

Využitie terestrického 3D skenovania pre diagnostiku skladovacích nádrží

Silvester Hradiský



Obr. 1 3D sken guľového zásobníka

PREDSTAVENIE

Volám sa Silvester Hradiský a som absolventom Strojníckej fakulty Žilinskej univerzity v Žiline, kde som vyštudoval študijný program Údržba dopravných prostriedkov. Ako inžinier údržby som sa zamestnal v spoločnosti Nafta, a.s., kde pôsobím na oddelení údržby ako inžinier katódovej ochrany potrubných systémov. Mojou hlavnou úlohou je koordinácia a plánovanie aktivít údržby v rámci našej divízie podzemných zásobníkov zemného plynu, hlavne čo sa týka systému aktívnej protikoróznej ochrany.

V rámci môjho príspevku predstavím moju diplomovú prácu, ktorá bola zameraná na využitie terestrického 3D skenovania pre diagnostiku skladovacích nádrží. Diplomová práca bola ocenená na Spoločnosťou Slovnaft ako jedna z troch výherných prác v súťaži „NajDiplomovka 2020“.

1 ÚVOD

Diplomová práca vznikla v spolupráci so spoločnosťou Slovnaft a.s. ako nástroj zefektívnenia údržby vysokokapacitných skladovacích nádrží, hlavne v otázke merania geometrie.

Skladovacie nádrže tvoria od počiatkov petrochemického priemyslu chrbtovú kosť výroby a uskladnenia materiálu. Spolu s technickým pokrokom sa vyvíjali aj skladovacie nádrže. V práci sú predstavené základné typy atmosférických a tlakových nádrží, ich konštrukčné varianty a spôsoby prevádzkovania. Ďalej je súhrn legislatívnych požiadaviek na prevádzku a údržbu vybraných atmosférických nádrží a guľových zásobníkov, ktoré sú na výrobnjej jednotke SPCHV a SKP 1 spoločnosti Slovnaft, a.s.

2 3D TERESTRICKÉ SKENOVANIE

Je to nový moderný spôsob nedeštruktívneho a bezdotykového merania, ktorý dáva celkový obraz o stave geometrie nádrže, statike plášťa, jeho dynamických zmenách pri zaťažení, deformácii a integrite spojov indikáciou vychýlenia nádrže. Meranie metódou laserového skenovania možno chápať ako proces analýzy objektu a následné zhromaždenie údajov o jeho tvare, rozmeroch, prípadne o jeho vzhľade (napr. farbe) za účelom vytvorenia 3D modelu. Ten sa skladá z bodového mračna, teda súboru zameraných bodov v 3D na povrchu skenovaného objektu. Je to základ extrapolácie (digitálnej rekonštrukcie) tvaru skenovaného predmetu. Terestrické laserové skenery (TLS) zväčša pracujú s rôznymi druhmi zariadení (lasery, kamery) a ich údaje kombinujú. Výsledkom spracovania je priestorový model objektu, ktorý je možné exportovať do iných spracovateľských programov (napríklad typu CAD) a ďalej ich analyzovať. V danom prípade ide o analýzu kruhovitosti a vertikality skladovacej nádrže.

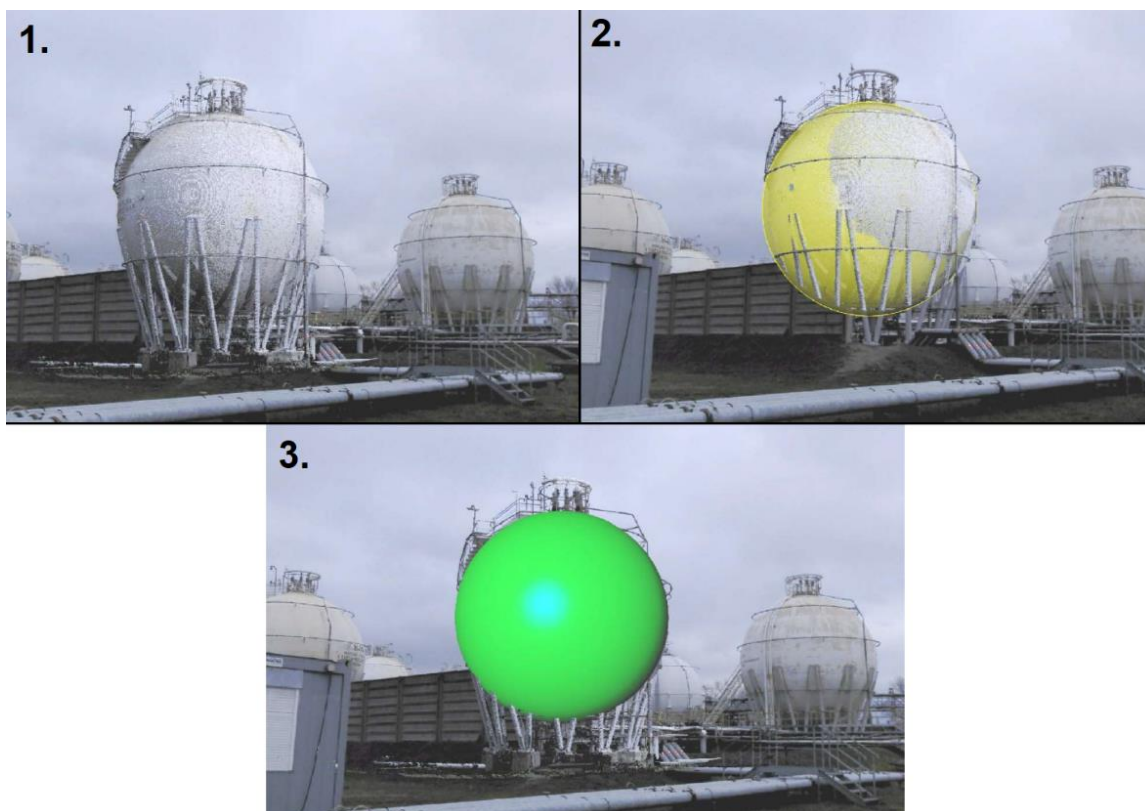


Obr. 2 Trimble SX10

2.1 Kroky v procese 3D skenovania

V rámci prípravy na meranie sa vykoná rekognoskácia objektu, s obhliadkou jeho tvaru, jeho charakteristických znakov a okolia. Z týchto skutočností sa vychádza pri návrhu počtu a pozícií stanovísk skenera, pričom sa musí zohľadniť tvar zorného poľa, použitého laserového skenera a dostatočné prekrytie medzi jednotlivými skenmi. Ak je meranie objektu vykonávané z viacerých stanovísk skenera, musia sa rozmiestniť, resp. signalizovať vlicovacie body, nevyhnutné na pospájanie skenov do homogénneho mračna (do tzv. jedného súradnicového systému). Proces skenovania je riadený programom a začína nastavením skenera, výberom súradnicového systému, typu skenovania a urovnaním prístroja pomocou elektronickej alebo klasickej libely. Pokračuje sa voľbou (vymedzením) oblasti skenovania, prislúchajúcej danému stanovisku skenera. V kamerových typoch TLS, kde je zabudovaná digitálna kamera, sa dá zobrazíť živý náhľad celého zorného poľa, na ktorom sa vyznačí zvolená záujmová oblasť skenovania. Samotné meranie prebieha automaticky podľa

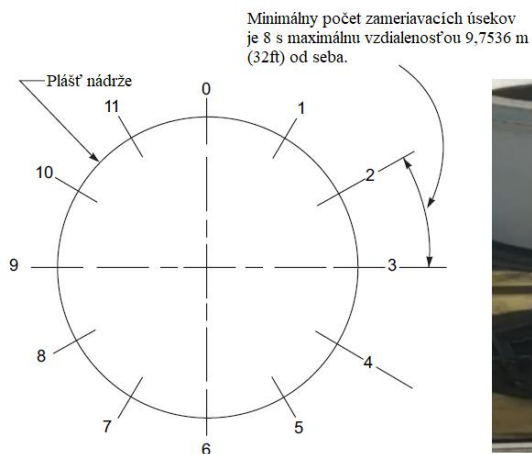
nastavených parametrov skenovania, pričom celú prácu riadi obslužný softvér. Parametrami skenovania je určená oblasť skenu a tiež hustota skenovania, čiže množstvo nameraných bodov. Tento parameter závisí od spôsobu použitia TLS, predmete, ktorý sa meria, a požadovanej presnosti. V prípade nádrže je to v rozmedzí okolo 50 mm medzi jednotlivými bodmi v závislosti na podmienkach, požiadavkách atď. Spracovanie údajov získaných v teréne pomocou TLS možno rozčleniť na dva základné kroky – prvotné a druhotné spracovanie. Prvou fázou spracovania je očistenie mračna bodov a jeho prípadné zriedenie. Očistením je myslené odstránenie bodov, ktoré vznikli zameraním nežiaducich predmetov či prekážok, alebo sú spôsobené chybami v meraní. Decimácia je proces, pri ktorom je hustota bodov v určitých miestach zriedená. Ide najmä o miesta prekrytia dvoch alebo viacerých skenov, alebo o miesta zodpovedajúce zameraniu tvarovo pravidelných plôch a predmetov s malou krivosťou. Upravené mračno (transformované, očistené, poprípade zriedené) je v druhej fáze následne vyhodnocované za účelom vytvorenie finálneho výstupu (modelu). Vyhodnotenie môže prebiehať dvoma možnými spôsobmi, eventuálne ich kombináciou. V danom prípade sa použila metódu aproximácie objektov matematickými primitívami. Metóda spočíva v preložení časti alebo celého mračna geometricky exaktne definovaným predmetom (rovina, guľa, kužeľ, valec, úsečka, atď.) a jej porovnania so skutočným tvarom. Geometrické telesá bývajú v niektorých komerčných softvéroch rozšírené o celý rad ďalších, väčšinou špecializovaných, tvarov ako napr. nosníky, potrubia, armatúry, kolená, ventily, a pod. Výhoda tejto metódy spočíva v značnom zredukování veľkosti dát, pretože sú tisíce meraných bodov nahradené telesom definovaným iba niekoľkými konštantami a rovnicou. Nevýhodou je jej obmedzené využitie iba pri objektoch, ktoré svojim tvarom zodpovedajú vyššie uvedeným útvarom alebo sa im veľmi podobajú, čím sú prakticky vylúčené takmer všetky prírodné útvary alebo zložité architektonické objekty.



Obr. 3 Postup analýzy geometrie plášťa guľového zásobníka

2.2 Proces analýzy údajov

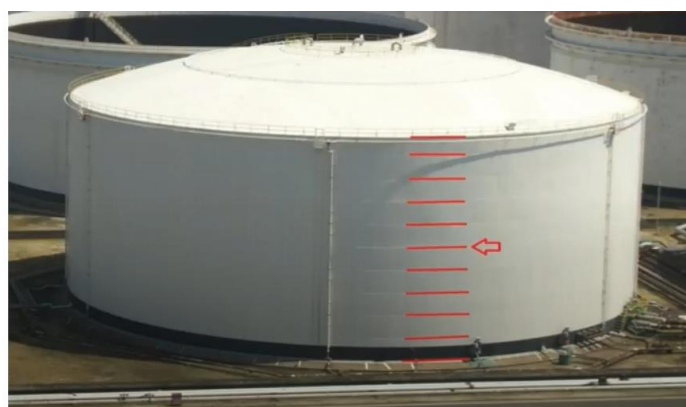
Po spojení, úprave a vyčistení skenu je pri meraní vertikality najdôležitejšie rozdeliť nádrž na časti zvané profily alebo „stations“. Rozloženie a počet meraných úsekov je definovaný v norme API 653 APPENDIX B. Základom sú štyri diametrálne rozmiestnené meracie čiary a medzi nimi podľa parametrov nádrže a presnosti určený počet sekcií. V každej sekcii potom možno vidieť presný rozsah vertikality od dokonalej roviny. Výsledky sa vyhodnocujú vždy porovnávaním sekcií oproti sebe (napr. station 2 a 8). Generovanie sekcií je pri najnovších softvéroch automatické a ich počet závisí od priemeru nádrže a za predpokladu ich väčšieho množstva sa zvyšuje presnosť vyhodnotených údajov.



Obr. 4 Meracie profily vertikality (tolerancie API 653)

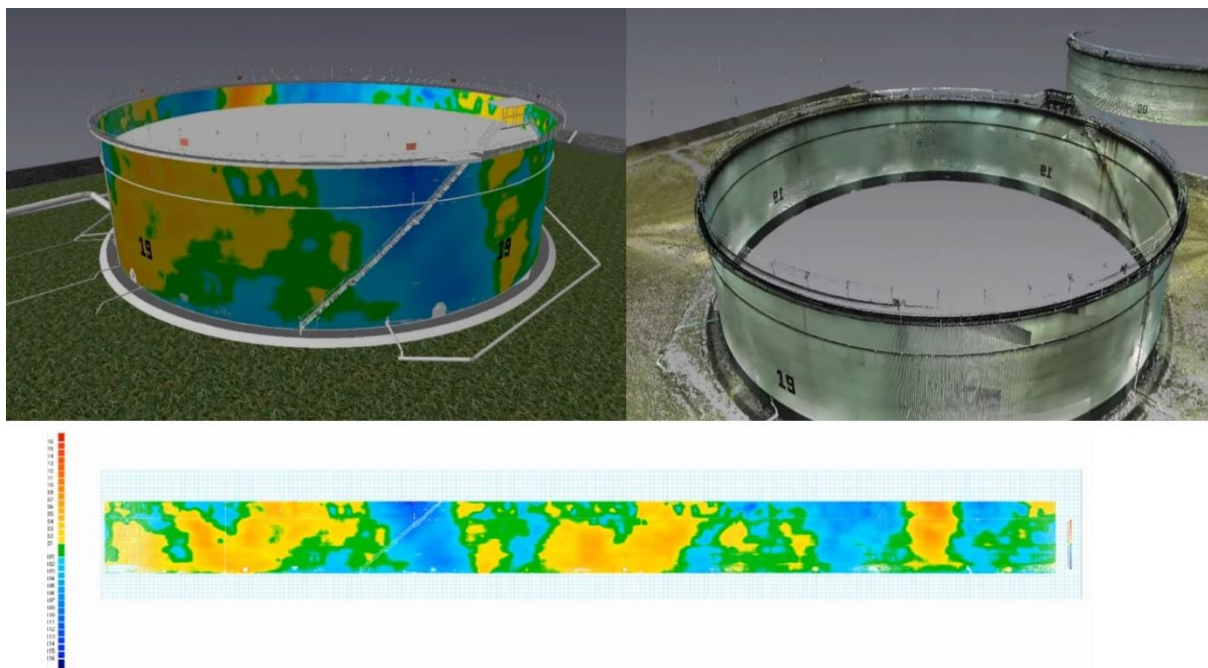
Pre meranie kruhovitosti sa rozdeľuje nádrž na vodorovné profily zvané „Courses“. Meranie začína od zvaru dna a postupuje na okraj steny nádrže k zvaru strechy. Hlavné profily sa určujú podľa zvarov plátov tvoriacich stenu nádrže. Medzi nimi sa určia sekundárne úseky medzi zvarmi rozdelené na ekvivalentné úseky. Počet meraní závisí od konkrétneho konštrukčného riešenia nádrže v počte a vzdialenosti vertikálnych zvarov a požadovanej presnosti merania. Odchýlky kruhovitosti merané vo výške 30 cm (1 ft) nad zvarom steny a dna nesmú prekračovať tolerancie uvedené v norme API 653 tab. 10-2, zobrazenej na obrázku.

Priemer nádrže m (ft)	Tolerancie polomeru mm (in.)
< 12 (40)	± 13 (1/2)
Od 12 (40) do < 45 (150)	± 19 (3/4)
Od 45 (150) do < 75 (250)	± 25 (1)
≥ 75 (250)	± 32 (1 1/4)



Obr. 5 Horizontálne meracie profily ovality (tolerancie API 653)

Jedným z mnohých softvérových nástrojov na diagnostiku stavu nádrže je aj jej hypsometrická mapa, teda zobrazenie rozvinutého plášťa nádrže, kde sa prehľadne zobrazia všetky deformácie, priehlbiny alebo konštrukčné vady. Tento spôsob diagnostiky je dôležitý pri plávajúcich strechách, kde by nerovnosť v plášti mohla zapríčiniť poškodenie tesnenia poprípade aj štruktúry strechy.



Obr. 6 Hypsometrická mapa nádrže s grafom veľkosti deformácii

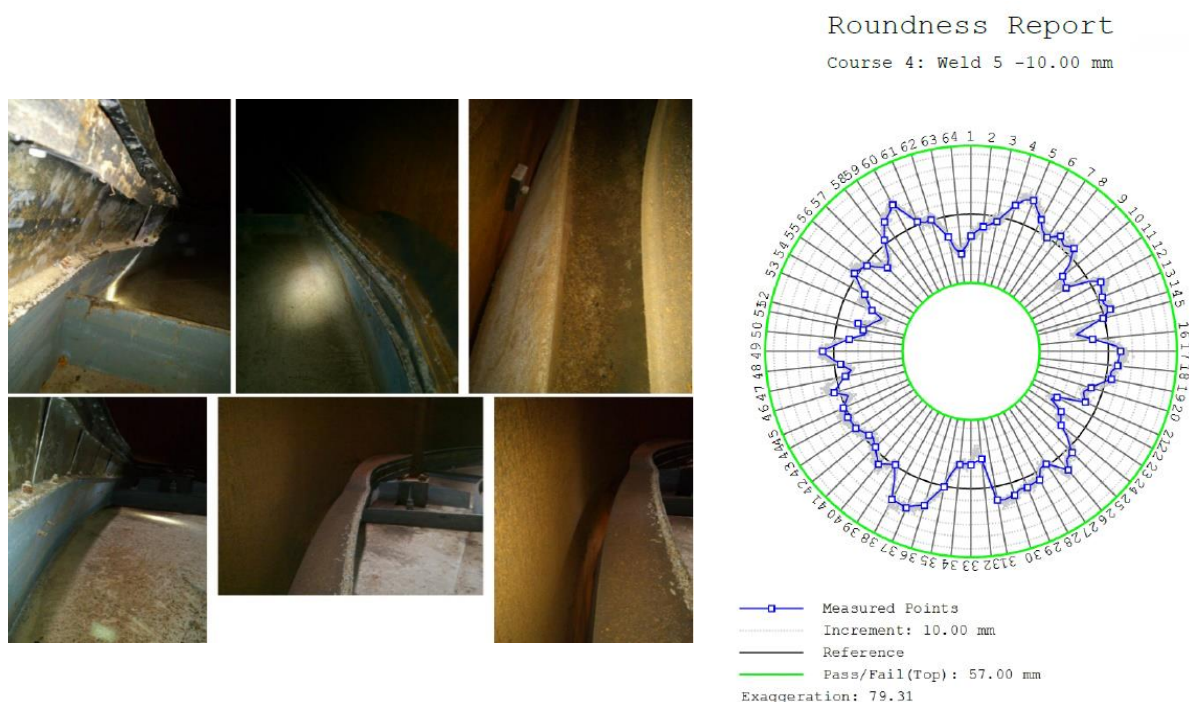
3 SKENOVANIE NÁDRŽÍ

3.1 Nádrž č. 1

Terestrické laserové skenovanie nádrže č. 1 bolo z pohľadu zabezpečenia správnej funkčnosti vnútornej plávajúcej strechy najspoľahlivejším prostriedkom posúdenia jej stavu po havárii. Komplexná oprava, akou je výmena plávajúcej strechy, si žiadala čo najpresnejšie údaje, hlavne o ovalite nádrže a lokálnych deformáciách. Cena takejto opravy je vysoká a prípadná chyba v rozmeroch, v tvare alebo stave nádrže by si vyžiadala ďalšie finančné prostriedky a časový sklz. V prípade nevykonania takéhoto merania a za predpokladu, že by geometrické parametre nádrže neboli v medziach tolerancií, mohlo by to hypoteticky spôsobiť okamžité poškodenie plávajúcej strechy už počas výkonu hydrostatickej skúšky, v horšom prípade až počas prevádzkovania nádrže s uskladneným médiom. V lepšom prípade by hypoteticky mohlo dôjsť len k poškodeniu obvodového tesnenia, v horšom k opätovnej deštrukcii alebo zakliesneniu strechy. Samozrejme, v prípade reklamácií by výrobca alebo montážna organizácia neuznali prípadnú reklamáciu z dôvodu nevykonania takéhoto merania. To by sa týkalo ale aj iných prípadných reklamácií, kde by sa mohol výrobca strechy odvolávať na absenciu poznania skutočného geometrického profilu nádrže, ktorým by argumentoval chybu v nádrži, nie v konštrukcii strechy.

Aby sa predišlo takémuto scenáru, v prípade nádrže č.1 výrobca plávajúcej strechy dostal kompletne rozmery nádrže, mohol začať s výrobou skôr a dodať ju rýchlejšie ako za využitia klasického zameriavania na mieste. Nemuseli sa upravovať rozmery strechy ani počas montáže a spoločnosť Slovnaft, a.s. mohla využiť skladovaciu kapacitu nádrže oveľa skôr. TLS dodalo celkový obraz nádrže nie len pre prevádzku, ale aj pre výrobcu plávajúcej strechy, ktorý mal technologicky čo najpresnejšie možné parametre pri jej výrobe. Hypsometrická mapa odhalila niekoľko lokálnych deformácií, ktoré nemali vplyv na funkčnosť. Cena za úplný geometrický obraz nádrže a úplné rozmerové tolerancie dodané výrobcovi tvorila len necelé 4% celkových nákladov na opravu nádrže a zďaleka nedosiahla

sumu, ktorá by sa musela vynaložiť na korekciu chýb alebo prestavanie nefunkčnej plávajúcej strechy kvôli zlej geometrii.



Obr. 7 Poškodenie plávajúcej strechy nádrže č.1 spolu s grafom deformácii plášťa

3.2 Nádrž č.2

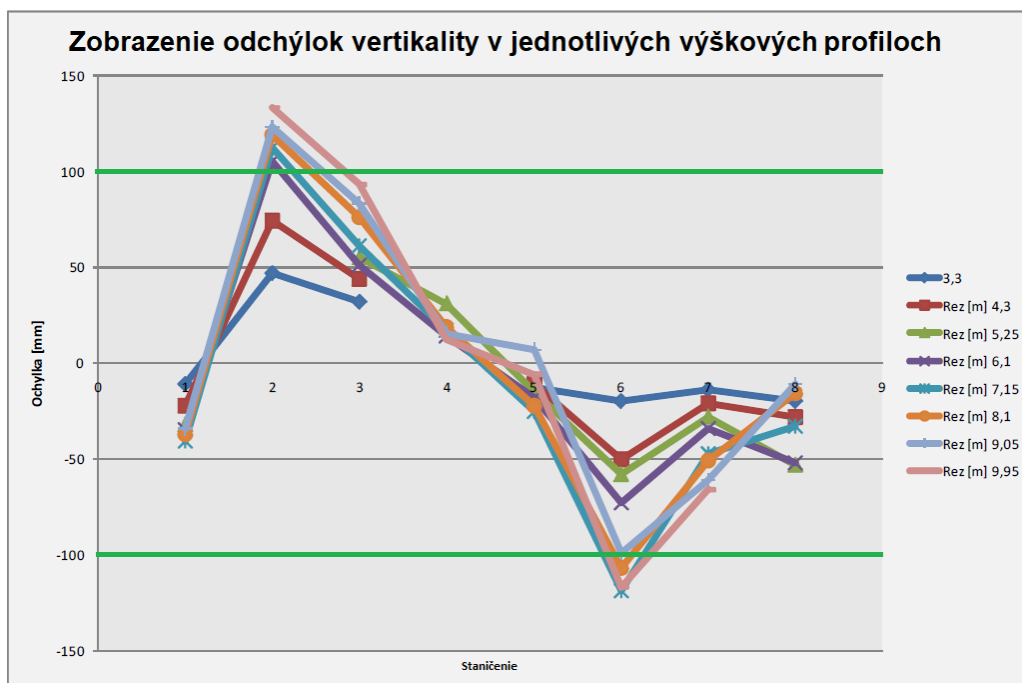
Nádrž č. 2 je atmosférického valcového typu stojatej konštrukcie s objemom 1200 m³, priemerom 12,387 m a výškou 10 m vyrobenou v roku 1967. Počas príprav na generálnu opravu nádrže sa parou čistil medzi priestor dvojitého dna. Počas parenia sa začal v medzipriestore zvyšovať tlak a došlo k poškodeniu, vplyvom čoho sa celá nádrž zdeformovala a zdvihla od betónového základu o cca 150 – 200 mm. Dno nádrže bolo poškodené nevratnou deformáciou a plechmi ohnutými do tvaru V na mieste napojenia dna na plášť. Rovnako bol poškodený aj betónový základ nádrže.



Obr. 8 Poškodenie dvojitého dna nádrže č. 2

Terestrickým laserovým skenovaním bolo vykonané zameranie skutočného stavu vonkajšieho plášťa vypustenej nádrže, ktoré sa uskutočnilo v apríli 2019. Analyzovali sa namerané parametre vertikality a kruhovitosti vykonaných na deviatich horizontálnych

profiloch a ôsmich kontrolných bodoch po obvode nádrže v miestnom súradnicovom a výškovom systéme. Zvolil sa obmedzený počet meracích bodov v tvare tak, aby čo najlepšie pokryl plochu nádrže kvôli izolácii, ktorá sa musela v zameraných úsekoch demontovať. Procesom terestrického laserového skenovania sa predišlo veľmi komplexnej oprave nádrže, čo by predstavovalo odrezanie pevnej strechy a demontáž plávajúcej strechy spolu s odstrojením od elektronických zariadení a zaistenie plášťa kvôli odrezaniu jeho spodnej časti a výmene. Celá procedúra výmeny spodnej časti dna by bola podľa oddelenia spoľahlivosti riskantná z hľadiska HSE (BOZP) udalostí. Na dne sa nachádzali napnuté plechy v deformovanom stave a tie by počas rezania mohli odskočiť a pri uvoľňovaní pnutia poraniť pracovníkov údržby. Posledným dôležitým krokom by bolo vyrovnanie ovality plášťa, aby sa plávajúca strecha počas prevádzky nezasekla. Vysoký cenový odhad s neistým výsledkom opravy zapríčinil vyradenie nádrže z prevádzky. TLS za náklady blížiac sa 1% odhadovanej sumy opravy dodalo špecifické údaje o celkovom geometrickom stave nádrže a veľkou mierou rozhodlo o ďalšom postupe pri posudzovaní nádrže a predídení veľmi nákladnej opravy.



Obr. 9 Graf vertikality nádrže č. 2

3.3 Nádrž č. 3

Guľové zásobníky, ako nádrž č. 3, patria v rafinérii Slovnaft k najrizikovejším skladovacím zariadeniam. Mimoriadne dbanie na ich stav a údržbu je základom bezpečnej prevádzky. Výmena podperných nôh je veľký zásah do konštrukcie tohto zariadenia, aj keď do uskladňovacej časti (gule) nie je priamo zasahované. Výmena nôh vyžaduje zložité statické výpočty a postupy, no z hľadiska pridanej bezpečnosti je veľmi podstatné presné zmeranie polohy, osi a rozmerov zásobníka. Referenčné parametre sa môžu porovnať s tými, ktoré dodá meranie po oprave a z údajov sa zistia všetky hodnoty vychýlenia alebo zmeny tvaru guľového zásobníka. Pri tomto type skladovacieho zariadenia je cena za geodetické merania TLS len malou čiastkou vzhľadom na riziká spojené s ohrozením ľudských životov a prevádzky pri fatálnom nerušení geometrie. Z celkových nákladov na revíziu zásobníka oba skeny predstavovali len 4,6 %.



Obr. 10 Výmena nôh guľového zásobníka (nádrž č. 3)

4 ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV

Pri vyhodnocovaní výsledkov terestrického laserového skenovania sme sa riadili americkou normou API 653 pre údržbu nádrží. Pre porovnanie technická norma STN EN 14 015 je zastarenejšia, s väčšími dovolenými odchýlkami a horšími postupmi. Podľa normy by sa deformácia vo vertikálnom smere mala kontrolovať príložným pravítkom a v horizontálnom smere šablónou. Tento postup je nedostatočný a v porovnaní s TLS nie je presný, nakoľko použitím šablón a ľudského odčítavania rozmerov môže dôjsť k chybe merania. Obmedzený je počet meracích bodov vyplývajúcich z časovej a finančnej náročnosti ich vyhotovenia. Laserový skener dokáže na nádrži analyzovať tisíce až milióny bodov za zlomok času s oveľa vyššou presnosťou a poskytnúť komplexné informácie o povrchu nádrže pri jej prevádzke, oprave, skúšaní alebo výstavbe. Tento druh povrchovej diagnostiky by mal nahradiť zastarané postupy a stať sa štandardom pri určovaní rozmerových tolerancií. Ak sa použijú presnejšie a aktualizovanejšie normy API, či už variantu API 653 pri opravách alebo prísnejšiu API 650 pri výstavbe, vyhovie sa tak slovenským požiadavkám s presnejšími konečnými výsledkami, čo je z kvalitatívneho hľadiska údržby vhodnejšie.

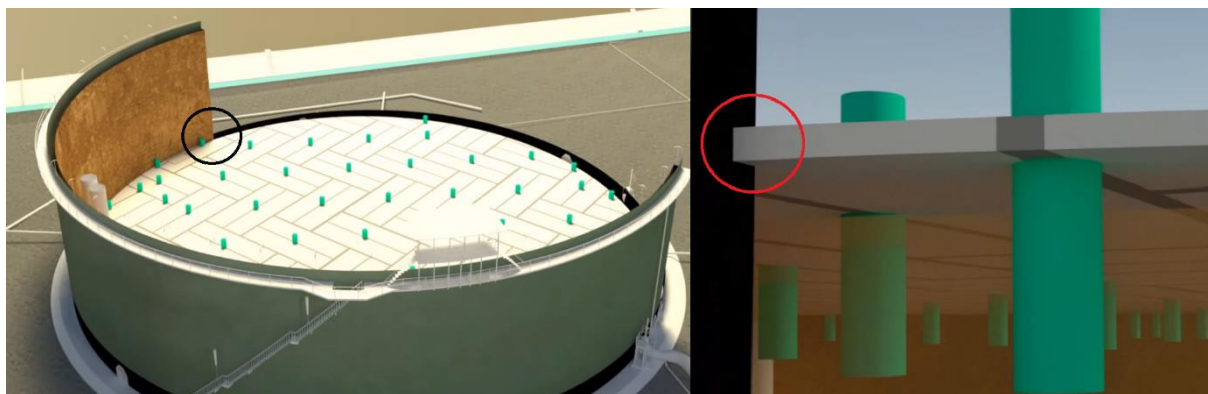
API 653		STN EN 14 015	
Priemer nádrže m (ft.)	Tolerancia plášťa* mm (in.)	Hrúbka platne e (mm)	Rozdiel (mm)
<12 (40)	± 13 (½)	$e \leq 12,5$	16
Od 12 (40) do 45 (150)	± 19 (¾)	$12,5 < e < 25$	13
Od 45 (150) do 75 (250)	± 25 (1)	$25 < e$	10
≥ 75 (250)	± 32 (1¼)		

5 ĎALŠIE MOŽNOSTI VYUŽITIA 3D TERESTRICKÉHO SKENOVANIA

Vypracovanie projektu a výstavba väčšiny nových nádrží prebieha v súlade s normou STN EN 14 015. Pri aplikovaní normy na stavebný a kolaudačný postup možno predpokladať, že aj geometrické merania a maximálne tolerancie podliehajú tejto norme. Použitie normy API 650 pre výstavbu nových nádrží, kvalitné získavanie rozmerov terestrickým laserovým skenovaním počas výstavby, jej dokončení a legislatívnych skúškach by prinieslo úsporu nákladov vyplývajúcich z náročného merania podľa STN, zdĺhavej kontroly šablónami, časovo náročnej na pracovnú silu a vyhodnocovanie údajov. Pri priemernej projektovanej životnosti nádrže 50 + rokov by sa výrazne obmedzila cena údržby vzhľadom na použité prísnejšie tolerancie, výrazne nižšie nepresnosti ich merania za použitia TLS. Postup merania a posudzovania rozmerov podľa API 650 by splnilo slovenské zákonné požiadavky a prispelo k lepšej kvalite zhotovenej nádrže. Napriek tomu možno konštatovať že z normy STN EN 14 015 vyplýva, že neprikladá potrebný dôraz na meranie geometrie plášťa, hlavne pri nádržiach s plávajúcou strechou, čo môže výrazne zvyšovať riziko poruchy novej nádrže.

5.1 Využitie pri kontrole veľkokapacitných nádrží

Kontrola geometrie nádrží by sa mala stať dôležitou súčasťou každej opravy alebo kontroly, no obzvlášť dôležitá je pri veľkoobjemových nádržiach s plávajúcou strechou. TLS ako najefektívnejší nástroj merania parametrov geometrie vie rýchlo a spoľahlivo identifikovať deformácie ovality alebo lokálne vychýlenia. Problémom pri veľkoobjemových nádržiach je únik výparov do okolia, čo má za následok nepríjemný zápach, najmä v určitých atmosférických podmienkach. Pri veľkých geometrických odchýlkach môže unikať na povrch plávajúcej strechy aj skladované médium a v extrémnom prípade spôsobiť utopenie plávajúcej strechy alebo jej zaseknutie.

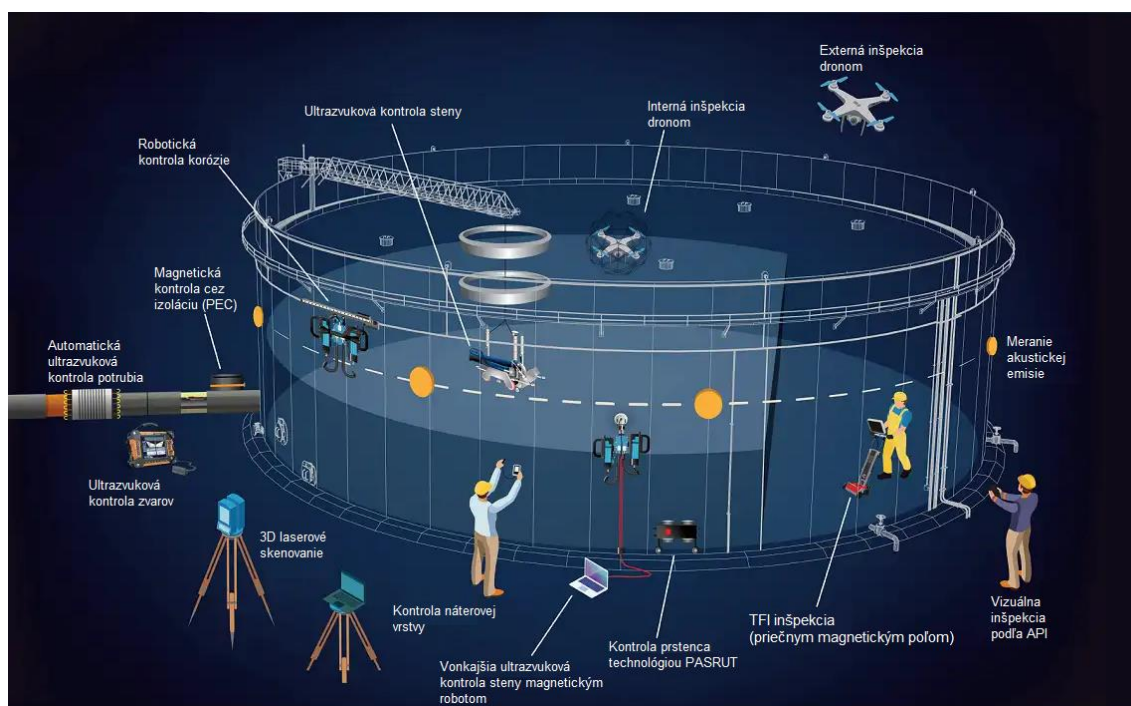


Obr. 11 Simulácia funkčnosti plávajúcej strechy

Najpravdepodobnejšou príčinou je opotrebované alebo nesprávne doliehajúce tesnenie zapríčinené nedostatočnou kruhovitosťou a lokálnymi deformáciami, čo v určitých miestach spôsobí, že tesnenie prepustí výpary z uskladneného média do ovzdušia. Verejnosť v okolí areálu rafinérie často považuje za zdroj zápachu poľné horáky, no nie vždy musia byť príčinou práve ony, ale už spomínané tesnenie. Pravidelným terestrickým skenovaním sa neovplyvní chod nádrže (meranie je možné za prevádzky aj v zónach výbušnosti Ex II) ale radikálne zvýši prehľad o jej aktuálnych rozmeroch, identifikujú sa závady a zlepšia ekologické a spoľahlivostné vlastnosti nádrže. Ďalšou výhodou pri plávajúcich strechách je analýza aktuálnych rozmerov výrobcom pri projektovaní plávajúcej strechy ako pri analyzovanej nádrži č. 1. Týmto sa dá vyvarovať nepresnostiam a zabezpečiť čo najlepšie rozmerové tolerancie strechy voči plášťu nádrže.

5.2 3D terestrické skenovanie ako súčasť novej generácie NDT

Medzi najväčšie výhody laserového skenovania patrí zapojenie do novej generácie nedeštruktívnej údržby. Kombináciou rôznych externých nedeštruktívnych skúšok bez nutnosti odstávky nádrže a údajov RBI, teda prístupu založenom na riziku, uplatňuje multidisciplinárnu technickú analýzu tak, aby sa zabezpečilo splnenie cieľov súvisiacich s požiadavkami na ochranu zdravia, bezpečnosti, podnikania a životného prostredia s rovnakým alebo menším rizikom. Analýzou by sa mohol predĺžiť 20 ročný interval generálnej opravy dvojplášťových vizuálne kontrolovateľných nádrží s trvalou indikáciou medziplášťového priestoru tak, aby sa z nádrže nemuselo vypúšťať médium a zamedzila by sa potreba jej odstávky. V Slovenskej republike nie je možné nahradiť legislatívne intervaly skúšok, no pri prípadnej novelizácii noriem a zákonov ohľadom legislatívnych skúšok po vzore Maďarska alebo USA by takýto inovatívny druh údržby ušetril nemalé množstvo peňazí. Cena revízie takejto skladovacej nádrže sa pohybuje v rozmedzí 60 000 €. Pri referenčnom počte 40 nádrží kontrolovaných každých 20 rokov a približnom odčítaní nákladov na skúšky by sa dalo ušetriť 30 000 € na jednu nádrž, čo znamená 50% zníženie nákladov na celý cyklus údržby nádrží.



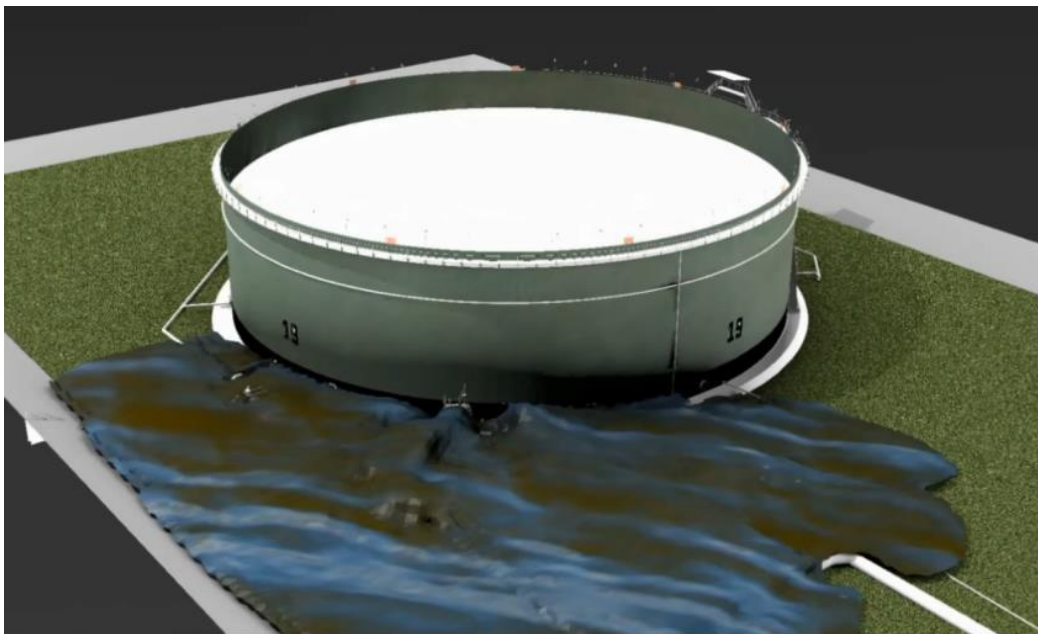
Obr. 12 Možnosti nedeštruktívnych skúšok nádrže

5.3 Digitalizácia objektov údržby

Metódou, ktorá zlepši koordináciu údržby, je celková digitalizácia závodu do spoločného systému údržby. 3D laserovým terestrickým skenovaním všetkých nádrží, potrubí, zariadení, ale aj výrobných jednotiek získame presný obraz množinou bodov akéhokoľvek zariadenia. Dosiahne sa priamy prístup k rozmerovým charakteristikám nádrže, armatúr, prehľad systémov nádrže a uľahčenie objednávanie náhradných dielov. So súbežnou digitalizáciou dát, revíznych kníh a passportov nádrží by sa efektívnosť údržby v spoločnosti Slovnaft dostala na svetovú špičku. Inžinierom údržby by odpadla zdĺhavá potreba hľadania všetkých parametrov, zrýchlila by sa každá generálna oprava a všetky údaje by boli ihneď dostupné kompetentným pracovníkom.

5.4 Simulácie neštandardných stavov

Terestrické laserové skenovanie a jeho veľmi presný výsledok v podobe mračna bodov je veľmi dobrým podkladom pre simuláciu neštandardných stavov. Do simulačných programov sa importuje celkový upravený sken nádrže a môžu sa simulovať, hodnotiť a analyzovať skoro všetky poruchy alebo havárie a zefektívniť núdzové, záchranné, ale aj likvidačné procesy. Simuláciou alebo v prostredí digitálneho 3D programu vieme dopredu nasimulovať a vyhodnotiť aj zásahy do nádrže. Dá sa napríklad overiť dosah žeriavu, možnosti manipulácie, výmeny veľkých dielov a podobne.



Obr. 13 Simulácia pretrhnutia plášte nádrže

6 ZHODNOTENIE

Práca preukázala opodstatnenosť a potrebu využitia geometrických dát z nameraných parametrov najmä pri nádržiach s plávajúcou strechou a veľkokapacitných nádržiach s externou plávajúcou strechou. Prínosom je aj poukázanie na nutnosť novelizácie noriem, ako aj vnútropodnikových štandardov súvisiacich s údržbou a výstavbou nádrží, hlavne v otázke geometrie a merania. TLS by sa malo stať jednou z dôležitých súčasti NDT pri kontrole reálneho stavu, generálnych revíziách a prioritou pri získavaní geometrických údajov nádrží.

Pri nádrži č. 1 sme dokázali opodstatnenosť využitia TLS vzhľadom na výmenu plávajúcej strechy a kontrolu geometrie plášťa. Takýto systém sa v podmienkach Slovnaftu využil pri generálnej revízii nádrže prvýkrát a jeho prínosom boli jednoznačné kvalitné dáta, ktoré by neprinesol žiadny doteraz používaný systém merania geometrie. Výstup poskytol výrobcovi a údržbe celkový dokonalý obraz o geometrii nádrže.

V prípade nádrže č. 2 technicko-ekonomické zhodnotenie preukázalo, ako použitie TLS jednoznačne vyvrátilo potrebu náročnej a nákladnej opravy. Meranie zistilo vychýlenie aj na vrchu nádrže a oprava by sa stala ekonomicky neefektívnou.

Pri nádrži č. 3 sa jednalo o využitie TLS za účelom zvýšenia bezpečnosti. Guľové zásobníky sú veľmi rizikové zariadenia a 3D laserový sken dokáže dodať za relatívne veľmi nízke náklady komplexné množstvo dát o ťažiskových posunoch a geometrii.

Pri stavbe nových nádrží sme skúmali potrebnú dokumentáciu k ich kolaudácii, no kvôli pandemickým opatreniam COVID - 19 sme nemohli analýzu úplne dokončiť. Zistili sme, že presné meranie geometrie terestrickým laserovým skenovaním zďaleka nemusí byť pravidlom a jeho využitie je v technickej norme z pohľadu vývoja technológií zastarané a bolo by vhodné ich inovovanie minimálne na úrovni podnikových noriem.

Momentálne žiadna zo závažných noriem neprikazuje skúmať vplyv zlej geometrie plášťov nádrží na funkčnosť plávajúcej strechy. Prvé meranie geometrie terestrickým systémom s ohľadom na túto skutočnosť sa vykonalo až pri nádrži č.1 a stále sa nestalo zaužívaným postupom pri posudzovaní funkčnosti plávajúcich striech. To môže vysvetľovať niekoľko príčin neštandardných prevádzkových stavov, ako napríklad zápach z externých plávajúcich striech a nadmerné opotrebovanie alebo poškodzovanie tesnení plávajúcich striech. Pri každej poruche alebo neštandardnej výmene tesnenia by sa mal zmerať geometrický obraz nádrže a z ekonomického hľadiska zvážiť odstránenie príčiny poruchy a zamedzenie neželaných dôsledkov. Ak sa pri skenovaní odhalí defekt v podobe miestnych deformácií plášťa nádrže vo vertikálnom alebo horizontálnom smere, ktorý ovplyvňuje funkciu plávajúcej strechy, dá sa pristúpiť k jeho okamžitej náprave a zamedziť šíreniu poškodenia steny, poprípade poškodeniu plávajúcej strechy.

Pri snahe vyhnúť sa najčastejším príčinám porúch, ako je korózia, je TLS veľmi užitočnou pomocou z hľadiska kontroly zmien v geometrii, ktoré korózia môže spôsobiť a následným porovnaním výsledkov pred a po oprave. Pri ľudskom faktore, ktorý je len veľmi ťažko predvídateľný, možno navrhnuť ako jediné riešenie dostatočnú informovanosť. Inteligentný systém údržby spolu s digitalizovanými parametrami nádrží terestrickým laserovým skenovaním, informáciami o nej a stručnou tabuľkou poruchovosti by zodpovedný inžinier vedel rýchlo zhodnotiť a inštruovať pracovníkov vykonávajúcich opravy, zásahy alebo pravidelnú údržbu o rizikách s konkrétnym typom zariadenia. Školenia, jednoduchý a intuitívny prístup ku všetkým informáciám a rizikám by bol efektívnou a účinnou pomocou aj pre pracovníkov prevádzky.

Výhody použitia 3D terestrického skenovania sú nesporné a pri stúpajúcich požiadavkách na bezpečnosť, ekologickosť, finančnú a časovú úsporu je jeho zavedenie ako minimálneho štandardu merania geometrie vylepšením, zefektívnením a uľahčením stávajúcich podmienok údržby a výstavby nádrží v rafinérii Slovnaft, a.s.

7 POĎAKOVANIE

Chcel by som sa poďakovať pracovníkom Katedry dopravnej a manipulačnej techniky Strojníckej fakulty Žilinskej univerzity v Žiline, a špeciálne vedúcemu práce, prof. Ing. Petrovi Zvolenskému, CSc., za jeho cenné pripomienky, rady a odborné vedenie počas spracovania diplomovej práce. Taktiež by som sa chcel poďakovať môjmu konzultantovi práce Ing. Gabrielovi Szijjártó. za jeho trpezlivosť, odbornú výpomoc a poskytnuté údaje. Ďalej by som sa chcel poďakovať Ing. Adamovi Lučivjanskému a Ing. Milanovi Hradiskému za technické usmernenie, konzultácie, trpezlivosť a ich odborné pripomienky a predovšetkým za podporu pri práci. A vďaka patrí aj celej spoločnosti Slovnaft a.s. za poskytnutie príležitosti spracovať diplomovú prácu pre ich interné potreby.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] Interné podklady spoločnosti Slovnaft, a.s.
- [2] API Standard 653, November 2014. Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction. Fifth Edn, American Petroleum Institute.
- [3] KUAN, SIEW YENG, 2009. Design, Construction and Operation of the Floating Roof Tank. University of Southern Queensland
- [4] PETRIE G. - TOTH CH. 2009 Terrestrial Laser Scanners. University of Glasgow. [cit. 2020-02-15] Dostupné na: <https://www.researchgate.net/publication/265566625_Terrestrial_Laser_Scanners>
- [5] Fröhlich, C. - Mettenleiter, M. TERRESTRIAL LASER SCANNING – NEW PERSPECTIVES IN 3D SURVEYING,

Ing. Silvester Hradiský

Inžinier katódovej ochrany

m: +421 907 843 328 | e: silvester.hradisky@nafta.sk

NAFTA a.s., Plavecký Štvrtok č. 900, 900 68 Plavecký Štvrtok | Slovenská republika

www.nafta.sk

