

SZAKDOLGOZAT

ÓE-YBL
2025

Hallgató neve:

Szabó Éva

Hallgató törzskönyvi száma:





ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Ybl Miklós Építéstudományi Kar
Építőmérnöki Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Szabó Éva

Szakedolgozat száma: [REDACTED]

Törzskönyvi száma: [REDACTED]

Neptun kódja: [REDACTED]

Szak: Tűzvédelmi szakmérnök

Specializáció:

A dolgozat címe: Acél tartószerkezet optimalizálás tűzvédelmi szempontból

A dolgozat címe angolul: Optimizing steel structure in fire protection

A feladat részletezése: Acél viselkedése tűzhatásra. Acélszerkezetek méretezése tűzterherre. Meglévő statikai terv vizsgálata tűzterhelés figyelembe vételével, optimalizálási lehetőségek.

Intézményi konzulens neve: Orsó Renátó

Külső konzulens neve: Bödör Gyula

Munkahelye: Zala Vármegyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság, Nagykanizsai
Katasztrófavédelmi Kirendeltség

A kiadott téma elévülési határideje: 2029. 12. 31.

Beadási határidő: 2025. 05. 15.

A szakedolgozat: Nem titkos.

Óbudai Egyetem
Ybl Miklós Építéstudományi Kar
Építőmérnöki Intézet
1446 Budapest, Thököly út 74.
1442 Budapest, 70., Pf. 117.

Kiadva: Budapest, 2025. 03. 19.

P.H

[Signature]
Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom: 2025. 05. 15.

[Signature]
belső konzulens

[Signature]
külső konzulens

SZAKDOLGOZAT
KONZULTÁCIÓS NAPLÓHallgató neve: **Szabó Éva**

Oktatási azonosítója: [REDACTED]

Neptun azonosítója: [REDACTED]

Törzskönyvi száma:

Dolgozat száma:

Szak, specializáció megnevezése:

Tűzvédelmi szakmérnök**szakirányú továbbképzés**

A dolgozat címe magyar nyelven: Acél tartószerkezet optimalizálás tűzvédelmi szempontból

A dolgozat címe angol nyelven: Optimizing steel structure in fire protection

Belső (kari) konzulens neve: **Orsó Renátó**Külső konzulens neve: **Bödör Gyula**Külső konzulens munkahelye: Zala Vármegyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság,
Nagykanizsai Katasztrófavédelmi Kirendeltség, Hatósági Osztály

ALK.	DÁTUM	KONZULTÁCIÓ TÉMÁJA, TARTALMA	KONZULENS ALÁÍRÁSA
1.	2024.09.09.	Téma és feladat meghatározása, szakirodalm.	[Signature]
2.	2024.11.03.	Elvi rész egyeztetése.	[Signature]
3.	2024.12.02.	Önálló munkarész egyeztetése.	[Signature]
4.	2024.12.11.	Beadás előtti konzultáció	[Signature]

A Konzultációs naplót minimum négy alkalommal az egyes konzultációk alkalmával kell láttamoztatni bármelyik konzulenssel.

A részvételt a konzulens akkor igazolhatja, ha arra a hallgató felkészülten érkezik, azaz érdemi konzultáció történt.

A hallgató a Szakdolgozat/Diplomatervezés/Diplomamunka tantárgy(ak)* követelményét teljesítette.

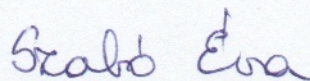
Kelt: 3p. (hely), 2024-12-11 (dátum)

belső (kari) konzulens

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott **Szabó Éva** (törzskönyvi száma: [REDACTED]) hallgató kijelentem, hogy a dolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült dolgozatban található eredményeket az Óbudai Egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Kelt: Nagykanizsa, 2025. május 1.



hallgató

ACÉL TARTÓSZERKEZET OPTIMALIZÁLÁS TŰZVÉDELMI SZEMPONTBÓL

Az acél tartószerkezettel rendelkező épületek kedveltek, de érzékenyek a környezeti hatásokra. A dolgozatomban bemutatom hogyan változik az acélanyag viselkedése a hőmérséklet emelkedésével és hozok néhány példát megtörtént tüzesetekről. Kitekintünk, merre haladnak az acél tűzvédelmével kapcsolatos nemzetközi kutatások. Dolgozatom második felében egy fiktív kézilabdacsarnok tűzvédelmét tervezem meg, melyhez az Axis programot hívtam segítségül. A két-kétféle hőre habosodó festéket és tűzgátló habarcsot fajlagos költségek alapján teszem a mérlegre.

Kulcsszavak: tűzvédelem, acél tartószerkezet, hőre habosodó festék, tűzgátló habarcs

OTIMIZING STEEL STRUCTURE IN FIRE PROTECTION

Buildings with steel structures are popular, but they are sensitive to environmental effects. In my thesis, I will demonstrate how the behaviour of steel material changes with increasing temperature and provide some examples of real fire incidents. I will present some international research related to steel fire protection. In the second part of my thesis, I will design the fire protection of a fictional handball hall, for which I used the Axis program. I will compare the specific costs of two types of intumescent paint and fire-resistant mortar.

Keywords: fire protection, steel structures, intumescent paint and fire-resistant mortar

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés	3
2. Szakirodalmi áttekintés	5
2.1. Acél mint építőanyag, és viselkedése tűzhatásra	5
2.2. Acél tartószerkezetű épületek híres tüzesetei	7
2.2.1. Broadgate Phase 8.....	7
2.2.2. World Trade Center	8
2.2.3. Testnevelési Egyetem atlétikai csarnok.....	10
2.3. Acélszerkezetek tűzzel szembeni védelmének lehetőségei	12
2.4. Acél tartószerkezetek tervezése tűzteherre.....	13
2.4.1. Tűzállósági követelmény	13
2.4.2. Tűzállósági teljesítmény	15
2.4.3. Kritikus hőmérséklet.....	17
2.4.4. Acélszerkezet védelmének tervezése.....	18
2.5. Szemelvények a nemzetközi kutatási anyagokból	18
2.5.1. Cardington	18
2.5.2. Szénszálakkal erősített polimerek alkalmazása acélszerkezetek erősítésére	19
2.5.3. Passzív tűzvédelem viselkedése földrengéskor	20
3. A probléma megfogalmazása	21
4. Acél tartószerkezetű csarnok tűzvédelmének tervezése	22
4.1. Tervezési alapadatok	22
4.2. A tervezési feladatnál alkalmazott szabványok listája	23
4.3. Kockázati osztály és tűzállósági teljesítménykövetelmény meghatározása.....	23
4.4. Szerkezet ellenőrzése védelem nélkül	24
4.4.1. Tűzteher paraméterek meghatározása.....	25
4.4.2. Acél szerkezeti elem hőmérsékletének meghatározása nomogrammal.....	28
4.4.3. Teherkombinációk meghatározása	30
4.4.4. Igénybevételek összehasonlítása normál hőmérsékleten és tűzben	31
4.4.5. Szerkezet elemzése	34
4.4.6. Az övrudak közepén lévő szerkezeti elemek méretezési számítása tűzben teljes hóteher esetén	35
4.4.7. A szélső ferde rácsrudak méretezési számítása tűzben teljes hóteher esetén	38
4.4.8. A tartóoszlop méretezési számítása tűzben	39
4.5. Védelem meghatározása.....	44
4.5.1. Tűzgátló festékréteg meghatározása	44
4.5.2. Tűzgátló habarcsréteg meghatározása	49
4.6. Egyszerűsített költségoptimalizálás	51
4.7. Egyéb optimalizálási lehetőségek	53
5. Következtetések és mérnöki javaslatok	54
6. Hivatkozások.....	55

1. BEVEZETÉS

Az acélszerkezetek népszerűsége a mindennapjaink ipari építészetében egyre elterjedtebb. Ennek okai közt szerepel a karcsú szerkezeti kialakítása egy vasbeton szerkezethez képest, továbbá az acél rendelkezésre állása miatti gyors kivitelezhetőség, és esetlegesen a könnyű átalakíthatóság is. Mindez képes gazdaságossá tenni magát az építményt és alacsonyan tartani építés költségét is.

Külön érdemes említést tenni arról, hogy az acélszerkezetű rácsostartók esetében a szükséges keresztmetszetek tovább csökkenthetők, illetve ebben a kialakításban a gépészeti elemek a rácsrudak között kényelmesen elvezethetők.

Ugyanakkor az acélból készült építmények és szerkezetek biztonsági, teherbírási és használhatósági szempontból nagyon kitettek a környezeti hatásoknak. Ilyen hatásként tekinthetünk a környezeti terhelésekre, pl. az időjárásra, nedvességre, páratartalomra, amelyek az acél korrózióját okozzák. Igaz, ezek a hatások jellemzően csupán hosszútávon vezethetnek a szerkezet tönkremeneteléhez, viszont ezt megelőzendő, mindenképpen szükséges a korróziógátlásról valamilyen formában, leggyakrabban korróziógátló festéssel, gondoskodni.

Egy másik rendkívüli igénybevétel amelyre az acél mint építőanyag kiváltképp érzékeny, az a magas hőmérséklet, amit a tűz okozhat a szerkezetben és környezetében. Az építmények rendeltetésüknél fogva minden esetben, csak más-más mértékben, kitettek a tűz veszélyének, mely az épület használata során, akár véletlen baleset alkalmával is bekövetkezhet. Az acél fizikai tulajdonságai és anyagjellemzői az azt érő hő hatására változnak, jellemzően minél magasabb a hőhatás, annál nagyobb mértékben fog csökkenni a szerkezetek teherbírása és állékonysága.

Az építmény rendeltetéséből, az épületszerkezetek funkciójából adódóan jogszabályok határozzák meg, hogy mennyi az az időtartam, ameddig tűz esetén állékonynak kell maradnia a szerkezetnek. Ez az érték lehet 15 perc, de akár 90 perc is. Ezért az acélszerkezet védelme a tűz ellen kiemelten fontos szerepet kap napjainkban egy tervezés során.

Szakdolgozatom első felében áttekintem, hogyan viselkedik az acél tűzhatásra, és néhány bekövetkezett tüzesetet veszek górcső alá. Áttekintem, milyen lehetőségek állnak rendelkezésre az acélszerkezetek tűzzel szembeni védelmére, majd ezt követően a védelem tervezésének elvi alapjait mutatom be.

Végül egy (fiktív) kézilabda csarnok statikai tervein keresztül, ami nem volt tűzterherre méretezve és védelemmel ellátva tűz ellen, megvizsgálom, hogyan viselkedik az adott szerkezet tűzterher esetén, szükséges-e a szerkezet tűzvédelméről gondoskodni, és amennyiben igen, bemutatok néhány lehetséges alternatívát.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

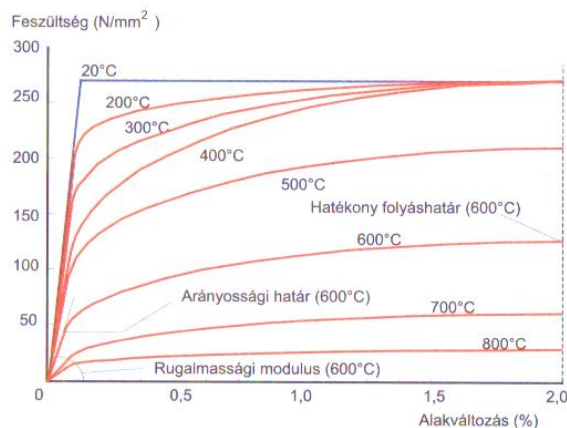
2.1. Acél mint építőanyag, és viselkedése tűzhatásra

Az acéltermékeket napjainkban az építőipar széleskörűen alkalmazza. Maga az acél a természetben előforduló vasoxidok kohósításával előállított nyersvas, melyet tovább tisztítanak, finomítanak, ötvöznek. Úgy is fogalmazhatunk, hogy egy olyan vas-szén ötvözet, melyben a szénttartalmat 2,06 % alá csökkentik. Ez a szénttartalom biztosítja, hogy az önmagában puha és kisszilárdságú nyersvas egy sokkal keményebb, de még mindig megmunkálható anyaggá váljon. Az acélok fizikai tulajdonságai tovább módosíthatók egyéb ötvöző anyagok (pl. nikkel, króm, molibdén) hozzáadásával. [MOLNÁR, 2006]

Az acélok megformálása történhet melegen hengerléssel vagy hidegen alakítással. A hidegen alakítás növeli az acél szakítószilárdságát, viszont az anyag ridegebbé válik. A szerkezetekhez használt idomacélok (pl. L, I, U, T, Z profilok) melegen hengerléssel készülnek.

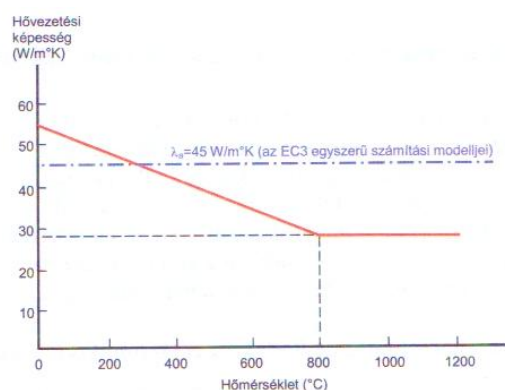
Az acélok jellemző fizikai tulajdonságait (folyáshatár, szakítószilárdság, szakadónyúlás) laboratóriumban végzett szakítóvizsgálattal határozzák meg. Viszont az acél viselkedése magas hőmérsékleten eltérő: a hőmérséklet emelkedésével változnak a fizikai tulajdonságai. Ez igaz mind a hidegen alakított, mind a melegen hengerelt acélokra, különbség a tulajdonságok változásának ütemében mutatkozik. A következőkben tekintsük át ezeket a változásokat! [LUBLÓY-GYAPJAS, 2019 és BALÁZS ET AL. 2010 alapján]

Az **1. ábrán** ugyanolyan acélminőséghez tartozó (S275), különböző hőmérsékleten elvégzett laborkísérletek alapján meghatározott feszültség–alakváltozás (σ – ϵ) diagramokat látjuk. Minél magasabb a hőmérséklet, ugyanazon feszültségnél annál nagyobb alakváltozási értékek olvashatóak le. Ez azt jelenti, hogy a hőmérséklet emelésével csökken az acél szilárdsága és merevsége.

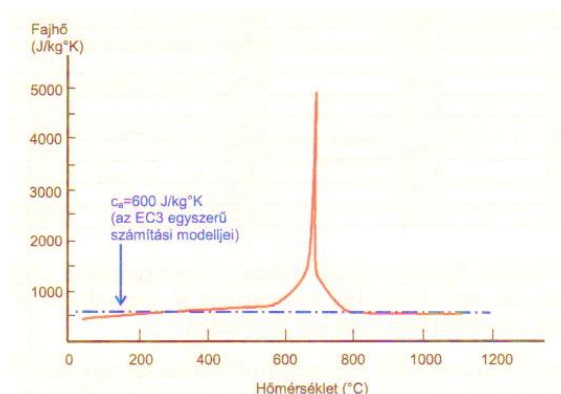


1. ábra: Acél σ – ϵ diagramjai különböző hőmérsékleteken [BALÁZS ET AL. 2010 p.79.]

A **2. ábra** és **3. ábra** az acél hővezetési képességének és fajhőjének változását szemlélteti. Ez a két tulajdonság mutatja meg, és egyben alapvetően befolyásolja, hogy az anyag milyen ütemben melegedik fel, valamint a felmelegedéshez mennyi energiára van szükség. A **2. ábrán** látjuk, hogy a hőmérséklet emelkedésével a hővezetési tényező csökken. A **3. ábra** pedig azt mutatja, hogy a hőmérsékletváltozás miatt a fajhő nem változik jelentősen. Kivételt képez a kb. 735 °C és 800 °C közötti tartomány, ahol a diagram kimagasló értékekkel bír. Ennek oka, hogy ebben a hőmérsékleti tartományban a közölt energia hatására az acél kristályszerkezeti változását okozó kémiai reakciók zajlanak le.

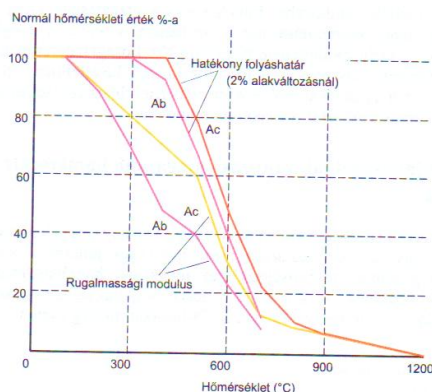


2. ábra: Az acél hővezetési képességének változása
[BALÁZS ET AL. 2010 p.80.]



3. ábra: Az acél fajhőjének változása
[BALÁZS ET AL. 2010 p.81.]

A **4. ábra** szemlélteti, hogyan alakul a különféle acélok folyáshatára és rugalmassági modulusa. Figyeljük meg, hogy a rugalmassági modulus csökkenése már 100 °C-tól elkezdődik! A folyáshatár értéke a hőmérséklet emelkedésével szerkezeti acélok esetén 400 °C-nál, hidegen alakított acéloknál 300 °C-nál kezd csökkenni. A csökkenés 700-800 °C-ig lineáris jellegű. Mind a két tulajdonságot megvizsgálva megállapítható, hogy a hidegen alakított acélok viselkedése kedvezőtlenebb.



4. ábra: Az acél fizikai tulajdonságainak változása [BALÁZS ET AL. 2010 p.82.]

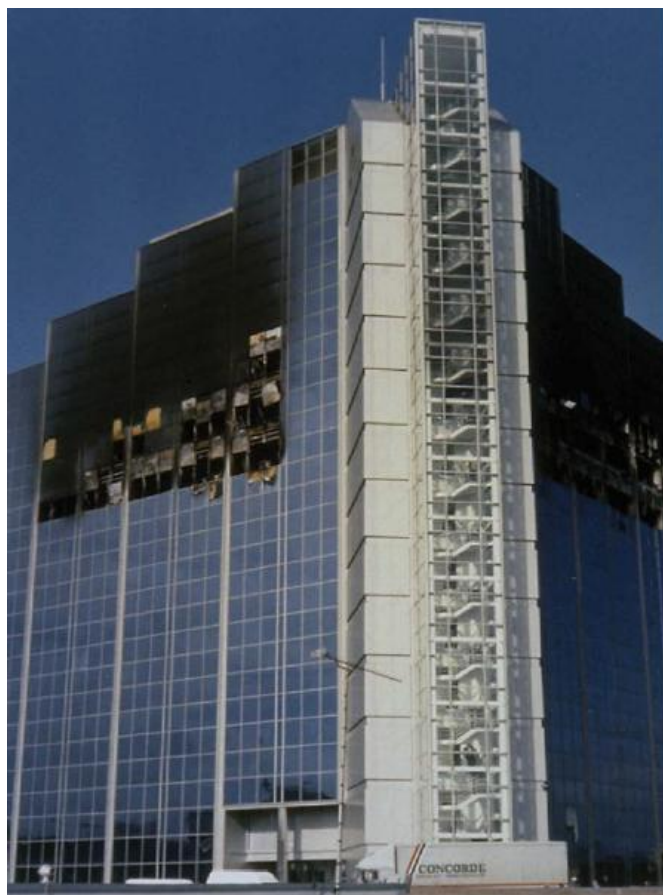
A fenti tulajdonságokat áttekintve alá tudjuk támasztani azokat a tapasztalatokat, mely szerint egy védelem nélküli acél tartószerkezet kb. 15 percig képes csak elviselni a tűzhatásban ható terheket [BALÁZS ET AL. 2010]. Mivel az acél kedvező tulajdonságai miatt napjainkban kedvelt tartószerkezeti alapanyag, fontos kutatási témakör az acélszerkezetek tűzzel szembeni védelme.

2.2. Acél tartószerkezetű épületek híres tüzesetei

2.2.1. Broadgate Phase 8

A Broadgate Phase 8 tüzeset az egyik első olyan tüzeset, melynek tűzvizsgálatát modern szemlélettel közelítették meg. A vizsgálatot a Steel Construction Industry Forum (SCIF) végezte. A szervezet szakemberek és a brit acélipar szereplőinek tömörítésével 1990-ben alakult, s fő célja – az ipari szereplők és szabályozó szervek közötti párbeszéd biztosításán túl – a szerkezeti acélok népszerűsítése az építőiparban. A vizsgálati jegyzőkönyv legfontosabb részeit az alábbiakban ismertetem. [SCI, 1991]

1993. október 22/23-án éjszaka egy nagyobb tűz keletkezett a Broadgate Phase 8 épületben, Londonban. Ez egy többszintes (legfelső szint parapet magassága 64 m), építés alatt



1. kép: Broadgate Phase 8 az oltás után
[SCI, 2013 p.30.]

álló irodaépület volt, melyet a Phase 7 szomszédos épülettől tűzfalal választottak el. Az építés már a végső fázisban tartott: a tartószerkezet teljesen elkészült, már felszerelésre kerültek a függönyfalak is. A tartószerkezet tűzvédelmét néhány oszlop kivételével szintén elkészítették, viszont a tűzjelző és automata tűzoltó berendezéseket még nem helyezték üzembe. A tűzfészek egy alvállalkozói iroda volt az első emeleten. A tűz négy és fél órán keresztül égett, melyből két órán keresztül kifejezetten magas hőmérsékleten (1000 °C fölött). Az oltásban 20 tűzoltó egység vett részt, amelyek közül jelentős erőforrást kötött le a szomszédos épületek hűtése, hogy azokra a tűz ne terjedjen át.

A tüzet követő vizsgálatok megállapították, hogy a tartószerkezetben nem keletkeztek súlyos károk. Ugyan a teljes kár vagyoni értéke meghaladta a 25 millió £-ot, de ebből a szerkezet károsodásának értéke csupán 1.5 millió £ volt. Jellemző károsodások voltak a tartószerkezetben az oszlopfejek kisebb maradó alakváltozásai, nagyobb lehajlásokat találtak a padló szerkezetekben és a merevítő rácsokban, továbbá kisebb maradó alakváltozásokat állapítottak meg a teherátadásban részt vevő gerendákon.

Miért nem következett be az épület összeomlása? A tűzvizsgálat az alábbi következtetésekre jutott: egyrészt a szerkezeti elemek utólagos vizsgálatával azt állapították meg, hogy azok megközelítőleg maximum 600 °C-ra melegedtek fel, köszönhetően többek között annak, hogy a tűzoltók a tartógerendákat is folyamatosan hűtötték. (Építési állapotra, alacsony teherszint mellett az épület tűzterherre tervezési értéke 700-800 °C volt. A szerkezeti elemeket egyedileg méretezték tűzterherre.) Másrészt a tűzben kialakult teherállapot elviselésében nagy szerepe volt az öszvérszerkezetű födémeknek: habár a kezdeti állapotban a födém korlátozta a gerendák szabad alakváltozását, ezért az azokban megnövekedett belső erők nagyobb lehajlásokat okoztak, a későbbiekben ugyanez az alakváltozást akadályozó hatás segítette a teherátadást a hidegebb szerkezeti elemekre.

A tüzeset kivizsgálásának jelentősége, hogy az akkori tudás alapján egy ekkora tűznek az épület összeomlását kellett volna okoznia, ám gyakorlatilag a szerkezet nemcsak hogy állva maradt, hanem a tartószerkezetben keletkező károk vagyoni értéke a várthoz képest nem volt jelentős. Az eset tanulsága, hogy tűznek kitettséggel esetén az egyes elemek viselkedése nem szükségszerűen egyezik meg a teljes szerkezet viselkedésével.

2.2.2. World Trade Center

Az előzővel ellentétben kifejezetten tragikus eset volt a World Trade Centeré. A World Trade Center New York City partján található, eredetileg hét épületből álló épületegyüttes. 1966 és 1975 között épült. Leglátványosabb, két, 110 emeletes épülete, az Északi (WTC 1) és Déli Torony (WTC 2) 2001. szept. 11-én semmisült meg egy, a nyugati világot megrázó terrortámadás következtében. [WIKIPEDIA, 2024]

A terrortámadás során a két toronyba egy-egy Boeing 747 típusú repülőgép csapódott, melyek tankja tele volt üzemanyaggal. A katasztrófa során több mint huszonötezer embert sikerült evakuálni. Az Amerikai Egyesült Államok kormányának Biztonsági Tanácsának jelentésében az áldozatok száma 2749 fő. A repülőgépek becsapódását az ikertornyok átvészelték, ám a keletkezett tűzben a szerkezet meggyengült, s végül azok összeomlottak. Kevésbé ismert a közvélemény számára, hogy a World Trade Center 7, mely az ikertornyokkal

szomszédos, 47 emeletes torony volt, szintén olyan súlyosan megsérült, hogy ugyanezen a napon egy későbbi időpontban szintén összeomlott.

Az eset részletes kivizsgálását az Egyesült Államok Nemzeti Szabványügyi és Technológiai Intézete (NIST) gondozta. A vizsgálatokban több, mint kétszázan vettek részt, beleértve a külső szakértők bevonását is. A WTC 1 és WTC 2 tornyok zárójelentését 2006 novemberében véglegesítették. (A WTC 7 zárójelentését később, 2008 novemberében.) A zárójelentésben megállapításra került, hogy habár a repülőgépek a becsapódással komoly sérüléseket okoztak a tornyok tartószerkezetében, azok attól önmagában nem dőltek volna össze. [COMMITTEE ON SCIENCE 2006]

A tornyok héjszerkezetként épültek meg: a belső magban helyezték el a lifteket, épületgépészeti tereket, lépcsőházakat, mosdókat és egyéb kiszolgáló tereket. Az épület külső



2. kép: World Trade Centerde Center
[BRITANNICA.COM, 2025]

térelhatárolását egy alacsony önsúlyú pillérrendszer alkotta, melyeket háromemelet magas falpanelek merevítettek. A külső falak és a belső mag között keresztirányú rácsos tartók és a rájuk épített öszvérszerkezetű (acél hullámlemez és könnyűbeton) födégek jelentették a teherviselés alapját. [SZABÓ ET AL. 2023]

A NIST zárójelentésében kitér rá, hogy a tűzvédelmi berendezések megfeleltek az előírásoknak, de a becsapódás miatt sem az elektromos hálózat, sem a vízellátás nem működött, ezért nem tudtak működni. A WTC 2 torony előbb omlott össze, mivel ott nagyobb kárt okozott a repülőgép a belső magban, illetve a keletkezett tűz egy helyen koncentrált, szemben a WTC 1 toronnyal, ahol körbe-körbe cirkulált. A WTC 1 toronyban az súlyosbította a

helyzetet, hogy a repülőgép minden menekülési utat elzárt, így a becsapódás feletti szintekről nem lehetett lejutni. [COMMITTEE ON SCIENCE, 2006]

SZABÓ ET AL. [2023] a szerkezet tönkremenetelét csomóponti tönkremenetelre vezették vissza. A repülőgép becsapódása egyértelműen kárt okozott a külső pillérszerkezetben, továbbá a belső magban is. A súlyos következmények viszont arra vezethetők vissza, hogy a gép nagy kiterjedésben rongálta meg a szerkezeti tűzvédelmet az adott szinten. A tűz magas hőmérséklete (legfeljebb 1000 °C, de valószínűsíthetően csak 750-800 °C) miatt a megrongálódott szigeteléssel rendelkező födém megereszkedett (lehajlás), ami a külső oszlopokat befelé húzta (kihajlás). A tönkremenetel helye a padlógerendákat tartó L-acélos nyírtcsavaros kapcsolat, ami ennek a födémnek a leszakadását okozta. Az alatta lévő emelet nem volt akkora – jellegében dinamikus – terhelésre méretezve, hogy képes legyen elviselni a rászakadó emelet súlyát, s így mintegy dominóhatásként, lefelé összeomlott az épület.

A NIST végül főként meglévő szabályozások módosítását, finomhangolását, frissítését javasolta különféle területeken, illetve vizsgálatok, tesztek végrehajtását, hogy a jövőben a modellezés pontosabb lehessen. Figyelembe véve, hogy napjainkban minden beruházás alapjaiban véve egy pénzügyi döntés, nem megvalósítható út az olyan túlzott biztonságot tartalmazó, szigorú tervezési követelmények felállítása, melyek betartása akkora költséggel járna, hogy azok megghiúsítanák a fejlesztéseket.

2.2.3. Testnevelési Egyetem atlétikai csarnok

A Testnevelési Egyetem atlétikai csarnoka Budapesten az Alkotás utcában állt. Ahogyan arról a napi sajtó beszámolt, 2015. október 15-én az épületben tűz keletkezett, mely annyira elharapódzott, hogy teljes terjedelmében égett és átterjedt egy szomszédos irodaházra is. A csarnok tetőszerkezete végül leszakadt és az épület használhatatlanná vált.

Az esemény tűz utáni vizsgálatát LUBLÓY ET AL. [2015] ismertették a Vasbeton c. szakfolyóiratban. A csarnok alapterülete 3000 m² volt. A falak 8 cm vastag betonpanelekből készültek, melyek 3 cm maghőszigetelést tartalmaztak. Belső oldalról ezekre rögzítették a falburkolatot. A tetőszerkezet acélból épült, melyben dróthálós erősítésű üveg bevilágítók biztosították a csarnokba a természetes fény bejutását. A helyszínen megvizsgálták a létesítmény beton és acél szerkezeti elemeit is. Az alábbiakat tapasztalták:

A vasbeton pilléreken és gerendákon is találtak a szabad szemmel jól látható spalling jelenséggel. Ez a betonfedés leválása az éleken, ami a beton és betonacél eltérő alakváltozásából (eltérő hőtágulási tényező) ered. Megtalálhatóak voltak a mikro- és makrorepedések. A falszerkezet külső és belső oldala eltérő hőhatásnak volt kitéve, emiatt eltérő módon is melegeedett. Ahol a belső oldalon kihorpadásokat találtak, ott a belső maghőszigetelést és a külső oldalt is közvetlenül érte a tűz. Nagymértékű lehajlások alakultak ki. A vizsgálat

megállapította, hogy a vasbeton elemek tönkremenetelének oka az acél szerkezeti elemek tönkremenetele volt.



3. kép: A Testnevelési Egyetem az oltást követően
[HVG.HU, 2015]

Az acél szerkezeti elemek – ahogyan azt korábban tárgyaltuk – magas hőmérsékleten elvesztik a szilárdságuk jelentős részét, és emellett nagymértékű alakváltozásra képesek. Amikor ez az alakváltozás gátolt, akkor az a szerkezeti elemekben feszültségnövekedést okoz. Ez vezet a szerkezeti elem tönkremeneteléhez. Vannak olyan szerkezeti kialakítások, amelyeknél lehetséges, hogy magas hőmérsékleten az erők átrendeződése után egy stabil állapot alakuljon ki – ez történt a Boardgate Phase 8 esetében is –, de ehhez szükséges, hogy a rögzítő elemek is képesek legyenek elviselni egy ekkora igénybevételt. A helyszíni vizsgálat megállapította, hogy a Testnevelési Egyetem atlétikai csarnoka esetében az acéltartó véglemezei leváltak a rögzítő csavarokról. Ezen kívül fedeztek fel tönkrement hegesztési varratokat is.

Mivel a tüzeset meghaladta a III-as fokozatot és kiemelt jelentőségű volt, hatósági tűzvizsgálati eljárást folytattak le. A vizsgálat eredményét VARGA–NAGY 2016 júniusában publikálták. Az elektromos műszaki szakértői vélemény alapján a tűzfészek a fűtésrendszer vezérlőszekrényében volt, és valószínűleg annak automatikus bekapcsolásakor keletkezett. A biztonsági kamerák felvételei ezt alátámasztották, és mielőtt a tűzterjedés megrongálta a vezetékeket, még rögzítette a flashover jelenséget is. A tűz kipattanásától a teljes lángba borulásig 55 perc telt el. Ugyan az épület az 1970-es években épült és elavultnak számított, az összeomláshoz az vezetett, hogy emellett több tűzvédelmi előírást sem tartottak be (tűztávolság, tűzszakasz mérete), és nagy mennyiségben alkalmaztak a beépítésnél éghető anyagokat.

Az eset tanulsága a szerkezeti tönkremeneteli vizsgálatok alapján az, hogy fontos, hogy a szerkezeti elemeket ne csak külön-külön méretezzük tűzterherre, hanem a teljes szerkezetet együttesen is meg kell vizsgálni. Továbbá pedig a tűzvédelmet nem elegendő megtervezni, hanem azt hosszú távon gondozni, időszakonként megfelelőségét ellenőrizni szükséges.

2.3. Acélszerkezetek tűzzel szembeni védelmének lehetőségei

Napjainkban az acél tartószerkezetek tűzvédelmére számos gyártó számtalan megoldást (terméket) kínál. Az előforduló módszerekre SZABÓ ET AL. [2023b] a következő csoportosítást alkalmazza: passzív védelem, reaktív anyagok, építőlemezes védelem és rugalmas takaró rendszerek.

A passzív védelem esetében az acélfelületre egy hagyományos cementkötésű bevonat kerül. Az ásványi alapanyag lehet gipsz, vermikulit, vagy valamilyen cement, melyhez a helyszínen különféle adalékokat kevernek, pl. valamilyen szál asztalanyagot, sűrűség szabályozót. Ezt a bevonatot jellemzően szórással, permetezéssel hordják fel a felületre, centiméteres nagyságrendű vastagságban. Az alkalmazási technológia miatt építészeti szempontból nem számít esztétikusnak, viszont amennyiben ismert az alkalmazandó anyag sűrűsége, hővezetési tényezője és fajhője, úgy az Eurocode-ban meghatározott számítási képletekkel, a kritikus hőmérséklet alapján meghatározható a szükséges rétegvastagság [SZAKÁL, 2024a]. Természetesen a szükséges rétegvastagságot az elvégzett tűztesztnek nyomán kiállított termékengedélyek alapján is meg lehet határozni egy-egy védelmi tervezési feladat során. Szénhidrogén tüzekkel veszélyeztetett helyeken gyakran alkalmazzák az acél oszlopok körülbetonozását is.

A reaktív anyagokban hő hatására olyan kémiai folyamatok játszódnak le, amelyeknek köszönhetően akár 40-60-szorosára megduzzadnak, habosodnak, s így válnak hőszigetelővé. Jellemzően festékként hordják fel a felületre. A kémiai folyamat alapját az jelenti, hogy a festék olyan anyagot tartalmaz, mely hő hatására nagy mennyiségű nem éghető gázt képez. A festék másik fontos összetevője egy kötőanyag, ami hő hatására sűrű folyadékká válik. A kémiai folyamat lényege, hogy a felszabadult gáz bejut a kötőanyagba, apró buborékok formájában a kötőanyag magába zárja, s ez a buborékos réteg jelenti megkeményedés után a már szilárd védőréteget. [SZABÓ ET AL, 2023b]

Reaktív anyagokkal történő védelem tervezése esetén, pont a kémiai reakció összetettsége, az anyag tulajdonságainak nagymértékű megváltozása miatt, számítással nem meghatározható a szükséges rétegvastagság. A megadott gyártói táblázatokban szereplő tervezési értékeknél pedig megfigyelhető, hogy a körszelvényekre vonatkozó értékek egy

nyitott szelvényhez képest többszöröse [SZAKÁL, 2024a]. Ennek oka, hogy kör keresztmetszet esetén a reaktív anyag koncentrikusan duzzadna, de ha erre nem áll rendelkezésre a megfelelő tér, a védőréteg szélsőséges esetben akár teljesen felrepedhet, a palást mentén felnyílhat.

A reaktív anyagok alkalmazása napjainkban elterjedt megoldás az acélszerkezetek tűzzel szembeni védelmére, ezért egyre több tapasztalat gyűlik össze a szakembereknél. BUZÁS [2019] cikkében összegyűjtött néhány megfontolandó jótanácsot ezek közül: amikor a tervezés folyamán meg kell határozni a tervezési hőmérsékletet, nem elég csak magára a szerkezeti elemre koncentrálni, hanem át kell gondolni, hogy milyen tulajdonságú anyagok kerülnek a tűzvédő festék alá és fölé. Az acélszerkezetet a páráról és nedvességtől korróziógátlóval is kezelni kell. Amennyiben a tűzvédő festék nem tesz eleget a korróziógátlásnak, hanem az egy, a tűzvédelmi bevonattól elkülönült réteg, akkor nagy valószínűséggel annak olvadáspontja lesz a mértékadó. Ugyanis nem tudja a védelmet biztosítani a hőre habosodó festék, ha az alatta levő réteg, amire tapad, leolvad, mielőtt a duzzadást jelentő kémiai reakció végbe menne. A fedőréteggel kapcsolatban pedig azt kell átgondolni, hogy annak vastagsága ne akadályozza a tűzvédő bevonat tágulását.

A következő csoport az építőlemez védelem, ami gyakorlatilag az acélszerkezet körbedobozolását jelenti valamilyen táblás építőanyaggal. Alapanyagukat tekintve tartalmazhatnak kalcium-szilikátokat vagy gipszet. A kalcium-szilikát alapú táblák érzékenyek a vízre, ezért alkalmazásukkor nem szabad megfeledkezni a nedvesség elleni védelemről sem. A gipsztáblák alkalmazása pedig jellemzően gazdaságtalan, mivel a rajtuk végzett laborvizsgálatokkal azt az eredményt kapták, hogy tűvédelmet csak úgy képesek ellátni, ha a dobozokat közetgyapottal kitöltik. SZABÓ ET AL [2023b]

A rugalmas takaró rendszerek lehetnek flexibilis takarók, vagy tűzvédő membránok. Alkalmazásuk összetett, bonyolult geometriájú szerkezeteknél lehet kifejezetten előnyös.

2.4. Acél tartószerkezetek tervezése tűzterherre

2.4.1. Tűzállósági követelmény

Az 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról (továbbiakban OTSZ) [OTSZ, 2014] az Európai Unió irányelveinek megfelelő nemzeti szabályozás. Ez a szabályozás tartalmazza az alapelveket és a legszükségesebb előírásokat, míg a részletes műszaki megoldásokat és értelmezéseket a Belügyminisztérium Országos Katasztrófavédelmi Igazgatóság által összeállított Tűzvédelmi Műszaki Irányelvek (röviden TvMI) kiadmányosorozat taglalja. A TvMI-k folyamatosan frissülnek, bővülnek, ezért külön figyelmet igényel, hogy a tervezési folyamatoknál az érvényben lévőket alkalmazzuk.

Az OTSZ [2014] rendelet alapján: „6. § (1) Az építési termékeket és az építményszerkezeteket a tervezés során úgy kell megválasztani, hogy

a) a kockázat függvényében a tartószerkezetek teherhordó képességüket, a térelhatároló szerkezetek integritásukat és hőszigetelő képességüket – a várható tűzhatást figyelembe véve – e rendelet szerinti időtartamig őrizték meg,

b) a tűzvédelmi célú építményszerkezetek, építési termékek tűz esetén szerepüket e rendelet szerinti időtartamig töltsék be, funkciójukat megtartsák, a tűz jelenlétére hatékonyan reagáljanak,

c) a tűz és kísérőjelenségei terjedését funkciójuknak megfelelően gátolják, nehezítsék vagy irányítsák, valamint

d) a belőlük fejlődő hő, füst és égéstermékek mennyisége a lehető legkisebb legyen.”

Tehát a tűzvédelmi követelmények alapja az épület mértékadó kockázati osztálya. A mértékadó kockázati osztály meghatározásához az épületet kockázati egységekre osztjuk, majd azokat osztályokba soroljuk (OTSZ 1. melléklet, TvMI 14, vagy speciális építmények esetén az OTSZ XII. fejezete alapján). Az épület mértékadó kockázati osztálya jellemzően megegyezik a kockázati egységek legszigorúbb kockázati osztályával. A kockázati osztály lehet nagyon alacsony (NAK), alacsony (AK), közepes (KK) és magas (MK) [OTSZ, 2014 12. § (5)].

Az OTSZ [2014] 15. § (1) alapján „Az épületek, speciális építmények tartószerkezeteit úgy kell megtervezni, kivitelezni, hogy tűz esetén az e rendeletben előírt időtartamig

a) azok teherhordó képessége megmaradjon,

b) szerkezeti állékonyságával biztosítsa a védelmi szerkezetek rendeltetésének ellátását,

c) a tűzszakasz vagy önálló épületrész a tűz és kísérő jelenségei elleni védelmi képességét be tudja tölteni.”

A tartószerkezeti elemek különböző kritériumainak követelményeit a kockázati osztályok szerint az OTSZ 2. melléklete, illetve a részletes szabályokat a TvMI 11 tartalmazza. Azt, hogy a tűznek kitett épületszerkezet teherhordó szerkezeteinek milyen kritériumoknak kell megfelelnie, az MSZ EN 13501-2 [2023] tartalmazza. Ez alapján a legfontosabb kritériumok:

- R = teherhordó képesség: az a tulajdonság, hogy a tartószerkezet stabilitásvesztés nélkül ellenáll az igénybevételeknek tűznek kitettség alatt, tehát nem omlik össze.
- E = integritás: elválasztó funkció, azaz az épületszerkezet egyik oldalán fellépő tűz esetén megakadályozza, hogy a lángok, gázok a szerkezet másik oldalára áttérjedjenek.

- I = szigetelés: egyik oldalon kitett tűz esetén nem következik be olyan jelentős hőátadás a szerkezetben, hogy a tűznek ki nem tett oldalra a tűz áttérjedjen.
- W = hőszigetelés csökkentése: egyik oldalon kitett tűz esetén nem következik be olyan jelentős hőszigetelés a szerkezetben, vagy a tűznek ki nem tett oldal és a szomszédos anyagok között, hogy a tűz áttérjedjen.

Az OTSZ 2. mellékletben meghatározott követelmény a kritérium betűjele és a hozzá tartozó megkövetelt időtartam percben, pl. EI30. Ezt nevezzük tűzállósági határértéknek.

Az épületszerkezeteknek, illetve anyagainak másik fontos tulajdonsága, hogyan viselkednek tűz hatására. Az építőanyagokat az MSZ EN 13501-1 [2019] szabványban rögzített kísérleteknek vetik alá, és így határozzák meg az éghetőségüket, mennyire járulnak hozzá a tűz terjedéséhez, mennyi füstöt fejlesztenek, esetleg jellemző-e az anyagra az égve csepegés. Az anyagokat éghetőség szempontjából a legkedvezőbb A1-től a legkedvezőtlenebb F-ig tűzvédelmi osztályokba sorolják. Az OTSZ a 2. mellékletben az épületszerkezetek anyagaira vonatkozóan tűzvédelmi osztály követelményeket is állapít meg. A tűzvédelmi osztályokba sorolás mikéntjét a TvMI 11 részletezi. Az acél a legkedvezőbb A1 osztályba tartozik.

2.4.2. Tűzállósági teljesítmény

A tűzállósági határérték követelmény felállítását követően a tervezői feladat igazolni, hogy a szerkezet tűzállósági határérték teljesítménye legalább ugyanekkora.

Védelem nélküli, valamint amennyiben az alkalmazott anyagok fizikai tulajdonságai ismertek, passzív védelemmel ellátott szerkezeti elemek esetén az Eurocode által meghatározott statikai számítással lehetséges az igazolás. Ezt a gyakorlatban ritkán alkalmazzák a számítás bonyolultsága, illetve a bemeneti adatok hiánya miatt. [KOTORMÁN, 2019]

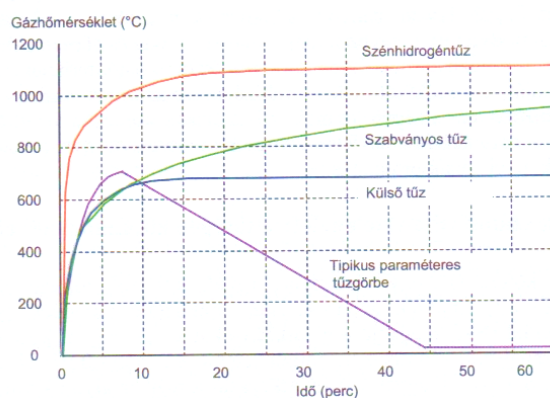
A tűzállósági teljesítmény meghatározásának legpontosabb, egyben legköltségesebb (és nem melleleg időigényes) módja a laborvizsgálatok elvégzése. Az MSZ EN 13501-2 [2019] szabvány szerinti tűzállósági teljesítmény korlátozottan használható a laborvizsgálatok sajátosságai miatt (pl. kemence mérete), ezért több szerkezeti elemre vonatkozóan ún. EXAP szabványt hoztak létre, mellyel lehetőség nyílik a laborvizsgálatok kiterjesztésére más konfigurációkra. [TvMI 11, 2022] De ezzel még továbbra is korlátozottak a lehetőségek.

Amikor a vizsgálati módszerekre nincsen lehetőség, akkor a tűzállósági teljesítmény meghatározását a tartószerkezetekre vonatkozó Eurocode szabványcsalád alapján történő számítással kell meghatározni. Az Eurocode 1 (továbbiakban EC1) [EC1, 2005] foglalkozik a szerkezetet érő hatásokkal, az Eurocode 3 (továbbiakban EC3) [EC3, 2015] pedig az

acélszerkezetek méretezésével. Az EC1 és az EC3 alapján az acél tartószerkezetek tűzállósági teljesítménye az alábbi folyamat szerint határozható meg [BALÁZS ET AL, 2010 nyomán]:

- tűzmodell kiválasztása és a hozzá tartozó tűzhatások meghatározása,
- szerkezeti elem hőmérsékleti jellemzőinek számítása,
- tűzhatásnak kitett szerkezeti elem mechanikai viselkedésének vizsgálata, a tűzhatás alatti teherbírás vagy tűzállósági határérték számítása,
- statikai ellenőrzés.

A tűzhatás (léghőmérséklet) meghatározásához alkalmazhatóak egyrészt a szabványos tűzgörbék (**5. ábra**). Ezek a teljes tűzszakaszban azonos gázhőmérsékletet feltételeznek. Másrészt, amennyiben a tűzszakasz geometriája, a benne található és a határoló anyagok fizikai-kémiai tulajdonságainak adatai, illetve a ventilláció mértéke ismertek, parametrikus görbék is alkalmazhatóak. A parametrikus görbék a valóságot jobban közelítik, de ez még mindig egy egyszerűsített modell. Teljes tűzmodell leképezéséhez, mely képes meghatározni a tűzszakaszon belül különböző hőmérsékleteket, modellező szoftvereket használnak.



5. ábra: Tűzgörbék [BALÁZS ET AL. 2010 p.18.]

Amennyiben az acél szerkezeti elem teljes keresztmetszetén belül egyenletes hőmérsékletváltozást feltételezünk, és szabványos tűzgörbét alkalmaztunk, akkor az EC3 rendelkezésre bocsát nomogramokat, mellyel a környezet hőmérséklete és a keresztmetszvény profiltényezője alapján meghatározható, mekkora lesz a hőmérséklet a szerkezeti elemben egy meghatározott idő után. Egyenlőtlen hőmérsékletváltozást feltételezve a szerkezeten belüli hőáramok miatt csak végeselemes módszerrel lehetséges a számításokat elvégezni.

Miután a szerkezeti elemekben meghatároztuk a megkövetelt időtartamhoz tartozó hőmérsékletet, ki lehet számolni az acél elem csökkentett teherbírását. Az EC3 táblázatos formában adja meg a szilárdságcsökkenés mértékét, még hozzá csökkentő tényezők formájában. Ezzel számítandó az acél szerkezet teherbírása.

Ne feledjük el, hogy a tűzhatás egy rendkívüli tervezési állapotnak felel meg, és a mértékadó teherkombinációban szereplő parciális tényezők az esetleges terhekre vonatkozóan kisebbek lesznek, mint a tartós tervezési állapotra. Emiatt a rendkívüli állapotban megkövetelt biztonsági szint akár 30 %-kal is alacsonyabb lehet, mint tartós állapotban [LUBLÓY–GYAPJAS, 2019].

Az egyszerűsített számítások eredményeiben kapott teherbírás és tűzhatás összevetésével a szerkezeti elem vagy a szerkezet egy részének ellenőrzése hajtható végre, amennyiben a meghatározott peremfeltételeknek az megfelel. A szerkezet egészének vizsgálatához szoftveres modellezést alkalmaznak.

Természetesen a teherbírás megfelelőségén túl a szerkezetet stabilitási szempontból (kihajlás, kifordulás) is meg kell vizsgálni a megváltozott körülményekben.

2.4.3. Kritikus hőmérséklet

„Egy szerkezeti elem kritikus hőmérsékletén azt a hőmérsékletet értjük, amelynél a szerkezeti elem tönkremenetele adott teher alatt bekövetkezik.” [BALÁZS ET AL, 2010 p.85.] Másképpen megfogalmazva az acél anyagmodellje ezen a hőmérsékleten alakul át lineárisan-rugalmasból plasztikus-képlékenybe, vagyis kis terhelésre is nagy alakváltozásokat fog szenvedni. [LUBLÓY–GYAPJAS, 2019]

Az Eurocode számítási képletet, illetve nomogramokat bocsát rendelkezésre az egyes szerkezeti elemek kritikus hőmérsékletének meghatározásához. A megadott képlet alapján a kritikus hőmérséklet alapvetően befolyásolja a szerkezeti elem kihasználtsága normál hőmérsékleten. A képlet, valamint a hőmérséklet–idő görbék alkalmazhatósága korlátozott: ISO 834 tűzgörbére, és hajlítás, húzás esetén alkalmazhatók. Amennyiben a tönkremenetel a stabilitásvesztés (kihajlás, kifordulás), úgy iterálni szükséges a megadott értékeket. A számítások komplexitása miatt ehhez is alkalmaznak szoftvereket. [HORVÁTH, 2019]

A tervezői tapasztalatok azt mutatják, hogyha a szerkezeti elem kihasználtsága 5%-kal növekszik, az a kritikus hőmérsékletet akár 10°C-kal is csökkentheti. [SZAKÁL, 2024b]

Összegezve az eddigieket, a tűzállóság kifejezhető időtartamban, teherbírásban vagy hőmérsékletben. A hőmérsékletben történő kifejezésnél azt kell bizonyítani, hogy a tűz hatására a megkövetelt időtartamig az acélszerkezet nem éri el a kritikus hőmérsékletet.

Mivel a kritikus hőmérsékletet befolyásolják a működő igénybevételek, a befogási viszonyok, az elem karcsúsága, az állandó és változó terhek egymáshoz való viszonya [SZAKÁL, 2024b], kiváló alapot nyújt az acél tartószerkezetek védelmének tervezéséhez.

2.4.4. Acélszerkezet védelmének tervezése

Régebbi hazai szabályozás engedélyezte, hogy acélszerkezetes épület védelem nélkül épüljön. Viszont mivel az acél kb. 500°C-on hirtelen, jól észlelhető előjel nélkül veszíti el az állékonyságát, a mentésben-oltásban részt vevőkre ezen engedékeny szabályozás veszélyt jelentett. Az ilyen esetek többségében a tönkremenetelhez az vezetett, hogy – a jellemzően megnövekedett raktározási igények miatt – nem tartották be az 500 MJ/m² tűzterhelési követelményt [BÉRCZI-PÁLINKÁS, 2019]. Ennek is köszönhető, hogy a TvMI 11 [2022] H melléklete úgy rendelkezik, hogy amennyiben nem kerül sor a kritikus hőmérséklet meghatározására, akkor az alkalmazandó kritikus hőmérséklet 350°C.

Acélszerkezetek bevonattal történő védelmének tervezésekor a kritikus hőmérsékleten kívül a szükséges vastagságot befolyásolják még a szelvény alakja és a profiltényező. A profiltényező a hőhatásnak kitett egységnyi hosszúságú szerkezeti elem felületének és térfogatának hányadosa, mely a szerkezeti elem felmelegedését jellemzi. Ez a tényező minél nagyobb (azaz a szerkezeti elem minél karcsúbb), annál nagyobb védelemre van szüksége. [SZAKÁL, 2024a]

A kritikus hőmérsékletet továbbá befolyásolja, hogy pillérről vagy gerendáról van-e szó, három vagy négy oldalról éri-e tűzhatás az adott szerkezeti elemet. Ezen ismert tulajdonságok alapján gyártói adatlapokból, táblázatos módszerrel határozható meg, mekkora vastagságban kell felhordani a bevonatot, hogy a tervezési hőmérsékletnek (ami legfeljebb a kritikus hőmérséklet) a szerkezet a megadott időtartamig ellenálljon. [HORVÁTH, 2019]

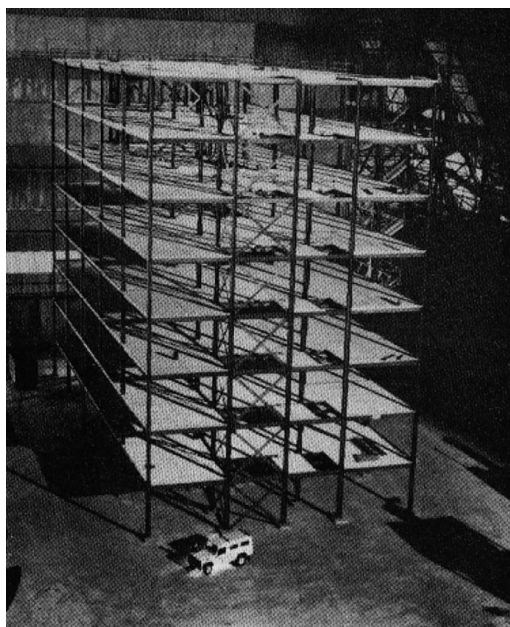
Habár a szigetelő réteg vastagságát a kritikus hőmérséklet alapján van lehetőség meghatározni, kombinált tűzvédelem esetén nem áll rendelkezésre számítási módszer a tűzállóság igazolására, így ezekben az esetekben mindenképpen csak a minősített laboratóriumi vizsgálatok adnak módot arra, hogy az egyes konfigurációk tűzzel szembeni teljesítő képességét igazoljuk. [LUBLÓY ET AL. 2023a]

2.5. Szemelvények a nemzetközi kutatási anyagokból

2.5.1. Cardington

A Broadgate Phase 8 tüzeset tapasztalata – vagyis az, hogy az épület nem dőlt össze, mint ahogyan azt a tűzterhelésből várni lehetett – egy hétrészes kísérletsorozathoz vezetett. Cardingtonban 1994 és 2003 között valós méretben hajtottak végre tűzteszteket egy nyolcemeletes, öszvérszerkezetű födémrel rendelkező acél tartószerkezetes épületben. Az első tesztet egy védelem nélküli gerendán végezték, ez alapozta meg az eredmények összehasonlíthatóságát. A további teszteket eltérő alapterületű tűzszakaszokon végezték,

melyekben az oszlopokat ellátták tűz elleni védelemmel, de a gerendákat nem. A tesztek során azt tapasztalták, hogy habár a gerendák hőmérséklete elérte az 1100 °C-ot, azokban mégsem következett be a szerkezeti tönkremenetel. A kutatás jelentősége, hogy bebizonyította, hogy a standard tűzteszt által az egyes szerkezeti elemekre meghatározott viselkedés nem tükrözi a teljes szerkezet viselkedését valós tűzben. [SCI 2013]



4. kép: A Cardington tűzteszt épülete
[RESEARCHGATE.NET, 2000]

2.5.2. Szénszálakkal erősített polimerek alkalmazása acélszerkezetek erősítésére

IMRAN–MAHEDRAN [2020] kutatásában azt vizsgálta, hogy a betonnál már sikerrel alkalmazott szénszálakkal erősített polimereket vajon acélszerkezetek védelmére is fel lehet-e használni. Az acélon való alkalmazásuknak ugyanis gátat szab, hogy nem ismert, milyen hatással vannak a tűzkarakterisztikára.

Laborvizsgálataikhoz hidegen alakított, rövid, zárt négyszögszelvény profilt használtak, és azt vizsgálták, hogy az megfelel-e a tűzállósági követelményeknek, figyelembe véve, hogy az építmény jellegétől függően ez az érték 30-240 perc is lehet.

A szénszálakkal erősített polimer bevonat növeli az acél szerkezeti elem vastagságát, merevségét, ennek köszönhetően nagyobb lesz a teherbírása tengelyirányú nyomásra, viszont láng- és füstképződéssel kapcsolatosan kérdéseket hagy maga után.

Az első kísérletsorozatban a védelem nélküli, erősített acél elemeken 20°C-tól 225°C-ig hét különböző hőmérsékleten tengelyirányban növelték a nyomóerőt tönkremenetelig. A vizsgálatok azt mutatták, hogy habár maguk a szénszálakkal erősített polimerek a tűznek jól

ellenállnak kb. 600°C-ig, az alkalmazott ragasztók ún. üvegesedése már 65°C-nál megkezdődik, aminek következtében 225°C-ra az erősítés hatása teljesen leépül.

A második kísérletsorozatban standard tűztesztet hajtottak végre nem terhelt, 20%-os és 30%-os terhelési kihasználtsággal, de ezeknél a kísérleteknél szórással felhordtak egy második, hőszigetelő bevonatot. A kísérlet eredményei alapján 20%-os terhelési hányaddal a standard tűzteszt már 60 percnél nagyobb eredményt adott.

2.5.3. Passzív tűzvédelem viselkedése földrengéskor

Passzív tűzvédelemmel ellátott, EC8 szerint (földrengésre) méretezett, koncentrikusan merevített acél vázszerkezetet vizsgáltak vegyes módszerrel Olaszországban [COVI ET AL, 2024]. A vizsgálat célja az volt, hogy megnézzék, hogyan viselkedik a tűzvédelmi kialakítás földrengés esetén.

A vizsgálathoz megtervezték egy négyszintes irodaépület vázszerkezetét. A vegyes vizsgálati módszer lényege abban állt, hogy csak a földszintre vonatkozóan hajtottak végre laborvizsgálatokat, a többi emeletre vonatkozó adatokat szimulációval állították elő.

Négy különböző fesztávra összesen 10 kísérletet végeztek el. A szerkezet tűzvédelmét normál vagy földrengésre erősített szilikát-kalcium táblák jelentették, továbbá hőre habosodó vermikulit alapú festékekkel látták el mind a teherviselő, mind pedig a teherátadásban részt vevő szerkezeti elemeket. A kísérletben vizsgálták az első rengés és az azt követő utórengés hatását, illetve ezt követően még egy ciklikus tesztet is végrehajtottak (± 30 mm kilengés mellett 0-600 kN függőleges terhelés három illetve öt ciklusban).

A vizsgálat eredménye, hogy habár mind az első, mind a második tesztet követően voltak a szerkezetben kisebb sérülések (pl. a táblákon repedések a rögzítési pontoknál), azok a tűzvédelmi teljesítményt nem befolyásolták, a hőre habosodó festékbevonat nem károsodott.

Ennek például egy olyan alkalommal lehet nagy jelentősége, mikor egy földrengést követően a károsodott elektromos és vízellátó rendszer miatt a tűzoltó berendezés nem tud működni – mint ahogy történt a World Trade Center esetében is. A laborvizsgálat bizonyította, hogy egy földrengés esetén az elmozdulások értékeinek minimalizálása önmagában is határos a passzív tűzvédelmi rendszer védelmére. [COVI ET AL, 2024].

3. A PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA

Ahogy azt a korábbi esettanulmányokban láttuk, léteznek olyan tüzesetek, amik komoly anyagi károkat és több esetben emberéleteket is követelnek, ezért a tervezés során a szerkezetek tűzvédelmére egyre nagyobb figyelmet kell fordítanunk, hogy a jövőben minimalizálni lehessen mind a gazdasági, mint az emberi élethez kapcsolódó veszteségeket. A korábbi esetekből tanulva formálódott és átalakult a szerkezetek tervezési szemlélete, nagyobb odafigyeléssel, és a korábbi tapasztalatokat gyakorlatba építve történik a szerkezet típusának és védelmének megválasztása. Az elmúlt időszakban sokat fejlődtek mind az aktív, mind a passzív tűzvédelmi módok és eszközök.

A feladatom keretében egy (fiktív) kézilabda csarnok statikai tervein keresztül vizsgálom a szerkezet viselkedését a normál igénybevételekre és a rendkívüli tűzterhelésekre. Meghatározom az építmény tűzállósági teljesítménykövetelményét és ellenőrzöm rá a szerkezetet. Szükség esetén bemutatok néhány lehetséges alternatívát a passzív tűzvédelmi módok közül, és gazdaságossági megfontolásból javaslatot teszek egy lehetséges optimális bevonatra.

4. ACÉL TARTÓSZERKEZETŰ CSARNOK TŰZVÉDELME NEK TERVEZÉSE

4.1. Tervezési alapadatok

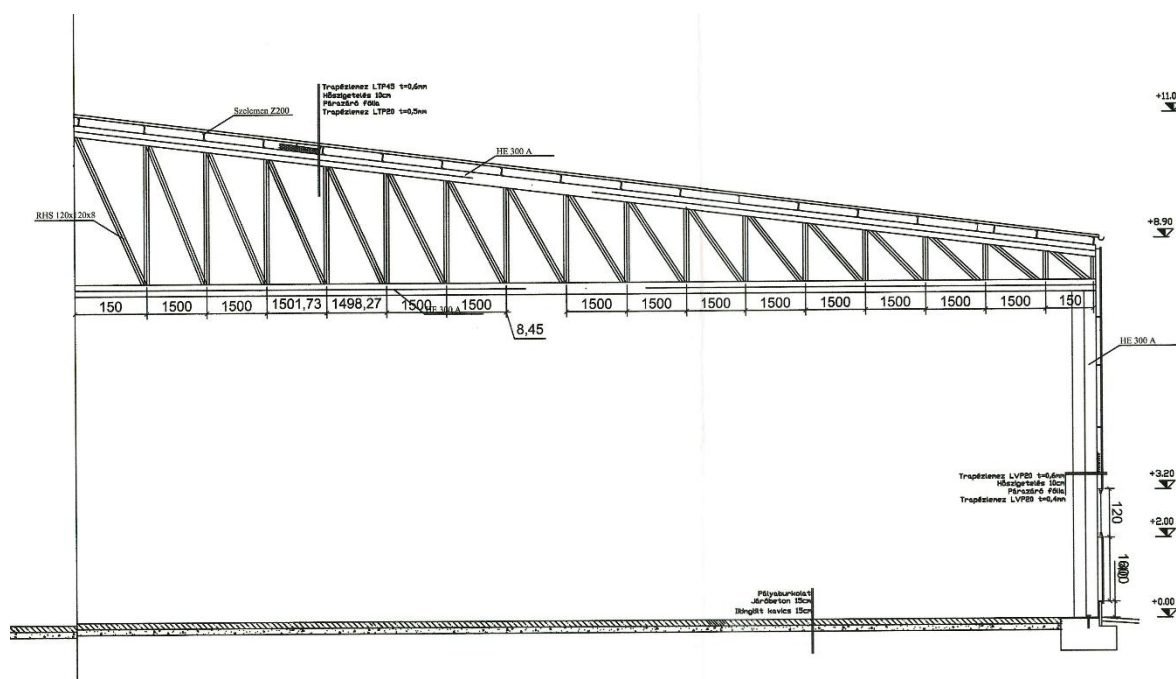
Adott egy szakdolgozati keretek között kidolgozott statikai terv [NAGY, 2014], melynek tűzvédelmét fogom meghatározni, és egy lehetséges optimalást elvégezni. A tervezést a feladat szakdolgozati jellege miatt egy keretállásra végzem el. A dolgozatban csak az elsődleges teherviselő szerkezeti elemeket vizsgálom, a csomópontok méretezésével nem foglalkozom.

A megtervezett, acélszerkezetű kézilabda csarnok geometriája a következő: 75 m hosszú, 51 m fesztávolságú, 11 m taréjmagasságú. A méretezést az Eurocode előírások szerint végezték. A statikai méretezés végeredménye egy 16 keretállásos csarnoképület, rácsostartós tetőszerkezettel. A keretállások távolsága 5 m. A tetőszerkezet alsó és felső öve, akárcsak az oszlopok, HE 300 A hengerelt I szelvényből készültek, a rácsrudak pedig RHS 120x120x8 mm négyszög alakú zártszelvények. Minden elem S235 minőségű szerkezeti acél. A rácsrudak osztásköze 1500 mm. A csarnok homlokzati vázlattervét és a rácsostartó részletrajzát az **A melléklet:** tartalmazza [NAGY, 2014].

Az oldalfal és a tető héjalása is trapézlemezek között elhelyezett 10 cm hőszigetelést és párazáró fóliát tartalmaz. A tető héjalását Z200 szelvényű szelemenek támasztják alá, a homlokzati lemezeket C150 szelvényű falvázgerendák tartják. (6. ábra).

A szerkezet statikailag határozott: kéttámaszú tartóként lett modellezve.

A csarnok befogadóképessége 1900 fő, mely a küzdőtér megnyitásával 2700 főre bővül.



6. ábra: Keresztmetszeti vázlatterv [NAGY, 2014]

4.2. A tervezési feladatnál alkalmazott szabványok listája

EN 1990:2002/A1:2005 Eurocode - Basis of structural design

MSZ EN 1991-1-2:2005 Eurocode 1: A tartószerkezeteket érő hatások. 1-2. rész: Általános hatások. A tűznek kitett szerkezeteket érő hatások.

MSZ EN 1993-1-1: 2005/A1:2015 Eurocode 3: Acélszerkezetek tervezése. 1-1. rész: Általános és az épületekre vonatkozó szabályok.

MSZ EN 1993-1-2:2013 Eurocode 3: Acélszerkezetek tervezése. 1-2. rész: Általános szabályok. Szerkezetek tervezése tűzhatásra.

54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról

Tűzvédelmi Műszaki Irányelv 11.3 – Építményszerkezetek tűzvédelmi jellemzői

Tűzvédelmi Műszaki Irányelv 14.2 – Kockázati osztályba sorolás

4.3. Kockázati osztály és tűzállósági teljesítménykövetelmény meghatározása

A tűzvédelmi tervezési követelmények alapját a kockázati osztály jelenti, melynek meghatározásáról az OTSZ rendelkezik.

A teljes csarnokot egy kockázati egységként kezelve az OTSZ [2014] 1. melléklet 1. és 2. táblázat alapján az alábbi kockázati osztályokat állapítottam meg (**7. ábra**):

1	A kockázati egység kockázati osztálya	NAK	AK	KK	MK
2	A kockázati egység kijárat szintje és a kijárat szint feletti legfelső, a 12. § (4) bekezdése alapján figyelembe vett építményszintje közötti szintkülönbség (m), valamint a kilátó és az állvány jellegű építmény esetében a legmagasabb emberi tartózkodásra szolgáló tér járőrfelületének magassága (m) Több kijárat szinttel rendelkező kockázati egység esetén azt a kijárat szintet kell figyelembe venni, amely a legnagyobb szintkülönbséget eredményezi az egyes építményszintek és az azokhoz tartozó kijárat szintek szintkülönbségei között	0,00–7,00	7,01–14,00	14,01–30,00	> 30,00
3	A kockázati egység kijárat szintje és a kijárat szint alatti legalsó építményszintje közötti szintkülönbség (m) Több kijárat szinttel rendelkező kockázati egység esetén azt a kijárat szintet kell figyelembe venni, amely a legnagyobb szintkülönbséget eredményezi az egyes építményszintek és az azokhoz tartozó kijárat szintek szintkülönbségei között	0,00–4,00	4,01–7,00	7,01 – 14,00	> 14,00
4	A kockázati egység legnagyobb befogadóképességű helyiségének befogadóképessége, valamint a kilátó, a ponyvaszerkezetű építmény, az állvány jellegű építmény és szín esetében az építmény befogadóképessége (fő)	1–50	> 50	> 300 és összefüggő tömeget képez	a létszám nem releváns
1	A kockázati egységben tartózkodók menekülési képessége		A kockázati egység kockázata		
2	önállóan menekülésre képes személyek		NAK		
3	segítséggel menekülő személyek		AK		
4	előkészítés nélkül menthető személyek		KK		
5	előkészítéssel vagy azzal sem menthető személyek		MK		

7. ábra: Mértékadó kockázati osztály meghatározása [OTSZ alapján saját szerk.]

A csarnok a kijárat szintviszonyok és a benn tartózkodó személyek menekülési képessége alapján NAK, míg a befogadóképesség alapján KK osztályba sorolható. Ezek alapján a csarnok mértékadó kockázati osztálya: KK (közepes).

Közepes kockázati osztályú egyszintes épületben a teherhordó szerkezet, jelen esetben a keretállás oszlopainak elvárt tűzállósági teljesítménye az OTSZ [2014] 2. melléklete alapján R30, azaz 30 percig kell megfelelnie a tartószerkezetnek összeomlás nélkül, míg a legfelső szint lefedését biztosító szerkezet követelménye, jelen esetben a rácsos tartóé, szintén R30 (**8. ábra**).

1	Mértékadó kockázati osztály		NAK	NAK	NAK	AK	AK	KK	KK	KK	MK	MK	MK
2	Épület, önálló épületrész szintszáma [a 12. § (4) bekezdése alapján]		1-2 ipari, mezőgazdasági, tárolási alaprend. esetén	3 ipari, mezőgazdasági, tárolási alaprend. esetén	4	1-3	4-7	1-2	3-6	7-15	1-2	3-15	>15
			1-3 lakó alaprend. esetén	1-3 közösségi alaprend. esetén									
3	Építményszerkezet	Kritérium	Elvárt tűzállósági teljesítmény és tűzvédelmi osztály										
4	Teherhordó építményszerkezetek, a födémek és a legfelső szint lefedését biztosító szerkezet kivételével – a tűzterjedésgátlásban szerepet játszó falakra EI kritérium is vonatkozik – a pincszintű szerkezetek tűzvédelmi osztálykövetelménye legalább A2, tűzállósági teljesítménykövetelménye legalább R30	R	15 D	30 D	60 D	30 D	60 A2	30 A2	60 A2	90 A2	60 A2	90 A2	120 A2
6	A legfelső szint lefedését biztosító szerkezet	ha a szerkezet alatti födémszerkezetet nem méretezték romteherre	a 4. sor szerint										
		minden esetben	R	15	15	30	15	30	30	60	30	60	60
		ha a szerkezet megnyílása, deformációja a környezetét veszélyezteti	E										
		a szerkezet átmelegedése a környezetét veszélyezteti	I										
		a tűzvédelmi osztályra vonatkozó követelményt a 2. mellékletben foglalt 2. és 3. táblázat tartalmazza											

8. ábra: Tűzállósági teljesítménykövetelmény meghatározása [OTSZ alapján saját szerk.]

4.4. Szerkezet ellenőrzése védelem nélkül

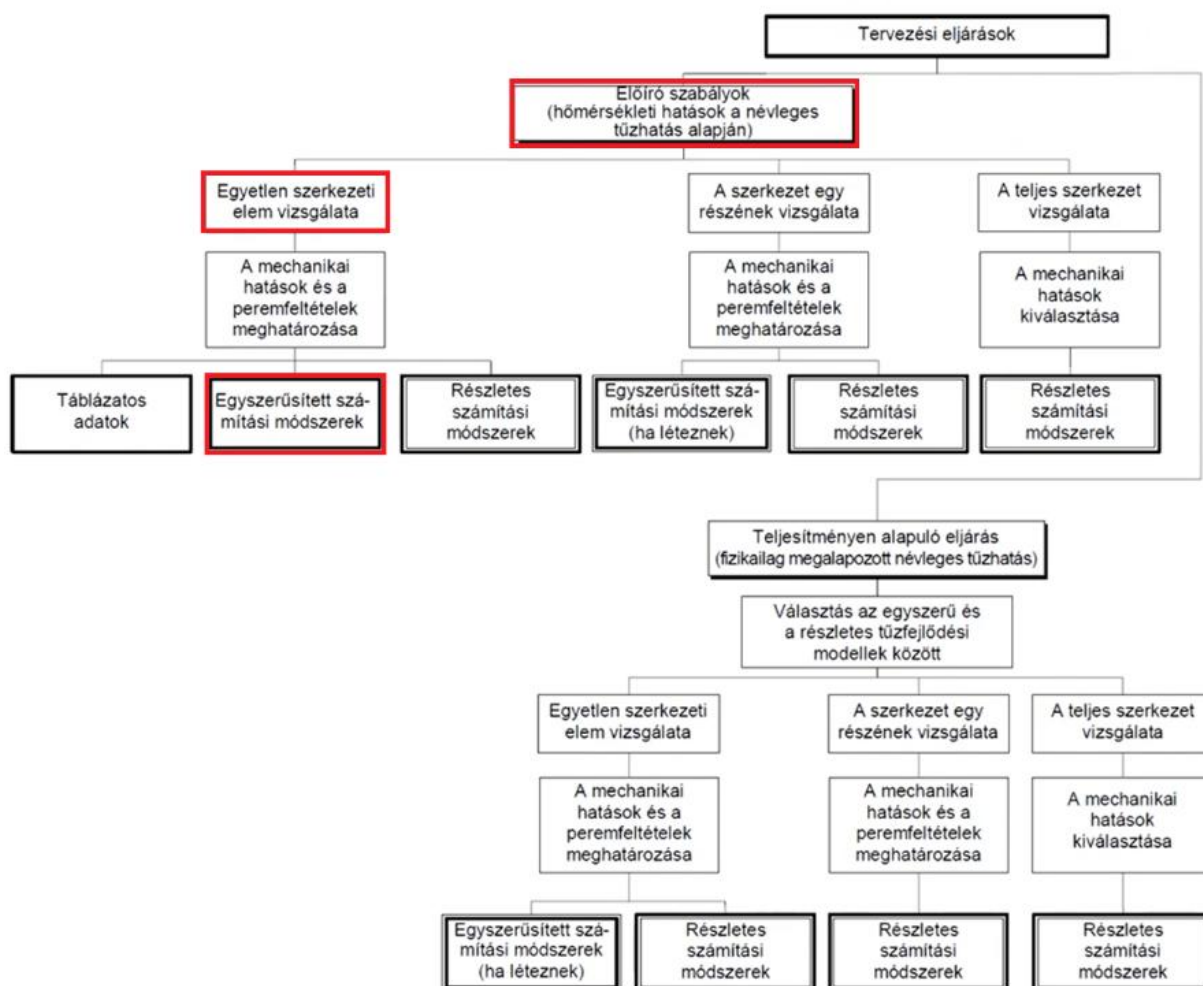
A tűzvédelmi tervezéshez az AXISVM [2024] végeselem szoftver oktatási verzióját hívtam segítségül. A végeselemes módszert alkalmazó program a tűzvédelmi tervezést az alábbi lépésekre bontja (9. ábra):



9. ábra: A tűzvédelmi tervezés lépései AxisVM szoftverrel [AXISVM, 2024a]

A tűzvédelmi tervezés, ahogyan az korábban az elméleti részben is kifejtésre került, egyrészt megközelíthető abból az irányból, hogy az adott időtartamhoz igazolásra kerül, hogy az acél hőmérséklete alapján annak megváltozott fizikai jellemzőivel az ellenállások (kihasználtságok) megfelelőek, a szerkezet nem omlik össze. Ha szükséges tűzvédelmi bevonat alkalmazása, akkor annak megtervezéséhez az acél hőmérsékletére, illetve szelvénytényezőjére van szükség. Az Eurocode-ban meghatározott módszerek közül az AXISVM [2024] méretező modulja az előíró szabályokon alapszik, egyetlen szerkezeti elemet vizsgál, s azokat is egyszerűsített számítási módszerekkel. (10. ábra)

Első lépésben ellenőrizzük a 30 perces követelménynél védelem nélkül a szerkezetet. Ugyan korábban megállapítottuk, hogy egy acél tartószerkezet tűzállósági teljesítménye függ egyrészt a normál hőmérsékleten való kihasználtságtól, másrészt a profiltényezőtől, az acél fizikai tulajdonságainak megváltozása miatt azt várjuk, hogy a szerkezet nem fog megfelelni a 30 perces követelménynek.

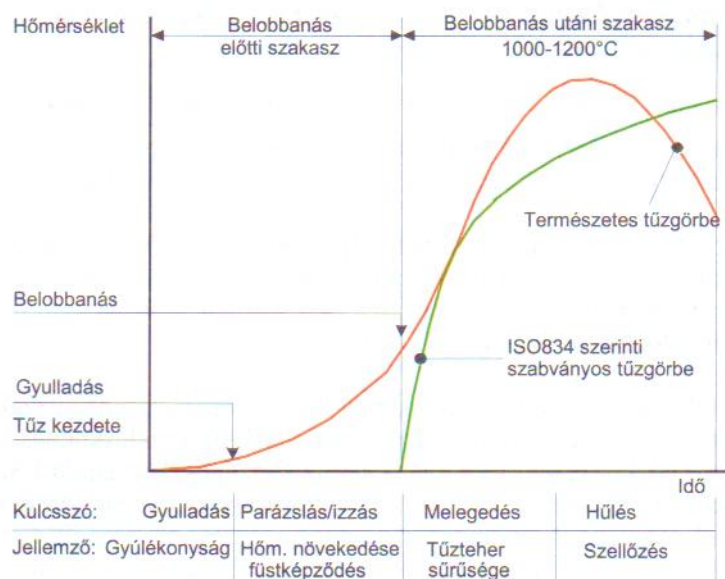


10. ábra: AxisVM program eljárási módszere [AXISVM, 2024b]

4.4.1. Tűzterhelési paraméterek meghatározása

Az AXISVM [2024] programban az első lépés a geometria megadása: a modellben felépítésre került egy (nem szélső elhelyezkedésű) keretállás. A két oszlopot, illetve a rácsrudakat egy-egy rúdelemként definiáltam, míg a rácsostartó övrudaihoz tartozó rúdelemek meghatározása igazodik a rácsrudak 1,5 m-es osztásközéhez. Miután a programban felvettük a csarnoképület geometriáját (137 db rúdelem), a következő lépés a tűzterhelés meghatározása.

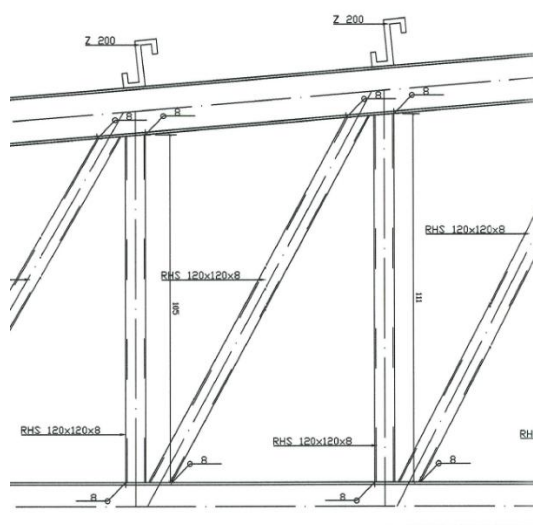
Az Eurocode előíró módszerében névleges hőmérséklet–idő görbéket használunk a tűzhatás meghatározásához. A szabvány által előírt standard tűzhatás a tűztér minden pontjában egyenletes gázhőmérsékletet feltételez. Hőmérséklet–idő grafikonjának kiindulási pontja a teljes lángbaborulás időpontja, és innen kezdve monoton csökkenő ütemben növekszik (11. ábra).



11. ábra: Természetes és szabványos tűzgörbe [BALÁZS ET AL. 2010 p.8.]

Az ISO tűzgörbén kívül számos más tűzgörbe is létezik, például más jellemzőkkel bírnak a szénhidrogén tüzek, vagy egyetlen tűzszakaszra a természetes tüzeiket jobban közelítő ún. parametrikus tűzgörbék is definiálhatók, ha ismertek az éghető anyagok és belőlük viszonylag kismértékű tűzterhelés származik [BALÁZS ET AL, 2010]. Az Axis tervezőprogram ezeket is képes kezelni.

A tervezéskor az ISO tűzgörbével dolgoztam. Az alsó övrudak és rácsrudak esetében négyoldali tűzkitettséget vizsgáltam. A rácsos tartó felső övéénél, illetve az oszlopoknál háromoldali a kitettség, a tetőre Z szelemenekkel (12. ábra), az oszlopokra pedig hosszirányú C falvázgerendákkal rögzített tető- illetve falpanelek miatt.



12. ábra: A rácstartó részletrajza [NAGY, 2014]

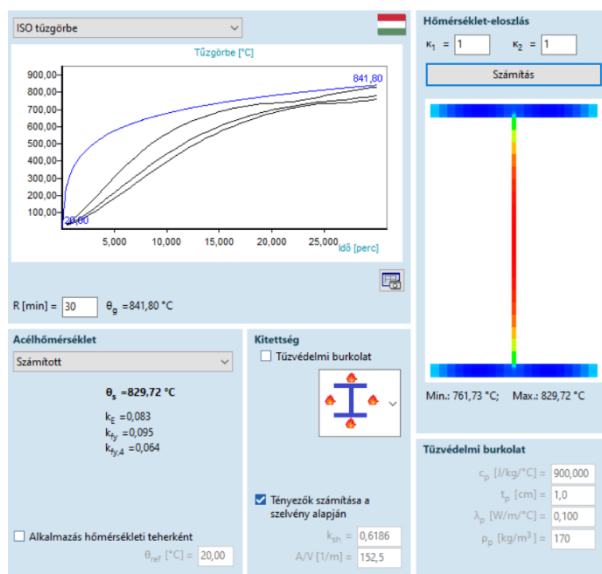
Ha a keresztmetszeten belül egyenlőtlen hőmérséklettel dolgozunk, akkor ezt az EC3-1-2 alapján a κ_1 és κ_2 értékekkel lehetséges definiálni. Négyoldali tűzhatás esetén $\kappa_1=1$, κ_2 pedig csak statikailag határozatlan tartó esetében tér el egytől, tehát jelen esetben $\kappa_2=1$, szintén.

A felső öv és oszlopok esetében a háromoldali kitettségénél a negyedik oldalt a tető- illetve homlokzati lemezek borítják, melyek kialakítása két trapézlemez között elhelyezett 10 cm vastag kőzetgyapot hőszigetelés. Axis programban a kitettség definiálása alapvetően beton födémre van optimalizálva, rétegvastagság és sűrűség megadása kötelező. Ugyan van lehetőség tetszőleges értékeket beállítani, azt fontos kiemelni, hogy összetett burkolatot egyáltalán nem tud kezelni, ezért én csak a 10 cm kőzetgyapotra vonatkozó értékekkel egyszerűsítettem a helyzetet. A kőzetgyapot sűrűsége 150 kg/m^3 [LUBLÓY ET AL. 2023b, 5.5. táblázat].

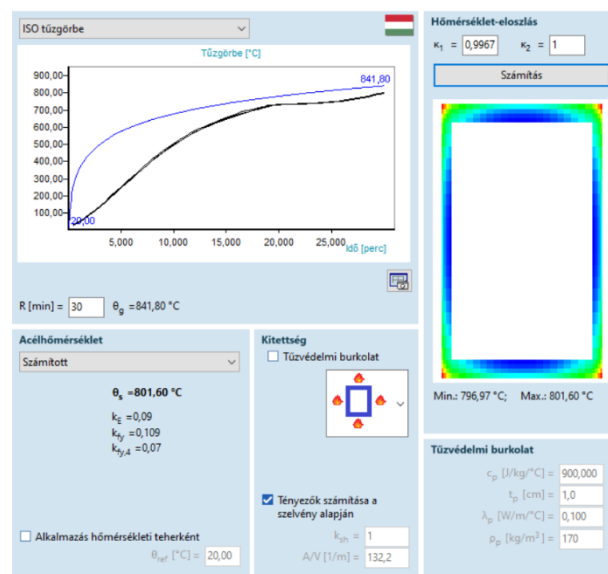
A 30 perchez tartozó számított hőmérsékleti értékek, illetve fizikai tulajdonságok az alábbiak szerint alakulnak (**1. táblázat**, Hiba! A hivatkozási forrás nem található.-**16. ábra**).

1. táblázat: Tűzteher paraméterek 30 percnél

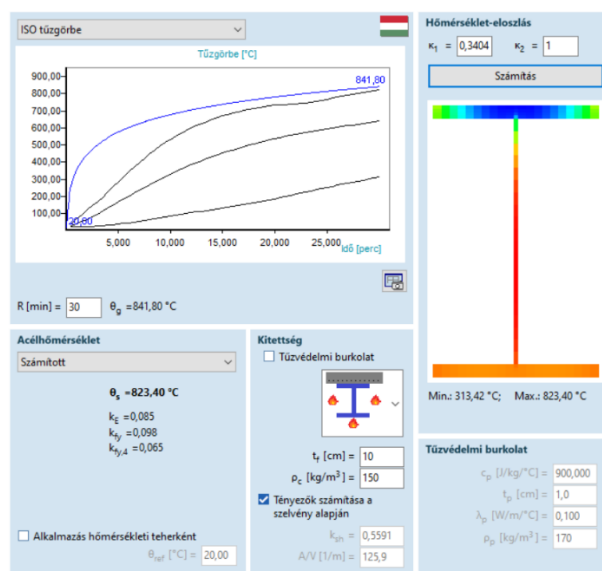
Paraméter	HE 300 A (alsó öv)	RHS 120x120x8 (rácsrudak)
ISO tűzgörbe alapján léghőmérséklet, Θ_g [°C]	841,8	841,8
szelvény számított legnagyobb hőmérséklete, Θ_s [°C]	829,72	801,60
helye	I szelvény övben	sarkokon
rugalmassági modulust módosító tényező, k_E	0,83	0,09
folyáshatárt módosító tényező, k_{fy}	0,095	0,109
arányossági tényező, k_{f4}	0,064	0,07
Paraméter	HE 300 A (felső öv)	HE 300 A (oszlop)
ISO tűzgörbe alapján léghőmérséklet, Θ_g [°C]	841,8	841,8
szelvény számított legnagyobb hőmérséklete, Θ_s [°C]	823,40	823,40
helye	övben, a nem burkolt oldalhoz közelebb	övben, a nem burkolt oldalhoz közelebb
rugalmassági modulust módosító tényező, k_E	0,85	0,85
folyáshatárt módosító tényező, k_{fy}	0,098	0,098
arányossági tényező, k_{f4}	0,065	0,065



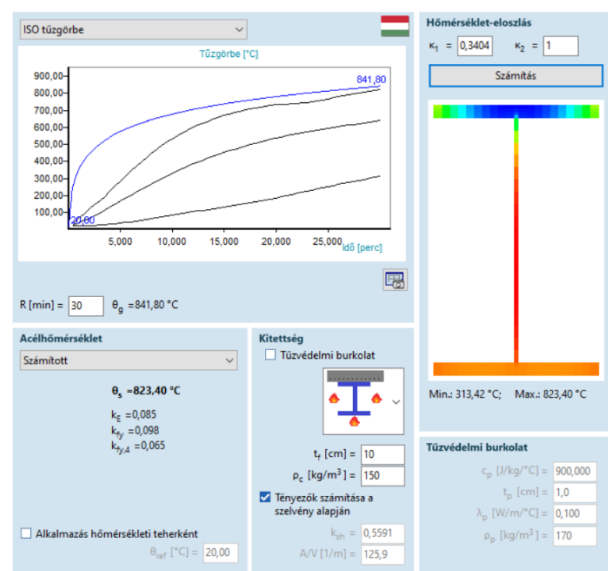
13. ábra: Tűzterhek az alsó övrudakban



14. ábra: Tűzterhek a rácsrudakban



15. ábra: Tűzterhek felső övrudakban



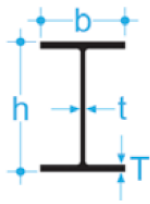
16. ábra: Tűzterhek az oszlopokban

4.4.2. Acél szerkezeti elem hőmérsékletének meghatározása nomogrammal

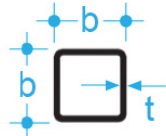
ISO tűzhatás alkalmazása esetén az acél szerkezeti elem hőmérséklete, annak korrigált szelvénytényezője és a tűzhatás ideje alapján, egyértelműen meghatározható. [KULCSÁR, 2009].

A tűzhatás ideje a tervezési követelmény alapján jelen esetben 30 perc.

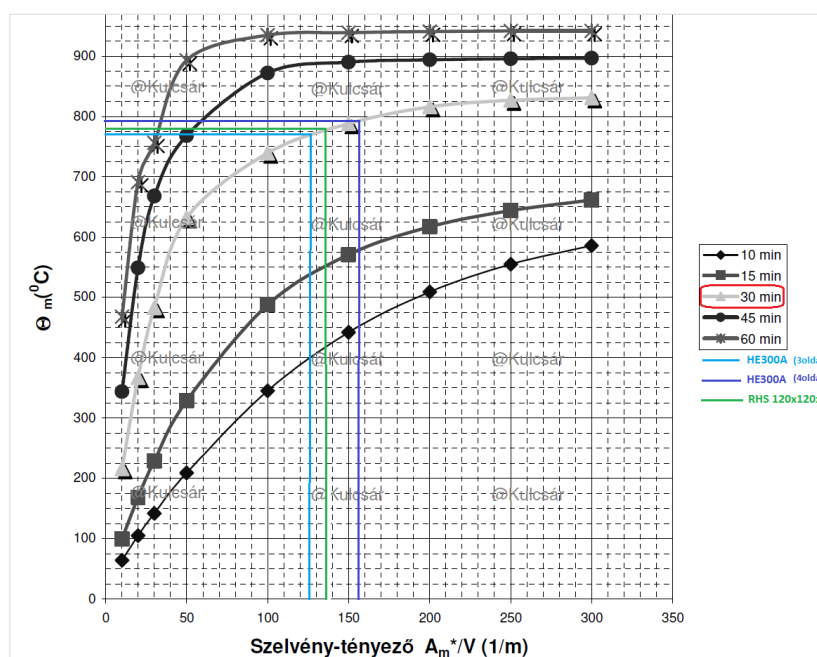
A szelvények profiltényezője azok geometriája és a kitettség alapján meghatározott (17. és 18. ábrák).

								Profiltényező A_p/V [m ⁻¹]			
								Profilkövető védelem		Dobozos védelem	
											
								3 oldalú	4 oldalú	3 oldalú	4 oldalú
Szelvény	Szelvénytérletek		Falvastagság		Fajlagos tömeg	Keresztmetszet	Fajlagos felület				
	magasság (h)	szélesség (b)	gerinc (t)	öv (T)							
	mm	mm	mm	mm	kg/m	cm ²	m ² /m	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹	m ⁻¹
HEA 300	290	300	8,5	14,0	88,3	113	1,717	126	153	78	105

17. ábra: HE 300 A szelvény profiltényezője [kivonat PROMAT, 2024 p.17.]

				Profiltényező A_p/V [m ⁻¹]	
					
				3 oldalú	4 oldalú
Külső méret (b)	Falvastagság (t)	Fajlagos tömeg	Keresztmetszet		
mm	mm	kg/m	cm ²	m ⁻¹	m ⁻¹
120 x 120	8,0	27,6	35,2	103	137

18. ábra: RHS120x120x8 szelvény profiltényezője [kivonat Promat, 2024 pp.29-30.]



19. ábra: Acél szerkezeti elem hőmérsékletének meghatározása diagrammal [KULCSÁR, 2009 p.5. alapján saját szerk.]

Az Axis programból a beadott adatok alapján kapott, illetve a nomogramról leolvasott értékek összehasonlítását a **2. táblázat** mutatja.

2. táblázat: Acélhőmérsékletek számított és leolvasott értékeinek összehasonlítása

Szerkezeti elem	Programban kapott érték [°C]	Leolvasott érték [°C]
HE300 A (négyoldali kitettség)	829,72	795
HE300A (háromoldali kitettség)	823,40	770
RHS 120x120x8	801,60	780

Az értékeket egymás mellé helyezve azt tapasztaljuk, hogy a program 3–7 %-kal magasabb acélhőmérsékletet határozott meg, mint a nomogramos leolvasás. A legnagyobb a különbség a HE300A szelvény háromoldali kitettsége esetén.

Tűzvédelmi burkolat nélküli acél elemek hőmérsékletét az Axis program a következőképpen számítja (EN 1993-1-2; $\Delta t = 5$ másodperc) [AXIS VM, 2024c p.430.]:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A/V}{c_a \rho_a} \dot{h}_{net,d} \Delta t$$

ahol

k_{sh} [-] árnyékolási tényező (SIA szabvány esetén $k_{sh} = 1.0$)

A/V [1/m] szelvénytényező

c_a [J/kgK] acél fajhője (hőmérsékletfüggő EN 1993-1-2 szerint)

ρ_a [kg/m³] acél sűrűsége

$\dot{h}_{net,d}$ [W/m²] hőmenyiség

A biztonság javát szolgálja, ha a magasabb értékekkel számolok tovább. (Ám magától értetődő, hogy a program eleve ezeket alkalmazza.)

4.4.3. Teherkombinációk meghatározása

A tűzhatásra való tervezés egy rendkívüli tervezési állapot. A mértékadó teherkombináció az EC0 [2005] alapján:

$$E_{fi,d} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_d + (\psi_{1,1}) Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

A_d : közvetett hatások hőmérsékletváltozásból (igénybevételek a hőtágulásból)

$G_{k,j}$: állandó hatások karakterisztikus értéke

$Q_{k,1}$: kiemelt esetleges hatás karakterisztikus értéke

$Q_{k,i}$: többi esetleges hatás karakterisztikus értéke

ψ : kombinációs tényezők rendkívüli állapotban

Az EC3-1-2 [2013] alapján ISO tűzgörbét alkalmazva a szomszédos elemekről átadódó közvetett hatásokat, pl. a gátolt alakváltozás, nem kell figyelembe venni. Ezért A_d értéke zérus.

A fenti képlet alapján az állandó hatásokat karakterisztikus értékükkel, a kiemelt esetleges hatást gyakori értékével (ψ_1), a többi esetleges hatást pedig kvázi-állandó értékükkel (ψ_2) vesszük figyelembe.

Egyszerűsített példamban állandó hatás az önsúly, esetleges hatásként pedig előfordulhat hasznos teher, szélteher, hőteher. Hőteherre háromféle eshetőséget vettem számításba: a teljes tetőn van hótakaró, vagy csak a jobb, vagy csak a bal oldalán. Szélteher esetében pedig megkülönböztettem hosszirányú, illetve keresztirányú szelet. A kombinációs tényezőket a **3. táblázat** mutatja.

3. táblázat: Kombinációs tényezők

Esetleges hatás jellege	gyakori érték (ψ_1)	kvázi-állandó érték (ψ_2)
hasznos teher	0,5	0
hó	0,2	0
szél	0,2	0

Mivel mindegyik esetleges hatás kvázi-állandó értékéhez tartozó kombinációs tényező zéró, könnyen belátható, hogy az önsúlyon kívül a számításban csak egy esetleges hatás fog szerepelni. A tűzhatást a tűzteher felvételével meghatározott, folyáshatárt és rugalmassági modulust módosító tényezők fogják szerepeltetni a számításokban. Mindezt összefoglalva táblázatos formába, a teherkombinációk a következőképpen alakulnak (**4. táblázat**):

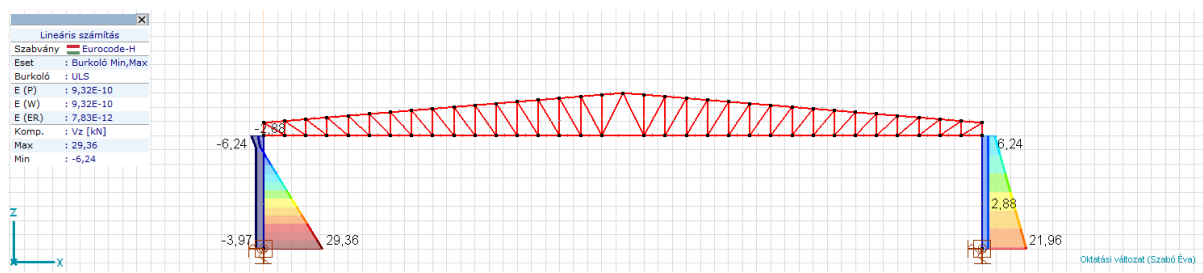
4. táblázat: Teherkombinációk felvétele

Név	Önsúly	Hasznos teher	Totális hó	hó jobb	hó bal	Kereszt szél külső	Kereszt szél belső	Hossz szél külső	Hossz szél belső	Tűz (TÜZ)
Tűz hasznos	1	0,5	0	0	0	0	0	0	0	1
Tűz hó bal	1	0	0	0	0,2	0	0	0	0	1
Tűz hó jobb	1	0	0	0,2	0	0	0	0	0	1
Tűz hó teljes	1	0	0,2	0	0	0	0	0	0	1
Tűz hossz szél	1	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	1
Tűz kereszt szél	1	0	0	0	0	0,2	0,2	0	0	1

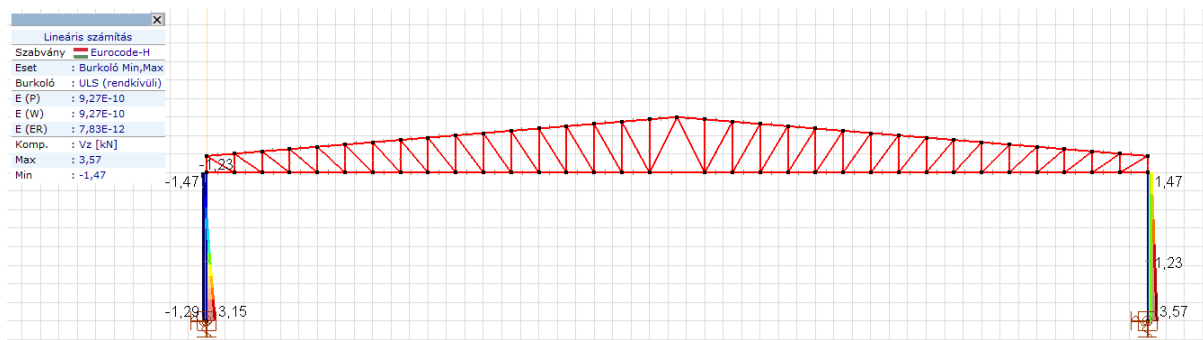
4.4.4. Igénybevételek összehasonlítása normál hőmérsékleten és tűzben

A rácsostartó kedvelt statikai szerkezet, mivel erőjátékában csak húzó- és nyomóerők alakulnak ki, azaz a rudakban csak nyomó- és húzófeszültség léphet fel, egyéb igénybevételt (nyírás, csavarás, forgatónyomaték) nem kell figyelembe venni. A keretállás vizsgálata során ezért a nyírás és forgatónyomatékot csak a két oszlopra kell vizsgálni.

Az oszlopokon normál hőmérsékleten a legnagyobb nyírás hosszirányú szél esetén alakul ki az alaptestnél, melynek értéke 29,36 kN. Legkisebb értéke -6,24 kN, ugyanezen oszlop felső csomópontjánál akkor, amikor a hosszirányú szél teljes tetőt fedő hótakaróval párosul (**20. ábra**). Tűz esetén szintén a hosszirányú szélhez tartoznak a nyíróerő szélsőértékei: legnagyobb értéke az alaptestnél 3,57 kN, legkisebb értéke a felső, rácsos tartóhoz csatlakozó csomópontnál -1,47 kN (**21. ábra**).

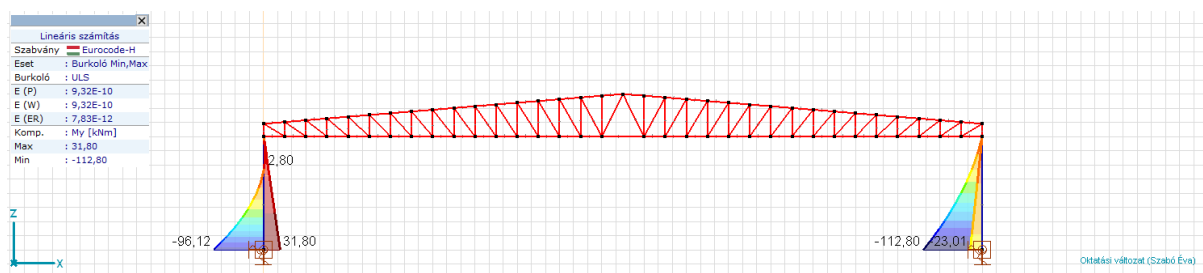


20. ábra: Nyíró igénybevételek normál hőmérsékleten

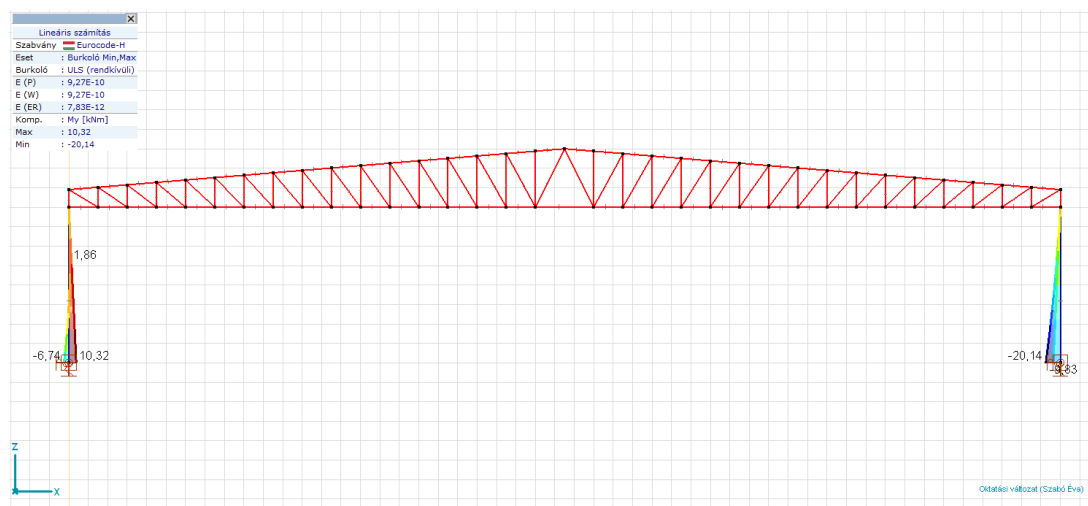


21. ábra: Nyíró igénybevételek tűzben

A nyomatékok szélsőértéke – a szerkezet kialakítása okán – mindig az oszlop talapzatánál alakul ki. Normál hőmérsékleten a legkisebb nyomaték értéke az elsődleges hosszirányú szélhez másodlagos teherként felvett teljes tetőt fedő hőteherrel lép fel, értéke - 112,8 kNm. Legnagyobb értéke 31,8 kNm, amikor az önsúlyon kívül csak és kizárólag hasznos terhek hatnak (22. ábra). Tűz esetén a maximum szintén hasznos teherrel alakul ki, értéke 10,32 kNm. Minimum értéke hosszirányú szél esetében mutatkozik, értéke -20,14 kNm (23. ábra).



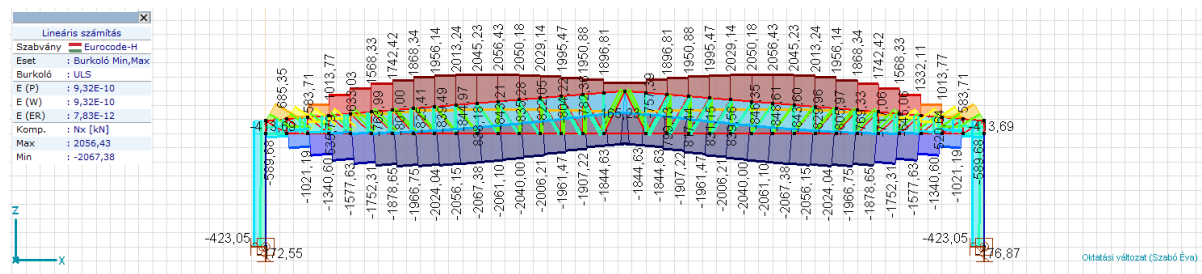
22. ábra: Nyomatékok normál hőmérsékleten



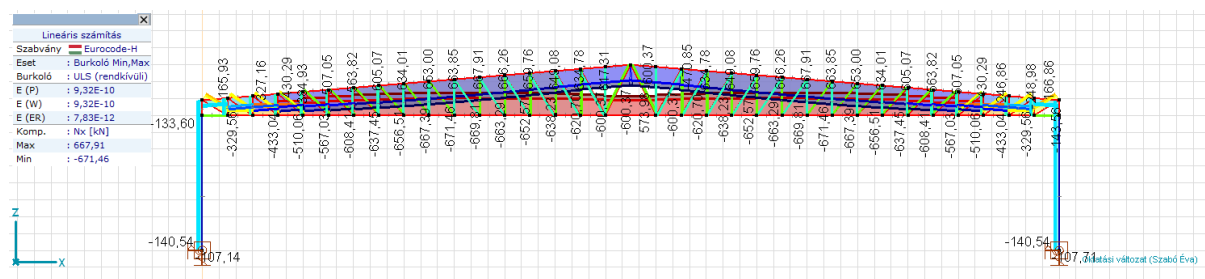
23. ábra: Nyomatékok tűzben

Az övrudak és az oszlopok azonos szelvényből készültek. Normál igénybevételek szempontjából az oszlopok nem mértékadóak. A legnagyobb húzóerő a felső övek közepénél, a legnagyobb nyomóerő pedig az alsó övek közepénél jelentkezik mindegyik teherállapotban. Normál hőmérsékleten mindkét szélsőérték akkor alakul ki, amikor a teherkombináció a hasznos terhet és a teljes tetőt fedő hőterhet is figyelembe veszi. Normál hőmérsékleten a húzóerő szélsőértéke $-2067,38$ kN, a nyomóerőé $2056,43$ kN (**24. ábra**). Tűz esetén a szélsőértékek a teljes tetőt fedő hőtehernél alakulnak ki. A húzóerő szélsőértéke $-671,46$ kN, a nyomóerőé $667,91$ kN (**25. ábra**).

A rácsrudakat vizsgálva a legnagyobb nyomóerő a két szélső ferde rácsrúdban alakul ki, míg a legnagyobb húzóerők a két szélső, függőleges elhelyezkedésű rúdban, az előzőekben ismertetett teherkombinációs esetekkel azonos módon. Normál hőmérsékleten a húzóerő szélsőértéke $-413,6$ kN, a nyomóerőé $685,35$ kN (**24. ábra**). Tűzben a húzóerő szélsőértéke $-132,83$ kN, a nyomóerőé $220,97$ kN (**25. ábra**).



24. ábra: Normál igénybevételek normál hőmérsékleten



25. ábra: Normál igénybevételek tűzben

A statikai számítások eredményeit az alábbi táblázatban foglaltam össze (5. táblázat):

5. táblázat: Eredménytáblázat

Igénybevétel típusa	Normál hőmérsékleten			Tűzben		
	szélsőérték	teherkombináció	helye	szélsőérték	teherkombináció	helye
nyírás	29,36 kN	hosszirányú szél	alaptestnél	3,57kN	hosszirányú szél	alaptestnél
nyomaték	-112,8 kNm	elsődleges hossz szél + teljes hó	alaptestnél	-20,14 kNm	hosszirányú szél	alaptestnél
húzás	-2067,38 kN	hasznos teher + teljes hó	felső öv közepe	-671,46 kN	teljes hó	felső öv közepe
nyomás	2056,43 kN	hasznos teher + teljes hó	alsó öv közepe	667,91 kN	teljes hó	alsó öv közepe
húzás	-413,69 kN	hasznos teher + teljes hó	két szélső, függőleges rúdban	-132,83 kN	teljes hó	két szélső, függőleges rúdban
nyomás	685,35 kN	hasznos teher + teljes hó	két szélső ferde rácsrúdban	220,97 kN	teljes hó	két szélső ferde rácsrúdban

Figyelembe véve, hogy a lehajlások a forrásként használt szakdolgozatban sem voltak vizsgálva, továbbá azt, hogy rendkívüli teherállapotban az elsődleges cél az emberi élet mentéséhez szükséges idő biztosítása, a lehajlásokat nem vizsgálom.

A csomópontokkal a feladat szakdolgozati jellege miatt nem foglalkozom.

4.4.5. Szerkezet elemzése

AXISVM [2024c] program acéltervezés modulja lehetőséget ad a stabilitási paraméterek széleskörű definiálására. Van lehetőség figyelembe venni azt, ha olyan támasztóelemekkel biztosítjuk normál hőmérsékleten a kifordulás elleni megtámasztást, melyek magas hőmérsékleten elvesztik merevségüket. Ekkor ezen elemeknek új megtámasztási viszonyokat határozhatunk meg. Ugyanez igaz a kiforduláshoz kapcsolódó öblösödést gátló tényezőre, illetve a kritikus nyomaték számításához tartozó megtámasztási viszonyokra is. (26. ábra)

Az értékeket Automatikus beállítás esetén a normál hőmérsékletre definiált értékekkel veszi figyelembe. Én most ezt a beállítást választottam, mivel szakdolgozatomban csak az elsődleges teherviselő szerkezeteket vizsgálom, illetve mivel a csomópontok vizsgálatát tűzhatásra szakdolgozatomban nem végzem el.

Tervezési módszer
Szelvényosztály szerint (elasztikus / plasztikus)

Szelvényosztály
Automatikus osztályba sorolás
1 2 3 4

Méretezési elem
☒ Lok. x-y síkban merevített Nem kilendülő
☒ Lok. x-z síkban merevített Nem kilendülő

Méretezési elemek összeállítás
1 2 3
1

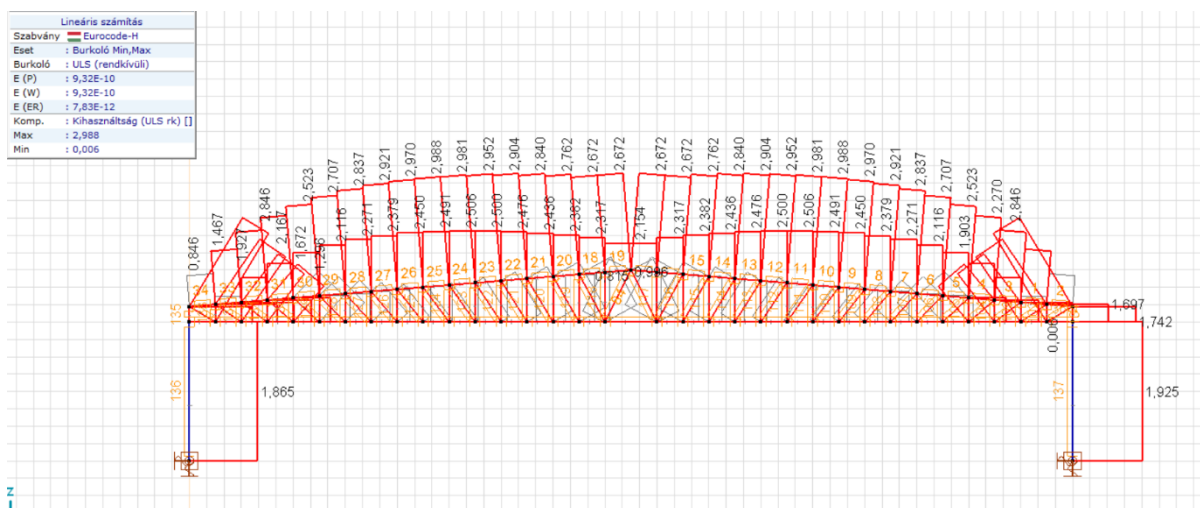
Földregés igénybevételek szorzója $f_{se} = 1$

Stabilitási paraméterek
☒ Kihajlás
y Kihajlási hossz szorzó $K_y = 1,000$
☐ Geometriai nemlinearitás + imperfekció
Automatikus a0 a b c d
z Kihajlási hossz szorzó $K_z = 1,000$
☐ Geometriai nemlinearitás + imperfekció
Automatikus a0 a b c d
☒ Kifordulás
A terhelés helyzete Megadott M_{cr} számítása Auto M_{cr}
Oldalirányú támaszok
☐ Automatikus
☒ K, Kw alapján becsülve
☐ Két végén villás
☐ Egyéb
 $K = 1,000$
 $K_w = 1,000$ ☐ Konzol
☒ Gerinc nyírási horpadás
☒ Merevített
☐ Keresztirányú merevítés

Stabilitási paraméterek tűzhatás alatt
Kihajlás
 $K_y = 1,000$
 $K_z = 1,000$
Kifordulás
Eredeti érték
 $K = 1,000$
 $K_w = 1,000$
Kihajlás + kifordulás
A nyomatékábrától függő tényezők
Automatikus
☐ Csak szabványos tönkremeneteli módok

26. ábra: Tervezési paraméterek definiálása

A programban a statikai számítást lefuttatva az alábbi kihasználtsági görbét kapjuk eredményül (27. ábra). Jól látható, hogy a legnagyobb kihasználtságok a normál igénybevételi szélsőérték helyeken jelentkeznek: a szélső ferde rácsrudakon (értéke: 284,6%), továbbá a felső övek közepénél (értéke 298,8%).



27. ábra: Kihasználtságok alakulása tűz esetén

4.4.6. Az övrudak közepén lévő szerkezeti elemek méretezési számítása tűzben teljes hőteher esetén

Mértékadó teherkombináció: Tűz teljes hó

Szelvényosztály: 1 (Képlékeny tervezés)

Tűzgörbe: ISO tűzgörbe

Tervezési hőmérséklet $\theta = 823,40^\circ\text{C}$

Normálerő (szilárdsági vizsgálat):

$$N_{pl,fi,Rd} = \frac{A \cdot f_y \cdot k_{y,\theta}}{\gamma_{MFi}} = \frac{113 \cdot 24 \cdot 0,098}{1} = 260 \text{ kN}$$

$$\eta_{N,fi} = \frac{|N_{Ed1}|}{N_{pl,fi,Rd}} = \frac{|(-671)|}{260} = 258,2 \%$$

Kritikus hőmérséklet $\theta_{cr} = 691,00 \text{ }^\circ\text{C}$ **nem felel meg**

Kihajlás (stabilitás vizsgálat):

$$\lambda_y^* = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y,fi}}} = \sqrt{\frac{113 \cdot 24}{1,6714 \cdot 10^5}} = 0,13$$

$$\lambda_z^* = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z,fi}}} = \sqrt{\frac{113 \cdot 24}{5,7731 \cdot 10^4}} = 0,21$$

$$\lambda_{y,\theta}^* = \lambda_y^* \cdot \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}} = 0,13 \cdot \sqrt{\frac{0,098}{0,085}} = 0,14$$

$$\lambda_{z,\theta}^* = \lambda_z^* \cdot \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}} = 0,21 \cdot \sqrt{\frac{0,098}{0,085}} = 0,23$$

$$\alpha_\theta = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{24}{24}} = 0,65$$

$$\phi_{y,\theta} = \frac{1 + \alpha_\theta \cdot \lambda_{y,\theta}^* + \lambda_{y,\theta}^{*2}}{2} = \frac{1 + 0,65 \cdot 0,14 + 0,14^2}{2} = 0,4838$$

$$\phi_{z,\theta} = \frac{1 + \alpha_\theta \cdot \lambda_{z,\theta}^* + \lambda_{z,\theta}^{*2}}{2} = \frac{1 + 0,65 \cdot 0,23 + 0,23^2}{2} = 0,5275$$

$$\chi_{y,fi} = \min \left(\frac{1}{\phi_{y,\theta} + \sqrt{\phi_{y,\theta}^2 - \lambda_{y,\theta}^2}} ; 1 \right) = \min \left(\frac{1}{0,4838 + \sqrt{0,4838^2 - 0,14^2}} ; 1 \right) = 0,92$$

$$\chi_{z,fi} = \min \left(\frac{1}{\phi_{z,\theta} + \sqrt{\phi_{z,\theta}^2 - \lambda_{z,\theta}^2}} ; 1 \right) = \min \left(\frac{1}{0,5275 + \sqrt{0,5275^2 - 0,23^2}} ; 1 \right) = 0,86$$

$$\chi_{fi} = \min (\chi_{y,fi} ; \chi_{z,fi}) = \min (0,92 ; 0,86) = 0,86 \leq 1,0$$

$$N_{b,fi,Rd} = \frac{\chi_{fi} \cdot A \cdot f_y \cdot k_{y,\theta}}{\gamma_{MFi}} = \frac{0,86 \cdot 113 \cdot 24 \cdot 0,098}{1} = 225 \text{ kN}$$

$$\eta_{N_{b,fi}} = \frac{|N_{Ed1}|}{N_{b,fi,Rd}} = \frac{|(-671)|}{225} = 298,8 \%$$

Kritikus hőmérséklet $\theta_{cr} = 670,00 \text{ }^\circ\text{C}$ **nem felel meg**

A rudakban hajlítás, nyírás nem keletkezik, kifordulást nem vizsgáljuk. Ebből következőleg a csak a normálerőt tartalmazó interakciókat kell vizsgálni:

Normálerő-hajlítás-nyírás szilárdsági interakció:

$$N_{Ed1} = -671 \text{ kN}$$

$$\eta_{NMV_{pl,fi}} = \max (\eta_{N,fi} ; \eta_{M_{y,pl,fi}} ; \eta_{M_{z,pl,fi}} ; \eta_{V_{y,fi}} ; \eta_{V_{z,fi}}) = \max (258,2 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0) = 258,2 \%$$

Kritikus hőmérséklet $\theta_{cr} = 691,00 \text{ }^\circ\text{C}$ **nem felel meg**

Normálerő-hajlítás-kihajlás stabilitási interakció:

$$\eta_{NMB,fi} = \frac{|N_{Ed1}|}{\frac{\chi_{min,fi} \cdot A \cdot f_y \cdot k_{y,\theta}}{\gamma_{MFi}}} = \frac{|(-671)|}{\frac{0,86 \cdot 113 \cdot 24 \cdot 0,098}{1}} = 298,8 \%$$

$$\eta_{NMBuckl,fi} = \eta_{NMB,fi} = 298,8 \%$$

Kritikus hőmérséklet $\theta_{cr} = 670,00 \text{ }^\circ\text{C}$ **nem felel meg**

Ezek az értékek – ahogyan azt vártuk is – nem felelnek az előírt tűzállósági teljesítménykövetelménynek. A szerkezet védelme szükséges.

A HE 300 A I szelvényű övrúd kritikus hőmérséklete az előbb leírt helyen (azaz terhelések mellett) $670 \text{ }^\circ\text{C}$.

4.4.7. A szélső ferde rácsrudak méretezési számítása tűzben teljes hőteher esetén

Mértékadó teherkombináció: Tűz teljes hó

Szelvényosztály: 1 (Képlékeny tervezés)

Tűzgörbe: ISO tűzgörbe

Tervezési hőmérséklet $\theta = 801,60\text{ }^{\circ}\text{C}$

Normálerő (szilárdsági vizsgálat):

$$N_{t,fi,Rd} = \frac{A \cdot f_y \cdot k_{y,\theta}}{\gamma_{MFi}} = \frac{35 \cdot 24 \cdot 0,095}{1} = 78 \text{ kN}$$

$$\eta_{N,fi} = \frac{|N_{Ed1}|}{N_{t,fi,Rd}} = \frac{|221|}{78} = 284,6\%$$

Kritikus hőmérséklet $\theta_{cr} = 684,00\text{ }^{\circ}\text{C}$ **nem felel meg**

Kihajlás (stabilitás vizsgálat):

$$N_{Ed1} = 221 \text{ kN (Húzott rúd)}$$

$$\eta_{N_{b,fi}} = \eta_{N,fi} = 284,6\%$$

Kritikus hőmérséklet $\theta_{cr} = 684,00\text{ }^{\circ}\text{C}$ **nem felel meg**

A rudakban hajlítás, nyírás nem keletkezik, kifordulást nem vizsgáljuk. Ebből következőleg a csak a normálerőt tartalmazó interakciókat kell vizsgálni:

Normálerő-hajlítás-nyírás szilárdsági interakció:

$$N_{Ed1} = 221 \text{ kN}$$

$$\eta_{NMV_{pl,fi}} = \max(\eta_{N,fi}; \eta_{M_{y,pl,fi}}; \eta_{M_{z,pl,fi}}; \eta_{V_{y,fi}}; \eta_{V_{z,fi}}) = \max(284,6; 0; 0; 0; 0) = 284,6\%$$

Kritikus hőmérséklet $\theta_{cr} = 684,00\text{ }^{\circ}\text{C}$ **nem felel meg**

Normálerő-hajlítás-kihajlás stabilitási interakció:

$$N_{Ed1} = 221 \text{ kN (Húzott rúd)}$$

$$\eta_{NMBuckl,fi} = \eta_{NMV,fi} = 284,6\%$$

Kritikus hőmérséklet $\theta_{cr} = 684,00\text{ }^{\circ}\text{C}$ **nem felel meg**

Ezek az értékek – ahogyan azt vártuk is – nem felelnek az előírt tűzállósági teljesítménykövetelménynek. A szerkezet védelme szükséges.

Az RHS 120x120x8 mm szelvényű rácsrúd kritikus hőmérséklete az előbb leírt helyen (azaz terhelések mellett) 684 °C.

4.4.8. A tartóoszlop méretezési számítása tűzben

Szelvényosztály: 1 (Képlékeny tervezés)

Tűzgörbe: ISO tűzgörbe

Tervezési hőmérséklet $\theta = 823,40$ °C

Normálerő (szilárdsági vizsgálat): mértékadó teherkombináció: Tűz teljes hó

$$N_{pl,fi,Rd} = \frac{A \cdot f_y \cdot k_{y,\theta}}{\gamma_{MFi}} = \frac{113 \cdot 24 \cdot 0,098}{1} = 260 \text{ kN}$$

$$\eta_{N,fi} = \frac{|N_{Ed1}|}{N_{pl,fi,Rd}} = \frac{|(-141)|}{260} = 54,0 \%$$

Kritikus hőmérséklet $\theta_{cr} = 935,00$ °C **megfelel**

Hajlítás(y) (szilárdsági vizsgálat): mértékadó teherkombináció: Tűz hossz szél

$$M_{pl,fi,Rd,y} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y \cdot k_{y,\theta}}{\kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot \gamma_{MFi}} = \frac{1384 \cdot 24 \cdot 0,098}{0,34 \cdot 1 \cdot 1} = 9389 \text{ kNcm} = 93,89 \text{ kNm}$$

$$\eta_{M_{y,pl,fi}} = \frac{|M_{y,Ed1}|}{M_{pl,fi,Rd,y}} = \frac{|(-2014)|}{9389} = 21,5 \% \quad \textbf{megfelel}$$

Hajlítás (z) irányban nincsen.

Nyírás(z) (szilárdsági vizsgálat): mértékadó teherkombináció: Tűz hossz szél

$$A_{V,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 37 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,fi,Rd,z} = \frac{A_{V,z} \cdot f_y \cdot k_{y,\theta}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{MFi}} = \frac{37 \cdot 24 \cdot 0,098}{\sqrt{3} \cdot 1} = 50 \text{ kN}$$

$$\eta_{V_{z,fi}} = \frac{|V_{z,Ed1}|}{V_{pl,fi,Rd,z}} = \frac{|3,6|}{50} = 7,2 \% \quad \textbf{megfelel}$$

Hajlítás-nyírás (szilárdsági interakció): mértékadó teherkombináció N-M-V szilárdsági interakció szerint: Tűz teljes hó

$V_{z,Ed1} = 1,3 \text{ kN} \leq V_{pl,fi,Rd,z} / 2 = 25 \text{ kN} \rightarrow$ A hajlítás és a vele egyidejű nyírás hatását nem kell számításba venni.

$V_{y,Ed1} = 0 \text{ kN} \leq V_{pl,fi,Rd,y} / 2 = 56 \text{ kN} \rightarrow$ A hajlítás és a vele egyidejű nyírás hatását nem kell számításba venni.

Normálérő-hajlítás (szilárdsági interakció): mértékadó teherkombináció N-M-V
szilárdsági interakció szerint: Tűz teljes hó

$$n = \frac{|N_{Ed1}|}{N_{pl,fi,Rd}} = \frac{141}{260} = 0,54 = 54,05\% \geq 25\%$$

$$|N_{Ed1}| = 141 \text{ kN} \geq N_{Rd,w,fi}/2 = \frac{h_w \cdot t_w \cdot f_y \cdot k_{y,\theta}}{2 \cdot \gamma_{MFi}} = \frac{26 \cdot 0,85 \cdot 24 \cdot 0,098}{2 \cdot 1} = 26 \text{ kN}$$

$$a_f = \min \left(\frac{A - h \cdot t_w}{A} ; 0,5 \right) = \min \left(\frac{113 - 29 \cdot 0,85}{113} ; 0,5 \right) = 0,5$$

$$a_w = \min \left(\frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A} ; 0,5 \right) = \min \left(\frac{113 - 2 \cdot 30 \cdot 1,4}{113} ; 0,5 \right) = 0,25$$

$$\rho_{N_{y,fi}} = \max \left(\frac{1 - n}{1 - 0,5 \cdot a_w} ; 0,01 \right) = \max \left(\frac{1 - 0,54}{1 - 0,5 \cdot 0,25} ; 0,01 \right) = 0,526$$

$$\rho_{N_{z,fi}} = \max \left(1 - \left(\frac{n - a_w}{1 - a_w} \right)^2 ; 0,01 \right) = \max \left(1 - \left(\frac{0,54 - 0,25}{1 - 0,25} \right)^2 ; 0,01 \right) = 0,852$$

$$M_{N_{y,fi},Rd} = \min (M_{y,fi,V,Rd} \cdot \rho_{N_{y,fi}} ; M_{y,fi,V,Rd}) = \min (9389 \cdot 0,526 ; 9389) = 4941 \text{ kNcm} = 49,41 \text{ kNm}$$

$$M_{N_{z,fi},Rd} = \min (M_{z,fi,V,Rd} \cdot \rho_{N_{z,fi}} ; M_{z,fi,V,Rd}) = \min (1481 \cdot 0,852 ; 1481) = 1262 \text{ kNcm} = 12,62 \text{ kNm}$$

$$\eta_{MN,1,fi} = \frac{|M_{y,Ed1}|}{M_{N_{y,fi},Rd}} = \frac{|(-1032)|}{4941} = 20,9 \%$$

$$\eta_{MN,2,fi} = \frac{|M_{z,Ed1}|}{M_{N_{z,fi},Rd}} = \frac{|0|}{1262} = 0 \%$$

$$\alpha_{MN,fi} = 2$$

$$\beta_{MN,fi} = \max (5 \cdot n ; 1) = \max (5 \cdot 0,54 ; 1) = 2,7$$

$$\eta_{MN,3,fi} = \left(\frac{M_{y,Ed1}}{M_{N_{y,fi},Rd}} \right)^{\alpha_{MN,fi}} + \left(\frac{M_{z,Ed1}}{M_{N_{z,fi},Rd}} \right)^{\beta_{MN,fi}} = \left(\frac{(-1032)}{4941} \right)^2 + \left(\frac{0}{1262} \right)^{2,7} = 4,4 \%$$

$$\eta_{MN,fi} = \max (\eta_{MN,1,fi} ; \eta_{MN,2,fi} ; \eta_{MN,3,fi} ; \eta_{N,fi}) = \max (20,9 ; 0 ; 4,4 ; 54,0) = 54,0 \%$$

$$\text{Kritikus hőmérséklet } \theta_{cr} = 895,00 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{megfelel}$$

Kihajlás (stabilitási vizsgálat): mértékadó teherkombináció N-M-Kihajlás interakció szerint: Tűz teljes hó

$$K_{y,fi} = 1$$

$$K_{z,fi} = 1$$

$$L_{y,fi} = K_{y,fi} \cdot L = 1 \cdot 800 = 800 \text{ cm}$$

$$L_{z,fi} = K_{z,fi} \cdot L = 1 \cdot 800 = 800 \text{ cm}$$

$$\lambda_y^* = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y,fi}}} = \sqrt{\frac{113 \cdot 24}{5916}} = 0,67$$

$$\lambda_z^* = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z,fi}}} = \sqrt{\frac{113 \cdot 24}{2043}} = 1,14$$

$$\lambda_{y,\theta}^* = \lambda_y^* \cdot \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}} = 0,67 \cdot \sqrt{\frac{0,098}{0,085}} = 0,72$$

$$\lambda_{z,\theta}^* = \lambda_z^* \cdot \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}} = 1,14 \cdot \sqrt{\frac{0,098}{0,085}} = 1,23$$

$$\alpha_\theta = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{24}{24}} = 0,65$$

$$\phi_{y,\theta} = \frac{1 + \alpha_\theta \cdot \lambda_{y,\theta}^* + \lambda_{y,\theta}^{*2}}{2} = \frac{1 + 0,65 \cdot 0,72 + 0,72^2}{2} = 0,8759$$

$$\phi_{z,\theta} = \frac{1 + \alpha_\theta \cdot \lambda_{z,\theta}^* + \lambda_{z,\theta}^{*2}}{2} = \frac{1 + 0,65 \cdot 1,23 + 1,23^2}{2} = 1,452$$

$$\chi_{y,fi} = \min \left(\frac{1}{\phi_{y,\theta} + \sqrt{\phi_{y,\theta}^2 - \lambda_{y,\theta}^{*2}}}; 1 \right) = \min \left(\frac{1}{0,8759 + \sqrt{0,8759^2 - 0,72^2}}; 1 \right) = 0,60$$

$$\chi_{z,fi} = \min \left(\frac{1}{\phi_{z,\theta} + \sqrt{\phi_{z,\theta}^2 - \lambda_{z,\theta}^{*2}}}; 1 \right) = \min \left(\frac{1}{1,452 + \sqrt{1,452^2 - 1,23^2}}; 1 \right) = 0,36$$

$$\chi_{fi} = \min (\chi_{y,fi}; \chi_{z,fi}) = \min (0,60; 0,36) = 0,36 \leq 1,0$$

$$N_{b,fi,Rd} = \frac{\chi_{fi} \cdot A \cdot f_y \cdot k_{y,\theta}}{\gamma_{MFi}} = \frac{0,36 \cdot 113 \cdot 24 \cdot 0,098}{1} = 94 \text{ kN}$$

$$\eta_{N_{b,fi}} = \frac{|N_{Ed1}|}{N_{b,fi,Rd}} = \frac{|(-141)|}{94} = 148,8 \%$$

Kritikus hőmérséklet $\theta_{cr} = 743,00 \text{ }^{\circ}\text{C}$ **nem felel meg**

Kifordulás (stabilitási vizsgálat): mértékadó teherkombináció N-M-Kifordulás interakció szerint: Tűz hossz szél

$$M_{cr} = 1,0001 \cdot 10^5 \text{ kNcm} = 1000,14 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1384 \cdot 24}{1,0001 \cdot 10^5}} = 0,57$$

$$\lambda_{LT,\theta} = \lambda_{LT} \cdot \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}} = 0,57 \cdot \sqrt{\frac{0,098}{0,085}} = 0,61$$

$$\alpha_{\theta} = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{24}{24}} = 0,65$$

$$\phi_{LT,\theta} = \frac{1 + \alpha_{\theta} \cdot \lambda_{LT,\theta} + \lambda_{LT,\theta}^2}{2} = \frac{1 + 0,65 \cdot 0,61 + 0,61^2}{2} = 0,711$$

$$\chi_{LT,fi} = \min \left(\frac{1}{\phi_{LT,\theta} + \sqrt{\phi_{LT,\theta}^2 - \lambda_{LT,\theta}^2}} ; 1 \right) = \min \left(\frac{1}{0,711 + \sqrt{0,711^2 - 0,61^2}} ; 1 \right) = 0,65$$

$$M_{b,fi,Rd} = \frac{\chi_{LT,fi} \cdot W_y \cdot f_y \cdot k_{y,\theta}}{\gamma_{MFi}} = \frac{0,65 \cdot 1384 \cdot 24 \cdot 0,098}{1} = 2089 \text{ kNcm} = 20,89 \text{ kNm}$$

$$\eta_{M_{b,fi}} = \frac{|M_{y,Ed1}|}{M_{b,fi,Rd}} = \frac{|(-2014)|}{2089} = 96,4 \%$$

Kritikus hőmérséklet $\theta_{cr} = 832,00 \text{ }^{\circ}\text{C}$ **megfelel**

Normálerő-Hajlítás-Nyírás (szilárdsági interakció): mértékadó teherkombináció: Tűz teljes hó

$$N_{Ed1} = -141 \text{ kN} \quad V_{z,Ed1} = 1,3 \text{ kN} \quad M_{y,Ed1} = -1032 \text{ kNcm} = -10,32 \text{ kNm}$$

$$\eta_{NMV_{pl,fi}} = \max(\eta_{N,fi}; \eta_{M_{y,pl,fi}}; \eta_{M_{z,pl,fi}}; \eta_{V_{y,fi}}; \eta_{V_{z,fi}}) = \max(54,0; 11,0; 0; 0; 2,6) = 54,0 \%$$

$$\text{Kritikus hőmérséklet } \theta_{cr} = 895,00 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \text{megfelel}$$

Normálerő-Hajlítás-Kihajlás (stabilitási interakció): mértékadó teherkombináció: Tűz teljes hó

$$\beta_{My} = 1,8$$

$$\mu_y = (2 \cdot \beta_{My} - 5) \cdot \lambda_{y,\theta}^* + 0,44 \cdot \beta_{My} + 0,29 = (2 \cdot 1,8 - 5) \cdot 0,72 + 0,44 \cdot 1,8 + 0,29 = 0,07$$

$$k_{yy} = 1 - \left(\frac{\mu_y \cdot |N_{Ed1}|}{\frac{\chi_{y,fi} \cdot A \cdot f_y \cdot k_{y,\theta}}{\gamma_{MFi}}} \right) = 1 - \left(\frac{0,07 \cdot |(-141)|}{\frac{0,60 \cdot 113 \cdot 24 \cdot 0,098}{1}} \right) = 0,93$$

$$\eta_{NMB,fi} = \frac{|N_{Ed1}|}{\frac{\chi_{min,fi} \cdot A \cdot f_y \cdot k_{y,\theta}}{\gamma_{MFi}}} + k_{yy} \cdot \frac{|M_{y,Ed1}|}{\frac{W_{ply} \cdot f_y \cdot k_{y,\theta}}{\gamma_{MFi}}} = \frac{|(-141)|}{\frac{0,36 \cdot 113 \cdot 24 \cdot 0,098}{1}} + 0,93 \cdot \frac{|(-1032)|}{\frac{1384 \cdot 24 \cdot 0,098}{1}} = 159,0 \%$$

$$\eta_{NMBuckl,fi} = \eta_{NMB,fi} = 159,0 \%$$

$$\text{Kritikus hőmérséklet } \theta_{cr} = 729,00 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \text{nem felel meg}$$

Normálerő-Hajlítás-Kifordulás (stabilitási interakció): mértékadó teherkombináció: Tűz hossz szél

$$\beta_{LT} = 1,8$$

$$\mu_{LT} = 0,15 \cdot \lambda_{z,\theta}^* \cdot \beta_{LT} - 0,15 = 0,15 \cdot 1,23 \cdot 1,8 - 0,15 = 0,18 \quad 0,44 \cdot 1,8 + 0,29 = 0,07$$

$$k_{LT} = 1 - \left(\frac{\mu_{LT} \cdot |N_{Ed1}|}{\frac{\chi_{z,fi} \cdot A \cdot f_y \cdot k_{y,\theta}}{\gamma_{MFi}}} \right) = 1 - \left(\frac{0,18 \cdot |(-110)|}{\frac{0,36 \cdot 113 \cdot 24 \cdot 0,098}{1}} \right) = 0,79$$

$$\chi_{LT,fi} = \min \left(\frac{1}{\phi_{LT,\theta} + \sqrt{\phi_{LT,\theta}^2 - \lambda_{LT,\theta}^2}}; 1 \right) = 0,65$$

$$\eta_{NMLTB,fi} = \frac{|N_{Ed1}|}{\frac{\chi_{z,fi} \cdot A \cdot f_y \cdot k_{y,\theta}}{\gamma_{MFi}}} + k_{LT} \cdot \frac{|M_{y,Ed1}|}{\frac{\chi_{LT,fi} \cdot W_{ply} \cdot f_y \cdot k_{y,\theta}}{\gamma_{MFi}}} = \frac{|(-110)|}{\frac{0,36 \cdot 113 \cdot 24 \cdot 0,098}{1}} + 0,79 \cdot \frac{|(-2014)|}{\frac{0,65 \cdot 1384 \cdot 24 \cdot 0,098}{1}} = 192,5 \%$$

$$\eta_{NMLTBuckl,fi} = \eta_{NMLTB,fi} = 192,5 \%$$

$$\text{Kritikus hőmérséklet } \theta_{cr} = 696,00 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \text{nem felel meg}$$

Nyírás (y) irányban nincs.

Gerinc nyírási horpadás (stabilitási vizsgálat): mértékadó teherkombináció: Tűz hossz szél

$$\eta_w = 1,2$$

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 29 - 2 \cdot 1,4 = 26 \text{ cm}$$

$$\varepsilon = 0,85 \text{ (EN 1993-1-2)}$$

$$\frac{h_w}{t_w} \leq \frac{72 \cdot \varepsilon}{\eta_w} \rightarrow V_{b,fi,Rd} = V_{pl,fi,Rd,z} = 50 \text{ kN}$$

$$\eta_{V_{w,fi}} = \frac{|V_{z,Ed1}|}{V_{z,fi,Rd}} = \frac{|3,6|}{50} = 7,2 \% \text{ megfelel}$$

Gerinc nyírási horpadás-Hajlítás-Normálerő (szilárdsági interakció): mértékadó teherkombináció: Tűz hossz szél

$$M_{f,fi,Rd} = b \cdot t_f \cdot f_y \cdot k_{y,\theta} \cdot (h - t_f) = 30 \cdot 1,4 \cdot 24 \cdot 0,098 \cdot (29 - 1,4) = 2678 \text{ kNcm} = 26,78 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed1} \geq 0,25 \cdot N_{pl,fi,Rd}; \quad N_{Ed1} \geq \frac{0,5 \cdot (A_x - 2 \cdot b \cdot t_f) \cdot f_y \cdot k_{y,\theta}}{\gamma_{MFi}}$$

$$V_{z,Ed1} < 0,5 \cdot V_{bw,Rd};$$

$$\rho_N = \frac{(1 - n)}{(1 - 0,5 \cdot a)} = \frac{(1 - 0,42)}{(1 - 0,5 \cdot 0,253710382632009)} = 0,661$$

$$\eta_{V_{w,MN,fi}} = \frac{|M_{y,Ed1}|}{M_{pl,fi,Rd,y} \cdot \rho_N} = \frac{|(-2014)|}{9389 \cdot 0,661} = 32,5 \%$$

$$\text{Kritikus hőmérséklet } \theta_{cr} = 901,00 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{megfelel}$$

6. táblázat: Eredménytáblázat

Szelvény	Kritikus hőmérséklet [$^\circ\text{C}$]
HE 300 A (övrudak)	670
HE 300 A (oszlopok)	696
RHS 120x120x8 (rácsrudak)	684

4.5. Védelem meghatározása

4.5.1. Tűzgátló festékréteg meghatározása

A tűzgátló festékek rétegvastagságát gyártói táblázatok alapján van lehetőség meghatározni. A festékvastagság értékét az alábbi tényezők befolyásolják:

- tűzállósági teljesítménykövetelmény,
- tervezési hőmérséklet, mely sosem lehet magasabb a számított kritikus hőmérsékletnél,

- a szelvény profiltényezője,
- tűzkitét.

A táblázatok használatához fontos megjegyezni, hogy a táblázatban megadott értékek alapján tilos interpolációt végezni [PROMAT, 2024]. Mivel a gyártói táblázatok jellemzően 50 °C-os lépésekben tartalmazzák a tervezési hőmérsékletet, felmerülhet, hogy optimálási szempontból interpoláljuk a táblázat adatait, de ez tilos. Ilyen esetben alkalmazzuk az alacsonyabb tervezési hőmérséklethez tartozó értéket, mert ez egy szigorúbb követelmény, azaz nagyobb rétegvastagságot követel, tehát így a biztonság javára döntünk.

A tűzállósági teljesítménykövetelmény a korábban OTSZ alapján meghatározottak szerint R30.

A tervezési hőmérséklet értéke az előzőleg kiszámolt kritikus hőmérsékletnél nem magasabb értékben meghatározott hőmérséklet.

7. táblázat: Profilkövető bevonatok tervezési kritériumai

Tervezési kritérium	HE 300 A	RHS 120x120x8
tűzállósági teljesítménykövetelmény	R30	R30
tervezési hőmérséklet [°C]	650	650
profiltényező négyoldali kitettséggel [1/m]	153	137
profiltényező háromoldali kitettséggel [1/m]	126	–

Kifejezetten acélszerkezetek védelmére fejlesztett termék a Promat gyártó Promapaint SC4, hő hatására habosodó tűzgátló festéke. A termék műszaki adatlapját a **B1. melléklet** tartalmazza. Beltérben, nyitott csarnokokban alkalmazható, vízzel hígítható, erősen habosodó, fehér színű festék, melyet szórással vagy hengerrel, ecsettel is fel lehet hordani a felületre. A PROMAT [2024] tervezési kézikönyv alapján a táblázatból a **28. ábra-30. ábra** alapján a szükséges száraz festékréteg vastagság:

- HE 300 A szelvényhez négyoldali kitettséggel 0,16 mm,
- HE 300 A szelvényhez háromoldali kitettséggel 0,19 mm,
- RHS 120x120x8 szelvényhez 0,26 mm.

R 30 teljesítmény biztosításához szükséges rétegvastagságok négyoldali tűzhatásnak kitett nyitott szelvényű pillérekhez és gerendákhoz

R 30	Száraz rétegvastagság [mm]								
	Tervezési hőmérséklet [°C]								
A _p /V [m ⁻¹]	350	400	450	500	550	600	650	700	750
150	0,744	0,522	0,336	0,211	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160
155	0,754	0,533	0,348	0,224	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160

28. ábra: HE300A szelvényhez szükséges festékréteg vastagság négyoldali kitettség esetén
[PROMAT 2024 p.105.]

R 30 teljesítmény biztosításához szükséges rétegvastagságok háromoldali tűzhatásnak kitett nyitott szelvényű gerendákhoz



R 30	Száras rétegvastagság [mm]								
	Tervezési hőmérséklet [°C]								
A_p/V [m ⁻¹]	350	400	450	500	550	600	650	700	750
125	0,683	0,452	0,265	0,188	0,188	0,188	0,188	0,188	0,188
130	0,698	0,468	0,281	0,188	0,188	0,188	0,188	0,188	0,188

29. ábra: HE300A szelvényhez szükséges festékréteg vastagság háromoldali kitettség esetén
[PROMAT 2024 p.100.]

R 30 teljesítmény biztosításához szükséges rétegvastagságok négyoldali tűzhatásnak kitett, szögletes keresztmetszetű zárt szelvényű pillérekhez és gerendákhoz



R 30	Száras rétegvastagság [mm]								
	Tervezési hőmérséklet [°C]								
A_p/V [m ⁻¹]	350	400	450	500	550	600	650	700	750
135	-	-	0,949	0,636	0,344	0,260	0,260	0,260	0,260
140	-	-	0,990	0,676	0,381	0,260	0,260	0,260	0,260

30. ábra RHS 120x120x8 szelvényhez szükséges festékréteg vastagság [PROMAT 2024 p.1.]

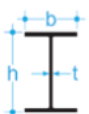
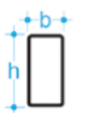
A kézikönyv nem határoz meg „pillér” elemhez háromoldali kitettség mellett rétegvastagságot, ezért a felső övrúd bevonatának szükséges vastagságát is a **29. ábra** értékei alapján fogom meghatározni.

A PROMAPAIN [2024a] SC4 Alkalmazástechnikai útmutató alapján a tűzgátlófesték alá korróziógátló alapozóréteget kell felhordani. Szórva egy rétegben legfeljebb 750 µm, azaz 0,75 mm száraz rétegvastagság hordható fel, és 30%-os veszteséggel lehet számolni. Ezek alapján megállapítható, hogy a tűzgátló festék felhordása egyetlen rétegben elvégezhető.

A keresztmetszvények fajlagos festéki igénye [kg/m]: $DFT * (1+v) * U * K$, ahol

- DFT [mm]: szükséges száraz rétegvastagság,
- v: veszteségi tényező, jelen esetben Alkalmazástechnikai útmutató alapján 0,3,
- U [m²/m]: keresztmetszvény felülete 1 m hossza vetítve (**31. ábra**),
- K [kg/m²/mm]: festék kiadóssága műszaki adatlap alapján, azaz egy m² felületre hány kg festék szükséges az 1 mm száraz rétegvastagság eléréséhez. Jelen esetben 1,95.

Különböző profilkövető konfigurációkhoz tartozó kerület (U) a profiltegyező (A_p/V vagy U/A_{cs}) számításához

Acélszelvény	Profilkövető védelem	
	Négyoldalú	Háromoldalú
I és H szelvény	 $2b + 2h + 2(b - t) = 4b + 2h - 2t$	 $b + 2h + 2(b - t) = 3b + 2h - 2t$
Szögletes keresztmetszetű zárt szelvény	 $2b + 2h$	

Geometriai adatok				
HE300A				
b [mm]	h [mm]	t [mm]	U_4 [m ² /m]	U_3 [m ² /m]
300	290	14	1,752	1,452
RHS 120x120x8				
h [mm]	b [mm]		U_4 [m ² /m]	
120	120		0,48	

31. ábra: Szelvények fajlagos felülete [PROMAT 2024 p.11. alapján]

A keresztmetszvények számított fajlagos festékgigénye [kg/m] Promapaint SC4 tűzgátló festék esetén:

- HE 300 A (négyoldali) = 0,71 kg/m
- HE 300 A (háromoldali) = 0,70 kg/m
- RHS 120x120x8 = 0,32 kg/m.

Egy másik választott tűzgátló festék a Dunamenti által gyártott Polylack W. A termék műszaki adatlapját a **B2. melléklet** tartalmazza. A műszaki adatokat átnézve a Promat SC 4 festékekkel szinte azonos adatokat találunk: acél tartószerkezetekre alkalmazható, vízzel hígítható, fehér színű festék, melyet szórással vagy hengerrel, ecsettel is fel lehet hordani a felületre, és szintén szükséges alá korróziógátló alapozóréteg. A habosodás mértéke legfeljebb 1:50. A száraz rétegvastagság kiadósság megegyezik a Promapaint SC 4 esetén megadott 1,95 kg/m² értékkel 1 mm-hez. A Polylack W rendelkezésre álló dokumentációja nem említi, mennyi veszteséggel kell számolni, viszont az egy rétegben szórással felhordható vastagság értéke csak 400-500 µm, szemben a Promat 700 µm értékével. Ez a különbség közelítőleg megegyezik a Promatnál becsült 30%-kal. Mivel azonos kiadóssággal számoltak, én feltételezem, hogy a Polylack adatlap a veszteséget beépítette a felhordható vastagságba, tehát $v = 0$.

A Polylack W tervezési táblázatait az ETA dokumentáció tartalmazza. Külön kiemelném a figyelmet, hogy HORVÁTH [2019] alapján a gyártói táblázatokban szereplő megnevezések nem feltétlenül azonosak a geometriai elnevezésekkel: gyártói táblázatok

alapján az „oszlop” kifejezés azt jelenti, hogy az adott szerkezeti elem nyomóerőt visel, míg a „gerenda” hajlítást is. Ebből is következik, hogy jelen esetben az övrudakat és rácsrudakat „oszlop”-nak, a keretállás oszlopait pedig „gerendának” tekintjük a gyártói táblázat szerint. Ezekben a táblázatokban a három- vagy négyoldali kitettséget csak a profiltényezővel vesszük figyelembe.

A tervezési táblázatok alapján a Polylack W festék szükséges rétegvastagsága a **32. ábra** - **34. ábra** alapján:

- HE 300 A szelvényhez (övrudak) 0,23 mm,
- HE 300 A szelvényhez (tartóoszlopok) 0,25 mm,
- az RHS 120x120x8 szelvényhez 0,819 mm.

Nyitott szerkezeti elemek (H és I) – oszlopok Tűzállósági határérték: R30								
Tervezési hőmérséklet [°C]	350	400	450	500	550	600	650	700
Profil tényező [m ⁻¹]	Minimális száraz rétegvastagság (mm) (alapozó és fedő bevonat nélkül)							
120	0,802	0,569	0,406	0,230	0,230	0,230	0,230	0,230
130	0,862	0,616	0,443	0,230	0,230	0,230	0,230	0,230
140	0,920	0,661	0,479	0,252	0,230	0,230	0,230	0,230
150	0,976	0,706	0,515	0,274	0,230	0,230	0,230	0,230
160	1,031	0,750	0,550	0,296	0,230	0,230	0,230	0,230

32. ábra: Övrudakhoz szükséges festékréteg vastagság [kivonat POLYLACK W ETA 2017, p.16.]

Nyitott szerkezeti elemek (H és I) – gerendák Tűzállósági határérték: R30								
Tervezési hőmérséklet [°C]	350	400	450	500	550	600	650	700
Profil tényező [m ⁻¹]	Minimális száraz rétegvastagság (mm) (alapozó és fedő bevonat nélkül)							
120	0,543	0,319	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
130	0,609	0,372	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250

33. ábra: Oszlopokhoz szükséges festékréteg vastagság [kivonat POLYLACK W ETA 2017, p.21.]

Zárt szerkezeti elemek (kör és téglalap keresztmetszetű) – oszlopok Tűzállósági határérték: R30									
Tervezési hőmérséklet [°C]	350	400	450	500	550	600	650	700	750
Profil tényező [m ⁻¹]	Minimális száraz rétegvastagság (mm) (alapozó és fedő bevonat nélkül)								
135	-	-	-	1,062	0,943	0,901	0,789	0,579	0,289
140	-	-	-	1,094	0,973	0,932	0,819	0,622	0,323

34. ábra: RHS 120x120x8 szelvényhez szükséges festékréteg vastagság [POLYLACK W ETA 2017, p.28.]

A HE 300 A szelvények esetében a szükséges rétegvastagság egy rétegben felhordható, viszont a rácsrudak esetén két rétegben kell a szükséges vastagságot felhordani.

A keresztzelvények számított fajlagos festékgigénye Polylack W tűzgátló festék esetén, az előzővel azonos módon történő meghatározással:

- HE 300 A (felső öv) = 0,65 kg/m,
- HE 300 A (alsó öv) = 0,79 kg/m
- HE 300 A (oszlop) = 0,71 kg/m
- RHS 120x120x8 = 0,77 kg/m.

4.5.2. Tűzgátló habarcsréteg meghatározása

A tűzgátló habarcsok tervezése követi a tűzgátló festékek módszerét: gyártói táblázatok alapján van mód meghatározni a szükséges rétegvastagságot. A tervezési kritériumokat a 7. táblázatban bemutatam, ezek érvényesek a habarcsokra is.

A habarcsok, nagyobb vastagságuk miatt, javítják az acélok hőszigetelési, a terek akusztikus tulajdonságait.

Az első választott tűzgátló habarcs a Promaspray P300, műszaki adatlapját a Hiba! A hivatkozási forrás nem található.. **melléklet** tartalmazza. Ez egy gipszkötésű, vermikulit alapú habarcs, melyet vakológéppel is fel lehet hordani. A habarcs felvitele előtt a felületet tapadóhíddal kell kezelni. Az első réteg vastagsága a PROMAT [2024] kézikönyv alapján 9-17 mm, míg a következő réteg akár 19-25 mm is lehet. Anyagszükséglete a műszaki adatlap alapján 0,35 kg/m² 1 mm vastagsághoz.

A PROMAT [2024] Kézikönyv a tervezési értékeket nyitott szelvényekre tartalmazza. A 36. ábra és 36. ábra alapján az övrudakhoz 10 mm, az oszlopokra pedig 11 mm vastagságú habarcs felhordása szükséges, mely a korábbiak alapján egyetlen rétegben felhordható.

R 30 tűzállósági teljesítmény biztosításához szükséges rétegvastagságok nyitott szelvényű pilléreken									
R 30	Minimális szükséges rétegvastagság [mm]								
A_p/V [m ⁻¹]	Tervezési hőmérséklet [°C]								
	350	400	450	500	550	600	650	700	750
120	12	10	10	10	10	10	10	10	10
130	13	11	10	10	10	10	10	10	10
140	14	11	10	10	10	10	10	10	10
150	14	12	10	10	10	10	10	10	10
160	15	12	10	10	10	10	10	10	10

35. ábra: Övrudakhoz szükséges habarcsréteg vastagság [kivonat PROMAT 2024 p.129.]

R 30 tűzállósági teljesítmény biztosításához szükséges rétegvastagságok nyitott szelvényű gerendákon									
R 30	Minimális szükséges rétegvastagság [mm]								
A_p/V [m ⁻¹]	Tervezési hőmérséklet [°C]								
	350	400	450	500	550	600	650	700	750
120	12	11	11	11	11	11	11	11	11
130	13	11	11	11	11	11	11	11	11

36. ábra: Oszlopokhoz szükséges habarcsréteg vastagság [kivonat PROMAT 2024 p.125.]

Zártszelvények esetében a PROMAT [2024] Kézikönyv az MSZ EN 13381-4 szabvány A mellékletének A.3 pontjára hivatkozva azt mondja, hogy az azonos profiltényezőjű nyitott szelvényhez tartozó rétegvastagság (d_p) értékeket a következő képlet alapján kell módosítani:

- ha a profiltényező értéke legfeljebb 250 1/m, akkor a
korrigált vastagság = $d_p \cdot (1 + ((A_p/V) / 1000))$, ahol A_p/V az acélszelvény profiltényezője;
- ha a profiltényező 250 1/m-nél nagyobb, akkor
korrigált vastagság = $1,25 \cdot d_p$.

Mivel az RHS 120x120x8 szelvény profiltényezője 137, az első képletet kell alkalmaznunk. Az **36. ábra** alapján meghatározott, nyitott szelvényhez tartozó 10 mm vastagságot behelyettesítve zárt szelvény esetében a szükséges rétegvastagság 11,37 mm.

A keresztzelvények fajlagos anyagigénye [kg/m]: $V \cdot U \cdot K$, ahol

- V [mm]: szükséges rétegvastagság,
- U [m²/m]: keresztzelvény felülete 1 m hosszra vetítve (**31. ábra**),
- K [kg/m²/mm]: anyagszükséglet műszaki adatlap alapján, azaz egy m² felületre hány kg habarcs szükséges az 1 mm vastagság eléréséhez. Jelen esetben 0,35 kg/m²/mm.

A keresztzelvények számított fajlagos anyagigénye Promaspray tűzgátló habarcs esetén:

- HE 300 A (felső öv) = 5,08 kg/m
- HE 300 A (alsó öv) = 6,13 kg/m
- HE 300 A (oszlopok) = 5,59 kg/m
- RHS 120x120x8 = 1,9 kg/m.

A második választott anyag a Dunamenti által gyártott Polyplast G tűzgátló habarcs, melynek műszaki adatlapját a Hiba! A hivatkozási forrás nem található.. **melléklet** mutatja. Ez egy szintén gipszkötésű anyag, de az érintett felületet korróziógátlóval kell előkezelní felvitel előtt. 25 mm vastagságig egyrétegben kialakítható. Kiadóssága a műszaki adatlap szerint: 10 mm vastagsághoz 1 m² felületen 3,5-4,0 kg anyagra van szükség.

A POLYGLAST G [2016] alapján a HE 300 A szelvényhez szükséges habarcsréteg vastagság 10,1 mm (**37. ábra**), míg az RHS 120x120x8 szelvényhez 11,5 mm vastag habarcs szükséges (**38. ábra**) az R30 követelmény teljesítéséhez.

Profil tényező	Nyílt profilok "I" és "H" gerenda és oszlop Kritikus hőmérséklet 650°C Minimális száraz rétegvastagság (mm)									
m ⁻¹	R15	R20	R30	R45	R60	R90	R120	R150	R180	R240
120	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	15,3	21,0	26,7	32,4	43,8
140	10,1	10,1	10,1	10,1	10,9	16,7	22,5	28,3	34,1	45,6
160	10,1	10,1	10,1	10,1	12,0	17,8	23,7	29,5	35,4	47,1

37. ábra: HE300A szelvényhez szükséges habarcsréteg vastagság [kivonat Polyplast G NMÉ 2016, p.11.]

Profil tényező	Zárt kör és négyzetes keresztmetszetű profilok gerenda és oszlop Kritikus hőmérséklet 650°C Minimális száraz rétegvastagság (mm)									
m ⁻¹	R15	R20	R30	R45	R60	R90	R120	R150	R180	R240
120	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	17,1	23,5	29,9	36,3	49,0
140	11,5	11,5	11,5	11,5	12,5	19,1	25,7	32,3	38,8	52,0

38. ábra: RHS 120x120x8 szelvényhez szükséges habarcsréteg vastagság [Polyplast G NMÉ 2016, p.14.]

A keresztmetszvények számított fajlagos anyagigénye Polyplast G tűzgátló habarcs esetén, a korábbival azonos módon történő meghatározást követve és szintén 0,35 kg/m²/mm anyagigényt feltételezve:

- HE 300 A (négyoldali) = 6,19 kg/m
- HE 300 A (háromoldali) = 5,13 kg/m
- RHS 120x120x8 = 1,93 kg/m.

4.6. Egyszerűsített költségoptimalizálás

A fenti eredményeket összefoglalva, továbbá a 2024. decemberi nettó árakat figyelembe véve a szerkezeti elemek tűzvédő bevonatának 1 m hossza, valamint egy teljes keretállásra vetített, költségét a **8. táblázat** mutatja.

Az egységárakhoz a Dunamenti termékek esetében a webshopról, a Promat termékek esetében pedig a disztribútorral történt telefonos információkérés nyomán jutottam. Ezek hozzávetőleges értékek, ugyanis ezen építési termékeknél az egységár egy dinamikus változó tétel, értékét befolyásolja a rendelés mennyisége és az euró–forint árfolyam is.

8. táblázat: Tűzvédő bevonatok fajlagos és egy keretállásra vetített anyagköltsége

Szelvény/Anyag	Vastagság [mm]	Fajl. anyagszükséglet [kg/m]	Egységár [Ft/kg]	Fajl. Ár [Ft/m]	Elemek hossza egy keretállásban [m]	Teljes ár egy keretállásra [Ft]	Összesen [Ft]
Promapaint SC4							537 915
HE300A felső öv	0,19	0,70	4120	2 884	51,36	148 122	
HE300A alsó öv	0,16	0,71	4120	2 925	51	149 185	
HE300A oszlop	0,19	0,70	4120	2 884	16	46 144	
RHS 120x120x8 rácsrúd	0,26	0,32	4120	1 318	147,5	194 464	
Polylack W							506 850
HE300A felső öv	0,23	0,65	2552	1 659	51,36	85 196	
HE300A alsó öv	0,23	0,79	2552	2 016	51	102 820	
HE300A oszlop	0,25	0,71	2552	1 812	16	28 991	
RHS 120x120x8 rácsrúd	0,819	0,77	2552	1 965	147,5	289 843	
Promaspray P300							519 588
HE300A felső öv	10	5,08	550	2 794	51,36	143 500	
HE300A alsó öv	10	6,13	550	3 372	51	171 947	
HE300A oszlop	11	5,59	550	3 075	16	49 192	
RHS 120x120x8 rácsrúd	11,37	1,91	550	1 051	147,5	154 949	
Polyplast G							588 364
HE300A felső öv	10,1	5,13	622	3 191	51,36	163 883	
HE300A alsó öv	10,1	6,19	622	3 850	51	196 359	
HE300A oszlop	10,1	5,13	622	3 191	16	51 054	
RHS 120x120x8 rácsrúd	11,5	1,93	622	1 200	147,5	177 068	

A hőre habosodó festékek tekintetében az I szelvény esetében a Polylack, a zárt szelvény esetében a Promat termék bizonyult kedvezőbb árúnak egységnyi hosszra vetítve, annak ellenére is, hogy a Promat termék egységára jóval magasabb. Ennek oka, hogy a gyártói táblázatban jól megmutatkozott az a megállapítás a Polylack esetében, hogy a zárt szelvény esetén a szükséges rétegvastagság akár többszöröse is lehet egy nyitott szelvényhez képest, a palástmenti felhasadási hajlam miatt.

A tűzgátló habarcsok esetében nincsen jelentős különbség a két gyártó termékének anyagigénye között, a teljes keretállásra vonatkoztatott költség különbsége az anyagár különbségéből fakad.

Kizárólag a fenti költségeket tekintve a Polylack W terméket javaslom tűzvédelmi bevonatként alkalmazni a szerkezetre.

Meg kell azonban jegyeznünk, hogy csak a fenti adatok alapján költségalapú optimalizálást nem lehet végrehajtani. A termékek bármelyikét alkalmazva elérjük a kívánt védelmet, de egyrészt rendszerben kell gondolkodni: alapozó réteg, fedőréteg is szükséges, amelyek ugyanilyen súllyal szerepelnek egy acélszerkezet védelmének kialakításának költségében. Továbbá az acélszerkezetek védelmének kialakítása speciális feladat, mely alapos

szakmai ismereteket és precizitást igényel, és szintén tetemes összeget ölel fel a beruházási költségeken belül.

4.7. Egyéb optimalizálási lehetőségek

A szerkezeti tűzvédelmi szakma szépsége abban rejlik, hogy nem csak egyetlen jó megoldás létezik egy-egy mérnöki problémára – sőt, kifejezetten több –, és ezekből kell kiválasztani azt, amelyik a gazdaságossági szempontok alapján legelőnyösebb.

A megszámlálhatatlan gyártó végtelenszámú termékei közül választás csak az egyik lehetséges út. A fenti példám inkább csak a folyamat bemutatására volt alkalmas, mint magára az optimalizálásra. Ugyanezt a folyamatot követve akár minden egyes rúdra, rúdelemre van lehetőség különböző rétegvastagságok meghatározására. Mivel a kritikus hőmérsékletet befolyásolja a normál hőmérsékleti igénybevétel, könnyen belátható, hogy minden különböző igénybevételű elemhez más-más védelem is meghatározható. Egy ilyen tervezési folyamat végeredménye kétségkívül gazdaságos lesz, ám nem szabad megfeledkezni arról, hogy van-e realitása egy ennyire komplex tervnek az életben, ugyanis ez sokkal bonyolultabb feladatot eredményez a kivitelezőnek, továbbá rendkívül megnehezíti a műszaki ellenőrzést is.

A másik módszer is globális, rendszerszintű szemléletmódot kíván, csak más vonatkozásban. Ahogyan már többször is említettem, a normál hőmérsékleten történő kihasználtság befolyásolja a szükséges tűzvédelmet. Másképpen fogalmazva a szükséges védelmet tehát lehet csökkenteni olyan módon, ha a normál hőmérsékletű statikai tervezésben több tartalékot hagyunk. És meg is érkeztünk az érdekellentéthez, hiszen a statikusnak az a célja, hogy minél jobban kihasználtsa szerkezetet tervezzen, és ne épüljön be több acél a szükségesnél.

5. KÖVEZKEZTETÉSEK ÉS MÉRNÖKI JAVASLATOK

Az acél tartószerkezetek védelme egyrészt kedveltsége, másrészt a múltban történt nagy visszhangot kapott káresemények miatt napjainkban is foglalkoztatja a szakembereket. Széles paletta áll rendelkezésre az acélszerkezetek tűzterheléssel szembeni védelmének kialakítására, és a tervezhetőséget újabb és újabb laborkísérletekkel, innovációkkal is próbálják támogatni a kutatók.

Általánosságban elmondható, hogy a 21. században a mérnöki problémák gyakorlatilag a leg gazdaságosabb változat keresését jelentik. Az acélszerkezetek tűzvédelmének variálhatunk a megfelelő módszer kiválasztásával, gondos anyagválasztással, alapos anyagmennyiség számítással.

Módszerválasztásnál vegyük figyelembe, hogy az acélszerkezetek habarccsal bevonása esztétikailag nem kedvező, dobozolás esetében pedig eltűnik az acélszerkezet jellege.

A szükséges anyagmennyiség meghatározása szinte tökéletességig finomítható, hiszen a festékrétegek, habarcsrétegek vastagságát gyakorlatilag minden rúdra, rúdelemre külön meg lehet határozni, de ez indokolatlanul nehezíti a kivitelezést és a műszaki ellenőrzést.

A szakma különlegessége, hogy akár a bemenő tervezési adatokat is megváltoztathatja: élhet a szelvény módosításával is, ha úgy egy tűzvédelmileg kedvezőbb megoldáshoz juthat, ám ebben az esetben a szerkezetet ismét ellenőrizni kell statikailag normál hőmérsékleten is. És itt is igaz, hogy ha egy szerkezeten belül sokféle keresztmetszeti elem van, az nehezítheti az előregyártást, építést.

Gazdaságossági szempontból kiemelten érdemes foglalkozni azzal, hogy nem csak telepítési költsége van egy-egy védelmi módozatnak, hanem hosszú távon felmerülnek üzemeltetési/karbantartási költségek. Éppen ezért érdemes lehet a tűzvédelmet életciklus költségelemzéssel vizsgálni és ennek megfelelően tervezni.

6. HIVATKOZÁSOK

Szakirodalom

- AXISVM [2024a]: Az AxisVM tűzvédelmi tervező moduljai. Internet közlemény.
<https://axisvm.hu/tudasbazis/a-legfrissebb-cikkek/tuzvedelmi-tervezo-modulok-axisvm-ben/>
Hozzáférés: 2024. nov. 30.
- AXISVM [2024b]: Acél szerkezeti elem kritikus hőmérsékletének meghatározása AxisVM segítségével. Internet közlemény.
<https://axisvm.hu/tudasbazis/a-legfrissebb-cikkek/acel-szerkezeti-elem-kritikus-homersekletenek-meghatarozasa-axisvm-segitsegevel-2/>
Hozzáférés: 2024. nov. 30.
- AXISVM [2024c]: AxisVM X7 verzió felhasználói kézikönyv.
https://download.axisvm.eu/manual/axisvm_manualx7_hu.pdf
Hozzáférés: 2024. nov. 18.
- BALÁZS L. GY., HORVÁTH L., KULCSÁR B., LUBLÓY É., MAROS J., MÉSZÖLY T., SAS V., TAKÁCS L., VÍGH L. G. [2010]: Szerkezetek tervezése tűzterherre az MSZ EN szerint. Magyar Mérnöki Kamara Tartószerkezeti Tagozat
- BUZÁS, GY. [2019]: Acélszerkezetek tűzvédelme tűzvédő festékekkel – más megközelítésből. In: Katasztrófavédelmi szemle 2019/2. szám. pp 21-24.
- BÉRCZI L., PÁLINKÁS CS. [2019]: Acélszerkezetes épületek tűzvédelme a tűzoltói beavatkozás szemszögéből. In: Katasztrófavédelmi szemle 2019/2. szám. pp 9-10.
- COVI P., TONDINI N., LAMPERTI TORNAGHI M., MOLINA, F.-J., PEGON P., TSIONIS G. [2024]: Seismic experimental analysis of a full-scale steel building with passive fire protections. Engineering Structures Volume 300. (Italy)
<https://www.sciencedirect.com/journal/engineering-structures/vol/300/suppl/C>
Hozzáférés: 2024. szept. 15.
- HORVÁTH L. [2019]: Kritikus kérdés: acélelemek kritikus hőmérséklete. In: Katasztrófavédelmi szemle 2019/2. szám pp 11-14.
- IMRAN M., MAHENDRAN M. [2020]: Fire behaviour of CFRP strengthened short SHS steel columns with and without insulation. Composites Part B: Engineering. Vol.193 (Australia) <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359836819361840>
Hozzáférés: 2024. szept. 15.
- KOTORMÁN, I. [2019]: Acél építési termékek tűzvédelmi jellemzői II. In: Katasztrófavédelmi szemle 2019/3. szám pp. 5-8.
- KULCSÁR, B. [2009]: Tartószerkezetek tűzvédelme segédlet. Szent István Egyetem Ybl Miklós Építéstudomány Kar, Budapest
- LUBLÓY É., CZOBOLY O., HLAVIČKA V., OROS ZS., BALÁZS L. GY. [2015]: Testnevelési Egyetem Atlétikai Csarnok Budapest, Tűzeset 2015. október 15. – Következmények. In: Vasbetonépítés 2015/3. pp. 50-55.
- LUBLÓY É., KACZUR A., HUSZÁR ZS., CSANAKY J. [2023a]: Kombinált tűzvédelem alkalmazása acélszerkezetekhez. In: Védelem Tudomány VIII. évfolyam, 2. szám, 2023. 4. hó (angol nyelvű publikáció)
- LUBLÓY MAJOROSNÉ É., MAJOR Z., SZÉP J., HLAVIČKA V., BIRÓ A. [2023b]: Méretezés tűzterherre az Eurocode szerint. Terc Kft., Budapest
- LUBLÓY MAJOROSNÉ É., GYAPJAS J. [2019]: Mikor kell kritikus hőmérsékletet számítani? In: Katasztrófavédelmi Szemle 2019/2. szám pp. 15-19.
- MOLNÁR V. [2006]: Építőanyagok I. Széchenyi István Egyetem, HEFOP jegyzet, Győr

- NAGY, A. [2014]: Szakdolgozat – Acélszerkezetű kézilabdacsarnok. (Belső konzulens: Dr. Fülöp A. egyetemi adjunktus.) Pécsi Tudományegyetem, Pollack Mihály Műszaki és Informatikai Kar.
- PROMAT [2024]: Promat kézikönyv – Teherhordó acélszerkezetek tűzvédelme. Promat SEE. <https://etex.azureedge.net/pi12471/original/1797696090/teherhordo-acelszerkezetek-tuzvedelmenek-kezikonyve-promat-hu-2024-01.pdf>
Hozzáférés: 2024. nov. 30.
- SCI [1991] STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE: Investigation of Broadgate Phase 8 Fire. ISBN 1 87 0004 64 7 https://steelconstruction.info/images/2/2e/SCI_P113.pdf
Hozzáférés: 2024. szept. 15.
- SCI [2013] STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE: Fire Protection. https://steelconstruction.info/images/8/87/Steel_construction_-_Fire_Protection.pdf
Hozzáférés: 2024. szept. 15.
- SZABÓ Á., HLAVICKA V., LUBLÓY É. [2023a]: Acélszerkezetű épületek tűzesetei és az acélszerkezetek tűzvédelmének módjai I. In: Tűzvédelem 2023/4. szám pp. 5-10.
- SZABÓ Á., HLAVICKA V., LUBLÓY É. [2023b]: Acélszerkezetű épületek tűzesetei és az acélszerkezetek tűzvédelmének módjai II. In: Tűzvédelem 2023/5. szám pp. 5-8.
- SZAKÁL, R. [2021]: Acélszerkezetek tűzvédelmi megoldásainak korlátjai, avagy miben különbözik a hőre habosodó bevonat a passzív tűzvédelmi anyagoktól. Acélszerkezetek 2021/3. szám pp. 22-23.
- SZAKÁL, R. [2024a]: Optimális tűzvédelmi megoldás tervezése acélszerkezetekre I-II. In: Tűzvédelem 2024/1. szám pp. 31-33. és 2024/2. szám pp. 17-20.
- SZAKÁL, R. [2024b]: Optimális tűzvédelmi megoldás tervezése acélszerkezetekre II. In: Tűzvédelem 2024/2. szám pp. 17-20.
- VARGA F., NAGY L. Z. [2016]: Sportcsarnoktűz vizsgálata a Testnevelési Egyetemen. In: Katasztrófavédelmi Szemle 2016/3. szám pp. 13-16.

Szabványok

- EC0 [2005]: EN 1990:2002/A1:2005 Eurocode - Basis of structural design
- EC1 [2005]: MSZ EN 1991-1-2:2005 Eurocode 1: A tartószerkezeteket érő hatások. 1-2. rész: Általános hatások. A tűznek kitett szerkezeteket érő hatások. Magyar Szabványügyi Testület
- EC3 1-1 [2015]: MSZ EN 1993-1-1: 2005/A1:2015 Eurocode 3: Acélszerkezetek tervezése. 1-1. rész: Általános és az épületekre vonatkozó szabályok. Magyar Szabványügyi Testület
- EC3 1-2 [2013]: MSZ EN 1993-1-2:2013 Eurocode 3: Acélszerkezetek tervezése. 1-2. rész: Általános szabályok. Szerkezetek tervezése tűzhatásra. Magyar Szabványügyi Testület
- MSZ EN 13501-1 [2019]: Építési termékek és építményszerkezetek tűzvédelmi osztályozása. 1. rész: Osztályba sorolás a tűzzel szembeni viselkedési vizsgálatok során kapott eredmények felhasználásával. Magyar Szabványügyi Testület
- MSZ EN 13501-2 [2023]: Építési termékek és építményszerkezetek tűzvédelmi osztályozása. 2. rész: Osztályba sorolás a tűzállósági és/vagy füstzárási vizsgálatok eredményeinek felhasználásával, a szellőztetőrendszerek kivételével. Magyar Szabványügyi Testület

Jogszabályok

- OTSZ [2014]: 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról
- TvMI 11 [2022]: Tűzvédelmi Műszaki Irányelv 11.3 – Építményszerkezetek tűzvédelmi jellemzői. BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság
- TvMI 14 [2022]: Tűzvédelmi Műszaki Irányelv 14.2 – Kockázati osztályba sorolás. BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság

Szoftverek

AXISVM [2024]: Oktatási verzió

<https://axisvm.hu/axisvm-letoltesek/#ingyenesoktatasi-verzio>

Hozzáférés: 2024. nov. 14.

Termékadatok

PROMAPAINT [2024a] SC4 alkalmazástechnikai útmutató

<https://etex.azureedge.net/pi12472/original/1357523679/tuzgatlo-festek-promapaint-sc4-alkalmazastechnikai-utmutato-promat-hu-2018-05.pdf>

Hozzáférés: 2024. nov. 30.

POLYLACK W ETA [2017] 15/0801/29.05.2017 sz. Európai Műszaki Értékelés. Dunamenti Zrt.

<https://dunamenti.hu/wp-content/uploads/Polylack-W-ETA-HU.pdf>

Hozzáférés: 2024. nov. 30.

POLYGLAST G NMÉ [2016] Nemzeti Műszaki Értékelés. Dunamenti Zrt.

<https://dunamenti.hu/wp-content/uploads/Polyplast-G-NME-2020.pdf>

Hozzáférés: 2024. nov. 30.

Egyéb források

BRITANNICA.COM

MINORU YAMASAKI

<https://www.britannica.com/biography/Minoru-Yamasaki>

Hozzáférés 2025. ápr. 30.

2. kép forrása

COMMITTEE ON SCIENCE [2006]: The Investigation of the World Trade Center Collapse: Findings, Recommendations and Next Steps. In: House Hearing 109 Congress First Section. U.S. Government Printing Office, Washington

<https://www.govinfo.gov/content/pkg/CHRG-109hrg24133/html/CHRG-109hrg24133.htm>

Hozzáférés: 2024. okt. 25.

HVG.HU

LEÉGETT A TESTNEVELÉSI EGYETEM ATLÉTIKAI CSARNOKA – FOTÓK.

2015. okt. 15.

https://hvg.hu/itthon/20151015_Kigyulladt_hajnalban_a_Testnevelési_Egyet

Hozzáférés 2025. ápr. 30.

3. kép forrása

RESEARCHGATE.NET

YONG C WANG [2000]: An analysis of the global structural behaviour of the Cardington steel-framed building during the two BRE fire tests

https://www.researchgate.net/figure/The-Cardington-fire-test-building-structure-C-Building-Research-Establishment_fig1_222000578

Hozzáférés 2025. ápr. 30.

4. kép forrása

SCI STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE információs weblap. United Kingdom.

<https://steelconstruction.info/> Hozzáférés: 2024. szept. 16.

WIKIPEDIA

WORLD TRADE CENTER

[https://en.wikipedia.org/wiki/World_Trade_Center_\(1973%E2%80%932001\)](https://en.wikipedia.org/wiki/World_Trade_Center_(1973%E2%80%932001))

Hozzáférés 2024. okt. 25.

MELLÉKLETEK

A. melléklet: Tervjegyzék

A1. Homlokzati vázlat

A2. Rácsos tartó részletrajza

B. melléklet: Alkalmazott hőre habosodó festékek műszaki adatlapjai

B1. Promapaint SC4

B2. Polylack W

TŰZGÁTLÓ FESTÉK PROMAPAIN[®]-SC4

Tűzvédelmi intumeszcens festékek



Műszaki adatok

Lúgosság	7 pH
Alkalmazási hőmérséklet	5 - 40 °C
Szín	fehér
Anyagszükséglet	1.95 kg/m ² = 1 mm DFT
Száradási idő	7 - 8 d
Product max thickness per coat	0.5 mm
Szárazanyag-tartalom	68 ± 3 %
Kiindulási hőmérséklet	180 °C
Használati kategória	X, Y, Z ₁ , Z ₂
Viszkózitás (cps)	44000 - 66000 cps
VOC-tartalom	<1 g/l

Műszaki termékadatok

Általános ismertető

A PROMAPAIN[®]-SC4 egykomponensű, hő hatására felhabosodó, vízzel hígítható [tűzgátló festék](#), amely teherhordó acélszerkezetek és kibetonozott acél trapézlemezcsatlakozások megbízható tűzvédelmét biztosítja.

Előnyök

- esztétikus
- könnyen felhordható, újrafesthető
- nyitott és zárt acélprofilokhoz egyaránt
- horganyzott acélszerkezetekhez
- akár R(EI) 120 tűzállósági teljesítmény

Alkalmazási terület

- épületen belül
- nyitott csarnokokban
- alkalmas fedőbevonattal teljes időjárási kitettségű kültérben is (az EAD-ként használt ETAG 018-2 szerint X típus)

Telepítési mód

A PROMAPAIN[®]-SC4 terméket kizárólag képzett szakemberek hordhatják fel. A termék használatra kész. Használat előtt a PROMAPAIN[®]-SC4 terméket 1–2 percig mechanikusan át kell keverni. A PROMAPAIN[®]-SC4 airless (levegő nélküli) festékszóró berendezéssel, ecsettel vagy hengerrel hordható fel. A szerszámokat, eszközöket a használat után azonnal meg kell tisztítani vízzel. Részletesebb utasításokért olvassa el az alkalmazástechnikai útmutatót.

Tanúsítvány

ETA 13/0198

Tárolás

Hűvös és száraz helyen tárolandó, fagyástól óvni kell.

Felület előkészítése

Acélfelület:

A PROMAPAIN[®] SC4 kompatibilis az ismert cink-foszfát epoxi- és alkid alapozókkal.

- A rozsdás új felületeket SA2½ homokfúvással vagy csiszolással kell kezelni, és korróziógátló alapozóval védeni.
- A korróziógátló alapozóval lefestett új felületeket az esetleges szennyező anyagok, például por, olaj vagy zsír, eltávolítása érdekében le kell mosni.
- A korrózióvédelmet nem igénylő felületeket (például horganyzott acél) tapadásfokozó alapozóval kell kezelni.
- A szerves cinket kibocsátó termékekkel lefestett acélszerkezeteket közbenső két komponensű epoxibevonattal vagy más megfelelő bevonattal kell ellátni, és csak a teljes száradás után szabad a PROMAPAIN[®] SC4 terméket felhordani. Betonfelület:
 - Javasoljuk a hordozó alapos megtisztítását nagy nyomású vizes tisztítással és/vagy csiszolással, és ahol a körülmények ezt nem teszik lehetővé, száraz kefézéssel a por, a szennyező anyagok és az összes laza rész eltávolítása érdekében.
 - A fokozottan nedvszívó felületekre ACCRO-POR[®] típusú fixálószerrel kell felhordani. Mivel a felület gondos előkészítése kulcsfontosságú, javasoljuk, hogy a részletesebb tudnivalóért forduljon a műszaki részlegünkhöz.

Biztonsági útmutató

További tanácsadásért olvassa el a biztonsági adatlapot. A használatra kijelölt veszélyre (H) és óvintézkedésre (P) figyelmeztető mondatok vonatkoznak.

Termék neve	Mennyiség raklapon	Kiszerezés
PROMAPAINT-SC4 25kg	36	25 undefined pail 36 pailles Raklaponként

A termék kizárólag az építőanyagokra vonatkozó szabályzatoknak és különösen a passzív tűzvédelemnek megfelelő módon használható, a vonatkozó nemzeti tanúsítványokat és jóváhagyásokat, valamint a hatályos nemzeti építési szabályzatokat is beleértve. A termékeket kizárólag megfelelő képzettséggel és tudással rendelkező szakemberek használhatják, az építési útmutatók, biztonsági adatlapok, nemzeti tanúsítványok és jóváhagyások részletes átolvasását követően. A termék használatának módjával és alkalmazási helyével kapcsolatos további tudnivalókért olvassa el a Promat kézikönyvet, vagy lépjen kapcsolatba helyi Promat irodájával. Minden kapcsolódó dokumentum ingyenesen elérhető helyi Promat irodájában. A nem az Európai Unióba tartozó országok esetén a különálló útmutatók irrelevánsak. Szükség esetén lépjen kapcsolatba helyi Promat irodájával.

Promat Magyarország

Marlovits Gábor | Műszaki értékesítési szakértő | M: +36 30 343 25 72 | E: gabor.marlovits@etexgroup.com
Weber Gábor | Műszaki és értékesítési szakértő | M: +36 30 152 00 32 | E: gabor.weber@etexgroup.com
Sági Bence | Értékesítési vezető Promat Magyarország | M: + 36 30 849 38 74 | bence.sagi@etexgroup.com
Információ: E: promat.hu@etexgroup.com

www.promat.com

POLYLACK W

Leírás:

Egykomponensű hőre habosodó, vízzel hígítható festék beltéri acélszerkezetek passzív tűzvédelmére, cellulóz alapú tüzek esetén.

Alkalmazás:

• Acél tartószerkezetek tűzállóságának növelése 90 perces határértékig a kritikus hőmérséklet függvényében.



1. táblázat: technikai adatok

Szín és megjelenés	fehér, krémszerű, felkeverve folyékony
Bevonat jellemzése	sima, porózus
Tűzvédelmi osztály	D-s1, d0 osztály
pH	7,0 – 8,0
Sűrűség	1,28 – 1,40 g/cm ³
VOC	0,0 g/l
Alkalmazási és tárolási hőmérséklet	+5 - 40 °C
Száraz rétegvastagság/kiadósság	lásd ETA-15/0801 \ 1,95 kg/m ² \ 1mm-re
Hígító	víz
Kiszerezés	20 kg műanyag vödör
Hőre habosodás mértéke	1 : ≤ 50

FELHASZNÁLÁSI MÓD:

Felület előkészítés:

A termék csak megfelelően alapozott felületre hordható fel, az alapozó megfelelő tapadása érdekében EN ISO 12944 szerint Sa 2,5 tisztasági fokozatú acélfelület javasolt!

Meglévő korrózióvédelemmel ellátott felületek esetén kérje a Dunamenti Tűzvédelem Zrt. szakvéleményét.

Felhasználható alapozók:

- 1K rövid ill. közepes olajhosszúságú alkid gyanta alapú korróziógátló alapozók pl. Polylack Primer, Eurogrund, Corroprimer
- 2K epoxi-gyanta alapú korróziógátló alapozók pl. Polylack 2K Epoxy, Remoplast Primer, Henekote Aktivgrund, Sigmafast 278, Agropox UHS Primer

Festék előkészítés:

A termék sűrű, magas szerkezeti viszkozitású (erősen tixotróp), ezért felhasználás előtt gépi keverővel jól fel kell keverni.

Felhordási mód:

- Ecsetelés/hengerezés: elérhető 150-250 µm száraz bevonat (DFT) rétegenként, ami 300-500 µm nedves rétegnek felel meg.
- Airless szórás: elérhető 400-500 µm száraz bevonat rétegenként, ami 800-1000 µm nedves rétegnek felel meg.
- Fúvóka 0,48-0,63 mm, nyomás 200 bar, a szűrőt el kell távolítani!

Hígítás:

A festéket hígítatlanul, vagy indokolt esetben max. 3% víz hozzáadásával kell felhordani. Túl sok hígító csökkenti a felhordható rétegvastagságot, vagy a festék megbomlását eredményezheti!

Felhordandó rétegvastagság:

A Polylack W tűzvédő bevonat száraz rétegvastagságát az előírt tűzvédelmi határérték és kritikus hőmérséklet, valamint a szerkezeti elemek masszivitási tényezője (U/A érték) határozza meg. További információkért kérje a Mercor Dunamenti Zrt. szakvéleményét, vagy használja az ETA-15/0801-ban szereplő adatokat!

Alkalmazási feltételek:

A festék +5 és +40 °C fok között dolgozható fel, relatív légnedvesség max: 70%.

+5 °C alatt tilos a festék feldolgozása!

A festendő felület hőmérséklete 3 fokkal haladja meg a harmatpontot. A bevonat száradása során megfelelő szellőzést kell biztosítani!

Polylack W tűzgátló festékkel ellátott szerkezeteket fedőfestés nélkül nem szabad időjárási behatásoknak (pl. eső, vagy más csapadék, erős páralecsapódás) kitenni!

Fedőbevonat:

Az igénybevétel mértékétől függően alkalmazható fedőbevonatok:

- 1K alkid: Polylack Topcoat, REM AK DS Glimmer, Vagona az összes RAL színben
- 2K poliuretán: Polylack 2K PU, Sigmadur 550, Agropur Finish, Chemopur RW U 2094 fedőfesték az összes RAL színben

Egyéb fedőfestékek esetén kérje a Mercor Dunamenti Zrt. szakvéleményét!

BIZTONSÁGI ELŐÍRÁSOK:

A termék biztonságos felhasználásával kapcsolatos fizikai, toxikológiai, ökológiai és munkavédelmi adatokat és előírásokat a Biztonsági Adatlap tartalmazza, az abban szereplő előírásokat be kell tartani.

A termék felhasználása csak Tűzállóságot növelő burkolatok beépítését, karbantartását végzők tűzvédelmi szakvizsgájával rendelkező felhasználók számára engedélyezett!

Engedélyek:

ETA-15/0801

CoP 1301-CPR-1145

C. melléklet: Alkalmazott tűzgátló habarcsok műszaki adatlapjai

C1. Promaspray P300

C2. Polyplast G

NEM REAKTÍV TŰZGÁTLÓ BEVONAT

PROMASPRAY®-P300

Tűzvédelmi spray-k



Általános ismertető

A PROMASPRAY®-P300 egykomponensű, gyárilag előkevert, gipszkötésű, vermikulit alapú, kis testsűrűségű, vakológéppel felhordható habarcs, amely teherhordó építményszerkezetek megbízható tűzvédelmét biztosítja. A PROMASPRAY®-P300 időjárási kitér szerinti használati kategóriái az EAD 350140-00-1106 szerint: csak beltéri használat (Z2 típus).

Előnyök

- könnyű, tartós tűzvédelmi réteg
- költségtakarékos, gyors kivitelezés
- akár R(EI) 360 tűzállósági teljesítmény
- acél betétgerendás téglafödémek tűzvédelme
- a szerkezet akusztikai és hőszigetelési paramétereinek javítása

Alkalmazási terület

- teherhordó acélszerkezetek
- vasbeton szerkezetek
- beton és acél-profillemez együttdolgozó (acél trapézlemez) szerkezetek
- fafödémek

Telepítési mód

A terméket permetezés útján kell felhordani. A megfelelő felszerelésre, a keverési eljárásra, a permetezésre és a munkavégzési helyszíni minőségellenőrzésekre vonatkozó részletes utasításokért a Promat műszaki részlegéhez kell fordulni.

Tanúsítvány

ETA 11/0043

Tárolás

Közvetlenül a felhasználásig raklapokon, a talajjal nem érintkezve, száraz és megfelelő körülmények között ($\geq 5 \leq 45$ °C) tárolandó.

Felület előkészítése

A hordozónak tisztának és száraznak, illetve portól, olajtól és a megfelelő tapadást akadályozó egyéb oldószerektől mentesnek kell lennie. Egyes esetekben az acélfelületeket BONDSEAL® termékkel kell előkezelni.

Műszaki adatok

Lúgosság	8.5 pH
Alkalmazási hőmérséklet	5 - 35 °C
Szín	Fehér bézs
Nyomószilárdság	0.12 N/mm ²
Sűrűség	365 ± 15 %
Initial set	10-15h
Product max thickness per coat	20 mm
Product min thickness per coat	8 mm
Hővezetés @ 20 °C	0.078 W/m K
Használati kategória	Y,Z ₂

Műszaki termékadatok

Termék neve	Kíszerelés
PROMASPRAY®-P300 20kg	20 undefined bag

A termék kizárólag az építőanyagokra vonatkozó szabályzatoknak és különösen a passzív tűzvédelemnek megfelelő módon használható, a vonatkozó nemzeti tanúsítványokat és jóváhagyásokat, valamint a hatályos nemzeti építési szabályzatokat is beleértve. A termékeket kizárólag megfelelő képzettséggel és tudással rendelkező szakemberek használhatják, az építési útmutatók, biztonsági adatlapok, nemzeti tanúsítványok és jóváhagyások részletes átolvasását követően. A termék használatának módjával és alkalmazási helyével kapcsolatos további tudnivalókért olvassa el a Promat kézikönyvet, vagy lépjen kapcsolatba helyi Promat irodájával. Minden kapcsolódó dokumentum ingyenesen elérhető helyi Promat irodájában. A nem az Európai Unióba tartozó országok esetén a különálló útmutatók irrelevánsak. Szükség esetén lépjen kapcsolatba helyi Promat irodájával.

Promat Magyarország

Marlovits Gábor | Műszaki értékesítési szakértő | M: +36 30 343 25 72 | E: gabor.marlovits@etexgroup.com

Weber Gábor | Műszaki és értékesítési szakértő | M: +36 30 152 00 32 | E: gabor.weber@etexgroup.com
Sági Bence | Értékesítési vezető Promat Magyarország | M: + 36 30 849 38 74 | bence.sagi@etexgroup.com
Információ: E: promat.hu@etexgroup.com
www.promat.com

POLYPLAST G

Leírás:

gipszkötésű habarcs jellegű anyag, amellyel acélszerkezetek és vasbeton födémek tűzgátló teljesítménye növelhető. Vízzel bekeverve vakoló géppel felhordható.

Alkalmazás:

- acél tartószerkezetek tűzállóságának növelésére R30 - R240 perces tűzvédelmi határértékig 10 - 60 mm közötti rétegvastagsággal
- vasbeton födémek tűzállóságának növelése REI180 perces tűzállósági határértékig 10 - 30 mm közötti habarcsréteg kialakításával.



1. táblázat: technikai adatok

Szín és megjelenés	szürkés, szemcsés porkeverék
Bevonat jellemzése	egyenetlen szórt felület
Tűzvédelmi osztály	A1 osztály
Keverési arány	1 kg száraz porkeverék: 1 liter víz
pH	7,0 - 8,0
Sűrűség	por 350 kg/m ³
	kötött 425 kg/m ³
Alkalmazási és tárolási hőmérséklet	+5 °C - +40 °C

FELHASZNÁLÁSI MÓD:

Felület előkészítése:

A korrózióvédelemben általánosan használt, ~50 µm egykomponensű korrózió gátlóval ellátott, szennyeződésektől mentes száraz felület.

Felhordás:

kis-és közepes teljesítményű habarcsszóró berendezés (5-15 liter/perc szórási teljesítmény; fúvóka 10 mm).

25 mm vastagságig a bevonat egy rétegben kialakítható, e fölött a bevonat két rétegben hordható fel 30 - 60 perc köztes száradási idő biztosításával.

Anyagszükséglet:

3,5-4 kg por keverék / m² / 10 mm habarcs réteg

Feldolgozás:

+5 °C alatt a feldolgozás nem javasolt, a vízzel bekevert anyag fagyveszélyes

Kiegészítő információk:

A termék feldolgozásával kapcsolatos további részletes információkért forduljon a Mercor Dunamenti Zrt-hez.



Tárolhatóság:

Egyedi gyári csomagolásban a gyártástól számított 1 évig.

Kiszerezés:

20 kg-os papír zsák

Engedélyek:

NMÉ-28234866 001

FIRES- CR-100-13 AUPE2