

Fagerendás födémek komplex rekonstrukciója

Tudományos Diákköri Konferencia 2014.

Dávid János, Építőmérnök BSc IV. évfolyam

2014.10.22.

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés.....	4
2. A fa jellemzői, mint építőipari alapanyag.....	5
3. Födémekkel szemben támasztott igények ismertetése.....	6
3.1. Használhatóság	10
3.2. Tűzvédelem.....	10
3.3. Hangvédelem	11
3.3.1. Léghanggátlás	11
3.1.2. Lépéshanggátlás	12
3.4. Nedvességvédelem	14
4. Rekonstrukciós okok bemutatása.....	17
5. A rekonstrukciós vizsgálati folyamat főbb részei	18
6. Felújított rétegrendek számításai	19
6.1. 1. típus: Csapos gerendafödém.....	19
6.2. 2. típus: Pórfödém	20
6.3. Rétegrendek megválasztása	20
6.4. Zárófödémek elemzése	23
6.4.1. Hő- és páratechnika	23
6.5. Közbenső födémek elemzése	23
6.5.1. Akusztika	23
6.5.2. Tűzvédelem.....	24
7. Korszerű megoldási lehetőségek	24
7.1. Cellulóz hőszigetelés	24
7.2. Felbetonos megerősítés (Holz-Beton-Verbund, HBV).....	24
8. A modellkísérletek bemutatása	26
8.1. A vizsgálatok tárgya	26
8.2. Az ASO-EZ2 általános bemutatása	26
8.3. ASO-EZ2-vel készített gerendamodell.....	27
8.4. Az ASODUR-LE általános bemutatása	27
8.5. ASODUR-LE-vel készített lemezmodell	28

8.6. A próbaterhelés eredményei	29
8.7. Utólagos számítások.....	35
9. Összegzés.....	36
10. Köszönetnyilvánítás.....	36
Hivatkozott szabványok, szabályzatok.....	37
Irodalomjegyzék.....	37
Linkek, weboldalak	38
Termékkatalógusok, leírások.....	40
Mellékletek	
M1: Rétegrendek ábrái	
M2: Záró rétegrendek részletes kidolgozása	
M3: Közbeső rétegrendek táblázata	
M4: Számítási melléklet	

1. BEVEZETÉS

A XIX. század végi Budapest világvárossá nőtte ki magát építészetében is. A saját határait többszörösen túlnövő városban a népességnövekedéssel egybekötve fokozatosan jelentkezett az igény lakóépületek építésére, kialakítására. A századforduló környékén Budapest lakásállományának tehát növekednie kellett, hogy meg tudjon felelni a társadalom által támasztott igényeknek. Az épületek szorosan egymás mellé épültek, többszintes lakóházak egyre több és több helyen megjelentek. A fenti folyamatban a gyorsan és szárazon építhető fafödémek is nagy szerephez jutottak.

Az 1867-es külföldi szabadalmaztatás után még sokáig gyerekcipőben járó vasbeton lassan kikezdte a fafödémek addigi hozzávetőleges egyeduralmát. A faanyag általános európai drágulása, a vízvezetékek bevezetésének igénye háttérbe szorította a nedvességre érzékeny födém típusokat és helyet biztosított a modern és költséghatékony vasbetonfödémeknek. 1909-ben már megjelent az első magyarországi vasbeton szabvány¹, innentől a kísérletezéseket felválthatta a szabályozott alkalmazás. Az I. világháborúig még zárófödémként alkalmaztak sűrűgerendás fafödémeket annak tömörsége és tűzgátló képessége miatt, de nem lehetett elkerülni a várhatót. A fagerendás födémek alkalmazásának, fokozott elmaradásának kezdetét az 1920. évi békediktátum hozta magával: az ország nagyobb erdőségei elcsatolásra kerültek az anyaországtól, a fafödém építése akadályozottá, drágává, így pedig az építőiparban fokozatosan jelentéktelenné vált.

Elmondható azonban, hogy nemcsak hátrányai, hanem előnyei is vannak. Manapság is készítenek mérnöki fafödémeket, amik már messze jobban gazdálkodnak a rendelkezésükre álló faanyaggal. A technológia fejlődésével a felvetődő épületszerkezeti problémákra is új, modern megoldásokat tudunk alkalmazni, így a faszerkezetek alkalmazásához, karbantartásához és felújításához számos technikai lehetőséggel rendelkezünk.

Dolgozatom a fafödémek felújítási lehetőségeivel foglalkozik, azok épületszerkezeti lehetőségeit és adottságait is áttekintve. Célom, hogy a dolgozat összefoglalja és összegyűjtse a régi fafödémek új rétegrendi lehetőségeit és azok variációit, illetve hogy kitekintést tegyek a modern felújítási technológiák széles kínálatába. További cél volt, hogy megismerhessek Magyarországon alig alkalmazott technikákat és anyagokat, melyhez modellkísérletet is végeztem, amelyet kalkulációk és próbaterhelés is kísért.

¹ [1] Szalai Kálmán, Kovács Tamás - AZ MSZ szerinti teherbírás követelmények változása a XX. században, és azok összehasonlítása az Eurocode szerintiekkel

Fafödémek előnyei

- gyorsan építhető, elemes jelleg,
- kis önsúly,
- esztétikus megjelenést biztosíthat mennyezetben, megfelelő kialakításnál,
- megújuló alapanyag.

Fafödémek hátrányai

- rossz hangszigetelés (csekély önsúly, merev szerkezet),
- nedvességre érzékeny (tartós víz, illetve annak erős ingadozása károsíthatja, felső szinten vízvezeték nem vezethető padlóban),
- gomba- és rovarkárosítók,
- éghetőség.

2. A FA JELLEMZŐI, MINT ÉPÍTŐIPARI ALAPANYAG

A faanyag egyik legnagyobb előnye könnyű szerkezete és ahhoz képest viszonyított igen magas szilárdsága (a tűlevelű fákat C14-C50-es, a lombos fákat D30-D70-es szilárdsági osztályba soroljuk, ahol a számérték a faanyag hajlítószilárdságát jelenti N/mm²-ben). A faanyagot 12 %-os nedvességtartalom mellett tekintjük beltérben „légszáraznak”. A rugalmassági modulusok rostirányban és arra merőlegesen más értéket vesznek fel a faanyag cilindrikusan anizotrop tulajdonsága miatt: rostirányban faanyagtól függően 7-20 kN/mm² között változik és nagymértékben befolyásolja az anyag nedvességtartalma.

	Fenyő és nyár fajták												Lombos fajták						
	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D30	D35	D40	D50	D60	D70	
Szilárdsági tulajdonságok (N/mm²)																			
Hajlítás	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	40	50	30	35	40	50	60	70
Rostirányú húzás	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	18	21	24	30	36	42
Rostirányra merőleges húzás	$f_{t,90,k}$	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9
Rostirányú nyomás	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	23	25	26	29	32	34
Rostirányra merőleges nyomás	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Nyírás	$f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
Merevségi tulajdonságok (kN/mm²)																			
A rostirányú rugalmassági modulus középértéke	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	10	10	11	14	17	20
A rostirányú rugalmassági modulus 5%-os kvantilise	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,3	6,7	7,4	8,0	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
A rostirányra merőleges rugalmassági modulus középértéke	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
A nyírési rugalmassági modulus középértéke	G_{mean}	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25
Sűrűség (kg/m³)																			
A sűrűség alsó 5%-os kvantilise	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	530	560	590	650	700	900
A sűrűség középértéke	ρ_{mean}	350	370	380	400	410	420	420	460	480	500	520	550	640	670	700	780	840	1080
Stabilitási anyagjellemzők																			
Kihajlásvizsgálatnál a k_c tényező számításának megkönnyítésére:	λ_E	53,8	56,0	57,4	57,2	57,5	59,0	59,9	58,6	58,6	59,7	60,5	60,3	58,6	58,6	59,7	63,4	66,4	69,8
Kífordulásvizsgálatnál a $k_{c,II}$ tényező számításának megkönnyítésére:	$\lambda_{E,m}$	16,2	16,2	16,2	15,7	15,5	15,5	15,3	14,5	13,9	13,6	13,2	12,9	13,1	12,4	12,1	12,1	12,2	12,2

1. ábra Természetes szerkezeti faanyagok szilárdsági osztályai [www6.]

Fajtája szerint leginkább tölgyfából készítették a födémeket, ritkábban fenyőből, elvértve bükkből. Ideálisnak az 5:7-es oldalarányú, de a legkevésbé lehajló gerendák oldalarányának a 4:7-et találták. Fát alkalmaztak még tetőszerkezeteknél, tetőfedésre (zsindely), falburkolatoknál, kupolaszerkezeteknél. A faszindelyek a cserépfedés előtt élték virágkorukat a XIX. század végén, amikor a gépesítés megengedte az ipari termelést és könnyű szállítást, ám nagyon hamar, hasonlóan a fafödémekhez, a XX. század elején el is tűntek. Leginkább tűzvédelmi szempontú előnye miatt kiszorította őket a cserépfedés.²

A vasbeton megjelenéséig a fa megkerülhetetlen volt az építkezésekkor. Az acélgerendák koráig csak fával lehetett létrehozni vízszintes födémeket.³ Többnyire 4-8 métert hidaltak át a gerendákkal, amelyekre zárófödém esetében gyakran a magastető is ráterhelt. A födém szerkezet vízszintes terheit a kötőgerendák és fiókgerendák továbbították a falazatnak koszorú hiányában.

3. FÖDÉMEKKEL SZEMBEN TÁMASZTOTT IGÉNYEK ISMERTETÉSE

A födémek tárgyalását a témakörrel kapcsolatban az alábbi szempontrendszer szerint érdemes elvégezni.⁴

Elhelyezkedés szerint:

- pincefödémek,
- közbenső födémek,
- zárófödémek.

Támasztott követelmények szerint:

- tartószerkezeti követelmények:
 - szilárdság,
 - tartósság,
 - tűzállóság.
- épületszerkezeti követelmények:
 - hővédelem,
 - hangvédelem,
 - nedvességvédelem,
 - épületgépészeti vezetékek elhelyezése.

² [www10.] Tető és tetőszerkezet

³ Épületszerkezet 2. (segédlet) - BME-ÉPK Épületszerkezet Tanszék

⁴ A csoportosítás bemutatása a Bársony-féle [2] rendszerezést követve, ám a speciális témára módosítva történt.

- kivitelezési követelmények:
 - gazdaságosság,
 - térfogatsúly.

Ha elhelyezkedés szerint csoportosítjuk a födémeket, belátható, hogy egy zárófödémnek eltérő épületszerkezeti követelményeknek kell megfelelnie, mint egy közbenső födémnek, ami lakórészeket választ el egymástól. A különböző követelmények mentén munkámban is igazodtam a különböző feladatokhoz: zárófödémek esetében hő- és páratechnikai számításokat végeztem, míg a köztes födémeknél előtérbe kerültek az akusztikai jellemzők, illetve egyéb használati követelmények.

A fagerendás födém, mint **tartószerkezet** szilárdságát, teherhordó képességét és állapotát statikai szakvéleménnyel kell alátámasztani, amit alapos vizsgálat kell, hogy megelőzzön. Ide tartozik a faanyagvédelmi szakvélemény is, aminek feladata megállapítani a vizsgált faanyag károsodásait, a kárt okozó kártevők fajtáját, illetve megállapítani, hogy aktív-e még a fertőzés. A szakvélemény tartalmaz egy átnézeti rajzot megjelölve a mintavételi helyeket, illetve a helyszíni vizsgálat során talált károsodásokat, azok súlyosságát. Tartalmazza a károsodásokhoz kapcsolódóan a helyszíni és laborvizsgálatok során beazonosított károsítók fajait, azok megállapított aktivitását (lásd pl. 2. ábra). A szakvélemény megállapításokkal és javaslattal zárul, hogy a vizsgált szerkezeti egység alkalmas-e a céltevékenység elvégzésére, esetünkben adott fafödém például tetőtéri beépítésre. Ugyanígy előírhat a dokumentum javításokat, megerősítéseket a szerkezetben, végső esetben az elemek cseréit is (lásd pl. 2. ábra). Faanyagvédelmi szakvéleményre alapozva az TSZ-01-2013 szabályzat alapján a statikai minősítés elvégezhető (lásd pl. 3. ábra).

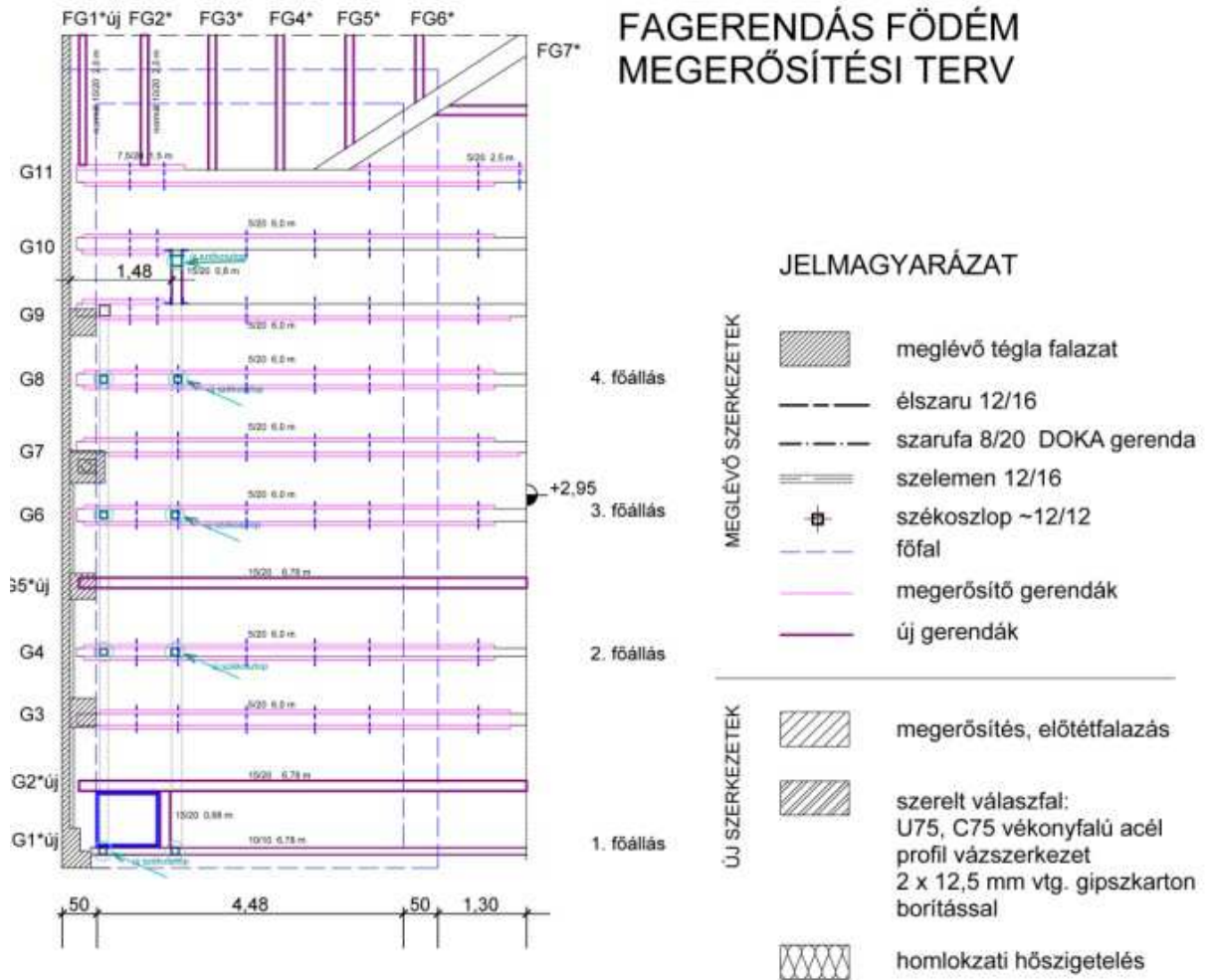
Tartósság tekintetében a beépítési technika, a faanyag minősége, illetve a kivitelezés nagyban befolyásolja a meglévő szerkezetek állapotát. Így például a tetőszerkezet károsodása, a beázások eláztathatták a salakfeltöltést, ezáltal a fafödém magát. Hagyományosan a salakfeltöltés feladata a nedvesség tárolása, ezáltal a faanyag védelme, továbbá hőszigetelő funkciót is ellát. A fafödémek feltámaszkodásánál gyakori probléma és a károsodások forrása, hogy a fagerendákat körbefalazva azok szellőzése oldalirányban akadályozott, vagyis a természetes károsítók könnyebben támadják a faanyagot (lásd pl. 4.a, 4.b. ábra). A leggyakrabban előforduló gomba- és rovarfertőzések mellett hangya, papíruszdarázs és akár rágcsálók (egerek, mókusok) (lásd pl. 4. a. ábra) által okozott keresztmetszetcsökkenések is lehetségesek. A feltámaszkodások és a gerenda-megerősítések gyakori megoldását a kétoldali pallózás, és azzal történő együttdolgoztatás (átfűző csavarok bulldog tárcsával) jelenti (lásd pl. 5. ábra).

Szerkezeti elem		Károsodás		Javasolt beavatkozás
helye	megnevezése	rajzi jele	megnevezése	
I. főállás	G1 jelű fődémgerenda	Z	gyengített (másodlagos beépítés)	főállás kiváltása, átépítése a károsodott elemek cseréjével
	D1 jelű ferde dúc és G1 jelű fődémgerenda csomópontja	X	gomba + rovar (M1 minta)	
	fődémgerenda-szaru csomópont	●	gomba + rovar (M1 minta)	
I-II. között	G2 jelű fődémgerenda	Z	gyengített (másodlagos beépítés)	építészeti tervek miatt bontandó
II. főállás	MSz jelű mellszorító	X	rovar	csere
	SzO3 jelű székoszlop alsó része	⊙	rovar	oszlopok bárdolása, csapolás kitisztítása, védőkezelés + megerősítés
	SzO4 jelű székoszlop alsó része	⊙	rovar	
	K4 jelű könyök	Z	áthasadt	csere
	G5 jelű fődémgerenda – D2 jelű ferde dúc csomópont	●	gomba+rovar (M2 minta)	kiváltás mellett dúc cseréje, fődémgerenda esonkolása, védőkezelése, toldása + megerősítés
III. főállás	SzO5 jelű székoszlop alsó része	⊙	rovar	oszlop bárdolása, csapolás kitisztítása, védőkezelés + megerősítés
	MSz3 jelű mellszorító	X	rovar	csere
III. főállás utáni lekontyolt szakasz	SzO7 jelű székoszlop alsó része	⊙	rovar	oszlop bárdolása, csapolás kitisztítása, védőkezelés + megerősítés
	FG2, FG3 és FG4 jelű fiókgerendák	○	rovar	bárdolás, védőkezelés, megerősítés

Felmagyarázat

- felületi rovarrárgás
- X súlyos károsodás
- ⊙ felületi károsodást szenvedett szerkezeti csomópont
- súlyos károsodás
- Z mechanikai sérülés
- M mintavétel

2. ábra Károsodások jegyzéke faanyagvédelmi szakvéleményben [www13.]



3. ábra Födém megerősítési terve [www13.]



4. a., 4. b. ábra Beépített gerendavégek károsodása és feltárása [www13.]



5. ábra Födémgerenda megerősítése a gerendakeresztmetszet megnövelésével [www13.]

3.1. Használhatóság

A használat során fellépő egyszerű emberi igény alapján a födém nem hajolhat be annyira, hogy a szobában tartózkodókat az zavarja. Különböző anyagminőségű gerendák esetében kéttámaszú modell mellett ez a lehajlás más értéket ad. Sűrűgerendás esetben ennek a kiküszöbölésére alkalmazzák a gerendák közé beépített csapokat, amik javítják és elősegítik a gerendák együttdolgozását, ezáltal az erők jobban el fognak oszlni a gerendarendszerben, a lehajlások mérséklődni fognak. Ritkagerendás födém esetében ha az egyik gerenda jelentősen lehajlik, nincs lehetőség hasonló, direkt keményfa csapos merevítésre. Ilyen esetben gond lehet a födém alsó burkolásával is, a lehajláskülönbségek nem eredményeznek könnyen fedhető felületet. Ilyen esetekben álmennyezettel⁵ megelőzhető, hogy direktfedést alkalmazzunk. Alkalmazható esztétikus és modern feszített ponyvás⁶ megoldás is.

3. 2. Tűzvédelem

Minél több olyan elemet használunk a rétegerendünkben, ami nem éghető, ezekkel elválasztva egy esetleges tűztől a födém szerkezetet, annak élettartamát meg tudjuk hosszabbítani tűz keletkezése esetén. Jó példa erre a kőzet-, illetve üvegyapot alkalmazása Ezek az anyagok 'A1' besorolásúak tűzvédelmi szempontból, tehát nem éghetők, míg a szintén hőszigetelő expandált polisztirol (EPS) az E osztályba tartozik: gyúlékony, gyorsan ég, nehéz eloltani, tehát sok szempontból is veszélyes egy esetleges

⁵ T4 - Rigips álmennyezetek - Fémszerkezetes álmennyezetek gipszkarton borítással

⁶ [www12.] Spanndecken - Markowski

tűz esetén. Ezért is van az, hogy zárófödémekben csak akkor szabad B besorolásnál rosszabb anyagok alkalmazni a hő- és vízszigetelés rétegeiben, ha azt külön A besorolású anyaggal befedjük. Ilyen például a gipszkarton, ami erre a borítási célra nagyon megfelelő.

Hasonlóan jól működnek az álmennyezetek és álpadlók tűzgátlás szempontjából. A szerelt falakat, elemeket akár külön erre a célra javasolt tűzgátló gipszkarton lapokkal is meg lehet oldani.

3.3. Hangvédelem

Ma már általános szabálynak tekinthető, hogy léghangok ellen, ha tehetjük, magával a födém önsúlyával védekezünk, lépéshang ellen pedig álmennyezeti, úsztatott padló vagy lépéshanggátló burkolat használata célravezető. A fafödémek kis térfogatsúlya szerkezeti szempontból előnyös, ám akusztikai értelemben már aggályokat vet fel. Belátható, hogy ha a léghanggátlást egy régebbi fafödém esetében tömeggel szeretnénk megoldani, akkor sűrűgerendás esetben is, de méginkább ritkagerendás konstrukciónál nehéz helyzetbe kerülünk. A szabvány⁷ szerint előírt 51 dB-es helyszíni léghanggátlási értéknek eleget tenni csak nagy többlettömeg felhasználásával lehetne. A lépéshanggátlásra előírt 55 dB-es szabványos lépéshangnyomásszint különböző rendszerek segítségével biztosítható.

3.3.1. Léghanggátlás

A szerkezet tömegével biztosított léghanggátlás nem tekinthető járható útnak, amennyiben szeretnénk a könnyű szerkezettel járó előnyöket megőrizni. Ugyanakkor ma rendelkezésünkre állnak olyan technológiák is, amik felhasználásával bár nő a szerkezet önsúlya, mégis több tulajdonságában javul a födém.

A szerkezetek fajlagos tömege alapján a léghanggátlási szám becsülhető⁸ az alábbi képlet⁹ alapján:

$$\bar{R} = \sqrt{\frac{G}{0,7} - 70} + 30$$

ahol R az átlagos lépéshanggátlási szám [dB],

G pedig a határoló szerkezet fajlagos tömege [kg/m^2]

Ez alapján az 51 dB-es kritériumhoz számítható a szükséges fajlagos tömeg, ami 358 kg/m^2 -re adódik. Fontos azonban megjegyezni, hogy ez csak erős becslést ad

⁷ MSZ 15601-1:2007 Épületakusztika

⁸ [7] Reis, 2003. 197.o.

⁹ [8] Dulácska, 2013. 87.o.

fafödémek esetében, hiszen a képlet homogén, egyhjú szerkezetekre vonatkozik. Közelítő számításokra, illetve szemléltetésként viszont használható: ezt a fajlagos tömegkövetelményt csak fafödémrel - még nehéz fa esetében is - 52 cm vastagságú szerkezet tudná kielégíteni. Tehát belátható, hogy a fa önmagában nem elég a megfelelő léghanggátlás teljesítésére.

Rekonstrukciós megoldásként felbeton erősítést alkalmazva mind a födém teherbírása javítható, mind a léghanggátlás növelhető. Ez kivitelezhető esztrich réteggel, aminek nagy előnye gyors burkolhatósága és nagyfokú terhelhetősége. A számításaimban megvizsgált rétegrendeknél az akusztikai elemzés arra keres választ, hogy milyen konstrukció alkalmazásával biztosítható a szerkezet tömegéből adódó megfelelő léghanggátlás, illetve az adott rétegrend milyen mértékű léghanggátlást biztosít. A fa és beton együttműködésére a kísérletek bemutatásánál térek ki bővebben.

3.1.2. Lépéshanggátlás

A lépéshanggátlás megoldására, a lépéshangok csillapítására három lehetőség áll fenn:

1. úsztatott padlók alkalmazása,
2. álmennyezeti csillapítás,
3. megfelelő burkolat alkalmazása.

Az **úsztatott padlók** egyszerű dinamikai elv szerint csillapítják a rezgéseket: az úsztató réteg az elválasztott terek függvényében szabvány¹⁰ által előírt rend szerint méretezett rugalmas anyag. A „tömeg-rugó-tömeg” elvet követve az alátétlemezekon kialakított „úsztatott” esztrichréteg nem csatlakozik mereven a födémhez, így hanghidak sem alakulnak ki. Fontos megjegyezni, hogy a fal menti rugalmas szegélyek (dilatációt engedő habszivacs szalagok), illetve a technológiai elválasztás céljára fólia elhelyezését minden esetben javasolt alkalmazni, hogy a friss beton/esztrich a falazattal, illetve a szigeteléssel ne érintkezzen, vagyis ne okozzon merevebb hangközvetítő helyeket, ún. hanghidakat. Amennyiben az úsztatott réteg eléri a 100 kg/m²-es fajlagos tömeget, akkor már csak nagyon csekély mértékben befolyásolható járóréteggel a lépéshanggátlás. Fontos, hogy az úsztató réteg ne legyen merev, mert ekkor nem alkalmas a funkciója ellátására. A Magyarországon elérhető úsztatórétegek összegző táblázata¹¹ alapján dolgoztam a számításaimban.¹²

¹⁰ MSZ EN 12431:2013 Hőszigetelő termékek épületekhez. Úsztatott padlószervezetekben alkalmazott hőszigetelő termékek vastagságának meghatározása

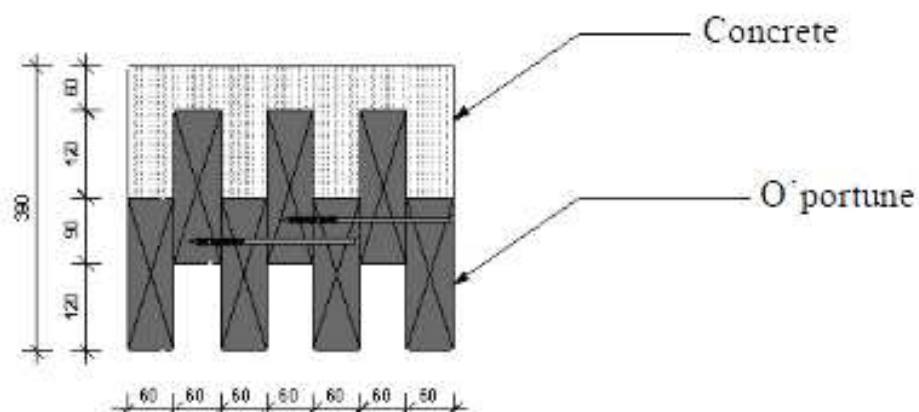
¹¹ [www3.] Összehasonlító táblázat úsztatórétegek műszaki tulajdonságairól

¹² [7] Reis, 2013. 8.5. fejezet: Padlóburkolatok hangszigetelést javító hatása

Az álmennyezeti csillapítások födémrétegre merőleges lépéshanggátlási értékét nem adják meg gyárilag. Bizonyos, hogy az álmennyezeti kialakítás mögött elhelyezett szigetelők nemcsak a testhangokat, hanem a léghangokat is jelentős mértékben csökkentik, ám a léghanggátlást jellemző frekvenciafüggvény megszerkesztéséhez a bonyolult tömeg-rugó viszonyok miatt mindenképpen laboratóriumi mérések szükségesek.¹³ Álmennyezetek helyszíni léghanggátlási számításaival P. Nagy József [11] könyvének 9.3-as fejezetében részletesen foglalkozik.

A **burkolatok** különböző típusai különböző mértékben járulnak hozzá a teljes lépéshanggátláshoz. A szakirodalom a kemény burkolatok hangszigetelő képességét önmagában zérusnak tekinti, csak tömegükkel járulnak hozzá a szigetelés hatékonyságához. A lágú és hajlékony burkolatok léghanggátlása egy skalármennyiséggel kezelhető, ami így a termék jellemzőihez tartozik.¹⁴

Érdekességként megemlítem, hogy fából direkt akusztikus célokra formabontó konstrukciójú és megjelenésű mennyezeteket, vízszintes szerkezetek is gyártanak, mint a Wenus panel (5 m fesztáv), az O'portune lemez (12 m fesztáv), vagy ugyanennek a felbetonos, kompozit változata (18 m fesztáv).¹⁵

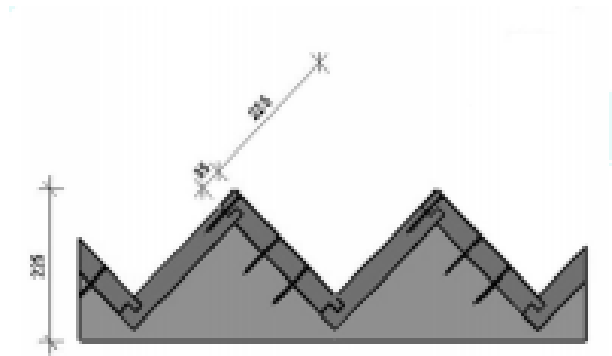


6. ábra Az O'portune kompozit lemez

¹³ [11] P. Nagy, 2004. 219. o.

¹⁴[7] Reis, 2013. 198. o.

¹⁵[www4.] Jean-Luc Sandoz - Horizontal timber slab from 4 m to 18 meters free span

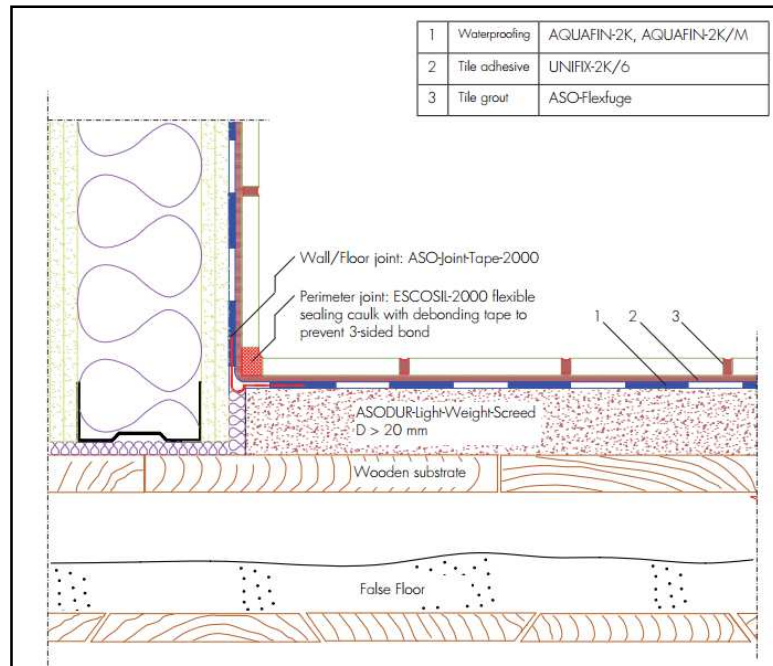


7. ábra A Wenus panel [www4.]

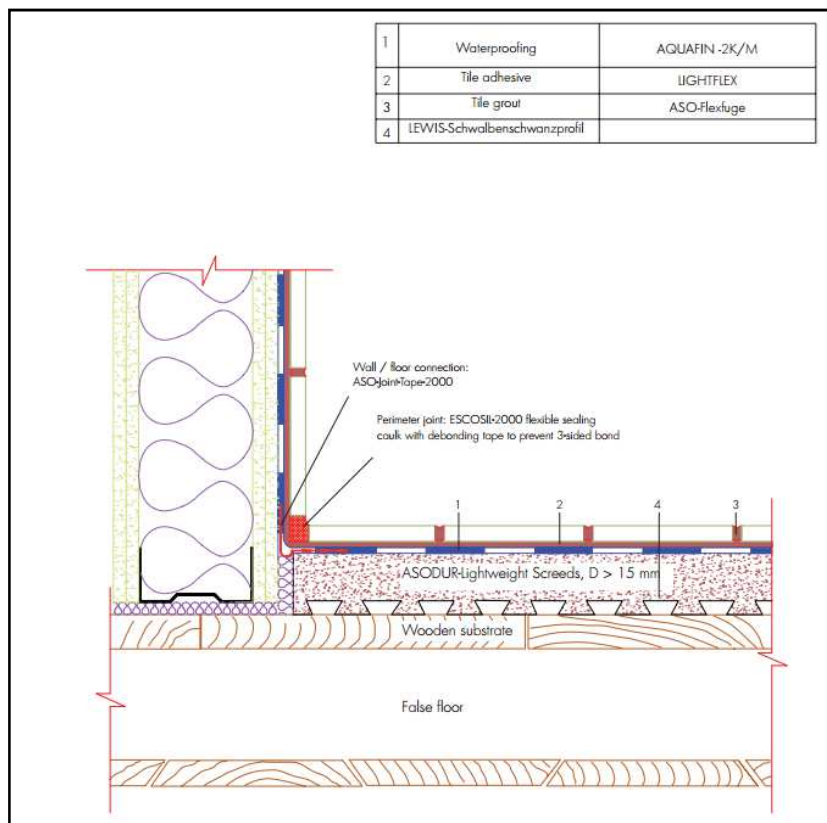
3.4. Nedvességvédelem

Különleges szempont a nedvességtől való védelem fáfödémek esetében. A faanyag kifejezetten érzékeny a nagy víztartalomra, illetve a víztartalom ingadozására, hiszen az ideálistól eltérő hőmérsékleti és víztartalmi tulajdonságok megfelelő táptalajt jelentenek a biológiai kártevőknek. Ezért a szerkezetet a nedvességtől mindenképpen védeni, a bediffundált párákat pedig kiszellőztetni, illetve távoltartani szükséges. A nagy víztartalom-ingadozástól a gerendákban hosszanti száradási repedések jöhetnek létre, amelyek nemcsak az esztétikai kárt, hanem a teherbírás tulajdonságok csökkenését is magukkal vonják. Ilyen esetekben a rekonstrukciós feladatban részletesen meg kell állapítani az adott gerendák teherbírását, és a repedéseket csökkentett dolgozó keresztmetszetekkel figyelembe kell venni. Amennyiben a kár jelentős teherbírás-csökkenést jelent, a szerkezeti elem cseréje mellett kell dönteni.

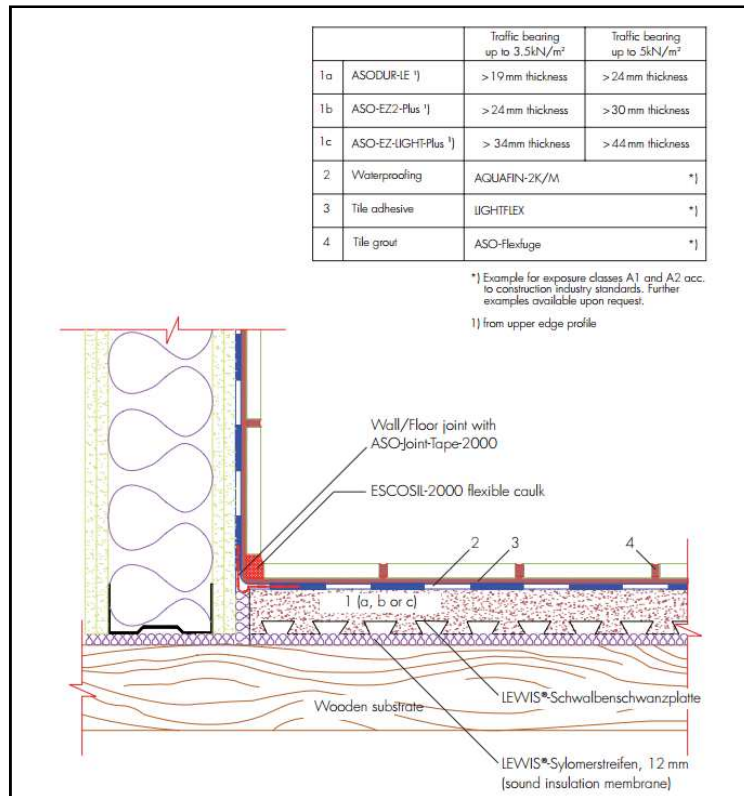
A fagerendás födémek feletti átalakítás, például a tetőtér beépítése, vizes helyiségek kialakítását is maga után vonja. Ilyen esetben a használati víz elleni szigetelés jelentősége fokozódik fenti okok miatt. A födém mozgása, az egyes gerendák eltérő tulajdonságai okozhatnak vízszigetelésekre tekintve káros mértékű elmozdulásokat. A födém borító, teherelosztó deszkázatnak, illetve annak esztrich réteggel való együttműködésével kialakított rétegnek a vízszigetelés megfelelő kialakításában nagy szerepe van. A későbbiekben bemutatásra kerülő esztrich rétegekkel történő felújítások, illetve megerősítések aljzatot képeznek a további rétegeknek, így a funkcióból adódó hangszigetelésnek, de a használati víz elleni szigeteléseknek is. A fagerendás födémek használati víz elleni szigetelését rugalmas, kétkomponensű és hajlaterősítéssel megfelelően ellátott bevonatszigeteléssel javasolt kialakítani (8., 9., 10. ábrák).



8. ábra Az ASODUR könnyűszemcsés esztrich szigetelése, használati víz elleni szigetelés kialakítása [www7.]



9. ábra ASODUR könnyűszemcsés esztrich alkalmazása trapézlemezekon, használati víz elleni szigetelés kialakítása [www8.]



10. ábra ASODUR-LE-vel vagy ASO-EZ2 esztrichel is alkalmazható hangszigetelt padlócsatlakozás, használati víz elleni szigetelési rétegrend [www9.]

4. REKONSTRUKCIÓS OKOK BEMUTATÁSA

Napjainkban életvitelünk a legkülönbözőbb igényeket hozza előtérbe. Túl azon, hogy egy régi épület funkcióját megváltoztatjuk és ezzel bizonyos tervezési alapértékeket megváltoztatunk, már az is nagy feladatot jelent, ha egy akár évszázados szerkezetet ellenőrizni, helyrehozni, felújítani szükséges. Ilyenkor természetesen a jelenlegi szabványok szerint kell tervezni a módosításokat (esetenként tehetők engedmények, máskor műemlékvédelmi egyeztetés is szükséges lehet - *Forster Gyula Nemzeti Örökségvédelmi és Vagyongazdálkodási Központ*).

Általánosságban elmondható, hogy a régi faszerkezetű födémek zárófödémként nem teljesítik a ma előírt hőátbocsátási határértéket. A Magyarországon még 2018-ig általános, lakóépületekre érvényes hőátbocsátási tényező követelmény határérték zárófödémekre $U=0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Ezek a födémek legjobb esetben is csak $U=0,8-1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ hőátbocsátási tényező értéket tudnak csak biztosítani, illetve páratechnikai szempontból felvetődik a kondenzáció kérdése is fűtetlen padlásterek esetében. Ilyenkor a lakótér komfortját kétségkívül javítja egy födém szerkezeti rekonstrukció, amely során hőtechnikai és páratechnikai védelmet egyaránt biztosíthatunk a szerkezet felújításával. Ebben az esetben is nélkülözhetetlen a tartószerkezet vizsgálata állékonysági, teherbírési szempontból, illetve azért, hogy a biológiai károkozók felderíthetővé váljanak.

Gyakori eset nagyvárosokban, amikor egy fafödémű bérház tetőterét be szeretnénk építeni. Az eddigi fűtetlen padlástér helyett beépített tetőtér kerülne a födémre. Túl azon, hogy statikailag ellenőrzésre szorul a szerkezet, elbírja-e a funkció változásából adódó tehernövekményt, az épületszerkezeti követelmények is megváltoznak. A zárófödémről célszerűen egy ellenőrzött és felújított köztes födém lesz, ezzel párhuzamosan a pára- és hőtechnikával szemben előtérbe fog kerülni az akusztika, az épületgépészet, a funkció és az esztétika kérdésköre.

A rekonstrukciónak egyszerűbb szépészeti vagy zavaró, statikai problémára visszavezethető hibái is lehetnek (például a födém alsó feléről hulló vakolat, vagy nádszövet, rovarkár észlelése). Rendszeres karbantartási, ellenőrzési munkák során felmerülő problémák esetén végezhető állagjavítás, utókezelés, megerősítés, akár csere is. A szakvéleményezés után minden esetben az új igényeknek megfelelő szerkezetet kell, hogy kapjunk.

5. A REKONSTRUKCIÓS VIZSGÁLATI FOLYAMAT FŐBB RÉSZEI¹⁶

A megépült szerkezetek vizsgálati szabályait a TSZ-01-2013 szabályzat tartalmazza. Eszerint a vizsgálat főbb részei:

1. Előkészítés, adatok begyűjtése
2. Helyszíni bejárás, minták begyűjtése
3. Diagnosztikai vizsgálatok elvégzése (biológiai kártevők és aktivitásuk azonosítása), javaslat
4. Értékelés, minősítés

Minden rekonstrukciós feladatnál a hatályos rendeletek és jogszabályok (jelen esetben a fent említett szabályzat) szerint kell eljárni. Faszervezetek vizsgálatánál az általános előírások mellett az M4-es mellékletet kiemelten figyelembe kell venni. A vizsgálatok különösen a gerendavégekre koncentrálnak, hiszen a felfekvési hely kialakítása, megfelelő kiszellőztetése, mechanikai és biológiai védelme mindig kritikus feladat volt állékonyság szempontjából. Ezért földem vizsgálatokor a gerendavégeket mindenképp ki kell bontani 50 cm hosszon záróföldem esetében, de abban az esetben, ha a gerenda 5 m-nél hosszabb, akkor egy-egy belső szakaszt is láthatóvá kell tenni.¹⁷ Közbenső földemekre nem vonatkozik a szigorú feltárási követelmény, így elegendő a nedvességnek fokozottan kitett helyeken feltárni a kritikus pontokat. Ügyelni kell, hogy egy-egy feltárási helyen minimum három csaposgerendát vagy kettő borított gerendát fel kell tárnunk.¹⁸

A faanyag állapotáról, biológiai kártevők aktivitásáról minden esetben faanyagvédelmi szakvéleményt kell kérni. Miután elkészült, a szerkezeten végre kell hajtani a dokumentum által javasolt intézkedéseket: az elemeket meg lehet tartani, meg kell erősíteni vagy súlyos esetben ki kell cserélni.

Az értékelés és minősítés ismeretében megkezdhető a tervezési fázis. Kidolgozható a szerkezet részletes felújítása, illetve az ezzel egybekötött beépítés, szigetelés, a rétegrendek megújítása a támasztott követelmények szerint.

¹⁶ TSZ-01-2013 Épületek megépült teherhordó szerkezeteinek erőtani vizsgálata és tervezési elvei alapján

¹⁷ TSZ-01-2013 Épületek megépült teherhordó szerkezeteinek erőtani vizsgálata és tervezési elvei, M4.1-es pont.

¹⁸ [www11.] Tóth, 6. oldal

6. FELÚJÍTOTT RÉTEGRENDEK SZÁMÍTÁSAI

A munka megkezdése előtt azt a célt tűztem ki, hogy eredményként egy (vagy több) olyan táblázatot szeretnék létrehozni, ami gyors áttekintést biztosít a rendelkezésre álló lehetőségek között. Emellett cél volt, hogy katalogikus jelleggel Michaela Hoppe¹⁹ munkájának mintájára létrehozzak egy olyan füzetet, amiben a régi és az új rétegrendet összehasonlítva bővebb technikai információ is közölhető a felújított szerkezetről. Ezt a füzetet később bármilyen tervező könnyen a saját igényei szerint használhatja rekonstrukciós tervezés során. A Hoppe-féle dokumentumban különböző szerkezetek (falak, födémek, tetők) felújításának megtérülését vizsgálták meg, emellett fokozottan ügyeltek az új rétegrendek megfelelőségére is.

A rengeteg rétegrendi változatot korlátoztam azzal, hogy kiválasztottam két típusfödémeket. Az egyik a sűrű gerendaállású csapos gerendafödém, a másik a ritka gerendakiosztású pórfödém lett. Ezeket a típusokat mind közbenső (lakásokat elválasztó) födémként, mind tetőfödémként (nem használt padlástérhez kapcsolódó) megvizsgáltam.

6.1. 1. típus: Csapos gerendafödém

A csapos gerendafödém egy számos helyen alkalmazott, sűrűgerendás födémszerkezet volt. Gerendáit a gömbfa széleinek levágásával, majd a kapott anyag hosszanti kettéfűrészelésével nyerték. Az egyenes oldalával lefelé elhelyezett födém teteje a konstrukcióból adódóan egyenetlen lett. A gerendákat egymáshoz oldalukba helyezték keményfa csapokkal illesztették, illetve éles faékekkel a behelyezés után rögzítették. Az egyenetlen felületre homok vagy salakfeltöltés került. Az ezekben elhelyezett párnafákra készítették el a padozatot, ami többnyire szintén faburkolat volt.

A szerkezet hátrányaként jelentkezett jelentős faigénye, ami a XX. század eleji fadrágulással és alapanyagkészlet-csökkenéssel együtt igen költségessé tette. Érdemes még megemlíteni a gerendavégek beépítésének megoldásait is, hiszen a fagerendák kiszellőztetésének megoldása létfontosságú feladat. A gerendavégek fészkes beépítése nehéz konstrukcióhoz vezet a sűrű gerendaelhelyezés miatt és csak igen gondos kialakítás mellett célravezető. Hogy a gerendavégeket ne kelljen a felsőbb emeletek önsúlyával terhelni, a XX. századig általános volt az emeletenként fél téglányi falkeskenyítés. Így a bérházak visszaugrasztott, ún. ponkolt falai könnyedén tudták fogadni a gerendás szerkezetet és a szellőzés is jobban megoldható volt.²⁰

¹⁹ [6] Michaela Hoppe *Holzbau der Zukunft* munkájában energetikai megfontolások és költséghatékonyság szempontjából is vizsgálta saját szerkezeti fal, födém és tető-rétegrendjeit.

²⁰ [3] Déry, 133. oldal

6.2. 2. típus: Pórfödém

Inkább vidéken terjedt el a ritkagerendás pórfödém. A gerendák 60-100 cm-es közzel voltak kiosztva, felső síkon deszkázatot és agyagfedést helyeztek el. A borított gerendafödém ennek a típusnak az alulról szintén borított változata volt, ami továbbfejlődési lépcsőt jelentett a földém utóéletében.

A pórfödém hatalmas előnye az volt, hogy nem igényelt olyan nagy mennyiségű faanyagot, mint a sűrűgerendás változatok. Természetesen a falazásnál még inkább figyelni kellett a gerendavégek kiszellőztetésére, hiszen itt kevesebb, de annál fontosabb tartógerenda volt jelen. A kiszellőztetés egyik legelterjedtebb példája, hogy teljes egészében szigeteléssel töltik ki a gerendavégek üregeit, a gerendafészkeket. Elterjedt példa még, hogy cserepekkel, kátránypapírral bélelték a gerendafészket. A gerendavégeket karbolineummal kezelték.²¹ Azért, hogy ne hulljon le az agyagterítés, takarólécezték a réseket.

6.3. Rétegrendek megválasztása

A rétegrendek megválasztásánál igyekeztem változatos szempontrendszer mentén alkalmazni különböző konstrukciókat, így ami az egyik javára vált, az a másikonál lehetséges, hogy hátrányként jelenik meg. A cél ezzel az volt, hogy különböző igényekre, a számos előre nem ismert bemeneti kritérium mellett, mégis lehessen alternatívát kínálni a felújításra.

A rétegrendek jelöléseinek első karaktere a földém elhelyezkedését (Z = zárófödém, K = közbenső földém), második karaktere a fafödém alaptípusát (P = pórfödém, Cs = csapos gerendafödém) azonosítja. Az így kialakuló négy kategóriában négy-négy, összesen tizenhat rétegrendet vizsgáltam, ezek rajzai elérhetők a dolgozat mellékletében:

- 001-es számú rajzon a pórfödémes zárórétegrendek,
- 002-es számú rajzon a csapos gerendafödémes zárórétegrendek,
- 003-as számú rajzon a pórfödémes közbenső rétegrendek,
- 004-es számú rajzon a csapos gerendafödémes közbenső rétegrendek.

²¹ [3] Déry, 135. oldal

	#	Zárófödémek	#	Közbenső födécek
Pórfödémek rétegei	ZP1	<u>Hőszigetelt zárófödém, járható</u> <ul style="list-style-type: none"> • járóréteg • hőszigetelés közbenső lécezéssel • párazáró fólia • födémdeszkázat • födémgerendák (15/21) 	KP1	<u>Álpadlós közbenső födém</u> <ul style="list-style-type: none"> • járóréteg • álpdló elem • vezetékcsatorna tartólábakkal • együttlőgző vasbeton lemez • beépített fémcsap konnektorok • párazáró fólia • födémdeszkázat • födémgerendák (15/21)
	ZP2	<u>Felbetonnal erősített, hőszigetelt zárófödém, járható</u> <ul style="list-style-type: none"> • járóréteg • hőszigetelés közbenső lécezéssel • együttlőgző vasbeton lemez • beépített együttlőgző fém csapok • párazáró fólia • födémdeszkázat • födémgerendák (15/21) 	KP2	<u>Úsztatott padlós közbenső födém</u> <ul style="list-style-type: none"> • járóréteg • úsztatott cementesztrich • technológiai fólia • úsztató szigetelőréteg • födémdeszkázat • födémgerendák (15/21)
	ZP3	<u>Alulról beborított, belül is hőszigetelt zárófödém</u> <ul style="list-style-type: none"> • járóréteg • hőszigetelés közbenső lécezéssel • párazáró fólia • födémdeszkázat • födémgerendák (15/21), közöttük hőszigetelés és légrés • alsó deszkázat 	KP3	<u>Szeglemezes konnektorral készült felbetonos megerősítésű kompozit közbenső födém</u> <ul style="list-style-type: none"> • járóréteg • úsztatott cementesztrich • technológiai fólia • úsztató szigetelőréteg • acélhálóval erősített felbeton • kinyúló szeglemezes konnektor • zárlecekre fekvő födémdeszkázat • födémgerendák (15/21) • alsó deszkázat
	ZP4	<u>Alulról álmennyezettel borított, belül is hőszigetelt zárófödém</u> <ul style="list-style-type: none"> • járóréteg • hőszigetelés közbenső lécezéssel • párazáró fólia • födémdeszkázat • födémgerendák (15/21), közöttük hőszigetelés és légrés • direkt függesztő elemek (CD profil) • gipszkarton borítás 	KP4	<u>Álmennyezettel borított közbenső födém</u> <ul style="list-style-type: none"> • járóréteg • hőszigetelés közbenső lécezéssel • párazáró fólia • födémdeszkázat • födémgerendák (15/21), közöttük hőszigetelés és légrés • lengőkengyeles függesztés • gipszkarton borítás

	#	Zárófödémek	#	Közbenső födémek
Csapos gerendafödémek rétegrendek	ZCs1	<u>Bennmaradó régi szerkezetű, hőszigetelt zárófödém</u> <ul style="list-style-type: none"> • járóréteg • hőszigetelés közbenső lécezéssel • deszkázat • bennmaradó homok-, salakfeltöltés (12 cm) • sűrűgerendás födémszerkezet (17 cm) • direkt felerősítésű gipszkarton lemez 	KCs1	<u>Bennmaradó régi rétegrend</u> <ul style="list-style-type: none"> • járóréteg • farostlemez borítás • párnafa alátétek • bennmaradó homok-, salakfeltöltés • sűrűgerendás födémszerkezet (17 cm) • direkt felerősítésű gipszkarton lemez
	ZCs2	<u>Felbetonnal megerősített födém szerkezet hőszigetelt zárófödém</u> <ul style="list-style-type: none"> • járóréteg • hőszigetelés közbenső lécezéssel • együttdolgozó vasbeton lemez • beépített fém csap konnektorok • párazáró fólia • sűrűgerendás födém szerkezet (17 cm) • direkt felerősítésű gipszkarton lemez 	KCs2	<u>Régi födém szerkezet cellulóz szigeteléssel kitöltve</u> <ul style="list-style-type: none"> • járóréteg • farostlemez borítás • lécvázra felfekvő párnafák • lécváz közé fújt cellulóz szigetelés • sűrűgerendás födém szerkezet (17 cm) • alsó borítás
	ZCs3	<u>Felbetonnal és lenyúló bordákkal megerősített zárófödém hőszigeteléssel</u> <ul style="list-style-type: none"> • járóréteg • hőszigetelés közbenső lécezéssel • együttdolgozó felbeton • gerendák közé lenyúló vasbeton borda • párazáró fólia • sűrűgerendás födém szerkezet (17 cm) • pótló alsó deszkázat 	KCs3	<u>Felbetonnal és lenyúló bordákkal megerősített födém szerkezet úsztatott padlós kialakítással</u> <ul style="list-style-type: none"> • járóréteg • úsztatott esztrich réteg • technológiai fólia • úsztató szigetelőréteg • együttdolgozó felbeton • gerendák közé lenyúló vasbetonborda • párazáró fólia • sűrűgerendás födém szerkezet (17 cm) • pótló alsó deszkázat
	ZCs4	<u>Felbetonnal megerősített, alulról direktfüggesztett gipszkartonos zárófödém</u> <ul style="list-style-type: none"> • járóréteg • hőszigetelés közbenső lécezéssel • együttdolgozó közbenső lemez • beépített fém csap konnektorok • párazáró fólia • sűrűgerendás födém szerkezet (17 cm) • direkt rögzítőelemek köztes szigeteléssel • gipszkarton lemez 	KCs4	<u>Felbetonnal megerősített födém szerkezet álpadlós kialakítással</u> <ul style="list-style-type: none"> • járóréteg • álpadló elem • vezetékcsatorna tartólábakkal • együttdolgozó vasbeton lemez • beépített fém csap konnektorok • párazáró fólia • sűrűgerendás födém szerkezet (17 cm)

6.4. Zárófödémek elemzése

6.4.1. Hő- és páratechnika

A négy pórfödémese rétegrend hőtechnikailag két-két variánst hordoz: a létrehozott hőszigetelés közötti pallóváz elhelyezésének módja történhet hőhidasan és kevésbé hőhidasan is. A legrosszabb konstrukció esetében a tartó pallóváz közvetlenül a gerenda fölé kerül, ezáltal a födém teljes hosszában hőhidat képezve a hőszigetelés között. A legjobb esetben ezeket a pallókat a gerendákra merőlegesen fektetjük, ebben az esetben csak a gerenda-palló találkozásoknál létrejövő pontszerű hőhíd alakul ki.

A két konstrukció közti különbség a hőtechnikai számításban is megmutatkozott. A kézi számítás esetében durva közelítést alkalmazva csak a hőhidak kialakítás vált közelíthetővé, ám a Heat programmal végzett modellkísérleteket mind a két változatra el lehetett végezni. A különbség igen nagyra adódott.

A különböző alkalmazott hőszigetelések tulajdonságait egy külön gyűjtemény²² alapján alkalmaztam a számításaimban. Minden rétegrend esetében különböző vastagságokra is megvizsgáltam a rétegrend hőátbocsátási tényező értékét, majd ezeket összegző táblázatokban a rétegrendi leírásokba beillesztettem. Ahol tettem, más típusú anyagot használtam, mint azt megelőzőleg, hogy ezzel is növeljem az alkalmazási lehetőségeket.

A nyolc rétegrendemhez így tizenkettő Heat-modell tartozik, amik Light verzióban (maximum 25x25x25-ös cellaszám) kerültek futtatásra. Ezek adatait a kézi számítás ellenőrzésére, illetve pontosítására használtam fel és rétegrendenként szintén feltüntettem.

A páratechnikai görbék szerkesztése kézi számítás után AutoCAD-ben történt.

6.5. Közbenső födémek elemzése

A födémváltozatokról egy áttekinthető táblázat készült, ahol könnyen összevethető a rétegrendekben alkalmazott megoldások hatékonyságai. A táblázat alapján a jövőben egy rétegrend létrehozása könnyebb és gyorsabb, hiszen már reprezentált példák mellett lehet felépíteni egy új rendet.

6.5.1. Akusztika

Akusztikai szempontból közelítő összehasonlításokat végeztem. Léghanggátlás esetében az elegendő fajlagos tömeg teljesülését ellenőriztem a rétegrend tömege

²² [www3.] A táblázatból a hőszigetelési értékeket használtam fel.

alapján. Lépéshanggátlással kapcsolatban minden rétegrend esetében megállapítottam, hogy van-e benne csillapításra alkalmas szerkezet, amennyiben igen, milyen szintű védelmet, ellenállást biztosít önmagában. .

6.5.2. Tűzvédelem

Ezeket a szempontokat csak a konstrukciós leírásnál fejtettem ki. Egyes rétegrendek inkább alkalmasak felső vizes helyiség kialakítására, mint mások. Tűzvédelmi szempontból pedig megfelelő anyagok alkalmazásával és elhelyezésével elérhető, hogy a gerendák tűz esetén tovább maradjanak teherviselőkk. Ez különösen életvédelmi okokból fontos.

7. KORSZERŰ MEGOLDÁSI LEHETŐSÉGEK

7.1. Cellulóz hőszigetelés

A technológia lényege, hogy utólagosan apró szálakra felaprított papírból szórt hőszigetelést készítenek. A bórsavval (H_3BO_3) összekevert szálak védettek a biológiai degradációtól, illetve ellenállóbbak tűzhatás ellen. Szálas szerkezetéből és kis halmazsűrűségéből adódóan jó hő- és hangszigetelő. Hatalmas előnye, hogy térkitöltésre alakítható, így nem keletkezik hulladék a beépítésénél (a nem felhasznált szálakat máskor egy másik helyen is be tudják fűjni). Bármilyen rétegvastagságban alkalmazható, Svédországban szokásos az 50-70 cm vastag beépítés is²³. Hátrányként említhető, hogy amíg a kivitelezése speciális gépet igényel, addig bármilyen táblás hőszigetelést könnyedén kézi erővel lefektethetnek. Csapos gerendás födémelek felszórására is használják, az alkalmazott vastagság attól függ, hogy beépítik-e még a felső területet. A számítási példák közé egy ilyen rétegrendet is választottam, hogy a technikai megoldás bekerülhessen a feldolgozott példák közé.

7.2. Felbetonos megerősítés (Holz-Beton-Verbund, HBV)

Németországban és Ausztriában általános megoldásként alkalmazzák fagerendás födémelek megerősítésére a felbetonos megerősítést. Elhelyezik a gerendákba az erőátvitelhez szükséges, többnyire acél konnektorokat, majd a megfelelő favédelem mellett a nyomott övet betonnal öntik ki. A technikát alkalmazzák szálerősített felbetonnal²⁴ acélhálós erősítés mellett is. Optimális kihasználtság mellett akár 45-60 %-kal is javul a szerkezet teherbírása²⁵. A konstrukció javítja a födém tárcsahatását (fontos

²³ [9.] Medgyasszay, Osztrólczy - Energiatudatos építés és felújítás, 62. o.

²⁴ E. Bölcskey, M. Billes - Holz-Beton-Verbunddecke: Baupraktische Bemessung nach Faserbeton-Richtlinie [5] írásában részletezi a konstrukció alkalmazási és vizsgálati lehetőségeit.

²⁵ [www5.] Fátrai 2011. 2.2. fejezet

merevítő tényező, hiszen a fagerendák esetében nem használtak még összefogó vasbetonkoszorút), a megnövekedett tömeg pedig jobb léghanggátlást biztosít.

Felbetonos megerősítést trapézlemez változatban is alkalmazták, ami tökéletes megoldás padlófűtés eseti elhelyezésére.²⁶



11. ábra Duofor rendszer trapézlemez megerősítése [T3]

A fagerendák megerősítésével a rövidebb fesztávú deszkázat is megerősödik. Ezeket modellkísérlettel laborkörülmények között lehetséges vizsgálni, ha egy alkalmasan választott részletét tekintjük a szerkezetnek. Az ilyen megerősítések modellezése kifejezetten fontos feladat, hiszen egy alkalmas modell választásával és kidolgozásával az alkalmazott betonfedés optimalizálható: miután már számottevő teherbírásnövekményt nem tud produkálni a megerősített födém, nem éri meg, nem gazdaságos a további anyagfelhasználás. A dolgozat témájába illeszkedő volt, hogy valós méretben előkészített modellkísérletek során, biztosított laboratóriumi körülmények között hasonló megerősítéseket vizsgáljak. Ezekhez kevésbé elterjedt, modern anyagokat választva a gerenda és a lemez megerősödése is hatékonyan vizsgálható.

²⁶ [F3] DUOFOR ® - Schwalbenschwanzplatten

8. A MODELLKÍSÉRLETEK BEMUTATÁSA

8.1. A vizsgálatok tárgya

A Magyarországon alig alkalmazott felbetonos fafödém megerősítés viselkedése a gyakorlatban modellkísérlet formájában próbálható ki. Ezért a németországi Schomburg cég jóvoltából egy zsák ASO-EZ2-vel (25 kg) és egy kiszerelés (25+5 kg) ASODUR-LE-vel végezhettem kísérleteket. Az ASO-EZ2 egy nagyobb modell megépítését tette lehetővé, míg az ASODUR-LE-ből két kisebb szerkezetet, valamint több mintakockát és hasábot is sikerült önteni.

A kísérlet célja (a csekély modellszám miatt) sokkal inkább az együttdolgozás viselkedésének vizsgálata volt, mint a numerikus teherbírás vizsgálat. A két modelltípus közül az ASO-EZ2 alátétfóliával és konnektor elemekkel készült el, az ASODUR-LE viszont - rendeltetéséhez híven - tisztán régi födémdeszkázatra öntött speciális erősítésként működött.

8.2. Az ASO-EZ2 általános bemutatása

Az ASO-EZ2²⁷ egy műanyag szálerősítésű cementesztrich. Előnyös tulajdonsága, hogy nagyon hamar, már 6 óra eltelte után járható a kialakított felület, másnap már burkolható, 7 nap után teljesen terhelhető. Telepíthető fűtőesztrichként is, ilyenkor a technológiai szabályok betartása mellett minimum 3 napot várni kell az első felfűtésig. A keverési arányok és a pihentetési idő függvényében más szilárdsági szintet biztosít az anyag. Esetünkben a hivatalosan előírt 1:4,5-es ASO-EZ2:homok aránnyal 28 nap pihenési idő után 60 N/mm² névleges nyomószilárdságú és 8 N/mm² névleges hajlítóhúzó szilárdságú anyagot képeztünk. Változatos, sokrétűen alkalmazható: bel- és kültéren egyaránt fektethető, terméskövel, kerámialappal, padlószőnyeggel, linóleummal korán burkolható.



12. ábra A gerenda zsaluzás után

²⁷ [www1.] ASO-EZ2 Technical data sheet

8.3. ASO-EZ2-vel készített gerendamodell

2,0 m hosszúságú 12/15 cm-es gerendára álló helyzetben 50 cm szélességű felső deszkázat kerül 2 cm vastagságban. A deszkák mind 15 cm szélesek voltak. Ezután elkészítettem a felbeton 5 cm magas zsaluzatát.

A deszkázat egyrétegű fóliázása után konnektor elemeket erősítettem a fagerendába az együttdolgoztatás biztosítására. Ezek 80/5,0-s facsavarok voltak 50 mm menetes szárral. A gerendába és a deszkázatba összesen 3+2 cm mélyen süllyesztettem be ezeket az elemeket csavarozógéppel, így az 5 cm-es felbetonba is 3 cm-es csap nyúlt ki. 26 darab csavart használtam fel a kapcsolat kialakítására, ezeket szabályosan 15 cm-ként helyeztem el a gerenda hosszában kettesével, a tartógerenda tengelyére szimmetrikusan egymástól 6 cm távolságra. A felvasalat elhelyezése után bedolgozásra került az esztrich a már említett 5 cm vastagságban.



13. ábra Vasalás közben...

A modell 28 napos szilárdulási időt igényelt, az ASO-EZ2 az ASODUR-LE-vel ellentétben ennyi időt igényel teljes szilárdságának elnyeréséig.

A modell előzetes faanyag-igénye: 0,020 m³ deszkázat (2 cm vastag, 20 cm széles deszkázatból 5 folyóméter), 1 db 2,0 m hosszúságú 15/21-es fagerenda (a hosszúsága fontos, hogy megfelelő legyen, a keresztmetszeti méretei változhatnak) + zsaluanyag volt.



14. ábra ...és bedolgozás után.

8.4. Az ASODUR-LE általános bemutatása

Az ASODUR-LE²⁸ egy háromkomponensű, műgyanta alapú kötőanyaggal ragasztott könnyűszemcsés anyag. Az apró szemcsézettsége és pórusossága miatt halmaza egészen könnyű (1,8 kg/m²/mm), jó hőszigetelő és lépéshanggátló (hagyományos hangszigeteléssel együtt alkalmazva). 16 óra után járható a felület, 7 nap után pedig

²⁸ [www2.] ASODUR-LE Technical data sheet

teljesen terhelhető. A három komponenst elkülönítve bocsátják forgalomba: a granulátumot zsákokban, a kötőanyagot pedig speciálisan kiképzett dobozban szállítják, amiben a két anyag külön van elhelyezve.

Az anyagot Magyarországon még nem használták, a kutatáshoz külön igényeltünk külföldről. Speciálisan olyankor használják, amikor fafödém rekonstrukciójánál nagyon kevés hely áll rendelkezésre és előnytelen a belmagasság további csökkentése. Kifejezetten vékonyan fektethető, minimális rétegvastagsága 15 mm.

8.5. ASODUR-LE-vel készített lemezmodell

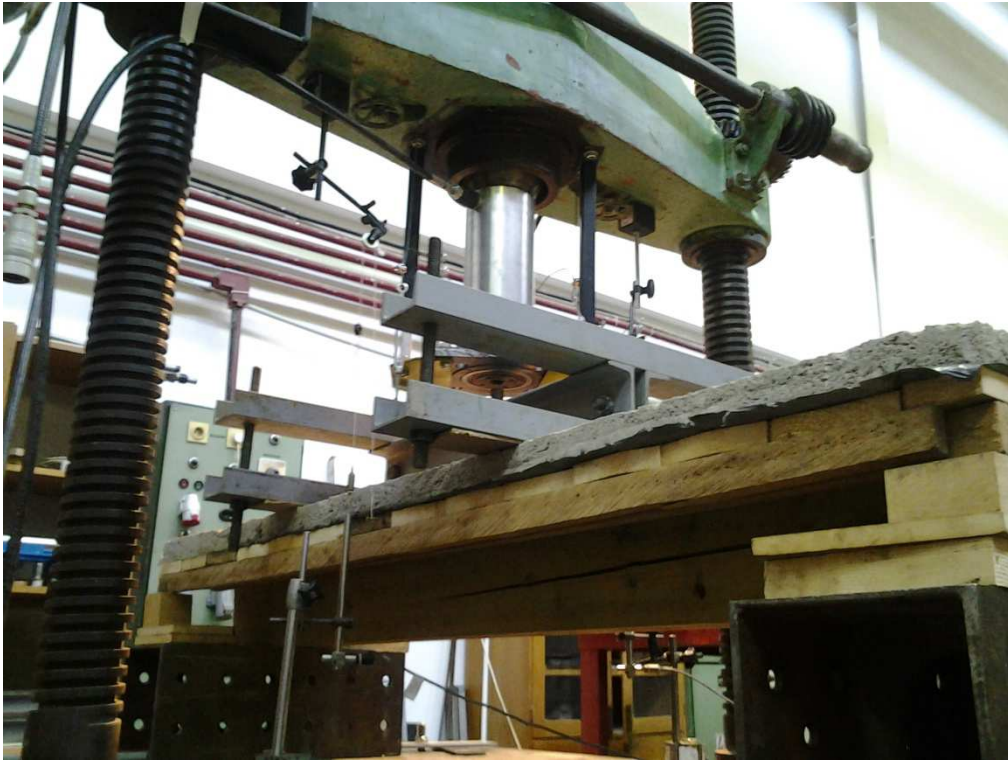
A modell alapanyagául egy régebbi fadeszkázat szolgált, aminek a korhadó részeit eltávolítottuk mezőközépről. A deszkázat alján a két szélső kisgerendát meghagyva, a középső gerendát eltávolítva, drótkéfésség megmunkálás után zsaluztuk fel a deszka méretének is megfelelő 24 mm-es magasságra. Az előkészítés után a gyors keverés folyamata következhetett: az anyaggal kapcsolatos tapasztalatok híján ügyelni kellett, hogy a 60 perces bedolgozási időből ne csússzunk ki. A kötőanyagos vödör membránját egy csavarhúzóval átütve, majd a belsejében lévő kupakot kilyukasztva a két komponens elegyedni kezdett, ezután a doboz kibonthatóvá vált.



Mind a kötőanyagot, mind a granulátumokat keverőszáras fúróval öt-öt percig kellett keverni. Párhuzamosan két vödörben a teljes anyagot felhasználtuk, hogy maradjon elegendő anyag próbatetek számára is. Az ASODUR-LE az ASO-EZ2-vel szemben már nyolc nap után teljesen terhelhetővé és törhetővé vált. A maradék anyagból három próbakockát és három próbahasábot készítettünk.

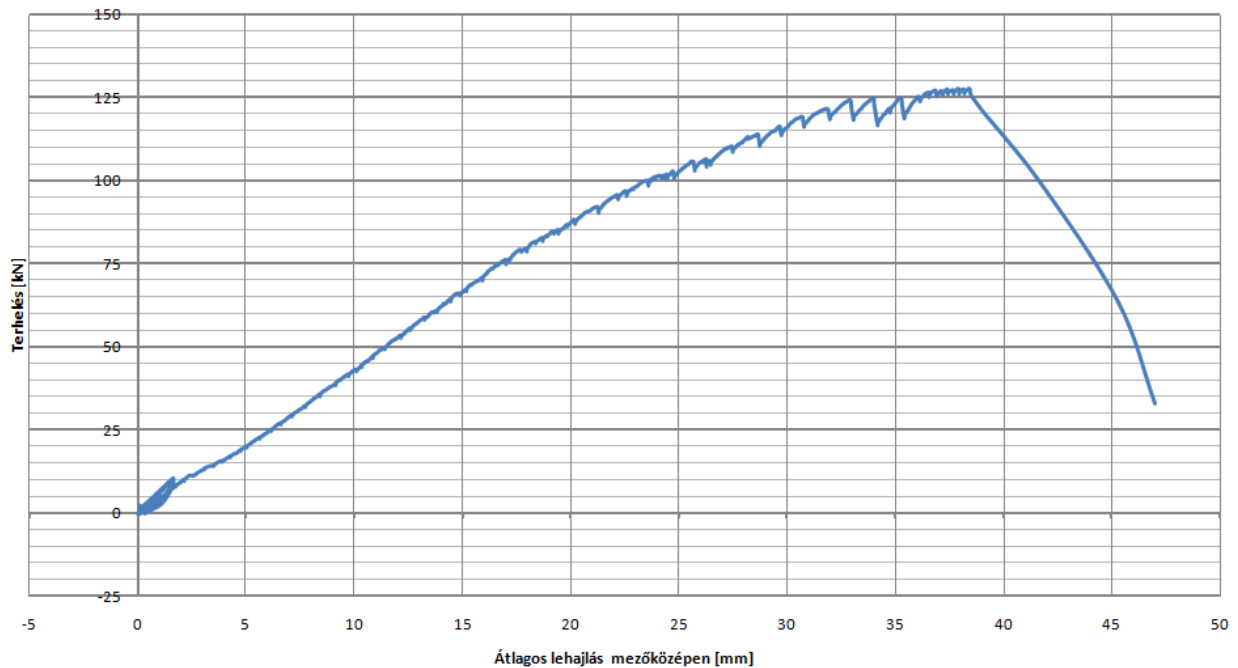
8.6. A próbaterhelés eredményei

Az elkészült modelleket a Hidak és Szerkezetek Tanszék laboratóriumában végeztük el. A gerendás ASO-EZ2 modell négy pontos hajlítással, míg a kisebb ASODUR modellek három pontos hajlítással voltak terhelve.



16. ábra Az esztrich-hel együttműködő gerendamodellt két ponton alátámasztott és két ponton terhelt módon vizsgáltuk

Tether - lehajlás diagramm



15. ábra Az ASO-EZ2 gerenda terhelés-lehajlás ábrája

A gerendás modell a szerelés előtt is tartalmazott hibát: a gerenda egyik rövidebb oldalán be volt hasadva. A konstrukciónál úgy próbáltam meg leginkább csökkenteni ennek a hatását, hogy a gerenda ép felét a húzott oldalra építettem be. Kizsaluzáskor tűnt fel egy újabb repedés, ami építéskor még nem volt jelen: a gerenda oldala a modell fele hosszában felhasadt, ezzel csökkentve a hasznos keresztmetszetet, ami húzásra fog dolgozni. A repedés keletkezésének oka valószínűleg a faanyag kezdeti magas nedvességtartalma volt, így száradási repedésként értelmezhető.

Előzetesen névleges adat nem volt ismert a faanyagról, így került beépítésre és terhelésre is. Nagy alábecsléssel készült egy közelítő számítás, annak érdekében, hogy a mérés előkészítésére becsülhető legyen, milyen teherszinten mehet tönkre a gerenda. Ez a becslés egy 15 kNm-es szintet jelzett előre, ami 45 kN-os terhelést jelentett.

A tényleges mérések az előzetes közelítésekhez képest jelentősen nagyobb teherszintet mutattak töréskor. A törőerő 127,59 kN-ra, míg a hozzátartozó lehajlás 38,4 mm-re adódott. A tönkremenetel hajlítás és nyírás együttes hatására ment végbe az erőbevezetés alatt a fa szélső, húzott szálában. A bevezetéseknel a nyomott szélső szálban az esztrich alig morzsolódott el. A modell végső nyomatéki teherbírása 42,5 kNm lett.



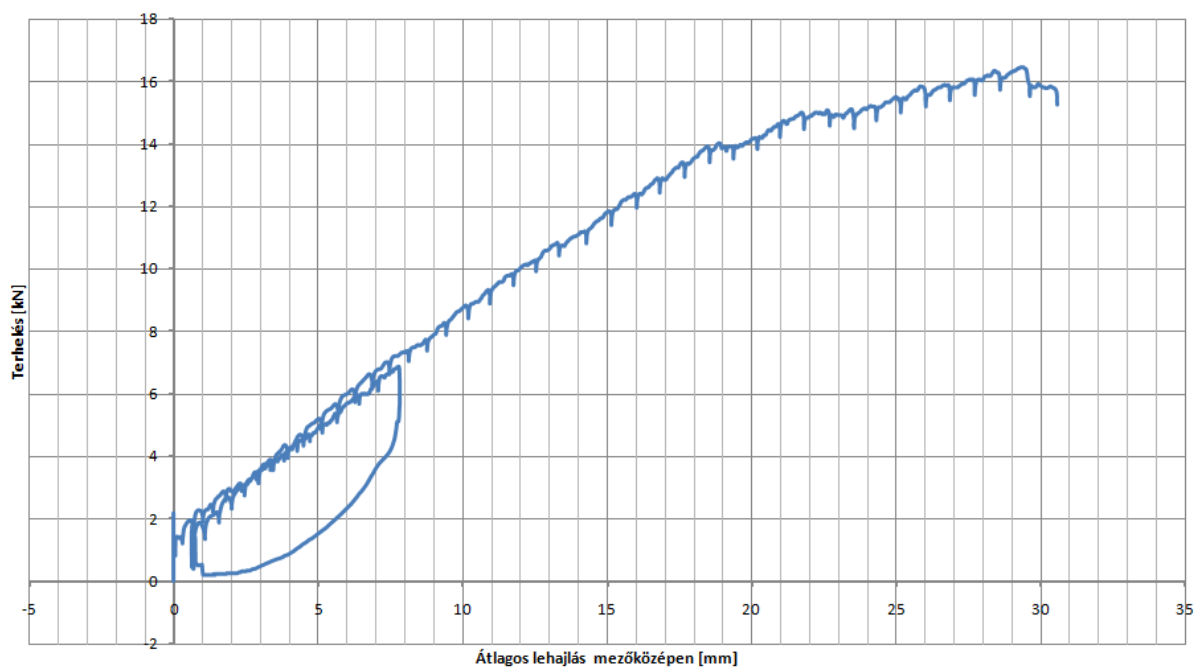
17. ábra A tönkrement szélső, húzott öv



18. ábra A nyomott öv a terhelés végeztével

Az ASODUR modellek terhelése a konstrukció miatt egy nagyságrenddel kisebb teher szinten történt. A modellek már tartalmaztak kezdeti gyengítést a fideszkázat közepén, mivel onnan távolítottunk el egy merevítőgerendát a szerkezetből. A próbatestek 16,47 kN (29,4 mm átlagos lehajlás) és 10,96 kN (34,4 mm átlagos lehajlás) terhelésre mentek tönkre.

ASODUR-LE 1. lemez terhelése

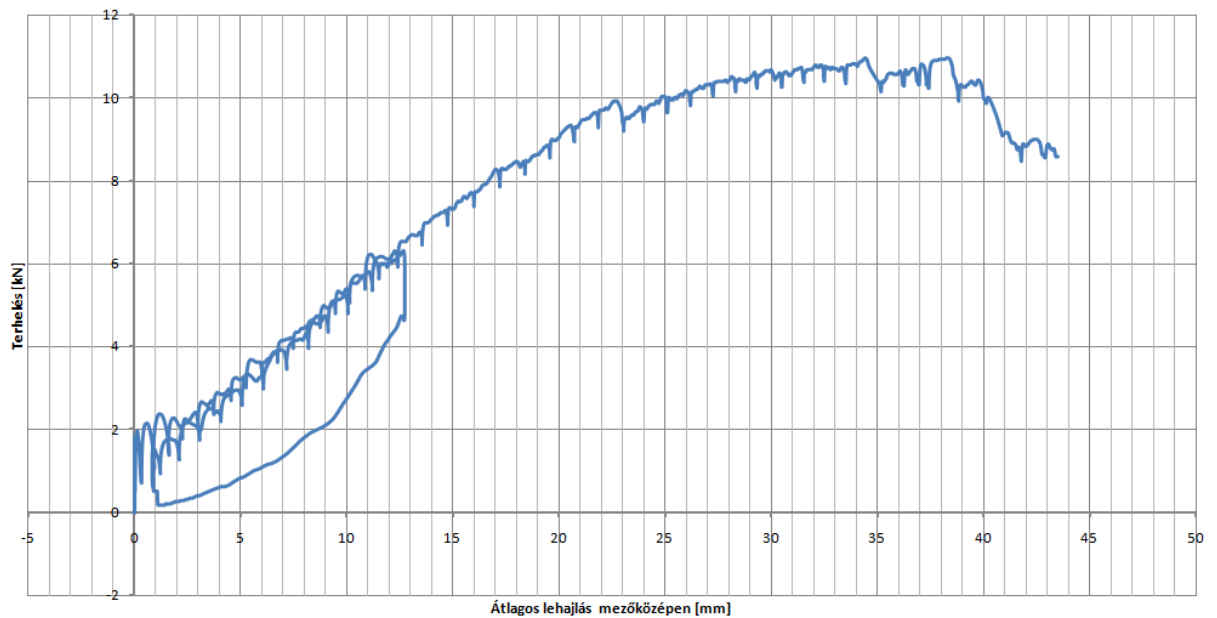


19. ábra Az első ASODUR-LE lemez terhelés-lehajlás ábrája



20. ábra Mérési elrendezés

ASODUR-LE 2. lemez terhelése



21. ábra A második ASODUR-LE lemez terhelés-lehajlás ábrája

Az ASODUR lemezek nagy alakváltozást is elviseltek és amíg a deszkázat eltört alattuk, addig ők kisebb maradó alakváltozással rugalmasan viselkedtek.



22. ábra Az anyag a nyírás miatt elvált a deszkázattól, majd a deszkázat tönkremenetele után épségben maradt

A három modellen mért törőerők és a hozzájuk tartozó lehajlási érték a következők.

Modellkísérletek végső adatai		
	Törőteher	Átlagos lehajlás töréskor
ASO-EZ2 gerendamodell	127,59 kN	38,4 mm
ASODUR-LE 1. lemezmodell	16,47 kN	29,4 mm
ASODUR-LE 2. lemezmodell	10,96 kN	34,4 mm

23. ábra A próbaterhelések eredményei

Az ASODUR-LE 1. lemezmodell az anyag elterítése előtt erélyes drótkéféssel felületkezelésen esett át. A törés közben a deszka és az anyag rétegek elnyíródtak egymáson, ám az első modellnél a kapcsolat jobban dolgozott: törés után is láthattunk erős összekapaszkodásra utaló jeleket, ami a 2-es modellnél nem volt meg. A terhelési eredmények különbségei részben erre vezethetők vissza.

A későbbiek folyamán az ASODUR-LE anyagból készített három próbakocka és próbahasáb mellett hat darab kisebb fahasábot is eltörtünk anyagvizsgálati célból. A próbakockák mérete a régebbi szabványos próbakockáknak megfelelő volt (5000 mm² nyomott felület - 70,7x70,7x70,7 mm -es próbatest) A deszkából hasított hasábok pedig 20x20x300 mm nagyságúak voltak.²⁹ A számított eredmények az alábbiakban olvashatók.

#	h	b	l	hajlítási törőteher	hajlító nyomaték	I _y	W	hajlítószilárdság
dim	mm	mm	mm	kg	Nmm	mm ⁴	mm ³	N/mm ²
1	19,92	20,42	300	100	60000	13450,63	1350,46	44,43
2	19,85	20,34	300	63	37800	13257,18	1335,74	28,30
3	19,95	20,14	300	119	71400	13326,22	1335,96	53,44
4	19,93	20,2	300	102	61200	13325,76	1337,26	45,77
5	20,18	20,12	300	hibás		13778,76	1365,59	-
6	19,97	20,53	300	132	79200	13625,17	1364,56	58,04
átlag	19,97	20,29	300	103,2	61920	13460,62	1348,26	46,00
		támaszköz	240 mm					

24. ábra A favizsgálat eredményei

Favizsgálat közben az 5-ös számú próbatest jelentősebb terhelés nélkül, anyaghiba miatt eltört, ezért a számítás során nem lett figyelembe véve.

Az ASODUR hasábok és kockák próbaterhelési eredményei az alábbi táblázatokban olvashatók.

#	h	b	l	m	ρ	hajlítási törőteher	hajlítószilárdság
dim	mm	mm	mm	g	g/cm ³	N	N/mm ²
1	40	40	160	270	1,05	2680	7,54
2	40	40	160	249	0,97	1830	5,15
3	40	40	160	245	0,96	2520	7,09
átlag	40	40	160	254,67	0,99	2343,33	6,59

25. ábra Az ASODUR-LE hajlító vizsgálatainak eredményei

²⁹ MSZ 6786-5:1976 Faanyagvizsgálatok. Faanyagok statikus hajlítószilárdságának meghatározása.

#	magasság	szélesség	hosszúság	nyomott felület	tömeg	sűrűség	nyomási törőteher	nyomószilárdság
dim	mm	mm	mm	mm ²	g	g/cm ³	kN	N/mm ²
1	70,7	70,7	70,7	5000	354	1,00	40	8,00
2	70,7	70,7	70,7	5000	320	0,91	36,2	7,24
3	70,7	70,7	70,7	5000	350	0,99	48,3	9,66
átlag	70,7	70,7	70,7	5000	341,33	0,97	41,50	8,30

26. ábra Az ASODUR-LE nyomóvizsgálatainak eredményei

A gyári adatok között az anyag hajlítóhúzó-szilárdsága 13 N/mm²-nek, míg nyomószilárdsága 26 N/mm²-nek van megadva. Az, hogy ezeket az értékeket az ASODUR-LE a próbaterhelés során meg sem közelítette, keverési hibát feltételez. A kétkomponensű kötőanyag összekeverése nem volt elég szakszerű, hiszen a granulátummal való vegyítés után is folyt még az edény faláról és az edény kupakjából maradék műgyanta edzőanyag a doboz aljába. Ez a nem elhanyagolható mértékű aránybeli különbség, tehát az erősítő, edző komponens megfelelő arányának hiánya vezethetett oda, hogy az anyag szilárdsága nem az elvárt értékeket adta vissza. Ennek ellenére a modellkísérlet igazolta a háromkomponensű anyag nagy rugalmasságát és fontos technológiai következtetésre adott lehetőséget. Az együttdolgozás tekintetében kiemelendő a deszkázat felső síkjának tisztításán túlmenően annak minimális érdesítése (drótkéfézéssel) jelentősen növeli az együttdolgozást.

8.7. Utólagos számítások

Az utólagos modellezés során az ASO-EZ2 gerendamodell viselkedésének vizsgálata volt a cél. Mivel a kezdeti anyagokból nem állt rendelkezésre megfelelő próbatest, ami alapján a beépítésre jellemző adatokat lehetett volna nyerni, így az esztrichnél gyári adatokat, míg a fánál a vizsgált hajlító kísérlet eredményeit használtam fel.

A számítás során bebizonyosodott, hogy a vasalt esztrichréteg egymagában nem bírna ilyen terhet elviselni, tehát mindenképpen együtt dolgozott a fagerendával adott kísérletben. Számítási végeredményül a mért értéknél jóval kisebb teherbírási érték adódott, ami azt jelentheti egyrészt, hogy a fás mérések hoztak gyengébb eredményt az alkalmazott fához képest (nem teljesen homogén anyag), másrészt valószínűsíthető, hogy az esztrich a névleges szilárdságánál is többet bír.

9. ÖSSZEGRZÉS

Épületszerkezet-tani áttekintésem tárgya a fafödém, mint régi, felújítandó szerkezet volt. A lehetséges követelményeket, támasztott igényeket áttekintve modern eszközöket, anyagokat alkalmazva létrehozott rétegrendek ellenőrzése során megállapítást nyert a fafödémek komplex rekonstrukciójának összetett kérdésköre. Az elkészített hőtechnikai számítások kiindulópontot és irányt adhatnak egy lehetséges fafödém-felújítás alkalmával a pontos, részletes számításokat végző szakembernek, tervező mérnököknek.

A laboratóriumi vizsgálat tárgya az volt, hogy kiderítse, hogyan viselkednek egyes különleges esztrichek (speciálisan a műanyagszállal erősített nagy nyomószilárdságú ASO-EZ2 és a háromkomponensű, műgyanta kötőanyagú ASODUR-LE esztrichek), ha fafödém-es erősítés komponenseként használjuk őket. Az ASO-EZ2 esetében az együttdolgozás megállapítása, illetve a két anyag előnyös együttes alkalmazása jelentheti azt, hogy az esztrich alkalmazható régi fafödémek megerősítésére, amelyek részletes számítások alapján méretezhetők. Az ASODUR-LE modellek nem igazolták a várt teherbírá-s-növekedést, így a kísérletet megfelelő szilárdságú anyaggal ismételni kell, viszont az anyag nagy rugalmasságát a modell lehajlási értékei, majd tehermentesítés utáni minimális maradó alakvá-ltozása, tehát eredeti alakjának visszanyerése további jövőbeli felhasználási lehetőséget rejt. Ugyanakkor fontos technológiai felismerés is megfogalmazható a deszkaanyag előkészítésére vonatkozóan.

*

10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Munkám végén szeretném megköszönni konzulensemnek, Dr. Dudás Annamáriának az áldozatos munkáját, amivel kísérte tevékenységemet.

Tisztelettel köszönöm Dombi Ferenc laboratóriumi technikusnak azt a rengeteg segítséget, amit a munkafolyamatok és mérések előkészítése, elvégzése és utómunkálata során adott.

Köszönöm Dr. Mansour Kachichiannak, hogy szabadideje kárára laboratóriumi munkámat irányította és mentorálta.

Tisztelettel köszönöm Dr. Horváth László instrukcióit a mérési eredmények és szerkezeti modellek elemzésével kapcsolatban.

Köszönöm Tömböly Cecíliának, hogy segítségével előremozdította munkámat.

Illetve köszönet Szlobodnyik Pálnak, a Könyvtár tetőszerkezetének javítását végző ácsmesternek, aki a gerendamodellhez biztosított számomra faanyagot.

*

HIVATKOZOTT SZABVÁNYOK, SZABÁLYZATOK

- **MSZ 15601-1:2007** Épületakusztika
- **MI 15011 - J/1986**
- **TSZ-01-2013** Épületek megépült teherhordó szerkezeteinek erőtani vizsgálata és tervezési elvei
- **MSZ-04-1402:1991** Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai
- **MSZ 6786-5:1976** Faanyagvizsgálatok. Faanyagok statikus hajlítószilárdságának meghatározása.
- **MSZ EN 12431:2013** Hőszigetelő termékek épületekhez. Úsztatott padló szerkezetekben alkalmazott hőszigetelő termékek vastagságának meghatározása

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **Szalai** Kálmán, **Kovács** Tamás - AZ MSZ szerinti teherbírasi követelmények változása a XX. században, és azok összehasonlítása az Eurocode szerintiakkal, Vasbetonépítés 2000/3.
- [2] **Bársony** István - Magasépítéstan I., Szega Books Kft., 2008. ISBN 978 963 970 202 8
- [3] **Déry** Attila - Történeti szerkezettan, TERC Kft., 2002. ISBN 963 86263 3 X
- [4] **Wittmann** Gyula - Mérnöki faszervezetek I., Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest 2000. ISBN 963 35631 4 3
- [5] Elmer **Bölcsey**, Martin **Billes** - Holz-Beton-Verbunddecke: Baupraktische Bemessung nach Faserbeton-Richtlinie
- [6] Michaela **Hoppe** - Holzbau der Zukunft - TP 10 Energetische Sanierung von Bestandsbauten in Holz- und Massivbauart unter Einsatz von Holz und Holzwerkstoffen, Technische Universität München, Lehrstuhl für Bauphysik
- [7] **Reis** Frigyes - Az épületakusztika alapjai, TERC Kft., 2003. ISBN 963 86303 6 1

- [8] **Dulácska** Endre - Kisokos statikusoknak, Artifex Kiadó, Budapest, 2013., ISBN 978 963 7727 01 6
- [9] **Medgyasszay** Péter, **Osztrólczy** Miklós - Energiatudatos építés és felújítás, ISBN 963 7169 06 7
- [10] **Fülöp** Zsuzsanna, **Osztrólczy** Miklós (szerkesztők) - Épületszigetelési kézikönyv, Verlag Dashöfer Szakkiadó, Budapest, 2006. ISBN 963 9313 491
- [11] **P. Nagy** József - A hangszigetelés elmélete és gyakorlata, Akadémiai Kiadó, Budapest 2004. ISBN 963 05 8133 7
- [12] Dietmar **Lochner**, Wolfgang **Ploss** - Hő- és hangszigetelés az épületben, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1982. ISBN 963 10 4267 7
- [13] **Tóth** Elek - Vízszintes és szintáthidaló szerkezetek energia-hatékony, fenntartható felújítása-1, elektronikus segédlet

LINKEK, WEBOLDALAK

- [www1.] ASO-EZ2 Technical data sheet,
<http://www.schomburg.de/cmspdf/--51229-en.pdf>
(letöltés dátuma: 2014.10.12.)
- [www2.] ASODUR-LE Technical data sheet,
<http://www.schomburg.de/cmspdf/--52256-en.pdf>,
(letöltés dátuma: 2014.10.12.)
- [www3.] Összehasonlító táblázat úszatórétegek műszaki tulajdonságairól,
http://szigetelesinfo.hu/anyagok/osszehasonlito_tablazitok/usztatoretegek_osszehasonlitas.pdf,
(letöltés dátuma: 2014.)
- [www4.] Jean-Luc **Sandoz** - Horizontal timber slab from 4 m to 18 meters free span
http://www.cbs-cbt.com/New_site/EN/Downloads/Publications/InnovativeTimberSlabs.pdf
(letöltés dátuma: 2014.07.01.)
- [www5.] **Fátrai** György - Épített környezetünk (2011)
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0013_09_Epitett_kornye

[zetunk/2_lecke_boltozatok_skfdmek_rehabilitcii.html](#)

(letöltés dátuma:)

[www6.] A faanyag statikus szilárdságának jellemzése, a fa, mint ortotrop rugalmas anyag

ftp://witch.pmmf.hu:2001/Tanszeki_anyagok/Szilardsagtan%20es%20Tartoszervezetek%20Tanszek/Vanya%20Csilla/F%E1s%20t%E9telek%20Z%E1r%F3vizsga%20felk%E9sz%EDt%F5%20Bsc.pdf

(letöltés dátuma: 2014.10.21.)

[www7.] Tile setting on ASODUR-Light-Weight-Screeds (i.e. on wood substrates)

<http://www.schomburg.de/cmspdf/--55141-en.pdf>

(letöltés dátuma: 2014.10.21.)

[www8.] Tile setting on ASODUR-Lightweight Screeds (i.e. on wooden substrates in combination with LEWIS-Schwalbenschwanzprofil)

<http://www.schomburg.de/cmspdf/--228348953-en.pdf>

(letöltés dátuma: 2014.10.21.)

[www9.] Tiling of wooden substrates with the LEWIS-Schwalbenschwanzplatte

<http://www.schomburg.de/cmspdf/--640810-en.pdf>

(letöltés dátuma: 2014.10.21.)

[www10.] **Andor** Krisztián, **Bejó** László, **Hantos** Zoltán, **Józsa** Béla, **Karácsonyi** Zsolt, **Oszvald** Ferenc Nándor, **Sági** Éva, **Szabó** Péter, **Wehofer** Valéria - Faépítés

<http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/faepites-faepites/ch09s05.html#id501065>

[www11.] **Tóth** Elek - Vízsintes és szintáthidaló szerkezetek energia-hatékony, fenntartható felújítása-1

<http://www.epito.bme.hu/met/oktatas/feltoltesek/BMEEOMEMAT2/06-alkalom.pdf>

[www12.] Spanndecken - Markowski

<http://www.spanndecken-hilden.de/Holzdecken-renovieren-so-geht-s-richtig/6a8jCcaW1QuBJDx3q1YBc9>

[www13.] **Dudás** Annamária - Épületek rekonstrukciós tervezése - Magastetők fenntartható felújítása

http://www.epito.bme.hu/met/oktatas/feltoltesek/BMEEOMEMAT2/rekonstrukcio-05ea_magas-teto-dudasa-2014_osz.pdf

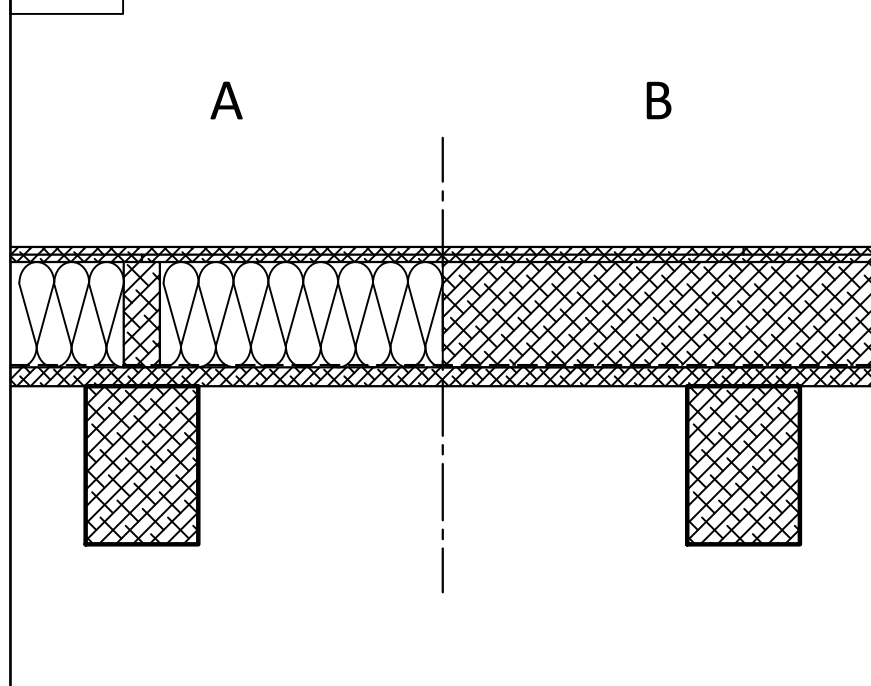
TERMÉKKATALÓGUSOK, LEÍRÁSOK

- T1. Knauf bontható álpadló rendszer
http://www.knauf.hu/knauf-files/PDF/Bonthato%20alpadlo_F155-0908H.pdf
- T2. Masterplast szárazépítési rendszer elemek
<http://www.masterplast.hu/files/shop/documents/cid12.pdf>
- T3. Duofor - Schwalbenschwanzplatten
http://www.elgbaugoerlitz.de/baustoffe/artikel_50.html
- T4. Rigips álmennyezetek - Fémszerkezetes álmennyezetek gipszkarton borítással
http://www.rigips.hu/tervezoknek/termekrek_rendszerek/almennyezetek/gipszkarton_almennyezetek/

MELLÉKLETEK

- M1: Rétegrendek ábrái**
- M2: Záró rétegrendek részletes kidolgozása**
- M3: Közbenső rétegrendek táblázata**
- M4: Számítási melléklet**

ZP1

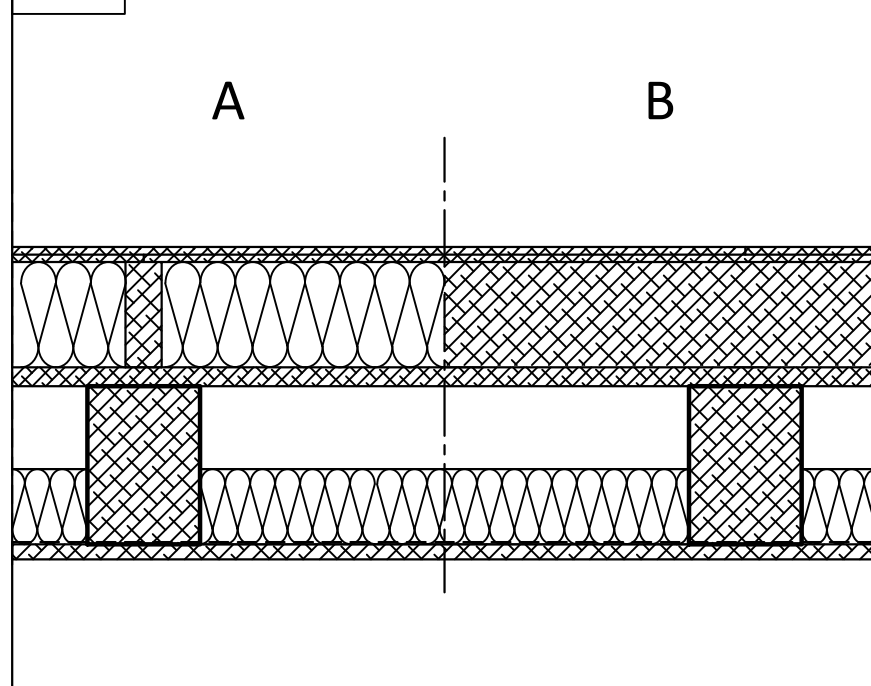


ZP1 Rétegrend

1. 2x1 cm építőlemez
2. 14 cm hőszigetelés közbenső pallózással*
3. párazáró fólia
4. 2,5 cm födémdeszkkázat
5. födémgerendák (15/21)

'A' verzió: pallózás párhuzamos a gerendák hossztengegyével
'B' verzió: pallózás merőleges a gerendák hossztengegyére

ZP3

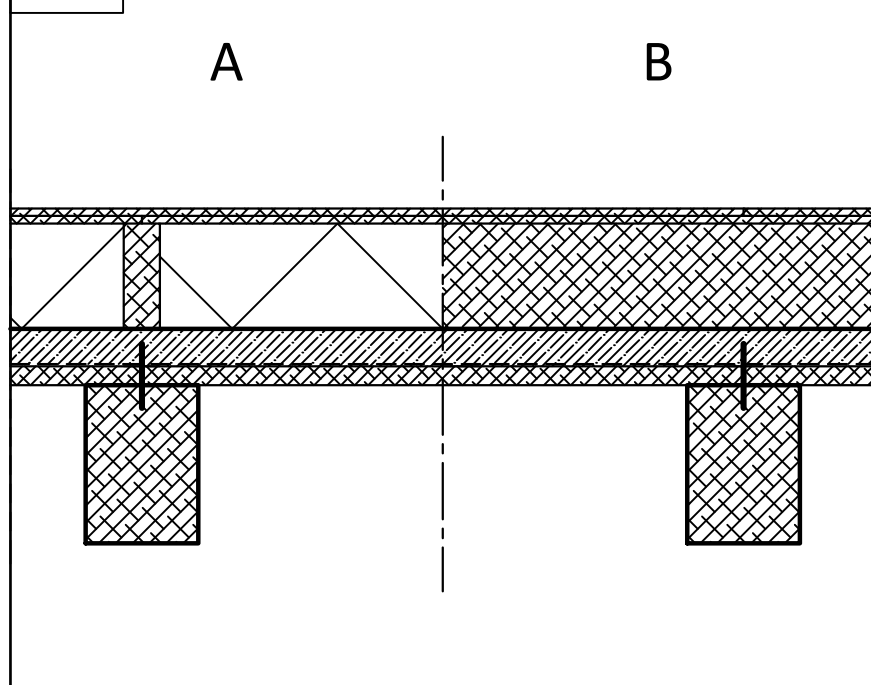


ZP3 Rétegrend

1. 2x1 cm építőlemez
2. 14 cm hőszigetelés közbenső pallózással
3. 2,5 cm födémdeszkkázat
4. födémgerendák (15/21), közöttük hőszigetelés és légrés
5. párazáró fólia
6. 2 cm alsó deszkkázat

'A' verzió: pallózás párhuzamos a gerendák hossztengegyével
'B' verzió: pallózás merőleges a gerendák hossztengegyére

ZP2

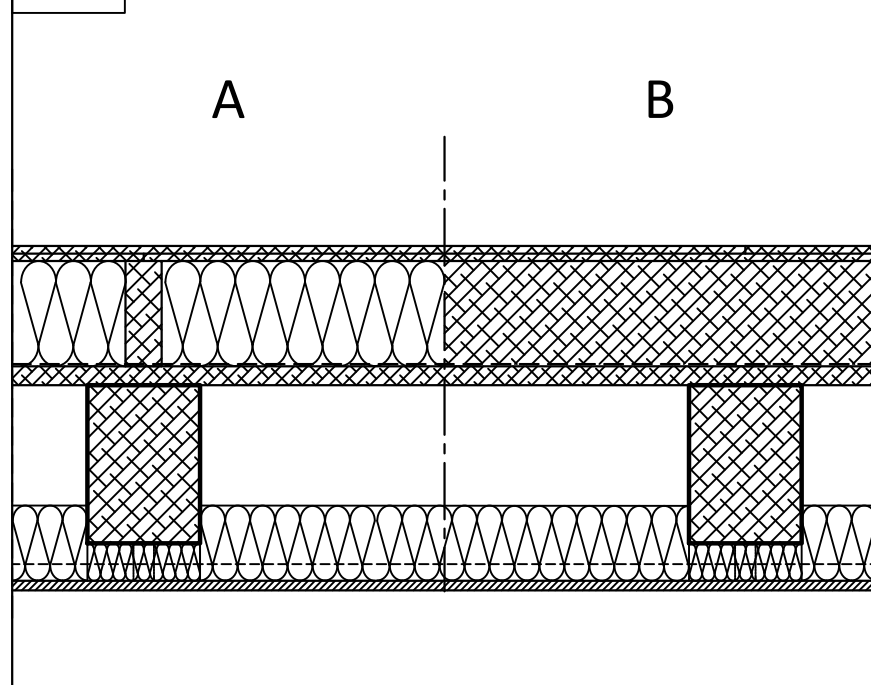


ZP2 Rétegrend

1. 2x1 cm építőlemez
2. 14 cm hőszigetelés közbenső pallózással
3. 5 cm együttdolgozó vasalt cementesztrich
4. beépített együttdolgoztató fém elemek
5. párazáró fólia/technológiai szigetelés
6. 2,5 cm födémdeszkkázat
7. födémgerendák (15/21)

'A' verzió: pallózás párhuzamos a gerendák hossztengegyével
'B' verzió: pallózás merőleges a gerendák hossztengegyére

ZP4



ZP4 Rétegrend

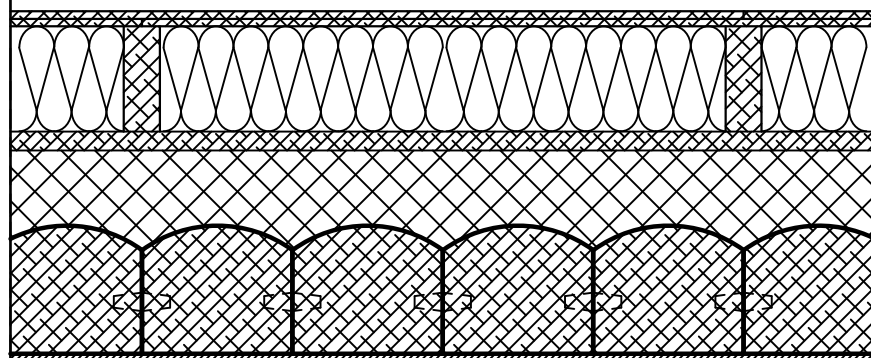
1. 2x1 cm építőlemez
2. 14 cm hőszigetelés közbenső pallózással
3. 2,5 cm födémdeszkkázat
4. födémgerendák (15/21), közöttük hőszigetelés és légrés
5. 4 cm CD profilváz direktfüggesztőn szerelve
6. 1 réteg gipszkarton borítás

'A' verzió: pallózás párhuzamos a gerendák hossztengegyével
'B' verzió: pallózás merőleges a gerendák hossztengegyére

A számításokhoz alapul vett méretek a rétegrendekhez külön készített jegyzetben találhatóak. Épületfizikai hatásai a pallózás irányára vonatkozóan mindkét esetben kimutatásra kerültek. A födémgerendák hossztengegyére merőleges pallóelhelyezés jelentősen csökkenti a csatlakozásból adódó hőhidasságot.

Tudományos Diákköri Konferencia 2014.
Fagerendás födémek komplex rekonstrukciója
BME Magasépítési Tanszék
001. sz. rajz: Zárófödém, pórfödém rétegrendek M=1:10
Dávid János IV. évfolyam, Építőmérnöki BSc

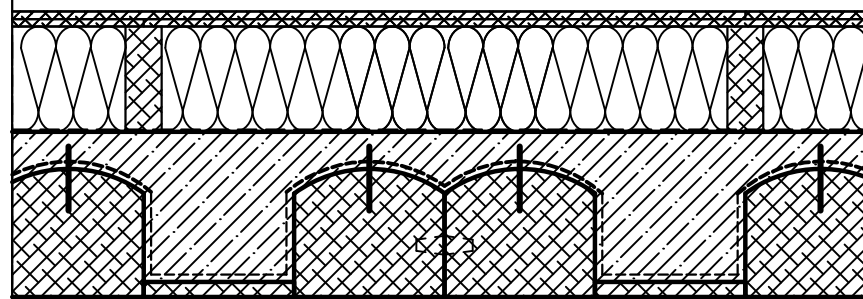
ZCs1



ZCs1 Rétegrend

1. 2x1 cm építőlemez
2. 14 cm hőszigetelés közbenső pallózással
3. 2,5 cm deszkázat
4. 12 cm benne maradó homok-, salakfeltöltés
5. 17 cm sűrűgerendás födémszerkezet
6. fa/gipszkarton borítás

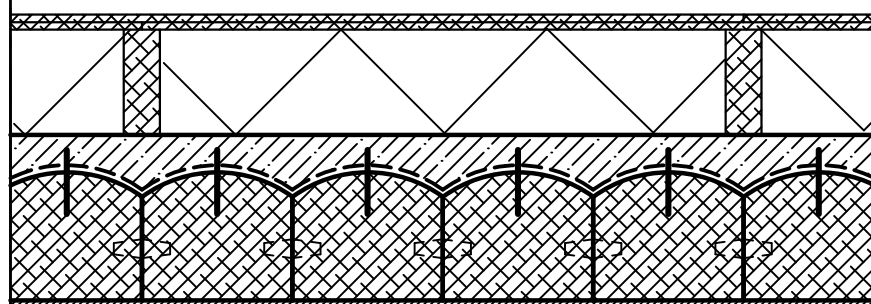
ZCs3



ZCs3 Rétegrend

1. 2x1 cm építőlemez
2. 14 cm hőszigetelés közbenső pallózással
3. párazáró fólia
4. 5 cm együttdolgozó felbeton
5. gerendák közé lenyúló vasbetonborda
6. technológiai szigetelés
7. 17 cm sűrűgerendás födémszerkezet
8. pótló alsó deszkázat
9. fa/gipszkarton borítás

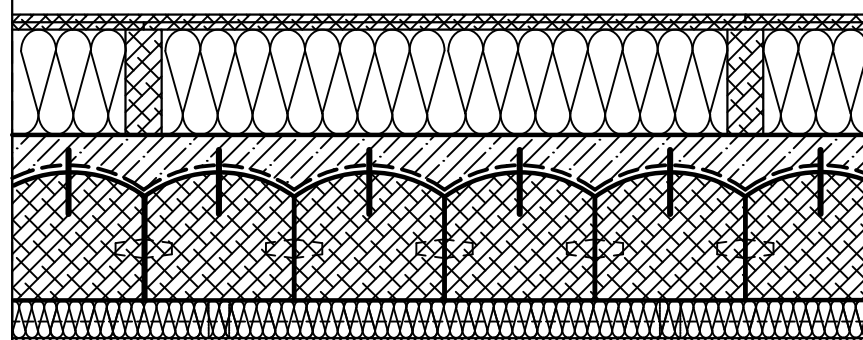
ZCs2



ZCs2 Rétegrend

1. 2x1 cm építőlemez
2. 14 cm hőszigetelés közbenső pallózással
3. 5 cm együttdolgozó vasalt cementesztrich
4. beépített együttdolgoztató fém elemek
5. párazáró fólia/technológiai szigetelés
6. 17 cm sűrűgerendás födémszerkezet
7. fa/gipszkarton borítás

ZCs4

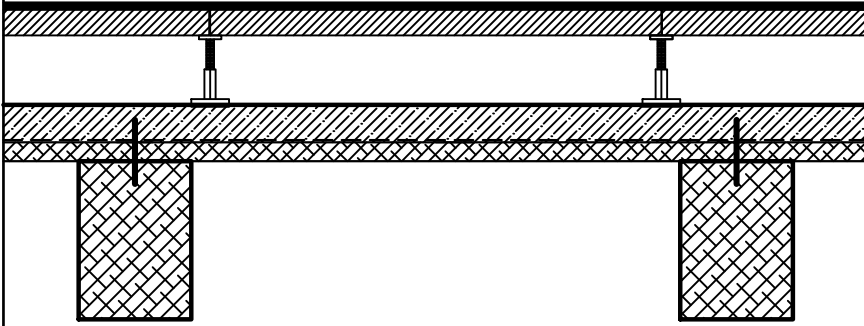


ZCs4 Rétegrend

1. 2x1 cm építőlemez
2. 14 cm hőszigetelés közbenső pallózással
3. 5 cm együttdolgozó vasalt cementesztrich
4. beépített együttdolgoztató fém elemek
5. párazáró fólia/technológiai szigetelés
6. 17 cm sűrűgerendás födémszerkezet
7. 4 cm CD profilváz direktfüggesztőn szerelve
8. gipszkarton lemez

Tudományos Diákköri Konferencia 2014.
 Fagerendás födémszerkezet komplex rekonstrukciója
 BME Magasépítési Tanszék
 002. sz. rajz: Zárófödém, csapos gerendafödém rétegrendek M=1:10
 Dávid János IV. évfolyam, Építőmérnöki BSc

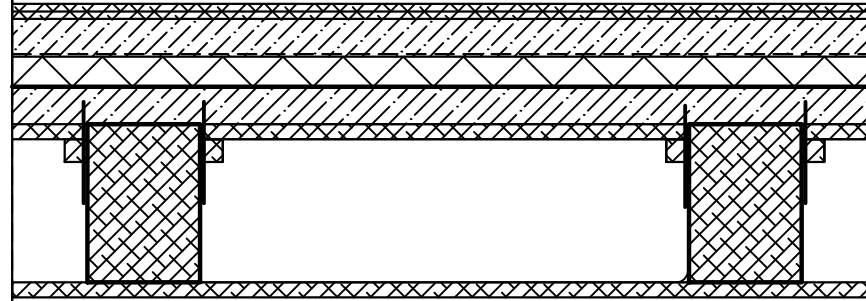
KP1



KP1 Rétegrend

1. padlóburkolat
2. ásványi alapú álpadló kazettaelem
3. álpadló menetes tartólábai, hely a lehetséges vezetéknek
4. 5 cm együttdolgozó vasalt cementesztrich
5. beépített együttdolgoztató fém elemek
6. technológiai szigetelés
7. 2,5 cm födémdezkázat
8. födémgerendák (15/21)

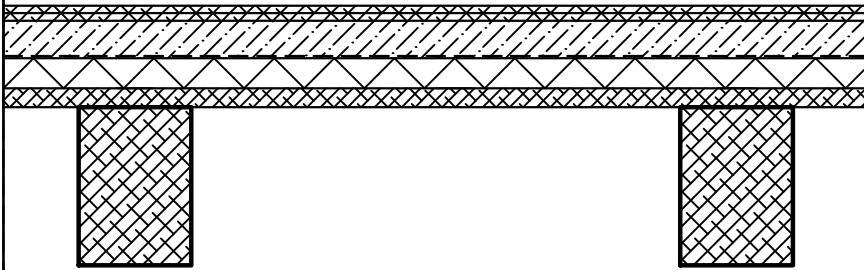
KP3



KP3 Rétegrend

1. padlóburkolat
2. 5 cm úsztatott cementesztrich réteg
3. technológiai szigetelés
4. 4. cm lépésálló szigetelőréteg
5. 5 cm együttdolgozó felbeton
6. zárólecezésen fekvő födémdezkázat
7. födémgerendák (15/21) felnyúló préselt szeglemezes konnektorokkal
8. átszellőző légrés a gerendák között
9. belső borítás

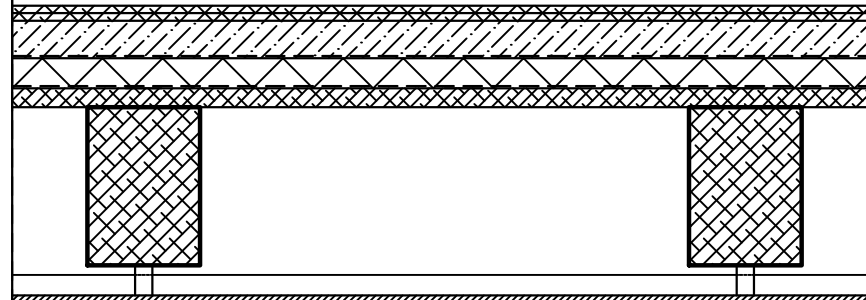
KP2



KP2 Rétegrend

1. padlóburkolat
2. 5 cm úsztatott cementesztrich
3. technológiai szigetelés
4. 4 cm lépésálló szigetelőréteg
5. 2,5 cm födémdezkázat
6. födémgerendák (15/21)

KP4

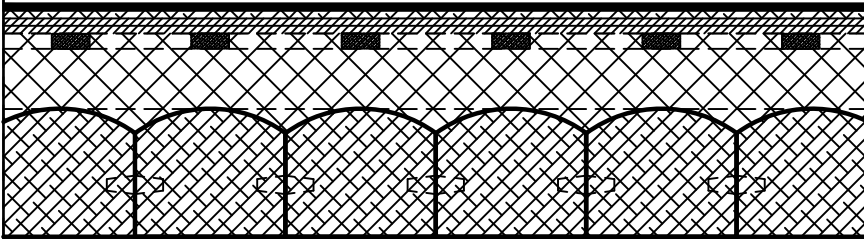


KP4 Rétegrend

1. padlóburkolat
2. 5 cm úsztatott cementesztrich
3. technológiai szigetelés
4. 4 cm lépésálló szigetelőréteg
5. födémgerendák (15/21), közöttük hőszigetelés és légrés
6. 4 cm lengőkengyeles függesztés
7. 1 réteg gipszkarton borítás

Tudományos Diákköri Konferencia 2014.
 Fagerendás födémek komplex rekonstrukciója
 BME Magasépítési Tanszék
 003. sz. rajz: Közbenső pórfödém rétegrendek M=1:10
 Dávid János IV. évfolyam, Építőmérnöki BSc

KCs1



KCs1 Rétegrend

1. könnyű padlóburkolat
2. padlóalátét
3. 2x1 cm teherelosztó gipszrost
4. páraáteresztő technológiai szigetelés
5. párnafa alátétek
6. 12 cm bennmaradó homok-, salakfeltöltés
7. 17 cm sűrűgerendás födémszerkezet
8. fa/gipszkarton borítás

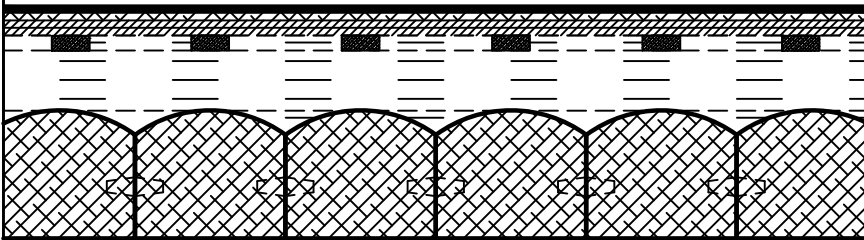
KCs3



KCs3 Rétegrend

1. padlóburkolat
2. 5 cm úsztatott esztrich réteg
3. technológiai fólia
4. 4 cm úsztató szigetelőréteg
5. 5 cm együttdolgozó felbeton
6. gerendák közé lenyúló vasbetonborda
7. párazáró fólia
8. 17 cm sűrűgerendás födémszerkezet
9. 4 cm lengőkengyeles függesztés
10. gipszkarton borítás

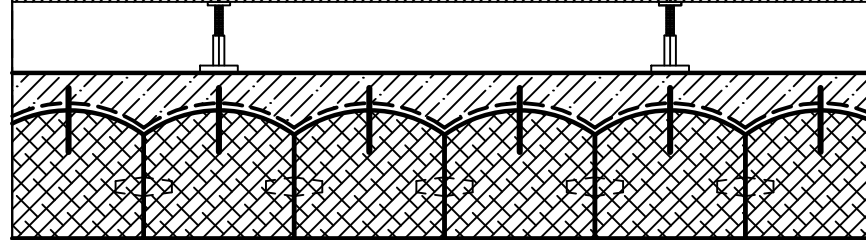
KCs2



KCs2 Rétegrend

1. könnyű padlóburkolat
2. padlóalátét
3. 2x1 cm teherelosztó gipszrost
4. páraáteresztő technológiai szigetelés
5. párnafa alátétek
6. 12 cm lécváz közti szórt cellulóz hőszigetelés
7. 17 cm sűrűgerendás födémszerkezet
8. fa/gipszkarton borítás

KCs4



KCs4 Rétegrend

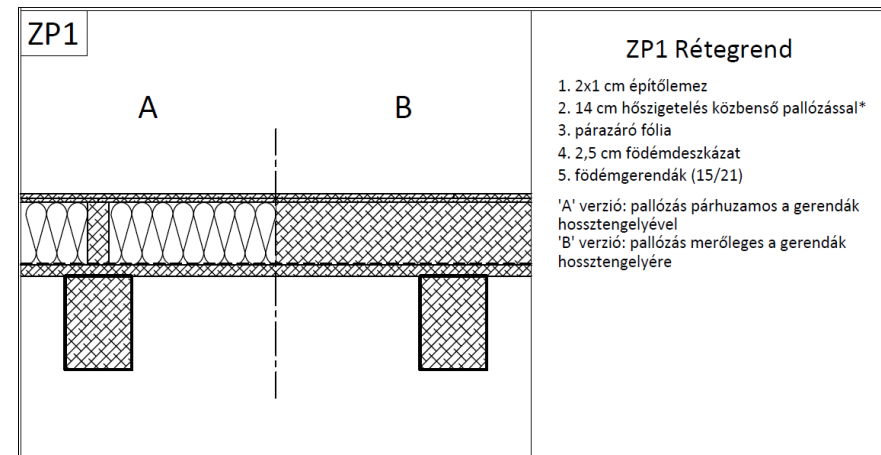
1. padlóburkolat
2. ásványi alapú álpadló kazettaelem
3. álpadló menetes tartólábai, hely a lehetséges vezetékelésnek
4. 5 cm együttdolgozó vasalt cementesztrich
5. beépített együttdolgoztató fém elemek
6. technológiai szigetelés
7. 17 cm sűrűgerendás födémszerkezet

Tudományos Diákköri Konferencia 2014.
 Fagerendás födémszerkezet komplex rekonstrukciója
 BME Magasépítési Tanszék
 004. sz. rajz: Közbenső csapos gerendafödém rétegrendek M=1:10
 Dávid János IV. évfolyam, Építőmérnöki BSc

ZÁRÓFÖDÉM HŐSZIGETELÉSE KÖZETGYAPOTTAL

PÓRFÖDÉM ALAPRA

Új rétegrend



1.1. ábra: A deszkázatig visszabontott földemet szigeteljük a padlástérben

A felújítás során eltávolítandó a régi agyagréteg, salakfeltöltés. Az új hőszigetelés behelyezése előtt meg kell tisztítani a deszkázatot. A járólapot hordó pallóváz elhelyezése után a hőszigetelés a hézagokba behelyezhető.

A kőzetgyapot a többi hőszigetelőanyaghoz képest (mint üvegyapot vagy EPS) alapanyagából adódóan sokkal nehezebb anyag (bazaltkőből gyártják). Emellett nagyon magas hőmérsékletnek is ellenáll (akár 1000 °C), illetve mérettartó, így nagyon jól alkalmazható passzív tűzvédelemre. Hidrofobizált változata a nedvességet nem szívja magába, nem gátolja a párávándorlást (kiszellőzik a réteg).

Előnyök

+

- + Kis munkagényű rétegrend
- + Száraz beépíthetőség
- + Tűzállóság

Hátrányok

-

- Agyagot le kell takarítani
- Fólia fektetésre igényes

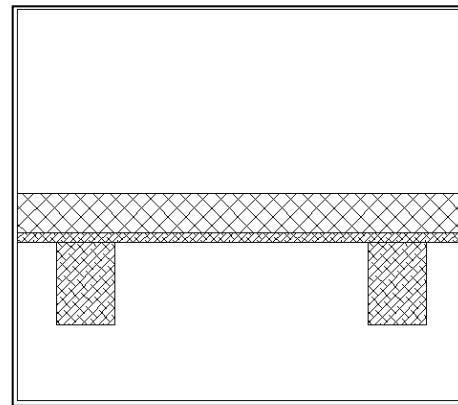
Az U értékek számításánál padlástér esetében a valós értéket 10%-kal korrigálni kell az előírások szerint. 1.3.-as táblázatban már korrigált értékeket tüntetnek fel.

kézi számítás	kézi számítás				kézi számítás				
	λjő	λgyenge	U _{min}	U _{max}	λjő	λgyenge	U _{min}	U _{max}	
dimenziók	W/mK	W/mK	W/m ² K	W/m ² K	dimenziók	W/mK	W/mK	W/m ² K	W/m ² K
kőzetgyapot hőszigetelés (10 cm)	0,047	0,051	0,418	0,446	kőzetgyapot hőszigetelés (22 cm)	0,047	0,051	0,212	0,228
kőzetgyapot hőszigetelés (12 cm)			0,360	0,385	kőzetgyapot hőszigetelés (24 cm)			0,196	0,211
kőzetgyapot hőszigetelés (14 cm)			0,316	0,338	kőzetgyapot hőszigetelés (26 cm)			0,183	0,196
kőzetgyapot hőszigetelés (16 cm)			0,282	0,301	kőzetgyapot hőszigetelés (28 cm)			0,171	0,184
kőzetgyapot hőszigetelés (18 cm)			0,254	0,273	kőzetgyapot hőszigetelés (30 cm)			0,160	0,173
kőzetgyapot hőszigetelés (20 cm)			0,231	0,249	nem felel meg			megfelel 2014	megfelel 2018

1.3. ábra: A rétegrend által biztosított U értékek különböző vastagságú kőzetgyapot-paplan használata mellett.

ZP1.

RÉGI rétegrajz



1.2. ábra: A régi, agyag borítású pórfödém

Gyártó	Típus	mm	Hővezetési tényező (λ0)
Knauf	Nobasil PTE	20-70	0,036
Knauf	Nobasil PTN	20-60	0,036
Rockwool	Steprock ND	20-50	0,037
Rockwool	Steprock HD	30-50	0,038
Knauf	Nobasil PTS	20-80	0,039
Knauf	Nobasil PVT	40-60	0,04

Vizsgált típusok hővezetési tényezői

Az előírt maximális hőátbocsátási tényező lakóházak zárófödémekre jelenleg **U_{most}=0,30**, de 2015-től középületek és energetikai pályázatot nyert lakóházak esetében, illetve 2018-tól már minden újonnan épülő lakóháznál is szigorodnak az értékek. Az irányadó szám **U_{új}=0,17**-re csökken majd.

Az eredő hővezetési tényező **0,047-0,051** közötti értéket vehet fel. Arányok: **kőzetgyapot** (0,036-0,040) **88%**, **tartólécek** (0,130) **12%**.

A hőtechnikai és páratechnikai számításokat az **MSZ-04-140-2:1991**-es szabvány szerint végeztem.

Dávid János - TDK 2014.

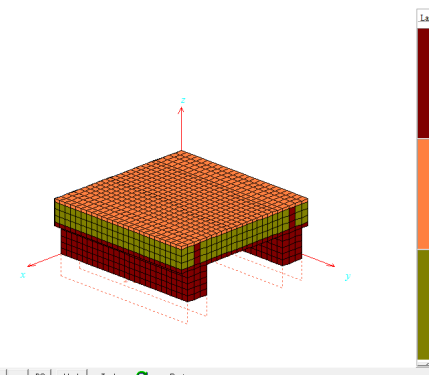
A gépi számítást 14 cm-es hőszigetelő anyaggal végeztem el. Az 'A' verzió esetében **0,319** és **0,340** értékeket kaptam a szigetelés hővezetésétől függően. Tehát a kézi számítás nagyon jól közelítette az eredményt.

'B' verzióra a gépi számítás **0,188** és **0,196**-os U értéket eredményezett. Tehát elmondható, hogy a pallózás elfordításával körülbelül 12 cm kőzetgyapotot spórolhatunk meg. A telítési és parciális párányomásgörbék nem metszik egymást, így páradiffúzióra ZCs2 megfelel.

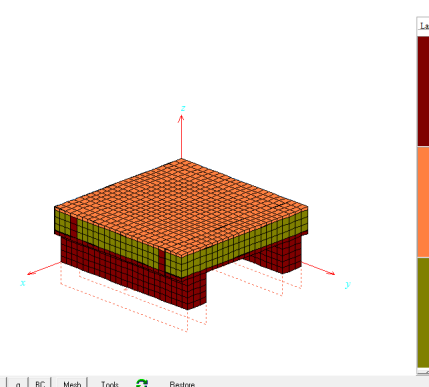
Hőtechnika és páratechnika - ZP1

dimenziók	t °C	ps Pa	pr Pa
belső levegő	20,00	2338	
deszkázat	19,37	2252	1519,70
	18,65	2142	1498,02
párazáró fólia	18,59	2142	543,88
kőzetgyapot hőszigetelés	-0,21	601	481,75
faroslemezek	-1,47	543	464,40
külső levegő	-2,00	516	

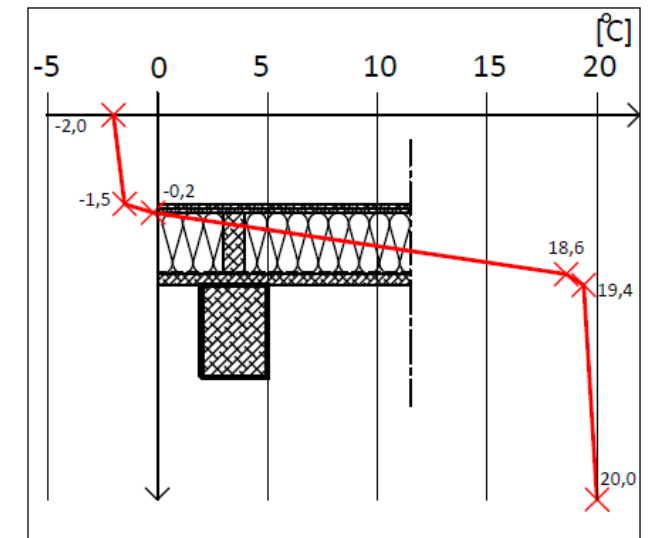
1.7. ábra: Hőfokelési görbe (piros) és a telítési (kék), parciális (zöld) párányomásgörbék értékei.



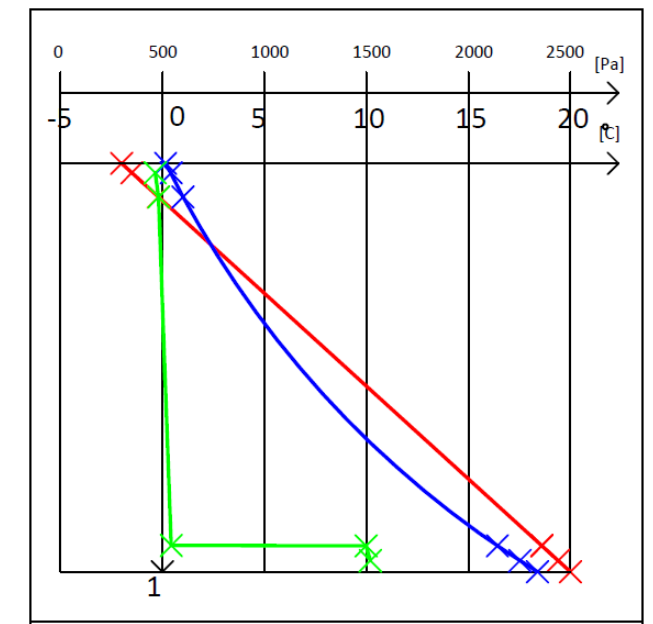
1.8. ábra: Az 'A' rétegrend (hőhidas modell)



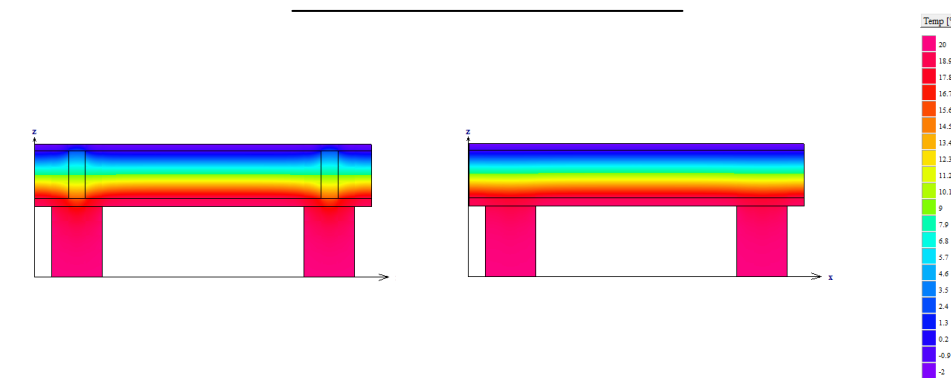
1.9. ábra: A 'B' rétegrend (hőhidmentes modell)



1.4. ábra: A rétegrend hőfokelési görbéje (λ₀=0,047; d=14 cm)



1.5. ábra: Hőfokelési görbe (piros) és a telítési (kék), parciális (zöld) párányomás görbék



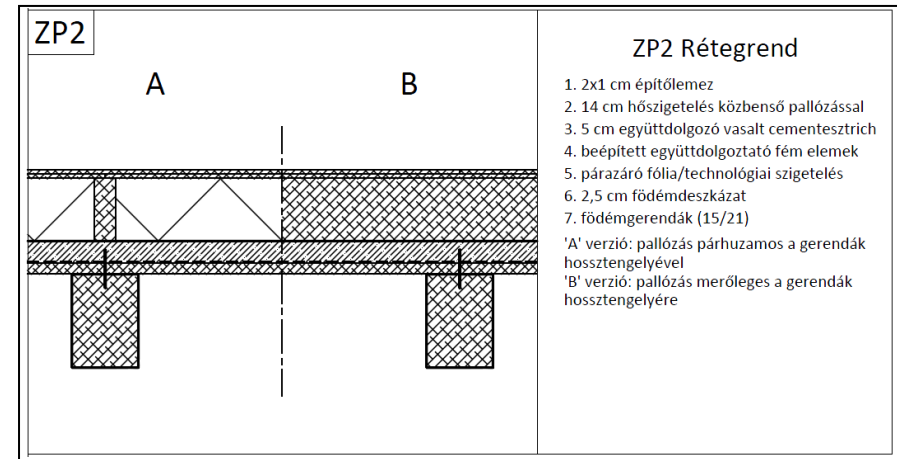
1.6. ábra: 'A' és 'B' konstrukció összehasonlítása

MEGERŐSÍTETT ZÁRÓFÖDÉM HŐSZIGETELÉSE EPS

TÁBLÁKKAL

PÓRFÖDÉM ALAPRA

Új rétegrend



2.1. ábra: A deszkázati visszabontott földemet megerősítjük és szigeteljük a padlástérben

A felújítás során eltávolítandó a régi agyagréteg salakfeltöltés. Az új hőszigetelés behelyezése előtt meg kell tisztítani a deszkázatot. A járólapot hordó pallóváza elhelyezése után a hőszigetelés a hézagokba behelyezhető.

Az EPS (expandált polisztirol) egy táblákban forgalmazott, könnyen megmunkálható, olcsó hőszigetelő anyag. Vízállósága jó, szerkezete könnyű. Tűzvédelmi szempontból nem előnyös, ezért beépítéskor mindig a hatályos tűzvédelmi előírásokat is figyelembe kell venni. Ezért ilyen zárófödém esetben csak akkor építhetünk be E tűzvédelmi osztályba sorolt anyagot (mint az EPS), ha azt A1-es vagy A2-es anyaggal is fedjük. Ezért a rétegrendben érdemes tűzvédelmi kartont alkalmazni építőlemezként.

Előnyök

+

- + Megerősített földem
- + Olcsó hőszigetelés

Hátrányok

-

- Agyagot le kell takarítani
- Extra tűzvédelmi igény

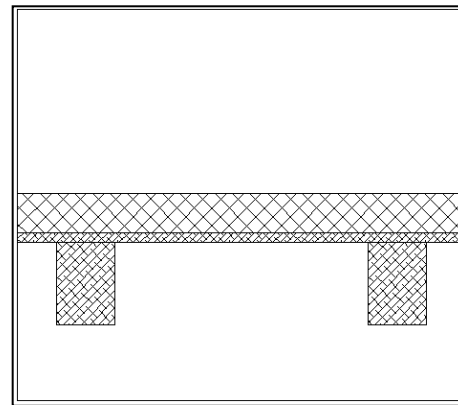
Az U értékek számításánál padlástér esetében a valós értéket 10%-kal korrigálni kell az előírások szerint. 2.3.-ban már korrigált értékeket tüntetünk fel.

kézi számítás	dimenziók	λj0	λgyenge	U _{min}	U _{max}	dimenziók	λj0	λgyenge	U _{min}	U _{max}
		W/mK	W/mK	W/m ² K	W/m ² K		W/mK	W/mK	W/m ² K	W/m ² K
	EPS hőszigetelés (10 cm)	0,043	0,055	0,384	0,466	EPS hőszigetelés (22 cm)	0,043	0,055	0,195	0,242
	EPS hőszigetelés (12 cm)			0,330	0,405	EPS hőszigetelés (24 cm)			0,179	0,224
	EPS hőszigetelés (14 cm)			0,290	0,356	EPS hőszigetelés (26 cm)			0,167	0,209
	EPS hőszigetelés (16 cm)			0,259	0,319	EPS hőszigetelés (28 cm)			0,156	0,196
	EPS hőszigetelés (18 cm)			0,233	0,288	EPS hőszigetelés (30 cm)			0,146	0,184
	EPS hőszigetelés (20 cm)			0,212	0,263	nem felel meg			megfelel 2014	megfelel 2018

2.3. ábra: A rétegrend által biztosított (10 %-kal rontott) U értékek különböző vastagságú EPS-tábla használata mellett.

ZP2.

RÉGI rétegrajz



2.2. ábra: A régi, agyag borítású pórfödém

Anyaga	Gyártó	Típus	mm	Hővezetési tényező (λ0)
EPS	Austrotherm	Grafit L5	30-50	0,031
EPS	Austrotherm	Grafit L4	20-50	0,032
EPS	Austrotherm	AT-L5	30-50	0,041
EPS	Austrotherm	AT-L4	20-50	0,042
EPS	Austrotherm	AT-L2	15-50	0,044
EPS	Bachl	EPS-L4	15-80	0,045
EPS	Nikecell	LH (EPS T2)	15-40	0,045
EPS	Masterplast	Isostamer-A	20-40	0,041-0,038

Vizsgált típusok hővezetési tényezői

Az előírt maximális hőátbocsátási tényező lakóházak zárófödémekre jelenleg **U_{most}=0,30**, de 2015-től középületek és energetikai pályázatot nyert lakóházak esetében, illetve 2018-tól már minden újonnan épülő lakóháznál is szigorodnak az értékek. Az irányadó szám **U_{új}=0,17**-re csökken majd.

Az eredő hővezetési tényező **0,043-0,055** közötti értéket vehet fel.
Arányok: EPS (0,031-0,045) **88%**, tartólécek (0,130) **12%**.

A hőtechnikai és páratechnikai számításokat az **MSZ-04-140-2:1991**-es szabvány szerint végeztem.

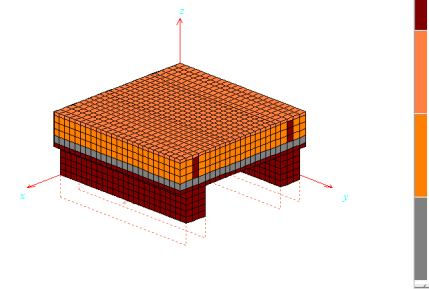
Dávid János - TDK 2014.

A gépi számítást 14 cm-es hőszigetelő anyaggal végeztem el. Az 'A' verzió esetében **0,301** és **0,373** értékeket kaptam a szigetelés hővezetésétől függően. Tehát a kézi számítás jobb hőszigetelést eredményezett, mint a gépi. A telítési és parciális párányomásgörbék nem metszik egymást, így páradiffúzióra ZCs2 megfelel.

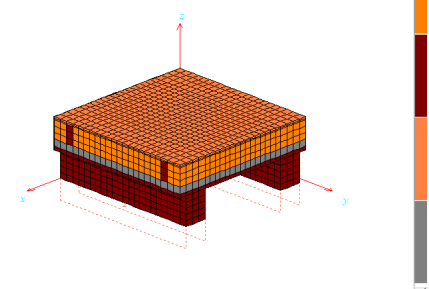
Hőtechnika és páratechnika - ZP2

dimenziók	t	ps	pr
	°C	Pa	Pa
belső levegő	20,000	2338	
	19,420	2252	1519,700
deszkázat	18,762	2169	1515,415
párazáró fólia	18,704	2169	500,725
vasalt felbeton	18,517	2089	483,585
kőzetgyapot hőszigetelés pallóvázzal	-0,358	592	480,843
faroslemezek	-1,517	533	479,700
külső levegő	-2,000	516	

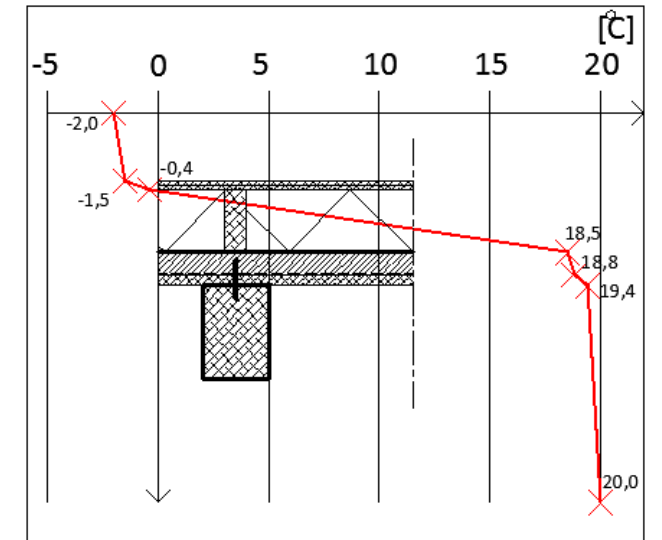
2.7. ábra: Hőfokelési görbe (piros) és a telítési (kék), parciális (zöld) párányomásgörbék értékei.



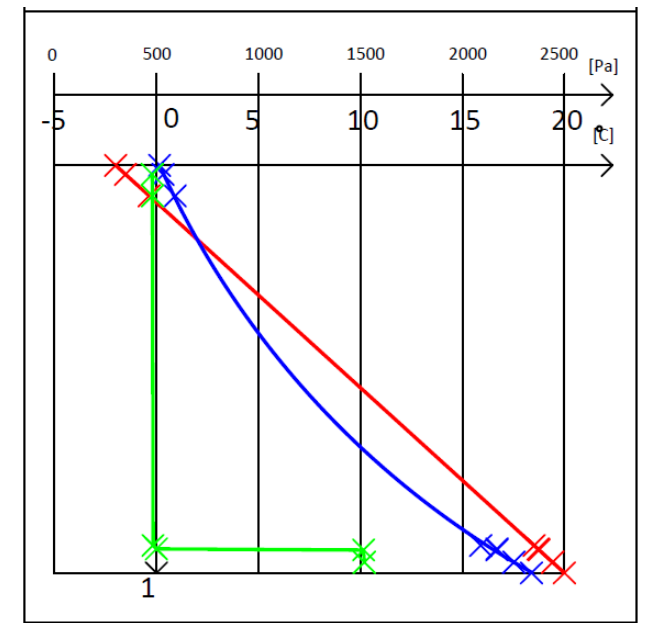
2.8. ábra: Az 'A' rétegrend (hőhid model)



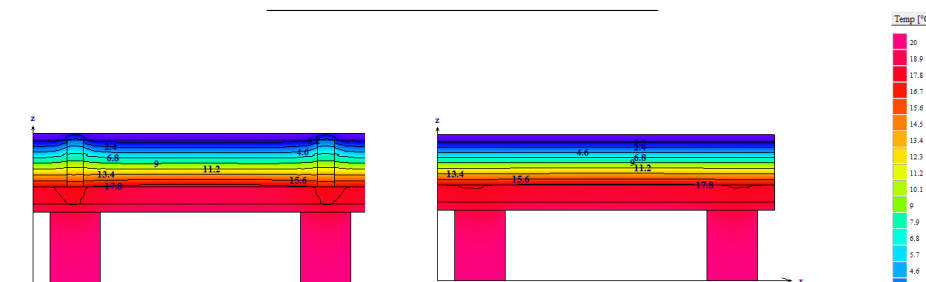
2.9. ábra: A 'B' rétegrend (hőhidmentes model)



2.4. ábra: A rétegrend hőfokelési görbéje (λ₀=0,043; d=14 cm)



2.5. ábra: Hőfokelési görbe (piros) és a telítési (kék), parciális (zöld) párányomásgörbék



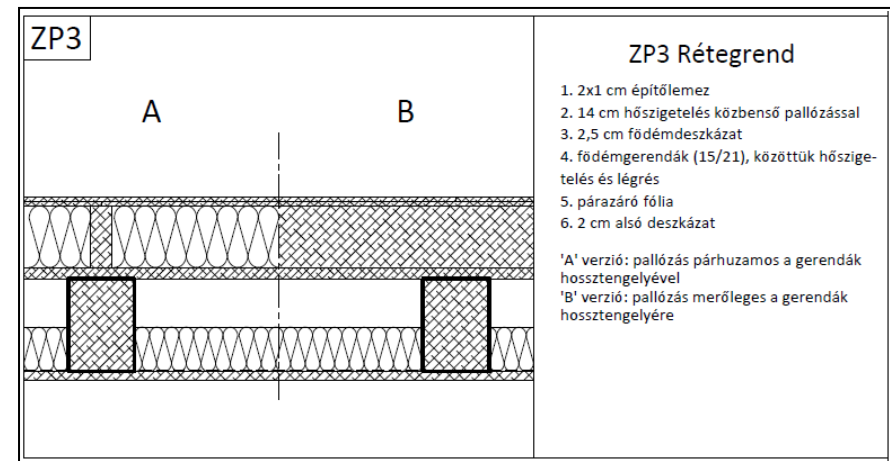
2.6. ábra: 'A' és 'B' konstrukció összehasonlítása

BORÍTOTT ZÁRÓFÖDÉM HŐSZIGETELÉSE

KŐZETGYAPOTTAL

PÓRFÖDÉM ALAPRA

Új rétegrend



3.1. ábra: A deszkázati visszabontott földet szigeteljük a padlástérben, illetve a gerendák között

A gerendaközt is kihasználhatjuk további hőszigetelés elhelyezésére, amennyiben alulról deszkázattal, gipszkartonnal borítjuk a földet. A ZP3-as rétegrendben a gerendák között 10 cm vastag kőzetgyapot hőszigetelést helyezünk el. A bezárt, nehezen kiszellőző légréteg szintén javítja a hőszigetelést. A koncepció alkalmas arra, hogy a tetőfödém felett helyet spóroljanak.

Előnyök

+

- + Helytakarékosság
- + Könnyen megfeleltethető
- + Alulról sík födém

Hátrányok

-

- Nem látszanak a gerendák
- A lakott tér nem használható felújítás alatt, mert burkolatbontással jár

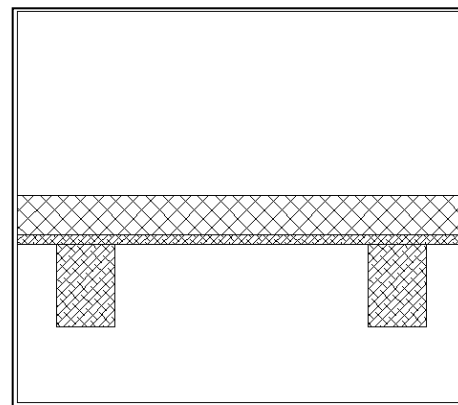
Az U értékek számításánál padlásfödémek esetében a valós értéket 10%-kal korrigálni kell az előírások szerint. 3.3.-as táblázatban már korrigált értékeket tüntet fel..

kézi számítás	dimenziók	λjő	λgyenge	U _{min}	U _{max}	dimenziók	λjő	λgyenge	U _{min}	U _{max}
		W/mK	W/mK	W/m²K	W/m²K		W/mK	W/mK	W/m²K	W/m²K
	kőzetgyapot hőszigetelés (10 cm)	0,047	0,051	0,136	0,140	kőzetgyapot hőszigetelés (22 cm)	0,047	0,051	0,103	0,108
	kőzetgyapot hőszigetelés (12 cm)			0,130	0,133	kőzetgyapot hőszigetelés (24 cm)			0,100	0,103
	kőzetgyapot hőszigetelés (14 cm)			0,124	0,128	kőzetgyapot hőszigetelés (26 cm)			0,096	0,100
	kőzetgyapot hőszigetelés (16 cm)			0,118	0,122	kőzetgyapot hőszigetelés (28 cm)			0,092	0,097
	kőzetgyapot hőszigetelés (18 cm)			0,113	0,117	kőzetgyapot hőszigetelés (30 cm)			0,089	0,094
	kőzetgyapot hőszigetelés (20 cm)			0,108	0,112	nem felel meg 2014			megfelel 2014	megfelel 2018

3.3. ábra: A rétegrend által biztosított U értékek különböző vastagságú kőzetgyapot-paplan használata mellett.

ZP3.

RÉGI rétegrajz



3.2. ábra: A régi, agyag borítású pórfödém

Gyártó	Típus	mm	Hővezetési tényező (λD)
Knauf	Nobasil PTE	20-70	0,036
Knauf	Nobasil PTN	20-60	0,036
Rockwool	Steprock ND	20-50	0,037
Rockwool	Steprock HD	30-50	0,038
Knauf	Nobasil PTS	20-80	0,039
Knauf	Nobasil PVT	40-60	0,04

Vizsgált típusok hővezetési tényezői

Az előírt maximális hőátbocsátási tényező lakóházak zárófödémekre jelenleg **U_{most}=0,30**, de 2015-től középületek és energetikai pályázatot nyert lakóházak esetében, illetve 2018-tól már minden újonnan épülő lakóháznál is szigorodnak az értékek. Az irányadó szám **U_{új}=0,17**-re csökken majd.

Az eredő hővezetési tényező **0,047-0,051** közötti értéket vehet fel. Arányok: **kőzetgyapot (0,036-0,040) 88%**, **tartólécek (0,130) 12%**.

A hőtechnikai és páratechnikai számításokat az **MSZ-04-140-2:1991**-es szabvány szerint végeztem.

Dávid János - TDK 2014.

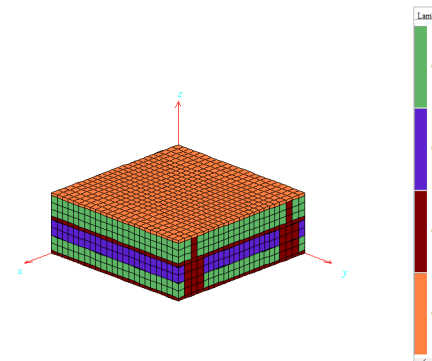
A gépi számítást 10+14 cm-es hőszigetelő anyaggal végeztem el. Az 'A' verzió esetében **0,178** és **0,185** értékeket kaptam a szigetelés hővezetésétől függően. Tehát a kézi számítás jócskán túlbecsülte a rétegrend hatékonyságát.

'B' verzióra a gépi számítás **0,166** és **0,174**-es U értéket eredményezett. Tehát a szigetelés vastagságának jelentős növelésekor a két konstrukció közötti különbség egyre kevesebb lesz. A telítési és parciális páranomásgörbék nem metszik egymást, így páradiffúzióra ZCs2 megfelel.

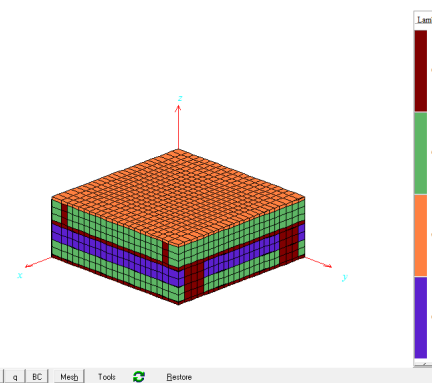
Hőtechnika és páratechnika - ZP3

dimenziók	t	ps	pr
	°C	Pa	Pa
belső levegő	20,000	2338	
deszkázat	19,621	2281	1519,700
párazáró fólia	19,277	2225	1519,450
gerendázat közte levegővel és hőszigeteléssel	19,239	2225	502,728
deszkázat	10,788	1295	492,914
kőzetgyapot hőszigetelés tartólécekkel	10,358	1261	489,792
faroslemezek	-0,927	562	480,845
külső levegő	-1,684	533	479,700
	-2,000	516	

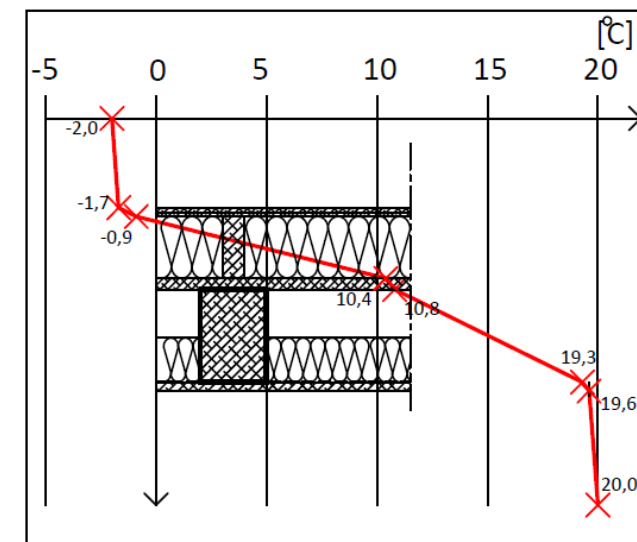
3.7. ábra: Hőfokelési görbe (piros) és a telítési (kék), parciális (zöld) páranomásgörbék értékei.



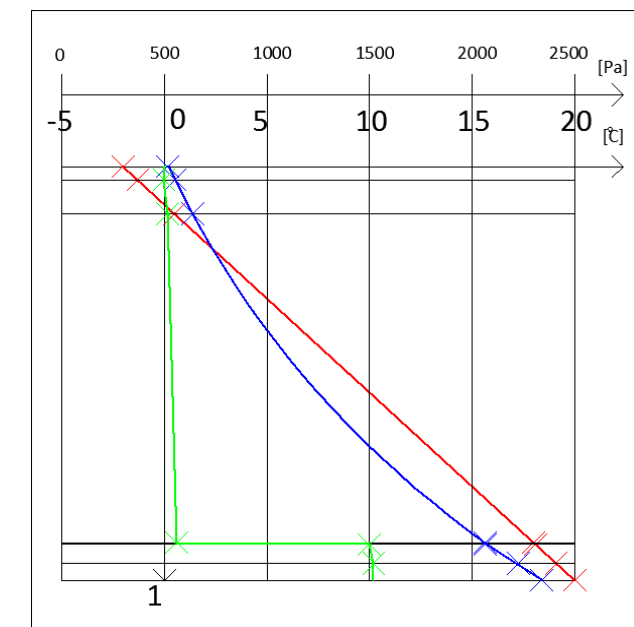
3.8. ábra: Az 'A' rétegrend (hőhidas modell)



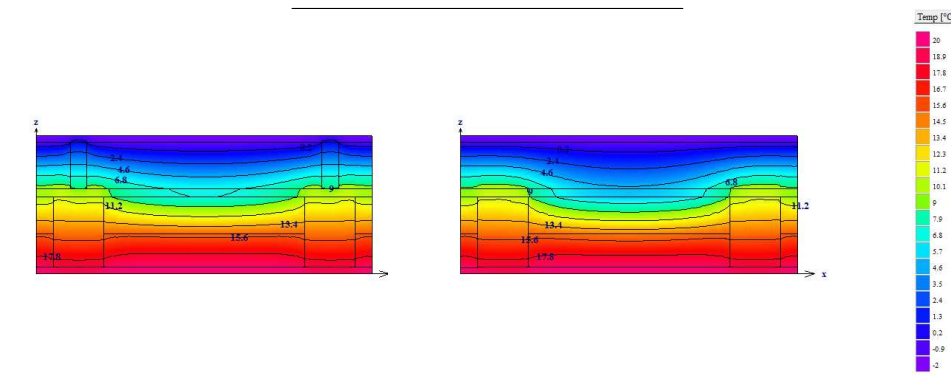
3.9. ábra: A 'B' rétegrend (hőhídmentes modell)



3.4. ábra: A rétegrend hőfokelési görbéje (λ₀=0,047; d=10+14 cm)



3.5. ábra: Hőfokelési görbe (piros) és a telítési (kék), parciális (zöld) páranomásgörbék

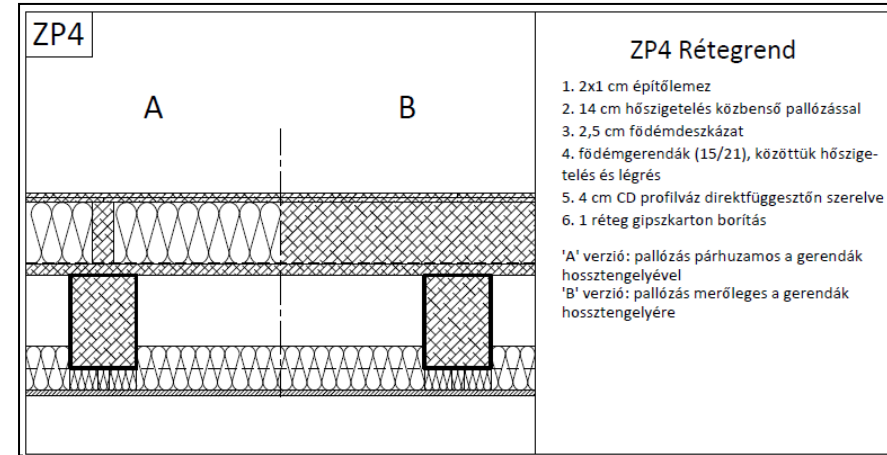


3.6. ábra: 'A' és 'B' konstrukció összehasonlítása

DIREKTFÜGGESZTETT GIPSZKARTONNAL BORÍTOTT ZÁRÓFÖDÉM HŐSZIGETELÉSE KÖZETGYAPOTTAL

PÓRFÖDÉM ALAPRA

Új rétegrend



4.1. ábra: A deszkázatig visszabontott földémet szigeteljük a padlástérben, illetve a megnövelt vastagságú gerendaközben

Alkalmazzunk direktfüggesztett gipszkartonpaneleket. Így további helyet nyerhetünk a szerkezetben, ahova szigetelést lehet helyezni. Ha nem lenne elég a megkívánt szinthez képest, akkor a tetőfödémén további szigetelőrétegek helyezhetők el.

Előnyök

+

- + Száraz beépíthetőség
- + A rétegrend vékonyítható
- + Tűzállóság
- + Hőhidasságra kevésbé érzékeny

Hátrányok

-

- Agyagot le kell takarítani
- A lakott tér nem használható felújítás alatt, mert burkolatbontással jár

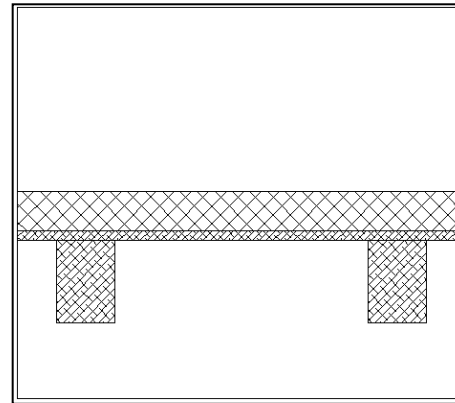
Az U értékek számításánál padlásfödémek esetében a valós értéket 10%-kal korrigálni kell az előírások szerint. 4.3.-as táblázatban már korrigált értékeket tüntetnek fel.

kézi kiszámítás	kézi kiszámítás				kézi kiszámítás					
	dimenziók	λjő	λgyenge	Umin	Umax	dimenziók	λjő	λgyenge	Umin	Umax
	W/mK	W/mK	W/m ² K	W/m ² K		W/mK	W/mK	W/m ² K	W/m ² K	
	kőzetgyapot hőszigetelés (10 cm)	0,047	0,051	0,120	0,124	kőzetgyapot hőszigetelés (22 cm)	0,047	0,051	0,094	0,098
	kőzetgyapot hőszigetelés (12 cm)			0,114	0,119	kőzetgyapot hőszigetelés (24 cm)			0,090	0,095
	kőzetgyapot hőszigetelés (14 cm)			0,110	0,113	kőzetgyapot hőszigetelés (26 cm)			0,087	0,091
	kőzetgyapot hőszigetelés (16 cm)			0,106	0,109	kőzetgyapot hőszigetelés (28 cm)			0,085	0,089
	kőzetgyapot hőszigetelés (18 cm)			0,101	0,106	kőzetgyapot hőszigetelés (30 cm)			0,081	0,086
	kőzetgyapot hőszigetelés (20 cm)			0,097	0,101	nem felel meg			megfelel 2014	megfelel 2018

4.3. ábra: A rétegrend által biztosított U értékek különböző vastagságú kőzetgyapot-paplan használata mellett.

ZP4.

RÉGI rétegrajz



4.2. ábra: A régi, agyag borítású pórfödém

Gyártó	Típus	mm	Hővezetési tényező (λD)
Knauf	Nobasil PTE	20-70	0,036
Knauf	Nobasil PTN	20-60	0,036
Rockwool	Steprock ND	20-50	0,037
Rockwool	Steprock HD	30-50	0,038
Knauf	Nobasil PTS	20-80	0,039
Knauf	Nobasil PVT	40-60	0,04

Vizsgált típusok hővezetési tényezői

Az előírt maximális hőátbocsátási tényező lakóházak zárófödémekre jelenleg $U_{most}=0,30$, de 2015-től középületek és energetikai pályázatot nyert lakóházak esetében, illetve 2018-tól már minden újonnan épülő lakóháznál is szigorodnak az értékek. Az irányadó szám $U_{új}=0,17$ -re csökken majd.

Az eredő hővezetési tényező **0,047-0,051** közötti értéket vehet fel.
Arányok: **kőzetgyapot (0,036-0,040) 88%**, **tartólécek (0,130) 12%**.

A hőtechnikai és páratechnikai számításokat az **MSZ-04-140-2:1991**-es szabvány szerint végeztem.

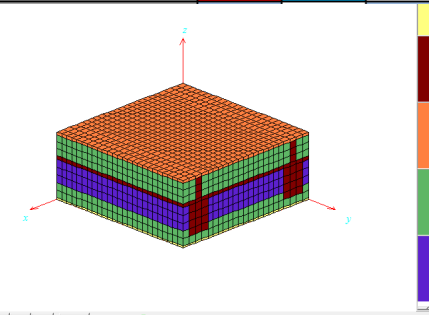
Dávid János - TDK 2014.

A gépi számítást 10+14 cm-es hőszigetelő anyaggal végeztem el. Az 'A' verzió esetében **0,136** és **0,144** értékeket kaptam a szigetelés hővezetésétől függően. Tehát a kézi számítás jelentősen felülbecsülte a rétegrend szigetelőképességét.

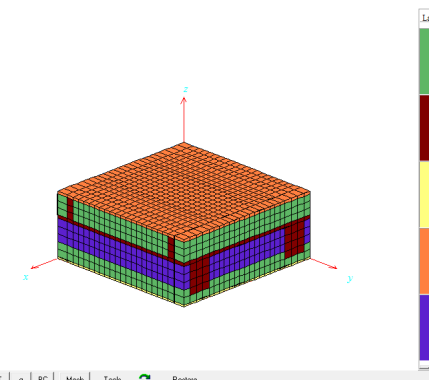
'B' verzióra a gépi számítás **0,130** és **0,138**-as U értéket eredményezett. Tehát elmondható, hogy a sok hőszigetelés miatt az 'A' és 'B' konstrukciók közti különbség elenyésző. A telítési és parciális páranomásgörbék nem metszik egymást, így páradiffúzióra ZP4 megfelel.

Hőtechnika és páratechnika - ZP4

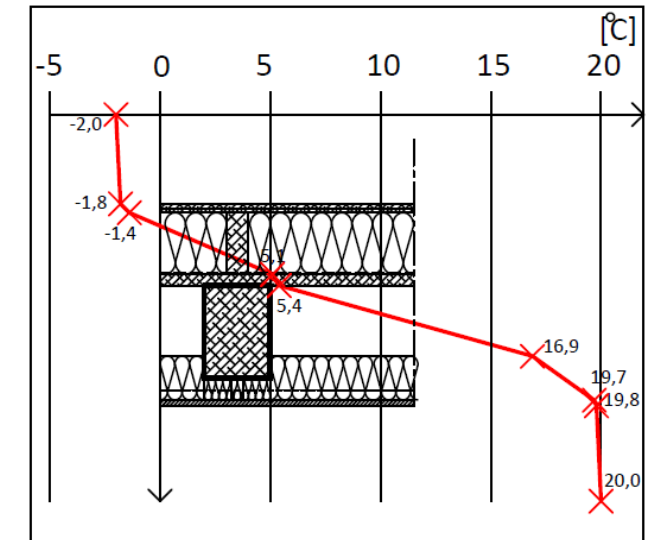
dimenziók	t	ps	pr
	°C	Pa	Pa
belső levegő	20,000	2338	
	19,782	2309	1519,700
gipszkarton	19,669	2281	1519,543
párazáró fólia	19,647	2281	499,623
hőszigetelés	16,924	1937	494,701
gerendázat közte levővel és hőszigeteléssel	5,354	898	484,856
deszkázat	5,106	885	481,723
kőzetgyapot hőszigetelés tartólécekkel	-1,383	543	472,749
faroslemezek	-1,818	524	471,600
külső levegő	-2,000	516	



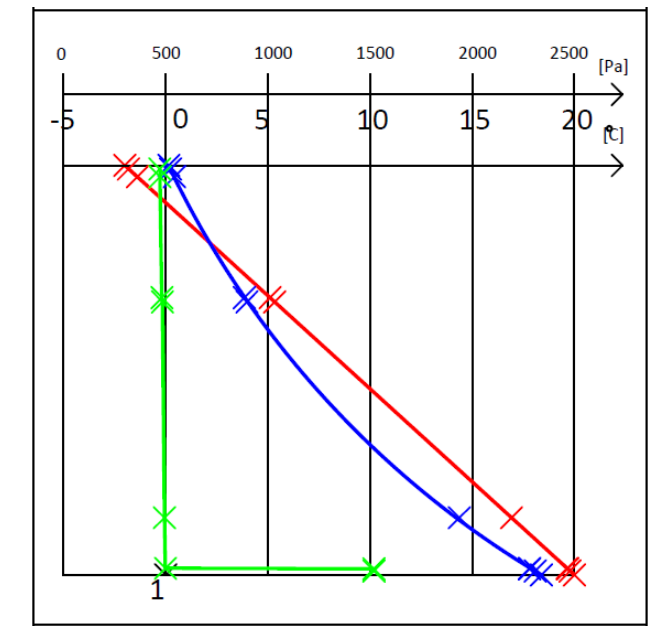
4.8. ábra: Az 'A' rétegrend (hőhidas modell)



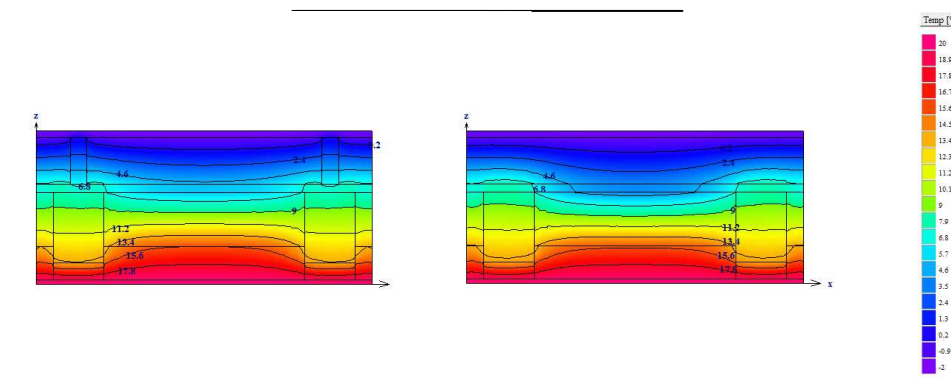
4.9. ábra: A 'B' rétegrend (hőhidmentes modell)



4.4. ábra: A rétegrend hőfokelési görbéje ($\lambda_0=0,047$; $d=10+14$ cm)



4.5. ábra: Hőfokelési görbe (piros) és a telítési (kék), parciális (zöld) páranomásgörbék



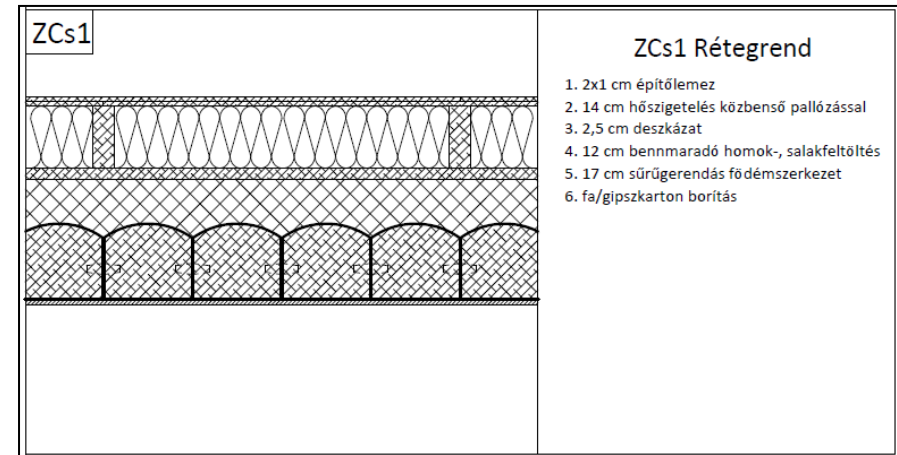
4.6. ábra: 'A' és 'B' konstrukció összehasonlítása

ZÁRÓFÖDÉM HŐSZIGETELÉSE EPS-SEL

BENMARADÓ HOMOKFELTÖLTÉS MELLETT

CSAPOS GERENDAFÖDÉM ALAPRA

Új rétegrend



5.1. ábra: A régi rétegrendet meghagyva hőszigetelünk

A felújítás során hőszigetelést végzünk. Az eredeti szerkezethez nem nyúlunk hozzá. Alulról elhelyezhető direkt felerősített gipszkarton, ám ennek alkalmazásánál tekintettel kell lenni a gerendák különböző mértékű lehajlására, illetve együttműködő képességére.

Ilyen zárófödém esetben csak akkor építhetünk be E tűzvédelmi osztályba sorolt anyagot (mint az EPS), ha azt A1-es vagy A2-es anyaggal is fedjük. Ezért a rétegrendben érdemes tűzvédelmi kartont alkalmazni építőlemezként.

Előnyök

+

- + Kis munkáigényű rétegrend
- + Száraz beépíthetőség
- + Nincs bontási hulladék

Hátrányok

-

- Nem újszerű rétegrend
- Külön tűzvédelmi szükség

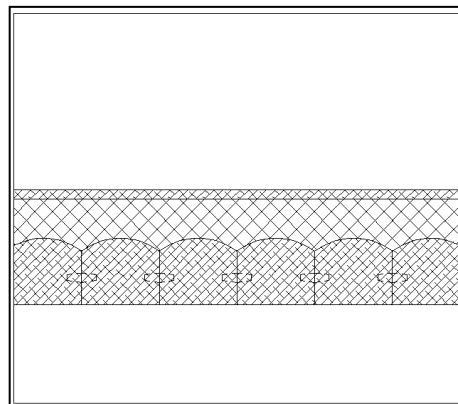
Az U értékek számításánál padlásfödémek esetében a valós értéket 10%-kal korrigálni kell az előírások szerint. 5.3.-ban már korrigált értékeket tüntet fel.

kézi számítás	dimenziók	λj0	λgyenge	Umin	Umax	dimenziók	λj0	λgyenge	Umin	Umax
		W/mK	W/mK	W/m²K	W/m²K		W/mK	W/mK	W/m²K	W/m²K
	EPS hőszigetelés (10 cm)	0,043	0,055	0,285	0,329	EPS hőszigetelés (22 cm)	0,043	0,055	0,165	0,199
	EPS hőszigetelés (12 cm)			0,255	0,297	EPS hőszigetelés (24 cm)			0,155	0,187
	EPS hőszigetelés (14 cm)			0,230	0,270	EPS hőszigetelés (26 cm)			0,145	0,176
	EPS hőszigetelés (16 cm)			0,209	0,248	EPS hőszigetelés (28 cm)			0,136	0,166
	EPS hőszigetelés (18 cm)			0,193	0,229	EPS hőszigetelés (30 cm)			0,130	0,157
	EPS hőszigetelés (20 cm)			0,178	0,213	nem felel meg 2014			megfelel 2018	megfelel 2018

5.3. ábra: A rétegrend által biztosított U értékek különböző vastagságú EPS tábla használata mellett.

ZCs1.

RÉGI rétegrajz



5.2. ábra: A régi, homok vagy salak bélelésű csapos gerendafödém

Anyaga	Gyártó	Típus	mm	Hővezetési tényező (λ0)
EPS	Austrotherm	Grafit L5	30-50	0,031
EPS	Austrotherm	Grafit L4	20-50	0,032
EPS	Austrotherm	AT-L5	30-50	0,041
EPS	Austrotherm	AT-L4	20-50	0,042
EPS	Austrotherm	AT-L2	15-50	0,044
EPS	Bachl	EPS-L4	15-80	0,045
EPS	Nikecell	LH (EPS T2)	15-40	0,045
EPS	Masterplast	Isostamer-A	20-40	0,041-0,038

Vizsgált típusok hővezetési tényezői

Az előírt maximális hőátbocsátási tényező lakóházak zárófödémekre jelenleg $U_{most}=0,30$, de 2015-től középületek és energetikai pályázatot nyert lakóházak esetében, illetve 2018-tól már minden újonnan épülő lakóháznál is szigorodnak az értékek. Az irányadó szám $U_{új}=0,17$ -re csökken majd.

Az eredő hővezetési tényező $0,043-0,055$ közötti értéket vehet fel. Arányok: EPS (0,031-0,045) 88%, tartólécek (0,130) 12%.

A hőtechnikai és páratechnikai számításokat az MSZ-04-140-2:1991-es szabvány szerint végeztem.

Dávid János - TDK 2014.

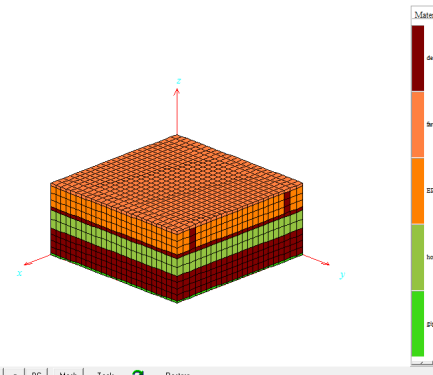
A gépi számítást 14 cm-es hőszigetelő anyaggal végeztem el és **0,235** és **0,278-as** értékeket kaptam a szigetelés hővezetésétől függően. Tehát a kézi számítás nagyon jól közelítette az eredményt.

Hőhidas, illetve nem hőhidas verziót itt nincs értelme vizsgálni, hiszen a födém hőhidassága kevésbé függ a pallózás irányától. A telítési és parciális páranomásgörbék nem metszik egymást, így páradiffúzióra ZCs1 megfelel.

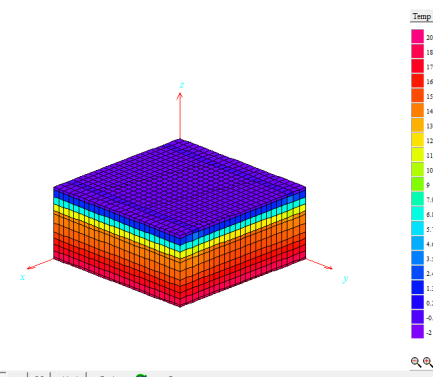
Hőtechnika és páratechnika - ZCs1

dimenziók	t °C	ps Pa	pr Pa
belső levegő	20,000	2338	
	19,540	2281	1519,700
gipszkarton	19,301	2252	1498,049
	15,748	1795	835,526
bennmaradó homokfeltöltés	14,796	1683	665,466
	14,274	1618	568,036
deszkázat	-0,697	582	505,681
	-1,617	533	479,700
külső levegő	-2,000	516	

5.7. ábra: Hőfokelési görbe (piros) és a telítési (kék), parciális (zöld) páranomásgörbék értékei.

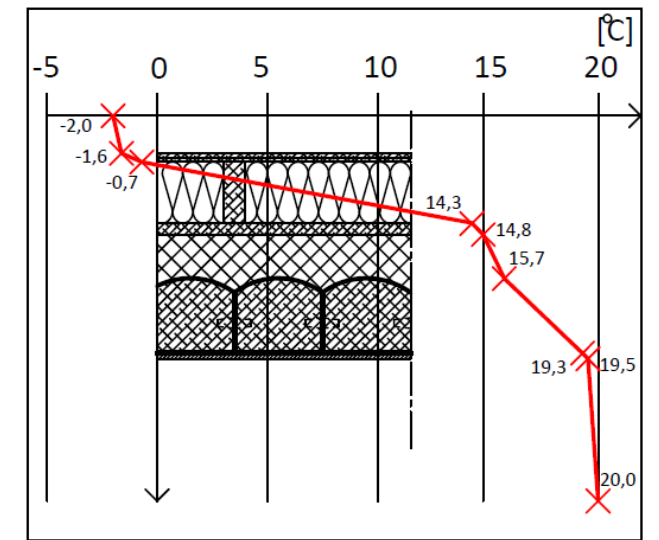


5.8. ábra: A végelelemes rétegrend modell

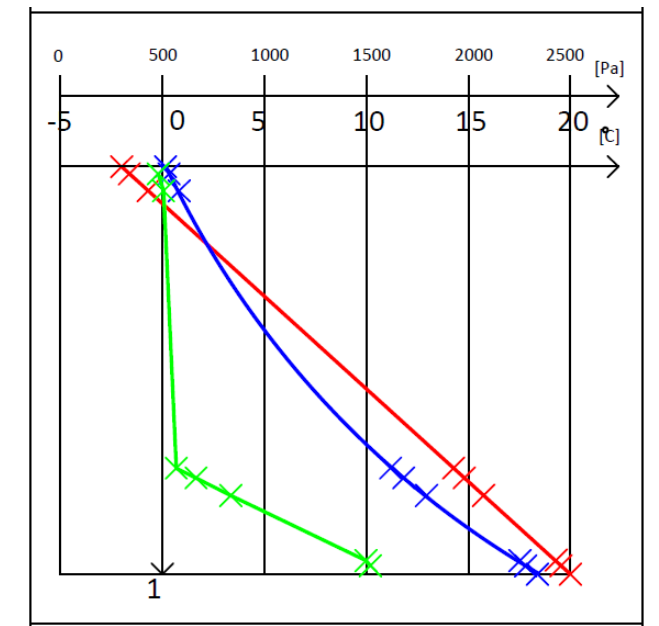


5.9. ábra: Térbeli hőfokelési ábra a modellből

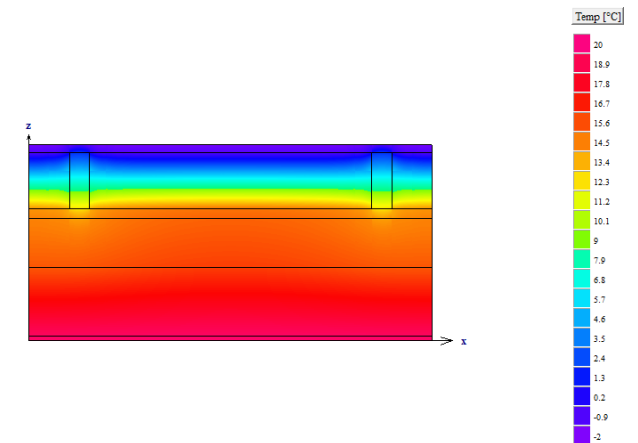
ZCs1.



5.4. ábra: A rétegrend hőfokelési görbéje ($\lambda_0=0,043$; $d=14$ cm)



5.5. ábra: Hőfokelési görbe (piros) és a telítési (kék), parciális (zöld) páranomásgörbék



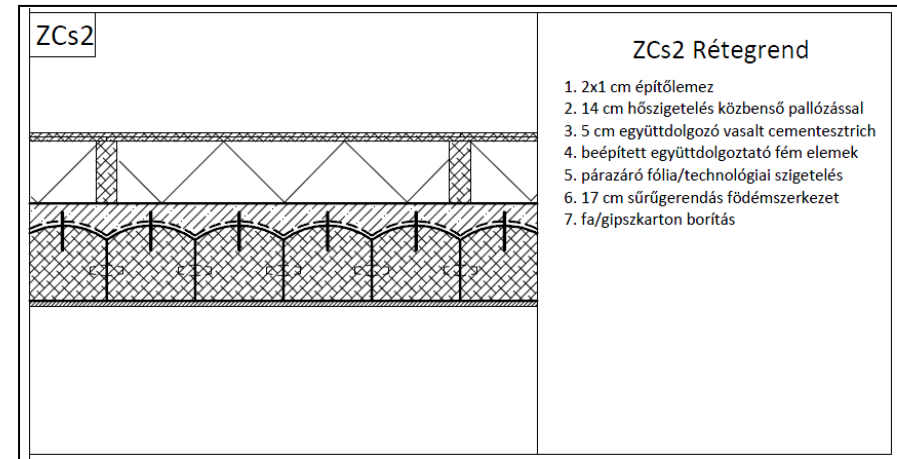
5.6. ábra: Metszet menti hőfokelési ábra a modellből

ZÁRÓFÖDÉM FELBETONOS MEGERŐSÍTÉSE ÉS

HŐSZIGETELÉSE KÖZETGYAPOTTAL

CSAPOS GERENDAFÖDÉM ALAPRA

Új rétegrend



6.1. ábra: A gerendázatig visszabontott födém megerősítjük és szigeteljük

A régi salak- vagy homokfeltöltés eltávolítása után együttdolgozó megerősítés. Az együttdolgozóhoz a csapokon túl a födém egyenetlen felszíne is hozzájárul. A technológiai szigetelés egyben párazáró szigetelésként is szolgál. Földnedves konzisztenciájú, tehát csak nagyon kevés vizet tartalmazó esztrich alapanyagot javasolt használni.

A födém megerősítése növeli annak tárcsahatását, így jótékony hatással van a teherhordó falak közti erőeloszlásra. A felbetonos megerősítéssel a födém teherbírása javul, merevsége megnő, így a lehajlások is csökkennek.

Készíthető hálós erősítéssel és anélkül is a megerősítés, utóbbi esetben csak a tapadásra, illetve az egyenetlen felületről adódó fogazásra dolgozik össze a szerkezet.

Előnyök

+

- + Födém megerősítése
- + A gerendázat felülről pára-védelmet kap, alulról pedig képes szellőzni

Hátrányok

-

- Nedves technológia
- Fólia fektetésre igényes
- Munkaigényes
- Fólia fektetésre igényes

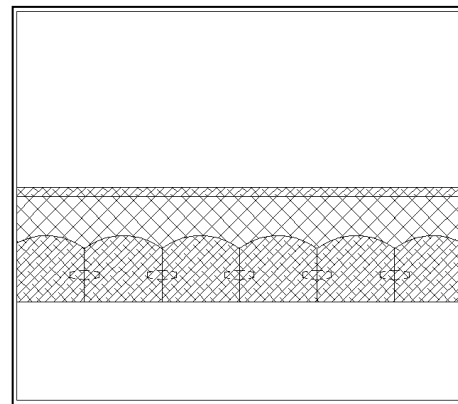
Az U értékek számításánál padlásfödémek esetében a valós értéket 10%-kal korrigálni kell az előírások szerint. 6.3.-as táblázatban már korrigált értékeket tüntetnek fel.

kézi számítás	dimenziók	λ_{min}	λ_{max}	U_{min}	U_{max}	dimenziók	λ_{min}	λ_{max}	U_{min}	U_{max}	
		W/mK	W/mK	W/m ² K	W/m ² K		W/mK	W/mK	W/m ² K	W/m ² K	
	kőzetgyapot hőszigetelés (10 cm)	0,047	0,051	0,380	0,405	kőzetgyapot hőszigetelés (22 cm)	0,047	0,051	0,193	0,207	
	kőzetgyapot hőszigetelés (12 cm)			0,327	0,350	kőzetgyapot hőszigetelés (24 cm)			0,178	0,192	
	kőzetgyapot hőszigetelés (14 cm)			0,287	0,307	kőzetgyapot hőszigetelés (26 cm)			0,166	0,178	
	kőzetgyapot hőszigetelés (16 cm)			0,256	0,274	kőzetgyapot hőszigetelés (28 cm)			0,155	0,167	
	kőzetgyapot hőszigetelés (18 cm)			0,231	0,248	kőzetgyapot hőszigetelés (30 cm)			0,145	0,157	
	kőzetgyapot hőszigetelés (20 cm)			0,210	0,226	nem felel meg			megfelel meg	megfelel meg	16 cm 0,040-es hővezetési tényezőjű közetgyapot elegendő az előírások teljesítésére.

6.3. ábra: A rétegrend által biztosított U értékek különböző vastagságú közetgyapot-paplan használata mellett.

ZCs2.

RÉGI rétegrajz



6.2. ábra: A régi, homok vagy salak béléstű csapos gerendafödém

Gyártó	Típus	mm	Hővezetési tényező (λ0)
Knauf	Nobasil PTE	20-70	0,036
Knauf	Nobasil PTN	20-60	0,036
Rockwool	Steprock ND	20-50	0,037
Rockwool	Steprock HD	30-50	0,038
Knauf	Nobasil PTS	20-80	0,039
Knauf	Nobasil PVT	40-60	0,04

Vizsgált típusok hővezetési tényezői

Az előírt maximális hőátbocsátási tényező lakóházak zárófödémére jelenleg $U_{most}=0,30$, de 2015-től középületek és energetikai pályázatot nyert lakóházak esetében, illetve 2018-tól már minden újonnan épülő lakóháznál is szigorodnak az értékek. Az irányadó szám $U_{új}=0,17$ -re csökken majd.

Az eredő hővezetési tényező $0,047-0,051$ közötti értéket vehet fel. Arányok: **kőzetgyapot** (0,036-0,040) **88%**, **tartólécek** (0,130) **12%**.

A hőtechnikai és páratechnikai számításokat az **MSZ-04-140-2:1991**-es szabvány szerint végeztem.

Dávid János - TDK 2014.

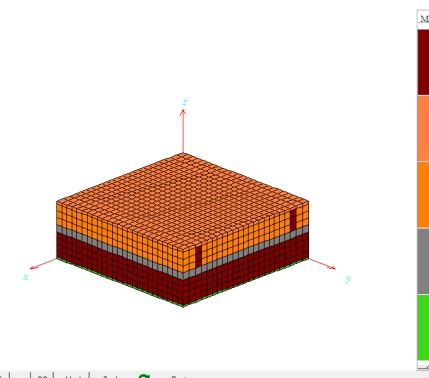
A gépi számítást 14 cm-es hőszigetelő anyaggal végeztem el és **0,274** és **0,288** értékeket kaptam a szigetelés hővezetésétől függően. Tehát a kézi számítás túlbecsülte a szigetelés teljesítményét.

Hőhidas, illetve nem hőhidas verziót itt nincs értelme vizsgálni, hiszen a födém hőhidassága kevésbé függ a pallózás irányától. A telítési és parciális páranomásgörbék nem metszik egymást, így páradiffúzióra ZCs2 megfelel.

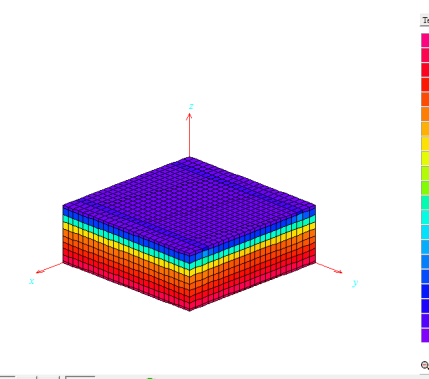
Hőtechnika és páratechnika - ZCs2

dimenziók	t °C	ps Pa	pr Pa
belső levegő	20,000	2338	
	19,480	2252	1519,700
gipszkarton	19,185	2225	1518,771
gerendafödém	15,170	1727	1490,338
párazáró fólia	15,118	1727	500,216
vasalt felbeton	14,950	1705	483,491
hőszigetelés pallózással	-0,528	582	480,815
faroslemezek	-1,567	533	479,700
külső levegő	-2,000	516	

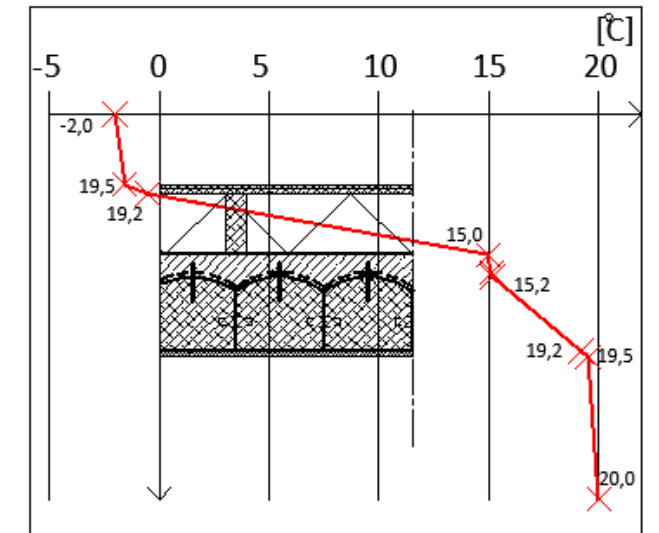
6.7. ábra: Hőfokelési görbe (piros) és a telítési (kék), parciális (zöld) páranomásgörbék értékei.



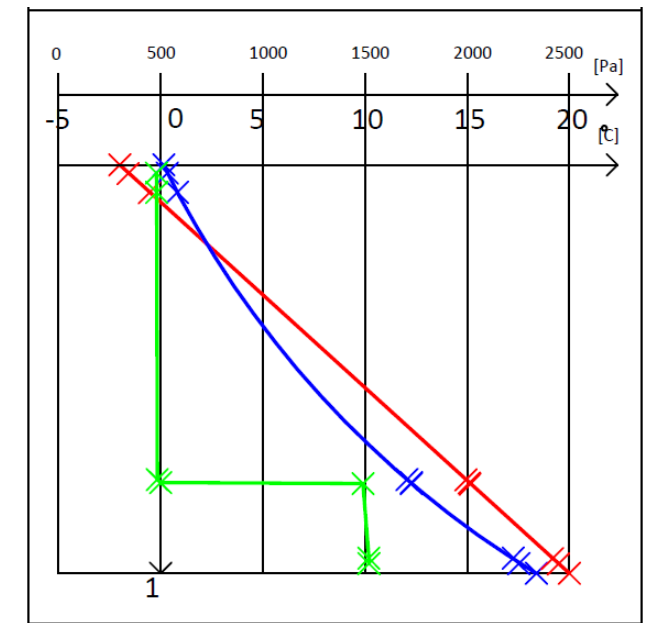
6.8. ábra: A végeselemes rétegrend modell



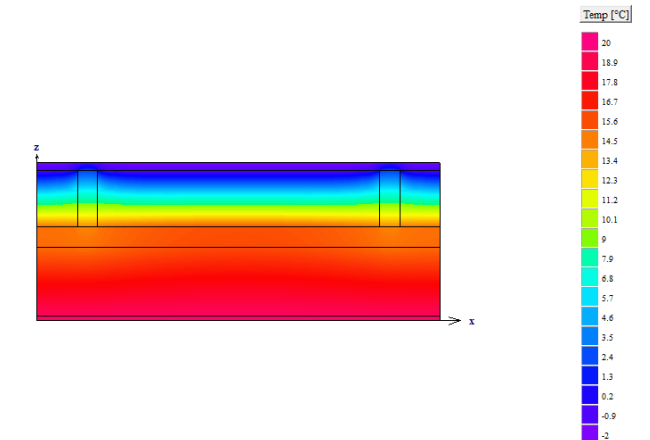
6.9. ábra: Térbeli hőfokelési ábra a modellből



6.4. ábra: A rétegrend hőfokelési görbéje ($\lambda_0=0,047$; $d=14$ cm)



6.5. ábra: Hőfokelési görbe (piros) és a telítési (kék), parciális (zöld) páranomásgörbék

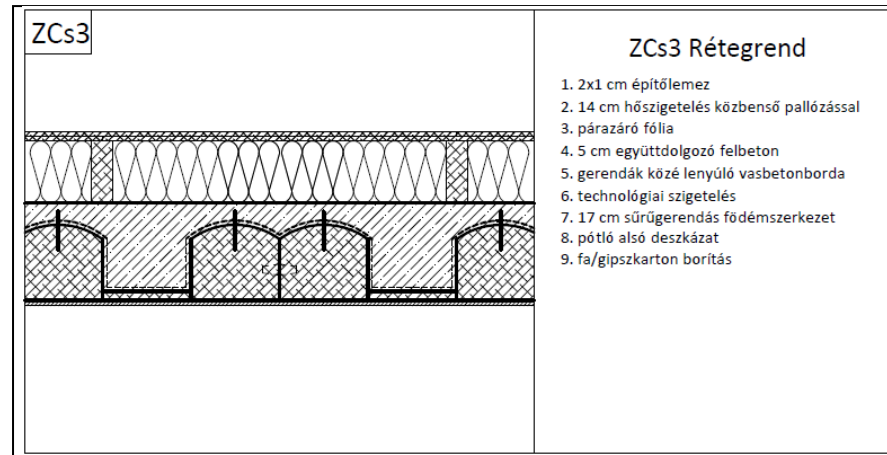


6.6. ábra: Metszet menti hőfokelési ábra a modellből

ZÁRÓFÖDÉM HŐSZIGETELÉSE ÜVEGGYAPOTTAL

CSAPOS GERENDAFÖDÉM ALAPRA

Új rétegrend



7.1. ábra: A gerendázig visszabontott földemet alulról felszaluzva alubordás monolit szerkezettel erősítjük, majd szigeteljük

A felújítás során eltávolítandó a régi salak- vagy homokrég. A cserélendő gerendák eltávolítása után szabályos kiosztást alkalmazunk a megmaradó, illetve az kiegészítésként készülő megerősítő gerendákra. Szükség esetén még ép gerendát is kivehetünk. Alsó zsaluzat elhelyezése után bennmaradó deszkázatot fektetünk a közökbe, majd gerendavasalatot helyezünk el. Ezután kiöntjük a becsapozott földemet betonnal, a szilárdulás és a megmaradó nedvesség távozása után hőszigeteljük.

Az üvegyapot nagyon jó hő- és hangszigetelő képességekkel rendelkezik, A1-es tűzvédelmi besorolása, lassan öregedő anyag. Tekercsként vagy táblaként is beszerezhető, fektethető.

Előnyök

+

- + Nagy földemerevség
- + Tűzállóság

Hátrányok

-

- Vizes technológia alkalmazása
- Nagy munkaigényű rétegrend
- Nagymértékű szakmai igény
- Hőhidasság

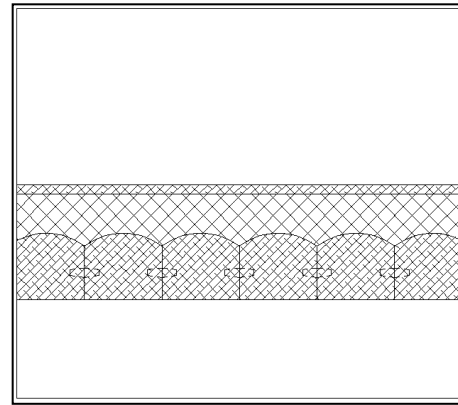
Az U értékek számításánál padlásfödémek esetében a valós értéket 10%-kal korrigálni kell az előírások szerint. 7.3.-as táblázatban már korrigált értékeket tüntetnek fel.

kézi számítás	dimenziók	λj0	λgyenge	Umin	Umax	dimenziók	λj0	λgyenge	Umin	Umax
	W/mK	W/mK	W/m²K	W/m²K	W/m²K	W/mK	W/mK	W/m²K	W/m²K	W/m²K
	üvegyapot hőszigetelés (10 cm)	0,044	0,047	0,374	0,394	üvegyapot hőszigetelés (22 cm)	0,044	0,047	0,195	0,206
	üvegyapot hőszigetelés (12 cm)			0,325	0,342	üvegyapot hőszigetelés (24 cm)			0,179	0,190
	üvegyapot hőszigetelés (14 cm)			0,286	0,301	üvegyapot hőszigetelés (26 cm)			0,167	0,177
	üvegyapot hőszigetelés (16 cm)			0,255	0,271	üvegyapot hőszigetelés (28 cm)			0,156	0,166
	üvegyapot hőszigetelés (18 cm)			0,231	0,244	üvegyapot hőszigetelés (30 cm)			0,147	0,156
	üvegyapot hőszigetelés (20 cm)			0,211	0,223	nem felel meg			megfelel meg	megfelel meg

7.3. ábra: A rétegrend által biztosított U értékek különböző vastagságú üvegyapot-paplan használata mellett.

ZCs3.

RÉGI rétegrajz



7.2. ábra: A régi, homok vagy salak bélelű csapos gerendafödém

Anyaga	Gyártó	Típus	mm	Hővezetési tényező (λ0)
Üvegyapot	Schwenk	EP	15-40	0,032
Üvegyapot	Ursa	TSP	20-50	0,032
Üvegyapot	Isover	TDPS	20-55	0,033
Üvegyapot	Isover	TDPT	15-80	0,033
Üvegyapot	Isover	N	20-50	0,036
Üvegyapot	Ursa	TEP	20-40	0,033-0,032

Vizsgált típusok hővezetési tényezői

Az előírt maximális hőátbocsátási tényező lakóházak zárófödémekre jelenleg **U_{most}=0,30**, de 2015-től középületek és energetikai pályázatot nyert lakóházak esetében, illetve 2018-tól már minden újonnan épülő lakóháznál is szigorodnak az értékek. Az irányadó szám **U_{új}=0,17**-re csökken majd.

Az eredő hővezetési tényező **0,044-0,047** közötti értéket vehet fel. Arányok: **üvegyapot** (0,032-0,036) **88%**, **tartólécek** (0,130) **12%**.

A hőtechnikai és páratechnikai számításokat az **MSZ-04-140-2:1991**-es szabvány szerint végeztem.

Dávid János - TDK 2014.

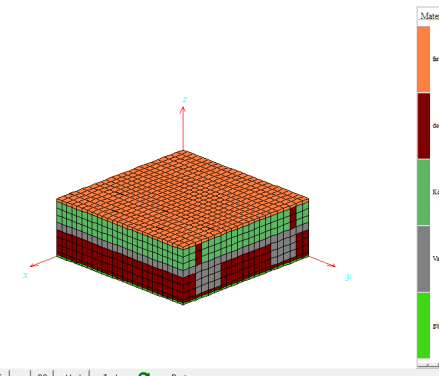
A gépi számítást 14 cm-es hőszigetelő anyaggal végeztem el és **0,322** és **0,339** értékeket kaptam a szigetelés hővezetésétől függően. Tehát a kézi számítás nagyon túlbecsülte a rétegrend teljesítményét.

A telítési és parciális páranomásgörbék nem metszik egymást, így páradiffúzióra ZCs3 megfelel.

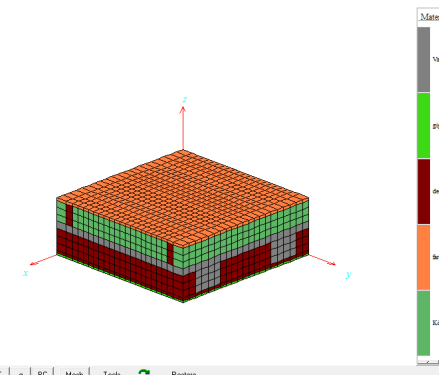
Hőtechnika és páratechnika - ZCs3

dimenziók	t °C	ps Pa	pr Pa
belső levegő	20,000	2338	
gipszkarton	19,428	2252	1519,700
záródeszkázat	19,130	2197	1518,801
párazáró fólia	18,610	2142	1515,563
lenyúló vasbeton szerkezet	18,553	2116	557,129
hőszigetelés tartólécekkel	17,815	2012	492,370
faroslemezek	-0,380	601	489,779
külső levegő	-1,523	543	488,700
	-2,000	516	

7.7. ábra: Hőfokelési görbe (piros) és a telítési (kék), parciális (zöld) páranomásgörbék értékei.

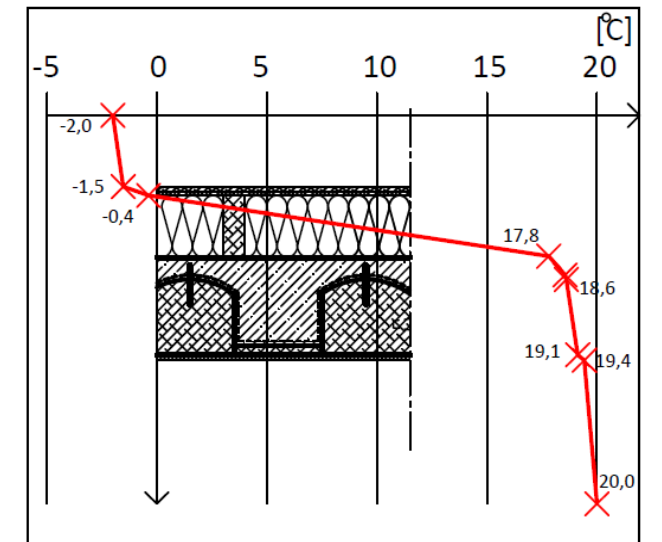


7.8. ábra: Az 'A' rétegrend (hőhidasság modell)

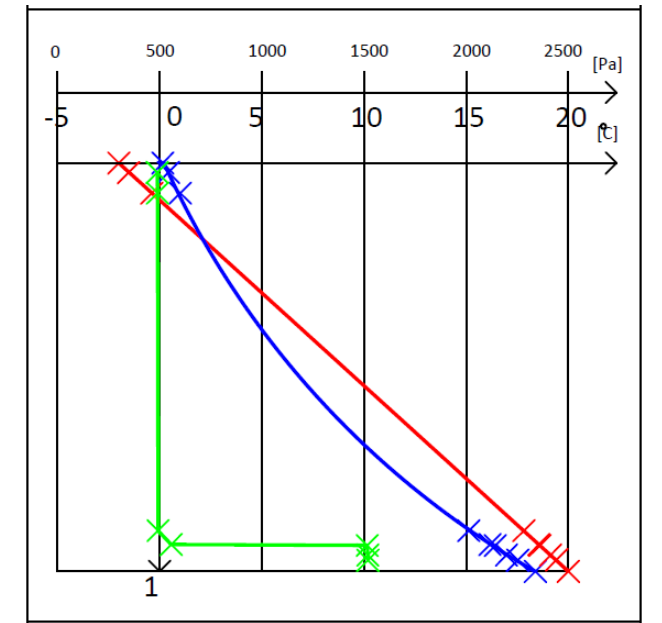


7.9. ábra: A 'B' rétegrend (hőhidmentes modell)

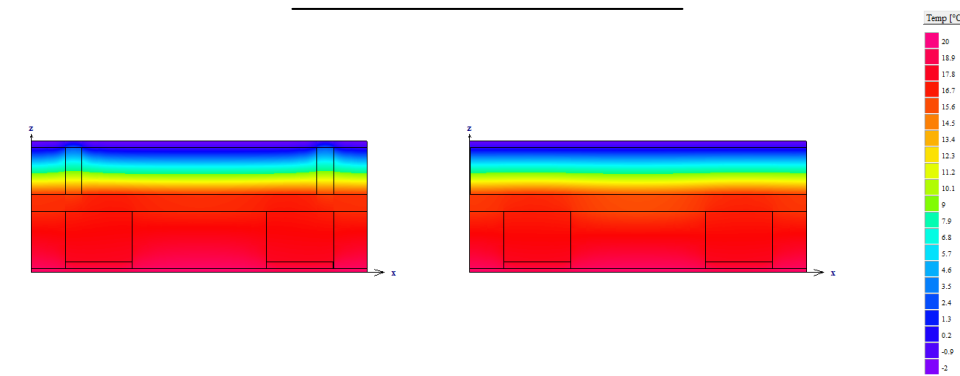
ZCs3.



7.4. ábra: A rétegrend hőfokelési görbéje (λ₀=0,044; d=14 cm)



7.5. ábra: Hőfokelési görbe (piros) és a telítési (kék), parciális (zöld) páranomásgörbék

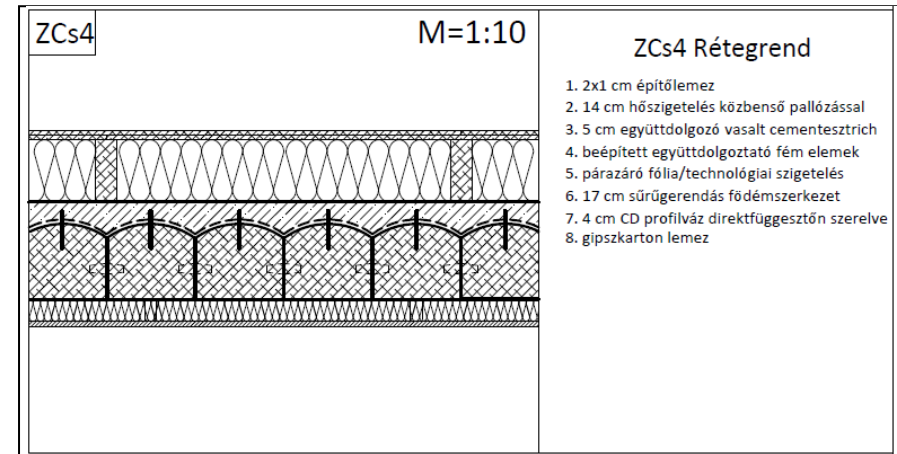


7.6. ábra: 'A' és 'B' konstrukció összehasonlítása

ZÁRÓFÖDÉM MEGERŐSÍTÉSE ÉS HŐSZIGETELÉSE KÖZETGYAPOTTAL (DIREKTFÜGGESZTETT BORÍTÁSSAL)

CSAPOS GERENDAFÖDÉM ALAPRA

Új rétegrend



8.1. ábra: A gerendázig visszabontott födémeket megerősítjük és szigeteljük, alulról direkt függesztve burkoljuk

A felújítás során megerősítjük a födémeket együttdolgozó vasbetonlemezzel vagy esztrichel, majd közetgyapottáblákkal hőszigetelünk. Alulról direktfüggesztőkkel rögzített CD váz a gipszkarton borítás kialakítására. A konstrukció közelítő kézi számításánál számításba lett véve a direktfüggesztő profilok hőhidak kialakítását is. A födém megerősítése növeli annak tárcsahatását, így jótékony hatással van a teherhordó falak közti erőeloszlásra. A felbetonos megerősítéssel a födém teherbírása javul, merevsége megnő, így a lehajlások is csökkennek. Készíthető hálós erősítéssel és anélkül is a megerősítés, utóbbi esetben csak a tapadásra, illetve az egyenetlen felületről adódó fogazásra dolgozik össze a szerkezet.

Előnyök

+

- + Gipszkarton könnyen elhelyezhető - Nedves technológia is
- + Födém megerősítése - Fólia fektetésre igényes
- + Tűzállóság

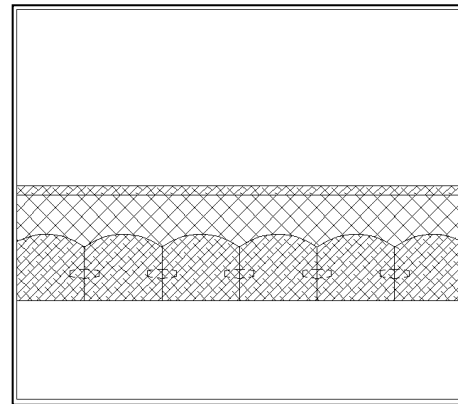
Az U értékek számításánál padlásfödémek esetében a valós értéket 10%-kal korrigálni kell az előírások szerint. 8.3.-as táblázatban már korrigált értékeket tüntetnek fel.

közeli számítás	közvetlen				közvetlen					
	dimenziók	λj0	λgyenge	Umin	Umax	dimenziók	λj0	λgyenge	Umin	Umax
közetgyapot hőszigetelés (10 cm)			0,298	0,312	közetgyapot hőszigetelés (22 cm)			0,176	0,187	
közetgyapot hőszigetelés (12 cm)			0,267	0,282	közetgyapot hőszigetelés (24 cm)			0,165	0,176	
közetgyapot hőszigetelés (14 cm)			0,242	0,255	közetgyapot hőszigetelés (26 cm)			0,155	0,165	
közetgyapot hőszigetelés (16 cm)			0,222	0,234	közetgyapot hőszigetelés (28 cm)			0,146	0,156	
közetgyapot hőszigetelés (18 cm)			0,205	0,217	közetgyapot hőszigetelés (30 cm)			0,139	0,147	
közetgyapot hőszigetelés (20 cm)			0,189	0,201	nem felel meg			nem felel meg		
					megfelel 2014			megfelel 2018		
					12 cm 0,040-es hővezetési tényezőjű közetgyapot elegendő az előírások teljesítésére.					

8.3. ábra: A rétegrend által biztosított U értékek különböző vastagságú közetgyapot-paplan használata mellett.

ZCs4.

RÉGI rétegrajz



8.2. ábra: A régi, homok vagy salak béleltű csapos gerendafödém

Gyártó	Típus	mm	Hővezetési tényező (λ0)
Knauf	Nobasil PTE	20-70	0,036
Knauf	Nobasil PTN	20-60	0,036
Rockwool	Steprock ND	20-50	0,037
Rockwool	Steprock HD	30-50	0,038
Knauf	Nobasil PTS	20-80	0,039
Knauf	Nobasil PVT	40-60	0,04

Vizsgált típusok hővezetési tényezői

Az előírt maximális hőátbocsátási tényező lakóházak zárófödémekre jelenleg $U_{most}=0,30$, de 2015-től középületek és energetikai pályázatot nyert lakóházak esetében, illetve 2018-tól már minden újonnan épülő lakóháznál is szigorodnak az értékek. Az irányadó szám $U_{új}=0,17$ -re csökken majd.

Az eredő hővezetési tényező $0,047-0,051$ közötti értéket vehet fel. Arányok: **közetgyapot** (0,036-0,040) **88%**, **tartólécek** (0,130) **12%**.

A hőtechnikai és páratechnikai számításokat az **MSZ-04-140-2:1991**-es szabvány szerint végeztem.

Dávid János - TDK 2014.

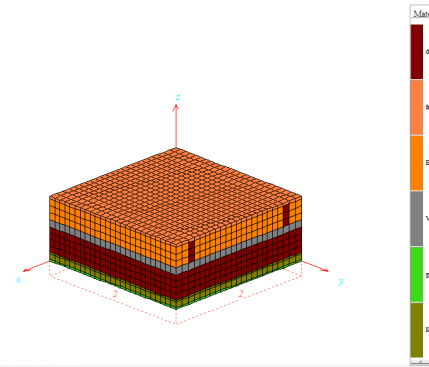
A gépi számítást 14 cm-es hőszigetelő anyaggal végeztem el és **0,185** és **0,197** értékeket kaptam a szigetelés hővezetésétől függően. Tehát a kézi számítás túlsúlyozta a rétegrend hőhidasságát.

A telítési és parciális páranomásgörbék nem metszik egymást, így páradiffúzióra ZCs4 megfelel.

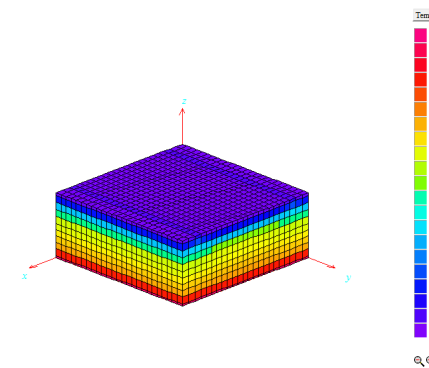
Hőtechnika és páratechnika - ZCs4

dimenziók	t °C	ps Pa	pr Pa
belső levegő	20,000	2338	
gipszkarton	19,515	2252	1519,700
belső szigetelő réteg	19,262	2225	1518,758
gerendafödém	17,775	2012	1517,789
párazáró fólia	14,027	1577	1488,965
vasalt felbeton	13,978	1557	485,199
hőszigetelés tartólécekkel	13,822	1537	468,243
faroslemezek	-0,626	582	465,530
külső levegő	-1,596	533	464,400
	-2,000	516	

8.7. ábra: Hőfokelési görbe (piros) és a telítési (kék), parciális (zöld) páranomásgörbék értékei.

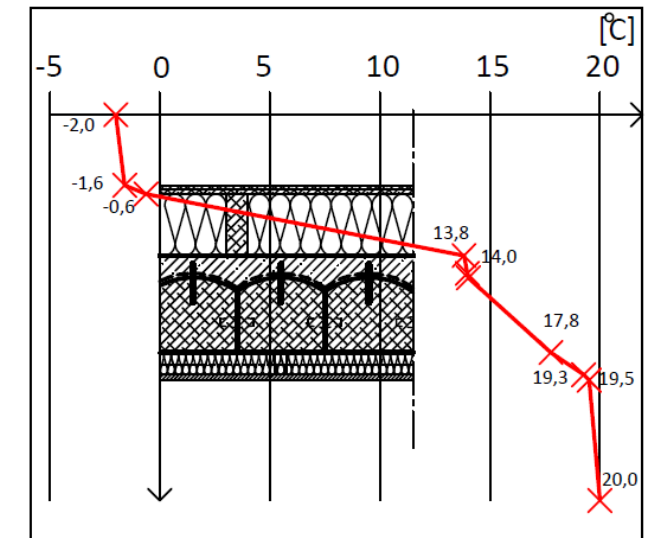


8.8. ábra: A végeelemes rétegrend modell

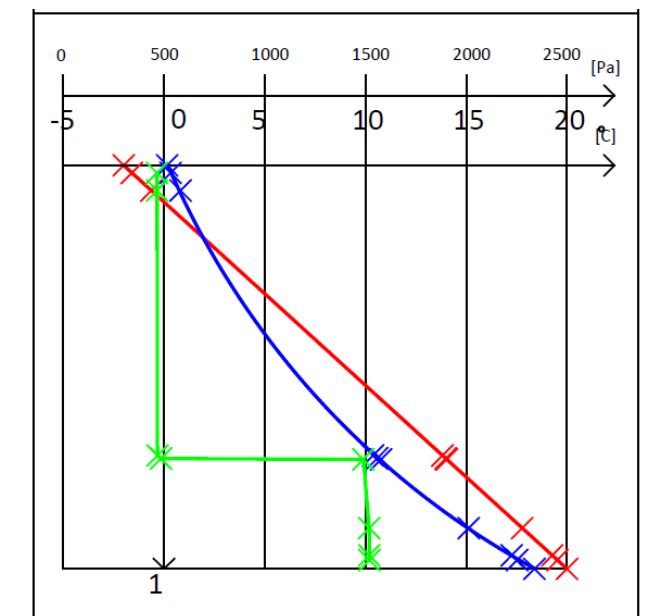


8.9. ábra: Térbeli hőfokelési ábra a modellből

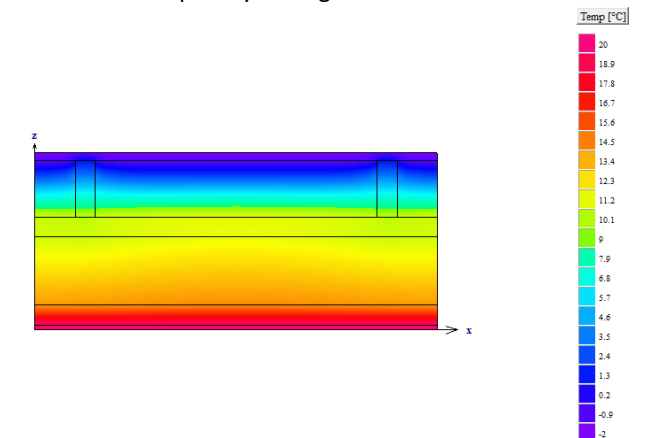
ZCs4.



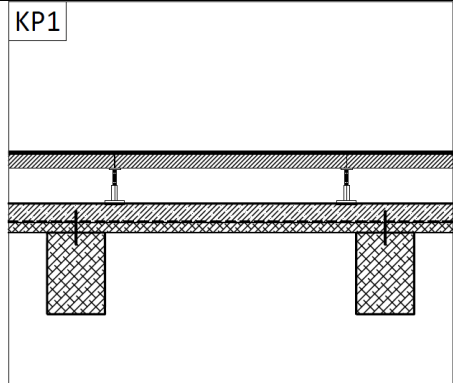
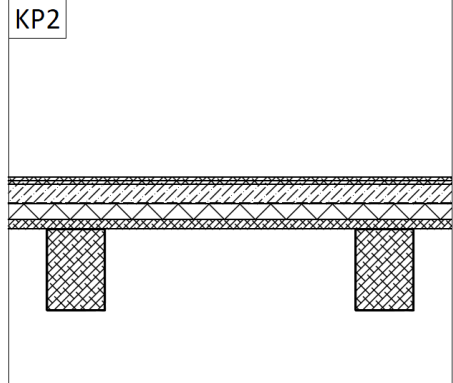
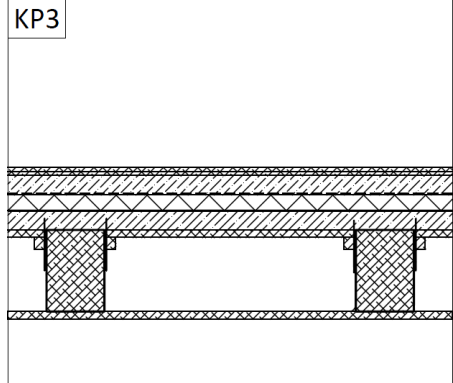
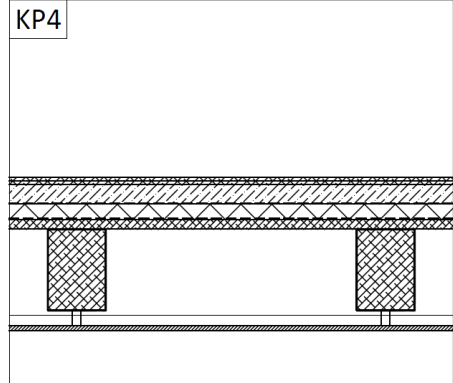
8.4. ábra: A rétegrend hőfokelési görbéje ($\lambda_0=0,047$; $d=14$ cm)



8.5. ábra: Hőfokelési görbe (piros) és a telítési (kék), parciális (zöld) páranomásgörbék



8.6. ábra: Metszeti hőfokelési ábra a modellből

Rétegrend		Fajlagos tömeg [kg/m ²] Léghangátlás tömeggel (358 kg/m ²)	Lépéshangszigetelő szerkezetek (igény: 55 dB)	Tűzvédelmi rétegek, anyagok	Általános jellemzés, gépészeti lehetőségek
<p>KP1</p> 	<p>KP1 Rétegrend</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. padlóburkolat 2. ásványi alapú álpadló kazettaelem 3. álpadló menetes tartólábai, hely a lehetséges vezetéknek 4. 5 cm együtdolgozó vasalt cementesztrich 5. beépített együtdolgozó fém elemek 6. technológiai szigetelés 7. 2,5 cm födémcszázát 8. födémgerendák (15/21) 	<p>224 nem felel meg</p>	<p>padlóburkolat (jó minőségű szőnyegpadló) - 20 dB álpadló burkolattal - 16 dB</p> <p>Σ 36 dB</p>	<p>álpadló - A1, esztrichbeton - A1</p>	<p>kommunikációs és információtechnológiai kábelek vezethetők az álpadló támaszlábai között, fokozott hangszigetelési igénynél szálalás hőszigetelőanyag elhelyezhető</p>
<p>KP2</p> 	<p>KP2 Rétegrend</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. padlóburkolat 2. 5 cm úsztatott cementesztrich 3. technológiai szigetelés 4. 4 cm lépésálló szigetelőréteg 5. 2,5 cm födémcszázát 6. födémgerendák (15/21) 	<p>168 nem felel meg</p>	<p>padlóburkolat (jó minőségű szőnyegpadló) - 20 dB átlagos úszópadló - 25 dB</p> <p>Σ 45 dB</p>	<p>a szigetelőanyag, ha kőzet- vagy üvegyapot - A1, esztrichbeton - A1</p>	<p>vezetékek csak az esztrich rétegben vezethetők, az úszató rétegben elhelyezett vezetékek rontják a hangszigetelés értékét, tetszőleges padlóburkolat alakítható ki az esztrichrétegen</p>
<p>KP3</p> 	<p>KP3 Rétegrend</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. padlóburkolat 2. 5 cm úsztatott cementesztrich réteg 3. technológiai szigetelés 4. 4 cm lépésálló szigetelőréteg 5. 5 cm együtdolgozó felbeton 6. zárólecezésen fekvő födémcszázát 7. födémgerendák (15/21) felnyúló préselt szeglemezes konnektorokkal 8. átszellőző légrés a gerendák között 9. belső borítás 	<p>275 nem felel meg</p>	<p>padlóburkolat (jó minőségű szőnyegpadló) - 20 dB átlagos úszópadló - 25 dB</p> <p>Σ 45 dB</p>	<p>a szigetelőanyag, ha kőzet- vagy üvegyapot - A1, esztrichbeton - A1</p>	<p>az együtdolgoztatás növeli a teherbírást, így az általános használhatóságot, csökkenti a lehajlást, a mennyezetburkolat kialakítása egyszerűsíthető</p>
<p>KP4</p> 	<p>KP4 Rétegrend</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. padlóburkolat 2. 5 cm úsztatott cementesztrich 3. technológiai szigetelés 4. 4 cm lépésálló szigetelőréteg 5. födémgerendák (15/21), közöttük hőszigetelés és légrés 6. 4 cm lengőkengyeles függesztés 7. 1 réteg gipszkarton borítás 	<p>186 nem felel meg</p>	<p>padlóburkolat (jó minőségű szőnyegpadló) - 20 dB átlagos úszópadló - 25 dB</p> <p>Σ 45 dB</p>	<p>gipszkarton - A2, a szigetelőanyag, ha kőzet- vagy üvegyapot - A1, esztrichbeton - A1</p>	<p>a mennyezetborítás CD profilváza között kiegészítő szálal hangszigeteléssel fokozható a hang- és tűzvédelem</p>

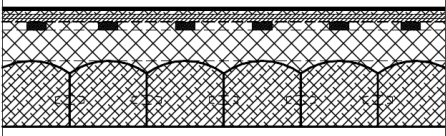
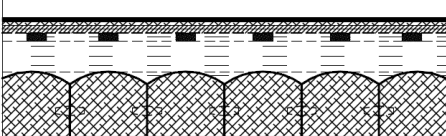
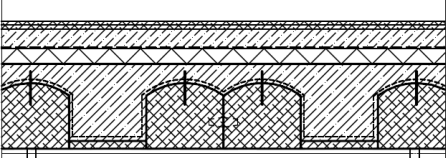
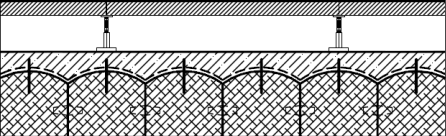
Általában padlóburkolatok:

- Kemény burkola 0 dB
- Kemény PVC 8-12 dB
- Habalátétes PVC 18-25 dB
- Jó minőségű szőnyegpadló 20-26 dB
- Úszópadló általában: ~25 dB
- Jobb minőségű úszópadló ~30 dB
- Úszópadló vastag úsztatott rétegen ~35 dB

Anyagok tűzvédelmi besorolása:

- Nem éghető (éghetetlen) A1
- Nem éghető (éghetetlen) A2
- Nagyon korlátozott részvétel a tűzben B
- Korlátozott, de látható részvétel a tűzben C
- Lényeges részvétel a tűzben D
- Nagyon nagy részvétel a tűzben E
- Nagyon nagy részvétel a tűzben, vagy nincs adat F

osztály

Rétegrend		Fajlagos tömeg [kg/m ²]	Lépegyszigetelő szerkezetek (igény: 55 dB)	Tűzvédelmi rétegek, anyagok	Gépészet
KCs1	<p>KCs1 Rétegrend</p> <ol style="list-style-type: none"> könnyű padlóburkolat padlóalátét 2x1 cm teherelosztó gipszrost páraáteresztő technológiai szigetelés párnafa alátétek 12 cm benmaradó homok, salakfeltöltés 17 cm sűrűgerendás födém szerkezet fa/gipszkarton borítás 	313 nem felel meg	padlóburkolat (jó minőségű szőnyegpadló) - 20 dB Σ 20 dB	gipszrost - A2	új gépészeti rendszerek elhelyezésére nincs lehetőség, a felújítási megoldás csak burkolattal összefüggő javítás, födémrekonstrukció a salak- vagy homokfeltöltés eltávolításával lehetséges
KCs2	<p>KCs2 Rétegrend</p> <ol style="list-style-type: none"> könnyű padlóburkolat padlóalátét 2x1 cm teherelosztó gipszrost páraáteresztő technológiai szigetelés párnafa alátétek 12 cm lécváz közti szórt cellulóz hőszigetelés 17 cm sűrűgerendás födém szerkezet fa/gipszkarton borítás 	180 nem felel meg	padlóburkolat (jó minőségű szőnyegpadló) - 20 dB Σ 20 dB	gipszrost - A2 cellulóz szigetelőanyag - B	a régi feltöltés eltávolításával lehetőség adódik új vezetékek elhelyezésére és a födém felső feltárására, esetleges felületi kezelésére
KCs3	<p>KCs3 Rétegrend</p> <ol style="list-style-type: none"> padlóburkolat 5 cm úsztató esztrich réteg technológiai fólia 4 cm úsztató szigetelőréteg 5 cm együttdolgozó felbeton gerendák közé lenyúló vasbetonborda párazáró fólia 17 cm sűrűgerendás födém szerkezet 4 cm lengőkengyeles függesztés gipszkarton borítás 	446 megfelel	padlóburkolat (jó minőségű szőnyegpadló) - 20 dB átlagos úszópadló - 25 dB Σ 45 dB	a szigetelőanyag, ha kőzet- vagy üvegyapot - A1, esztrichbeton - A1	a mennyezetborítás CD profilváza között kiegészítő szálas hangszigeteléssel fokozható a hang- és tűzvédelem. vezetékek csak az esztrich rétegben vezethetők, az úsztató rétegben elhelyezett vezetékek rontják a hangszigetelés értékét
KCs4	<p>KCs4 Rétegrend</p> <ol style="list-style-type: none"> padlóburkolat ásványi alapú álpadló kazettaelem álpadló menetes tartólábai, hely a lehetséges vezetékkelésnek 5 cm együttdolgozó vasalt cementesztrich beépített együttdolgozó fém elemek technológiai szigetelés 17 cm sűrűgerendás födém szerkezet 	328 nem felel meg	padlóburkolat (jó minőségű szőnyegpadló) - 20 dB álpadló burkolattal - 16 dB Σ 36 dB	álpadló - A1, esztrichbeton - A1	kommunikációs és információtechnológiai kábelek vezethetők az álpadló támaszlábai között, fokozott hangszigetelési igénynél szálas hőszigetelőanyag elhelyezhető; az eredeti gerendázat alulról látható marad

Általában padlóburkolatok:

- | | |
|------------------------------------|----------|
| • Kemény burkola | 0 dB |
| • Kemény PVC | 8-12 dB |
| • Habalátétes PVC | 18-25 dB |
| • Jó minőségű szőnyegpadló | 20-26 dB |
| • Úszópadló általában: | ~25 dB |
| • Jobb minőségű úszópadló | ~30 dB |
| • Úszópadló vastag úsztató rétegen | ~35 dB |

Anyagok tűzvédelmi besorolása:

- Nem éghető (éghetetlen)
- Nem éghető (éghetetlen)
- Nagyon korlátozott részvétel a tűzben
- Korlátozott, de látható részvétel a tűzben
- Lényeges részvétel a tűzben
- Nagyon nagy részvétel a tűzben
- Nagyon nagy részvétel a tűzben, vagy nincs adat

osztály

- A1
- A2
- B
- C
- D
- E
- F

Számítási melléklet

Fa-beton kompozit gerenda kísérleti vizsgálata, TDK 2014.

1. Csak az esztrich lemez teherbírása (mint vasbeton lemez):

III. feszültségi állapotban vizsgált teherbírási határállapot:

A gerenda hossza: $L := 2\text{m}$

Összes hosszvas keresztmetszete: $A_s := 3 \cdot \frac{(8\text{mm})^2 \cdot \pi}{4} = 1.508 \times 10^{-4} \text{m}^2$

Hasznos magasság: $d := 32\text{mm}$

Tényleges geometria: $b := 500\text{mm}$ $h_c := 50\text{mm}$

Karakterisztikus szilárdsági értékek: $f_{ck} := 60 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$$f_{yk} := 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$x_c := \frac{A_s \cdot f_{yk}}{f_{ck} \cdot b} = 0.251 \cdot \text{cm}$$

$$\xi_c := \frac{x_c}{d} = 0.079$$

$$M_{Rd} := f_{ck} \cdot x_c \cdot b \cdot \left(d - \frac{x_c}{2} \right) = 2.318 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad \text{A lemez teherbírása csekélynek adódik.}$$

Csak az esztrich lemez teherbírása erőben: $F_{Rd} := 3 \cdot \frac{M_{Rd}}{L} \quad F_{Rd} = 3.477 \cdot \text{kN}$

2. Csak a fa elemek teherbírása:

Farészek teljes keresztmetszete:

$$h_w := 15\text{cm}$$

$$b_w := 12\text{cm}$$

$$h_{\text{deszka}} := 2\text{cm}$$

$$b_{\text{deszka}} := 50\text{cm}$$

$$A_w := h_w \cdot b_w + h_{\text{deszka}} \cdot b_{\text{deszka}} = 280 \cdot \text{cm}^2$$

Súlypont helye húzott szál felől:

$$s := \frac{h_w \cdot b_w \cdot 7.5\text{cm} + h_{\text{deszka}} \cdot b_{\text{deszka}} \cdot 16\text{cm}}{A_w} = 10.536 \cdot \text{cm}$$

Inercianyomaték:

$$I_w := \frac{h_w^3 \cdot b_w}{12} + \frac{h_{\text{deszka}}^3 \cdot b_{\text{deszka}}}{12} + h_w \cdot b_w \cdot (s - 7.5\text{cm})^2 + h_{\text{deszka}} \cdot b_{\text{deszka}} \cdot (16\text{cm} - s)^2 = 8.053 \times 10^3 \cdot \text{cm}^4$$

$$W_{\text{whuz}} := \frac{I_w}{s} \quad W_{\text{whuz}} = 764.35 \cdot \text{cm}^3$$

$$W_{\text{wnyom}} := \frac{I_w}{(h_w + b_w - s)} \quad W_{\text{wnyom}} = 489.118 \cdot \text{cm}^3$$

$$f_{\text{wkhuz}} := 46\text{MPa} \quad M_{\text{Rdwh}} := W_{\text{whuz}} \cdot f_{\text{wkhuz}} \quad M_{\text{Rdwh}} = 35.16 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$f_{\text{wknyom}} := 27\text{MPa} \quad M_{\text{Rdwny}} := W_{\text{wnyom}} \cdot f_{\text{wknyom}} \quad M_{\text{Rdwny}} = 13.206 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Csak fa tartó esetében az elviselhető erő:

$$F_{wRd} := 3 \cdot \frac{M_{Rdwny}}{L} \quad F_{wRd} = 19.809 \cdot \text{kN}$$

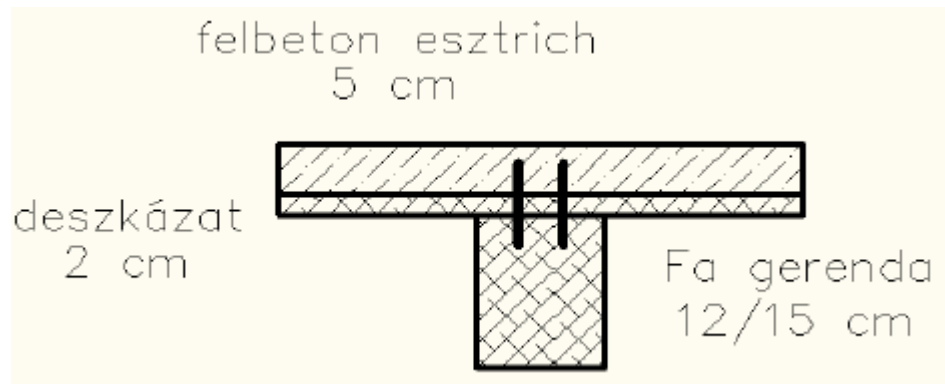
Ha nincs semmilyen együttdolgozás, akkor a teherbírás a kezdeti adatok szerint:

$$F_{max} := 2(F_{Rd} + F_{wRd}) \quad F_{max} = 46.573 \cdot \text{kN}$$

Ennyi lenne az összes teherbírás. Azonban 127 kN-t mutat a mérés, tehát

mindenképp van együttdolgozás.

3. Együttdolgozó keresztmetszet



Vasbeton keresztmetszet és inercianyomaték:

$$h_c := 5 \text{ cm}$$

$$b_c := 50 \text{ cm}$$

$$A_c := h_c \cdot b_c = 250 \cdot \text{cm}^2$$

$$I_c := \frac{b_c \cdot h_c^3}{12} = 520.833 \cdot \text{cm}^4$$

Farészek teljes keresztmetszete:

$$h_w := 15 \text{cm}$$

$$b_w := 12 \text{cm}$$

$$h_{\text{deszka}} := 2 \text{cm}$$

$$b_{\text{deszka}} := 50 \text{cm}$$

$$A_w := h_w \cdot b_w + h_{\text{deszka}} \cdot b_{\text{deszka}} = 280 \cdot \text{cm}^2$$

Súlypont helye alulról:

$$s := \frac{h_w \cdot b_w \cdot 7.5 \text{cm} + h_{\text{deszka}} \cdot b_{\text{deszka}} \cdot 16 \text{cm}}{A_w} = 10.536 \cdot \text{cm}$$

Súlypontok távolsága: $d_s := (h_w + h_{\text{deszka}} + h_c) - 2.5 \text{cm} - s = 89.643 \text{mm}$

Inerciayomaték:

$$I_w := \frac{h_w^3 \cdot b_w}{12} + \frac{h_{\text{deszka}}^3 \cdot b_{\text{deszka}}}{12} + h_w \cdot b_w \cdot (s - 7.5 \text{cm})^2 + h_{\text{deszka}} \cdot b_{\text{deszka}} \cdot (16 \text{cm} - s)^2 = 8.053 \times 10^3 \cdot \text{cm}^4$$

A rugalmassági modullusok aránya legyen $n.0$, közelítsük a szilárdsági osztály szerinti rugalmassági modullussal a faanyagot:

C60

$$E_w := \frac{E_c}{n_{0k}} \quad E_c := 39\text{GPa} \quad E_{wk} := 15000\text{MPa}$$

$$n_{0k} := \frac{E_c}{E_{wk}} \quad n_{0k} = 2.6$$

$$A_{ik} := A_c + \frac{A_w}{n_{0k}} \quad A_{ik} = 357.692 \cdot \text{cm}^2$$

$$d_{wik} := \frac{A_c}{A_{ik}} \cdot d_s \quad d_{wik} = 6.265 \cdot \text{cm}$$

$$d_{cik} := \frac{\left(\frac{A_w}{n_{0k}}\right)}{A_{ik}} \cdot d_s \quad d_{cik} = 2.699 \cdot \text{cm} \quad d_{cfk} := \frac{h_c}{2} + d_{cik} \quad d_{wfk} := s + d_{wik}$$

$$I_{ik} := I_c + A_c \cdot d_{cik}^2 + \frac{I_w}{n_{0k}} + \frac{A_w}{n_{0k}} \cdot d_{wik}^2 \quad I_{ik} = 9.667 \times 10^3 \cdot \text{cm}^4$$

Feszültségek aránya: beton felsőszál feszültség és fa alsószál feszültség.

$$z_f := 2.5 \cdot \text{cm} + d_{cik} \quad z_f = 5.199 \cdot \text{cm}$$

$$z_a := s + d_{wik} \quad z_a = 16.801 \cdot \text{cm}$$

$$W_{if} := \frac{I_{ik}}{z_f} \quad W_{ia} := \frac{I_{ik}}{z_a}$$

$$\text{Sig}_{fa} := \frac{z_a}{z_f} \cdot \frac{1}{n_{0k}} \quad \text{Sig}_{fa} = 1.243$$

$$\frac{f_{wkhuz}}{f_{ck}} = 0.767$$

Jelenlegi szilárdságokat ismerve (esztrich 60 MPa és a fa 46 MPa) a fa törik előbb

Feltéve ezt, és azt, hogy a fa éppen törik, a határnyomaték $n_0 := 1$

$$M_{iRd} := \frac{f_{wkhuz}}{n_0} \cdot W_{ia} \quad M_{iRd} = 26.466 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Ebből az erő:

$$F_{iRd} := 3 \cdot \frac{M_{iRd}}{L} \quad F_{iRd} = 39.7 \cdot \text{kN}$$

Teher teljes együttdolgozás esetén:

$$F_{imax} := 2F_{iRd} = 79.399 \text{ kN}$$

Az érték az adathiány miatt jelentősen eltér a mért adattól (emlékeztetőül: 127,59 kN volt a mért teherbírás). Ezért egyértelműen csak újbóli kísérletek elvégzésével, mintavétellel, rogalmassági modullus mérésével lehetne megállapítani a számolás helyességét, ezáltal a modell működését. Valószínűsíthető, hogy az esztrich is többet bír a ténylegesen feltüntetett gyári értéknél.

A jelenlegi számítás alapján azt a megállapítást kell tenni, hogy ezekkel a feltételekkel és anyagminőségekkel teljes együttdolgozás valósult meg. Pontosító, új kísérletek szükségesek.