

Kontrola realizácie stavebných objektov s využitím BIM a moderných metód zberu údajov

Ing. Gabriela Bariczová,
Katedra geodézie, Stavebná fakulta,
Slovenská technická univerzita v Bratislave

Abstrakt

Článok sa v krátkosti zaoberá informačným modelovaním stavieb a jeho využitím pri kontrole stavieb v kombinácii s modernými metódami zberu priestorových údajov (TLS a fotogrametria), pričom predstavuje návrh algoritmu na automatizovanú kontrolu vyhotovenia stavebných objektov. Popisuje algoritmus pre automatizovanú tvorbu rozdielových modelov medzi BIM modelom a údajmi získanými z TLS, resp. fotogrametricky. Výsledky slúžia na verifikáciu geometrických parametrov konštrukčných prvkov (ako napr. polohu geometrických prvkov, rovinnosť stien, priamosť potrubí), ako aj určenie odchýlok ich umiestnenia (poloha a orientácia) od samotného projektu (BIM modelu). Takto získané údaje slúžia ako podklad na kvalifikáciu a kvantifikáciu odchýlok počas riadenia výstavby.

Control of Buildings' Implementation using BIM and Modern Methods of Data Collection

Abstract

The paper briefly deals with building information modelling and its use in the control of buildings in combination with modern methods of spatial data collection (TLS). It describes an algorithm for automated verification of the buildings' structures. It presents algorithms for automated difference model creation between the BIM model and data obtained from TLS or photogrammetry. The results are used to verify the geometric parameters of structural elements (such as location of building elements, flatness of walls, straightness of pipes etc.), as well as to determine deviations in their location (position and orientation from the project itself). The information obtained is a basis for the qualification and quantification of deviations during construction management.

Keywords: verification of buildings, Terrestrial laser scanning (TLS), point cloud, BIM model, Industry Foundation Classes (IFC), automated verification

1. Úvod

V súčasnej dobe vstupujú informačné technológie čoraz intenzívnejšie do procesu životného cyklu stavby od projektovania až po prevádzku stavieb. Vhodným nástrojom, ktorý sa v posledných rokoch využíva počas celého života stavby, je informačné modelovanie stavieb (v angl. Building Information Modelling) známe pod pojmom BIM, ktorého výsledkom je virtuálny model stavby (BIM model). Na Slovensku je v posledných rokoch intenzívna snaha zavádzať BIM do stavebného cyklu, ktorého neoddeliteľnou súčasťou sú aj geodeti a tým pádom BIM predstavuje nový prístup k výkonu geodetických a kartografických činností v investičnej výstavbe. BIM model spolu s inovatívnymi metódami zberu priestorových informácií umožňujú detailnú kontrolu skutočného vyhotovenia stavebných diel. V súčasnosti najefektívnejšími metódami zberu informácií sú terestrické laserové skenovanie (TLS), resp. blízka fotogrametria, ktorých výsledkom sú mračná bodov. Práve využitie informácií obsiahnutých v detailných mračnách bodov a informácií BIM modelu je vhodným nástrojom na kontrolu kvality daného diela, častokrát až v reálnom čase.

Cieľom predkladaného článku je predstaviť návrh automatizovaného algoritmu na kontrolu vyhotovenia stavebných objektov v softvérovom prostredí Matlab®, pričom pre automatizovaný výpočet bola vytvorená samostatná aplikácia. Aplikácia slúži na kontrolu kvality realizácie stavebných objektov, pričom vstupnými údajmi sú BIM model (angl. as-planned) a mračno bodov (angl. as-built).

2. Návrh aplikácie pre automatizovanú kontrolu stavebných objektov

Automatizovaná kontrola stavebných objektov znamená kontrolu polohy, orientácie, zvislosti a rovinnosti stien. Odchýlky realizovaného stavebného objektu od projektu sú vyjadrené rozdielovými modelmi. K tomu, aby mohli byť vyhotovené rozdielové modely, je potrebné získať roviny jednotlivých geometrických objektov z projektu (BIM modelu – as-planned) a z realizácie (mračna bodov – as-built).

BIM je 3D modelovanie stavieb, využívané v rôznych odvetviach stavebného priemyslu, ktorého výsledkom je BIM model. Posledné roky je BIM vo svete aj na Slovensku využívané čoraz častejšie pri nových projektoch, ale aj pri rekonštruovaných stavbách. Nakoľko sa BIM modely využívajú počas celého života stavby, je potrebné využívať výmenné formáty pre zdieľanie dát. Existujú rôzne výmenné formáty pre BIM modely, napríklad CAD formáty, CIS/2, CityGML, pričom každý výmenný formát je zameraný na iné údaje. Najčastejšie používaným výmenným formátom je IFC (v angl. Industry Foundation Classes). IFC je textový súbor v ASCII (v angl. American Standard Code for Information Interchange) kóde, ktorého cieľom je poskytnúť otvorený a neutrálny prístup na ukladanie a výmenu BIM modelov medzi rôznymi softvérovými aplikáciami [1].

Pre zber priestorových údajov je jednou z najefektívnejších metód TLS, ktorého výsledkom je mračno bodov. Metódou TLS je možné vykonať bezkontaktný zber údajov, ktorý je v porovnaní s inými metódami rýchlejší a výsledok je detailný (vzhľadom na parametre skenovania).

Mračná bodov sa častokrát používajú na generovanie geometrie pre BIM modely. Ďalšou efektívnou možnosťou zberu údajov sú fotogrametrické metódy, kde je vhodné využiť obrazové skenovanie, ktorého výsledkom spracovania je tiež mračno bodov. Fotogrametrické metódy zberu údajov pre monitorovanie stavieb počas výstavby v kombinácii s BIM využívajú napríklad v [2]. V rámci tohto výskumu sa na rozdiel od nášho venujú prevažne monitoringu stavieb, ktorý je následne zakomponovaný do BIM modelov a prispôbuje sa mu ďalšie pokračovanie výstavby.

2.1 Identifikácia geometrických parametrov rovín stavebných prvkov z IFC súboru

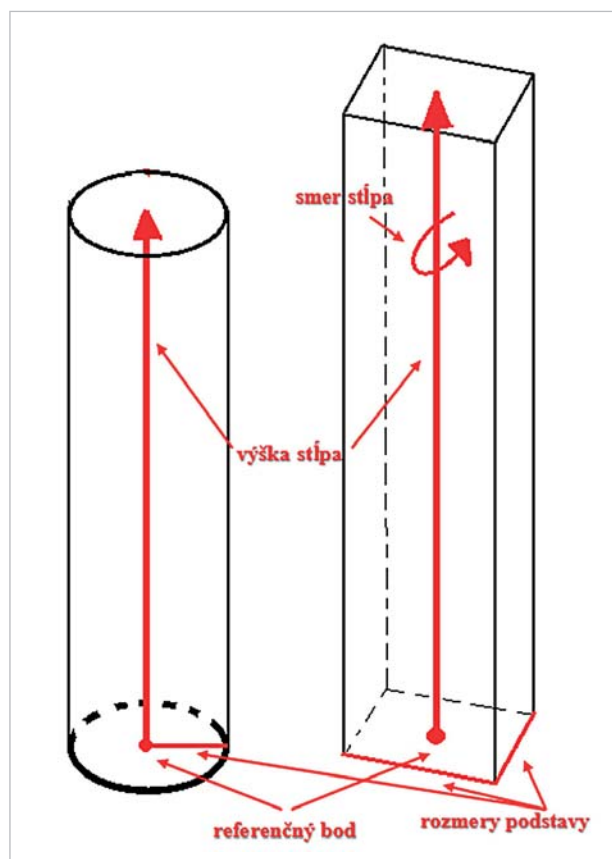
Výmenný formát IFC predstavuje otvorenú špecifikáciu pre údaje z BIM modelov o geometrických objektoch, ktoré sa vymieňajú a zdieľajú medzi rôznymi účastníkmi projektu stavby alebo správy budov [1]. Formát IFC vyvinulo medzinárodné združenie pre interoperabilitu (v angl. BuildingSMART), pričom je štandardizovaný normou ISO 16739:2018 Industry Foundation Classes (IFC) pre zdieľanie dát v stavebníctve a facility managemente.

IFC sa skladá z hlavičky a z popisu geometrických prvkov v rámci BIM modelu. Aktuálne je možné z IFC generovať geometrické parametre pre steny a stĺpy (s kruhovou, štvorcovou alebo obdĺžnikovou podstavou). Zo súboru je potrebné identifikovať pre jednu stenu súradnice začiatočného bodu z riadku `IfcCartesianPoint`, smer z riadku `IfcDirection`, dĺžku a hrúbku z riadku `IfcRectangleProfileDef` a výšku z riadku `IfcExtrudeAreaSolid` (obr. 1). V prípade stĺpov (obr. 2) generujeme z IFC začiatočný bod (`IfcCartesianPoint`), smer stĺpa (`IfcDirection`), výšku stĺpa (`IfcExtrudeAreaSolid`) a rozmery podstavy (v prípade štvorcovej/obdĺžnikovej podstavy sa generujú hodnoty z `IfcRectangleProfileDef`, v prípade kruhovej/elipsoidickej podstavy z riadku `IfcCircleProfileDef`).

Identifikované parametre slúžia na odhad parametrov roviny steny a stĺpa, pričom sa najprv vypočítajú súradnice štyroch rohov roviny pomocou priestorovej polárnej me-

tódy, z nich sa následne vypočíta ťažisko roviny. Na základe týchto bodov sa odhadujú koeficienty všeobecnej rovnice roviny (1) pomocou singularnej dekompozície matice redukovaných súradníc:

$$aX + bY + cZ + d = 0, \quad (1)$$



Obr. 2 Identifikácia geometrických parametrov prvku z IFC

```

#326= IFCCARTESIANPOINT ((51995.1110077108,20583.7768044136,0.));
#328= IFCDIRECTION ((-0.533954923697831,-0.845512944583844,0.));
#330= IFCAXIS2PLACEMENT3D (#326, #20, #328);
#331= IFCLOCALPLACEMENT (#143, #330);
#332= IFCCARTESIANPOINT ((3968.71044757762,0.));
#334= IFCPOLYLINE ((#10, #332));
#336= IFCSHAPE REPRESENTATION (#103, 'Axis', 'Curve2D', (#334));
#338= IFCCARTESIANPOINT ((1984.35522378881,-7.81597009336110E-13));
#340= IFCAXIS2PLACEMENT2D (#338, #26);
#341= IFCRECTANGLEPROFILEDEF (.AREA., $, #340, 3968.71044757762, 199.999999999999);
#342= IFCAXIS2PLACEMENT3D (#6, $, $);
#343= IFCEXTRUDEDAREASOLID (#341, #342, #20, 2500.);
#344= IFCSTYLEDITEM (#343, (#185), $);
#347= IFCSHAPE REPRESENTATION (#105, 'Body', 'SweptSolid', (#343));
#349= IFCPRODUCTDEFINITIONSHAPE ($, $, (#336, #347));
#353= IFCWALL ('1NxUD1ToR0Ke26yoDk8vH2', #42, 'Basic Wall:Generic - 200mm:2021:

```

Diagram illustrating the identification of geometric parameters for a wall element in IFC. Blue arrows point from labels to specific lines in the code:

- Začiatočný bod** points to line #326.
- Jednotkový smerový vektor** points to line #328.
- Dĺžka steny** points to line #343.
- Výška steny** points to line #343.
- Hrúbka steny** points to line #343.

Obr. 1 Definícia geometrie steny v IFC súbore

kde a, b, c sú prvky normálového vektora, d je číslo, ktorého hodnota sa rovná skalárnemu súčinu normálového vektora a polohového vektora ľubovoľného bodu, X, Y, Z sú priestorové súradnice bodu. V prípade steny počítame dve plošne najväčšie roviny vzhľadom nato, že sa následne môže kontrolovať stena z oboch strán. V prípade stĺpa so štvorcovou alebo obdĺžnikovou podstavou počítame štyri roviny stĺpa, neodhadujem len roviny podstáv, pokiaľ ich nepotrebujeme.

V prípade stĺpov s kruhovou/elipsoidickou podstavou nie je potrebný výpočet rovín, nakoľko k ďalšiemu spracovaniu sú potrebné súradnice stredu valca, polomer valca, výška a v prípade rôznych smerov (ako smer súradnicových osí) aj smer valca, pričom všetky tieto parametre sú generované z IFC súboru.

2.2 Segmentácia rovín a valcov z mračna bodov

Algoritmus na spracovanie mračen bodov je založený na kombinácii prvkov modifikovaného RANSAC (v angl. Random SAmple Consensus) algoritmu a metódy povrchov [3], pomocou ktorého segmentuje z mračna bodov roviny prislúchajúce rovinám identifikovaným z IFC. Samotný RANSAC algoritmus je založený na iteráciách odhadnutých parametrov geometrických prvkov zo súboru pozorovaných údajov, ktoré obsahujú odľahlé hodnoty [4].

Segmentácia sa začína výberom 100 najbližších bodov od ťažiska roviny steny (získaný z IFC súboru), pričom počet prvých bodov závisí od hustoty mračna bodov. Následne sa oblasť týchto bodov aproximuje rovinou (obr. 3), ktorá sa odhaduje ortogonálnou regresiou [3]. V tomto prípade vychádza riešenie zo všeobecnej rovnice roviny (1). Využíva sa ťažisko roviny steny, ktoré sa získa z IFC, pričom sa využíva vzťah (2):

$$X_{mean} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i}; Y_{mean} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i}; Z_{mean} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i}, \quad (2)$$

kde X, Y, Z sú súradnice 4 rohov rovín steny. Následne sa určia redukované súradnice (súradnicové rozdiely) vzťahom:

$$X_{red} = X - X_{mean}; Y_{red} = Y - Y_{mean}; Z_{red} = Z - Z_{mean}. \quad (3)$$

Ďalej sa pomocou súradnicových rozdielov zostaví matica redukovaných súradníc a vykoná sa singulárny rozklad matice (v angl. Singular Value Decomposition) redukovaných súradníc riešením rovnice [4]:

$$A = U \cdot \Sigma \cdot V^T, \quad (4)$$

kde A je matica redukovaných súradníc, stĺpcové vektory U sú normované vlastné vektory matice AA^T , V sú normované vlastné vektory matice $A^T A$ a Σ je diagonálna matica s prvými tromi singulárnymi číslami matice $A^T A$ na hlavnej diagonále. Normálový vektor regresnej roviny je teda stĺpcovým vektorom matice V , ktorá prislúcha najmenšiemu singulárnemu číslu matice $A^T A$ [4]. Týmto spôsobom sú získané koeficienty a, b, c všeobecnej rovnice roviny, ktoré tvoria normálny vektor roviny. Parameter d sa získa, tým že sa do normálneho vektora dosadia súradnice ťažiska X_0, Y_0, Z_0 , vypočítaného z mračna vybraných bodov (5):

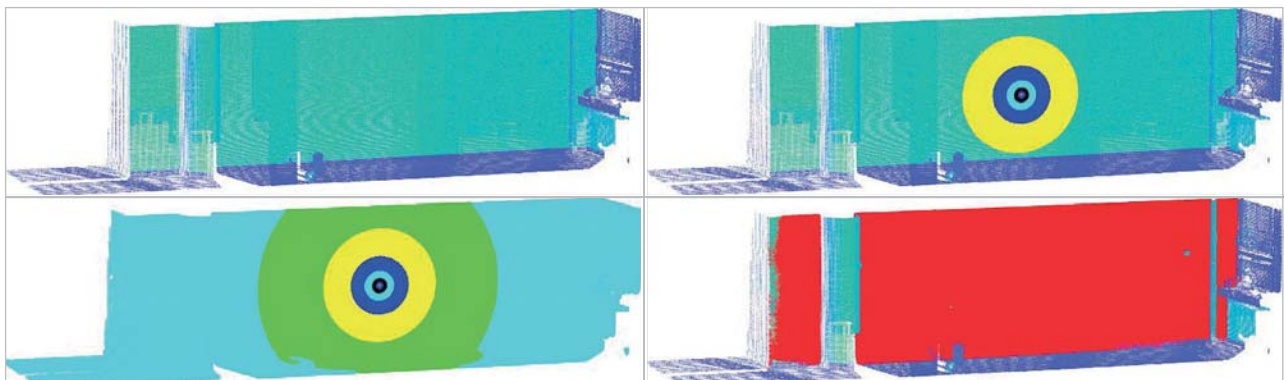
$$d = -(a \cdot X_0 + b \cdot Y_0 + c \cdot Z_0). \quad (5)$$

V ďalšom kroku sa oblasť vybraných bodov zväčší na 1000 najbližších bodov a testuje sa, či ležia v odhadnutej rovine. Algoritmus pri každom zväčšení počtu vybraných bodov porovnáva, či ležia v odhadnutej rovine z predchádzajúcej iterácie [3]. Rovina je prepočítaná po každej iterácii pomocou všetkých bodov, ktoré spĺňajú kritérium ortogonálnej vzdialenosti od odhadnutej roviny. V každej ďalšej iterácii sa počet bodov zväčšuje štvornásobne a opakuje sa výpočet pomocou vzťahov (2) až (5). Iteratívny výpočet prebieha dovtedy, kým oblasť roviny prestane rásť (obr. 3), resp. pokiaľ sa nájde vždy aspoň jeden bod, ktorý by ovplyvnil odhadnutú rovinu [5]. Prahová hodnota, ktorá nám udáva dĺžkové kritérium pre vzdialenosť segmentovaných bodov od odhadnutej regresnej roviny, je v tomto prípade odporúčaná v intervale do 100 mm.

V prípade stĺpov s kruhovou podstavou je ku segmentácii použitý iný algoritmus, ktorý je založený na RANSAC metóde, Houghovej transformácii a Gaussovej sfére. Vstupmi do algoritmu pre segmentáciu valcov sú očakávaný polomer valca, ktorý v našom prípade vieme z BIM modelu, prahová hodnota filtrovanie polomeru, vzdialenosti a normály [6]. Ak by šlo čisto len o segmentáciu z mračen bodov bez BIM modelov, pridáva sa ešte parameter počtu valcov v mračne. Tento parameter však pri kombinácii s BIM modelom poznáme zo súboru IFC.

Prvým krokom výpočtu je výpočet lokálnych normálových vektorov v každom bode mračna s využitím malých lokálnych rovín vypočítaných z priestorových súradníc daného bodu a k -najbližších susedov, pričom sa na odhad roviny využíva ortogonálna regresia [6]. Odhad valca je ďalej možné rozdeliť do troch krokov:

A. Výpočet orientácie osí valca, pričom toto je vektor, ktorý je kolmý na normálový vektor, ktorý je vypočítaný



Obr. 3 Segmentácia rovín s využitím vyššie spomínaného algoritmu [7]

z 15 najbližších susedov k zvolenému bodu. Na výpočet vektora orientácie osi valca sa používa singulárna dekompozícia matice [6].

- B. Druhým krokom je premietnutie týchto 15 bodov do roviny kolmej na os valca, pričom sa tieto body rozložia do kruhu [6].
- C. Tretím krokom je odhad parametrov premietnutej kružnice (súradnice stredu kružnice a polomer kružnice). Na tento výpočet sa využíva podmienka minimalizácie vzdialenosti. Súradnice stredu kruhu sa transformujú následne na priestorové súradnice a považujú sa za súradnice bodu na osi valca. Polomer kruhu je zároveň aj polomerom valca [6].

Všetky tieto tri kroky sa opakujú iteratívne, dokým niektorá z iterácií nesplní zadanú podmienku pre konkrétne mračno bodov.

2.3 Filtrácia bodov na základe normálových vektorov

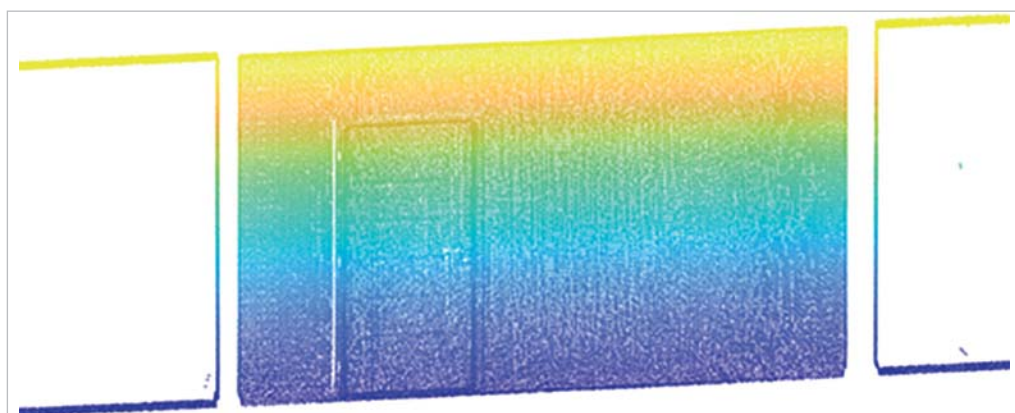
Po segmentácii sa pristupuje ku filtrácii bodov na základe lokálnych normál bodov mračna, nakoľko sa pri segmentácii využíva dĺžkové kritérium, pri ktorom sa segmentujú

nielen body roviny steny, ale aj vedľajších konštrukčných prvkov, ktoré vyhovujú dĺžkovému kritériu (obr. 4).

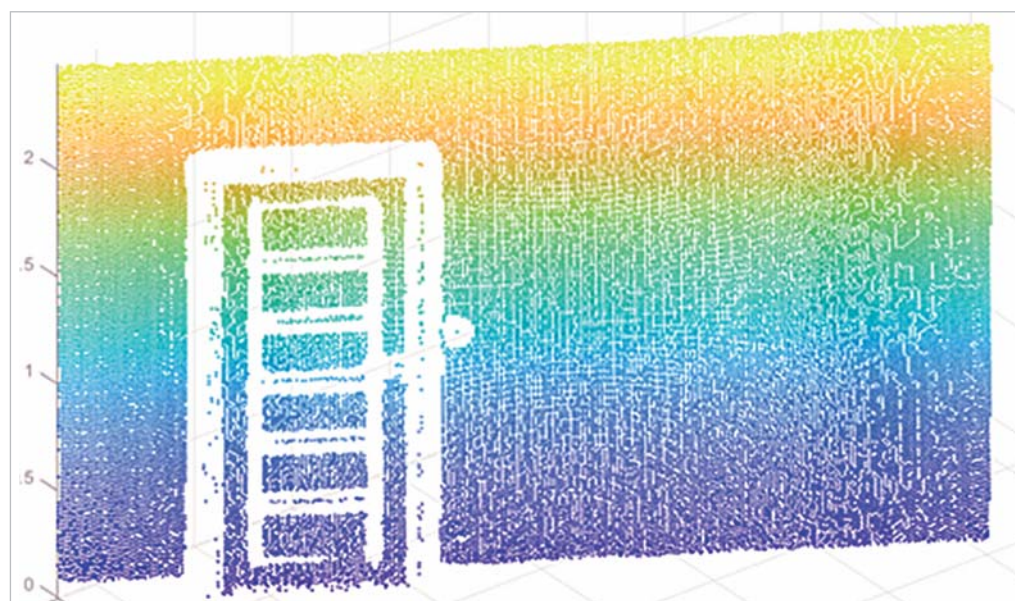
V prvom kroku segmentácie sa aplikuje na mračno bodov výpočet lokálnych normál v každom bode mračna a to tak, že je odhadnutá lokálna rovina z k-najbližších susedov (v angl. Nearest Neighbor). Počet najbližších bodov definuje veľkosť roviny, ku ktorej sa počítajú normály v danom bode mračna a závisí od hustoty mračna bodov. Vypočítané normálové vektory sa skalárne vynásobia normálovým vektorom príslušných rovín získaných po segmentácii (6) a následne je možné vypočítať uhol, ktorý zvierajú:

$$\cos(\alpha) = \Delta n_{\text{norm}} = n_{\text{poc}} \cdot n_{\text{point}}, \quad (6)$$

kde n_{poc} je normálový vektor príslušnej regresnej roviny mračna bodov a n_{point} je normálový vektor bodov testovanej lokálnej roviny. Keďže roviny stien nie sú dokonalo rovinné, je potrebné definovať vstupnú hodnotu pre maximálne odchýlky normál. Odporúčaná hodnota sú maximálne 4° pri nerovných stenách. Týmto krokom sa zo segmentovaného mračna odstránia body, ktoré prislúchajú konštrukčným prvkom priamo nesúvisiacimi s rovinou steny (napr. roviny stien vedľajších miestností, časť dverí apod.) (obr. 5).



Obr. 4 Segmentované body pred filtráciou na základe normál



Obr. 5 Segmentované body po filtrácii na základe normál

2.4 Tvorba rozdielových modelov

Pre každú rovinu steny sa generujú dva rozdielové modely (obr. 6, obr. 7). Prvý rozdielový model je porovnanie roviny BIM modelu a jej prislúchajúcej roviny segmentovanej z mračna bodov. Druhý rozdielový model zobrazuje rovinnosť stien. Pre oba rozdielové modely boli počítané maximálne a minimálne odchýlky, priemerné odchýlky a absolútne maximum odchýlok. Pre prvý rozdielový model bolo počítané aj pootočenie roll a odchýlka δ dvoch rovín, vzhľadom nato, že pomocou týchto dvoch parametrov vieme stanoviť polohu plánu a realizácie prvku. Pootočenie rovín sa počíta vzťahom (7) a odchýlku rovín sa počíta vzťahom (8):

$$\text{roll} = \arccos(n_{IFC} \cdot n_{POC}), \quad (7)$$

kde roll je natočenie rovín, n_{IFC} je normálový vektor roviny steny z BIM modelu a n_{POC} je normálový vektor odhadnutej regresnej roviny zo segmentovaného mračna bodov, ktorá prislúcha rovine steny z BIM modelu:

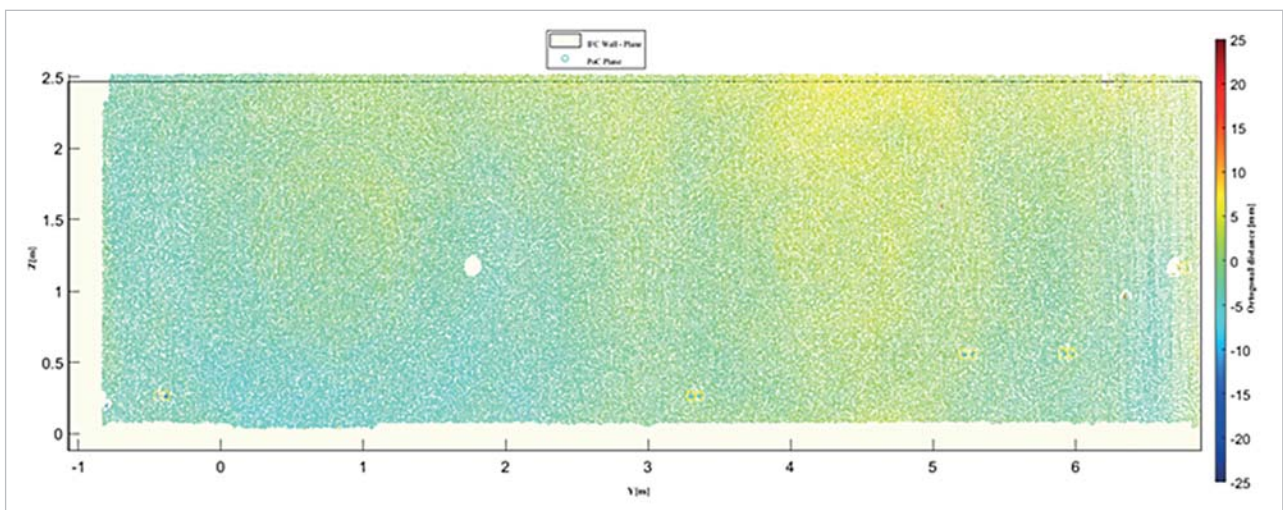
$$\delta = (|d_{IFC}| - |d_{POC}|), \quad (8)$$

kde δ je vzdialenosť dvoch regresných rovín, d_{IFC} je rovný

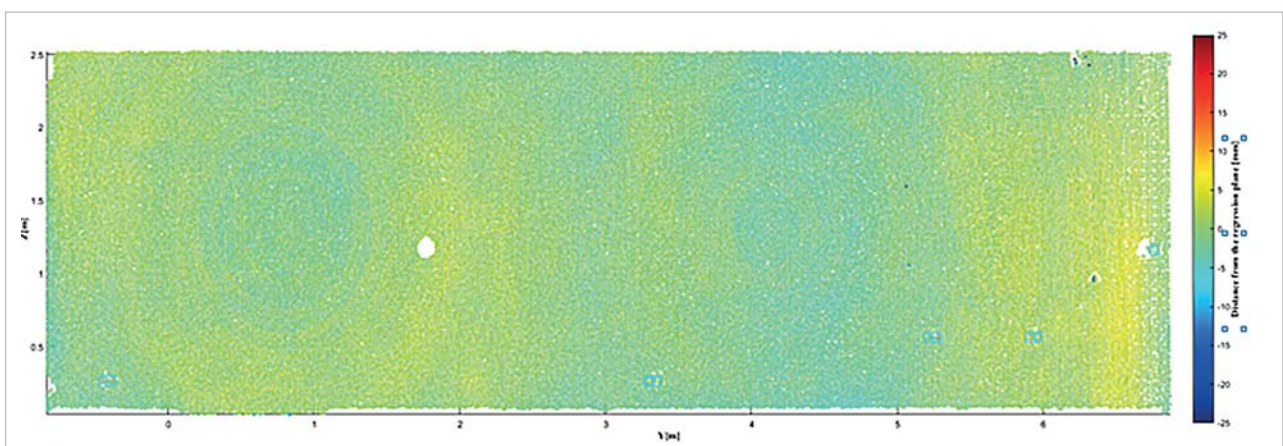
skalárnemu súčinu normálového vektora roviny BIM modelu s ľubovoľným polohovým vektorom roviny BIM modelu a d_{POC} je rovný skalárnemu súčinu normálového vektora roviny segmentovaného mračna bodov s ľubovoľným polohovým vektorom odhadnutej regresnej roviny z mračna bodov.

2.5 Vývoj samostatnej aplikácie

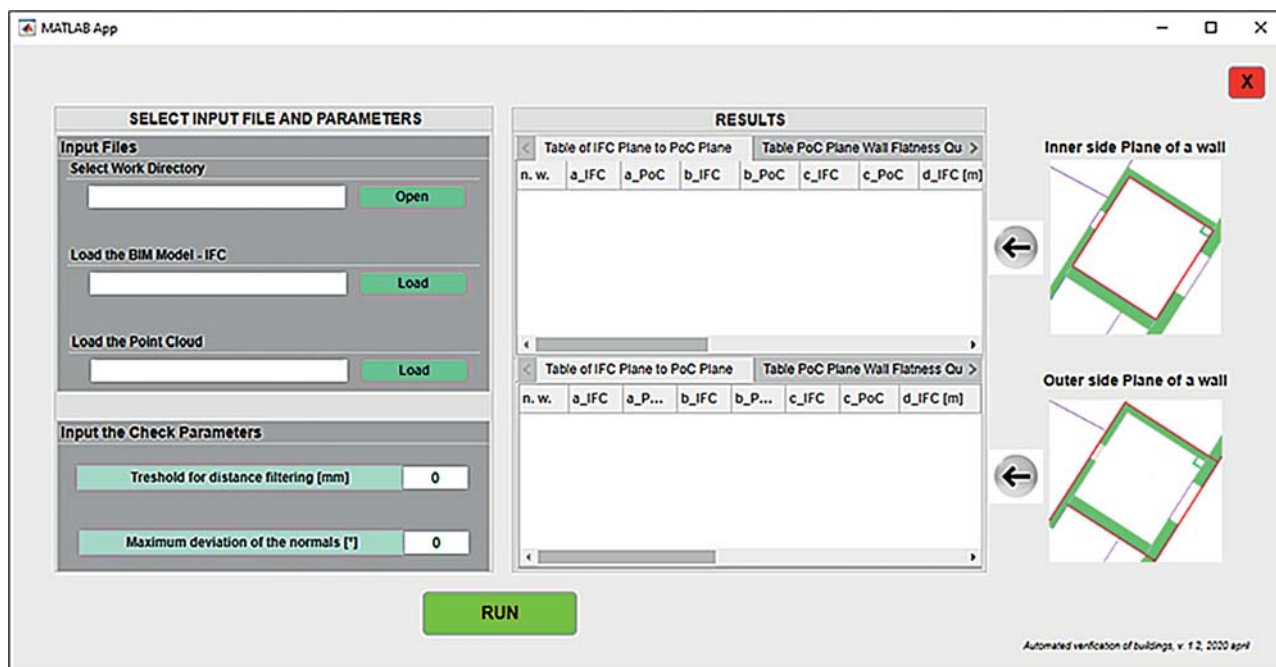
Aby bolo možné kontrolu stavebných objektov vykonať automatizovane, bola vytvorená samostatná aplikácia v softvéri Matlab®. Ako prvé si používateľ vyberie v dialógovom okne (obr. 8) adresár, následne v aplikácii načíta BIM model vo formáte IFC a mračno bodov vo formáte *.pts, *.txt alebo *.xyz. Následne používateľ definuje vstupné parametre: prahovú hodnotu pre segmentáciu mračna bodov a maximálnu odchýlku normál. Po načítaní vstupných súborov a nastavení vstupných parametrov sa spustí výpočet tlačidlom RUN. V rámci výpočtu prebehne identifikácia geometrických parametrov z IFC, segmentácia rovín z mračna bodov a výpočet výsledkov kontroly objektu, pričom výsledkom sú 2 rozdielové modely pre každú rovinu steny a súbor *.xlsx s číselnými charakteristikami rovín.



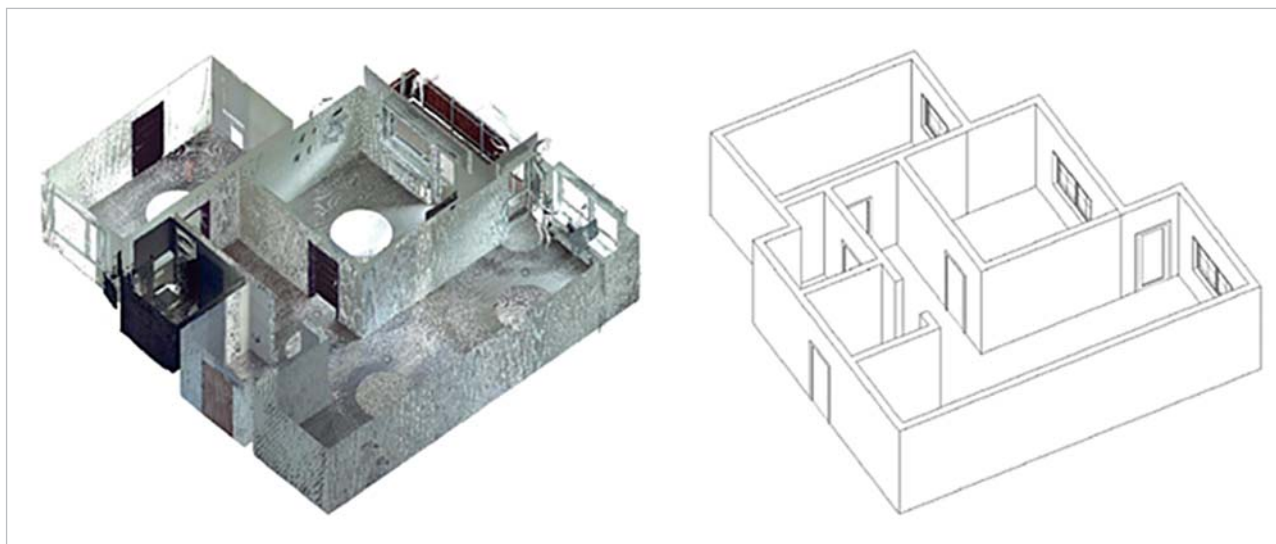
Obr. 6 Porovnanie roviny BIM modelu a regresnej roviny segmentovanej z mračna bodov



Obr. 7 Rovinnosť roviny steny



Obr. 8 Dialógové okno aplikácie



Obr. 9 Mračno bodov (vľavo) a generalizovaný BIM model (vpravo) prípadovej štúdie

3. Prípadová štúdia

Verifikáciu vyššie spomínaného algoritmu sme vykonali na základe prípadovej štúdie, v rámci ktorej sme kontrolovali geometrické parametre stien bytu na základe BIM modelu (obr. 9) a údajov z TLS (obr. 9). Jedná sa o trojizbový byt s rozlohou približne 70 m². Pre verifikáciu bolo mračno bodov prevzorkované na hustotu 10 mm. Prahová hodnota pre segmentáciu mračien bola 50 mm a maximálna odchýlka normál bola volená v hodnote 3°.

Výsledky porovnania dvoch modelov rovín, ktoré ukazujú najväčšie odchýlky sa nachádzajú v tab. 1, tab. 2 a tab. 3, pričom tab. 1 sa zaoberá porovnaním paramet-

rov rovín z BIM modelu a z mračna bodov, tab. 2 sa nachádzajú vzájomné polohy rovín z BIM modelu a mračna bodov a tab. 3 zobrazuje rovinnosť roviny. V rámci ukážky výsledkov sa budeme zaoberať piatimi rovinami v rámci tabuliek a na obrázku si ukážeme jednu rovinu (obr. 10).

V prípade všetkých rovín bolo maximálne natočenie v hodnote 0,5° a maximálna vzdialenosť rovín 49,7 mm. Maximálna odchýlka bodov mračna od roviny bola 65 mm, pričom tieto maximá sa vyskytujú v oblasti elektrických zásuviek. V prípade rovinosti sú odchýlky v intervale od -35 mm do 35 mm, pričom tieto maximá sa nachádzajú v oblasti dverí, elektrických zásuviek a pod.

Tab. 1 Porovnanie parametrov rovín

č. r.	a_{IFC}	a_{PoC}	b_{IFC}	b_{PoC}	c_{IFC}	c_{PoC}	d_{IFC} [m]	d_{PoC} [m]
1	0,537	0,542	0,844	0,840	0,000	-0,003	-7,225	-7,232
2	0,842	-0,841	-0,540	0,541	0,000	0,001	1,497	-1,500
3	-0,846	0,842	0,533	-0,540	0,000	0,001	5,799	-5,797
4	0,536	-0,536	0,844	-0,844	0,000	0,002	-1,282	1,284
5	-0,844	-0,842	0,541	0,545	0,000	-0,003	3,221	3,193

Tab. 2 Parametre odchýlok rovín

č. r.	roll [°]	δ [mm]	max_d [mm]	min_d [mm]	avg_d [mm]	abs_{maxd} [mm]
1	0,4	-6,8	36,1	-62,9	-1,3	62,9
2	0,1	-3,1	33,6	-47,6	-0,3	47,6
3	0,5	1,6	53,8	-55,1	-16,9	55,1
4	0,1	-1,9	39,6	-37,4	3,9	39,6
5	0,4	28,1	38,3	-17,3	0,1	38,3

Tab. 3 Rovinnosť stien

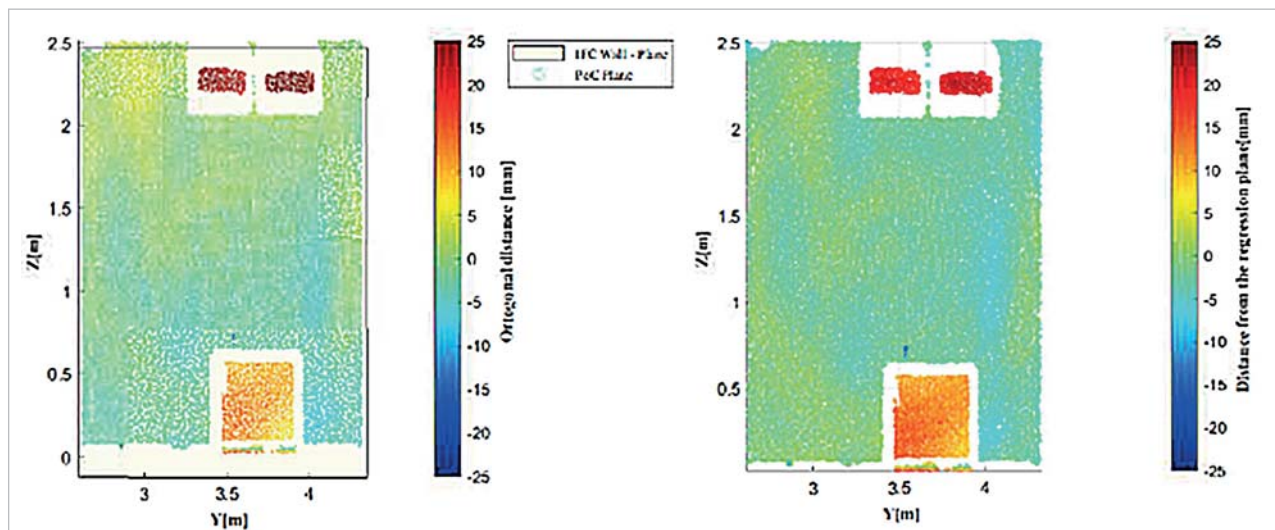
č. r.	max_d [mm]	min_d [mm]	avg_d [mm]	abs_{maxd} [mm]
1	28,1	-16,0	-0,4	28,1
2	30,5	-29,5	0,1	30,5
3	34,9	-34,6	0,2	34,9
4	17,6	-29,4	-2,0	29,4
5	39,3	-16,2	1,1	39,3

4. Záver

Kontrola stavebných objektov, jedna z nosných zameraní inžinierskej geodézie, je v dnešnej dobe stále veľmi pozadu z hľadiska spracovania nameraných údajov a využitia moderných technológií, ktoré sú k dispozícii. V tejto informačnej a digitálnej dobe je možné využívať rôzne podklady k vyhotoveniu a vyhodnoteniu kontroly stavieb a zá-

roveň aj rôzne prístupy k spracovaniu dát. Jednou z možností spracovania dát je využitie mračen bodov získavaných, napr. TLS technológiou, pomocou zariadení UAV (angl. Unmanned aerial vehicle), resp. pozemnej fotogrametrie, v kombinácii s technológiou BIM.

V rámci predkladaného článku je ukázaný práve jeden spôsob využitia moderných technológií, ku kontrole realizácie stavieb, ktorý je možné využívať aj pre monitoring



Obr. 10 Rozdielové modely pre 5. rovinu, vľavo - porovnanie roviny z BIM a odhadnutej roviny zo segmentovaného mračna, vpravo – rovinnosť roviny steny

stavieb počas celej výstavby. Ku kontrole stavieb je využitý BIM model vo formáte IFC ako as-planned podklad a mračno bodov ako as-built podklad.

Vzhľadom nato, že výmenný formát IFC je stále vo vývoji, sú isté nedostatky, ktoré ovplyvňujú automatizované generovanie parametrov z neho. Jedným z nedostatkov je individuálne využívanie knižníc, pričom niektorý využívajú vstavené knižnice a niektorý vlastné, v ktorých sú parametre definované inak a v rámci algoritmu je to potrebné pri použití meniť. Pri segmentácii z mračien bodov sme narazili tak isto na mnoho prekážok, ktoré je nutné ďalším spracovaním odstrániť. Jednou z prekážok je segmentácia bodov, ktoré spĺňajú aj prahovú hodnotu (ktorá nám stanovuje maximálnu vzdialenosť segmentovaných bodov – čiže body vzdialenejšie ako je veľkosť prahovej hodnoty sa už nesegmentujú) a maximálnu odchýlku normál (ktorá zabraňuje segmentácii bodov mimo segmentovanej roviny – napr. vedľajšie roviny spĺňajúce prahovú hodnotu, obr. 4). Toto sú napríklad body, ktoré reprezentujú dvere, okná, revízne skrinky, elektrické zásuvky a iné. Na odstránení tohto problému pracujeme a riešiť ho budeme algoritmom, ktorý bude využívať krivkovú segmentáciu bodov. Ďalším riešeným nedostatkom sú nerelevantné lokálne maximá (napr. v oblasti elektrických zásuviek, revíznych skriniek (obr. 10) a pod.), ktoré nám neudávajú informácie o rovine steny (stípa) ale o inom mieste, ktoré vo výsledku vôbec nepotrebujeme. Z tohto dôvodu bude v ďalších prácach pridaná vyhladzovacia funkcia, ktorá sa zameria práve na odstránenie lokálnych extrémov. Ďalej budú do algoritmu doplnené aj ďalšie stavebné prvky, ktoré sa budú generovať z BIM modelu, napr. potrubia, oceľové konštrukcie, otvory v stenách a iné.

Nakoľko BIM modely sa na Slovensku začínajú využívať v plnej miere aj pri nových, aj pri rekonštruovaných stavbách, je vhodné automatizovane kontrolovať stavby na podklade takýchto modelov. Zber údajov je pri laserovom skenovaní automatický a je vhodný k zberu údajov dokumentácie skutočného vyhotovenia stavby. Je dobré mať aj aplikáciu, ktorá spracuje veľký objem dát mračien bodov za relatívne krátky čas. V aplikácií, ktorú sme si predstavili, sa spájajú všetky tieto tri aspekty. Táto aplikácia je preto vhodná do terénu na rýchle vyhodnotenie stavebných objektov (zatiaľ

len stien a stĺpov, v ďalšom vývoji aj iných prvkov) v rámci dokumentácie skutočného vyhotovenia stavby.

Podakovanie

Práca súvisí s aktivitami vyvíjanými v rámci riešenia projektu APVV-18-0247 „Automatizácia kontroly elektronickej dokumentácie stavieb s využitím inovatívnych technológií zberu údajov a virtuálnych modelov“.

LITERATÚRA:

- [1] 2018. ISO 16739-1:2018 – “Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries — Part 1: Data schema” [online] [cit. 28.10.2020]. Dostupné na: <https://www.iso.org/standard/70303.html>.
- [2] BRAUN, A.-TUTTAS, S.-STILLA, U.-BORRMANN, A.: BIM-based Progress Monitoring. V: Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice [online]. 2018, B.m.: Springer International Publishing, pp. 463-476 [cit. 1.3.2021]. ISBN 9783319928623. Dostupné na: doi:10.1007/978-3-319-92862-3_28.
- [3] HONTI, R.-ERDÉLYI, J.-KOPÁČIK, A.: Plane segmentation from point clouds. Pollack Periodica [online]. 2018, Vol. 13, No 2, pp. 159-171 [cit. 29.10.2020]. ISSN 17883911. Dostupné na: doi:10.1556/606.2018.13.2.16.
- [4] FISCHLER, M. A.-BOLLES, R. C.: Random sample consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography. Communications of the ACM [online]. 1981, Vol. 24, No 6, pp. 381-395. ISSN 15577317. Dostupné na: doi:10.1145/358669.358692.
- [5] HONTI, R.: Segmentácia rovin. Geodetický a kartografický obzor, Praha, 65/107, 2019, č.4, s. 89-94.
- [6] HONTI, R.-ERDÉLYI, J.-KOPÁČIK, A.: Automation of cylinder segmentation from point cloud data. Pollack Periodica [online]. 2019, Vol. 14, No 3, pp. 189-200. ISSN 17883911. Dostupné na: doi:10.1556/606.2019.14.3.18.
- [7] HONTI, R.-ERDÉLYI, J.-BARICZOVÁ, G.-FUNTÍK, T.-MAYER, P.: Automated Verification of Building Components Using BIM Models and Point Clouds. Slovak Journal of Civil Engineering [online]. 2020, Vol. 28, No 3, pp. 13-19. ISSN 1210-3896. Dostupné na: doi:10.2478/sjce-2020-0019.

Do redakcie došlo: 20. 3. 2021

Lektoroval:
Ing. Václav Šafář, Ph.D.,
VÚGTK, v. v. i.