

POSUDZOVANIE ODOLNOSTI VYBRANÉHO PRVKU PLÁŠŤOVEJ OCHRANY OBJEKTOV

Richard JANKURA
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1 , Slovensko
richard.jankura@fbi.uniza.sk

Abstrakt: Sklo je materiál so širokou škálou možností aplikácie v každodennom živote, a je jedným zo základných prvkov tvoriacich takzvanú plášťovú ochranu objektu. V systéme ochrany plní viaceré funkcie, čím sťažuje útočníkovi dostať sa k chránenému záujmu. Sklo nie je len súčasťou otvorových výplní (okná, dvere), ale aj celých fasád budov a používa sa aj ako nosný materiál stavebných konštrukcií. Vzhľadom na variabilitu použitia skla v stavebníctve, a jeho využití pri vybraných prvkoch ochrany, je dôležité poznať reakciu skla na rôzne typy zaťaženia. Existujú ale viaceré postupy, ako stanoviť odolnosť skla, resp. reakciu skla na rôzne typy zaťaženia a rôznu intenzitu zaťaženia. Cieľom článku je identifikovať možnosti skúmania odolnosti vybraných prvkov plášťovej ochrany objektov a posúdiť pasívnu prielomovú odolnosť týchto prvkov pomocou dvoch metód, a to kyvadlovou skúškou a metódou padajúcej gule podľa štandardu ASTM F3006.

Kľúčová slova: *Ochrana objektov, odolnosť, nárazová skúška, sklenené otvorové výplne, skúška padajúcou guľou*

Úvod

Na bezpečnosť referenčných objektov vplyva mnoho ohrození. Ide najmä o ohrozenia z vonkajšieho prostredia, ktoré môžu mať vplyv na celkovú bezpečnosť objektov. Ak chce referenčný objekt pretrvať v prítomnosti, a rozvíjať sa v budúcnosti, musí svoju bezpečnosť a ochranu prijať ako jednu zo svojich hlavných priorít.

Bezpečnosť objektov je možné zaistiť vhodným systémom ochrany, ktorým dokážeme riešiť nerovnováhu medzi požadovaným a reálnym stavom bezpečnosti referenčných objektov. Jedná sa o súhrn bezpečnostných, technických a režimových opatrení, ktoré majú prekaziť akúkoľvek nepriateľskú činnosť proti chránenému objektu. Tieto opatrenia je možné zabezpečiť pomocou prvkov ochrany, ktoré sa spravidla vytvárajú na viacerých vrstvách, a to na [1]:

- obvodovej,
- plášťovej,
- priestorovej,
- predmetovej.

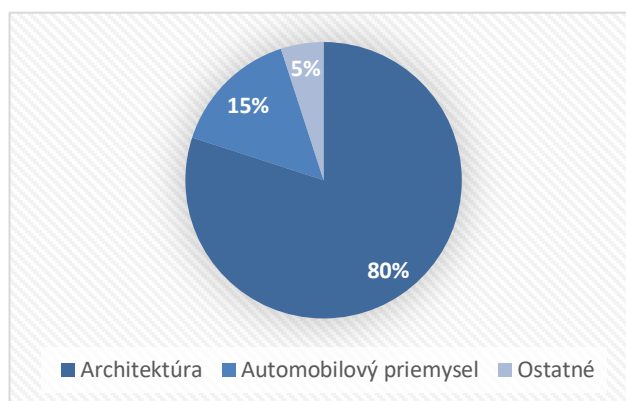
Plášťová ochrana objektov tvorí jednu z najdôležitejších vrstiev ochrany, nakoľko oddeľuje vnútorné priestory od vonkajšieho prostredia, z ktorého plynú mnohé hrozby. Táto časť systému ochrany je spravidla tvorená stavebnými prvkami a tzv. otvorovými výplňami [2]. V článku sme sa zamerali na sklenené otvorové výplne, ktoré sa stále vo väčšej miere využívajú ako prvok plášťa budovy, a sú aj jedným z najviac zraniteľných prvkov tejto vrstvy.

1 Sklenené otvorové výplne a ich využitie

V súčasnom svete sa čoraz viac využívajú sklenené výplne, ako prvok plášťa budov. Zasklené fasády sa široko používajú v stavebných konštrukciách z dôvodu mnohých estetických, tepelných a odľahčovacích aspektov. V modernej architektúre má zasklenie čoraz väčší význam vďaka týmto funkciám, a preto sa využíva v komerčných, bytových a strategických budovách vrátane letísk, múzeí, kancelárií a pod. [3] [4].

Dôkaz stále väčšieho využívania skla v stavebníctve naznačujú aj viaceré štatistiky. Tie poukazujú na to, že v roku 2019 bol až 80 percentný podiel na trhu s plochým sklom tvorený architektonickou aplikáciou, resp.

stavebníctvom. To je zapríčinené najmä rozvojom a rastom infraštruktúry a stavebných aktivít na celom svete [5, 6]. Nasledujúci graf zobrazuje podiel využívania plochého skla v jednotlivých odvetviach.



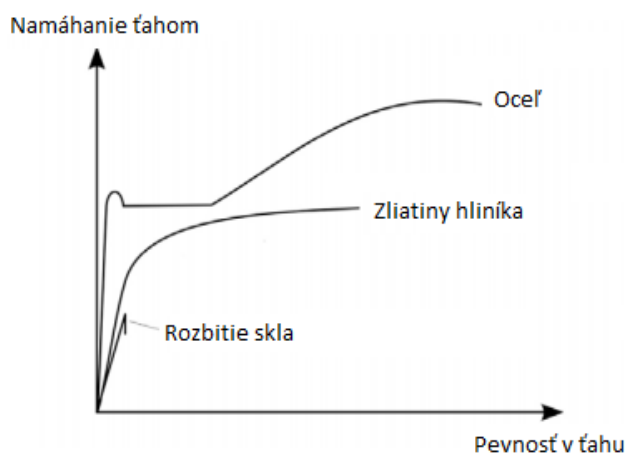
Obr. 1: Globálny trh s plochým sklom podľa aplikácie za rok 2019 [5]

Pri posudzovaní bezpečnosti budov je dôležité si uvedomiť, že existujú viaceré typy skiel, ktoré sa využívajú v rámci plášťovej ochrany objektov. Najdôležitejším a najbežnejším typom skla, ktorý je využívaný v komerčnej výstavbe je tzv. **plavené sklo** („float“). Toto sklo má pomerne nízku pevnosť a rozbíja sa na veľké a ostré fragmenty. Zo základného produktu sa dajú následne spracovať **tepelne tvrdené** či **laminované sklá**. Tieto typy skiel sú označované ako bezpečnostné zasklenie. Oproti základnému produktu dokážu odolávať väčšej sile nárazu a namáhaniu [4, 7].

Na odolnosť sklenených otvorových výplní zo štrukturálneho hľadiska môžu pôsobiť rôzne typy mimoriadnych zaťažení, ako sú nárazy, výbuchy, seizmické udalosti alebo iné hrozby. Sklenené otvorové výplne často predstavujú najzraniteľnejšie miesto plášťa budovy kvôli ich typickému krehkému chovaniu a obmedzenej odolnosti v ťahu. Vhodný odhad zraniteľnosti týchto systémov, ako aj predpovede ich skutočného dynamického správania pri dynamickom zaťažení sú témou, ktorá si stále vyžaduje štúdium [3].

1.1 Odolnosť sklenených otvorových výplní

Sklo je krehký materiál a zvyčajne dochádza k jeho deštrukcii okamžite, po dosiahnutí jeho maximálnej pevnosti. Je slabé pri pôsobení napätia, kvôli jeho povahe atómovej štruktúry a neschopnosti odolávať šíreniu trhlín. Sklo sa správa čisto elasticky, kým náhle nedosiahne maximálnu pevnosť v ťahu, na rozdiel od konštrukčných ocelí, hliníkových zliatin a dokonca aj železobetónu, ktoré sa môžu prispôsobiť plastickej deformácii po bode výnosu. Vysoko namáhané sklo a väčšie napätie plochy vedú k vyššej pravdepodobnosti deštrukcie. Sklo má teda veľmi malú deformačnú zónu a náhle zlyháva (Obr. 2) [4, 7].



Obr. 2: Pevnosť skla pri ťahovom napätí [7]

Pri skúmaní odolnosti skiel je dôležité poznať ich limitný stav. Tento stav môže byť definovaný ako stav, za ktorým už štruktúra nespĺňa príslušné konštrukčné kritériá. Odolnosť skiel by mala byť väčšia ako efekt zaťaženia [7].

V súčasnosti sa stanovením odolnosti sklenených otvorových výplní zaoberá veľké množstvo noriem. Napriek veľkému množstvu vedeckých poznatkov o štruktúrnom správaní sa skla, nie je zavedený jednotný Euro kód. Vo väčšine prípadov sú k dispozícii len národné kódy, ktoré sa zaoberajú dizajnom štruktúrneho skla [4]. Tieto normy poukazujú na klasifikáciu skiel podľa rôznych typov zasklenia a zameriavajú sa na stanovenie ich mechanických vlastností (tvrdosť, náraz, odolnosť a pevnosť v ohybe a pod.) [8]. V rámci nášho článku sme sa zamerali na skúmanie odolnosti sklenených otvorových výplní pri náraze (dynamickom zaťažení).

Odolnosť skiel voči nárazu sa rieši vo viacerých štandardoch. Jedným z nich je aj norma STN EN 1627: 2011, v ktorej je definované dynamické zaťaženie pre bezpečnostné triedy 1, 2 a 3 pomocou nárazového telesa, ktoré tvorí dve pneumatiky s hmotnosťou 50 kg. To sa spúšťa z kyvadla z rôznych výšok (450 mm, 750 mm podľa triedy odolnosti). Táto skúška sa vykonáva podľa normy STN EN 1629+A1: 2017, kde sú špecifikované požiadavky pre stanovenie odolnosti pri dynamickom zaťažení vybraných prvkov [9]. Kyvadlové nárazové teleso, ktoré sa využíva pre tieto skúšky je špecifikované v norme STN EN 12 600: 2003. Norma STN EN 12 600: 2003 okrem toho stanovuje svoje triedy odolnosti pre sklo v stavebníctve. Pri skúške je uvoľňované spomínané nárazové teleso z jednotlivých výšok pádu (190 mm, 450 mm, 1 200 mm), podľa jednotlivých tried odolnosti [10]. Odolnosťou skla sa zaoberá aj norma STN EN 356: 2001, ktorá klasifikuje bezpečnostné zasklenie do 8 kategórií. Testovanie je založené na skúške padajúceho telesa. Tá sa prevádza pomocou ocelevej gule o hmotnosti 4,11 kg, ktorá je spúšťaná z definovaných výšok podľa danej triedy (od 1 500 mm do 9 000 mm). Skúška je vyhodnotená ako úspešná, ak oceľová guľa neprepadne skrz testovaciu vzorku. V tomto prípade ale môže dôjsť k rozbitiu skla, ktoré drží pohromade za pomoci medzivrstvy [11].

Odolnosťou sklenených otvorových výplní sa napriek viacerým normám a štandardom zaoberalo mnoho vedeckých štúdií [12, 13, 14, 15, 16]. Nakoľko je použitie sklenených otvorových výplní variabilné, testy sa vykonávajú na rôznych typoch skiel a rôznou hmotnosťou nárazovej záťaže.

2 Metódy

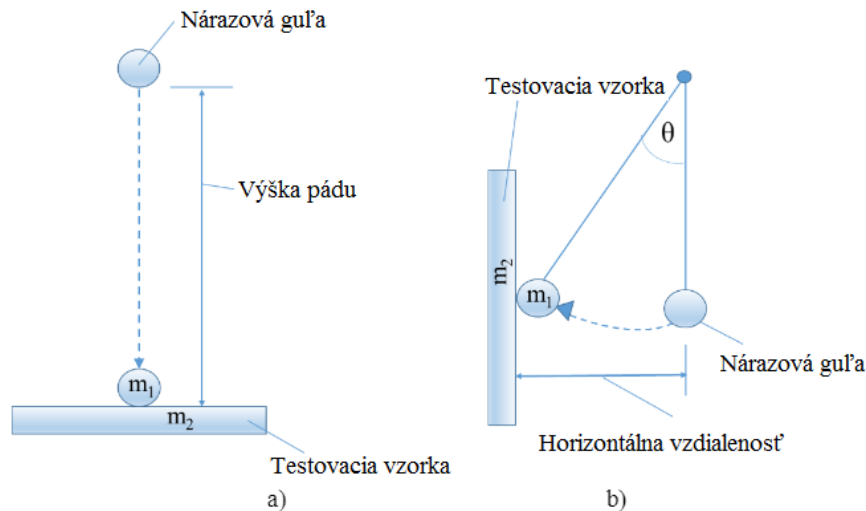
Jednou z možností, ako skúmať odolnosť sklenených otvorových výplní voči nárazu, je aj americký štandard ASTM F3006-20 Standard Specification for Ball Drop Impact Resistance of Laminated Architectural Flat Glazing (Štandard pre odolnosť laminovaného architektonického plochého zasklenia proti nárazu). Tento štandard sa vzťahuje na deštruktívne skúšanie odolnosti výrobkov z laminovaného plochého skla pádom gule pre architektonické zasklievacie aplikácie. Táto špecifikácia je určená na kontrolu kvality, a na vyhodnotenie nárazovej účinnosti vrstveného plochého skla, kde guľa z tuhej ocele o hmotnosti 2,3 kg a priemeru 83 mm spadne zo stanovenej výšky [17]. Táto špecifikácia poskytuje mechanizmus, ktorý umožňuje výrobcem lacnejšiu a jednoduchšiu metódu na hodnotenie účinnosti nárazu, ktorá sa môže vykonávať častejšie, zatiaľ čo sa znižuje množstvo odpadového materiálu generovaného tradičnými nárazovými testami.

Na základe postupov stanoveného štandardu budú vykonané experimenty, pri ktorých budú skúmané sklá bežne používané v komerčných a obytných budovách. Konkrétne pôjde o ploché plavené sklá, ktoré sa využívajú ako izolačné dvojsklo v oknách. Experiment bude vykonaný pádom oceľovej gule v stanovených výškach a budú sa vyhodnocovať retenčné charakteristiky týchto skiel podľa vybranej normy. Odolnosť skiel bude skúmaná aj pri aplikácii bezpečnostných fólií.

3 Výsledky a diskusia

Pri ochrane objektov môže prísť k viacerým situáciám, kedy musia sklenené otvorové výplne odolávať nárazovému zaťaženiu. Môže ísť o opakovaný náraz telesom alebo ramenom do skla. Vhodný odhad zraniteľnosti zasklievacích systémov, ako aj predpoveď ich skutočného dynamického správania sa pri mimoriadnom zaťažení môže pomôcť k správnejmu výberu vhodných typov zasklenia pri vybraných druhoch ohrozenia.

Na správny odhad správania sa sklenených otvorových výplní pri dynamickom zaťažení je potrebné poznať ich dynamické charakteristiky. Tie možno skúmať pomocou skúšok padajúceho telesa. Na základe týchto testov je možné špecifikovať energetický prah ako predikčnú metriku odolnosti skúmaných vzoriek. Tieto skúšky je možné vykonávať formou voľného pádu gule, alebo vo forme kyvadla (Obr. 3).

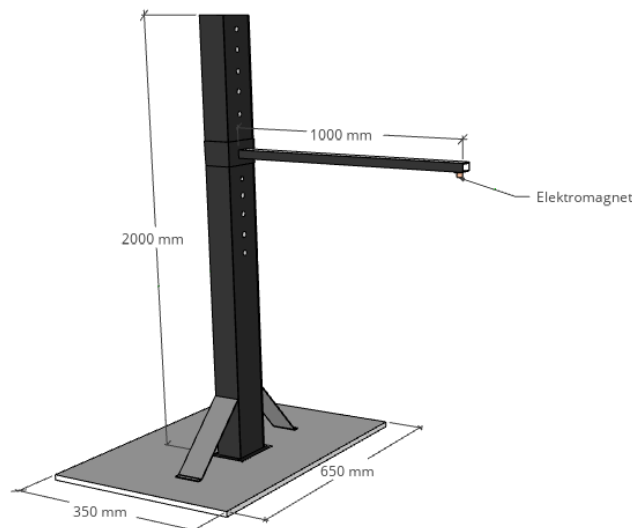


Obr. 3: Nárazové skúšky a) skúška padajúcou guľou b) kyvadlová skúška [16]

Na základe nárazových skúšok je možné vypočítať dopadovú energiu (J), pomocou ktorej je možné odhadnúť odolnosť jednotlivých sklenených otvorových výplní. V rámci predošlého výskumu boli vykonané testy pomocou kyvadlovej skúšky [16, 18]. V ďalšej fáze testovania budú vykonávané skúšky padajúcou guľou.

3.1 Skúška padajúcou guľou

Pri skúmaní nárazovej odolnosti sklenených otvorových výplní je možné vykonať skúšku padajúcou guľou, na základe ktorej bude možné určiť parametre, pri ktorých skúmaný prvok dokáže odolávať tomuto typu zaťaženia. Pre vykonanie týchto skúšok je nevyhnuté pripraviť testovacie zariadenie, pomocou ktorého je možné tieto skúšky vykonať. Prostredníctvom testovacieho zariadenia je následne možné spúšťať nárazovú guľu stanovenej hmotnosti a pri určených vzdialenostiach na testovaciu vzorku. Návrh testovacieho zariadenia, pomocou ktorého budú vykonávané testy padajúcou guľou je zobrazený na nasledujúcom obrázku (Obr. 4).



Obr. 4: Návrh testovacieho zariadenia pre vykonanie skúšky padajúcou guľou

Testovanie vzoriek podľa štandardu ASTM F3006 je vykonávané pomocou padajúcej gule o hmotnosti 2,3 kg a guľa je spúšťaná z výšky 0,75 m a 3,66 m [17]. Táto špecifikácia je určená na skúšanie deštruktívneho guľového pádu výrobkov z vrstveného plochého skla. Výsledky poskytujú základ pre hodnotenie nárazovej schopnosti skla pri páde oceľovej gule.

Štandard taktiež stanovuje 4 úrovne hrozby, ktoré môžu nastať, a na základe ktorých môžeme klasifikovať jednotlivé vykonané skúšky. Tie sú vyhodnocované na základe retenčných charakteristík

jednotlivých skúšaných vzoriek. Zaradenie skúšobnej vzorky do kategórie podľa retenčných charakteristík je zobrazené v nasledujúcej tabuľke (Tab. 1).

Kategória	Retenčné charakteristiky	Výsledok
1	Guľa zachytená - sklo nerozbité	Urobenie skúšky
2	Guľa zachytená - sklo rozbité, žiadne medzery v medzivrstve	Urobenie skúšky
3	Guľa zachytená - trhliny v medzivrstve, ktoré neumožňujú voľne stlačiteľnej guľôčke s priemerom 83 mm voľne preniknúť do 5 s po náraze	Urobenie skúšky
4	Nezachovaná guľa	Zlyhanie

Tab. 1: Klasifikácia retenčných charakteristík podľa ASTM F3006 [17]

Na základe postupov amerického štandardu ASTM F3006 budeme vykonávať testovanie nárazovej odolnosti pre vybrané typy zasklenia. Pôjde konkrétne o plavené sklá, ktoré sa bežne využívajú v komerčnej výstavbe. Nakoľko sa štandard zaoberá odolnosťou laminovaných skiel, bude potrebné prispôsobiť výšku pádu a hmotnosť ocelevej gule. Jednotlivé výsledky budú následne vyhodnocované a zaradené do kategórií podľa dosiahnutých retenčných charakteristík. Predpokladá sa, že odolnosť týchto vzoriek bude násobne nižšia, ako laminovaných skiel. Preto budú skúšky vykonávané aj pri aplikácii bezpečnostných fólií. Na základe výšky pádu a hmotnosti ocelevej gule bude možné stanoviť veľkosť nárazovej energie a rýchlosť nárazového telesa, ktoré dopadne na skúmanú vzorku. Následne budú závery porovnané s výsledkami z predošlých skúšok vykonaných pomocou kyvadla.

Záver

Sklenené otvorové výplne sú jednými z najzraniteľnejších miest v rámci plášťovej ochrany objektov. Stávajú sa najčastejším miestom páchatel'ov, a preto je dôležité stále skúmať ich vlastnosti a odolnosť. V článku sme poukázali na mechanické vlastnosti sklenených otvorových výplní, na ich funkciu v rámci systému ochrany objektov, ako aj na možnosti skúmania ich odozvy pri dynamickom zaťažení. Touto problematikou sa zaoberá aj mnoho technických noriem, ktoré ale vo väčšine prípadov riešia tzv. bezpečnostné zasklenie. V rámci nášho výskumu budú skúmané nárazové vlastnosti plavených skiel, ktoré sú bežne využívané v komerčných budovách. Skúška bude vykonaná podľa štandardu ASTM F3006. Tento štandard nenahrádza ostatné normy, ale poskytuje základ pred posúdenie schopnosti vzoriek odolať príslušnému nárazu. Norma okrem iného poskytuje mechanizmus, ktorý umožňuje výrobcovi lacnejšiu a jednoduchšiu metódu na hodnotenie účinnosti nárazu skiel, ktorá sa môže vykonávať často, kvôli menšej náročnosti testovacej súpravy.

Pod'akovanie

Tento článok bol podporený Grantovým systémom UNIZA č. 1096/2020.

Literatura

- [1] HOFREITER, Ladislav. Manažment ochrany objektov. Žilina: EDIS – vydavateľstvo Žilinskej univerzity, 2015. ISBN 978-80-554-1164-4.
- [2] MACH, Vlastimil. Mechanické zábranné prostriedky. Košice: MULTIPRINT, 2010. ISBN 978-80-970410-6-9.
- [3] BEDON, Chiara a Claudio AMADIO. Improving the dynamic performance of multi-storey buildings via protective glazing curtain walls. *International Journal of Safety and Security Engineering* [online]. 2018, 8(2), 276-286 [cit. 2020-10-25]. ISSN 2041-9031. Dostupné z: doi:10.2495/SAFE-V8-N2-276-286
- [4] FELDMANN, M. a R. KASPER. Guidance for European Structural Design of Glass Components. Support to the implementation, harmonization and further development of the Eurocodes. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2014. ISBN 978-92-79-35093-1. Dostupné také z: <https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/>
- [5] Flat Glass Market Size, Share & Trends Analysis Report By Application (Architectural, Automotive & Transportation), By Product (Tempered, Laminated, Insulated, Basic), By Region, And Segment Forecasts, 2020 – 2027. *Grandviewresearch.com* [online]. 2020 [cit. 2020-09-20]. Dostupné z: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/global-flat-glass-market>
- [6] FLAT GLASS MARKET - GROWTH, TRENDS, AND FORECAST (2020 - 2025). *Mordorintelligence.com* [online]. ©2020 [cit. 2020-09-20]. Dostupné z: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/flat-glass-market>

- [7] Code of Practice for Structural Use of Glass. Buildings Department [online]. 2018 [cit. 2020-08-19]. Dostupné z: <https://www.bd.gov.hk/doc/en/resources/codes-and-references/code-and-design-manuals/SUG2018e.pdf>
- [8] ZARNIC, R., G. Tsionis, E. Gutierrez, A. Pinto, M. Geradin a S. Dimova. Purpose and justification for new design standards regarding the use of glass products in civil engineering works. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2007. ISSN 1018-5593. Dostupné také z: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC37739/eur%2022856%20en.pdf>
- [9] STN EN 1627. Dvere, okná, závesné steny, mreže a uzávery. Odolnosť proti vlámaniu. Požiadavky a triedenie. Bratislava: Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky, 2011. Triediaci znak 74 6173.
- [10] STN EN 12 600. Sklo v stavebníctve. Kyvadlová skúška. Skúšanie plochého skla nárazom a súhrn požiadaviek. Bratislava: Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky, 2003. Triediaci znak 70 1638.
- [11] STN EN 356 Sklo v stavebníctve. Bezpečnostné zasklenie. Skúšanie a klasifikácia odolnosti proti ručnému útoku. Bratislava: Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky, 2001. Triediaci znak 70 0595.
- [12] XUE, Liang, Claire R. COBLE, Hohyung LEE, Da YU, Satish CHAPARALA a Seungbae PARK. Dynamic Analysis of Thin Glass Under Ball Drop Impact With New Metrics. In: Volume 1: Advanced Packaging; Emerging Technologies; Modeling and Simulation; Multi-Physics Based Reliability; MEMS and NEMS; Materials and Processes [online]. American Society of Mechanical Engineers, 2013, 2013-07-16, s. - [cit. 2020-10-25]. ISBN 978-0-7918-5575-1. Dostupné z: doi:10.1115/IPACK2013-73291
- [13] BOUZID, S., A. NYOUNGUE, Z. AZARI, N. BOUAOUADJA a G. PLUVINAGE. Fracture criterion for glass under impact loading. International Journal of Impact Engineering [online]. 2001, 25(9), 831-845 [cit. 2020-10-25]. ISSN 0734743X. Dostupné z: doi:10.1016/S0734-743X(01)00023-9
- [14] FIGULI, L., C. BEDON, D. PAPÁN a Z. PAPANOVA. Experimental investigation on the ball drop impact resistance of traditional glass windows. In: ANCRiSST 2019 Procedia, 14th International Workshop on Advanced Smart Materials and Smart Structures Technology, Sapienza Università Editrice, Roma [online]. 2019, [cit. 2020-10-15]. ISBN 978-88-9377-114-6. Dostupné z: 10.13133/9788893771146
- [15] CHAPARALA, Satish, Liang XUE, Da YU a Seungbae PARK. Dynamics behavior of flat glass panels under impact conditions: Experiments and numerical modeling. Journal of the Society for Information Display [online]. 2015, 23(3), 97-106 [cit. 2020-10-25]. ISSN 10710922. Dostupné z: doi:10.1002/jsid.283
- [16] FIGULI, Lucia, Romana ERDELYIOVÁ, Daniel PAPÁN, Zuzana PAPÁNOVÁ, J. MELCER, K. KOTRASOVÁ, I. MAJOR a A.V. BENIN. Resistance of glass window subjected to high velocity soft impact. MATEC Web of Conferences [online]. 2020, 313 [cit. 2020-10-25]. ISSN 2261-236X. Dostupné z: doi:10.1051/mateconf/202031300027
- [17] F3006-20. An American Standard Specification for Ball Drop Impact Resistance of Laminated Architectural Flat Glazing [online] 2020 [cit. 2020-09-25]. Dostupné z: <http://www.stdlibrary.com/p-148803.html>
- [18] JANKURA, Richard a Lucia FIGULI. Experimental Testing of Burglar Resistance of Fenestration. TRANSACTIONS of the VŠB – Technical University of Ostrava Safety Engineering Series [online]. 2019, 14(2), 1-6 [cit. 2020-10-25]. ISSN 18053238. Dostupné z: doi:10.35182/tses-2019-0006