

# VYUŽITÍ PROSTOROVÉ DIGITÁLNÍ ANALÝZY DEFORMACE PRO ÚČELY VYŠETŘOVÁNÍ PŘÍČIN POŽÁRŮ A VÝBUCHŮ

## USE OF DIGITAL SPATIAL DEFORMATION ANALYSIS FOR INVESTIGATION OF CAUSES OF FIRES AND EXPLOSIONS

Zdeněk MAREK, Miroslava NEJTKOVÁ

Zdenda.marek@gmail.com, miroslava.nejtkova@ioolb.izscr.cz

### Abstract

*The article presents the basic procedure for creating a 3D CAD model of an object hit by an explosion from 3D data captured by the Method of crime scene spatial digitization. Subsequently, the article focuses on evaluating the condition (3D deformations) of the peripheral walls and inner partitions in the interest object. The result displays the range of changes and deformations in the form of 3D and 2D measurements. In the second case, the extent and magnitude of the deformation was shown using 3D zone deformation.*

### Keywords

*3D digitalization; 3D model; BIM, CAD, analysis deformation; crime scene, explosion; fire investigation; laser 3D scanner.*

### Úvod

Hasičský záchranný sbor ČR zjišťuje příčiny vzniku požárů a výbuchů. Během tohoto procesu stanovuje možné verze příčin požáru, včetně okolností majících vliv na šíření požáru a následky požáru. Dále mimo jiné určuje místo, dobu a zejména příčinu vzniku požáru či výbuchu. Výsledky a závěry zjišťování příčin vzniku požárů se uvádějí do odborných vyjádření, která slouží k dalšímu řízení. [1, 2]

V odborném vyjádření se popisují okolnosti, které měly vliv na šíření požáru, a následky požáru. Zároveň se zpracovává detailní obrazová dokumentace stop šíření a poškození způsobeného požárem či výbuchem. Současně se vytváří takzvaná topografická dokumentace. Spadají pod ní náčrtky pořízené na místě ohledání a plánky vytvořené klasickým způsobem nebo za pomoci různých kreslicích programů. Do zvláštních druhů obrazové dokumentace patří oblast vytváření a prezentace sférických či panoramatických snímků. Zcela zvláštní postavení v dokumentaci má Metoda 3D digitalizace místa ohledání, která zasahuje do většiny druhů dokumentace ohledání. Tato metoda poskytuje rozsáhlý zdroj informací nazývaný se „digitální dvojče“.

Tento článek popisuje dva konkrétní a reálné případy výbuchu. V prvním případě, blíže viz obrázek č. 1, se jedná o výrobní objekt, který byl prostorově digitalizován po výbuchu munice a byla zde provedena deformační analýza. Objekt byl konstruován a vystavěn dle výbuchových předpisů a vyšetřování včetně analýz potvrdilo mimo jiné správnost kumulace výbuchové energie a průběh deformací. V druhém případě, blíže viz obrázek č. 5, se jedná o rodinný dům po výbuchu plynu. Zde byl velitelem zásahu odmítnut přístup do vnitřních prostor z důvodu reálného zřícení domu. Nebyl možný ani bližší přístup z okolí domu. Byly zcela jasně prokázány výhody 3D digitalizace, jako je bezkontaktnost metody a skenování z bezpečné vzdálenosti. Získaná 3D data byla použita k analýze rozsahu deformací. Konkrétnější informace k případům autoři záměrně nechťejí uvádět, jednak protože jsou

součástí trestního spisu a také tyto detaily nejsou výrazně podstatné s ohledem na nosné téma a zvolený název článku.

## Ohledání místa po výbuchu

Místo činu a jeho kvalitní ohledání je jedním z nejdůležitějších zdrojů informací o objasňované události. Zpravidla je výchozím bodem vyšetřování a nalezištěm kriminalistických stop, požárních či výbuchových stop a vzorků a jiných soudních důkazů. Množství a kvalita informací závisí na správném a pečlivém postupu při ohledání, jejich cíleném vyhledávání, nalezení, fixaci a sběru těchto informací na místě ohledání.

Jedná se zpravidla o prvotní a nenahraditelné informace, které jsou základem a určují směr dalšího vyšetřování, objasňování. Následným procesem jsou tyto informace vyhodnocovány, zpřesňovány, rozšiřovány či vylučovány na základě objasňování dalších souvisejících skutečností.

Ohledání je činnost, která na základě bezprostředního vnímání, pozorování zjišťuje, zkoumá, hodnotí a podchycuje materiální situaci nebo stav objektů mající vztah k prověřované události, k jejímu poznání a získání důkazů i dalších informací pro řešení příčiny vzniku události.

Ohledání zahrnuje jak pozorování, tak zkoumání, ale i postupy, kterými je dosahování účelu ohledání, kterými jsou různá měření, zkoumání objektů, experimentování a další včetně dokumentace postupu a výsledku ohledání. [3]

Při zjišťování příčiny vzniku požáru a výbuchu je nutné provést důkladný sběr vstupních dat a jejich zhodnocení. Místo po požáru či výbuchu je zpravidla velmi poškozeno, často se na místě události již iniciační zdroj nenachází, přesto je možné se pomocí stanovených postupů dopracovat až k první látce, která hořela, a jejímu iniciačnímu zdroji. Je nezbytné samostatně zhodnotit nejen výskyt hořlavé látky, iniciačního zdroje, ale provést zhodnocení i v jejich vzájemné souvislosti. Jen tak je možné dojít ke správným výstupům. Úkolem vyšetřovatelů požárů je taktéž zhodnocení chybějícího iniciačního zdroje na místě události.

Výbuch (exploze) je definován jako prudká oxidace nebo rozkladná reakce vyznačující se vzrůstem teploty, tlaku, nebo obojího současně. [4]

Během této reakce dochází k vážnému poškození konstrukcí, poškození zařízovacích předmětů, zranění či usmrcení osob, zvířat. Poškozené předměty jsou rozhozeny silou tlakové vlny do velkých vzdáleností. Cílem ohledání je mimo jiné nalezení a zajištění stop, které souvisí s událostí. Tím docílíme objasnění mechanismu vzniku a průběhu události.

Výbuch se projevuje následujícími účinky:

- a) primárními (rázovou vlnou, výbuchovým tlakem a rychlostí nárůstu výbuchového tlaku, fragmentačním účinkem, tepelnou radiací),
- b) sekundárními (akustickou vlnou, seismickou vlnou, iniciací požárů).

Úkolem vyšetřovatelů je provést dokumentaci požářiště / místa výbuchu, zaznamenat směry a stopy šíření a zadokumentovat poškození způsobné předmětnou událostí.

K dokumentování místa události slouží nejčastěji písemná, obrazová, topografická a speciální dokumentace.

K její realizaci slouží protokoly o ohledání, digitální fotoaparáty, videokamery, termokamery a další technologie a pomůcky. V současné době se dále mohou místa událostí zaznamenávat prostřednictvím dronů (s termovizí či fotoaparátem), sférickými fotoaparáty a komplexně digitalizovat pozemními 3D skenery či leteckými 3D LIDARY.

## Stávající a nové možnosti dokumentace místa činu (požářiště, místo výbuchu)

Jak již bylo nastíněno výše, ohledání místa činu je náročná kriminalistická metoda, kterou se na základě bezprostředního pozorování zkoumá, hodnotí mimo jiné stav objektu, mající vztah k prověřované události, za účelem jejího poznání a získání důkazů, jakož i dalších informací důležitých pro trestní řízení. [3]

Pro dokumentaci místa, zaznamenání místa události prostřednictvím fotografií, jsou standardně vybaveni vyšetřovatelé požárů HZS ČR i kriminalističtí technici PCR digitálním fotoaparátem. Někteří kriminalističtí technici a Institut ochrany obyvatelstva (součást GR HZS ČR) vlastní a využívají pro obrazovou dokumentaci místa činu sférické fotografie. Sférické fotografie zaznamenávají prostřednictvím digitálního fotoaparátu umístěného na panoramatické hlavě (manuální či automatické). Jedná se o komplexní fotografické snímky, které jsou projektovány na sféru, tedy je dokumentován celý prostor okolo fotoaparátu.

V současné době je možné získat panoramatické snímky např. prostřednictvím mobilních telefonů. Oproti sférickým snímkům, panoramatické snímky jsou projektovány na rozvin válcové plochy, tedy jsou dokumentovány pouze okolní stěny, zem a strop není dokumentován. To je jejich značná nevýhoda, neboť většina stop se nalézá právě na zemi.

Topografická dokumentace se dle teorie i praxe vyhotovuje formou náčrtku a plánu kriminalisticky relevantních míst. Zpracování náčrtků i plánků je časově i technicky velmi náročné. Například objekt, který byl zasažen výbuchem, je často značně poškozen. Kvalitní a komplexní měření situace na místě či poškození se často blíží hranici velmi obtížného až nemožného úkolu.

Náčrtek se rozumí rukou kreslený obraz místa a okolí. Nemusí být v měřítku, avšak obsahuje změřené rozměry a vzdálenosti. Získání kvalitních měřených podkladů je přímo závislé na zkušenostech, časovém prostoru, rozsahu a složitosti místa ohledání a množství dokumentovaných stop. Do kvantitativní a kvality dat přímo vstupuje také bezpečnost osob provádějících ohledání. Jsou doporučovány klasické metody měření, jako je například metoda triangulace, metoda pravoúhlých souřadnic a další. V praxi se ukazuje, že tyto klasické metody mají značnou chybovost, časově jsou náročné a jejich bezchybné provedení velmi závislé na osobách, které provádějí měření a zpracovávají náčrtek. Výsledkem výše uvedeného stavu je to, že kvantita měření je značně redukována, dochází k výraznému zjednodušení a kvalita klesá s narůstající velikostí, složitostí a rozsahem ohledání.

Plánek zachycuje reálnou situaci ve zmenšeném měřítku a má předepsané náležitosti, jako je legenda, měřítko a směr. V drtivé většině případů se při zpracování plánu vychází z pořízeného náčrtku, kdy plánek se často zpracovává mimo místo ohledání a za pomoci různých kreslicích programů. Podkladem jsou však pořízená měření na místě ohledání zaznamenaná do náčrtku. Lze tedy tvrdit, že plánek pouze graficky lépe zobrazuje obsah náčrtku, tento nedoplňuje, nerozšiřuje, a tedy ani nedochází, jak je často mylně vykládáno, k zpřesnění naměřených dat.

V případě, že k objektu je dochována projektová dokumentace, je možné využít její grafickou část. Je však nutné provést validaci projektové dokumentace s reálným stavem objektu, neboť mohlo v době od zpracování projektové dokumentace do prošetřované události dojít ke stavebním změnám, úpravám či přístavbám. K validaci jsou nutné opět rozměry a měření získaná na místě ohledání, tedy s měřením zaneseným v náčrtku.

Cíleným nasazením nových či moderních metod, jako je například Metoda prostorové digitalizace, dochází k úplné reverzi negativních trendů, dochází k výraznému snížení časové náročnosti průběhu měření na místě. S ohledem na bezkontaktní princip této metody jsou získávány poklady na větší vzdálenosti, aniž by docházelo k ohrožení bezpečnosti osob provádějících měření, a získáno kvantitativně nesrovnatelně více naměřených údajů, měření a kvalitativně nesrovnatelně přesnější výstupní podklady.

Pro následné zpracování klasických plánek policisté používají např. systémy Dokumentace místa události (Geodet a Autodesk Autocad), Fotokres 1.

3D model je možné získat prostřednictvím metody zvané fotogrammetrie. Narážíme zde ale na velkou časovou dotaci na místě, nutnost použití UAV-dronu i složitosti v následném zpracování fotografií do 3D modelu.

V případě, že stačí na místě události provést pouze měření bez zpracování detailních půdorysů, je možné využít i sférické fotoaparáty s možností dodatečného měření vzdáleností na získaných sférických snímcích (stereofotogrammetrie).

Pro tvorbu plánů, 2D řezů, 2D pohledů a zpracování detailních prostorových 3D modelů či CAD - BIM modelů (informačního modelu budovy) je vhodné využívat 3D laserové skenery, kterými jsou vybavena některá specializovaná pracoviště HZS ČR či PČR. Jedná se o zmiňovanou Metodu prostorové digitalizace místa ohledání.

### **Digitalizace místa požáru/výbuchu**

Prostorová digitalizace je proces, v rámci kterého se snímá do digitální podoby vizuální i rozměrová stránka dokumentovaného místa či budovy. Při 3D digitalizaci se zároveň zaznamenávají prostorové informace, tedy rozměr samotného objektu, ale i vzájemné vzdálenosti mezi předměty a zájmovými objekty v okolí. Získané informace vždy odpovídají aktuálnímu stavu k datu prostorové digitalizace. 3D skenování je proces digitalizace, při kterém se převádí vizuální a rozměrová stránka předmětu do numerické virtuální podoby. Výsledkem 3D prostorového skenování je mračno bodů, kdy pro každý bod je známá jeho poloha vůči skenované pozici (poloze ohniska skeneru). Počet bodů závisí na úhlu snímání a na nastaveném rozlišení.

Jeden sken z jedné pozice nepostačuje pro úplné 3D zobrazení, neboť z ohniska je viditelná pouze část prostoru či objektů a jiná část je v zákrytu. Z tohoto důvodu se skenují objekty z více míst, tedy z různých úhlů, případně výšek. [5]

Pro účely tohoto příspěvku byly použity dva reálné případy výbuchu s následným požárem, a to výrobního objektu a rodinného domu. Během zjišťování příčiny vzniku požáru bylo provedeno ohledání místa události a následně prováděna dokumentace a digitalizace požářiště.

### **Tvorba 3D modelu objektu po výbuchu**

Po práci na místě činu a sběru prostorových dat pomocí technologie 3D laserového skeneru se na vzniklém digitálním dvojčeti, archivu dat, provede základní registrace, spojení dat a hrubé čištění 3D dat (takzvaného mračna bodů). Platí zásada, že se vždy pracuje s kopií prostorových dat a původní data jsou striktně archivována v nezměněné podobě. Toto opatření je stejné jako při práci s digitálními fotografiemi nebo jiným digitálním obsahem. Důvodů je hned několik. Zdrojová 3D data obsahují časové markery – značky, obsahují polohu pořízení (GPS) a nastavení způsobu snímání, měření – 3D skenování. Zpracováním 3D skenů a především exportu výsledných dat do univerzálních datových formátů často dochází k redukci dat a výše nastíněná data se ztrácejí. Dalším důvodem je také velmi jednoduchá kontrola původních 3D digitálních dat či opětovné zpracování dat jiným způsobem, např. soudním znalcem či odborníkem na 3D technologie.

Po základní přípravě dat se tato data exportují do virtuálních prohlídek a přikládají se ke spisu o požáru. Pokud to okolnosti vyžadují, přistupuje se k zpracování dat metodou prostorového modelování dále nazývanou „3D CAD modelování.“

3D model je rozsáhlý pojem, který obsahuje rozsáhlou množinu různých variant a pojmů. Není tedy 3D model jako 3D model a rozdíly mohou být značné. Jedná se o výrazně zjednodušené – obecné pojmenování.

3D modelem se může rozumět už prvotní výstup z 3D skeneru – bodové mračno ve 3D. Je to základní 3D model.

Dalším 3D modelem může být polygonový model, blíže viz obrázek č. 2, kdy se bodové mračno zpracuje metodou triangulace, která spočívá v propojení jednotlivých naměřených bodů malými plochami – nejčastěji trojúhelníky. Neodborně se popisuje tento proces tak, že mračno bodů dostane „kůži“. Tento model se vyznačuje velkou datovou velikostí a zobrazuje značné detaily, které data obsahují, ale v podobě mračna bodů nejsou dobře viditelné. Polygonový model lze již stínovat a dostává tak výrazně lepší vizuální podobu. Je to nejlepší a nejvěrohodnější výstup pro následnou 3D práci a vizualizaci. Jeho nevýhodou je již zmiňovaná datová velikost a bez potřebných zkušeností, znalostí a funkcí specializovaných programů není možné s tímto modelem efektivně pracovat.

CAD model je následná fáze, kdy se polygonový model popíše matematicky formou rovina, kvádr, válec, kužel, koule a podobně. Při přechodu dojde k výraznému zjednodušení a také k výrazné datové redukci. Výsledná hladina zjednodušení je popisuje vzestupnou stupnicí zvanou LOD (Level Of Detail – stupeň detailů) od 50 – 500 LOD.

Při tvorbě prostorového CAD modelu je možné volit mezi variantou tzv. BIM CAD modelu nebo použitím základního, zjednodušeného CAD modelu.

## Rozsah deformací

Ve výše zmiňovaných dvou případech reálných výbuchů bylo přistoupeno ke zjednodušenému modelování, a to pouze ve smyslu modelování obvodových stěn a jedné vnitřní příčky rodinného domu a nosné vnitřní stěny výrobního objektu.

Při 3D modelování se v těchto konkrétních případech vycházelo pouze z prostorových dat získaných na místech výbuchů. Tedy nebyly použity žádné stavební výkresy ani jiné doplňující zdroje. Vzniklý CAD model tedy přebírá souřadnice a rozměry z 3D bodových dat. Hlavní zájem byl věnován poničené části obvodové stěny, která je oproti původnímu stavu značně destruována.

Prvním krokem procesu analýzy, kterému předchází sběr 3D dat na místě a základní zpracování digitálních dat, jak je popsáno výše, bylo provedení 2D řezů skutečného stavu. V destruované části byl proveden průmět obrysů do původního, nyní virtuálního bodu, protažením čar. Směr čar byl získán ze stávajících rohů a z částí původního zdiva. Díky z venku naskenovaným okenním otvorům, kdy nebyl statikem umožněn vstup a neproběhla digitalizace vnitřní části budovy, bylo i tak možné zrekonstruovat šířku obvodových zdí. Následný 2D čárový řez byl CAD funkcí „vysunutí“ vytažen v zetové souřadnici dle získaného 3D mračna bodů na pozadí. Tímto způsobem byla provedena základní 3D digitální rekonstrukce objektu. Blíže je vidět zrekonstruovaný CAD model jako šedá oblast na obrázku č. 6.

Následným krokem byla vizuální kontrola umístění nově vzniklého CAD zjednodušeného modelu na reálně nasnímaná 3D data. Součástí kontroly byla také kontrola počtu a rozsahu stavebních prvků. Vzhledem k tomu, že CAD modelování bylo vytvářeno přímo na bodovém mračnu, kontrola byla pouze formalitou, neboť vzniklý CAD model v průběhu modelování převzal veškeré vlastnosti (rozměry a umístění) z bodového mračna. Krok vizuální kontroly neodhalil výrazné problémy na CAD datech, modelování bylo dostatečné.

Následnou komparací CAD zjednodušeného modelu – původní stav a bodového mračna – stav po výbuchu, bylo vytvořeno barevné schéma odchylek prezentované na obrázku č. 4 a 6. Komparace byla provedena metodou vzájemného odečítání souřadnic bodu z bodového

mračna a virtuálního bodu ležícího na patě kolmice CAD modelu. Takto byla odečtena většina bodů bodového mračna vnějšího zdiva. Výsledné barevné schéma tedy reprezentuje velikost odchylek – vzdálenost bodu po výbuchu od virtuálního bodu na patě kolmice. Barevný rozsah, měřicí škála, byla zvolena v rozsahu +/- 1000 mm. Zelená oblast – kontrolní byla zvolena v rozsahu +/- 50 mm z důvodu běžné křivosti obvodového zdiva. Obrázek č. 4 je pak ortografickým pohledem na vybranou obvodovou zeď. Vzniká tak vrstevnicové vyobrazení rozsahu deformací uživatelsky zvolenou škálou od světle žluté (+10 mm) po červenou +1300 mm a nad tuto hranici.



Foto: Miroslava Nejtková

Obr. 1

Fotografie výbuchem deformované stěny výrobního objektu



Foto: autoři

Obr. 2

Výbuchem deformované stěny – 3D polygonový model výrobního objektu

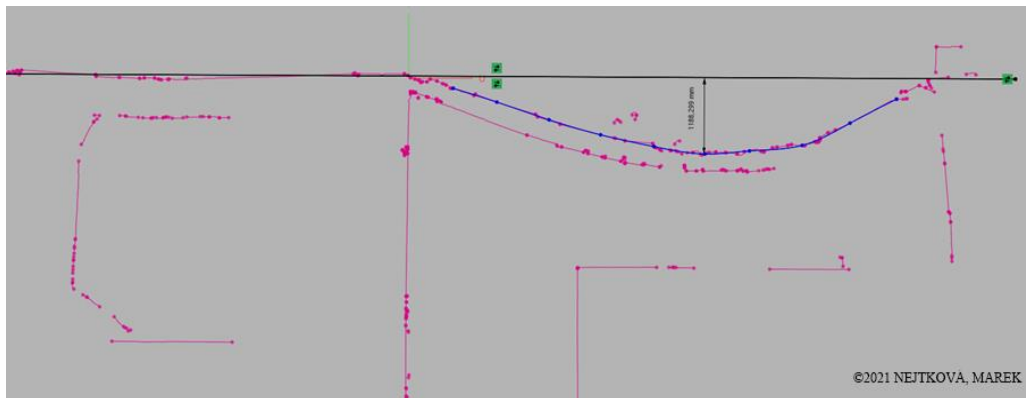


Foto: autoři

Obr. 3  
Rozsah deformací – 2D měření (1209 mm) výrobního objektu

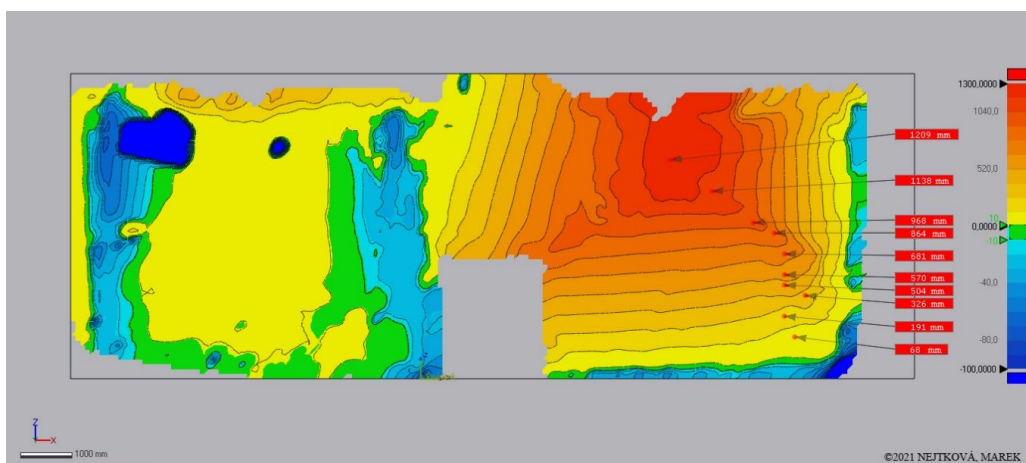


Foto: autoři

Obr. 4  
Rozsah zónových deformací stěny výrobního objektu

Na obrázku č. 6 byl zvolen oproti ortografickému pohledu 3D pohled s uživatelsky zvolenou škálou od světle žluté (+10 mm) až po červenou (+1000 mm) a nad tuto hranici.

Na obrázku č. 6 je patrná zelená oblast, která v dané toleranci prezentuje shodnost bodového mračka a CAD modelu. V barvách žluté až červené jsou zřetelné oblasti vzniklé deformace. Pro detailní rozměr odchylky je možné nalézt na barevné škále s hodnotami korespondujícími s daným odstínem barvy. Tímto způsobem vznikla mapa zón deformací.



©2021 Institut ochrany obyvatelstva

Foto Miroslava Nejtková

Obr. 5  
Pohled na výbuchem zasažený objekt rodinného domu

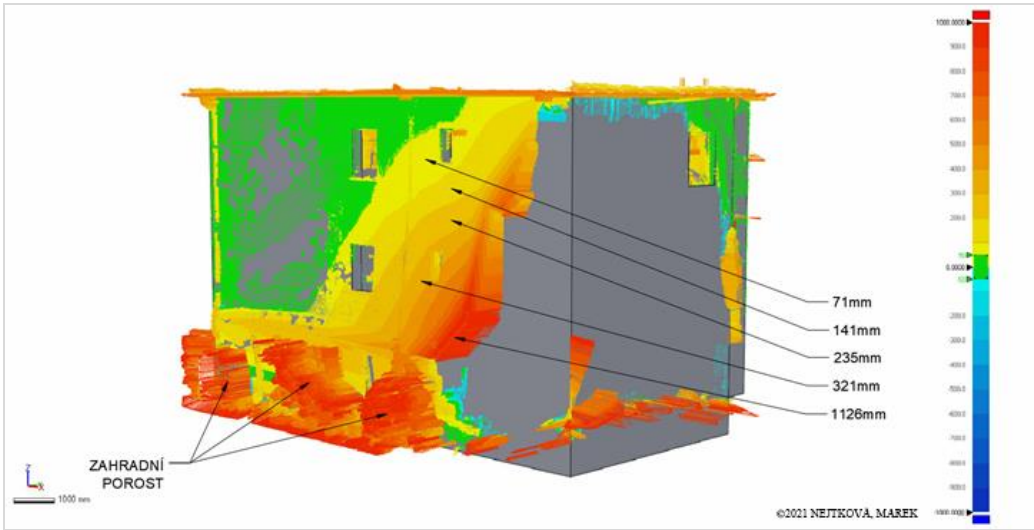


Foto: autoři

Obr. 6  
Rozsah zónových 3D deformací rodinného domu



## Závěr

Zvolená metoda zpracování 3D reálných dat je univerzální. Je možné ji využít i v jiných případech měření deformací či velikosti deformace, například při zjišťování rozsahu působení a hodnocení průraznosti armádního dělostřeleckého střeliva. Umožňuje také další výstupy včetně objemového výpočtu deformací, či úbytku materiálu po výbuchu, dokumentaci a výpočtech rozsahu dopadové zóny či při výpočtech velikosti a rozsahu dopadového kráteru.

Metoda také umožní v budoucích výzkumných projektech validovat data z prostorové simulace působení tlakové vlny v simulačním prostředí ANSYS.

Budoucím cílem, po nasbírání dostatečného množství dat, je možnost rychlého a efektivního výpočtu výbuchové energie a průběhu výbuchu včetně výpočtu předpokládaného místa či míst inicializace.

## Literatura

- [1] ČESKO. Zákon č. 133/1985 Sb., o požární ochraně, ve znění pozdějších předpisů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 1985, částka 34.
- [2] ČESKO. Vyhláška č. 246/2001 Sb., o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci), ve znění pozdějších předpisů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2001, částka 95.
- [3] PORADA, Viktor a kol. *Kriminalistika: Technické, forenzní a kybernetické aspekty*. Praha: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, s.r.o., 2016.
- [4] ČSN EN 1127-1 ed. 3. *Výbušná prostředí – Prevence a ochrana proti výbuchu – Část 1: Základní koncepce a metodika*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020, 44 s. Třídící znak 389622.
- [5] NEJTKOVÁ, Miroslava. Use of 3D laser scanning system for using during fire investigation. In: *FIRE PROTECTION, SAFETY AND SECURITY 2017*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2017, s. 152—60. ISBN 978-80-228-2957-1.