

Lublóy Éva¹ – Gyapjas János²

A betonfelület leválásának hatása a szerkezet állékonyságára és a mentési munkákra

The Impact of Detaching Concrete Surface on Construction Sustainability and Saving Works

A betonfelületek réteges leválása komplex jelenség. Előregyártott szerkezeti elemek, amelyek nagyobb szilárdságú betonból kisebb keresztmetszettel készülnek, érzékenyen reagálnak a hőmérséklet emelkedésére. Karcsúbb szerkezetek tervezése során egyre gyakrabban használnak nagy szilárdságú betonokat. A nagy szilárdság lehetővé teszi, hogy karcsúbb szerkezetet tervezzünk, a karcsúbb szerkezet a kisebb keresztmetszete miatt gyorsabban átmelegszik és ezzel egyidejűleg a nagy betonszilárdság miatt fokozottan megnő a betonfelület réteges leválásának az esélye is. A problémát már az MSZ EN 1992-1-2 is tárgyalja, hiszen külön rendelkezik a nagy szilárdságú betonból készült szerkezetekről, előírja a műanyag szálak alkalmazását a betonfelület robbanásszerű leválásának elkerülése végett. A tűzoltóknak zárt térben is végre kell hajtaniuk a feladataikat. A betonfelület leválása akadályozhatja a mentési feladatok végrehajtását és veszélyeztetheti a beavatkozók testi épségét.

Kulcsszavak: betonfelület leválása, betonösszetétel, szerkezeti stabilitás, betonszilárdság hőmérsékletfüggése, tűzoltó

Layered release of concrete surfaces is a complex phenomenon. Prefabricated structural pieces made of high-strength concrete with smaller cross sections are sensitive to temperature rise. High-strength structures are increasingly being used in the design of leaner structures. The high strength makes it possible to design a leaner structure, the leaner structure heats up faster due to

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék, docens, e-mail: [lubloy.eva@epito.bme.hu](mailto:lublloy.eva@epito.bme.hu), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9628-1318>

² Bács-Kiskun Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság, igazgatóhelyettes, tű. ezredes, e-mail: janos.gyapjas@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7088-2123>

its smaller cross-section and, at the same time, increases the likelihood of layering of the concrete surface due to its high concrete strength. The problem is already covered in MSZ EN 1992-1-2, as it has a special regulation for high-strength concrete structures, which requires the use of plastic fibers to avoid explosive separation of the concrete surface. Firefighters must perform their duties indoors. Detaching of the concrete surface may impede rescue tasks and endanger the physical integrity of these interveners.

Keywords: concrete surface separation, concrete composition, structural stability, temperature dependence of concrete strength, firefighter

Tűz hatása a betonra

Kémiai átalakulások

A megszilárdult beton adalékanyagból, cementkőből és pórusokból álló, összetett anyag. A hőmérséklet emelkedésének hatására a betonban változások következnek be.

A hőmérséklet emelkedésével megváltozik a beton belső szerkezete és ennek hatására a mechanikai és fizikai tulajdonságai is. Fontos kiemelni, hogy a hőmérséklet emelkedésének hatására a szilárdsági jellemzők romlanak. A beton a lehűlés után sem nyeri vissza eredeti tulajdonságait, jellemzőit, mivel a hőterhelés hatására a beton szerkezetében visszafordíthatatlan kémiai és fizikai folyamatok mennek végbe.

A beton tűzterhelés hatására bekövetkező tönkremenetele alapvetően két okra vezethető vissza:

- a beton alkotóelemeinek kémiai átalakulására, illetve
- a betonfelület réteges leválására.³

A beton szilárdsági tulajdonságainak változása magas hőmérsékleten függ a cement típusától, az adalékanyag típusától, a víz–cement-tényezőtől, az adalékanyag–cement-tényezőtől, a beton kezdeti nedvességtartalmától és a hőterhelés módjától.⁴

Magas hőmérséklet hatására a beton szerkezete megváltozik. A különböző hőmérsékleti tartományokban a betonban lejátszódó legfontosabb fizikai és kémiai folyamatokat röviden a következőkben foglaljuk össze:

100 °C körül a tömegvesztéséget a makropórusokból távozó víz okozza. Az ettringit ($3\text{CaOAl}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) bomlása 50 °C és 110 °C között következik be.⁵ 200 °C körül további dehidratációs folyamatok zajlanak. A víztartalom (víz–cement-tényező), a cement típusa és a beton kora befolyásolja az eltávozó pórusvíz és a kémiailag kötött víz mennyiségét.

³ KORDINA 1997.

⁴ THIELEN 1994; LUBLÓY–BALÁZS 2007; LUBLÓY–BALÁZS 2009;

⁵ KHOURY–GRAINGER–SULLIVAN 1985.

A kiinduló nedvességtartalomtól függő további tömegvesztés 250–300 °C között már nem érzékelhető.

450 °C és 550 °C között a nem karbonátosodott portlandit bomlása következik be ($\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}\uparrow$). Ez a folyamat endoterm (hőelnyelő) csúcsot és ezzel egyidejűleg újabb tömegvesztést okoz.⁶ A portlandit dehidratációja okozza a legnagyobb szilárdságvesztést a betonban.⁷

Közönséges betonok esetén a kvarc α –ból β módosulatba való kristály-átalakulása 573 °C-on okoz kis intenzitású endoterm csúcsot. A kvarc átalakulása 5,7%-os térfogat-növekedéssel jár,⁸ és ez a beton lényeges károsodását eredményezi. E hőmérséklet fölött a beton nem rendelkezik jelentős teherbírással.

700 °C-on a CSH (kalcium-szilikát-hidrát) vegyületek vízleadással bomlanak, ami szintén térfogat-növekedéssel és további szilárdságcsökkenéssel jár.

A beton kémiai, illetve fizikai szerkezetváltozásának hatására a beton szilárdsági jellemzői is megváltoznak.

Betonfelület leválása

A betonszerkezetek tűz esetén való tönkremenetelének másik oka a betonfelületek robbanás-szerű leválása. A betonfelület réteges leválásának az esélyét a következő tényezők befolyásolják:

- külső tényezők: a tűz jellege, a szerkezetre ható külső terhek nagysága;
- geometriai jellemzők: a szerkezet geometriai adatai, a betonfedés nagysága, a vasbetétek száma és elhelyezkedése;
- a beton összetétele: az adalékanyag mérete és típusa, a cement és a kiegészítő anyag típusa, a pórusok száma, a polipropilén (PP) száladagolás, az acélszál-erősítés, a beton nedvességtartalma, áteresztőképessége és szilárdsága.⁹

Nagy szilárdságú betonok felületének leválását általában a hőmérséklet emelkedésének hatására bekövetkező feszültségek okozzák, míg a szokványos betonok esetében általában a betonból távozó vízgőz feszíti le a felületi rétegeket. Ha a betonfelület egyik oldalát hőterhelés éri, a betonból távozó vízgőz hatására egy vízgőzzel telt réteg alakul ki, ekkor a vízgőz nyomása egyre nő, és végül lefeszíti a betonrétegeket.¹⁰ A betonfelület réteges leválásának esélyét a következő tényezők befolyásolják:

- külső tényezők: a tűz jellege, a szerkezetre ható külső terhek nagysága;
- geometriai jellemzők: a szerkezet geometriai adatai, a betonfedés nagysága, a vasalás acélbetéteinek száma és elhelyezkedése;

⁶ SCHNEIDER–WEISS 1977.

⁷ LUBLÓY–BALÁZS 2007.

⁸ WAUBKE 1973.

⁹ WINTERBERG–DIETZE 2004.

¹⁰ LUBLÓY–BALÁZS 2009.

- a beton összetétele: az adalékanyag mérete és típusa, a cement és a kiegészítő anyag típusa, a pórusok száma, a polipropilén száladagolás, az acél szál erősítés, a beton nedvességtartalma, áteresztőképessége és szilárdsága.¹¹

Minden szerkezet esetében fontos, hogy a betonfelületek réteges leválása tűz esetén lehetőség szerint ne következzen be. Számos kísérlet igazolta, hogy a betonfelület leválásának veszélye műanyag szálak alkalmazásával jelentősen csökken, mivel a szálváz kiégése során létrejövő pórusszerkezet a szétrepedezés veszélyét csökkenti.¹²

A betonfelület réteges leválását minden esetben el kell kerülni. Ezt leghatékonyabban a megfelelő betonösszetétel megtervezésével és alkalmazásával érhetjük el.

A nagy szilárdságú betonok esetén jóval gyakoribb a betonfelületek leválása, ezért ennek elkerülésére minden esetben ügyelni kell.

A betonfelület leválásának esélyét a következő tényezők befolyásolják:

- nagy szilikapor-tartalom (15 m% felett),
- nagy nyomószilárdság,
- a nagy tömörség,
- magas relatív nedvességtartalom (80 m% felett jelentősen nő a veszély),
- adalékanyag típusa (a mészkő adalékanyagú betonok kevésbé hajlamosak a betonfelület leválásra, mint a kvarckavics adalékanyag),
- a vasalás típusa,
- a szerkezeti elem mérete,
- a terhelés intenzitása és típusa.¹³

A betonfelület leválásának elkerülésére a kutatók több lehetőséget vizsgáltak: száladagolás (műanyag- és acélszálak), cement-kiegészítőanyag adagolása és légbuborékképző adagolása.

Szerkezetek tűzállósága

Előregyártott gerendák

EN 1363-1:2000 számú szabvány szerinti tűzállósági határérték vizsgálata során egyértelműen kiderült, hogy a C40/50 szilárdságú öntömörödő betonból készült gerenda gerincén lévő betonfedés a tűzterhelés 10. percében majdnem teljes egészében levált (1. ábra). A gerenda a teherbíró képességét a tűzvizsgálat 12. percében feltehetően emiatt veszítette el. A betonfelületek lerobbanása a vékony gerinc és a betonösszetétel helytelen megválasztása miatt következett be.¹⁴

¹¹ SILFWERBRAND 2005.

¹² ÖVB 2005; DORN 1993.

¹³ KODUR-PHAN 2007.

¹⁴ LUBLÓY 2019; BALÁZS-LUBLÓY 2017.



1. ábra. A gerenda

Forrás: BALÁZS–LUBLÓY 2017, 4.

Előregyártott födémelemek

EN 1363-1:2000 számú szabvány szerinti tűzállósági határérték vizsgálata során egyértelműen kiderült, hogy a nagy szilárdságú betonból készült elemek esetén a betonfelület leválása miatt a tűzállósági határérték jelentősen csökkenhet TT-panelek esetén (2. ábra).



a) az etalon TT-panel a vizsgálat után

b) a módosított TT-panel a vizsgálat után

2. ábra. A TT-panelek a vizsgálat után

Forrás: LUBLÓY 2019, 66.

Béléstartékokkal készült födémelemek esetén a béléstartékok alsó öve gyakran leválik (3. ábra). A leválás oka a béléstartékok gerinceinek vékony keresztmetszeti mérete és annak szilárdságcsökkenése miatt a gerinc nem bírja el az alsó öv súlyát és leválik.



3. ábra. Béléstestek alsó övének leválása

Forrás: BALÁZS–LUBLÓY 2017, 5.

Előregyártott falak

EN 1363-1:2000 számú szabvány szerinti tűzállósági határérték vizsgálata során a betonfedés a fal majdnem teljes felületén levált, a vizsgálat során már mintegy 5 perc után érzékelhető volt, hogy a betonfelület leválása elkezdődött (4. ábra). A betonfedés leválásnak oka a beton nagy szilárdsága (C 30/37) és az alkalmazott cementtípus (CEM I 52,5 R).



4. ábra. A falpanelelemek károsodása a tűz után

Forrás: LUBLÓY 2019, 68.

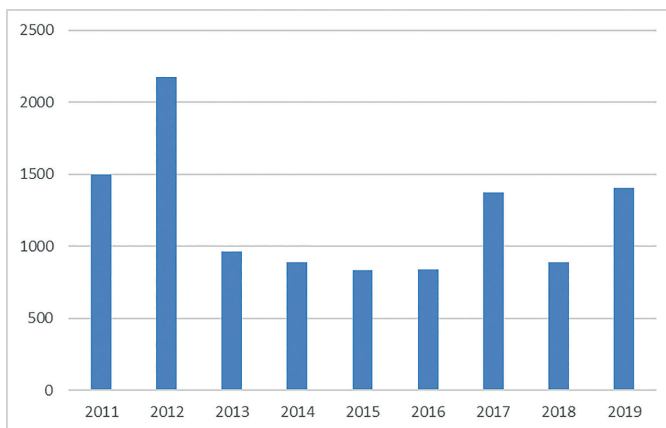
A betonfelület leválásának hatása a mentési munkákra

Magyarországon a tűzoltás állami feladat.¹⁵ A tűzoltási feladatokat alapvetően a 105 hivatásos tűzoltóság hajtja végre, adott esetben az önkormányzati, önkéntes és létesítményi tűzoltóságokkal együttműködve.¹⁶

A beavatkozás, tűzoltási feladat legfontosabb eleme az életmentés, része még az anyagi javak védelme, a tűzterjedés megakadályozása, eloltása, és minden egyéb intézkedés a veszély elhárítására.¹⁷ A cél a rendelkezésre álló személyi állománnyal és technikai eszközökkel ennek a lehető leghatékonyabb és legszakoszerűbb végrehajtása.¹⁸ A beavatkozás részletes szabályait jogszabályok és a BM OKF belső szabályozói tartalmazzák. A legfontosabbak:

- 1996. évi XXXI. törvény a tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról,
- 39/2011. (XI. 15.) BM rendelet a tűzoltóság tűzoltási és műszaki mentési tevékenységének általános szabályairól,
- 6/2016. (VI. 24.) BM OKF utasítás a Tűzoltás-taktikai Szabályzat és a Műszaki Mentési Szabályzat kiadásáról 1. melléklet, Tűzoltás-taktikai Szabályzat.

A beavatkozó állomány adott esetben épületszerkezetekkel körülvett zárt terekben hajtja végre a feladatait. Bács-Kiskun megyében átlagosan évi 1300 körül van a tűzeseti beavatkozások száma. Az éves adatok alakulását az 5. ábra szemlélteti. Minden tűzesetről kötelező a statisztikai adatgyűjtés. A zárt térben végzett beavatkozást a statisztikai adatgyűjtés külön nem tartalmazza. A KAP Online (Káreseti Adatgyűjtő Program) segítségével, az adatok elemzése alapján ezt a számot Bács-Kiskun megyében átlagosan 40%-ra becsülöm.



5. ábra. Tűzoltó-beavatkozást igénylő tűzesetek alakulása Bács-Kiskun megyében

Forrás: a szerzők szerkesztése a KAP Online adatbázis adataiból

¹⁵ 1996. évi XXXI. törvény 2. § (2) bek.

¹⁶ www.katasztrofavedelem.hu/212/mento-tuzvedelem (A letöltés dátuma: 2020. 02. 07.)

¹⁷ 1996. évi XXXI. törvény 4. § e) bek.

¹⁸ 39/2011. (XI. 15.) BM rendelet 3. § (3) bek.

A tűzoltó a feladatát – különösen az életmentést – akár élete kockázatával is végrehajtja.¹⁹ A zárt terekben végzett beavatkozás különösen kockázatos.²⁰ Ezt jól szemlélteti a 6. ábra.



6. ábra. Tűzoltó-beavatkozás és leszakadt tartószerkezet

Forrás: Kovács 2018

Pántya adatgyűjtése szerint a beavatkozó tűzoltók sérülései 2000 és 2010 között átlagosan mintegy 2%-ban (az összes sérülés átlagosan mintegy 290 fő/év volt) származtak lehulló tárgytól, omlástól.²¹ Az NFPA statisztikája szerint az Amerikai Egyesült Államokban 2010–2014 között ez átlagosan 11% volt.²² Ezek az adatok is mutatják az épületszerkezetek teljes vagy részleges omlásának veszélyességét. A betonfelület részleges leválása (betondarabok lehullása), illetve ennek hatására a szerkezet tönkremenetele (leomlása) is ebbe a körbe tartozik. Olyan kockázat, ami veszélyezteti a beavatkozó tűzoltót, a mentendő személyt, a beavatkozás eredményes kivitelezését.

¹⁹ 2015. évi XLII. törvény 44. § (2) bek.

²⁰ PÁNTYA 2017, 48.

²¹ PÁNTYA 2011, 34.

²² CAMPBELL 2016.

A tűzoltás egyszemélyi felelős vezetője az úgynevezett tűzoltásvezető.²³ Restás szerint a gyors és pozitív eredményességű káreseti döntéshozatalt elősegíti a kritikai elemző gondolkodás.²⁴ Bérczi doktori értekezésében kiemeli a személyi állomány felkészítésének jelentőségét.²⁵ A betonfelületek részleges leválásának kockázatát, a figyelmeztető jeleket ezért indokolt lehet beépíteni a tűzoltók, első körben a tűzoltásvezetésre jogosultak továbbképzésébe.

Összefoglalás

A betonfelületek réteges leválása komplex jelenség. Az előregyártott szerkezeti elemek a nagy betonszilárdság és a vékony keresztmetszetek miatt érzékenyen reagálnak a hőmérséklet emelkedésére.

Gerendakísérletek: A gerendakísérlet eredményei alapján megállapíthatjuk, hogy a gerinc betonfedésének leválása a betonösszetételre, valamint a nedvességtartalomra és nem a terhelés mértékére volt visszavezethető. A betonfedés korai leválása a szerkezeti elem tönkremenetelét okozta. Ebben az esetben a gerenda 12 perc után tönkrement, mivel az acélbetétek a betonfedés leválása után gyorsan átmelegedtek, és ezzel egyidejűleg a gerenda elvesztette a teherbírását.

Falvizsgálatok: A falpanelemeken a betonfedés levált. A betonfedés leválásának oka a beton nagy szilárdsága és az alkalmazott cementtípus volt.

A jelenség megfelelő tervezési, kivitelezési megoldásokkal megelőzhető, illetve negatív hatása csökkenthető. Azonban az esetleges omlás vagy szerkezet-tönkremenetel veszélyeztetheti a tűzoltási feladat (benne a különösen fontos életmentés) végrehajtását, a beavatkozók testi épségét. Ezt ellensúlyozhatja a kockázat ismerete, időben történő felismerése, ezért javasoljuk a beavatkozó tűzoltó állomány ezirányú továbbképzését.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást az Emberi Erőforrások Minisztériuma által meghirdetett Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program, illetve a Bolyai János Ösztöndíj Program támogatta, a BME FIKP-VÍZ tématerületi programja keretében. Az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-19-4 kódszámú Új Nemzeti Kiválósági Programjának szakmai támogatásával készült.

Felhasznált irodalom

BALÁZS, György László – LUBLÓY, Éva Eszter (2017): Fire resistance for thin-webbed concrete and masonry elements. In BJEGOVIĆ, W., F. – HOROVA, D. – BURGESS, K. – JELCIC, I. – RUKAVINA, M. eds. *Proceedings of the International Conference, Dubrovnik*, Prague, Czech Technical University in Prague. 6. DOI: <http://dx.doi.org/10.14311/asfe.2015.036>

²³ 39/2011. (XI. 15.) BM rendelet 16. §.

²⁴ RESTÁS 2019, 36.

²⁵ BÉRCZI 2014, 145.

- BÉRCZI László (2014): *Az extrém körülmények közötti tűzoltói beavatkozások biztonságát növelő eszközrendszer fejlesztések az integrált katasztrófavédelem rendszerében*. Doktori értekezés. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem. DOI: <https://doi.org/10.17625/NKE.2014.010>
- CAMPBELL, Richard (2016): *Patterns of Firefighter Fireground Injuries*. Research. National Fire Protection Association. Elérhető: www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Emergency-responders/ospatterns.pdf (A letöltés dátuma: 2020. 02. 07.)
- DORN, T. (1993): *Berechnung des Tragverhaltens brandbeanspruchter Tragwerke in Verbundbauweise unter besonderer Berücksichtigung der Träger- Stützen Anschlüsse*. Heft 99, Braunschweig, Technischen Universität.
- Erhöhter baulicher Brandschutz mit Beton für unterirdische Bauwerke* (2013). Richtlinie der Österreichischen Bautechnik Vereinigung (ÖBV), August.
- KHOURY, Gabriel A. – GRAINGER, Brian N. – SULLIVAN, Patrick J. E. (1985): Transient thermal strain of concrete: literature review, conditions within specimen and behaviour of individual constituents. *Magazine of Concrete Research*, Vol 37, No. 132. 131–144. DOI: <https://doi.org/10.1680/mac.1985.37.132.131>
- KODUR, V.K.R. – PHAN, L. (2007): Critical factors governing the fire performance of high strength concrete systems. *Fire Safety Journal*, Vol. 42, No. 6–7. 482–488. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2006.10.006>
- KORDINA, Karl (1997): *Über das Brandverhalten punktgestützter Stahlbetonbalken*. Berlin, Beuth Verlag GmbH.
- KOVÁCS Andrea (2018): *Tűzoltó beavatkozás és leszakadt tartószerkezet*. Fénykép. Kecskemét, Bács-Kiskun Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság archívuma.
- LUBLÓY, Éva – BALÁZS, László György (2007): Modifications of material properties due to elevated temperatures. *Advances in Construction Materials*, Heidelberg, Springer. 307–314. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-72448-3_31
- LUBLÓY Éva – BALÁZS László György (2009): Magas hőmérséklet hatása a vasbeton szerkezetek anyagaira. *Vasbetonépítés*, 2. sz. 48–54.
- LUBLÓY Éva Eszter (2019): Hogyan befolyásolja a betonszilárdság a tűzállósági határértéket? *Védelem Tudomány*, 4. sz. 50–73.
- PÁNTYA Péter (2011): *Zárt térben történő tűzoltói beavatkozások kockázatának csökkentése*. Doktori értekezés. Budapest, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem.
- PÁNTYA Péter (2017): Füsttel telített, zárt terekben történő tűzoltói beavatkozások vizsgálata a biztonság szempontjából. *Bolyai Szemle*, Ksz. 47–58.
- RESTÁS Ágoston (2019): A kényszerhelyzeti döntések sajátosságai a tűzoltás során. *Védelem Tudomány*, 4. évf. 3. sz. 27–39.
- SCHNEIDER, U. – WEISS, R. (1977): Kinetische Betrachtungen über den thermischen Abbau zementgebundener Betone und dessen mechanische Auswirkungen. *Cement and Concrete Research*, Vol 7, No. 3. 259–267. DOI: [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(77\)90087-4](https://doi.org/10.1016/0008-8846(77)90087-4)
- SILFWERBRAND, Johan (2005): Guidelines for preventing explosive spalling in concrete structures exposed to fire. In BALÁZS, László György – BOROSNYÓI, Adorján szerk: *Proceedings of Keep Concrete Attractive symposium, Hungarian Group of fib. Budapest, 23–25 Mai 2005*, Budapest, Budapest University of Technology and Economics. 1148–1156.
- THIELEN, KC (1994): *Strength and Deformation of Concrete Subjected to high Temperature and Biaxial Stress-Test and Modeling (Festigkeit und Verformung von Beton bei hoher Temperatur und biaxialer Beanspruchung Versuche und Modellbildung)*. Berlin, Beuth Verlag GmbH.
- WAUBKE, N. V. (1973): *Über einen physikalischen Gesichtspunkt der Festigkeitsverluste von Portlandzementbetonen bei Temperaturen bis 1000 °C Brandverhalten von Bauteilen*. Doktori értekezés. TU Braunschweig.
- WINTERBERG, Ralf – DIETZE, Richard (2004): Efficient passive fire protection systems for high performance shotcrete. In BERNARD, Erik Stefan szerk.: *Proceeding for the Second International Conference on Engineering Developments in Shotcrete*, Cairns, Australia, October 2004. Leiden, CRC Press. 271–291.

Jogi források

1996. évi XXXI. törvény a tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról
2015. évi XLIII. törvény a rendvédelmi feladatokat ellátó szervek hivatásos állományának szolgálati jogviszonyáról
39/2011. (XI. 15.) BM rendelet a tűzoltóság tűzoltási és műszaki mentési tevékenységének általános szabályairól

Internetes forrás

Mentő tűzvédelem. Elérhető: www.katasztrofavedelem.hu/212/mento-tuzvedelem (A letöltés dátuma: 2020. 02. 07.)