés 1 rtg.
lépésálló szigetelés 4 cm
OSB terítés 1,8 cm
gerendázat 20 cm, közte
közetgyapot szigetelés 10 cm
lécváz 5 cm
gipszkarton burkolat 1,5 cm

4. padlásfödém
gerendázat 20 cm, közte
közetgyapot szigetelés 20 cm
lécváz 5 cm, közte
közetgyapot szigetelés 5 cm
párazáró fólia 1 rtg.
gipszkarton burkolat 1,5 cm

5. szigeteletlen tetősík
cserepezés 1 rtg
cserepléc 3 cm
ellenléc 5 cm
alátéthéjazat 1 rtg.
szaruzat 15 cm

6. szigetelt tetősík
cserepezés 1 rtg
cserepléc 3 cm
ellenléc 5 cm
alátéthéjazat 1 rtg.
hőszigetelő farostlemez 2,2 cm
szaruzat 15 cm, közte
közetgyapot szigetelés 15 cm
lécváz 5 cm, közte
közetgyapot szigetelés 5 cm
párazáró fólia 1 rtg.
gipszkarton burkolat 1,5 cm

7. külső fal
homlokzati dörzsvakolat
expandált polisztirol 5 cm
gipszrost lemez 1,5 cm
fa bordaváz 14 cm, közte
közetgyapot szigetelés 14 cm
párazáró fólia 1 rtg.
gipszrost lemez 1,5 cm

8. belső fal
gipszrost lemez 1,5 cm
fa bordaváz 14 cm, közte
közetgyapot szigetelés 5 cm
gipszrost lemez 1,5 cm

1. talajon fekvő padló
kerámiaburkolat 0,8 cm
ragasztóhabarcs 0,5 cm
aljatbeton 7,5 cm
technológiai szigetelés 1 rtg.
lépésálló szigetelés 6 cm
monolit vasbeton lemez 20 cm
kavicságy 25 cm
termett talaj

2. látszó födém
laminált padló 0,8 cm
úszatóhab 0,5 cm
aljatbeton 5 cm
technológiai szigetelés 1 rtg.
lépésálló szigetelés 4 cm
hajópadló terítés 1,8 cm
gerendázat 20 cm

3. köztés födém
laminált padló 0,8 cm
úszatóhab 0,5 cm
aljatbeton 5 cm
technológiai szigetelés 1 rtg.
lépésálló szigetelés 4 cm
OSB terítés 1,8 cm
gerendázat 20 cm, közte
közetgyapot szigetelés 10 cm
lécváz 5 cm
OSB borítás 1,5 cm
gipszkarton burkolat 1,25 cm

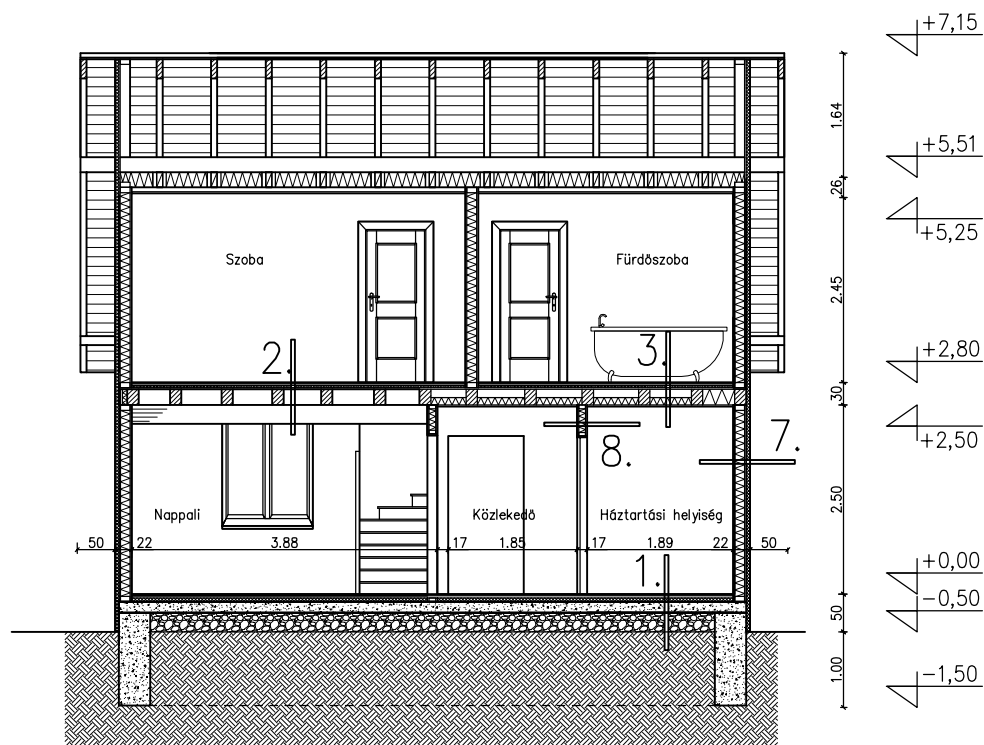
4. padlásfödém
gerendázat 15 cm, közte
közetgyapot szigetelés 15 cm
közetgyapot szigetelés 12 cm
függesztett lécváz 5 cm, közte
közetgyapot szigetelés 5 cm
párazáró fólia 1 rtg.
OSB borítás 1,5 cm
gipszkarton burkolat 1,25 cm

5. szigeteletlen tetősík
cserepezés 1 rtg
cserepléc 3 cm
ellenléc 5 cm
alátéthéjazat 1 rtg.
távtartó gerenda 10 cm
szaruzat 15 cm

6. szigetelt tetősík
cserepezés 1 rtg
cserepléc 3 cm
ellenléc 5 cm
alátéthéjazat 1 rtg.
poliuretán szigetelőtábla 10 cm
deszkaterítés 2,5 cm
szaruzat 15 cm, közte
közetgyapot szigetelés 15 cm
lécváz 5 cm, közte
közetgyapot szigetelés 5 cm
párazáró fólia 1 rtg.
OSB borítás 1,5 cm
gipszkarton burkolat 1,25 cm

7. külső fal
homlokzati dörzsvakolat
expandált polisztirol 12 cm
gipszrost lemez 1,5 cm
fa bordaváz 16 cm, közte
közetgyapot szigetelés 16 cm
párazáró fólia 1 rtg.
OSB borítás 1,5 cm
gipszkarton burkolat 1,25 cm

8. belső fal
gipszrost lemez 1,5 cm
fa bordaváz 14 cm, közte
közetgyapot szigetelés 5 cm
gipszrost lemez 1,5 cm



1. talajon fekvő padló
kerámiaburkolat 0,8 cm
ragasztóhabarcs 0,5 cm
aljatbeton 7,5 cm
technológiai szigetelés 1 rtg.
lépésálló szigetelés 6 cm
monolit vasbeton lemez 20 cm
kavicságy 25 cm
termett talaj

2. látszó födém
laminált padló 0,8 cm
úszatóhab 0,5 cm
aljatbeton 5 cm
technológiai szigetelés 1 rtg.
lépésálló szigetelés 4 cm
hajópadló terítés 1,8 cm
gerendázat 20 cm

3. köztés födém
laminált padló (kerámia) 0,8 cm
úszatóhab (ragasztóhabarcs) 0,5 cm
aljatbeton 5 cm
technológiai szigetelés 1 rtg.
lépésálló szigetelés 4 cm
OSB terítés 1,8 cm
gerendázat 20 cm, közte
köztygapot szigetelés 10 cm
lécváz 5 cm
gipszkarton burkolat 1,5 cm

4. padlásfödém
gerendázat 20 cm, közte
köztygapot szigetelés 20 cm
lécváz 5 cm, közte
köztygapot szigetelés 5 cm
párazáró fólia 1 rtg.
gipszkarton burkolat 1,5 cm

5. szigetetlen tetőcsík
cserepezés 1 rtg
cserepléc 3 cm
ellenléc 5 cm
alátéthéjazat 1 rtg.
szaruzat 15 cm

6. szigetelt tetőcsík
cserepezés 1 rtg
cserepléc 3 cm
ellenléc 5 cm
alátéthéjazat 1 rtg.
hőszigetelő farostlemez 2,2 cm
szaruzat 15 cm, közte
köztygapot szigetelés 15 cm
lécváz 5 cm, közte
köztygapot szigetelés 5 cm
párazáró fólia 1 rtg.
gipszkarton burkolat 1,5 cm

7. külső fal
homlokzati dörzsvakolat
expandált polisztirol 5 cm
gipszrost lemez 1,5 cm
fa bordaváz 14 cm, közte
köztygapot szigetelés 14 cm
párazáró fólia 1 rtg.
gipszrost lemez 1,5 cm

8. belső fal
gipszrost lemez 1,5 cm
fa bordaváz 14 cm, közte
köztygapot szigetelés 5 cm
gipszrost lemez 1,5 cm

1. talajon fekvő padló
kerámiaburkolat 0,8 cm
ragasztóhabarcs 0,5 cm
aljatbeton 7,5 cm
technológiai szigetelés 1 rtg.
lépésálló szigetelés 6 cm
monolit vasbeton lemez 20 cm
kavicságy 25 cm
termett talaj

2. látszó födém
laminált padló 0,8 cm
úszatóhab 0,5 cm
aljatbeton 5 cm
technológiai szigetelés 1 rtg.
lépésálló szigetelés 4 cm
hajópadló terítés 1,8 cm
gerendázat 20 cm

3. köztés födém
laminált padló (kerámia) 0,8 cm
úszatóhab (ragasztóhabarcs) 0,5 cm
aljatbeton 5 cm
technológiai szigetelés 1 rtg.
lépésálló szigetelés 4 cm
OSB terítés 1,8 cm
gerendázat 20 cm, közte
köztygapot szigetelés 10 cm
lécváz 5 cm
OSB borítás 1,5 cm
gipszkarton burkolat 1,25 cm

4. padlásfödém
gerendázat 15 cm, közte
köztygapot szigetelés 15 cm
köztygapot szigetelés 12 cm
függesztett lécváz 5 cm, közte
köztygapot szigetelés 5 cm
párazáró fólia 1 rtg.
OSB borítás 1,5 cm
gipszkarton burkolat 1,25 cm

5. szigetetlen tetőcsík
cserepezés 1 rtg
cserepléc 3 cm
ellenléc 5 cm
alátéthéjazat 1 rtg.
távtartó gerenda 10 cm
szaruzat 15 cm

6. szigetelt tetőcsík
cserepezés 1 rtg
cserepléc 3 cm
ellenléc 5 cm
alátéthéjazat 1 rtg.
poliuretán szigetelőtábla 10 cm
deszkaterítés 2,5 cm
szaruzat 15 cm, közte
köztygapot szigetelés 15 cm
lécváz 5 cm, közte
köztygapot szigetelés 5 cm
párazáró fólia 1 rtg.
OSB borítás 1,5 cm
gipszkarton burkolat 1,25 cm

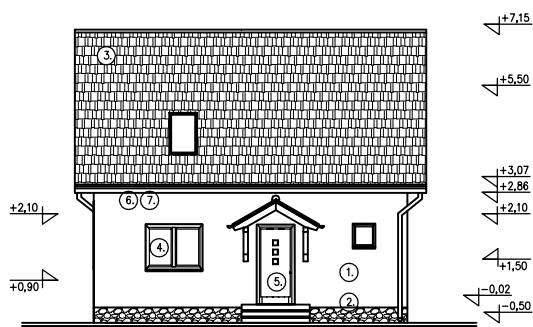
7. külső fal
homlokzati dörzsvakolat
expandált polisztirol 12 cm
gipszrost lemez 1,5 cm
fa bordaváz 16 cm, közte
köztygapot szigetelés 16 cm
párazáró fólia 1 rtg.
OSB borítás 1,5 cm
gipszkarton burkolat 1,25 cm

8. belső fal
gipszrost lemez 1,5 cm
fa bordaváz 14 cm, közte
köztygapot szigetelés 5 cm
gipszrost lemez 1,5 cm

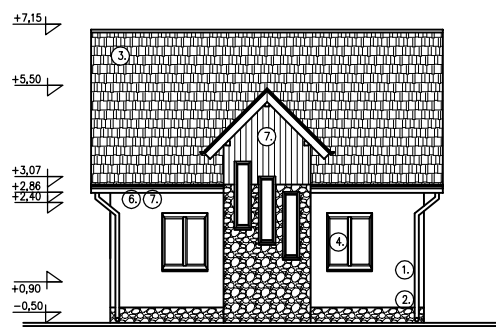
E4

B-B metszet
Fa-bordavázás építési rendszer
Metszet (M 1:100)
Hantos Zoltán

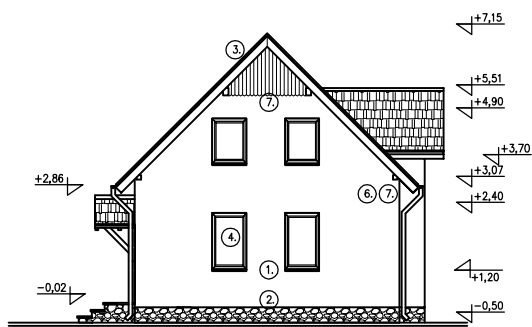
Hantos Zoltán



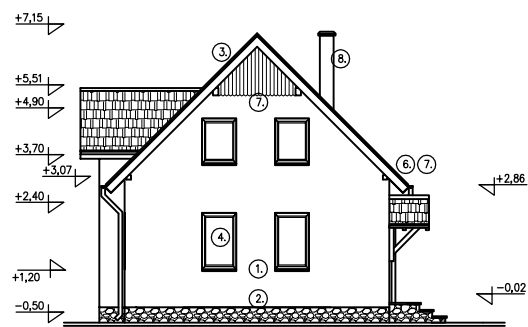
É-K homlokzat



D-Ny homlokzat



É-Ny homlokzat



D-K homlokzat

1. homlokzati dörzsvakolat törtfehér színben
2. homlokzati köburkolat szürke színben
3. betoncserep antracitszínben
4. fa nyílászárók fenyő színben
5. fa bejárati ajtó fenyő színben
6. lambériázott szarufavégek barna színben
7. homlokzati faburkolat fenyő színben

E5

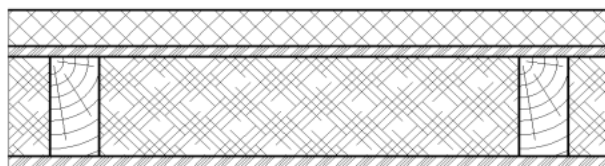
Homlokzatok
Fa-bordavázás építési rendszer
Homlokzat (M 1:200)
Hantos Zoltán

Hantos Zoltán

8.2. Átlagos kivitelű fa bordavázás épület

8.2.1. Rétegredek adatlapjai

Falszerkezet adatlapja



A szerkezet rétegendje:

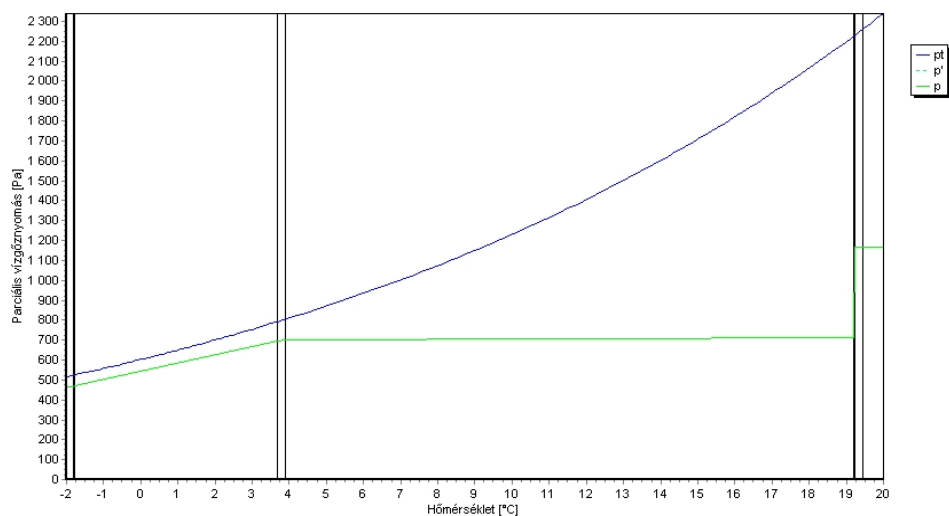
Gipszrost-lemez	1,5	cm
Párazáró fólia	1	rtg
Bordaváz, közte	6,5/14	cm
Szálás hőszigetelés	14	cm
Gipszrost-lemez	1,5	cm
Polisztirol-tábla	5	cm
Falvastagság	22,0	cm

R_{si} belső hőátadási ellenállás	0,130	$m^2 \times K/W$
R_{se} külső hőátadási ellenállás	0,040	$m^2 \times K/W$

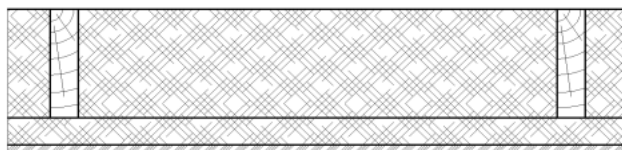
U hőátbocsátási tényező (MSZ EN ISO 6946 szerint): 0,22 $W/m^2 \times K$

m hőtárolótömege (MSZ EN ISO 13790 szerint): 18 kg/m^2

Párányomás-diagram (MSZ EN ISO 13788 szerint):



Födémszerkezet



A szerkezet rétegrendje:

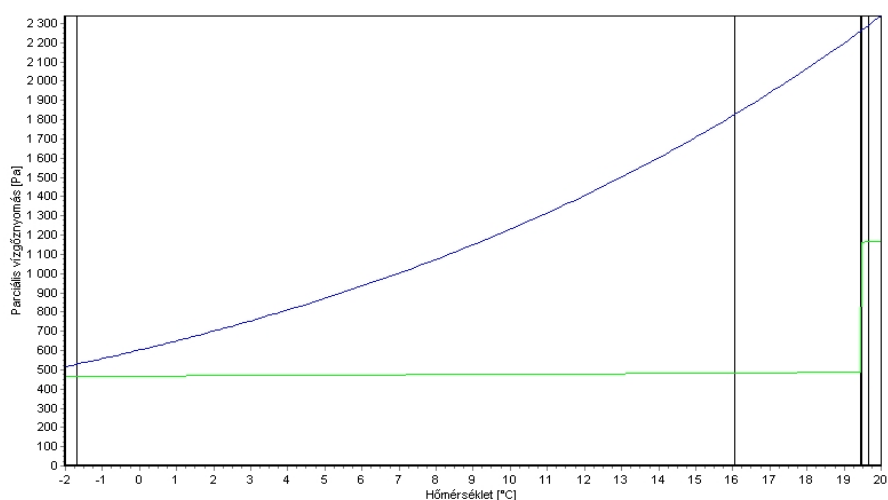
Gipszkarton burkolat	1,5	cm
Párazáró fólia	1	rtg.
Szerelő-lécváz, közte	5/5	cm
Szálas hőszigetelés	5	cm
Gerendázat, közte	2×5/20	cm
Szálas hőszigetelés	15	cm
Falvastagság	21,5	cm

R_{si} belső hőátadási ellenállás	0,100	$m^2 \times K/W$
R_{se} külső hőátadási ellenállás	0,040	$m^2 \times K/W$

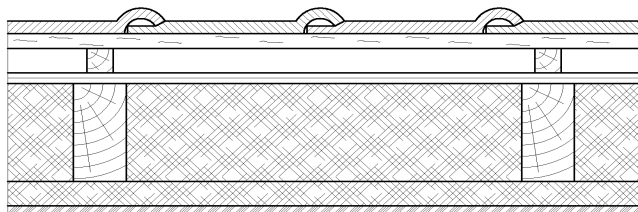
U hőátbocsátási tényező (MSZ EN ISO 6946 szerint): 0,18 $W/m^2 \times K$

m hőátárolótömege (MSZ EN ISO 13790 szerint): 15 kg/m^2

Páramyomás-diagram (MSZ EN ISO 13788 szerint):



Tetőszerkezet adatlapja



A szerkezet rétegendje:

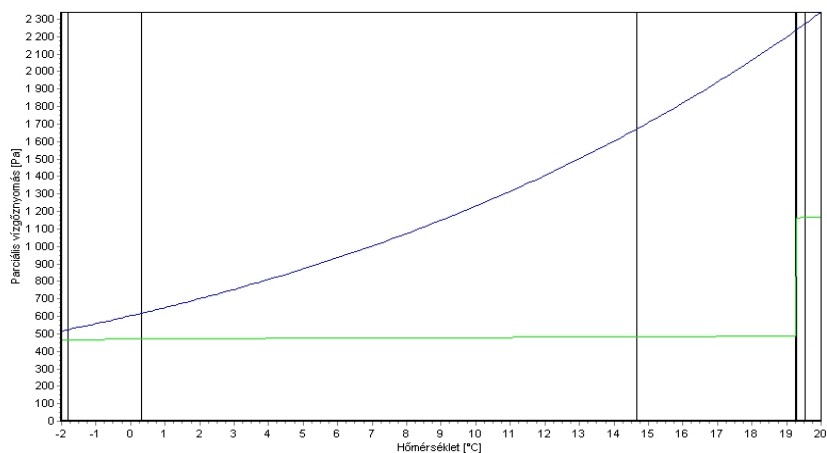
Gipszkarton burkolat	1,5	cm
Párazáró fólia	1	rtg.
Szerelő-lécváz, közte	5/5	cm
Szálas hőszigetelés	5	cm
Gerendázat, közte	10/15	cm
Szálas hőszigetelés	15	cm
Hőszigetelő farostlemez	2,5	cm
Falvastagság	25,0	cm

R_{si} belső hőátadási ellenállás	0,130	$m^2 \times K/W$
R_{se} külső hőátadási ellenállás	0,040	$m^2 \times K/W$

U hőátbocsátási tényező (MSZ EN ISO 6946 szerint): 0,19 $W/m^2 \times K$

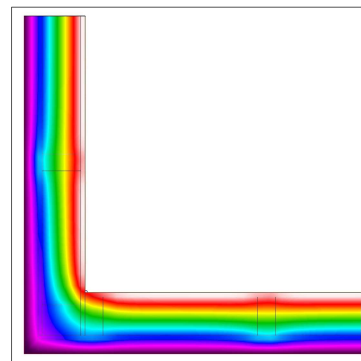
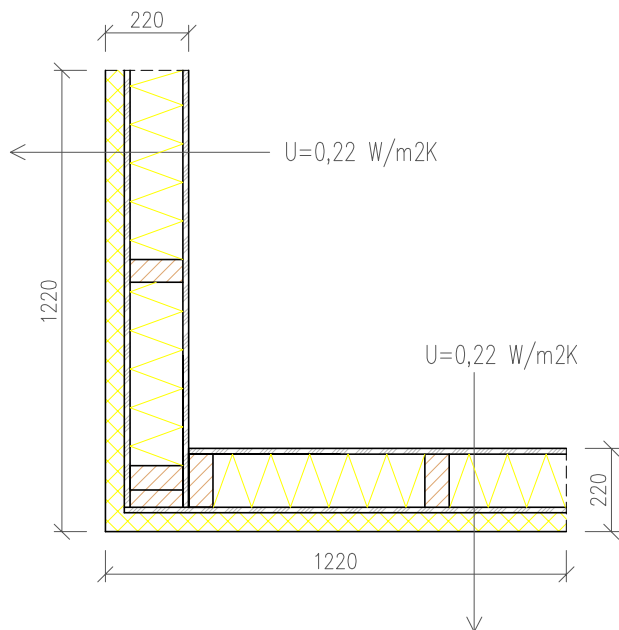
m hőtárolótömege (MSZ EN ISO 13790 szerint): 15 kg/m^2

Páryanomás-diagram (MSZ EN ISO 13788 szerint):



8.2. Átlagos kivitelű fa bordavázás épület

8.2.2. Hőhídkatalógus



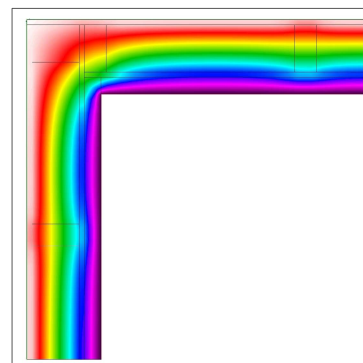
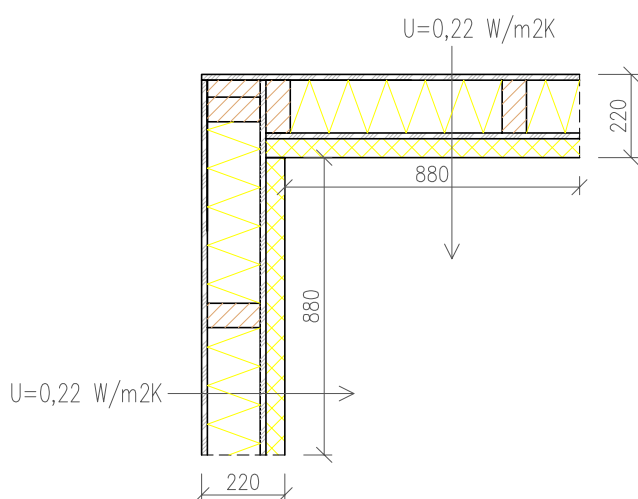
- Fa
- OSB
- Szálás hőszigetelés
- Polisztirol hőszigetelés
- Gipszrost
- Gipszlap
- Beton/Vasbeton
- Talaj
- Kavics

Külső falak 90°-os sarokkapcsolata
Vízszintes metszet (M 1:10)

Ψ_e	-0,039	W/mK
f_{Rsi}	0,809	-

φ_{80}	0,62
φ_{100}	0,70

01



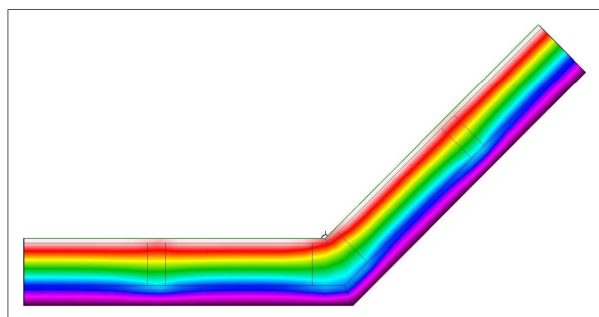
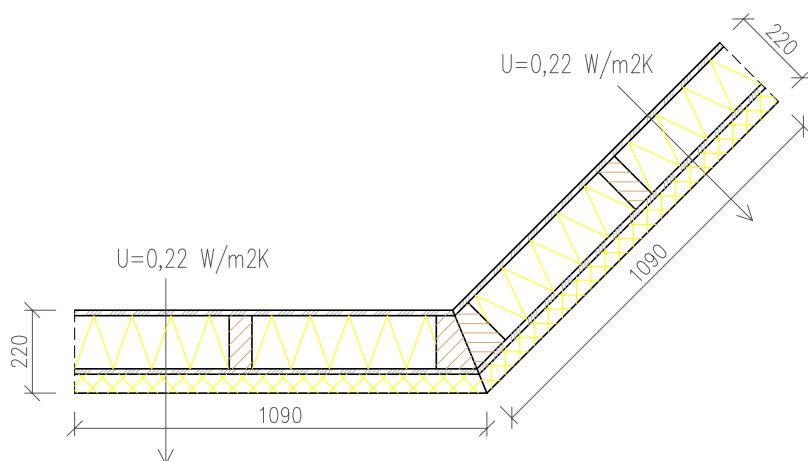
- Fa
- OSB
- Szálás hőszigetelés
- Polisztirol hőszigetelés
- Gipszrost
- Gipszlap
- Beton/Vasbeton
- Talaj
- Kavics

Külső falak 270°-os sarokkapcsolata
Vízszintes metszet (M 1:10)

Ψ_e	0,046	W/mK
f_{Rsi}	0,964	-

φ_{80}	0,75
φ_{100}	0,90

02



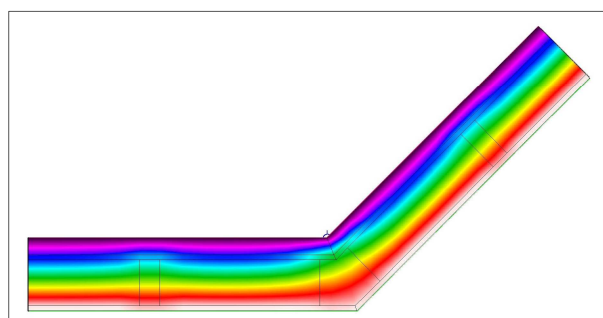
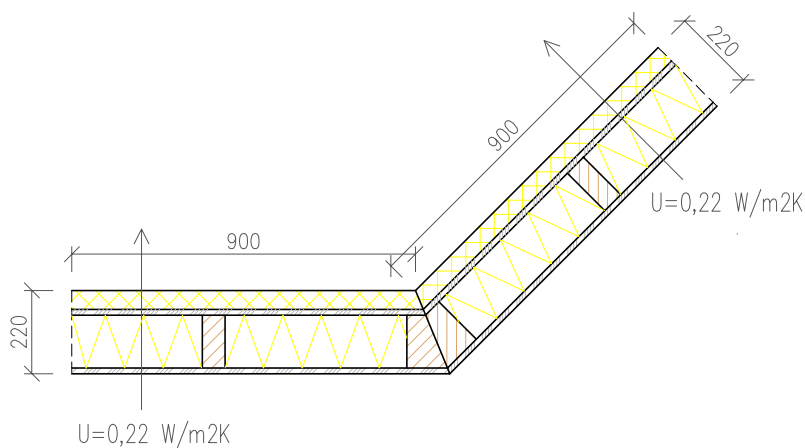
- Fa
- OSB
- Szálás hőszigetelés
- Polisztirol hőszigetelés
- Gipszrost
- Gipszlap
- Beton/Vasbeton
- Talaj
- Kavics

Külső falak 135°-os sarokkapcsolata
Vízszintes metszet (M 1:10)

Ψ_e	0,003	W/mK
f_{Rsi}	0,905	-

ϕ_{80}	0,70
ϕ_{100}	0,83

03



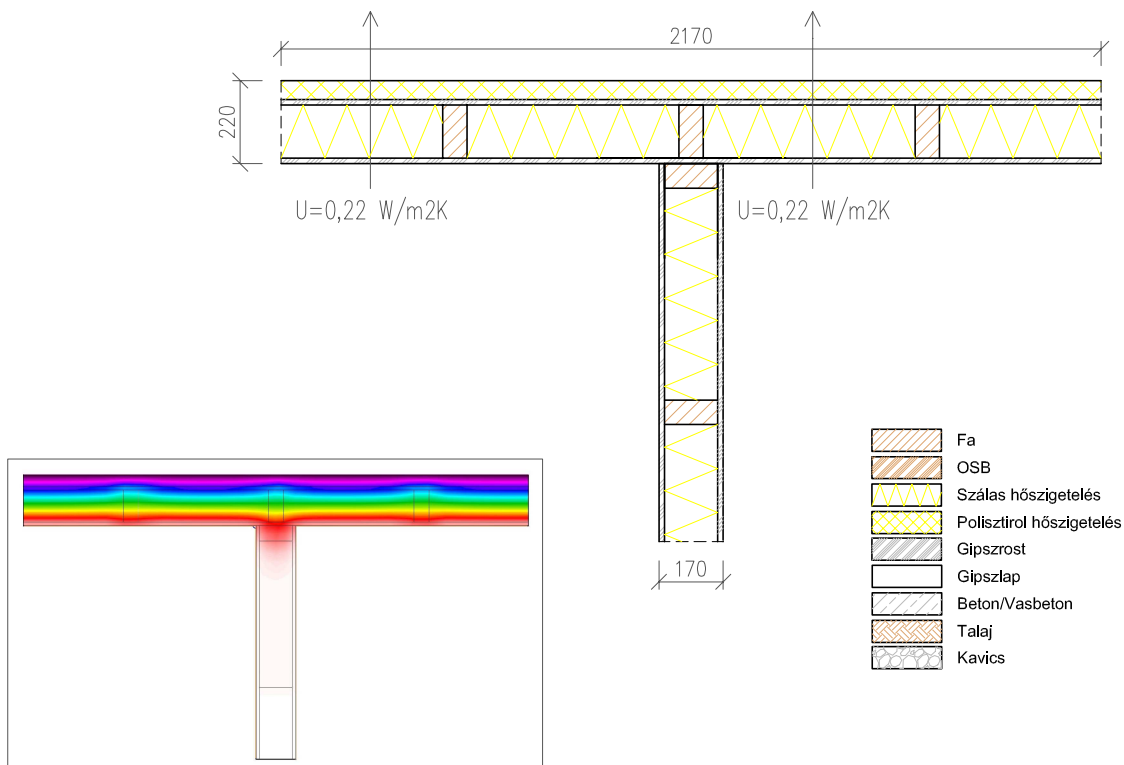
- Fa
- OSB
- Szálás hőszigetelés
- Polisztirol hőszigetelés
- Gipszrost
- Gipszlap
- Beton/Vasbeton
- Talaj
- Kavics

Külső falak 225°-os sarokkapcsolata
Vízszintes metszet (M 1:10)

Ψ_e	0,035	W/mK
f_{Rsi}	0,955	-

ϕ_{80}	0,75
ϕ_{100}	0,93

04

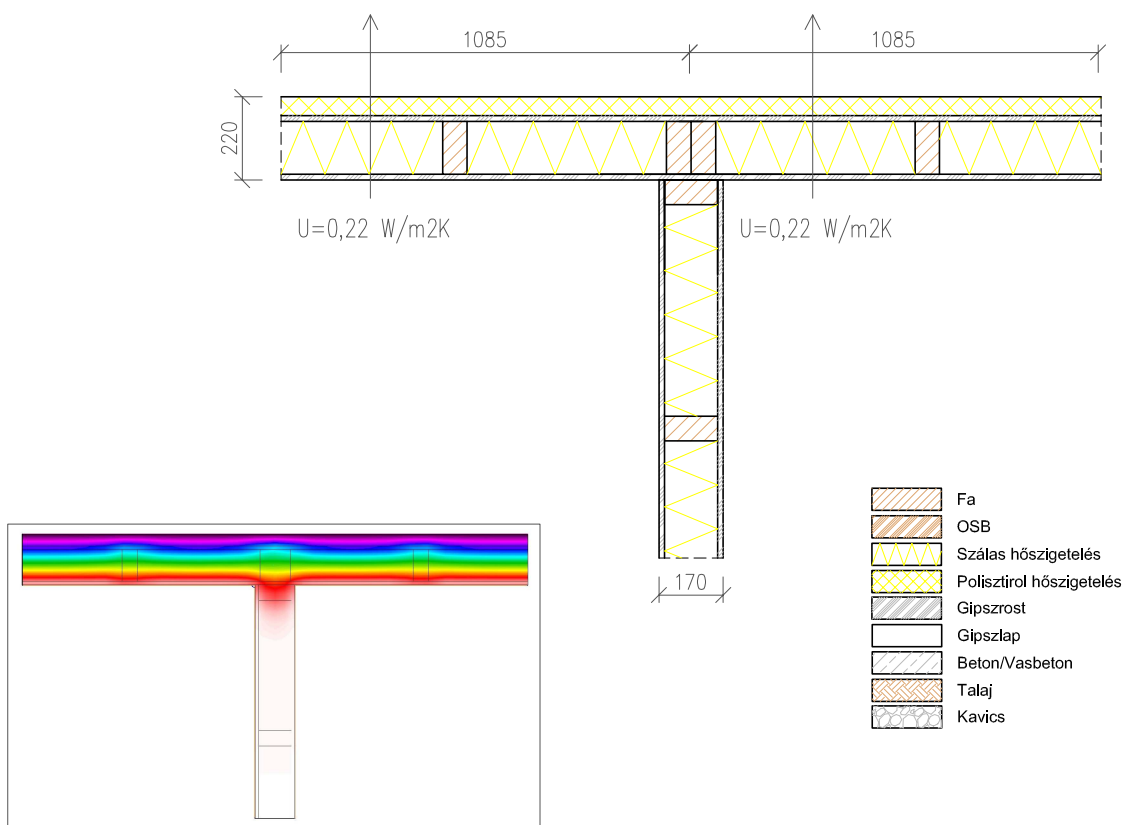


Külső falak T-kapcsolata
Vízszintes metszet (M 1:10)

Ψ_e	0,002	W/mK
f_{Rsi}	0,927	-

ϕ_{80}	0,73
ϕ_{100}	0,87

05

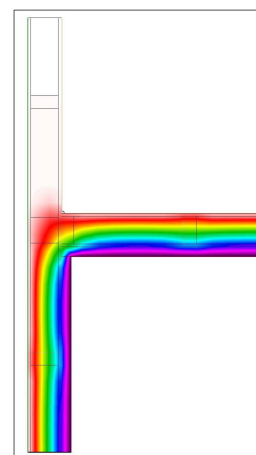
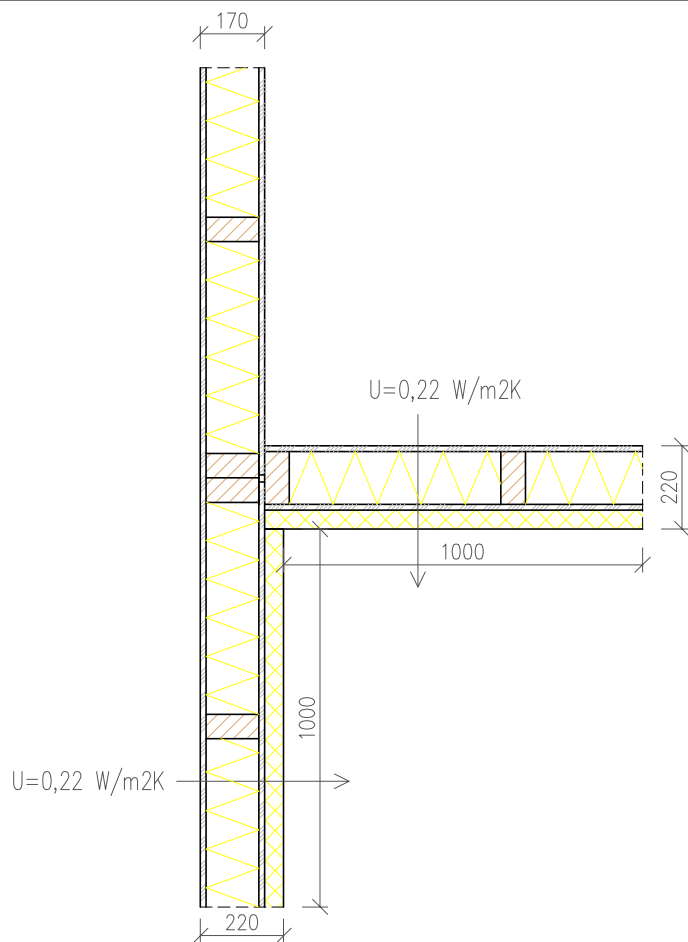


Külső falak toldása T-kapcsolatként
Vízszintes metszet (M 1:10)

Ψ_e	0,014	W/mK
f_{Rsi}	0,909	-

ϕ_{80}	0,70
ϕ_{100}	0,85

06



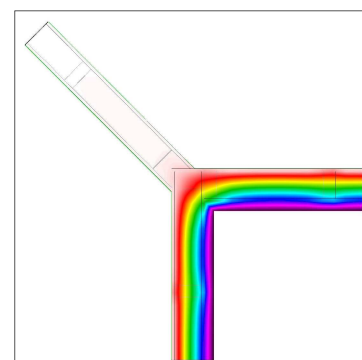
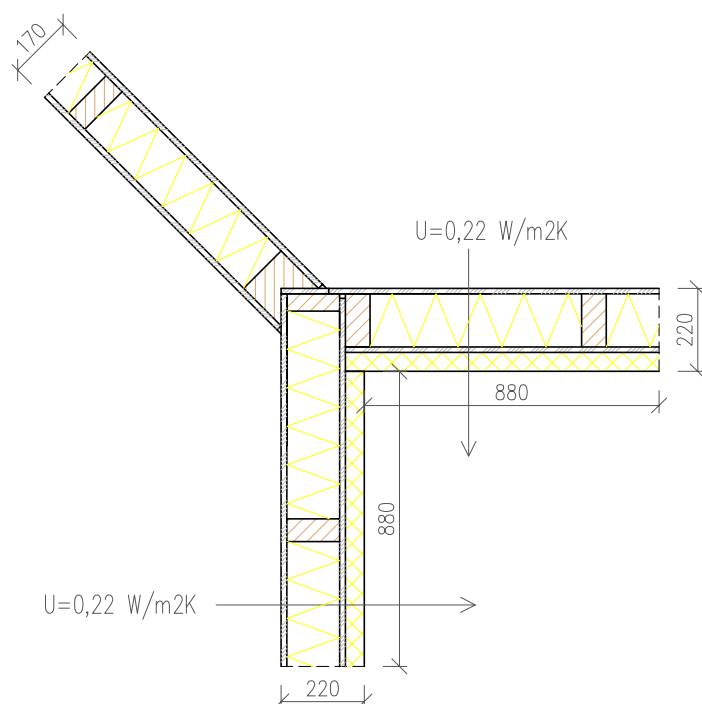
- Fa
- OSB
- Szálás hőszigetelés
- Polisztirol hőszigetelés
- Gipszrost
- Gipszlap
- Beton/Vasbeton
- Talaj
- Kavics

Külső falak 90°-os T-kapcsolata
Vízszintes metszet (M 1:10)

Ψ_e	0,062	W/mK
f_{Rsi}	0,932	-

ϕ_{80}	0,73
ϕ_{100}	0,87

07



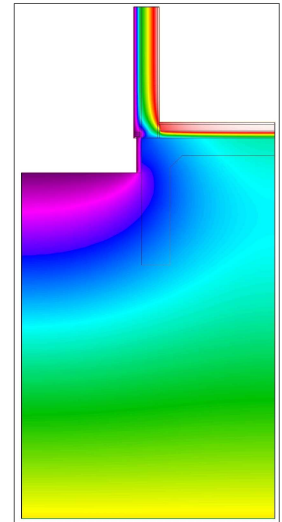
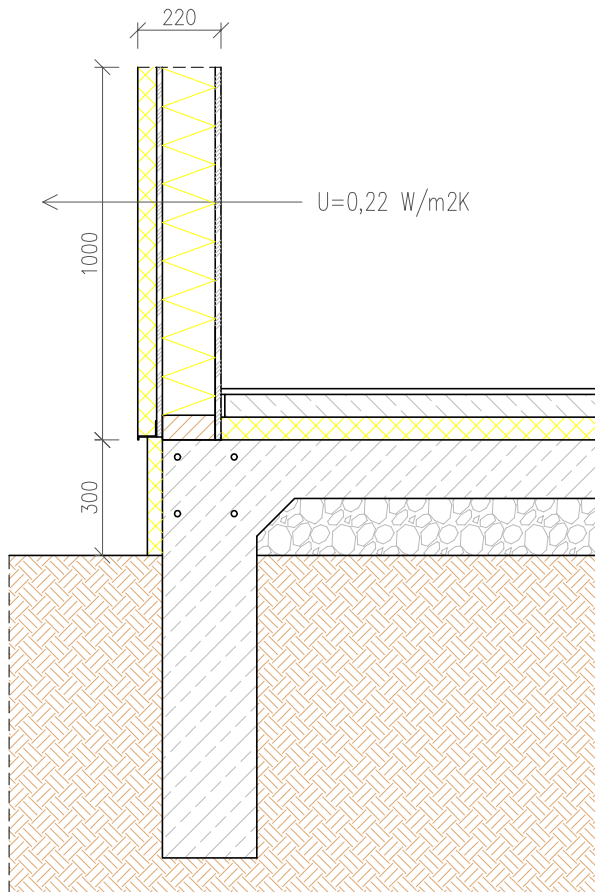
- Fa
- OSB
- Szálás hőszigetelés
- Polisztirol hőszigetelés
- Gipszrost
- Gipszlap
- Beton/Vasbeton
- Talaj
- Kavics

Külső falak 135°-os T-kapcsolata
Vízszintes metszet (M 1:10)

Ψ_e	0,047	W/mK
f_{Rsi}	0,959	-

ϕ_{80}	0,76
ϕ_{100}	0,95

08



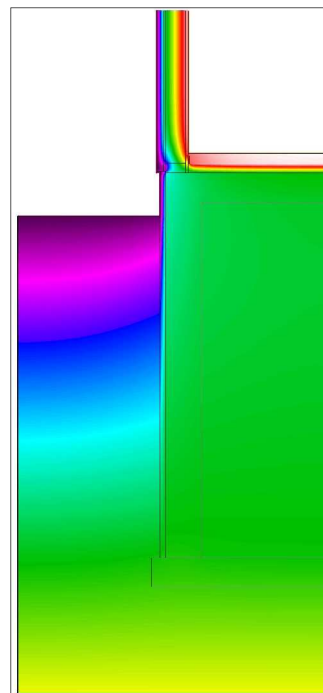
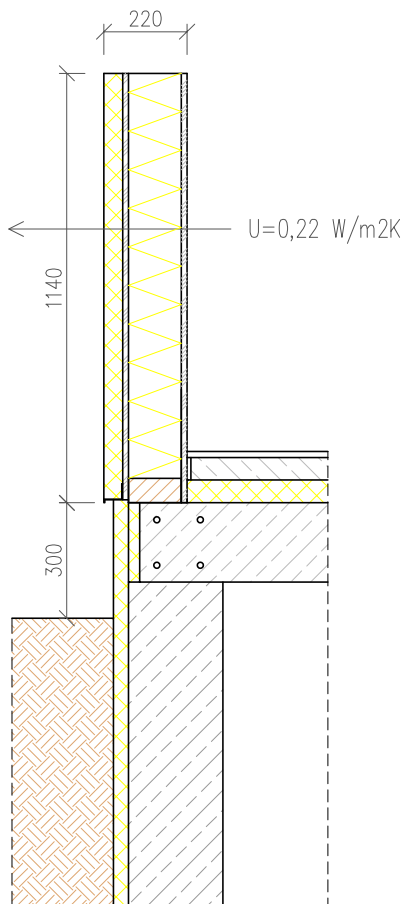
- Fa
- OSB
- Szálas hőszigetelés
- Polisztirol hőszigetelés
- Gipszrost
- Gipszlap
- Beton/Vasbeton
- Talaj
- Kavics

Lábazat, talajon fekvő padló
Függőleges metszet (M 1:10)

Ψ_e	0,112	W/mK
f_{Rsi}	0,795	-

ϕ_{80}	0,61
ϕ_{100}	0,68

09



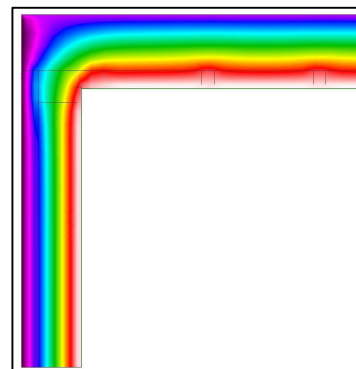
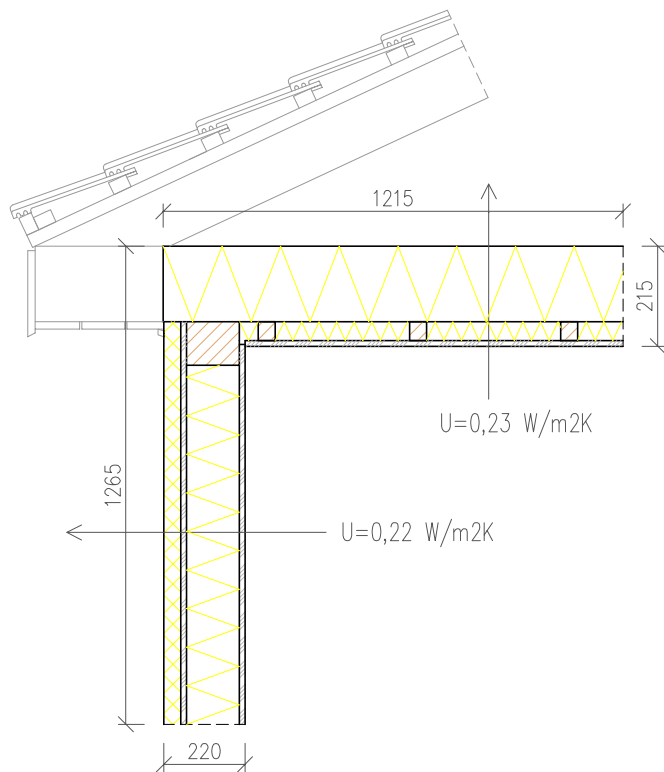
- Fa
- OSB
- Szálas hőszigetelés
- Polisztirol hőszigetelés
- Gipszrost
- Gipszlap
- Beton/Vasbeton
- Talaj
- Kavics

Lábazat, pincefödém
Függőleges metszet (M 1:10)

Ψ_e	0,154	W/mK
f_{Rsi}	0,823	-

ϕ_{80}	0,63
ϕ_{100}	0,72

10



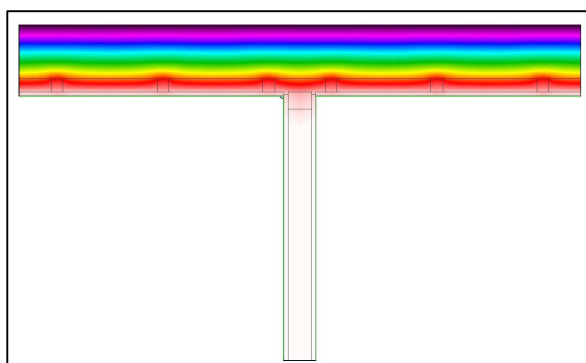
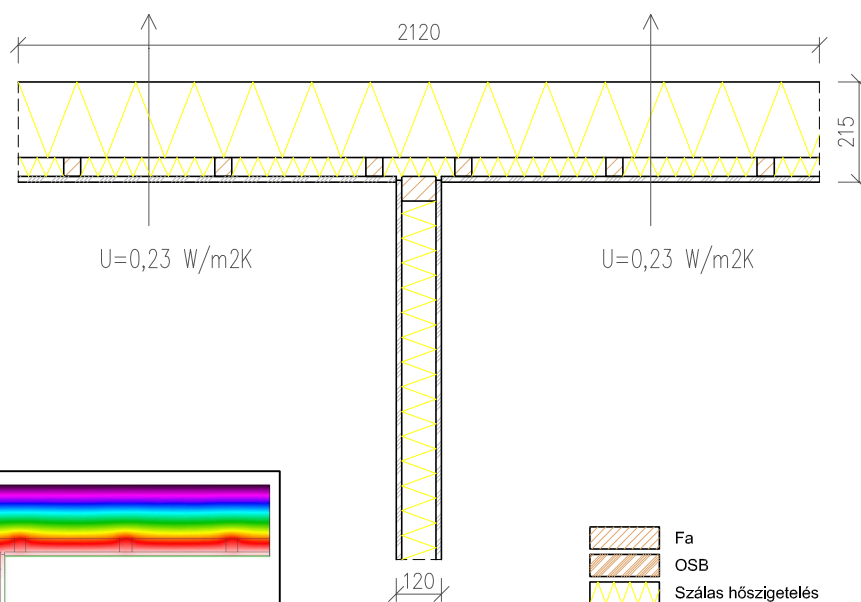
- Fa
- OSB
- Szálas hőszigetelés
- Polisztirol hőszigetelés
- Gipszrost
- Gipszlap
- Beton/Vasbeton
- Talaj
- Kavics

Rácsostartó-eresz kialakítása
Függőleges metszet (M 1:10)

Ψ_e	-0,074	W/mK
f_{Rsi}	0,845	-

ϕ_{80}	0,65
ϕ_{100}	0,76

11



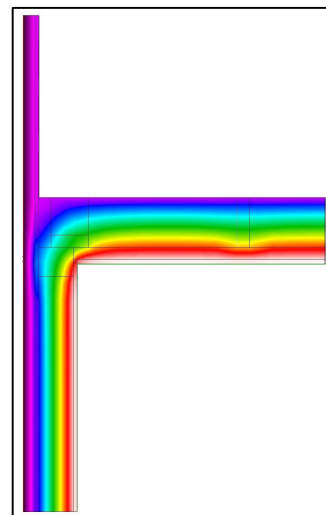
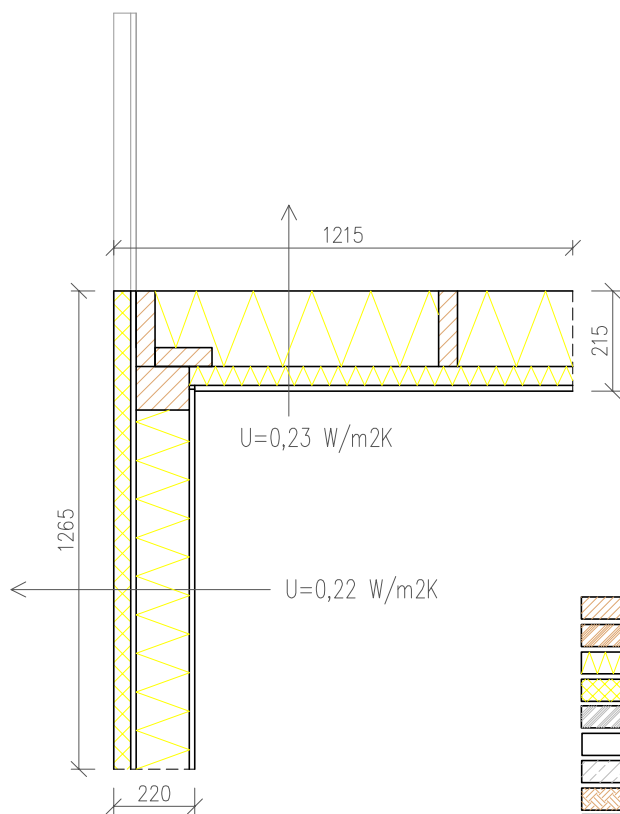
- Fa
- OSB
- Szálas hőszigetelés
- Polisztirol hőszigetelés
- Gipszrost
- Gipszlap
- Beton/Vasbeton
- Talaj
- Kavics

Rácsostartó-válaszfal kapcsolata
Függőleges metszet (M 1:10)

Ψ_e	-0,002	W/mK
f_{Rsi}	0,950	-

ϕ_{80}	0,74
ϕ_{100}	0,91

12

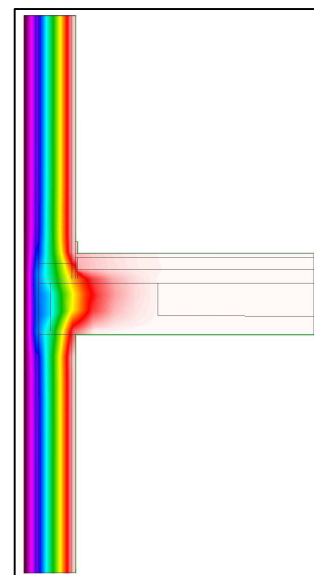
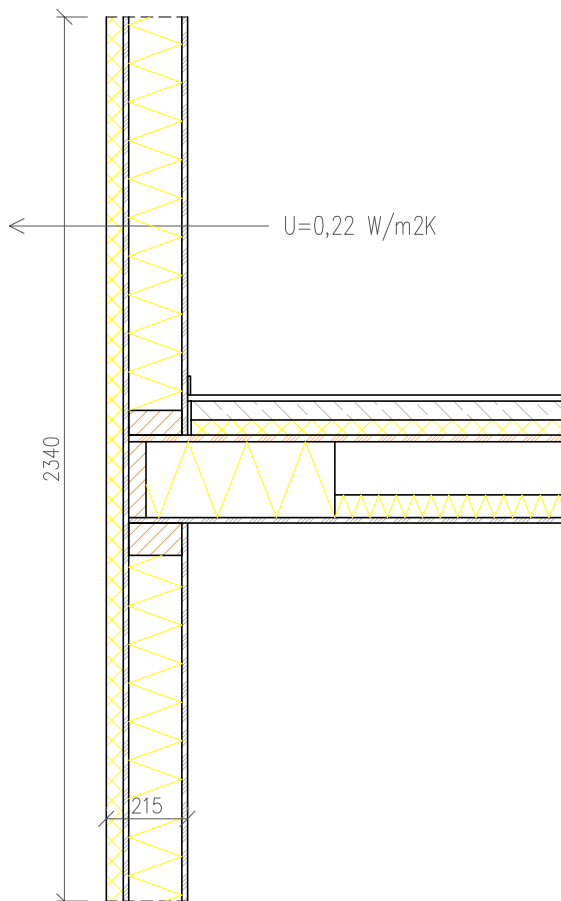


Rácsostartó-oromfal kapcsolata
Függőleges metszet (M 1:10)

Ψ_e	-0,074	W/mK
f_{Rsi}	0,859	-

ϕ_{80}	0,67
ϕ_{100}	0,78

13

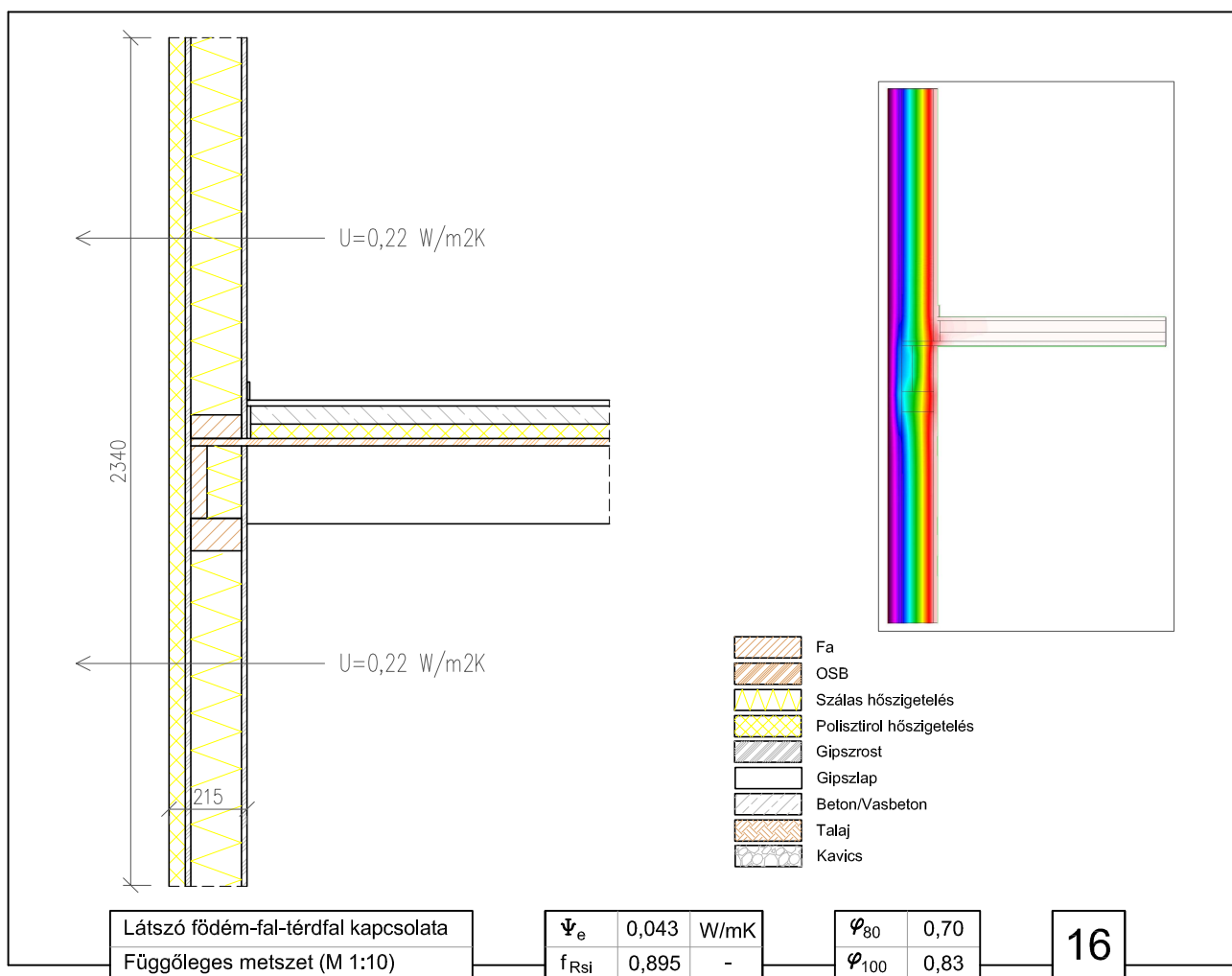
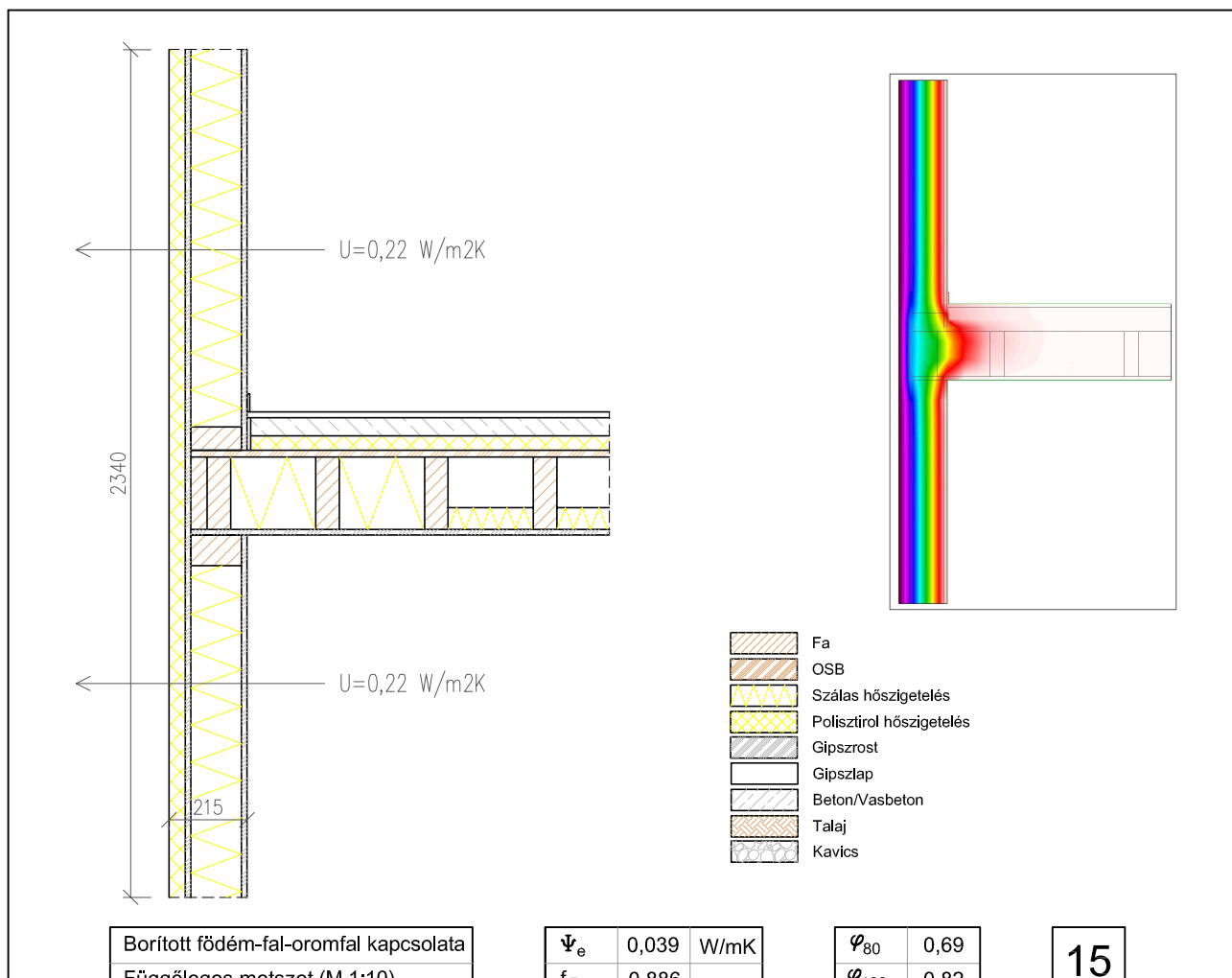


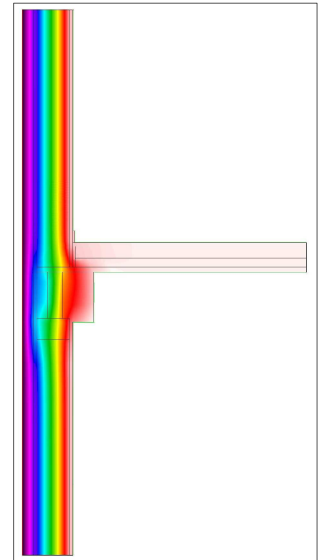
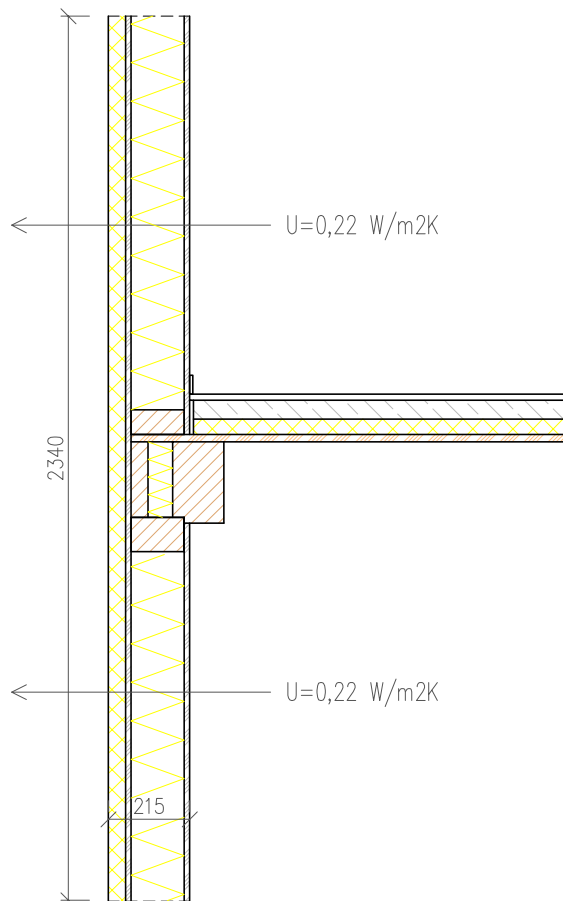
Borított földem-fal-térfal kapcsolata
Függőleges metszet (M 1:10)

Ψ_e	0,031	W/mK
f_{Rsi}	0,886	-

ϕ_{80}	0,69
ϕ_{100}	0,82

14





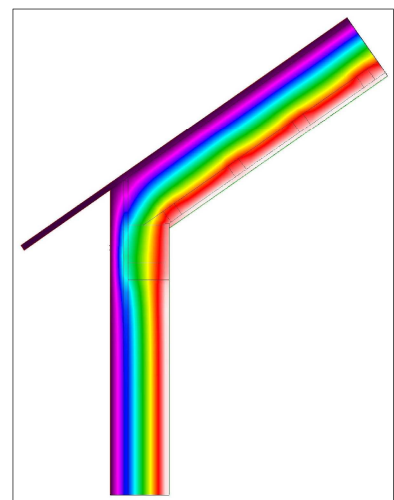
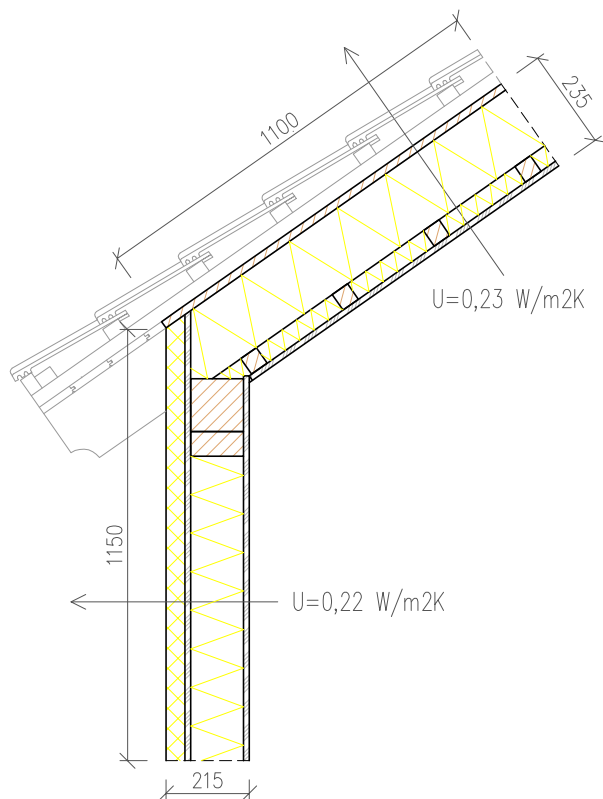
- Fa
- OSB
- Szálas hőszigetelés
- Polisztirol hőszigetelés
- Gipszrost
- Gipszlap
- Beton/Vasbeton
- Talaj
- Kavics

Látványzó földem-fal-oromfal kapcsolata
Függőleges metszet (M 1:10)

Ψ_e	0,041	W/mK
f_{Rsi}	0,886	-

ϕ_{80}	0,69
ϕ_{100}	0,82

17



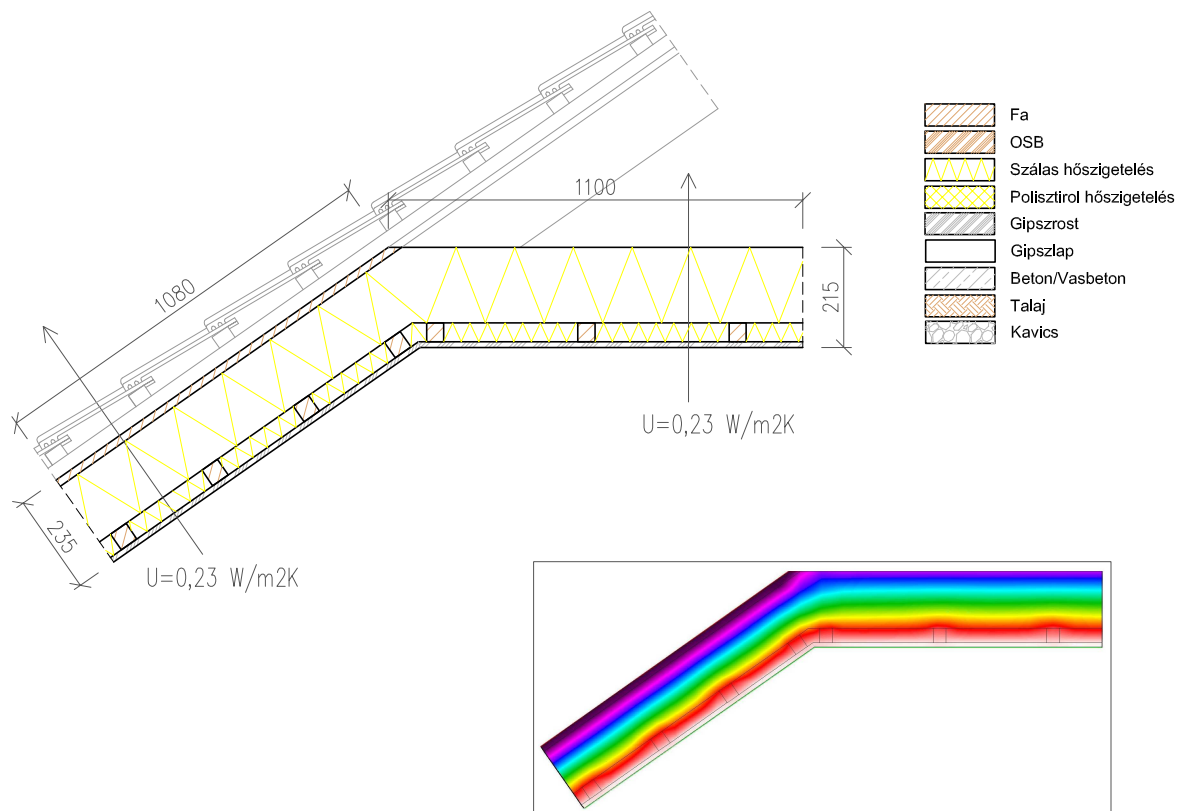
- Fa
- OSB
- Szálas hőszigetelés
- Polisztirol hőszigetelés
- Gipszrost
- Gipszlap
- Beton/Vasbeton
- Talaj
- Kavics

Térfal-tetőcsík kapcsolata
Függőleges metszet (M 1:10)

Ψ_e	0,097	W/mK
f_{Rsi}	0,841	-

ϕ_{80}	0,65
ϕ_{100}	0,75

18

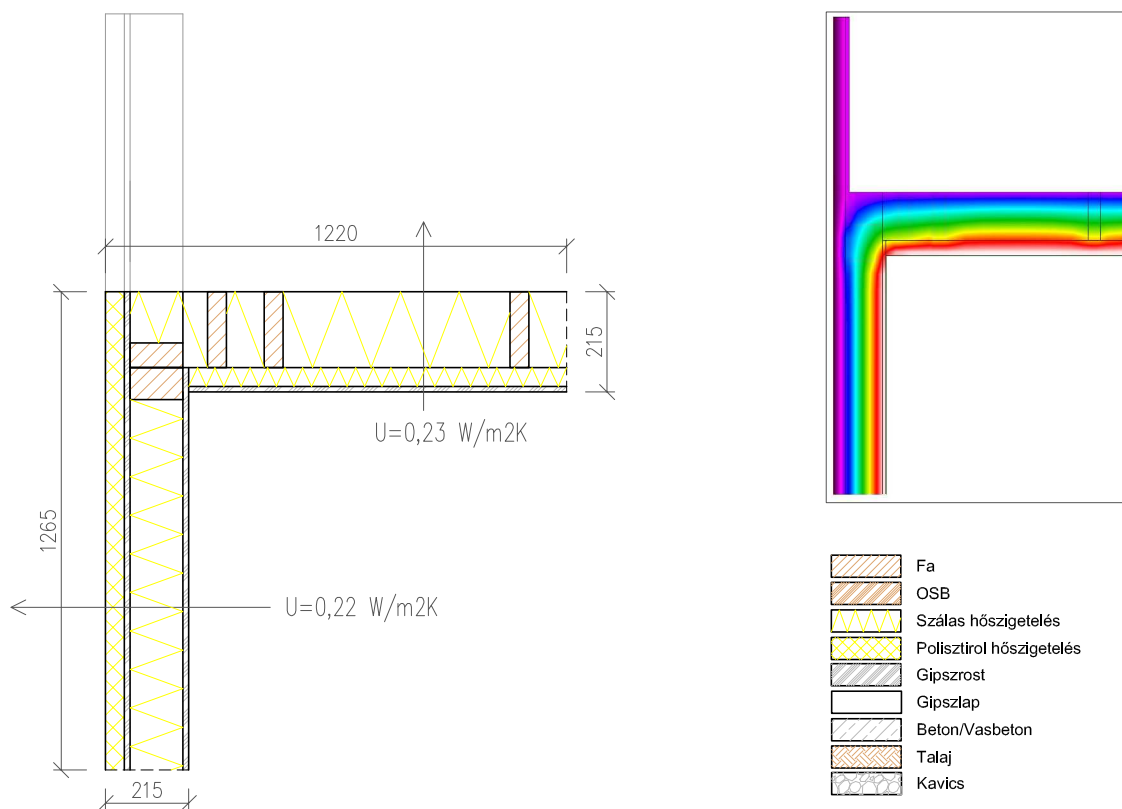


Tető-sík-padlásfödém kapcsolata
Függőleges metszet (M 1:10)

Ψ_e	-0,053	W/mK
f_{Rsi}	0,918	-

ϕ_{80}	0,72
ϕ_{100}	0,86

19

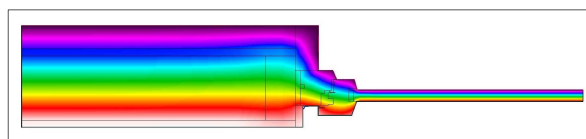
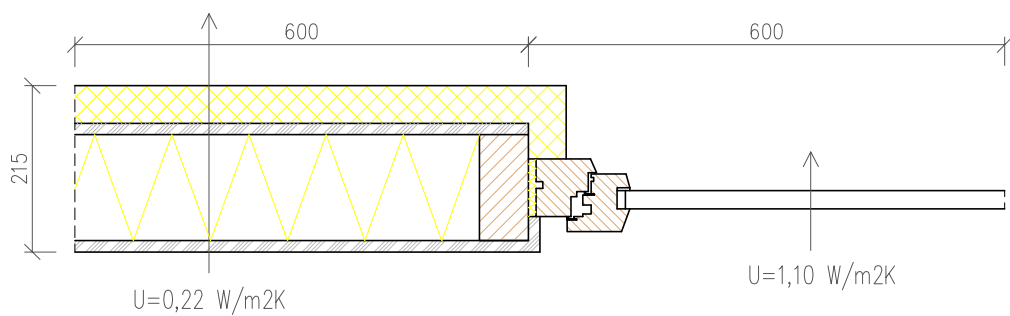


Padlásfödém-ormfal kapcsolata
Függőleges metszet (M 1:10)

Ψ_e	-0,068	W/mK
f_{Rsi}	0,841	-

ϕ_{80}	0,65
ϕ_{100}	0,75

20



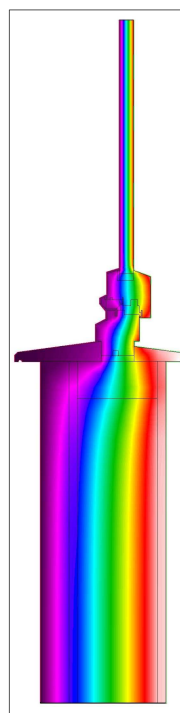
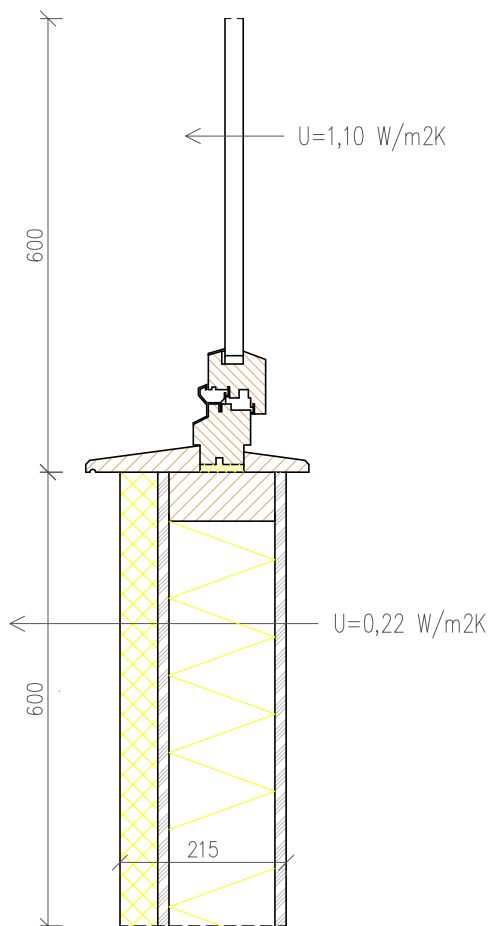
- Fa
- OSB
- Szálal hőszigetelés
- Polisztirol hőszigetelés
- Gipszrost
- Gipszlap
- Beton/Vasbeton
- Talaj
- Kavics

Ablak oldalsó beépítése
Vízszintes metszet (M 1:5)

Ψ_e	0,052	W/mK
f_{Rsi}	0,745	-

ϕ_{80}	0,50
ϕ_{100}	0,62

21



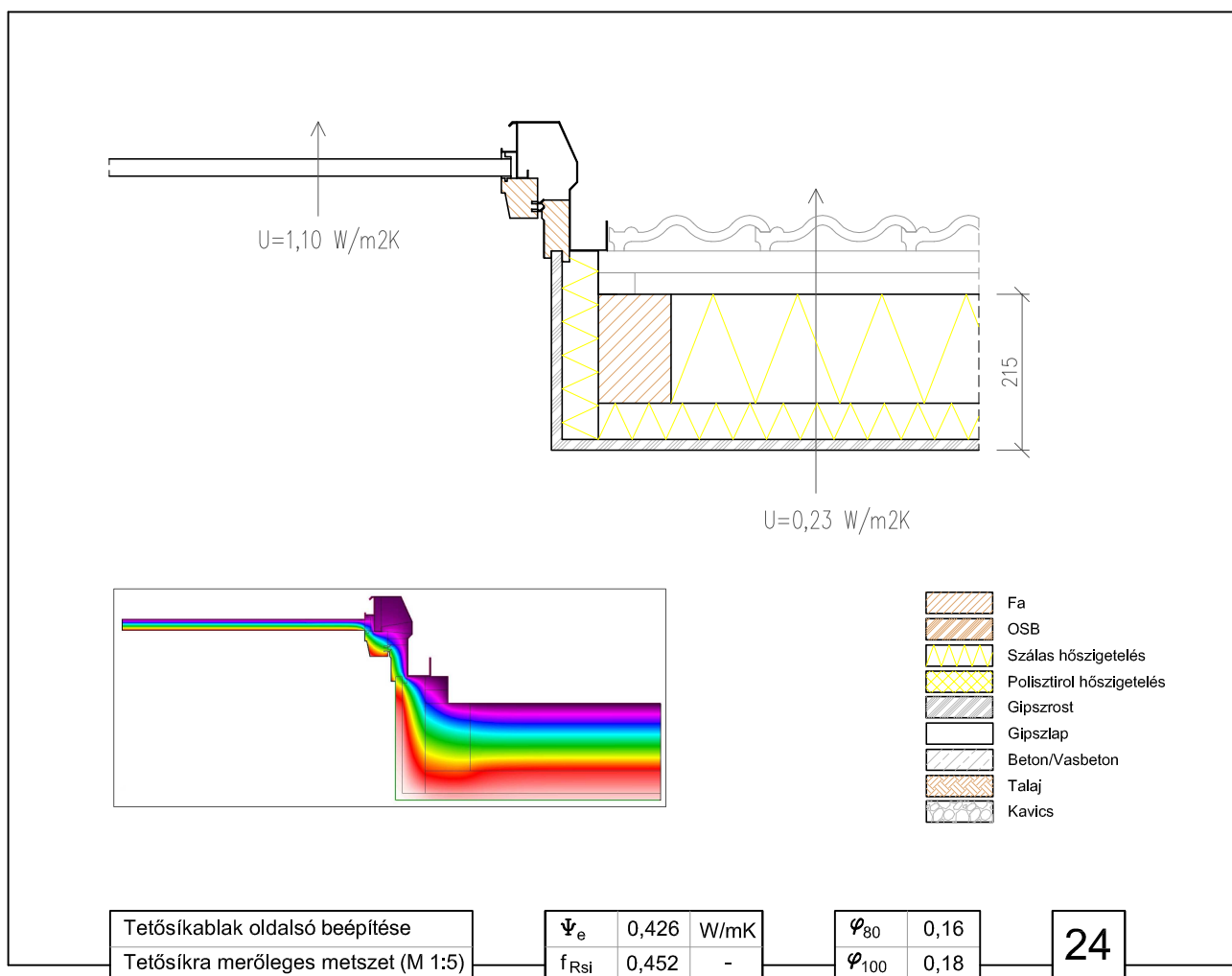
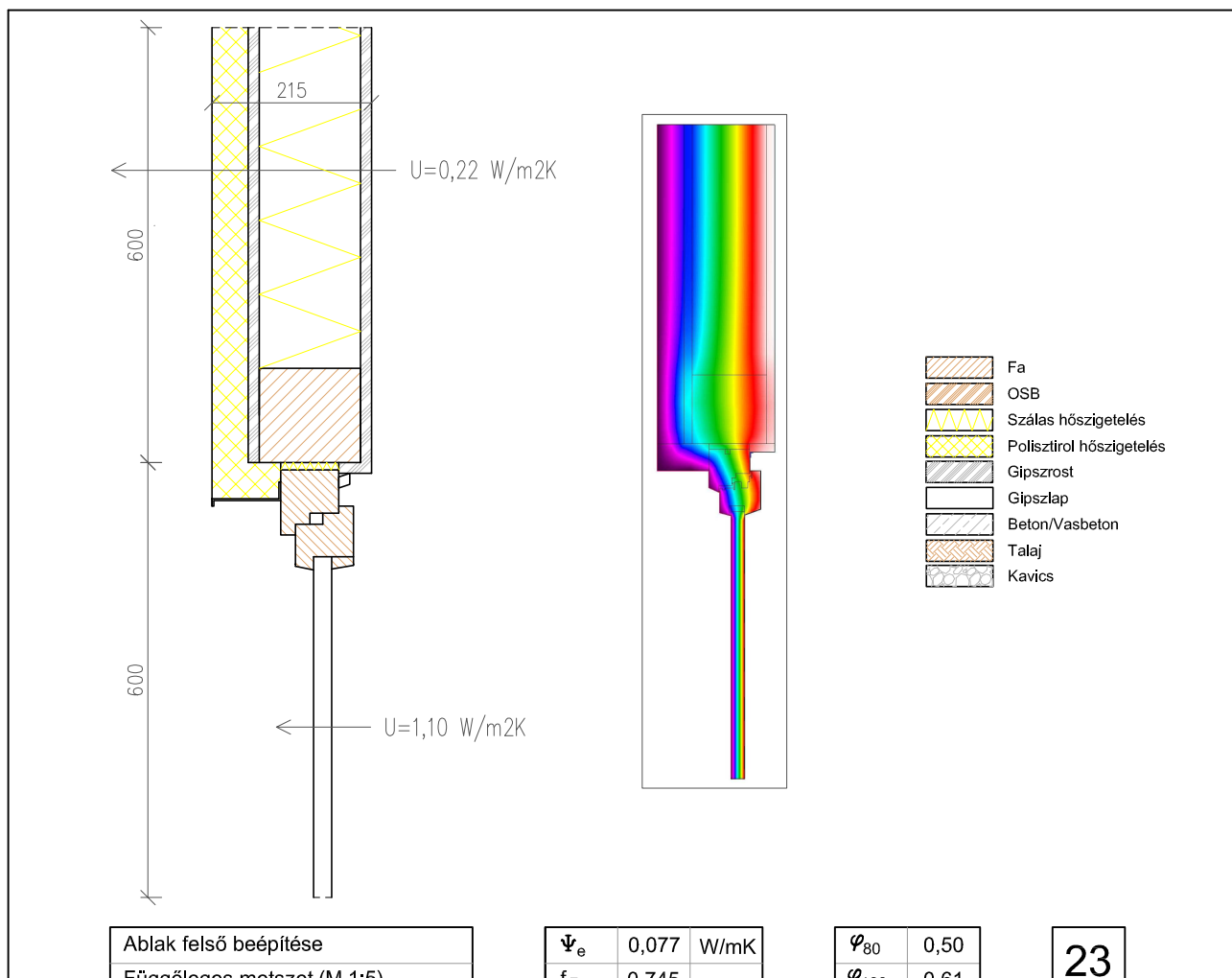
- Fa
- OSB
- Szálal hőszigetelés
- Polisztirol hőszigetelés
- Gipszrost
- Gipszlap
- Beton/Vasbeton
- Talaj
- Kavics

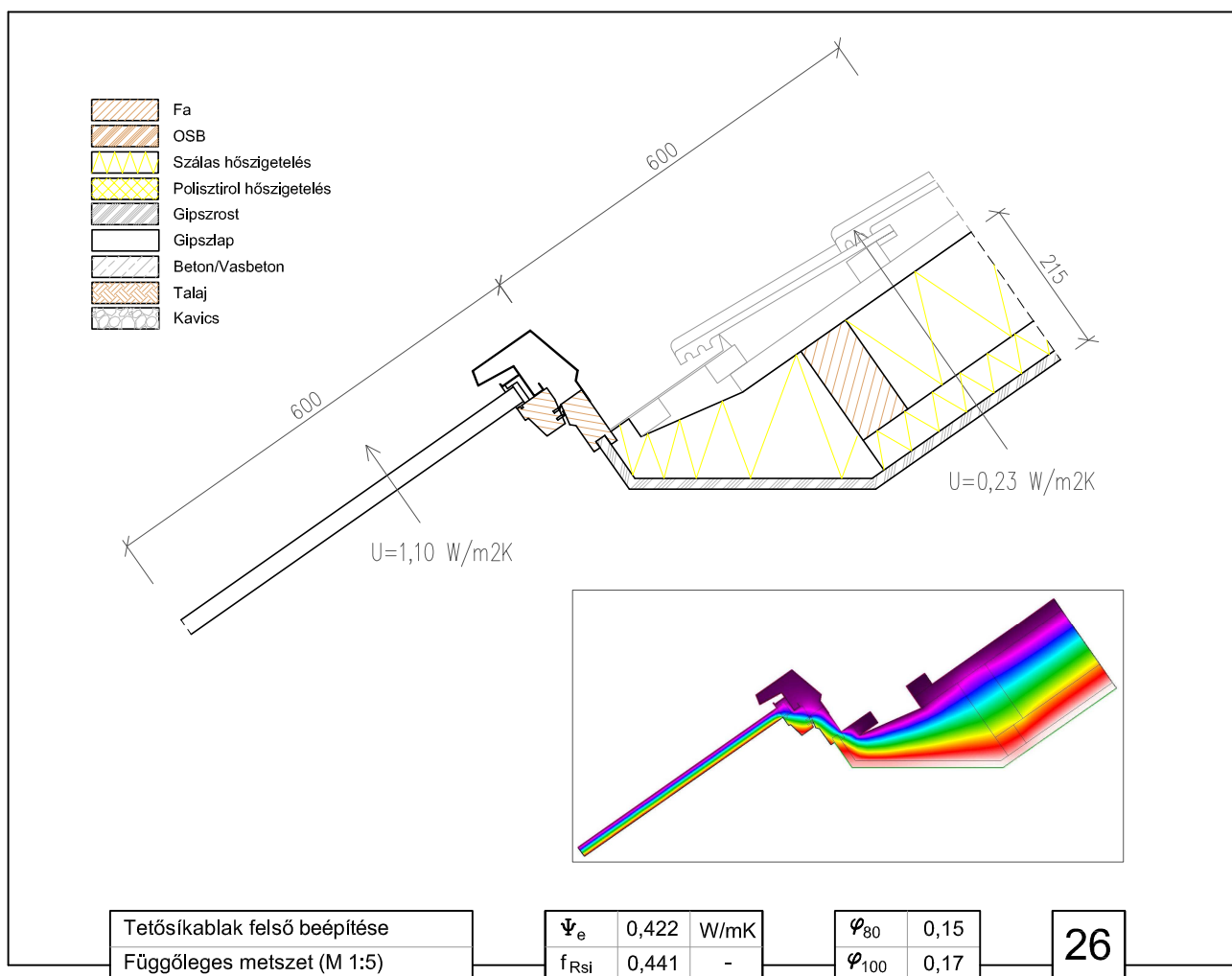
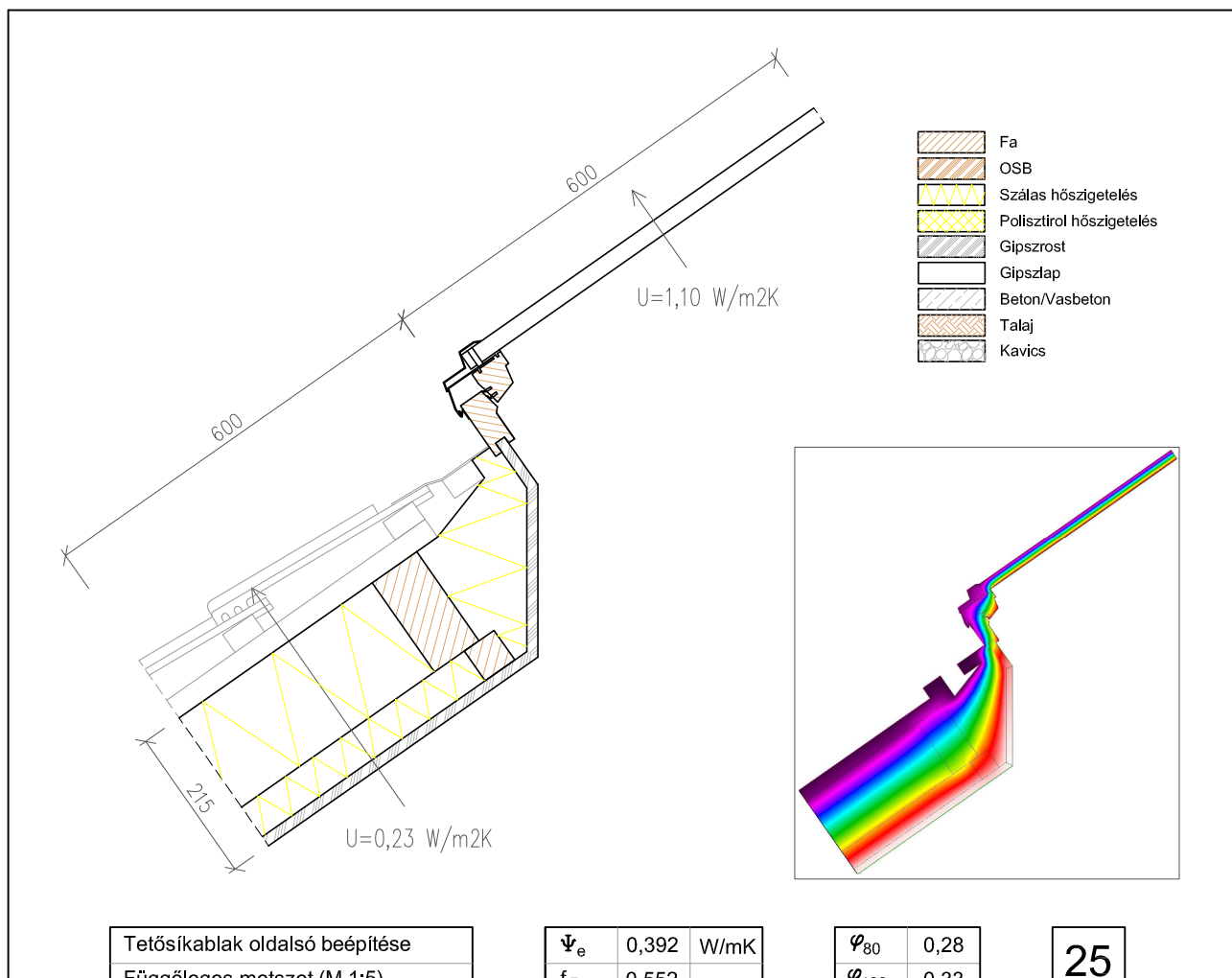
Ablak alsó beépítése
Függőleges metszet (M 1:5)

Ψ_e	0,148	W/mK
f_{Rsi}	0,731	-

ϕ_{80}	0,48
ϕ_{100}	0,59

22





25. Táblázat Pontszerű hőhidak jellemző értékei

Kapcsolódó hőhidak			1	2	3	4	5	6	7	8
9	9	f_{Rsi}	0,605	0,688	0,658	0,684	0,669	0,660	0,672	0,686
		φ_{80}	0,45	0,52	0,49	0,51	0,50	0,49	0,50	0,52
		φ_{100}	0,41	0,53	0,48	0,52	0,50	0,49	0,50	0,52
10	10	f_{Rsi}	0,639	0,731	0,697	0,726	0,710	0,699	0,713	0,728
		φ_{80}	0,48	0,56	0,53	0,55	0,54	0,53	0,54	0,55
		φ_{100}	0,46	0,59	0,54	0,58	0,56	0,54	0,56	0,59
11	11	f_{Rsi}	0,646	0,741	0,706	0,736			0,722	0,738
		φ_{80}	0,48	0,56	0,53	0,56			0,55	0,56
		φ_{100}	0,47	0,60	0,55	0,60			0,58	0,60
11	12	f_{Rsi}					0,794	0,781	0,798	0,817
		φ_{80}					0,61	0,60	0,61	0,63
		φ_{100}					0,68	0,66	0,69	0,72
11	13	f_{Rsi}	0,654	0,752	0,716	0,747			0,733	0,749
		φ_{80}	0,49	0,57	0,54	0,57			0,56	0,57
		φ_{100}	0,48	0,62	0,57	0,61			0,59	0,62
14	15	f_{Rsi}	0,697	0,810	0,768	0,803			0,787	0,806
		φ_{80}	0,53	0,62	0,59	0,62			0,60	0,62
		φ_{100}	0,54	0,70	0,64	0,69			0,67	0,70
16	17	f_{Rsi}	0,703	0,817	0,774	0,811			0,794	0,814
		φ_{80}	0,53	0,63	0,59	0,62			0,61	0,63
		φ_{100}	0,55	0,72	0,65	0,71			0,68	0,71
18	18	f_{Rsi}	0,642	0,736	0,701	0,730			0,717	0,733
		φ_{80}	0,48	0,56	0,53	0,55			0,54	0,56
		φ_{100}	0,46	0,60	0,55	0,59			0,57	0,59
18	20	f_{Rsi}	0,642	0,736	0,701	0,730			0,717	0,733
		φ_{80}	0,48	0,56	0,53	0,55			0,54	0,56
		φ_{100}	0,46	0,60	0,55	0,59			0,57	0,59
19	20	f_{Rsi}	0,686	0,794	0,753	0,788	0,769	0,756	0,772	0,791
		φ_{80}	0,52	0,61	0,57	0,60	0,59	0,58	0,59	0,61
		φ_{100}	0,52	0,68	0,62	0,67	0,64	0,63	0,65	0,68

8.2. Átlagos kivitelű fa bordavázas épület

8.2.3. A nyílászárók adattáblázatai

26. Táblázat Az egyes profilszakaszok vonalmenti hőhíd-értékei

sorszám	vonalmenti hőhíd típusa	ψ_e	f_{Rsi}	φ_{80}	φ_{100}
1	ablak alsó	0,105	0,703	0,45	0,55
2	ablak oldalsó	0,051	0,738	0,49	0,60
3	ablak felső	0,052	0,745	0,50	0,61
4	tetősíklablak alsó	0,282	0,531	0,25	0,30
5	tetősíklablak oldalsó	0,301	0,452	0,16	0,18
6	tetősíklablak felső	0,297	0,459	0,17	0,19

27. Táblázat Üvegezett szerkezet profillal összesített hőátbocsátási tényezője

Ablakszerkezet hőátbocsátása ($U_g=1,1$)									
U_w		szélesség (cm)							
		45	60	75	90	105	120	135	150
magasság (cm)	45	1,676	1,619	1,585	1,562	1,546	1,534	1,524	1,517
	60	1,588	1,532	1,498	1,475	1,459	1,447	1,437	1,430
	75	1,536	1,479	1,445	1,423	1,406	1,394	1,385	1,377
	90	1,501	1,444	1,410	1,388	1,372	1,359	1,350	1,342
	105	1,476	1,420	1,386	1,363	1,347	1,335	1,325	1,318
	120	1,458	1,401	1,367	1,344	1,328	1,316	1,306	1,299
	135	1,443	1,386	1,352	1,330	1,313	1,301	1,292	1,284
	150	1,431	1,375	1,341	1,318	1,302	1,290	1,280	1,273
	165	1,422	1,365	1,331	1,308	1,292	1,280	1,271	1,263
	180	1,414	1,357	1,323	1,301	1,284	1,272	1,263	1,255
	195	1,407	1,351	1,317	1,294	1,278	1,266	1,256	1,249
	210	1,401	1,345	1,311	1,288	1,272	1,260	1,250	1,243
	225	1,396	1,340	1,306	1,283	1,267	1,255	1,245	1,238
	240	1,392	1,335	1,301	1,279	1,263	1,250	1,241	1,233
	255	1,388	1,332	1,298	1,275	1,259	1,247	1,237	1,230
	270	1,385	1,328	1,294	1,271	1,255	1,243	1,234	1,226

28. Táblázat Tetősíklablak profillal összesített hőátbocsátási tényezője

Tetősíklablak hőátbocsátása ($U_g=1,1$)							
U_w		szélesség (cm)					
		54	65	74	94	114	134
magasság (cm)	78	2,957	2,768	2,656	2,483	2,370	2,292
	98	2,806	2,617	2,504	2,331	2,219	2,140
	118	2,705	2,517	2,404	2,231	2,119	2,040
	140	2,628	2,440	2,327	2,154	2,042	1,963
	160	2,577	2,388	2,275	2,102	1,990	1,911

29. Táblázat Üvegezett szerkezetek hővesztése (egyszerűsített számoláshoz)

Ablakszerkezet hővesztése ($U_q=1,1$)									
U_w		szélesség (cm)							
		45	60	75	90	105	120	135	150
magasság (cm)	45	0,339	0,437	0,535	0,633	0,731	0,828	0,926	1,024
	60	0,429	0,551	0,674	0,797	0,919	1,042	1,164	1,287
	75	0,518	0,666	0,813	0,960	1,108	1,255	1,402	1,550
	90	0,608	0,780	0,952	1,124	1,296	1,468	1,640	1,812
	105	0,698	0,894	1,091	1,288	1,485	1,682	1,878	2,075
	120	0,787	1,009	1,230	1,452	1,673	1,895	2,116	2,338
	135	0,877	1,123	1,369	1,616	1,862	2,108	2,354	2,601
	150	0,966	1,237	1,508	1,779	2,050	2,321	2,592	2,864
	165	1,056	1,352	1,647	1,943	2,239	2,535	2,831	3,126
	180	1,145	1,466	1,786	2,107	2,427	2,748	3,069	3,389
	195	1,235	1,580	1,925	2,271	2,616	2,961	3,307	3,652
	210	1,324	1,694	2,064	2,435	2,805	3,175	3,545	3,915
	225	1,414	1,809	2,204	2,598	2,993	3,388	3,783	4,178
	240	1,503	1,923	2,343	2,762	3,182	3,601	4,021	4,440
	255	1,593	2,037	2,482	2,926	3,370	3,815	4,259	4,703
	270	1,683	2,152	2,621	3,090	3,559	4,028	4,497	4,966

30. Táblázat Tetősíklablakok hővesztése (egyszerűsített számoláshoz)

Tetősíklablak hővesztése ($U_q=1,1$)							
U_w		szélesség (cm)					
		54	65	74	94	114	134
magasság (cm)	78	1,246	1,404	1,533	1,820	2,108	2,395
	98	1,485	1,667	1,816	2,148	2,479	2,810
	118	1,724	1,930	2,099	2,475	2,850	3,226
	140	1,987	2,220	2,411	2,835	3,258	3,682
	160	2,226	2,484	2,694	3,162	3,630	4,097

31. Táblázat Üvegezett szerkezetek hővesztesége (részletes számoláshoz)

Beépített ablakszerkezet hővesztesége ($U_g=1,1$)									
U_w		szélesség (cm)							
		45	60	75	90	105	120	135	150
magasság (cm)	45	0,371	0,479	0,587	0,695	0,803	0,911	1,019	1,127
	60	0,461	0,593	0,726	0,859	0,992	1,124	1,257	1,390
	75	0,551	0,708	0,866	1,023	1,181	1,338	1,496	1,653
	90	0,640	0,823	1,005	1,187	1,369	1,552	1,734	1,916
	105	0,730	0,937	1,144	1,351	1,558	1,765	1,972	2,179
	120	0,820	1,052	1,284	1,515	1,747	1,979	2,211	2,442
	135	0,910	1,166	1,423	1,679	1,936	2,192	2,449	2,705
	150	1,000	1,281	1,562	1,844	2,125	2,406	2,687	2,969
	165	1,090	1,396	1,702	2,008	2,314	2,620	2,926	3,232
	180	1,179	1,510	1,841	2,172	2,502	2,833	3,164	3,495
	195	1,269	1,625	1,980	2,336	2,691	3,047	3,402	3,758
	210	1,359	1,739	2,120	2,500	2,880	3,260	3,641	4,021
	225	1,449	1,854	2,259	2,664	3,069	3,474	3,879	4,284
	240	1,539	1,969	2,398	2,828	3,258	3,688	4,117	4,547
	255	1,629	2,083	2,538	2,992	3,447	3,901	4,356	4,810
	270	1,719	2,198	2,677	3,156	3,636	4,115	4,594	5,073

32. Táblázat Tetősíklablakok hővesztesége (részletes számoláshoz)

Beépített tetősíklablak hővesztesége ($U_g=1,1$)							
U_w		szélesség (cm)					
		54	65	74	94	114	134
magasság (cm)	78	1,567	1,751	1,902	2,236	2,571	2,905
	98	1,857	2,065	2,235	2,613	2,992	3,370
	118	2,146	2,378	2,568	2,991	3,413	3,835
	140	2,464	2,723	2,935	3,406	3,876	4,347
	160	2,753	3,036	3,268	3,783	4,298	4,812

33. Táblázat Üvegezett szerkezetek hőnyeresége (részletes számoláshoz)

Ablakszerkezet hőnyeresége ($g=0,65$)									
U_w		szélesség (cm)							
		45	60	75	90	105	120	135	150
magasság (cm)	45	0,026	0,039	0,053	0,068	0,084	0,101	0,118	0,137
	60	0,039	0,057	0,078	0,101	0,124	0,150	0,176	0,204
	75	0,053	0,078	0,106	0,137	0,169	0,204	0,239	0,277
	90	0,068	0,101	0,137	0,176	0,218	0,262	0,308	0,356
	105	0,084	0,124	0,169	0,218	0,269	0,324	0,381	0,441
	120	0,101	0,150	0,204	0,262	0,324	0,389	0,458	0,530
	135	0,118	0,176	0,239	0,308	0,381	0,458	0,539	0,623
	150	0,137	0,204	0,277	0,356	0,441	0,530	0,623	0,721
	165	0,156	0,232	0,316	0,406	0,503	0,604	0,711	0,822
	180	0,176	0,262	0,356	0,458	0,567	0,681	0,802	0,927
	195	0,197	0,292	0,398	0,512	0,633	0,761	0,895	1,035
	210	0,218	0,324	0,441	0,567	0,701	0,843	0,992	1,147
	225	0,239	0,356	0,485	0,623	0,771	0,927	1,091	1,261
	240	0,262	0,389	0,530	0,681	0,843	1,013	1,192	1,379
	255	0,285	0,423	0,576	0,741	0,916	1,102	1,296	1,499
	270	0,308	0,458	0,623	0,802	0,992	1,192	1,403	1,622

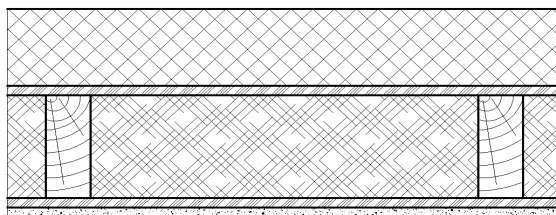
34. Táblázat Tetősikablakok hőnyeresége (részletes számoláshoz)

Tetősikablak hőnyeresége ($g=0,65$)							
U_w		szélesség (cm)					
		54	65	74	94	114	134
magasság (cm)	78	0,107	0,138	0,165	0,230	0,300	0,375
	98	0,147	0,189	0,227	0,315	0,411	0,514
	118	0,190	0,245	0,293	0,407	0,532	0,665
	140	0,240	0,310	0,371	0,516	0,673	0,841
	160	0,289	0,373	0,446	0,620	0,809	1,012

8.3. Fejlesztett hőszigetelésű fa bordavázas épület

8.3.1. Rétegredek adatlapjai

Falszerkezet adatlapja



A szerkezet rétegendje:

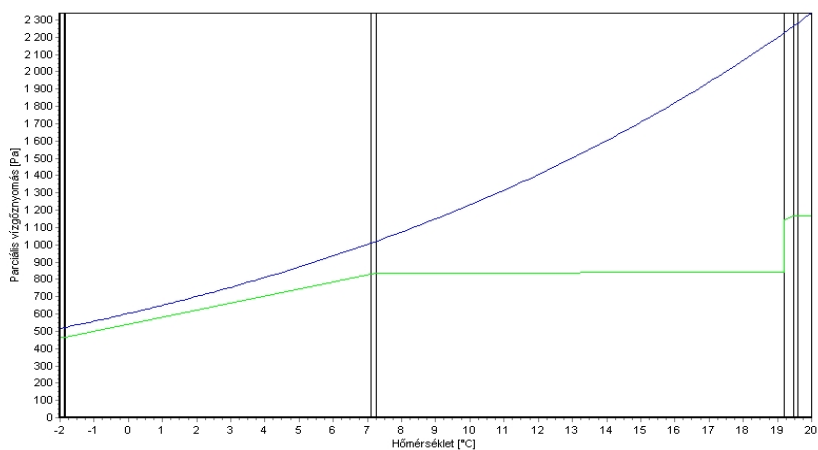
Gipszkarton burkolat	1,5	cm
OSB-lemez	1,5	cm
Párazáró fólia	1	rtg.
Bordaváz, közte	6,5/16	cm
Szálás hőszigetelés	16	cm
Gipszrost-lemez	1,5	cm
Polisztirol-tábla	12	cm
Falvastagság	33,5	cm

R_{si} belső hőátadási ellenállás	0,130	$m^2 \times K/W$
R_{se} külső hőátadási ellenállás	0,040	$m^2 \times K/W$

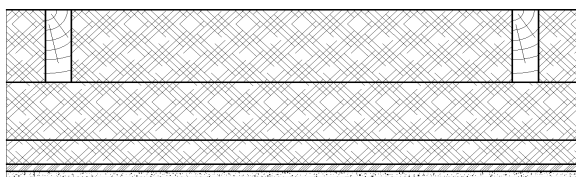
U hőátbocsátási tényező (MSZ EN ISO 6946 szerint): 0,15 $W/m^2 \times K$

m hőtárolótömege (MSZ EN ISO 13790 szerint): 24 kg/m^2

Párányomás-diagram (MSZ EN ISO 13788 szerint):



Födémszerkezet adatlapja



A szerkezet rétegrendje:

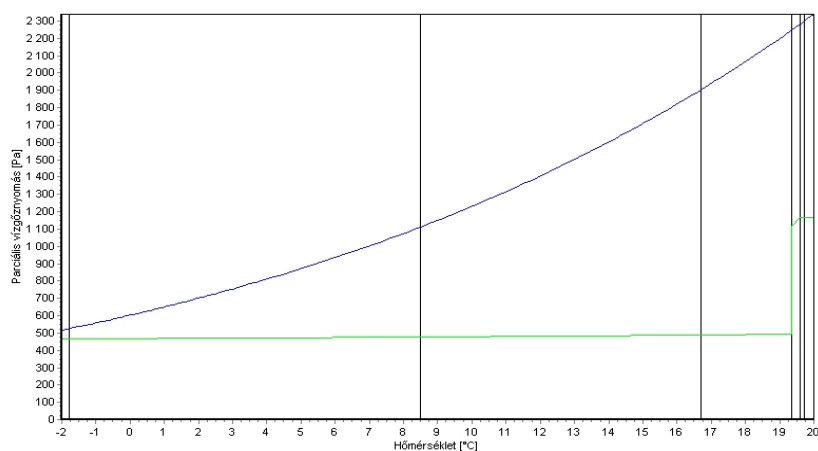
Gipszkarton burkolat	1,5	cm
OSB-lemez	1,5	cm
Párazáró fólia	1	rtg.
Szerelő-lécváz, közte	5/5	cm
Szálas hőszigetelés	5	cm
Távtartó réteg, szálas hőszigeteléssel	12	cm
Gerendázat, közte	2×5/15	cm
Szálas hőszigetelés	15	cm
Falvastagság	35,0	cm

R_{si} belső hőátadási ellenállás	0,100	$m^2 \times K/W$
R_{se} külső hőátadási ellenállás	0,040	$m^2 \times K/W$

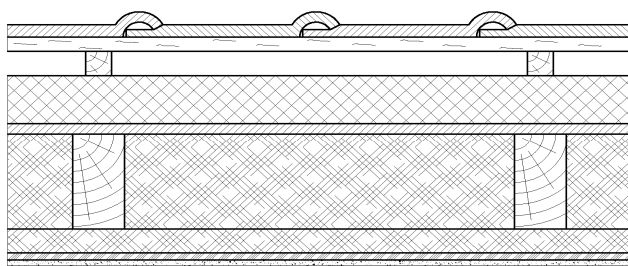
U hőátbocsátási tényező (MSZ EN ISO 6946 szerint): 0,13 $W/m^2 \times K$

m hőtárolótömege (MSZ EN ISO 13790 szerint): 24 kg/m^2

Páryanomás-diagram (MSZ EN ISO 13788 szerint):



Tetőszerkezet adatlapja



A szerkezet rétegendje:

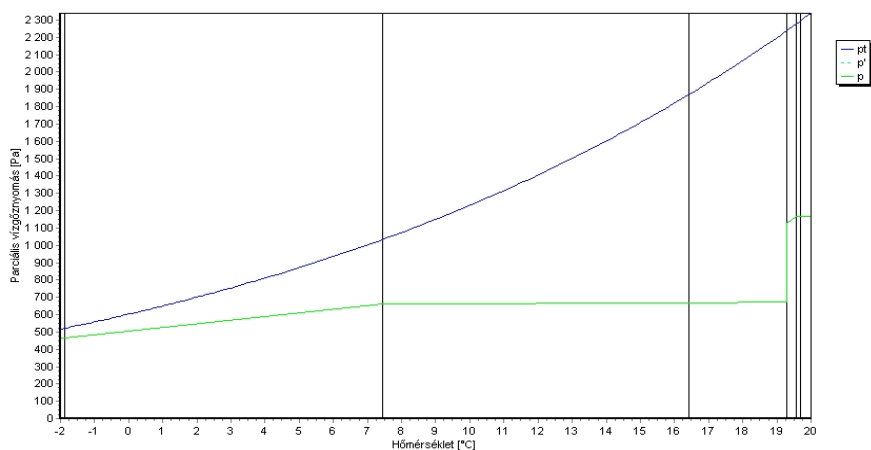
Gipszkarton burkolat	1,5	cm
OSB-lemez	1,5	cm
Párazáró fólia	1	rtg.
Szerelő-lécváz, közte	5/5	cm
Szálas hőszigetelés	5	cm
Gerendázat, közte	10/15	cm
Szálas hőszigetelés	15	cm
Deszkaterítés	2	cm
Habosított poliuretán hőszigetelés	10	cm
Falvastagság	35,0	cm

R_{si} belső hőátadási ellenállás	0,130	$m^2 \times K/W$
R_{se} külső hőátadási ellenállás	0,040	$m^2 \times K/W$

U hőátbocsátási tényező (MSZ EN ISO 6946 szerint): 0,13 $W/m^2 \times K$

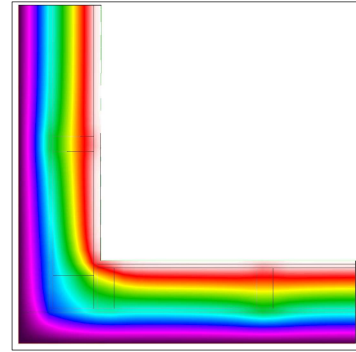
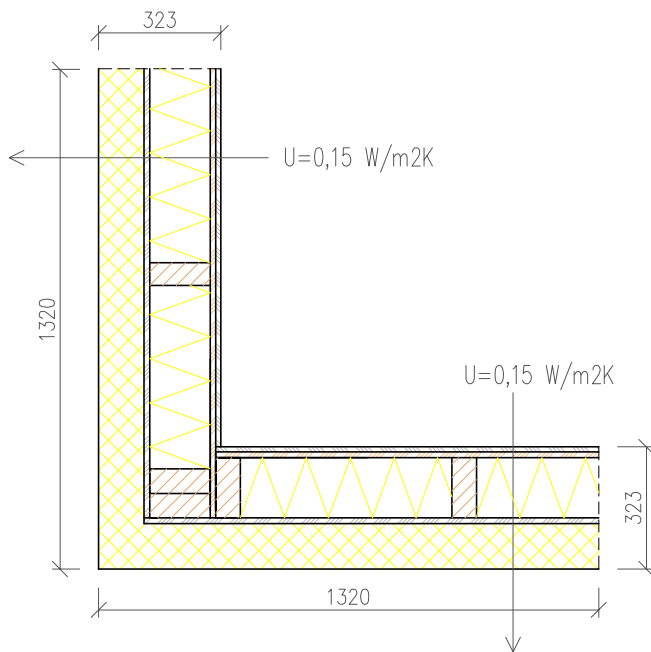
m hőtárolótömege (MSZ EN ISO 13790 szerint): 24 kg/m^2

Párányomás-diagram (MSZ EN ISO 13788 szerint):



8.3. Fejlesztett hőszigetelésű fa bordavázazas épület

8.3.2. Hőhídkatalógus



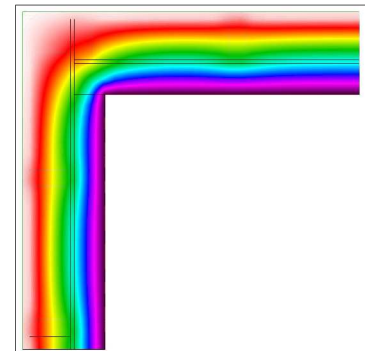
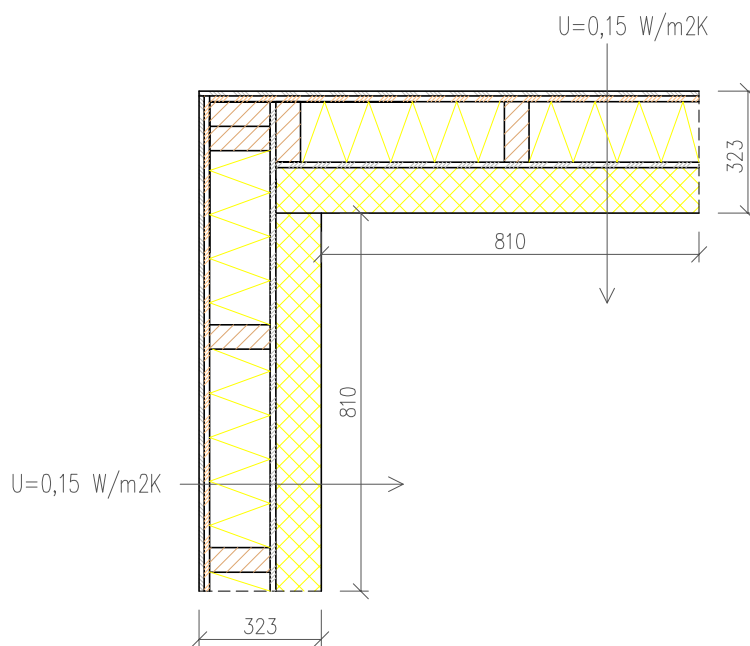
- Fa
- OSB
- Szálás hőszigetelés
- Polisztirol hőszigetelés
- Gipszrost
- Gipszlap
- Beton/Vasbeton
- Talaj
- Kavics

Külső falak 90°-os sarokkapcsolata
Vízszintes metszet (M 1:10)

Ψ_e	-0,039	W/mK
f_{Rsi}	0,809	-

φ_{80}	0,62
φ_{100}	0,70

01



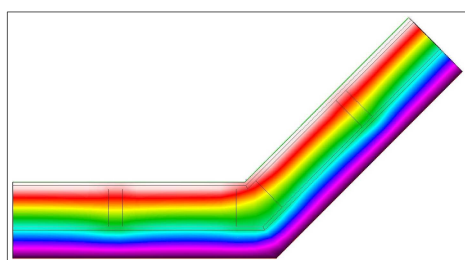
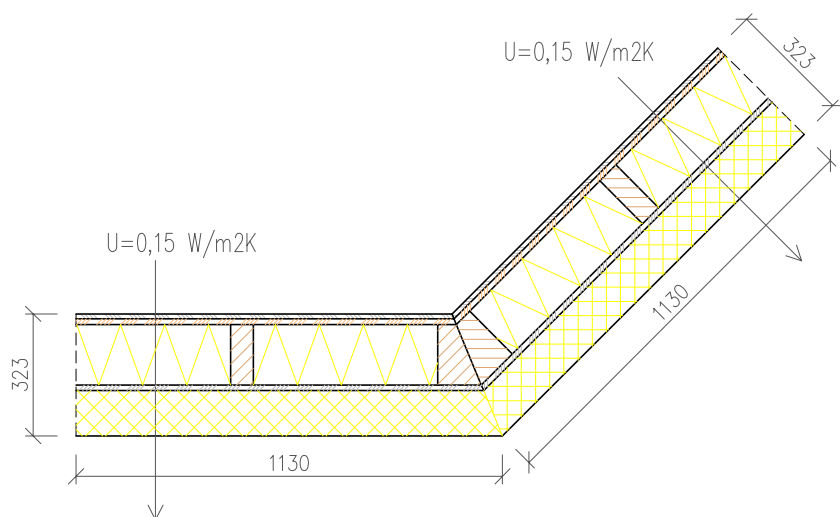
- Fa
- OSB
- Szálás hőszigetelés
- Polisztirol hőszigetelés
- Gipszrost
- Gipszlap
- Beton/Vasbeton
- Talaj
- Kavics

Külső falak 270°-os sarokkapcsolata
Vízszintes metszet (M 1:10)

Ψ_e	0,034	W/mK
f_{Rsi}	0,977	-

φ_{80}	0,77
φ_{100}	0,95

02



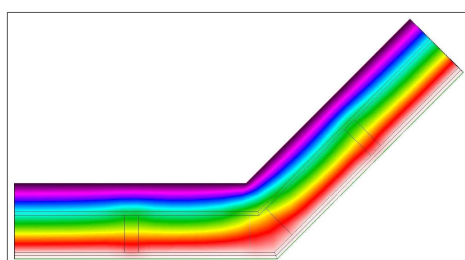
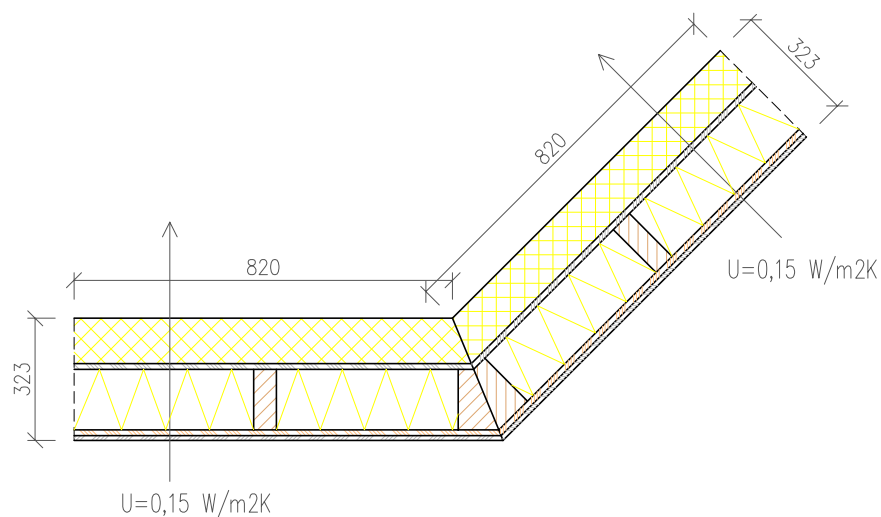
- Fa
- OSB
- Szálás hőszigetelés
- Polisztirol hőszigetelés
- Gipszrost
- Gipszlap
- Beton/Vasbeton
- Talaj
- Kavics

Külső falak 135°-os sarokkapcsolata
Vízszintes metszet (M 1:10)

Ψ_e	-0,009	W/mK
f_{Rsi}	0,936	-

ϕ_{80}	0,73
ϕ_{100}	0,89

03



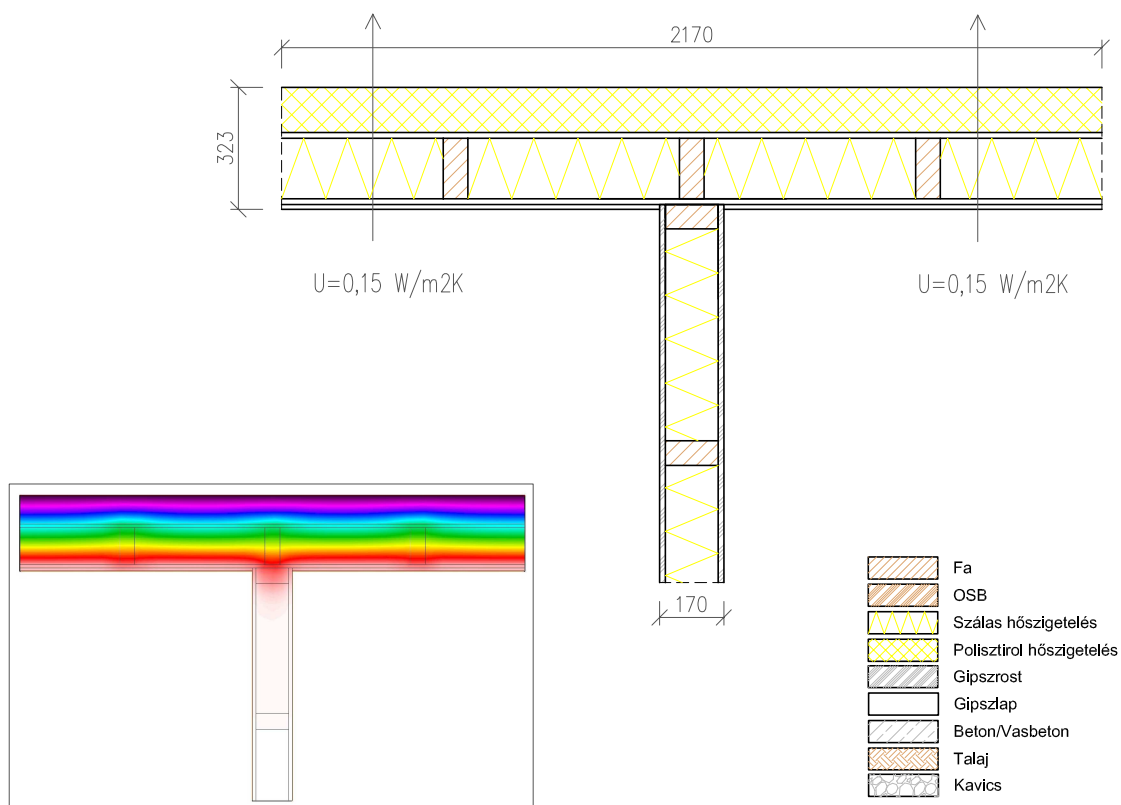
- Fa
- OSB
- Szálás hőszigetelés
- Polisztirol hőszigetelés
- Gipszrost
- Gipszlap
- Beton/Vasbeton
- Talaj
- Kavics

Külső falak 225°-os sarokkapcsolata
Vízszintes metszet (M 1:10)

Ψ_e	0,018	W/mK
f_{Rsi}	0,964	-

ϕ_{80}	0,76
ϕ_{100}	0,93

04

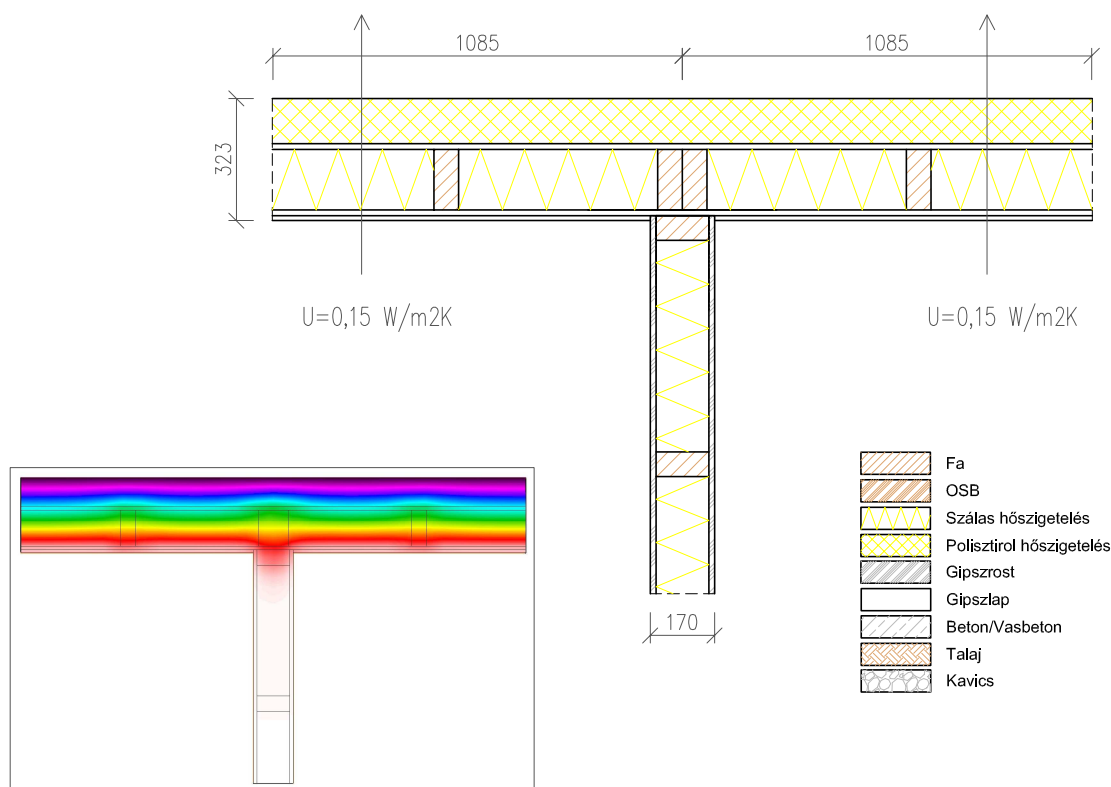


Külső falak T-kapcsolata
Vízszintes metszet (M 1:10)

Ψ_e	0,000	W/mK
f_{Rsi}	0,950	-

ϕ_{80}	0,74
ϕ_{100}	0,91

05

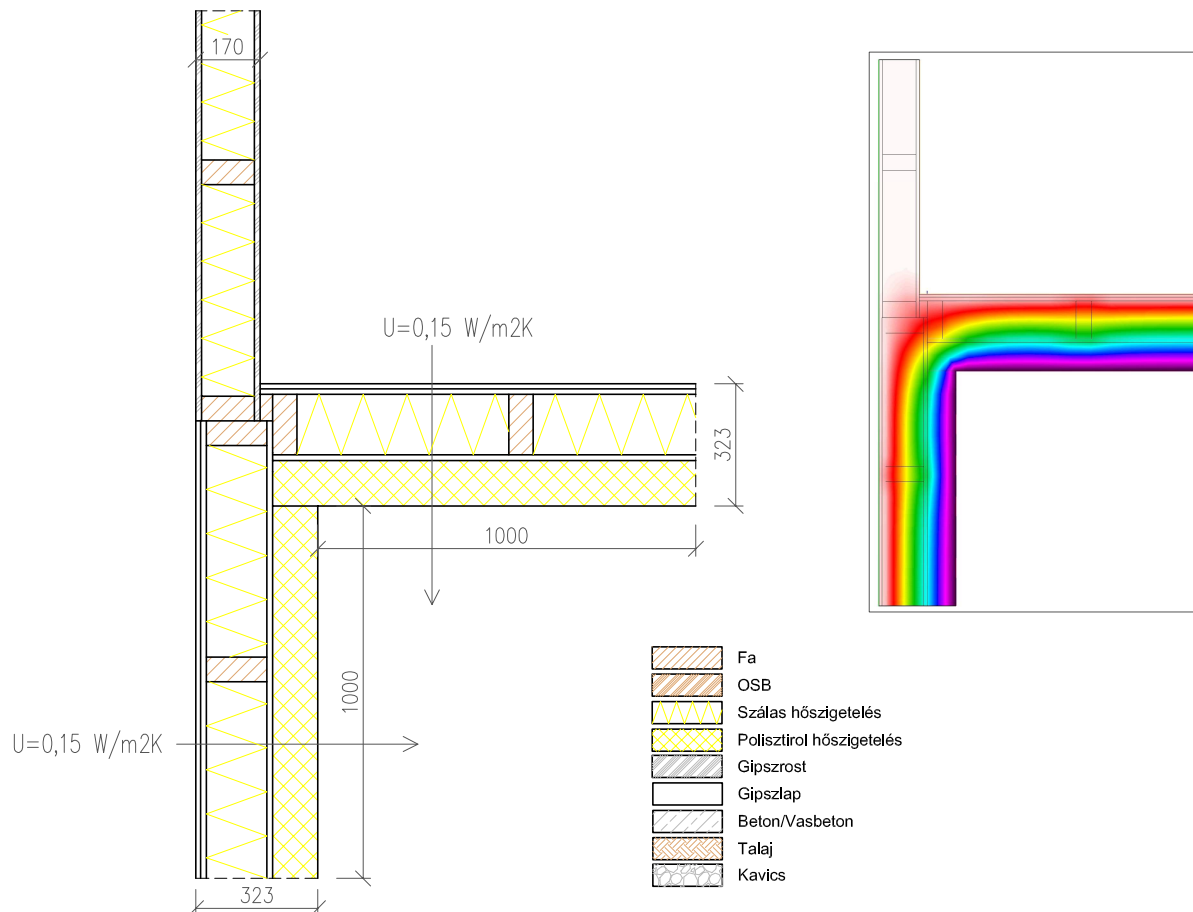


Külső falak toldása T-kapcsolatként
Vízszintes metszet (M 1:10)

Ψ_e	0,006	W/mK
f_{Rsi}	0,941	-

ϕ_{80}	0,74
ϕ_{100}	0,89

06

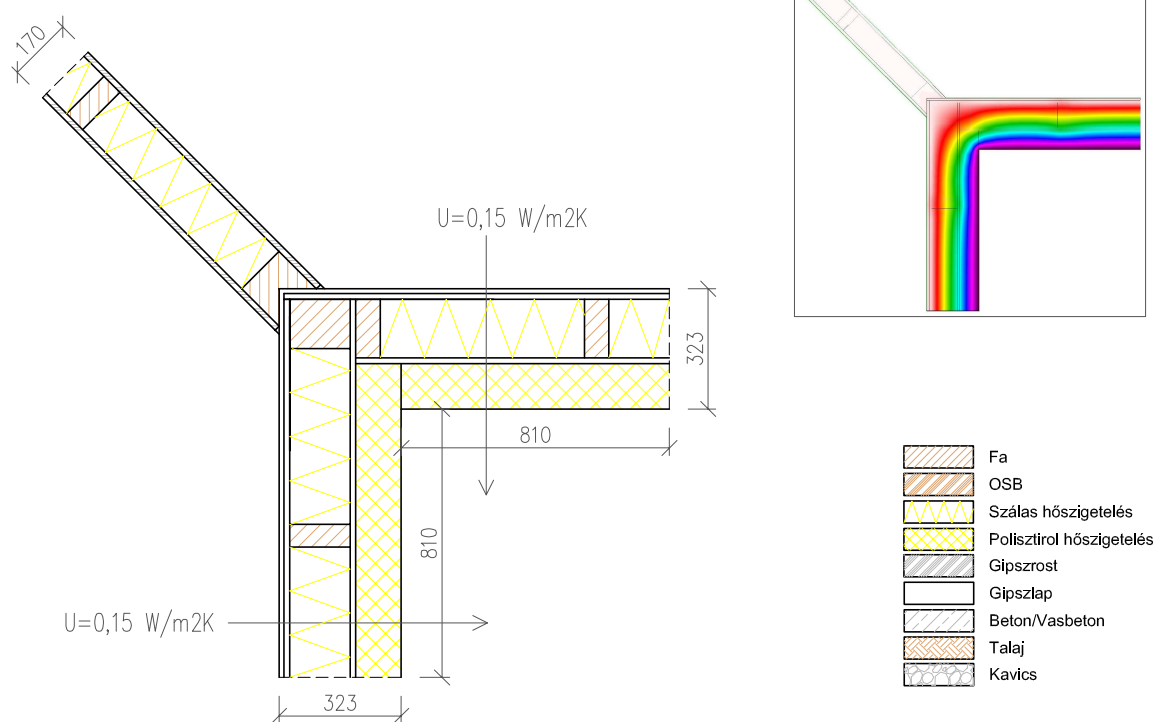


Külső falak 90°-os T-kapcsolata
Vízszintes metszet (M 1:10)

Ψ_e	0,027	W/mK
f_{Rsi}	0,955	-

ϕ_{80}	0,75
ϕ_{100}	0,91

07

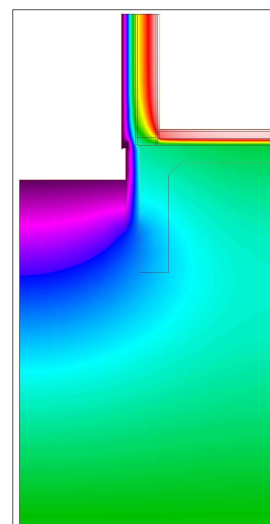
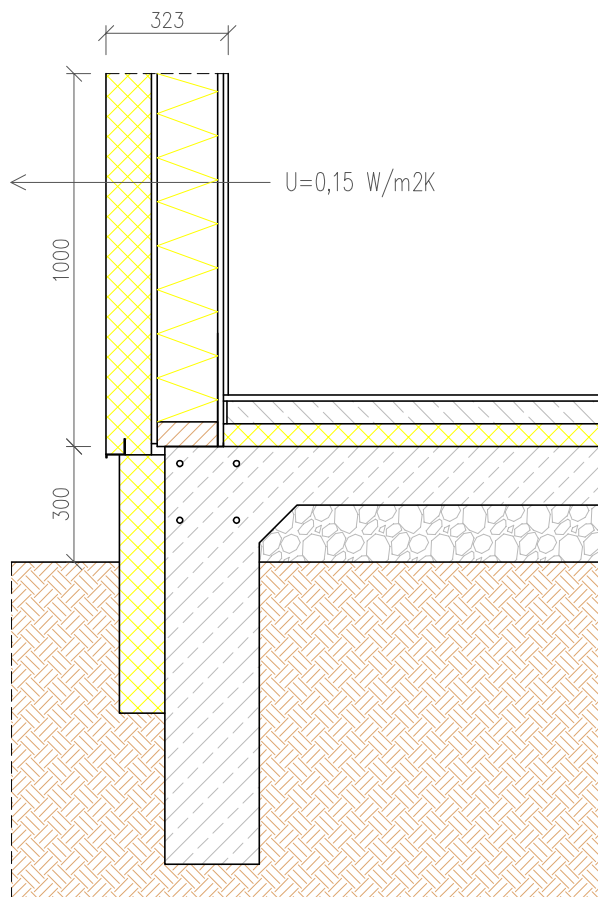


Külső falak 135°-os T-kapcsolata
Vízszintes metszet (M 1:10)

Ψ_e	0,030	W/mK
f_{Rsi}	0,977	-

ϕ_{80}	0,77
ϕ_{100}	0,95

08



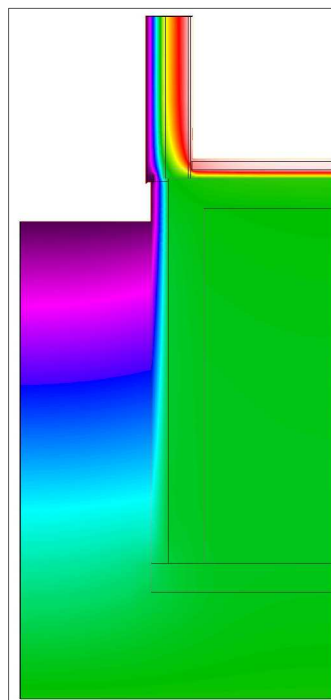
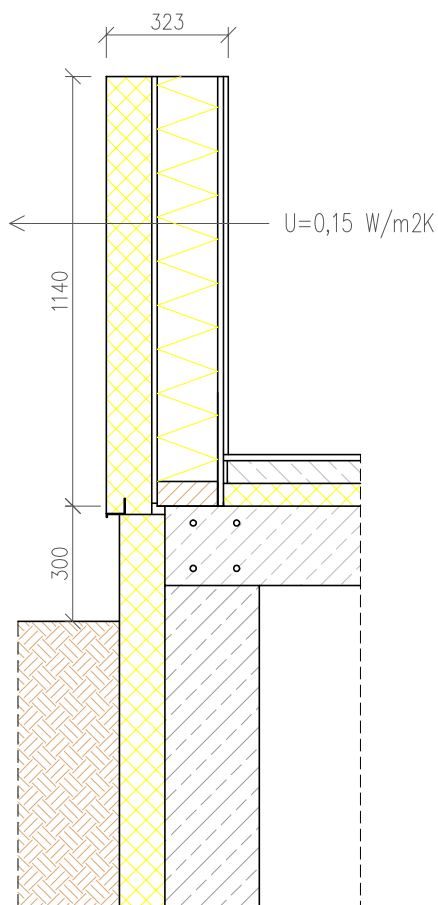
- Fa
- OSB
- Szálas hőszigetelés
- Polisztirol hőszigetelés
- Gipszrost
- Gipszlap
- Beton/Vasbeton
- Talaj
- Kavics

Lábazat, talajon fekvő padló
Függőleges metszet (M 1:10)

Ψ_e	0,038	W/mK
f_{Rsi}	0,855	-

φ_{80}	0,66
φ_{100}	0,77

09



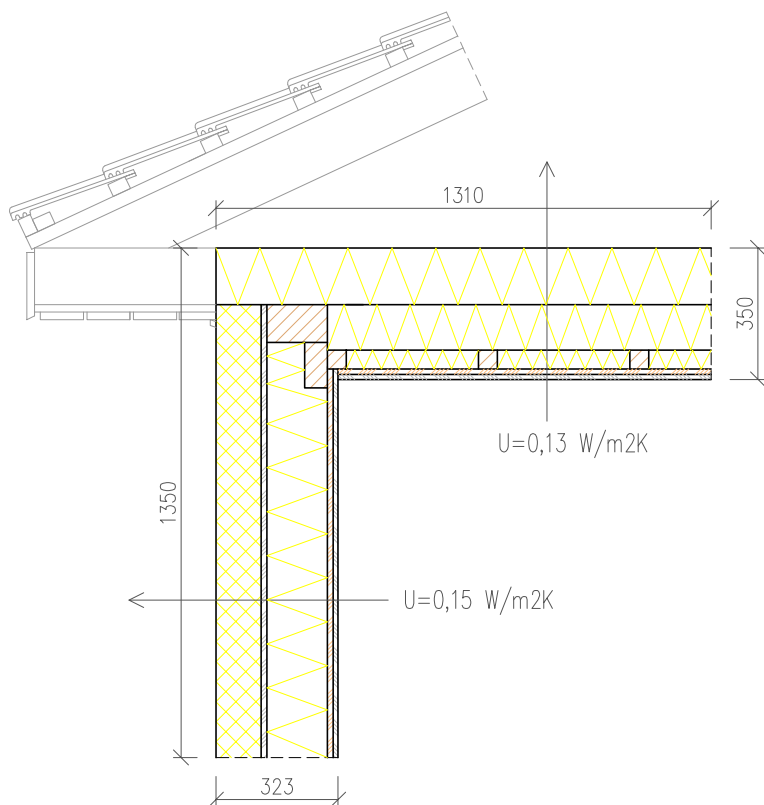
- Fa
- OSB
- Szálas hőszigetelés
- Polisztirol hőszigetelés
- Gipszrost
- Gipszlap
- Beton/Vasbeton
- Talaj
- Kavics

Lábazat, pincefödém
Függőleges metszet (M 1:10)

Ψ_e	0,042	W/mK
f_{Rsi}	0,873	-

φ_{80}	0,68
φ_{100}	0,80

10

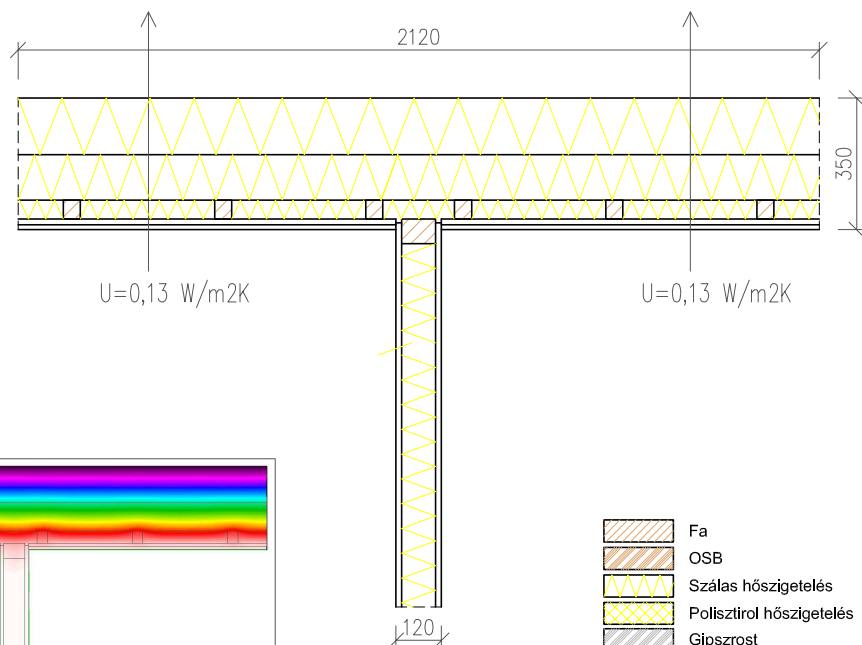


Rácsostartó-eresz kialakítása
Függőleges metszet (M 1:10)

Ψ_e	-0,082	W/mK
f_{Rsi}	0,882	-

ϕ_{80}	0,68
ϕ_{100}	0,81

11

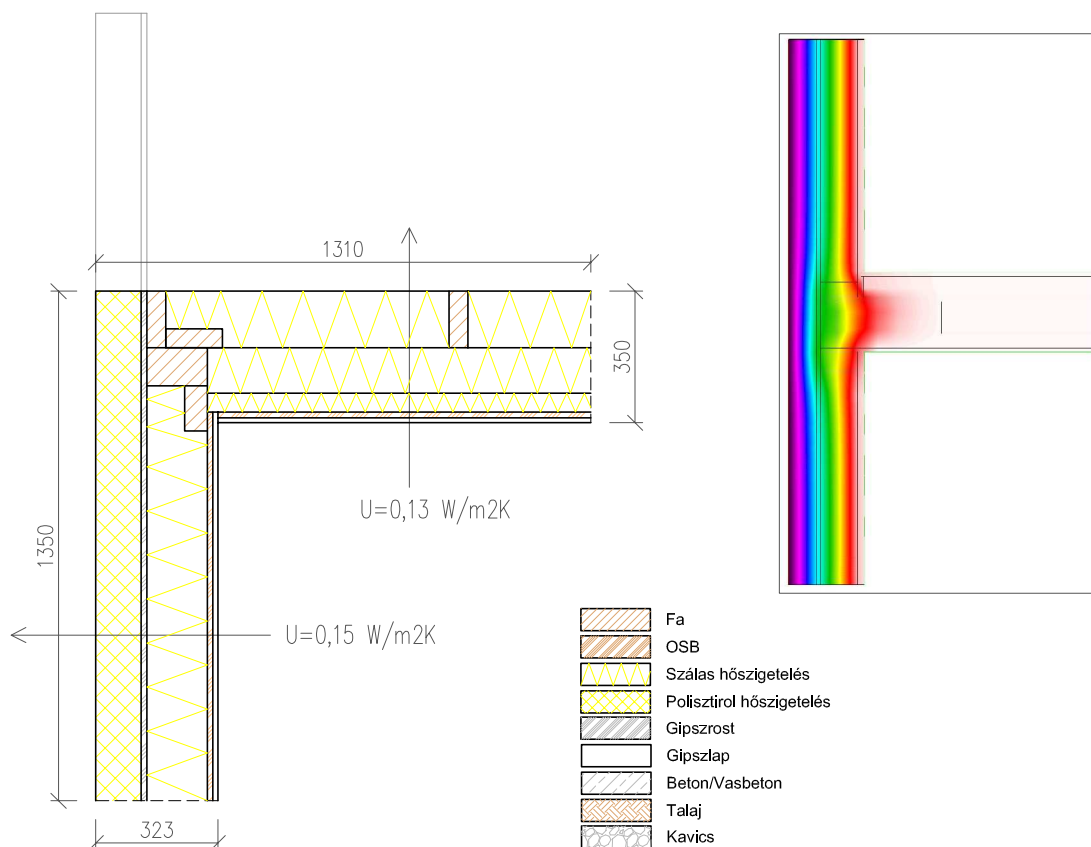


Rácsostartó-válaszfal kapcsolata
Függőleges metszet (M 1:10)

Ψ_e	-0,008	W/mK
f_{Rsi}	0,986	-

ϕ_{80}	0,77
ϕ_{100}	0,96

12

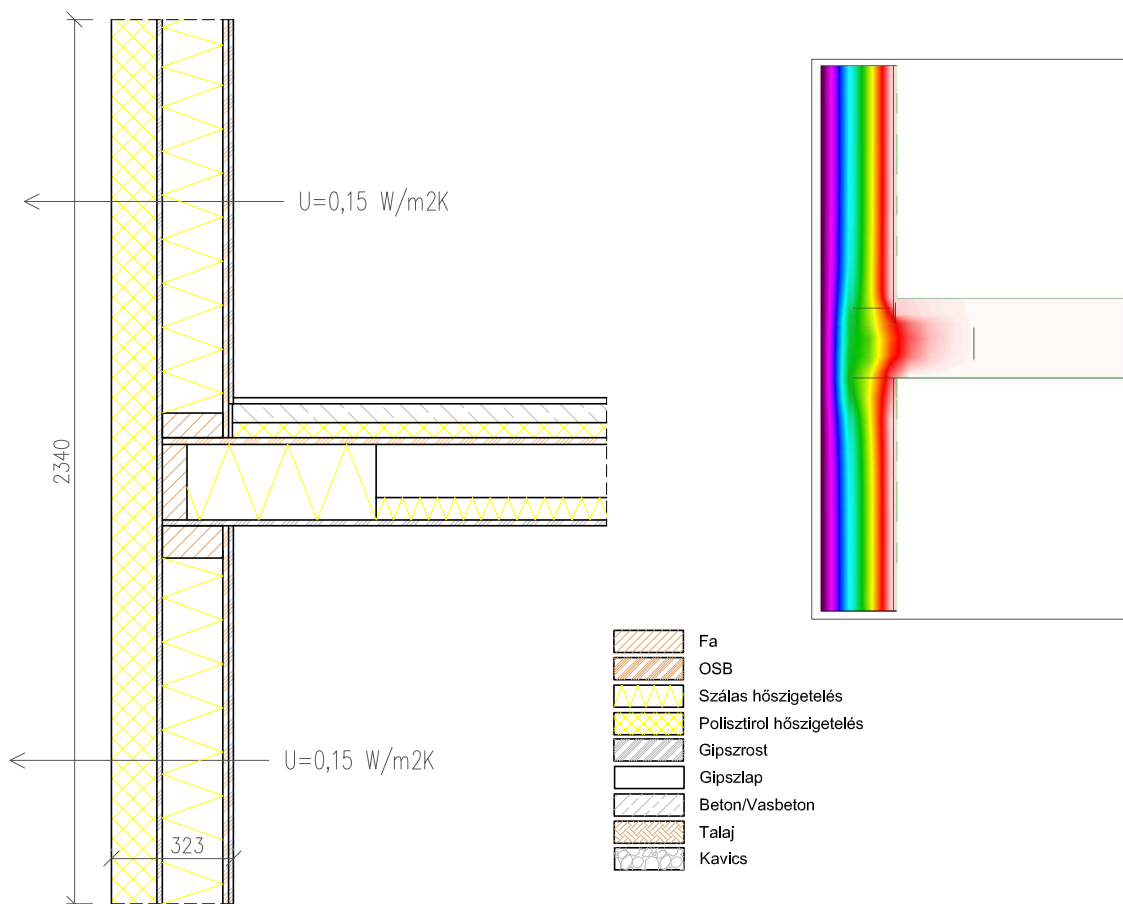


Rácsostartó-oromfal kapcsolata
Függőleges metszet (M 1:10)

Ψ_e	-0,093	W/mK
f_{Rsi}	0,900	-

φ_{80}	0,70
φ_{100}	0,84

13

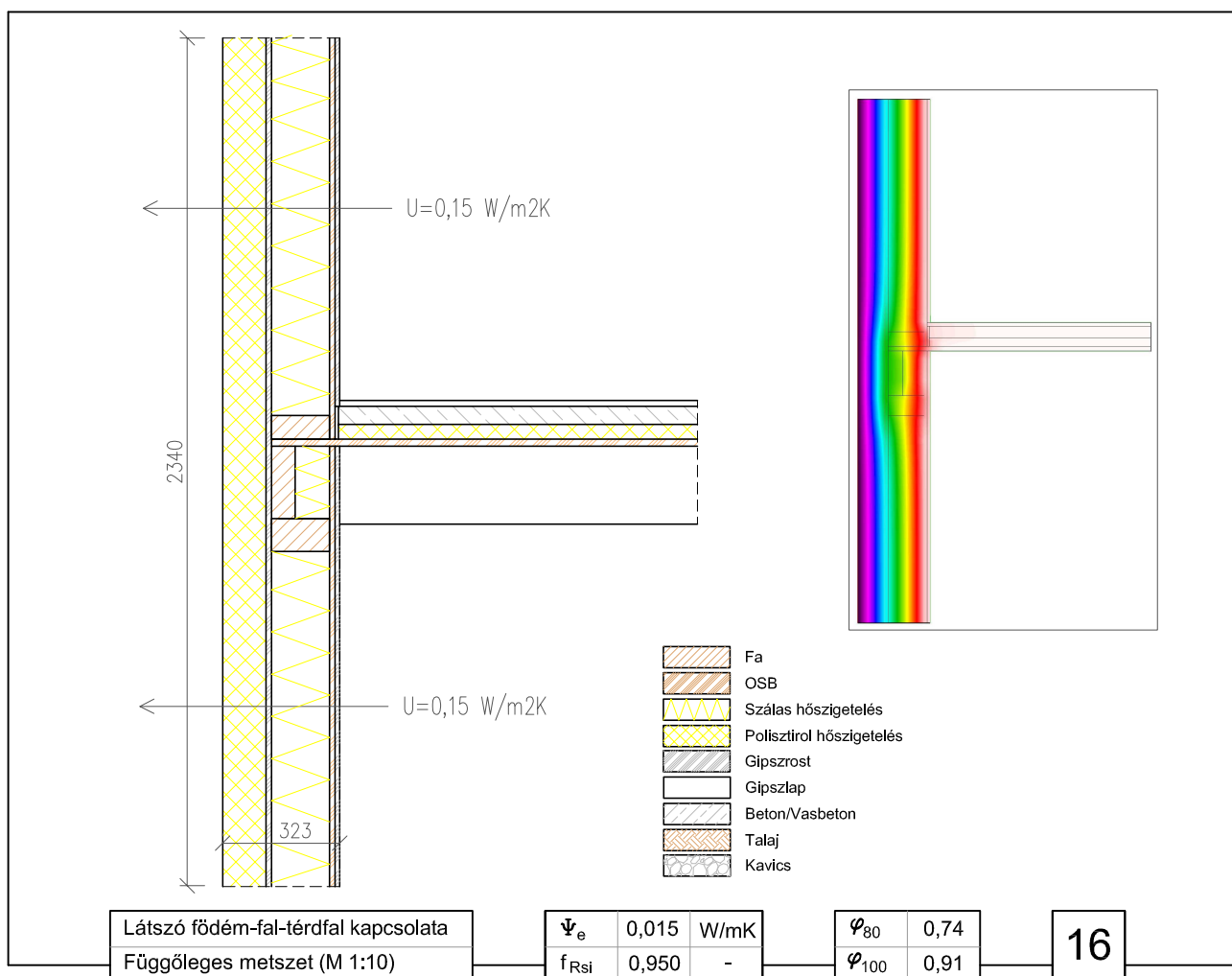
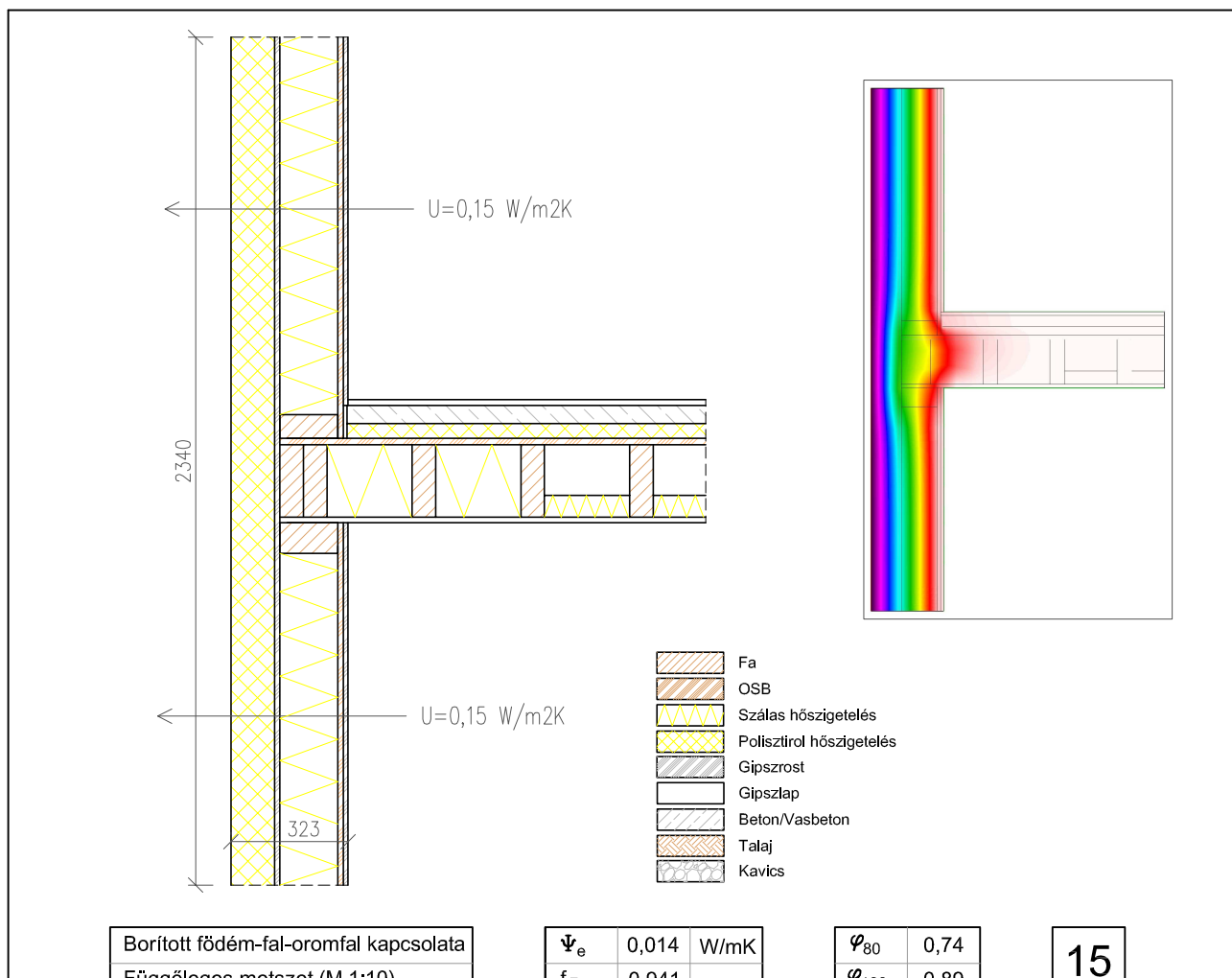


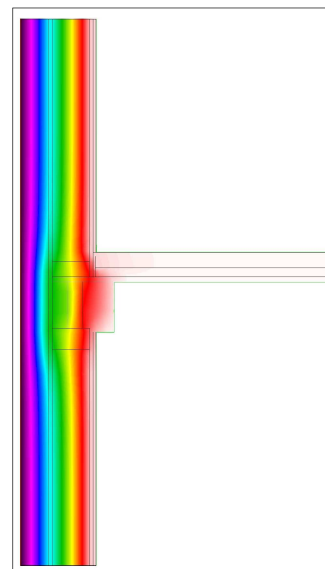
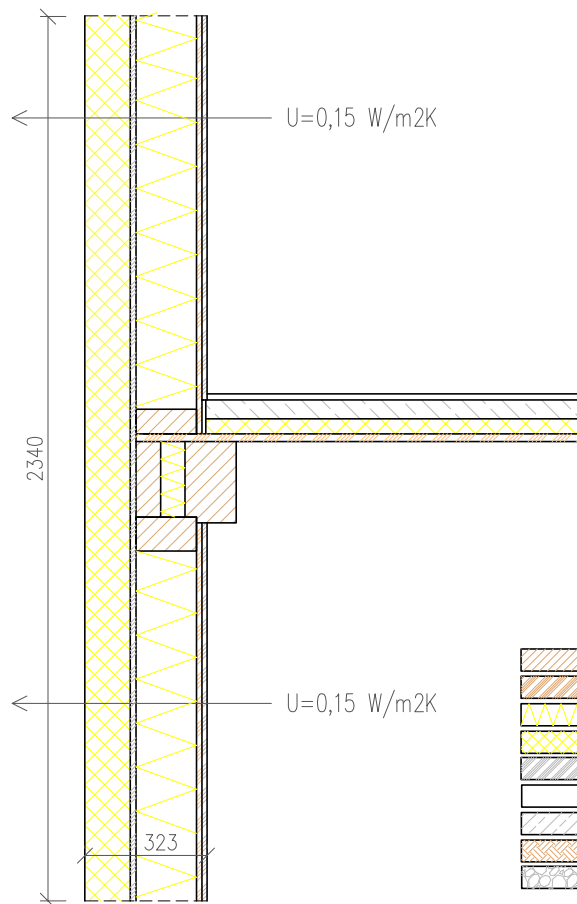
Borított földem-fal-térfal kapcsolata
Függőleges metszet (M 1:10)

Ψ_e	0,012	W/mK
f_{Rsi}	0,941	-

φ_{80}	0,74
φ_{100}	0,89

14



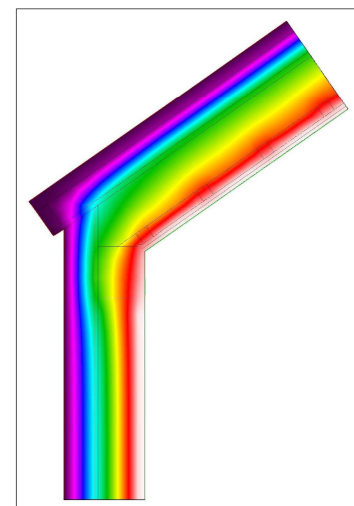
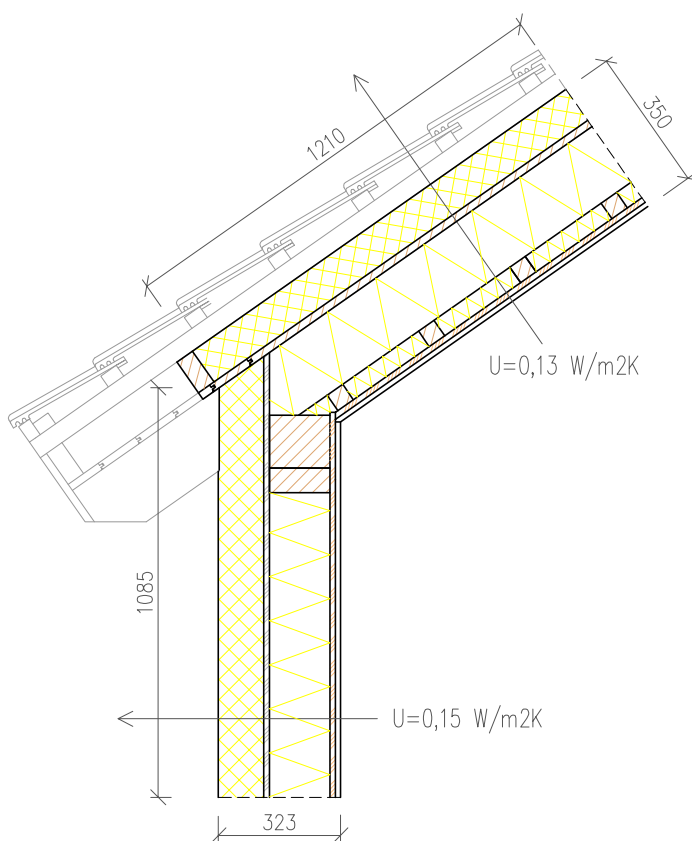


Látszó földem-fal-oromfal kapcsolata
Függőleges metszet (M 1:10)

Ψ_e	0,014	W/mK
f_{Rsi}	0,936	-

ϕ_{80}	0,73
ϕ_{100}	0,89

17

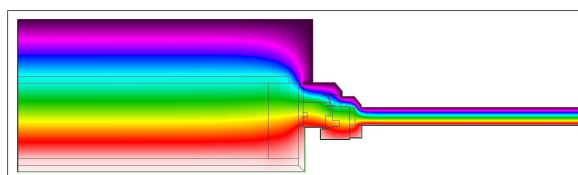
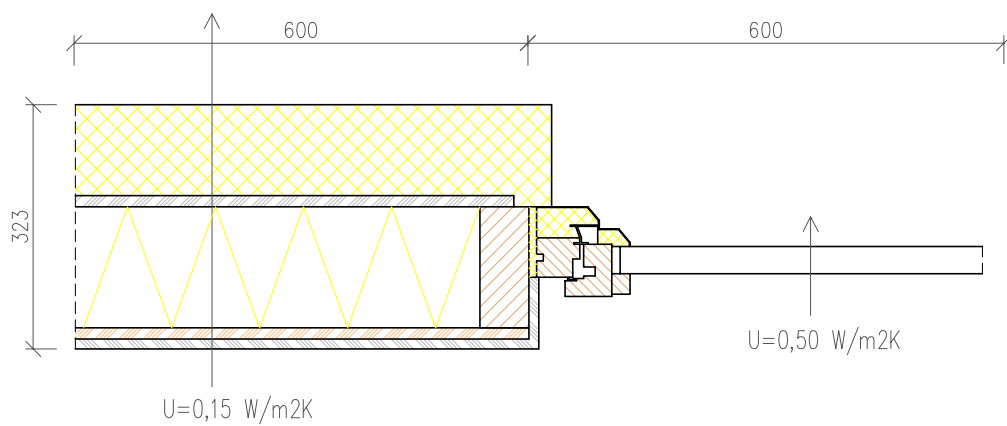


Térfal-tetőszik kapcsolata
Függőleges metszet (M 1:10)

Ψ_e	0,033	W/mK
f_{Rsi}	0,895	-

ϕ_{80}	0,70
ϕ_{100}	0,83

18



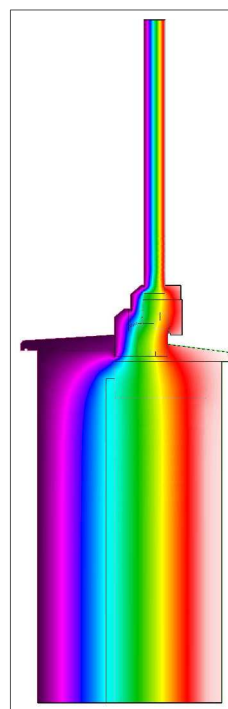
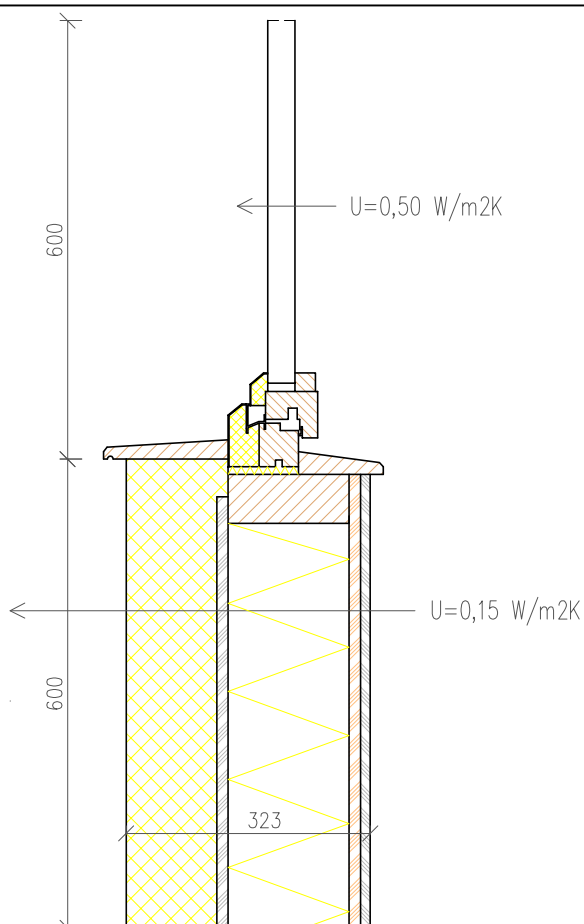
- Fa
- OSB
- Szálashőszigetelés
- Polisztirol hőszigetelés
- Gipszrost
- Gipszlap
- Beton/Vasbeton
- Talaj
- Kavics

Ablak oldalsó beépítése
Vízszintes metszet (M 1:5)

Ψ_e	0,053	W/mK
f_{Rsi}	0,869	-

φ_{80}	0,64
φ_{100}	0,79

21



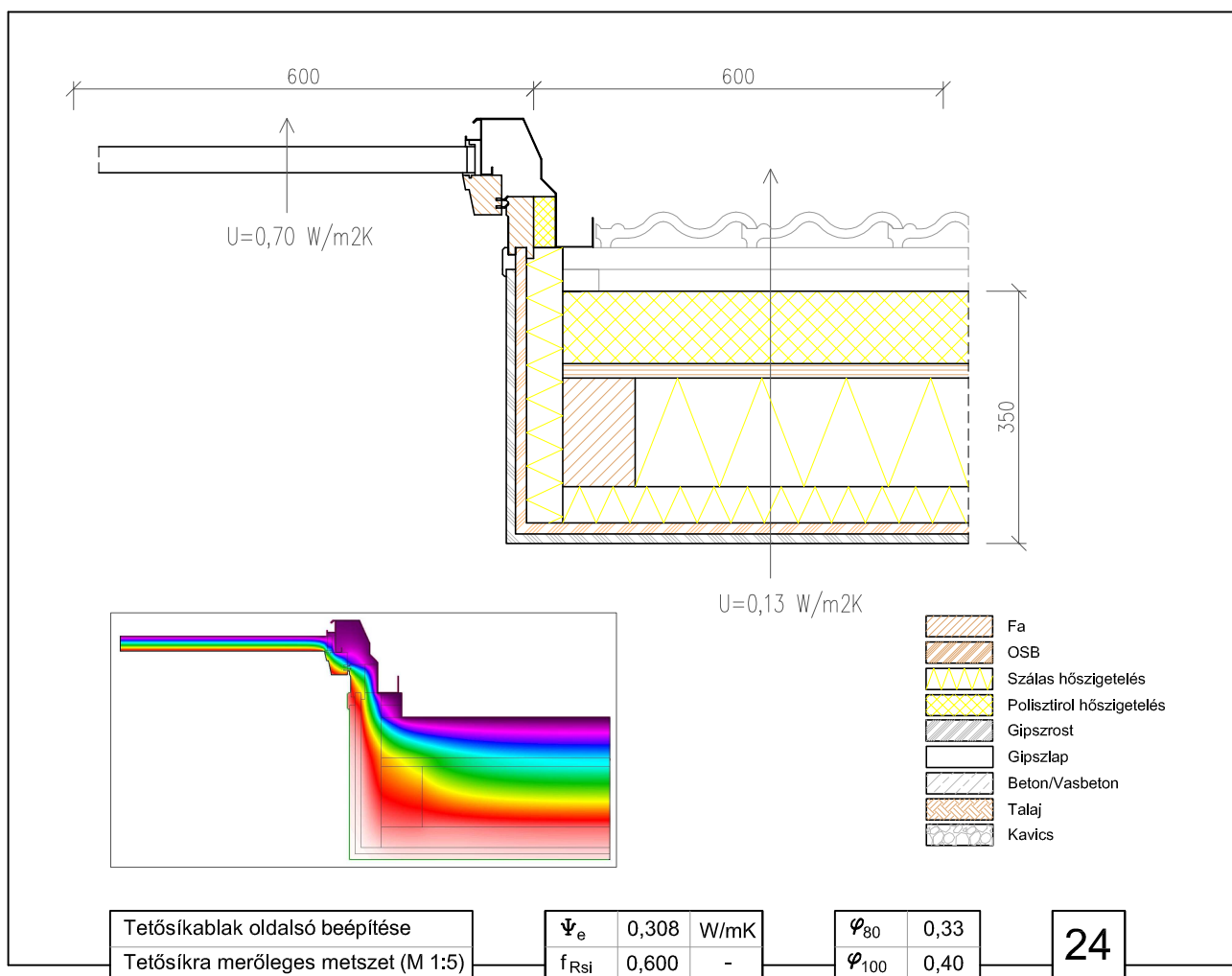
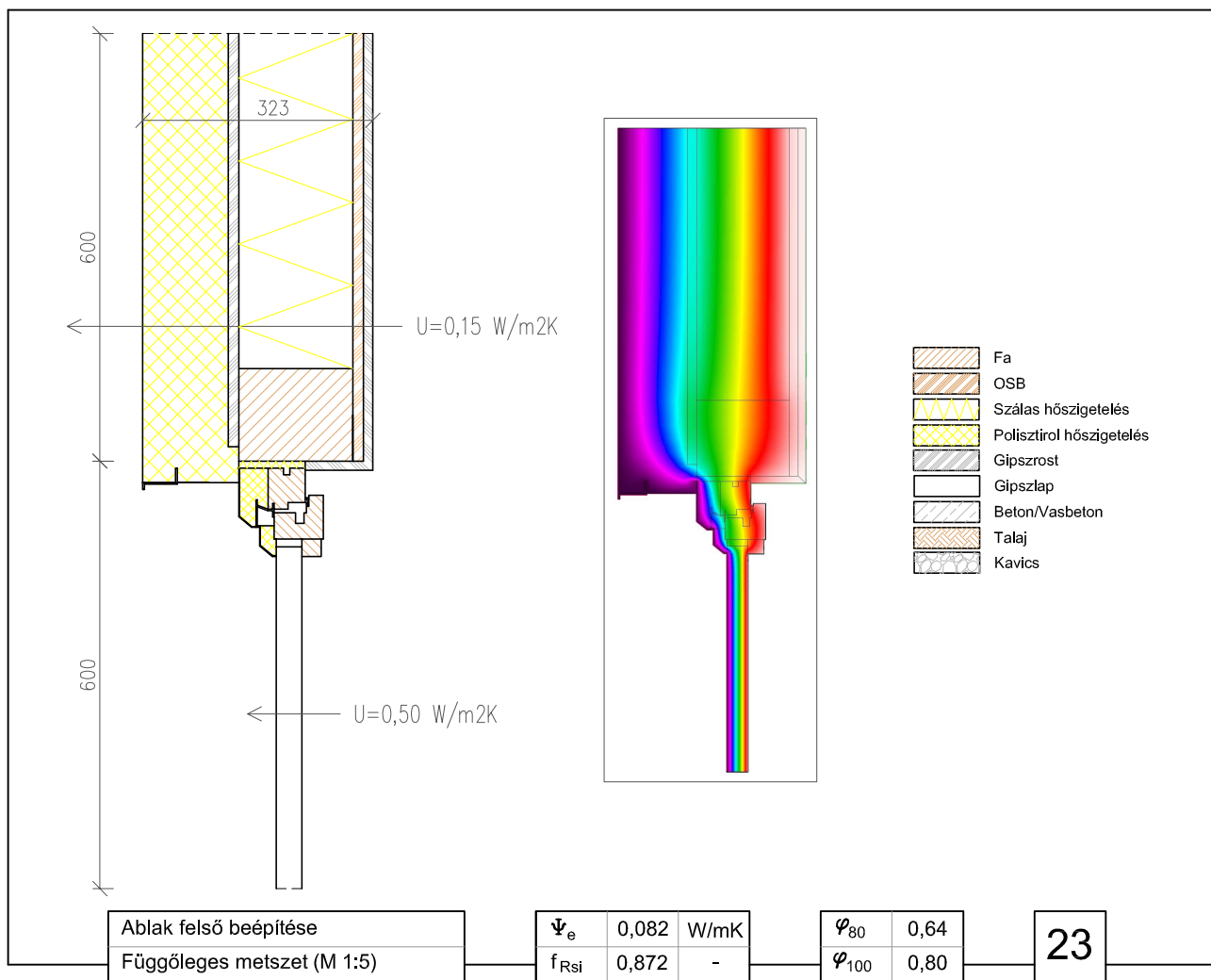
- Fa
- OSB
- Szálashőszigetelés
- Polisztirol hőszigetelés
- Gipszrost
- Gipszlap
- Beton/Vasbeton
- Talaj
- Kavics

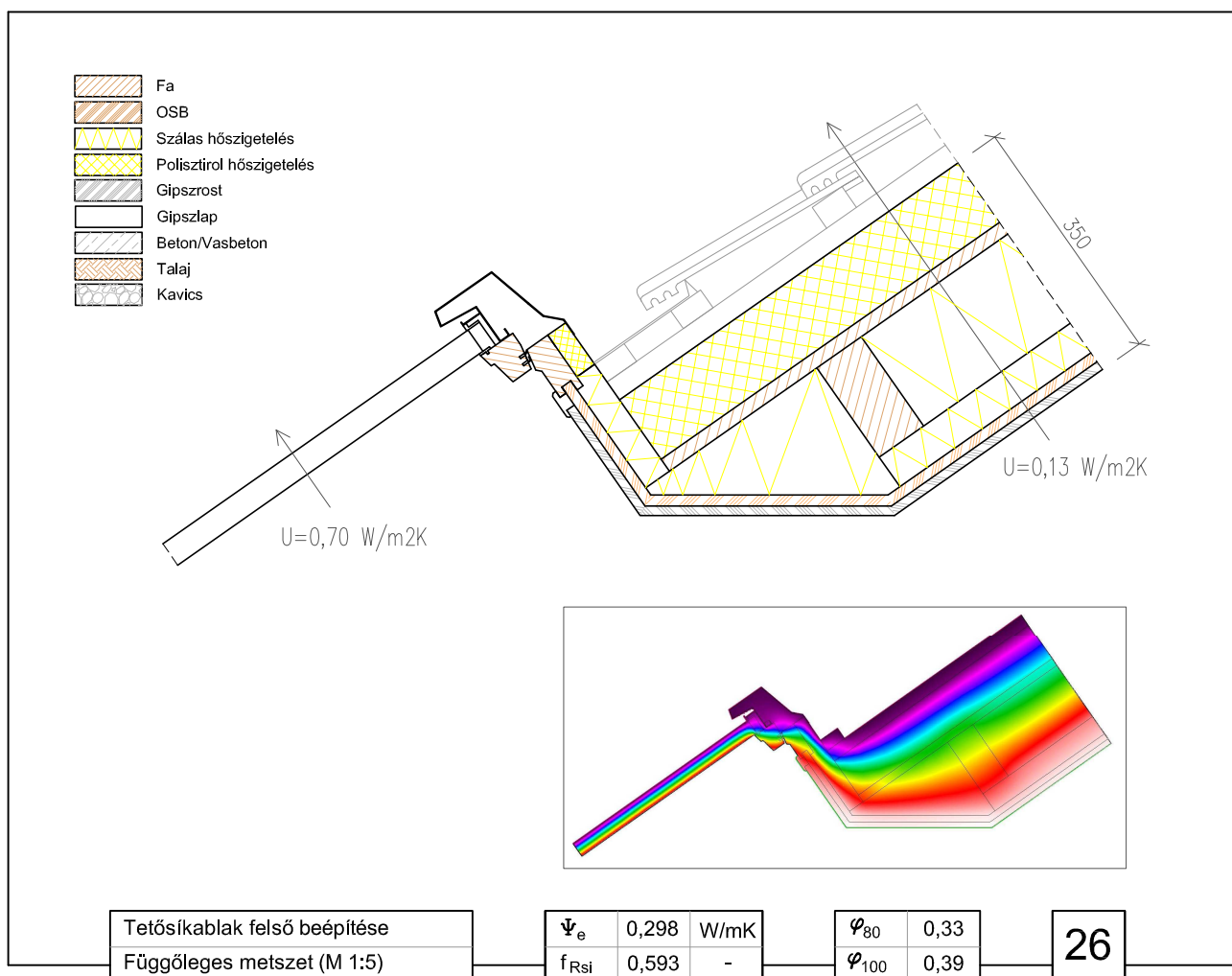
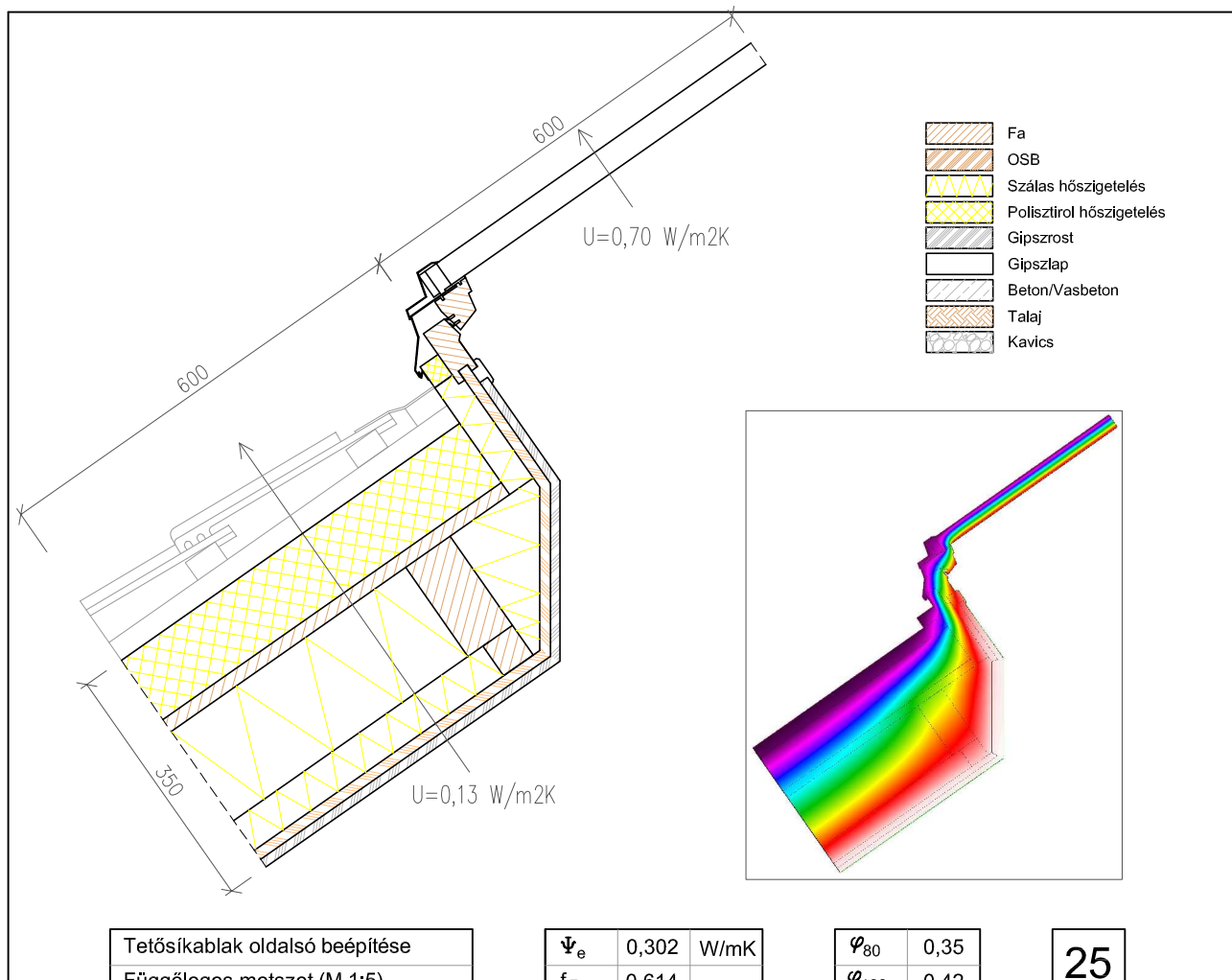
Ablak alsó beépítése
Függőleges metszet (M 1:5)

Ψ_e	0,064	W/mK
f_{Rsi}	0,862	-

φ_{80}	0,63
φ_{100}	0,78

22





35. Táblázat Pontszerű hőhidak jellemző értékei

Kapcsolódó hőhidak		1	2	3	4	5	6	7	8
9 9	f_{Rsi}	0,715	0,783	0,756	0,775	0,766	0,760	0,769	0,783
	φ_{80}	0,54	0,60	0,58	0,59	0,58	0,58	0,59	0,60
	φ_{100}	0,57	0,67	0,63	0,65	0,64	0,63	0,64	0,67
10 10	f_{Rsi}	0,740	0,814	0,785	0,805	0,795	0,789	0,798	0,814
	φ_{80}	0,56	0,63	0,60	0,62	0,61	0,60	0,61	0,63
	φ_{100}	0,60	0,71	0,67	0,70	0,68	0,67	0,69	0,71
11 11	f_{Rsi}	0,725	0,796	0,768	0,787			0,781	0,796
	φ_{80}	0,55	0,61	0,59	0,60			0,60	0,61
	φ_{100}	0,58	0,68	0,64	0,67			0,66	0,68
11 12	f_{Rsi}					0,858	0,850	0,862	0,880
	φ_{80}					0,66	0,66	0,67	0,68
	φ_{100}					0,77	0,76	0,78	0,81
11 13	f_{Rsi}	0,738	0,810	0,782	0,802			0,795	0,810
	φ_{80}	0,56	0,62	0,60	0,62			0,61	0,62
	φ_{100}	0,60	0,71	0,66	0,69			0,68	0,71
14 15	f_{Rsi}	0,812	0,901	0,866	0,890			0,882	0,901
	φ_{80}	0,62	0,70	0,67	0,69			0,69	0,70
	φ_{100}	0,71	0,84	0,79	0,82			0,81	0,84
16 17	f_{Rsi}	0,815	0,904	0,869	0,893			0,885	0,904
	φ_{80}	0,63	0,70	0,67	0,69			0,69	0,70
	φ_{100}	0,71	0,84	0,79	0,83			0,81	0,84
18 18	f_{Rsi}	0,742	0,816	0,787	0,807			0,800	0,816
	φ_{80}	0,56	0,63	0,60	0,62			0,61	0,63
	φ_{100}	0,61	0,71	0,67	0,70			0,69	0,71
18 20	f_{Rsi}	0,742	0,816	0,787	0,807			0,800	0,816
	φ_{80}	0,56	0,63	0,60	0,62			0,61	0,63
	φ_{100}	0,61	0,71	0,67	0,70			0,69	0,71
19 20	f_{Rsi}	0,779	0,861	0,829	0,851	0,840	0,833	0,844	0,861
	φ_{80}	0,60	0,67	0,64	0,66	0,65	0,64	0,65	0,67
	φ_{100}	0,66	0,78	0,73	0,76	0,75	0,74	0,75	0,78

8.3. Fejlesztett hőszigetelésű fa bordavázás épület

8.3.3. A nyílászárók adattáblázatai

36. Táblázat Az egyes profilszakaszok vonalmenti hőhíd-értékei

sorszám	vonalmenti hőhíd típusa	ψ_e	f_{Rsi}	φ_{80}	φ_{100}
1	ablak alsó	0,047	0,866	0,63	0,79
2	ablak oldalsó	0,050	0,869	0,64	0,79
3	ablak felső	0,050	0,869	0,64	0,79
4	tetősíkablak alsó	0,245	0,621	0,36	0,43
5	tetősíkablak oldalsó	0,251	0,600	0,33	0,40
6	tetősíkablak felső	0,242	0,590	0,32	0,38

37. Táblázat Üvegezett szerkezet profillal összesített hőátbocsátási tényezője

Ablakszerkezet hőátbocsátása ($U_g=0,5$)									
U_w		szélesség (cm)							
		45	60	75	90	105	120	135	150
magasság (cm)	45	0,938	0,882	0,849	0,827	0,811	0,799	0,790	0,782
	60	0,884	0,828	0,795	0,773	0,757	0,745	0,736	0,728
	75	0,852	0,796	0,763	0,740	0,725	0,713	0,703	0,696
	90	0,830	0,774	0,741	0,719	0,703	0,691	0,682	0,674
	105	0,815	0,759	0,726	0,703	0,688	0,676	0,666	0,659
	120	0,803	0,748	0,714	0,692	0,676	0,664	0,655	0,648
	135	0,794	0,739	0,705	0,683	0,667	0,655	0,646	0,639
	150	0,787	0,731	0,698	0,676	0,660	0,648	0,639	0,631
	165	0,781	0,725	0,692	0,670	0,654	0,642	0,633	0,625
	180	0,776	0,721	0,687	0,665	0,649	0,637	0,628	0,621
	195	0,772	0,716	0,683	0,661	0,645	0,633	0,624	0,616
	210	0,768	0,713	0,680	0,657	0,641	0,630	0,620	0,613
	225	0,765	0,710	0,676	0,654	0,638	0,626	0,617	0,610
	240	0,763	0,707	0,674	0,652	0,636	0,624	0,614	0,607
	255	0,760	0,705	0,671	0,649	0,633	0,621	0,612	0,605
	270	0,758	0,703	0,669	0,647	0,631	0,619	0,610	0,603

38. Táblázat Tetősíkablak profillal összesített hőátbocsátási tényezője

Tetősíkablak hőátbocsátása ($U_g=0,7$)							
U_w		szélesség (cm)					
		54	65	74	94	114	134
magasság (cm)	78	2,254	2,097	2,003	1,858	1,765	1,699
	98	2,127	1,969	1,875	1,731	1,637	1,572
	118	2,042	1,885	1,791	1,647	1,553	1,487
	140	1,977	1,820	1,726	1,582	1,488	1,422
	160	1,934	1,777	1,683	1,538	1,445	1,379

39. Táblázat Üvegezett szerkezetek hővesztesége (egyszerűsített számoláshoz)

Ablakszerkezet hővesztesége ($U_q=0,5$)									
U_w		szélesség (cm)							
		45	60	75	90	105	120	135	150
magasság (cm)	45	0,190	0,238	0,287	0,335	0,383	0,431	0,480	0,528
	60	0,239	0,298	0,358	0,417	0,477	0,536	0,596	0,656
	75	0,287	0,358	0,429	0,500	0,571	0,641	0,712	0,783
	90	0,336	0,418	0,500	0,582	0,664	0,746	0,828	0,911
	105	0,385	0,478	0,572	0,665	0,758	0,851	0,945	1,038
	120	0,434	0,538	0,643	0,747	0,852	0,956	1,061	1,166
	135	0,482	0,598	0,714	0,830	0,946	1,061	1,177	1,293
	150	0,531	0,658	0,785	0,912	1,039	1,166	1,293	1,421
	165	0,580	0,718	0,857	0,995	1,133	1,271	1,410	1,548
	180	0,629	0,778	0,928	1,077	1,227	1,376	1,526	1,676
	195	0,677	0,838	0,999	1,160	1,321	1,481	1,642	1,803
	210	0,726	0,898	1,070	1,242	1,414	1,586	1,758	1,931
	225	0,775	0,958	1,142	1,325	1,508	1,691	1,875	2,058
	240	0,824	1,018	1,213	1,407	1,602	1,796	1,991	2,186
	255	0,872	1,078	1,284	1,490	1,696	1,901	2,107	2,313
	270	0,921	1,138	1,355	1,572	1,789	2,006	2,223	2,441

40. Táblázat Tetősíkablakok hővesztesége (egyszerűsített számoláshoz)

Tetősíkablakok hővesztesége ($U_q=0,7$)							
U_w		szélesség (cm)					
		54	65	74	94	114	134
magasság (cm)	78	0,949	1,063	1,156	1,363	1,569	1,776
	98	1,125	1,254	1,360	1,595	1,829	2,064
	118	1,301	1,446	1,564	1,827	2,089	2,352
	140	1,495	1,656	1,788	2,082	2,375	2,669
	160	1,671	1,848	1,992	2,314	2,635	2,957

41. Táblázat Üvegezett szerkezetek hővesztése (részletes számoláshoz)

Beépített ablakszerkezet hővesztése ($U_q=0,5$)									
U_w		szélesség (cm)							
		45	60	75	90	105	120	135	150
magasság (cm)	45	0,216	0,273	0,329	0,385	0,441	0,498	0,554	0,610
	60	0,266	0,334	0,401	0,469	0,536	0,604	0,671	0,739
	75	0,316	0,395	0,473	0,552	0,631	0,710	0,788	0,867
	90	0,365	0,455	0,545	0,635	0,725	0,815	0,905	0,995
	105	0,415	0,516	0,618	0,719	0,820	0,921	1,023	1,124
	120	0,465	0,577	0,690	0,802	0,915	1,027	1,140	1,252
	135	0,514	0,638	0,762	0,886	1,009	1,133	1,257	1,381
	150	0,564	0,699	0,834	0,969	1,104	1,239	1,374	1,509
	165	0,614	0,760	0,906	1,052	1,199	1,345	1,491	1,637
	180	0,663	0,821	0,978	1,136	1,293	1,451	1,608	1,766
	195	0,713	0,882	1,050	1,219	1,388	1,557	1,725	1,894
	210	0,763	0,943	1,123	1,303	1,483	1,663	1,843	2,023
	225	0,812	1,004	1,195	1,386	1,577	1,769	1,960	2,151
	240	0,862	1,064	1,267	1,469	1,672	1,874	2,077	2,279
	255	0,912	1,125	1,339	1,553	1,767	1,980	2,194	2,408
	270	0,961	1,186	1,411	1,636	1,861	2,086	2,311	2,536

42. Táblázat Tetősíkablakok hővesztése (részletes számoláshoz)

Beépített tetősíkablak hővesztése ($U_q=0,7$)							
U_w		szélesség (cm)					
		54	65	74	94	114	134
magasság (cm)	78	1,099	1,225	1,329	1,558	1,787	2,016
	98	1,298	1,440	1,555	1,813	2,070	2,327
	118	1,497	1,654	1,782	2,067	2,353	2,638
	140	1,716	1,889	2,032	2,348	2,664	2,980
	160	1,914	2,104	2,258	2,602	2,946	3,290

43. Táblázat Üvegezett szerkezetek hőnyeresége (részletes számoláshoz)

Ablakszerkezet hőnyeresége ($g=0,55$)									
U_w		szélesség (cm)							
		45	60	75	90	105	120	135	150
magasság (cm)	45	0,022	0,033	0,044	0,057	0,071	0,085	0,100	0,116
	60	0,033	0,049	0,066	0,085	0,105	0,127	0,149	0,172
	75	0,044	0,066	0,090	0,116	0,143	0,172	0,203	0,234
	90	0,057	0,085	0,116	0,149	0,184	0,222	0,261	0,301
	105	0,071	0,105	0,143	0,184	0,228	0,274	0,322	0,373
	120	0,085	0,127	0,172	0,222	0,274	0,329	0,388	0,448
	135	0,100	0,149	0,203	0,261	0,322	0,388	0,456	0,527
	150	0,116	0,172	0,234	0,301	0,373	0,448	0,527	0,610
	165	0,132	0,196	0,267	0,344	0,425	0,511	0,602	0,696
	180	0,149	0,222	0,301	0,388	0,479	0,577	0,678	0,784
	195	0,166	0,247	0,337	0,433	0,535	0,644	0,757	0,876
	210	0,184	0,274	0,373	0,479	0,593	0,713	0,839	0,970
	225	0,203	0,301	0,410	0,527	0,652	0,784	0,923	1,067
	240	0,222	0,329	0,448	0,577	0,713	0,857	1,009	1,167
	255	0,241	0,358	0,487	0,627	0,775	0,932	1,097	1,268
	270	0,261	0,388	0,527	0,678	0,839	1,009	1,187	1,373

44. Táblázat Tetősíkkablakok hőnyeresége (részletes számoláshoz)

Tetősíkkablak hőnyeresége ($g=0,60$)							
U_w		szélesség (cm)					
		54	65	74	94	114	134
magasság (cm)	78	0,099	0,128	0,153	0,212	0,277	0,346
	98	0,135	0,175	0,209	0,291	0,380	0,475
	118	0,175	0,226	0,270	0,376	0,491	0,613
	140	0,222	0,286	0,342	0,476	0,621	0,777
	160	0,266	0,344	0,411	0,572	0,747	0,934

8.4. Anyagköltségek összegzése

45. Táblázat Az egyes szerkezeti részek anyagköltségei

Rétegrend		Standard				Extra			
		mennyiség	egységár	összeg		mennyiség	egységár	összeg	
Alap	Sávalap és lábazat	16	m3	18 000	288 000 Ft	Azonos			
	Kavicsfeltöltés	8	m3	6 000	48 000 Ft				
	Vasbeton lemez	12	m3	30 000	360 000 Ft				
						696 000 Ft			696 000 Ft
Padló	Vízszigetelés	61	m2	700	42 700 Ft	Azonos			
	Hőszigetelés	51	m2	1 700	86 700 Ft				
	Fólia	60	m2	150	9 000 Ft				
	Aljzatbeton	4	m3	20 000	80 000 Ft				
						218 400 Ft			218 400 Ft
Külső falak	Fa bordaváz	3,7	m3	100 000	370 000 Ft	4,25	m3	100 000	425 000 Ft
	Párazáró fólia	140	m2	200	28 000 Ft	140	m2	200	28 000 Ft
	OSB borítás					140	m2	1 380	193 200 Ft
	Gipszkarton					140	m2	500	70 000 Ft
	Gipszrost	140	m2	2 000	280 000 Ft				
	Hőszigetelés	105	m3	1 500	157 500 Ft	105	m3	1 750	183 750 Ft
	Gipszrost	140	m2	2 000	280 000 Ft	140	m2	2 000	280 000 Ft
	Primuszragasztó	132	m2	800	105 600 Ft	132	m2	500	66 000 Ft
	Hőszigetelés	132	m2	1 100	145 200 Ft				
	Hőszigetelés					132	m2	2 700	356 400 Ft
	Rögzítődübel	800	db	70	56 000 Ft	800	db	90	72 000 Ft
	Fémprofil	40	fm	500	20 000 Ft	40	fm	1 000	40 000 Ft
Élvédő	25	fm	350	8 750 Ft	25	fm	350	8 750 Ft	
					1 451 050 Ft				1 723 100 Ft
Homlokzat	Ágyazóhabarcs	132	m2	1 000	132 000 Ft	Azonos			
	Üvegszöveháló	132	m2	220	29 040 Ft				
	Kellősítés	132	m2	200	26 400 Ft				
	Dörzsvakolat	132	m2	1 000	132 000 Ft				
					319 440 Ft				319 440 Ft
Belső falak	Fa bordaváz	2,15	m3	100 000	215 000 Ft	Azonos			
	Gipszrost	80	m2	2 000	160 000 Ft				
	Hőszigetelés	62	m2	1 500	93 000 Ft				
	Gipszrost	80	m2	2 000	160 000 Ft				
						628 000 Ft			
Vasalatok	Szeg	500	db	20	10 000 Ft	Azonos			
	Kapocs	20000	db	2	40 000 Ft				
	GK csavar	2000	db	5	10 000 Ft				
	Rögzítőcsavar	80	db	500	40 000 Ft				
	L-vas	50	db	600	30 000 Ft				
						130 000 Ft			130 000 Ft

Födém	Fa födémgerenda	1,5	m3	15 000	22 500 Ft	Azonos	
	Hajópadló	27	m2	3 600	97 200 Ft		
	Fa födempalló	1,8	m3	1 500	2 700 Ft		
	OSB borítás	28	m2	1 650	46 200 Ft		
	Hőszigetelés	22	m2	1 100	24 200 Ft		
	OSB borítás	28	m2	1 380	38 640 Ft		
	Gipszkarton	28	m2	500	14 000 Ft		
	Hangszigetelés	50	m2	1 200	60 000 Ft		
	Fólia	50	m2	150	7 500 Ft		
	Aljzatbeton	2,5	m3	20 000	50 000 Ft		
					362 940 Ft		362 940 Ft

Nyílászárók	90/150	4	db	202 500	810 000 Ft	4	db	270 000	1 080 000 Ft
	45/180	3	db	121 500	364 500 Ft	3	db	162 000	486 000 Ft
	120/150	2	db	270 000	540 000 Ft	2	db	360 000	720 000 Ft
	150/120	1	db	288 750	288 750 Ft	1	db	385 000	385 000 Ft
	60/60	1	db	72 750	72 750 Ft	1	db	97 000	97 000 Ft
	76/140	1	db	113 500	113 500 Ft	1	db	173 750	173 750 Ft
	100/210	1	db	740 750	740 750 Ft	1	db	987 650	987 650 Ft
						2 930 250 Ft			