

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

Balistická odolnost obvodového pláště dřevostavby

Diplomová práce

Autor: Bc. Martin Holenda, DiS.

Vedoucí práce: Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.

2021

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Martin Holenda, DiS.

Dřevařské inženýrství

Název práce

Balistická odolnost obvodového pláště dřevostavby

Název anglicky

Ballistic resistance of wooden building envelope

Cíle práce

Cílem práce je návrh a stanovení účinnosti balistické odolnosti vybraných nosných obvodových konstrukcí stěn dřevostaveb pro obytné účely. Balistická odolnost je stanovena průkaznými balistickými testy dle metodického postupu platných norem. Výsledky testů budou zdokumentovány i vizuálně.

Metodika

- Literární rešerše způsobů balistické ochrany dřevostaveb a postupů balistických zkoušek
- Metodický postup testování balistické odolnosti
- Realizace zkoušek stanovení balistické odolnosti
- Výsledky a vyhodnocení
- Závěr

Doporučený rozsah práce

60 – 80 stran

Klíčová slova

Dřevo; balistika; obvodový plášť; dřevostavba

Doporučené zdroje informací

- Borgström, E. Design of Timber Structures: Structural Aspects of Timber Construction. SE 102 04 Stockholm: Swedish Forest Industries Federation, 2016. ISBN 978-91-980304-8-8
- Gulvanessian, H., Calgaro, J.A., Holický, M. Designers' Guide to Eurocode: Basis of Structural Design: EN 1990. 2nd ed. London: ICE Publishing, 2012. ISBN 9780727741714
- Kolb, J. Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. 2, aktualiz. vyd. v České republice. Přeložil Bohumil Koželouh. Praha: Grada, 2011. ISBN 9788024740713
- Kuklík, P. Dřevěné konstrukce. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2005. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 8086769720
- Neufert, E., Neufert, P. Navrhování staveb: zásady, normy, předpisy o zařízeních, stavbě, vybavení, nárocích na prostor, prostorových vztazích, rozměrech budov, prostorech, vybavení, přístrojích z hlediska člověka jako měřítka a cíle. 2. české vyd., (35. německé vyd.). Praha: Consultinvest, 2000. ISBN 8090148662
- Newman, M. Design and Construction of Wood Framed Buildings, New York: McGraw-Hill Education, 1994. ISBN 978-0070463639
- Sanborna, K., Gentrya, T.R., Kochb, Z., Valkenburgb, A., Conleyb, C., Stewart, L.K. Ballistic Performance of Cross-laminated Timber (CLT). International Journal of Impact Engineering 128 (2019). pp 11-23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2018.11.007>
- Sanborn, K., Risen, B., Gentry, R., Stewart, L. Ballistic Performance of Enhanced Cross-laminated Timber (ECLT). WIT Transactions on The Built Environment 180 (2018), ISSN 1743-3509. DOI:10.2495/SUSI180241
- Štoller, J., Dvořák, P. Field Tests of Cementitious Composites Suitable for Protective Structures and Critical Infrastructure, Key Engineering Materials 722 (2017), ISSN: 1662-9795. pp 3-11. DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.722.3
-

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 25. 2. 2020

Ing. Radek Rinn

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 14. 3. 2020

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 09. 04. 2021

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Balistická odolnost obvodového pláště dřevostavby** vypracoval samostatně pod vedením Ing. Přemysla Šedivky, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze 18.4.2021

.....

Podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych rád poděkoval Ing. Přemyslu Šedivkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, pomoc při realizaci a dokumentování provedených zkoušek, bez čehož by tato práce mohla jen těžko vzniknout. Dále Ing. Miroslavu Sedleckému, Ph.D. za zdokumentování zkoušek vysokorychlostní kamerou. Také Oldřichu Vackovi za rady a pomoc v oblasti zbraní a střeliva. Dále pak přítelkyni Adéle Shánělové a rodině za podporu během studia.

Firmám DŘEVOSTAVBY BISKUP s.r.o., M.T.A s.r.o. a FERMACELL (James Hardie Europe GmbH) patří dík za poskytnutí materiálů na výrobu vzorků obvodových plášťů dřevostaveb.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá zjišťováním balistické odolnosti obvodového pláště dřevostavby, návrhem opatření, které přispějí k zvýšení balistické odolnosti obvodových plášťů dřevostaveb a porovnáním zjištěných balistických vlastností s vlastnostmi zděných konstrukcí, cihlářských výrobků a dalšími stavebními materiály.

Klíčová slova: dřevo, balistika, obvodový plášť, dřevostavba, balistická odolnost

ABSTRAKT

The aim of this work is to set up ballistic resistance of wooden structure walls. Design solution to increase ballistic resistance of wooden structure walls. Compare determined ballistic properties of wooden structure walls with brick walls and common building materials.

Key words: wood, ballistic, wooden structures walls, wooden buildings, ballistic resistance

OBSAH

1	ÚVOD	11
2	CÍLE PRÁCE	12
3	LITERÁRNÍ REŠERŠE	13
3.1	REŠERŠE NOREM ZABÝVAJÍCÍ SE BALISTICKOU ODOLNOSTÍ	15
4	HISTORIE	16
5	MATERIÁL	18
5.1	POUŽITÉ ZBRANĚ	19
5.2	STŘELIVO	23
5.3	CHRONOGRAF	27
5.4	VYSOKORYCHLOSTNÍ KAMERA	28
5.5	METODIKA VÝBĚRU KONSTRUKCÍ	29
5.6	TESTOVANÉ KONSTRUKCE	30
5.6.1	Sloupkové konstrukce	32
5.6.2	Panelové konstrukce z masivního dřeva	36
5.6.3	Srubová konstrukce	41
6	METODIKA	42
6.1	METODIKA ZKOUŠENÍ TBO DLE ČSN 39 5360	42
6.1.1	Úprava metodiky zkoušení TBO	43
6.2	METODIKA HODNOCENÍ TBO PODLE ČSN 39 5360	44
6.3	PRŮBĚH ZKOUŠEK	46
7	VÝSLEDKY	47
7.1	SLOUPKOVÁ KONSTRUKCE	48
7.2	PANELY Z MASIVNÍHO DŘEVA	57
7.3	SRUBOVÁ KONSTRUKCE	63
7.4	BALISTICKÁ ODOLNOST ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ A STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ	66
8	DISKUZE	71
8.1	ZKUŠEBNÍ RÁŽE	71
8.2	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ S PŘIHLÉDNUTÍM K ABSENCI PRŮRAZU KONTROLNÍ DESKY	71
8.3	APLIKACE V PRAXI	75
8.4	DALŠÍ MOŽNOSTI ZVÝŠENÍ BALISTICKÉ ODOLNOSTI	75
9	ZÁVĚR	76
10	SUMMARY	78
	SEZNAM LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ	80
	PŘÍLOHY	83

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Dřevostavby postavené v roce 2019 podle konstrukce. Zdroj dat: ADMD	29
Tabulka 2 Podmínky pro jednotlivé třídy balistické ochrany. Zdroj: ČSN 39 5360.....	44
Tabulka 3 Výsledky provedených zkoušek vyhodnocené podle ČSN 395360 Zdroj: autor	65
Tabulka 4 Výsledky zkoušek podle Koubka Zdroj dat: Koubek.....	66
Tabulka 5 Výsledky zkoušek podle Frinty Zdroj dat: Frinta.....	67
Tabulka 6 Výsledky zkoušek podle Navrátila Zdroj dat: Navrátil.....	68
Tabulka 7 Výsledky zkoušek podle Panáčka Zdroj dat: Panáček	69
Tabulka 8 Souhrn výsledků zkoušek ostatních autorů včetně interpretace navazujících výsledků Zdroj dat: více autorů	70
Tabulka 9 Vyhodnocení výsledků s přihlédnutím k absenci průrazu kontrolní desky Zdroj: autor	72
Tabulka 10 Souhrn výsledků zkoušek zděných konstrukcí a cihlářských výrobků Zdroj dat: více autorů.....	73
Tabulka 11 Souhrn výsledků stavebních materiálů Zdroj: více autorů	73

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Opakovací puška ZKM 451. Foto: autor	19
Obrázek 2 Samonabíjecí pistole VZ. 52. Foto: autor	19
Obrázek 3 Samonabíjecí pistole Llama X–A. Foto: autor.....	20
Obrázek 4 Samonabíjecí pistole Glock 19. Foto: autor.....	20
Obrázek 5 Opakovací puška Rossi Puma 870. Zdroj: Braztech International, L.C., Inc. ..	20
Obrázek 6 Puška PPSH – 41. Foto: autor	21
Obrázek 7 Samonabíjecí puška SA vz. 58. Foto: autor	21
Obrázek 8 Samonabíjecí puška L1A1 Foto: autor.....	21
Obrázek 9 Jednoranová puška Baikal IŽ-18 MN. Zdroj: Artemis Trade.....	22
Obrázek 10 Samonabíjecí puška PSL Romak. Foto: autor	22
Obrázek 11 Opakovací puška Mossin Nagant. Foto: autor	22
Obrázek 12 Opakovací brokovnice Maverick M88. Foto: autor.....	23
Obrázek 13 Použité kulové střelivo. Foto: autor	26
Obrázek 14 Použité brokové střelivo v porovnání s kulovým nábojem 7,62x39. Foto: autor.....	27
Obrázek 15 Chronograf Caldwell. Zdroj: Next company	28
Obrázek 16 Vysokorychlostní kamera Fast Cam Mini Zdroj: Phorton.....	28
Obrázek 17 Skladba č. 1 Zdroj: autor.....	32
Obrázek 18 Skladba č. 1.1 Zdroj: autor.....	33
Obrázek 19 Skladba č 1.2 Zdroj: autor.....	34
Obrázek 20 Skladba č. 1.3 Zdroj: autor.....	35
Obrázek 21 Skladba č. 2 Zdroj: autor.....	36
Obrázek 22 Skladba č. 3 Zdroj: autor.....	37
Obrázek 23 Skladba č. 3.1 Zdroj: autor.....	38
Obrázek 24 Skladba č. 3.2 Zdroj: autor.....	39
Obrázek 25 Skladba č. 3.3 Zdroj: autor.....	40
Obrázek 26 Skladba č. 4 Zdroj: autor.....	41
Obrázek 27 Schéma zkoušecí sestavy Zdroj: NIJ STD 0101.04. autorský překlad	43
Obrázek 28 Zkoušecí sestava s vysokorychlostní kamerou pohled zředu. Foto: Přemysl Šedivka.....	46

Obrázek 29 Pohled zezadu na vzorek uchycený v rámu s vysokorychlostní kamerou za ochranným plexisklem. Foto: Přemysl Šedivka	46
Obrázek 30 Skladba č. 1 TBO 1 zadní strana. Foto: autor	48
Obrázek 31 Skladba č. 1.1 TBO 5 CZ průrazy kontrolní desky Foto: autor	49
Obrázek 32 Skladba č. 1.2 zadní strana vzorku TBO 5 CZ Foto: autor	50
Obrázek 33 Skladba č. 1.2 TBO 5 CZ střely extrahované z vrstvy betonu Foto: autor	51
Obrázek 34 Skladba č. 1.2 TBO SG fragmentovaná vrstva betonu po demontáži sádrokartonu Foto: autor	52
Obrázek 35 Porovnání nevystřeleného náboje a deformovaných střel s plastovými ucpávkami Foto: Přemysl Šedivka	52
Obrázek 36 Skladba č. 1.3 TBO 7 CZ pohled na parotěsnou fólii po demontáži keramické dlažby Foto: autor	53
Obrázek 37 Skladba č. 1.3 TBO 7 CZ poškozené střely extrahované z vrstvy betonu Foto: autor	54
Obrázek 38 Skladba č. 3.1 záběr vysokorychlostní kamery, průstřel vzorku dříve použitého pro zkoušky TBO 7 CZ (na fotografii je zachycen osmý nehodnocený výstřel provedený na použitém vzorku) Foto: Miroslav Sedlecký	54
Obrázek 39 Skladba č. 1.3 TBO SG popraskaná betonová dlažba po demontáži vnější vrstvy sádrokartonu Foto: autor	55
Obrázek 40 Skladba 1.3 TBO SG podhled na vnitřní vrstvu sádrokartonu, strana přivrácená k betonové dlažbě Foto: autor	56
Obrázek 41 Skladba 1.3 TBO 4 CZ záběr z vysokorychlostní kamery dopad střely na keramickou dlažbu Foto: Miroslav Sedlecký	56
Obrázek 42 Skladba č. 3 TBO 4 CZ průstřely kontrolní desky	58
Obrázek 43 Skladba č. 3 TBO 4 CZ odklon střelného kanálu od kolmice v Dekpanelu. Foto: autor	58
Obrázek 44 Skladba č. 3.1 TBO 6 deformované střely extrahované z vrstvy betonu Foto: autor	59
Obrázek 45 Skladba 3.3 TBO 5 CZ jádra střel deformovaná o vrstvu keramické a betonové dlažby Foto: autor	60
Obrázek 46 Skladba 3.3 TBO 5 CZ pláště střel zastavené ve vrstvě dřevovláknité izolace Foto: autor	61

Obrázek 47 Skladba č. 3.3 TBO 6 značně deformované střely extrahované z vrstvy Dekpanelu Foto: autor	61
Obrázek 48 Skladba č. 3.3 TBO 7 CZ deformované jádra střel extrahované z vrstvy Dekpanelu Foto: autor	62
Obrázek 49 Skladba č. 3.3 TBO 7 CZ pláště střel zastavené ve vrstvě dřevovláknité izolace Foto: autor.....	62
Obrázek 50 Skladba č. 4 TBO 7 CZ detail výtrže způsobený pootočenou střelou, pohled kolmý na osu střelby Foto: autor	63
Obrázek 51 Skladba č. 4 TBO 7 CZ zadní strana vzorku s patrnými výtržemi dřevních vláken Foto: autor	64
Obrázek 52 Skladba č. 4 TBO SG střela s plastovou zátkou zdeformovaná průchodem přes spoj sрубů Foto: autor	64

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

AČR – Armáda České republiky

C.I.P. – „Commission Internationale Permanente pour les épreuves des armes a feu portatives“ Mezinárodní stálá komise pro zkoušení ručních palných zbraní pro civilní potřebu

ČSN – česká státní norma

DIN – Deutsche Industrie-Norm, německá národní norma

DVI – dřevovláknitá izolace

FMJ – full metal jacket, celoplášťová střela

fps – frames per second – snímková frekvence udávající počet snímků za sekundu

ft/s – foot per second – rychlost udávaná ve stopách za sekundu ($1 \text{ ft/s} = 0.3048 \text{ m/s}$)

HB – jednotka tvrdosti podle Brinella

KCE – konstrukce

PČR – Policie České republiky

SDK – sádrokarton či sádrokartonová deska

STANAG – Standardization Agreement - standardizační dohoda mezi státy NATO

TBO – třída balistické ochrany

TBO SG – třída balistické ochrany brokových ráží

V2,5 – rychlost střely ve vzdálenosti 2,5 m od ústí hlavně

7,62x25; 6,62x39; 7,62x51 – metrický formát pro označení ráže zbraně, průměr střely x délka náboje udávaná v mm, označení používané zejména u ráží vyvíjených v zemích s metrickým systémem

.22LR; .223rem; 308win; .357 magnum – imperiální formát označení ráže zbraně, průměr střely v palcích a doplňkové označení, používané zejména u ráží vyvíjených v zemích využívající imperiální jednotky

1 ÚVOD

Bezpečnostní situace ve světě se postupně mění k horšímu. Ve Spojených státech amerických roste nejistota ohledně politického vývoje, která se projevuje nárůstem prodaných zbraní. Postupně se zhoršují politické vztahy s Ruskem a Čínou. V Evropě se v posledních letech odehrálo mnoho teroristických útoků. Teroristické útoky se často odehrávají v zastavěných oblastech nebo jsou zaměřeny na měkké cíle. Jejich zabezpečení bude brzy zásadní otázkou. V současnosti v Evropě prožíváme nejdelší období míru, což je jistě důvod, proč nejsou při stavbě veřejných budov, ani rodinných domů brány ohledy na balistickou odolnost stěn staveb.

V průběhu obou světových válek byly budovy vystaveny válečné vřavě a mnohdy poskytl úkryt civilnímu obyvatelstvu i vojsku v průběhu bojů. Ve střeoevropském prostředí se jednalo především o budovy kamenné, zděné a hrázděné. Dnes preferované zdící materiály a sloupkové dřevostavby tímto křtem neprošly.

Ve své diplomové práci navazuji na poznatky získané v bakalářské práci s názvem *Odolnost obvodových stien drevostavieb proti priestreľu* (Holenda 2019), ve které jsem se zabýval zjišťováním balistické odolnosti některých obvodových stěn dřevostaveb proti průstřelu. Dále jsem se v bakalářské práci zabýval vlivem keramického obkladu a betonové dlažby na balistickou odolnost konstrukce obvodové stěny dřevostaveb.

V diplomové práci se zabývám zkoušením obvodových plášťů dřevostavby. Dále se zaměřuji na návrh balisticky odolné sloupkové konstrukce, která vyhoví i nejvyšším požadavkům normy. V diplomové práci chci nalézt odpovědi na otázku, jakou ochranu dokáží poskytnout moderní dřevostavby.

Podíl dřevostaveb na trhu je nyní 15% a v budoucnu se dá se očekávat podíl až 34%. Dřevostavby jsou v současnosti z 80% stavěny systémem lehkého rámového skeletu (ADMD, 2021). Překážkou pro střelu jsou tedy vrstvy izolace, a několik konstrukčních desek. Rozdíl vlastností dřeva a cihel či betonu je patrný i laikovi. Mohou vůbec v tomto porovnání dřevostavby obstát? Pokud ne, dokážeme účelným vrstvením běžně dostupných stavebních materiálů zvýšit balistickou odolnost dřevostaveb? Bude možné získané poznatky aplikovat přímo do praxe? Jinými slovy, jsou dřevostavby neprůstřelné? Pokud nejsou, je možné je jako neprůstřelné navrhnout? To jsou otázky, které mne zajímají a pokusím se na ně v diplomové práci najít odpovědi.

Mojí motivací pro toto téma jsou má dlouholetá studia dřeva a dřevěných konstrukcí, sportovní střelba, které se ve volném čase věnuji a záliba v historii vojenství 20. století.

2 CÍLE PRÁCE

Cílem práce je experimentálně stanovit balistickou odolnost běžných konstrukcí obvodových plášťů dřevostaveb. Navrhnout zesílení skladby konstrukce obvodových plášťů dřevostaveb tak, aby vyhověly i nejnáročnějším požadavkům balistické odolnosti. Při návrhu konstrukce zohlednit technologii montáže a prefabrikace dřevostavby. Balistickou odolnost stanovit průkaznými balistickými testy dle metodického postupu platných norem. Výsledky testů zdokumentovat i vizuálně. Porovnat zjištěnou odolnost obvodových konstrukcí dřevostaveb se zděnými konstrukcemi, zdíci materiály a dalšími stavebními materiály.

3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

V knize Terminální balistika¹ seznamuje Jaroslav Buchar (2003) čtenáře s oblastmi výzkumu modelů mechanického chování materiálů, empirickými rovnicemi a analytickými modely. Dále zde autor uvádí výsledky výzkumu vybraných aplikací řešené experimentálně nebo numericky.

V českém prostředí probíhá aktivní vývoj a výzkum balistických materiálů. Příkladem může být patent Technické univerzity v Liberci číslo CZ2016140A3. Ten spočívá v kombinaci fólií, oxidů hliníku a karbidu křemíku a je zaměřen na výrobu balistické ochrany jednotlivce².

Dalším příkladem může být výzkum Marka Foglara z ČVUT zaměřený na účinky výbuchu na železobetonové mostní konstrukce s názvem „Výbuchová odolnost železobetonových prvků a prvků z vláknobetonu“.

Dále pak článek „Využití přetvárných vlastností vláknobetonu pro zvýšení odolnosti staveb proti zatížení výbuchem“ jehož autorem je Jiří Štoller.

Článek popisující zkoumání balistických vlastností dřeva a cihel s názvem „Effects of the impact of 7.62 mm small-arms projectiles on various building materials“ od kolektivu autorů J. Kratochvíl, O. Koutný a M. Drdlová. Tito autoři zkoumali úbytek energie střely po průchodu určitou tloušťkou materiálu. Zkoušeno bylo měkké, tvrdé dřevo a cihly různých tloušťek.

Zkoumáním balistické odolnosti CLT panelů, za účelem zpřesnění matematických modelů, se zabývají i práce v zahraničí. Například práce „Ballistic Performance of Cross-Laminated Timber (CLT)“ kolektivu autorů z United States Military Academy ve Westpointu.

Zvýšením balistické odolnosti CLT panelů pomocí vložení se zabýval výzkum „Ballistic performance of enhanced cross-laminated timber (ECLT)“. Ten proběhl na Georgia Institute of Technology. Do vzorků pětivrstvých CLT panelů byly vlepny vrstvy různých materiálů. Zkoušeny byly CLT panely s vrstvou otěruvzdorných plechů³, tažených plechů, uhlíkové oceli skelných a aramidových vláken⁴.

¹ Odvětví balistiky zabývající se chováním projektilu po zásahu cíle.

² Balistická ochrana jednotlivce je obecně označována jako neprůstřelná vesta či přilba.

³ Jedná se o konstrukční plech, známých spíše pod obchodními názvy HARDOX či ARAMOX. Používá se na otěrem namáhané části těžké stavební techniky a jako tvrdá balistická vložka do „neprůstřelných“ vest.

⁴ Mezi materiály z aramidových vláken patří například tkaniny známé pod obchodními názvy KEVLAR, TAWRON či NOMEX.

Dále se zkoušením balistické odolnosti zděných konstrukcí a stavebních materiálů zabývali autoři několika diplomových prací, které budu v diplomové práci zmiňovat. Tito autoři použili zkušební metodiku odvozenou z ČSN 39 5360.

NAVRÁTIL, Michal (2011). Posouzení odolnosti vrstvených desek na bázi dřeva proti proražení.

KOUBEK, Jiří (2012). Posouzení odolnosti vybraných stavebních prvků proti průstřelu z ručních palných zbraní.

FRINTA, Petr (2013). Účinky střeliva systematizovaného u Policie České republiky na vybrané stavební materiály.

PANÁČEK, Roman (2017). Bezpečnostní studie balistické odolnosti vybraných materiálů.

Práce výše zmíněných autorů byly zaměřeny na stanovení balistické odolnosti stavebních materiálů. Nevěnovali se však stanovení balistické odolnosti obvodových plášťů dřevostaveb. Zkoušen byl jen samotný materiál CLT. Při stanovení balistické odolnosti CLT byla použita jiná metodika, proto není možné výsledky vzájemně porovnat.

Ve své bakalářské práci jsem se zabýval stanovením balistické odolnosti obvodových stěn dřevostaveb. Při experimentech byla použita zkušební metodika odvozená z ČSN 39 5360.

HOLENDA, Martin. (2019) Odolnosť obvodových stien drevostavieb proti priestreľu.

3.1 REŠERŠE NOREM ZABÝVAJÍCÍ SE BALISTICKOU ODOLNOSTÍ

V evropském prostředí platí od října 1998 soubor evropských norem, které se zabývají požadavky na balistickou odolnost oken, dveří, rolet a skla.

Jedná se o normy:

- ČSN EN 1522 Okna, dveře, uzávěry a rolety – Odolnost proti průstřelu – požadavky a klasifikace
- ČSN EN 1522 Okna, dveře, uzávěry a rolety – Odolnost proti průstřelu – Zkušební metody
- ČSN EN 1063 Sklo ve stavebnictví – Bezpečnostní zasklení – zkoušení a klasifikace odolnosti proti střelám

Tyto normy nahradily dřívější ČSN 39 5360 „Zkoušky odolnosti ochranných prostředků, Zkoušky odolnosti proti střelám, střepinám a bodným zbraním, Technické požadavky a zkoušky“ vydanou v lednu 1996. Přesto, že tato norma byla nahrazena normami ČSN EN zmíněnými výše, je stále používána, protože je považována za univerzální. ČSN 39 5360 lze fakticky aplikovat na libovolný předmět, který má sloužit jako balistická ochrana. Tato norma umožňuje jak zkoušení ochranných prostředků nošených na těle (ochranné vesty, přilby), tak i prostředků nenošených na těle (přepážky, příčky, dveře a skla). Univerzální je také díky možnosti volby ze dvou různých ráží zbraně, zpravidla je výběr z ráže „západní“ a „sovětské“. Dále norma nabízí možnosti zkoušení odolnosti proti bodnutí nožem či účinku střepin. Normy ČSN EN sice připouští zkoušení jinými rážemi, než zde uvedenými, ale vylučují klasifikaci do tříd balistické odolnosti podle těchto norem. Pro účely diplomové práce byla zvolena metodika normy ČSN 39 5360. A to z důvodu porovnání výsledků předchozích výzkumů.

Další normy zabývající se problematikou balistické odolnosti jsou obvykle orientovány na konkrétní ochranný prostředek – balistické vesty, přilby, pancéřování vozidel nebo vrtulníků a jsou cíleny na použití v ozbrojených složkách. Jedná se například o normy:

- DIN 52290 Teil 2 Angriffhemmende Verrglasungen
- AK II Technische Richtlinie. Schutzwesten
- STANAG 2920
- NIJ Standard 0101.06 Ballistic Resistance of Body Armor
- NIJ Standard 0108.01 Ballistic Resistant Protective Materials

4 HISTORIE

Terminální balistika se ve svých počátcích nejprve zaměřovala na zkoumání balistické odolnosti dřeva. To se v 17. století používalo pro stavbu lodí a opevnění. První studií, která se dochovala, je nejspíš práce, kterou sepsal John Greaves. Ten v roce 1651 provedl experimenty, při kterých vystřeloval z lodního děla železnou koule o hmotnosti cca 15 kg na terče z dubu a jilmu o tloušťce 19 palců (48 cm) (Buchar 2003, s. 22).

V 18. a 19. století byly zkoumány vlastnosti cihelných a kamenných konstrukcí. Získané poznatky byly využity při stavbě pevností, jako je například pevnost v Josefově. Běžná konstrukce stropu pevnosti byla v té době tvořena cihelnou konstrukcí tloušťky 1,5 m s vrstvou zeminy tloušťky 2,5 m (Hobst 2003, s. 24). Na konci 19. století došlo ke zdokonalení konstrukce dělostřeleckých zbraní. Ty dokázaly pomocí granátů ráže 210 mm s 19 kg trhaviny tyto doposud běžné stropní konstrukce prorazit. V průběhu první světové války docházelo k zesilování stropních konstrukcí stávajících pevností z 18. a 19. století pomocí betonu tloušťky 1,5–2 m (Hobst 2003, tamtéž).

V meziválečném období se výzkum a vývoj soustředil na beton a železobeton. Na základě výzkumu, který pro vojenskou správu prováděl odborník na beton prof. Ing. Stanislav Bechyně, došlo k vyvinutí portlandského cementu specifické receptury. Tento cement byl následně označen jako speciální „A“ cement. Výsledky výzkumu byly reflektovány v ČSN 1093–1935 „Předpisy o betonových stavbách a vojenských předpisech. Ředitelství opevňovacích prací“. Poznatků bylo využito při výstavbě pohraničního opevnění. Tloušťka stropu běžného řadového opevnění typu A byla 60 cm (Hobst, 2003, s. 25).

Tyto poznatky se uplatnily také při budování vojenských objektů a krytů civilní obrany v období studené války.

Skutečný rozvoj terminální balistiky však nastal až s nástupem výpočetní techniky a moderních měřících přístrojů a možností modelování reakcí materiálů na vnější síly způsobené účinkem střel a výbuchů (Buchar, 2003).

Na začátku 21. století se vývoj ochrany budov zaměřil na odolnost staveb proti zatížení výbuchem a nárazy. Došlo k tomu v reakci na teroristické útoky v New Yorku, Londýně, Madridu a Istanbulu. Současné zkoumání balistické odolnosti se věnuje zejména betonu s příměsí polypropylenových vláken a jeho chování při zatížení výbuchem (Foglar, 2010).

V roce 2018 byl publikován výzkum z oblasti balistické odolnosti dřevostaveb. Ten proběhl se vzorky pětivrstvých CLT panelů s vloženou vrstvou ořezavých plechů, tažených plechů, uhlíkové oceli skelných a aramidových vláken. (Sanborn, 2018). Dále byla v roce 2019 zkoumána balistická odolnost dřeva, respektive CLT panelů s cílem zpřesnit matematické modely.

5 MATERIÁL

V následujících kapitolách práce je uveden přehled zbraní použitých pro testy balistické odolnosti. Dále jsou popsány způsoby výběru střeliva pro testování konkrétní třídy balistické odolnosti. Popsána jsou i další použitá zařízení jako chronograf a vysokorychlostní kamera.

V kapitole 5.3 jsou uvedeny a popsány skladby obvodových plášťů dřevostaveb, skladby obvodových plášťů dřevostaveb a navrženým zesílením, které byly testovány.

5.1 POUŽITÉ ZBRANĚ

Opakovací puška ZKM 451

- ráže .22 LR
- délka hlavně 585 mm
- použita pro zkoušení TBO1.



Obrázek 1 Opakovací puška ZKM 451.
Foto: autor

Samonabíjecí pistole Vz. 52

- ráže 7,62x25 Tokarev
- délka hlavně 120 mm
- použita pro zkoušení TBO 2 CZ.



Obrázek 2 Samonabíjecí pistole VZ. 52.
Foto: autor

Samonabíjecí pistole Llama X-A

- ráže 9 mm Luger
- délka hlavně 125 mm
- použita pro zkoušení TBO 2.



Obrázek 3 Samonabíjecí pistole Llama X-A.
Foto: autor

Samonabíjecí pistole Glock 19

- ráže 9mm Luger
- délka hlavně
- použita pro zkoušení TBO 2.



Obrázek 4 Samonabíjecí pistole Glock 19.
Foto: autor

Opakovací puška Rossi Puma 870

- ráže .357 Magnum
- délka hlavně 405 mm.
- použita pro zkoušku TBO 3.



Obrázek 5 Opakovací puška Rossi Puma 870.
Zdroj: Braztech International, L.C., Inc.

Samonabíjecí puška PPSH-41

- ráže 7,62x25 Tokarev
- délka hlavně 265 mm
- použita pro zkoušení TBO 2 CZ a TBO 4 CZ.



Obrázek 6 Puška PPSH – 41.
Foto: autor

Samonabíjecí puška SA vz. 58

- ráže 7,62x39
- délka hlavně 390 mm
- použita pro zkoušení TBO 5 CZ



Obrázek 7 Samonabíjecí puška SA vz. 58.
Foto: autor

Samonabíjecí puška L1A1

- ráže 7,62x51 NATO
- délka hlavně 555 mm
- použita pro zkoušení TBO 6



Obrázek 8 Samonabíjecí puška L1A1
Foto: autor

Jednoranová puška Baikal IŽ-18 MN

- ráže 7,62x51 (.308 win)
- délka hlavně 600 mm
- použita pro zkoušení TBO 6



Obrázek 9 Jednoranová puška Baikal IŽ-18 MN.
Zdroj: Artemis Trade

Samonabíjecí puška PSL Romak

- ráže 7,62x54R
- délka hlavně 620 mm
- použita pro zkoušení TBO 7 CZ



Obrázek 10 Samonabíjecí puška PSL Romak.
Foto: autor

Opakovací kulovnice Mossin Nagant

- ráže 7,62x54R
- délka hlavně 729 mm
- použita pro zkoušení TBO 7 CZ



Obrázek 11 Opakovací puška Mossin Nagant.
Foto: autor

Opakovací brokovnice Maverick M88

- ráže 12GA
- délka hlavně
- použita pro zkoušení TBO SG



Obrázek 12 Opakovací brokovnice Maverick M88.
Foto: autor

5.2 STŘELIVO

Před zkouškou byla pozornost zaměřena na výběr vhodného střeliva. Cílem bylo najít takové střelivo, které bude odpovídat požadavkům ČSN 39 5360 uvedeným v tabulce číslo 2. Volba střeliva proběhla na základě porovnání technických parametrů, oficiálně uvedených výrobcí v technických listech. U střeliva, kde nebylo možné dohledat informace o materiálu a váze střely, byla provedena delaborace⁵ střeliva. U delaborovaného střeliva byla následně přesně stanovena hmotnost střely pomocí vážení. Materiál střely byl zjištěn pomocí destruktivní metody. Následně byla stanovena rychlost střely vystřelené ze zbraně příslušné ráže. Konkrétní střelivo bylo vybíráno následujícími způsoby.

TBO 1

Pomocí chronografu byla měřena desítka různých výrobců a typů nábojů ráže .22 LR. Za vyhovující byly vybrány náboje firmy Aquila super extra .22LR, které vykazaly průměrnou rychlostí 307,5 m/s na pěti kontrolních výstřelech. Hmotnost, materiál a tvar střely odpovídá požadavkům ČSN. Vybrané střelivo splnilo požadavky ČSN.

TBO 2

Vyžaduje pistolové střelivo ráže 9 mm Luger. Zde byla předpokládána nižší rychlost, než požaduje norma. A to z důvodu použití samonabíjecích pistolí. U tohoto typu zbraní je hlaveň kratší a část energie výstřelu je spotřebována k pohybu závěru zbraně směrem vzad

⁵ Delaborace je postup, při kterém se zneškodňuje či znehodnocuje střelivo.

a následnému nabití zbraně. V tomto případě proběhlo měření rychlosti střel několika výrobců. Z nich bylo následně vybráno střelivo 9 mm Luger od výrobce Fiocchi s průměrnou rychlostí 356,5 m/s na pěti kontrolních výstřelech. Hmotnost, materiál a tvar střely odpovídá požadavkům ČSN. Vybrané střelivo splnilo požadavky hmotností, tvarem střely a materiálem. Je však v průměru o 43,5 m/s pomalejší, než požaduje ČSN. Střelivo nesplňuje požadavky na rychlost. Jelikož samonabíjecí pistole v ráži 9 mm Luger je jednou z nejvíce rozšířených zbraní mezi střeleckou veřejností, policií i armádou rozhodl jsem se tuto kombinaci zbraně a ráže použít.

TBO 2 CZ

Zde bylo vycházeno z informací, výrobce střeliva firmy Sellier & Bellot, který je výrobcem střeliva ráže 7,62x25 Tokarev. Výrobce uvádí rychlost V_0 566 m/s (Sellier & Bellot, 7,62x25 Tokarev). Rychlost byla ověřena před samotnou zkouškou pěti kontrolními výstřely s průměrnou rychlostí 467,5 m/s. Naměřená rychlost je v toleranci 470 ± 10 m/s, kterou požaduje ČSN. Střela má hmotnost, materiál a tvar odpovídající požadavkům ČSN.

TBO 3

Zde bylo vycházeno z informací výrobce střeliva .357 Magnum. Firma Sellier & Bellot, uvádí rychlost V_0 385 m/s (Sellier & Bellot, 357 Magnum). Rychlost byla ověřena pěti kontrolními výstřely s průměrnou rychlostí 430,5 m/s. Naměřená rychlost je v toleranci 430 ± 10 m/s požadovanou ČSN.

TBO 4 CZ

V tomto případě je vyžadováno ocelové jádro střely. Takové náboje se dnes běžně nevyrábí. Tento požadavek ovšem splňuje vojenské střelivo 7,62x25 Tokarev, které odpovídá požadavkům C.I.P.⁶. Pro zkoušky byly vybrány náboje se značením na dnu nábojnice „aym 53“. Tyto náboje byly vyrobeny Povážskými strojírnami v roce 1953. Náboje byly delaborovány a bylo ověřeno, že obsahují střelu s železným jádrem⁷. Poté byla na jedenácti kontrolních výstřelech změřena rychlost, jejíž průměr byla 545,5 m/s.

⁶ C.I.P. je zkratka pro „Commission Internationale Permanente pour les épreuves des armes a feu portatives“ - Mezinárodní stálá komise pro zkoušení ručních palných zbraní pro civilní potřebu.

⁷ Aby byla zachována stejná hmotnost střely, musí být střela s ocelovým jádrem delší, než střela s jádrem olověným. Proto je možné střely s ocelovým jádrem rozpoznat podle délky. To je dáno rozdílem hustoty ocele a olova. Dále lze přítomnost železného jádra ověřit magnetem.

Z jedenácti výstřelů došlo v pěti případech k chybě měření. Naměřená rychlost je v toleranci 550 ± 10 m/s požadovanou v ČSN. Chyba měření byla s největší pravděpodobností způsobena nepříznivými světelnými podmínkami nebo průletem nevyhořelého prachu hradly chronografu⁸.

TBO 5 CZ

Vyžaduje výkonné střelivo ráže 7,62x39 s železným jádrem střely. Tomu požadavku odpovídá vojenské střelivo splňující standardy C.I.P. Střelivo bylo vybráno měřením různých výrobců. Jako vhodné se se ukázaly náboje se značením na dnu nábojnice „31 70“. Tyto náboje byly vyrobeny, pravděpodobně firmou Norinco Beijing, v Číně v roce 1970. Přítomnost ocelového jádra byla ověřena destrukcí delaborované střely. Průměrná naměřená rychlost na šesti kontrolních výstřelech byla 715,4 m/s. Materiál a váha střely jako i naměřená rychlost je v toleranci 710 ± 10 m/s požadovanou ČSN.

TBO 6

Vyžaduje výkonné střelivo ráže 7,62x51 s olověným jádrem. Tomuto požadavku odpovídá střelivo litevského výrobce GGG, který uvádí rychlost $V_{24} 823 \pm 15$ m/s. (Giraites Ginkluotes Gamykla, GGG 7.62×51 mm nato ball cartridges). Rychlost střely byla ověřena šesti kontrolními výstřely s průměrnou rychlostí 822,9 m/s. Naměřená rychlost je v souladu s požadavkem ČSN v toleranci 830 ± 10 m/s.

TBO 7 CZ

Požaduje výkonné střelivo 7,62x54R s ocelovým jádrem. Tomuto požadavku odpovídá vojenské střelivo ve standartu C.I.P. V této ráži jsem měl k dispozici střelivo jediného výrobce. Podle značení na dnu nábojnice „61 75“ se jedná pravděpodobně o náboje vyrobené v závodě „Munička číslo 61“ v Číně v roce 1975. Při čtyřech kontrolních výstřelech byla naměřena průměrná rychlost 878,5 m/s. Naměřená rychlost je v toleranci 860 ± 10 m/s požadovanou ČSN.

⁸ U starého střeliva může vlivem špatného skladování dojít k navlhnutí střelného prachu. Ten po iniciaci úplně neshoří a část nevyhořelého prachu proletí hradly chronografu, který jej vyhodnotí jako chybu. Mnou použité náboje byly vyrobeny v Československu v roce 1953. Lze tedy tento scénář považovat za možný.

TBO SG CZ

Požaduje brokové střelivo ráže 12/70 se střelou Brenneke. Střela Brenneke je olověná střela tvaru dutého válce, na jehož otevřeném konci je osazena plastová zátka, která střelu stabilizuje během letu⁹. Tomuto požadavku nejvíce odpovídá střelivo Special Slug výrobce Sellier & Bellot. Váha střely je o 1 g vyšší než požaduje norma. Výrobce udává rychlost střely V_0 420 m/s (Sellier & Bellot, Special Slug). Na čtyřech kontrolních výstřelech byla naměřena průměrná rychlost 410,5 m/s, což je v toleranci 420 ± 10 m/s, které požaduje ČSN.



Obrázek 13 Použité kulové střelivo.

Foto: autor

Zleva: TBO 1 - .22LR, Aquila Super Extra; TBO 2 - 9 mm Luger, Fiocchi; TBO 2 CZ - 7,62x25, Sellier & Bellot; TBO 3 - .357 Magnum, Sellier & Bellot; TBO 4 CZ - 7,62x25 Povážské strojírný (ocelové jádro); TBO 5 CZ - 7,62x39 Norinco (ocelové jádro); TBO 6 - 7,62x51 GGG; TBO 7 CZ - 7,62x54R Munička 61 (ocelové jádro)

⁹ Brokové zbraně mají zpravidla hladký vývrt hlavně. Tedy nedochází k roztočení střely při průchodu hlavní a její následné stabilizaci za pomoci rotace.



Obrázek 14 Použité brokové střelivo v porovnání s kulovým nábojem 7,62x39.
Foto: autor

Zleva: náboj ráže 7,62x39 použitý pro zkoušení TBO 5 CZ v porovnání s brokovým nábojem s jednotnou střelou použitým pro zkoušení TBO SG CZ, Sellier & Bellot Special Slug.

5.3 CHRONOGRAF

Je zařízení sloužící k měření rychlosti střely. Při testování byl použit typ Caldwell Ballistic Precision Chronograph s těmito parametry:

- Přesnost měření $\pm 0,25$ %.
- Jednotky měření m/s nebo ft/s.
- Rozsah měření 1,5 až 3050 m/s.
- Délka měřeného úseku 500 mm.
- Zobrazení rychlosti střely na displej chronografu, nebo v mobilní aplikaci.

Na displeji chronografu se rychlost zobrazuje se zaokrouhlením na celá čísla. Aplikace, která zaznamenává výsledky, měří rychlost s přesností na dvě desetinná místa.



Obrázek 15 Chronograf Caldwell.
Zdroj: Next company

5.4 VYSOKORYCHLOSTNÍ KAMERA

Při zkouškách byla vysokorychlostní kamera použita k zaznamenání účinku střel na testovanou konstrukci u některých kontrolních výstřelů. K zaznamenání kontrolních výstřelů bylo použito snímání rychlostí 8 000–20 000 fps. Byla použita vysokorychlostní kamera Fastcam Mini UX s těmito parametry:

- Rychlost snímání při plném rozlišení 4 000 fps
- Maximální rychlost snímání 800 000 fps

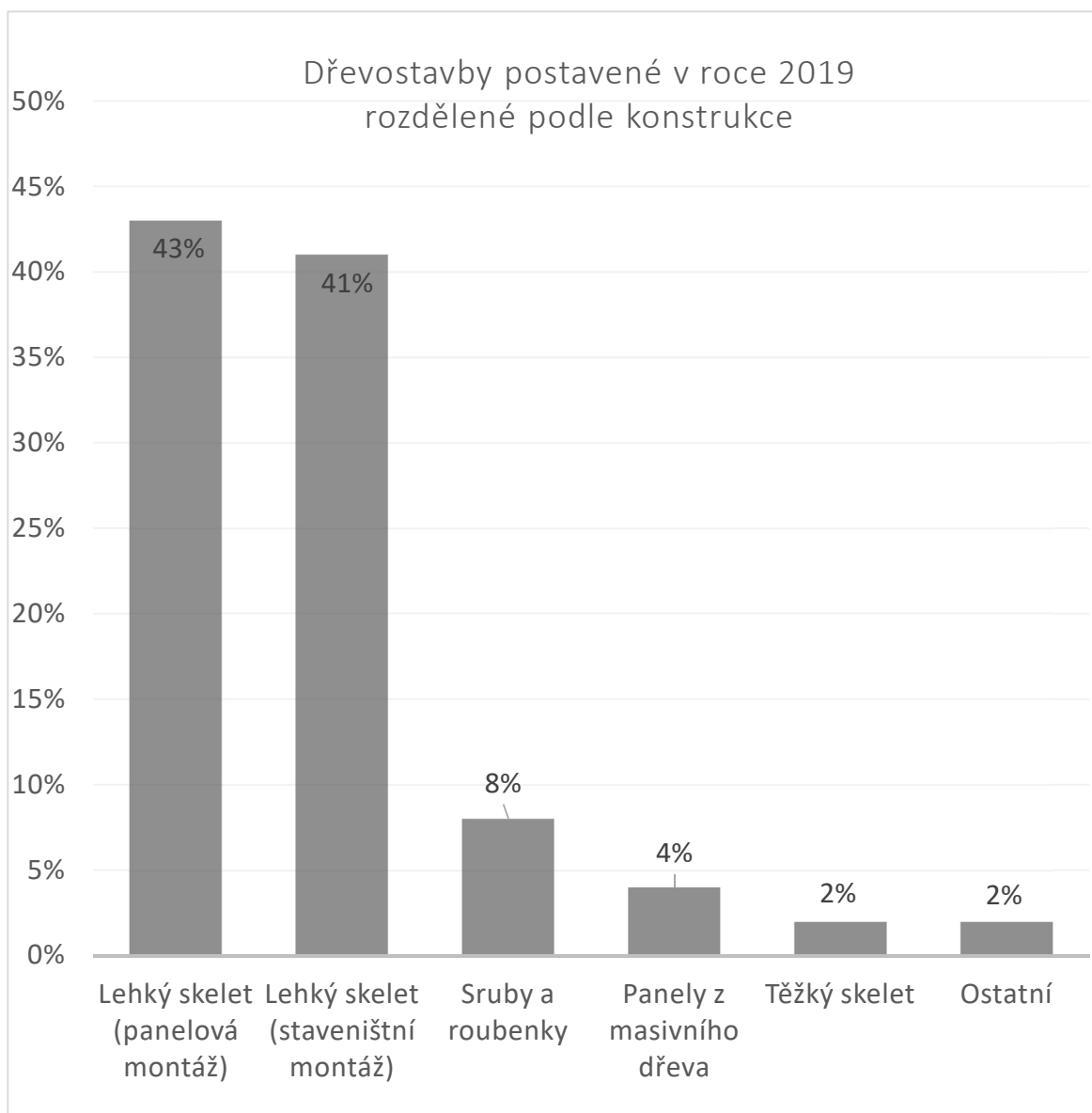


Obrázek 16 Vysokorychlostní kamera Fast Cam Mini
Zdroj: Phorton

5.5 METODIKA VÝBĚRU KONSTRUKCÍ

Skladby stěn byly vybrány s ohledem na počet dřevostaveb realizovaných v daném konstrukčním systému v roce 2019. V roce 2019 bylo dokončeno 18 390 domů s nosnou konstrukcí na bázi dřeva.

Tabulka 1 Dřevostavby postavené v roce 2019 podle konstrukce.
Zdroj dat: ADMD



5.6 TESTOVANÉ KONSTRUKCE

V rámci diplomové práce byly testovány běžně používané skladby obvodových plášťů dřevostaveb, a to skladby sloupkových, panelových a srubových konstrukcí. Dále byly navrženy zesílené skladby, jež byly odvozeny od běžně používaných skladeb obvodových plášťů dřevostaveb. Tyto zesílené skladby byly rovněž testovány.

Zesílené skladby byly navrženy tak, aby bylo možné předpokládat zvýšení balistické odolnosti obvodového pláště dané skladby. Tomu odpovídaly materiály zvolené na zesílení skladeb. Opatření byla navržena z keramické dlažby na fasádě, betonové dlaždice vložené do instalační předstěny nebo kombinace obou zmíněných (Holenda, 2019).

Skladby sloupkové konstrukce

- Skladba č. 1
Sloupková konstrukce s kontaktním zateplovacím systémem na bázi polystyrenu.
- Skladba č. 1.1
Sloupková konstrukce s kontaktním zateplovacím systémem na bázi polystyrenu a keramickou dlažbou na fasádě.
- Skladba č. 1.2
Sloupková konstrukce s kontaktním zateplovacím systémem a betonovou dlažbou v instalační předstěně.
- Skladba č. 1.3
Sloupková konstrukce s kontaktním zateplovacím systémem na bázi polystyrenu, keramickou dlažbou na fasádě a betonovou dlažbou v instalační předstěně.

Skladby panelové konstrukce z masivního dřeva

- Skladba č. 2
Masivní panel s kontaktním zateplovacím systémem na bázi polystyrenu.
- Skladba č. 3
Masivní panel se zateplovacím systémem na bázi dřevovláknité izolace s provětrávanou fasádou.
- Skladba č. 3.1
Masivní panel se zateplovacím systémem na bázi dřevovláknité izolace s betonovou dlažbou v instalační předstěně.

- Skladba č. 3.2

Masivní panel se zateplovacím systémem na bázi dřevovláknité izolace s provětrávanou fasádou a obložením z keramické dlažby.

- Skladba č. 3.3

Masivní panel se zateplovacím systémem na bázi dřevovláknité izolace s provětrávanou fasádou, obloženou keramickou dlažbou a betonovou dlažbou v instalační předstěně.

Srubová konstrukce

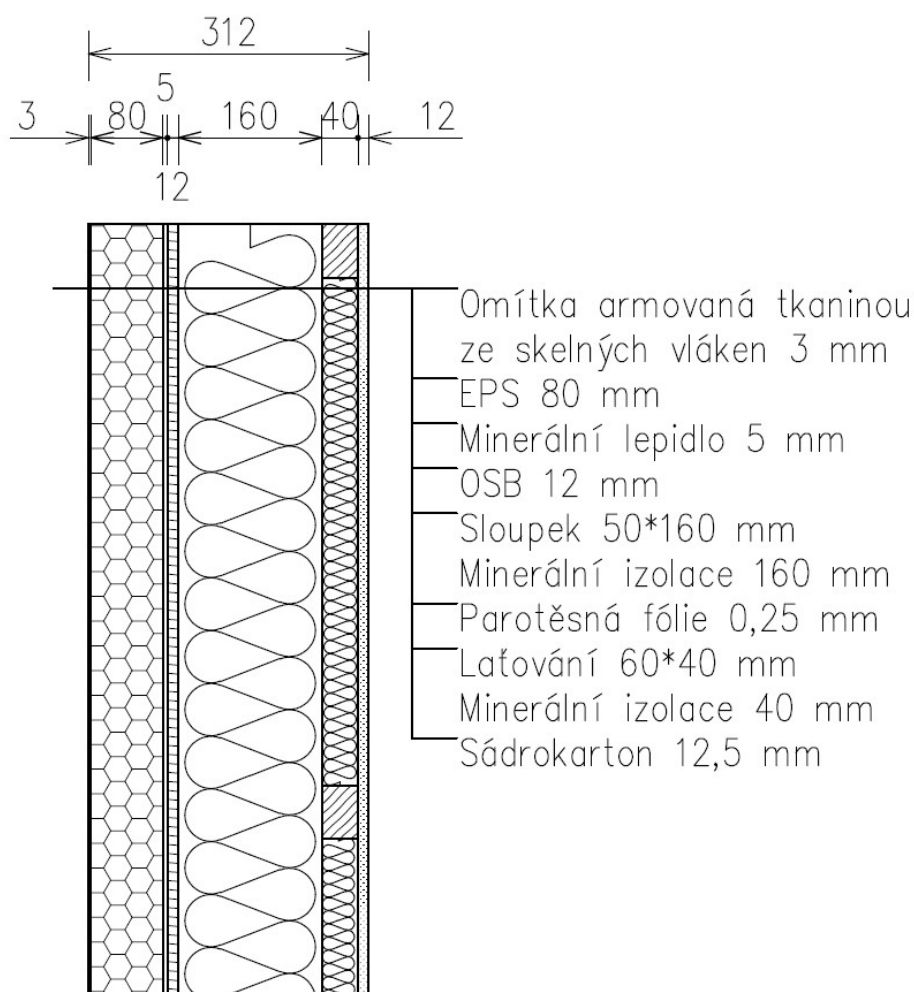
- Skladba č. 4

Tradiční srubová konstrukce z vysušené smrkové kulatiny.

5.6.1 SLOUPKOVÉ KONSTRUKCE

Sloupková konstrukce s kontaktním zateplovacím systémem na bázi polystyrenu.

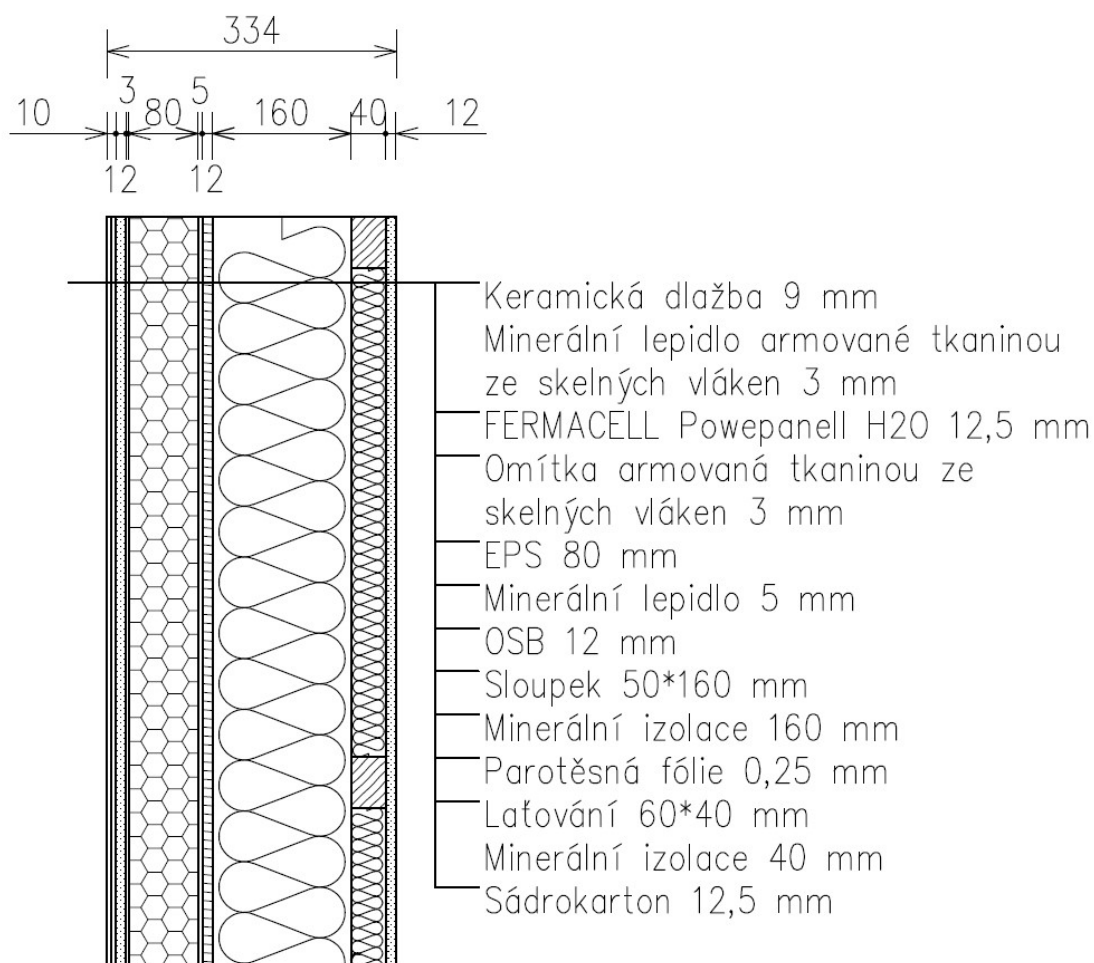
Skladba č. 1 je sloupková konstrukce s kontaktní zateplovacím systémem z polystyrenu. Celková tloušťka 312 mm. Formát vzorku 1250x1250 mm. Vzorek této velikosti bylo možné rozdělit do čtyř zón velikosti čtverce o formátu 625x625 mm a v každé části zkoušet jinou TBO (Holenda 2019, s. 29). Vyroben byl jeden vzorek pro zkoušky všech tříd balistické odolnosti.



Obrázek 17 Skladba č. 1
Zdroj: autor

Sloupková konstrukce s kontaktním zateplovacím systémem na bázi polystyrenu a keramickou dlažbou na fasádě.

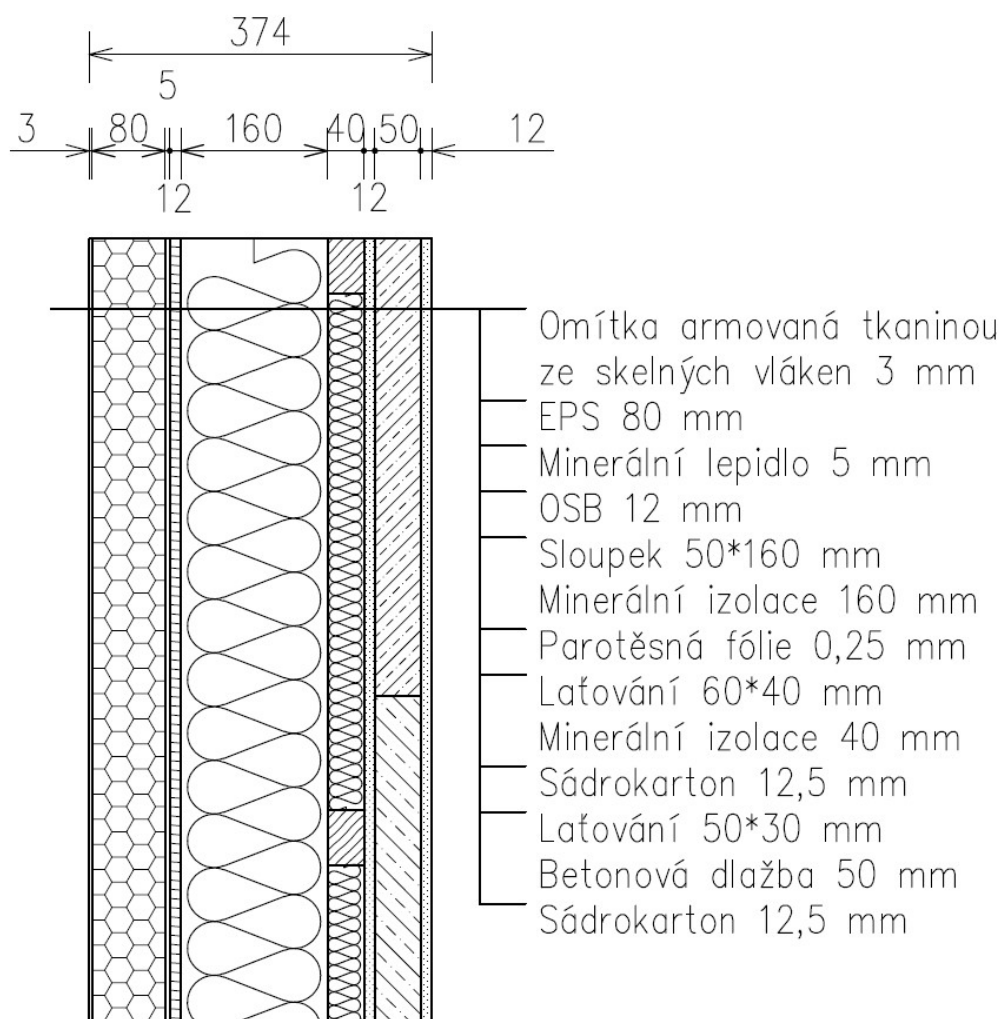
Skladba č. 1.1 je sloupková konstrukce s kontaktní zateplovacím systémem z polystyrenu s cementovláknitou deskou FERMACELL Powerpanell H2O na fasádě. Na desku byla minerálním lepidlem připevněna keramická dlažba. Deska s dlažbou byla přepravována odděleně a na konstrukci byly připevněny pomocí vrutů před provedením testu. Formát vzorku 625x625 mm. Pro zkoušky byly vyrobeny dva samostatné vzorky. Celková tloušťka konstrukce 334 mm (Holenda 2019, s. 38).



Obrázek 18 Skladba č. 1.1
Zdroj: autor

Sloupková konstrukce s kontaktním zateplovacím systémem a betonovou dlažbou v instalační předstěně.

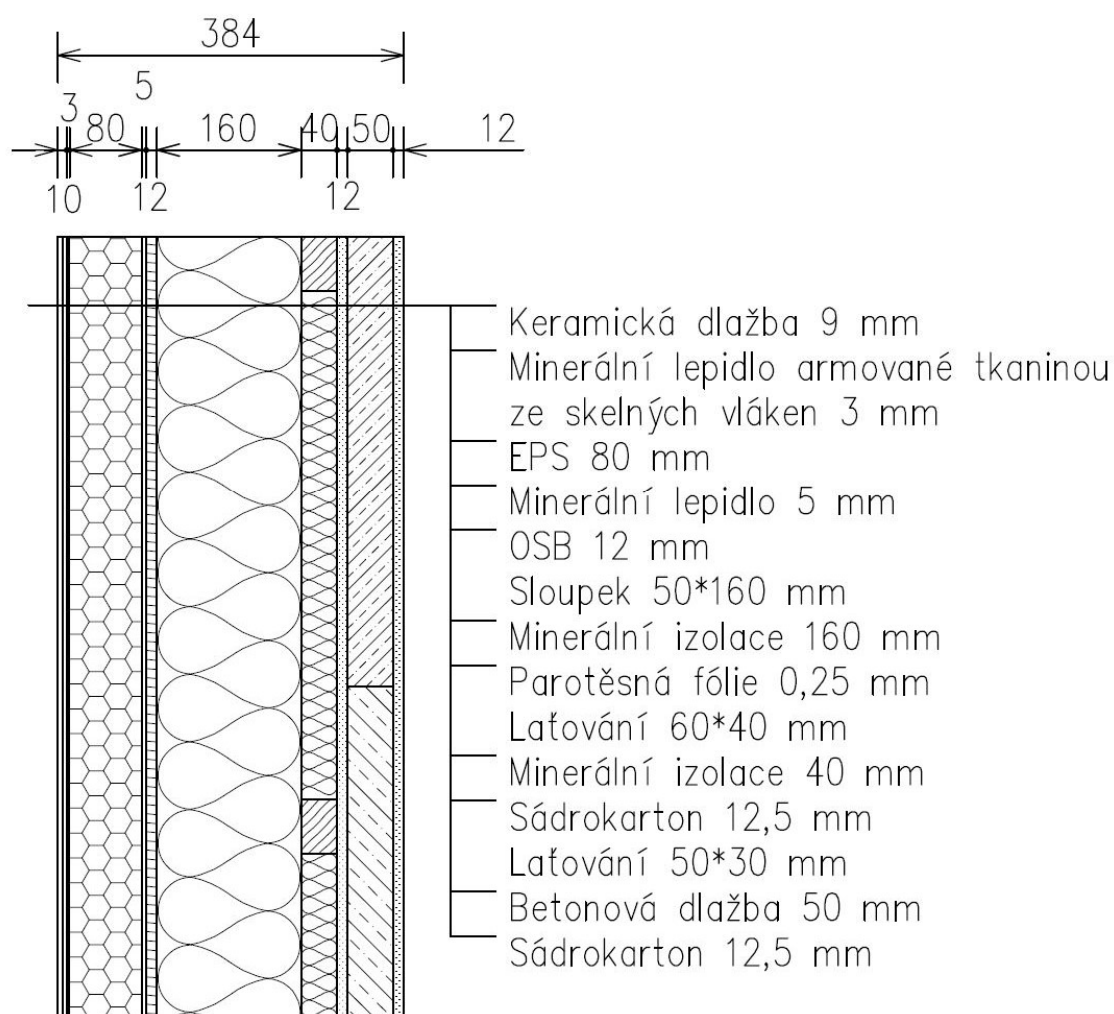
Skladba č. 1.2 je sloupková konstrukce s kontaktním zateplovacím systémem na bázi polystyrenu. Na vnitřní obložení ze sádrokartonu bylo přidáno laťování. Rozestupy mezi latěmi byly vyplněny betonovou dlaždicí tloušťky 50 mm. Laťování bylo opláštěné sádrokartonovou deskou. Formát vzorku 625x625 mm. Celková tloušťka konstrukce 374 mm (Holenda 2019, s. 39). Pro zkoušky byly vyrobeny dva samostatné vzorky.



Obrázek 19 Skladba č 1.2
Zdroj: autor

Sloupková konstrukce s kontaktním zateplovacím systémem, keramickou dlažbou na fasádě a betonovou dlažbou v instalační předstěně.

Skladba č. 1.3 sloupková konstrukce s kontaktním zateplovacím systémem z polystyrenu, keramickou dlažbou na fasádě. Na vnitřní stranu konstrukce na vrstvu obložení ze sádkartonu byla přidána instalační předstěna. Do instalační předstěny byla vložena betonová dlaždice tloušťky 50 mm a překryta sádkartonovou deskou tloušťky 12,5 mm. Rozměr vzorku 625x625 mm. Celková tloušťka konstrukce 384 mm. Pro zkoušky byly vyrobeny dva samostatné vzorky.

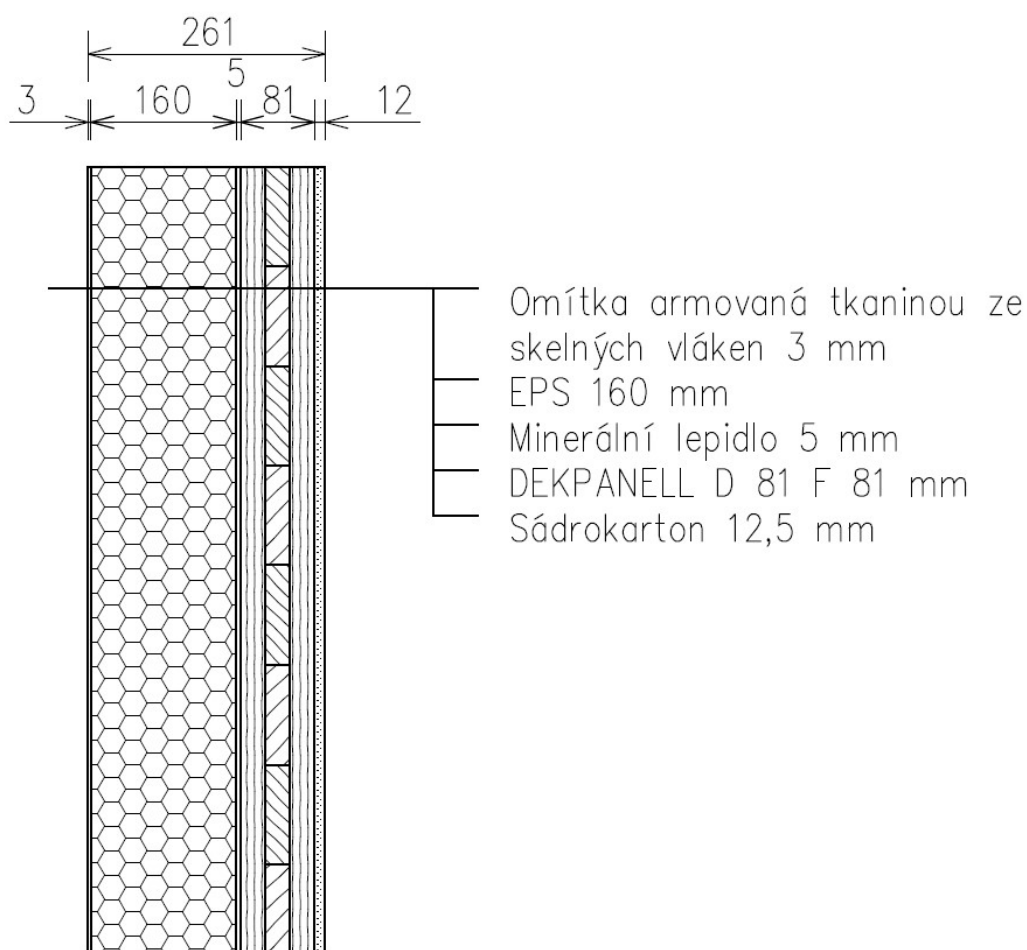


Obrázek 20 Skladba č. 1.3
Zdroj: autor

5.6.2 PANELOVÉ KONSTRUKCE Z MASIVNÍHO DŘEVA

Masivní panel s kontaktním zateplovacím systémem na bázi polystyrenu.

Skladba č. 2 je panelová konstrukce DEKPANEL¹⁰ D81 F s kontaktním zateplovacím systémem z polystyrenu. Tloušťka konstrukce činní 281 mm. Formát vzorku 1250x1250 mm. Vzorek daného formátu byl rozdělen do čtyř částí velikosti čtverce o rozměru 625x625 mm. V každé části byla zkušena jiná TBO (Holenda 2019, s. 30). Pro zkoušky byl vyroben jeden vzorek.

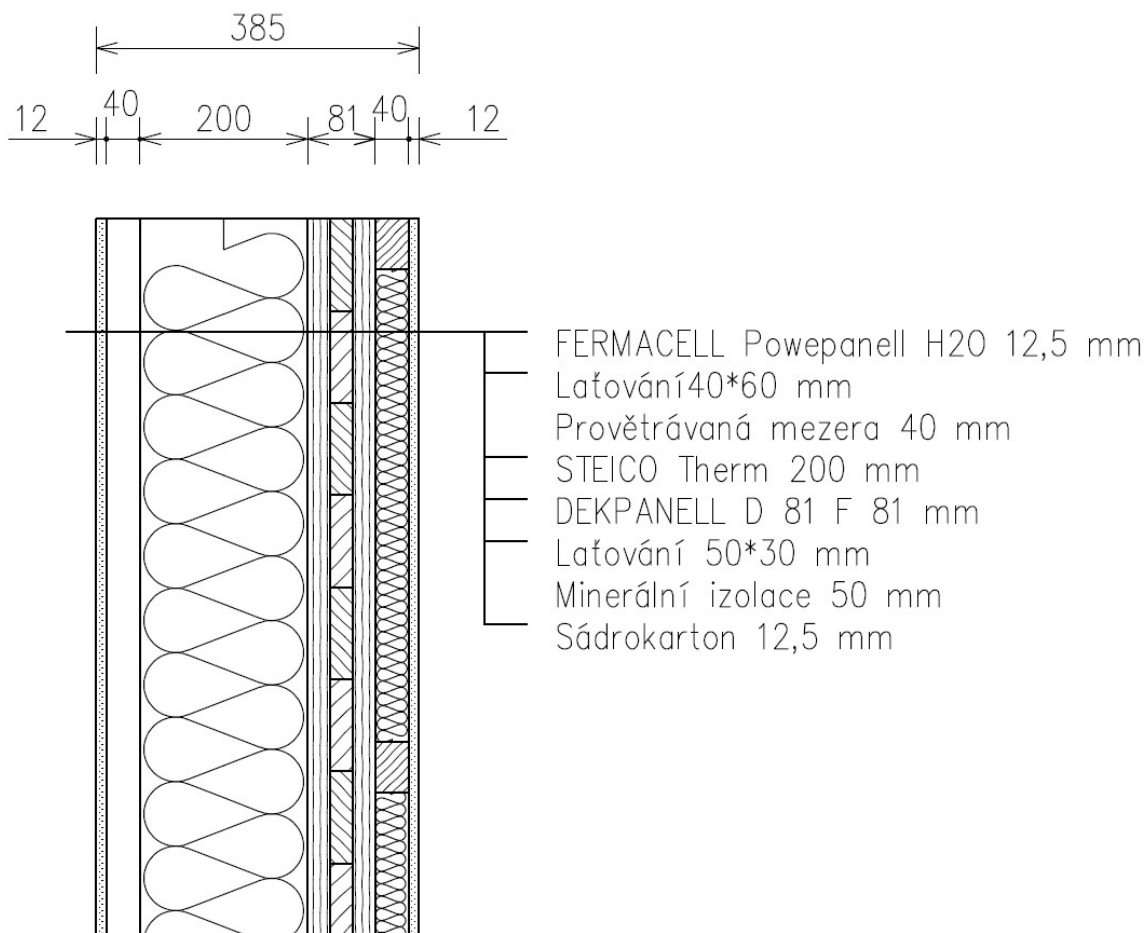


Obrázek 21 Skladba č. 2
Zdroj: autor

¹⁰ DEKPANEL je obdobou CLT. Jednotlivé vrstvy prken k sobě nejsou lepeny, nýbrž jsou k sobě šroubovány pomocí vrtů.

Masivní panel se zateplovacím systémem na bázi dřevovláknité izolace s provětrávanou fasádou.

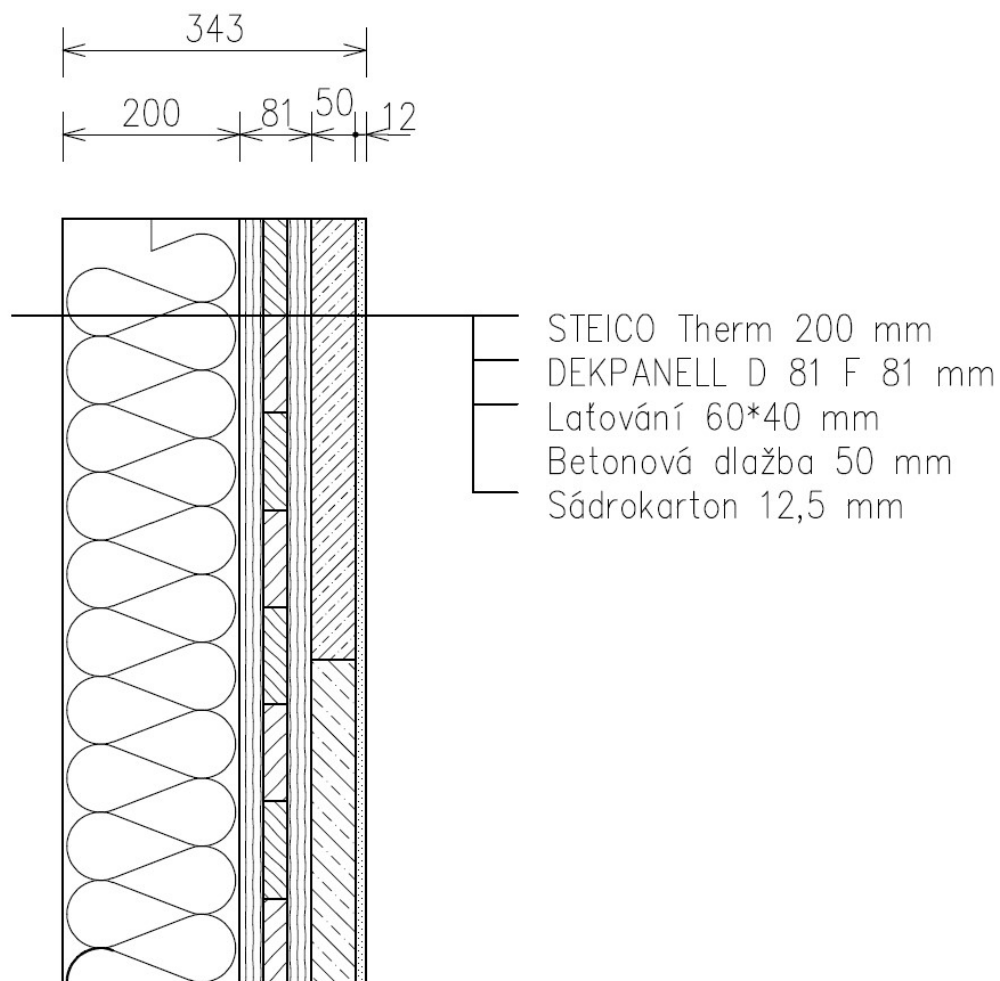
Skladba č. 3 je panelová konstrukce DEKPANEL D81 F se zateplovacím systémem STEICO therm s provětrávanou fasádou tvořenou z desky FERMACELL Powerpanell H2O. Celková tloušťka konstrukce činí 385 mm. Vzorky byly vyrobeny ve formátu 625x625 mm. Pro zkoušky bylo vyrobeno šest samostatných vzorků. Každý vzorek byl určen pro jednotlivou třídu balistické odolnosti TBO 1 až 4 (Holenda 2019, s. 31).



Obrázek 22 Skladba č. 3
Zdroj: autor

Masivní panel se zateplovacím systémem na bázi dřevovláknité izolace s betonovou dlažbou v instalační předstěně.

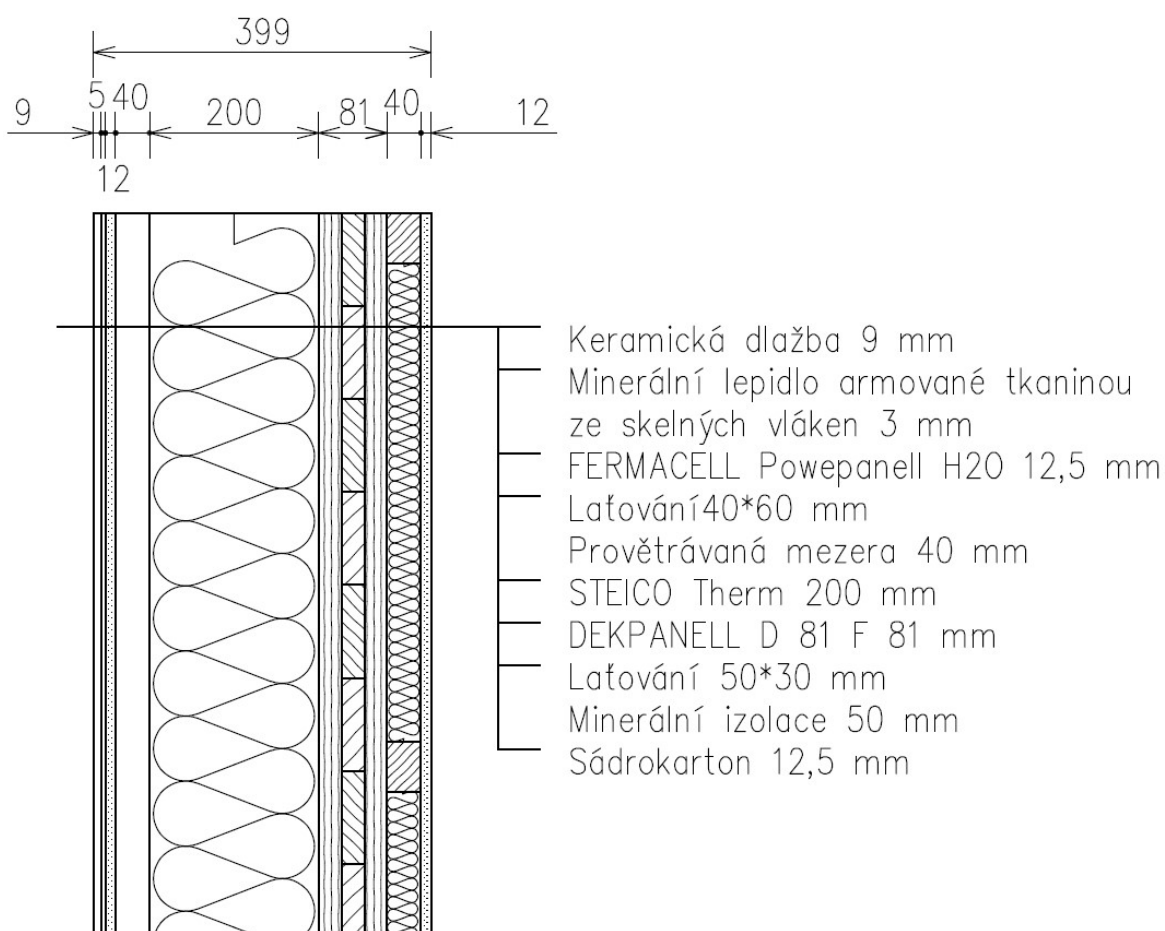
Skladba 3.1 je panelová konstrukce DEKPANEL D81 F s kontaktním zateplovacím systémem STEICO. Do instalační předstěny na vnitřní straně konstrukce byla vložena betonová dlaždice tloušťky 50 mm. Vzorek nebyl opatřen fasádou. Formát vzorku 625x625 mm. Celková tloušťka konstrukce 343 mm (Holenda 2019, s. 40). Pro zkoušky byly vyrobeny čtyři samostatné vzorky.



Obrázek 23 Skladba č. 3.1
Zdroj: autor

Masivní panel se zateplovacím systémem na bázi dřevovláknité izolace s provětrávanou fasádou z keramické dlažby.

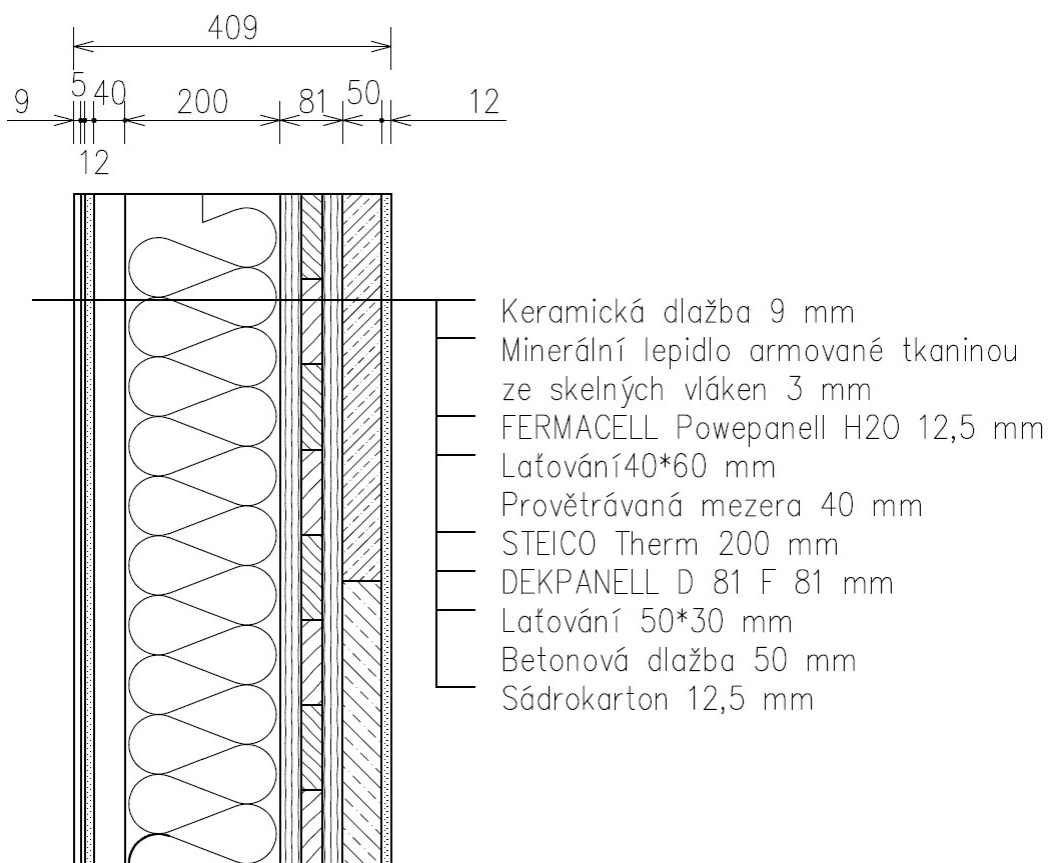
Skladba č. 3.2 je panelová konstrukce DEKPANEL D81 F s kontaktním zateplovacím systémem STEICO therm s provětrávanou fasádou. Fasáda byla tvořena cementovláknitou deskou FERMACELL Powerpanell H2O, na který byla minerálním lepidlem připevněna keramická dlažba. Celková tloušťka konstrukce 399 mm. Pro zkoušky této skladby nebyl vyroben samostatný vzorek. Výsledky zkoušek byly interpretovány z výsledků zkoušek skladby č. 3.3 (Holenda 2019, s. 41).



Obrázek 24 Skladba č. 3.2
Zdroj: autor

Masivní panel se zateplovacím systémem na bázi dřevovláknité izolace s provětrávanou fasádou, keramickou dlažbou a betonovou dlažbou.

Skladba č. 3.3 je panelová konstrukce DEKPANEL D81 F s kontaktním zateplovacím systémem STEICO therm s provětrávanou fasádou. Fasáda je tvořena cementovláknitou deskou FERMACELL Powerpanell H2O. Na ni byla minerálním lepidlem připevněna keramická dlažba. Deska s dlažbou byla přepravována odděleně a na konstrukci byly připevněny pomocí vrutů před provedením testu. Do instalační předstěny na vnitřní straně konstrukce byla vložena betonová dlaždice tloušťky 50 mm. Formát vzorku 625x625 mm. Pro zkoušky byly vyrobeny tři samostatné vzorky. Celková tloušťka konstrukce 409 mm.

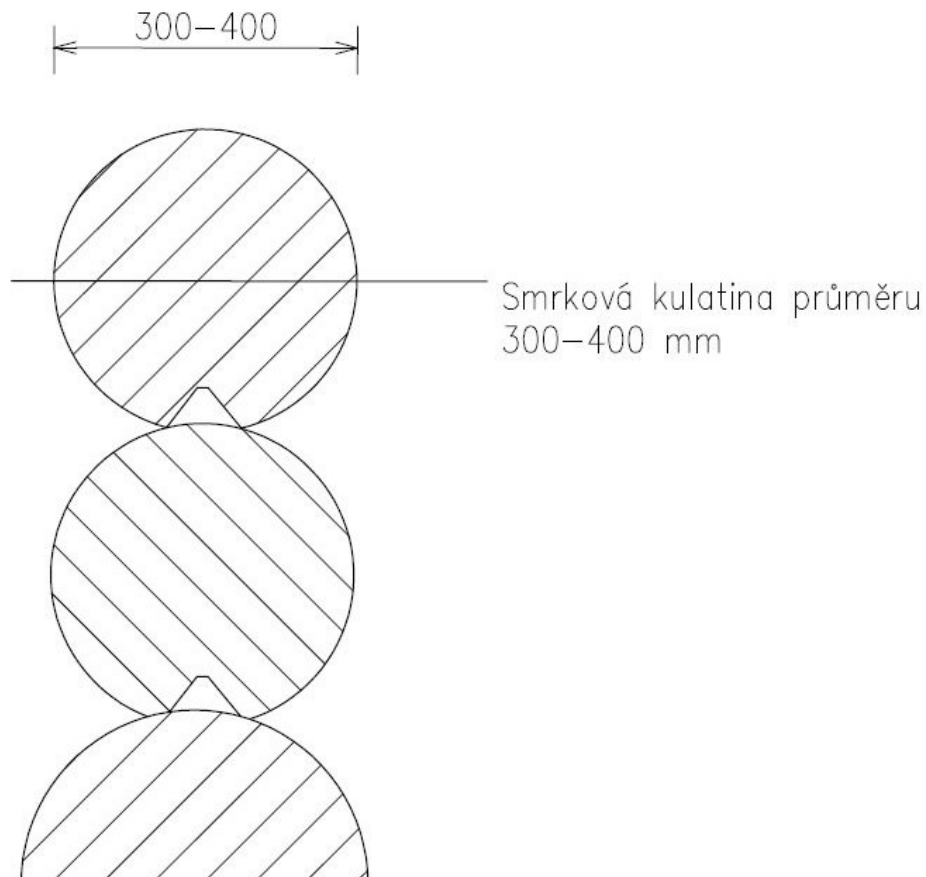


Obrázek 25 Skladba č. 3.3
Zdroj: autor

5.6.3 SRUBOVÁ KONSTRUKCE

Tradiční srubová konstrukce.

Skladba č. 4 je srubová konstrukce zhotovená ze smrkové kulatiny o průměru 300–400 mm. Orientační vlhkost dřeva činí 20%. Podélné spoje jsou řešeny drážkou. Pro zkoušky bylo vyrobeno pět samostatných vzorků. Šířka vzorku 625 mm. Výška byla variabilní s ohledem na použitý průměr kulatiny. Zpravidla však přesahovala 600 mm.



Obrázek 26 Skladba č. 4

Zdroj: autor

6 METODIKA

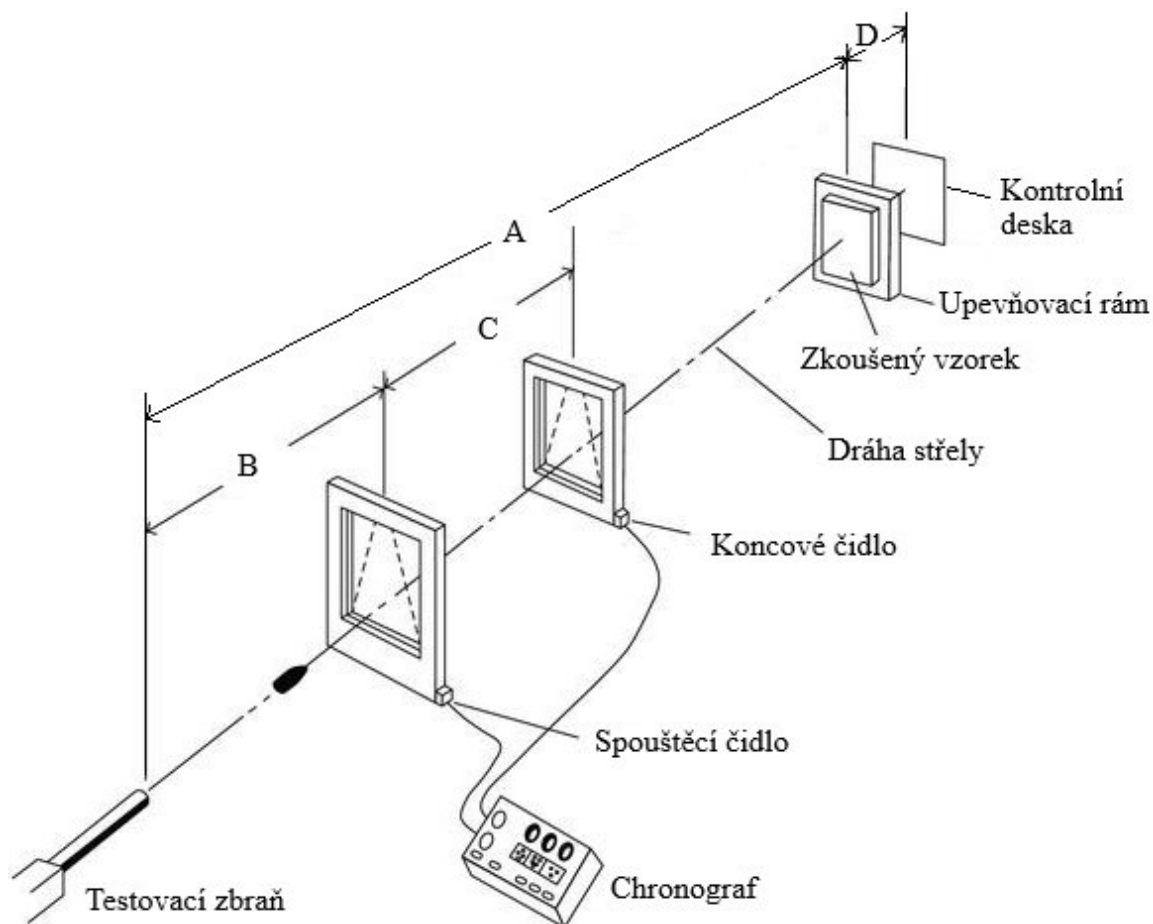
6.1 METODIKA ZKOUŠENÍ TBO DLE ČSN 39 5360

Pro účely práce budou obvodové stěny dřevostaveb považovány za balisticky odolné panely. Balisticky odolné panely jsou normou definovány jako „[...]konstrukce chránící vymezený prostor, odolná zejména proti účinkům střel a střepin“ (ČNS 39 5360 1995, s. 3). Budou vyhodnoceny jako ochranný prostředek nenošený na těle.

Vzorky se podle metodiky normy zkoušejí tak, že pro každou ráži v dané TBO musí být samostatný zkušební vzorek. Dle ČSN má mít vzorek rozměry 500x500 mm. (ČNS 39 5360 1995, s. 7). Vzorek se umístí do požadované vzdálenosti od ústí hlavně. Pro každou TBO je definována vzdálenost vzorku od ústí hlavně. Vzorek se umístí ve vzdálenosti od ústí hlavně 5 m pro TBO 2, 3, 4 a 10 m pro TBO 1, 5, 6, 7. (ČNS 39 5360 1995, s. 13). Zbraň se umístí horizontálně tak, aby osa hlavně svírala pravý úhel s dopadovou plochou vzorku. Během výstřelu se měří rychlost střely ($V_{2,5}$) ve vzdálenosti 2,5 m od ústí hlavně. Chronograf měří tuto rychlost na úseku dlouhém 1 m. Přesnost měření rychlosti musí být lepší než 1 %. Střed chronografu leží ve vzdálenosti 2,5 m od ústí zbraně.“ (ČNS 39 5360 1995, s. 7). Rychlost je měřena při každém výstřelu. (ČNS 39 5360 1995, s. 12). Ve vzdálenosti 150 ± 10 mm za zkoušeným vzorkem je umístěna kontrolní deska z hliníkové fólie o tloušťce 0,5 mm. (ČNS 39 5360 1995, s. 7). Schéma zkoušecí sestavy je znázorněno na obrázku č. 27. Viz níže.

Zkoušení vzorků obvodových stěn dřevostaveb probíhá za běžných provozních podmínek¹¹, které jsou stanoveny teplotou 21 ± 3 °C a relativní vlhkostí vzduchu v rozmezí 40 % až 80 % (ČNS 39 5360 1995, s. 12).

¹¹ Norma uvádí tři různé ztížené provozní podmínky. Ztížené provozní podmínky jsou definovány extrémními teplotami (+50 °C; -20 °C), nebo ponořením vzorku po dobu jedné hodiny do vody (ČNS 39 5360 1995, s. 12). Tyto podmínky jsou zamýšleny pro zkoušení balistických vest a přileb, kde ztížené provozní podmínky mohou mít negativní vliv na vlastnosti materiálů.



Obrázek 27 Schéma zkoušecí sestavy
Zdroj: NIJ STD 0101.04. autorský překlad

Vysvětlivky:

- A – vzdálenost vzorku od ústí hlavně 5 nebo 10 m podle zkoušené TBO,
- B – vzdálenost ústí hlavně od spouštěcího čidla chronografu 2 m (respektive 2,25 m),
- C – rozteč hradel chronografu 1 m (respektive 0,5 m),
- D – vzdálenost zadní strany vzorku a kontrolní desky 15 cm.

6.1.1 ÚPRAVA METODIKY ZKOUŠENÍ TBO

Při zkouškách byla metodika ČSN upravena. Oproti požadavku normy na tři kontrolní výstřely bylo provedeno vždy alespoň šest kontrolních výstřelů. A to z důvodu snížení pravděpodobnosti chyby měření, či nekonzistentního výsledku například vlivem anizotropie dřeva, nebo nárazu střely do spojovacích prostředků. Dále byla zvolena jiná vzdálenost čidel chronografu. Běžně dostupné sportovní chronografy mají vzdálenost čidel 0,5 m, místo požadované vzdálenosti 1 m, při zachování požadované přesnosti. S přihlédnutím na běžné rozměry stavebních materiálů pro dřevostavby byly formáty vzorků zvoleny větší a to na formát 625x625 mm.

Norma požaduje kontrolní fólii (plech) tloušťky 0,5 mm s vlastnostmi odpovídající zrušené ČSN 42 7306. Požadovaný materiál kontrolní fólie je označován jako „čtvrt-tvrký“ plech. U dodavatelů hutních materiálů se podařilo zajistit pouze „půl-tvrký“ plech. Ten byl následně použit jako kontrolní deska.

Vzhledem k tomu, že zkoušky probíhali na venkovní střílnici, nebylo možné nebylo možné zajistit normou požadované provozní podmínky na teplotu a vlhkost vzduchu.

6.2 METODIKA HODNOCENÍ TBO PODLE ČSN 39 5360

Hodnocení tříd balistické odolnosti probíhá na základě definovaných podmínek uvedených v tabulce číslo 2 níže.

Tabulka 2 Podmínky pro jednotlivé třídy balistické ochrany.
Zdroj: ČSN 39 5360

TBO	Ráže	Střela	Rychlost V _{2,5} m/s	Hmotnost m g
1	.22LR	Pb/O	300±10	2,6
2	9mm Luger	CP/Pbj./O	410±10	8
2 CZ	7,62x25	CP/Pbj./O	470±10	5,5
3	.357 Magnum	CP/Pbj./KK	430±10	10,2
3 CZ	9mm Luger	CP/Fej./O	440±10	6,45
4	.44 Magnum	CP/Pbj./KK	440±10	15,6
4 CZ	7,62x25	CP/Fej./O	550±10	5,50
5	.223 Rem.	CP/Pbj.	920±10	4
5 CZ	7,62x39	CP/Fej.	710±10	8
6	7,62x51	CP/Pbj.	830±10	9,5
6 CZ	.223 Rem.	CP/Fej.	950±10	3,95
7	7,62x51	CP/Fej.	820±10	9,8
7 CZ	7,62x54 R	CP/Fej.	860±10	9,75
SG	12/70	Brenneke	420±10	31
SG CZ	12/65	S-ball PL	430±10	24,6

Vysvětlivky: CP-celoplášťová střela, Fej.-střela s ocelovým jádrem,
Pbj.- střela s olověným jádrem, O-oglivální tvar střely,
KK-střela tvaru komolého kužele

Těmito podmínkami jsou ráže¹² zbraně, tvar, váha, materiál střely¹³ a její rychlost. Třídy balistické odolnosti jsou škálovány do tříd TBO 1 až 7 a TBO SG. Třídy balistické odolnosti 2 až 7 a SG je možné zkoušet dvěma rážemi, alternativní ráže jsou označeny doplňkem CZ. Zmíněné parametry střel pro jednotlivé TBO jsou uvedeny v tabulce číslo 2.

U tříd TBO 1 až 4 je požadováno pistolové střelivo. Toto střelivo se používá především v krátkých zbraních¹⁴, jako jsou pistole, revolvery ale i v dlouhých zbraních obecně označovaných jako samopaly. U tříd TBO 5 až 7 je požadované výkonné puškové střelivo používané zpravidla v dlouhých zbraních¹⁵. U třídy SG je požadována broková ráže, běžná v dlouhých brokových zbraních, z níž má být vystřelena jednotná střela¹⁶ označována také jako „slug“.

„Provádějí se tři kontrolní výstřely tak, aby zásahy tvořily vrchol rovnostranného trojúhelníku o stranách 120 ± 10 mm. Po každém výstřelu se zaznamenává rychlost střely a účinek na zkoušený vzorek. [...]“ (ČNS 39 5360 1995, s. 13). Mohou nastat tři stavy účinku střely na vzorek:

Úplný průnik: stav, kdy střela, střepina nebo úlomek zkoušeného vzorku prorazí kontrolní desku definovaným způsobem.

Částečný průnik: stav, kdy střela, střepina nebo úlomek zkoušeného vzorku neprorazí desku, ale poruší zadní stěnu vzorku.

Neprůnik: stav, kdy střela, střepina nebo úlomek zkoušeného vzorku neprorazí kontrolní desku ani neporuší zadní stěnu vzorku. (ČNS 39 5360, 1995, s. 3).

Při neprůniku lze zkoušený vzorek vyhodnotit jako vyhovující (ČNS 39 5360, 1995, s. 15).

¹² **Ráže** je označení náboje informacemi o průměru střely v milimetrech nebo setinách palců, dále pak rozměry náboje a tlaky povolené C.I.P.. U brokových zbraní se ráže označuje číslem, které udává počet kulí stejného průměru odlitých z jedné libry olova a délkou nábojnice po výstřelu.

¹³ **Střela** – předmět vystřelený ze zbraně.

Konstrukce střely – střely mohou být konstruovány jako jednotné nebo hromadné. Liší se svým tvarem a použitými materiály, případně jejich kombinací.

Plášť střely – pokud je střela konstruována jako plášťová, pak plášť obaluje jádro střely. Zpravidla je plášť tvořen slitinou mědi, mosazi, železa, tombaku nebo plastu. Není podmínkou, že střela musí mít plášť. U ráží .22LR a brokových ráží bývají střely olověné a obvykle bez pláště.

Materiál jádra střely – standardně se pro výrobu jádra střely používá olovo. Střely s ocelovým jádrem se používají u vojenského střeliva. Důvodem použití ocelového jádra je zvýšení průbojnosti střely a také zlevnění výroby střeliva. Přítomnost ocelového jádra ve střele však neznamená, že se jedná o průbojnou střelu. Dle zákona číslo 119/2002 Sb. je průbojná střela je taková střela, která je tvořena materiálem tvrdším než 250 HB. Pokud má být vojenské střelivo uvolněno pro civilní trh, musí projít zkouškou dle standardů C.I.P.

¹⁴ **„Krátká zbraň** – palná zbraň, jejíž délka hlavně nepřesahuje 300 mm nebo jejíž celková délka nepřesahuje 600 mm“ (Příloha zákona č. 119/2002: s. 683).

¹⁵ **„Dlouhá zbraň** – palná zbraň, která není krátkou zbraní.“ (Příloha zákona č. 119/2002: s. 683).

¹⁶ **„Jednotná střela** – těleso, určené k zasažení cíle nebo vyvolání jiného efektu, které se po opuštění hlavně nerozdělí.“ (Příloha zákona č. 119/2002: s. 683). Pro brokové ráže je typické využití broků, označované jako hromadné střely (střela, která se po opuštění hlavně rozdělí). Jednotné brokové střely mají na konci plastovou zátku, která slouží ke stabilizaci střeli během letu.

6.3 PRŮBĚH ZKOUŠEK

Zkoušky probíhaly na střelnici Českého střeleckého svazu – Sportovně střeleckého klubu Kostelec nad Černými lesy. Umístění zkoušecí sestavy na střelišti bylo zvoleno s ohledem na provozní řád střelnice.



Obrázek 28 Zkoušecí sestava s vysokorychlostní kamerou pohled zpredu.
Foto: Přemysl Šedivka



Obrázek 29 Pohled zezadu na vzorek uchycený v rámu s vysokorychlostní kamerou za ochranným plexisklem.
Foto: Přemysl Šedivka

7 VÝSLEDKY

Zkoušky probíhaly na venkovní střelnici. Podmínky, za kterých byly zkoušky provedeny, odpovídaly běžným provozním podmínkám, jež jsou obvodové pláště dřevostaveb vystaveny. Průběh zkoušek a výsledky byly fotograficky zdokumentovány. Některé zkoušky byly natočeny vysokorychlostní kamerou. Shrnutí výsledků provedených zkoušek jsou uvedeny v tabulce číslo 3 Výsledky provedených zkoušek vyhodnocené podle ČSN 39 5360.

Protokoly zkoušek s naměřenými rychlostmi střel, a zaznamenaným účinkem v cíli dle metodiky ČSN 39 5360 jsou uvedeny v příloze číslo 1.

7.1 SLOUPKOVÁ KONSTRUKCE

Skladba č. 1

Sloupková konstrukce s kontaktním zateplovacím systémem z polystyrenu tl. 312 mm **nevykázala žádnou balistickou odolnost**. Na zadní straně vzorku jsou patrné výstupní otvory s průměrem převyšující danou ráži zbraně. Při průchodu olověné střely vzorkem došlo k deformaci střely (Holenda, 2019). Zkouška na odolnost TBO SG nebyla dokončena. Po prvním kontrolním výstřelu byla přerušena, jelikož došlo k úplnému průniku střely konstrukcí i kontrolní deskou. Zároveň došlo ke vzniku velkého množství drobných částic, které by při pokračování zkoušky výrazně znečistili prostor střelnice. Konstrukce **nevyhověla požadavkům na odolnost TBO SG**.



Obrázek 30 Skladba č. 1 TBO 1 zadní strana.

Foto: autor

Skladba č 1.1

Sloupková konstrukce s kontaktním zateplovacím systémem z polystyrenu s cementovláknitou deskou FERMACELL Powerpanell H2O a keramickou dlažbou na straně exteriéru celkové tloušťky 338 mm (skladba č. 1.1) **vykázala odolnost na úrovni TBO 4 CZ**. Při zkoušce této skladby na odolnost úrovně TBO 5 CZ došlo k průniku střely celou konstrukcí a následné kontrolní desky. Podle průřazů v kontrolní desce lze vyvodit závěr, že došlo k fragmentaci střely. Větší fragmenty měly dostatek energie na proražení smrkového prkna tloušťky 20 mm. Konstrukce nevyhověla požadavkům TBO 5 CZ (Holenda, 2019).

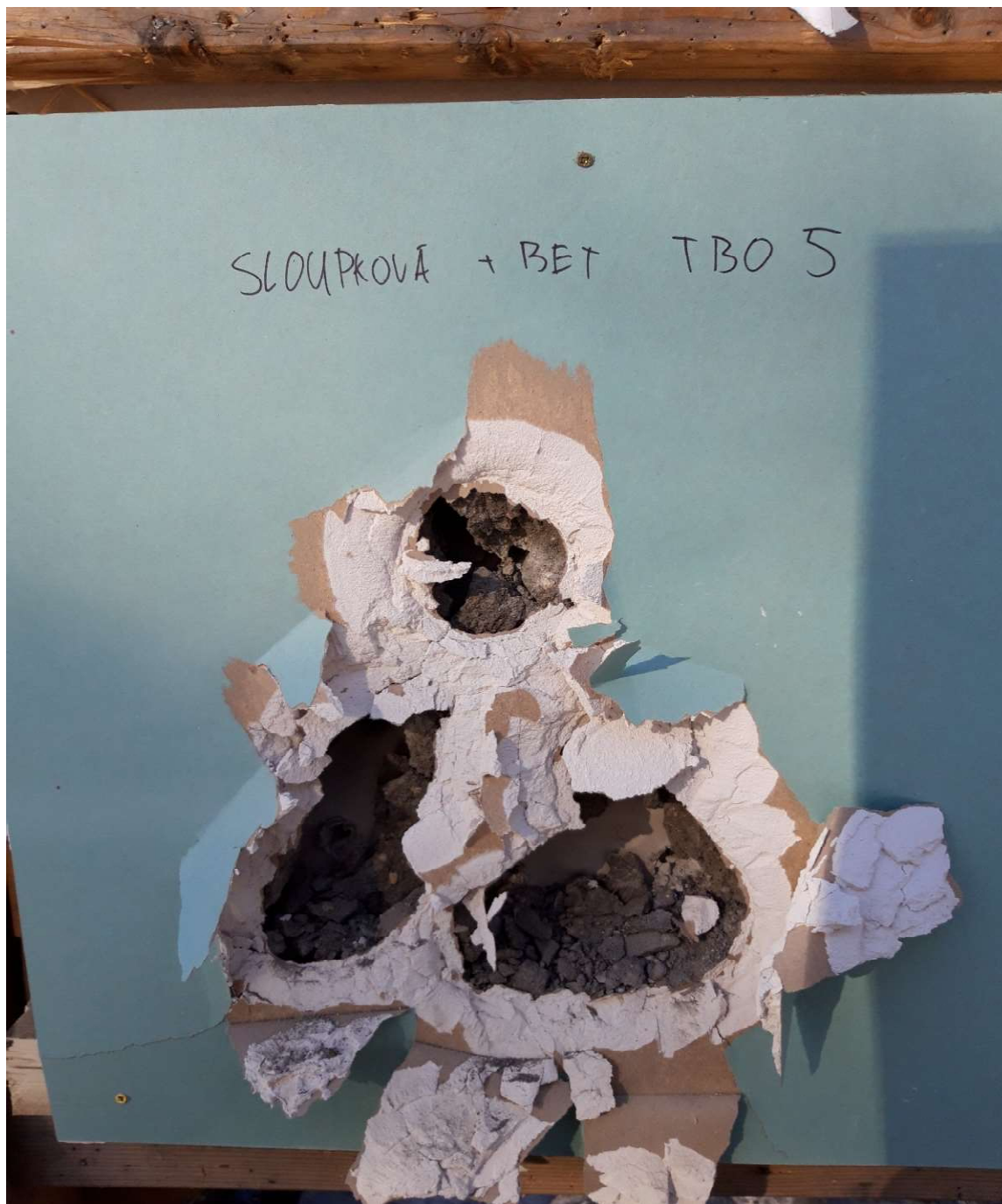


Obrázek 31 Skladba č. 1.1 TBO 5 CZ průřazy kontrolní desky
Foto: autor

Skladba č. 1.2

Sloupková konstrukce s kontaktním zateplovacím systémem z polystyrenu s betonovou dlažbou v instalační předstěně o celkové tloušťce 374 mm **vykázala odolnost na úrovni TBO 4 CZ**. Při zkoušce této skladby na odolnost úrovně TBO 5 CZ došlo k úplnému průniku pouze jedné střely a jednoho fragmentu. Na zadní straně vzorku lze pozorovat masivní výtrže betonové desky a sádkartonu. I přesto prošla kontrolní deskou pouze první střela a fragment třetí střely nebo fragment betonu odhozený třetí střelou. Na kontrolní desce jsou patrné další stopy po fragmentech betonu, které však kontrolní desku již neprorazily. Čtyři střely se podařilo najít ve vrstvě fragmentované dlažby v konstrukci nebo ve fragmentech na plachtě umístěné mezi zadní stranou vzorku a kontrolní deskou.

Na střelách lze pozorovat značné poškození pláště střely a úplné oddělení pláště a jádra střely (Holenda 2019).



Obrázek 32 Skladba č. 1.2 zadní strana vzorku TBO 5 CZ
Foto: autor



Obrázek 33 Skladba č. 1.2 TBO 5 CZ střely extrahované z vrstvy betonu
Foto: autor

Skladba č. 1.2 byla zkoušena na odolnost třídy ochrany TBO SG. Po čtvrtém výstřelu se na zadní straně vzorku objevila cca 12 cm dlouhá trhлина. Po pátém a šestém výstřelu vznikla na zadní straně vzorku masivní výtrž. Na kontrolní desce bylo možné pozorovat drobné poškození od fragmentů betonu. Tyto fragmenty však kontrolní desku neprorazily. Střely byly po extrakci ze vzorku velmi výrazně deformovány a fragmentovány. Vzhledem k masivní výtrži na zadní straně vzorku, ačkoliv bez penetrace kontrolní desky, tato skladba **nevyhověla požadavkům na odolnost TBO SG.**



Obrázek 34 Skladba č. 1.2 TBO SG fragmentovaná vrstva betonu po demontáži sádkkartonu
Foto: autor



Obrázek 35 Porovnání nevystřeleného náboje a deformovaných střel s plastovými ucpávkami
Foto: Přemysl Šedivka

Skladba č. 1.3

Sloupková konstrukce s kontaktním zateplovacím systémem z polystyrenu s dlažbou na vnější straně a betonovou deskou vloženou mezi vrstvy sádrokartonu. Celková tloušťka konstrukce 384 mm. Po šestém výstřelu bylo možné pozorovat na sádrokartonu na interiérové straně křížovou trhlinu o velikosti cca 12 cm. Nedošlo však ke vzniku výtrže. Tato konstrukce **vykázala odolnost na úrovni TBO 4 CZ a TBO 7 CZ.**

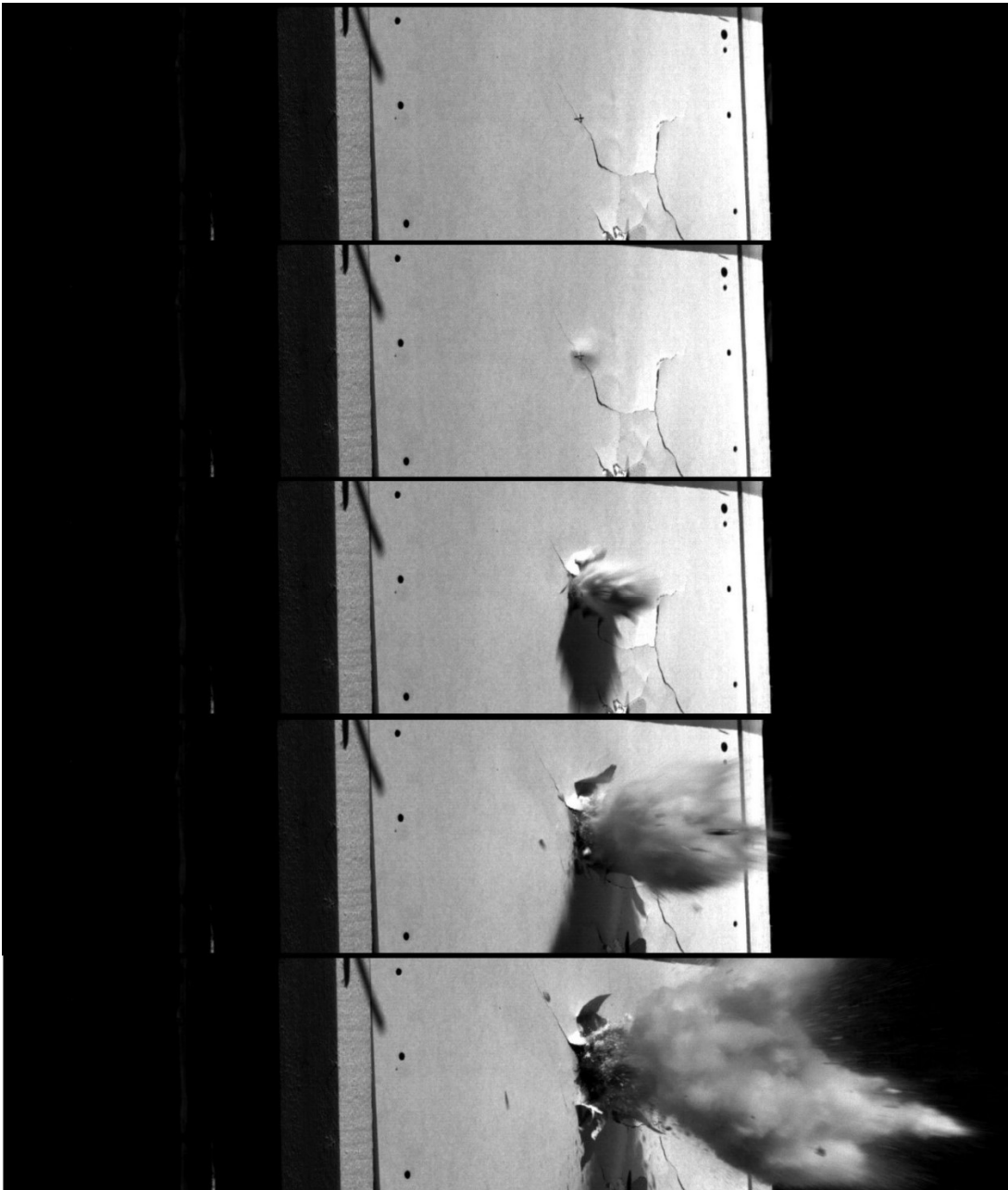
Po ukončení zkoušky byla odstraněna průtažná fólie. Přitom odpadla velká část keramického obkladu. Následně byly provedeny další, již nehodnocené, výstřely za účelem natočení účinku střely v konstrukci vysokorychlostní kamerou. Výstřely číslo 7 až 11 penetrovaly celou konstrukci. Po demontáži vzorku bylo patrné značné poškození betonové dlažby v místě zásahů, kde byly nalezeny čtyři střely. Střely byly úplně zbaveny svého pláště a ocelová jádra byla poškozena podle toho, jak dopadla na vrstvu betonu. Z otvorů v parotěsné fólii bylo patrné, že střely byly zbaveny pláště a výrazně fragmentovány již po průchodu keramickou dlažbou.



Obrázek 36 Skladba č. 1.3 TBO 7 CZ pohled na parotěsnou fólii po demontáži keramické dlažby
Foto: autor



Obrázek 37 Skladba č. 1.3 TBO 7 CZ poškozené střely extrahované z vrstvy betonu
Foto: autor

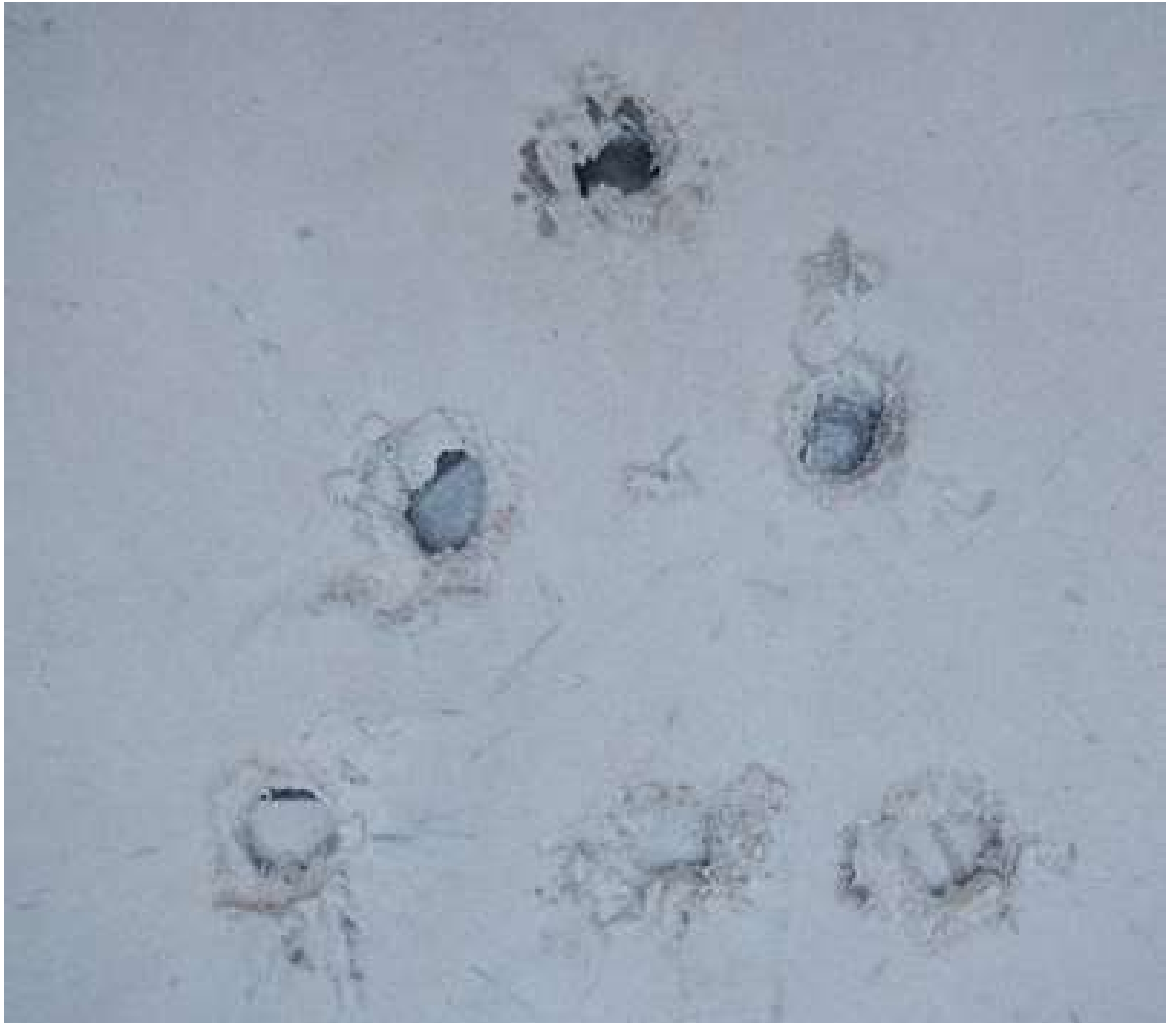


Obrázek 38 Skladba č. 3.1 záběr vysokorychlostní kamery, průstřel vzorku dřívě použitého pro zkoušky
TBO 7 CZ (na fotografii je zachycen osmý nehodnocený výstřel provedený na použitém vzorku)
Foto: Miroslav Sedlecký

Dále byla **skladba č. 1.3** zkoušena na odolnost TBO SG. Po demontáži vzorku bylo, na vrstvě sádrokartonu umístěného před betonovou deskou ze směru střelby, patrné, že střely byly fragmentovány a zastaveny vrstvou betonové dlažby. Betonová dlažba byla účinkem střel rozpraskána na poměrně velké kusy a nebyla rozdrobena jako u vzorku použitého pro zkoušku TBO 7CZ. Keramická dlažba na straně exteriéru byla značně poškozena. Vzhledem k tomu, že nedošlo k výtrži na interiérové straně sádrokartonu ani k penetraci kontrolní desky, tak tato skladba **vyhověla požadavkům na odolnost TBO SG**.

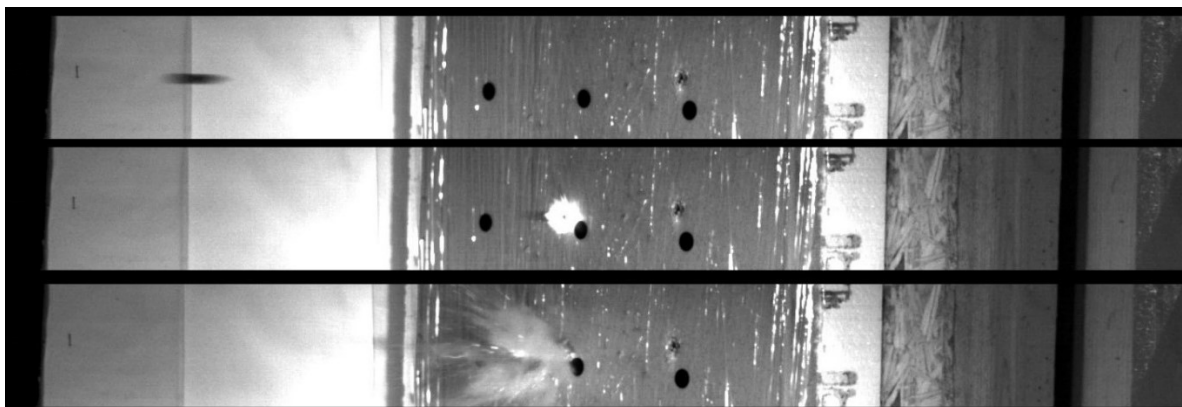


Obrázek 39 Skladba č. 1.3 TBO SG popraskaná betonová dlažba po demontáži vnější vrstvy sádrokartonu
Foto: autor



Obrázek 40 Skladba 1.3 TBO SG pohled na vnitřní vrstvu sádrokartonu, strana přivrácená k betonové dlažbě

Foto: autor



Obrázek 41 Skladba 1.3 TBO 4 CZ záběr z vysokorychlostní kamery dopad střely na keramickou dlažbu

Foto: Miroslav Sedlecký

7.2 PANELY Z MASIVNÍHO DŘEVA

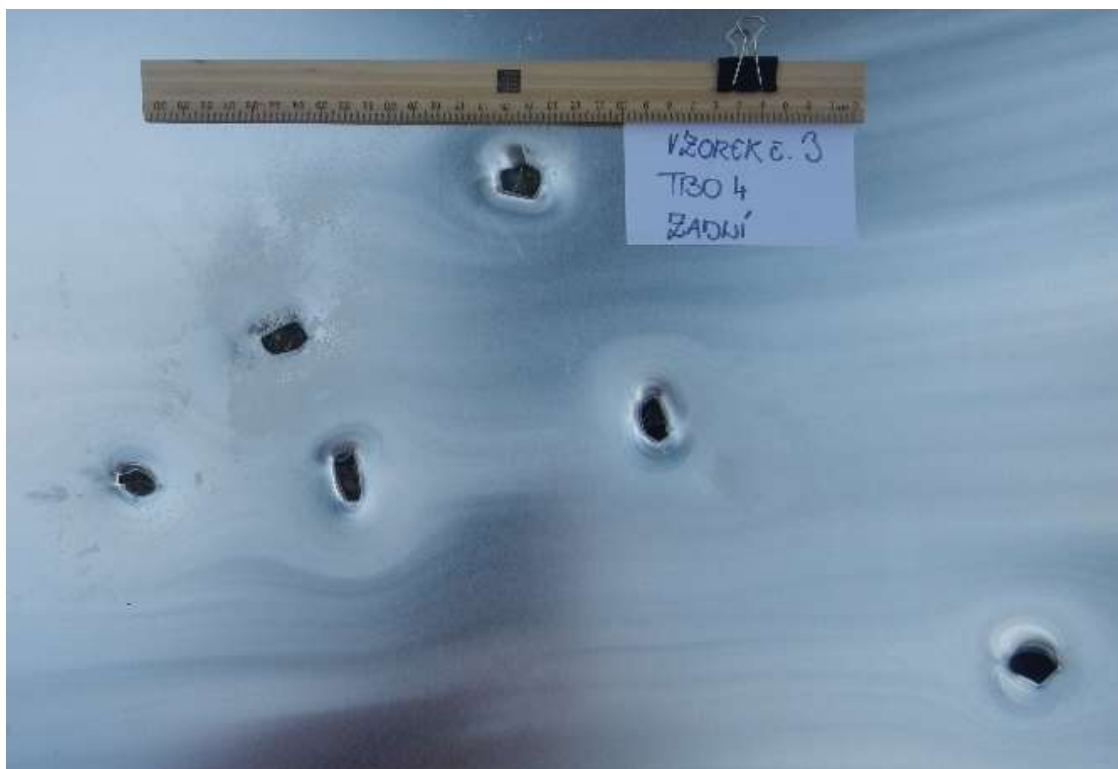
Skladba č. 2

Panelová konstrukce DEKPANEL s kontaktním zateplovacím systémem z polystyrenu EPS tl. 261 mm, **vykázala balistickou odolnost na úrovni TBO 1**. Konstrukce byla zkoušena i na úroveň TBO 2, TBO2 CZ a TBO 4 CZ. Střely při zmíněných zkouškách prošly konstrukcí i kontrolní deskou nefragmentované, nepoškozené pouze vychýlené z osy výstřelu v rozmezí cca 0–5° (Holenda 2019, s. 34).

Skladba č. 3

Panelová konstrukce DEKPANEL D81 F s kontaktním zateplovacím systémem STEICO therm s provětrávanou fasádou tvořenou deskou FERMACELL Powerpanell H2O. Celková tloušťka konstrukce 385 mm. **Vykázala balistickou odolnost na úrovni TBO 1** (Holenda, 2019) Konstrukce byla zkoušena i na úroveň TBO 2, TBO2 CZ a TBO 4 CZ. Výsledky těchto zkoušek byly nekonzistentní a byly několikrát opakovány. V jedné sérii došlo k zastavení střel ve vzorku. Při opakování testu však střely prošly vzorkem i kontrolní deskou. Střely při zmíněných zkouškách prošly konstrukcí i kontrolní deskou nefragmentované, nepoškozené pouze vychýlené z osy výstřelu v rozmezí cca 10 – 25°. Několik střel bylo zastaveno na vnitřní vrstvě dřeva Dekpanelu. Při zkoušce TBO 4 CZ došlo k výraznému vychýlení střely z osy výstřelu v rozmezí cca 10–20°¹⁷. Při proražení kontrolní desky byly střely otočeny ze své podélné osy až o 90°.

¹⁷ TBO 2 CZ a TBO 4 CZ se zkoušejí stejnou ráží. Rozdíl v těchto dvou TBO je materiál střely při zachování váhy 5,5 g. TBO 2 CZ požaduje střelu s olověným jádrem a TBO 4 CZ střelu s ocelovým jádrem. Střela s ocelovým jádrem je delší proto, aby byla zachována stejná váha při použití lehčího materiálu. Delší střely jsou však náchylnější na stabilizaci během letu a snáze se destabilizují při průchodu materiálu. Tento jev byl při zkoušce pozorovatelný na průstřelech kontrolní desky.



Obrázek 42 Skladba č. 3 TBO 4 CZ průstřely kontrolní desky



Obrázek 43 Skladba č. 3 TBO 4 CZ odklon střelného kanálu od kolmice v Dekpanelu.
Foto: autor

Skladba 3.1

Panelová konstrukce DEKPANEL D81 F s kontaktním zateplovacím systémem STEICO therm bez provětrávané fasády s betonovou dlažbou vykázala **odolnost na úrovni TBO 4 CZ, TBO 5 CZ, a TBO 7 CZ** (Holenda, 2019). Při zkoušce odolnosti úrovně TBO 6 došlo na zadní straně vzorku k masivní výtrži. I přes to se všechny střely zastavily ve vrstvě značně poškozeného betonu, odkud byly později extrahovány.



Obrázek 44 Skladba č. 3.1 TBO 6 deformované střely extrahované z vrstvy betonu
Foto: autor

Skladba č. 3.2

Je panelová konstrukce DEKPANEL D81 F s kontaktním zateplovacím systémem STEICO therm s provětrávanou fasádou tvořenou deskou FERMACELL Powerpanell H2O, na který byla minerálním lepidlem připevněna keramická dlažba. Tloušťka konstrukce 399 mm. Zkoušky na samostatných vzorcích nebyly provedeny. Výsledky byly odvozeny od výsledků zkoušek skladby č. 3.3. viz níže (Holenda, 2019).

Skladba č. 3.3

Je panelová konstrukce DEKPANEL D81 F s kontaktním zateplovacím systémem STEICO therm s provětrávanou fasádou tvořenou deskou FERMACELL Powerpanell H2O, na který byla minerálním lepidlem připevněna keramická dlažba. Do instalační předstěny na vnitřní straně konstrukce byla vložena betonová dlaždice tloušťky 50 mm. Celková tloušťka konstrukce dosahuje 409 mm. Tato skladba **vykázala odolnost na úrovni TBO 5 CZ, TBO 6 a TBO 7 CZ** (Holenda, 2019). Při zkoušce TBO 5 CZ došlo k hvězdicové deformaci pláště a následnému svléknutí pláště střely keramickou dlažbou. Plášť se zastavil po cca 16 cm, a to ve vrstvě dřevovláknité izolace. Jádra střel byla výrazně hříbovitě deformována a došlo k jejich zastavení v první vrstvě dřeva Dekpanelu. Betonový panel tedy zůstal nezasazený. Z toho lze vyvodit závěr, že skladba č. 3.2 by TBO 5 CZ vyhověla a proto nebyla zkoušena. Při zkoušce TBO 7 CZ došlo, ve vrstvě keramické dlažby, k výraznému poškození pláště. Pláště střel byly zaraženy ve vrstvě dřeva. Jádra střel se zastavila v několika prvních centimetrech dřeva. Betonový panel tedy zůstal nezasazený. Z toho lze vyvodit závěr, že **skladba č. 3.2 by vyhověla TBO 7 CZ**, a proto nebyla zkoušena.



Obrázek 45 Skladba 3.3 TBO 5 CZ jádra střel deformovaná o vrstvu keramické a betonové dlažby
Foto: autor



Obrázek 46 Skladba 3.3 TBO 5 CZ pláště střel zastavené ve vrstvě dřevovláknité izolace
Foto: autor



Obrázek 47 Skladba č. 3.3 TBO 6 značně deformované střely extrahované z vrstvy Dekpanelu
Foto: autor



Obrázek 48 Skladba č. 3.3 TBO 7 CZ deformované jádra střel extrahované z vrstvy Dekpanelu
Foto: autor

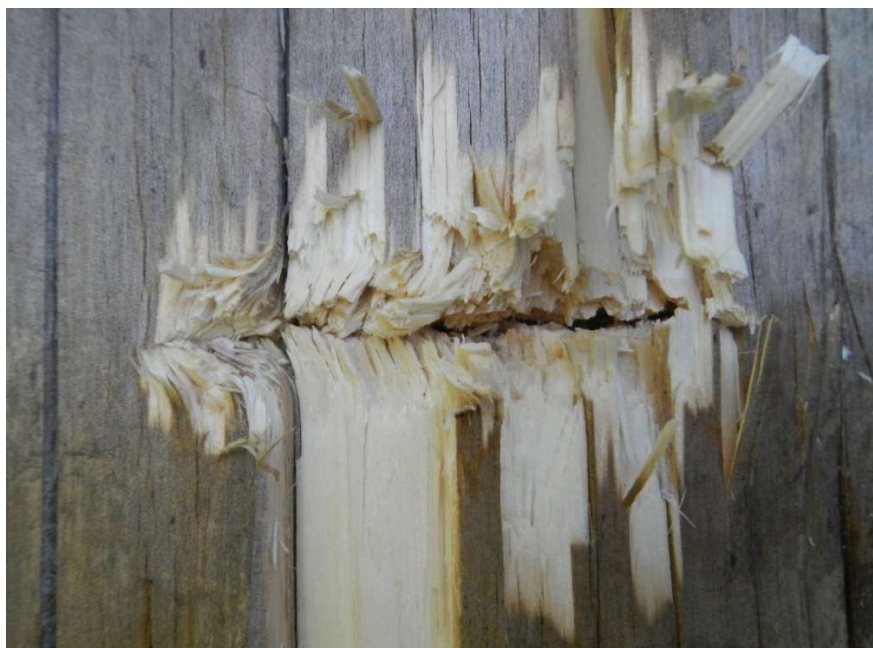


Obrázek 49 Skladba č. 3.3 TBO 7 CZ pláště střel zastavené ve vrstvě dřevovláknité izolace
Foto: autor

7.3 SRUBOVÁ KONSTRUKCE

Skladba č. 4

Jde o srubovou konstrukci zhotovenou ze smrkové kulatiny o průměru 300–400 mm. Podélné spoje jsou řešeny drážkou. Polovina kontrolních výstřelů byla umístěna do nejslabšího místa konstrukce, tedy místa styku srubů. Skladba **vykázala odolnost na úrovni TBO 1**. Při zkoušce na odolnost TBO 1 došlo k neprůniku a zástřelu do hloubky 15 cm. Skladba byla dále zkoušena na odolnost TBO 2, TBO 4 CZ, TBO 7 CZ a TBO SG. Při zkoušce TBO 2 došlo k průstřelu vzorku i kontrolní desky v místě spoje srubů. Mimo spoj došlo k zástřelu. Zástřel dosahuje hloubky 20–25 cm. Při zkoušce TBO 4 CZ a TBO 7 CZ došlo k průstřelu vzorku ve všech místech konstrukce. Při zkoušce TBO 7 CZ bylo na střelném kanálu, v místě tangenciálního směru, pozorováno jak se střela při průchodu dřevem stáčela ve směru letokruhu. Tento jev lze připsat rozdílným vlastnostem letního a jarního dřeva. Střely prorazily kontrolní desku otočené o 90° od podélného směru. Ze záběrů vysokorychlostní kamery je patrné, že střely opouštěny konstrukci rotující ve vodorovném směru, což bylo pravděpodobně způsobeno zmíněným rozdílem vlastností letního a jarního dřeva a tarem střely. Při zkoušce na úroveň TBO SG došlo k průstřelu vzorku i kontrolní desky v místě spoje srubů. Mimo spoj došlo k zástřelu do hloubky 10–15 cm. Na střelném kanálu bylo možné pozorovat, jak střela při průchodu lámala dřevní vlákna a vytvořila tak široký střelný kanál.



Obrázek 50 Skladba č. 4 TBO 7 CZ detail výtrže způsobený pootočenou střelou, pohled kolmý na osu střelby
Foto: autor



Obrázek 51 Skladba č. 4 TBO 7 CZ zadní strana vzorku s patrnými výtržemi dřevních vláken
Foto: autor



Obrázek 52 Skladba č. 4 TBO SG střela s plastovou zátkou zdeformovaná průchodem přes spoj sрубů
Foto: autor

Výsledky provedených zkoušek vyhodnocené dle metodiky ČSN 39 5360 jsou shrnuty v tabulce č. 3 níže.

Tabulka 3 Výsledky provedených zkoušek vyhodnocené podle ČSN 395360
Zdroj: autor

Vyhodnoceno podle ČSN 39 5360

	TBO 1	TBO 2	TBO 2 CZ	TBO 3	TBO 4 CZ	TBO 5 CZ	TBO 6	TBO 7	TBO SG
Skladba č. 1	nevyhovuje	x	x	x	x	x	x	x	nevyhovuje
Skladba č. 1.1	x	x	x	x	vyhovuje	nevyhovuje	x	x	x
Skladba č. 1.2	x	x	x	x	vyhovuje	nevyhovuje	x	x	nevyhovuje
Skladba č. 1.3	x	x	x	x	vyhovuje	x	x	vyhovuje	vyhovuje
Skladba č. 2	vyhovuje	nevyhovuje	nevyhovuje	x	nevyhovuje	x	x	x	x
Skladba č. 3	vyhovuje	nevyhovuje	nevyhovuje	x	nevyhovuje	x	x	x	x
Skladba č. 3.1	x	x	x	x	vyhovuje	vyhovuje	nevyhovuje	vyhovuje	x
Skladba č. 3.2	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Skladba č. 3.3	x	x	x	x	x	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	x
Skladba č. 4	vyhovuje	nevyhovuje	x	x	nevyhovuje	x	x	nevyhovuje	nevyhovuje

Vysvětlivky:

Vyhovuje Vyzkoušeno a vyhovuje

Nevyhovuje Vyzkoušeno a NEvyhovuje

x Nezkoušeno

7.4 BALISTICKÁ ODOLNOST ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ A STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

V roce 2012 zkoušel na Vysoké škole Báňské – Technické univerzity Ostrava v diplomové práci Jiří Koubek balistickou odolnost stavebních materiálů proti průstřelu. V diplomové práci „Posouzení odolnosti vybraných stavebních prvků proti průstřelu z ručních palných zbraní“ zkoušel odolnost cihlářských výrobků Ytong, Heluz a Porotherm a plně pálené cihly. Jednotlivé prvky nebyly při zkoušce spojeny. Byly poskládány jen na sucho bez použití malty či lepidla. Při zkoušce však byly upevněny v ocelovém rámu. Autor při zkouškách nepoužil kontrolní desku. Jako metodu autor použil ČSN 39 5360 (Koubek, 2012). Autor diplomové práce zatřídil zkoušky provedené pomocí ráže .308win do třídy TBO 7 a to i přes to, že použité střelivo ráže .308win¹⁸ s celoplášťovou střelou s olověným jádrem odpovídá požadavkům na TBO 6. Proto jsem konstrukce, zkoušené touto ráží a uvedenou střelou, zatřídil do TBO 6. Výsledky výzkumu jsou uvedeny v tabulce číslo 4. Viz níže.

Tabulka 4 Výsledky zkoušek podle Koubka
Zdroj dat: Koubek

	TBO 2	TBO 5 CZ	TBO 6
YTONG tl. 200 mm	nevyhovuje	nevyhovuje	nevyhovuje
YTONG tl. 249 mm	nevyhovuje	nevyhovuje	nevyhovuje
POROTHERM tl. 300 mm	vyhovuje	vyhovuje	nevyhovuje
Pálená cihla tl. 140 mm	nevyhovuje	nevyhovuje	nevyhovuje
Pálená cihla tl. 290 mm	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje

¹⁸ Ráže .308win je civilním ekvivalentem vojenské ráže 7,62x51, které má ve výzbroji NATO.

Účinkem střeliva na stavební materiály se v roce 2013 zabýval Petr Frinta, který na Masarykově univerzitě obhájil diplomovou práci s názvem „Účinky střeliva systematizovaného u Policie České republiky na vybrané stavební materiály“. S ohledem na ráži 9 mm Luger používaných ve služebních zbraních u Policie České republiky byly zkoušky prováděny pouze na odolnost TBO 2, a to s různými typy střel, včetně střel s řízenou deformací¹⁹. Autor zkoušel cihlářské výrobky Ytong, Heluz a Porotherm a betonovou dlažbu. Vzorky byly opatřeny omítkou. Jako metodu autor použil ČSN 39 5360 (Frinta 2013). Výsledky výzkumu jsou uvedeny v tabulce číslo 5. Viz níže.

Tabulka 5 Výsledky zkoušek podle Frinty
Zdroj dat: Frinta

	TBO 2
YTONG + omítka tl. 106 mm	nevyhovuje
YTONG + omítka tl. 323 mm	nevyhovuje
POROTHERM + omítka tl. 127 mm	vyhovuje
POROTHERM + omítka tl. 423 mm	vyhovuje
Betonová dlažba tl. 80 mm	vyhovuje

¹⁹ V rámci výzkumu autor provedl zkoušky střeliva s řízenou deformací, které bylo do roku 2021 střelivem zakázaným a používala jej výhradně PČR a AČR. Novela zákona o zbraních z roku 2021 umožnila toto střelivo držet a nosit i držitelům zbrojního průkazu za účelem ochrany osob a majetku.

Výzkum odolnosti materiálů na bázi dřeva provedl v roce 2011 Michal Navrátil na Mendlově univerzitě v Brně. V diplomové práci „Posouzení odolnosti vrstvených desek na bázi dřeva proti proražení“ zkoumal balistickou odolnost překližek a foliovaných překližek různých tloušťek. Překližky byly zkoušeny na odolnost TBO 1, TBO 2 a TBO SG (Navrátil 2011). Výsledky výzkumu jsou uvedeny v tabulce číslo 6. Viz níže.

Tabulka 6 Výsledky zkoušek podle Navrátila
Zdroj dat: Navrátil

	TBO 1	TBO 2
PDP tl. 22 mm	nevyhovuje	nevyhovuje
PDP tl. 66 mm	vyhovuje	nevyhovuje
PDP tl. 110 mm	vyhovuje	vyhovuje
PDP foliovaná tl. 25 mm	nevyhovuje	nevyhovuje
PDP foliovaná tl. 75 mm	vyhovuje	nevyhovuje
PDP foliovaná tl. 125 mm	vyhovuje	vyhovuje

Výzkum odolnosti nelegovaného ocelového plechu třídy 11 provedl v roce 2017 Roman Panáček v diplomové práci „Bezpečnostní studie balistické odolnosti vybraných materiálů“. V rámci diplomové práce byly provedeny zkoušky plechů různých tloušťek na odolnost TBO 2 a TBO 5 CZ. Vzorky byly zkoušeny střelbou ze vzdálenosti 25 m, tedy vzdálenost o 15 m větší než udává ČSN 39 5360. Při zkoušce nebyla použita kontrolní deska. Autor neuvádí, dle jaké metodiky byly výsledky experimentu vyhodnoceny. Z použitých ráží lze usuzovat, že výsledky jsou porovnatelné s požadavky ČSN 39 5360 (Panáček 2017). Výsledky výzkumu jsou uvedeny v tabulce číslo 7. Viz níže.

Tabulka 7 Výsledky zkoušek podle Panáčka
Zdroj dat: Panáček

	TBO 2	TBO 5 CZ
ocelový plech třídy 11 523 tl.2mm	nevyhovuje	nevyhovuje
ocelový plech třídy 11 523 tl.4mm	vyhovuje	nevyhovuje
ocelový plech třídy 11 523 tl.6mm	vyhovuje	nevyhovuje
ocelový plech třídy 11 523 tl.8mm	vyhovuje	vyhovuje

Souhrn výsledků provedených experimentů výše zmíněných autorů, včetně interpretace navazujících výsledků, jsou uvedeny v tabulce číslo 8 Souhrn výsledků zkoušek ostatních autorů včetně interpretace navazujících výsledků. Viz níže.

Bohužel nebylo možné porovnat výsledky experimentů provedených na CLT panelech a CLT panelech s vloženou vrstvou ořezavých plechů, tažených plechů, uhlíkové oceli skelných a aramidových vláken z institucí United States Military Academy a Georgia Institute of Technology. A to z důvodu rozdílné metodiky zkoušení.

Výzkumy zmíněných institucí použily při zkoušení odlišnou metodiku. Pro zkoušky CLT panelů byla použita hladká hlaveň, ze které byly vystřeleny projektily tvaru koule z nástrojové oceli o průměru 12,7 mm o rychlosti 180–1200 m/s. Zmíněné parametry neodpovídají žádné kategorii TBO uvedené v ČSN 39 5360. Požadavky zmíněné normy na ráži, materiál, váhu a rychlost střely jsou uvedeny v tabulce číslo 2 Podmínky pro jednotlivé třídy balistické ochrany.

Tabulka číslo 8 je zahrnuta do přílohy číslo 2. Zde je uvedena pro lepší přehlednost ve formátu A3.

Tabulka 8 Souhrn výsledků zkoušek ostatních autorů včetně interpretace navazujících výsledků
Zdroj dat: více autorů

	TBO 1	TBO 2	TBO 2 CZ	TBO 3	TBO 4 CZ	TBO 5 CZ	TBO 6 CZ	TBO 7 CZ	TBO SG
YTONG tl. 200 mm	?	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhovuje	nevyhovuje	nevyhoví	?
YTONG tl. 249 mm	?	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhovuje	nevyhovuje	nevyhoví	?
YTONG + omítka tl. 106 mm	?	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	?
YTONG + omítka tl. 323 mm	?	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	?
POROTHERM tl. 300 mm	vyhoví	vyhovuje	vyhoví	vyhoví	vyhoví	vyhovuje	nevyhovuje	nevyhoví	?
POROTHERM + omítka tl. 127 mm	vyhoví	vyhovuje	?	?	?	?	?	?	?
POROTHERM + omítka tl. 423 mm	vyhoví	vyhovuje	vyhoví	vyhoví	vyhoví	vyhoví	?	?	?
Pálená cihla tl. 140 mm	?	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhovuje	nevyhovuje	nevyhoví	?
Pálená cihla tl. 290 mm	vyhoví	vyhovuje	vyhoví	vyhoví	vyhoví	vyhovuje	vyhovuje	?	?

	TBO 1	TBO 2	TBO 2 CZ	TBO 3	TBO 4 CZ	TBO 5 CZ	TBO 6	TBO 7 CZ	TBO SG
PDP tl. 22 mm	nevyhovuje	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhovuje
PDP tl. 66 mm	vyhovuje	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhovuje
PDP tl. 110 mm	vyhovuje	vyhovuje	?	?	?	?	?	?	vyhovuje
PDP foliovaná tl. 25 mm	nevyhovuje	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhovuje
PDP foliovaná tl. 75 mm	vyhovuje	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhovuje
PDP foliovaná tl. 125 mm	vyhovuje	vyhovuje	?	?	?	?	?	?	vyhovuje
Betonová dlaždice tl. 50 mm	vyhoví	vyhoví	vyhoví	vyhoví	vyhovuje	?	?	?	?
ocelový plech třídy 11 523 tl. 2 mm	?	nevyhovuje	?	?	?	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	?
ocelový plech třídy 11 523 tl. 4 mm	vyhoví	vyhovuje	?	?	?	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	?
ocelový plech třídy 11 523 tl. 6 mm	vyhoví	vyhovuje	?	?	?	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	?
ocelový plech třídy 11 523 tl. 8 mm	vyhoví	vyhovuje	vyhoví	vyhoví	vyhoví	vyhovuje	?	?	?

Vysvětlivky:

Vyhovuje

Nevyhovuje

Vyhoví

Nevyhoví

?

Vyzkoušeno a vyhovuje

Vyzkoušeno a NEvyhovuje

Nezkoušeno, ale vzhledem k výsledkům ostatních zkoušek lze předpokládat, že vzorek vyhoví

Nezkoušeno, ale vzhledem k výsledkům ostatních zkoušek lze předpokládat, že vzorek NEvyhoví

Nezkoušeno a nelze předpokládat výsledek

8 DISKUZE

8.1 ZKUŠEBNÍ RÁŽE

Ráže uvedené v tabulce požadavků ČSN 39 5360 na zkušební ráže a střely tvoří průřez různými typy běžně používaných zbraní. Z uvedených ráží chci poukázat na několik ráží, které jsou rozšířené jak mezi střelci z řad civilistů, tak i u PČR a AČR.

Jedná se o ráži 9mm Luger. Ta je používána u AČR i PČR zejména v krátkých zbraních. Mimo to je ráže hojně využívána střelci pro sportovní disciplíny a často i ochranu osob a majetku v souladu se zákony ČR. Tato ráže je uvedena jako zkušební ráže pro TBO 2.

Další široce zastoupenou ráží mezi českými střelci je pušková ráže 7,62x39. Jedná se o původně vojenskou ráži používanou zeměmi východního bloku. V AČR byla tato ráže používána ve známém českém „samopalu“ VZ. 58. Tato zbraň se po úpravě mechanismu dostala na civilní trh. Vzhledem k nízké počáteční ceně této zbraně při uvedení na civilní trh a dostupnosti původně vojenského střeliva s ocelovým jádrem splňující požadavky CIP, je puška VZ. 58 stále oblíbenou zbraní. Tato ráže je také používána u pušek typu AK 47, kterých bylo celosvětově vyrobeno více než 70 milionů kusů. Dále je tato ráže využívána k lovu. Tato ráže je uvedena jako zkušební ráže pro TBO 5 CZ.

V poslední dekádě se začala více používat pušková ráže .223 Rem.²⁰ V současnosti tuto ráži používá AČR ve zbraních BREN. Zmíněná ráže je typická pro zbraně typu AR 15 a mnoha dalších. Tato ráže je využívána pro sportovní střelbu i lov. Střelivo této ráže dostupné na trhu má olovenou střelu, což odpovídá požadavkům TBO 5.

Přestože množství zbraní těchto ráží lze jen odhadovat, lze předpokládat, že tyto ráže budou v případě ohrožení budovy hrát významnou roli.

8.2 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ S PŘIHLÉDNUTÍM K ABSENCI PRŮRAZU KONTROLNÍ DESKY

V tabulce č. 9 jsou shrnuty výsledky provedených zkoušek i očekávaných výsledků. V této tabulce byla upravena metodika vyhodnocení zkoušek dle ČSN 39 5360. A to tak, že pokud došlo k výtrži na zadní straně vzorku, ale nebyla proražena kontrolní deska střelou, jejími úlomky nebo úlomky konstrukce, byla skladba považována za vyhovující. Norma při vyhodnocení kvalifikuje vzorek, kde dojde k výtrži,

²⁰ Ráže je také označována jako 5,56x45 NATO

jako nevyhovující. U skladby 3.1 zkoušky TBO 6 došlo k masivním výtržím, střely však byly zachyceny ve vrstvě dezintegrovaného betonu. U skladby 1.2 zkoušky TBO SG došlo ke vzniku masivních výtrží, ale nedošlo k průrazu kontrolní desky.

Lze předpokládat, že střela, které neprorazí kontrolní desku²¹, by osobu stojící za konstrukcí nezranila nebo ji zranila pouze lehce.

Souhrn balistické odolnosti obvodových plášťů dřevostaveb, zděných konstrukcí a stavebních materiálů je uveden v tabulkách číslo 9, 10 a 11. Viz níže. Tyto tabulky jsou pro lepší přehlednost uvedeny v příloze číslo 2 ve formátu A3.

Tabulka 9 Vyhodnocení výsledků s přihlédnutím k absenci průrazu kontrolní desky

Zdroj: autor

	TBO 1	TBO 2	TBO 2 CZ	TBO 3	TBO 4 CZ	TBO 5 CZ	TBO 6	TBO 7 CZ	TBO SG
Sloupková KCE tl. 312 mm	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhovuje
Sloupková KCE + keram. dl. 334 mm	vyhoví	vyhoví	vyhoví	vyhoví	vyhovuje	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	?
Sloupková KCE + bet. dl. 374 mm	vyhoví	vyhoví	vyhoví	vyhoví	vyhovuje	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	vyhovuje
Sloupková KCE + ker. a bet. dl. 384 mm	vyhoví	vyhoví	vyhoví	vyhoví	vyhovuje	vyhoví	vyhoví	vyhovuje	vyhovuje
DEKPANEL s EPS tl. 261 mm	vyhovuje	nevyhovuje	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	?
DEKPANEL s DVI tl. 385 mm	vyhovuje	nevyhovuje	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	?
DEKPANEL s DVI + bet. dl. 343 mm	vyhoví	vyhoví	vyhoví	vyhoví	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhoví
DEKPANEL s DVI + ker. dl. 399 mm	vyhoví	vyhoví	vyhoví	vyhoví	vyhoví	vyhovuje	vyhoví	vyhovuje	?
DEKPANEL s DVI + bet. a ker. dl. 409 mm	vyhoví	vyhoví	vyhoví	vyhoví	vyhoví	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhoví
Srubová KCE tl. 300-400 mm	vyhovuje	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	nevyhovuje	nevyhovuje

²¹ Kontrolní deska je tvořena čtvrt-tvrdou hliníkovou fólií (plechem) o tloušťce 0,5mm. Jedná se o plech, který je měkký a snadno se deformuje. Průraz kontrolní desky nevyžaduje nijak zvlášť velkou sílu a je možné jej provést úderem ruky svírající železnou tyčku o průměru cca 6 mm.

Tabulka 10 Souhrn výsledků zkoušek zděných konstrukcí a cihlářských výrobků
Zdroj dat: více autorů

	TBO 1	TBO 2	TBO 2 CZ	TBO 3	TBO 4 CZ	TBO 5 CZ	TBO 6 CZ	TBO 7 CZ	TBO SG
YTONG tl. 200 mm	?	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhovuje	nevyhovuje	nevyhoví	?
YTONG tl. 249 mm	?	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhovuje	nevyhovuje	nevyhoví	?
YTONG + omítka tl. 106 mm	?	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	?
YTONG + omítka tl. 323 mm	?	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	?
POROTHERM tl. 300 mm	vyhoví	vyhovuje	vyhoví	vyhoví	vyhoví	vyhovuje	nevyhovuje	nevyhoví	?
POROTHERM + omítka tl. 127 mm	vyhoví	vyhovuje	?	?	?	?	?	?	?
POROTHERM + omítka tl. 423 mm	vyhoví	vyhovuje	vyhoví	vyhoví	vyhoví	vyhoví	?	?	?
Pálená cihla tl. 140 mm	?	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhovuje	nevyhovuje	nevyhoví	?
Pálená cihla tl. 290 mm	vyhoví	vyhovuje	vyhoví	vyhoví	vyhoví	vyhovuje	vyhovuje	?	?

Tabulka 11 Souhrn výsledků stavebních materiálů
Zdroj: více autorů

	TBO 1	TBO 2	TBO 2 CZ	TBO 3	TBO 4 CZ	TBO 5 CZ	TBO 6	TBO 7 CZ	TBO SG
PDP tl. 22 mm	nevyhovuje	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhovuje
PDP tl. 66 mm	vyhovuje	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhovuje
PDP tl. 110 mm	vyhovuje	vyhovuje	?	?	?	?	?	?	vyhovuje
PDP foliovaná tl. 25 mm	nevyhovuje	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhovuje
PDP foliovaná tl. 75 mm	vyhovuje	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhoví	nevyhovuje
PDP foliovaná tl. 125 mm	vyhovuje	vyhovuje	?	?	?	?	?	?	vyhovuje
Betonová dlaždice tl. 50 mm	vyhoví	vyhoví	vyhoví	vyhoví	vyhovuje	?	?	?	?
ocelový plech třídy 11 523 tl. 2 mm	?	nevyhovuje	?	?	?	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	?
ocelový plech třídy 11 523 tl. 4 mm	vyhoví	vyhovuje	?	?	?	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	?
ocelový plech třídy 11 523 tl. 6 mm	vyhoví	vyhovuje	?	?	?	nevyhovuje	nevyhoví	nevyhoví	?
ocelový plech třídy 11 523 tl. 8 mm	vyhoví	vyhovuje	vyhoví	vyhoví	vyhoví	vyhovuje	?	?	?

Vysvětlivky:

Vyhovuje	Vyzkoušeno a vyhovuje (při výtrži zadní strany vzorku bez průrazu kontrolní desky vyhodnoceno jako vyhovující)
Nevyhovuje	Vyzkoušeno a NEvyhovuje
Vyhoví	Nezkoušeno, ale vzhledem k výsledkům ostatních zkoušek lze předpokládat, že vzorek vyhoví
Nevyhoví	Nezkoušeno, ale vzhledem k výsledkům ostatních zkoušek lze předpokládat, že vzorek NEvyhoví
?	Nezkoušeno a nelze předpokládat výsledek

Z provedených zkoušek, shrnutých v tabulkách číslo 9, 10 a 11 uvedených výše, je možné získat přehled o balistické odolnosti, kterou poskytují stavební materiály a stavební konstrukce.

Z provedených zkoušek je patrné, že sloupkové, panelové a srubové skladby dřevostaveb bez aplikovaných zesílení, dosahují žádné či minimální balistické ochrany maximálně na úrovni 1 při sedmi bodové škále. Skladba z pórobetonu Ytong s omítkou celkové tloušťky 323 mm neposkytuje žádnou prokázanou balistickou ochranu.

Skladba z cihel Porotherm tloušťky alespoň 300 mm vykazuje odolnost na úrovni 5 ze 7. Plná pálená cihla o tloušťce alespoň 290 mm vykazuje odolnost úrovně 6 na sedmibodové škále.

Při porovnání těchto výsledků lze konstatovat, že dřevostavby bez aplikovaných opatření, jsou v porovnání s tvárnici Ytong stejně odolné. Při porovnání dřevostaveb se stavbami z cihel je patrné, že cihelné stavby jsou výrazně odolnější.

Po aplikaci keramické či betonové dlažby na sloupkovou konstrukci došlo ke zlepšení odolnosti na úroveň 4 ze 7. A zároveň ke zvýšení odolnosti brokové ráži. Po aplikaci keramické i betonové dlažby na sloupkovou konstrukci došlo ke zlepšení na úroveň 7 ze 7 včetně odolnosti proti brokové ráži. Lze tedy konstatovat, že navržená zesílení pomocí keramické a betonové dlažby přispěla ke zvýšení odolnosti na nejvyšší možnou úroveň uvedenou v ČSN 39 5360.

Při aplikaci keramické nebo betonové dlažby či kombinace keramické a betonové dlažby na panelovou konstrukci s dřevovláknitou izolací tloušťky 200 mm došlo ke zlepšení balistické odolnosti z úrovně 1 na úroveň 7. Tedy na nejvyšší možnou úroveň uvedenou v ČSN 39 5360.

Z výsledků zkoušek sloupkové konstrukce s navrženým zesílením v podobě betonové dlažby i z výsledků kombinace keramické a betonové dlažby na úroveň TBO SG lze usuzovat, že panelové konstrukce by odolali úrovni TBO SG. A to z důvodu většího množství materiálu i výchozích balistických vlastností.

Z provedených experimentů lze vyvodit závěr, že vrstva keramické dlažby na fasádě konstrukce způsobí výraznou fragmentaci střel s olověným jádrem. Střely s jádrem ocelovým jsou při průchodu keramickou dlažbou zbaveny pláště. Dále je možné usuzovat, že vrstva dřevovláknité izolace v konstrukci způsobí značné zpomalení střely a zastavení menších fragmentů.

Domnívám se, že určitý vliv na odolnost skladby by mohla mít mezera mezi vloženou betonovou dlaždicí a sádrokartonovou deskou. Pokud by mezi betonovou dlažbou a sádrokartonovou deskou byla mezera alespoň 1 cm, spotřebovala by se část energie k posunutí betonové desky či vytvoření a posunutí výtrže betonu a následnému opření či proražení vrstvy sádrokartonu. Toto by bylo potřeba ověřit dalšími zkouškami.

8.3 APLIKACE V PRAXI

Při výběru materiálů pro zvýšení balistické odolnosti byl brán v potaz také způsob montáže. A to s ohledem na případnou aplikaci v praxi. Důraz byl kladen na jednoduchost montáže s využitím známých technologií tak, aby opatření mohli snadno realizovat tesaři či zahraniční stavební dělníci. Technologie obložení fasády keramickým obkladem je proveditelná prostřednictvím běžných obkladačských technik. Vložení betonové dlažby do instalační předstěny panelové konstrukce je snadné a lze je provést v průběhu montáže sádrokartonu na laťování. Pro zajištění polohy betonových dlaždic ve svislém směru je možné použít stavební provázek připevněný sponkami k laťování. Stejně tak je možné betonové dlaždice vložit do prefabrikované stěny v průběhu výroby panelu. Zde by bylo potřeba zajistit betonovou dlažbu na spodní straně panelu, aby nedošlo k jejímu vypadnutí při manipulaci jeřábem. U sloupkové konstrukce, při aplikaci betonové dlažby, je třeba provést obložení sloupků vhodným deskovým materiálem a následně provést laťování a obložení sádrokartonem.

8.4 DALŠÍ MOŽNOSTI ZVÝŠENÍ BALISTICKÉ ODOLNOSTI

Kromě zkoušených opatření pomocí keramické a betonové dlažby by bylo možným řešením vložení ocelového plechu. Při tloušťce ocelového plechu třídy 11 alespoň 8 mm, by se dalo očekávat zvýšení odolnosti sloupkové i panelové konstrukce na úroveň TBO 5 CZ. Toto řešení by však mělo vliv na stavební fyziku konstrukce a bylo by nezbytné provést její posouzení. Montáž na staveništi by byla při použití plechu komplikovaná z důvodu manipulace. Problémy by vznikly při formátování plechu a jeho kotvení. V případě prefabrikace stěnových panelů rámové konstrukce by bylo možné vložit plech při montáži rámu na montážním stole při aplikaci opláštění.

V případě CLT panelů je možné mezi jednotlivé vrstvy vložit vrstvu ocelových plechů, skelných či aramidových vláken. Při výrobě CLT panelů by bylo potřeba zvolit jinou technologii lepení (Sarborn, 2018). V případě použití technologie DEKpanelu, který je vyráběn z křížem skládaných a následně šroubovaných prken, by bylo možné vkládat plechy při výrobě. To za předpokladu použití samořezných vrtů či předvrtání otvorů pro klasické vruty.

9 ZÁVĚR

V rámci práce došlo k experimentálnímu stanovení balistické odolnosti navržených skladeb konstrukcí obvodového pláště dřevostaveb. Z provedených experimentů vyplývá, že skladby dřevostaveb vykazují žádnou nebo velmi nízkou balistickou odolnost. Sloupková konstrukce nevykazuje žádnou balistickou odolnost. Panelové konstrukce se zateplením z polystyrenu a srubové konstrukce shodně vykazaly odolnost na úrovni TBO 1.

Panelové konstrukce se zateplením z dřevovláknité izolace vykazaly odolnost na úrovni TBO 1. Při zkouškách této skladby na úroveň odolnosti TBO2 a TBO2 CZ vykazala konstrukce nejednoznačné výsledky. Proto ji nelze považovat za vyhovující pro TBO 2 nebo TBO 2 CZ.

Byly navrženy zesílené skladby obvodových plášťů dřevostaveb. Při návrhu byly zohledněny současné technologické postupy montáže a prefabrikace dřevostaveb. Výsledkem je návrh na použití keramické dlažby z vnější strany konstrukce, betonových dlaždic z vnitřní strany konstrukce nebo kombinace obou zmíněných řešení. Materiály zvolené pro zvýšení balistické odolnosti jsou běžnými stavebními materiály. Jejich zpracování a montáž odpovídají běžným postupům, proto je možné předpokládat jejich snadnou aplikaci v praxi.

U zesílených skladeb byla experimentálně stanovena balistická odolnost. Po aplikaci keramické dlažby nebo betonové dlažby na sloupkovou konstrukci došlo ke zvýšení balistické odolnosti na úroveň TBO 4 CZ. Tedy ke zlepšení odolnosti o čtyři úrovně.

Při aplikaci keramické i betonové dlažby na sloupkovou konstrukci došlo ke zvýšení odolnosti na úroveň TBO 7 CZ včetně TBO SG.

Po aplikaci betonové dlažby do předstěny panelové konstrukce z masivního dřeva s kontaktním zateplovacím systémem z dřevovláknité izolace došlo ke zvýšení balistické odolnosti na úroveň TBO 5 CZ a TBO 7 CZ. Tedy ke zlepšení odolnosti o sedm úrovní.

Po aplikaci betonové dlažby do předstěny panelové konstrukce z masivního dřeva s kontaktním zateplovacím systémem z dřevovláknité izolace s provětrávanou fasádou s obložením z keramické dlažby došlo ke zvýšení balistické odolnosti na úroveň TBO 7 CZ. Z provedených zkoušek dané konstrukce lze vyvodit závěr, že pokud by konstrukce byla opatřena pouze keramickou dlažbou, vyhověla by tato konstrukce požadavkům TBO 7 CZ.

Podařilo se tedy navrhnout obvodový plášť dřevostavby na bázi sloupkové a panelové konstrukce, která vyhoví nejnáročnějším požadavkům odpovídající TBO 7 CZ včetně TBO SG dle ČSN 39 5360.

Výsledky provedených zkoušek byly zdokumentovány fotograficky. Některé zkoušky byly natočeny vysokorychlostní kamerou.

Při porovnání výsledků experimentů stěn dřevostaveb s výsledky testů zděných konstrukcí a stavebními materiály v tabulkách č. 9, 10 a 11 lze konstatovat, že dřevostavby samotné disponují žádnou nebo velmi nízkou balistickou odolností. Jejich balistická odolnost je podobná pórobetonu Ytong.

Vyšší balistickou odolností než dřevostavby disponují cihly Porotherm a plná pálená cihla při tloušťkách zdiva 300 mm. Vyšší balistickou odolnost má také betonová dlažba tloušťky 50 mm a ocelový plech třídy 11 523 tloušťky 8 mm.

Dřevostavby samy o sobě neodolají účinkům střel z ručních palných zbraní, ale dokážeme pomocí současných materiálů a technologií zvýšit jejich balistickou odolnost, která vyhoví nejnáročnějším požadavkům odpovídající TBO 7 CZ a TBO SG dle ČSN 39 5360.

10 SUMMARY

This thesis deals with an experimental determination of the ballistic resistance of the designed structure composition of the wooden structure walls. The experiments show that the compositions of wooden structure walls show none or very low ballistic resistance. The column construction shows no ballistic resistance. Panel constructions with polystyrene insulation and log constructions both showed resistance at the level of TBO 1.

Panel constructions with wood fiber insulation showed resistance at the level of TBO 1. During the tests of this composition on the level of resistance of TBO2 and TBO2 CZ, the construction showed ambiguous results. Therefore, it cannot be considered compliant with TBO 2 or TBO 2 CZ.

Reinforced compositions of the wooden structure walls were designed. The design took into account the current technological procedures for the assembly and prefabrication of wooden buildings. The result is usage of ceramic tiles on the outer side of the structure, concrete paving on the inner side of the structure or a combination of both of them. Materials selected to increase the ballistic resistance are common building materials. Their processing and assembly are in accordance with common procedures, therefore it is possible to assume their easy application in practice.

The ballistic resistance of the reinforced wooden structure walls was experimentally determined. After the application of ceramic tiles or concrete paving on the column structure, the ballistic resistance was increased to the level of TBO 4 CZ. Therefore the ballistic resistance was improved by four levels. After the application of ceramic tiles and concrete paving on the column structure, the ballistic resistance was increased to the level of TBO 7 CZ including TBO SG. Therefore the ballistic resistance was improved by seven levels.

After the application of concrete paving to the front wall of a panel structure made of solid wood with a contact thermal insulation system made of wood fiber insulation, the ballistic resistance was increased to the level of TBO 5 CZ and TBO 7 CZ.

After the application of concrete paving to the front wall of a panel structure made of solid wood with a wood fiber insulation with a ventilated facade with ceramic tiles, the ballistic resistance was increased to the level of TBO 7 CZ. From the tests performed

on the structure, it can be concluded that if the structure was provided only with ceramic tiles, this structure would meet the requirements of TBO 7 CZ.

Reinforced wooden structure walls based on a column structure and panel construction, which meets the most demanding requirements corresponding to TBO 7 CZ and TBO SG according to ČSN 39 5360 was invented.

The results of the performed tests were documented photographically. Some tests were filmed with a high-speed camera.

When comparing the results of experiments on the walls of wooden buildings with the test results of masonry structures and building materials referred in Tables No. 9, 10 and 11, it can be stated that wooden buildings themselves have none or very low ballistic resistance. Their ballistic resistance is similar to Ytong aerated concrete.

Porotherm bricks and solid bricks with a masonry thickness of 300 mm have higher ballistic resistance than wooden buildings. Higher ballistic resistance has also 50 mm thick concrete paving and 8 mm thick steel sheet class 11 523.

Wooden buildings alone will not withstand the effects of small arm calibres, but we can use current materials and technologies to increase their ballistic resistance which meets the most demanding requirements corresponding to TBO 7 CZ and TBO SG according to ČSN 39 5360.

SEZNAM LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

BUCHAR, Jaroslav a Josef VOLDŘICH. *Terminální balistika*. 1. Praha: Academia, 2003. ISBN 80-200-1222-2.

Baikal IŽ 18 MN. In: *Lovec shop* [online]. Artemis Trade [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.lovec-shop.cz/baikal-iz-18-mn>

ČESKO. Ministerstvo vnitra. Zákon č. 119/2002 Sb. ze dne 8. března 2002, *O střelných zbraních a střelivu*, ve znění pozdějších předpisů. Sbírka zákonů České republiky.

Český úřad pro zkoušení zbraní a střeliva: C.I.P. – všeobecné informace [online]. In: . [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <http://www.cuzzs.cz/cs/vseobecne-informace/>

Commission Internationale Permanente: C.I.P. In: *Munitions: 308 Win.* [online]. 14.6.1984, s. 1 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z:

<https://www.cip-bobp.org/homologation/uploads/tdcc/tab-i/tabical-en-page125.pdf>

ČSN 39 5360. (1995): ZKOUŠKY ODOLNOSTI OCHRANNÝCH PROSTŘEDKŮ. Zkoušky odolnosti proti střelám, střepinám a bodným zbraním. Technické požadavky a zkoušky. Český normalizační institut.

ČSN EN 1522. (2000): Okna, dveře, uzávěry a rolety – Odolnost proti průstřelu – Požadavky a klasifikace. Český normalizační institut.

FRINTA, Petr (2013). Účinky střeliva systematizovaného u Policie České republiky na vybrané stavební materiály [diplomová práce] (Brno: Masarykova univerzita).

FASTCAM MINI UX. In: *Phorton* [online]. Tokyo [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://photron.com/mini-ux/>

HOBST, Leonard a Yvona ZWETTLERVÁ. *Betony vojenských opevnění. Beton: technologie, konstrukce, sanace* [online]. 2003, 2003, 2003(6), 64 [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: https://www.betontks.cz/sites/default/files/2003-6-24_0.pdf

HOLENDA, Martin. (2019) *Odolnosť obvodových stien drevostavieb proti priestreľu: [bakalárska práca]* (Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. Drevárska fakulta).

HRADLA CALDWELL BALLISTIC PRECISION. In: *Gun.cz* [online]. NEXT COMPANY [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://gun.cz/Mereni-ustove-rychlosti-a-vetru/Hradla-Caldwell-Ballistic-Precision-pro-mereni-rychlosti>

KOUBEK, Jiří (2012). *Posouzení odolnosti vybraných stavebních prvků proti průstřelu z ručních palných zbraní [diplomová práce]* (Ostrava: Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava).

NIJ Standard-0101.04. (2001): Ballistic Resistance of Personal Body Armour. Revision A. Washington, DC: U.S. Department of Justice Office of Justice Programs National Institute of Justice, 2001.

NAVRÁTIL, Michal (2011). *Posouzení odolnosti vrstvených desek na bázi dřeva proti proražení [diplomová práce]* (Brno: Mendlova univerzita v Brně).

PANÁČEK, Roman (2017). *Bezpečnostní studie balistické odolnosti vybraných materiálů [diplomová práce]* (Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava).

RAČIŪNIENĖ, N. 7.62x51 NATO Ball Ammunition: PRODUCT INFORMATION SHEET. In: <https://www.ggg-ammo.lt/> [online]. JSC Giraites Ginkluotes Gamykla (GGG), 30.1.2020 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: https://www.ggg-ammo.lt/index.php?route=product/product/download&download_id=57

Rossi Level actions rifles: R92 44 MAG 24" 12 ROUNDS OCTAGONAL BARREL BLACK / BRAZILIAN HARDWOOD. In: *Braztech International, L.C., Inc. USA: Rossi USA* [online]. 2021 [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://rossiusa.com/firearms/lever-action-rifles/57-r92-44-mag-24-12-rounds-octagonal-barrel-black-brazilian-hardwood>

SANBORN, K., B. RISEN, R. GENTRY a L. STEWARD. Ballistic Performance of Enhanced Cross-laminated Timber (ECLT). WIT Transactions on The Built Environment 180 [online]. 2018, , 12 [cit. 2021-04-10]. ISSN 1743-3509. Dostupné z: doi:10.2495/SUSI180241

Sellier & Bellot, 357 MAGNUM. (<http://www.sellier-bellot.cz/produkty/pistolove-a-revolverove-naboje/pistolove-a-revolverove-naboje/seznam-produktu/detail/272/>), [cit. 2021-04-09].

Sellier & Bellot, 7,62x25 TOKAREV. (<http://www.sellier-bellot.cz/produkty/pistolove-a-revolverove-naboje/pistolove-a-revolverove-naboje/seznam-produktu/detail/295/>), [cit. 2021-04-09].

Sovětský samopal AK 47. *Vojenský Historický Ústav Praha* [online]. Praha [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <http://www.vhu.cz/exhibit/sovetsky-samopal-ak-47/>

TRANDOVÁ, Lenka. KAŽDÝ 7. RODINNÝ DŮM V ČESKU JE ZE DŘEVA! *ADMD: Asociace dodavatelů montovaných dřevostaveb* [online] 2021. [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://www.admd.cz/aktuality/kazdy-7-rodinny-dum-v-cesku-je-ze-dreva>

PŘÍLOHY

Příloha č. 1

Protokoly provedených zkoušek, vyhodnocené dle metodiky ČSN 39 5360

Příloha č. 2

Tabulky číslo 9; 10; 11; porovnání skladeb dřevostaveb, zděných konstrukcí a stavebních materiálů