

Membrán hatás kompozit szerkezeteknél tűz esetén I. – A Cardington teszt

Több országban végzett valós méretű tűztesztok és valós tüzesetek alapján tett megfigyelések is rámutattak, hogy a vasbeton acélszerkezetes szerkezetek tűz alatti viselkedése sokkal jobb, mint ahogyan azt az izolált elemeken végzett tűztesztok mutatták. Nyilvánvaló, hogy a modern acélvázaz épületekben nagy tartalékok találhatóak a tűzállóság terén, valamint az is, hogy a szabványos, nem befogott szerkezeti elemeken végzett tűztesztok nem képesek az ilyen szerkezetek tűz alatti viselkedésére kielégítő indikátort nyújtani.

Tervezési modell

Az 1995 és 1996 között végrehajtott BRE Cardington valós méretű épületen végzett tűzteszt program során tett megfigyelések és elemzések eredményeként egy egyszerű – a vasbeton födémek membrán-hatásán alapuló – tervezési modell került kifejlesztésre, amely lehetővé teszi a tervezők számára az öszvérfödémekben rejlő tűzállóképesség kihasználását anélkül, hogy a teljes épület viselkedésének komplex véges-elemes analíziséhez kellene folyamodniuk. Azonban sajátos jellege miatt ez az innovatív tervezési eljárás még mindig ismeretlen a legtöbb mérnök és hatóság számára. Ezért dolgoztuk ki egy dokumentumot, hogy minden szükséges háttér-információt ismertessen, és segítse az olvasót a fentebb említett egyszerű tervezési eljárás ajánlásainak megértésében.

Az alábbi műszaki dokumentum ismerteti az egyszerű tervezési módszer elméleti hátterét és kidolgozását a tűzvédelmi tervezésben történő alkalmazáshoz. A már létező és releváns, a világ számos pontján végzett valós méretű tűztesztok áttekintését is ismertetjük, és a kapcsolódó teszt-eredmények összefoglalása is megtalálható a dokumentumban. A dokumentum emellett a többemeletes épületek véletlenül bekövetkezett tüzesetek alatti viselkedése alapján tett megfigyelésekről is tartalmaz információkat. Másrészt viszont a dokumentum részletes magyarázatot ad a vasbeton födémrendszerek új, nagyméretű hosszú időtartamú, ISO tűzkörülmények között végzett tűztesztjeire, ami további bizonyítékokat szolgáltat az egyszerű tervezési eljárás érvényességére vonatkozóan. Az egyszerű tervezési modell konzervativitása is tisztán szemléltetésre kerül a fejlett számítási modellek segítségével elvégzett paraméteres numerikus tanulmányokkal való összehasonlítás révén. Jelen tanulmányban több részletben ismertetjük az ezen területen elért eredményeket.

Egyszerű tervezési eljárás Vizsgálatok kimutatták, hogy a kiváló tűz alatti viselkedés az acélhálóval erősített betonfödémekben a húzóerő hatására kialakuló membrán-hatásnak, valamint az acélgerendákban kialakuló lánchatásnak tudható be. A fent említett megfigyelések és vizsgálatok következményeképpen egy új tűzvédelmi tervezési koncepció került kidolgozásra az Egyesült Királyságban a modern, többemeletes acélvázaz épületekre vonatkozóan. A vasbeton födémek ezen eljárás szerint történő tervezésére a tervezési útmutatót és szoftveres tervezési eszközöket először 2000-ben publikálták. Angliában azóta is számos épület profitált az egyszerű tervezési eljárás alkalmazásából a lecsökkent tűzvédelmi költségek révén⁽¹⁾.

Ez a tervezési koncepció lehetővé teszi a tervezők számára, hogy az épület teljes viselkedését vizsgálják, így lehetővé egyes szerkezeti elemek védtelenül hagyását a teljes tűzvédelemmel ellátott szerkezetektől elvárt biztonsági szint megtartása mellett. A tervezési eljárás emellett lehetővé teszi a részlegesen védett

öszvérfödémek tűzállóképességének felmérését természetes vagy szabványos tűz esetére is. Ez utóbbi különösen fontos, hiszen lehetővé teszi, hogy a tervezési koncepciót a specializált tűzvédelmi ismeretekkel nem rendelkező tervezőmérnökök is alkalmazzák.

Bár Angliában már széles körben alkalmazzák, a tűzállóság membrán- és lánc-hatás következtében kialakuló javulása még mindig nagyon új felfogásmód az európai mérnökök és szabályozó hatóságok nagy részének számára.

Célok – műszaki támogatás

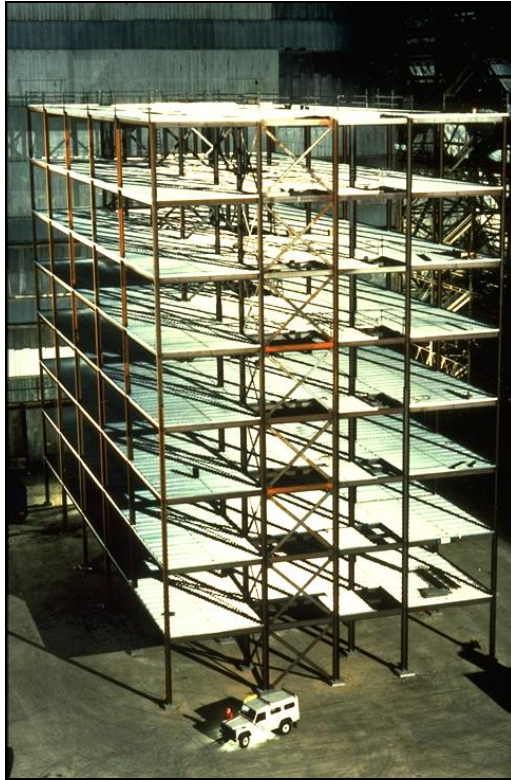
A potenciális felhasználók informálásának érdekében az alábbi dokumentum célja, hogy egy szilárd műszaki támogatást nyújtson a tervezési eljáráshoz, magába foglalva:

- a nagyméretű tűztesztok és véletlen tüzesetek által szolgáltatott, vasbeton szerkezetek tűz alatti viselkedésére vonatkozó bizonyítékok ismertetése;
- a lapos idomok és sejszerkezetű gerendák által megtámasztott vasbeton födémekre vonatkozó egyszerű tervezési modell elméleti alapjának részletes magyarázata;
- az öszvérfödém szerkezetek tűzállóképességének felmérése vonatkozó egyszerű tervezési modell által alkalmazott alapvető feltételezések ismertetése;
- egy valós méretű, öszvérfödém szerkezeten végzett demonstrációs tűzteszt részletei, az EN 1365-2 szerinti szabványos hőmérséklet-idő görbe alapján, több mint 120 perc időtartammal;
- egy részletes numerikus parametrikus vizsgálat az egyszerű tervezési módszer eredményének igazolására.

CARDINGTON TŰZTESZT PROGRAM

Kutatási program

1996 szeptemberében egy tűztesztet végeztek el az Angliai „Building Research Establishment” Cardingtoni laboratóriumában. A teszteket egy nyolcemeletes vasbeton szerkezetes, merevített acélvázás épületen végezték el, amely egy tipikus többemeletes irodaépületnek megfelelően lett megtervezve és felépítve. A teszt célja valós épület tűz alatti viselkedésének vizsgálata, valamint adatok gyűjtése volt, amely lehetővé tenné szerkezetek tűz alatti viselkedését elemző számítógépes programok ellenőrzését.



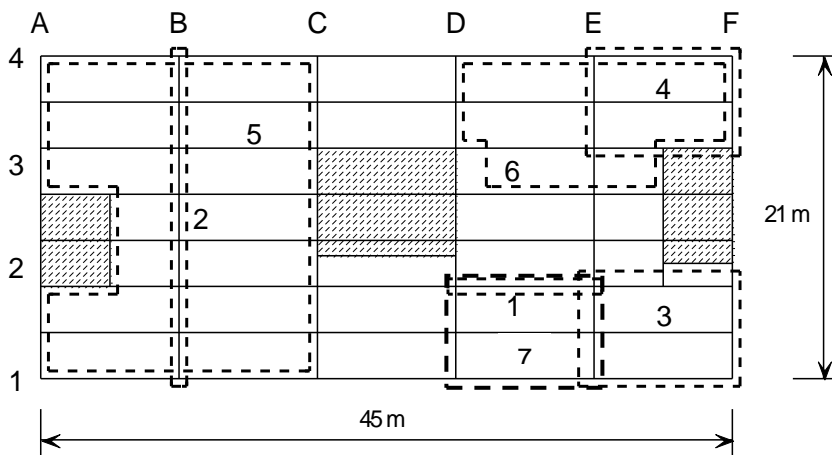
1. ábra Cardington tesz-épület a födécek betonozása előtt

A tesztpéület (ld. 1 ábra) úgy lett megtervezve, hogy egy gyakori példáját képviselje a merevített szerkezetes épületeknek, az Angliában is gyakori terhelési szintek mellett. A tervrajznak megfelelően, a szerkezet 21 m × 45 m méretű, a teljes magassága 33 m volt. A gerendák szabadon felfekvőek, a 130 mm vastag vasbeton födémmel együtt. Az ilyen típusú épületeknél jellemzően 90 perc az elvárás a tűzzel szembeni ellenállásra. A gerenda-gerenda kötésekénél gerincbekötő lemezeket, míg a gerenda-oszlop kötésekénél rugalmas homloklemezeket alkalmaztak. A szerkezet terhelését a minden szinten a tipikus irodai terhelésnek megfelelően elosztott homokzsákok biztosították.

Résztvevők, támogatók

A kutatási programon belül két projektet hoztak létre. Az egyik projektet a Corus (korábban British Steel) támogatta az Európai Szén- és Acélközösséggel közösen (ECSC); a másikat az Egyesült Királyság kormányzata a Building Research Establishment (BRE) intézeten keresztül. A projektben részt vevő további szervezetek a Sheffield Egyetem, TNO (Hollandia), CTICM (Franciaország) és a „The Steel Construction Institute” voltak.

A tűztesztet 1995. január és 1996. július között végezték el. A tesztet különböző szinteken végezték el; az egyes tesztek helyszínei a 2 ábrán láthatóak az alaprajzon.



- | | |
|---------------------------|-------------------------------|
| 1. Befogott tartó (ECSC) | 4. Sarokmező (BRE) |
| 2. Síkbeli keret (ECSC) | 5. Nagyterületű teszt (BRE) |
| 3. Sarokmező (ECSC) | 6. Irodai demonstráció (ECSC) |
| 7. Központi terület (CTU) | |

2. ábra Teszthelyszínek

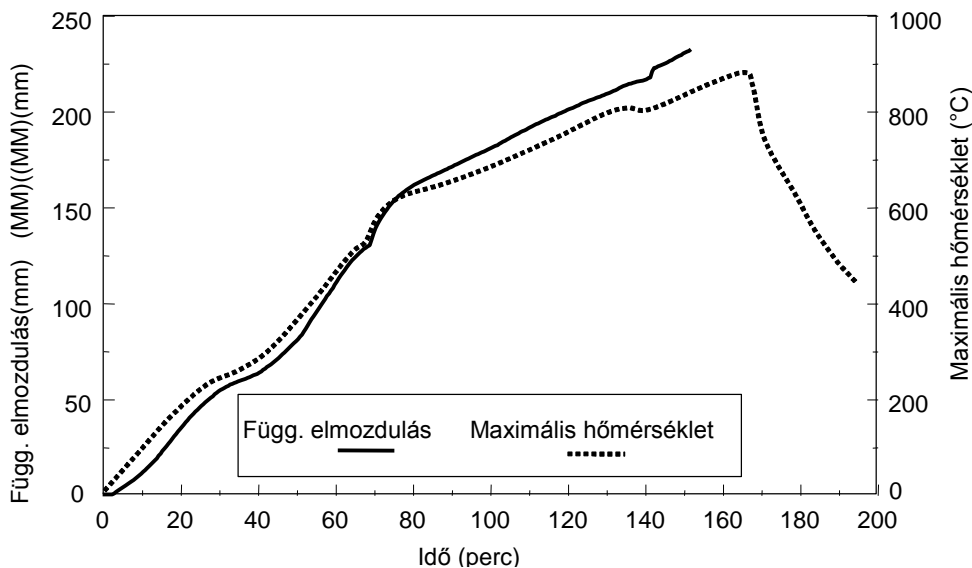
Az 1. tesztben egyetlen, másodlagos gerenda vett részt az azt körülvevő födémmel együtt, amelyek egy, az adott célra épített gáztüzelésű kemencével hevítettünk. A 2. teszt folyamán szintén gáz segítségével történt az épület egyik emeletének teljes hosszán átívelő keretszerkezet felhevítése; a tesztben egy mestergerenda vett részt az ahhoz kapcsolódó oszlopokkal együtt. A 3., 4. és 5. teszt folyamán különböző méretű tűztereket vizsgáltak meg falécek segítségével létrehozott természetes tűzzel. Ezekben a tesztekben a résztvevő oszlopokat a födém alsó részéig védelemmel láttuk el, de a födém gerendái védtelenek voltak. A 6. teszt egy demonstrációs teszt volt, ami a modern irodákban tipikusan megtalálható bútorokat és egyéb eszközöket használt a tűzterhelés létrehozásához, ezzel a legsúlyosabb vizsgált tüzesethez vezetve.

A tesztek részletes leírását publikálták ⁽²⁾. Az tesztek folyamán nyert összes adat – elektronikus formában a mérési pontok helyével együtt – az 1., 2., 3. és 6. teszt esetében a Corus RD&T (Swinden Technology Centre), míg a 4. és 5. teszt esetén a BRE^(3,4) intézményektől érhető el.

1. teszt: Befogott tartó

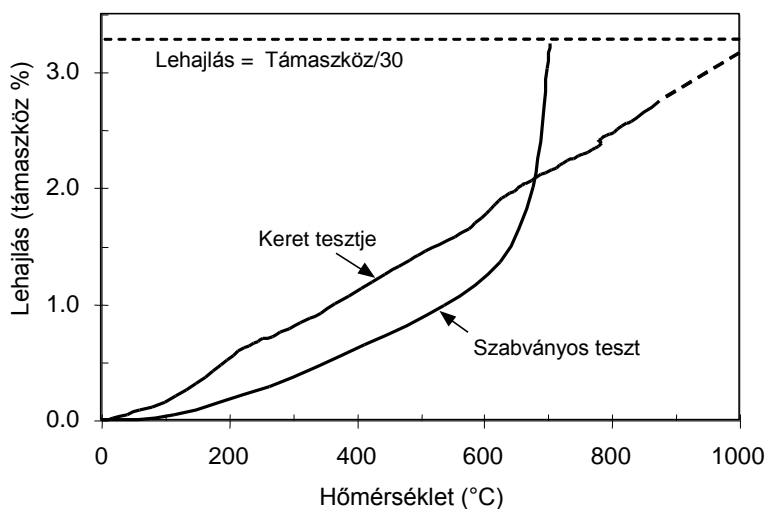
A tesztet az épület 7. emeletén végezték el. A célra épült gáztüzelésű kazán, amely 8 méter hosszú és 3 méter széles, úgy lett megtervezve és megépítve, hogy két oszlopot összekötő másodlagos gerendát (D2/E2) legyen képes felhevíteni a környező szerkezettel egyetemben. A gerenda 9 méteres hosszának középső 8 méteres szakaszán volt hevítve, így viszonylag hidegen hagyva a csatlakozásokat. A teszt célja annak vizsgálata volt, hogy meghatározzák a fel nem hevült födém által határolt hevített gerenda viselkedését, és így tanulmányozzák a szerkezet fel nem hevült részének korlátozó hatását (->„befogott tartó”).

A gerenda hőmérsékletét 3-10 °C/perc sebességgel növelték, amíg el nem érte a 900°C-ot. Az alsó övlemezben a maximális hőmérsékletnél (875°C) a támaszköz felénél a lehajlás 232 mm (támaszköz/39) (ld. 3. ábra). Lehülés közben ez az érték 113 mm-re csökkent le.



3. ábra Befogott gerenda maximális hőmérséklete és középpontjának elmozdulása a teszt során

Ezen gerenda, és egy hasonló védetlen gerenda hasonló terhelési feltételek⁽⁵⁾ mellett, szabványos tűzteszt során tapasztalt viselkedésének különbsége látható a 4. ábra. A szabványos tűzteszt során az egyszerű megtámasztású gerendáknál tapasztalt nagymértékű, „elszabadult” elmozdulás nem történt meg az épület vázában található gerendánál annak ellenére sem, hogy a szerkezetei acél folyáshatára a szobahőmérsékleten mért érték 6%-át tartja csak meg 900 °C hőmérsékleten.



4. ábra Maximális hőmérséklet és középpont elmozdulása szabványos tűzteszt és befogott tartó tesztje során

A teszt folyamán a gerenda mindkét végénél helyi horpadás jelentkezett, pontosan a kemence falánál (ld. 5. ábra).



5. ábra Övlemez horpadása a befogott tartóban

A gerenda teszt utáni szemrevételezése során kiderült, hogy a gerenda mindkét végén található homlok-lemez kötés eltört a gerenda egyik oldalán a hegesztés hőhatásövezetéhez közel, de azon kívül. Ez a gerenda lehülése folyamán bekövetkezett termikus kontrakció eredménye, amely nagyon magas húzófeszültségeket eredményezett az anyagban. Bár a lemez az egyik oldalon elnyíródott, ez a mechanizmus könnyítette az indukálódott húzófeszültségen, aminek hála a gerenda másik oldalán található lemez megtartotta szerkezeti integritását, és megfelelő nyírási kapacitást biztosított a gerendának. A lemez repedésének természete meghatározható a nyúlásmérő bélyeg értékei alapján, amelyek azt mutatták, hogy a repedés időben folyamatosan terjedt a lehülés folyamán, nem hirtelen törés következett be.

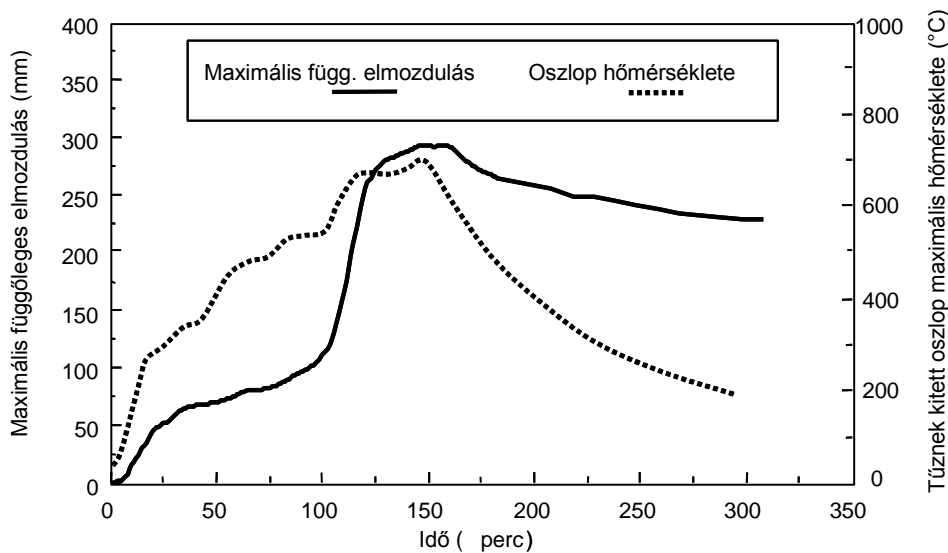
2. teszt: Síkbeli keret

Ezt a tesztet egy négy oszlopból és három főgerendából álló, az épület B rácsvonala mentén, a teljes szélességen átívelő síkbeli keret-szerkezeten végezték el, ahogy az a 2. ábrán látható.

Egy 21 m hosszú, 2,5 m széles, 4 m magas gáztüzelésű kazánt építettek a teszthez az épület teljes szélessége mentén kőműves munkával.

A mester- és másodlagos gerendák, a vasbeton födém alsó oldalával egyetemben védtelenül lettek hagyva. Az oszlopok tűzvédelemmel lettek ellátva addig a magasságig, ahol az álmennyezet kerülne kialakításra (bár a tesztek során nem volt álmennyezet jelen). Ez az oszlopok felső 800 mm-ének védtelenül hagyását eredményezte, beleértve a kötések is.

A teszt indítását követően körülbelül a 110. és 125. perc között a függőleges elmozdulás a 9 méteres támaszközü acélgerenda közepén gyorsan megnövekedett (ld. 6. ábra). Ez a támasztó gerendák függőleges elmozdulásának a következménye. A belső oszlopok tűzhatás alatt álló részei körülbelül 180 mm-rel összenyomódtak (ld. 7. ábra). Az oszlop érintett részének hőmérséklete körülbelül 670 °C volt, mikor a helyi horpadás bekövetkezett.



6. ábra A központi 9 méteres gerenda maximális függőleges elmozdulása és az oszlop tűznek kitett felső részének hőmérséklete

Az oszlop magasságának csökkenése – amely az előbbi helyi horpadás miatt következett be – egy körülbelül 180 mm-es maradó alakváltozást okozott a tűztér feletti összes szinten. Ezen viselkedés elkerülése érdekében a további tesztekben az oszlopok a teljes magasságukig védelemmel lettek ellátva.



7. ábra Összenyomódott oszlopfej a tesztet követően

A mestergerenda mindkét oldalán másodlagos gerendák egy körülbelül 1 méter hosszú szakaszon voltak hevítve. A tesztekot követően a vizsgálat azt mutatta, hogy a gerincbekötő lemezen található csavarok nagy része elnyíródott (ld. 8. ábra).

A csavarok azonban csak a főgerenda egyik oldalán nyíródtak el. A lemez 1. tesztben történt eltöréséhez hasonlóan a csavarok itt is a gerenda hülése közben, a termikus kontrakció következtében törtek el. A termikus kontrakció magas húzófeszültséget okozott, amely azon nyomban enyhült, amint a mestergerenda egyik oldalán található gerincbekötő lemeznél a csavarok elnyíródtak.



8. ábra Gerincbekötő lemez a tesztet követően

3. teszt: Sarokmező

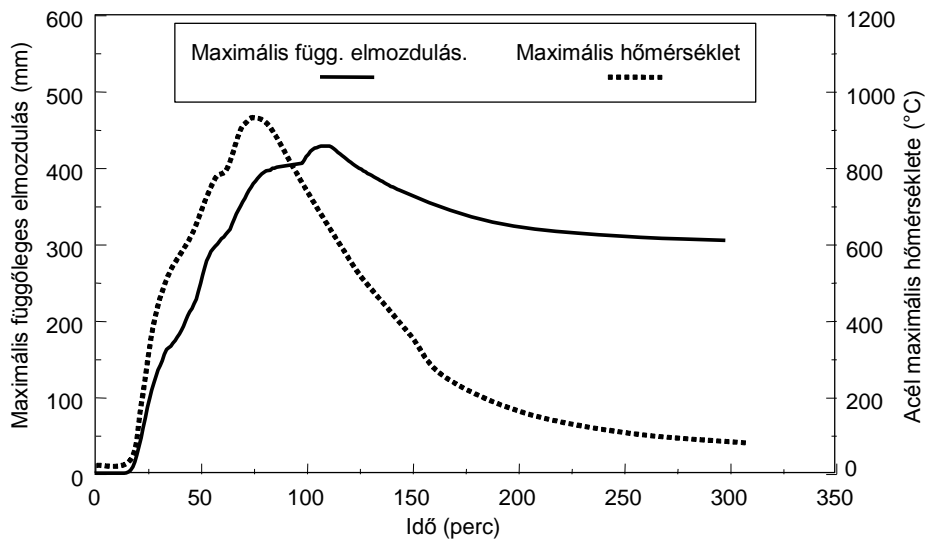
A teszt a célja egy teljes födémrendszer viselkedésének vizsgálata volt, különösen tekintettel léve a födémbe épülő „hid-effektus” vagy membrán-hatás szerepére alternatív terhelési utak biztosításában, miközben a tartógerendák elveszítik teherviselő képességüket. Beton-blokkok segítségével egy $10\text{ m} \times 7,6\text{ m}$ tér került kialakításra az épület első szintjének egyik sarkában (E2/F1).

Annak biztosítása érdekében, hogy az elzárt tér fala ne játsszon szerepet az alkalmazott terhelés felvételében, minden befogás vagy rögzítővas eltávolításra került az oromzatfalban, akárcsak a betonblokkok legfelső rétege. A dilatációs hézagban található ásványgyapot lapok is ki lettek cserélve kerámiaszálaspaplanra.

Hasonlóan a szélrács is elválasztásra került a szélső gerendától a tüztér nyílása felett, hogy a peremgerendának ne legyen kiegészítő megtámasztása. Minden oszlopot, gerenda-oszlop kötést és peremtartót tűzvédelemmel láttak el.

A tűzterhelés 45 kg/m^2 volt, amelyet falécekkel értek el. Ez a terhelés elég nagy, egyenértékű az irodaépületekre megengedett határterhelés 95%-ával. A tűzvédelmi számításokat általában a határterhelés 80%-ára szokták alapozni. A szellőztetést egyetlen $6,6\text{ m}$ széles, $1,8\text{ m}$ magas nyílás biztosította. A léghőmérséklet maximális rögzített értéke 1071 °C volt a tűzszakaszban.

Az acélhőmérséklet maximális értéke 1014 °C volt, amelyet a 2 rácsvonalon található belső gerendán mértek (E2/F2). A maximális függőleges elmozdulás 428 mm volt (éppen nem érte el a támaszköz $1/20$ -át) a másodlagos gerenda középpontján, amelynek a csúcshőmérséklete 954 °C volt. A lehülés közben a gerenda maradékalakváltozása 296 mm -re csökkent vissza. A lehajlások és hőmérsékletek időbeli változása a 9. ábrán látható.



9. ábra Másodlagos gerenda maximális függőleges elmozdulása és hőmérséklete

A tűzszakaszon belül minden éghető anyagot felemésztett a tűz. A szerkezet nagyon jól viselkedett, összeomlásnak semmilyen jelét nem lehetett tapasztalni (ld. 10. ábra).

Egyes gerenda-oszlop kötések közelében horpadás következett be, de a 2. teszttel ellentétben a kötésekben található csavarok nem nyíródtak el. Ez egyrészt jelentheti azt, hogy nem jelentkezett nagy húzófeszültség, vagy pedig a kapcsolat elegendő hajlékonysággal rendelkezett ahhoz, hogy megbirkózzon a húzásból származó elmozdulásokkal.



10. ábra A szerkezet a tesztet követően

5. teszt: Nagyterületű teszt

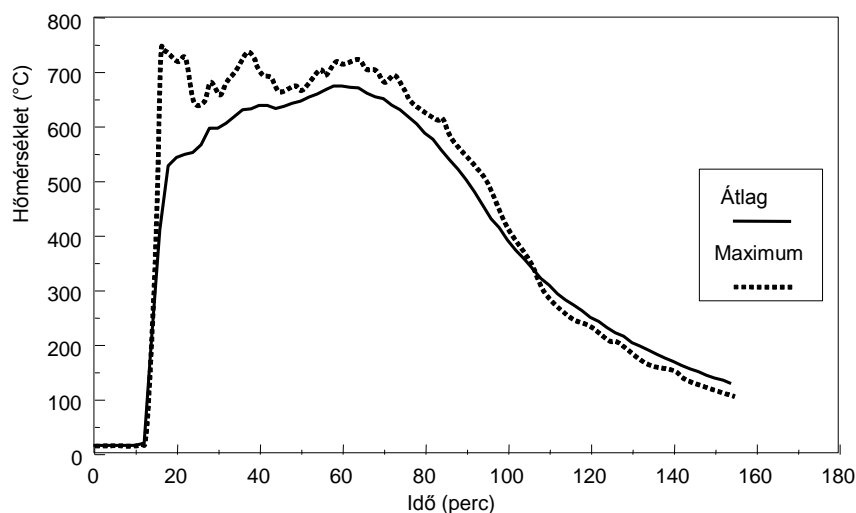
Ez a tesztet a második és harmadik szint között volt végezték el, a tűzszakasz az épület a teljes szélességét átérte, több mint 340 m² területet lefedve.

A 40 kg/m² nagyságú tűzterhelést az emeleten egyenletesen elhelyezett farakások biztosították. A tűztér az épület teljes szélességén átívelő vázrúd és gipszlemez válaszfal építésével, illetve a liftaknák további tűzvédelemmel történő kiegészítésével készült el. Az épület mindkét oldalán dupla üvegezést alakítottak ki, azonban a középső egyharmad mindkét oldalon nyitva maradt. Minden acélgerendát – beleértve a peremgerendákat is – védtelenül hagyták. A belső és külső oszlopokat védelemmel látták el a kötéseikig, azokat is beleértve.

A tűz súlyosságát a szellőztetési feltételek határozták meg. A folyamat elején a hőmérséklet hirtelen megugrott, amikor az üvegezés összetörése nagy nyílásokat hozott létre az épület mindkét oldalán. Az épület két, ellentétes oldalán található nagyméretű szellőztetési keresztmetszet egy hosszú időtartamú, de a vártnál alacsonyabb hőmérsékletű tüzet eredményezett. A maximális mért levegőhőmérséklet 746 °C volt, míg a maximális acélhőmérséklet 691 °C, a tűztér közepén mérve. A tűztérben mért léghőmérséklet értékek a 11. ábrán láthatóak. A szerkezetet a tűz végéhez közeli időpontban a 12. ábra mutatja.

A födém maximális elmozdulása 557 mm volt. Ez a szerkezet lehülése után ez 481 mm-re csökkent vissza.

A gerenda-gerenda kötések környezetében nagymértékű horpadás zajlott le. A hűlés folyamán számos homloklemez letört az egyik oldalon. Egy esetben a homloklemez maga is letört a gerinclemezről, így az acél-acél kötés semmilyen nyírási kapacitással nem rendelkezett. Ez nagy repedéseket okozott a kötés fölött található vasbeton födémbe, de összeomlás nem következett be, mivel a gerendára ható nyírást a vasbeton födém vette fel.



11. ábra Maximális és átlagos léghőmérséklet



12. ábra Alakváltozott szerkezet a tűz folyamán

A többi épületrész vizsgálatának bemutatása a következő részben található.

Köszönetnyilvánítás

Ez a projekt az Európai Bizottság Szén-és Acélipari Kutatási Alapja támogatásával valósult meg. A kiadvány csak a szerzők nézeteit tükrözi, és az Európai Bizottság nem tehető felelőssé semmilyen bennük található információ felhasználásáért.

Az anyag összeállításában sokat segített Daróczy László egyetemi MSc. hallgató, amiért ezúton is köszönetet mondunk neki. A kutatás a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg, továbbá az OTKA 75678 számú projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

1. 'Fire Safe Design: A new approach to multi-storey steel framed buildings' P288, The Steel Construction Institute, 2006.
 2. 'The behaviour of Multi-storey steel framed buildings in fire', A European joint research programme, British Steel Swinden Technology Centre, 1999
 3. Lennon, T., 'Cardington fire tests: instrumentation locations for large compartment fire test.', Building Research Establishment Report N100/98, June 1996.
 4. Lennon, T., 'Cardington fire tests: instrumentation locations for corner fire test.', Building Research Establishment Report N152/95, June 1996
 5. Wainman, W. and Kirby, B., Compendium of UK standard fire test data, No.1 - Unprotected structural steel, British Steel, Swinden Technology Centre, 1987
- Jármai Károly, Miskolci Egyetem, 3515 Miskolc Egyetemváros
Vassart Olivier, ArcelorMittal Luxembourg
Zhao Bin, CTICM –Fire and Testing Division, Franciaország