MŰEGYETEM 1782

Könnyű acélvázas építési mód létjogosultsága a hazai lakóházépítésben - műszaki és ökologikus szempontú értékelés

Tézisfüzet

nyilvános vitához

Dudás Annamária

okl. építőmérnök

Tudományos vezető:

Dr. Széll Mária Ph.D.

okl. építészmérnök, egyetemi tanár

Budapest, 2007

Magasépítési Tanszék

Tartalomjegyzék

I. A kutatási feladat rövid összefoglalása és tudományos előzményei ……... 3

II. Az értekezés célkitűzései ……... 4

III. A kutatás módszerei ……... 4

IV. Az értekezés új tudományos eredményei …… 5

1. téziscsoport ……. 5

2. téziscsoport ……. 10

3. téziscsoport ……. 12

V. Az értekezés eredményeinek hasznosítási lehetőségei ……... 16

VI. Jövőbeni kutatási lehetőségek …… 17

VII. Hivatkozások a tézisfüzetben ……. 17

VIII. Az értekezés témakörében készült publikációk ……. 18

I. A KUTATÁSI FELADAT RÖVID ÖSSZEFOGLALÁSA ÉS TUDOMÁNYOS ELŐZMÉNYEI

Az 1990-es évektől a hazai lakóházépítésben megjelentek a világszerte alkalmazott könnyűszerkezetes lakóházépítési rendszerek, mindkét típus - a fa és az acélvázas - szinte egyidőben. Megfogalmazódott az a jogos igény, hogy ezeknek a rendszereknek a hazai éghajlati viszonyokhoz és az építtetői szokásokhoz kell igazodniuk, hiszen egy épületnek teljes élettartama alatt biztosítania kell a megfelelő minőséget és komfortfeltételeket.

A hazánkban nem ismeretlen könnyű acélvázas építési mód korábban jellemzően az iparosított lakásépítéssel kialakított településrészek kommunális épületeinek létesítésére szolgált. A szerelt épületek vázas rendszerűek, teherhordó vázuk oszlopokból és gerendákból álló rúdszerkezet. A térelhatároló feladatot réteges szerkezetek látják el, amely többrétegűség széleskörű alkalmazási lehetőségeket nyújt. [1] A könnyűszerkezetes épületek előregyártott, illetve előkezelt könnyű teherhordó (acél, fa), és térelhatároló (gipsz, ill. fa alapú építő-) elemek alkalmazásával készülnek. „A mai értelemben vett könnyűszerkezetes építési rendszer iparosított előregyártáson alapul, egységes méretrendbe illeszkedő teherhordó és térhatároló szerkezetekkel.” [2] Az értekezés hangsúlyosan a helyszínen szerelt acélvázas rendszerekkel foglalkozik, de ismerteti a hazai szerelt jellegű építési módokat, megfogalmazza az eltéréseket és a definíciókat.

Az új szerelt lakóházépítési rendszerek magukba foglalják a szárazépítésből adódó előnyöket – előregyártott elemek pontos szerelése, rövid építési idő, környezetkímélő jellemzők, stb. – és a külföldi rendszerek jó tapasztalatait, kiegészülve a lakó funkcióhoz tartozó igényekkel. E pozitív tulajdonságok vezettek a gyors elterjedéshez, a könnyűszerkezetes építésmód hazai lakóházépítésben elfoglalt egyre növekvő arányához, az emelkedő számú alkalmazáshoz. A kutatómunka keretében számos acélvázas épület szemléje történt meg.

A kutatás részletesen kiterjed az épületszerkezeti, épületfizikai jellemzők vizsgálatára és - a fenntartható fejlődést szem előtt tartva - az épületek teljes életciklus-elemzésére, az építésmód ökologikus jellemzőre.

Az értekezés kizárólag a lakóépületekkel foglalkozik, azon belül a családi házak, illetve ikerházak léptékére szorítkozik. Nem tárgyalja az utólagos be-, és ráépítés lehetőségét, csak az új építésű lakóházakat vizsgálja.

II. AZ ÉRTEKEZÉS CÉLKITŰZÉSEI

1. Feltételrendszer felállítása és ismertetése, amely irányt ad a könnyű acélvázas épületek tervezőinek, kivitelezőinek és üzemeltetőinek egyaránt a hazai éghajlati viszonyokhoz és építtetői szokásokhoz igazodó épületek létesítésére és használatára.
2. Az építési mód versenyképességének bizonyítása:
   - a fenntartható fejlődés követelményeinek teljesülésével,
   - gyakorlati alkalmazások értékelésével a hagyományos vázkerámiás építéstechnológiához viszonyítva.

III. A KUTATÁS MÓDSZEREI

A korszerű könnyű acélvázas lakóépületek tanulmányozása a fellelhető hazai és külföldi szakirodalom felkutatásával kezdődött. Az építési mód kialakulásának (korai favázas és acélvázas rendszerek, hazai kommunális funkciójú könnyűszerkezetes építés néhány évtizedes múltja) feltérképezése adott alapot a jelenlegi könnyűszerkezetes rendszerek értékeléséhez.

A könnyű acélvázas építés gyakorlati alkalmazásának vizsgálata számos (14 db) építés közbeni és már lakott épület szemléje és szakvéleményezése alapján történt. Egy e célra kidolgozott kérdőív is hozzájárult a lakók tapasztalatainak megismeréséhez az építési folyamatról és a használati benyomásokról.

A könnyű acélvázas építés létjogosultságát egyrészt a hagyományos vázkerámiás építésmóddal való összehasonlítás bizonyítja. Az ökologikus szempontú versenyképesség egy azonos alaprajzú, de kétféle technológiai megoldás figyelembe vételével történő mintaház falszerkezetének mennyiség-, és gyártási energiaigény-számítása alapján igazolódott. Az eredmények alapján következtetések voltak levonhatók a hasznos alapterület arányaira, a létesítés fázisában az építőanyagok gyártási energiaigényére, az indukált energiák mennyiségére és a megszüntetés fázisában a bontás és újrahasznosítás lehetőségeire.

A téma feldolgozásának gerincét egy könnyű acélvázas építési rendszer tanszéki fejlesztése adta, melynek célkitűzései, és azok megvalósítása teljes körűen lefedte mind a műszaki, mind az ökologikus és az építtetői elvárásokat. Az egyszerűsített és részletes épületenergetikai számítás mintaépületét egy, a fejlesztés részeként született acélvázas típusépület szolgáltatta. További 6 mintaépület egyszerűsített épületenergetikai számítása is megtörtént, hogy szélesebb körű konzekvenciákat lehessen levonni.

IV. AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEI

A vastagon szedett szövegrészek ismertetik az új tudományos megállapításokat, a nem vastagon szedett részek azok bevezetését és értelmezését adják.

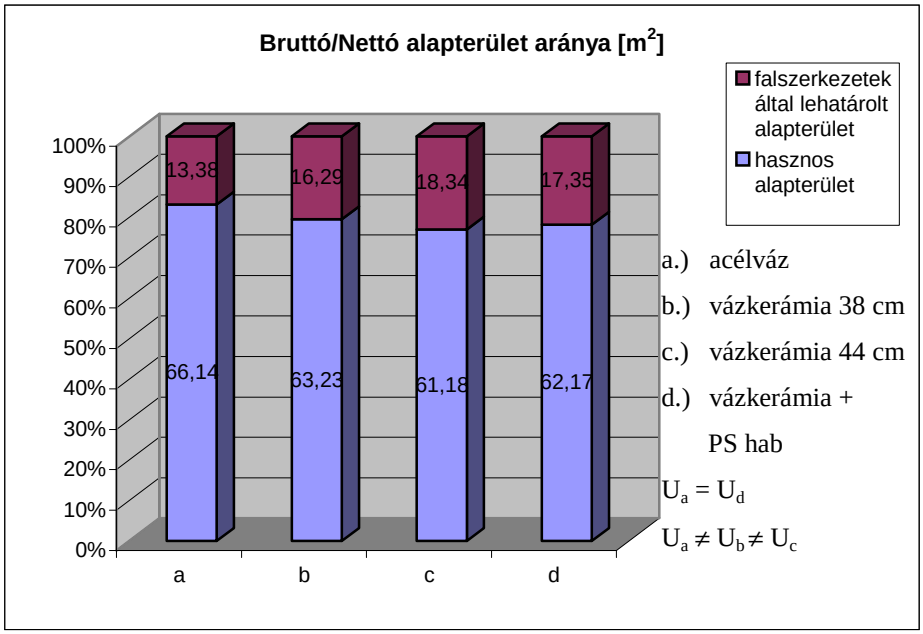
1. **téziscsoport:** Mintaépület életciklus-folyamatainak elemzése acélvázas és vázkerámia teherhordó falas szerkezetek összehasonlításával

Mintaépület külső teherhordó és válaszfalszerkezeteinek négy vizsgált változatából a két mértékadó, azonos hőátbocsátási tényezőjű szerkezet:

- vékonyfalú acélprofilokból szerelt réteges, illetve
- vázkerámia elemekből falazott, külső felületen hőszigetelő szárazvakolattal (PS hab) ellátott fal.

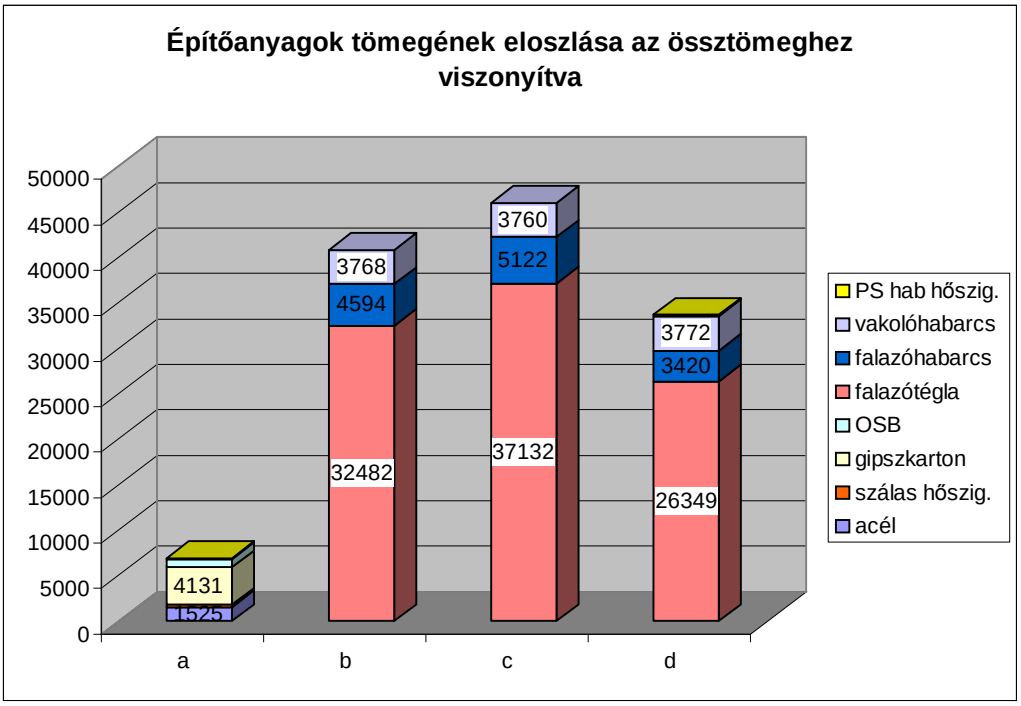
Az anyagmennyiség-számítás alapján a következők mutathatók ki.

Az átlagos könnyű acélvázas családi ház falszerkezetéhez a felhasznált építőanyagok tömege 15-25 %-a, a térfogata 55-65 %-a a vázkerámia teherhordó falas épületekének. Acélvázas réteges falszerkezet kisebb keresztmetszeti szélességéből adódóan azonos bruttó (befoglaló) alapterület mellett a mintaépület hasznos alapterülete ~4 m^2-rel nagyobb, mint a közel kétszeres szélességű vázkerámiás falazat esetén. (A 24 cm-es acélvázas teherhordó fallal azonos hőátbocsátási tényezőt az összesen 41 cm szerkezeti vastagságú hőszigetelő szárazvakolattal ellátott vázkerámiás teherhordó fal adja.) Így a mintaépületnél a hasznos alapterület a bruttó alapterület ~5 %-ával nagyobb az *a.*, mint a *d.* esetben. *(1. ábra)*



1. ábra: Mintaépület hasznos alapterületének kimutatása különböző falszerkezetek esetén

Az átlagos családi ház falszerkezetének tömegében jelentős különbség adódik: a vázkerámiás falszerkezet tömege az acélvázas falnak közel 3,5-szerese. *(2. ábra, 3. táblázat)* Az építőanyagok tömege a létesítés fázisában befolyásolja az építésre fordított energiák mennyiségét és a használat fázisában szerepet játszik az épületek hőtechnikai viselkedésében.



2. ábra: Mintaépület falszerkezetéhez felhasznált építőanyagok tömegének aránya

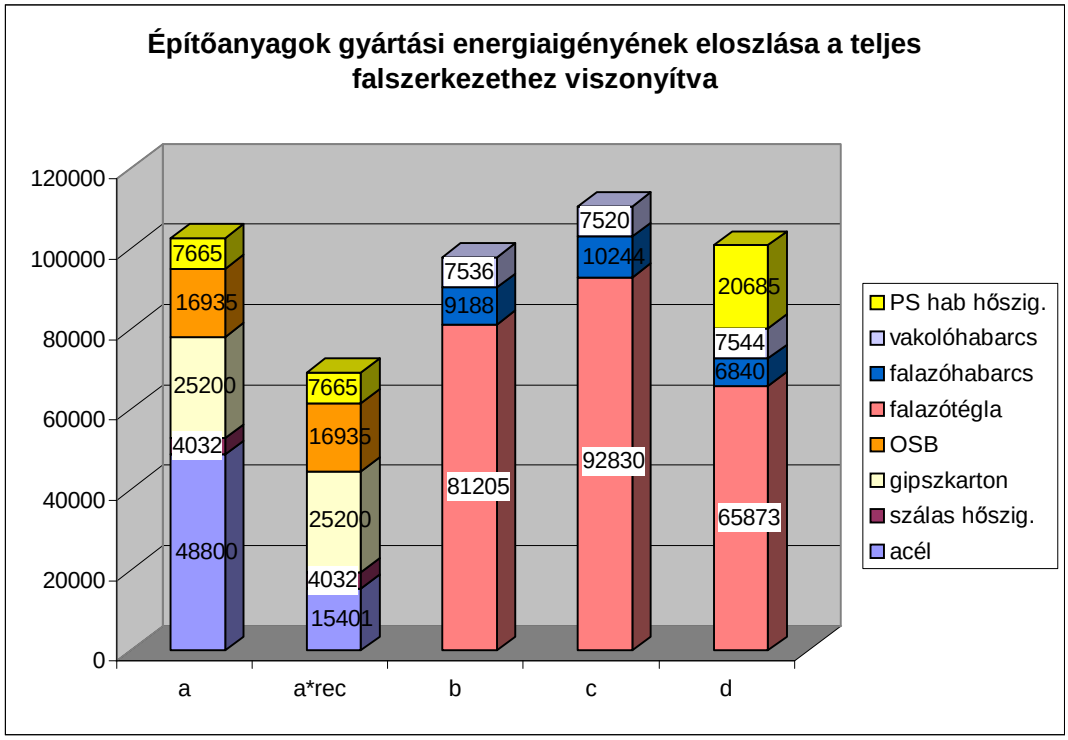
Építőanyagok tömege [kg]				
	a	b	c	d
acél	1525			
szálas hőszig.	288			
gipszkarton	4131			
OSB	896			
PS hab hőszig.	73			197
falazótégla		32482	37132	26349
falazóhabarcs		4594	5122	3420
vakolóhabarcs		3768	3760	3772
Σ	**6911**	**40844**	**46014**	**33738**

3. táblázat: Mintaépület falszerkezeteihez felhasznált építőanyagok össztömege

1.1. Acélvázas átlagos családi ház falszerkezete újrahasznosított acél alapanyag esetén ~31 %-kal kevesebb gyártási energiát igényel, és ez jelentősen csökkenti a létesítési energiákat, így energiatakarékosabb építést eredményez.

Új alapanyagból származó acél felhasználása mellett a falszerkezet gyártási energiaigénye közel egyező az azonos hőátbocsátási tényezőjű vázkerámiás falszerkezetével.

A vázkerámia elemek újrahasznosításának igen korlátozott lehetőségeivel szemben az acél alapanyag többszöri felhasználását tekintve kijelenthető az acélvázas technológia környezetkímélő volta, és versenyképessége a hagyományos épületekkel. *(4. ábra, 5. táblázat)*



	a	a*rec	b	c	d
Σ Gyártási energiaigény [MJ]	102632	69233	97929	110594	100942

4. ábra: Mintaépület falszerkezeteinek gyártási energiaigénye [3] alapján

	a	a*rec	b	c	d
Gyártási energiaigény [MJ]	102632	69233	97929	110594	100942
Hasznos alapterület [m^2]	66,14	66,14	63,23	61,18	62,17
Energiaigény 1 m^2 hasznos alapterületre vetítve [MJ/ m^2]	1551,74	1046,76	1548,77	1807,68	1623,64

5. táblázat: A teljes falszerkezet gyártási energiaigénye egységnyi hasznos alapterületre vetítve

Építési technológiák elemzésének egyik paramétere az indukált energiaigény, amely megadja az építési folyamathoz közvetve felhasznált energiák mennyiségét. Ide tartozik az építőanyagok helyszínre szállítása és az azzal járó forgalomnövekedés terhe, az anyagok raktározásának energiaigénye. Értéke beleszámít az épület teljes életciklusára vonatkozó energiamérlegbe.

Az átlagos családi ház szerkezeteinek tömegéből és térfogatából következik, hogy a könnyűszerkezetes épületek létesítéséhez tartozó indukált energiák összessége kevesebb, mint a vázkerámia teherhordó falas épületek esetében. Az alkalmazott építőanyagok mozgatása, szállítása, valamint raktározása terén további megtakarításokat eredményez a hagyományos építésű épületekhez viszonyítva.

Egy átlagos könnyűszerkezetes lakóház megépítéséhez szükséges anyagok tömege és térfogata lehetővé teszi a teljes anyagmennyiség akár egyszeri, egy tehergépjárművel való helyszínre szállítását. Ezáltal kisebb a szállításból következő környezeti terhelés is.

1.2. Energetika és élőmunkaigény szempontjából is előnyösebbek a szerelt szerkezetek, mint a hagyományos szerkezetek, mivel építésük gyors, pontosabban kivitelezhető és kevesebb hulladékot eredményez. A helyszíni szerelés [mm] pontosságú, és az időjárástól független száraz építési technológia okán a szerelt ház a fogadószerkezet elkészültét követően 3 hónappal beköltözhető, míg egy szilikát épület ~1,5 év múlva. **A gyors kivitelezésnek köszönhetően az építés időtartama alatt a természetes környezet károsodása kisebb mértékű.** Ez magyarázható az építőanyagok kisebb volumenével és ezáltal az alacsonyabb energiaigénnyel. Üzemben leszabott acél vázelemek, az előregyártott építőlemezek és a hőszigetelő táblák méretéből következik, hogy **a keletkező hulladék mennyisége elmarad a hagyományos technológiáknál tapasztaltaktól.** (A csekély mértékű hulladék keletkezését alátámasztották az acélvázas épületek lakóinak az építés közbeni tapasztalatokra vonatkozó nyilatkozatai is.)

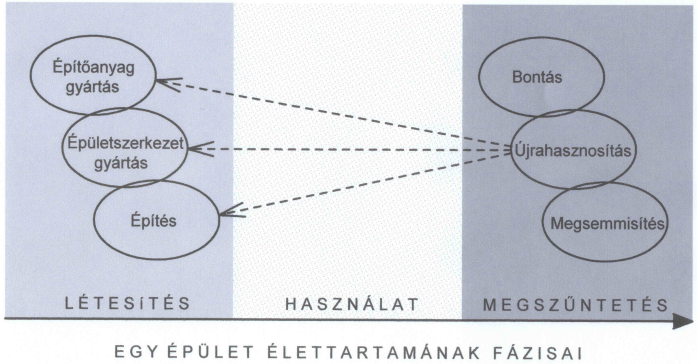
1.3. A használati értéket tekintve az acélvázas lakóházak nem maradnak el a hagyományos épületektől. Sok esetben meg is haladhatják a szilikátbázisú építőanyagokból készült házakét:

- az üzemeltetési költség alacsony a kiváló hőszigetelő tulajdonságból adódóan;
- a rendszer flexibilitásának köszönhetően az általános funkcionális igények kielégítésének szerkezeti sajátosságok nem szabnak határt;
- variabilitás jellemzi, hiszen az időben változó követelményekhez képes igazodni a válaszfalak áthelyezésével; könnyen, gyorsan és gazdaságosan bővíthető, fejleszthető;
- kellemes hőérzetet nyújt, mivel a gipszkarton burkolat felülete közel azonos hőmérsékletű, mint a belső levegő hőmérséklete; a gipszkarton páragazdálkodó tulajdonsága kedvezően befolyásolja a belső tér levegőminőségét.

A hátrányos tulajdonságok kompenzálhatók, felügyelhetők:

- kis hőtároló kapacitás miatt a nagy tömegű épületszerkezetekre jellemző hőcsillapító hatás elmarad - e jelenség kompenzálható hideg padlóburkolattal és külső mobil árnyékolókkal, továbbá célszerűen telepített növényzettel (napos homlokzat elé lombhullató fafajták, növényzettel futtatott pergolák);
- tartósság szempontjából a fokozott nedvességérzékenység meghatározó - megfelelő használat és rendszeres karbantartás mellett élettartamuk elérheti a hagyományos épületekét.

1.4. A szerelő jellegű építéstechnológiával megvalósított acélvázas lakóépületek a megszüntetés fázisában is előnyösek, mivel szétszerelésükkel egyszerű bontás valósítható meg. Ez csak csekély mértékű roncsolással jár, ami a visszanyert építőelemek újbóli felhasználását teszi lehetővé. Az építőelemek kiválogatása során eldönthető, hogy milyen formában történhet az újrahasznosítás, vagy a megsemmisítés. Az építőanyagok egy része közvetlenül (elsődlegesen), másik része pedig közvetve (másodlagosan) hasznosítható. Előbbi a nem sérült elemek ismételt beépítését, míg az utóbbi az anyagok alapanyagként való újbóli felhasználását jelenti. Tehát megállapítható, hogy a bontás utáni újrahasznosítás lehetősége fennáll mind az új építőanyag gyártás, mind az épületszerkezet szerelés és a szerkezetépítés területén. *(6. ábra)*



6. ábra: Épület élettartama - fázisok és összefüggéseik

2. téziscsoport: Új acélvázas építési rendszer fejlesztése

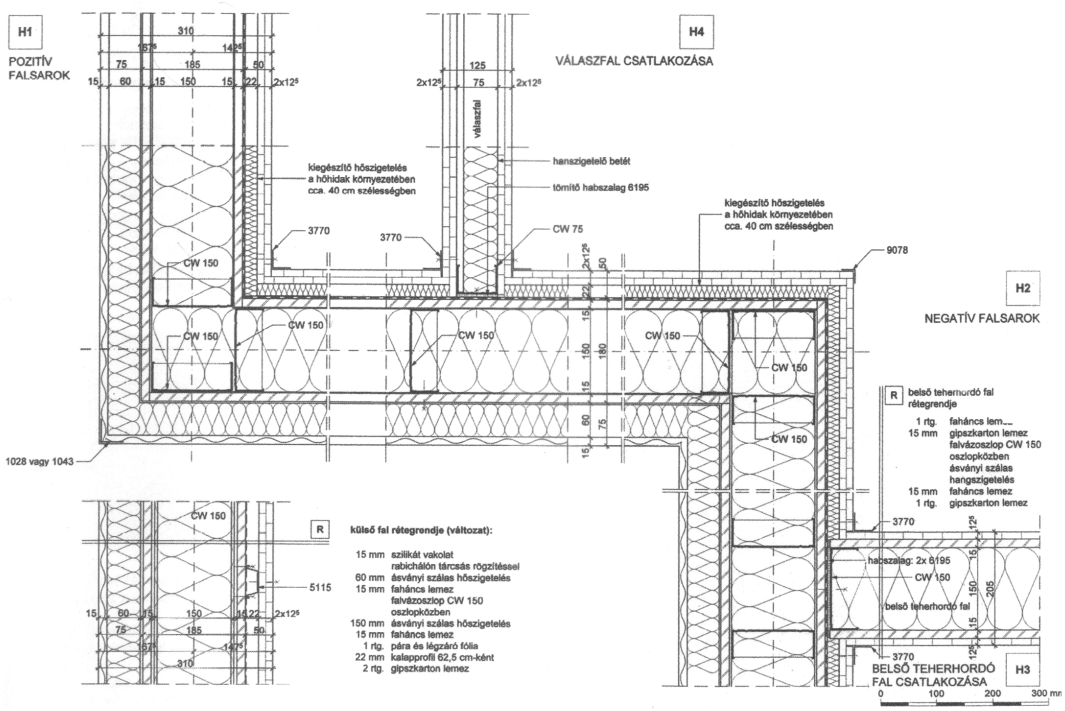
2.1. A hazai könnyű acélvázas építési rendszerek kutatása és az adott rendszer vizsgálata, szakvéleményezése alapján statikai, épületszerkezeti és épületfizikai szempontok merültek fel, melyek megalapozták a gyakorlatban széleskörben alkalmazott építési rendszer fejlesztését.

A vizsgálatok igazolták, hogy a fejlesztés lehetséges a rendszer alapvető elveinek feladása nélkül, a szerkezeti, anyagválasztási és kivitelezés-technológiai újítások bevezetése azonban elősegíti mind az építés-kivitelezést, mind a hazai építtetői igényekhez való alkalmazkodást, továbbá kiküszöböli a könnyűszerkezetes építés jellemző hibalehetőségeit.

A szerkezetfejlesztő tevékenység során nyilvánvalóvá vált, hogy az nem korlátozódhat az egyes elemekre, hanem ezzel egyenértékűen fontos az elemek adott építési rendszerbe való integrálása, az egyes elemeknek a rendszerrel, mint egésszel való harmóniájának megteremtése. Ilyen célú fejlesztés csak a rendszer mélyreható ismeretében, az ahhoz illeszkedő szerkezetekkel, rendszer-specifikus megoldásokkal lehetséges.

E feltételrendszer figyelembevételével a fejlesztés megoldást nyújt az alábbi épületszerkezeti részekre:

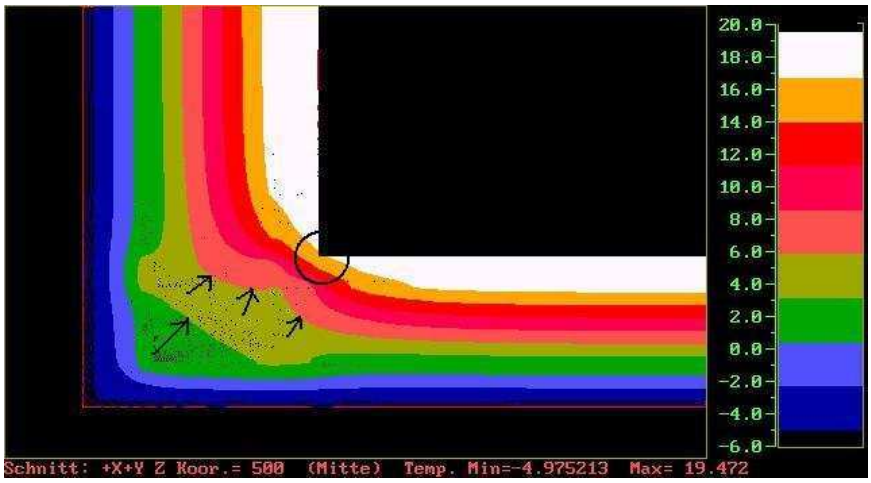
- acél fedélszerkezet kialakítása és a tetőtérbeépítés megoldása,
- szerelt erkélyek tartószerkezeti és épületszerkezeti megoldása,
- szerelt belső lépcsők rendszerbe illesztése, a kidolgozott szerkezeti megoldások adaptálhatóságának biztosításával,
- az eredeti rendszerhez képest építéstechnológiai és hőtechnikai szempontokból kedvezőbb rétegrendi felépítések *(7. ábra)*.



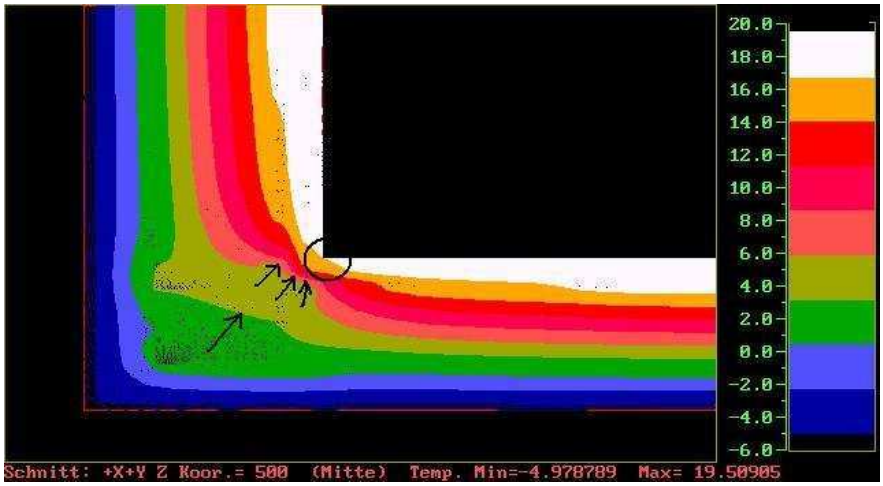
*7. ábra: Külső teherhordó fal sarokcsomópontjai, teherhordó- és válaszfal csatlakozása**

2.2. Az épületszerkezeti fejlesztést minden esetben párhuzamos épületfizikai szakági munka kell, hogy megalapozza. A tevékenység során a vonalmenti hőátbocsátási tényezők meghatározása számítógépes szimulációk alapján történt. A szimuláció helyességét a fejlesztést megelőző szakvéleményezési fázisban elvégzett termovíziós felvételek kiértékelésével kapott eredmények igazolták. A verifikálás alapján az új szerkezetek szimulációs eredményei biztonsággal felhasználhatók voltak.

Példaként említhető a teherhordó fal sarokcsomópont belső légrésének kitöltése hőszigeteléssel. Általános falszakasznál a belső gipszkarton burkolatot tartó kalapprofilok síkja bezárt légréteget képez. Ez szolgál a villanyszerelés céljaira, ami így a pára- és légzáró fólia megsértése nélkül kivitelezhető. Az épületszerkezeti fejlesztés kiterjedt a légrések sarkok mentén hőszigeteléssel történő kitöltéséből származó hatások kimutatására is. A szimulációs futtatások a *8., 9. ábrákon* látható hőmérséklet-eloszlásokat rajzolták ki. Az ábrák összehasonlításával látható a hőmérsékleti határvonalak belső sarok felé való eltolódása, valamint második esetben a sarok hőmérsékletének belső hőmérséklettel való egyezése. Alapesetben a sarokcsomópont vonalmenti hőátbocsátási tényezője 0,091 W/mK, míg hőszigeteléssel kitöltött légréteg esetén 0,063 W/mK**. E jelentős javulás igazolja a hőszigetelő anyag légrésben való alkalmazásának hatékonyságát.



*8. ábra: Külső teherhordó falsarok (7. ábra) izotermái kitöltetlen belső légréssel***



*9. ábra: Külső teherhordó falsarok (7. ábra) izotermái hőszigeteléssel kitöltött belső légréssel***

3. téziscsoport: Mintaépületek (7 db) energetikai összehasonlítása könnyű acélvázas és hagyományos szerkezetű kialakítások esetére

3.1. Könnyű acélvázas és hagyományos szerkezetű mintaépületek egyszerűsített számítással végzett energetikai összehasonlítása alapján az alábbi megállapítások tehetők:

3.1.1. A külső árnyékoló szerkezetek szerepe a családi házak nyári túlmelegedése megakadályozásában kulcsfontosságú. *(10. táblázat)*

3.1.2. A jobb hőszigetelő képességű falszerkezettel rendelkező acélvázas házak fajlagos fűtési energiaigénye ~9,1 %-kal kevesebb a vázkerámiás épületénél. *(10. táblázat)*

ad. 3.1.1. A túlmelegedés a külső és belső hőmérsékletek napi átlagos különbsége alapján ítélhető meg [4]:

$$\Delta t_{bnyár} = \frac{Q_{sdnyár} + A_N \cdot q_b}{\Sigma A \cdot U_R + \Sigma l \cdot \psi + 0{,}35 \cdot n_{nyár} \cdot V}$$ [K], ahol:

A_N	[m^2]	nettó alapterület,
q_b	[W/m^2]	belső hőnyereség (q_b = 5 W/m^2)
$n_{nyár}$	[1/h]	légcsereszám a szellőzési lehetőségek függvényében ($n_{nyár}$= 9)
V	[m^3]	fűtött légtér
$\Sigma A \cdot U_R + \Sigma l \cdot \psi$		felületi és vonalmenti hőveszteségek
$Q_{sdnyár}$ [W] = $\Sigma A_ü \cdot I_{nyár} \cdot g_{nyár}$		a nyári sugárzásos hőterhelés
$I_{nyár}$	[W/m^2]	átlagintenzitás a nyári túlmelegedéshez
$g_{nyár}$		az árnyékolók hatását figyelembe vevő sugárzásátbocsátás.

A követelmény q_b < 10 [W/m^2] korlátozás mellett:

– nehéz épületszerkezetek esetén: $\Delta t_{bnyár}$ < 3 [K],

– könnyű épületszerkezetek esetén: $\Delta t_{bnyár}$ < 2 [K].

Az épületek jellemzőit figyelembe véve a $\Delta t_{bnyár}$ értéke kiszámításra került a tervben szereplő külső árnyékolókat figyelembe vevő, illetve figyelmen kívül hagyó $Q_{sdnyár}$ értékeivel ($g_{nyár}$ értékeinek változtatása). Az eredmények acélvázas és vázkerámia épületszerkezetek esetén is megfelelnek a követelményeknek külső árnyékolókkal. Azonban a nyílászárókat árnyékoló szerkezet nélkül vizsgálva, a hőterhelés értéke egyes esetekben többszörösére is növekedett. Ekkora hőterhelés mellett a könnyűszerkezetes épület nem felel meg a külső-belső hőmérséklet-különbség előírásának. Ezáltal válik bizonyítottá, hogy könnyűszerkezetes épületek nyílászáróin külső mobil árnyékolók beépítése elengedhetetlen.

ad. 3.1.2. Ez az érték már egy fűtési idényben megmutatkozó megtakarítást tükröz.

A fűtési rendszerrel fedezhető, nettó fűtési energiaigény fajlagos értéke kiválóan alkalmas épületek összehasonlítására, meghatározása az alábbi képlet alapján történik:

$$q_F = \frac{Q_F}{A_N}$$ [kWh/m^{2}a], ahol

Q_F az adott épület fűtési energiaigénye [4], amelyben a mintaépületek kétféle rendszer esetén számított q fajlagos hőveszteségtényezője és a fűtött térfogat értéke volt eltérő, a mintaházakra jellemző többi paraméter megegyezett.

Mintaház fantázianeve	$Q_{Sdnyár}$ [m^2] árnyékolóval #	árny. nélkül #	~Δq_F [%]	Energetikai minősítés Porotherm [%]		Hardell [%]	
Myra	1360,330 megfelel	2449,850 nem felel meg	7	90,6	B - C˘˘	87,2	B
Lyra	524,370 megfelel	1417,070 nem felel meg	10	90,3	B - C˘˘	85,2	B
Minor	757,868 megfelel	1315,860 megfelel	12	90,0	B	83,2	B
Antares	488,280 megfelel	2441,400 nem felel meg	5	90,5	B - C˘˘	88,5	B
Mogyoród3	285,188 megfelel	811,688 megfelel	10	88,3	B	83,6	B
Abony	247,026 megfelel	1129,830 megfelel	12	89,8	B	84,2	B
Norma	1349,790 megfelel	1919,060 nem felel meg	8	90,1	B - C˘˘	86,3	B
	átl.		**~9,1**	átl. 89,9		átl. 85,5	
# Az értékek alatti minősítés (megfelel/nem felel meg) az acélvázas épületre vonatkozik, a hagyományos épület minden esetben megfelelt.				**Δ átl. = 4,4 %**			
				˘˘ B: 61-90%; C: 91-100%			

10. táblázat: Mintaépületek egyszerűsített számításainak eredményei

3.2. A „Myra” mintaépület részletes energetikai számítása bebizonyította:

3.2.1. A fajlagos hőveszteségtényező értékének meghatározásában a vonalmenti hőveszteségek aránya növekedett az egyszerűsített számításhoz képest. Ezért kimondható, hogy főképp alaprajzilag igen tagolt és sok nyílászáróval rendelkező épület esetén részletes energetikai számítást szükséges végezni. *(11. táblázat)*

3.2.2. A fajlagos hőveszteségtényező értéke jelentősen javult a sugárzási nyereség figyelembe vételével mindkét konstrukció esetében. *(11. táblázat)*

ad. 3.2.1. A részletes energetikai számításból látható, hogy melyek az épület kritikus helyei. A hőveszteségek részletezésével válik egyértelművé, hogy mely épületszerkezet esetében, vagy csatlakozásánál érdemes javítani a követelményeknek való megfelelés érdekében. Az egyszerűsített számításban megfelelt vázkerámiás épület felépítése a részletes számításban már nem felelt meg, ezért a padló kiegészítő hőszigetelésére volt szükség. Ez már elegendőnek bizonyult, míg az acélvázas épület a követelménynek változtatás nélkül megfelelt.

ad. 3.2.2. Ez az eredmény nem volt feltétlenül várható a könnyűszerkezetes épületnél, mivel a sugárzási nyereség a részletes számításnál is kisebb értékkel vehető figyelembe (a fűtési idényre számítható direkt sugárzási nyereség megállapításához ún. hasznosítási tényezőt (ε) kell figyelembe venni, ami az épület hőtároló tömegétől függ: nehéz szerkezetekre ε=0,75, könnyű szerkezetekre ε=0,50), míg a vonalmenti hőveszteségek részletezése nagyobb hőveszteség-értéket jelent. A fajlagos hőveszteségtényező változását az egyszerűsített számításhoz képest a vonalmenti hőhidak részletezése és a fűtési idény alatti direkt sugárzási nyereség meghatározására szolgáló benapozásvizsgálat elvégzése okozta. (*11. táblázat*)

A fajlagos hőveszteségtényező számítása [4]:

$$q = \frac{1}{V}\left(\Sigma A \cdot U_R + l \cdot \psi - \frac{Q_{sd} + Q_{sid}}{72}\right) \text{ [W/m}^3\text{K], ahol}$$

V	[m^3]	a fűtött térfogat,
$\Sigma A \cdot U_R$	[W/K]	transzmissziós hőveszteség,
$l \cdot \Psi$	[W/K]	vonalmenti hőveszteség,
Q_{sd}	[kWh/a]	direkt sugárzási nyereség a fűtési idényre,
Q_{sid}	[kWh/a]	indirekt sugárzási nyereség (Q_{sid}=0)

Számítás	változat	$\frac{\Sigma A \cdot U_R}{V}$	$\frac{l \cdot \psi}{V}$	q *Q_{sd} nélkül*	$\frac{Q_{sd}}{72 \cdot V}$	q	q_m *(köv. érték)*	*Javulás értéke (q : q-Q_{sd} nélkül)*
Egyszerűsített	PTH 38 HS + 20cm hősz. födémen	0,390	0,168	0,558	0,052	0,506	0,526	9,32%
		69,89 %	30,11%					
	H	0,339	0,162	0,501	0,033	0,468	0,523	6,59 %
		67,66 %	32,34 %					
Részletes	PTH 38 HS + 20cm hősz. födémen	0,342	0,272	0,614	0,083	0,531	0,526	13,52 %
		55,70 %	44,30 %					
	PTH 38 HS + 20cm hősz. födémen + 4cm hősz. padlóban	0,342	0,256	0,598	0,083	0,515		13,88 %
		57,19 %	42,81 %					
	H	0,311	0,194	0,505	0,052	0,453	0,523	10,30 %
		61,58 %	38,42 %					

11. táblázat: Fajlagos hőveszteségtényezőt befolyásoló tényezők aránya

3.3. A számítások rávilágítanak a kétféle technológia esetén a mintaépületek eltérő épületfizikai viselkedésére. Az egyszerűsített épületenergetikai számítások végeredményei kimutatták, hogy az acélvázas rendszer energetikai minősítési értéke közel 5 %-kal jobb a vázkerámiás épületekénél. *(10. táblázat)*

V. AZ ÉRTEKEZÉS EREDMÉNYEINEK HASZNOSÍTÁSI LEHETŐSÉGEI

Az értekezés eredményei összefoglalják mindazon feltételeket, amelyek betartásával a tervezők, a kivitelezők és az épület üzemeltetői megfelelő szerkezeti- és lakóminőségű épületet létesíthetnek, illetve használhatnak. Az eredmények tükrében célszerűnek mutatkozik, hogy az építők, ill. forgalmazók a használók számára az épület üzemeltetésére vonatkozó legfontosabb tanácsokat összefoglalják.

Az ökologikus jellemzők bemutatásával és kiértékelésével bizonyítottá vált az építési mód fenntartható fejlődés követelményeinek való megfelelése, használata esetén megvalósul a környezetkímélő építés szempontrendszere.

Az acélvázas könnyűszerkezetes épületek fejlesztésével olyan építési rendszer született, amely méreteit tekintve rendezett, lehetővé teszi a [mm] pontos kivitelezést és megoldásaiban kiküszöböli a hibalehetőségeket. Épületszerkezeti kialakításaiban igazodik a vázas szerkezeti felépítéshez, rétegrendjeiben alkalmazza a szerelt házak megfelelő anyagait, burkolataival pedig kompenzálja a könnyű acélvázas épületek hátrányos tulajdonságait (pl. a csekély hőtároló tömegből adódókat).

Az új épületenergetikai szabályozás alapján kiszámolt minősítés bizonyítja a könnyű acélvázas épületek kiváló hőszigetelő tulajdonságait, versenyképességét a hagyományos építéstechnológiával.

VI. JÖVŐBENI KUTATÁSI LEHETŐSÉGEK

Az új acélvázas építési rendszer funkció szerinti bővítése sorházak, társasházak és középületek esetére.

Az acélvázas építési rendszer alkalmazásának kiterjesztése felújítás és emeletráépítés más anyagú primer teherhordó váz (vasbeton, vagy melegen hengerelt acél) esetén.

Az új épületenergetikai szabályozás szerinti számítások folytatása: üvegezett terek (pl. télikertek) hatásának vizsgálata.

A további számítások az épületek teljes életciklus-folyamatainak modellezésére, energiamérleg felállítására.

VII. HIVATKOZÁSOK A TÉZISFÜZETBEN

[1] Dr. Sebestyén Gyula: Könnyűszerkezetes építés
Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1972, ETO: 624.01, 69

[2] Dr. Széll Mária: Építési és szerkezeti rendszerek,
Internetes jegyzet az Épületszerkezettan és épületfizika III. tárgyhoz
www.met.bme.hu

[3] T.Y. Chen, J. Burnett, C.K. Chau: Analysis of embodied energy use in the residential building of Hong Kong
Energy 26 (2001) 323-340, www.elsevier.com (www.eisz.hu)

[4] Az új épületenergetikai szabályozás – Segédlet 2006. január
Kidolgozták: Prof. Zöld András, Baumann Mihály, Dr. Csoknyai Tamás, Dr. Kalmár Ferenc, Dr. Magyar Zoltán, Dr. Majoros András, Dr. Osztroluczky Miklós, Szalay Zsuzsa, *Kiadja: BAUSOFT Pécsvárad Kft.*

***** Dr. Széll Mária – Dudás Annamária – Megyesi-Jeney András – Tömböly Cecília – Szirmai Balázs: Új Profilház könnyű acélvázas építési rendszer épületszerkezeti tervek és műleírás, *Budapest, 2004. június*

****** A szerző a szimulációs vizsgálatoknál épületszerkezeti előkészítéssel, konzultációval segítette a számítógépes modell felállítását, és a számítást Ifj. Várfalvi Jánossal közösen végezte.

VIII. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓK

Magyarországon megjelent idegen nyelvű folyóiratcikk

1. Dudás, A., „Light Steel Structures in Residential House Construction”, *Periodica Politechnica Civil Engineering 47/1*. Budapest, ISSN 0553-6626 pp 133-136 (2003) L
   elektronikusan megtalálható: http://www.pp.bme.hu/ci/index.html, ISSN 1587-3773
2. Dudás, A., „The thermal analysis of light steel-frame dwelling houses”, *Periodica Politechnica Civil Engineering 50/1*. Budapest, ISSN 0553-6626 pp. 11-17 (2006) L
   elektronikusan megtalálható: http://www.pp.bme.hu/ci/index.html, ISSN 1587-3773
   magyar nyelvű előadása:
   Tudományos Ülés Dr. Karácson Sándor professzor tiszteletére, BME, Oktatói Klub 2004. december 10.

Nemzetközi konferencia-kiadványban megjelent idegen nyelvű előadás

3. Dudás, A., „Development and application of light construction building system in Hungary – constructional, building physical and environmental friendly comperative analysis of the living-house”, *4th International Ph.D. Symposium in Civil Engineering,* Munich, Germany, September 19-21, 2002.
   ISBN 3-935065-09-4 pp. 101-107.
4. Dudás A., „Environmental Friendly Analysis of the Light Construction Building System”
   I. Ph.D. Civilexpo, Budapest, 2002. november 21-22.
   ISBN-963-421-564-5 pp 30-35. L
5. Dudás, A., „Thermal bridge problems of steel-framed light construction buildings”, *5th International Ph.D. Symposium in Civil Engineering,* Delft, The Netherlands, June 16-19, 2004.
   ISBN 90 5809 678 5 pp. 1223-1229. L

Magyar nyelvű, kiadványban megjelent konferencia-előadás

6. Dudás A., „Energiatudatos tervezési elvek az acélvázas könnyűszerkezetes családi házaknál”, *Tavaszi Szél doktorandusz konferencia,* Sopron, 2003. május 19-22.
   ISBN 963-210-376-9 pp. 59-62. L
   Elektronikusan megtalálható:
   http://www.phd.hu/tavasz2003/tsz_2003/tudomanyosszekciok/tavasziszel2003_dudasannamaria.htm

7. Dudás A., „Szerkezeti rendszerek az acélvázas lakóházépítésben”, *XXIX. Épületszerkezettani Konferencia*, Debrecen-Nyíregyháza, 2004. május 26-28. Konferencia kiadvány, 26-31. o.

Magyar nyelvű folyóiratcikk

8. Dudás A., „Acélvázas lakóházak épületfizikai kérdései”, *Építő Mester folyóirat, 2003. szept.*, ISSN 1416-6887, 26-29. o.
   elektronikusan megtalálható:
   http://www.archiweb.hu/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=54
   http://www.a-keszhaz.hu/cikk.php?cid=83&pid=2 (előző forrás alapján)
9. Dudás A., „Acélvázas lakóházak építőanyagainak újrahasznosítása”, *Magyar Építéstechnika 2004/2.*, ISSN 1216-6022, 20-21. o.
10. Dudás A., „A jurtától az acélvázas épületig – A könnyűszerkezetes lakóépületek sajátosságai”, *Építés-felújítás 2004. április*, 4-7. o.
11. Dudás A., „Új könnyű acélvázas építési rendszer fejlesztése”, *Építész Spektrum 2005. IV. évf. 1. szám*, HU ISSN 1587-8724, 18-22. o. L
12. Dudás A., „Könnyű acélvázas lakóházak vizsgálata”, *Könnyűszerkezetes Építés I. évf. 1. szám, 2005. november*, 12-16. o.

Elektronikus jegyzet

13. Dudás A., Készházak – *alfejezet Dr. Széll Mária: Épületszerkezettan és épületfizika 3. tantárgy Építési és szerkezeti rendszerek jegyzetében, 2005. 03. 31.*
    elektronikusan megtalálható:
    http://www.met.bme.hu/Tantargyak/szabad/epszerk3/Eloadasok/szerkrend/szerkrend.htm

Jegyzet - előadás vázlat

14. Dudás A., Szárazépítés és könnyűszerkezetes lakóházak – *Építőipari Igazságügyi Szakmérnök képzésben tartott előadásokhoz tartozó jegyzet*

Nem publikációértékű munkák

Dudás A., „Acél alkalmazása a lakóházépítésben – könnyűszerkezetes építésmódok komplex elemzése a hagyományos építésmódokkal való összevetés tükrében”, *magyar nyelvű poszter*, Tavaszi Szél doktorandusz konferencia, Gödöllő, 2002. április 12.

Dudás A., „Szárazépítés – Könnyűszerkezetes lakóházak” témakörben előadások:

BME Mérnöktovábbképző Intézet,

Műszaki ellenőr képzés: 2005.04.28., 2006.12.07., 2007.04.26.

BME Építőipari Igazságügyi Szakmérnök képzés: 2006.10.11., 2007.03.30.

BME Építőmérnöki Szakkollégium: 2005.12.13.

Az értekezés témakörében készített szakvélemény

Dr. Széll M., Dudás A., Megyesi-Jeney A.: „Épületszerkezeti szakvélemény a Protektorwerk Hungária Kft. Profilház rendszerű 14 épületének tanulmányozása alapján”

Budapest, 2004. június