

Use of Digital Spatial Deformation Analysis for Investigation of Causes of Fires and Explosions

Využití prostorové digitální analýzy deformace pro účely vyšetřování příčin požárů a výbuchů

Miroslava Nejtková^{1,*}, Zdeněk Marek²

^{1,*} Technical university of Ostrava, Faculty of safety engineering, Lumírova 630/13, Ostrava - Výškovice, 700 30 Czech republic; miroslava.nejtkova@ioolb.izscr.cz

² Police Academy of the Czech Republic in Prague, Lhotecká 559/7, P. O. Box 54, 143 01 Praha 4, Czech republic; marek@polac.cz

* Corresponding author: miroslava.nejtkova@ioolb.izscr.cz

Short report

Received: October 18, 2019; Accepted: December 02, 2019; Published: December 31, 2019

Abstract

The Fire Rescue Service of the Czech Republic investigates the causes of fires and explosions. During these investigations, it determines the possible causes of the fire or explosion, including the circumstances affecting the spreading and consequences of the given fire. It also identifies the locality, site and time at which the fire or explosion started and decides whether any violations of legal regulations occurred. The results and conclusions of fire cause investigations are stated in expert opinions that serve for further proceedings. For the purposes of this article, two real cases of explosions with subsequent fires were used. One occurred at a family home and the second at a manufacturing facility. The fire cause investigations included an examination of the site of the incident and subsequent documentation and digitalization of the fire site.

Keywords: 3D digitalization; 3D model; analysis deformation; explosion; fire investigation; laser scanner

1 Introduction

Expert opinions concerning fires also include detailed graphic documentation, and topographic documentation is also developed. Topographic documentation includes sketches made at the inspection site and site plans created by hand or using various drawing programs. Special types of graphic documentation include the creation and presentation of spherical images and 3D digitalization of the inspection site.

Spatial digitalization is a process during which the visual aspects of the documented site or building are captured in digital form. 3D digitalization also records spatial information,

1 Úvod

Do odborného vyjádření k požáru se také zpracovává detailní obrazová dokumentace, zároveň 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 snímků a metoda nazývaná 3D digitalizace místa ohledání.

Prostorová digitalizace je proces, v rámci kterého se snímá do digitální podoby vizuální stránka dokumentovaného místa či budovy. Při 3D digitalizaci se zároveň zaznamenávají

i.e. the dimensions of the building and distances between objects and particular buildings in the surrounding area. This information always corresponds to the current conditions as at the date of the spatial digitalization. Scanning is a digitalization process during which the visual aspects of an object are translated into virtual numerical form. The result of 3D spatial scanning is a point cloud, where the location of every point in relation to the scanned position (the scanner's focal point) is known. The number of points depends on the scanning angle and selected resolution. A complete 3D image cannot be created from a single scan taken from one position because only part of the space or the buildings is visible from the focus point and other parts are concealed. Therefore, buildings are scanned from multiple locations, i.e. from different angles and/or elevations. [3]

Examination of a site where an explosion with a subsequent fire has taken place differs from other examinations due to the extent of damage and often also the site and complexity of the examination. Examination, documentation and investigation of the effects of an explosion require expertise and experience. The site of the incident, the site examination and documentation are the most important, valuable and irreplaceable sources of information during clarification of the incident. As a rule they serve as the starting points and the location of clues and other court evidence.

The quantity and quality of information depends directly on the examination and scope of collection of criminal clues and knowledge about the course of the explosion from the incident site. Generally, this is primary and irreplaceable information that immediately sets the direction for further procedures and clarification. This information is later specified, expanded or refuted based on investigation into other related facts. In contrast to other methods, spatial digitalization enables documentation of a large quantity of necessary information and creation of a quality archive as a tool for further investigation or analysis.

After the work at the incident site and collection of spatial data, basic registration and rough cleaning of the 3D data (the point cloud) is performed on the digital archive. A copy of the spatial data is always used and the original data are strictly archived in raw form.

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. Skenování je proces digitalizace, při kterém se převádí vizuální 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. [3]

Ohledání místa výbuchu s následným požárem je specifické svým rozsahem škod a často i plochou a složitostí ohledání. Ohledání, dokumentace a zkoumání účinků výbuchu vyžaduje jak znalosti, tak zkušenosti. Místo činu, jeho ohledání a dokumentace jsou nejdůležitější a nejcennější nezastupitelné zdroje informací o objasňování události. Jsou zpravidla výchozím bodem a nalezištěm stop a jiných soudních důkazů.

Množství a kvalita informací přímo závisí na průběhu ohledání a rozsahu sběru kriminalistických stop a poznatků z místa činu o průběhu děje výbuchu. Jedná se zpravidla o prvotní a nenahraditelné informace, které bezprostředně udávají směr dalšího postupu a objasňování. Později jsou tyto informace zpřesňovány, rozšiřovány či vylučovány na základě vyšetřování dalších souvisejících skutečností. Metodou prostorové digitalizace je oproti jiným metodám zdokumentováno velké množství potřebných informací a vytvořen kvalitní archiv, podklad pro další vyšetřování či analýzu.

Po práci na místě činu a sběru prostorových dat se na vzniklém digitálním archivu dat provede základní registrace 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.

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

After basic data processing, the data are exported to virtual inspections and attached to the fire investigation file. If required by the circumstances, the data are processed using spatial modelling, hereinafter referred to as “3D CAD modelling”.

When creating a spatial model, either a BIM CAD model or the basic, simplified CAD model can be used.

2 Material and Method

In the two cases described above, simplified modelling was used and only the exterior walls and one internal wall of the family home and the load-bearing internal wall of the manufacturing facility were modelled.

In these specific cases, only the spatial data obtained at the sites of fire were used for 3D modelling. Thus, no construction drawings or other additional resources were used. The resulting CAD model uses coordinates and dimensions from the 3D point data. We focused mainly on the damaged part of the wall, which suffered substantial damage when compared to its original state.

The first step was taking a 2D cross-section of the wall in its current state. In the destroyed part, the contours were projected to the original, now only a virtual point, by extending the lines. The direction of the lines was determined from the existing corners and parts of the original masonry. Using the scanned window openings, it was possible to reconstruct the width of the exterior walls. Using the “extend” CAD function, a 2D cross-section was obtained by extending the scanned 3D point cloud along the z-coordinate. In this way, the basic 3D reconstruction of the building was obtained.

The next step consisted in visual verification of the alignment of the newly created simplified CAD model against the scanned 3D data. We also verified the number and size of construction elements. Because the CAD modelling used the point cloud directly, the verification was only a formal exercise as the CAD model created during the modelling inherited all of the properties (dimensions and location) from the point cloud.

prostorového modelování dále nazývanou 3D CAD modelování.“

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

2 Materiál a metody

Ve výše zmiňovaných dvou případech 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 požářištích. 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 stěny, která je oproti původnímu stavu značně destruována.

Prvním krokem bylo provedení 2D řezu 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 naskenovaným okenním otvorům bylo 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 rekonstrukce objektu.

Dalším krokem bylo vizuální ověření zarovnání nově vytvořeného zjednodušeného CAD modelu s naskenovanými 3D daty. Ověřili jsme také počet a velikost konstrukčních prvků. Protože modelování CAD přímo využívalo cloud bodů, ověření bylo pouze formálním cvičením, protože CAD model vytvořený během modelování zdědil všechny vlastnosti (rozměry a umístění) z cloudu bodů.

3 Výsledky a diskusia

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. 2.

Through a subsequent comparison of the CAD simplified model of the original state and the point cloud showing the state after the explosion, a colour-coded image capturing deviations was developed and is presented in Figure 2. The comparison was performed by subtracting the coordinates of the point cloud points from the virtual points lying at the foot of the CAD model perpendicular line. Most the point cloud points were subtracted this way. The resulting colour-coded image thus represents the magnitude of deviations – the distance of a given point after the explosion from the virtual point at the foot of the perpendicular line. Selected limits of the colour range, i.e. the measuring range, are $\pm 1,000$ mm. For the green area, i.e. the control area, limits of ± 50 mm were chosen to accommodate unevenness commonly found in the exterior masonry.

Figure 2 shows the green area, which represents the area where the point cloud coordinates and the CAD model coordinates are in alignment within the given tolerance limit. Yellow to red identifies areas with distinct deformation. Detailed information about the size of a given deviation can be obtained by referring to the colour scale, where the size of the deviation corresponds to a particular shade of colour. In this way, a deformation zone map was created.

Komparace byla provedena metodou vzájemného odečítání souřadnic bodu z bodového mračna a virtuálního bodu ležícího na patě kolmice CAD modelu. Takto byla většina bodů bodového mračna. 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 $\pm 1\,000$ mm. Zelená oblast – kontrolní byla zvolena v rozsahu ± 50 mm z důvodu běžné křivosti obvodového zdiva.

Na obrázku č. 2 je patrná zelená oblast, která v dané toleranci prezentuje shodnost bodového mračna 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.

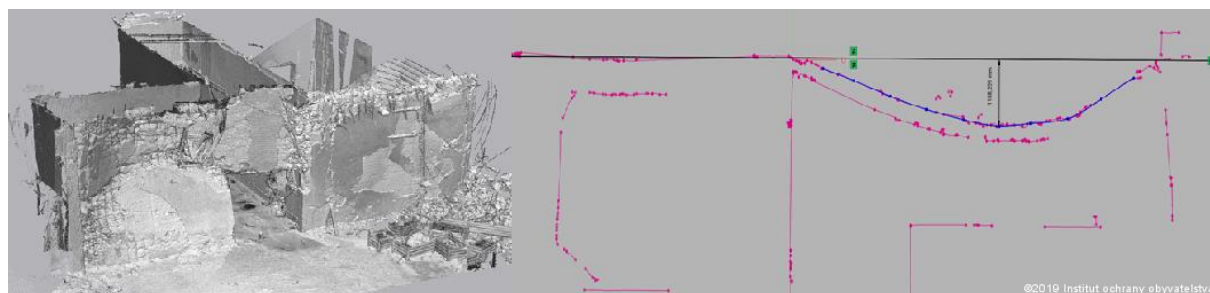


Figure 1. Deformation range – 2D measurements

Obrázek1. Rozsah deformací – 2D měření

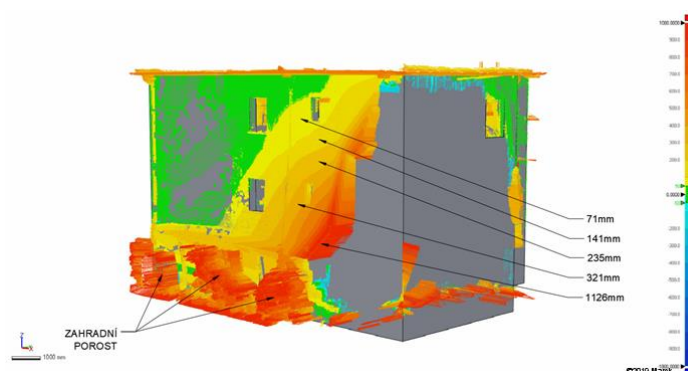


Figure 2. Range of zone 3D deformations
Obrázek 2. Rozsah zónových 3D deformací

Conclusion

The selected method of 3D real data processing is universal. It can also be used in other cases of deformation or deformation magnitude measurements, for example to determine the penetrative power of military artillery ammunition. Other outputs, such as calculations of volume deformation or material loss after an explosion, documentation and calculation of the impact zone size, or calculation of the size and extent of the impact crater, can also be obtained.

The method will also enable validation of data from spatial simulations of pressure wave effects in the ANSYS simulation environment in future research projects.

Závěr

Zvolená metoda zpracování 3D reálných dat je univerzální. Je možné ji využít i jiných případech měření deformací či velikosti deformace, například při zjišťování 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.

References / Literatúra

- [1] Statute n. 133/1985 Sb., about fire safety, as amended by current law In: The collection of laws of the Czech Republic. (in Czech)
- [2] Decree n. 246/2001 Sb., about settings fire safety conditions and state supervision (Fire prevention decree), as amended by current law In: The collection of laws of the Czech Republic. (in Czech)
- [3] Nejtková, M.: Use of 3D laser scanning system for using during fire investigation. In: Fire Protection, Safety and Security 2017. Zvolen, 2017, p. 152-160 ISBN 978-80-228-2957-1