

VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA
MARIBOR

**Uporaba sistemov iz kamene volne za zaščito pred
širjenjem požara v poslovno–hotelskem objektu
Brain@Work Center Klagenfurt**

Kandidat: Urban Plej

Vrsta študija: Študent izrednega študija

Študijski program: Gradbeništvo

Mentor predavatelj: Vladimir Dragorajac, univ. dipl. inž. grad.

Mentor v podjetju: Ing. Manfred Thurner

Lektor: Majda Strašek Januš, prof. slov.

Maribor, junij 2022

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Urban Plej sem avtor diplomskega dela z naslovom Uporaba sistemov iz kamene volne za zaščito pred širjenjem požara v poslovno–hotelskem objektu Brain@Work Center Klagenfurt, ki sem ga napisal pod mentorstvom Vladimirja Dragorajca, univ. dipl. inž. grad.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor,
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli, kot moje lastne kaznivo po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Uradni list RS, št. 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/13, 56/15 in 63/16 – ZKUASP); prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia Maribor skladno z njenimi pravili,
- skladno z 32.a členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Maribor, julij 2022

Podpis študenta:

ZAHVALA

Zahvalil bi se mentorju na šoli, g. Vladimirju Dragorajcu, univ. dipl. inž. grad., za usmerjanje in pomoč pri pisanju diplomskega dela, ter mentorju v podjetju, g. Ing. Manfredu Thurnerju, za strokovne nasvete. Zahvala gre prav tako lektorici za popravo besedila in prevajalki za prevod povzetka v nemški jezik.

Hvala tudi moji družini in partnerki, ki so me vzpodbujali in verjeli vame na celotni študijski poti.

POVZETEK

Tema diplomskega dela zajema pasivno požarno zaščito objektov v smislu preprečevanja prehajanja in širjenja požara. Sami lahko ocenimo posledice v primeru, da zagori celotna stavba, dosti hitreje pa pogasimo ogenj, ki je omejen v enem prostoru, v katerem je požar. Evakuacija ljudi poteka bistveno varneje in hitreje, kadar je ogenj omejen na čim manj požarnih sektorjev.

Kot sam naslov razkriva, uporabljamo v našem podjetju mehko pregradne sisteme iz kamene volne. To ne pomeni, da uporabljamo samo plošče iz kamene volne, ampak se poslužujemo tudi drugih materialov, odpornih na ogenj, kot je grafit in materiale (premaze), ki so bazirani na vodni osnovi. Pri pisanju diplomskega dela me je pritegnilo tudi dejstvo, da kamena volna ni toliko škodljiva za dihala, kot sem sprva predvideval. Tehnologija izdelave materialov iz kamene volne se skozi leta vse bolj spreminja, zato so tudi končni izdelki manj škodljivi za človeka in okolje. Z uporabo požarno odpornih materialov zapolnimo odprtine, ki so potrebne za potek elektroenergetskih in strojnih inštalacij. Sprva sem se v diplomskem delu hotel usmeriti samo na dostopnost pri zapiranju odprtin iz betona in opeke, vendar sem se kasneje odločil, da preučim še odprtine iz križno lepljenega lesa, izvedene v kombinaciji z mavčno kartonskimi ploščami. Prav konstrukcije iz križno lepljenega lesa so me med pisanjem diplomskega dela navdušile, saj sem si težko predstavljal njihovo požarno odpornost, ki se je na moje dvome izkazala za presenetljivo dobro.

Glede odprtin oziroma prebojev v požarnih sektorjih smo si v našem podjetju enotni, da so načrtovane kot premajhne glede na velikost in količino inštalacij, ki potekajo skozi, ter da je dostop do nekaterih odprtin praktično nemogoč. Predvsem se ta nedostopnost pojavlja pri adaptacijah in dozidavah objektov, kadar je potrebno zaradi različnih vzrokov napeljati bodisi elektroenergetske ali strojne inštalacije in so le-te v napoto pri samem dostopu do odprtin. Z mentorjem v podjetju sva se strinjala, da bi bilo bolje, če bi bile odprtine za nekaj centimetrov v dolžino in širino večje, saj bi se s tem znatno zmanjšal čas vgrajevanja plošč iz kamene volne. Tudi končni izdelek (popolno zatesnjena odprtina) bi bil strokovno kvalitetneje izveden. Verjetno bi bilo smotrno, da se na tem področju posveti več časa načrtovanju lokacij odprtin in njihove velikosti. Posledično bi se tudi stroški materialov nosilnih konstrukcij zmanjšali.

Ključne besede: *Požarna varnost, požarna odpornost materialov, mehko pregradni sistemi, kamena volna, križno lepljen les.*

ZUSAMMENFASSUNG

Einsatz von Steinwolle-Systemen zum Schutz vor Brandausbreitung im Business-Hotel Brain@Work Center Klagenfurt

Die vorliegende Diplomarbeit befasst sich mit passivem Brandschutz von Gebäuden im Bezug auf Verhinderung von Brandübergängen und Brandausbreitung. Im Falle eines Brandes des ganzen Gebäudes können wir die Folgen einschätzen. Wenn jedoch das Feuer auf einen Raum beschränkt ist, kann es schneller ausgelöscht werden. Die Evakuierung der Personen verläuft wesentlich sicherer und schneller, wenn das Feuer auf wenige Brandsektoren beschränkt ist. Wie schon im Titel erwähnt, werden in unserem Unternehmen weiche Trennwandsysteme aus Steinwolle verwendet. Dabei verwenden wir nicht nur Steinwollplatten, sondern auch andere brandwiderständige Materialien, wie Graphit, und wasserlösliche Anstriche. Beim Anfertigen der Diplomarbeit habe ich festgestellt, dass Steinwolle nicht so schädlich für Atmungsorgane ist, wie ich es vermutet habe. Die Produktionstechnologie von Steinwollmaterialien hat sich durch die Zeit entwickelt, deshalb sind die Endprodukte weniger schädlich für den Menschen und die Umwelt. Die Öffnungen für Elektro- und Maschineninstallationen werden mit feuerwiderständigen Materialien gefüllt. Zunächst wollte ich mich nur mit der Zugängigkeit beim Schließen von Öffnungen im Ziegel und Beton befassen, später habe ich mich aber entschlossen, auch Öffnungen in BSP-Platten, die in Kombination mit Gipskartonplatten ausgeführt sind, zu erforschen. Am Anfang hatte ich Bedenken wegen Feuerwiderstandsfähigkeit von BSP-Platten, die sich als ungerecht erwiesen haben und ich war von den BSP-Platten begeistert.

Im Bezug auf Öffnungen bzw. Wanddurchbrüche sind wir uns in unserem Unternehmen einig, dass diese zu einem zu klein geplant sind, was ihre Größe und die Zahl der Installationen angeht. Andererseits sind einige praktisch unzugänglich. Das kommt vor allem bei Adaptierungen und Erweiterungsbau vor, wenn neue Elektro- oder Maschineninstallationen verlegt werden müssen und die dann ein Hindernis zu Öffnungen bedeuten. Mein Mentor im Unternehmen und ich sind uns einig, dass es besser wäre, wenn die Öffnungen um einige Zentimeter in Länge und Breite größer wären, was die Einbauzeit von Steinwollplatten deutlich verkürzen würde. Auch die Qualität des Endprodukts (die vollständig dichteste Öffnung) wäre damit verbessert. Es wäre sinnvoll, dass beim Planen von Öffnungen mehr Zeit derer Größe und Standort gewidmet würde. Somit könnten die Materialkosten von Trägerkonstruktionen gesenkt werden.

Stichwort: Brandschutz, Feuerwiderstand der Baustoffe, weiche Trennwandsysteme, Steinwolle, BSP-Platten (Brettsper Holzplatten)

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	6
1.1	OPIS PODROČJA IN OPREDELITEV PROBLEMA.....	6
1.2	NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE.....	7
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE	8
1.4	UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE	8
2	DELO V PROJEKTNI SKUPINI.....	9
3	SISTEMI IZ KAMENE VOLNE.....	12
3.1	OPIS KAMENE VOLNE IN NJENO PRIDOBIVANJE	12
3.2	VPLIV KAMENE VOLNE NA ZDRAVJE LJUDI IN OBREMENITEV NA OKOLJE.....	13
3.3	POŽARNA VARNOST STAVB	15
3.4	MATERIALI UPORABLJENI PRI POŽARNI ZAŠČITI	16
4	KONSTRUKCIJE IZ KRIŽNO LEPLJENEGA LESA (X-LAM)	22
4.1	ZGODOVINA LEPLJENEGA LAMELIRANEGA LESA.....	22
4.2	RAZVOJ KRIŽNO LEPLJENEGA LESA	24
4.3	PROIZVODNJA KRIŽNO LEPLJENIH PLOŠČ	25
4.4	POŽARNO ODPORNI ELEMENTI	26
5	BETONSKE KONSTRUKCIJE.....	31
5.1	ZGODOVINA BETONA.....	31
5.1.1	<i>Doba razsvetljenstva.....</i>	<i>31</i>
5.1.2	<i>Industrijska revolucija</i>	<i>31</i>
5.2	BETON.....	32
5.3	BETONSKE IN ARMIRANOBETONSKE KONSTRUKCIJE	34
5.3.1	<i>Beton in požarna odpornost</i>	<i>34</i>
5.3.2	<i>Beton in trajnostna gradnja</i>	<i>35</i>
6	PRIMERJAVA VGRADNJE MEHKO PREGRADNIH SISTEMOV V X-LAM KONSTRUKCIJE IN V BETONSKE KONSTRUKCIJE.....	39
6.1	SPLOŠNI PODATKI O OBJEKTU IN NJEGOV OPIS	39
6.2	NALOGE ZA IZVEDBO PROJEKTA S STRANI INVESTITORJA	40
6.3	PRIMERJAVA DEBELIN STEN IZ X-LAM KONSTRUKCIJ IN BETONSKIH KONSTRUKCIJ GLEDE NA POŽARNO ODPORNOST	41
6.4	OPREDELITEV PROBLEMA V POSLOVNO-HOTELSKEM OBJEKTU	43
6.4.1	<i>Dostopnost do odprtín.....</i>	<i>43</i>

6.4.2	<i>Vgradnja mehko pregradnih sistemov v betonske, X-lam preboje in preboje iz mavčno-kartonskih plošč.....</i>	45
7	UPRAVLJANJE TVEGANJ PRI VGRADNJI MEHKO PREGRADNIH SISTEMOV IZ MINERALNE VOLNE	47
7.1	TVEGANJA ZA POŠKODBE PRI VGRAJEVANJU	47
7.2	NAPAKE IN NEPREDVIDENI STROŠKI, KI SE POJAVIJO MED VGRAJEVANJEM	47
7.3	IZBIRA PRIMERNEGA DOBAVITELJA MATERIALA (RAZPOLOŽLJIVOST IN USTREZNOST MATERIALOV, CERTIFIKATI, TEHNIČNI LISTI)	48
8	POKLICNA ETIKA V GRADBENIŠTVU	49
9	SKLEP	50
10	VIRI, LITERATURA.....	53

KAZALO SLIK

SLIKA 1:	MEHKO PREGRADNI SISTEM V BETONSKEM ZIDU	11
SLIKA 2:	DETAJL PREBOJA V PREDELNI STENI, ZAPRTEGA S PLOŠČAMI IZ MINERALNIH VLAKEN.....	20
SLIKA 3:	PREZRAČEVALNI KANAL IZ SILIKATNIH PLOŠČ V POSLOVNO-HOTELSKEM OBJEKTU BRAIN@WORK CENTER KLAGENFURT	21
SLIKA 4:	STREHA EXPO 2000, HANNOVER.....	23
SLIKA 5:	STOLP MJÖSA, BRUMUNDDAL.....	24
SLIKA 6:	PRIKAZ NAMESTITVE MANŠET NA PP CEV, KI POTEKA SKOZI X-LAM ZID, OBOJESTRANSKO OBLOŽEN Z MAVČNO-KARTONSKIMI PLOŠČAMI	30
SLIKA 7:	HOOVERJEV JEZ.....	32
SLIKA 8:	BRAIN@WORK CENTER KLAGENFURT.....	39

KAZALO TABEL

TABELA 1:	OKVIRNE VREDNOSTI ODPORNOSTI NEKATERIH KONSTRUKCIJ PROTI OGNJU	16
TABELA 2:	ODZIV GRADBENIH PROIZVODOV NA OGENJ	17
TABELA 3:	FAZE TOPLOTNE RAZGRADNJE LESA	29
TABELA 4:	MINIMALNA DEBELINA BETONSKIH ELEMENTOV GLEDE NA RAZRED POŽARNE ODPORNOSTI	41
TABELA 5:	MINIMALNA DEBELINA X-LAM STEN IN STROPNIH ELEMENTOV GLEDE NA RAZRED POŽARNE ODPORNOSTI	42

1 UVOD

Požarna varnost je ena izmed najpomembnejših funkcij, ki je potrebna pri izgradnji novega objekta. Da zadostimo temu kriteriju, je potrebnega ogromno tehničnega znanja, dobrega načrtovanja in kvalitetna izvedba. Pri požarni varnosti celotnega objekta igrajo pomembno vlogo tako materiali kot vgradnja materialov, potrebnih za zadostitev kriterijev požarne odpornosti. Zaradi vse več požarov, ki so se dogajali v preteklosti, smo se iz tega nekaj naučili, predvsem to, kako nastali požar omejiti. Skozi zgodovino je človek ugotovil, kateri so tisti materiali, ki ne gori, in tisti materiali, ki potrebujejo več časa, da se njihova površina segreje v tolikšni meri, da se na njej začne ustvarjati tako imenovana zaščitna plast, ki je hkrati odporna na ogenj. Na podlagi izkušenj se razvijajo novodobni materiali, ki preprečujejo širjenje požara oziroma ga zatrejo. Eden izmed takšnih materialov, ki sem ga tudi sam imel priložnost spoznati, je kamena volna oziroma so to mehko pregradni sistemi, narejeni iz tega materiala. Gre za sisteme, ki jih pretežno uporabljamo v visokih gradnjah. S temi sistemi se na požarnih sektorjih zapolni preboje, potrebne za inštalacije, in s tem prepreči širjenje požara. Inštalacije, kot so plastične vodovodne cevi in električni kabli, so iz gorljivih ali delno gorljivih materialov. Prav te inštalacije je potrebno dodatno zaščititi, da se zaradi njih požar ne bi razširil. V kompletu tako imenovanih mehko pregradnih sistemov se uporabljajo tudi zaščitni materiali, ki opravljajo funkcijo »zatiralca« požara.

V zadnjih nekaj desetletjih se pri gradnji objektov kot pomemben gradbeni material vse bolj uveljavlja les. Pri svojem delu sem odkril, da se konstrukcije iz križno lepljenega lesa uporabljajo tudi pri objektih, kjer je zahtevana visoka požarna odpornost. To me je najbolj pritegnilo, saj za les velja, da je gorljiv material.

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Tema diplomskega dela je s področja gradbeništva, in sicer objekti visokih gradenj. Natančneje: požarna zaščita objektov, najsi bodo to novi ali stari objekti. V diplomskem delu bom opisal sisteme iz kamene volne v kombinaciji z različnimi materiali, ki se vsakodnevno uporabljajo v gradbeništvu. V nadaljevanju diplomskega dela bom sisteme iz kamene volne imenoval mehko pregradni sistemi, saj jih proizvajalec v glavnem tako poimenuje. Tovrstna zaščita pred požarom v Sloveniji še ni tako uveljavljena, zato se bom osredotočil na gradbeni projekt v sosednji Avstriji, natančneje v Celovcu. Tam je poudarek na zaščiti pred požarom zelo velik.

To velja za novogradnje in obstoječe objekte. Sam sem zaposlen v avstrijskem podjetju, ki se ukvarja z zaščito pred požarom. V podjetju uporabljamo materiale iz kamene volne in druge negorljive dodatke za zapiranje odprtín, pretežno elektroenergetskih in strojnih inštalacij.

Cene kvadratnih metrov zemljišč, na katerih bivamo in ustvarjamo, so vedno višje. Zato so tudi projektanti včasih prisiljeni izdelati projekt na zelo majhnem stavbnem zemljišču, kar vpliva tudi na naše delo. Pri tem se spopadajo s standardi in pravilniki, da zadostijo strogim ukrepom, ki veljajo za izgradnjo objektov. V diplomskem delu bi rad primerjal vgradnjo sistemov iz kamene volne v klasično gradnjo (beton in opeka) ter vse bolj uveljavljeno gradnjo iz križno lepljenih lesenih plošč. Sam sem mnenja, da je gradnja iz križno lepljenih lesenih plošč učinkovitejša od klasične gradnje, saj naj bi bila hitrejša in stroškovno ugodnejša ter primernejša za vgradnjo sistemov iz kamene volne. To bom poskušal ugotoviti v diplomskem delu.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Namen diplomskega dela, s katerim želim doseči svoje cilje, je bil:

- ugotoviti prednosti in slabosti pri vgradnji sistemov iz mineralnih plošč v klasično zidane oziroma betonske elemente in v elemente, grajene iz križno lepljenih plošč;
- raziskati požarno odpornost najsodobnejših lesenih konstrukcij;
- poudariti pomen pri vzdrževanju in popravilu strojnih naprav ter z njim povezanim načrtovanjem novih inštalacij.

Hipoteze:

- H1: Požarna varnost stavb postaja vse pomembnejša z vidika varovanja ljudi in živali, zadnja leta pa predvsem premoženja.
- H2: Stavbe, grajene iz križno lepljenega lesa, dosegajo presenetljivo visoko požarno odpornost v primerjavi z betonskimi in opečnimi materiali.
- H3: S premišljenim načrtovanjem stavb in uporabo sodobnih materialov se lahko prihrani na prostoru in pri dostopnosti za kasnejše vzdrževanje.
- H4: Mehko pregradni sistemi se v preboje iz križno lepljenih elementov vgradijo bistveno enostavneje kot v preboje iz betona.

1.3 Predpostavke in omejitve

Pri raziskavi sem omejen na poslovno-hotelski objekt, zato so podatki o načrtovanju težko dostopni. Hkrati je to poslovna skrivnost investitorja in glavnega izvajalca del.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

V diplomskem delu bom uporabil vire iz literature ter izobraževanja znotraj in zunaj podjetja. Uporabil bom tudi vire za potrebe dela, ki ga opravljam, to so katalogi proizvodov, spletne vire ter svoje znanje in izkušnje.

2 DELO V PROJEKTNI SKUPINI

Pri skoraj vsakem projektu je pomembno medsebojno sodelovanje posameznih služb, skupin in izvajalcev. Posamezna skupina ljudi je povezana s skupnim namenom za uresničitev točno določenega cilja in predstavlja organizacijo, sestavljeno iz članov, usmerjenih nalog, procesa vodenja, komunikacije ter skupnih vrednot. Za skupino oziroma tim je značilno posebno razpoloženje, v katerem so ljudje pripravljeni delati več kot sicer. Na takšen način lahko skupina z enakim številom ljudi opravi več določenih nalog in doseže boljše rezultate. Povedano drugače – poveča se produktivnost skupine oziroma sodelujočih, kar pomeni za podjetja konkurenčno prednost.

Delo v skupini je primerno, kadar določena stroka ni sposobna opraviti zastavljene naloge in je pot do rešitev neznana. V timu so dobrodošla različna mnenja, s katerimi sodelujoči po usklajevanju lahko določijo najboljšo rešitev. Skupinsko delo je primerno tudi, kadar naloga od članov zahteva razporeditev dela tako, da se za izpolnitev naloge združijo različne spretnosti pripadnikov tima. Uporaba takšnega sodelovanja je primerna tudi, kadar je potrebno zbiranje več idej, informacij ter kadar želimo povečati pripravljenost in vključenost zaposlenih.

Vsak član tima ima specifično znanje in je odgovoren za svoje odločitve, ki pa so osredotočene k skupnemu cilju določene delovne naloge. Odgovornost in samostojnost članov tima zahteva od njih ustvarjanje novih kreativnih rešitev in povečevanje verjetnosti učinkovitih akcij. Za tim je značilno, da znotraj njega ne vlada hierarhija. Nihče ni nikomur podrejen ali nadrejen, vsakogar in vse skupaj pa obvezuje skupni cilj – opraviti delovno nalogo.

Za priprave na pisanje diplomskega dela, ki je potekalo v prostorih Academie, smo zbrani študenti pod vodstvom šole rešili Belbinov test vlog v timu in Myersss-Briggssov test osebnosti. Po opravljenih testih smo se na podlagi prikazanih rezultatov razdelili v projektne skupine, kjer smo na kasnejših srečanjih pričeli s pripravami na pisanje diplomskega dela. Skupino smo sestavljali štirje člani, in sicer vodja projekta, projektant, oseba za pripravo dela in glavni izvajalec del. Na podlagi rezultatov Belbinovega testa sem v skupini v vlogi tvorca. Za tvorce je značilna napetost, odprtost in dinamičnost ter so motivirane osebe, ki imajo veliko potrebo po uveljavljanju. Tvorčeva vloga je biti dober vodja, zato sem kot zagnana oseba imel v skupini vlogo vodje projekta in sem sodeloval pri vseh projektih. Vodje naj bi sprejemali potrebne odločitve za spremembe in so najmočnejši člen pri zagotavljanju pozitivnih dejanj. Po Myersss-Briggssovem testu sem v vlogi nadzornika, kar je dodatno potrdilo mojo vlogo v skupini.

Na prvem medsebojnem srečanju sem ostalin trem članom predstavil vsebino svojega diplomskega dela, in sicer uporabo sistemov iz kamene volne za zaščito pred širjenjem požara v poslovno-hotelskem objektu v avstrijskem Celovcu. Glede na svoje delo, ki ga opravljam v podjetju, me je zanimalo, kako vpliva požarna odpornost na masivno grajene konstrukcije ter na konstrukcije iz križno lepljenega lesa. V nadaljevanju sem članom povedal, da je zgornja etaža objekta grajena iz X-lam konstrukcije, nosilna konstrukcija preostalih etaž pa iz betona. Skupaj smo si bili enotni, da je les gorljiv material, zato je tudi njegova požarna odpornost vprašljiva. Sam sem že imel opravka z vgradnjo mehko pregradnih sistemov v preboje iz lesenih konstrukcij, zato me je to dodatno motiviralo pri zadani raziskovalni nalogi. V skupini smo se vsi strinjali, da je beton negorljiv material in da bodo lesene konstrukcije težko konkurirale požarni odpornosti betona.

Zbranim članom skupine sem na podlagi fotografije (slika 1) opisal postopek vgradnje mehko pregradnih sistemov iz kamene volne. Primer je temeljil na preboju iz betonske stene in spada glede zahtevnosti vgradnje med lažje. Na omenjeni fotografiji je bil prikazan končni izdelek zaprtja odprtine. Postopek vgradnje je takšen, da je najprej potrebno odprtino očistiti (prah in manjše delce) ter odstraniti morebitne gorljive koščke. S tem je mišljeno ostanke PU pene, plastičnih in lesenih kosov, ki so posledica izvedbe opaža za beton. Odprtino izmerimo in jo dokaj preprosto in hitro zapremo z ene strani. Postopek ponovimo in odprtino zapremo še z druge strani. V kolikor skozi luknjo potekajo dodatne inštalacije (elektro ali strojne), je postopek zapiranja bolj kompleksen in je potrebno uporabiti dodatne materiale. Celotni postopek zapiranja različnih tipov odprtin bom podrobneje opisal v nadaljevanju diplomskega dela. Plošči lahko v zidu vgradimo tudi tako, da se medsebojno stikata. Ni pomembno, kje natančno v zidu so plošče vgrajene, pomembno pa je to, da ne gledajo ven iz zidu. Plošče, poravnane s steno, dajejo bolj vtis estetskega videza kot pa funkcijo same požarne odpornosti. V kolikor želimo zadostiti kriterijem požarne odpornosti EI 90, je potrebno vgraditi plošče iz kamene volne (enostransko zaščitno premazane) v debelini 50 mm na vsako stran zidu. To pomeni, da sta znotraj zidu vgrajeni dve plošči debeline 50 mm in na obeh straneh zidu premazane s požarno zaščito. Preprosto povedano: sistem iz mehko pregradnih plošč mora najmanj 90 minut preprečiti prehod plamenov in vročih dimnih plinov (celovitost) ter preprečiti prevelik prenos oziroma prevod toplote (izolativnost). Navedeno velja tako za preboje zidov kot tudi za preboje stropnih plošč.

S člani skupine smo bili skeptični, ali bi mehko pregradni sistemi lahko dosegli enako požarno odpornost EI 90 v konstrukcijah iz križno lepljenega lesa kot v betonskih elementih, ob predpostavki, da so konstrukcije obeh materialov enako debele. V skupini smo prišli do zaključka, da je potrebno raziskati razrede požarne odpornosti za zidove in medetažne plošče, tako iz betona kot tudi za X-lam plošče. Naloge smo si enakomerno razdelili in jih kasneje skupno obravnavali. Posebej smo zbrali podatke o debelinah betonskih in X-lam elementov. Med raziskovanjem smo ugotovili, da po evropskih normativih sami X-lam elementi ne morejo zadostiti kriterijem požarne odpornosti, saj je stene potrebno obojestransko obložiti z mavčno-kartonskimi ploščami. Pri stropovih so mavčno-kartonske plošče nameščene na spodnjem delu. Šele za tem smo izdelali tabele s požarno odpornostjo do EI 90, kjer smo lahko primerjali debeline posameznih elementov.

Delo v skupini je potekalo hitro in učinkovito, saj je vsak član posebej vedel, kakšna je njegova naloga pri projektu. Komunikacija je potekala preko mobilnih telefonov in prenosnih računalnikov, saj smo nekatere stvari morali reševati na gradbišču. Tako smo z različnimi mnenji ter idejami prišli preprosto in hitro do zelenega rezultata.



Slika 1: Mehko pregradni sistem v betonskem zidu

Vir: (Lastni vir)

3 SISTEMI IZ KAMENE VOLNE

3.1 Opis kamene volne in njeno pridobivanje

Kamena volna je po osnovni surovini podobna stekleni volni. Obe namreč vsebujeta mineralni kamnini, vendar različni. Poznamo ju pod skupnim imenom mineralna volna.

Kamena volna je v osnovi sestavljena iz dveh kamnin, to sta bazalt in dolomit, katerima se v procesu raztapljanja dodaja koks. Da dobimo končni izdelek, je kamninama potrebno dodati še vezivo na bioosnovi, ki mu daje trdnost ter protiprašnost, in emulzijo za vodoodbojnost. Za doseganje tehnoloških in kemičnih lastnosti, kjer je zelo pomembna zdravstvena neoporečnost, dodajajo kameni volni še različne druge dodatke in vezivo (Nemanič, 2007).

Preden želimo dobiti končni proizvod iz kamene volne, je potrebno kamnine taliti v kupolni peči pri 1600 stopinjah Celzija. V naslednji fazi je potrebno talino razvlakniti in ji dodati potrebne dodatke in vezivo. Med dodatke spada emulzija, s katero prevlečejo vlakna, tako da dobimo njihovo vodoodbojnost. Po oblikovanju primarne plasti na tekočem traku sledi utrjevanje ter rezanje na končne dimenzije in pakiranje. Za tržišče se proizvajajo izdelki različnih oblik, gostot in dimenzij. Na tak način dobijo posamezni izdelki zelo specifične lastnosti, ki jih zahtevajo različne možnosti njene uporabe (prav tam).

V primerjavi s stekleno volno ima kamena volna, ne glede na njeno obliko, gostoto ali dimenzijo, podobna ali krajša vlakna. Najpomembnejša vloga pri tem je njena gostota, ki določa različne mehanske lastnosti končnega izdelka, katerega primerno vgrajujemo v različne dele stavbe. Hkrati vpliva gostota na toplotno prevodnost, požarno zaščito in zvočno zaščito materiala. Ker mehanska in požarna odpornost volne linearno raste z večjo gostoto, jo je potrebno primerno izbrati ter vgraditi glede na potrebe in funkcije stavbe. Toplotna prevodnost kamene volne je pri manjši gostoti višja, nato pa z večanjem gostote pada in kasneje spet narašča. Njena najnižja toplotna prevodnost je pri gostoti med 50 in 80 kilogramov na kubični meter. Kamena volna je zelo dober toplotni izolator, saj je vrednost toplotne prevodnosti od 0,035 do 0,040 W/mK (prav tam).

Toplotna prevodnost nam pove, kako uspešno lahko material prenaša toploto od toplejšega dela k hladnejšemu. Kadar v rokah držimo različne materiale pri sobni temperaturi, toplota hitreje teče iz naše roke v tisti material, ki ima večjo toplotno prevodnost. Ko pa imajo materiali višjo temperaturo, kot je naša telesna temperatura, nas pri določeni temperaturi jekleni predmet bolj

speče kot lesen (na primer pri 60 °C). Les je dober toplotni izolator, ima nizek toplotni tok, zato se nam les zdi toplejši kot železo, ki ima veliko toplotno prevodnost in nas zato bolj opeče.

Vsako telo ima določeno temperaturo. Po definiciji je toplota fizikalna količina, ki meri energijo in ki zaradi razlike v temperaturi prehaja iz enega telesa na drugo telo. Toplota teče toliko časa, dokler se temperaturi dveh teles ne izenačita. Pri tem se toplotna energija telesa, ki se ohlaja, manjša, toplotna energija telesa, ki se segreva, pa večja. Poznamo tri različne načine prehajanja toplote, to so konvekcija, kondukcija ter radiacija ali sevanje (Topdom, 2020).

Vlakna kamene volne so vodoodbojna, to pomeni, da ne vpijajo vode. Pomanjkljivost kamene volne je ta, da lahko voda vdre v prazne prostore med vlakna. Takrat se toplotna prevodnost kamene volne močno poveča, zato je potrebna pazljivost pri pravilni vgradnji, skladiščenju in transportu. Primerna ni za izolacijo prostorov in elementov, kjer je ves čas značilna visoka prisotnost vlage ali celo vode (Nemanič, 2007).

Ker je kamena volna negorljiva, saj je temperatura tališča vlaken nad 1000 stopinj Celzija, je primerna za vgradnjo tam, kjer se zahteva visoka požarna odpornost (prav tam). Je tudi zelo dober zvočni izolator, predvsem takrat, ko govorimo o tako imenovanem udarnem zvoku.

Vgradnja kamene volne je primerna za prav vse dele stavbe, vendar je pri tem potrebno paziti na pravilno vgradnjo. Tukaj je mišljena predvsem izpostavljenost vlage oziroma vode, v posameznih elementih stavbe. Uporaba kamene volne v gradbeništvu je znana že vrsto let, najpogosteje se jo uporablja za izolacijo ravnih in poševnih streh, podov, votlih predelnih sten in zunanjih sten kot del fasadnega sistema (prav tam).

3.2 Vpliv kamene volne na zdravje ljudi in obremenitev na okolje

Komisija senata nemške raziskovalne fundacije za testiranje škodljivih snovi (komisija MAK) je vsa mineralna vlakna, proizvedena pred letom 1997, uvrstila med sumljive za razvoj bolezni raka. Mineralna vlakna lahko skozi vdihnjen zrak preidejo v pljuča in se tam zataknejo. To se zgodi le pri zelo majhnih vlaknih, ki ne presegajo premera 3 mikrometrov. Nalaganje v pljučih je namreč največje pri premerih vlaken med 0,5 in 1 mikrometra. Večja kot je biološka odpornost mineralnih vlaken, dlje časa ostanejo v pljučih (Mühlendahl, 2020).

Vlakna modrega azbesta (krokidolit), ki velja za najnevarnejšega v gradbeništvu, imajo razpolovni čas približno 700 dni, vlakna iz "starejše" kamene volne 300 dni, vlakna iz "novejše" kamene volne pa le 60 dni. Za primerjavo: mavčna vlakna, ki se ne štejejo za rakotvorna, imajo

razpolovni čas manj kot 30 dni. Razpolovni čas označuje čas, v katerem se število vlaken v tkivu zmanjša za polovico (prav tam).

Domnevamo lahko, da imajo vsa dovolj dolga, tanka in zračna vlakna z visoko biološko obstojnostjo rakotvorni učinek. Pretekle epidemiološke študije so pokazale pri delavcih, ki so se ukvarjali s proizvodnjo mineralnih vlaken, nasprotujoče rezultate. Poskusi na živalih, ki so jih pogosto izvajali z zelo veliko obremenitvijo vlaken, kažejo na rakotvorni učinek številnih umetnih mineralnih vlaken. Umetna mineralna vlakna, ki so bila vgrajena pred letom 1997, bi lahko predstavljala tveganje za zdravje. Ali obstaja dejansko tveganje, ni odvisno samo od posameznega izdelka, temveč tudi od stopnje izpostavljenosti (Mühlendahl, 2020).

Glede na trenutno znanje verjetno ni primerno enačenja z azbestnim problemom: umetna mineralna vlakna se od azbestnih vlaken med drugim razlikujejo po razvoju drobnega prahu in vedenju pri cepljenju. Azbestna vlakna se namreč lomijo v vzdolžni smeri, umetna mineralna vlakna pa v prečni smeri. Azbestna vlakna so po razcepu še vedno tanka in so nevarna, če so »primerno dolga«, medtem ko je pri lomu umetnih mineralnih vlaken tako imenovana kritična dolžina že presežena (prav tam).

Velik del zavedanja problema, ki ni ostal skrit, se odraža v trenutnih različicah Odloka o prepovedi kemikalij in Odloka o nevarnih snoveh. Proizvajalci izolacijskih materialov na osnovi umetnih mineralnih vlaken so v tem času že razvili izdelke, ki jih ni mogoče uvrstiti med rakotvorne. Ti novi izolacijski materiali vsebujejo bistveno manjši delež škodljivih vlaken za vdihavanje in so tudi manj biološko odporni. Za te izdelke je zdaj podeljena oznaka kakovosti RAL (prav tam).

Recikliranje nam je vsem poznano. Različna specializirana podjetja odpadne izdelke (na primer plastenke) ponovno predelajo v plastične torbe, oblačila iz flisa ali druge plastične predmete. Na ta način se zmanjšujejo odpadki. Gradbeni sektor proizvede tretjino vseh odpadkov in velik del teh danes konča na deponijah. Izdelke iz kamene volne je pri obnovi ali rušenju objekta mogoče enostavno odstraniti in nato reciklirati v nove izdelke. Obstaja še boljši način, kadar se pri napredni predelavi (nadpredelavi) odpadki preoblikujejo v dražje predmete in se s tem zmanjša potreba po novih materialih (Rockwool, 2017).

Pri nadpredelavi, ki je še bolj trajnostna kot recikliranje, se odpadni tokovi (vključno z obstoječimi odlagališči) preoblikujejo v dolgotrajne vire surovin za industrijo, s čimer se zmanjša potreba po novih surovinah. Ker se pri recikliranju zmanjša njihova čistost, so

proizvodi reciklirani v nižje stopnje in sčasoma končajo kot odpadke. Z recikliranjem na splošno zmanjšujemo odpadke, vendar v večini primerov ne nadomestimo novih materialov, ki se uporabljajo v prvotnih izdelkih (prav tam).

Nove tehnologije omogočajo tudi uporabo odpadkov iz drugih industrij kot surovino. V povprečju je kamena volna sestavljena iz ene tretjine nadpredelanih odpadkov, vključno z žlindro iz kovinske industrije in muljem iz obratov za čiščenje vode. To pomeni, da se stranski izdelki nizke kakovosti uporabljajo v proizvodnji izolacije iz kamene volne, namesto da bi končali na odlagališču. Združevanje zelo razširjene surovine z nadpredelanimi odpadki, za katere je malo možnosti recikliranja, ima lahko boljši okoljski vpliv kot izdelki, izdelani iz 100-odstotno recikliranega materiala. Ko so odpadki nadpredelani v kameno volno, jih je mogoče uporabljati trajno, torej jih je mogoče neskončnokrat reciklirati v novo kameno volno enake kakovosti (Rockwool, 2017).

3.3 Požarna varnost stavb

S svojo uporabo je kamena volna v gradbeništvu prisotna že desetletja. Glede na dobre karakteristike jo lahko uporabljamo pri toplotni izolaciji, zvočni izolaciji stavb in nenazadnje pri požarni zaščiti, ker je negorljiva, saj je temperatura tališča vlaken zelo visoka (nad 1000 stopinj Celzija). Kamena volna se od steklene volne najbolj razlikuje v gostoti. Prav ta lastnost je ključna za uporabo kamene volne pri požarni varnosti stavb (Nemanič, 2007).

Splošno o požarih

Najnevarnejša faza se nahaja v prvih 3–5 minutah nastanka požara. V tej prvi fazi se razvije tako imenovani tleči ogenj, katerega trajanje je odvisno od koncentracije kisika v prostoru. V prostoru, kjer je nastal požar, se že po eni minuti temperatura dvigne na približno 370° C. Prava in hkrati največja nevarnost tiči v vročih in strupenih plinih, kar je skoraj pri vseh primerih požarov vzrok za smrt. Koncentracija nevarnih plinov lahko po 3 minutah omeji sposobnost delovanja človeka, po 5 minutah pa je zanj že smrtno nevarna. Prav tako narašča nevarnost eksplozije nevarnih plinov.

3.4 Materiali uporabljeni pri požarni zaščiti

Kadar govorimo o požarni zaščiti, je izbor materialov velik. Gre za materiale, ki morajo izpolnjevati predpisane standarde in certifikate, saj se z njihovo pravilno uporabo rešujejo življenja in ščiti premoženje. Praktično samoumevno je, da je kvaliteta materialov in njihova obdelava na najvišjem nivoju. Izvajalec požarne zaščite, ki takšne materiale vgrajuje, se lahko zanese na sistemsko neodvisno, kompatibilno, enostavno in hitro tehniko montaže ter na skladnost potrdila o preizkusu. Najpogostejša požarna odpornost, s katero se srečujemo v našem podjetju in za katero vgrajujemo primerne materiale, ima oznako EI 90, kjer je:

E - CELOVITOST – sposobnost ločevalnega elementa, da v primeru izpostavljenosti ognju z ene strani prepreči prehod plamenov in vročih plinov na drugo stran;

I - IZOLATIVNOST – sposobnost ločevalnega elementa konstrukcije (stene, stropi, tla, vrata, okna), da preprečuje prekomeren prehod toplote;

90 - čas v minutah.

Tabela 1: Okvirne vrednosti odpornosti nekaterih konstrukcij proti ognju

KONSTRUKCIJA	DEBELINA (v cm)	ODPORNOST (v minutah)
Polni opečni zid	12 (neometan) 12 (ometan)	60 120
Opečni zid iz votlakov	10 (neometan) 22 (ometan)	60 120
Armiranobetonski zid	10 (neometan) 18 (ometan)	60 240
Armiranobetonski steber (zaščitna plast betona min 2,5 cm)	20/20 25/25 30/30	30 60 120
Armiranobetonska plošča (zaščita armature min 2 cm)	10 12	60 120
Lesena medetažna konstrukcija		30
Armiranobetonski nosilec 20 x 40 cm	Debelina zaščitnega sloja 2,5 cm Debelina zaščitnega sloja 4 cm Debelina zaščitnega sloja 5 cm	30 60 120
Predelna mavčno-kartonska stena	Obojestranska enojna plošča Obojestranska trojna plošča	30 90
Obešeni mavčno-kartonski stropovi		od 30 do 90

Vir: (Žitnik idr., 2012)

Tabela 2: Odziv gradbenih proizvodov na ogenj

ODZIV GRADBENIH PROIZVODOV NA OGENJ:

EVROPSKA KLASIFIKACIJA (Ne zamenjavati z Nemško klasifikacijo!)

Evroražred A (Afl) A	Negorljivi materiali – materiali ne prispevajo k razvoju požara: -Zelo nizka kalorična vrednost in sproščanje toplote -Ni gorenja s plamenom	Beton, opeka, jeklo, baker, kamena in steklenavlakna, mavec
Evroražred B (Bfl) B	Težko gorljivi materiali – materiali zelo malo prispevajo k razvoju požara: - Zelo nizka kalorična vrednost in sproščanje toplote -Praktično ne širi plamena -Zelo majhno sproščanje dima -Ni plamtečih kapelj/delcev	Barvane mavčno-kartoonske plošče, lesnocementne plošče, nekatere lesene plošče
Evroražred C (Cfl) C	Težko gorljivi materiali – materiali malo prispevajo k razvoju požara: -Zelo majhno širjenje plamena -Majhno sproščanje dima -Omejena vnetljivost -Omejen pojav plamtečih kapelj/delcev	Večina lesenih plošč, sendvič plošče, fenolna pena
Evroražred D (Dfl) D	Težko gorljivi materiali – materiali imajo še sprejemljiv prispevek k požaru: -Omejeno širjenje plamena -Omejeno sproščanje toplote -Omejeno sproščanje dima -Sprejemljiva stopnja vnetljivosti -Omejen pojav plamtečih kapelj/delcev	Ekstrudiran polistiren, Les in lesni proizvodi
Evroražred E (Efl) E	Normalno gorljivi materiali – materiali imajo še sprejemljiv odziv na ogenj	Mehka lesno vlaknena plošča, poliuretanska pena z laminatom
Evroražred F (Ffl) F	Ni zahtev – se ne smejo uporabljati kot izpostavljen gradbeni proizvod	Ekspandiran polistiren, material, ki ni bil preizkušan

Vir: (Kušar, 2012)

Proizvajalci izdelujejo različne materiale, katerih kvaliteta je pred lansiranjem na trg večkrat preverjena v laboratorijih in posebej za to izdelanih požarnih komorah. Z rednimi raziskavami in razvojem poskušajo proizvajalci požarno varnih izdelkov omogočiti njihovo vsestransko uporabnost v moderni gradbeni tehnologiji. Merila za varnost so v proizvodnji več ali manj višja od tistih, ki jih zahtevajo predpisi. V našem podjetju se srečujemo z različnimi materiali in sistemi, ki se uporabljajo za različne namene. Uporabljamo dva sistema:

- sistem iz mineralnih vlaken (mehki pregradni sistem) in
- sistem iz silikatnih plošč (trdi pregradni sistem).

3.4.1 *Sistemi iz mineralnih vlaken*

Sistemi iz mineralnih vlaken so z vidika vgradnje dokaj enostavni. Gre za kombinacijo mineralnih plošč (ki nimajo velike specifične mase), premazov, trakov, objemk in izolacij. Na tržišču obstaja ogromno požarno varnih izdelkov različnih proizvajalcev. V nadaljevanju so navedeni nekateri materiali, ki jih znotraj našega podjetja najpogosteje uporabljamo:

- plošče iz mineralnih vlaken (debeline 2 x 50 mm; **požarna odpornost EI 90**; gostota 150 kg/m³; toplotna prevodnost 0,035 – 0,040 W/mK),
- intumescentni premaz (suh je elastične strukture; služi za hlajenje premazanih materialov; z njim zapolnimo manjše rege),
- požarni trak (namesti se ga na cevi oz. izolacije iz umetnih mas in je skrit v mineralnih ploščah),
- požarna objemka ali manšeta (namesti se jo na cev oz. izolacijo iz umetnih mas – zunaj mineralnih plošč),
- požarna opeka (služi kot polnilo na težko dostopnih mestih in nadomesti plošče iz mineralnih vlaken),
- požarna pena na PU osnovi (služi kot polnilo na težko dostopnih mestih – samostojno ali v kombinaciji s požarno opeko),
- požarna malta,
- požarni akrilni kit (služi za polnjenje reg, nastalih pri izrezu plošč),
- izolacija za cevi iz mineralnih vlaken,
- nevezana volna.

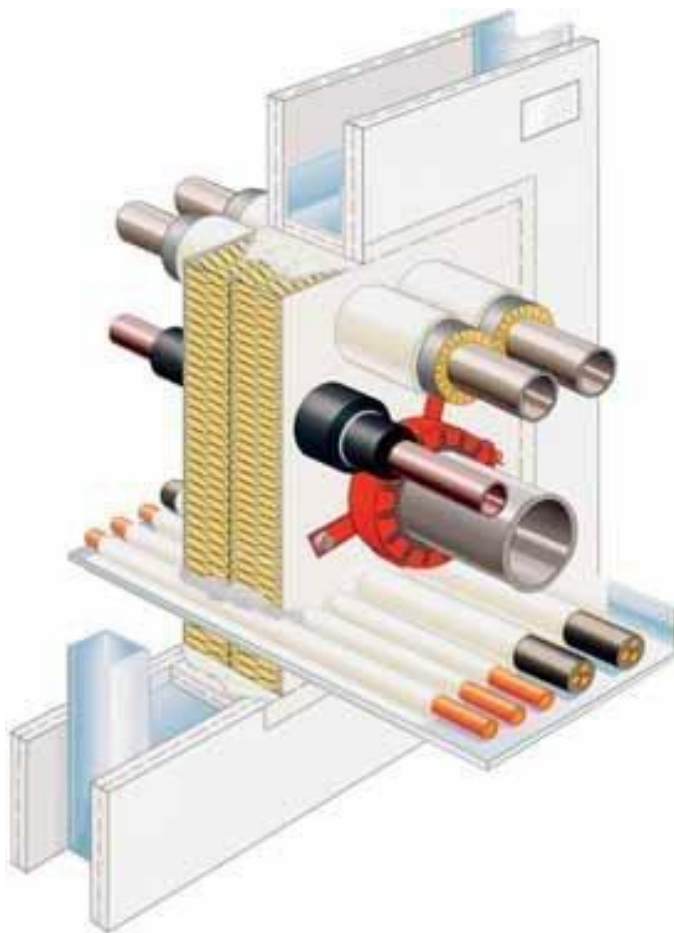
Postopek tesnjenja odprtine, ki je prikazana na sliki 2, je naslednji:

Odprtina, ki jo zapiramo, ne sme vsebovati prahu, umazanije in nobenih ohlapnih delov. Temperatura zraka pri vgrajevanju ne sme biti manjša od 5 °C in višja od 30 °C. Največja dovoljena velikost odprtine stene in stropa je predpisana s strani proizvajalcev. Pri stenah in stropovih znaša največja dovoljena velikost 2.000 mm v višino (dolžino) in 1.200 mm v širino. Oskrbovalni vodi (elektro in strojne inštalacije) lahko zasedajo do največ 60 % površine odprtine v steni oziroma stropu. Določeni so tudi minimalni odmiki med posameznimi strojnimi in elektro inštalacijami ter med posameznimi inštalacijami do roba odprtine. Vse cevi strojnih

inštalacij predhodno ovijemo s požarnim trakom in ga namestimo vzporedno z ravnino odprtine, katero zapiramo. Glede na dolžino zunanjega premera cevi in vrsto cevi nanjo namestimo požarni trak v dolžini oziroma številu navojev, ki ga poda proizvajalec. Pri stenah to naredimo obojestransko, pri stropovih trak namestimo samo s spodnje strani. Enako velja, kadar nameščamo požarne manšete. Glede na material je predpisan tudi največji dovoljeni presek cevi, na katero še lahko namestimo požarni trak. V kolikor je premer cevi večji, kot je dovoljeno, je potrebno nanjo namestiti požarne manšete. Plošče iz mineralnih vlaken odrežemo na želeno velikost odprtine in jim po potrebi izrežemo luknje za strojne oziroma električne inštalacije. Pomembno je, da plošče s trenjem vstavimo oziroma pritrdimo v odprtino, ki jo predhodno namažemo s premazom. Manjše luknje, ki nastanejo zaradi izreza, zakrpamo s preostankom plošč, z nevezano volno ali z akrilnim kitom. Odprtino, ki smo jo zaprli, v celoti premažemo z intumescentnim premazom. Premažemo tudi pas obstoječe stene ali stropa v širini približno 2 cm. Električne vodnike in nosilce premažemo na vsako stran stene ali stropa v dolžini 30 cm. Ko je zaprta odprtina suha, na cevi po potrebi namestimo požarne manšete in izolacijo iz mineralnih vlaken v dolžini 100 cm skozi odprtino. Na koncu zraven odprtine namestimo še tablico ali nalepko z napisom, ki vsebuje:

- zatesnjena odprtina (s klasifikacijsko oznako EI 90, po evropskem standardu SIST EN 13501-2),
- naziv izvajalca oziroma podjetja, ki je zatesnilo odprtino,
- naziv vgrajenega proizvoda,
- naziv in datum odobritve proizvoda,
- datum vgradnje,
- številko odprtine, ki jo zatesnimo (za lažje vodenje evidence).

Požarna odpornost predstavlja čas od začetka segrevanja do trenutka, ko gradbeni element ne more več izpolnjevati svojih nalog. Raziskave kažejo, da je dejanski čas, ki je potreben za evakuacijo objekta po ugotovitvi požara in sprožitvi požarnega alarma, daljši od pričakovanega.



Slika 2: Detajl preboja v predelni steni, zaprtega s ploščami iz mineralnih vlaken

Vir: (KG, Adolf Würth GmbH & Co., 2021)

3.4.2 *Sistemi iz silikatnih plošč*

V našem podjetju se srečujemo s ploščami na osnovi kalcijevega silikata, ki imajo dodatek cementnega veziva. Plošče so dimenzijsko stabilne, neobčutljive na vlago in samonosilne. Uporabljamo jih za oblogo prezračevalnih kanalov iz jeklene pločevine ali pa jih uporabljamo kot samostojne izdelke za odvod dima, toplote in kot prezračevalne kanale. Plošče imajo gostoto 500 kg/m^3 in so različnih dimenzij, kar ustreza razredu požarne odpornosti od EI 30 do EI 120. Za spajanje in medsebojno pritrdjevanje se uporabljajo požarno lepilo (ki služi tudi kot tesnilni kit) in vijaki za hitro montažo. Sestavljanje in montaža plošč je zelo podobna kot pri suhomontažnih sistemih oziroma mavčno-kartonskih ploščah.

V poslovno-hotelskem objektu smo izvedli prezračevalni kanal iz prej omenjenih plošč. Cilj naloge je bil, da se izvede prezračevanje po naravni poti iz pritličja v 2. kletno etažo. Med

montažo smo upoštevali navodila proizvajalca za pravilno namestitev pod armiranobetonsko ploščo (slika 3).



Slika 3: Prezračevalni kanal iz silikatnih plošč v poslovno-hotelskem objektu Brain@Work Center Klagenfurt
Vir: (Lastni vir)

4 KONSTRUKCIJE IZ KRIŽNO LEPLJENEGA LESA (X-LAM)

4.1 *Zgodovina lepljenega lameliranega lesa*

Da bi razumeli razvoj križno lepljenega lesa, moramo skozi zgodovino obdelave in uporabe lesa; tako lahko spoznamo, kako je prišlo do takšnega načina povezovanja lesenih plošč med seboj. Začelo se je z razvojem lepljenega lesa, ki mu pravimo »Glulam« ali »GL«, kar pomeni lameliran lepljen les (glue-laminated timber). Dobimo ga z medsebojnim lepljenjem manjših kosov lesa oziroma lamel v celoto. Sem najpogostejše spadajo leseni lepljeni nosilci. Laminiran les je konstruiran lesen izdelek, ki predstavlja dva ali več kosov lesa, laminiranih oz. stisnjenih s trajnimi lepili. Uporablja se za izdelavo linijskih nosilnih elementov, kjer dolžina elementa prevladuje nad merami prečnega prereza. Pri vseh lamelah poteka usmeritev vlaken vzdolž elementa. Elementi so lahko že celotni nosilni sistemi, kot so na primer upogibni nosilci in loki, lahko pa predstavljajo sestavne dele zahtevnejših konstrukcijskih sistemov, kot so stebri in grede okvirjev ter elementi paličij in lokov. Preboj lameliranih lepljenih konstrukcij, kot jih poznamo v današnjem času, se je začel s patentom, ki ga je leta 1906 pridobil v Nemčiji rojen Otto Hetzer. Zgodnja primera uporabe lepljenega lameliranega lesa za izdelavo nosilnih konstrukcij predstavljata strešni konstrukciji, ki segata v leto 1922 in leto 1925 in še danes služita svojemu namenu.

Konstrukcijski elementi iz lameliranega lepljenega lesa imajo več prednosti od elementov iz masivnega gradbenega lesa. Ob tem omogočajo svobodno oblikovanje, tako prečnih prereзов kot tudi vzdolžnega poteka elementov. Višina elementa se lahko vzdolž svoje osi spreminja, omejena je le s tehnološkim postopkom lepljenja, odprtim časom lepila, možnostjo transporta in montaže. Z lepljenjem predhodno ukrivljenih lamel se izdeluje elemente z ukrivljeno osjo. Možno je izdelati elemente z ukrivljeno osjo, ki imajo obenem tudi spremenljivo višino. Pri lepljenju lamel je na bolj obremenjenih mestih konstrukcije moč uporabiti kvalitetnejši les. Omogočena je večja natančnost izdelave elementa, vendar je pri tem pomembna pravilna vsebnost vlage v lesu. Delovanje lameliranega lesa je manjše kot pri masivnem, izboljšane so tudi lastnosti glede trdnosti in togosti. Videz konstrukcij iz lameliranega lesa je vizualno lep in dober. S takšnimi elementi je zaradi izdelave večjih prečnih prereзов, izboljšanih trdnostnih lastnosti in togosti, možno premoščati velike razpone, kar je predvsem uporabno pri izvedbi strešnih konstrukcij. Z elementi iz lameliranih strešnih nosilcev je možno premoščati razpone

do 100 m. S prostorskimi paličji in okvirji, katerih elementi so izdelani iz lameliranega lepljenega lesa, je mogoče premoščati tudi razpone, večje od 150 m.

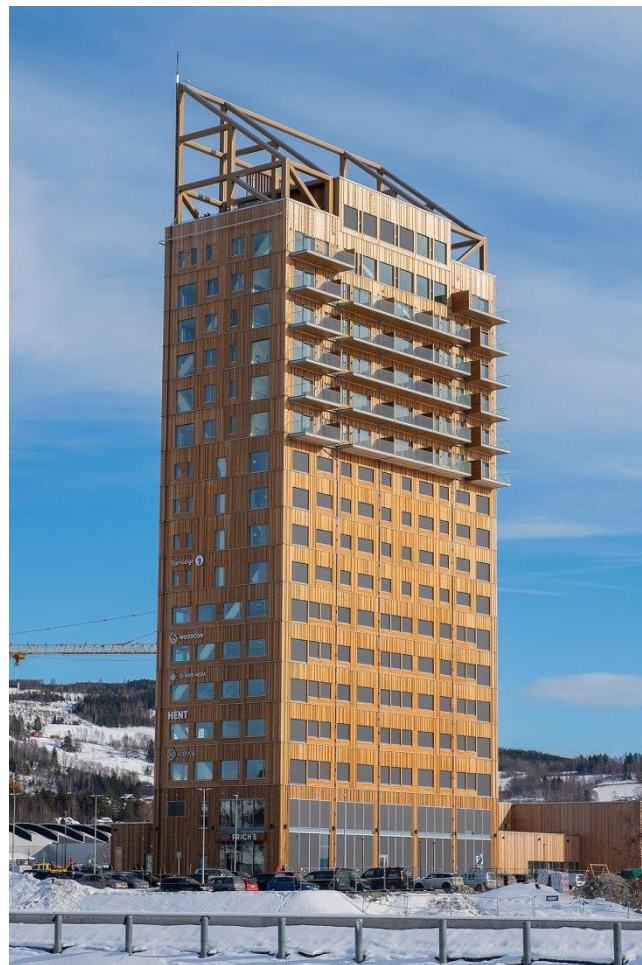
Za svetovno razstavo Expo 2000 v Hannoveru so skonstruirali in zgradili streho s skupno površino 16.000 kvadratnih metrov, ki jo sestavlja deset posameznih dežnikov, od katerih vsak obsega tlorisno površino 40x40 metrov na višini več kot 26 metrov (slika 4). Vsak dežnik je razdeljen na več elementov in tvori kombinacijo različnih materialov, kot so jeklo, jelkovi hlodi in lepljen les. Kljub velikim dimenzijam sestavnih delov je bila elegantna, na videz plavajoča strešna konstrukcija realizirana s skoraj 28 metrov veliko diagonalo. Poleg zmogljivosti materiala prikazuje ta projekt raznolike in zahtevne možnosti oblikovanja z lesom.



Slika 4: Streha Expo 2000, Hannover

Vir: (<http://www.messe.de/de/event-ausrichten/locations/pavillons/pavillons-32-35-expo-dach/>, 2000)

Po trenutnih podatkih se najvišja lesena zgradba nahaja na Norveškem, natančneje v mestu Brumunddal (slika 5). Ime Mjøstårnet (Stolp Mjōsa) je dobila po največjem norveškem jezeru Mjōsa. Višina stolpa znaša 85,4 m ter ima 18 nadstropij s skupno površino približno 11.300 m² in je izdelan iz trajnostnega lesa. Sestavljen je iz 33 apartmajev v velikosti od 50 do 180 m², 72 hotelskih sob, pisarn, restavracije, strešne terase, konferenčnega centra in skupnih prostorov. Projekt je vključeval tudi razvoj 4.900 m² velike kopalne dvorane z dvema 25 m dolgima bazenoma, ki sta prav tako izdelana iz lesa. Stolp Mjōsa so uradno odprli marca leta 2019.



Slika 5: Stolp Mjōsa, Brumunddal

Vir: (<http://www.metalocus.es/en/news/worlds-tallest-wooden-building-mjosa-tower-voll-arkitekter>)

4.2 Razvoj križno lepljenega lesa

Pri leseni gradnji prihaja do največjega napredka, zato mnogi verjamejo, da je prihodnost v leseni masivni gradnji. Les je naravni material in ponuja ugodnejše pogoje za bivanje, je petnajstkrat boljši izolator od betona in šestkrat boljši od opeke. Les je kot obnovljiva surovina eden redkih materialov, ki ima pred drugimi materiali neizmerne prednosti. Hkrati to ustvarja način gradnje, kjer je velik poudarek na skrbi za okolje in podnebje. Lesni izdelki, kot je križno lepljen les, nadomeščajo beton in jeklo, ki v svojem proizvodnem procesu proizvajajo veliko ogljikovega dioksida. Samo proizvodnja betona ustvarja za približno 5 % svetovnih emisij ogljikovega dioksida. Zraven vsega omenjenega in kvalitete bivalnega okolja je postala velika

prednost tudi mnogo hitrejša izvedba objekta. Zadnja leta se število stavb, zgrajenih iz lesa, v Sloveniji vidno povečuje, vendar je njihov delež še vedno relativno nizek. Glede na količino lesne surovine, ki jo premoremo v naši državi, bi lahko bil ta odstotek mnogo višji. Najbrž je za to krivo neznanje v prejšnjih stoletjih in gradnja iz masivnih lesenih konstrukcij glede na tehnologijo, ki se je uporabljala v 20. stoletju.

Križno lepljen les ali »X-LAM« v angleškem jeziku pomeni ploskovne križno lepljene lesene elemente (cross-laminated timber). Križno lepljen les lahko skrajšano zapišemo na več različnih načinov, kot npr. **X-lam** (Cross-Lam); **CLT** (Cross Laminated Timber); **KLH®** (Kreuzlagenholz); **BSH** (Brettsperrholz); **BSP** (Brettsperrplate) ali podobno, pri čemer kratica predstavlja tudi komercialno ime določenega proizvajalca. Prav člani ekipe iz podjetja KLH Massivholz GmbH iz avstrijske Štajerske naj bi bili pionirji za izvedbo križno lepljenih plošč. Skupaj s Tehnično univerzo Graz so leta 1996 razvili proizvod, ki se vse bolj uveljavlja v gradbeništvu. Po nekaj letih raziskovalnega in razvojnega dela so leta 1999 odprli njihovo proizvodnjo v kraju Teufenbach-Katsch.

X-lam poimenujemo sistem za izvedbo lesene masivne konstrukcije iz lesenih masivnih križno lepljenih ploskovnih elementov. Stene in medetažne plošče so izdelane iz različno debelih večslojnih panelov. Takšne vrste konstrukcije se zelo dobro izkažejo pri požarni in potresni odpornosti. Zaradi enovitega lesenega masivnega ovoja omogočajo odlično bivalno ugodje. S polnim masivnim elementom popolnoma nadomestijo zid v klasični gradnji. Vsi naslednji sloji izolacije in finalizacije objekta se izvedejo na leseno masivno konstrukcijo s preprostimi in hitrimi postopki pritrdjevanja. X-lam je v Evropi povzročil preporod v sodobni arhitekturi, saj lahko z lesom zgradimo tudi arhitekturno in konstrukcijsko zelo zahtevne objekte. Ta sistem gradnje je v zadnjih 20 letih prodril na vse celine, njegova proizvodnja in poraba pa še vedno eksponentno naraščata.

4.3 Proizvodnja križno lepljenih plošč

Križno lepljene plošče proizvaja vedno več podjetij po svetu. Pri pisanju diplomske naloge sem se odločil, da pod drobnogled vzamem evropska podjetja, ki imajo svoj sedež in proizvodnjo v

Evropi, natančneje v Avstriji. Čeprav v Sloveniji proizvodnje lesa na takšen način ne izvajamo, smo pa v tujini prisotni kot dobavitelji tehnološko dovršenih naprav za primerno obdelavo lesa.

Križno lepljene plošče so zaradi svojih karakteristik primerne za uporabo pri:

- nosilnih in nenosilnih stenah;
- nosilnih in nenosilnih stropovih;
- strešnih elementih.

Pri križni razporeditvi vzdolžnih in prečnih lamel se nabrekanje in krčenje lesa v ravnini plošče zmanjša na neopazen minimum. Zaradi takšnega načina povezovanja lamel se križno lepljenim ploščam statična obremenitev in dimenzijska stabilnost znatno povečata. V skladu z evropskim standardom se uporablja samo tehnično posušen les z vsebnostjo vlage 12 % (+/- 2 %). Vse lamelne plošče so pred uporabo podvržene nadzoru kakovosti (KLH Massivholz, 2019).

Lepljenje se izvede z uporabo lepil VOC (lepilo na vodni osnovi z izredno nizko emisijo hlapljivih organskih sestavin) in PUR (poliuretan). Lepila ne vsebujejo formaldehida v skladu z EN 15425 ter so bila preizkušena in odobrena za izdelavo nosilnih lesenih konstrukcij. Lepilo se nanese strojno čez površino z deležem približno 0,15 kg/m² na fugo. Tlak stiskanja pri izdelavi plošč iz masivnega lesa je 6-krat višji kot pri proizvodnji z vakuumsko tehnologijo, zato je lepljenje ustrezno kakovostno in statična nosilnost ustrezno večja. Rezanje posameznih delov v tovarni se izvaja z uporabo najnovejše CNC tehnologije. Končno pripravljene elementi iz masivnega lesa KLH® se pravočasno dostavijo na gradbišče, kjer jih v najkrajšem možnem času z gradbenim žerjavom sestavijo usposobljena strokovna lesno-gradbena podjetja. Kombinacija tradicije, stare obrti in najnovejše tehnologije gradnje z lesom omogoča individualno ter stabilno gradnjo s posebno pozornostjo do okolja in porabe energije (prav tam).

4.4 Požarno odporni elementi

4.4.1 Obnašanje lesa in lesenih elementov v požarih

Dejstvo je, da so izdelki iz lesa gorljivi materiali, kar pa ne pomeni, da jih ne smemo uporabljati v objektih, kjer se zahteva požarna varnost. Lesene konstrukcije imajo požarno odpornost med 20 in 70 minut. Hitrost odgorevanja lesa se giblje med 0,5 mm/min in 0,8 mm/min. Na podlagi

večletnih opazovanj iz preteklosti se je izkazalo, da se nosilne konstrukcije iz lesa dobro obnašajo v primeru požarov. Če se toplota na lesu nabira ure in ure, se les lahko vname od približno 120 °C naprej, odvisno od vsebnosti vode v njem. Tudi v simulacijskih prostorih, kjer je dosežena realna temperatura za primer požara, se je temperatura prostora po približno 30 minutah znatno zmanjšala. Ob izbruhu požara del lesene konstrukcije izgori, hkrati pa se ustvari tako imenovani zaščitni sloj oziroma ogljena plast, ki zavira gorenje in s tem preprečuje nadaljnje izgorevanje nosilne konstrukcije.

Kot zanimivost naj omenim, da se podoben scenarij zgodi v primeru, ko je ostrežje stavbe izolirano s celulozo, ki pa po požarni klasifikaciji spada v požarni razred B2. Celuloza je gorljiv material, ki ob stiku z ognjem zagori, vendar ko se plamen umakne, tudi sama hitro ugasne. Negorljivi materiali, kot so mineralne volne in podobno, spadajo v požarni razred A. Takšna dognanja so v zadnjih nekaj letih pripeljala do drugačnega načina razmišljanja in pripomogla k uporabi lesa v požarno varnih objektih (Scheer & Mandy, 2009).

Pri požaru in z njim povezanimi vplivi na materiale in posamezne gradbene elemente so odločujoči različni dejavniki. Sem spadajo med drugim oblika prostora, količina in vrsta požarne obremenitve, prezračevalni pogoji kot tudi odvod toplote. V osnovi se požari odvijajo v posameznih fazah, ki so v odvisnosti od omenjenih dejavnikov lahko različni. Po vžigu oziroma v fazi nastanka požara se na podlagi oksidacijskih reakcij ustvari toplota. Dvig temperature znotraj prostora in s tem povezanim kopičenjem toplote vodi do pospešene oksidacije. Tako imenovana interakcija se stopnjuje, dokler plini v prostoru ne izgorijo. Takšen samovžig s tujko imenujemo *flash-over* (prav tam).

4.4.2 Toplotne lastnosti lesa

Les je v osnovi sestavljen iz približno:

- 45 % celuloze,
- 20 % hemiceluloze,
- 35 % lignina (zgrajenega iz ogljika, kisika in vodika).

Visoka vsebnost vlage lahko opazno zmanjša vnetljivost lesa. Ta lastnost se zmanjša z izsuševanjem lesa. Po DN 4074-1 se za mizarska in tesarska dela uporablja les, ki ima vsebnost vlage največ 20 %. Takšna količina vlažnosti ne predstavlja zaščite pred vžigom lesa (Scheer & Mandy, 2009).

Pri segrevanju lesa in lesenih elementov se ustvarja kemična razgradnja lesene snovi z ustvarjanjem oglja in gorljivih plinov. Proces segrevanja lesa se lahko loči na več faz: do temperature 100 °C se dosega proces izsuševanja. Med 98 in 103 °C izpari kolodialno vezana voda. Šele po tem procesu je mogoče segrevanje (večanje temperature) lesa. Na podlagi segrevanja že izsušenega lesa se prične razgradnja, ki do 200 °C poteka zelo počasi. Nad tem temperaturnim območjem se občutno okrepi razgradnja ter pri temperaturi 275 °C doseže visoko intenzivnost. Med tem postopkom se hkrati sprošča toplota, kar pomeni, da gre za proces preko eksotermne reakcije. To fazo označimo za začetek pirolize ali tako imenovane samokarbonizacije (prav tam).

Les je anizotropen, nehomogen material, katerega struktura in lastnosti so podvržene določenim spremembam. Zaradi teh odvisnosti ni mogoče določiti natančne temperaturne meje, pri kateri se začne toplotna razgradnja. Temperatura vžiga lesa in materialov na osnovi lesa v fizičnem smislu kot materialna konstanta torej ne obstaja. Vnetje je med drugim odvisno od trajanja ogrevanja. Pri temperaturah nad približno 350 °C se lahko majhni vzorci lesa spontano vnamejo. Vžig lesa je mogoč tudi pri bistveno nižjih temperaturah zaradi daljših faz ogrevanja. Testiranja so pokazala, da lahko v skrajnih primerih dolgotrajno segrevanje vžig povzroči že pri 120 °C (prav tam).

Na razvoj temperature v požarnih prerezi lesa, izpostavljenih ognju, v veliki meri vplivajo toplotna prevodnost materiala, specifična toplotna zmogljivost, gostota in vsebnost vlage. Zato je bil vpliv teh lastnosti na požarno obnašanje lesa v preteklosti pogosto predmet raziskav in termičnih študij (prav tam).

Tabela 3: Faze toplotne razgradnje lesa

100 °C	• Izsuševanje lesa, izguba proste in vezane vode	Segrevanje materiala
150 °C	• Razgradnja lignina in hemiceluloze	
225 °C	• Pričetek spreminjanja celuloze • Pričetek razvoja razpadnih plinov (CO₂, ocetna kislina, para) • Počasen potek reakcij • Samovžig je mogoč pri daljši temperaturni izpostavljenosti	Območje kritičnega razpadanja temperature
270 °C	• Razgradnja celuloze • Močno kopičenje razpadnih plinov • Pričetek ustvarjanja ogljene plasti na lesu • Povečanje reakcijske hitrosti • V prisotnosti vžigalnega plamena se lahko mešanica plinov vžge	Območje temperature vžiga
290 °C	• Izguba teže lesa se rapidno poveča	
400 °C	• Razširitev plamenov na površini • Eksotermni potek reakcij razgradnje • Maksimalna tvorba gorljivih plinov	Zgorevanje pri odprtem plamenu
500 °C	• Močna tvorba žarečih plasti, bogatih z ligninom • Razširitev ognja v globino lesa	Celotno in žareče zgorevanje ostankov pirolize
700 °C	• Izgorevanje ostankov oglja • Celotno izgorevanje razpadnih plinov na površini	
1100 °C	• Proizvodnja gorečih razpadnih produktov se konča • Popolnoma uničeni materiali, negorljive mineralne sestavine lesa ostanejo kot pepel.	

Vir: (Scheer & Mandy, 2009)

4.4.3 X-lam in sodobni gradbeni materiali

Za doseganje najvišjih razredov požarne odpornosti (zahtevni objekti) debelina zidov in medetažnih plošč iz križno lepljenih lesenih plošč ne sme biti manjša od 140 mm. Zidove je potrebno dodatno obojestransko »obložiti« z mavčno-kartonskimi ploščami debeline 12,5 mm. Takšna kombinacija v skupni debelini 165 mm zadostuje za razred požarne odpornosti EI 90 do EI 120. Medetažne plošče iz križno lepljenih lesenih elementov se z mavčno-kartonskimi ploščami enake debeline obložijo samo s spodnje strani.



Slika 6: Prikaz namestitve manšet na PP cev, ki poteka skozi X-lam zid, obojestransko obložen z mavčno-kartonskimi ploščami

Vir: (Air Fire Tech, 2018)

Odprtine, ki so pri lesenih konstrukcijah vnaprej pripravljene, so lepo obdelane in imajo čiste linije. To pomeni, da je vgrajevanje mineralnih plošč zelo enostavno, saj gre v večini primerov za odprtine, ki jih s CNC stroji izrežejo v proizvodnem obratu za križno lepljene plošče.

5 BETONSKE KONSTRUKCIJE

5.1 Zgodovina betona

5.1.1 Doba razsvetljenstva

Beton (ang. *concrete*) so poznali že pred našim štetjem. Uporabljali so ga Grki v Mikenski dobi, ki je bila na vrhuncu med leti 1400 in 1200 pr. n. št. Tudi Asirci so leta 688 pr. n. št. za gradnjo 28 m dolgega Jerwanskega akvadukta uporabili beton. V času Rimskega imperija, v letih od 300 pr. n. št. in 476 n. št. je bila uporaba betona najbolj razširjena. Rimljanom je beton omogočil oblikovanje novih stavbnih elementov in nadgradnjo že poznanih arhitekturnih oblik, kot so lok, obok in kupola. Eno izmed največjih in najbolj znanih kupol na svetu, rimski Panteon, so Rimljani v 2. stoletju zgradili prav iz betona. Prav ta beton je preživel že 1800 let (Bellis, 2019).

Britanski inženir John Smeaton je leta 1756 izdelal prvi sodobni beton (hidravlični cement), tako da je dodal kamenčke kot grobi agregat in mešal opeko v cement. Smeaton je razvil svojo novo formulo za beton, da bi zgradil tretji svetilnik Eddystone, toda njegova inovacija je povzročila ogromno povečanje uporabe betona v modernih strukturah. Leta 1824 je angleški izumitelj Joseph Aspdin izumil portland cement, ki je ostal prevladujoča oblika cementa in se uporablja za proizvodnjo betona. Aspdin je ustvaril prvi pravi umetni cement z istočasnim zgorevanjem zemeljskega apnenca in gline. Takšen postopek je spremenil kemične lastnosti materialov in dovolil, da Aspdin ustvari močnejši cement, kot bi ga proizvedel iz navadnega zdrobljenega apnenca (prav tam).

5.1.2 Industrijska revolucija

Beton je naredil zgodovinski korak naprej z vključitvijo vgrajene kovine (običajno jekla), da bi oblikoval tako imenovani armirani beton ali železobetone. Armirani beton združuje natezno ali upogljivo trdnost kovine in tlačno trdnost betona, da prenese velike obremenitve. Armirani beton je leta 1849 izumil Joseph Monier, patent je bil priznan šele leta 1867. Monier je bil pariški vrtnar, ki je izdeloval vrtno lonce in kadi iz betona, ojačane z železno mrežo. Monier je svoj izum predstavil na pariški razstavi leta 1867. Poleg svojih loncev in kadi je Monier promoviral armirani beton za uporabo v železniških vezeh, ceveh, podih in lokih. Njegove ideje so bile plod uporabe armiranega betona tudi pri prvem betonsko ojačanem mostu in pri masivnih strukturah, kot sta jezova Hoover (slika 7) in Grand Coulee. Beton je v industrijski

dobi omogočil nove arhitekturne oblike, napredne inženirske rešitve ter velikokrat tudi hitrejšo, cenejšo in varnejšo gradnjo (Bellis, 2019).



Slika 7: Hooverjev jez

Vir: (<http://travelnevada.com/historical-interests/hover-dam/>, 2021)

5.2 Beton

Beton, ki ga poznamo danes, je sestavljen iz agregata (običajno je narejen iz različnih vrst peska in gramoza), cementa, vode ter dodatkov (Žitnik idr., 2012).

NEKAJ IZRAZOV IN DEFINICIJ

- **Beton:** gradbeno gradivo, ki nastane z mešanjem cementa, grobega in finega agregata in vode ter (ali brez) dodajanja kemijskih in mineralnih dodatkov. Svoje lastnosti razvije s hidratacijo cementa.
- **Svež beton:** popolnoma premešan beton v stanju, ki ga je še moč zgostiti z izbrano metodo.
- **Strjen beton** je beton v čvrstem stanju, ki je razvil določeno trdnost.
- **Na gradbišču zmešan beton:** na gradbišču ga proizvede uporabnik betona za svojo uporabo.

- **Transportni beton**, ki ga zunaj gradbišča proizvede uporabnik ali pa ga na gradbišču proizvede nekdo, ki ni uporabnik.
- **Normalno težek beton**: njegova suha gostota je večja od 2000 kg/m^3 , vendar ne presega 2600 kg/m^3 .
- **Lahek beton**: njegova suha gostota je večja od 800 kg/m^3 in ne presega 2100 kg/m^3 .
- **Težek beton**: njegova suha gostota je večja od 2600 kg/m^3 .
- **Beton visoke trdnosti**: njegov razred tlačne trdnosti je pri normalno težkem in težkem betonu višji od C 55/67, pri lahkem betonu pa je nad LC 50/55.
- **Projektirani beton**: za ta beton se proizvajalcu predpišejo zahtevane lastnosti in dodatne značilnosti. Le-ta je odgovoren za pripravo zelenega betona.
- **Predpisani beton**: za ta beton se proizvajalcu predpišejo sestava betona in osnovna gradiva, ki jih je treba uporabiti. Le-ta je odgovoren za pripravo betona predpisane sestavine.
- **Standardizirani predpisani betoni**: njihova sestava je podana v standardu, ki velja v kraju uporabe betona.
- **Kemijski dodatek**: snov, ki jo med mešanjem betona dodamo v majhni količini glede na maso cementa, da se spremenijo lastnosti svežega ali strjenega betona.
- **Mineralni dodatek**: fino presejano gradivo, ki ga uporabljamo v betonu za izboljšanje določenih lastnosti.
- **Agregat**: zrnato mineralno gradivo, ki je primerno za uporabo v betonu. Agregati so lahko naravni, umetni ali reciklirani (iz predhodno uporabljenega gradiva za gradnjo).
- **Normalno težek agregat**: njegova suha gostota zrn je večja od 2000 kg/m^3 in manjša od 3000 kg/m^3 .
- **Lahek agregat** je mineralnega izvora, katerega suha gostota zrn je manjša od 2000 kg/m^3 ali katerega nasipna gostota je manjša od 1200 kg/m^3 .
- **Težek agregat**: njegova suha gostota zrn je večja od 3000 kg/m^3 .
- **Cement (hidravlično vezivo)** je fino zmleto neorgansko gradivo, ki zmešano z vodo tvori pasto, ki zaradi reakcij in procesov hidratacije veže in strjuje. Po strditvi tudi pod vodo zadrži svojo trdnost in prostorninsko obstojnost.

- **Vodocementno razmerje** je enako efektivni vsebnosti vode in masne vsebnosti cementa v svežem betonu.
- **Efektivna vsebnost vode** je razlika med celotno količino vode v svežem betonu in vodo, ki jo vpije agregat.
- **Karakteristična trdnost** je pričakovana vrednost trdnosti, kateri ustreza 95 % rezultatov vseh možnih meritev trdnosti na obravnavani količini betona.

5.3 Betonske in armiranobetonske konstrukcije

Betonske in armiranobetonske konstrukcije projektiramo, izvajamo in vzdržujemo ob pogojih in zahtevah, ki jih predpisujejo veljavni pravilniki za tovrstne konstrukcije. Stabilnost in varnost betonskih in armiranobetonskih konstrukcij ter elementov pa lahko določimo tudi s teoretičnimi in eksperimentalnimi dokazi, ki temeljijo na znanstvenih dosežkih. Projektna dokumentacija za betonske in armiranobetonske konstrukcije in elemente vsebuje (Žitnik idr., 2012):

- tehnično poročilo,
- statični račun,
- izvedbene načrte,
- tehnične pogoje pri izvajanju del in kontrolo kakovosti,
- projekt opazovanja in vzdrževanja konstrukcije.

Pri zahtevnejših konstrukcijah pa mora projektna dokumentacija vsebovati še:

- projekt odra,
- projekt montaže.

Pred pripravo ter vgrajevanjem betona v betonske in armiranobetonske elemente in konstrukcije je potrebno izdelati projekt betona (Žitnik idr., 2012).

5.3.1 Beton in požarna odpornost

Za stavbe je z vidika doseganja požarne varnosti ključno, da so projektirane in grajene na takšen način, da njihova nosilna konstrukcija ob požaru zadosten čas ohrani potrebno nosilnost. Pomembno je tudi, da se v največji možni meri omeji hitro širjenje požara. Zato stremimo k uporabi materialov, ki so negorljivi ali vsaj težko vnetljivi ter pri požaru ne oddajo toplote ali strupenega plina in dima. Naloga gradbenih elementov je, da morajo namreč preprečiti prehod

in s tem širjenje plamena in vročih dimnih plinov ter preprečiti prevelik prevod toplote med posameznimi prostori. Prav zato je beton material, ki lahko vsem naštetim kriterijem zadosti ali omogoči njihovo izvedbo. Njegova uporaba v stavbah namreč ponuja visoko stopnjo požarne zaščite in varstva pred požarom. Lastnost, ki jih ima beton v primeru požara, so (Reščič, 2019):

- beton ne gori in ne doprinese k požarni obtežbi,
- beton na nikakršen način ne pripomore k nevarnosti za vžig ali k širjenju požara,
- beton preprečuje širjenje požara in ima visoko odpornost na požar,
- betonski elementi izpolnjujejo kriterij celovitosti (E) in izolativnosti (I) gradbenega elementa ter na tak način omogočajo varno evakuacijo,
- beton ob izpostavljenemu ognju ne oddaja dima in strupenih plinov,
- beton je sam po sebi odporen na ogenj in zato ne potrebuje dodatne zaščite (razen pri predorih in podobnih objektih),
- betonske konstrukcije je po požaru mogoče sanirati in tako ni potrebno rušenje. Prav tako jih voda med gašenjem dodatno ne poškoduje.

Zaradi naštetih lastnosti spada beton med materiale, ki se glede na odziv na ogenj uvrščajo v najvišji razred, to je razred A1. Za razred A1 velja, da material v nobeni fazi požara, niti v polno razvitem požaru, ne prispeva k širitvi oziroma rasti požara in požarni obtežbi. Uporaba betona v požarnovarnostne namene nam tako omogoča, da zaščitimo življenje ljudi, živali in družbo nasploh. S tem varujemo našo lastnino in ščitimo naravo pred posledicami požarov. Lahko rečemo, da je uporaba betona za doseganje požarne odpornosti trajnostna rešitev. Primerjava betona z vidika požarne odpornosti s konstrukcijskima materialoma, kot sta les in jeklo, pokaže na prednosti betona. V praktično vseh poglavitnih kriterijih zagotavlja požarno odpornost. Seveda ima tudi beton svoje omejitve v primeru požarov – med požarom prihaja do luščenja in poškodbe betonov, pa vendar ima kljub temu bistveno boljše karakteristike v primerjavi z drugima gradbenima materialoma (Reščič, 2019).

5.3.2 Beton in trajnostna gradnja

Odpornost betona na požar je le ena v vrsti lastnosti, zaradi katerih je beton najbolj uporaben kot tudi zelo pogosto uporabljan gradbeni material sedanjega časa. Trenutno je beton najobstojnejši gradbeni material, kar ga poznamo. Njegova življenjska doba lahko pri optimalni proizvodnji, vgradnji in ustreznem strokovnem vzdrževanju doseže preko 100 let (prav tam).

Med najpomembnejše prednosti spada zagotovo razpoložljivost in dostopnost betona. Surovine za proizvodnjo betona je mogoče najti po vsem zemeljskem površju, zaradi česar je beton na razpolago v teoretično neomejenih količinah po celotnem svetu. Na koncu njegove življenjske dobe ga lahko ponovno predelamo. Ob ugodnem stanju odpadnega betona lahko del materiala uporabimo kot drobir ali pa kot recikliran granulat iz kamnin za proizvodnjo novega betona. S takšnim načinom ohranjamo tudi dragocene naravne vire (Reščič, 2019).

Tisti del odpadnega betona, ki ni primeren niti kot drobir niti za proizvodnjo novega betona, lahko predelamo v cementarni, kajti kemična sestava betona je enaka sestavi surovega kamna. Ostanke betona lahko tako ponovno uporabimo za proizvodnjo novega betona. Navedeno predstavlja eno pglavitnih prednosti betona v primerjavi z drugimi materiali, saj je njegova proizvodnja praktično mogoča povsod, istočasno pa izrazito lokalna. To se odraža tudi na ceni, ki je očitno nizka (prav tam).

Proces strjevanja betona, v katerem prehaja iz tekoče faze v strjeno obliko, je v osnovi zelo kompleksen pojav, ki ga je mogoče z vidika uporabnika relativno preprosto obvladovati. Betonska mešanica potrebuje samo pogoj, to je temperaturo nad 5 °C, da se v njem prične proces strjevanja. Strjevanje nato steče samo brez potrebnega poseganja v njegov proces. Prav zaradi tako preproste uporabe je beton najbolj dostopen in široko uporaben gradbeni material. Neštete možnosti oblikovanja betona v konstrukcije poljubnih oblik na samem mestu so med vodilnimi gradbenimi materiali edinstvene. Beton, ki ga vgrajujemo v naprej pripravljene opaze, omogoča arhitektom svobodo izražanja. Po drugi strani pa gradbenim inženirjem hkrati dopušča načrtovanje optimalnih dimenzij in razponov konstrukcij. Spojitev obojega se odraža v varnih, trajnih in unikatnih konstrukcijah, ki delajo svetovna mesta med seboj tako različna in posebna. Strjeni beton ni odporen le na ogenj, ampak zagotavlja odpornost tudi na prisotnost vode in zraka, za kar ne potrebuje dodatne zaščite. To daje betonu prednost pred ostalimi gradbenimi materiali – tako s finančnega kot tudi z okoljskega vidika. Kljub temu da je jeklo bistveno trdnjši material, gradnja z lesom in kamnom pa je bila v preteklosti prevladujoči način gradnje, je beton dandanes zaradi omenjenih lastnosti najbolj uporabljen gradbeni material na svetu. Velikih konstrukcij, kot so mostovi, viadukti, podporni in oporni zidovi ter jezovi, si brez betona praktično ni mogoče zamisliti. Hkrati predstavlja optimalno izbiro materiala pri gradnji stavb, stolpnih, hidroloških objektov in celo cest – torej vse temeljne infrastrukture razvite družbe 21. stoletja. Naravne pojave, kot so erozije, plazovi, poplave, vetrovi in potresi, s pomočjo betona kar se da dobro obvladujemo. Z inovativnimi pristopi pri načrtovanju in gradnji

se odpirajo nove priložnosti uporabe betona. V ospredje prihaja vse bolj gradnja pasivnih hiš iz betona, ki izkorišča visoko toplotno kapaciteto betona. Zaradi njegove visoke gostote in toplotne prevodnosti je beton odličen za hranjenje energije. Mestna središča, ki so vse bolj podvržena visokim temperaturam v poletnih mesecih, se zaradi svetle površine betona vse bolj zatekajo k tlakovanjem iz tega materiala. Ekonomična je tudi uporaba drenažnih betonov, ki omogoča lokalno odvodnjavanje vode ter istočasno kroženje le-te. Razvoj betonov poteka tudi v smeri samocelilnih betonov in mikroarmiranih betonov. Slednji betoni imajo zmožnost absorbiranja smoga (Reščič, 2019).

Beton postaja vse bolj in bolj zmogljiv material, kar mu odpira številna nova področja uporabe ter je vse bolj priljubljen in prepoznaven, ne le s konstrukcijskega, ampak tudi z arhitekturnega vidika. Vzporedno s tem pa visoke proizvodne količine betona vedno znova odpirajo vprašanja glede okoljskega vpliva betona. V razpravi o toplogrednih plinih je beton pogosto povezan z emisijami CO₂ pri proizvodnji cementa. Žal je cementna industrija odgovorna za približno 7 % izpustov toplogrednih plinov antropogenega izvora. Doslej pa proces "karbonizacije" ni bil upoštevan, saj med uporabo beton trajno absorbira CO₂ iz zunanjega zraka. Na ta način lahko kompenzira del emisij CO₂, ki jih povzroča proizvodnja cementa. Kot kažejo študije, je to po celem svetu izjemnih 25 do 40 %. Če torej upoštevamo celotni življenjski cikel, je beton podnebju prijazen gradbeni material, ki veliko prispeva k varovanju okolja in podnebja. Študija iz leta 2014 Ecorysa o učinkoviti rabi virov v gradbenem sektorju je bila ena v vrsti tistih, ki je slednje potrdila. Stavbni sektor je prepoznan kot eden najpomembnejših pri doseganju okoljskih ciljev EU. Študija se osredotoča prav na rabo virov, ki so potrebni za gradnjo stanovanjskih, javnih in gospodarskih stavb. Pri ocenjevanju gradbenih materialov in njihovih vplivov na okolje so bili upoštevani kriteriji toksičnosti, potenciala izčrpavanja in potenciala globalnega segrevanja (prav tam).

Podatki o porabi materialov v EU kažejo, da ima beton s skoraj 42 % med konstrukcijskimi materiali nesporen primat. Sledijo mu opeka (6,72 %), jeklo (2,46 %), les (1,57 %), kamen (0,63 %) in steklo (0,35 %). Celotni vpliv materiala na okolje je produkt dejanske porabe materiala in njegovega vpliva na okolje, na enoto mase. Čeprav se za gradnjo stavb porabi kar 15-krat več betona kot vseh kovin skupaj, so rezultati študije pokazali, da je 80 % vplivov na okolje povezanih s proizvodnjo kovin (ob upoštevanju dejanskih deležev recikliranja posameznih materialov). Celotni okoljski vpliv betona (gledano od »zibelke do vrat«) znaša 12 %. Ta zajema kriterije toksičnosti, potencial izčrpavanja in prispevka k globalnemu segrevanju.

Kovine nesporno prevladujejo pri deležu vgrajene energije. Od 1,9 TJ energije, ki je bila leta 2011 porabljena za pridobivanje, predelavo, proizvodnjo, prevoz ter vgradnjo gradbenih materialov, znaša skupni delež pri aluminiju in jeklu 51 %. Tukaj se posebej dobro izkaže beton, ki ima med vsemi gradbenimi materiali najnižjo vgrajeno energijo na enoto teže.

Tudi ob upoštevanju visokih proizvodnih količin betona se na koncu izkaže, da je v beton vgrajene zgolj 16,5 % celotne porabljene energije.

Zaradi visoke porabe betona je ključno, da z njim ravnamo vse bolj učinkovito in trajnostno, kar naša panoga veliko dela že nekaj desetletij. Moderni cementi na račun vključevanja mineralnih dodatkov vsebujejo vse manj klinkerja, zaradi česar CO₂ odtis cementov počasi, a vztrajno pada. Razvoj kemijskih dodatkov nam je omogočil, da se pri proizvodnji betona uporablja vse manj vode. Vse več betona se reciklira in uporablja za proizvodnjo novega betona ali za izdelavo nevezanih plasti cest oziroma spodnjega ustroja ceste. In nenazadnje, beton je trajni material, katerega lahko, ob pravilnem načrtovanju, proizvodnji in vgrajevanju, uporabljamo več stoletij, ne glede na agresivnost do okolja, v katerem se nahaja. Vsi podatki, ki so nam na razpolago, tako kažejo, da nam beton ne omogoča le pogojev za standard, v katerem živimo, ampak je hkrati tudi cena, ki jo za to plačujemo, najnižja. Beton je material, ki združuje vse ciljne usmeritve EU gospodarstva – je trajnosten, učinkovit, krožen in je okolju prijazen material (Reščič, 2019).

6 PRIMERJAVA VGRADNJE MEHKO PREGRADNIH SISTEMOV V X-LAM KONSTRUKCIJE IN V BETONSKE KONSTRUKCIJE

6.1 *Splošni podatki o objektu in njegov opis*

S poslovno-hotelskim objektom Brain@work Klagenfurt se je naše podjetje srečalo spomladi leta 2019, ko smo v njem pričeli z deli iz mehko pregradnih sistemov in konstrukcij iz silikatnih plošč. Stavba naj bi ob končni izgradnji vsebovala 137 hotelskih sob in približno 2000 m² poslovnih prostorov. Etažnost objekta je 2K+P+5 in leži praktično v centru mesta Celovec na avstrijskem Koroškem. Material, uporabljen za gradnjo nosilne konstrukcije, je pretežno beton, delno pa tudi les oziroma X-lam konstrukcije v 5. nadstropju stavbe.



Slika 8: Brain@Work Center Klagenfurt

Vir: (Lastni vir)

6.2 Naloge za izvedbo projekta s strani investitorja

Naloga našega podjetja na objektu je bila zatesniti približno 900 odprtini z mehko pregradnimi sistemi (plošče iz kamene volne). Potrebna je bila tudi izvedba kanalov iz silikatnih plošč za prezračevanje in kot oblogo kovinskih kanalov za prezračevanje. Obloga prezračevalnih kanalov iz silikatnih plošč se izvaja tam, kjer ni mogoče zagotoviti požarnih sektorjev ali jih je potrebno zamakniti. S tem ko se izvede obloga iz silikatnih plošč, se požarni sektor prestavi na točko, kjer je mogoče kanal prestaviti do te mere, da se nanj namesti požarno loputo. Kot vemo, požarne lopute na sistemih prezračevanja oziroma dovoda svežega zraka delujejo tako, da se v primeru požara zaprejo. S tem se prepreči prehod dima in toplote med požarom.

Na objektu smo ob prihodu začeli z zapiranjem prebojev skozi betonsko ploščo med 1. in 2. nadstropjem. Na šolanju našega dobavitelja, ki sem ga imel v sklopu podjetja in projekta v Celovcu, smo obravnavali izvedbo mehko pregradnih sistemov v odprtine iz različnih materialov. Že ob samem začetku projekta smo se srečali s težavami, in sicer so bile odtočne cevi meteornih in odpadnih vod napačno spojene. Spoji plastičnih cevi so bili namreč na nekaterih prebojih nameščeni tik pod stropom armiranobetonske plošče. Ponekod so bila kolena cevi nameščena v samem preboju oziroma v isti ravnini, kot je spodnji del armiranobetonske plošče. Po navodilih proizvajalca se na tako izvedene cevi ne sme namestiti protipožarni trak, saj ne sme biti navit na poševno napeljane cevi in na mesta, kjer je cev spojena. V kolikor cevi ni mogoča drugače napeljati (težave s padci, premalo prostora ...), je potrebno na tako napeljane cevi namestiti požarne manšete, kar pa v takšnem primeru podraži izvedbo preboja.

Število požarnih sektorjev in prebojev je vnaprej določeno in jih je moč razbrati iz načrtov, katere prejmemo posamezni izvajalci. Ker so se lokacije določenih gradbenih elementov in potek različnih inštalacij (prezračevanje, vodovod, kanalizacija ...) med gradnjo spreminjale, smo bili prisiljeni na objektu opraviti nekaj dodatnih del (kar je stalna praksa tudi na drugih gradbiščih). Med drugim smo pod postavko dodatna dela izvedli tudi popravila dodatnih prebojev v že dokončane sisteme iz mineralnih plošč, kar je bila v večini posledica na novo vodenih električnih kablov. Na tej točki je zelo pomembna komunikacija med vodjo gradbišča in izvajalci posameznih del, kot so pri našem delu izvajalci strojnih inštalacij, elektroinštalaterji in izvajalci suhomontažnih sistemov. Takšna komunikacija je pomembna predvsem zato, da se poškodovane preboje čim prej popravi, da lahko naprej opravljajo svojo funkcijo, to je morebitno širjenje požara in prehajanje strupenih plinov v druge prostore. Dodatno smo v kuhinji hotela nad hladilnico izvedli oblogo iz silikatnih plošč na sistemu prezračevanja ter s

tem predstavili požarni sektor. Izvajalec strojnih inštalacij je bil prisiljen prestaviti požarno loputo na sistemu prezračevanja na dostopno mesto za potrebe servisiranja požarne lopute.

6.3 Primerjava debelin sten iz X-lam konstrukcij in betonskih konstrukcij glede na požarno odpornost

Na objektu Brain@work Klagenfurt smo se pri izvedbi del srečali s preboji iz različnih materialov. Pri nosilnih elementih so to bili armirani betoni in X-lam konstrukcije, pri nenosilnih elementih pa konstrukcije iz mavčno-kartonskih plošč in X-lam konstrukcije. Stene iz armiranega betona so bile v večini debele od 20 do 30 cm, stene iz X-lam plošč 14 cm, predelne stene iz mavčno-kartonskih plošč pa debeline 15 cm. Za izvedbo mehko pregradnih konstrukcij je bila na objektu zahtevana požarna odpornost EI 90. V tabeli 2 in 3 so prikazane minimalne debeline konstrukcij glede na zahtevane požarne odpornosti.

V tabeli 2 so razvidne različne požarne odpornosti betonskih plošč in sten. Ob tem je treba poudariti, da veljajo minimalne debeline sten za obojestransko zahtevano požarno odpornost.

Tabela 4: Minimalna debelina betonskih elementov glede na razred požarne odpornosti

NOSILNE BETONSKE PLOŠČE		NENOSILNE BETONSKE STENE		NOSILNE BETONSKE STENE	
Standardna požarna odpornost	Minimalna debelina betonske plošče (mm)	Standardna požarna odpornost	Minimalna debelina betonske stene (mm)	Standardna požarna odpornost	Minimalna debelina betonske stene (mm)
REI 30	60	EI 30	60	REI 30	120
REI 60	80	EI 60	80	REI 60	130
REI 90	100	EI 90	100	REI 90	140
REI 120	120	EI 120	120	REI 120	160
REI 180	150	EI 180	150	REI 180	210
-	-	EI 240	175	REI 240	270

Vir: (Hozjan, 2016)

V tabeli 3 je prikazana minimalna zahtevana debelina X-lam stropnih in stenskih elementov za določene razrede požarne odpornosti. Pri debelinah 120 mm in več so ti elementi sestavljeni iz 5 oziroma 7 slojev lesenih plošč, manjše debeline so sestavljene iz 3 slojev. Mavčno-kartonskih

oblog za doseganje prikazane požarne odpornosti ti elementi ne vsebujejo. Izjema so elementi za doseganje požarne odpornosti EI 120 ob pogoju, da znaša debelina X-lam stropnega elementa najmanj 140 mm, nanj pa je potrebno namestiti dve mavčno-kartonski plošči v debelini 15 mm. Pri stenskih elementih je potrebno obojestransko namestiti mavčno-kartonske plošče 2x15 mm. Ob vsem navedenem ne smemo pozabiti, da podatki veljajo samo za preverjene in določene tipe vgrajenih inštalacijskih materialov po evropskih normativih.

Tabela 5: Minimalna debelina X-lam sten in stropnih elementov glede na razred požarne odpornosti

X-LAM STROPNI ELEMENTI		X-LAM STENE	
Standardna požarna odpornost	Minimalna debelina X-lam stropa (mm)	Standardna požarna odpornost	Minimalna debelina X-lam stene (mm)
-	60	-	60
EI 30	80	EI 30	80
EI 30	90	EI 30	90
EI 60	100	EI 60	100
EI 60	120	EI 90	120*
EI 90	140	EI 90	140*
EI 90	150	EI 90	150
EI 90	160	EI 90	160
EI 90	180	EI 90	180
EI 90	200	EI 90	200
EI 90	220	EI 90	220
EI 90	240	EI 90	240
EI 90	260	EI 90	260
EI 90	280	EI 90	280
EI 90	300	EI 90	300
EI 90	320	EI 90	320
EI 90	340	EI 90	340

* za več detajlov je potrebno kontaktirati proizvajalca

Vir: (Binderholz, 2021)

Iz obeh tabel vidimo, da X-lam konstrukcije same po sebi ne dosegajo požarne odpornosti, kot jih dosegajo betonski elementi. V kombinaciji z mavčno-kartonskimi ploščami pa se X-lam elementi za zahtevano požarno odpornost zelo približajo betonskim elementom, seveda glede na debelino posamezne konstrukcije. To pomeni, da lahko X-lam konstrukcije v kombinaciji z mavčno kartonskimi ploščami nadomestijo betonske elemente. Sicer ne dosegajo takšne požarne odpornosti, kot jo dosega beton, vendar se kljub temu vedno bolj uveljavljajo v gradbeništvu.

6.4 Opredelitev problema v poslovno-hotelskem objektu

Med gradnjo poslovnega kompleksa Brain@work Klagenfurt smo se soočili z določenimi težavami, kar pri večjih projektih ni nikakršna redkost. Naštevam naslednji dve težavi, ki sem ju zaznal med projektom, in ju bom v nadaljevanju podrobno opisal:

- **dostopnost do odprtin;**
- **vgradnja mehko pregradnih sistemov v betonske, X-lam preboje in preboje iz mavčno-kartonskih plošč.**

6.4.1 Dostopnost do odprtin

Velikokrat se naše podjetje na terenu srečuje s problemom, kako dostopati do preboja, bodisi v novogradnjah bodisi v obstoječih objektih. Pri skoraj vsakem projektu, ki ga je do sedaj izvajalo naše podjetje, je obstajal preboj, do katerega ni bilo mogoče dostopati z obeh strani, naj je bil to stropni preboj ali pa stenski. Žal so nekatera mesta tako težko dostopna, da so včasih zaželenne večšine, za katere je potrebno jamarsko znanje in gimnastična spretnost. Dostopnost do odprtin je v največji meri odvisna od prenatrpanosti inštalacij, ki se nahajajo:

- vzdolž skupnih hodnikov (te so največkrat skrite v montažnem stropu oziroma v montažnem podu);
- v vertikalnih jaških;
- v podzemnih predorih, jaških, prehodih;
- v elektro razdelilnih prostorih;
- v strežniških prostorih;
- v strojnicah za vodovodno inštalacijo;

- v prostorih s toplotnimi postajami in podobno.

Prav dostopnost do odprtín je najpogostejši razlog, da nekaterih prebojev v požarnih sektorjih ni moč dokončati ter tako ostanejo delno odprti in na tak način ne opravljajo svoje funkcije.

Pri načrtovanju stavb bi bilo smiselno upoštevati, kako naprave za obratovanje objekta umestiti v za to predvidene prostore, saj pogosto le-te ovirajo dostop do inštalacij, ki potekajo skozi preboje. Inštalacije ponavadi zavzamejo velik del prostora, ki pa je nujno potreben tudi za serviserje, vzdrževalce objektov in za kontrolne obhode. Za primerno dostopanje do prebojev je po moji analizi potrebno zagotoviti odprtine ustrezne velikosti, kot so revizijska vrata in podobne odprtine. Skozi te je moč dostopati do jaškov, visečih stropov. Povprečno velik človek naj bi skozi odprtino 60 x 60 cm brez težav vstopil oziroma zlezel. Pri tem je potrebno upoštevati tudi vnos materiala in orodja skozi odprtino.

Zaradi sodobnih naprav se je zmanjšala velikost strojnic, toplotnih postaj in podobnih prostorov za obratovanje stavb. Posledično se je s tem zmanjšala tudi velikost prebojev za potek inštalacij. Hkrati pa se je povečala količina inštalacij, ki potekajo skozi preboje, tako elektro inštalacij kot tudi strojnih inštalacij. Pri elektroenergetskih inštalacijah se pojavlja vedno več energetskih kablov, telekomunikacijskih kablov, signalnih in krmilnih kablov, podatkovnih kablov, kablov za fotovoltaike in ostalih podobnih vodnikov. Zaradi tega je postala tudi skupna količina električnih vodnikov, ki potekajo skozi preboje, večja, kot je to bilo še ob koncu prejšnjega tisočletja. Enako velja za preboje, skozi katere potekajo strojne inštalacije.

Na mnogih obstoječih objektih je potrebno zgraditi nove stavbe in prizidke za dodatne prostore in kapacitete. Za njihovo obratovanje so potrebne inštalacije, ki potekajo od obstoječih objektov do prizidkov ali samostojnih objektov. Posledično so inštalacije nameščene v podzemnih predorih in jarkih ter izven zemlje oziroma zunaj objektov. Zaradi vseh nujnih inštalacij so potrebni tudi preboji, da lahko električni kabli, vodovodne inštalacije, prezračevalni kanali in podobno, potekajo iz enega prizidka ali objekta v drugega. Preboji morajo biti dovolj veliki, da se lahko vse trenutne in morebitne kasnejše inštalacije brez težav napeljejo skozi ter da je omogočeno normalno gibanje in dostopnost v primeru sanacije. Arhitekti imajo tukaj ključno vlogo pri načrtovanju prostorov in inštalacij, ki potekajo po posameznih prostorih ter nato prehajajo v druge. Zato je pomembna uporaba sodobnih materialov ter nove tehnike vgrajevanja in povezovanja inštalacij.

6.4.2 Vgradnja mehko pregradnih sistemov v betonske, X-lam preboje in preboje iz mavčno-kartonskih plošč

V poslovno hotelskem-objektu je bila primarna naloga našega podjetja, da vgradimo mehko pregradne sisteme v stene in stropove iz treh različnih materialov. Ti materiali so bili: beton, križno lepljene plošče (obložene z mavčno-kartonskimi ploščami) in mavčno-kartonske plošče (za predelne stene in inštalacijske jaške). Prebojev iz slednjega materiala v diplomskem delu ne bom obravnaval, saj sem se osredotočil na preboje skozi betonske in X-lam konstrukcije.

6.4.2.1 Preboji skozi betonske konstrukcije

Brain@work center je novo zgrajen kompleks, zato so bili preboji skozi betonske konstrukcije po večini kvalitetno izvedeni. Po prečnem prerezu je objekt vseboval tri različne oblike prebojev:

- pravokotne;
- kvadratne;
- okrogle.

Številčno in hkrati tudi po velikosti so se največ pojavili preboji pravokotnih oblik.

Okrogli preboji so bili v beton naknadno izvrtani in jih je za ta objekt opravilo specializirano podjetje za tovrstna dela. Slednji so bili po natančnosti izvrtine narejeni zelo dobro, po čistosti same odprtine pa malo manj. Vsebovali so namreč ostanke prahu, pomešanega z vodo, saj se pri vrtanju v beton dodaja voda. Zapiranje tovrstnih prebojev je potekalo brez težav, razen manjšega čiščenja omenjenih ostankov vrtanja.

Preboje pravokotnih in kvadratnih oblik je gradbeno podjetje izvedlo s pomočjo opažev med betoniranjem zidov in plošč. Pravilnost oblik je bila dobra, v nekaterih prebojih so bili prisotni žebli in ostanke lesa zaradi izvedbe opaža. Na splošno je bila na spodnji površini stenskih prebojev prisotna poroznost betona ter nekaj ostankov zaradi odstranjevanja opaža.

Vgrajevanje mehko pregradnih sistemov v vse betonske preboje je potekalo dokaj enostavno, razen pri tistih prebojih, ki so vsebovali žeblje in ostanke lesa. Oboje je bilo treba odstraniti iz odprtine pred vgradnjo mineralnih plošč, kar je zahtevalo dodaten čas. Prisotnost por in lukenj v spodnjem delu odprtin ni predstavljala težav med vgradnjo mineralnih plošč. Posledično je bila kvaliteta vgradnje mineralnih plošč dobra in strokovno izvedena.

6.4.2.2 Preboji skozi X-lam konstrukcije

Prebojev skozi konstrukcije iz križno lepljenega lesa je bilo glede na njihovo število na objektu najmanj. Sami X-lam preboji so bili praktično brezhibno izvedeni, prav tako ni bilo nikakršnih ostankov materiala. Zaradi doseganja primerne požarne odpornosti EI 90 so preboji iz X-lam konstrukcij potrebovali obloge iz mavčno-kartonskih plošč. Po namestitvi le-teh se je kvaliteta odprtih znatno zmanjšala. Žal je bilo zaradi nenatančnih izrezov in glajenja mavčno-kartonskih plošč s fugirno maso potrebnega več truda pri vgradnji mineralnih plošč. Prav tako pa na nekaterih odprtinah vijaki niso bili do konca priviti, prisotni so bili prašni delci, kar je dodatno oteževalo vgradnjo mehko pregradnih sistemov. Da smo na koncu dosegli želeno kvaliteto in strokovnost izvedbe, smo zaradi takšnih pomanjkljivosti potrebovali več dodatnega časa, ki bi ga lahko porabili drugje.

7 UPRAVLJANJE TVEGANJ PRI VGRADNJI MEHKO PREGRADNIH SISTEMOV IZ MINERALNE VOLNE

Pri vgradnji mehko pregradnih sistemov iz mineralne volne se v našem podjetju srečujemo z različnimi tveganji. Med največje tveganje spada možnost za poškodbe pri težko dostopnih odprtinah, saj je le-te potrebno zapreti. Zato je za dostop potrebno uporabiti lestev, gradbeni oder, mobilno dvižno ploščad ali dvižno košaro. Ker delo na višini spada med najnevarnejša dela v gradbeništvu, je potrebno za uporabo slednjih dveh naprav opraviti primerno praktično usposabljanje. Za rokovanje z dvižnimi napravami so potrebna zaščitna oblačila, obutev, rokavice, čelada, v določenem delovnem okolju tudi zaščitna očala in varnostni pas ter vrvica. Pred uporabo dvižne ploščadi ali dvižne košare je potrebno opraviti naslednje:

- pregled lokacije in ocena tveganja,
- izbira ustrezne mobilne dvižne ploščadi oziroma dvižne košare,
- pregled pred samo uporabo,
- izbira osebne varovalne opreme (OVO),
- zadnji hitri pregled pred samo uporabo.

7.1 Tveganja za poškodbe pri vgrajevanju

Med samim vgrajevanjem plošč (če ne upoštevamo dela na višini in težko dostopnih mestih) je tveganje za poškodbe dokaj nizko. V najslabšem primeru se med pripravo oziroma rezanjem plošč lahko porežemo s tapetniškim nožem. Sama vgradnja plošč v odprtine poteka ročno, premaz se opravi s pleskarsko lopatico in pleskarskim čopičem.

Pri namestitvi protipožarnih manšet na betonskih prebojih je možna poškodba s svedrom na akumulatorskem vrtalniku in kladivom za zabijanje kovinskih zidnih vložkov.

7.2 Napake in nepredvideni stroški, ki se pojavijo med vgrajevanjem

Napake so sestavni del opravil tudi v našem podjetju, čeprav težimo k temu, da jih je zelo malo. Naš cilj je opraviti delo kvalitetno, s čim manj popravili oziroma reklamacijami. Stroški popravil so praviloma v Avstriji zelo visoki.

7.3 Izbira primernega dobavitelja materiala (razpoložljivost in ustreznost materialov, certifikati, tehnični listi)

Pri izbiri dobavitelja je potrebno vedno upoštevati naslednje:

- rok dobave materialov,
- ustreznost materialov glede na potrebe in zahteve naročnikov (tehnični listi, certifikati, atesti, izjave o skladnosti, ekološka neoporečnost itd.),
- rokovanje z materiali in zagotavljanje potrebnega orodja.

8 POKLICNA ETIKA V GRADBENIŠTVU

Situacija, v kateri živimo, nas nemalokrat pripelje do nestrpnosti do sodelavcev in sodelujočih pri posameznih projektih. To je lahko povezano z ekonomskimi vplivi, vplivi na varnost in zdravje ljudi, kar se je v zadnjem času pokazalo v primeru pandemije korona virusa. Vse več investorjev je ob tej situaciji prenehalo s svojimi projekti ali pa so se zbal, da projektov ne bi mogli dokončati in so jih na koncu tudi finančno okrnili. Sledile so prekinitve določenih projektov in odpuščanje zaposlenih, saj so se gradbena podjetja zbala, da bi zaradi zmanjšanja naročil narasli njihovi stroški poslovanja. Manjkajoči kader je pripomogel, da se je kakovost gradbenih projektov zmanjšala. Tisti zaposleni, ki so službe obdržali, so morali ob enakih pogojih delati več ali hitreje, kot je bilo to pred pandemijo, kar je privedlo do večje nestrpnosti in posledično vse več napak na gradbenih projektih. Odraz tega so bile napetosti med investitorji in izvajalci, kar je pripeljalo do slabe kakovosti gradbenih projektov.

Največje napake na projektih se pojavljajo takrat, kadar prihaja do nestrpnosti in slabe komunikacije med sodelujočimi. Nestrpnost dodatno narašča s prelaganjem krivde in odgovornosti na druge. Prav tako lahko nejevolja do dela povzroči napetosti med udeleženci znotraj ali zunaj podjetja.

Metode za izboljšanje kakovosti gradbenih projektov je potrebno usmeriti v medsebojno razumevanje in ohranjanje profesionalnosti na tak način, da se vsi udeleženci čim bolj posvetijo svojemu delu. Profesionalnost ohranjamo, kadar v svoje delo verjamemo, ga dovolj kvalitetno opravljamo in smo pri izvajanju le-tega dovolj samozavestni. Znotraj podjetja se dogajajo napetosti, kar se pri posameznikih kaže tudi do ostalih udeležencev gradbenih projektov. Za podjetja bi bilo najidealneje, da bi bili zaposleni dovolj strokovno izurjeni, kar pa vedno ne velja. V nasprotnem primeru je potrebno zaposlene znotraj podjetja redno izobraževati in s tem ohranjati konkurenčnost glede na ostala podjetja. Dodatno je potrebno zaposlene stimulirati, nagrajevati, v okviru podjetja organizirati športno-rekreacijska druženja. Smiselno bi jim bilo omogočiti preživljanje več prostega časa, kot je na primer krajši delovnik za enako visoko plačo, kot da bi delali polni delovni čas. Na tak način bi bili zaposleni koristnejši pri opravljanju službenih nalog znotraj in zunaj podjetja. S takšnim pristopom bo tudi vzdušje znotraj podjetja bolj sproščeno – povečala se bo učinkovitost podjetja. To je lahko ključ do uspeha posameznega gradbenega projekta, saj je strpnost do posameznikov pri medsebojnem sodelovanju še kako pomembna.

9 SKLEP

Pri opravljanju diplomskega dela sem opisal vgradnjo sistemov iz kamene volne za zaščito pred širjenjem požara v poslovno-hotelskem objektu Brain@Work Center v Celovcu. Ugotovil sem, da je požarna varnost vse bolj ključnega pomena, tako z vidika reševanja življenj kakor z vidika reševanja premoženja, kot so oprema, naprave in stroji.

Med pisanjem sem spoznal določene prednosti pri vgradnji mehko pregradnih sistemov v betonske konstrukcije ter tudi njihove slabosti. Prav tako sem ugotovil, da ima prednosti in slabosti vgradnja mehko pregradnih sistemov v X-lam konstrukcije.

Na vgradnjo mehko pregradnih sistemov v opečne zidove se pri izvedbi diplomskega dela nisem osredotočal, saj sem med pisanjem ugotovil, da novogradnje po večini nimajo več odprtin oziroma prebojev iz opečnih materialov. V našem podjetju se z vgradnjo mehko pregradnih sistemov v opečne odprtine srečujemo samo takrat, kadar gre za sanacijo starejših objektov, in pri obstoječih sistemih iz mineralnih plošč ali protipožarnih malt. Opečne zidove v večini dandanes nadomeščajo sistemi iz suhomontažnih plošč, pri katerih je izvedba odprtin oziroma prebojev zelo podobna tistim iz X-lam konstrukcij.

Hipoteze (H1 – H4), ki sem jih pred pisanjem diplomskega dela zastavil, v nadaljevanju navajam in preverjam.

H1: »Požarna varnost stavb postaja vse pomembnejša z vidika varovanja ljudi in živali, zadnja leta pa predvsem premoženja.«

To domnevo lahko potrdim, saj se v okolju, kjer delam, daje vedno večji poudarek na požarno varnost. Skozi leta izkušenj pri izvajanju požarnih pregrad in izobraževanj iz tega naslova sem ugotovil, da je požarna varnost še kako pomembna. Predvsem zato, da se lahko v primeru požara izbruh slednjega omeji v določen prostor ali tako imenovani požarni sektor. V našem podjetju med drugim izvajamo dela v stavbah, kjer je poudarek na požarni varnosti na najvišji ravni. Predvsem so to zdravstvene ustanove, domovi za starostnike, vrtci, šole ter druge podobne javne ustanove in laboratoriji oziroma stavbe, kjer so prisotne kemikalije. Če se osredotočim na javne ustanove, je nevarnost pri izbruhu požara toliko večja, saj se na primer bolniki ali starostniki veliko počasneje (težje) rešijo iz gorečega prostora oziroma stavbe. Kljub vsem sistemom aktivne požarne zaščite, ki jih današnje stavbe premorejo, lahko pride do okvar. Na nekaterih starejših stavbah aktivne požarne zaščite ni, saj se le-ta zaradi stare zakonodaje o

požarni varnosti ni izvedla. Na podlagi tega je še kako pomembno, da se izvajajo fizične požarne zaščite na požarnih sektorjih in se omeji prehod požara v sosednje prostore ali stavbe.

V primeru poslovno-hotelskega objekta smo dela izvedli strokovno in po najnovejši zakonodaji zahtev po požarni varnosti. Res je tudi, da so se med samo izvedbo dogajale napake in nepredvidene situacije, vendar smo na koncu s sodelujočimi izvajalci in naročnikom izvedli vse potrebno. Pomoč na terenu smo dobili od terenskega strokovnjaka na področju požarne varnosti, ki ga je zagotovil naš glavni dobavitelj. Včasih marsikoga slišim reči »Zakaj je to potrebno?« in »Saj tukaj pa ja ne bo nikoli gorelo!« Je že res, da do konkretnih oziroma večjih požarov le redko pride, vendar je potrebno vedeti, da so lahko posledice katastrofalne, če pride do izbruha ognja v objektu brez primerne požarne zaščite. V smislu varovanja življenj in premoženja menim, da je takšen način pristopa k delu in končni izvedbi še kako pomemben. Na podlagi navedenega in pridobljenih izkušenj potrjujem prvo hipotezo (H1).

H2: »Stavbe, grajene iz križno lepljenega lesa, dosegajo presenetljivo visoko požarno odpornost v primerjavi z betonskimi in opečnimi materiali.«

Tudi to domnevo potrjujem, saj nove tehnologije obdelave lesa omogočajo boljšo požarno odpornost lesenih izdelkov. X-lam stena debeline 120 mm dosega enako požarno odpornost (EI 90) kot betonska stena debeline 100 mm. Pred nekaj desetletji bi si težko predstavljali, da bodo novodobne lesene konstrukcije dosegale požarno odpornost, primerljivo z ognjevarnimi materiali, kot je beton. Tudi sam sem bil pred pisanjem diplomskega dela skeptičen, saj nisem bil prepričan v požarno odpornost X-lam konstrukcij. Pri kasnejšem prebiranju literature in nabranih izkušnjah na terenu ter šolanjih sem spoznal, da so X-lam konstrukcije po požarni odpornosti primerljive z betonskimi, opečnimi in mavčno-kartonskimi konstrukcijami. Kljub temu da je les gorljiv material, njegova požarna odpornost ni zanemarljiva. Tudi tiste zgradbe, ki so skoraj v celoti zgrajene iz trajnostnega lesa, zagotavljajo požarno odpornost po najnovejših zahtevah o požarni varnosti. Na podlagi omenjenega v celoti potrjujem drugo hipotezo (H2).

H3: »S premišljenim načrtovanjem stavb in uporabo sodobnih materialov se lahko prihrani na prostoru in pri dostopnosti za kasnejše vzdrževanje.«

Na projektu v poslovno-hotelskem objektu v Celovcu in ostalih večjih gradbiščih sem ugotovil, da je nestrokovno znanje iz požarne varnosti prisotno pri večini izvajalcev. Po mojem mnenju in videnju je krivo to, da se izvajalci premalo udeležujejo šolanj in predavanj na temo požarne varnosti, ki jih organizirajo dobavitelji materialov. Na objektih bi bilo dobro uporabiti sodobne materiale, ki prihranijo na prostoru ter zagotavljajo enostavno in hitro vgradnjo oziroma

montažo, kot so na primer vnaprej izdelani elementi za požarno varnost. Glede na to, da naj bi projektanti poznali najsodobnejše materiale, se jih v praksi žal premalokrat vgrajuje. Po moji presoji je to povezano z denarjem, ki ga ima na voljo naročnik ozirom investitor. V času pisanja diplomskega dela sem ugotovil, da je bolj kot sama prisotnost sodobnih materialov na tržišču ključna uporaba in vgradnja takšnih materialov.

Menim, da bi morali projektanti pri načrtovanju objektov upoštevati odmaknjenost odprtin glede na zidove in nosilne betonske plošče ter njihovo dostopnost. V projektantskih birojih je pomembna komunikacija med posameznimi projektanti, ki so odgovorni za izdelavo načrtov posameznega projekta. Na terenu pa je ključno sodelovanje med odgovornim vodjo projekta, vodstvom gradbišča in posameznimi izvajalci del. Tudi kasnejše namestitve vseh možnih inštalacij pogosto preprečujejo dostop do odprtin v požarnih sektorjih, zato je ključno ustrezno projektiranje strojnih in elektroenergetskih inštalacij. Kljub željam naročnikov, ki včasih precenijo svoje finančne zmožnosti nekega projekta, bi morala sodelujoča stroka zagovarjati uporabo sodobnih materialov za prihranek prostorov. Na podlagi tega v celoti potrjujem tretjo hipotezo (H3).

H4: »Mehko pregradni sistemi se v preboje iz križno lepljenih elementov vgradijo bistveno enostavneje kot v preboje iz betona.«

Na prvi pogled se zdi vgradnja mineralnih plošč v preboje iz X-lam elementov dosti enostavnejša in hitrejša kot pa v preboje iz betona. To drži v primeru, da križno lepljeni elementi ne potrebujejo obloge iz mavčno-kartonskih plošč. Na poslovno-hotelskem objektu v Celovcu so bile zaradi zahtevane požarne odpornosti na X-lam konstrukcije nameščene mavčno-kartonske plošče. Po svojih dosedanjih izkušnjah še nisem videl tako dobro izvedenih prebojev (iz mavčno-kartonskih plošč) kot v X-lam elemente. Zaradi hitrosti izvedbe del in nekoliko slabše kvalitete izvajalca suhomontažnih oblog so bili ti preboji narejeni površneje kot v primeru betonskih elementov. V tem primeru se je izkazalo, da je bila vgradnja mehko pregradnih sistemov v preboje iz betona enostavnejša in hitrejša kot v preboje iz X-lam konstrukcij. Na podlagi tega v celoti zavračam četrto hipotezo (H4).

10 VIRI, LITERATURA

(brez datuma). Pridobljeno iz Lepljen Les: http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/KMLK/Drago/PNKSI/PNKSI_2017_2018/Lepljen%20les%20-%20teorija_DS.pdf

(brez datuma).

Air Fire Tech. (2018). *Rorcol V60 System*. Pridobljeno iz Air Fire Tech: <http://de.oryx.pro/de/product/air-fire-tech-rorcol-v60-system>

Bellis, M. (marec 2019). *The History of Concrete and Cement*. Pridobljeno iz ThoughtCo: <http://www.thoughtco.com/history-of-concrete-and-cement-1991653>

Binderholz. (april 2021). *Brandabschottungen im Holzbau*. Pridobljeno iz Binderholz schließt gemeinsam mit Hilti die „Lücke“ im baulichen Brandschutz: http://www.binderholz.com/fileadmin/user_upload/books/de/brandschutz_im_holzbau/index.html

Bučar, F. (2012). *Rojstvo države*. Ljubljana: Didakta.

Design Build Network. (brez datuma). *Mjosa Tower (Mjøstarnet)*. Pridobljeno iz <http://www.designbuild-network.com/projects/mjosa-tower-mjostarnet/>

Hardt, D., & Frid, J. (2017). *Würth Brandschutz - Systeme*. Avstrija: Würth Handelsges.m.b.H.

Hardt, D., & Frid, J. (2017). *Würth Weichschott AB-Kombi System C2, Technisches Handbuch*. Avstrija: Würth Handelsges.m.b.H.

Hozjan, T. (april 2016). *Požarna varnost v stavbah TSG-1-001:2010: Nosilnost konstrukcije in širjenje požara po stavbi*. Pridobljeno iz https://www.km.fgg.uni-lj.si/predmeti/POZAR/Predavanja/2016/PVS_NK.pdf

http://de.wikipedia.org/wiki/Bauholz#/media/Datei:Expo_2000_Dach_Holzkonstruktion.jpg.

(brez datuma). Pridobljeno iz Bauholz - Wikipedia: http://de.wikipedia.org/wiki/Bauholz#/media/Datei:Expo_2000_Dach_Holzkonstruktion.jpg

- <http://travelnevada.com/historical-interests/hoover-dam/>. (2021). Pridobljeno iz Travel Nevada: iz spletnega mesta <http://travelnevada.com/historical-interests/hoover-dam/>
- <http://www.messe.de/de/event-ausrichten/locations/pavillons/pavillons-32-35-expo-dach/>. (2000). Pridobljeno iz Deutsche Messe, Hannover: <http://www.messe.de/de/event-ausrichten/locations/pavillons/pavillons-32-35-expo-dach/>
- <http://www.metalocus.es/en/news/worlds-tallest-wooden-building-mjosa-tower-voll-arkitekter>. (brez datuma). Pridobljeno iz Metalocus: iz spletne strani: <http://www.metalocus.es/en/news/worlds-tallest-wooden-building-mjosa-tower-voll-arkitekter>
- KG, Adolf Würth GmbH & Co. (2021). <http://www.ais-online.de/firma/adolf-wuerth/produktinformation/brandschutz-schottsysteme-produktuebersicht/11786257/1>. Pridobljeno iz Würth Brandschutz: <http://www.ais-online.de/firma/adolf-wuerth/produktinformation/brandschutz-schottsysteme-produktuebersicht/11786257/1>
- KLH Massivholz. (2019). *Pionier in der Herstellung von Brettsper Holz*. Pridobljeno iz KLH Unternehmen: <http://www.klh.at/unternehmen>
- Kušar, D. (oktober 2012). *Slide ToDoc*. Pridobljeno iz Zgradbe in požar 2. del: http://slidetodoc.com/presentation_image/0bcd45759d2676651a51aa893b7633f3/image-13.jpg
- Lastni vir. (brez datuma).
- Mühlendahl, D. M. (2. julij 2020). *Allum*. Pridobljeno iz Gesundheitsrisiken: <https://www.allum.de/stoffe-und-ausloeser/asbest-und-kuenstliche-mineralfasern/gesundheitsrisiken>
- Nemanič, K. (11. april 2007). *Kamena in steklena, podobnosti in razlike*. Pridobljeno iz Delo in dom - Gradnja in obnova: <https://deloindom.delo.si/enostanovanjske-hise/kamena-steklena-podobnosti-razlike>
- prav tam. (brez datuma).
- Rešič, L. (2019). Beton in trajnostna gradnja, Beton in požarna odpornost. (str. 98). Ljubljana: ZBS Združenje za beton Slovenije.

- Rockwool. (2017). *Rockwool*. Pridobljeno iz Kot recikliranje, samo najboljše: <https://www.rockwool.si/nase-razmisljanje/trajnostnost-in-kroznost/upcycling/>
- Scheer, C., & Mandy, P. (2009). *Holz Brandschutz Handbuch*. Berlin: Ernst & Sohn.
- Tech, A. F. (2016). Brandschutzsysteme. Avstrija.
- Topdom. (2020). *Topdom*. Pridobljeno iz Toplota: <https://topdom.si/streha-od-a-do-z/izolacija/>
- Žitnik idr., D. (2012). *Gradbeniški priročnik*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.