

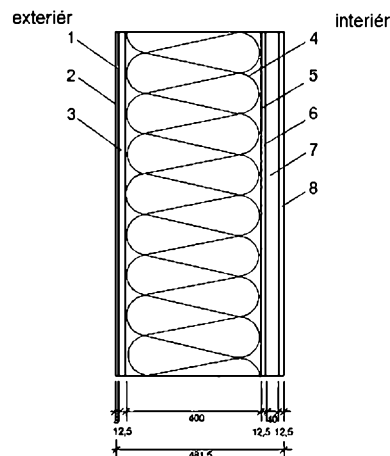
(19)
ČESKÁ
REPUBLIKAÚŘAD
PRŮMYSLVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: 2022-342
 (22) Přihlášeno: 17.08.2022
 (40) Zveřejněno: 20.12.2023
 (Věstník č. 51/2023)
 (47) Uděleno: 09.11.2023
 (24) Oznámení o udělení ve věstníku: 20.12.2023
 (Věstník č. 51/2023)

E04B 2/02 (2006.01)
 E04B 2/38 (2006.01)
 E04B 2/70 (2006.01)
 E04B 1/78 (2006.01)
 E04B 1/98 (2006.01)

- (56) Relevantní dokumenty:
 HOLUB, Petr. Vliv aktivních přísad na vybrané vlastnosti cementových kompozitů vytvrzovaných za různých hydrotermálních podmínek. Diplomová práce/Thesis; ČVUT v Praze, 2018, p. 1-73 [online] [retrieved on 15.02.2023]. Retrieved from <<https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/74558/F1-DP-2018-Holub-Petr-DP.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>>; ALBLOVA, Nikol. Vlastnosti materiálů na bázi alkalicky aktivovaného cihelného prachu. Diplomová práce/Thesis; ČVUT v Praze, 2017, p. 1-94 [online] [retrieved on 15.02.2023]. Retrieved from <<https://docplayer.cz/107772715-Ceske-vysoke-uceni-technicke-v-praze-fakulta-stavebni-diplomova-prace-bc-nikol-alblova.html>>. US 2017175388 A1; CZ 22469 U1; CZ 200846 A3; WO 2017174560 A1; CN 107032676 A; CN 112358241 A; CN 112390576 A.

- (73) Majitel patentu:
 Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha 6,
 Suchbát, CZ
- (72) Původce:
 Bc. Martin Holenda, DiS., Praha 10, Strašnice, CZ
 Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D., Dvůr Králové nad
 Labem, CZ
 Ing. Miroslav Sedlecký, Ph.D., Praha 2, Nové
 Město, CZ
 Ing. Miloš Pavelek, Ph.D., Kralupy nad Vltavou,
 Lobeč, CZ
 Ing. Radek Rinn, Praha 7, Holešovice, CZ
 Ing. Adam Šikora, Ph.D., Trinec, Kanada, CZ
 Ing. et. Ing. Štěpán Hýsek, Ph.D., Praha 6, Dejvice,
 CZ
 Ing. Ondřej Dvořák, Chyžky, CZ
 Ing. Tomáš Kytka, Bystřička, CZ
- (74) Zástupce:
 artpatent, advokátní kancelář s.r.o., Dukelských
 hrdinů 976/12, 170 00 Praha 7, Holešovice



- (54) Název vynálezu:
Obvodový plášť dřevostavby s vysokou balistickou odolností
- (57) Anotace:
 Řešením je obvodový plášť dřevostavby, který je vhodný pro zvýšení balistické odolnosti pro ochranu uživatelů obytných objektů. Skladba obvodového pláště ze strany exteriéru zahrnuje první vrstvu (1) keramického obkladu, druhou vrstvu (2) pojícího silikonového tmelu, třetí vrstvu (3) dřevotřískové OSB desky, čtvrtou vrstvu (4) tepelně-izolačního vypěněného geopolymery, pátou vrstvu (5) difúzně uzavřenou parozábranu, šestou vrstvu (6) sádrovláknité desky, sedmou vrstvu (7) litého bariérového vysokohustotního geopolymery a osmou vrstvu (8) sádrovláknité desky.

Obvodový plášť dřevostavby s vysokou balistickou odolností

Oblast techniky

Vynález se týká skladby jednotlivých vrstev obvodového pláště obytné dřevostavby, která výrazně zvyšuje balistickou odolnost proti proniknutí projektilů a střepin, současně zlepšuje statické, tepelně-akumulační a akustické vlastnosti skeletu a zvyšuje odolnost vůči šíření požáru.

Dosavadní stav techniky

Konstrukce obvodových plášťů obytných dřevostaveb podléhají hodnocení balistické odolnosti, přičemž se provádí zkoušky odolnosti proti střelám, střepinám a bodným zbraním. Při konstrukci obvodových plášťů jsou obecně preferovány požadavky na uplatnění přírodních obnovitelných materiálů s optimálními mechanickými, tepelně-izolačními, akustickými a balistickými parametry a s vysokým stupněm požární odolnosti. U všech doposud vyvinutých konstrukčních systémů obvodových plášťů obytných objektů na bázi dřeva jsou však použité takové materiály a skladby, díky kterým požadavky na balistickou odolnost nejsou splněny a současně parametry mechanické, tepelně-izolační, akustické a protipožární nejsou optimální. Základní nosný rám lehkého skeletu rámové konstrukce tvoří lamely z konstrukčního dřeva (smrk, jedle, modřín, borovice) sestavené do roštu o požadovaném tvaru, spojené spojovacími prostředky (ocelového hřebíky, vruty, spony, úhelníky). Rám je opláštěn konstrukčními deskami vyrobených z materiálů na bázi dřeva a pojiv (orientovaně lisované dřevotřískové desky (OSB), sádrokartonové, sádrovláknité, cementotřískové, cementovláknité desky). Jako tepelná izolace se využívají tepelně-izolační materiály na bázi přírodních vláken (dřevovláknité, materiály na bázi zemědělských plodin), materiály na bázi živočišných vláken (ovčí rouno, rouno z lamy alpaky), materiály na bázi minerálních vláken (skelné vlákno, kamenné minerální vlákno) a na bázi syntetických polymerů (expandovaný (EPS), extrudovaný (XPS) polystyren), jako je například uvedeno v publikaci Victor Almeida De Araujo, V.A., Cortez-Barbosa, J., Garcia, J.N., Gava, M., Laroca, Ch., César, S.F. (2016). Woodframe: Light framing houses for developing countries. Revista de la Construcción 15(2): 78-87. DOI: 10.4067/S0718-915X2016000200008. Tyto používané materiály nemají z hlediska skladby jednotlivých vrstev a z hlediska materiálových charakteristik takovou hustotu, pevnost a tuhost, aby bez dodatečných úprav splňovaly požadavky na balistickou odolnost proti průniku střel pistolových a puškových zbraní. Z tohoto důvodu je v případě zásahu projektilem velmi nízká bezpečnost bydlení uvnitř obytné dřevostavby. Zabránit průniku vystřelených střel z pistolových a puškových ráží je možné použitím takových opatření, která zvýší z konstrukčního hlediska odpor obvodového pláště aplikací odolných vrstev. Bezpečnostní situace v městských aglomeracích se stále zhoršuje, především pak v objektech obytných rodinných domů, komunitních center, škol, školek, církevních objektů, seniorhousů, sportovních a zdravotnických zařízení, objektů veřejné správy ve vlastnictví municipalit a státu. Naproti tomu skladby obvodových plášťů na bázi silikátových materiálů (pálená cihla, pórobeton, beton) běžně dosahují i nejvyššího stupně balistické odolnosti, jak uvádí například Kristoffersen, M., Toreskås, O.L., Dey, S., Børvik, T. (2021). Ballistic perforation resistance of thin concrete slabs impacted by ogive-nose steel projectiles. International Journal of Impact Engineering 156 (103957): 1-16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2021.103957>.

Způsobů, jak zvýšit balistickou odolnost konstrukce obvodového pláště obytných budov je celá řada.

Dokument US 2017175388 A1 popisuje způsob zvýšení balistické rezistence použitím betonových bloků umístěných do konstrukce vnitřní nebo vnější stěny obvodového pláště budovy alespoň ve dvou vrstvách, případně překrytých vrstvou sádrokartonu. Tloušťka jedné vrstvy

betonových bloků je tři palce (76,2 mm). Betonové bloky jsou sestavené tak, aby spoje nacházející se v jedné vrstvě byly umístěny jinde než spoje v další vrstvě.

5 Dokument EP 0990746 A1 popisuje stavební konstrukci obvodového pláště, která má na vnějších stěnách budovy aplikován flexibilní obklad o nízké hmotnosti, kterým může být keramika, a který zvyšuje balistickou odolnost. Pro aplikaci obkladu slouží upevňovací systém na principu suchého zipu. Nevýhoda tohoto řešení spočívá v tom, že keramika sice roztrhává projektil na několik menších částí, ale nezabrání průniku těchto menších částí dovnitř dřevostavby, tedy součástí technického řešení není vrstva situovaná pod keramickým obkladem, která by 10 absorbovala veškerou energii letícího projektilu tak, aby došlo k jeho zastavení. Obklad keramické dlažby neobsahuje vrstvu tepelně-izolačního materiálu, který by plnil funkci tepelně-izolačního materiálu a zároveň svými vlastnostmi byl schopen pohltit energii letícího projektilu.

15 Dokument US 2010319522 A1 popisuje betonovou ochranu strukturního prvku před explozí nebo balistickými hrozbami, obsahující plášť a betonové vrstvy absorbující energii, umístěné kolem strukturního prvku, který chrání. Betonové vrstvy absorbující energii jsou z velmi pevného betonu, který může obsahovat ocelová, keramická, skleněná, anebo kevlarová vlákna v množství až 120 kg/m³. Tloušťka betonové vrstvy je alespoň 0,5 palce (12,7 mm).

20 Dokument US 2010326336 A1 popisuje panel pro balistickou ochranu, složený z několika vrstev (PUR vrstva, betonová směs s keramikou). Povrch panelu obsahuje termoplastickou PUR vrstvu, která tlumí balistický průnik, další vnitřní vrstva je ocelová síť a pod ní betonová vrstva o tloušťce mezi 2 a 5 palci (50,8 až 127,0 mm), skelná vata.

25 Dokument US 10240338 B2 popisuje modulární systém z betonových panelů, potažených elastickým materiálem, který je rezistentní vůči projektilům a explozím.

Dokument US 2011239851 A1 popisuje izolační panel s vylepšenými balistickými vlastnostmi, který obsahuje první balistickou vrstvu, která zvýší průměr nárazu a energie, se kterou vstupuje 30 projektil do další vrstvy, se rozloží na větší plochu. Tato vrstva obsahuje například tkanou skleněnou vatu. Druhá vrstva je určena k tomu, aby se v ní projektil rozpadl nebo aby rotoval a měnil směr. Tato vrstva má menší pevnost v tahu než první vrstva. Třetí vrstva má zastavit pohyb střely tím, že absorbuje její zbytkovou energii. Tato vrstva obsahuje například aramidová nebo polyethylenová vlákna v termoplastické polymerní pryskyřici.

35 Dokument US 2016376803 A1 popisuje balistickou a protipožární ochranu z betonových panelů, které mohou uvnitř obsahovat zaoblené předměty, které brání pronikání projektilů skrz panel. Panely jsou skládány k sobě pomocí svislých sloupů/konstrukcí. Účelem je vytvoření balistické a protipožární ochrany kolem stavby a není tedy přímo součástí konstrukce obvodového pláště 40 stavby. Vnější strana konstrukce není opatřena keramickým obkladem.

Výše popsaná řešení obvodových stěn obytných domů nejsou vhodná pro rychlou prefabrikaci obytných domů na bázi lehké rámové konstrukce, jejichž hlavní nosný konstrukční rám je tvořen z konstrukčního dřeva. Proto jsou hledány systémy, které jsou lehké, ekologicky šetrné současně 45 plní mechanické, tepelně-izolační, akustické, balistické požadavky s vysokým stupněm požární odolnosti. Tyto požadavky by mohl splnit optimálně vyvinutý typ geopolymery, který by bylo možno aplikovat do skladby obvodového pláště lehké rámové konstrukce.

Z dosavadního stavu techniky jsou známy např. tyto typy geopolymery:

50 Dokument CN 110862271 A popisuje přípravu geopolymerního pěnového materiálu s obsahem vzduchových otvorů. Postup přípravy spočívá v napěnění kaše suroviny obsahující geopolymery, alkalický aktivátor, peroxid vodíku a dodecylbenzensulfonát sodný, kterým se reguluje velikost vzduchových otvorů. Předmětem dokumentu není aplikace geopolymery jakožto vrstvy pro 55 zvýšení balistické odolnosti obvodového skeletu budovy. Vypěněný geopolymery neobsahuje

podíl pevného ostříva o minimální velikosti od 1,0 do 3,0 mm a z tohoto důvodu nemá dostatečnou tvrdost a balistickou účinnost. Obsahuje otevřené póry, je primárně určen k úpravě vody, čištění vzduchu, vytvrzování těžkých kovů a jako nosič katalyzátoru. Otevřené póry geopolymerního pěnového materiálu významně snižují tepelně-izolační vlastnosti.

5

Dokument CN 105967535 A popisuje anorganický geopolymerní pěnový beton pro výrobu kompozitní stěnové desky, připravené anorganickým geopolymerním pěnovým betonem a způsob jejich přípravy. Anorganický geopolymerní pěnový beton obsahuje složky v hmotnostních dílech: 400 až 500 dílů anorganického geopolymerního cementového materiálu a 0,5 až 10 dílů pěnotvorného činidla, přičemž anorganický polymerní cementový materiál obsahuje 2 až 20 hmotnostních dílů aktivního křemičito-hlinitého 4 až 30 dílů hmotnostních vodného roztoku alkalické soli, 1 až 20 dílů anorganického plniva a 0,05 až 3 díly tužidla. Lehká a vysokopevnostní sendvičová tepelně izolační stěnová deska z anorganického geopolymerního pěnového betonu může být připravena z anorganického geopolymerního pěnového betonu podle vynálezu. Geopolymer z pěnového betonu však nemá takové tepelně izolační vlastnosti, aby jím mohl být zcela nahrazen běžný tepelně-izolační materiál a není vyráběn vypěněním do forem tak, aby byl vyroben v požadovaných formátech ve tvaru desek implementovaných do dřevěného rástu rámové konstrukce dřevostavby.

20 Dokument CN 103214263 A popisuje geopolymerní materiál ve formě tepelně izolační desky s vnější stěnou z pěnového popílku. Uhelňý popel a minerální prášek jsou napěněny a udržovány v geopolymerní tepelně izolační desce s vnější stěnou pěnového uhelného popela za buzení alkalického aktivátoru s využitím cineritové aktivity uhelného popela a minerálního prášku.

25 Vnější tepelně izolační deska z geopolymerního uhelného popela se skládá z následujících materiálů v hmotnostních procentech: 60 % až 95 % uhelného popela, 0,01 % až 30 % superjemného prášku strusky, 0,01 % až 30 % jemného kameniva a 0,3 % až 10 % stabilizátoru pěny. Jemné kamenivo se týká materiálů včetně nanometrového uhlíčitanu vápenatého, mletého kaolinu, práškového oxidu křemičitého, křemičitého úletu a podobně. A směsný aktivátor x je 30 alkalický směsný roztok obsahující množství želez a aktivních materiálů. Vnější tepelně izolační deska z geopolymerního uhelného popela nemá takové tepelně-izolační vlastnosti, aby mohla být použita ve skladbě obvodových stěn obytných objektů bez dodatečné aplikace tepelně-izolačních materiálů a nemůže zvýšit balistickou odolnost, protože je křehká.

35 Úkolem vynálezu je vyvinout optimální skladbu vrstev obvodového pláště, která by splňovala bezesbýtku požadavky balistické odolnosti, ale navíc by splňovala i tepelně-izolační a další požadavky kladené na obvodové pláště dřevostaveb.

40 Podstata vynálezu

Tento úkol je vyřešen vytvořením konstrukčního systému obvodového pláště dřevostavby podle vynálezu. Pod pojmem „obvodový plášť“ dřevostavby pro účely popisu tohoto vynálezu rozumíme obvodovou stěnu včetně nosné konstrukce tzn. rámu nesoucího jednotlivé vrstvy.

45

Podstata vynálezu je obvodový plášť dřevostavby, který obsahuje následující vrstvy, uspořádané za sebou ve směru z exteriéru dovnitř v tomto pořadí:

50 První vrstvu keramického obkladu, která tvoří povrch plochy obvodového pláště ze strany exteriéru. Vlivem nárazu projektilu dojde k poškození keramického obkladu za vzniku ostrých hran, které poškodí obal jádra projektilu tak, že dojde k jeho roztrhání a rozpadu na několik menších částí, které procházejí dále do dalších vrstev obvodového pláště.

Keramický obklad je aplikován a zafixován na povrch nosné konstrukční OSB desky prostřednictvím druhé vrstvy z komerčně dostupného lepicího silikonového tmelu na bázi polymeru silanu.

5 Třetí vrstvu tvoří konstrukční OSB deska, která je podkladovou nosnou vrstvou pro keramický obklad a současně ztužuje rámovou konstrukci dřevostavby. Pomocí hřebíkového spoje anebo prostřednictvím spon jsou OSB desky uchyceny na smrkové lamely, které tvoří hlavní nosnou rámovou konstrukci obvodového skeletu.

10 Čtvrtou vrstvou je tepelná izolace z vypěněného geopolymeru, díky které se nemusí aplikovat pod keramický obklad stěny dodatečná tepelná izolace na bázi např. extrudovaného polystyrenu, minerálního vlákna anebo dřevovlákn, a přitom jsou splněny požadavky na tepelně-izolační vlastnosti pro trvale obytné objekty.

15 Geopolymer tvořící čtvrtou vrstvu je aplikován ve formě naformátovaných desek mezi konstrukční prvky hlavní rámové konstrukce z lepeného lamelového dřeva. Díky své tloušťce, hustotě, tvrdosti a pevnosti geopolymer tvoří vrstvu, která funguje jako tepelná izolace, dochází k oddělení jednotlivých částí poškozeného obalu projektilu od letícího jádra, a přitom se snižuje jejich rychlost a dynamická energie tak, že zdeformované částice obalu kladou vlivem změny
20 svého tvaru vyšší odpor a tím dochází ke snížení jejich dynamické energie, rychlosti a průraznosti, až do fáze jejich zastavení. U jádra projektilu, zbaveného svého obalu, dochází průchodem čtvrtou vrstvou z tepelně-izolačního geopolymeru ke změně tvaru jádra, ke zvětšení jeho průměru a tím i ke snížení dynamické energie. Ne však natolik, aby čtvrtá vrstva zcela pohltila dynamickou energii jádra projektilu a úplně ho zastavila.

25 Pátá vrstva je standardní difúzně uzavřená parozábrana, která zvyšuje difúzní odpor konstrukce tak, že díky ní nedochází k průniku vlhkého vzduchu o relativní vlhkosti 55,0 až 68,0 % a teplotě 16 až 35 °C z interiéru do skladby obvodového pláště a tím nedochází k jeho kondenzaci uvnitř skeletu obvodového pláště a je tak zamezeno degradaci dřevěných konstrukčních prvků vlivem
30 vznikající hniloby či napadením houbami. Tato vrstva parozábrany nemá vliv na zvýšení balistické odolnosti skladby konstrukce.

Šestá vrstva je sádrovláknitá deska, která je aplikována za účelem ztužení konstrukce obvodového pláště a z důvodu vytvoření kapsy, do které jsou vloženy naformátované desky
35 litého bariérového vysokohustotního geopolymeru tvořícího sedmou vrstvu.

Sedmá vrstva je ve formě dlažby z litého bariérového vysokohustotního geopolymeru. Vysokohustotní geopolymer je s výhodou aplikován ve formě naformátovaných desek mezi konstrukční prvky hlavní rámové konstrukce z lepeného lamelového dřeva. Díky své objemové
40 hmotnosti, tvrdosti a pevnosti vysokohustotní geopolymer tvoří vrstvu, která sorbuje veškerou energii všech letících částic a jádra projektilu. Zbytkové letící částice poškozeného obalu projektilu, které mají nepravidelný tvar, jejichž dráha letu je po průletu první vrstvou geopolymeru zakřivena a jejichž dynamická energie nebyla úplně sorbována čtvrtou vrstvou, jsou sedmou vrstvou bariérového vysokohustotního geopolymeru zcela zastaveny, stejně tak jako
45 jádro. U jádra letícího projektilu, dochází k úplnému pohlcení dynamické energie a k jeho úplnému zastavení.

Ze strany interiéru je aplikována a pomocí vrutů uchycena osmá vrstva, což je standardní sádrovláknitá deska. Deska je aplikována na konstrukci obvodového pláště stran interiéru pro
50 vytvoření kapes, do kterých jsou vloženy naformátované desky vysokohustotního geopolymeru, tvořící sedmou vrstvu, a zároveň tvoří pohledovou stranu interiéru.

Ve výhodných provedeních vynálezu zahrnuje obvodový plášť dřevostavby tyto vrstvy s konkrétními následujícími parametry:

55

- první vrstvu, tvořenou keramickým obkladem tloušťky 3,0 až 5,0 mm o objemové hmotnosti $2000 \text{ kg/m}^3 \pm 50 \text{ kg/m}^3$;
- 5 – druhou vrstvu je tvořenou 0,5 až 2,0 mm silnou pojící vrstvou pružného lepicího silikonového tmelu na bázi polymeru silanu, obsahující 80,0 až 95,0 % hmotn. s výhodou 90,0 až 95,0 % hmotn. silikonu $[\text{R}_2\text{SiO}]_n$, 1,0 až 10,0 % hmotn. s výhodou 5,0 až 7,0 % hmotn. trimetoxivinylsilanu a 0,5 až 1,0 % hmotn. s výhodou 0,6 až 0,8 % hmotn. 2-(2H-benzotriazol-2-yl)-4,6-di-*terc*-pentylfenolu, který má funkci upevnění keramického obkladu
- 10 na vrstvu konstrukční OSB desky;
- třetí vrstvu, kterou tvoří konstrukční dřevotřísková OSB deska s výhodou tloušťky 12,5 až 22,0 mm o objemové hmotnosti $550 \text{ kg/m}^3 \pm 20 \text{ kg/m}^3$, skládající se z orientovaných plochých třísek dřeva smrku a borovice v množství od 52 do 57 % hmotn., pojiva melamin-formaldehydové pryskyřice v množství od 18 do 20 % hmotn., polymerické diphenylmethanediisocyanate v množství od 10 do 15 % hmotn. a parafínu v množství od 2,5 do 3 % hmotn., vztaženo na celkovou hmotnost OSB desky;
- 15
- čtvrtou vrstvu, kterou tvoří tepelná izolace z tepelně-izolačního vypěněného geopolymeru s uzavřenými póry tloušťky $400,0 \text{ mm} \pm 10,0 \text{ mm}$, rozměrech $575,0 \text{ až } 600,0 \text{ mm} \pm 5,0 \text{ mm} \times 610,0 \text{ až } 1220,0 \text{ mm} \pm 5,0 \text{ mm}$ o objemové hmotnosti $95 \text{ kg/m}^3 \pm 5 \text{ kg/m}^3$ a součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 0,060 \text{ až } 0,120 \text{ W/(m.K)}$, který se skládá z hlinitokřemičitého pojiva na bázi metakaolínu se složením SiO_2 (50,0 %), Al_2O_3 (46,0 %), Fe_2O_3 (0,5 %), CaO (0,5 %), MgO (0,1 %), Na_2O (0,1 %), K_2O (0,6 %) hmotn. % v množství od 40 do 42 % hmotn.,
- 20 popílků třídy C v množství od 10 do 12 % hmotn., alkalického aktivátoru vodního skla Na_2SiO_3 v množství od 45 do 47 %, desintegrovaného křemíkového ostříva na bázi karbidu křemíku SiC o velikosti od 1,0 do 3,0 mm v množství od 4,0 do 5,2 % hmotn. a hliníkového prášku o velikosti od 5 nm do 2,0 mm v množství od 0,3 do 0,6 % hmotn. vztaženo na celkovou hmotnost geopolymeru; implementovaného mezi konstrukční prvky rámové
- 25 konstrukce;
- 30
- pátou vrstvu, kterou tvoří difuzně uzavřená parozábrana tloušťky 0,3 až 0,5 mm z polyetylénu PE o objemové hmotnosti $918,0 \text{ kg/m}^3$;
- 35
- šestou vrstvu, kterou tvoří sádrovláknitá deska s výhodou tloušťky 12,5 mm až 22,0 mm o objemové hmotnosti $1150,0 \text{ kg/m}^3 \pm 50,0 \text{ kg/m}^3$, která je složena ze sádry v množství od 95 do 98 % hmotn. a s papírovými vlákny v množství od 2,0 do 5,0 % hmotn. a s implementovanou povrchovou hydrofobní vrstvou z keratinu v množství od 0,1 do 0,2 % hmotn.; vztaženo na celkovou hmotnost sádrovláknité desky;
- 40
- sedmou vrstvu, kterou tvoří monolitická dlažba z litého bariérového vysokohustotního geopolymeru s uzavřenými póry tloušťky $40,0 \text{ mm} \pm 5,0 \text{ mm}$ rozměrech $575,0 \text{ mm} \pm 5,0 \text{ mm} \times 575,0 \text{ mm} \pm 5,0 \text{ mm}$ o objemové hmotnosti $1000 \text{ kg/m}^3 \pm 5 \text{ kg/m}^3$, který se skládá z hlinitokřemičitého pojiva na bázi metakaolínu se složením SiO_2 (50,0 %), Al_2O_3 (46,0 %), Fe_2O_3 (0,5 %), CaO (0,5 %), MgO (0,1 %), Na_2O (0,1 %), K_2O (0,6 %) hmotn. % v množství od 40 do 42 % hmotn., popílků třídy C v množství od 10 do 12 % hmotn., alkalického aktivátoru vodního skla Na_2SiO_3 v množství od 1 do 10 % a desintegrovaného křemíkového ostříva na bázi karbidu křemíku SiC o velikosti od 1,0 do 10,0 mm v množství od 4,0 do 5,2 % hmotn. vztaženo na celkovou hmotnost geopolymeru;
- 45
- 50
- osmou vrstvu, kterou tvoří sádrovláknitá deska s výhodou tloušťky 12,5 až 22,0 mm o objemové hmotnosti $1150,0 \pm 50,0 \text{ kg/m}^3$, která je složena ze sádry v množství od 95,0 do 98,0 % hmotn. a s papírovými vlákny v množství od 2,0 do 5,0 % hmotn. a s implementovanou povrchovou hydrofobní vrstvou z keratinu v množství od 0,1 do 0,2 % hmotn.; vztaženo na celkovou hmotnost sádrovláknité desky.
- 55

Předkládaný vynález se týká použitých materiálů a skladby obvodového pláště sloupkové dřevěné konstrukce dřevostavby, která disponuje vhodnými tepelně-izolačními vlastnostmi, vysokým stupněm třídy reakce na oheň při splnění požadavku na zvýšenou balistickou odolnost pro ochranu uživatelů obytných objektů. Vynález skladby obvodového pláště pro zvýšení balistické odolnosti je zejména vhodný jako konstrukce obvodových stěn obytných budov na bázi dřevěné rámové konstrukce, na které jsou kladeny vyšší požadavky na balistickou ochranu uživatelů stavby vůči vnějšímu prostředí. Skladba konstrukce obvodového pláště objektu je přitom navržena na bázi rámové konstrukce tak, aby ji bylo možné realizovat prefabrikací na výrobní lince pomocí automatizované technologie, užívané pro výrobu běžných panelů obvodových stěn sloupkové konstrukce obytných prefabrikovaných dřevostaveb. Vynález skladby stěny obvodového pláště se zvýšenou balistickou odolností je vhodný pro aplikace výstavby obvodových plášťů obytných budov dřevostaveb proti možnosti zásahu a průchodu střeliva z ručních a puškových zbraní skrz obvodový plášť do interiéru. Řešení využívá poznatky z oblasti nových typů geopolymérů a kombinuje je s tradiční rámovou konstrukcí obvodového stěnového skeletu obytné dřevostavby.

Objasnění výkresů

Vynález bude blíže objasněn pomocí výkresů, na nichž znázorňují:

obr. 1: mikroskopickou strukturu tepelně-izolačního vypěněného geopolyméru ve zvětšení 1:1000,

obr. 2: makroskopickou strukturu tepelně-izolačního vypěněného geopolyméru v měřítku 1:1,

obr. 3: mikroskopickou strukturu litého bariérového vysokohustotního geopolyméru ve zvětšení 1:1000,

obr. 4: makroskopickou strukturu litého bariérového vysokohustotního geopolyméru v měřítku 1:1,

obr. 5: schéma obvodového pláště dřevostavby v řezu,

obr. 6: perspektivní pohled na obvodový plášť dřevostavby ze strany interiéru,

obr. 7: perspektivní pohled na obvodový plášť dřevostavby ze strany exteriéru,

obr. 8: perspektivní pohled na konstrukci rámu sloupkové konstrukce obvodového pláště dřevostavby ze strany exteriéru s implementovanou tepelnou izolací z tepelně-izolačního vypěněného geopolyméru.

Příklady uskutečnění vynálezu

Příklad 1: Skladba obvodového pláště rodinného domu obytné dřevostavby s vysokou balistickou odolností.

Pro výrobu obvodového pláště rodinného domu obytné dřevostavby se sloupkovou konstrukcí tvořící rám z dřevěných lamel byla aplikována následující skladba stran exteriéru:

- první vrstva 1 keramického obkladu tloušťky 3,0 mm o objemové hmotnosti $2000,0 \text{ kg/m}^3 \pm 50,0 \text{ kg/m}^3$. V jiných příkladech provedení může mít vrstva 1 keramického obkladu tloušťku až 5,0 mm.

- druhá vrstva 2 0,5 mm silné pojící vrstvy běžného komerčního pružného lepicího silikonového tmelu na bázi polymeru silanu, obsahující 90,0 % hmotn. silikonu $[R_2SiO]_n$, 5,0 % hmotn., 5,0 % hmotn. trimetoxivinylsilanu a 0,7 % hmotn. 2-(2H-benzotriazol-2-yl)-4,6-di-*terc*-pentylfenolu, který má funkci upevnění keramického obkladu na konstrukční nosnou dřevotřískovou OSB desku. V jiných příkladech uskutečnění může mít druhá vrstva 2 tloušťku až 2 mm, případně má tloušťku proměnlivou v rozmezí od 0,5 mm do 2 mm podle nerovností podkladu.
- třetí vrstva 3 komerčně dostupné konstrukční dřevotřískové OSB desky tloušťky 12,5 mm $\pm 0,2$ mm o objemové hmotnosti $550 \text{ kg/m}^3 \pm 20 \text{ kg/m}^3$, skládající se z orientovaných plochých třísek dřeva smrku a borovice v množství od 55 % hmotn., pojiva melamin-formaldehydové pryskyřice v množství 20,0 % hmotn., polymerické diphenylmethanediisocyanate v množství 10,0 % hmotn. a parafínu v množství 2,5 % hmotn., vztaženo na celkovou hmotnost OSB desky. V jiných příkladech uskutečnění může mít třetí vrstva 3 tloušťku až 22 mm.
- čtvrtá vrstva 4 tepelné izolace z tepelně-izolačního vypěněného geopolymery tloušťky 400,0 mm $\pm 10,0$ mm, rozměrech 575,0 až 600,0 mm $\pm 5,0$ mm x 610,0 až 1 220,0 mm $\pm 5,0$ mm o objemové hmotnosti $450,0 \text{ kg/m}^3 \pm 20,0 \text{ kg/m}^3$ a součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 0,062 \text{ W/(m.K)}$, který se skládá z hlinitokřemičitého pojiva na bázi metakaolinu se složením SiO_2 (50,0 %), Al_2O_3 (46,0 %), Fe_2O_3 (0,5 %), CaO (0,5 %), MgO (0,1 %), Na_2O (0,1 %), K_2O (0,6 %) hmotn. % v množství 40,0 % hmotn., popílku třídy C v množství 10,0 % hmotn., alkalického aktivátoru vodního skla Na_2SiO_3 v množství 45,0 %, desintegrovaného křemíkového ostríva na bázi karbidu křemíku SiC v množství 5,0 % hmotn. a hliníkového prášku v množství 0,5 % hmotn. vztaženo na celkovou hmotnost geopolymery; implementovaného mezi konstrukční prvky rámové konstrukce z lepeného lamelového dřeva o rozměrech průřezu lamel 40,0 x 400,0 mm a délky 2800 mm, které tvoří hlavní nosný konstrukční prvek obvodového pláště vzájemně spojené hřebíky anebo vruty. Čtvrtá vrstva 4 tvoří přířezy, který se jeden vedle druhého vkládají do dřevěné rámové konstrukce, nebo může tvořit i větší desky.
- pátá vrstva 5, což je difuzně uzavřená běžně komerčně dostupná parozábrana tloušťky 0,5 mm z polyetylenu PE o objemové hmotnosti $0,918 \text{ kg/m}^3$; Pátá vrstva 5 může být v jiných příkladech i slabší, minimální tloušťka je 0,3 mm.
- šestá vrstva 6 sádrovláknité desky tloušťky 12,5 mm $\pm 0,2$ mm o objemové hmotnosti $1150,0 \text{ kg/m}^3 \pm 50,0 \text{ kg/m}^3$, která je složena ze sádry v množství 95,0 % hmotn. a s papírovými vlákny v množství 4,8 % hmotn. a s implementovanou povrchovou hydrofobní vrstvou z keratinu v množství 0,2 % hmotn., vztaženo na celkovou hmotnost sádrovláknité desky. Šestá vrstva 6 může mít v jiných příkladech uskutečnění tloušťku až 22 mm.
- sedmá vrstva 7 monolitické dlažby z litého bariérového vysokohustotního geopolymery tloušťky 40,0 mm $\pm 5,0$ mm rozměrech 575,0 mm $\pm 5,0$ mm x 575,0 mm $\pm 5,0$ mm o objemové hmotnosti $1000,0 \text{ kg/m}^3 \pm 5,0 \text{ kg/m}^3$ 8, který se skládá z hlinitokřemičitého pojivo na bázi metakaolinu se složením se složením SiO_2 (50,0 %), Al_2O_3 (46,0 %), Fe_2O_3 (0,5 %), CaO (0,5 %), MgO (0,1 %), Na_2O (0,1 %), K_2O (0,6 %) hmotn. % v množství 40,0 % hmotn., popílku třídy C v množství 10,0 % hmotn., alkalického aktivátoru vodního skla Na_2SiO_3 v množství 45,0 %, desintegrovaného křemíkového ostríva na bázi karbidu křemíku SiC v množství 5,0 % hmotn. a hliníkového prášku v množství 0,5 % hmotn. vztaženo na celkovou hmotnost geopolymery. Sedmá vrstva 7 tvoří dlaždice, které se skládají vedle sebe a nad sebe, případně může tvořit i větší desky.
- osmá vrstva 8 sádrovláknité desky 9 tloušťky 12,5 $\pm 0,2$ mm o objemové hmotnosti $1150,0 \pm 50,0 \text{ kg/m}^3$, která je složena ze sádry v množství 95,0 % hmotn. a s papírovými vlákny v množství 4,8 % hmotn. a s implementovanou povrchovou hydrofobní vrstvou

z keratinu v množství 0,2 % hmotn.; vztaženo na celkovou hmotnost sádrovláknité desky, aplikovaná stran interiéru. V jiných příkladech uskutečnění může mít osmá vrstva 8 tloušťku až 22 mm.

5 Příklad 2: Výroba tepelně-izolačního vypěněného geopolymery

Tepelně-izolační vypěněný geopolymer je vytvořen procesem geopolymery, kdy se složka hlinitokřemičitého pojiva na bázi metakaolínu ve formě prášku o sklovité amorfnní struktuře o složení SiO_2 (50,0 %), Al_2O_3 (46,0 %), Fe_2O_3 (0,5 %), CaO (0,5 %), MgO (0,1 %), Na_2O (0,1 %), K_2O (0,6 %) hmotn. % v množství od 40 do 42 % hmotn. se smíchá popílkem třídy C ve formě prášku v množství od 10 do 12 % hmotn. a hliníkového prášku v množství od 0,3 do 0,6 % hmotn. vztaženo na celkovou hmotnost geopolymery. Po následném přidání alkalického roztoku aktivátoru vodního skla Na_2SiO_3 v množství od 45,0 do 47,0 %, hmotn. dojde ve směsi prášku k reakci iontů OH^- s povrchem aluminosilikátu a rozrušují kovalentní vazby Si-O-Si, Si-O-Al a Al-O-Al, které jsou přítomny v prášku pojiva metakaolínu, postupně dochází k uvolňování Si a Al iontu do roztoku. Zvyšující se množství křemíku (Si) v aktivacním roztoku roste i koncentrace Si, Al a Ca uvolněných do roztoku, přičemž současně dochází k chemickému spojení geopolymerních prekurzorů (oligomerů), a to prostřednictvím molekul vody, které vytvářejí makromolekulární pevné řetězce. Touto konečnou fází geopolymery vzniká zeolitická struktura, která je posledním stupněm dlouhodobých přeměn hlinitokřemičitanů, obsahujících určité množství sodné nebo draselné složky. Výsledná struktura tepelně-izolačního vypěněného geopolymery je tvořena náhodně uspořádanou trojrozměrnou strukturou, která disponuje vysokou tvrdostí a pevností.

25 Příklad 3: Výroba litého bariérového vysokohustotního geopolymery

Litý bariérový vysokohustotní geopolymer je vytvořen procesem geopolymery, kdy složka hlinitokřemičitého pojiva na bázi metakaolínu ve formě prášku o sklovité amorfnní struktuře o složení SiO_2 (50,0 %), Al_2O_3 (46,0 %), Fe_2O_3 (0,5 %), CaO (0,5 %), MgO (0,1 %), Na_2O (0,1 %), K_2O (0,6 %) hmotn. % v množství od 40,0 do 42,0 % hmotn. se smíchá popílkem třídy C ve formě prášku v množství od 10,0 do 12,0 % hmotn., práškem desintegrovaneho křemíkového ostřiva na bázi karbidu křemíku SiC v množství od 4,0 do 5,2 % hmotn. a hliníkového prášku v množství od 0,3 do 0,6 % hmotn. vztaženo na celkovou hmotnost geopolymery. Vyšší podíl ostřiva má vliv na vyšší odolnost a tvrdost geopolymery. Po následném přidání alkalického roztoku aktivátoru vodního skla Na_2SiO_3 v množství od 45,0 do 47,0 %, hmotn. dojde ve směsi prášku k reakci iontů OH^- s povrchem aluminosilikátu a rozrušují kovalentní vazby Si-O-Si, Si-O-Al a Al-O-Al, které jsou přítomny v prášku pojiva metakaolínu, postupně dochází k uvolňování Si a Al iontu do roztoku. Zvyšující se množství křemíku (Si) v aktivacním roztoku roste i koncentrace Si, Al a Ca uvolněných do roztoku, přičemž současně dochází k chemickému spojení geopolymerních prekurzorů (oligomerů), a to prostřednictvím molekul vody, které vytvářejí makromolekulární pevné řetězce. Touto konečnou fází geopolymery vzniká zeolitická struktura, která je posledním stupněm dlouhodobých přeměn hlinitokřemičitanů, obsahujících určité množství sodné nebo draselné složky. Výsledná struktura litého bariérového vysokohustotního geopolymery je tvořena náhodně uspořádanou trojrozměrnou strukturou, která disponuje vysokou tvrdostí a pevností.

Příklad 4: Testování mechanicko-fyzikálních vlastností tepelně-izolačního vypěněného geopolymery a litého bariérového vysokohustotního geopolymery a různých materiálů se zvýšenou balistickou odolností – srovnání průkaznou zkouškou metodou třibodového ohybu

V rámci výzkumu a vývoje skeletu obvodového pláště lehké rámové konstrukce dřevostavby byl v rámci projektu EVA 4.0, „Advanced research supporting the forestry and wood-processing sector's adaptation to global change and the 4th industrial revolution“ (grant no. CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_019/0000803) financed by OP RDE proveden test u testovaných materiálů prostřednictvím průkazné zkoušky metodou stanovení meze pevnosti v ohybu metodou zatížení

třibodovým ohybem dle normy EN 310 (1993) „Desky ze dřeva. Stanovení modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu“. Zkušební vzorky testovaných materiálů o rozměrech 40 x 40 x 160 mm (výška x šířka x délka) byly nejprve vždy klimatizovány po dobu 336 hodin při teplotě 20 ± 2 °C a relativní vlhkosti vzduchu 65 ± 5 % na ustálenou rovnovážnou vlhkost. Pevnost v ohybu byla vypočtena ze stanovených výsledných hodnot maximální síly a průhybu z realizovaných průkazných zkoušek třibodového ohybu, realizovaných na univerzálním testovacím stroji TIRA test 2850 (TIRA GmbH, Německo).

Pro porovnání byly tytéž testy provedeny se vzorky vybraných materiálů, které se běžně užívají do skladeb obvodových plášťů obytných domů a jsou na ně kladené požadavky na tepelně-izolačních vlastnosti a zvýšenou balistickou odolnost:

- a) tepelně-izolační vypěněný geopolymer s uzavřenými póry o objemové hmotnosti $\rho = 95 \text{ kg/m}^3 \pm 5 \text{ kg/m}^3$ (čtvrtá vrstva 4);
- b) litý bariérový vysokohustotní geopolymer s uzavřenými póry o objemové hmotnosti $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3 \pm 5 \text{ kg/m}^3$; (sedmá vrstva 7);
- c) beton C25 o objemové hmotnosti $\rho = 2320 \text{ kg/m}^3 \pm 5 \text{ kg/m}^3$;
- d) pálená cihla plná o objemové hmotnosti $\rho = 1820 \text{ kg/m}^3 \pm 5 \text{ kg/m}^3$;
- e) expandovaný polystyren o objemové hmotnosti $\rho = 60 \text{ kg/m}^3 \pm 0,5 \text{ kg/m}^3 \pm 5 \text{ kg/m}^3$.

Výsledné hodnoty meze pevnosti v ohybu σ [MPa] stanovené průkaznou zkouškou metody třibodového ohybu dle EN 310 jsou shrnuty v tabulce 1.

Tabulka 1: Výsledné hodnoty meze pevnosti v ohybu σ stanovené dle EN 310

Druh materiálu	Mez pevnosti v ohybu σ [MPa]
Tepelně-izolační vypěněný geopolymer (čtvrtá vrstva 4)	0,70901
Litý bariérový vysokohustotní geopolymer (sedmá vrstva 7)	2,85024
Beton C25	2,78376
Pálená cihla plná	2,01297
Expandovaný polystyren	0,000000025

Podle výsledků uvedených v tabulce 1 je zřejmé, že mez pevnosti v ohybu litého bariérového vysokohustotního geopolymery tvořícího sedmou vrstvu 7 dle předkládaného vynálezu je v porovnání k jiným testovaným materiálům na bázi silikátů, užívaným ve skladbách obvodového pláště, vyšší. Použití sedmé vrstvy 7 tohoto materiálu ve skladbě obvodového pláště zlepšuje jeho balistickou odolnost.

Příklad 5: Testování balistické odolnosti konstrukce obvodového pláště s aplikovaným litým bariérovým vysokohustotním geopolymery a různých konstrukčních systémů – srovnání průkaznou metodou průniku projektilu skrz konstrukci obvodového pláště

V rámci výzkumu a vývoje skeletu obvodového pláště lehké rámové konstrukce dřevostavby byla v rámci projektu EVA 4.0, „Advanced research supporting the forestry and wood-processing sector's adaptation to global change and the 4th industrial revolution“ (grant no. CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_019/0000803) financed by OP RDE stanovena balistická odolnost vyvinuté skladby, ta pak porovnává s běžně užívanými skladbami obvodových plášťů dřevostaveb (lehká rámová konstrukce, panelová konstrukce z masivního křížem lepeného dřeva, srubová

konstrukce z masivního dřeva) a skladbami s použitím silikátových materiálů (beton C25, pálené cihly plné). Pro stanovení balistické odolnosti byl uplatněn postup dle metodiky stanovené normou ČSN 395360 (2018) „Zkoušky odolnosti ochranných prostředků – Zkoušky odolnosti proti střelám, střepinám a bodným zbraním – Technické požadavky a zkoušky“. Zkušební vzorky testovaných skladeb obvodových plášťů byly o rozměrech 500 x 500 mm (výška x šířka), tloušťka daného zkušební vzorku byla definována dle tloušťky skladby stěny specifikované v Příkladu 1. Vzorek se umístil do požadované vzdálenosti od ústí hlavně. Pro každou třídu balistické ochrany (dále též „TBO“) je ČSN 395360 definována vzdálenost vzorku od ústí hlavně. Vzorek se umístil ve vzdálenosti od ústí hlavně 5 m pro TBO 2, 3, 4 a ve vzdálenosti 10 m pro TBO 1, 5, 6, 7. Zbraň se umístila horizontálně tak, aby osa hlavně svírala pravý úhel s dopadovou plochou vzorku. Během každého výstřelu byla měřena rychlost střely ve vzdálenosti 2,5 m od ústí hlavně, přičemž chronograf měřil tuto rychlost na úseku dlouhém 1 m. Přesnost měření rychlosti musela být lepší, než 1 %. Střed chronografu ležel ve vzdálenosti 2,5 m od ústí zbraně. Ve vzdálenosti 150 ± 10 mm za testovaným vzorkem byla umístěna kontrolní deska z hliníkové fólie o tloušťce 0,5 mm. Zkoušení vzorků obvodových stěn dřevostaveb probíhal za běžných provozních podmínek, které jsou stanoveny teplotou 21 ± 3 °C a relativní vlhkostí vzduchu v rozmezí 40 % až 80 %. Hodnocení tříd balistické odolnosti probíhal na základě definovaných podmínek dle normy ČSN 395360, kterými jsou předepsané ráže zbraně, tvar, váha, materiál střely a její rychlost. Třídy balistické odolnosti jsou škálovány do tříd TBO 1 až 7. Pro realizaci testů balistické odolnosti skeletů obvodových plášťů bylo použito výkonné puškové střelivo dlouhých zbraní s šestkrát opakovaným výstřelem do různých bodů vzorku obvodové stěny.

Pro porovnání byly tytéž testy provedeny se vzorky obvodové stěny, u kterých došlo k výměně čtvrté vrstvy 4 tepelně-izolačního vypěněného geopolymeru a sedmé vrstvy 7 litého bariérového vysokohustotního geopolymeru za jiné materiály tak, aby vždy daná skladba obvodového pláště splnila požadavky na dosažení stejného celkového součinitele prostupu tepla $U = 0,12$ až $0,15$ W/m²K stanoveného normou ČSN 730540-2 (2011) „Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky“ (tabulka 2):

- a) Plášť 01: Skladba pláště dle příkladu 1, s výměnou čtvrté vrstvy 4 za tepelně-izolační vypěněný geopolymer s uzavřenými póry o objemové hmotnosti $\rho = 95$ kg/m³ ± 5 kg/m³ s $\lambda = 0,062$ W/m.K a výměnou sedmé vrstvy 7 za litý bariérový vysokohustotní geopolymer s uzavřenými póry o objemové hmotnosti $\rho = 1000,0$ kg/m³ $\pm 5,0$ kg/m³ s $\lambda = 0,811$ W/m.K, celková tloušťka skladby $d = 482$ mm;
- b) Plášť 02: Skladba pláště dle příkladu 1) s výměnou čtvrté vrstvy 4 za tepelnou izolaci kamenné vlny lisované $\rho = 95,0$ kg/m³ $\pm 5,0$ kg/m³ s $\lambda = 0,063$ W/m.K a s výměnou sedmé vrstvy 7 za beton typu C25 $\rho = 2320,0$ kg/m³ $\pm 5,0$ kg/m³ s $\lambda = 1,312$ W/m.K, celková tloušťka skladby $d = 482$ mm;
- c) Plášť 03: Skladba pláště dle příkladu 1) s výměnou čtvrté vrstvy 4 za tepelnou izolaci kamenné vlny lisované $\rho = 140,0$ kg/m³ $\pm 5,0$ kg/m³ s $\lambda = 0,068$ W/m.K a s náhradou sedmé vrstvy 7 pálenými cihlami plnými $\rho = 2320,0$ kg/m³ $\pm 5,0$ kg/m³ s $\lambda = 0,883$ W/m.K, celková tloušťka skladby $d = 482$ mm.

Výsledné hodnoty TBO vzorků obvodového pláště 01-03 stanovené průkaznou zkouškou metodou dle ČSN 39 5360 jsou shrnuty v tabulce 2.

Tabulka 2: Výsledné hodnocení dosažené třídy balistické odolnosti vzorků obvodových plášťů stanovené dle ČSN 395360

Typ obvodového pláště	Ráže zbraně	Typ střely	Rychlost střely [m.s ⁻¹]	Hmotnost střely [g]	TBO
Plášť 01	7,62x51	CP/Fej.	820±10	9,8	TBO7
Plášť 02	7,62x51	CP/Pbj.	830±10	9,5	TBO6
Plášť 03	7,62x51	CP/Pbj.	830±10	9,5	TBO6

- Podle výsledků uvedených v tabulce 2 je zřejmé, Plášť 01 se skladbou vrstev dle vynálezu byl rezistentní vůči průchodu daného typu střely (jádra a obalu) splňující balistickou odolnost TBO7.
- 5 U skladeb skeletů obvodových plášťů Plášť 02 a Plášť 03 bylo dosaženo pouze balistické odolnosti TBO6. Použití tepelně-izolačního vypěněného geopolymery a litého bariérového vysokohustotního geopolymery výrazným způsobem zvýšilo balistickou odolnost obvodového pláště (tabulka 2) při zachování stejné tloušťky skeletu a lepších tepelně-izolačních vlastnostech
- 10 Příklad 6: Testování tepelně-izolačních vlastností materiálu litého bariérového vysokohustotního geopolymery a různých materiálů se zvýšenou balistickou odolností – srovnání průkaznou metodou stanovení součinitele tepelné vodivosti λ průkaznou zkouškou
- V rámci výzkumu a vývoje skeletu obvodového pláště lehké rámové konstrukce dřevostavby byl
- 15 v rámci projektu EVA 4.0, „Advanced research supporting the forestry and wood-processing sector's adaptation to global change and the 4th industrial revolution“ (grant no. CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_019/0000803) financovaný OP RDE stanoven u testovaných materiálů prostřednictvím průkazné zkoušky metodou stanovení prostupu tepla v kalibrované skříni s integrovanou teplou deskou a teplotních sond dle normy EN 12939 (2001) „Tepelné chování
- 20 stavebních materiálů a výrobků – Stanovení tepelného odporu metodami chráněné topné desky a měřidla tepelného toku – Výrobky s velkou tloušťkou o vysokém a středním tepelném odporu“ součinitel tepelné vodivosti λ [W/m.K], který charakterizuje množství tepla, které projde skrz strukturu daného materiálu za daný čas. Součinitel tepelné vodivosti λ slouží pro výpočet celkového součinitele prostupu tepla U [W/m²K] dle příkladu 5. Vzorky testovaných materiálů o
- 25 rozměrech 300 x 500 x 500 mm (výška x šířka x délka) byly nejprve vždy klimatizovány po dobu 336 hodin při teplotě 20 ± 2 °C a relativní vlhkosti vzduchu 65 ± 5 % na ustálenou rovnovážnou vlhkost. Následně byly vzorky materiálů s aplikovanými teplotními sondami aplikovanými na povrchu materiálů vloženy mezi integrovanou teplou a studenou desku zařízení kalibrované skříně typu Taurus TLP 900 (Netzsch Taurus Instrument GmbH, Německo), která je
- 30 konstruována dle požadavků normy EN 12939. Zde byla jedna strana testovaného materiálu plošně zahřívána konstantní teplotou 40 ± 2 °C a druhá strana plošně ochlazována na teplotu -10 ± 2 °C po dobu 672 hodin do fáze ustálení teploty na testovaném materiálu. Na základě výpočtu definovaného normou EN 12667 (2001) „Tepelné chování stavebních materiálů a výrobků –
- 35 Stanovení tepelného odporu metodami chráněné topné desky a měřidla tepelného toku – Výrobky o vysokém a středním tepelném odporu“ byl stanoven součinitel tepelné vodivosti λ [W/m.K], který charakterizuje intenzitu tepelného toku, který prošel skrz strukturu daného materiálu za daný čas a který je charakteristikou tepelně-izolační účinnosti materiálových vlastností, slouží pro výpočet celkového součinitele prostupu tepla U [W/m²K] dle příkladu 5.
- 40 Pro porovnání byly tyto testy provedeny se vzorky vybraných materiálů, které se užívají do skladem obvodových plášťů obytných domů a jsou na ně kladeny požadavky na tepelně-izolačních vlastnosti a zvýšenou balistickou odolnost:
- a) tepelně-izolační vypěněný geopolymer s uzavřenými póry o objemové hmotnosti $\rho = 95,0 \text{ kg/m}^3 \pm 5,0 \text{ kg/m}^3$;
- 45 b) litý bariérový vysokohustotní geopolymer s uzavřenými póry o objemové hmotnosti $\rho = 1000,0 \text{ kg/m}^3 \pm 5,0 \text{ kg/m}^3$;
- 50 c) beton C25 o objemové hmotnosti $\rho = 2320,0 \text{ kg/m}^3 \pm 5,0 \text{ kg/m}^3$;

d) pálená cihla plná o objemové hmotnosti $\rho = 1820,0 \text{ kg/m}^3 \pm 5,0 \text{ kg/m}^3$;

e) kamenná vlna o objemové hmotnosti $\rho = 140,0 \text{ kg/m}^3 \pm 5,0 \text{ kg/m}^3$.

5

Výsledné stanovené hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ [W/m.K] stanovené realizovanou průkaznou zkouškou dle ČSN EN 12939 (2011) „Tepelné chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení tepelného odporu metodami chráněné topné desky a měřidla tepelného toku – Výrobky s velkou tloušťkou o vysokém a středním tepelném odporu“ jsou shrnuty v tabulce 3.

10

Tabulka 3: Výsledné hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ stanovené dle ČSN EN 12939

Druh materiálu	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m.K]	Třída reakce na oheň
Tepelně-izolační vypěněný geopolymer (čtvrtá vrstva 4)	0,062	A1
Litý bariérový vysokohustotní geopolymer (sedmá vrstva 7)	0,811	A1
Beton C25	1,312	A1
Pálená cihla plná	0,883	A1
Kamenná vlna	0,068	A1

Podle výsledků uvedených v tabulce 3 je zřejmé, že z testovaných materiálů používaných do skladem obvodových plášťů obytných objektů vykazoval a které mají třídu reakce na oheň A1, nejlepší hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ stanovené dle ČSN EN 12939 vykazoval materiál tepelně-izolačního vypěněného geopolymery, který má vliv na zvýšení balistické odolnosti (příklad 2).

Příklad 7: Testování tepelně-izolačních vlastností skladby obvodového pláště rámové konstrukce dřevostavby s aplikovanou vrstvou tepelně-izolačního vypěněného geopolymery a litého bariérového vysokohustotního geopolymery a různých skladeb materiálů se zvýšenou balistickou odolností – srovnání metodou stanovení celkového součinitele prostupu tepla U

V rámci výzkumu a vývoje skeletu obvodového pláště lehké rámové konstrukce dřevostavby byly v rámci projektu EVA 4.0, „Advanced research supporting the forestry and wood-processing sector's adaptation to global change and the 4th industrial revolution“ (grant no. CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_019/0000803) financované OP RDE zkoumány a stanoveny tepelně-izolační vlastnosti u různých variant obvodových skeletů se zvýšenou balistickou odolností metodou stanovení celkového součinitele prostupu tepla U [W/m²K] dle normy ČSN 73 0540-4 (2005) „Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody“ a normy ČSN EN ISO 6946 (2020) „Stavební prvky a stavební konstrukce“.

Pro porovnání byly tytéž testy provedeny se vzorky obvodové stěny příkladu 1, u kterých došlo k výměně čtvrté vrstvy 4 tepelně-izolačního vypěněného geopolymery a sedmé vrstvy 7 litého bariérového vysokohustotního geopolymery za jiné materiály tak, aby vždy daná skladba obvodové ho pláště splnila požadavky na dosažení stejného celkového součinitele prostupu tepla stanoveného normou ČSN 730540-2 (2011) „Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky“ pro domy s celkovou energetickou bilancí v pasivu U = 0,12 až 0,15 W/m²K:

40

a) Plášť typ 01: Skladba pláště dle příkladu 1 s použitým tepelně-izolačním vypěněným geopolymery s uzavřenými póry ve čtvrté vrstvě 4 o objemové hmotnosti $\rho = 95,0 \text{ kg/m}^3 \pm 5,0 \text{ kg/m}^3$ s $\lambda = 0,062 \text{ W/m.K}$ a litým bariérovým vysokohustotním geopolymery s uzavřenými póry v sedmé vrstvě 7 o objemové hmotnosti $\rho = 1000,0 \text{ kg/m}^3 \pm 5,0 \text{ kg/m}^3$ s $\lambda = 0,811 \text{ W/m.K}$, celková tloušťka skladby d = 482 mm;

45

b) Plášť typ 02: Skladba pláště dle příkladu 1 s výměnou čtvrté vrstvy 4 za tepelnou izolaci kamenné vlny lisované $\rho = 95,0 \text{ kg/m}^3 \pm 5,0 \text{ kg/m}^3$ s $\lambda = 0,068 \text{ W/m.K}$ a s výměnou sedmé vrstvy 7 za beton typu C25 $\rho = 2320,0 \text{ kg/m}^3 \pm 5,0 \text{ kg/m}^3$ s $\lambda = 1,312 \text{ W/m.K}$, celková tloušťka skladby $d = 482 \text{ mm}$;

c) Plášť typ 03: Skladba pláště dle příkladu 1 s výměnou čtvrté vrstvy 4 za tepelnou izolaci kamenné vlny lisované $\rho = 150,0 \text{ kg/m}^3 \pm 5,0 \text{ kg/m}^3$ a s výměnou sedmé vrstvy 7 za pálené cihly plné $\rho = 2320,0 \text{ kg/m}^3 \pm 5,0 \text{ kg/m}^3$ s $\lambda = 0,883 \text{ W/m.K}$, celková tloušťka skladby $d = 482 \text{ mm}$,

Výsledné stanovené hodnoty součinitel prostupu tepla $U \text{ [W/m}^2\text{K]}$ stanovené dle ČSN 73 0540-4 jsou shrnuty v tabulce 4.

Tabulka 4: Výsledné hodnoty dosaženého součinitele prostupu tepla U stanovené dle ČSN 73 0540-4

Typ obvodového pláště	Součinitel prostupu tepla U [W/m ² K]	Odpor při prostupu tepla R_T [m ² .K/W]
Plášť 01	0,148	5,11
Plášť 02	0,159	6,22
Plášť 03	0,162	6,24

Podle výsledků uvedených v tabulce 4 je zřejmé, že daný testovaný skelet obvodového pláště Plášť 01 se skladbou s aplikovaným tepelně-izolačním vypěněným geopolymerem a litým bariérovým vysokohustotní geopolymerem byl rezistentní vůči průchodu daného typu střely (jádra a obalu) splňující balistickou odolnost TBO7. U skladeb skeletů obvodových plášťů Plášť 02 a Plášť 03 bylo dosaženo pouze balistické odolnosti TBO6. Použití tepelně-izolačního vypěněného geopolymeru a litého bariérového vysokohustotního geopolymeru výrazným způsobem zvýšilo balistickou odolnost (tabulka 2) při zachování stejné tloušťky skeletu a lepších tepelně-izolačních vlastnostech (příklad 5).

Průmyslová využitelnost

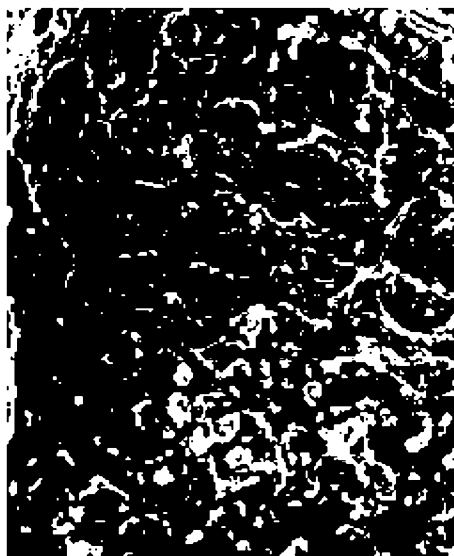
Výsledek lze využít hlavně v dřevařském průmyslu, stavebnictví a architektuře. Řešení je vhodné zejména pro program výroby obvodového pláště typů rámových konstrukcí dřevostaveb pro objekty obytných rodinných domů, komunitních center, škol, školek, církevních objektů, seniorhousů, sportovních a zdravotnických zařízení, objektů veřejné správy ve vlastnictví municipalit a státu, a dalších typů objektů systémem prefabrikace. Jedná se zejména o konstrukci skladby obvodového pláště plnící funkci krycí, nosnou a dělicí, která svojí materiálovou skladbou a z hlediska parametrů uplatněných materiálů musí současně splňovat mechanické požadavky, tepelně-izolační, akustický odpor, balistickou odolnost a vysoký stupeň požární odolnosti. Obvodový plášť je možné realizovat na výrobní lince ve výrobním závodě a poté po jejich převzetí v místě výstavby je již prováděna pouze montáž na místě využití.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Obvodový plášť dřevostavby s vysokou balistickou odolností, zahrnující jednotlivé vrstvy uspořádané za sebou ve směru z exteriéru do interiéru, přičemž první vrstva (1) je z keramického materiálu, **vyznačující se tím**, že první vrstva (1) je keramický obklad tloušťky od 3,0 do 5,0 mm, s objemovou hmotností $2000 \text{ kg/m}^3 \pm 50 \text{ kg/m}^3$, druhá vrstva (2) je pojící silikonový tmel tloušťky od 0,5 do 2,0 mm, třetí vrstva (3) je dřevotřísková OSB deska tloušťky od 12,5 do 22,0 mm, čtvrtá vrstva (4) je tepelně-izolační vypěněný geopolymer s uzavřenými póry z hlinitokřemičitého pojiva na bázi metakaolínu s desintegrovaným křemíkovým ostřivem na bázi karbidu křemíku SiC, popílku, alkalického aktivátoru vodního skla Na_2SiO_3 a hliníkového prášku tloušťky $400,0 \pm 10,0$ mm, pátá vrstva (5) je difuzně uzavřená parozábrana tloušťky od 0,3 do 0,5 mm, šestá vrstva (6) je sádrovláknitá deska tloušťky od 12,5 do 22,0 mm, sedmá vrstva (7) je litý bariérový vysokohustotní geopolymer s uzavřenými póry z hlinitokřemičitého pojiva na bázi metakaolínu s desintegrovaným křemíkovým ostřivem na bázi karbidu křemíku SiC, alkalického aktivátoru vodního skla Na_2SiO_3 tloušťky $40,0 \pm 5,0$ mm, a osmá vrstva (8) je sádrovláknitá deska tloušťky od 12,5 do 22,0 mm.
2. Obvodový plášť podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že první vrstva (1) má tloušťku 3,0 mm, druhá vrstva (2) má tloušťku 1,0 mm, třetí vrstva (3) má tloušťku 12,5 mm, čtvrtá vrstva (4) má tloušťku 400,0 mm, pátá vrstva (5) má tloušťku 0,3 mm, šestá vrstva (6) má tloušťku 12,5 mm, sedmá vrstva (7) má tloušťku 40,0 mm, osmá vrstva (8) má tloušťku 12,5 mm.
3. Obvodový plášť podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že čtvrtá vrstva (4) má objemovou hmotnost $95 \text{ kg/m}^3 \pm 5 \text{ kg/m}^3$ a součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,060$ až $0,120 \text{ W/(m.K)}$.
4. Obvodový plášť podle některého z nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že čtvrtá vrstva (4) je tvořena sestavou přířezů.
5. Obvodový plášť podle nároku 4, **vyznačující se tím**, že přířezy tvořící čtvrtou vrstvu (4) mají rozměry 575,0 až 600,0 mm $\pm 5,0$ mm x 610 až 1220,0 mm $\pm 5,0$ mm.
6. Obvodový plášť podle některého z nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že podél obvodu čtvrté vrstvy (4) je uspořádána rámová konstrukce z lepeného lamelového dřeva o rozměrech průřezu lamel 40,0 x 400,0 mm a délce 2 800 mm.
7. Obvodový plášť podle některého z nároků 1 až 6, **vyznačující se tím**, že sedmá vrstva (7) má objemovou hmotnost $1000 \text{ kg/m}^3 \pm 5 \text{ kg/m}^3$.
8. Obvodový plášť podle některého z nároků 1 až 7, **vyznačující se tím**, že tepelně izolační vypěněný geopolymer tvořící čtvrtou vrstvu (4) sestává z hlinitokřemičitého pojiva na bázi metakaolínu se složením SiO_2 (50,0 %), Al_2O_3 (46,0 %), Fe_2O_3 (0,5 %), CaO (0,5 %), MgO (0,1 %), Na_2O (0,1 %), K_2O (0,6 %) hmotn. % v množství od 40 do 42 % hmotn., z popílku třídy C v množství od 10 do 12 % hmotn., z alkalického aktivátoru vodního skla Na_2SiO_3 v množství od 45 do 47 %, z desintegrovaného křemíkového ostřiva na bázi karbidu křemíku SiC v množství od 4,0 do 5,2 % hmotn. a z hliníkového prášku v množství od 0,3 do 0,6 % hmotn. vztaženo na celkovou hmotnost geopolymery.
9. Obvodový plášť podle některého z nároků 1 až 8, **vyznačující se tím**, že litý bariérový vysokohustotní geopolymer tvořící sedmou vrstvu (7) sestává z hlinitokřemičitého pojiva na bázi metakaolínu se složením SiO_2 (50,0 %), Al_2O_3 (46,0 %), Fe_2O_3 (0,5 %), CaO (0,5 %), MgO (0,1 %), Na_2O (0,1 %), K_2O (0,6 %) hmotn. % v množství od 40 do 42 % hmotn., z popílku třídy C v množství od 10 do 12 % hmotn., z alkalického aktivátoru vodního skla Na_2SiO_3 v množství od 1 do 10 % a z desintegrovaného křemíkového ostřiva na bázi karbidu křemíku SiC v množství od 4,0 do 5,2 % hmotn. vztaženo na celkovou hmotnost geopolymery.

10. Obvodový plášť podle některého z nároků 6 až 9, **vyznačující se tím**, že sedmá vrstva (7) je uložena v kapse tvořené rámovou konstrukcí, šestou vrstvou (6) a osmou vrstvou (8).

6 výkresů



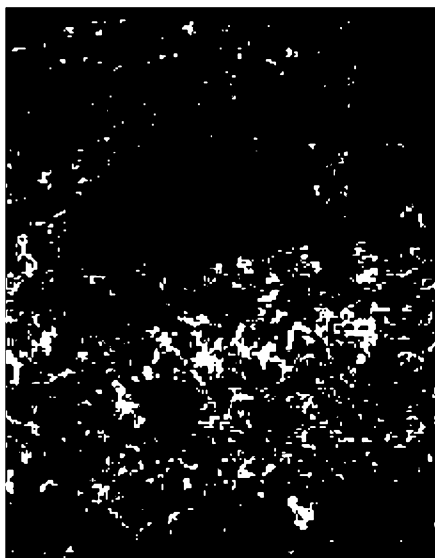
Obr. 1



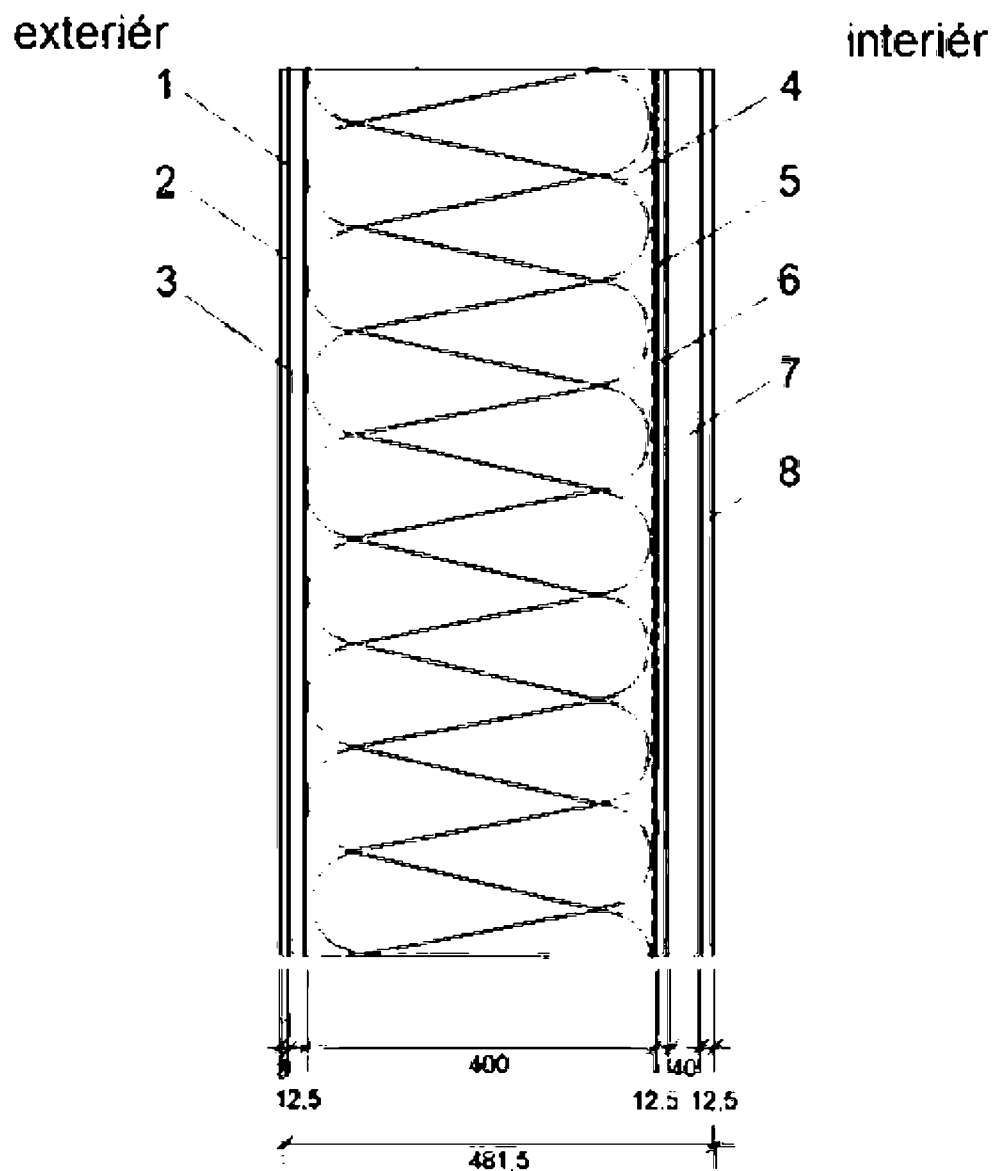
Obr. 2



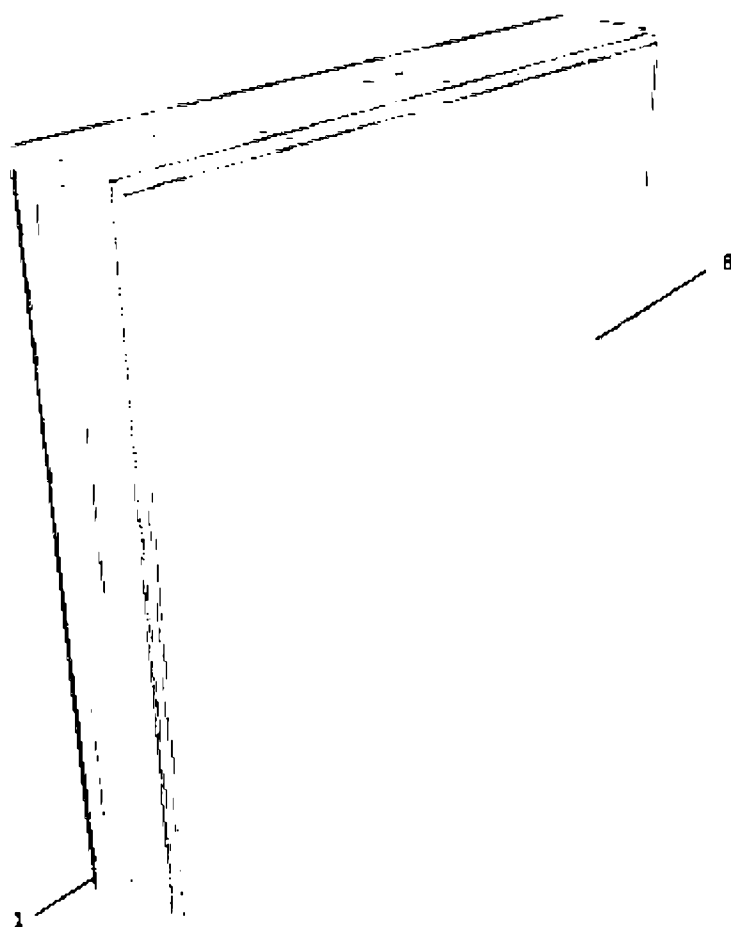
Obr. 3



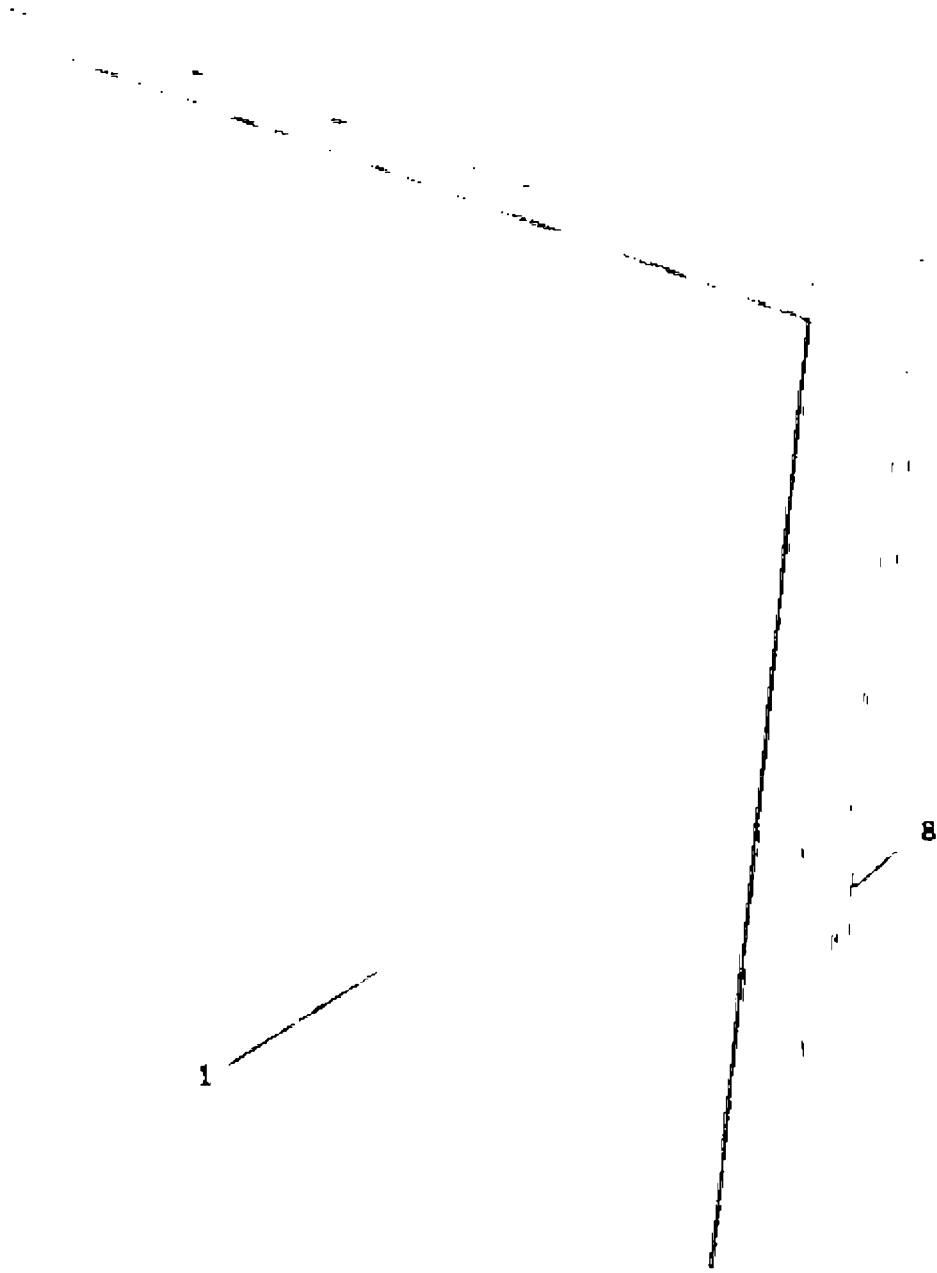
Obr. 4



Obr. 5



Obr. 6



Obr. 7



Obr. 8