

SZAKDOLGOZAT

OE-YBL
2025.

Hallgató neve:
Hallgató törzskönyvi száma:

Szépe Sarolt





ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Ybl Miklós Építéstudományi Kar
Építőmérnöki Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Szépe Sarolt

Szakdolgozat száma: [REDACTED]

Törzskönyvi száma: [REDACTED]

Neptun kódja: [REDACTED]

Szak: Tűzvédelmi szakmérnök

Specializáció:

A dolgozat címe: A CLT Paneles építési Mód Alkalmazhatósága a Hazai Tűzvédelmi Műszaki Követelmények

A dolgozat címe angolul: Applicability of CLT Panel Construction Method in Light of Hungarian Fire Protection Technical Requirements

A feladat részletezése: A szakdolgozat célja a keresztrétegelt fa (CLT) paneles építési mód tűzvédelmi kockázatának vizsgálta és kiértékelése, valamint olyan tűzvédelmi műszaki megoldásokra való javaslattétel, amelyek hozzájárulhatnak a megfelelő hazai szabályozási környezet kialakításához. A kutatás során megvizsgálom a CLT paneles szerkezetek tűzhatásra való méretezési lehetőségeit, a tűzvédelmi teljesítményének igazolási módjait, az építési mód tűzvédelmi kockázatait, valamint az alkalmazott tűzvédelmi megoldásokat. A kutatás eredményeként a hatályos hazai szabályozások tükrében elemzem a CLT panelek alkalmazhatóságát. Megvizsgálom, hogy jelenleg hol alkalmazható, illetve, hogy hol lehetne ennek megfelelő szabályozási környezetben még tere az alkalmazhatóságra ahhoz, hogy ez a technológia megfelelő módon el tudjon terjedni nagyobb léptékű épületeknél is.

Intézményi konzulens neve: Orsó Renátó

Külső konzulens neve: Dr. Majorosné Dr. Lublőy Éva Eszter

Munkahelye: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Külső konzulens neve: Lestyán Mária

Munkahelye: ROCKWOOL Hungary Kft.

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

Beadási határidő: 2025. 05. 15.

A szakdolgozat: 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

Intézetigazgató

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

belső konzulens

külső konzulens

**SZAKDOLGOZAT
KONZULTÁCIÓS NAPLÓ**

Hallgató neve: Szépe Sarolt

Dolgozat száma: [REDACTED]

Oktatási azonosítója: [REDACTED]

Neptun azonosítója: [REDACTED]

Törzskönyvi száma: [REDACTED]

Szak, specializáció megnevezése:

Tűzvédelmi szakmérnök

A dolgozat címe magyar nyelven: A CLT Paneles Építési Mód Alkalmazhatósága A Hazai
Tűzvédelmi Műszaki Követelmények Tükrében

A dolgozat címe angol nyelven: Applicability Of CLT Panel Construction Method In Light Of
Hungarian Fire Protection Technical Requirements

Belső (kari) konzulens neve: Orsó Renátó

Külső konzulens neve: Lestyán Mária

Külső konzulens munkahelye: ROCKWOOL Hungary Kft.

ALK.	DÁTUM	KONZULTÁCIÓ TÉMÁJA, TARTALMA	KONZULENS ALÁÍRÁSA
1.	2025.02.25	Szakdolgozat leírítása, tartalma	[Signature]
2.	2025.03.10	Tartalomjegyzék és végkövetkeztetés meglat.	[Signature]
3.	2025.04.28	Vizsgálati uddheres	[Signature]
4.	2025.05.12	Eredményel, javaslatol	[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/Diplomaterv/Diplomamunka tantárgy(ak)* követelményét teljesítette.

Kelt: Budapest 2025.05.16
..... (hely), (dátum)



belső (kari) konzulens

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott Szépe Sarolt (Neptun azonosító: [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: Budapest (hely), 2025.05.14. (dátum)


hallgató

A CLT PANELES ÉPÍTÉSI MÓD ALKALMAZHATÓSÁGA A HAZAI TŰZVÉDELMI MŰSZAKI KÖVETELMÉNYEK TÜKRÉBEN

Összefoglalás. A keresztrétegelt fa (CLT) paneles építési mód hazánkban eddig csak a családi házas léptékre korlátozódott, azonban a karbonsemlegesség elérése érdekében vívott küzdelem során várhatóan egyre nagyobb igény mutatkozik majd a felhasználására nagyobb léptékű épületek esetében is. A CLT panel tűzhatás alatti viselkedése nagyban függ a panelrétegek vastagságától, számától, a ragasztó típusától, a védőburkolatok használatától, illetve a csomóponti kialakítástól, azonban összességében elmondható, hogy jobban viselkedik a hagyományos fa szerkezetektől. A CLT paneles építés terjedésének és alkalmazhatóságának egyik gátja a technológia újdonságából fakad: a gyártók még nem rendelkeznek megfelelő tűzvédelmi teljesítmény igazolásokkal, de még a szabványos vizsgálatok és számítások is hiányosak európai szinten is. A CLT alkalmazhatósága a tűzvédelmi osztályából fakadóan eleve korlátozott, azonban a fő akadályt a tűzvédelmi teljesítmények igazolásának hiánya jelenti, jelenleg ez az a megoldandó probléma, ami miatt korlátozottan használható nagyobb léptékű épületek esetében.

Kulcsszavak: tűzvédelem, CLT panel, építéstechnológia, szabályozás

APPLICABILITY OF CLT PANEL CONSTRUCTION METHOD IN LIGHT OF HUNGARIAN FIRE PROTECTION TECHNICAL REQUIREMENTS

Abstract. In Hungary, the cross-laminated timber (CLT) panel construction method has so far been limited to the detached house scale, but in the struggle to achieve carbon neutrality, it is expected that there will be an increasing demand for its use in larger scale buildings. The behaviour of CLT panels under fire conditions depends to a large extent on the thickness and number of panel layers, the type of adhesive, the use of protective cladding and the junction design, but overall it is better than conventional wood structures. One of the barriers to the uptake and applicability of CLT panel construction is the novelty of the technology: manufacturers do not yet have adequate fire performance certification, and even standard tests and calculations are lacking at European level. The applicability of CLT is inherently limited by its fire performance class, but the main obstacle is the lack of certifications of fire performance, which is currently the problem to be solved and limits its use in large-scale buildings.

Keywords: fire protection, CLT panel, construction technology, regulation

TARTALOMJEGYZÉK

1.	BEVEZETÉS	4
2.	SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	6
2.1	IRODALOMKUTATÁS	6
2.1.1	Fa szerkezetek szerepe a fenntartható építészetben	6
2.1.2	CLT gyártási folyamata és építőipari felhasználása	7
2.1.3	CLT előnyei és hátrányai	10
2.1.4	CLT panelek viselkedése tűzhatásra - tűzvizsgálatok	12
2.1.5	Alkalmazott tűzvédelmi megoldások	19
2.2	SZABÁLYOZÁSOK	23
2.2.1	Európai szabályozások, szabványok	23
2.2.2	Hazai szabályozások	28
2.3	KOCKÁZATELEMZÉS	30
2.3.1	Kockázatelemzés összegzés	32
3.	A PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA	35
4.	A CLT PANELES ÉPÍTÉS TŰZTERJEDÉS GÁTLÁSI LEHETŐSÉGEI A MAGYARORSZÁGI TŰZVÉDELMI SZABÁLYOZÁSSAL ÖSSZHANGBAN - MEGOLDÁS	36
4.1	TŰZGÁTLÓ ALAPSZERKEZETEK	38
4.2	TŰZGÁTLÓ LEZÁRÁSOK	39
4.3	TŰZTERJEDÉS ELLENI GÁTAK	41
4.4	TŰZGÁTLÓ VÁLASZFAL	41
4.5	HOMLOKZATI TŰZTERJEDÉS	42
4.6	KRITIKUS CSOMÓPONTOK	43
5.	CLT PANELEK ALKALMAZHATÓSÁGA	45
6.	KÖVETKEZTETÉSEK ÉS MÉRNÖKI JAVASLATOK	49
7.	HIVATKOZÁSOK	51

1. BEVEZETÉS

A keresztrétegelt fa (Cross-Laminated Timber, CLT) paneles építési mód egy innovatív és fenntartható technológia, amely az építőiparban világszerte egyre nagyobb figyelmet kap. A fenntarthatóság iránti növekvő globális igény és a nyugati országokban tapasztalható gyakorlat alapján egyértelmű, hogy a CLT paneles technológia egyre elterjedtebbé válik a többszintes középületek és lakóépületek esetében egyaránt. Ez nemcsak gazdasági és építészeti vonatkozásában jelent versenyképes alternatívát a hagyományos építési módokkal szemben, de ökológiai szempontból is kedvezőbb hatású, összességében kisebb karbonlábnyomú megoldás.

Magyarországon a CLT panelek alkalmazása jelenleg a családi házak léptékére korlátozódik. Ennek fő oka, hogy ez az építési mód viszonylag újnak számít, és még nem integrálódott teljes mértékben a hazai tűzvédelmi szabályozásba, azonban a jövőben várhatóan növekvő kereslet mutatkozik majd erre a technológiára. A megfelelő mérnöki megoldások és a tűzvédelmi előírások összehangolása elengedhetetlen ahhoz, hogy ez a technológia biztonságosan alkalmazható legyen nagyobb léptékű épületek esetében is.

A hazai jogszabályi követelményeknek megfelelő műszaki megoldások kidolgozásához a CLT paneles építési mód tűzvédelmi kockázatainak alapos vizsgálata szükséges. A szakdolgozat célja ezért

- feltárni a CLT panelek tűzvédelmi teljesítményét és kockázatait,
- javaslatot tenni olyan műszaki megoldásokra és szabályozási keretre, amelyek lehetővé teszik ennek a technológiának a szélesebb körű, biztonságos alkalmazását Magyarországon.

A kutatás során részletesen vizsgálom a CLT paneles szerkezetek tűzhatásra való méretezési lehetőségeit, tűzvédelmi teljesítményük igazolási módjait, valamint azokat a kockázati tényezőket, amelyek akadályozhatják az építési mód elterjedését. Emellett elemzem azokat az alkalmazott tűzvédelmi megoldásokat is, amelyek külföldön már bizonyítottak, és adaptálhatók lehetnek hazai környezetben. A szakdolgozat eredményeként bemutatom, hogy jelenleg hol alkalmazhatók ezek a szerkezetek Magyarországon, illetve, hogy milyen speciális szabályozási kiegészítések – például TvMI (Tűzvédelmi Műszaki Irányelvek) – lennének

szükségesek ahhoz, hogy nagyobb léptékű épületek esetében is biztonságosan használhatók legyenek.

A téma időszerűségét és hasznosságát alátámasztja a fenntarthatóság iránti növekvő társadalmi igény és az ehhez kapcsolódó építőipari trendek mellett az innovatív anyagok és technológiák iránti kereslet, valamint az olyan műszaki megoldások iránti szükséglet, amelyek biztonságosabbá teszik ezeket az új módszereket. A dolgozat célja tehát nemcsak egy aktuális szakmai problémára való reflektálás, hanem hozzájárulás egy hosszú távú fejlődési folyamat előmozdításához is.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

A kutatás során hazai és nemzetközi szakcikk, vizsgálati és termékszabványok, valamint tűzvizsgálati- és tudományos beszámolók kerültek feldolgozásra. Az áttekintés első részében bemutatom a CLT szerkezetek szerepét a fenntartható építészetben, valamint a panelek szabványos gyártási folyamatát. Ezt követően tűzvizsgálatok eredményei alapján elemeztem a CLT tűzhatás alatti viselkedését és jellemzőit különféle burkolási és tűzvédelmi konfigurációk mellett és összegzem a már alkalmazott tűzvédelmi megoldásokat. Ezután felvázolom a jelenlegi európai és hazai szabályozási környezetet és kockázatelemzést végzek a CLT paneles szerkezetek alkalmazását illetően.

2.1 Irodalomkutatás

2.1.1 *Fa szerkezetek szerepe a fenntartható építészetben*

Az éghajlati vészhelyzet példátlan kihívást jelent, amely sürgős és összehangolt globális fellépést igényel az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése, valamint a fenntartható fejlődés előmozdítása érdekében [UNEP, 2025].

Az Európai Unió klímapolitikája középpontjába helyezte a szén-dioxid-kibocsátás csökkentését és a fenntarthatóság erősítését és a 2021/1119 európai klímarendeletben *a klímasemlegesség elérését célzó keret létrehozásáról és a 401/2009/EK rendelet, valamint az (EU) 2018/1999 rendelet módosításáról* törvénybe foglalta az Európai Zöld Megállapodásban kitűzött célt, hogy Európa gazdasága és társadalma 2050-re klímasemlegessé váljon. Az Európai Unió klíma- és energiapolitikája nagyban meghatározza a hazai klímavédelmi intézkedések keretét, amelyek valamennyi gazdasági ágazat számára cselekvési kötelezettséget írnak elő, beleértve az építőipart is. Ez utóbbi terület esetében a jelenlegi működési gyakorlatok érdemi újragondolása szükséges. A szektor jelentőségét jól mutatja, hogy 2022-ben Magyarországon az épületek üzemeltetéséből, valamint az építési, felújítási, bontási munkálatokból és azokhoz kapcsolódó gyártási, szállítási és hulladékkezelési tevékenységekből – ideértve az importált anyagokat és energiát is – összesen 20,33 millió tonna szén-dioxid-egyenérték (CO₂e) kibocsátás származott. Ez az adott évben regisztrált teljes hazai kibocsátás 38,6%-át tette ki, vagyis a teljes üvegházhatású gázkibocsátás több mint egyharmada közvetlenül vagy közvetve az épületekhez kapcsolódott [HUGBC, 2024].

Ezen kívül a fenntarthatóság egyik alappillére a körforgásos gazdaság, amely az erőforrások hatékony kihasználására, a már előállított termékek és anyagok életciklusának meghosszabbítására, valamint az anyag- és energiafelhasználás minimalizálására törekszik a karbonlábnyom csökkentése céljából. Ennek a gazdasági modellnek az építőipari adaptációját képezi a körforgásos építészet, amely a már meglévő szerkezetek és anyagok újrahasznosítását, valamint az újonnan beépített anyagmennyiség csökkentését helyezi előtérbe. Mindez elengedhetetlen annak fényében, hogy az épületek és az építkezések a globális szén-dioxid-kibocsátás közel 39%-áért felelősek. Ezen belül az épületek üzemeltetése 28%-ot, míg az építési folyamatokhoz és beépített anyagokhoz köthető, ún. beépített karbon – az épület teljes életciklusa során alkalmazott anyagokhoz és építési folyamatokhoz köthető karbonkibocsátás – további 11%-ot tesz ki. Különösen jelentős a cement- és betonipar környezeti hatása: a cement előállítása során tonnánként hozzávetőlegesen fél tonna szén-dioxid keletkezik, részben a mészkő dekarbonizációja, részben a fosszilis energiahordozók égetése révén. A vasbeton előállításának karbonintenzitása 0,46 kg CO₂/kg-mal hasonló mértékű. A tartószerkezeti rendszerek felelősek az épületek beépített karbonjának mintegy 80%-áért. A probléma nem csupán környezeti, hanem gazdaságföldrajzi szempontból is releváns: hazánk cementgyártásához szükséges mészkőkészlete – a jelenlegi kitermelési ráta alapján – nagyjából 80 évre elegendő, azonban ennek a 80%-a Natura 2000 területeken található. Ez azt jelenti, hogy 16–20 éven belül a hozzáférhető tartalékok kimerülhetnek. A vasérc esetében importfüggőség áll fenn, míg a kavicskészletek globálisan is apadóban vannak [HARTVIG, 2024].

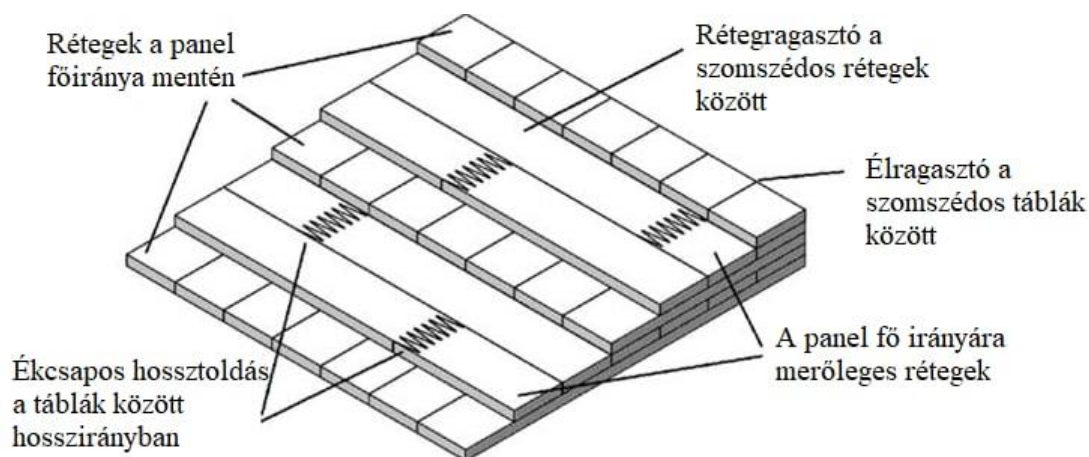
Mindezek tükrében a fa, mint elsődleges szerkezeti építőanyag alkalmazása nemcsak indokolt, hanem a Magyarország által is vállalt karbonsemlegesség elérése céljából idő- és környezetpolitikai szempontból is szükségszerű. A fa beilleszthető a körforgásos építészet logikájába, megújuló erőforrásként jelentős előnyöket kínál a hagyományos építőanyagokkal szemben, és a CLT technológia ennek egyik leginnovatívabb formája, amelyek részletes bemutatására a következő fejezetekben térek ki.

2.1.2 CLT gyártási folyamata és építőipari felhasználása

Az európai szabályozási környezeten belül az EN 16351:2021 európai termékszabvány bevezetése alapozta meg a keresztrétegelt fa termékek egységes gyártási és ellenőrzési gyakorlatát, elősegítve a CLT technológia fejlődését [BUCHANAN ÉS ÖSTMAN, 2022]. Az EN 16351:2021 szabvány meghatározza a termékek műszaki és minőségi követelményeit a CLT

gyártási folyamat teljes vertikumának szabályozásával. Meghatározza többek között az alkalmazható alapanyagok és ragasztók típusait, a rétegek kialakítását, a gyártási körülményeket, továbbá a minőségellenőrzés és gyártásellenőrzés rendszereit, valamint a vizsgálati és megfelelőségi követelményeket. A termékek megfelelősége ugyanis elsődlegesen a gyártási szakaszban elvégzett minőségbiztosítási lépések (pl. alapanyag-osztályozás, technológiai felügyelet) révén garantálható.

A CLT panel egy legalább három, jellemzően egymásra merőleges száliránnyal elrendezett és teljes felületükön ragasztott fenyődeszkarétegből álló tömörfa panel, amelyet az 1990-es évek elején kezdtek el gyártani Ausztriában és Németországban, és azóta egyre népszerűbbé vált az európai épületek körében. A CLT panel felépítését és elrendezését az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra: A CLT panel felépítése

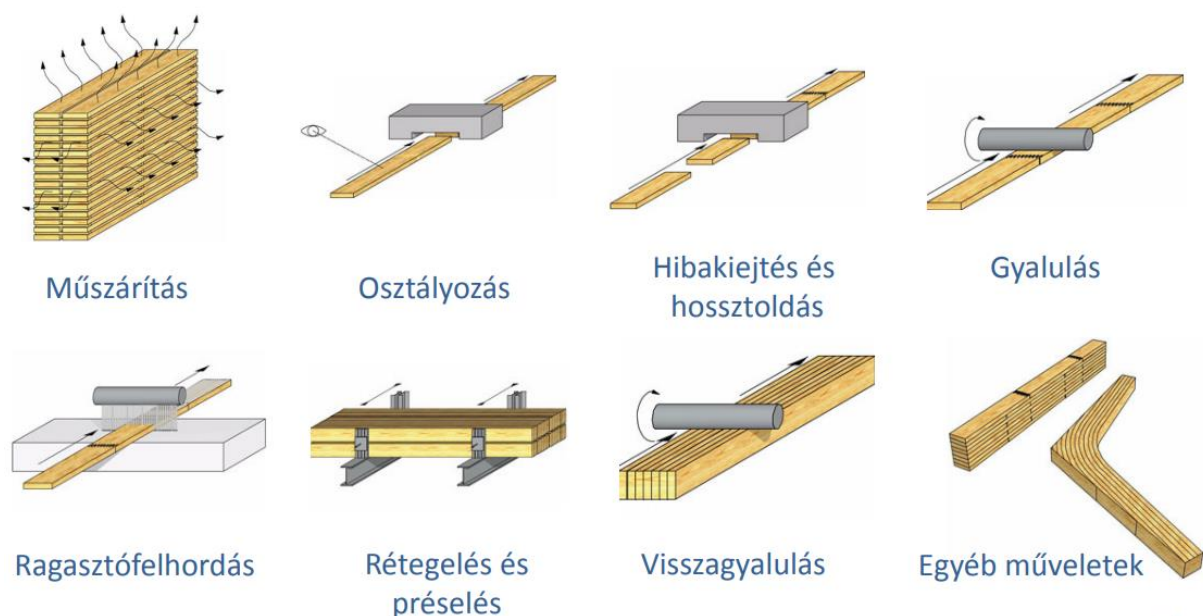
forrás: CHRISTOVASILIS ET AL., [2016] – saját szerkesztés

A CLT szerkezetek alkalmazása sokoldalú: falak, födémek, tetők, ívelt szerkezetek és gerendák építésére egyaránt alkalmas, különféle puhafa – esetenként keményfa – fajtákból. A gyártástechnológiától függően eltérő keresztmetszeti méretek és rétegrendek érhetők el. Emellett a CLT egyre gyakrabban jelenik meg hídfelületek vagy ideiglenes szerkezetek, például darupálya-alátétek és ideiglenes útalapok szerkezeteként [DIVEKAR, 2016].

A gyártási folyamat a rönkök keresztvágásával kezdődik, ezt követi az anyag válogatása és méretre vágása, amelynek során eltávolítják az olyan hibás részeket, mint a csomók vagy repedések. A faanyagot mesterséges szárításnak vetik alá, mely során a nedvességtartalom jellemzően $12\% \pm 3\%$ -ra csökken. Ez a lépés nemcsak a méretállandóságot szolgálja, hanem a

mikrobiológiai (gombák, rovarok) károsítók elpusztítását is biztosítja. Ezt követi a hosszirányú lamellák ékcsapos hosszoltóása, amely során a faelemeket egymásba illeszkedő, fogazott vágásokkal kapcsolják össze. A toldott deszkákat élben ragasztják össze, így alakítva ki a CLT panel rétegeit. Ezeket a rétegeket egymásra merőlegesen helyezik el és nagy nyomással – akár 0,6 MPa – préselik össze, növelve a végső szerkezeti szilárdságot. A háromirányú préselést biztosító speciális présberendezések nemcsak a panelek felületére, hanem az élére is egyenletes nyomást gyakorolnak, így garantálva a lamellák hézagmentes illeszkedését. A CLT alapanyagaként jellemzően C20 vagy C24 szilárdsági osztályú lucfenyőt használnak, de gyártótól függően alkalmazhatók más fafajok is, például jegenyefenyő, erdeifenyő vagy vörösfenyő. A ragasztáshoz az EN 301:2023 szerinti melamin-formaldehid (MUF), illetve az EN 15425:2023 szabványnak megfelelő egykomponensű poliuretán (PUR) alapú ragasztók használhatók, amelyek nyitott ideje az adott alkalmazástól függően néhány perctől akár egy óráig is terjedhet. A kész paneleket gyalulják és/vagy csiszolják, majd CNC-vezérlésű marógépek segítségével milliméterpontosra szabják, illetve kialakítják rajtuk a szükséges áttöréseket és nyílásokat. Ezek a precíziós eljárások biztosítják a helyszíni szerelés gyorsaságát és pontosságát [DIVEKAR, 2016].

A CLT gyártás folyamatának lépéseit a 2. ábra összegzi.



2. ábra: CLT gyártási folyamata

forrás: HANTOS [2016]

Az EN 16351:2021 termékszabvány nem határoz meg minimális rétegvastagságot, azonban kiköti, hogy minimum 18mm rétegvastagság és 54mm panelvastagság esetében tűzvédelmi osztály vizsgálata nélkül a keresztrétegelt fa szerkezet besorolható D-s2, d0 tűzvédelmi osztályba. Viszont az egyes gyártók teljesítménynyilatkozatai alapján már akár 12 mm-es rétegvastagsággal is készülnek panelek. A rétegvastagságok maximális értéke pedig a gyártási és szerkezeti követelményektől függően változhat, de általában 50 mm körül van. Ezen rétegvastagságok kombinálásával gyakorlatilag bármilyen panelvastagság előállítható 36mm-től akár 500 mm-ig. A CLT panelek szélessége bizonyos alkalmazások esetén akár az 5 métert is elérheti, hosszuk legfeljebb 18 méter lehet. A CLT gyártásának sikerét alapvetően a faanyag minősége és a ragasztási paraméterek precíz ellenőrzése határozza meg. Az EN 16351:2021 szabvány alapján a végtermék ragasztási minőségét szabványos delaminációs (rétegleválási) és ragasztási szilárdság vizsgálattal, a panelek hajlítószilárdságát, rugalmassági modulusát és sűrűségét pedig laboratóriumi vizsgálatokkal ellenőrzik.

2.1.3 CLT előnyei és hátrányai

A CLT tömege körülbelül negyede a betonénak, ami jelentős előnyt jelent mind a szállítás, mind az alapozás tervezése szempontjából. A kisebb önsúly következtében csökken az alapozási terhelés, mérséklődik a szállítások száma, és kisebb teljesítményű darukkal is megvalósítható a panelek beemelése, ezáltal csökkentve a gépi munka és a kivitelezés költségeit [DIVEKAR, 2016].

A fa rétegek derékszögben történő ragasztása jelentősen növeli a szerkezeti szilárdságot és stabilitást, miközben minimalizálja a fa olyan természetes mozgásait, mint a zsugorodás vagy dagadás. A panelek vastagsága könnyen növelhető, így hosszabb fesztávok is áthidalhatók kevesebb belső alátámasztással. A számítógéppel vezérelt (CNC) gyártástechnológia révén milliméter pontosságú elemek készülnek, amelyeket szükség esetén akár helyszínen is könnyen módosítani lehet kéziszerszámokkal. A CLT rendszerek előregyártott jellege jelentősen lerövidíti az összeszerelési időt, ezáltal csökkenti a beruházási költségeket, és lehetővé teszi az épület korábbi használatbavételét, ami korábbi bevételi forrást biztosít az épület üzemeltetése során. A fal-, földem- és tetőelemeken a gyártás során kialakítják a szükséges nyílásokat (ajtók, ablakok, lépcsők, gépészeti áttörések), és esetenként a szigeteléseket és burkolatokat is felviszik. A CLT szerkezetek tűzvédelmi jellemzői szintén kiemelkedőek a vizsgálatok alapján és a pontos szerkezeti kialakítások révén kevesebb rejtett tér alakul ki, így a tűz terjedése is lassabb és könnyebben kontrollálható [DIVEKAR, 2016]. A

CLT panelek tűzvédelmi jellemzőivel a 2.3. Kockázatelemzés fejezetben részletesebben foglalkozom.

A pontos illesztéseknek és a tömör szerkezetnek köszönhetően minimális a légmozgás és a hőhidak kialakulása, így a CLT épületek belső hőmérséklete akár a hagyományos fűtési vagy hűtési energia harmadával is fenntartható. Emellett a fa, mint megújuló erőforrás, fenntarthatóság szempontjából is jelentős, hiszen életciklus-elemzések alapján kisebb ökológiai lábnyommal rendelkezik, mint a beton vagy az acél. Míg a cementgyártás a globális CO₂-kibocsátás mintegy 6%-áért felelős, addig a fák természetes szénelnyelőként a növekedésük során megkötik a szén-dioxidot. Ráadásul a CLT előállításához használt faanyag gyakran fenntarthatóan kezelt erdőkből származik, ezáltal hozzájárul a felelős erdőgazdálkodás elterjedéséhez, illetve az ökoszisztémák és a biodiverzitás megőrzéséhez. A CLT rendszerek előállítása során keletkező hulladék rendkívül csekély, az elemek projekt-specifikus, méretre gyártásuk miatt. A feldolgozási folyamat során megmaradó faanyagot gyakran újrahasznosítják, például lépcsőelemekhez vagy biomassa-alapú tüzelőként [DIVEKAR, 2016].

Földrengésállóság szempontjából a CLT panelek rendkívül jó energiaelnyelő képessége mellett a méret- és formaállósága lehetővé teszi a hatékony oldalirányú teherhordó rendszerek kialakítását szeizmikus környezetben. A SOFIE projekt keretében egy 7 emeletes CLT épületet teszteltek Japánban a világ legnagyobb rengésszimulátorán (E-Defense, Kobe), 7,2-es magnitúdójú földrengéssorozatot modellezve, a szerkezet a szimulált földrengések után gyakorlatilag sértetlen maradt [MESTEK, 2012].

Az akusztikai teljesítményt tekintve a tömör fal- és födém szerkezetek hozzájárulnak a léghangok és testhangok hatékony csillapításához. A kivitelezés során alkalmazott tömítőanyagok és membránok tovább javítják a hangszigetelést a szerkezeti csatlakozásoknál. [DIVEKAR, 2016].

Összességében a CLT-technológia ötvözi a fa minden kedvező tulajdonságát a korszerű építéstechnológiai elvárásokkal. Száraz technológiával, gyors ütemben építhető, miközben a panelek előregyártása biztosítja a szerkezet azonnali terhelhetőségét. A CLT elemek kiváló hő- és hangszigetelő tulajdonságokkal rendelkeznek, a precíziós gyártás pedig minimalizálja az építkezéssel járó, helyszíni hulladékképződést. Ezen túlmenően a fa épületekben való

felhasználása biofil előnyökkel jár, mivel a természetes anyagokkal való emberi interakció bizonyítottan javítja a jólétet. A fa használatának beépítése az épületek tervezésébe elősegítheti a természettel való kapcsolatot, olyan élettereket hozva létre, amelyek nemcsak fenntarthatóbbak, hanem jobban is szolgálják az egészséget [ARCHDAILY, 2022a].

A CLT paneles építési mód számos előnye mellett bizonyos alkalmazási korlátokat is felvet. A nagy méretű, előregyártott panelek szállítása kizárólag teherautóval lehetséges, így a technológia elsősorban jól megközelíthető építési helyszínekre korlátozódik. Emellett a szerkezetek precíziós tervezést és nagy tapasztalattal rendelkező kivitelezőt igényelnek.

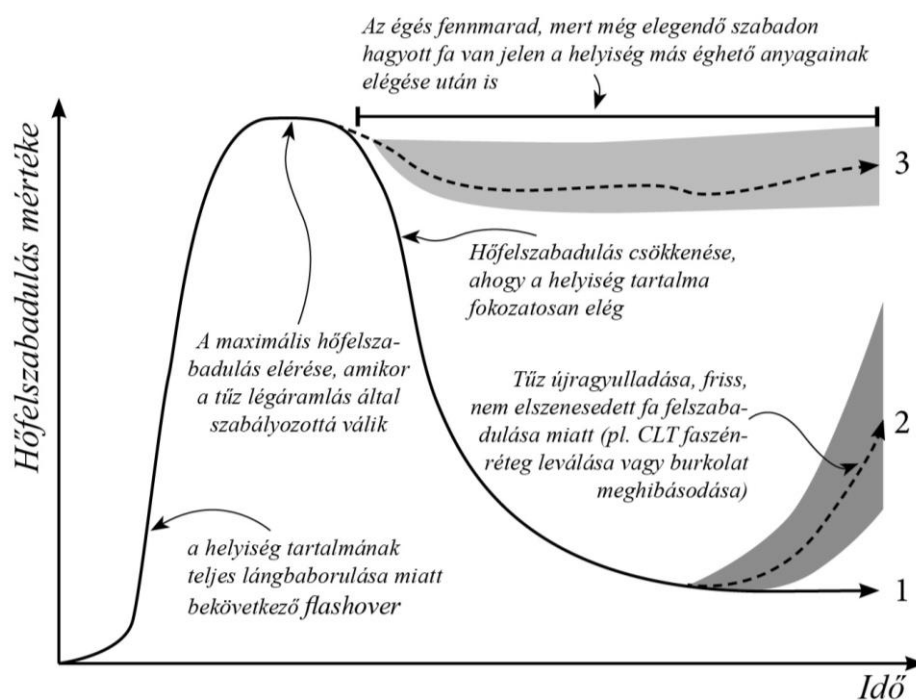
További hátrányok a technológia újdonságából fakadnak: tűzvédelmi igazolás tekintetében még csak csekély rendszer és készlet áll rendelkezésre és még túl költséges ezeknek az igazolásoknak az előállítása. Csomóponti- és tűzvédelmi teljesítmény igazolás kérdésekben még vannak nehézségek. Az ilyen típusú rendszerek vizsgálata és minősítése költséges, és jelenleg nem minden szerkezeti megoldásra állnak rendelkezésre megfelelően validált adatok. Ugyanakkor a nemzetközi kutatási és vizsgálati tevékenységek előrehaladtával várható, hogy a közeljövőben egyre több, hazai környezetben is alkalmazható eredmény lát napvilágot.

Bár a CLT panelek összeszerelése általánosságban gyorsan és hatékonyan kivitelezhető, a szerkezet a kivitelezés korai fázisaiban fokozott tűzvédelmi kockázatot jelenthet. Amikor még nem készültek el a szerkezeti csomópontok és nincsenek beépítve a nyílászárók akkor huzatossá válhat a kivitelezés alatt álló épület, aminek következtében tűz keletkezéskor nagyon nagy a lég- és oxigénutánpótlás. Ilyen esetben gyakorlatilag sokkal gyorsabb tönkremenetelt tudunk realizálni, mint egy ISO görbe melletti tönkremenetelnél fa szerkezet esetében.

2.1.4 CLT panelek viselkedése tűzhatásra - tűzvizsgálatok

Az elmúlt években számos helyiségtűz vizsgálatot végeztek a falakon és födémeken különböző mértékben burkolt CLT felületekkel. Ezek a vizsgálatok jelentős mértékben hozzájárultak a CLT tűzdinamikájának megértéséhez, valamint a különböző paraméterek – mint például a ragasztóanyag típusa, a CLT-rétegrend konfigurációja és az elszenesedett réteg leválása, a szabadon hagyott CLT mennyisége, a tűzterhelés és a nyílások mérete – hatásának vizsgálatához [BUCHANAN ÉS ÖSTMAN, 2022].

A tűzvizsgálatok legfontosabb megállapítása az, hogy a beltéri felületeken alkalmazott burkolatlan fa jelentősen befolyásolja a tűz fejlődését: annak növekedését, a hőfelszabadulás mértékét, időtartamát és a hanyatlás dinamikáját. A 3. ábra bemutatja a cellás helyiségekben végbemenő lehetséges tűzgörbéket a burkolatlan fa felületek mennyiségével összefüggésben [BARBER ET AL., 2021].



3. ábra: A tömörfa felületekkel határolt helyiségben kialakuló tűz következtében bekövetkező tűzfejlődés, forrás: BARBER ET AL., [2021] – saját szerkesztés

Az 1-es számú görbe esetében a tűz kialakul és eléri az állandósult égési állapotot. A tüzelőanyagként viselkedő fa felület ebben a szakaszban hozzájárul az összesített hőfelszabadulás mértékéhez, de miután a helyiségben lévő legtöbb éghető anyag elég, a tűz hanyatlásnak indul. Ha kitett fa felület van jelen, annak a pirolízise lelassul, majd megszűnik, ahogy a helyiségben a tűz is elhal. A szenesedett felületen a fa izzása még előfordulhat, de ideális esetben ez a leégési szakasz során fokozatosan megszűnik [ARUP, 2024].

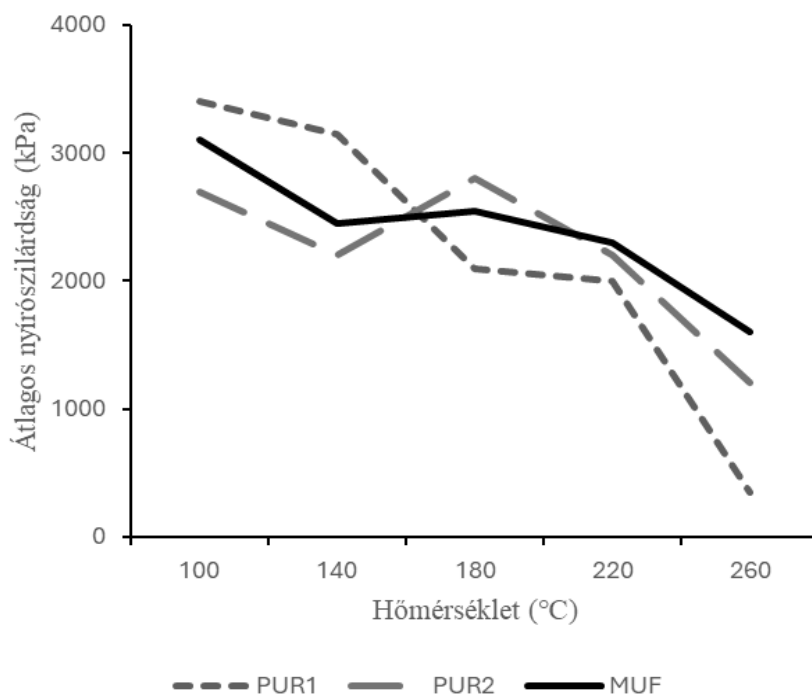
Ez a viselkedés akkor jellemző, ha a tömörfa felületek kiterjedése korlátozott és a CLT rétegek közötti ragasztás (bond line) a tűzben nem válik el.

A 2-es számú görbe esetében, az 1-eshez hasonlóan a tűz kifejlődik, eléri az állandósult égést, majd a szokásos módon hanyatlásnak indul. A látható fa felületek ebben a szakaszban is hozzájárulnak a hőfelszabaduláshoz. A hanyatlási szakasz alatt vagy azt követően azonban a kitett, fedetlen fa újból begyulladhat. A második újragyulladás leggyakoribb oka a CLT faréteg hibája, a CLT rétegek közötti ragasztó elengedése, vagy a tűzgátló burkolat hibás kivitelezése. Bár a ragasztott réteg elengedése jellemzően a leégési szakasz előtt vagy alatt figyelhető meg, az izzásból való újragyulladás akár órákkal az eredeti tűz után, a leégési szakaszt követően is megtörténhet. Ebben az esetben a faanyag jelentősen meghosszabbíthatja a tűz teljes időtartamát. A tűzálló szerkezeteket jellemzően csak egy csúcshőmérséklet elviselésére tervezik, így egy második lángbaborulást nagy valószínűséggel a szerkezet már nem fogja tudni elviselni.

A 3-as görbe esetében a helyiségben található szokványos éghető anyagok (bútorok stb.) elégését követően is kvázi állandósult intenzitással tovább ég, az expozíciónak kitett tömörfa felületek miatt. Azokban a tűzvizsgálatokban, ahol ez a viselkedés megfigyelhető volt, nem rögzítettek leégési szakaszt, mivel a vizsgálatokat biztonsági okokból idő előtt megszakították. A helyiség falainak vagy szerkezetének meghibásodása a hanyatlás előtt bekövetkezhet. Ha több tömörfa felület van kitéve a tűznek, hosszú ideig is fennmaradhat a teljesen kifejlődött égés, mivel a rendelkezésre álló éghető fa és a felületek közötti sugárzás hatása fenntartja az égést. Ebben az esetben a fa jelentősen meghosszabbíthatja a tűz teljes időtartamát, és a tűz meghaladhatja a tűzvédelmi irányelvekben szereplő tűzállósági teljesítmény követelményeket [ARUP, 2024].

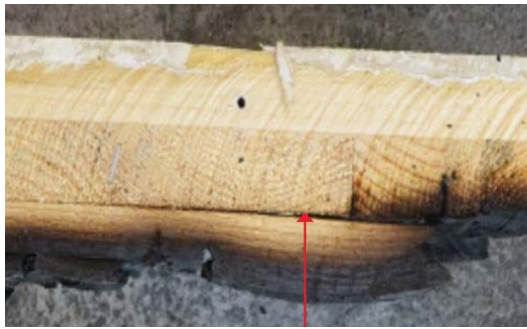
A tűzvizsgálatok alapján a CLT ragasztók típusának meghatározó szerepe van a tűz lefolyását illetően. Az EN 16351:2021 termékszabvány alapján a keresztrétegelt fa szerkezetek rétegeinek ragasztárása EN 301:2023 vagy EN 15425:2023 termékszabvány szerint engedélyezett melamin-formaldehid (MUF) vagy poliuretán (PUR) alapú ragasztók alkalmazhatók. Ezek a szabványok meghatározzák a ragasztóanyagok mechanikai és fizikai teljesítményjellemzőit, azonban nem tartalmaznak előírásokat a tűzhatás alatti viselkedésre vagy az azzal kapcsolatos méretezési szempontokra. Jelenleg az Európai Unióban nem létezik olyan szabvány, amely kifejezetten a faipari ragasztók tűzállósági méretezését szabályozná, az EN 16351:2021 nem feltételez tűzhatás alatti rétegleválást. Ez különösen problémás, mivel a vizsgálatok azt mutatják, hogy a különböző ragasztótípusok eltérően viselkednek magas hőmérsékleten. A szabványos laboratóriumi vizsgálatok során alkalmazott maximális

teszthőmérséklet $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, amely jelentősen elmarad a tüzesetek során jellemzően fellépő hőmérsékletektől. A ZELINKA ET AL. [2019] által végzett kiselemes (small scale) vizsgálatainak eredményei szerint a PUR alapú ragasztók már $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten jelentős mértékben elveszítik nyírószilárdságukat, ami a rétegek delaminációjához vezethet.



4. ábra: PUR ragasztó átlagos nyírószilárdság (kPa) változása a hőmérséklet függvényében,
forrás: ZELINKA ET AL. [2019]

A 4. ábra szemlélteti a vizsgálatok eredményeit, amelyek során kétféle poliuretán alapú (PUR1 és PUR2), valamint egy melamin-formaldehid (MUF) típusú ragasztó nyírószilárdságát vizsgálták emelkedő hőmérsékleten. A méréseket $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig végezték, mivel ez az érték alatta marad a faanyag körülbelül $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os szenesedési hőmérsékletének. Az eredmények egyértelműen azt mutatják, hogy a ragasztók nyírószilárdsága a hőmérséklet emelkedésével csökken, bár a mérték és a viselkedés jellege ragasztótípusonként eltérő. Különösen a poliuretán alapú ragasztók esetében figyelhetők meg jelentős különbségek a teljesítményben. Fontos hangsúlyozni, hogy a szilárdság csökkenése nem lineáris, hanem a hőmérséklet növekedésével fokozódó mértékű degradációt mutat. Az 5. ábra és 6. ábra szemlélteti az ASTM E119 [2020] szabványos tűzvizsgálat utáni különbséget a hőre érzékeny, leváló, illetve a hőre nem érzékeny, nem-leváló ragasztóval ellátott CLT között.



5. ábra: CLT panel tűzteszt utáni vizsgálata
hőre leváló ragasztó esetén, forrás: ARUP
[2024]



6. ábra: CLT panel tűzteszt utáni vizsgálata
hőre nem-leváló ragasztó esetén, forrás:
ARUP [2024]

A SU ET AL. [2018] által vezetett tűzvizsgálat során tűzálló ragasztóval gyártott CLT paneleket vizsgáltak. A vizsgálat sorozat minden egyes esete azt igazolta, hogy az ilyen típusú ragasztóval készült CLT szerkezetek szignifikánsan ellenállóbbak voltak a szenesedési réteg leválásával (delamináció) szemben. A tűz hatására kialakuló beégés – annak ellenére, hogy elérte, sőt meghaladta a ragasztási síkot – nem okozott rétegleválást, az elszenesedett rétegek szigetelőként működtek, és a tűz minden esetben hanyatlással, majd önkioltással zárult le. A vizsgálati eredmények alapján a CLT szerkezetekben jelentkező szénréteg-leválás kockázatának csökkentésére két alapvető mérnöki megközelítés létezik. Az első, megbízhatóbb megoldás a tűzálló ragasztók alkalmazása, amelyek magas hőmérsékleten is képesek megőrizni a ragasztási kötés integritását. A második lehetőség a CLT panelek felső rétegének olyan vastagságúra történő méretezése, amely meghaladja a várható beégési/szenesedési mélységet, ezáltal biztosítva, hogy a ragasztási vonal hőmérséklete a teljes tűzhatás időtartama alatt ne érje el a delaminációhoz vezető kritikus értéket. Függetlenül az alkalmazott megoldástól, ajánlott, hogy a CLT szerkezetekben kizárólag olyan ragasztóanyagokat használjanak, amelyek bizonyítottan ellenállnak a tűz során kialakuló magas hőmérsékletnek, különösen olyan esetekben, amikor a szerkezetnek át kell vészelnie a tűz ún. „burnout” fázisát is, vagyis amikor az éghető anyagok teljes mértékben elégnak.

További jelentős kihívást jelent, hogy a jelenleg elérhető verifikációs módszerek nem alkalmasak a CLT szerkezetekben bekövetkező szénréteg-leválás pontos értékelésére, különösen a tűzeset burnout szakaszában – ez a terület jelenleg is aktív kutatás tárgyát képezi [BARBER ET AL., 2021].

Jelenleg az észak-amerikai ANSI/APA PRG 320:2018 az egyetlen olyan nemzeti szabvány, amely konkrét módszertant kínál a CLT panelek ragasztási síkjainak tűzben való meghibásodásának vizsgálatára és igazolására [ARUP, 2024]. Az európai szabványosítás e téren jelenleg még elmarad, ami korlátozza a CLT technológia tűzvédelmi tervezésének biztonságos és konzisztens alkalmazhatóságát.

További fontos tűzvizsgálati tényező a beégési sebesség, amely meghatározza a szerkezeti keresztmetszet tüzeset során bekövetkező csökkenésének mértékét. Az EN 1995-1-2:2004 (Eurocode 5) szabvány a beégési sebességre a tömör fához hasonlóan 0,65 mm/perc értéket határoz meg, azonban a vizsgálati eredmények alapján ez az érték a CLT panelek esetében gyakran nem reális, és nem minden esetben szolgálja a biztonság irányába történő túlbecslést. A mérések szerint a CLT panelek beégési sebességét befolyásolja a panelrétegek száma, vastagsága, valamint a használt ragasztó típusa. Amennyiben a ragasztóanyag a tűz hatására elveszíti mechanikai kötőképességét, és delamináció következik be, a belső faanyag közvetlenül lánghatásnak lesz kitéve. Ez az effektív tűzterhelés növekedéséhez, és ezzel együtt a beégési sebesség jelentős emelkedéséhez vezethet. A FRANGI A. ET AL. [2022] végzett vizsgálatok alátámasztják, hogy a vékonyabb rétegekből álló panelek gyorsabban égnek be. A vizsgálat során két azonos vastagságú (84–85 mm-es), ám különböző rétegszámú CLT panel tűzállósági teljesítményét hasonlították össze. Az 5×17 mm-es, azaz vékonyabb, de több rétegből álló panel beégési sebessége 0,72–1,32 mm/perc tartományban mozgott, míg a 3×28 mm-es, vastagabb rétegekből épülő panel esetében ez 0,69–1,01 mm/perc között maradt. Az eredmények alátámasztják, hogy a rétegszám és rétegvastagság kombinációja meghatározó szerepet játszik a CLT tűzállósági viselkedésében.

A beégési sebesség egyenetlenségével a gyártók is foglalkoznak. Elenyésző számban, de van olyan ETA, ami tartalmazza az EAD 130005-00-0304 alapján számolt beégési sebességet a fedőréteg, illetve több réteg elszenesedése esetén is. Az 1. táblázat szemlélteti a Sora Enso Oyj – CLT panel gyártó ETA dokumentumában szereplő értékeket beégési sebességre. A táblázatban alapján megfigyelhető, hogy a csupán a fedőréteg szenesedése esetén a termék beégési sebessége hasonló az Eurocode által meghatározott 0,65 mm/perc-es értékhez, azonban több réteg szenesedése esetén ez az érték megnő és túlhaladja ezt az értéket a földém és falszerkezetek esetében is.

1. táblázat: CLT építőanyaghoz kiállított ETA-14/0349 dokumentumban szereplő beégési sebesség értékek			
Beégési sebesség	Vizsgálati módszer	Födém/tető	Falak
Fedőréteg szenesedése esetén	EAD 130005-00-0304	0,65 mm/perc	0,63 mm/perc
Több réteg szenesedése esetén		1,3 mm/perc	0,86 mm/perc

A CLT szerkezetek tűzállósági teljesítményének értékelésekor különös figyelmet érdemelnek az acél kapcsolatokkal kialakított csomópontok, mivel ezek a szerkezeti elemek a magas hővezető képességük és a tűzhatás alatti gyors szilárdságsökkenésük következtében a rendszer legkritikusabb pontjaivá válhatnak.

A CLT panel-kapcsolatokra kevés 90 vagy 120 perces tűzállósági teljesítményre igazolt szabványos tűzvizsgálat áll rendelkezésre. Ennek oka, hogy a kapcsolórendszerek jelentős része szabadalmaztatott megoldás, így nem tartozik egységes szabványozás alá. A nem gyártóspecifikus, kutatási eredményeken alapuló csatlakozási technikák többnyire rejtett acéllemezekkel kombinált mechanikai kötéseket, például dübeleket alkalmaznak.

Tűzállósági teljesítmény nagyban növelhető, ha az acél elemek teljes mértékben rejtettek, vagy pedig nem éghető burkolattal, például tűzgátló gipszkartonnal burkoltak. A szabadon hagyott fa–acél kapcsolatok, még habosodó festékekkel kezelve is, jellemzően nem biztosítanak elegendő védelmet. Ennek oka, hogy a fafelület már megkezdte a szenesedést, mielőtt a festék a hő hatására habosodna és szigetelne, mivel a hővezetés az acélon keresztül már korábban megindul. Még abban az esetben is, ha a habosodó festék reakcióba lép és védőréteget képez, az acél hőmérséklete gyakran meghaladja a faanyag elszenesedéséhez szükséges értéket, ezzel veszélyeztetve a csatlakozás tűzállóságát [ARUP, 2024].

Összességében tehát a CLT panelek tűzállósági teljesítménye számos tényezőtől függ, köztük a rétegek vastagságától, számától, a ragasztóanyag típusától, valamint a csomóponti kapcsolatok kialakításától. A beégési sebesség jelentősen megnőhet, ha a ragasztóréteg elenged és az elszenesedett réteg leválik, mivel ez fokozza az effektív tűzterhelést és lehetővé teszi a belső rétegek újragyulladását. A gyakorlatban a PUR alapú ragasztókkal szemben érdemes a MUF ragasztókat választani, mert azok jobban ellenállnak a magas hőmérsékletnek. A tűzállósági teljesítmény acél kapcsolatok esetén is javítható, ha azok rejtetten kerülnek

beépítésre vagy nem éghető védőburkolattal vannak ellátva. A további alkalmazott tűzvédelmi megoldásokat a következő fejezetben részletezem.

2.1.5 Alkalmazott tűzvédelmi megoldások

A CLT szerkezetek védelmére általában három fő módszer alkalmazható:

- Tűzgátló vagy hőre habosodó bevonatok használata,
- Tűzgátló vegyi anyagokkal történő nyomás alatti impregnálás,
- Védőburkolat alkalmazása – például hőszigetelő lemezek vagy tűzgátló burkolatok alkalmazása.

Az első két megoldás elsősorban égéskésleltetőként a faanyag tűzvédelmi osztályának javítását szolgálja – azaz csökkenti a lángterjedést a tűz kezdeti szakaszában, ezzel elősegítve az épület, épületrész biztonságos kiürítését. Ezek azonban jellemzően csak korlátozott mértékben vagy egyáltalán nem járulnak hozzá a szerkezet tűzállósági teljesítményéhez, azaz a hosszabb idejű hőterheléssel szembeni ellenállóképességhez – kivéve néhány speciális, tűzhatásra habosodó bevonatot. Ezzel szemben a burkolatok – mint például a gipszkarton vagy más nem éghető panelek – hatékonyan késleltethetik, vagy akár meg is akadályozhatják a faanyag elszenesedését, ezáltal jelentősen növelhetik a CLT panelek tűzállósági teljesítményét. A fa felületek elburkolásával és megfelelő rétegvastagság és rétegszám megválasztásával a CLT panelek tűzállósági teljesítménye falak és födémek esetében is akár REI 120-ra növelhető. A teljesség igény nélkül a 2. táblázatban összegyűjtök néhány példát a különböző rétegrendekkel elérhető tűzállósági teljesítményre a Sora Enso Oyj – CLT panel gyártó ETA-14/0349 dokumentuma alapján. Fontos megjegyezni, hogy nagyon kevés gyártó dokumentumában szerepelnek ilyen részletezettséggel a különböző termékek tűzállósági teljesítményének értékei.

Részleges burkolás alkalmazása esetén azonban fennáll annak a kockázata, hogy a burkolatlan faanyag a tűz későbbi szakaszaiban – az állandósult vagy leégési szakaszban – pirolízisen megy keresztül, és üzemanyagként tovább táplálja az égést. A tűzdinamikára gyakorolt hatás ebben az esetben nem elhanyagolható, ezért körültekintő mérnöki tervezést igényel. A legmegbízhatóbb stratégia a faanyag tűzre való reagálásának teljes kiküszöbölésére a teljes burkolás, amely biztosítja, hogy a fa hőmérséklete a teljes tűzhatás időtartama alatt ne haladja meg a szenesedési hőmérsékletet [BUCHANAN ÉS ÖSTMAN, 2022].

2. táblázat: CLT paneles Fal és födém szerkezetek tűzállósági teljesítménye a rétegrendek függvényében ETA-14/0349 dokumentum alapján

Fal szerkezetek (tesztelt falmagasság 3m)			
Burkolat a tűznek kitett oldalon	CLT elem Megnevezés és szerkezet [mm]	Terhelés [kN/m]	Tűzállósági teljesítmény
-	CLT 90 C3s (30-30-30)	70	REI 30
-	CLT 100 C3s (30-40-30)	35	REI 60
-	CLT 100 C5s (20-20-20-20-20)	35	REI 60
12,5 mm DF gipszkarton lemez	CLT 80 C3s (30-20-30)	35	REI 60
12,5 mm DF gipszkarton lemez	CLT 100 C5s (20-20-20-20-20)	160	REI 60
12,5 mm DF gipszkarton lemez	CLT 100 C3s (30-40-30)	35	REI 90
2x15 mm fermacell gipszkarton	CLT 120 C3s (40-40-40)	200	REI 90
12,5 mm + 10 mm fermacell gipszkarton	CLT 80 C3s (30-20-30)	45	REI 120
2x15 mm fermacell gipszkarton	CLT 120 C3s (40-40-40)	150	REI 120
Födém szerkezetek			
Burkolat a tűznek kitett oldalon	CLT elem Megnevezés és szerkezet [mm]	Terhelés	Tűzállósági teljesítmény
-	CLT 120 L5s (30-20-20-20-30)	M=16,1 kNm/m V=10,3 kN/m	REI 60
-	CLT 140 L5s (40-20-20-20-40)	M=25 kNm/m V=18 kN/m	REI 60
-	CLT 160 L5s (40-20-40-20-40)	M=42,1 kNm/m V=27 kN/m	REI 90
-	CLT 200 L5s (40-40-40-40-40)	M=68,8 kNm/m V=50 kN/m	REI 90
12,5 mm DF gipszkarton lemez	CLT 140 L5s (40-20-20-20-40)	-	EI 90
-	CLT 220 L7s (40-20-40-20-40-20-40)	M=62 kNm/m V=45,2 kN/m	REI 120

Fontos azonban megjegyezni, hogy a teljes felületű burkolás jelentősen csökkentheti a CLT szerkezetek természetes, esztétikai megjelenését. Mivel a látszó fa felületek építészeti és megrendelői szempontból gyakran tudatosan választott, vizuálisan értékes elemek, a burkolási stratégia megtervezésekor különös figyelmet kell fordítani arra, hogy mely felületeket és milyen mennyiségben kell burkolni a megfelelő biztonsági szint eléréséhez. A csomóponti kialakítások a CLT paneles szerkezetek legérzékenyebb pontjai közé tartoznak, ezért tűzvédelmi szempontból különös figyelmet igényelnek. A fa–acél kapcsolatok a fém magas hővezető képessége és a tűzhatás során bekövetkező gyors szilárdságszökkenése miatt különösen sérülékenyek. Ennek megelőzése érdekében célszerű ezeket a kapcsolati csomópontokat nem éghető burkolatokkal fedni és védeni, valamint az esetlegesen kialakuló

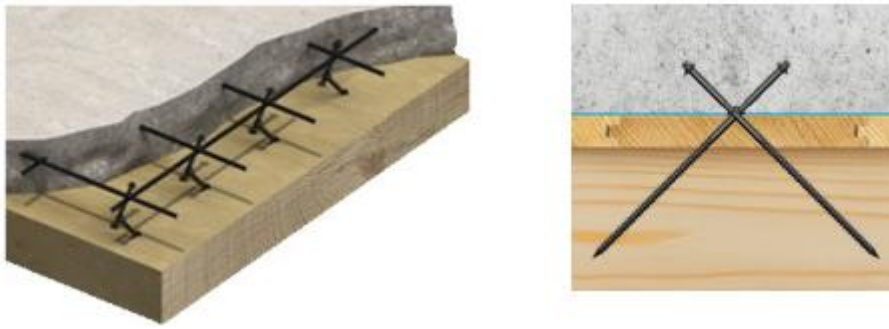
üregeket nem éghető hőszigeteléssel, például ásványgyapottal kitölteni. Ez nemcsak a kapcsolatok hővédelmét biztosítja, hanem jelentős mértékben hozzájárulhat a panelek közötti füst- és tűzterjedés korlátozásához is.

Léteznek olyan szabványos módszerek a szerkezeti faanyagok hőmérsékletének korlátozása, amelyek célja, hogy csökkentse az elszenesedés vagy az égés veszélyét meghatározott ideig a szabványos tűzállósági vizsgálati expozíciók alapján. Az EN 13501-2:2023 előírja, hogy a burkolat és a faanyag közötti határfelületen az átlagos hőmérséklet-emelkedés nem haladhatja meg a 250 °C-ot, míg egyetlen mérési ponton sem lehet 270 °C-nál magasabb.

Az előző fejezetben bemutatott vizsgálatok alapján egyértelművé vált, hogy a CLT panelrétegek összeragasztásához használt ragasztó típusa jelentős hatással lehet a szerkezet tűzállósági viselkedésére. A tűzálló ragasztók alkalmazása indokoltan tekinthető a passzív tűzvédelmi stratégiák egyik lehetséges elemének, habár nincs rá szabványos vizsgálati módszer, amely bizonyítaná, hogy növeli a CLT panelek tűzállósági teljesítményét. A gyakorlati tapasztalatok és laboratóriumi eredmények azt mutatják, hogy a melamin-formaldehid (MUF) alapú ragasztók lényegesen jobb hőállósággal rendelkeznek, mint a poliuretán (PUR) alapú ragasztók, ezért tűzvédelmi szempontból előnyösebb választást jelenthetnek.

A CLT szerkezetek tűzállósági és szilárdsági teljesítményének növelése érdekében egyes esetekben öszvérszerkezetek alkalmazása is indokolt lehet. Az öszvérszerkezetek olyan rendszerek, amelyek különböző anyagú szerkezeti elemek – jelen esetben fa és beton – együtt dolgozásán alapulnak. A CLT–beton kompozit födécek alkalmazása különösen előnyös nagy támaszközü szerkezeteknél, illetve olyan épületek esetében, ahol a tervezés során kiemelten magas tűzállósági követelményeket kell kielégíteni.

Az ilyen rendszerű födémet vasszereléssel, speciális acélankerekkel előkészítve szállítják a helyszínre, ahol a daruzást követően azonnal betonozásra kerülnek. A 7. ábra a CLT–beton öszvérfödém csavarozásának egy jellemző kivitelezési módját szemlélteti. A szerkezetben ilyen módon adható át a nyíróerő a beton és fa panel között. A panelek előfeszítés céljából alátámaszthatók, bizonyos esetekben azonban a dúcolás is elhagyható, ami gyors és hatékony kivitelezést tesz lehetővé.



7. ábra – CLT-beton öszvérfödém

forrás: HANTOS [2016]

A Lakehead Egyetem tűzvizsgálati laboratóriumában végzett, valós méretű födém tűztesztekkel igazolták, hogy a CLT–beton kompozit födémek képesek akár 120 perces tűzállósági teljesítményre is. A vizsgálatot 5 rétegű CLT panelekre végezték, 45°-os szögben elhelyezett speciális csavarokkal hozzáerősített vasbeton réteggel. A rétegek vastagsága 20-45 mm közötti volt. A panelek szenesedési sebessége 0,60-0,67 mm/perc között mozgott, ami összhangban van az EN 1995-1-2:2004 Eurocode 5-ben megadott értékkel. A betonréteg hőpárnahatása miatt a CLT és a beton interfésze alatti hőmérséklet csak 10–20°C-kal emelkedett, a csavarok hőmérséklete pedig maximum 93°C-ot ért el, ami nem befolyásolta szerkezeti integritásukat. A maradék CLT vastagság a tűztesztek után 54–69 mm között volt, ami bizonyítja, hogy a harmadik rétegig terjedő szénképződés ellenére a szerkezet stabilitása megmaradt. A vizsgálat alapján a betonréteg nemcsak hővédelmet biztosított, hanem javította a rezgéscsillapítást és a hangszigetelést is [BARCLAY AND SALEM, 2023].

Bár ez a technológia számos előnnyel rendelkezik, alkalmazása még viszonylag ritka a hagyományos CLT szerkezetekhez képest is, így jelenleg kevés vizsgálati adat és szabványosított minősítés áll rendelkezésre.

Összességében elmondható, hogy a CLT panelek tűzvédelmi megoldásainak eszköztára meglehetősen széles. A szerkezetek tűzállósági teljesítményének javításában alapvető szerepet játszik a beégési sebesség csökkentése, ami a megfelelő ragasztóanyag kiválasztásával érdemi mértékben befolyásolható. Égéskeleltető eljárásokkal – például tűzgátló bevonatokkal vagy impregnálással – akár B-szintű tűzvédelmi osztály is elérhető. A nem éghető burkolatok alkalmazása további lehetőséget kínál a tűzállósági teljesítmény növelésére, azonban ezek

használata esztétikai szempontból kompromisszumot igényel a látszó fa felületek esetén, ezért célszerű körültekintően megtervezni, hogy mely felületek és csomópontok igényelnek burkolást. A szerkezeti hézagokat és üregeket minden esetben nem éghető hőszigetelő anyaggal – például ásványgyapottal – kell kitölteni a füst- és lángterjedés megakadályozása érdekében. További lehetőséget jelent a CLT–beton kompozit födémek alkalmazása, amelyek nemcsak a mechanikai szilárdságot növelik, hanem a tűzállósági teljesítmény tekintetében is kedvezőbb viselkedést mutatnak.

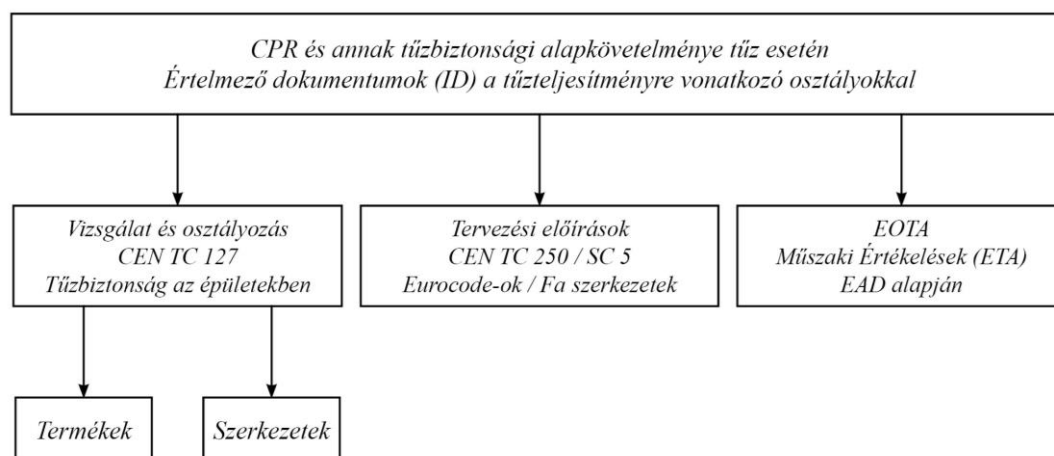
2.2 Szabályozások

2.2.1 Európai szabályozások, szabványok

Az épületek megfelelő mértékű tűzbiztonságának elérése érdekében Európában 1988-ban bevezetésre került egy egységes rendszer, amely tartalmazza a tűzvédelmi teljesítményosztályokat, a vizsgálati és számítási szabványokat a tűzállósági teljesítmény igazolásához. Ezt a rendszert a CPD [1988] (Construction Products Directive) – azaz az építési termékek irányelve – keretében vezették be. A CPD-t felváltotta a CPR [2011] rendelet *AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS 305/2011/EU sz. RENDELETE az építési termékek forgalmazására vonatkozó harmonizált feltételek megállapításáról és a 89/106/EGK tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről*, ami már rendeleti formában tartalmazta a harmonizált európai műszaki alapdokumentumok (hEN és ETA) alapján gyártásra és forgalmazásra kerülő építési termékek forgalomba hozatalára és teljesítményének igazolására vonatkozó harmonizált európai követelményeket, amelynek alkalmazása kötelező minden európai uniós tagállamban. Tehát a CPR kötelezően előírja a tűzbiztonsági alapkövetelményeket.

Az európai tűzvédelmi szabványok főként a tűzállósági teljesítmény igazolásának harmonizált módszereire összpontosítanak, melynek rendszerét a 8. ábra összegzi építőipari termékek esetében.

Az olyan termékek esetében, amelyekre harmonizált szabvány vonatkozik, kötelező a teljesítménynyilatkozat kiállítása és a CE-jelölés feltüntetése. A CPD-ben megfogalmazott hat alapvető követelmény (essential requirements) a CPR-ben is megmaradt, ezek egyike a tűzbiztonság. Ezeket a követelményeket a CEN (Európai Szabványügyi Bizottság) keretében működő különböző műszaki bizottságok (Technical Committees – TC) dolgozzák ki és valósítják meg európai szabványok (EN-ek) formájában.



8. ábra Az európai tűzvédelmi szabványok (EN) és Műszaki Értékelések (ETA) kidolgozásának rendszere építőipari termékek esetében

Forrás: ÖSTMAN ET AL., 2018 - szerkesztve

A EOTA (European Organisation for Technical Assessment) által biztosított lehetőségek szintén részei a rendszernek azon termékek számára, amelyekre nincs harmonizált termékszabvány – ezek jellemzően új vagy innovatív termékek. Az ilyen esetekben Európai Műszaki Értékelés (ETA) adható ki, amelyet az Európai Értékelési Dokumentumok (EAD) alapján állítanak össze.

Az építőipari termékek és szerkezetek tűzállósági teljesítmény vizsgálatát és osztályozását két európai szabvány határozza meg:

- EN 13501-1 [2019] *Épületszerkezetek és építési termékek tűzvédelmi osztályozása (1. rész: Osztályba sorolás a tűzzel szembeni viselkedés vizsgálata során kapott eredmények felhasználásával)*
- EN 13501-2 [2023] *Épületszerkezetek és építési termékek tűzvédelmi osztályozása. 2. rész: Osztályba sorolás a tűzállósági vizsgálatok eredményeinek felhasználásával, a szellőzőrendszerek kivételével*

Az EN 13501-1 [2019] szabvány célja, hogy harmonizált megközelítést biztosítson az építési termékek tűzzel szembeni viselkedésének besorolására. A szabvány meghatározza a vizsgálati módszereket, megadva a vizsgálat alapelveinek részletes leírását, a mintadarabok előkészítésének módját és a vizsgálatok minimumának számát. A következő eljárások alkalmazhatók az építőanyagok tűzre adott reakciójának vizsgálatára:

- EN ISO 1182 – Neméghetőségi vizsgálat: Ez a vizsgálat a homogén építőanyagok neméghetőségének megállapítására szolgál.
- EN ISO 1716 – Bruttó égéshő (fűtőérték) meghatározása: A mintaanyag elégetésével meghatározható annak maximális égéshője (fűtőértéke) szabványos körülmények között.
- EN 13823 – Egyetlen égő tárgy (SBI) vizsgálata: Egy helyiség sarkában elhelyezett tárgy égésének szimulációja révén vizsgálja a végfelhasználáshoz közeli állapotú termék tűzterjedési viselkedését.
- EN ISO 11925-2 – Gyúlékonysági vizsgálat közvetlen lánghatásra: a függőlegesen rögzített minta gyúlékonyságát teszteli 45°-os lánghatás mellett.
- EN ISO 9239-1 – Padlóburkolatok égési viselkedése: a vizsgálat célja a kritikus hőszugárzási érték meghatározása, vagyis annak a hőfluxusnak a mérése, amelynél az égés megállíthatóvá válik.

Az építőanyagok tűzzel szembeni viselkedés szempontjából két fő kategóriába sorolhatók: nem éghető (A1, A2) és éghető (B-F) osztályokba. A „nem éghető” kategóriába azok az anyagok tartoznak, amelyek az előírt vizsgálati körülmények között nem égnék vagy nem járulnak hozzá a tűz kifejlődéséhez. Ezzel szemben az „éghető” anyagok a tűz kifejlődéséhez való hozzájárulásuk alapján éghető (B, C), könnyen éghető (D, E) és erősen gyúlékony (F) (vagy tűzzel szembeni viselkedése nem meghatározott) osztályba sorolhatók.

Az éghetőséget jelölő osztályok alapvető betűjelei mellett a szabvány kiegészítő osztályokat is bevezet, amelyek a füstfejlesztésre és égve csepegésre vonatkoznak:

- „s” (smoke) –füstfejlesztés, ahol az s1 alacsony, az s3 magas füstképződést jelez;
- „d” (droplets) – égve csepegés, ahol a d0 nincs, a d2 pedig jelentős mennyiségű égő csepp képződését jelenti.

Az EN 13501-2:2023 szabvány vizsgálatait alapján az építményszerkezetek a következő tűzállósági teljesítményjellemzőkkel rendelkezhetnek:

- R – teherhordó képesség
- E – integritás
- I – szigetelés
- W – sugárzás
- M – mechanikai hatás

- C – önzáródás
- S – füstáteresztés
- G – „koromtűz”-zel szembeni ellenállás
- P, PH – üzemképesség megtartása
- K – tűzvédő képesség

A tartószerkezeti méretezéshez létrejött az Eurocode szabványrendszer, amely az épületszerkezetek tervezési szabályainak európai szintű egységesítését szolgálja. Az Eurocode célkitűzései a következők:

- Egységes tervezési követelmények és számítási módszerek biztosítása
- Közös szemlélet kialakítása az épületszerkezetek tervezéséről
- Az építési szolgáltatások határokon átnyúló cseréjének lehetővé tétele Európán belül
- Kutatás és fejlesztés összehangolása az építőiparban
- Az európai mérnökök, építészek és gyártók versenyképességének növelése
- Jelentős hozzájárulás az egységes európai piac működéséhez

Az Eurocode szabványrendszer tíz fő részre tagolódik, ezek különböző szerkezeti anyagokra és alkalmazási területekre vonatkoznak. Mindegyik tartalmaz egy általános szerkezeti tervezést lefedő részt, valamint egy tűzhatásra való méretezési részt.

Az Eurocode szabványok alkalmazása minden európai uniós országban kötelező, a nemzeti szabványügyi testületeken keresztül történő bevezetés révén. Az Eurocode lehetővé teszi a különböző anyagú szerkezeti elemek teherbírásának ellenőrzését egy félig valószínűségi tervezési koncepció alapján, parciális biztonsági tényezők alkalmazásával. A tűzállósági teljesítmény tervezése is megvalósítható táblázatos értékek, egyszerűsített vagy általános számítási módszerek alapján, melyek révén a tűzvédelmi rendszer optimalizálható.

Az Eurocode tűzvédelmi részei lehetővé teszik a paraméteres hőmérséklet-idő görbék és valós tüzeseti görbék alkalmazását, amelyek a standard tűzgörbe alternatíváiként szolgálnak a szerkezeti elemek tűzállósági teljesítményének meghatározására.

A jelenleg érvényben lévő, 2004-ben megjelent első generációs Eurocode 5 (EN 1995-1-2:2004), amely a fa szerkezetek tervezésére vonatkozik, a CLT-re sok esetben nem specifikus. A tűzvizsgálatok alapján több az Eurocode-ban szereplő tűzállósági teljesítmény

szempontjából lényeges érték (pl.: beégési sebesség) nem releváns a CLT panelek esetében, és az eltérések nem a biztonság javát szolgálják. Az új, második generációs Eurocode 5, amelybe a CLT-kre és a CLT-beton öszvérfödémekre vonatkozó részletes specifikáció is bekerül, 2025 és 2027 között várható [DENTON, S. & ANGELINO, M., 2021].

A tűzvizsgálati és osztályozási módszerek az európai szabványok szintjén egységesítettek, azonban az épülettípusokra és használati funkciókra vonatkozó követelmények továbbra is nemzeti hatáskörbe tartoznak. Míg a technikai előírások szintjén létezik európai egységesítés, a tűzvédelmet szabályozó jogi keretek minden tagállamban nemzeti szinten maradtak. Ezért a nemzeti tűzvédelmi előírások továbbra is érvényben vannak, bár az új szabványharmonizáció célja, hogy közös szabályozási alapokat hozzon létre az unió egészében [ÖSTMAN ET AL., 2018].

A CLT panelek tűzállósági teljesítményének igazolása Európában az alábbi szabványok szerint történik:

- EN 16351:2021: termékszabvány, teljesítménykövetelmények
 - Az EN 16351:2021 szabvány (Timber structures - Cross laminated timber - Requirements) a CLT szerkezeti alkalmazására vonatkozó követelményeket határozza meg. Ez a szabvány a CLT panelek gyártására, teljesítményjellemzőire és megfelelés-ellenőrzésére vonatkozó előírásokat tartalmazza. A szabvány a tűzvédő szerrel nem kezelt keresztlaminált faanyagokra vonatkozik. Nem terjed ki újrahasznosított fából vagy újrahasznosított faalapú panelből készült CLT-re, illetve tűzvédő szerrel kezelt CLT-re.
- EN 13501-1: tűzreakció osztályba sorolás
- EN 13501-2: szerkezeti tűzállósági osztályba sorolás
- EN 1365-1/-2: laboratóriumi tűzállósági vizsgálatok
- EN 1995-1-2 (Eurocode 5): számításos igazolás tűzhatásra

A tűzállósági teljesítmény igazolása tehát vagy laboratóriumi vizsgálattal vagy szabvány szerinti számítással, illetve ezek kombinációjával történik, a megfelelő dokumentációval alátámasztva. Ezek az értékek azonban a hazai szabályozási környezetben csak akkor fogadhatók el, ha megfelelnek az OTSZ [2014] és a TvMI előírásainak is.

2.2.2 Hazai szabályozások

A tűzvédelmi követelményrendszer Magyarországon többszintű szabályozási struktúrán alapul. Ennek elsődleges célja, hogy az építmények tűz esetén biztosítsák az emberélet védelmét, a menekülést, valamint a szerkezetek megfelelő viselkedését az előírt időtartamon belül. A tűzvédelmi alapkövetelményeket a 54/2014. (XII.5.) BM rendelet (OTSZ). Az OTSZ [2014] épülettípus, rendeltetés, szintszám és kockázati osztály alapján határozza meg a szükséges:

- tűzállósági teljesítményeket (pl. REI 30, REI 60 stb.),
- tűzvédelmi osztályokat (pl. A1–F, Afl–Ffl),
- tűzszakasz-határokat,
- valamint a menekülési útvonalakra vonatkozó előírásokat.

A CLT panelek tűzhatásra való méretezését Magyarországon európai szabványok, országos tűzvédelmi előírások és műszaki irányelvek szabályozzák. A főbb dokumentumok és szabályozási keretek:

- Előző fejezetben ismertetett európai szabályozások és szabványok honosítása
 - A CPR [2011] rendelet előírásait a 275/2013. (VII. 16.) Korm. rendelet [2013] *az építési termék építménybe történő betervezésének és beépítésének, ennek során a teljesítmény igazolásának részletes szabályairól* tartalmazza
 - MSZ EN 1995-1-2:2005: Eurocode 5 – *Fa szerkezetek tervezése 1-2. rész*
 - MSZ EN 13501-1:2019: *Építési termékek és építményszerkezetek tűzvédelmi osztályozása. 1. rész: Osztályba sorolás a tűzzel szembeni viselkedés vizsgálata során kapott eredmények felhasználásával*
 - MSZ EN 16351:2021: *Faszerkezetek. Keresztrétegelt fa. Követelmények*
- Magyarországi szabályozás
 - Tűzvédelmi Törvény 1996. évi XXXI. törvény a tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról
 - OTSZ [2014] 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról – a követelményeket tartalmazza
 - Tűzvédelmi Műszaki Irányelvek (TvMI) – a Tűzvédelmi Törvény szerinti megfelelő műszaki megoldásokat tartalmazza

Magyarországon a tűzvédelmi követelményeket elsősorban az OTSZ [2014] határozza meg, amely a tűzvédelemről szóló 1996. évi XXXI. törvény rendelkezései alapján érvényesül. Az OTSZ [2014] által előírt követelményeknek való megfelelés igazolására többféle lehetőség áll rendelkezésre. Az elvárt biztonsági szint igazolása teljesíthető a Tűzvédelmi Műszaki Irányelvek szerinti műszaki megoldás alkalmazásával, a magyar nemzeti szabványoknak való megfeleléssel, illetve a TvMI-ktől és nemzeti szabványoktól eltérő megoldás esetében tervezői igazolással.

Az építési termékek tűzvédelmi teljesítményének igazolását elsődlegesen az építési termékekről szóló 275/2013. (VII. 16.) Korm. rendelet, valamint az ahhoz kapcsolódó OTSZ [2014] alapján kell elvégezni. A rendelet szerint az építési termékek csak akkor alkalmazhatók, ha azok teljesítménye megfelelő módon igazolt, és megfelel a vonatkozó műszaki követelményeknek.

Az építési termékek tűzvédelmi teljesítményének igazolása többféle módon történhet:

- Harmonizált európai szabvány (hEN) alapján kiállított teljesítménynyilatkozattal (DoP), amennyiben létezik az adott termékre vonatkozó hEN szabvány.
- Európai Műszaki Értékelés (ETA) alapján, különösen abban az esetben, ha a termékre nem áll rendelkezésre harmonizált szabvány.
- Nemzeti Műszaki Értékelés (NMÉ) útján, ha sem hEN, sem ETA nem alkalmazható, illetve a termék nem sorolható be más módon.
- Egyedi tűzvédelmi teljesítményvizsgálattal, amelyet hazai akkreditált laboratóriumban végeznek az MSZ EN 13501 szabványsorozat előírásai szerint.
- Egyenértékűség igazolása külföldi minősítések és vizsgálatok alapján, ha az alkalmazott rendszer, anyag és beépítési mód teljes mértékben megfeleltethető a hazai körülményeknek. Ebben az esetben szakértői vélemény is szükséges lehet.

A CLT panelek esetében – mivel viszonylag új technológiáról van szó, és sok esetben még nem áll rendelkezésre harmonizált szabvány – az ETA vagy az NMÉ dokumentum a leggyakoribb teljesítményigazolási forma. Ezek tartalmazhatják a tűzvédelmi osztályt (pl. D-s2, d0), a tűzállósági teljesítmény vizsgálati eredményeit (pl. REI 60), valamint a beépítési és alkalmazási feltételeket.

Fontos megjegyezni, hogy ha a CLT termék égéskésleltető kezelést vagy tűzvédő burkolatot is tartalmaz, az módosíthatja a tanúsítási rendszert – ilyen esetekben új teljesítménynyilatkozat és laboratóriumi vizsgálat is szükségessé válhat.

A hazai alkalmazás során kiemelt jelentőségű az TÉKA [2024] és az OTSZ [2014] követelményeinek való megfelelés. Ezek előírják a különböző épülettípusokra és tűzszakaszokra vonatkozó minimális tűzállósági teljesítményszinteket, amelyek igazolása csak megfelelő minősítéssel és dokumentációval lehetséges. Ennek hiányában az építésügyi hatóság nem engedélyezheti az adott szerkezeti megoldás beépítését.

A CLT panelek hazai alkalmazhatóságának egyik kulcskérdése a tűzvédelmi teljesítmény megfelelő és hiteles igazolása. A vonatkozó jogszabályok és szabványok egyértelműen meghatározzák azokat az eljárásokat, amelyek révén az építési termékek beépíthetők az OTSZ [2014] előírásainak megfelelően. Mivel a CLT technológia még viszonylag új keletű a magyar építőipari gyakorlatban, a harmonizált szabványok hiánya miatt jelenleg főként ETA, NMÉ, illetve egyedi vizsgálatok szolgálnak teljesítményigazolásként. A jövőbeli elterjedés és biztonságos alkalmazás alapfeltétele, hogy ezek az igazolási módszerek pontosak, hitelesek és összhangban legyenek a hazai tűzvédelmi szabályozási környezettel. A jogszabályi megfelelés biztosítása nemcsak az engedélyezési folyamat során jelentős, hanem az épületek tényleges tűzbiztonságának szavatolása szempontjából is elengedhetetlen.

Az OTSZ [2014] gyakorlati alkalmazását segítik a BM OKF által kiadott Tűzvédelmi Műszaki Irányelvek (TvMI-k), amelyek nem kötelezőek, de alkalmazásuk esetén a megfelelés vélelmezhető. A TvMI-k használatával lehetőség nyílik arra, hogy a szabályozás rugalmasabb, ugyanakkor szakmailag megalapozott módon kezelje az új és innovatív építési megoldásokat.

2.3 Kockázatelemzés

Az épületek biztonságos működtetéséhez és a megfelelő tervezési döntések meghozatalához elengedhetetlen a CLT szerkezetek tűzállóságának, valamint az ezekhez kapcsolódó anyag- és rendszerkockázatoknak a komplex vizsgálata. A kockázatelemzés célja a CLT paneles szerkezetek használatának tűzvédelmi kockázatának feltárása, aminek eredményeképpen lehetőség nyílik arra, hogy az anyag- és szerkezethasználat mérnöki szempontból megalapozott döntéseken nyugodjon.

Korábbi kutatások egyértelműen kimutatták, hogy a fa szerkezeti elemek jelentős mértékben hozzájárulnak az épületek tüzelőanyag-terheléséhez, és fokozhatják a kezdeti tűz növekedési sebességét. Ez a jelenség kedvezőtlenül befolyásolhatja a tűzvédelmi berendezések

működését, és súlyosabb körülményeket idézhet elő mind az épület használói, mind az oltásban résztvevők, valamint az érintett és szomszédos építmények számára. A fa szerkezetek égéshez való hozzájárulását ezért kvantitatív módon szükséges értékelni, és más építési rendszerek viselkedésével összehasonlítani annak érdekében, hogy megbízható következtetéseket lehessen levonni a relatív tűzvédelmi teljesítményről. A helyiségben keletkező tűz során a kitett faanyag szerepét a teljes tűzesemény időtartamára vonatkozóan kell vizsgálni, különös tekintettel olyan paraméterekre, mint a beégési sebesség, a füstképződés, a láng hőmérséklet és a felszabaduló égéstermékek toxicitása [MIHAI ET AL., 2023].

A CLT panelek alapanyagául szolgáló fa természetes módon éghető anyag, amely a tűz hatás során hozzájárul a tüzelőanyag-terheléshez, és így a tűz dinamikájához. Az éghetőségből fakadó kockázat elsődleges, mivel a faanyag D tűzvédelmi osztályba sorolandó és csak bizonyos égéskésleltetők használatával érheti el a B tűzvédelmi osztályt. A faanyag égése során keletkező pirolízisgázok fokozhatják a tűz fejlődését, különösen abban az esetben, ha a felület burkolatlan marad. Ezenkívül az elszenesedett réteg leválása (delamináció) – amely a fa rétegeit összekötő ragasztóanyag hőhatásra bekövetkező szilárdságvesztéséből adódik – fokozott kockázatot jelent. A ragasztók hőállósága kritikus szerepet játszik: míg a melamin-formaldehid (MUF) alapú ragasztók jellemzően magasabb hőmérsékleten is képesek megtartani mechanikai integritásukat, a poliuretán (PUR) ragasztók már $\sim 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ körüli hőmérsékleten elveszíthetik nyírószilárdságukat, ami a rétegek korai leválását és a tűz újragyulladását eredményezheti. További lényeges tényező a beégési sebesség, ami az effektív teherhordó keresztmetszet csökkenését határozza meg. A CLT panelek esetében ez az érték függ a rétegszámától, rétegvastagságától és a ragasztóréteg viselkedésétől is. Kísérleti eredmények alapján a beégési sebesség CLT esetén gyakran meghaladja az Eurocode által alkalmazott számított értéket (0,65 mm/perc), különösen rétegleválás után, amikor a belső faanyag közvetlenül lánghatásnak van kitéve.

További kockázatot jelent a CLT szerkezetekben alkalmazott acél kapcsolatok, mert az acél a rendkívül magas hővezetési tényezője révén, a panelek belsejébe juttatja a hőt, aminek hatására megkezdődik a fa szenesedése és szilárdságvesztés. Ezen kívül az acél érzékeny a magas hőmérsékletre, már $500\text{--}600\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on elveszíti a szilárdságának 50%-át. A vizsgálatok azt mutatják, hogy az exponált acél elemek, még habosodó festékekkel kezelve is, gyakran nem képesek megakadályozni a túlzott hőmérséklet-emelkedést, mivel a hő az acélon keresztül

gyorsan eljut a kapcsolódó faanyagba. Ezért a legbiztonságosabb megoldás az acél kapcsolatok teljes elrejtése, illetve nem éghető burkolattal történő védelme, amellyel jelentősen csökkenthető a tűz miatti korai szerkezeti gyengülés kockázata.

Nem elhanyagolható kockázati tényező a kivitelezés alatti sérülékenysége, ami miatt nagy odafigyelést igényel tűzvédelmi szempontból. Ez a jelenség nem kizárólag a CLT technológiára jellemző, hanem más, hagyományos fa szerkezetek esetében is hasonlóképpen jelentkezik. A kivitelezés azon szakaszában, amikor a szerkezeti csomópontok még nem teljesek, a nyílászárók nincsenek beépítve, illetve a burkolatok hiányoznak, az épület belső terei huzatosná válhatnak. Egy esetleges tüzeset során ez a jelenség jelentősen megnöveli a lég- és oxigénutánpótlást, amely gyorsítja a tűz fejlődését, és rövidebb idő alatt súlyos szerkezeti károsodást okozhat. A tapasztalatok alapján ilyen körülmények között a fa szerkezetek leégése gyorsabban következhet be, mint ahogyan azt az ISO 834 szabvány szerinti tűzgörbe alapján számított modellek előre jeleznék. Ennek megfelelően a kivitelezés alatti időszakra vonatkozó tűzvédelmi intézkedések – például ideiglenes tűzszakaszhatárok, fokozott felügyelet, munkavégzés korlátozása – különösen indokoltá válnak CLT szerkezetek esetén.

2.3.1 Kockázatelemzés összegzés

Vizsgálatok alapján a CLT panelek falak és födémek esetében is 90-120 perces tűzállósági teljesítmény biztosítható megfelelő tervezéssel, ami összevethető a vasbeton szerkezetekkel. Azonban fontos kiemelni, hogy az előző fejezetekben bemutatott vizsgálatok alapján a kockázatokat jelentősen befolyásolja a ragasztóanyag típusa, a rétegek vastagsága és száma, illetve az elburkolásuk mértéke és minősége. A CLT panel anyagából adódóan hasonló tulajdonságokat mutat a hagyományos fa szerkezetekhez képest, azonban a CLT-nek a gyártási technológia miatt a toxicitása magasabb lehet tűz esetén, amikor a beégés eléri a réteg ragasztási vonalát, akkor a ragasztó mérgező gázokat fejleszt ragasztóanyag típustól függően eltérő mennyiségben és toxicitásban. Az vizsgálatok eredményei alapján elmondható, hogy összességében a CLT panelt jobban lehet méretezni tűz hatására, jobb tűzállósági teljesítmény érhető el megfelelő tervezéssel födémek és falak esetében is, azonban számolni kell azzal a ténnyel, hogy bizonyos panel felépítések esetében a rétegleválásból adódóan egy gyorsabb beégési sebességet lehet realizálni, mint amivel az Eurocode szabvány számol. A 3. táblázat összegzi a CLT panelek tűzvédelmi jellemzőit a hagyományos fa szerkezetekéhez képest.

3. táblázat: CLT panel és hagyományos fa szerkezet tűzvédelmi jellemzői		
Tényező	CLT panel	Hagyományos fa szerkezet
Beégési sebesség	vizsgálatok alapján rétegvastagságtól függően 0,41-1,00 mm/perc (amennyiben nem válik le réteg – rétegleválás után megnő a beégési sebesség) Eurocode alapján 0,65 mm/perc	rostok iránya és a repedések gyorsabb hőterhelést okozhatnak Eurocode alapján 0,65mm/perc
Tűzvédelmi osztály	D-s2, d0 – B-s1, d0 (tűzgátló bevonatok és impregnálás alkalmazása függvényében)	
Toxicitás	Tűzvédő kezeléstől függ, illetve ha leválik a réteg, akkor a ragasztóanyag típusától	Tűzvédő kezeléstől függ
Tűzállósági teljesítmény	Fal: REI 30-120	Fal: REI 30-60
	Födém és tető: REI 60-120	Födém és tető: REI 30-60
	vastagságtól és védőburkolattól függően	Gyorsabban veszít teherbírásából, mint a CLT

A 4. táblázat összegzi a CLT panelek tűzvédelmi jellemzőit a vasbeton szerkezetekéhez képest. A táblázat alapján elmondható, hogy a CLT panelek megfelelő kialakítással és tűzgátló védőburkolatok használatával elérhetik a vasbeton szerkezetek tűzállósági teljesítményét fal, illetve födém szerkezetek esetében is. A CLT panelek hővezetési tényezője jóval alacsonyabb, kevesebb, mint tized akkora hővezetési tényezővel rendelkezik, mint a vasbeton.

4. táblázat: CLT panel és vasbeton szerkezet tűzvédelmi jellemzői		
Tényező	CLT panel	Vasbeton szerkezet
Tűzvédelmi osztály	D-s2, d0 – B-s1, d0 (tűzgátló bevonatok és impregnálás alkalmazása függvényében)	A1
Tűzállósági teljesítmény	Fal REI 30-120	Fal REI 60-120
	Födém és tető REI 60-120	Födém és tető REI 60-120
	vastagságtól és védőburkolattól függően	vastagságtól, betonfedéstől, vasalástól függően
Hővezetés, beégési sebesség	0,12 W/mK (Eurocode alapján 0,65 mm/perc beégési sebesség)	1,6 W/mK
Szerkezeti stabilitás	400-600 °C-nál szénréteg képződik, belső hőmérséklet ekkor 100-200 °C	600 °C felett spalling, belső hőmérséklet ekkor 200-300 °C

A CLT paneles szerkezetek legnagyobb hátránya a vasbetonnal szemben a tűzvédelmi osztályuk besorolása. Habár a tűzállósági teljesítményük hasonló értékre növelhető a megfelelő rétegvastagságokat és védőburkolatokat alkalmazva, a D és B tűzvédelmi osztályba sorolt termékek és szerkezetek jóval kevesebb építményszerkezetként használhatók. Emellett a kivitelezés alatt is nagy figyelmet igényelnek a CLT szerkezetek, hiszen egy esetleges tűzesetnél jóval nagyobb a tűz lég- és oxigénutánpótlása, aminek következtében gyorsabb lesz a szerkezet tönkremenetele.

Összességében a CLT használata kisebb kockázatot jelent a hagyományos faépítészetnél, de a vasbetonhoz képest a hasonló tűzállósági teljesítmény elérése mellett korlátozottabb az alkalmazhatósága és nagyobb tervezési és kivitelezési elővigyázatosságot igényel.

3. A PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA

A CLT paneles építési mód alkalmazása hazánkban még korlátozott, holott a fenntartható építészeti trendeket figyelembe véve hamarosan elkerülhetetlen lesz az alkalmazása. Elterjedésének egyik fő akadálya a megfelelő tűzvédelmi szabályozási háttér hiánya, amely jelenleg nem teszi lehetővé a technológia biztonságos alkalmazását a családi házas léptéken túlmutató, nagyobb épületléptékek esetében. A CLT tűzvédelmi értékelésre és méretezésére irányuló szabályozások még Európai Unió szinten is fejlesztés alatt állnak, ami alapján a magyarországi szabályozást is lehetne fejleszteni, ezért kihívást jelent ennek az építési módnak a hazai keretek közé való integrálódása.

Az építési technológia szélesebb körű elterjedése csak akkor valósulhat meg, ha a megfelelőség igazolása rendszerszinten történik, azaz nem csupán az anyag tűzvédelmi osztálya, hanem az egész épületrendszer – beleértve a csomópontokat, szerkezeti kapcsolódásokat és burkolatokat – is vizsgálható és tanúsítható. Ehhez olyan gyártókra van szükség, akik nemcsak egyedi elemeket, hanem komplex rendszereket is tanúsított formában kínálnak, teljesítménynyilatkozatokkal és igazolt tűzállósági teljesítménnyel.

A jelenlegi magyar szabályozási környezetben korlátozott azon CLT panel termékek száma, amelyek rendelkeznek szükséges minősítésekkel. A minősítéseket alátámasztó dokumentumok közé tartoznak az építőipari teljesítménynyilatkozatok, CE-jelölések, ETA-dokumentumok, valamint a tűzállóságot és csomóponti állékonyságot igazoló vizsgálatok. Érdeemes feltérképezni, hogy a jelenlegi gyártók rendelkeznek-e ilyen dokumentumokkal, és milyen műszaki paraméterek mellett kínálnak forgalomba hozható rendszereket.

A CLT paneles technológia nagyobb léptékű alkalmazhatósága érdekében szükséges a hatályos hazai tűzvédelmi szabályozás részletes vizsgálata, annak feltérképezése, hogy mely kritériumok mellett lehetséges jelenleg az alkalmazás, és milyen irányban indokolt a szabályozási környezet bővítése. Ennek egyik lehetséges eszköze a Tűzvédelmi Műszaki Irányelv (TvMI) kiegészítése olyan, nemzetközileg már igazolt megoldásokkal, amelyek alkalmasak lehetnek a hazai adaptációra is.

4. A CLT PANELES ÉPÍTÉS TŰZTERJEDÉS GÁTLÁSI LEHETŐSÉGEI A MAGYARORSZÁGI TŰZVÉDELMI SZABÁLYOZÁSSAL ÖSSZHANGBAN - MEGOLDÁS

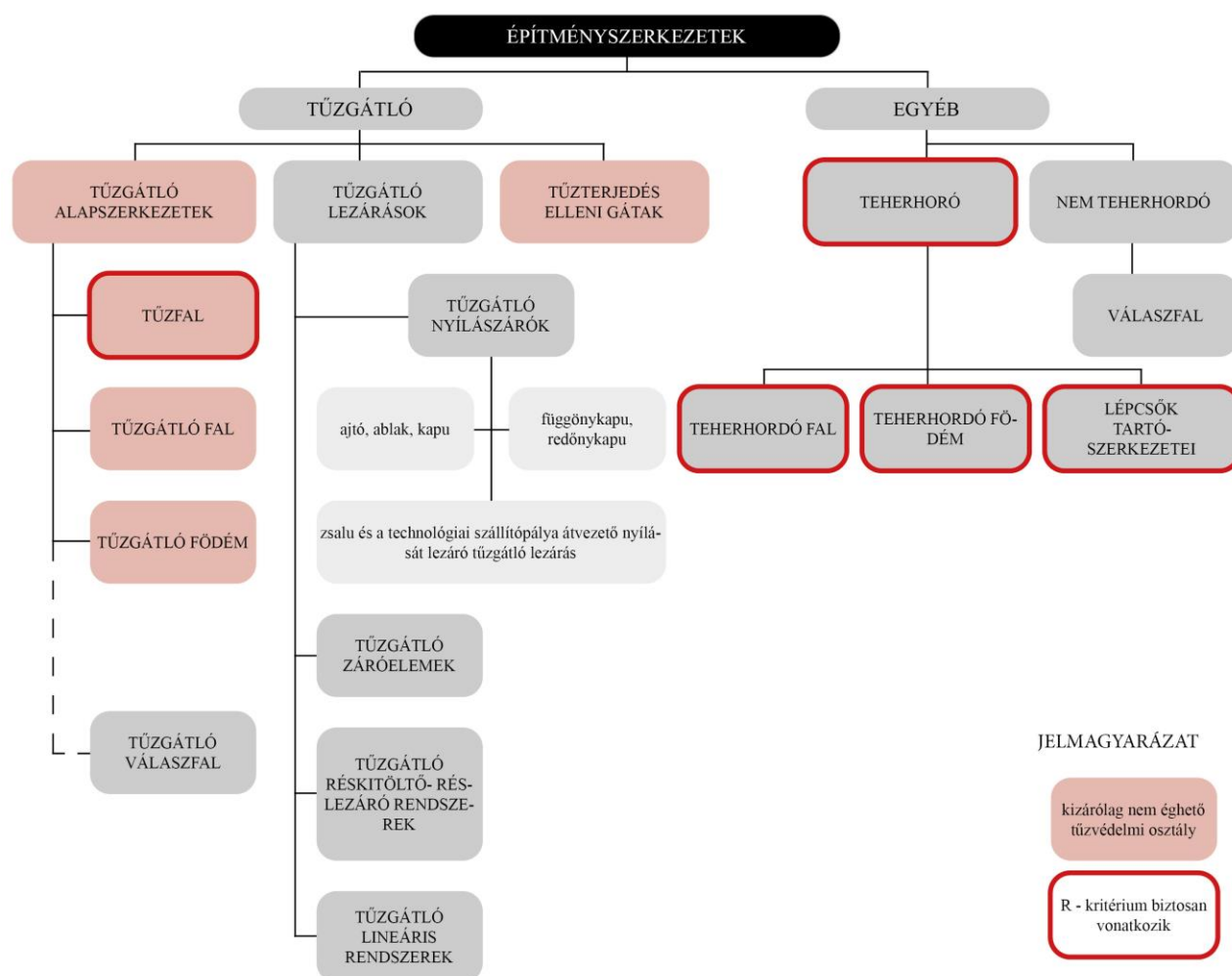
Az építményszerkezetek alkalmazhatóságát alapvetően az OTSZ [54/2014. (XII.5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról] határozza meg, amely az elvárt tűzállósági teljesítményre és tűzvédelmi osztályra vonatkozó követelményeket a létesítményre meghatározott mértékadó kockázati osztály (NAK – nagy kockázat, AK – általános kockázat, KK – kis kockázat, MK – mérsékelt kockázat) alapján differenciálja.

Az OTSZ [2014] az építményszerkezeteket alapvetően megkülönbözteti a tűzgátló építményszerkezetet az egyéb építményszerkezetektől. A tűzgátló építményszerkezetek esetében az OTSZ [2014] a *2. melléklet 1. táblázatában* meghatározza a minimálisan elvárt integritási (E) és hőszigetelési (I) tűzállósági teljesítmény jellemzőket a mértékadó kockázati osztály és az épület szintszáma függvényében. Amennyiben az épületszerkezet teherhordó funkciót lát el, úgy további szilárdsági (R) követelmény is érvényesül. A nem tűzgátló építményszerkezetek esetében az épületszerkezetekre nem vonatkozik minden esetben E és I tűzállósági teljesítmény érték.

A tűzgátló szerkezetek három további alcsoportba sorolhatók: tűzgátló alapszerkezetek, tűzgátló lezárások, valamint tűzterjedés elleni gátak. A nem tűzgátló építményszerkezetek esetében – bár az OTSZ [2014] nem differenciálja őket – a további áttekinthetőség érdekében célszerű azok teherhordó és nem teherhordó szerkezetekre történő felosztása. A CLT panelek alkalmazhatóságát a következő alfejezetekben szerkezettypusonként vizsgálom, megállapítva, hogy az OTSZ [2014] előírásai alapján milyen feltételek mellett építhetők be a különböző tűzvédelmi követelményeket támasztó szerkezetekbe.

A 9. ábrán összegzem az OTSZ [2014] alapján meghatározott építményszerkezeteket. Az ábrán a könnyebb átláthatóság érdekében piros kitöltéssel szerepelnek azok az építményszerkezetek, amelyek kizárólag nem éghető (A1 vagy A2 tűzvédelmi osztályú) anyagból építhetők meg. Ezt azért volt fontos jelölni, mert a CLT panelek alapvető fa anyagi tulajdonságukból fakadóan soha nem érhetik el az A1 és A2 tűzvédelmi osztály kategóriát, ezért ezekben az esetekben CLT panel biztosan nem alkalmazható; ki kell váltani más nem

éghető anyagú szerkezettel. Az ábrán jelöltem továbbá piros körvonallal azokat az építményszerkezeteket, amikkel szemben az OTSZ [2014] minden esetben meghatároz teherhordó képességi (R) tűzállósági teljesítmény értéket, hiszen ezek a szerkezetek valójában is teherhordó szerepet töltenek be.



9. ábra Építményszerkezetek csoportosítása az OTSZ [2014] alapján

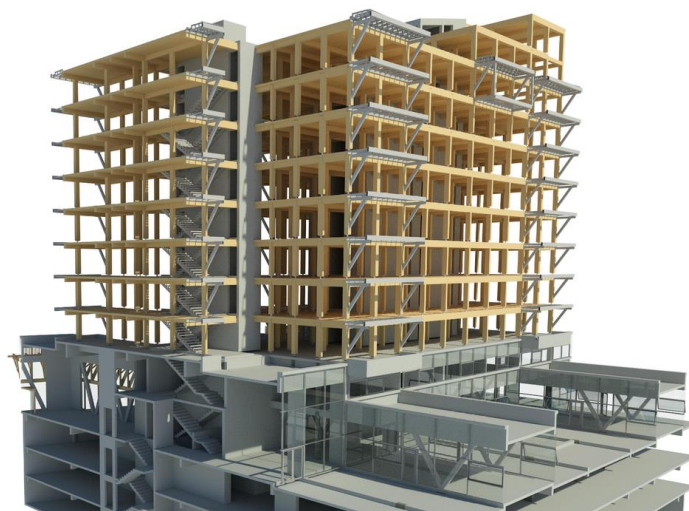
Az ábrán a tűzgátló válaszfalat szaggatott vonallal kötöttem hozzá a tűzgátló alapszerkezetek kategóriájához, mert a korábbi OTSZ [2014] még ebbe a csoportba tartozott, viszont a jelenleg hatályos OTSZ a 2022-es módosítással már nem sorolja ide. Ennek ellenére a tűzgátló válaszfal funkciója szerint továbbra is szoros kapcsolatban áll a tűzgátló alapszerkezetekkel, hiszen az adott helyiség, épületrész vagy menekülési útvonal tűz elleni védelmét szolgálja. A szaggatott jelölés alkalmazása tehát arra utal, hogy a szabályozási logika megváltozott, azonban a műszaki tartalom és védelmi funkció szempontjából a besorolás továbbra is indokolt lehet.

4.1 Tűzgátló alapszerkezetek

Tűzgátló alapszerkezetnek minősülnek a tűzfalak, a tűzgátló falak és a tűzgátló födémek. A tűzgátló falak és födémek rendeltetése, hogy meghatározott időtartamon keresztül gátolják a tűz áttérjedését az általuk elválasztott tűzszakaszok, önálló rendeltetési egységek vagy helyiségek között – vertikális, illetve horizontális irányban. Ezek a szerkezetek nyílásokkal áttörhetők, azonban ezekben az esetekben tűzgátló lezárásokat kell alkalmazni. A tűzfal viszont áttörések nélküli, folytonos, függőleges falszerkezet, amit úgy kell kialakítani, hogy az egyik tűzszakasz állékonyságának elvesztése vagy oldalirányú mechanikai behatása esetén is képes legyen megőrizni tűzgátló funkcióját. A tűzgátló alapszerkezetekkel szemben támasztott tűzvédelmi osztály- és tűzállósági követelmény értékeket az 5. táblázat mutatja be.

5. táblázat: Tűzgátló alapszerkezetek tűzvédelmi teljesítményének követelménye az épület mértékadó kockázati osztálya függvényében – OTSZ saját szerkesztés											
Mértékadó kockázati osztály	NAK			AK		KK			MK		
Épület, önálló épületrész szintszáma	1–2 ipari, mezőg., tárolási	3 ipari, mezőg., tárolási	4	1-3	4-7	1-2	3-6	7-15	1-2	3-15	>15
	1–3 lakó	1–3 közösségi									
Tűzfal	REI120 A1					REI180 A1					
Tűzgátló fal és födém	EI30 A2	EI60 A2	EI30 A2	EI60 A2	EI30 A2	EI90 A2	EI60 A2	EI90 A2	EI60 A2	EI90 A2	EI120 A2

Mivel a tűzgátló alapszerkezeteket az OTSZ [2014] előírásai szerint bármely mértékadó kockázati osztály esetén kizárólag nem éghető (A1 vagy A2 tűzvédelmi osztályú) anyagból lehet kialakítani, a CLT panelek ezekre a célokra nem alkalmazhatók. Az ilyen szerkezeti elemeket minden esetben megfelelő tűzállósági teljesítménnyel rendelkező, nem éghető alternatívákkal – például vasbeton szerkezettel – szükséges kiváltani. A 10. ábrán egy ilyen megoldás látható, ahol a CLT szerkezeteket vasbeton elemekkel váltják ki a talajszint alatti tartószerkezetek, valamint a lépcsőházak szerkezeteinek esetében. Ez a példa jól szemlélteti, hogy a CLT alkalmazása nem kizárólagos, hanem kiegészítő szerepet tölthet be egy vegyes szerkezeti rendszerben, ahol a különböző anyagok eltérő tűzvédelmi és statikai követelményekhez igazodva együttműködnek.



10. ábra: CLT szerkezetű épület vasbeton építményszerkezetekkel kiegészítve, forrás:

ARCHDAILY [2022b]

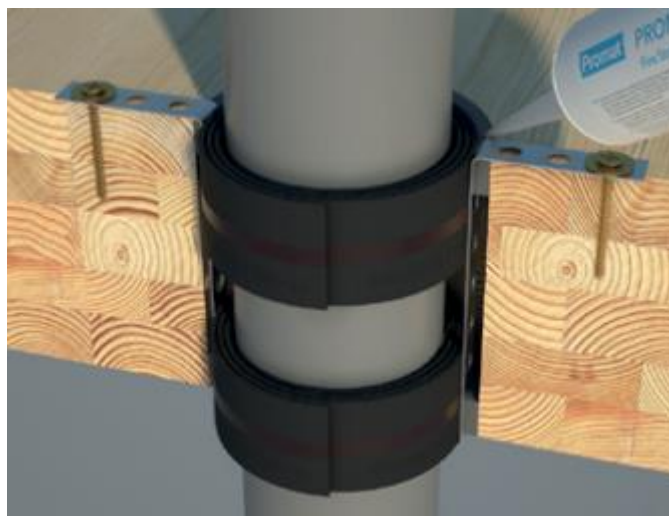
4.2 Tűzgátló lezárások

A tűzgátló lezárások olyan építményszerkezetek, amelyek a nyílások, áttörések, valamint vezetékek és vezetékrendszerek átvezetéseinél biztosítják a tűz- és füstterjedés meghatározott ideig történő megakadályozását. A tűzgátló lezárások csoportjába tartoznak a tűzgátló nyílászárók, záróelemek, réskitöltő és réslezáró rendszerek, valamint a lineáris hézagtomítések is. Fontos megjegyezni, hogy a tűzgátló alapszerkezetekbe csakis tűzgátló lezárásokkal együtt épülhetnek be nyílások és áttörések. A lezárásokkal szemben támasztott tűzállósági teljesítménykövetelményeket a dolgozat 6. táblázata foglalja össze.

6. táblázat: Tűzgátló lezárások tűzvédelmi teljesítményének követelménye az épület mértékadó kockázati osztálya függvényében – OTSZ saját szerkesztés											
Mértékadó kockázati osztály	NAK			AK		KK			MK		
Épület, önálló épületrész szintszáma	1–2 ipari, mezőg., tárolási	3 ipari, mezőg., tárolási	4	1-3	4-7	1-2	3-6	7-15	1-2	3-15	>15
	1–3 lakó	1–3 közösségi									
Tűzgátló nyílászáró tűzfalban	EI2C 90										
Tűzgátló nyílászáró tűzgátló tűzfalban (EI2C) és tűzgátló földémben (REI)	30			30	30	30	60		60	90	
Tűzgátló záróelem	EI 30						EI 60			EI 90	
Tűzgátló réskitöltő-réslezáró rendszerek, tűzgátló lineáris hézagtomítések	az átvezetéssel érintett, továbbá a csatlakozó szerkezetekre előírt követelménnyel legalább megegyező tűzállósági teljesítményű, de legfeljebb EI 90										

Hazai gyakorlatban a tűzgátló lezárások fogadószerkezetei jellemzően nem éghető anyagokból, például betonból, téglából vagy gipszkartonból készülnek. A CLT falpanelek ebben a kontextusban nem minősülnek szabványos fogadószerkezetnek. Ennek következményeként CLT panelekbe csak akkor építhető be tűzgátló lezárás, ha azt kifejezetten ilyen fogadószerkezetben vizsgálták, és az adott gyártó rendelkezik az erre vonatkozó érvényes minősítő dokumentummal.

A 2025. február 1-től érvényes Tűzterjedés elleni védelem Tűzvédelmi Műszaki Irányelv D5.6 alfejezete például a tűzgátló csappantyúk esetére mutat be elvi ábrát, amelyen a csappantyúk MSZ EN 1366-2 szabvány szerinti vizsgálata és az MSZ EN 13501-3 szerinti osztályozása szabványos fogadószerkezetben történt. Az MSZ EN 1366-3 szerinti tűzgátló lezárások vizsgálatait rendszerint olyan építőelemekben végzik, amelyek a szabvány szerint referenciafogadónak számítanak – jellemzően beton, téglá vagy gipszkarton. A CLT fogadószerkezet ebben a környezetben jelenleg nem szerepel szabványosított vizsgálati környezetként, így egy adott lezárás beépítése CLT-be csak akkor tekinthető hivatalosan érvényesnek, ha a gyártó az adott CLT paneltípusra vonatkozóan is elvégeztette a vizsgálatot, és azt minősítő dokumentumban igazolja. Jelenleg ilyen megoldások csak korlátozottan állnak rendelkezésre a piacon, így minden esetben egyedi tűzvédelmi igazolás vagy célzott vizsgálat szükséges. Léteznek gyártók, akik rendelkeznek olyan rendszerekkel, amelyek esetében a tűzgátló lezárásokat CLT szerkezetben is sikeresen vizsgálták 90 perces (EI 90) tűzállóságra. A 11. ábrán látható egy ilyen tűzgátló lezárás kialakítására példa.



11. ábra: Szigetelés nélküli műanyag cső átvezetésének lezárása PROMASTOP®-W szalaggal CLT födémben, forrás: PROMAT [2024]

A rendszer érvényes alkalmazásának feltételeként a gyártó legalább 140 mm vastagságú CLT panelt ír elő fogadoszerkezetként, amelyet a vizsgálatnak megfelelően, burkolat nélkül kell beépíteni. Ez a példaszintű megoldás jól szemlélteti, hogy célzott fejlesztéssel és vizsgálattal a CLT is alkalmassá tehető tűzgátló lezárások integrálására, ugyanakkor ezek elérhetősége jelenleg korlátozott, és jelentős mértékben függ a gyártói minősítések meglététől.

4.3 Tűzterjedés elleni gátak

A tűzterjedés elleni gát olyan tűzgátló építményszerkezet, amelyet födémhez, falhoz csatlakozva vagy tetőszerkezeten kialakítva alkalmaznak annak érdekében, hogy korlátozza, illetve megakadályozza a tűz áttérjedését az épület különböző szintjei, tűzszakaszai, tetőmezői, illetve a szomszédos épületek között. E szerkezetek tűzterjedést gátló funkcióját geometriájuk, méretük, tűzállósági teljesítményük, valamint a tűzterjedés elleni kialakításuk együttesen biztosítja. A tűzgátló lezárásokkal szemben támasztott tűzvédelmi osztály- és tűzállósági követelmény értékeket az 7. táblázat mutatja be.

7. táblázat: Tűzterjedés elleni gát tűzvédelmi teljesítményének követelménye az épület mértékadó kockázati osztálya függvényében – OTSZ saját szerkesztés												
Mértékadó kockázati osztály	NAK			AK		KK			MK			
Épület, önálló épületrész szintszáma	1–2 ipari, mezőg., tárolási	3 ipari, mezőg., tárolási	4	1-3	4-7	1-2	3-6	7-15	1-2	3-15	>15	
	1–3 lakó	1–3 közösségi										
Tűzterjedés elleni gát	A2											

A tűzterjedés elleni gátakat az OTSZ [2014] előírásai szerint minden mértékadó kockázati osztály esetében kizárólag nem éghető (legalább A2 tűzvédelmi osztályú) anyagból szabad kialakítani, ezért CLT panelek ilyen célra nem alkalmazhatók. Ezek a szerkezeti elemek kiváltása minden esetben megfelelő tűzállósági teljesítményű, nem éghető alternatívákkal – például vasbeton szerkezetekkel – szükséges. Továbbá, mivel a tűzterjedés elleni gátakat szintén nem éghető anyagból készült tűzgátló alapszerkezetekhez rögzítik, ezekben a szerkezeti kapcsolatokban sem alkalmazható éghető, faalapú építőelem, így CLT panel sem.

4.4 Tűzgátló válaszfal

A tűzgátló válaszfal szerepe, hogy egy tűzszakaszon belül válassza el egymástól a szomszédos helyiségeket és meghatározott ideig gátolja a tűz áttérjedését az elválasztott helyiségek között. Elsődleges szerepe tehát a tűz terjedésének akadályozása, ezzel növelve a

biztonságos kiürítést és a kiürítésre rendelkezésre álló időt az adott tűzszakaszon belül. A tűzgátló válaszfalakkal szemben támasztott tűzvédelmi osztály- és tűzállósági követelmény értékeket az 8. táblázat mutatja be.

8. táblázat: Tűzgátló válaszfal tűzvédelmi teljesítményének követelménye az épület mértékadó kockázati osztálya függvényében – OTSZ saját szerkesztés												
Mértékadó kockázati osztály	NAK			AK		KK			MK			
Épület, önálló épületrész szintszáma	1–2 ipari, mezőg., tárolási	3 ipari, mezőg., tárolási	4	1-3	4-7	1-2	3-6	7-15	1-2	3-15	>15	
	1–3 lakó	1–3 közösségi										
Tűzgátló válaszfal	EI 15			EI 30								

A válaszfalakkal szemben támasztott tűzállósági teljesítmény követelmény még magas mértékadó kockázati osztály esetében is csupán EI 30, aminek a vizsgálatok alapján egy védőburkolat nélküli 9cm panelvastagságú, 30-30-30mm rétegvastagságú CLT panel megfelel.

4.5 Homlokzati tűzterjedés

Az OTSZ [2014] a homlokzati tűzterjedés korlátozása érdekében meghatároz egy úgynevezett homlokzati tűzterjedési határértéket, amely a vonatkozó műszaki követelmények szerint végzett vizsgálat kezdetétől számított időtartam, ameddig a tűz nem éri el a homlokzati építményszerkezeteken történő terjedésre jellemző határállapotot.

A homlokzati tűzterjedés vizsgálatát jelenleg jellemzően nem éghető hátfallal végzik, azaz a legtöbb esetben beton, téglá háttérszerkezettel. Ezzel szemben a faalapú homlokzati rendszerek, különösen a CLT-ből készült falpanelek alkalmazásánál, nincs kialakult gyakorlat vagy elvégzett homlokzati tűzterjedési vizsgálat, amely figyelembe venné az éghető fogadószerkezet sajátosságait. A homlokzati hőszigetelő rendszerek gyártói jellemzően nem a favázis szerkezetekre vonatkozó EAD 040089-00-0404 *External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) for Use on Timber Frame Buildings – EU Decision 2017/C 118/04* alapján (éghető falon) végeztetik a vizsgálatokat, hanem nem éghető aljzatra épített rendszereken, így a vizsgálati eredmények nem alkalmazhatók közvetlenül CLT fogadószerkezetek esetén. Ennek következtében a homlokzati rendszerek gyártóinak is

fejleszteniük kellene minősítési eljárásaikat, hogy az új, éghető szerkezetekkel – például CLT falpanelelkel – összhangban álló vizsgálatokkal is rendelkezzenek.

Mindez rámutat arra, hogy a CLT technológia homlokzati alkalmazásához nemcsak az építményszerkezetek, hanem a kapcsolódó burkolati és szigetelő rendszerek esetében is jelentős vizsgálati hiányosságok állnak fenn. Ugyanakkor, ha a CLT paneles építés egyre szélesebb körben elterjed, várhatóan más gyártók is kidolgozzák a saját burkolati és bevonati rendszereiket tűzvédelmi vizsgálatokkal igazolt módon éghető háttérszerkezetekre. Ez azonban jelenleg még komoly akadályt jelent a technológia szélesebb körű alkalmazhatósága szempontjából.

4.6 Kritikus csomópontok

A CLT paneles szerkezetek esetében a csomóponti kialakítások tűzvédelmi szempontból kiemelt jelentőséggel bírnak, mivel ezek a rendszerek legérzékenyebb, tönkremenetel szempontjából legkritikusabb pontjai. A piacon ugyanakkor jelenleg csak korlátozott számban állnak rendelkezésre olyan gyártmányok és rendszerek, amelyek tűzállósági teljesítménye CLT fogadószerkezetre igazolt. A legtöbb szerkezeti kapcsolat esetében nincsenek szabványos vizsgálati adatok, így azok alkalmazása egyedi mérnöki méretezéshez vagy célzott igazoláshoz kötött.

A CLT elemek kapcsolódásánál gyakran alkalmaznak fémszerelvényeket, különösen acéllemez-csatlakozásokat, csavarokat, dübeleket és más mechanikus kötőelemeket, amelyek hővezető képessége jelentősen eltér a faanyagétól. A tűz hatására az acél gyors hőfelvétele a kapcsolati pontok gyors gyengüléséhez, a faanyag korai elszenesedéséhez, ezáltal az egész szerkezeti egység stabilitásának csökkenéséhez vezethet.

A csomópontok védelme érdekében elsődleges mérnöki megoldásként a rejtett kapcsolatok alkalmazása javasolt, amelyek során a fémek teljes egészében be vannak süllyesztve a faanyagba, és nem érintkeznek közvetlenül a tűzterheléssel. Kiegészítésként nem éghető burkolatok – például tűzgátló gipszkarton vagy cementkötésű lap – alkalmazása ajánlott, különösen a padló-fal vagy fal-födém találkozási pontjain. A hőszigeteléssel kitöltött szerkezeti hézagok is fontos szerepet játszanak a tűzterjedés gátlásában. Az ilyen üregek hő- és füstterjedés elleni szigetelése érdekében ásványgyapot vagy más A1 besorolású, nem

éghető szigetelőanyag beépítése javasolt. Ezek nemcsak késleltetik az égést, de meggátolják a tűz és füst átjutását a különálló szerkezeti egységek között.

A mérnöki tervezés során külön figyelmet kell fordítani arra, hogy a csomóponti kialakítások megfeleljenek a tűzállósági követelményeknek, különösen tűzállósági teljesítmény követelményének biztosítására. Ennek eléréséhez gyakran szükséges gyártói tűzállósági igazolás vagy célzott tűzvizsgálat a konkrét csatlakozási geometriára és CLT fogadószerkezetre vonatkozóan.

Összegzésként elmondható, hogy a CLT szerkezetek biztonságos és jogszerű alkalmazása jelentős mértékben múlik a részletképzések minőségén, különös tekintettel a csomópontok tűzvédelmi teljesítményére. Mivel ezen a területen a piaci kínálat és a szabályozási háttér egyaránt hiányos, a tűzvédelmi méretezés jelenleg nagyrészt egyedi mérnöki kompetenciára és eseti igazolásokra épül.

5. CLT PANELEK ALKALMAZHATÓSÁGA

A szakdolgozat eredményeinek összegzéseként a 9. táblázat tartalmazza az Országos Tűzvédelmi Szabályzat (OTSZ) által előírt tűzállósági teljesítménykövetelményeket a mértékadó kockázati osztályok és az épületszintek függvényében. A táblázatban piros kitöltéssel kerültek megjelölésre azok az értékek, ahol a CLT panel szerkezetek alkalmazása nem lehetséges, mivel fa anyagukból fakadóan nem érhetik el a szabályozás által megkövetelt A1 vagy A2 tűzvédelmi osztályt.

A táblázat alapján egyértelműen megállapítható, a jelenlegi előírások szerint a CLT panel szerkezetek legfeljebb négy szint magas épületek esetén alkalmazhatók a meghatározott építményszerkezetek részeként. Ennek egyik fő oka, hogy a magasabb épületek esetében az OTSZ [2014] több szerkezettypusra nem éghető (A1 vagy A2) anyaghasználatot ír elő, amely követelménynek a faalapú CLT panelek anyagi tulajdonságaikból fakadóan nem felelhetnek meg. Abban az esetben, ha az épület vagy önálló épületrész a „nagyon alacsony” (NAK) kockázati osztályba tartozik, a tűzgátló alapszerkezetek kivételével minden egyéb építményszerkezet kialakítható CLT panelekből, amennyiben azok igazoltan elérik a szükséges tűzállósági teljesítményt. Bár ezeknél az épületeknél is gondot okozhat kiegészítő szerkezeti elemek alkalmazása például burkolatok, homlokzati hőszigetelő rendszerek, amennyiben nem a CLT-hez megfelelő alapszerkezeten végezték el a vizsgálatokat.

NAK mértékadó kockázati osztályba sorolhatók azok az épületek, amelynek minden kockázati egység osztályba sorolás azokra az épületekre alkalmazható, amelyek minden kockázati egysége önállóan megfelel az alábbi feltételeknek:

- a kijárat szint és a felette lévő legfelső építményszint közötti szintkülönbség nem haladja meg a 7 métert (jellemzően földszint + legfeljebb két emelet);
- a kijárat szint és az alatta lévő legalsó építményszint közötti szintkülönbség legfeljebb 4 méter (tipikusan földszint – 1 szint mély);
- a legnagyobb befogadóképességű helyiségben tartózkodók száma nem haladja meg az 50 főt;
- az épületben kizárólag önálló menekülésre képes személyek tartózkodnak.

9. táblázat: CLT panelek alkalmazhatósága a mértékadó kockázati osztály, épület szintszáma és épületszerkezet függvényében – OTSZ saját szerkesztés											
Mértékadó kockázati osztály	NAK			AK		KK			MK		
Épület, önálló épületrész szintszáma	1–2 ipari, mezőg., tárolási	3 ipari, mezőg., tárolási	4	1-3	4-7	1-2	3-6	7-15	1-2	3-15	>15
	1–3 lakó	1–3 közösségi									
Teherhordó ép.szerkezetek (kivéve födémek + legfelső szint lefedését biztosító szerkezet) – a pincszinti szerk. min. A2, R30	R15 D	R30 D	R60 D	R30 D	R60 A2	R30 A2	R60 A2	R90 A2	R60 A2	R90 A2	R120 A2
Pincszint feletti, emeletközi, tetőtér alatti és padlásfödémek – a pincszint feletti szerk. min. A2, R30	R15 D	R30 D	R60 D	R30 D	R60 A2	R30 A2	R60 A2	R90 A2	R60 A2	R90 A2	R90 A2
A legfelső szint lefedését biztosító szerkezet Önálló tetőfödém, tetőpanel, amely egy építési termék	REI15 D és B _{roof}		REI30 D és B _{roof}	REI15 D és B _{roof}	REI30 A2	REI30 D és B _{roof}	REI30 A2	REI60 A2	REI30 A2	REI60 A2	
A legfelső szint lefedését biztosító olyan szerkezet, amelynek tönkremenetele nem okoz kiterjedt állékonyságvesztést	EI15 D és Broof				EI15 A2	EI30 D és Broof	EI30 A2			EI60 A2	
Épületen belüli és menekülési útvonalnak minősülő lépcsők és lépcsőpihenők tartószerkezetei és járófelületének alátámasztó szerkezetei	R15	R30	R60	R30	R60 A2	R30	R60	R90 A2	R60	R90 A2	
Menekülési útvonalat képező szabadlépcső tartószerkezete	A2										
Tűzfal	REI120 A1					REI180 A1					
Tűzgátló fal és födém	EI30 A2	EI60 A2	EI30 A2	EI60 A2	EI30 A2	EI90 A2	EI60 A2	EI90 A2	EI60 A2	EI90 A2	EI120 A2
Tűzterjedés elleni gát	A2										
Tűzgátló válaszfal	EI15			EI30							

Az AK mértékadó kockázati osztályba sorolt épületek esetében a CLT panel szerkezetek csak olyan épületekben alkalmazhatók meghatározott építményszerkezetként, ahol az épület szintszáma legfeljebb három, és teljesülnek az alábbi feltételek:

- a kijárat szint és a felette lévő legfelső építményszint közötti szintkülönbség legfeljebb 14 méter (jellemzően földszint + legfeljebb 2 emelet),
- a kijárat szint és az alatta lévő legalsó építményszint közötti szintkülönbség nem haladja meg a 7 métert (pl. földszint – 2 szint mély),
- a legnagyobb befogadóképességű helyiségben tartózkodók száma 50–300 fő között van,
- az épületben tartózkodók menekülési képessége önálló vagy segítséggel menekülő.

Ez a kategória tehát már lehetővé tesz bizonyos közösségi, irodai vagy intézményi funkciókat is, ugyanakkor korlátozza a CLT alkalmazását azokban az építményszerkezetekben, ahol nem éghető anyaghasználat vagy magasabb tűzállósági teljesítmény lenne elvárás.

Az KK kockázati osztályú épületek esetében a CLT panelek tűzvédelmi célú alkalmazhatósága tovább szűkül. Itt már csak két konkrét szerkezet típus építhető CLT panelekből:

- legfelső építményszint lefedését biztosító szerkezeti
- tűzgátló válaszfalak, valamint
- a menekülési útvonalon elhelyezkedő lépcsőszerkezetek teherhordó szerkezetei.

Az MK kockázati osztályú épületek esetében az alkalmazhatóság még szűkebb: a CLT panelek kizárólag

- tűzgátló válaszfalak, valamint
- a menekülési útvonalon elhelyezkedő lépcsőszerkezetek teherhordó szerkezeteiként alkalmazhatók.

Ez a fokozatosan szigorodó korlátozásrendszer egyértelműen jelzi, hogy a CLT technológia hazai tűzvédelmi szabályozásba való beillesztése csak korlátozottan valósítható meg, különösen közép- és nagy léptékű, komplex épületek esetében.

Azoknál az építményszerkezeteknél, ahol a CLT panel alkalmazható, az OTSZ [2014] legfeljebb REI 60 tűzállósági teljesítményt határoz meg. Ez az érték a gyártói teljesítménynyilatkozatok alapján akár gipszkarton védőburkolat nélkül is teljesíthető: falak esetében 12 cm, födémek esetében 14 cm panelvastagsággal (lásd 2. táblázat). Fontos kiemelni, hogy jelenleg még viszonylag kevés gyártói teljesítménynyilatkozat áll rendelkezésre, amely tartalmazná termékspecifikusan a tűzállósági teljesítményeket. Bár számos tűzvizsgálat megerősíti, hogy megfelelő rétegszám és panelvastagság esetén a CLT szerkezetek képesek teljesíteni az OTSZ-ben [2014] előírt követelményeket, a szabványosított tanúsítás hiánya korlátozza azok gyakorlati alkalmazhatóságát. Ezen vizsgálatok elvégzése még jelentős költségekkel jár, azonban a teljesítménynyilatkozatok kiállítása a gyártók felelőssége és érdeke, hiszen ez alapján lehet azokat forgalomba hozni és alkalmazni. Ennek következtében a jelenlegi piacon csupán néhány olyan gyártó érhető el, amely igazolt tűzvédelmi teljesítménnyel rendelkező CLT rendszereket kínál, így a tervezési és kivitelezési szabadság jelenleg korlátozott.

6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS MÉRNÖKI JAVASLATOK

A dolgozat célkitűzése az volt, hogy feltárja a CLT paneles szerkezetek hazai alkalmazhatóságának tűzvédelmi korlátait, különös tekintettel a jelenlegi szabályozási hiányosságokra és az ezekből fakadó gyakorlati akadályokra. A vizsgálatok és a nemzetközi tapasztalatok alapján egyértelműen megállapítható, hogy CLT szerkezetek a fenntartható építészetben betöltött szerepük, kiváló statikai tulajdonságaik és alacsony környezeti terhelésük révén jelentős potenciállal rendelkeznek. Ugyanakkor hazai elterjedésüket jelenleg nagymértékben korlátozza a tűzvédelmi teljesítmény igazolásának hiánya és az ebből fakadó szabályozási bizonytalanság.

A beégési sebességre vonatkozó számítások esetében az Eurocode szerinti értékek gyakran nem esnek egybe a gyártói laboratóriumi vizsgálatok eredményeivel, amelyek szabványos módszereken alapulnak. A különbségek nem minden esetben a biztonság irányába mutatnak, így mérnöki szempontból indokolt lenne, hogy a gyártók termékeikre vonatkozóan minél több vizsgálati adattal és tűzállósági teljesítménynyilatkozattal rendelkezzenek. Bár ezeknek a vizsgálatoknak a költsége jelentős, a CLT technológia térnyerésével várhatóan egyre több ilyen dokumentáció fog rendelkezésre állni.

A homlokzati tűzterjedés vizsgálata jelenleg jellemzően nem éghető hátfallal (pl. beton, téglá) történik. Ezzel szemben a faalapú homlokzati rendszerek – különösen CLT fogadószerkezetek – esetében nincs kialakult gyakorlat, amely figyelembe venné az éghető háttérszerkezet sajátos viselkedését tűz esetén. A homlokzati hőszigetelő rendszerek gyártói jellemzően nem a favázas szerkezetekre vonatkozó EAD 040089-00-0404 alapján végeztetik a vizsgálatokat, hanem nem éghető aljzatra épített rendszereken. Emiatt az így kapott eredmények nem alkalmazhatók közvetlenül CLT alapú rendszerek esetén, és a jövőben szükséges lenne, hogy a gyártók ezekre a szerkezetekre is végeztessenek minősített vizsgálatokat.

További előrelépést jelentene, ha a Tűzvédelmi Műszaki Irányelvek (TvMI) kiegészítésre kerülnének a CLT szerkezetekre vonatkozó részekkel. A 2022. június 13-tól érvényes Építményszerkezetek tűzvédelmi jellemzőiről szóló Tűzvédelmi Műszaki Irányelv 3. Építményszerkezetek Tűzvédelmi Osztálya című fejezet nem tartalmazza a CLT paneles szerkezeteket, annak ellenére, hogy tűzvédelmi jellemzőikre már uniós szinten is létezik

szabályozási háttér. A falakra és födémekre vonatkozó alfejezet kiegészíthető lenne a CLT és LVL szerkezetekre vonatkozó, vizsgálat nélkül alkalmazható osztályozási lehetőségekkel, amelyekre jogi alapot ad az EURÓPAI BIZOTTSÁG (EU) 2017/2293 FELHATALMAZÁSON ALAPULÓ RENDELETE (2017. augusztus 3.) az EN 16351 harmonizált szabvány szerinti keresztrétegelt fa termékek és az EN 14374 harmonizált szabvány szerinti szerkezeti furnérfa termékek tűzzel szembeni viselkedés tekintetében, vizsgálat nélkül történő osztályozásának feltételeiről. E jogszabály alapján a kezeletlen keresztrétegelt fa termék, amennyiben

- minimálisan 350 kg/m^3 testsűrűséggel rendelkezik, és
- panelvastagsága legalább 54 mm, akkor az anyag D-s2, d0 tűzvédelmi osztályba sorolható.

Ez az osztályozás lehetővé tenné a CLT szerkezetek legalább alapszintű tűzvédelmi osztályba sorolását a TvMI-ben, továbbá elősegítené az alkalmazhatóságuk egyértelmű és hivatkozható szabályozási keretek közé helyezését. A jelenlegi irányelv ilyen irányú kiegészítése nemcsak a tervezők és kivitelezők számára nyújtana támpontot, hanem hozzájárulna az egységes gyakorlat kialakulásához is a CLT technológia hazai alkalmazása során.

Bizonyos épülettípusok esetén érdemes lehet öszvérszerkezetek, például CLT–beton kompozit födémek alkalmazását megfontolni. Ezek a rendszerek nemcsak szerkezeti előnyöket, hanem jelentősen javuló tűzállósági teljesítményt is kínálnak, különösen nagy fesztávú vagy fokozott tűzvédelmet igénylő épületek esetében. Ugyanakkor ezek a szerkezetek még ritkábban alkalmazott megoldások, így javasolt a műszaki lehetőségeik és szabványosításuk további kutatása.

Összegzésként megállapítható, hogy a CLT paneles építési technológia valós és jövőbe mutató alternatívát jelent a fenntartható, környezettudatos és hatékony építkezés számára. A technológia szélesebb körű hazai alkalmazhatósága azonban csak akkor biztosítható, ha a tűzvédelmi kihívásokra nem csupán mérnöki, hanem szabályozási szinten is válaszok születnek. Ennek kulcsa a vizsgálati módszerek kiterjesztése, a teljesítménynyilatkozatok bővítése, valamint a CLT-t támogató szabályozási környezet fokozatos kiépítése.

7. HIVATKOZÁSOK

7.1 Szakirodalom

ARCHDAILY [2022a] The Biophilic Response to Wood: Can It Promote the Wellbeing of Building Occupants?, <https://www.archdaily.com/974790/the-biophilic-response-to-wood-can-it-promote-the-wellbeing-of-building-occupants>, kereső: google.com, kulcsszavak: biophilic response wood wellbeing, letöltés: 2025-04-10

ARCHDAILY [2022b] Latin America's First High-rise Building in Cross Laminated Timber is Built in Chilean Patagonia., <https://www.archdaily.com/992878/latin-americas-first-high-rise-building-in-cross-laminated-timber-is-built-in-chilean-patagonia>., letöltés: 2025-04-10

ARUP [2024] Fire Safe Design of Mass Timber Buildings. Arup Group Limited, <https://www.arup.com/globalassets/downloads/insights/f/fire-safe-design-of-mass-timber-buildings-may2024.pdf>, letöltés: 2025-02-20, kereső: google.hu, kulcsszavak: Fire, Safe, Design, Timber

BARBER, D., DIXON, R., RACKAUSKAITE, E. & LOOI, K. [2021] A method for determining time equivalence for compartments with exposed mass timber, using iterative parametric curves, in: Proceedings of WCTE 2021 World Conference on Timber Engineering, 24–27 August, Santiago, Chile.

BARCLAY, S. AND SALEM, S. [2023]. FIRE RESISTANCE TESTING OF CLT-CONCRETE COMPOSITE FLOOR SLABS UTILIZING SELF-TAPPING SCREWS AS SHEAR CONNECTORS. World Conference on Timber Engineering (WCTE 2023), [online] pp.1821–1830. doi: <https://doi.org/10.52202/069179-0241>., <https://www.proceedings.com/content/069/069179-0241open.pdf>, letöltés: 2025-05-01

BARTLETT, A.I., HADDEN, R.M., BISBY, L.A. [2019] A Review of Factors Affecting the Burning Behaviour of Wood for Application to Tall Timber Construction, Fire Technol. 55, 1–49. <https://doi.org/10.1007/s10694-018-0787-y>.

BUCHANAN, A. ÉS ÖSTMAN, B. [2022] Fire Safe Use of Wood in Buildings. CRC Press.

CHRISTOVASILIS, I.P., BRUNETTI, M., FOLLESA, M., NOCETTI, M. AND VASSALLO, D. [2016]. Evaluation of the mechanical properties of cross laminated timber with elementary beam theories. Construction and Building Materials, 122, pp.202–213. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.082>.

DENTON, S. & ANGELINO, M. [2021] 'Eurocode Evolution – Latest Development and the UK Approach.' Professional Guidance Notes. The Structural Engineer 106(3).

- DIVEKAR, N. [2016] Introduction to New Material – Cross Laminated Timber. International Journal of Engineering Research, 5(Special Issue 3), 675–679. doi: 10.17950/ijer/v5i3/034
- FRANGI A., FONTANA, M., KNOBLOCH M. AND BOCHICCHIO G. [2022] Fire Behaviour of Cross-Laminated Solid Timber Panels - Institute of Structural Engineering, ETH Zurich
- HANTOS, Z. [2016] Faanyagok és kötőelemek. Előadásanyag, MMK Továbbképzés. Elérhető: https://www.mernokkamara-gyor.hu/uploads/files/2016/Tovabbkepzesek/Dr_Hantos_Zolt_n_-_Faanyagok_s_k_t_elemek_-_MMK_Tov_bbk_pz_s.pdf, letöltés: 2025-05-01
- HARTVIG, L. [2024], Az az épület a legzöldebb, amelyik már megépült, vagy meg sem építjük. Építész Közlöny, 295. szám., <https://www.epiteszkozlony.hu/epitesz-kozlony-295/> letöltés: 2025-04-10
- HUGBC [2024] BuildingLife – Az építőipar dekarbonizációs útiterve, https://www.hugbc.hu/resources/docs/2024_aug_BuildingLife_fekvo_END.pdf letöltés: 2025-05-05
- INGHELBRECHT, A. [2014], Evaluation of the burning behaviour of wood products in the context of structural fire design, International Master of Science in Fire Safety Engineering, The University of Queensland, Ghent University, <https://www.semanticscholar.org/paper/Evaluation-of-the-burning-behaviour-of-wood-in-the-Inghelbrecht/dd7fa8af485ac8bc1f4723ddc8d90a06f24ea006>, letöltés: 2025-04-10
- MESTEK, C. [2012] Expanding opportunities for mid-rise buildings in Chile through the application of timber panel systems. University of British Columbia., <https://open.library.ubc.ca/media/download/pdf/24/1.0071825/2>, kereső: google.com, kulcsszavak: CLT 7-storey Japan shake table, letöltés: 2025-04-10
- MIHAI, M., JIVCU, C., STAN, T., TODORAN, A. AND MOLDOVAN, M., [2023]. Cross-laminated timber products: A review of environmental performance, applications and technical characteristics. Forests, 14(2), p.264. <https://doi.org/10.3390/f14020264>
- MORRISSET D., HADDEN, R.M., BARTLETT, A.I., LAW, A., EMBERLEY, R. [2021] Time dependent contribution of char oxidation and flame heat feedback on the mass loss rate of timber, Fire Safety Journal. 120, 103058. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103058>.
- PETTERSON, C. [2023] Fire Safety in Timber Buildings – A Review of Existing Knowledge. Brandforsk Technical Report 2023:6. RED Fire Engineers Sweden AB., https://www.researchgate.net/publication/355699835_Fire_Safety_in_Timber_Buildings_-_A_review_of_existing_knowledge, kereső: google.com, kulcsszavak: fire safety timber buildings Brandforsk, letöltés: 2025-04-19

PROMAT [2024] Tűzgátló lezárások kézikönyve, <https://media.promat.com/pi12469/original/27818585/tuzgatlo-lezarasok-kezikonyve-promat-hu-2024-04.pdf>, letöltés: 2025-05-12

STRUCTURAL TIMBER ASSOCIATION [2020] Structural timber buildings fire safety in use guidance. Volume 6 – Mass Timber Structures; Building Regulation, Compliance B3(1) (No. Version 1.1). Alloa, UK.

ÖSTMAN, B., SCHMID, J., KLIPPEL, M., JUST, A., WERTHER, N., & BRANDON, D. [2018] Fire Design of CLT in Europe, Society of Wood Science and Technology

SU, J., LAFRANCE, P. S., HOEHLER, M., & BUNDY, M. [2018] Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings – Phase 2: Tasks 2 & 3 – Cross-Laminated Timber Compartment Fire Tests. NFPA Fire Protection Research Foundation, Quincy, Massachusetts. USA.

UNEP [2025] Facts about the climate emergency, <https://www.unep.org/facts-about-climate-emergency>, letöltés: 2025-04-10

ZELINKA, S. L., HASBURGH, L. E., BOURNE, K. J., TUCHOLSKI, D. R., OUELLETTE, J. P. [2018], Compartment Fire Testing of a Two-Story Mass Timber Building, United States Department of Agriculture

ZELINKA, S.L., SULLIVAN, K., PEI, S., OTTUM, N., BECHLE, N.J., RAMMER, D.R. AND HASBURGH, L.E. [2019]. Small scale tests on the performance of adhesives used in cross laminated timber (CLT) at elevated temperatures. International Journal of Adhesion and Adhesives, [online] 95, p.102436. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2019.102436>.

7.2 Szabványok, irányelvek

ANSI/APA PRG 320 [2018] Standard for Performance-Rated Cross-Laminated Timber

ASTM E119-20 [2020] Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials

CPD [1988] Európai Községek Tanácsa 89/106/EGK Irányelve az építési termékekre vonatkozó tagállami törvényi, rendeleti és közigazgatási rendelkezések közelítéséről

EN 13501-1 [2019] Fire classification of construction products and building elements - Part 1: Classification using data from reaction to fire tests

EN 13501-2 [2023] Fire classification of construction products and building elements – Part 2: Classification using data from fire resistance and/or smoke control tests, excluding ventilation services

EN 15425 [2023] Adhesives - One component polyurethane (PUR) for load-bearing timber structures - Classification and performance requirements

EN 16351 [2021] Timber Structures – Cross Laminated Timber – Requirements. CEN European Committee for Standardization, Brussels.

EN 1995-1-2 [2004] Eurocode 5. Design of timber structures - General - Structural fire design

EN 301 [2023] Adhesives, phenolic and aminoplastic, for load-bearing timber structures - Classification and performance requirements

Építményszerkezetek tűzvédelmi jellemzői TvMI [2022] 11.3:2022.06.13.

MSZ EN 1363-1 [2020] Tűzállósági vizsgálatok. 1. rész: Általános követelmények

MSZ EN 1366-2 [2015] Épületgépészeti berendezések tűzállósági vizsgálata. 2. rész: Tűzgátló csappantyúk.

MSZ EN 1366-3 [2022] Épületgépészeti berendezések tűzállósági vizsgálata. 3. rész: Átvezetések tömítései

MSZ EN 16351 [2016] Faszerkezetek. Keresztrétegelt fa. Követelmények.

Tűzterjedés elleni védelem TvMI [2025] 1.7:2025.02.01.

7.3 Jogsabályok

275/2013. (VII. 16.) Korm. rendelet [2013] az építési termék építménybe történő betervezésének és beépítésének, ennek során a teljesítmény igazolásának részletes szabályairól

CPR [2011] AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS 305/2011/EU RENDELETE (2011. március 9.) az építési termékek forgalmazására vonatkozó harmonizált feltételek megállapításáról és a 89/106/EGK tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről

Európai Klímarendelet [2021] AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS (EU) 2021/1119 RENDELETE (2021. június 30.) a klímasemlegesség elérését célzó keret létrehozásáról és a 401/2009/EK rendelet, valamint az (EU) 2018/1999 rendelet módosításáról (európai klímarendelet)

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

A BIZOTTSÁG (EU) 2017/2293 FELHATALMAZÁSON ALAPULÓ RENDELETE

(2017. augusztus 3.) az EN 16351 harmonizált szabvány szerinti keresztrétegelt fa termékek és az EN 14374 harmonizált szabvány szerinti szerkezeti furnérfa termékek tűzzel szembeni viselkedés tekintetében, vizsgálat nélkül történő osztályozásának feltételeiről

TÉKA [2024] 280/2024. (IX. 30.) Korm. rendelet a településrendezési és építési követelmények alapszabályzatáról

Tűzvédelmi törvény [1996] 1996. évi XXXI. törvény a tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról