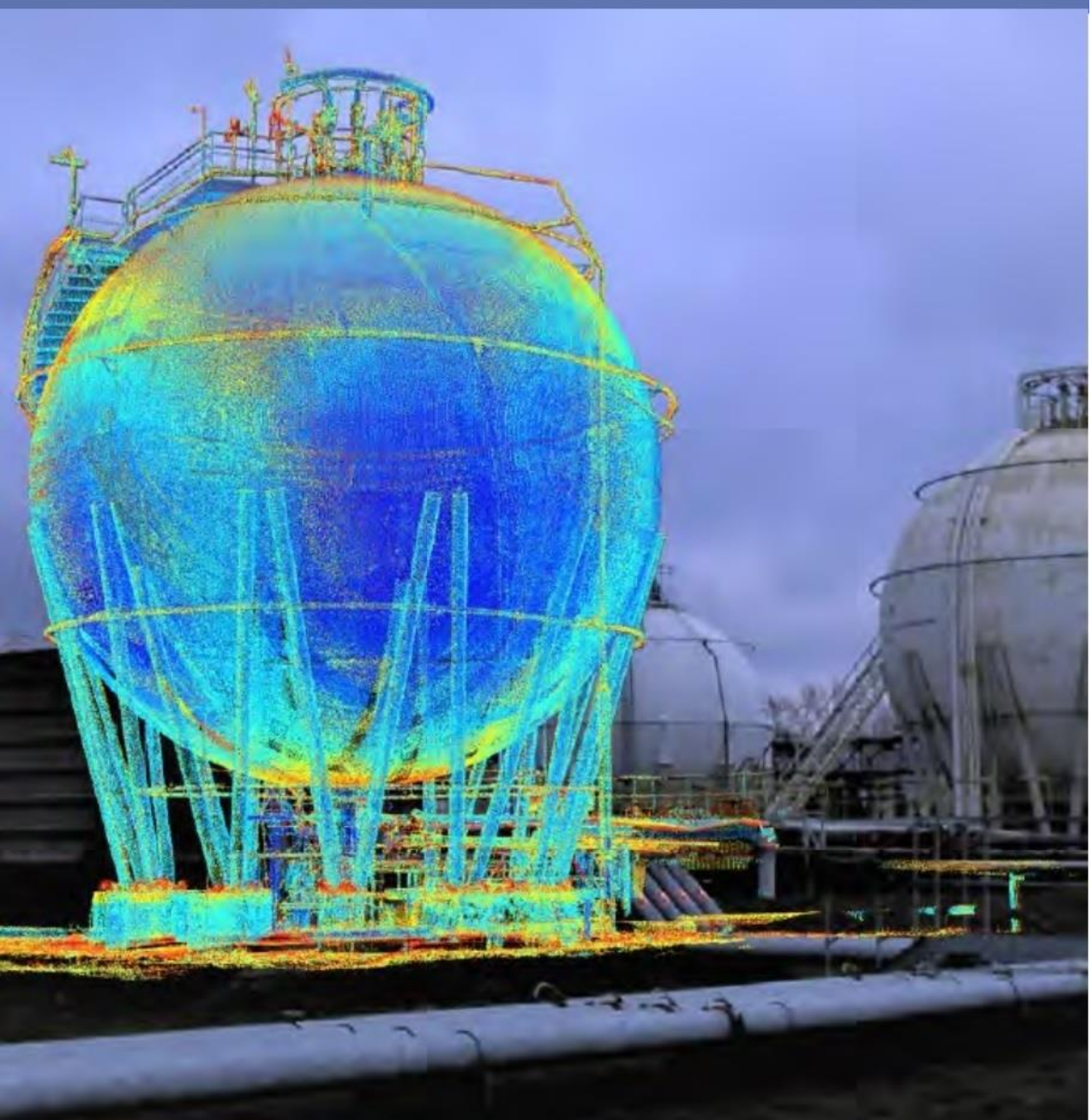




ÚDRŽBA

MAINTENANCE - INSTANDHALTUNG

VYDÁVA SLOVENSKÁ SPOLOČNOSŤ ÚDRŽBY



ÚDRŽBA 1-2/2020

OBSAH

Šéfredaktor:	doc. Ing. Juraj Grenčík, PhD.	Proces údržby podľa novej európskej normy	1
Redakčná rada:	Ing. Michal Abrahámfy Ing. Dušan Belko Ing. Gabriel Dravecký, PhD. Ing. Katarína Grandová Ing. Vendelín Íro Ing. Stanislava Koleničová prof. Ing. Hana Pačaiová, PhD. Ing. Marek Rentka Ing. Michal Žilka	Juraj Grenčík Manažérstvo údržby – základné princípy Hana Pačaiová, Ján Hijj, Peter Darvaši, Katarína Firmentová Tvorba hodnoty v manažerstve hmotného majetku: Prípadová štúdia Damjan Maletič Využitie terestrického 3D skenovania pre diagnostiku skladovacích nádrží Silvester Hradiský Vibrodiagnostika - nástroj spoľahlivosti chodu rotačných strojov Erik Bleho Zdroje vibrácií rotačných strojov	 11 17 26 39 41
Vydavateľ:	Slovenská spoločnosť údržby Koceľova 15 815 94 Bratislava	Jozef Vižďák	

Elektronický časopis

Ročník vydania: XX

Periodicita nepravidelná

ISSN 2729-8396

Proces údržby podľa novej európskej normy

Juraj Grenčík

Anotácia

Nová európska norma EN 17007: 2017 Proces údržby a súvisiace ukazovatele poskytuje všeobecný popis procesu údržby. Špecifikuje charakteristiky všetkých procesov, častí procesu údržby a zavádza model údržby, ktorý má poskytnúť pokyny na definovanie ukazovateľov. Norma je použiteľná pre všetky organizácie, ktoré udržiavajú hmotný majetok a je možné ju prispôsobiť na základe typu a veľkosti organizácie, zložitosti udržiavaných systémov a rozsahu externých zmluvných služieb. Proces je rozdelený na čiastkové procesy, aby bolo možné jasne určiť potrebné vstupy a ich pôvod a požadované výsledky a ich zamýšľané použitie. Umožňuje sledovanie a kvantitatívne hodnotenie výkonnosti čiastkových procesov. Nakoniec sa v príspevku pojednáva o vzťahu k iným európskym normám, najmä k EN 15341: 2019 Kľúčové ukazovatele výkonnosti údržby.

Kľúčové slová: údržba, proces, európska norma

ÚVOD

Významnou časťou aktivít EFNMS (the European Federation of National Maintenance Societies) je účasť v technickej komisii č 319 Údržba pôsobiacej v rámci CEN. Predsedom komisie je dlhé roky Franco Santini z Talianska, ktorý sa aktívne podieľal najmä na príprave normy EN 15 341 – kľúčové ukazovatele výkonnosti údržby. Z ostatných spomeňme aspoň Guida Walta zo Švajčiarska, ktorý aktívne presadzoval spracovanie a prijatie normy EN 15 628 Kvalifikácia pracovníkov údržby, či Kariho Komonena z Fínska, ktorý sa podieľal na spracovaní normy EN 16 646 Maintenance within physical asset management (Údržba v rámci manažérstva hmotného majetku - nebola preložená do slovenčiny).

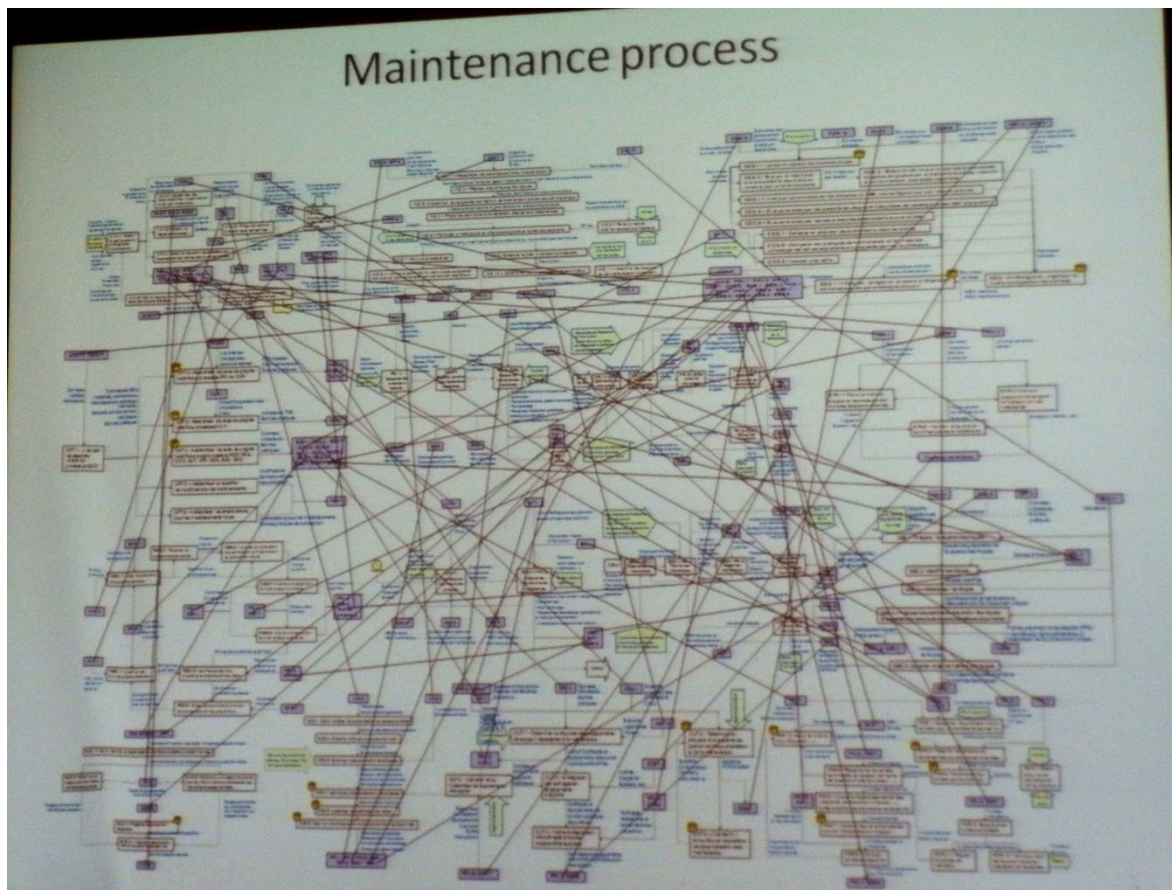
Veľmi aktívnym členom EFNMS v oblasti spracovania noriem je aj Antoine Despujols z Francúzska, ktorý bol vedúcim skupiny, ktorá pripravila normu EN 17 007 Maintenance process and associated indicators. Norma vyšla v roku 2017, ale predchádzalo jej dlhé obdobie príprav. Už v októbri roku 2013 na valnom zhromaždení EFNMS v Kodani A. Despujols predstavil pracovnú verziu normy a tiež pracovnú schému zobrazenia procesu údržby. Komplexnosť procesu údržby a detailnosť spracovanie dobre ilustruje snímka z prezentácie procesu údržby (Obr.1). Aj z tohto dôvodu trvalo ešte niekoľko rokov, kým norma vyšla vo finálnej podobe.

O tom, že údržba je proces, hovorí aj norma EN ISO 9001, pretože pozostáva z organizovaných a koordinovaných úloh využívajúcich zdroje a vykonávaných rôznymi zúčastnenými stranami na dosiahnutie daného výsledku. [1]

Terminologická norma EN 13306 údržbu definuje ako „kombináciu všetkých technických, administratívnych a riadiacich činností počas životného cyklu objektu s cieľom udržať alebo obnoviť taký jeho stav, v ktorom môže vykonávať požadovanú funkciu.“ [2] Táto definícia rovnako poukazuje na činnosti, ktoré sa vykonávajú v údržbe aby dosiahla svoje stanovené ciele.

Procesy údržby sú významnou súčasťou manažérstva rizika a ich zvládnutie efektívne prispieva k znižovaniu rizika pri prevádzke technických zariadení [3].

Cieľom novej normy EN 17 007:2017, Proces údržby a súvisiace ukazovatele, je umožniť pochopenie opatrení a interakcií medzi procesmi údržby. Manažérom údržby poskytuje nástroj riadenia tým, že im poskytuje spôsob, ako porovnať svoju organizáciu s opísaným generickým modelom a zistiť nedostatočné opatrenia, nepridelenú zodpovednosť a/alebo zle zavedené prepojenia. Poskytuje informácie na definovanie ukazovateľov určených pre konkrétne procesy, čo umožňuje vytvoriť hodnotiace listy vhodné na monitorovacie činnosti a meranie výkonnosti. [4]



Obr.1 Pracovná verzia procesu údržby, A. Despujols, GA EFNMS, Kodaň, 26.10.2013 [foto autor]

Proces údržby je užitočné formalizovať jeho rozčlenením na procesy, čo prináša viaceré výhody:

- umožňuje jasne označiť činnosti, ktoré sa majú vykonať, s príslušnou úrovňou podrobností;
- označuje vstupy/výstupy každého čiastkového procesu a definuje všetky väzby, ktoré ich spájajú a ktoré umožňujú realizáciu celého procesu;
- umožňuje definovať ukazovatele na meranie realizácie každého procesu a monitorovanie jeho efektívnosti.

Norma EN 17 007 poskytuje všeobecný opis procesu údržby. Špecifikuje charakteristiky všetkých procesov, častí procesu údržby a stanovuje model údržby pre návod na definovanie ukazovateľov.

Normu možno uplatniť na všetky organizácie (spoločnosti, inštitúcie, agentúry atď.), ktoré sú zodpovedné za údržbu hmotného majetku. Preto bola vytvorená bez uvažovania o konkrétnej organizácii a nie je jej cieľom niektorú navrhovať. Opis procesu sa môže prispôbiť podľa typu a veľkosti zvolenej organizácie vykonávajúcej údržbu, podľa zložitosti udržiavaných systémov a rozsahu externých zmluvných služieb.

Údržba softvéru nie je predmetom normy, ale na objekty, ktoré softvér obsahujú, sa norma vzťahuje, lebo v súčasnej dobe prakticky všetky nové zariadenia predstavujú komplexné kyberneticko-fyzikálne systémy.

1. ZÁKLADNÉ ČLENENIE PROCESU ÚDRŽBY

Účelom rozdelenia na procesy a reprezentácie ich vzájomných vzťahov je pomôcť pracovníkom údržby a najmä manažmentu na rôznych úrovniach

- jasne identifikovať opatrenia, ktoré sa majú podniknúť na splnenie celkových cieľov stanovených manažmentom v oblasti údržby;
- delegovať zodpovednosť, ktorá zabezpečuje realizáciu opatrení s požadovanou úrovňou výkonnosti;
- pre každý proces jasne určiť
 - a) potrebné vstupy a ich pôvod;
 - b) požadované výsledky a ich zamýšľané použitie;
- monitorovať a kvantitatívne posudzovať výkonnosť dosiahnutú na rôznych úrovniach členenia na procesy;
- zlepšiť zber a distribúciu údajov.

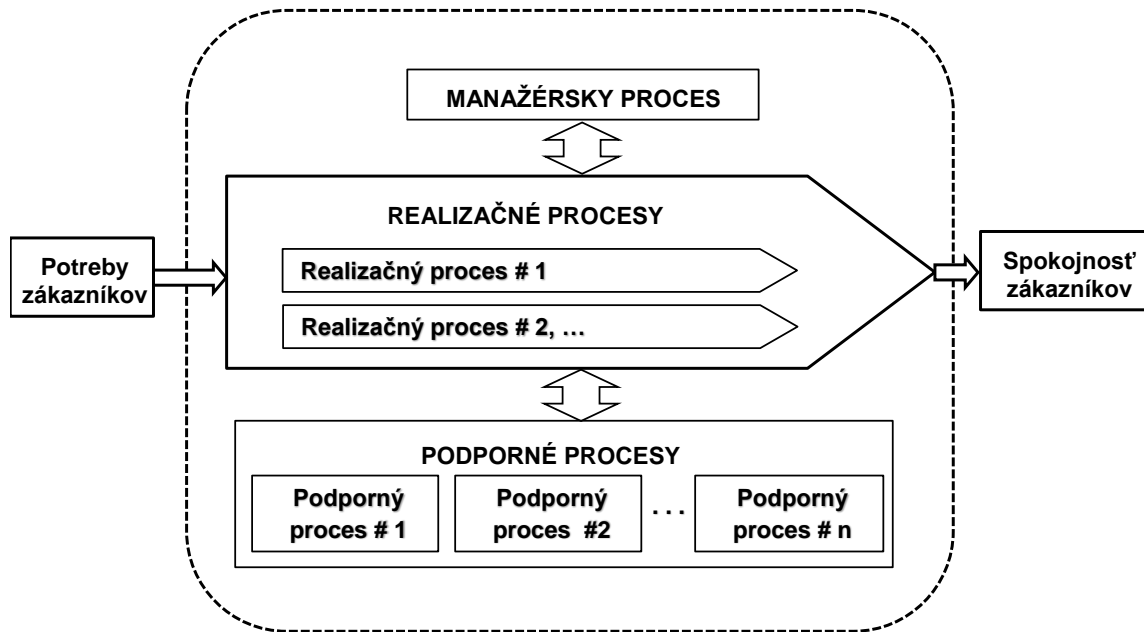
Aby sa procesy dali ľahšie identifikovať, je vhodné ich zatriediť do troch hlavných skupín:

- a) **Manažérsky proces** - zahŕňa určenie cieľov a politiky, ktorá sa má zaviesť na ich dosiahnutie, nasadenie prostriedkov spoločnosti a pridelenie zdrojov. Zabezpečuje súdržnosť realizačných a podporných procesov. Zahŕňa meranie a monitorovanie procesného systému a využívanie výsledkov na zlepšenie výkonnosti.
- b) **Realizačné procesy** - priamo prispievajú k dosiahnutiu očakávaného výsledku a sú navrhnuté tak, aby zabezpečili uspokojenie potrieb vyjadrených zákazníkom. Zahŕňajú všetky činnosti súvisiace s realizačným cyklom produktu alebo služby.
- c) **Podporné procesy** - sú nevyhnutné pre fungovanie ostatných procesov (realizačné procesy, iné podporné procesy, manažérsky proces), pretože im poskytujú potrebné zdroje. Zahŕňajú činnosti spojené s
 - ľudskými zdrojmi;
 - finančnými zdrojmi;
 - materiálnymi zdrojmi a ich údržbou (priestormi, vybavením, softvérom atď.);
 - so spracovaním informácií.

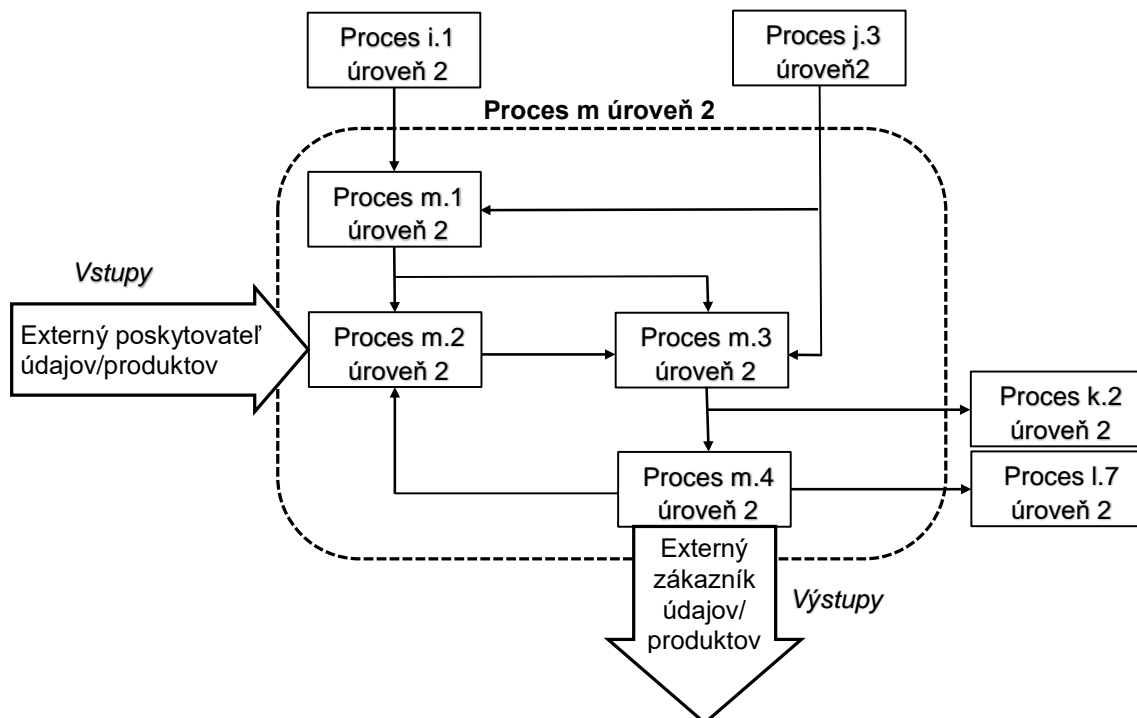
V norme je znázornené členenie procesu údržby na dvoch úrovniach mapovania procesov. Úroveň 1 členenia je celkové mapovanie, ktoré identifikuje procesy a klasifikuje ich do každej zo skupín na základe schémy znázornenej na Obr. 2.

Každý proces úrovne 1 je následne rozdelený na procesy úrovne 2. Okrem procesov komponentov táto úroveň zobrazuje vstupné a výstupné údaje každého procesu, ako aj jeho pôvod a cieľ. To poskytuje postupné znázornenie procesov úrovne 2, ktoré prispievajú k realizácii procesu úrovne 1 (Obr. 3). Niektoré vstupné údaje môžu byť z procesov mimo rozčleneného procesu alebo pochádzať zo subjektov mimo procesu údržby. To isté platí pre výstupné ciele.

V prípade potreby sa môže opísať aj ďalšia, tretia, úroveň, ale táto nie je v norme už uvedená.



Obr.2 Úroveň 1 mapovania procesov [4]



Obr.3 Príklad mapovania procesov na úrovni 2 [4]

Každý proces úrovne 2 má v norme zostavený profil, ktorý obsahuje:

- názov procesu;
- účel (účely) procesu, ktorý je vyjadrený (ktoré sú vyjadrené) formou opatrenia (opatrení) s jasne stanovenými cieľmi;
- činnosti, ktoré zahŕňa tento proces. Tieto činnosti predstavujú úroveň 3 členenia, ktorá nie je v tomto dokumente znázornená vo forme diagramu;
- vstupné údaje a produkty, ktoré sú potrebné na uskutočnenie procesu. Pochádzajú z iných procesov úrovne 2, z iných procesov úrovne 1 alebo zo subjektov mimo procesu údržby;
- výstupné údaje a produkty, ktoré proces vytvoril alebo modifikoval a sú určené buď pre iné procesy úrovne 2, iné procesy úrovne 1 alebo pre subjekty mimo procesu údržby;
- bez ohľadu na úroveň procesu zúčastnené strany, ktorými sú: osoba, ktorá požiadala o proces, manažér procesu, zákazník, príjemca procesu a dodávateľia vstupných údajov. Tieto zúčastnené strany sú vo vzťahu k organizácii spoločnosti, a preto nemôžu byť všeobecné. V dôsledku toho informácie o nich sa v tejto norme neuvádzajú a je na každej spoločnosti, aby tak urobila. To umožňuje jasne identifikovať zodpovednosť zúčastnených strán, zistiť akékoľvek nedostatky a prideliť úlohy každej zúčastnenej strane, identifikovať zákazníkov, ciele a dodávateľov;
- rozhrania s ostatnými procesmi sumarizujú všetky súvisiace procesy. Môžu to byť dodávateľia údajov alebo produktov alebo zákazníci výstupných údajov alebo produktov;
- obmedzenia súvisiace s realizáciou procesu sú spôsobom, ako špecifikovať určité požiadavky alebo situácie; daný proces ich musí zohľadniť;
- prvky na definovanie ukazovateľov súvisiacich s procesom. Každá spoločnosť si musí stanoviť svoje vlastné ukazovatele, a to jednak na posúdenie efektívnosti svojich procesov a dosahovania cieľov, ktoré im boli pridelené, a jednak na monitorovanie realizácie opatrení prijatých na zabezpečenie ich postupu a dodržiavania časových rámcov. Navrhované prvky slúžia na definovanie relevantných ukazovateľov.

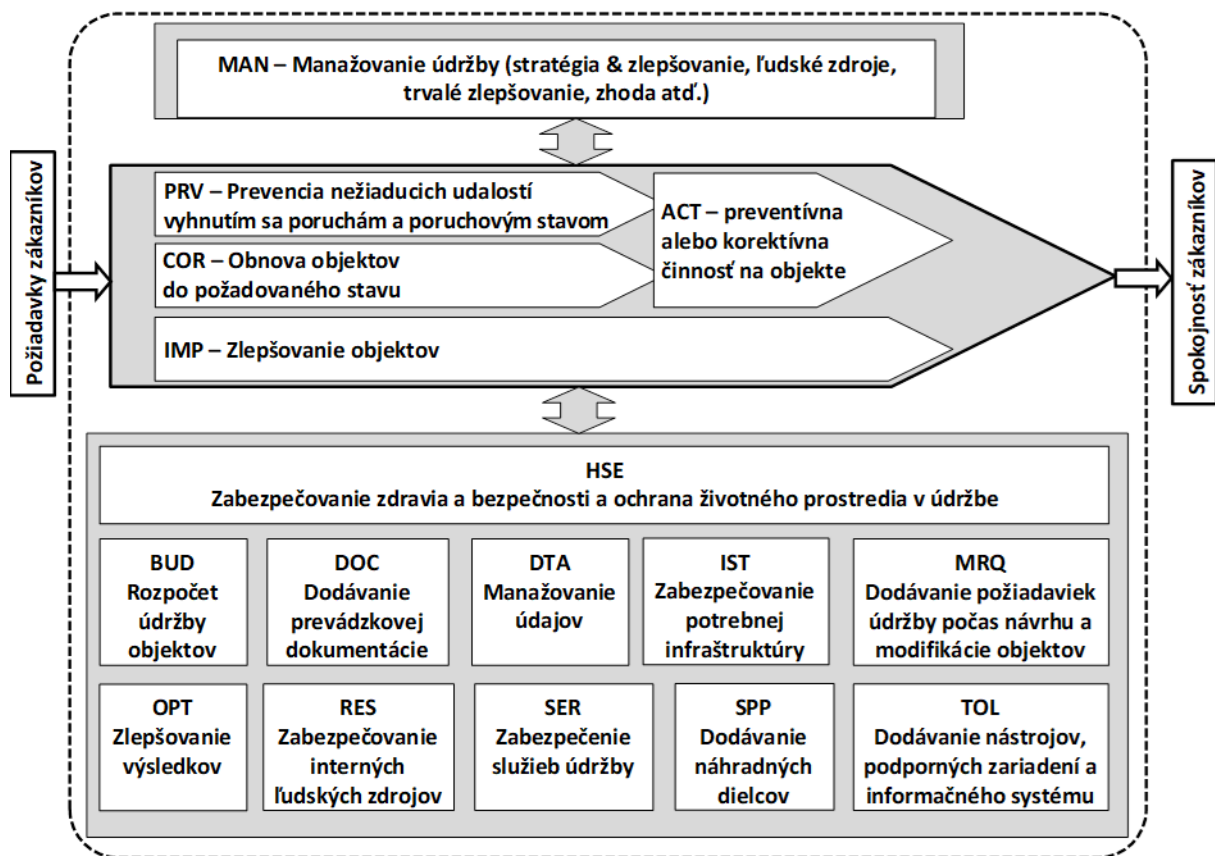
Zobrazenie procesu údržby stanoveného podľa vyššie uvedených zásad je uvedené v kapitole 6 normy (v origináli je chybné uvedené, že je to v kapitole 5). Toto zobrazenie je všeobecné, čiže nezobrazuje proces konkrétnej organizácie, ale vychádza z najlepších postupov všeobecne uplatňovaných v oblasti údržby. Každá spoločnosť môže toto členenie použiť ako vzor na vybudovanie alebo aktualizáciu procesu údržby vo svojej organizácii.

Zdôrazňuje sa potreba zabezpečiť, že

- každý proces existuje a je manažovaný;
- každý proces je jedinečný;
- vstupy/výstupy sú jasne definované (produkty, údaje, časové rámce atď.);
- dodávateľia a zákazníci vstupov/výstupov sú jasne označení menom;
- boli definované osoby zodpovedné za procesy (vlastníci procesov);
- pravidelne sa analyzujú a uverejňujú ukazovatele s cieľom monitorovať pokrok opatrení a meria sa efektívnosť procesov a ich schopnosť dosahovať stanovené ciele.

Získaný výsledok poskytuje základ na pochopenie, ako sa vykonáva proces údržby spoločnosti. Každý subjekt organizácie vidí svoje postavenie vo vzťahu k ostatným v rámci procesu údržby. zodpovednosti sú definované bez prekrývania a ciele sú stanovené a kvantifikované.

2. ČLENENIE PROCESU ÚDRŽBY NA ÚROVNI 1



Obr.4 Proces údržby (úroveň 1 mapovania) [4]

Proces údržby obsahuje tieto procesy:

a) manažérsky proces:

- MAN: manažovanie údržby (stratégia a zlepšovanie, ľudské zdroje, trvalé zlepšovanie, zhoda atď.);

b) realizačné procesy:

- PRV: prevencia nežiaducich udalostí vyhnutím sa poruchám a poruchovým stavom;
- COR: obnova objektov do požadovaného stavu;
- ACT: vykonávanie preventívnych a/alebo korektívnych opatrení na objekte;
- IMP: zlepšovanie objektov;

c) podporné procesy:

- HSE: zabezpečovanie ochrany zdravia a bezpečnosti osôb a ochrana životného prostredia v údržbe;
- BUD: rozpočet údržby objektov;
- DOC: dodávanie prevádzkovej dokumentácie;
- DTA: manažovanie údajov;

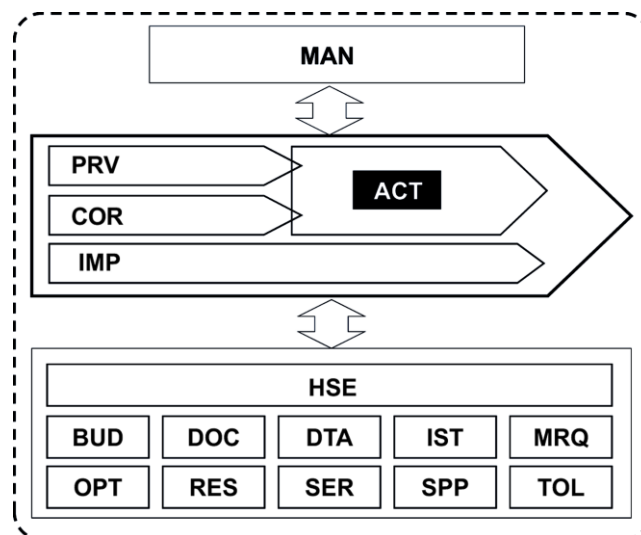
- IST: zabezpečovanie potrebnej infraštruktúry;
- MRQ: dodávanie požiadaviek údržby počas návrhu a modifikácie objektov;
- OPT: zlepšovanie výsledkov;
- RES: zabezpečovanie interných ľudských zdrojov;
- SER: zabezpečovanie externých služieb údržby;
- SPP: dodávanie náhradných dielcov;
- TOL: dodávanie nástrojov, podporných zariadení a informačného systému.

Každý z týchto procesov je v norme ďalej rozčlenený na úrovni 2 a zobrazený na obrázkoch. Pre každý proces sú stanovené prvky (premenné, množstvo, charakteristiky atď.) na definovanie ukazovateľov. Každá organizácia si ich môže prispôsobiť svojim vlastným potrebám a požiadavkám.

3. PRÍKLAD ČLENENIA PROCESU ÚDRŽBY NA ÚROVNI 2

Ako príklad procesu na úrovni mapovania 2 uvádzame **Proces ACT: Preventívne a/alebo korektívne konanie na objektoch, ktoré sa majú udržiavať.**

Proces ACT je zvýraznený v procese údržby na úrovni 1 (Obr. 5) a následne je opísaný a zobrazený na úrovni mapovania 2.



Obr.5 Proces údržby so zvýraznením procesu ACT [4]

ACT je časťou procesov PRV a COR, ktoré obsahujú tieto procesy:

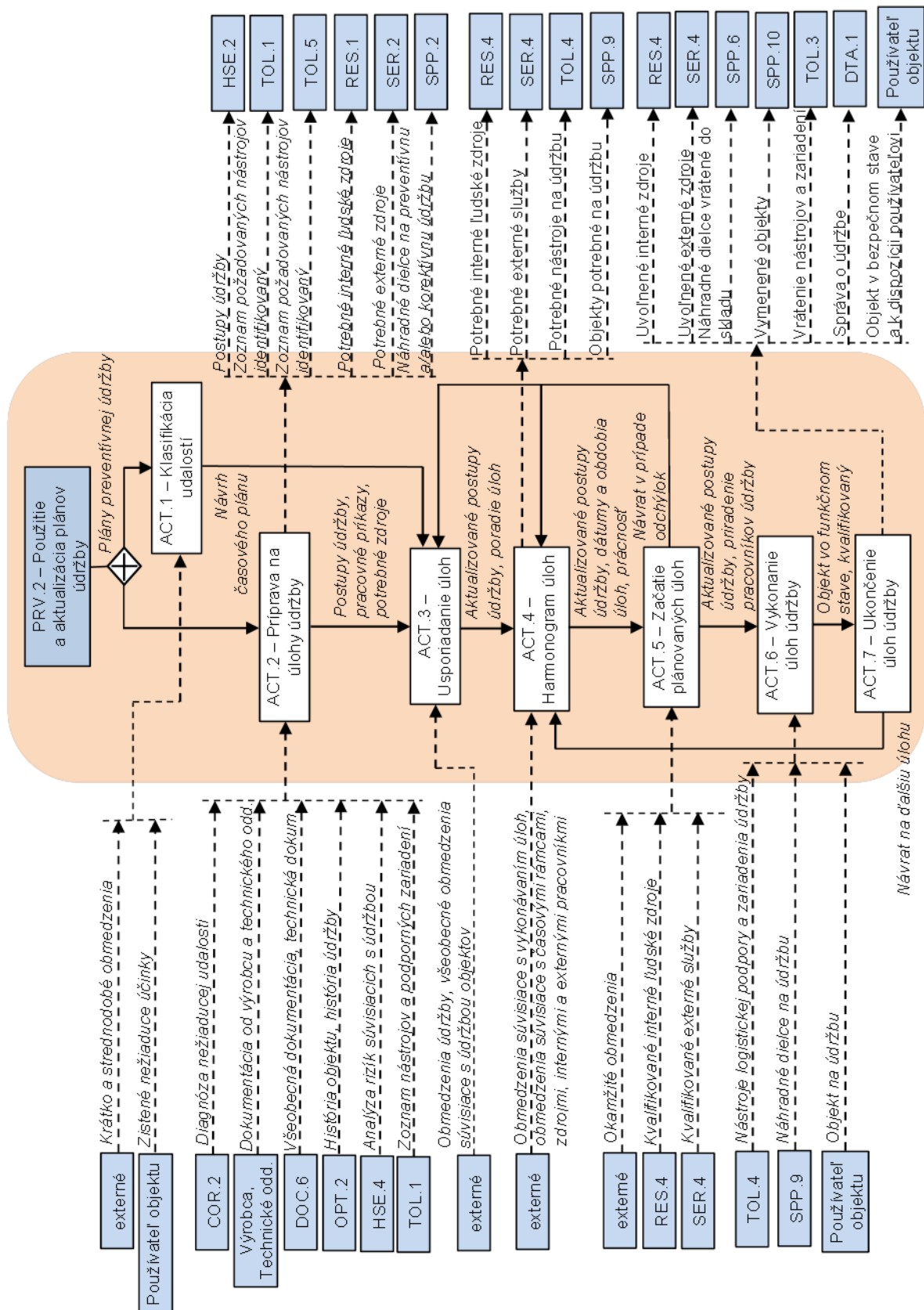
- ACT.1: klasifikáciu udalostí;
- ACT.2: prípravu na úlohy;
- ACT.3: usporiadanie úloh;
- ACT.4: harmonogram úloh;
- ACT.5: začatie plánovaných úloh;
- ACT.6: vykonanie úloh údržby;
- ACT.7: ukončenie úloh.

Ako príklad opisu procesu uvádzame proces ACT.6 - Vykonanie úloh údržby (Tab.1):

Tab. 1 Príklad opisu procesu ACT.6 – Vykonanie úloh údržby

<p>Účel (účely) procesu</p> <p>Obnovenie objektu do požadovaného stavu. Toto obnovenie sa môže vykonať buď ako preventívne opatrenie, alebo po zistení poruchového stavu.</p>	
<p>Kľúčové činnosti/základné procesy</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Zaistenie bezpečnosti objektov a osôb (obmedzenie používania objektov a prístupových bodov, zabezpečenie osobných a skupinových ochranných prostriedkov). 2. Vykonanie „bezpečnostnej“ kontroly. 3. Vykonanie opatrení potrebných na vykonanie úlohy (príprava pracoviska). 4. Vykonanie vopred určených postupov údržby. 5. Kontrola, či sa údržba dokončila a odstránenie obmedzení týkajúcich sa objektov a prístupových bodov. 6. Kontrola správnej činnosti objektu v jeho funkčnom prostredí. 7. Určenie opatrení, ktoré sa majú podniknúť na zvládnutie odchýlok (vo fungovaní, v postupe, v podpore atď.). 	
<p>Vstupné údaje/produkty</p> <ul style="list-style-type: none"> — Objekty, ktoré sa majú udržiavať (k dispozícii pre údržbu). — Aktualizované postupy údržby (vrátane možných diagnóz, technických dokumentov, referenčných hodnôt charakteristických parametrov objektu atď.), priradení pracovníci údržby (ACT.5). — Logistické podporné nástroje a zariadenia pre údržbu (TOL.4). — Náhradné dielce na údržbu (SPP.8). 	<p>Výstupné údaje/produkty</p> <ul style="list-style-type: none"> — Objekt vo funkčnom stave, kvalifikovaný.
<p>Zúčastnené strany</p> <p>Vyplní organizácia s cieľom odpovedať na tieto otázky:</p> <ul style="list-style-type: none"> — Kto realizuje tento proces? — Kto je zákazníkom procesu? 	<p>Rozhrania s inými procesmi</p> <p>ACT.5 – ACT.7 – TOL.4. – SPP.8</p>
<p>Obmedzenia spojené s realizáciou procesu</p> <ul style="list-style-type: none"> — Poskytnutie objektu na základe navrhovaného harmonogramu. — Bezpečné prostredie údržby. — Minimálny čas nepoužiteľného stavu objektu. 	
<p>Prvky na definovanie ukazovateľov súvisiacich s procesom</p> <ul style="list-style-type: none"> — (i1_{act6}) Skutočný čas aktívnej údržby na úlohu. — (i9_{act6}) Odhadovaný čas údržby v porovnaní so skutočným časom údržby. — (i2_{act6}) Skutočné logistické a administratívne oneskorenie na úlohu. — (i3_{act6}) Skutočný čas nepoužiteľného stavu v dôsledku údržby na úlohu. — (i4_{act6}) Neplánované výpadky po úlohách preventívnej údržby. — (i5_{act6}) Opakované úlohy (nedostatočná kvalita údržby). — (i6_{act6}) Skutočné človekohodiny na úlohu. — (i7_{act6}) Zostávajúce úlohy korektívnej údržby na kritické objekty. — (i8_{act6}) Úlohy čakajúce na dokončenie. 	
<p>Poznámky</p> <p>Používateľ musí dať objekt k dispozícii na údržbu na základe navrhnutého harmonogramu.</p> <p>Diagnóza sa vykonáva skôr v čiastkovom procese COR.1.</p> <p>Je potrebné zabezpečiť, aby objekty, ktoré sa po údržbárskej úlohe vrátia používateľovi, boli schopné vykonávať ich požadované funkcie.</p>	

Zobrazenie procesu ACT na úrovni mapovania 2 podľa normy je uvedené na Obr.6.



Obr.6 Proces: "Preventívne a/alebo korektívne konanie na objektoch, ktoré sa majú udržiavať" (úroveň 2 mapovania) (tento podproces je spoločný pre procesy PRV a COR) [4]

Všetky procesy údržby uvedené na obr.2 sú v norme spracované rovnakou formou ako je uvedené vyššie. Niektoré procesy sú komplexnejšie, niektoré jednoduchšie, ale princíp spracovania procesov zostáva rovnaký. Je na používateľovi nakoľko dokáže všeobecnú metodiku konkretizovať na svoje podmienky a využiť ich pre zlepšenie kvality systému údržby.

ZÁVER

Norma EN 17007: 2017 Proces údržby a súvisiace ukazovatele je ďalšou v rade noriem spracovaných technickou komisiou CEN/TC 319 „Údržba“, v ktorej pôsobia zástupcovia EFNMS. V roku 2007 bola vydaná norma EN 15341:2007 Údržba - kľúčové ukazovatele výkonnosti, ktorá bola v roku 2019 revidovaná.

Napriek tomu, že spracovatelia noriem sú blízкими spolupracovníkmi, tvorba týchto noriem nebola dostatočne koordinovaná tak, aby vznikol jednotný systém ukazovateľov výkonnosti údržby. Je na používateľovi, aby našiel súvislosť medzi KPI definovanými normou EN 15341 a ukazovateľmi súvisiacimi s procesmi ako sú uvedené v norme EN 17007. [5]

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] STN EN ISO 9000: 2015 Quality management systems. Fundamentals and vocabulary. [Systémy manažérstva kvality. Základy a slovník]
- [2] STN EN 13306: 2018 Maintenance – Maintenance terminology. [Údržba. Terminológia údržby.]
- [3] PAČAIOVÁ, H., NAGYOVÁ, A.: Risk based thinking – New approach for modern enterprises' management, Advances in Intelligent Systems and Computing Volume 783, 2019, Pp. 524-536, ISBN 978-3-319-94708-2
- [4] STN EN 17 007: 2017 Maintenance process and associated indicators. [Proces údržby a súvisiace ukazovatele.]
- [5] GREŇČÍK, J.a kol. 2020. Manažérstvo údržby 2 – synergia teórie a praxe, - 1. vyd. - Košice : BEKI Design, 2020. - 697 s. [print]. - ISBN 978-80-553-3539-1.

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia grantového projektu KEGA č. 044ŽU-4/2019: „Implementovanie inovatívnych prvkov do procesu vzdelávania v rámci študijného programu Údržba dopravných prostriedkov“

doc. Ing. Juraj Grenčík, PhD.

KDMT SJF Žilinská univerzita v Žiline,

Univerzitná 1, 010 26 Žilina

e – mail: juraj.grencik@fstroj.uniza.sk, tel. 041 513 2553;

Manažérstvo údržby – základné princípy

Hana Pačaiová, Ján Hijj, Peter Darvaši, Katarína Firmentová

Anotácia

Manažérstvo údržby sa v minulosti zameriavalo na „ad-hoc“ akcie, t.j. opravy po poruche. S relatívne jednoduchou a výkonnou konštrukciou (približne 60 rokov minulého storočia) strojov a požiadavkami zákazníkov nebolo potrebné vyvíjať metódy a postupy na jej zefektívnenie. To, ako zvládáte údržbu, závisí od mnohých faktorov. Jeho dôležitosť a opodstatnenosť sa zvyčajne posudzuje a hodnotí až vtedy, keď v organizácii „niečo“ zlyhá.

Kľúčové slová: riziko, preventívne riadenie, proces, efektívnosť

ÚVOD

Riadenie údržby v minulosti bolo zamerané na akcie „ad - hoc“, t. j. opravy po poruche. Pri relatívne jednoduchej a mohutnej konštrukcii (cca 60 roky min. storočia) strojov a požiadavkách zákazníkov nebola snaha vyvíjať metódy a postupy pre jej zefektívnenie. Súčasné legislatívne požiadavky na bezpečnosť, environmentálne manažérstvo a požiadavky zákazníkov na kvalitu produkcie, ako aj požiadavky spoločnosti na zodpovedné správanie sa organizácií v podnikateľskom prostredí, vytvorili priestor na zmeny v riadení údržby.

Vysoká spoľahlivosť zariadení je aplikovaná pomocou rôznych metód do praxe a presúva sa tak z leteckej, jadrovej a vojenskej oblasti aj do oblasti iných priemyselných činností. Človek sa stáva významným aspektom pri posudzovaní a riadení celkovej spoľahlivosti systému. Znalosti a skúsenosti údržbárov sú cennou devízou pri predchádzaní havárií a strát vyplývajúcich z porúch strojov a zariadení [1, 4].

Európska federácia národných spoločností údržby - EFNMS (angl. European Federation of National Maintenance Societies) prevzala záštitu nad vzdelávaním – kvalifikáciou pracovníkov údržby, ktorej koncepcia je popísaná európskou normou EN 15628. Bez zjednotenia pojmov v riadení údržby, nemôže existovať spoločná platforma výmeny skúseností a hľadania najlepšej praxe pri starostlivosti o výrobné zariadenia v globálnom prostredí. Je možné povedať, že úplne prvá norma, ktorá je dnes základom medzinárodnej komunikácie v tejto oblasti je EN 13306 „Údržba. Terminológia údržby“, ktorá bola vypracovaná technickou komisiou pre normalizáciu CEN/TC 319 za výraznej podpory EFNMS. [1] Členom tejto organizácie, od roku 2004 je aj Slovenská spoločnosť údržby – SSU.

Akým spôsobom riadiť údržbu je závislé od mnohých faktorov. Zvyčajne jej dôležitosť, ako aj opodstatnenie je posudzované a vyhodnocované až vtedy, ak v organizácii „niečo“ zlyhá. Či sa jedná o pracovný úraz, ktorý súvisí so stavom stroja, či úniky nebezpečných látok do životného prostredia presiahnu povolený limit alebo dodávka dohodnutého produktu k dôležitému zákazníkovi sa omeškala, popr. výroba samotného produktu vykazuje neprimerané množstvo nezhodných kusov.

V knihe Manažérstvo údržby [1], v úvode predseda Slovenskej spoločnosti údržby doc. Juraj Grenčík konštatuje, že „ročné náklady na údržbu v SR, podľa štatistického úradu, činia zhruba

3,3 % obratu. V rámci EFNMS stanovený benchmarkingový ukazovateľ (prieskum zvyčajne vykonávaný a hodnotený v severských krajinách) sa pohybuje okolo 3%“.

Pravdou však je, že tak ako u človeka potreba preventívnych opatrení súvisí s jeho výkonom, prostredím v ktorom prevádza svoje aktivity a jeho vekom, tak aj náklady na údržbu závisia od cieľov organizácie, jej schopnosti udržiavať svoju výkonnosť a zodpovednosť k prostrediu v ktorom pôsobí, a teda od jej správania sa k svojim zákazníkom a zainteresovaným stranám.

1. POŽIADAVKY NA MANAŽÉRSTVO ÚDRŽBY

Pripustiť, že aj údržba ako proces, resp. v dnešnej dobe systém so svojou špecifickou štruktúrou a procesmi musí podliehať dôslednému prevereniu fungovania od vstupnej požiadavky zákazníkov, komunikácie s dodávateľmi, realizáciou a spokojnosťou zákazníkov, bolo v minulosti nepredstaviteľné.

Organizácie (najmä riadiaci manažment) sa dlho nevedeli vymaniť z postoja, že údržba a jej riadenie je len podpornou činnosťou, a podľa mnohých ekonomických štúdií až stratovou, a preto je najvýhodnejšie ju presunúť na externé organizácie (tzv. outsourcing údržby).

Avšak bez rozumnej integrácie starostlivosti o majetok (hmotný majetok HM) do všetkých riadiacich činností organizácie nie je možné dlhodobo dosahovať stanovené ciele. To je základný dôvod, prečo schopnosť produkovať požadované produkty / služby silne závisí od **podpory manažmentu údržby** a jeho zaangažovania do riadenia celej organizácie.

Riadenie údržby predstavuje systematický súbor previazaných procesov, ktorých štruktúra je postavená na cykle **PDCA** (P- plánuj, D – konaj, C – kontroluj, A – zasiahni), využívajúc **manažerstvo rizík** ako základ pre rozhodovanie a realizáciu činností údržby prostredníctvom vhodne zvolenej a aplikovanej stratégie / stratégií údržby.

Kľúčovým prvkom pre riadenie údržby je **politika manažmentu údržby**, ktorá odráža rámec pôsobenia organizácie (alebo útvaru údržby v rámci organizácie), jej strategické smerovanie, rámec pre stanovenie cieľov údržby, záväzok na splnenie požiadaviek (zainteresovaných strán) a trvalé zlepšovanie činností údržby.

Potom **systém manažerstva údržby (SMÚ)** je možné definovať ako systém, ktorý predstavuje riadenie tých činností manažmentom údržby, ktoré určujú ciele, stratégie a zodpovednosti údržby a ktoré uplatňuje takými prostriedkami, ako je plánovanie, riadenie a kontrola v údržbe, ako aj zlepšovanie týchto metód riadenia údržby integráciou ekonomických, bezpečnostných a environmentálnych požiadaviek [1, 4].

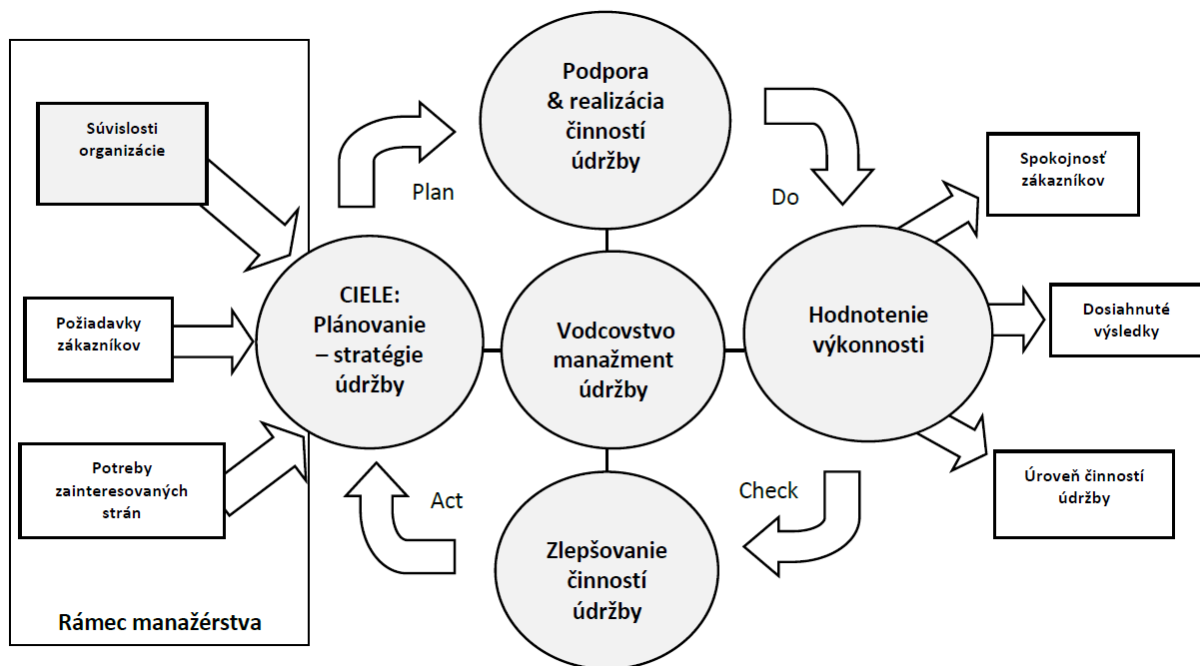
1.1 Rámec pôsobenia údržby

Aby sa dal definovať základný rámec v ktorom údržba pôsobí je nevyhnutné posúdiť súvislosti, ktoré majú na jej riadenie dopad, t. j. čo od nej jej zákazníci / zainteresované strany očakávajú a v akom prostredí pôsobí; to znamená o aký typ organizácie sa jedná (národná, medzinárodná), v akom priemysle táto organizácia podniká (chemický, hutnícky,

automobilový a pod.), jej umiestnenie (krajina, územie), politická situácia, štruktúra organizácie a stav technológií, kde sa realizujú činnosti údržby (obr. 1) [2, 3].

Zákazníkov údržby a ich očakávania je možné vymedziť nasledovne:

- Výrobný proces (výrobný manažér) – zabezpečenie pohotovosti (bezporuchovosti) zariadení.
- Riadenie kvality (manažér kvality) – zabezpečenie spôsobilosti (schopnosť vyrábať výrobky v požadovaných parametroch) zariadení.
- Riadenie BOZP (manažér bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci – BOZP) –zaistenie bezpečného stavu zariadení pri ich fungovaní, údržbe ale aj v stave ich nefunkčnosti. Zaistenie 100% funkčnosti bezpečnostných prvkov.
- Riadenie environmentálnych požiadaviek (manažér pre environment) – zaistenie takého stavu zariadení aby nedochádzalo k únikom látok ohrozujúcich životné prostredie či už počas ich bežnej prevádzky, poruchy alebo ich údržby.
- Riadenie udržateľnosti spotreby energie, popr. jej znižovanie (manažér pre energetické hospodárstvo, niekedy aj manažér pre správu majetku) – udržiavanie takého stavu zariadení, aby ich opotrebovanie (životnosť) neovplyvňovalo spotrebu energie a nezapríčiňovalo jej nárast.
- Riadenie ekonomiky (finančný manažér) – zabezpečenie bezporuchového stavu zariadení pri optimálne vynakladaných prostriedkoch na údržbu. Hospodárenie s náhradnými dielmi a účelné rozvrhovanie zdrojov (materiál, pracovníci údržby).
- Zamestnanci údržby (vlastní pracovníci údržby) – zaistenie plynulosti činností údržby, ich bezpečná realizácia, zabezpečenie zdrojov (moderné náradie, prístrojové vybavenie, dokumentácia, vzdelávanie, platové podmienky), dobrá organizácia práce a pod.



Obr. 1 Rámec manažérstva údržby a riadenie jej procesov

Zainteresované strany údržby a ich očakávania je možné vymedziť nasledovne

- Plnenie legislatívnych požiadaviek – nákup bezpečných zariadení, ich modernizácia v súlade s planými predpismi, minimalizovanie odpadov, pravidelné revízie a kontrola stavu zariadení.
- Plnenie požiadaviek verejnosti – modernizácia, minimalizácia environmentálnej záťaže, predchádzanie stavom, ktoré môžu viesť k závažnej havárii, udržateľnosť a zaistenie kontinuity prevádzky.
- Plnenie sociálnych požiadaviek – dôveryhodnosť, využívanie dostupných – miestnych, regionálnych služieb, podpora vzdelávania mladých údržbárov, zamestnanosť a pod.

2. AUDIT SMÚ

Audit manažérstva údržby / systému manažérstva údržby, je jedným zo základných princípov udržiavania a zlepšovacia starostlivosti o hmotný majetok (stroje zariadenia, infraštruktúru, budovy) organizácie [1, 2].

Na auditovanie manažérstva údržby existuje niekoľko dôvodov:

1. Preverí sa stav údržby vs. stav riadenia prevencie nezhôd (chýb) v iných manažérskych systémoch zavedených v organizácii.
2. Preverí sa stav financovania organizácie (zabezpečenosť zdrojov) cez posúdenie kapacity údržby, zastaranosť používanej technológie, náklady pri realizovaní externej údržby, spotreba a cena náhradných dielov a pod.
3. Preverí sa úroveň manažérstva údržby, jej hodnotenie a úroveň podpory podnikových cieľov, resp. či celá organizácia naozaj efektívne a účinne vyhodnocuje svoju výkonnosť.

Audit manažérstva údržby je možné vykonávať:

- Samostatne (prvou stranou), vlastnými pracovníkmi údržby, ak je systém nastavený a riadený podľa PDCA cyklu.
- Inou internou, popr. externou organizáciou (druhou stranou), napr. ako súčasť interného auditu systému manažérstva kvality, alebo zákazníkom organizácie (najčastejšie sa takéto audity vykonávajú u dodávateľov v automobilovom priemysle).
- Externé audity (tretou stranou), avšak tieto organizácie musia preukázať schopnosť objektívne posúdiť stav manažérstva údržby na základe najnovších trendov a princípov manažérstva. Zvyčajne vlastní produkt – metodiku postavenú na princípoch manažérstva procesov údržby.

Procesy manažérstva údržby je možné členiť nasledovne [4, 5]:

- manažérske procesy,
- hlavné (realizačné procesy),
- podporné procesy

a) Manažérske procesy

Určenie politiky a cieľov údržby, plánovanie činností a zabezpečenie zdrojov. Zabezpečujú integritu realizačných a podporných procesov. Ich úlohou je poskytnúť požadovaný výsledok – službu, t. j. starostlivosť o hmotný majetok / budovy / stroje a zariadenia. Zahŕňajú kontrolu meranie a monitorovanie výkonnosti manažerstva údržby a využívanie výsledkov na jeho zlepšovanie.

b) Hlavné - realizačné procesy

Tieto priamo prispievajú k dosiahnutiu očakávaného výsledku a sú navrhnuté (plánované) tak, aby zabezpečili uspokojenie potrieb požadovaných zákazníkmi a ďalšími zainteresovanými stranami. Zahŕňajú všetky činnosti údržby stanovené na základe prijatej stratégie / stratégií údržby vychádzajúcej z cieľov manažmentu údržby.

c) Podporné procesy

Tieto sú nevyhnutné pre fungovanie ostatných procesov (realizačné procesy, iné podporné procesy, manažérske procesy), pretože im poskytujú potrebné zdroje (napr. aj informácie). Môže sa jednať o logistické služby, zaobstarávanie náhradných dielov, potrebnej technickej dokumentácie, bezpečnostných postupov, testovanie a monitorovanie rôznych prevádzkových parametrov pred alebo počas realizácie činnosti údržby a pod.

2.1 Metodika auditu údržby

Existuje niekoľko možností ako vytvoriť metodiku – vhodný nástroj na posúdenie stavu manažerstva údržby:

- Aplikovanie procesného prístupu a PDCA cyklu na vytvorenie súboru otázok.
- Aplikovanie princípu tzv. samohodnotenia, napr. model EFQM využívaný pre posúdenie manažerstva kvality v službách (najmä vo verejných inštitúciách).
- Iné, avšak musia dodržiavať základné princípy preverenia manažérskych systémov, resp. ich funkčnosti na základe zovšeobecnených pravidiel ISO (pozri Annex SL).

Je potrebné si však uvedomiť, že doposiaľ nevznikla štandardizovaná štruktúra systému manažerstva údržby, tak ako u iných manažérskych systémov (MS), keďže všetky tieto MS od roku 2012 musia dodržiavať princíp jednotnej štruktúry (ISO – angl. HLS High Level Structure), je možné tento princíp aplikovať aj na manažerstvo údržby [3].

Príkladom auditu manažerstva údržby, indikátorov a ich hodnotenie je produkt vytvorený ČSPU. Podobný ale širší model otázok na systémovej báze aplikuje pre audit údržby SSU na svojich stránkach, tzv. výkonnostný audit údržby VAU (www.ssu.sk) [1, 5].

ZÁVER

Audit systému manažérstva údržby je základným predpokladom pre zlepšovanie procesov údržby a plnenie požiadaviek zákazníkov údržby. Je veľmi dôležité manažérstvo údržby chápať ako komplexný systém a na preverenie jeho úrovne manažérstva aplikovať podobné nástroje ako na ostatné manažérske systémy.

Použitá literatúra

- [1] GREŇČÍK, J., et al. Manažérstvo údržby 2. Synergia teórie a praxe. 1. vyd. - Košice: BEKI Design - 2020. 697 s. ISBN 978-80-553-3539-1.
- [2] EN 17007:2017 Procesy údržby a súvisiace ukazovatele.
- [3] EN ISO 19011:2018. Smernica pre auditovanie systémov manažérstva.
- [4] PAČAIOVÁ, H. - SINAY, J. - GLATZ, J.: Bezpečnosť a riziká technických systémov, TU Košice, 2009, ISBN 976-80-533-0180-8.
- [5] PAČAIOVÁ, H. - GLATZ, J. - KACVINSKÝ, Š.: Kladné a záporné aspekty

prof. Ing. Hana Pačaiová, PhD.

Strojnícka fakulta, TUKE, Letná 9, 042 00 Košice

e-mail: hana.pacaiova@tuke.sk. tel.: 055/602 2290, 055/602 2501

Tvorba hodnoty v manažérstve hmotného majetku: Prípadová štúdia

Damjan Maletič

Anotácia

Manažérstvo hmotného majetku (Physical Asset Management - PAM) je dôležitou súčasťou každej organizácie, pretože jej umožňuje realizovať hodnotu z jej majetku. Zameriava sa na optimalizáciu životného cyklu majetku, od koncepcie cez použitie, údržbu, vyradenie z prevádzky a likvidáciu. Cieľom tohto príspevku je predstaviť implementáciu postupov PAM. Na získanie poznatkov o implementácii postupov PAM sa používa metodika prípadových štúdií so zameraním na prvok údržby PAM. Konkrétnejšie sa zameriava na preskúmanie použitia metodiky Value Driven Maintenance (údržba zameraná na hodnotu - VDM) a jej potenciálnych prínosov pre spoločnosť. Na základe výsledkov prípadovej štúdie sa dochádza k záveru, že VDM ako metodika má potenciál podporovať postupy PAM poskytovaním nástroja na podporu hodnotenia manažérstva majetku, identifikácie potenciálnych úspor nákladov, investičného rozhodnutia atď. Napokon sú uvedené poznámky na podporu ďalších štúdií v oblasti PAM.

Kľúčové slová: manažérstvo hmotného majetku; hodnotovo riadená údržba; prípadová štúdia

ÚVOD

Rýchlo sa meniace podnikateľské prostredie, silná konkurencia, požiadavky na minimalizáciu strát sú niektoré z podmienok, v ktorých dnes organizácie fungujú [1]. To viedlo organizácie k tomu, aby neustále hľadali nové spôsoby, ako zvýšiť výkon a získať konkurenčnú výhodu. Za posledné dve desaťročia dopyt po efektívnom manažérstve hmotného majetku (PAM) ustavične stúpal. Vďaka tomu sa PAM stalo dôležitou oblasťou, najmä v priemysle náročnom na kapitál [2]. Majetok podľa normy ISO 55000 pre manažérstvo majetku aktív sú objekty, veci a entity, ktoré majú pre organizáciu hodnotu alebo potenciálnu hodnotu [3]. Hmotný majetok, tiež známy ako technický majetok, je dôležitý pre vytváranie konkrétnych hodnôt pre organizácie v širokom spektre priemyselných oblastí, ako je výroba, zásobovanie elektrinou, zásobovanie vodou, stavebníctvo, baníctvo, dopravné služby a rôzne ďalšie odvetvia. PAM začína pochopením potrieb organizácie v súlade s jej obchodnými cieľmi dodávať tovar a služby spoľahlivo, bezpečne, včas a nákladovo efektívne. Stratégia PAM začína stratégiou a plánom organizácie na dosiahnutie jej cieľov a potom podporuje dodanie hodnoty súvisiacej s plánom organizácie. Norma ISO 55000 však neobsahuje žiadne informácie o prístupe k manažérstvu majetku, iba udáva smer pre prvky systému riadenia (t.j. charakterizuje podnikateľský systém, ktorý mimochodom súvisí s manažérstvom majetku) so zameraním na tvorbu hodnoty a riadenie rizík. Uvedomenie si hodnoty majetku je holistický prístup, ktorý zohľadňuje komplexné očakávania zainteresovaných strán a poskytuje organizácii konkurenčnú výhodu.

Vnútoraná efektívnosť spoločnosti je výrazne ovplyvnená údržbou, ktorá má vplyv na ďalšie pracovné oblasti, ako je výroba, kvalita, výrobné náklady, pracovné prostredie, množstvo rozpracovanej výroby a viazaný kapitál. Na dosiahnutie špičkového výkonu sa čoraz viac

spoločností usiluje o zlepšenie kvality a produktivity a zníženie nákladov. V tejto súvislosti je veľmi dôležitá efektívna údržba, pretože nielen zlepšuje kvalitu výrobkov, znižuje výrobné náklady a produktivitu, ale tiež zvyšuje ziskovosť organizácie. Prínos údržby k úspechu organizácie sa čoraz viac uznáva. Hodnotu však nie je možné realizovať iba pomocou údržby, treba ju realizovať spolu s prevádzkou a technickou obsluhou a vrcholový manažment musí definovať, čo je pre organizáciu hodnotné. Aj keď je údržba nevyhnutným prvkom PAM, nie je postačujúcim a nejaví sa ako zámer normy ISO 55000. Tradičné stratégie údržby sa navyše často zameriavajú iba na fázu údržby a nie na celý životný cyklus majetku.

PAM je teda prístup, ktorý ponúka podporu pri vytváraní hodnoty počas celého životného cyklu majetku. Na podporu tohto názoru existujú rôzne prístupy/metodiky. Jednou z nich je Value Driven Maintenance (údržba zameraná na hodnotu - VDM), na ktorú sa zameriava tento článok. Podporuje spoločnosti pri získavaní maximálnej ekonomickej hodnoty z existujúceho závodu. Okrem toho VDM poskytuje výpočtové modely a referenčné hodnoty špecifické pre dané odvetvie na určenie dominantného faktora hodnoty v rámci PAM [4].

Na preskúmanie rôznych aspektov, ako je pridaná hodnota údržby a manažérstva majetku sú potrebné ďalšie štúdie. Účelom tohto príspevku je preto predstaviť implementáciu VDM na základe prípadu slovinskej spoločnosti pôsobiacej v oblasti distribúcie elektrickej energie a prediskutovať niektoré kľúčové otázky implementácie VDM vo vzťahu k PAM.

1. TEORETICKÉ VÝCHODISKÁ

Európska norma EN 13306: 2017 opisuje manažérstvo údržby ako všetky činnosti manažmentu, ktoré určujú požiadavky na údržbu, ciele, stratégie a zodpovednosti a ich implementáciu takými prostriedkami, ako je plánovanie údržby, kontrola údržby, zlepšenie činností údržby a ekonomiky. Norma je vo svojej definícii širšia, pretože sa vzťahuje aj na organizačné činnosti, ktoré sú nevyhnutné pre účinnú a nákladovo efektívnu údržbu. V poslednom čase sa do popredia dostáva manažérstvo majetku, ktorý ide nad rámec manažérstva údržby.

Manažérstvo majetku sa zaoberá jeho celým životným cyklom, od návrhu až po konečné vyradenie. ISO 55000 definuje manažérstvo majetku ako koordinované činnosti organizácie na realizáciu hodnoty z majetku [3]. Aj keď sa naša štúdia zameriava na hmotný majetok, je potrebné poznamenať, že manažérstvo majetku (AM) berie do úvahy akýkoľvek typ majetku, ktorý má pre spoločnosť skutočnú alebo potenciálnu hodnotu. Čoraz viac sa uznáva, že organizácia môže využívať výhody formálneho systému manažérstva majetku (asset management system - AMS). PAM prináša aj niekoľko ďalších prínosov, ako napríklad zlepšený prevádzkový výkon, vylepšený finančný výkon, znížené náklady, znížené plytvanie, zlepšený výkon zamestnancov atď.

Ďalej sú vo vzťahu k PAM navrhované nasledujúce najlepšie postupy rôznych medzinárodných a európskych noriem, a to:

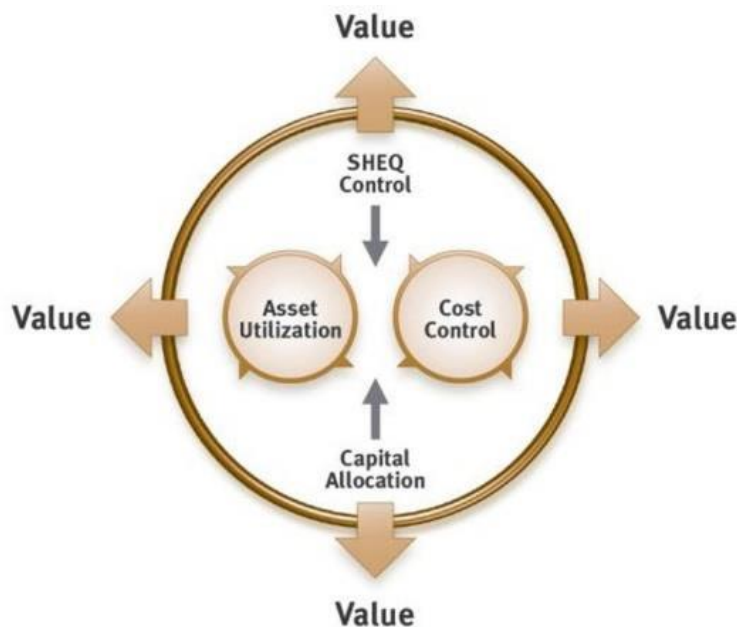
- ISO 21500: 2012 Návod na projektové riadenie;
- ISO 16739: 2018 Dátový formát Industry Foundation Classes (IFC) pre zdieľanie dát v stavebníctve a facility managemente. Časť 1: Dátová schéma;
- IEC 81346-2:2019 Priemyselné systémy, inštalácie a zariadenia a priemyselné výrobky. Zásady štrukturalizácie a referenčné označovanie. Časť 2: Triedenie objektov a kódy tried;
- EN 61355-1: 2008 Klasifikácia a označenie dokumentov pre podniky, systémy a zariadenia;
- EN 13306: 2017 Údržba - Terminológia údržby;
- EN 13269: 2016 Údržba - Návod na prípravu zmlúv o údržbe;
- EN 13460: 2009 Údržba - Dokumentácia údržby;
- EN 15331: 2011 Kritériá návrhu, manažérstva a riadenia činností údržby budov;
- EN 15341: 2019 Údržba - Kľúčové ukazovatele výkonnosti údržby;
- EN 15628: 2014 Údržba - Kvalifikácia pracovníkov;
- EN 16646: 2014 Údržba. Údržba v manažérstve hmotného majetku.

1.1 Manažérstvo hmotného majetku a údržba zameraná na hodnotu

PAM by sa malo považovať za holistický prístup k manažérstvu majetku, pretože má oveľa širší rozsah a má oveľa viac dimenzií ako údržba majetku. Účinné PAM si v podstate vyžaduje interdisciplinárny prístup, v rámci ktorého by mala existovať synergia medzi tradičnými odborníkmi, ako sú účtovníctvo, strojárstvo, financie, humanitné vedy, logistika a technológie informačných systémov. Ako už bolo spomenuté vyššie, údržba je základným prvkom PAM. VDM podporuje organizácie v riadení procesu údržby s ohľadom na požiadavky PAM. Haarman a Delahay [2] preto vo svojej knihe VDMXL, aktualizovanej verzii VDM, zdôrazňujú význam údržby a manažérstva majetku. Spoločnosť VDMXL ako taká vysvetľuje, ako kombinácia údržby, predĺženia životnosti a modernizácie môže zvýšiť maximálnu ekonomickú hodnotu existujúceho závodu, parku vozidiel alebo infraštruktúry. Rozšírenie VDM o VDMXL je výsledkom predĺženia životnosti priemyselných závodov. Je potrebné poznamenať, že model VDMXL je modelovaný v úzkej spolupráci s priemyslom. Väčšina skúseností a poznatkov pochádza z odvetvia infraštruktúry (napr. železnice, vodné cesty, energetika, prístavy, cesty, mosty atď.). Tieto spoločnosti sa oveľa viac ako iné zameriavali na manažérstvo životného cyklu majetku. Autori zistili, že údržba sa v oblasti PAM v priebehu času vyvíjala. Hlavný rozdiel je v tom, že pracovníci údržby zodpovedajú za prevádzkové náklady (OPEX - prevádzkové náklady) a manažéri majetku za investičné náklady (CAPEX - kapitálové výdavky).

VDM počíta čistú súčasnú hodnotu, umožňuje vyhodnotenie rôznych možností, výber vhodných riešení a vytvorenie optimálnej organizácie údržby. Podľa VDM sú identifikované štyri faktory údržby, ktoré ovplyvňujú hodnotu spoločnosti, a to využitie majetku, alokácia zdrojov, kontrola nákladov a HSE (zdravie, bezpečnosť a životné prostredie). Tieto štyri ovládače sa používajú na výpočet hodnoty stratégie údržby pomocou vzorca diskontovanej súčasnej hodnoty (DPV). Na získanie znalostí o štyroch ovládačoch a na odhad DPV je však potrebný systém merania výkonu údržby (MPM). Európska norma na kľúčové ukazovatele výkonnosti (KPI) pre údržbu EN 15341: 2019 poskytuje na tento účel súbor ukazovateľov. Avšak vďaka pomerovej štruktúre ukazovateľov môže byť náročné implementovať aj tie najvšeobecnejšie ukazovatele normy v organizácii bez predchádzajúcich skúseností so zberom a analýzou údajov. Najdôležitejšie a najľahšie použiteľné ukazovatele sú preto tie, ktoré sa nachádzajú v čitateľoch a menovateľoch KPI európskych noriem [5].

Haarman a Delahay [4] predpovedajú, že vývoj PAM zvýšil záujem o normu ISO 55000. Tvrdia tiež, že prax VDMXL môže ísť ešte o krok ďalej. Veria, že ISO 55000 predpisuje to, čo musíme urobiť, ale VDMXL vysvetľuje, ako sa musí proces manažovať, aby sa dosiahla najvyššia ekonomická hodnota pri schvaľovaní procesu údržby, ako je plánovanie, vykonávanie, riadenie zásob a nástrojov. Je teda potrebné dať VDMXL ako model údržby a oba ako model PAM. VDM je definovaný štyrmi základnými faktormi, ktoré ovplyvňujú hodnotu spoločnosti, a to (obrázok 1): využitie majetku, alokácia zdrojov, kontrola nákladov a HSE (zdravie, bezpečnosť a životné prostredie).



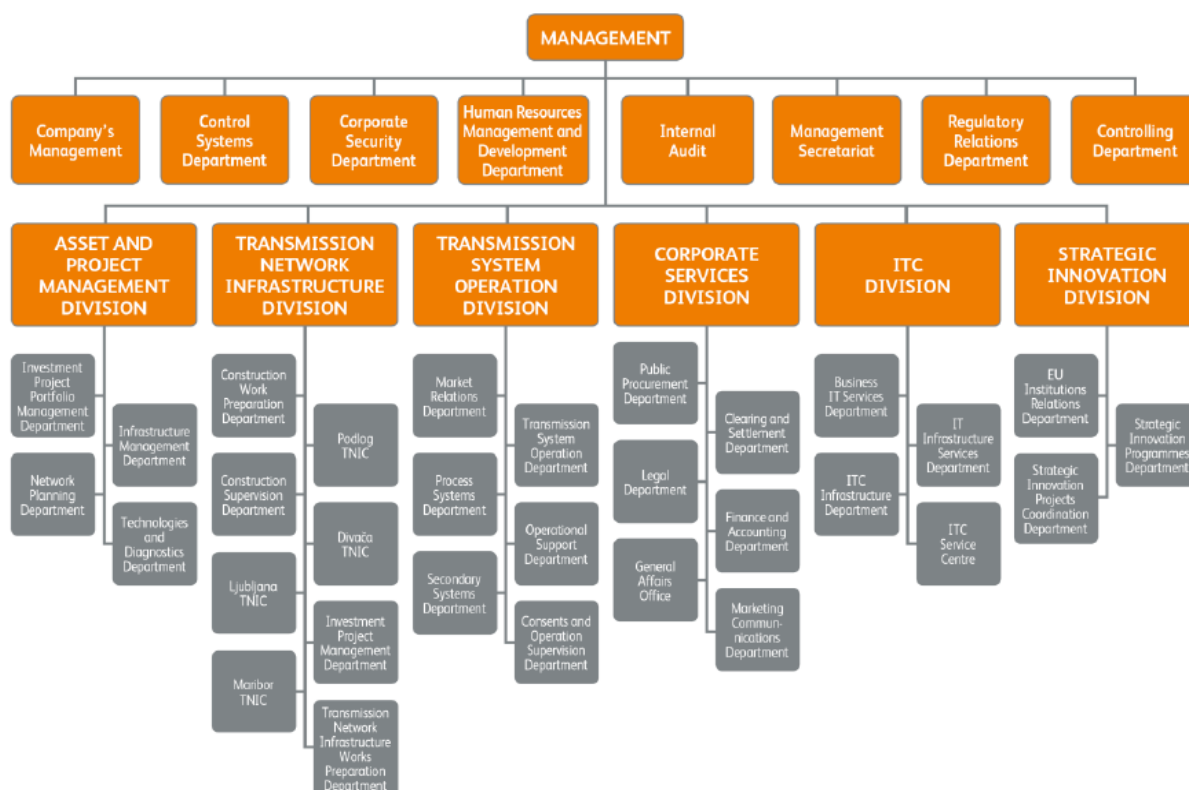
Obr. 1 Model VDM - údržby riadenej hodnotou [4]

VDM umožňuje prekonať bariéru medzi sektorom údržby a vrcholovým manažmentom a ponúka dobrú príležitosť pre širšie praktické využitie. Implementácia a použitie tohto konceptu je však dosť zložitá a vyžaduje si vhodný projektový prístup.

2. PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA IMPLEMENTÁCIE ÚDRŽBY ZAMERANEJ NA HODNOTOU (VDM)

Príspevok predstavuje prípadovú štúdiu zo slovinskej spoločnosti ELES. ELES je prevádzkovateľom slovinskej siete na prenos elektrickej energie.

Na základe strategických smerov a politiky PAM vyvinula spoločnosť ELES moderný koncept PAM, ktorý obsahuje princípy príslušných štandardov a osvedčené postupy európskych prevádzkovateľov distribučných sústav. Organizačná štruktúra systému spoločnosti ELES je znázornená na obrázku 2.



Obr. 2 Organizačná štruktúra spoločnosti ELES

Spoločnosť ELES zaviedla niekoľko noriem s cieľom splniť požiadavky, najmä pokiaľ ide o riadenie kvality, environmentálne manažérstvo, manažérstvo bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci, informačnú bezpečnosť, správu majetku atď. ELES určila, že predpokladom efektívneho riadenia integrácie systému je vhodná informačná podpora. Počas procesu prechodu na VDM spoločnosť ELES zmenila organizačnú štruktúru a vyvinula autonómnu jednotku pre PAM. Posledný menovaný bol podstatným faktorom pre riadenie procesov údržby a pre lepšie definovanie kľúčových rolí a zodpovedností.

2.1 Informačná podpora

Okamžitý a rýchly prístup k informáciám sa stáva jedným z najdôležitejších prvkov pre úspešnú činnosť údržby. Prvou etapou vývoja podpory údržby informácií v spoločnosti ELES bol vývoj databázy s technickými údajmi pre elektroenergetické zariadenia. Počas nasledujúcich fáz podpory IS pre údržbu (v roku 2004) sa spoločnosť ELES rozhodla implementovať produkt IBM Maximo. V súčasnosti je IBM Maximo ako podpora informácií o

údržbe úzko integrovaný s novým podnikovým systémom ERP (Enterprise Resource Planning), konkrétne s MS Dynamics AX. Spoločnosť ELES nedávno začala uskutočňovať integráciu medzi IBM Maximo a geografickým informačným systémom (GIS) a integráciu niekoľkých ďalších softvérových aplikácií pre údržbu s GIS. Digitalizácia v spoločnosti ELES je zameraná na integráciu rôznych systémov a analytické online spracovanie údajov o údržbe. Cieľom tohto vývoja je znížiť náklady na údržbu a podporiť proces investičných rozhodnutí pre distribučnú sieť. Z tohto dôvodu sú nástroje na monitorovanie stavu a vizualizáciu údajov posudzované z hľadiska efektívnej údržby a PAM vrátane metodiky VDM.

Podpora informácií o údržbe je založená na nasledujúcich požiadavkách a pokynoch spoločnosti ELES:

- používanie novej funkcionality IBM Maximo (napr. Maximo Linear Asset Management, Maximo Spatial Asset Management, Maximo ITIL);
- Zlepšenie prístupu k priestorovým údajom;
- Zlepšiť množstvo a kvalitu informácií;
- Zlepšenie integrácie rôznych informačných systémov (napr. PSA, GSM);
- Mobilný prístup k požadovaným informáciám na fyzickom mieste;
- Zlepšiť komunikáciu medzi aplikáciami IoT;
- Zavedenie nových metód a koncepcií údržby zameraných na znižovanie nákladov (napr. RCM - Reliability Centered Maintenance, VDM);
- Používanie moderných analytických nástrojov na spracovanie údajov (napr. Asset Health Indices);
- Zavedenie nových technológií (3D vizualizácia, drony údržby atď.).

Spoločnosť ELES zriadila Centrum diagnostickej analýzy na podporu efektívneho PAM. Tieto činnosti sú súčasťou stratégie ELES na dosiahnutie jej cieľov:

- Efektívna podpora pre PAM, údržbu a správu investícií;
- Vyhodnotenie životného cyklu produktu;
- Monitorovanie technického stavu zariadenia;
- Integrácia súčasných technických informačných systémov;
- Efektívnejšie plánovanie procesov údržby;
- Efektívnejšie plánovanie/pridelovanie zdrojov pre procesy údržby;
- Technicko-ekonomické analýzy a štatistiky v oblasti použitia, recyklácie a kvality zariadení;
- Príprava vhodných správ.

Dlhodobým cieľom spoločnosti ELES je dosiahnuť synergiu medzi systémami/službami spoločnosti s cieľom poskytovať efektívnu podporu pri rozhodovaní v neustále sa meniacom podnikateľskom prostredí. Nové systémy ERP a Maximo sú v tejto súvislosti dva dôležité prvky, ktoré vytvárajú most medzi obchodnými a technickými aspektmi prevádzky. Business Intelligence (BI) je dôležitým aspektom podnikateľského života a predstavuje súbor konceptov/metód zameraných na zlepšenie rozhodovacích procesov, najmä na základe údajov z reálneho života. BI umožňuje zhromažďovanie veľkého množstva údajov z rôznych zdrojov. Je nevyhnutné, aby BI podporovalo integritu a štandardizáciu údajov, najmä so zreteľom na rôzne subsystémy (MDM - Master Data Management). Na podporu rozhodovacieho procesu v spoločnosti ELES sú nevyhnutné kvalitné, včasné a komplexné informácie. Cieľom ELES je vybudovať platformu pre BI v nasledujúcich rokoch vrátane samoobslužnej a podnikovej úrovne. Okrem toho ELES tiež umožňuje použitie rôznych prístupov (napr. OLAP box, reportovacie služby, dashboardy, Big Data atď.).

Okrem toho sa spoločnosť ELES zameriava na prevod svojho dátového úložiska na novú technologickú platformu (Microsoft) s cieľom poskytnúť lepšiu používateľskú skúsenosť, umožniť pokročilé funkcie a integrovať podnikateľské aspekty celej organizácie do systému ročných správ.

Strategickým cieľom spoločnosti ELES je rozšírenie softvérových aplikácií aktualizáciou súčasných technických informačných systémov (TIS). Napríklad zavedením Asset Health Index alebo integráciou TIS, ako aj zavedením nových nástrojov a metód PAM (napr. VDM). Na základe týchto skutočností sa spoločnosť ELES snaží zabezpečiť dlhodobú efektívnosť svojho majetku aktív poskytovaním včasných, spoľahlivých a efektívnych služieb používateľom a iným zainteresovaným stranám. Efektívne PAM berie do úvahy kvalitu, riziká, prínosy a náklady počas celého životného cyklu majetku. Spoločnosť ELES sa zameriava na bezpečné, spoľahlivé, udržateľné a ekologické plnenie požiadaviek používateľov distribučnej siete.

Je potrebné zdôrazniť, že spoločnosť ELES sa silne strategicky zameriava na PAM. V tejto súvislosti bola prijatá projektová iniciatíva na začatie vývoja aplikácie VDM v ELES. Spoločnosť ELES začala s implementáciou VDM v roku 2016. Na konci roka 2016 bol projekt VDM v skúšobnej fáze, ktorá obsahovala jedenásť KPI. VDM sa aplikuje prostredníctvom dashboardov vo forme KPI, grafov, tabuliek zobrazujúcich stav kľúčových parametrov (napr. KPI - riadenie nákladov, plánovanie práce, vykonávanie údržby, outsourcing, používanie zariadení, zdravie a bezpečnosť pri práci, životné prostredie, spoľahlivosť, správa náhradných dielcov, odborná príprava, dokumentácia atď.). Od roku 2017 sa systém používa vo výrobnom prostredí. Dátové úložisko obsahuje všetky údaje od roku 2015.

Uplatnenie VDM v spoločnosti ELES je založené na údajoch získaných z rôznych zdrojov, spracovaných a uložených v jednotnom dátovom úložisku. Ako už bolo spomenuté vyššie, dashboard je kľúčom k prezentácii KPI pre 12 rôznych oblastí, ktoré majú potenciálny vplyv na výkon PAM. Sú to nasledovné oblasti:

- Riadenie nákladov na údržbu uvažovaním vzťahu medzi nákladmi na údržbu a odhadom reprodukčnej hodnoty majetku;
- Zhoršenie stavu majetku, ktoré predstavuje pomer medzi skutočným prevádzkovým časom a dostupným časom (pohotovosť majetku);
- Manažérstvo portfólia majetku, ktoré predstavuje vzťah medzi skutočným vekom majetku a plánovanou technickou životnosťou majetku;
- Investičné náklady, ktoré sú predstavované vzťahom medzi investičnými nákladmi a reprodukčnými nákladmi;
- Pomer nákladov na preventívnu údržbu k celkovým nákladom na údržbu;
- Plánovanie, ktoré zahŕňa monitorovanie realizácie / pokroku v údržbárskych činnostiach;
- Miera využitia, ktorá predstavuje pomer medzi časom stráveným na údržbových činnostiach a celkovým pracovným časom;
- Riadenie nákladov na outsourcing, ktoré sa vyjadruje pomerom nákladov na outsourcing k celkovým nákladom na údržbu;
- Odborná príprava zamestnancov, ktoré predstavuje podiel nákladov na odbornú prípravu zamestnancov;
- Kontrola nákladov na zdravie a bezpečnosť, životné prostredie a kvalitu;
- Náklady na náhradné diely predstavované vzťahom medzi nákladmi na zásoby náhradných dielov a reprodukčnou hodnotou majetku.

Pokiaľ ide o vyššie uvedené požadované údaje, je dôležité zabezpečiť ich kvalitu. Z tohto hľadiska je aj prezentovaný vzťah medzi objemom zozbieraných údajov a objemom všetkých údajov, ktoré sa majú zozbierať a uložiť do databázy. Uplatnenie VDM umožňuje vizualizáciu pre každú oblasť meranú pomocou KPI. K dispozícii sú tiež rozšírené možnosti, konkrétne filtrovanie údajov, ktoré zohľadňuje miesto údržby, organizačné jednotky, časovú os, typ činností atď.

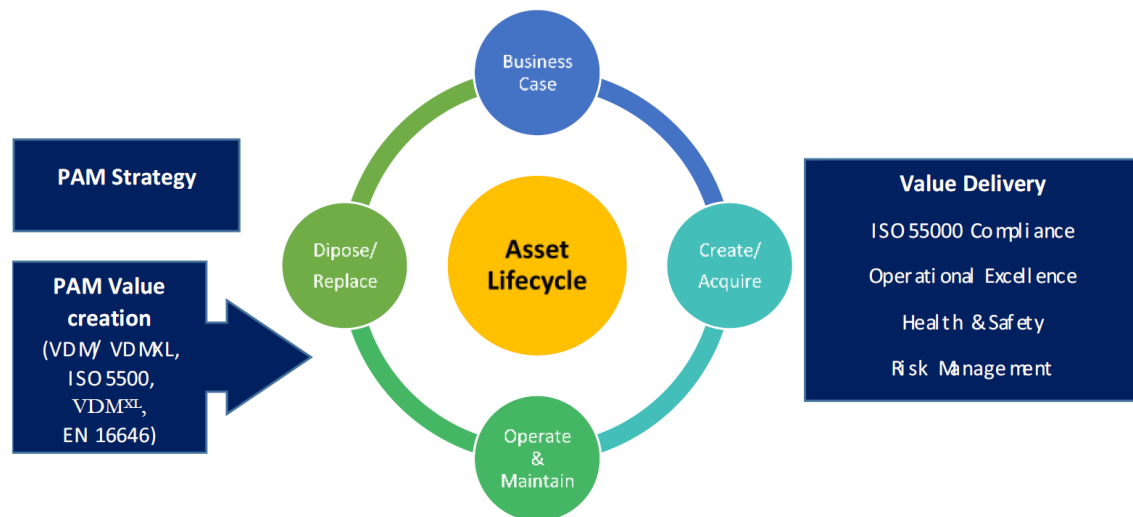
3. ZÁVEREČNÉ POZNÁMKY

Tento príspevok sa zameriava na PAM, najmä na údržbu ako súčasť PAM a výzvy, ktorým súčasné organizácie čelia pri manažérstve majetku. To je obzvlášť dôležité pre slovenského prevádzkovateľa prenosovej sústavy (ELES), ktorý chce zabezpečiť bezpečný, spoľahlivý a nepretržitý prenos elektrickej energie. Súčasťou stratégie spoločnosti bolo zavedenie Value Driven Maintenance (VDM) s cieľom ďalšieho zlepšenia úrovne údržby a činností PAM.

Ukázalo sa, že VDM je metóda podnikového riadenia, ktorej cieľom je získať čo najväčší úžitok z PAM spoločnosti. Ako ukazuje prípadová štúdia, uplatnenie VDM sa zameriava na niekoľko oblastí, medzi ktorými môžeme vyzdvihnúť hodnotenie výkonnosti PAM,

efektívnosť alokácie zdrojov, ochranu zdravia, bezpečnosti a životného prostredia v spoločnosti (SHE), riadenie a znižovanie nákladov na údržbu, atď. Na VDM sa možno pozerať z pohľadu efektívneho riadenia životného cyklu majetku, ktoré poskytuje hodnotu všetkým zainteresovaným stranám.

Na základe výsledkov prípadovej štúdie a literatúry je uvedený koncepčný rámec, ako je uvedené nižšie (obrázok 3).



Obr. 3 Koncepcia tvorby hodnoty PAM

Konštatujeme, že spoločnosť musí vyvinúť stratégiu PAM, ktorá integruje rôzne riešenia, aby dosiahla požadované ciele PAM. Bude dobré iniciovať ďalšie štúdie, ktoré budú skúmať interakciu medzi PAM a VDM.

Použitá literatúra

- [1] Pačaiová, H., Sinay, J., and Nagyová, A. (2017). Development of GRAM – A Risk Measurement Tool Using Risk Based Thinking Principles, *Measurement*, 100, pp. 288–296.
- [2] Komonen, K., Kortelainen, H., and Rääkkönen, M. (2012). Corporate Asset Management for Industrial Companies: An Integrated Business-Driven Approach, *Asset Management: The State of the Art in Europe from a Life Cycle Perspective*, T. Van der Lei, P. Herder, and Y. Wijnia, eds., Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 47–63.
- [3] ISO 55000:2014 (2014). *Asset Management – Overview, Principles and Terminology*, International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland.
- [4] Haarman, M., and Delahay, G. (2016). *VDMXL: Value Driven Maintenance & Asset Management*, www.vdmxl.com.
- [5] Stenström, C., Parida, A., Kumar, U., and Galar, D. (2013). Performance Indicators and Terminology for Value Driven Maintenance, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 19(3), pp. 222–232.

doc. dr. Damjan Maletič, univ. dipl. org.

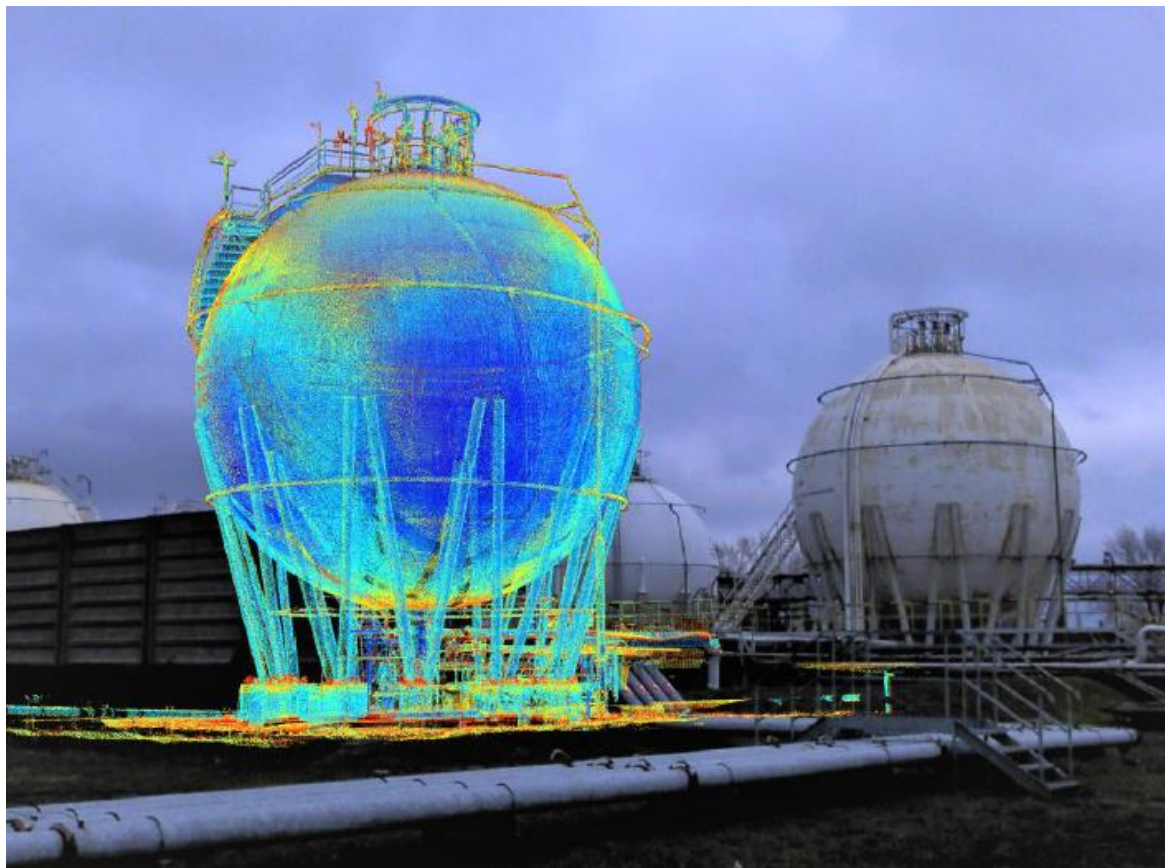
Member of the ISEAM / Member of the EAMC at EFNMS

University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, Kidričeva cesta 55a, SI-4000 Kranj, SLOVENIA

Tel. +386 (0)4 23 74 219 E-mail: damjan.maletic@um.si

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.

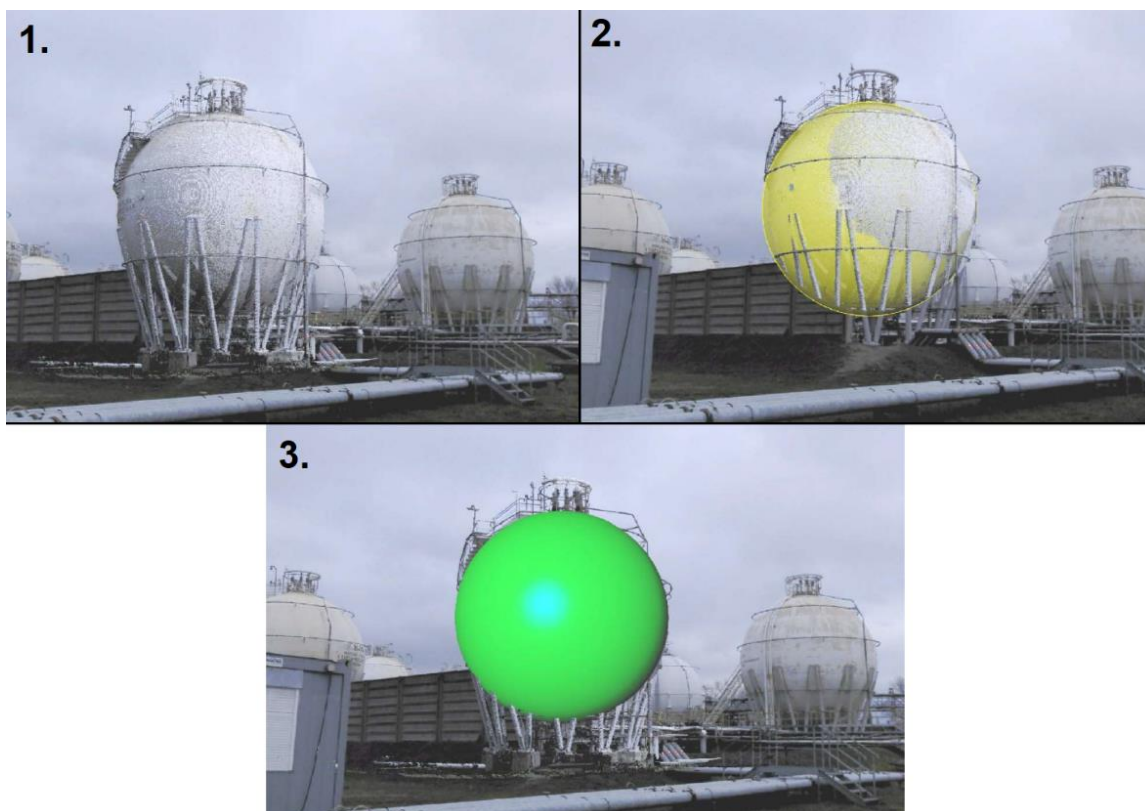


Obr. 2 Trimble SX10

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

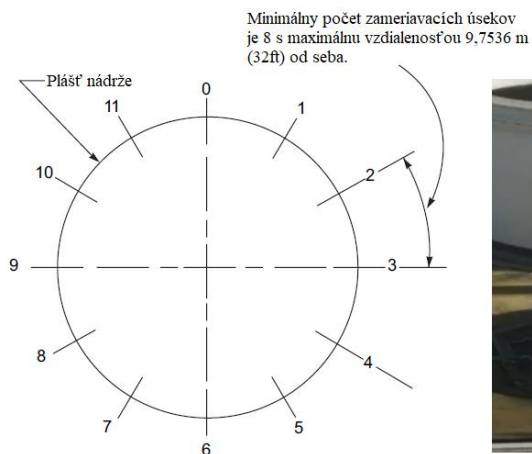
nastavených parametrov skenovania, pričom celú prácu riadi obslužný softvér. Parametrami skenovania je určená oblasť skenu a tiež hustota skenovania, čiže množstvo nameraných bodov. Tento parameter závisí od spôsobu použitia TLS, predmete, ktorý sa meria, a požadovanej presnosti. V prípade nádrže je 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

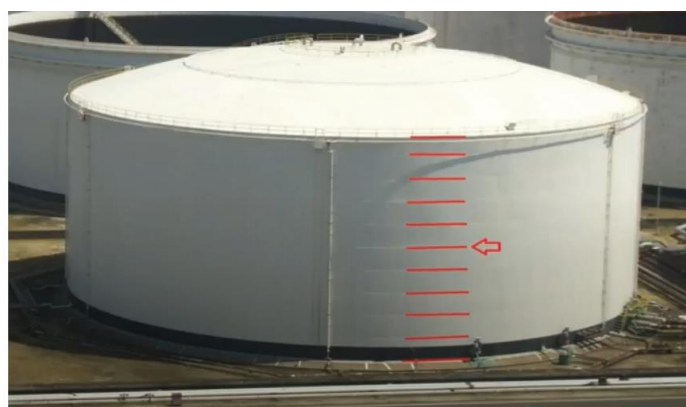
Po spojení, úprave a vyčistení skenu je pri meraní vertikality najdôležitejšie rozdeliť nádrž na časti zvané profily alebo „stations“. Rozloženie a počet meraných úsekov je definovaný v norme API 653 APPENDIX B. Základom sú štyri diametrálne rozmiestnené meracie čiary a medzi nimi podľa parametrov nádrže 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)

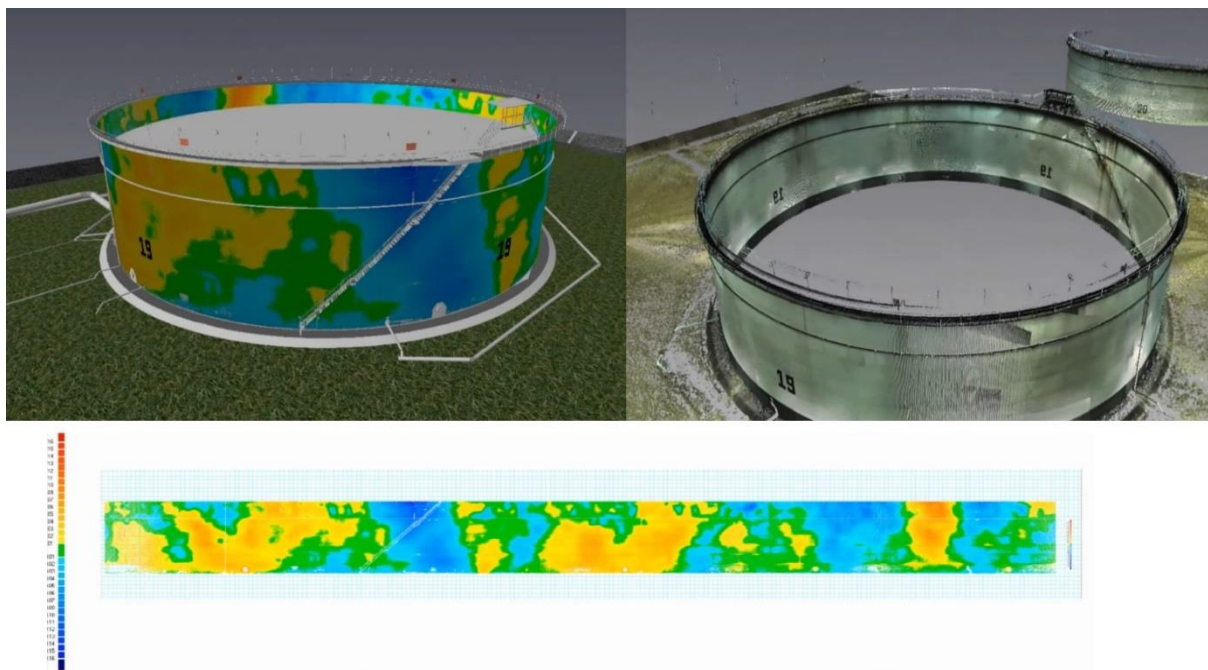
Pre meranie kruhovitosti sa rozdeľuje nádrž na vodorovné profily zvané „Courses“. Meranie začína od zvaru dna a postupuje na okraj steny nádrže k zvaru strechy. Hlavné profily sa určujú podľa zvarov plátov tvoriacich stenu nádrže. Medzi nimi sa určia sekundárne úseky medzi zvarmi rozdelené na ekvivalentné 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

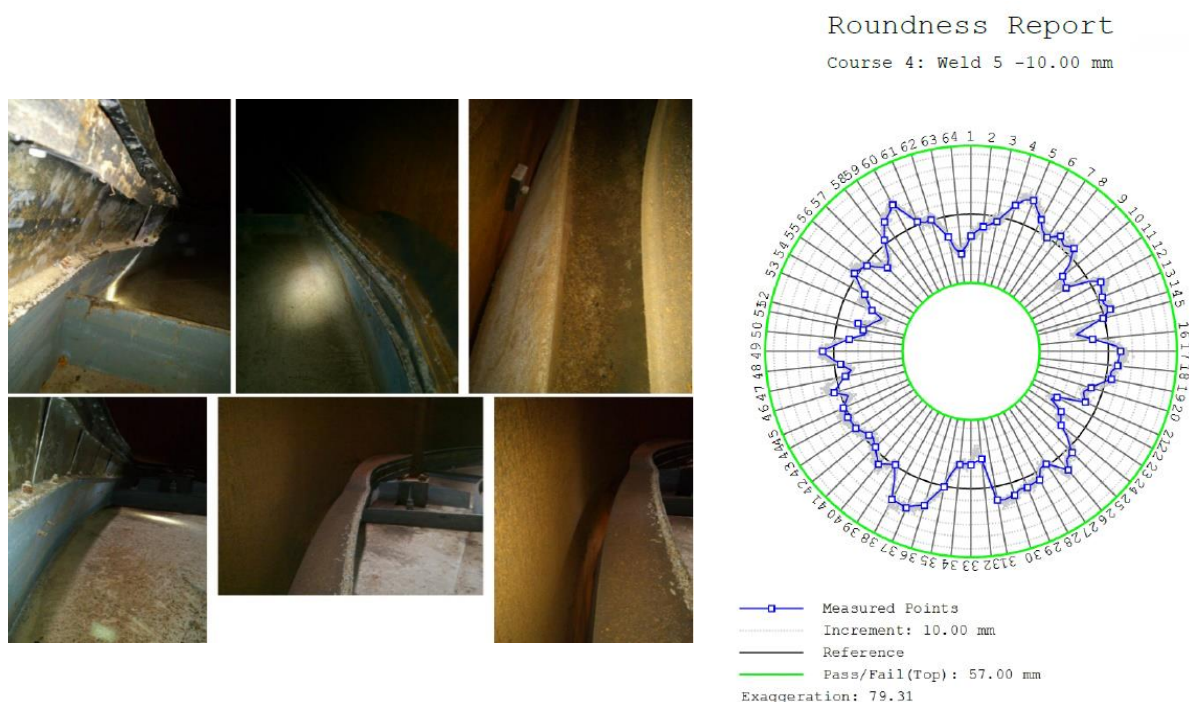
3 SKENOVANIE NÁDRŽÍ

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

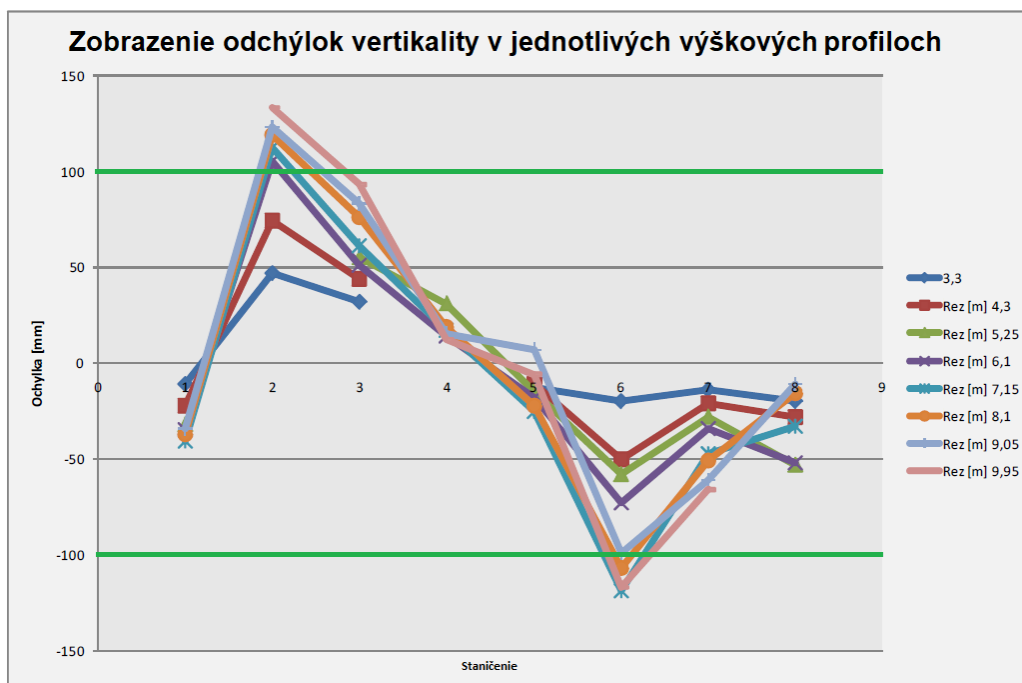
Nádrž č. 2 je atmosférického valcového typu stojatej konštrukcie s objemom 1200 m³, priemerom 12,387 m a výškou 10 m vyrobenou v roku 1967. Počas príprav na generálnu opravu nádrže sa parou čistil medzi priestor dvojitého dna. Počas parenia sa začal v medzipriestore zvyšovať tlak a došlo k poškodeniu, 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.

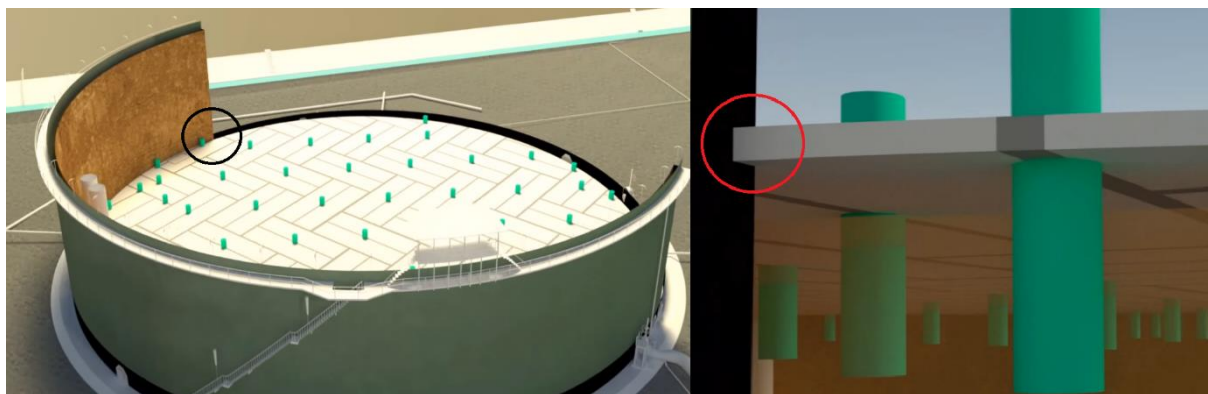
API 653		STN EN 14 015	
Priemer nádrže m (ft.)	Tolerancia plášťa* mm (in.)	Hrúbka platne e (mm)	Rozdiel (mm)
<12 (40)	± 13 (½)	$e \leq 12,5$	16
Od 12 (40) do 45 (150)	± 19 (¾)	$12,5 < e < 25$	13
Od 45 (150) do 75 (250)	± 25 (1)	$25 < e$	10
≥ 75 (250)	± 32 (1¼)		

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.

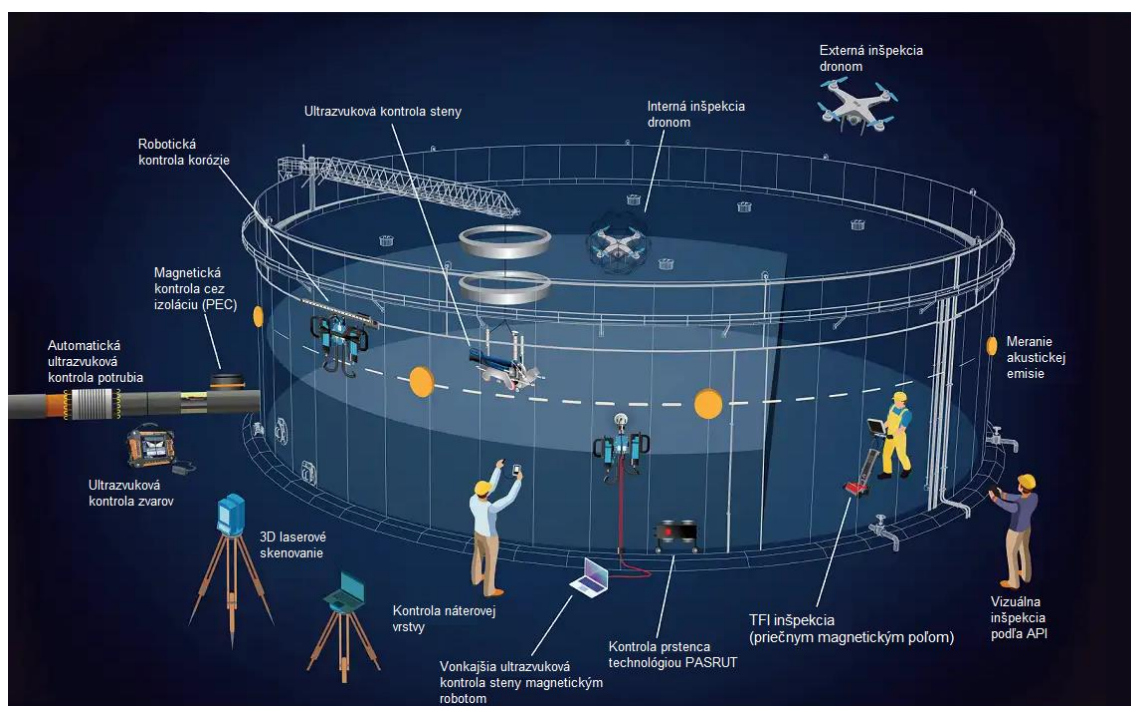


Obr. 11 Simulácia funkčnosti plávajúcej strechy

Najpravdepodobnejšou príčinou je opotrebované alebo nesprávne doliehajúce tesnenie zapríčinené nedostatočnou kruhovitou 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.



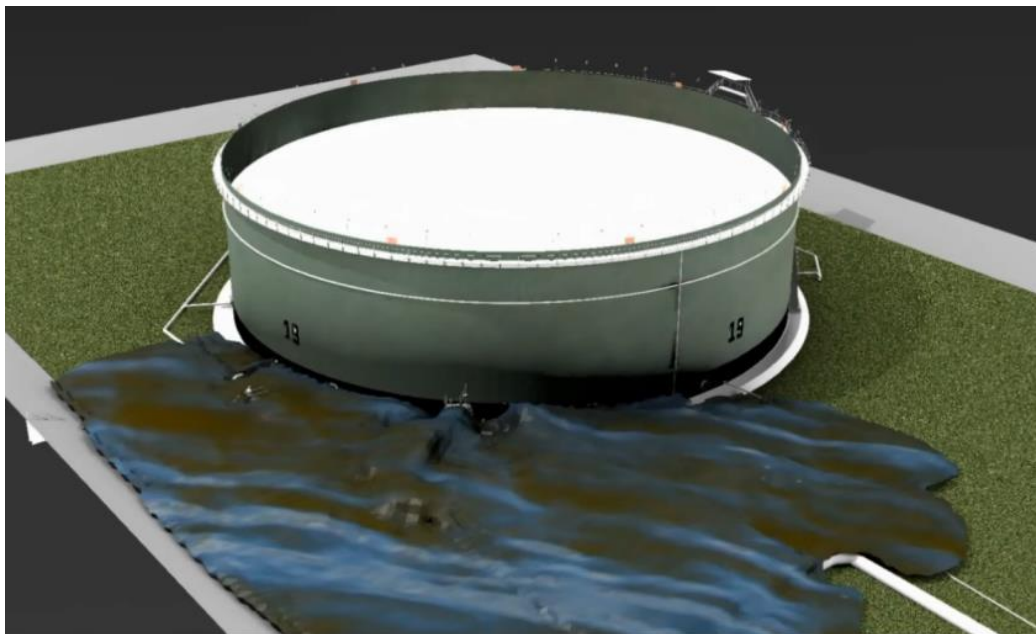
Obr. 12 Možnosti nedeštruktívnych skúšok nádrže

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 nádrži, 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 záväzných 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 navrhnúť 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



Vibrodiagnostika - nástroj spoľahlivosti chodu rotačných strojov

Erik Bleho

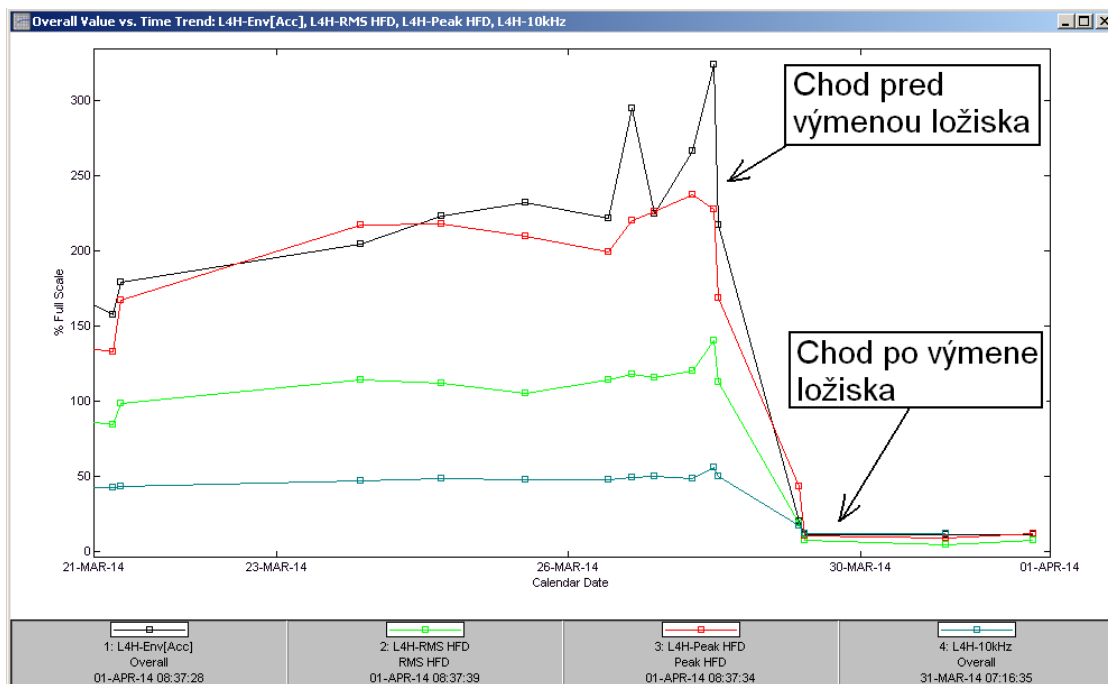
Technická diagnostika ako nástroj spoľahlivosti má veľký význam pri prevádzke a údržbe zariadení. Hlavnou úlohou technickej diagnostiky je zabezpečiť prevádzkovú spoľahlivosť výrobných prostriedkov.

Vibrodiagnostika, ako súčasť prediktívnej údržby, je bezdemontážna technická diagnostika založená na meraní a analýze signálov kmitania. Slúži na objektívne hodnotenie technického stavu rotačných strojov.

Pre tento účel je v Duslo a.s. zriadená vibrodiagnostická služba na odbore podpory a rozvoja údržby. Meraním a analýzou vibrácií možno odhaliť nasledovné príčiny nadmerného kmitania: nevyváženosť, nesúosovosť, mechanické uvoľnenie, ohnutý hriadeľ, excentricita, rezonancie, poruchy prevodoviek, poruchy ložísk a iné. Upozornením na vznikajúcu poruchu možno naplánovať potrebné údržbárske činnosti, rovnako ako aj samotné odstavenie zariadenia pre výkon prác na vhodnú chvíľu.



Ako príklad možno uviesť včasné odhalenie poruchy ložiska na čpavkovom kompresore Grasso 1 na prevádzke Čpavok 3 z marca roku 2014. Vďaka pravidelnému vykonávaniu meraní a analýz vibračných parametrov bol odhalený a monitorovaný defekt na ložisku horeuvedeného skrutkového kompresora a postupný rozvoj poruchy. Z dôvodu neprípustného chodu bol dňa 28.3.2014 o 15:00 hod kompresor odstavený za účelom výmeny axiálnych ložísk. Po rozobratí kompresora sa predpoklad poškodenia ložiska potvrdil. Po osadení nových ložísk bol kompresor dňa 29.3.2014 v poobedňajších hodinách opäť v chode. Týmto zásahom sa predišlo prípadnej havárii kompresora, jeho rozsiahlej a nákladnej oprave a dlhodobému prerušeniu časti výroby Čpavok 3.



Správne „nadimenzovaná“ vibrodiagnostika je pre údržbu veľmi užitočný nástroj, ktorý umožňuje znížiť poruchovosť diagnostikovaných strojných zariadení, tým aj náklady na ich údržbu a opravy, zvýšiť spoľahlivosť výrobných prevádzok a minimalizovať počet nevýrobných dní.

Ing. Erik Bleho

Duslo, a.s. Šaľa

Zdroje vibrácií rotačných strojov

Jozef Vižďák

Stanovenie správneho zdroja nadmerných vibrácií je pravdepodobne najťažšou úlohou analýzy strojov. Potom, keď je určený zdroj vibrácií, je obecné možné ohodnotiť závažnosti existujúceho problému porovnaním úrovne vibrácií so špecifikovanými normami vibrácií. Pretože zdroje rôznych budiacich síl sa často objavujú na rôznych frekvenciách, je spravidla užitočné charakterizovať merané signály vibrácií s ohľadom na frekvenciu.

1. ZDROJE VIBRÁCIÍ:

Rezonancia je pravdepodobne najobvyklejšia príčina veľkých vibrácií a väčšiny porúch súvisiacich s vibráciami. Veľmi často užívateľské špecifikácie pre vibrácie úplne ignorujú rezonancie a závisia na výrobcovi z hľadiska takýchto kritérií. Pokiaľ rezonančné medze nie sú špecifikované a overované skúškou, je nutné, aby komponenty boli veľmi presne vyvážené alebo ustavené tak, aby spĺňali akceptované medze vibrácií v čase nákupu. Avšak dlhoročné používanie takého stroja môže mať za následok vysoké požiadavky na údržbu, pretože malá nevyvaha alebo iné deformácie sa akumulujú a spôsobujú to, že vibrácie rastú na neprípustné úrovne.

Subsynchronne nestability sú iným možným zdrojom vibrácií. Nestability sú pojem, ktorý je priradený tým zdrojom vibrácií, ktoré majú samobudený charakter od mechanizmu, kde hydraulické, aerodynamické alebo trecie sily sú v interakcii s rotorom. Obvykle majú frekvenciu vibrácií v oblasti $1/2$ otáčkovej frekvencie a majú tendenciu k náhlemu vzrastu amplitúdy s katastrofickým výsledkom. Nasledujúce položky znamenajú zvýšenú citlivosť rotora na Subsynchronne nestability:

- rotory pracujú nad prvými kritickými otáčkami
- kompresory s vysokým výstupným tlakom a veľkou molekulovou hmotnosťou plynu
- málo zaťažené ložiská
- prítomnosti vysokotlakých pulzácií a akustických rezonancií
- tuhé radiálne ložiská vzhľadom k ohybovej tuhosti hriadeľa
- nesprávna konštrukcia upchávok
- náhle skokové zmeny zaťaženia
- prítomnosť frikčných síl na rotore, ako je nalisovanie s malým presahom na dlhom úseku

Nestabilita olejového filmu v ložisku. Samobudené vibrácie rotora v dôsledku nestability olejového filmu v ložisku známe ako vírenie oleja alebo tlčenie oleja boli oblasťou záujmu po dlhú dobu. Tento typ nestability môže byť často eliminovaný zmenou konfigurácie ložiska na stabilnejší typ. Konštrukcia ložiska, ktorá má najvyššiu úroveň stability, je ložisko s naklápacími segmentmi a ložisko tlmené olejovým filmom.

Nestabilita upchávky s plávajúcim krúžkom. Upchávky s plávajúcim krúžkom môžu pôsobiť podobným spôsobom ako klzná ložisko a teda sa potenciálne môžu podieľať na samobudených vibráciách. Analógia s kruhovým krátkym ložiskom je celkom zrejmá a zodpovedajúce teórie dovoľujúce výpočet vlastností tuhosti a tlmenia v zablokovanom stave krúžku. Pri zablokovaní je plávajúci krúžok držaný radiálnymi trecími silami, ktoré mu nedovolia sledovať pohyb hriadeľa. Destabilizujúci vplyv krúžku možno redukovať tak, že vyvážíme axiálnu silu na upchávku s plávajúcim krúžkom taký spôsobom, aby trecie sily boli čo najmenšie. Inou možnosťou je optimalizovať geometriu vôle tak, aby boli dosiahnuté vhodné dynamické vlastnosti tuhosti.

Nestabilita labyrintovej upchávky. Jeden z dominantných mechanizmov samobudenia u vysokotlakých kompresorov bol zistený u labyrintových upchávok. Problémy nestability labyrintovej upchávky výrazne závisia na geometrii labyrintovej upchávky a na prevádzkových podmienkach stroja. Presnejšie povedané, polomer labyrintu, výška britu, otáčky stroja, vnútorné tlaky, Machové číslo a rýchlosť rozvírenia na vstupe. Najlepšou cestou k redukovaniu nestability labyrintovej upchávky je potlačiť rýchlosť rozvírenia na vstupe u prúdiaceho média, ktoré vstupuje do upchávky.

Nestabilita aerodynamickým vírením. Nestabilita aerodynamickým vírením sa vzťahuje k priečnym aerodynamickým silám, ktoré pôsobia na lopatky kompresora alebo turbíny. Tieto sily sú generované premennou radiálnou vôľou nad špičkami lopatiek, keď je rotor vychýlený z centrálnej polohy. Bolo určené, že citlivosť rotora na tento typ nestability rastie s rastúcou mernou hmotnosťou plynu a s rastúcimi otáčkami stroja.

Hysterézna nestabilita. Hysterézna (frikčná - trecia) nestabilita sa obvykle vyskytuje u rotorov, ktoré pracujú nad prvými kritickými otáčkami a sú u nich trecie sily, ktoré sa oneskorujú za pohybovou výchylkou. Zdrojom budenia je normálne frikčne potlačený pohyb v nalisovaných spojoch širokých diskov, alebo v nalisovaní obežných kôl na hriadeľ. Aby bol znížený tento typ nestability, musí byť axiálna kontaktná dĺžka nalisovaného spoja čo najkratšia a musí byť s čo najväčším možným presahom bez toho, aby bola prekročená medza klzu materiálu.

Nevývaha je obvyklým zdrojom vibrácií strojov. Je vždy charakterizovaná radiálnymi vibráciami hriadeľa alebo skrine, a pritom sú tieto vibrácie presne synchronizované s otáčkami rotora. Nevyhnutné nepresnosti geometrie v dôsledku výroby alebo zmeny materiálu majú za následok nevyváhu rotora, takže všetky nové vysokootáčkové stroje si vyžadujú vyváženie u výrobcu. Niektoré veľmi citlivé stroje budú vyžadovať vyváženie po montáži. Je nutné očakávať, že vibrácie sa budú postupne meniť s časom, pretože vplyvy ako erózia, opotrebenie a adhézia častíc spôsobia zmenu nevyváhy. Časti rotorov ako sú axiálne tlačné kotúče, chladiace ventilátory a náboje spojok, môžu byť významným zdrojom nevyváhy, aj keď sú často prehliadané v dôsledku ich malých rozmerov. Prehnutie hriadeľa je typom nevyváhy, ktorý je spôsobený v dôsledku gravitácie alebo vplyvom teplotných gradientov v hriadeľi. Toto

prehnutie sa bude pootáčať alebo sa bude meniť s časom po nabehnutí stroja. Použitie natáčacieho zariadenia a pretáčanie pre minimalizovanie prehnutia hriadeľa je veľmi dobre známou praxou používanou v priemysle. Hlavnou príčinou teplotnej deformácie je zdanlivá zmena teplotného koeficientu rozťažnosti alebo modulu pružnosti v ťahu po priereze hriadeľa alebo v obežnom kolese. Objavuje sa bimetalický efekt pri ohreve rotora, ktorý spôsobí, že ťažisko hriadeľa sa posúva zo stredu rotácie. Dôsledná korelácia medzi vibráciami a teplotnou dilatáciou hriadeľa je nevyhnutná pre identifikáciu tohoto zdroja premennej nevývahy.

Magnetická nevývaha v elektromotoroch je zdrojom budenia, ktoré sa často chybne považuje za hmotovú nevývahu. Sily spôsobené magnetickou asymetriou obvykle rotujú s elektrickou asynchrónnou frekvenciou a u indukčných motorov bude dochádzať k záznejom s hmotovou nevývahou. Test pre rozlíšenie magnetickej nevývahy a hmotovej nevývahy pozostáva s pozorovania vibračných spektier v reálnom čase pri vypnutí stroja. Pokiaľ sa objaví významné zníženie vibrácií okamžite s vypnutím stroja, potom táto časť vibrácií je dôsledkom magnetickej nevývahy a zostatok je dôsledok hmotnostnej nevývahy.

Nesúososť. Nadmerná nesúososť rotačných častí, ktoré sú navzájom spojené pružnými spojkami, je obvykle indikovaná veľkou druhou harmonickou zložkou vibrácií. Príležitostne je možné pozorovať aj prvú harmonickú zložku vibrácií. Veľké axiálne vibrácie sú inou indikáciou prítomnosti nesúososti. Prevádzková nesúososť hriadeľov je ovplyvnená relatívnou teplotnou dilatáciou, statickými silami pôsobiacimi od potrubia alebo od pripojeného kondenzátora, zhoršenou kvalitou základu, atď. Vibrácie od nesúososti, ktoré sa prejavujú na prvej harmonickej možno odlíšiť od nevývahy tak, že zaznamenáme závislosť vibrácií na otáčkach. Vibrácie od nevývahy sa budú zvyšovať so štvorcem otáčiek, zatiaľ čo vibrácie od nesúososti sa nebudú meniť, pokiaľ neexistujú rezonancie.

Radiálne zadieranie medzi rotormi a statorovými časťami s malou vôľou môže spôsobiť poškodenie upchávok a špičiek lopatiek. Zadieranie je obvykle nežiadúce a niekedy má katastrofický výsledok. Uvádzané charakteristiky vibrácií vyvolaných radiálnym zadieraním zahŕňajú subharmonické zložky otáčkovej frekvencie, subsynchrónne vibrácie pri vlastnej frekvencii, supersynchrónne vibrácie pri vlastnej frekvencii a vibrácie pri násobkoch otáčkovej frekvencie. Je preto veľmi ťažké urobiť obecné prehlásenie o radiálnom zadieraní. Symptómy zadierania sú ďalej ovplyvnené materiálmi, ktoré sú v kontakte, impedanciou pohybu upchávky, keď dôjde ku kontaktu, hodnotou vlastných frekvencií, atď. Radiálne zadierania rotora z nehrdzavejúcej ocele je obzvlášť škodlivé a je známe, že dochádza k rýchlej a trvalej deformácii rotora. Na druhej strane vysokovýkonné rotory parných turbín sú konštruované s veľmi malými vôľami v labyrintových upchávkach a takmer vždy sa očakáva, že dôjde k miernemu zadieraniu v prvom období prebierky. Tieto dočasné pridierania môžu spôsobiť lokalizovaný ohrev a dočasné prehnutie rotora so súvisejúcou veľkosťou nevývahy hlavne vtedy, keď sa rotor otáča pod svojimi prvými kritickými otáčkami. Symptómy takýchto vibrácií

indukovaných čiastočným pridieraním sú pomalé časové zmeny synchronnej amplitúdy a fázy a často má orbita hranatý tvar.

Axiálne zadieranie medzi statorovými a rotorovými komponentmi sa môže objaviť vtedy, ak relatívny axiálny pohyb medzi týmito časťami je dostatočný pre vymedzenie prevádzkovej vôle. Je známe, že tento problém sa objavuje u veľkých spaľovacích turbín, kde sa lopatky posúvajú vo svojich drážkach v dôsledku zlomenia alebo zhoršenia stavu zámkového mechanizmu lopatky a v dôsledku zaťaženia pri vysokej teplote. Dôsledky môžu byť od progresívneho postupného opracovania častí ktoré sú v kontakte, až po katastrofickú poruchu.

Poškodenie cudzím predmetom sa objaví vtedy, keď voľný predmet prechádza strojom. Malé poškodenie môže zostať nedetegované. Čiastočná alebo úplná strata lopatky alebo deformácia lopatky sa pravdepodobne prejaví pri citlivom monitorovaní vibrácií ako zmena vektorov vibrácií a niekedy dôjde aj k bezpečnostnému vypnutiu. Tu by opäť monitorovanie vibrácií sledovaním vektorov malo detegovať závažnejšie poškodenie cudzím predmetom v prípade, že žiadne iné prevádzkové symptómy neboli detegované.

V štatistike škôd sú chyby osenia a chyby spojok udávané ako druhá najčastejšia príčina poškodenia strojov hneď po nevyváženosti rotorov.

2. CHYBY OSENIA ROTOROV

Z jednotlivých strojov sa v technickej praxi vytvárajú sústroje. Až súčinnosťou s hnacími strojmi a prevodovkami sa z pracovných strojov stávajú funkčné jednotky. Mechanické spojenie rotorov a prenos krútiaceho momentu sa uskutočňuje spojkami.

Pri spojovaní rotorov je nevyhnutné dbať hlavne na dve pravidlá:

- stroje musia byť osené tak, aby rotory boli presne súosé
- spojky musia byť vyrobené presne a precízne zmontované tak, aby ich radiálne a axiálne hádzanie a chyby delenia neprekročili prípustné tolerancie

Pokiaľ nie sú tieto požiadavky splnené, vznikajú v priebehu prevádzky vynútené sily a vibrácie, ktoré vytvárajú prídavné zaťaženia rotorov, spojok, ložísk a základov. Pokiaľ chyby osenia rotorov a závady na spojkách prekročia prípustné tolerancie, dochádza často k poškodeniu ložísk a spojok, k trvalým deformáciám rotorov a k predčasnej únave materiálu.

Príčiny chýb osenia

V praxi môže viesť rada vplyvov k tomu, že rotory strojov nie sú, alebo prestali byť spolu súosé. Časté sú napríklad.

- výrobné vady
- chyby montáže
- teplotná rozťažnosť rotorov, skriň strojov, potrubných vedení a základov

- pružné deformácie základov alebo skriň strojov
- pružné uloženie strojov
- priehyb rotorov
- zmeny polohy rotorov v prevádzkovom stave oproti montážnemu stavu v dôsledku vôle v ložiskách, síl v ozubení a hydrodynamického mazania

Chyby osenia delíme na:

- paralelné presadenie
- uhlové presadenie

Diagnostika a analýza chýb osenia rotorov

Vibrácie od nesúososti, ktoré sa prejavujú na prvej harmonickej možno odlíšiť od nevývahy tak, že zaznamenáme závislosť vibrácií na otáčkach. Vibrácie od nevývahy sa budú zvyšovať so štvorcom otáčiek, zatiaľ čo vibrácie od nesúososti sa nebudú meniť, pokiaľ neexistujú rezonancie.

Uhlová nesúososť je charakterizovaná veľkými axiálnymi vibráciami. Cez spojku sa mení fáza o 180° . V typickom prípade sú veľké axiálne vibrácie s 1. a 2. harmonickou zložkou otáčok, nie je neobvyklé, že dominuje 1x, 2x alebo 3x otáčková frekvencia.

Paralelná nesúososť má podobné symptómy ako uhlová. Má veľké radiálne vibrácie, ktoré majú cez spojku posunutie fázy asi o 180° . 2x otáčková je často väčšia ako 1x otáčková, ale jej veľkosť voči 1. harmonickej zložke otáčok je často určená typom a konštrukciou spojky. Ak je uhlová alebo paralelná nesúososť veľká, môže generovať veľké špičky vyšších harmonických zložiek, alebo sa vzhľad vyšších harmonických zložiek javí ako mechanické uvoľnenie.

3. NEVÝVAHA A VYVAŽOVANIE ROTOROV

V súčasnosti platné technické normy označujú vyvažovanie za pracovný postup, pri ktorom sa upravuje rozloženie hmoty rotora tak, aby sa zmenšila jeho nevyváženosť na požadovanú úroveň. Vyvažovanie môže byť vykonávané v jednej rovine, vo dvoch vyvažovacích rovinách a vo viacerých rovinách. Rotory, u ktorých je pomer osovej dĺžky l k priemeru D $l/D \leq 0,2$ a rotorov s pomerom $l/D > 0,2$, ale s prevádzkovými otáčkami $n \leq 300 \text{ min}^{-1}$, stačí spravidla vyvážiť v jednej vyvažovacej rovine. Rotory, ktoré nespĺňajú uvedené podmienky, sa vyvažujú vo dvoch vyvažovacích rovinách. Vo viacerých ako dvoch vyvažovacích rovinách sa vyvažujú pružné rotory, ktorých prevádzkové otáčky sú vyššie ako prvé kritické. Takého rotory sa vyvažujú niekoľkými spôsobmi na aeróbných vyvažovacích strojoch až po stroje vo vákuovom tunely. Pružné rotory je možné vyvažovať metódami: Modálnou, Pričnikových činiteľov, Tuhostnou a Separáčnou. Pri pružných rotoroch je stanovená maximálna prípustná hodnota mechanicko-elektrickej hádzavosti (runout) povrchovej plochy hriadeľa pri pomalom

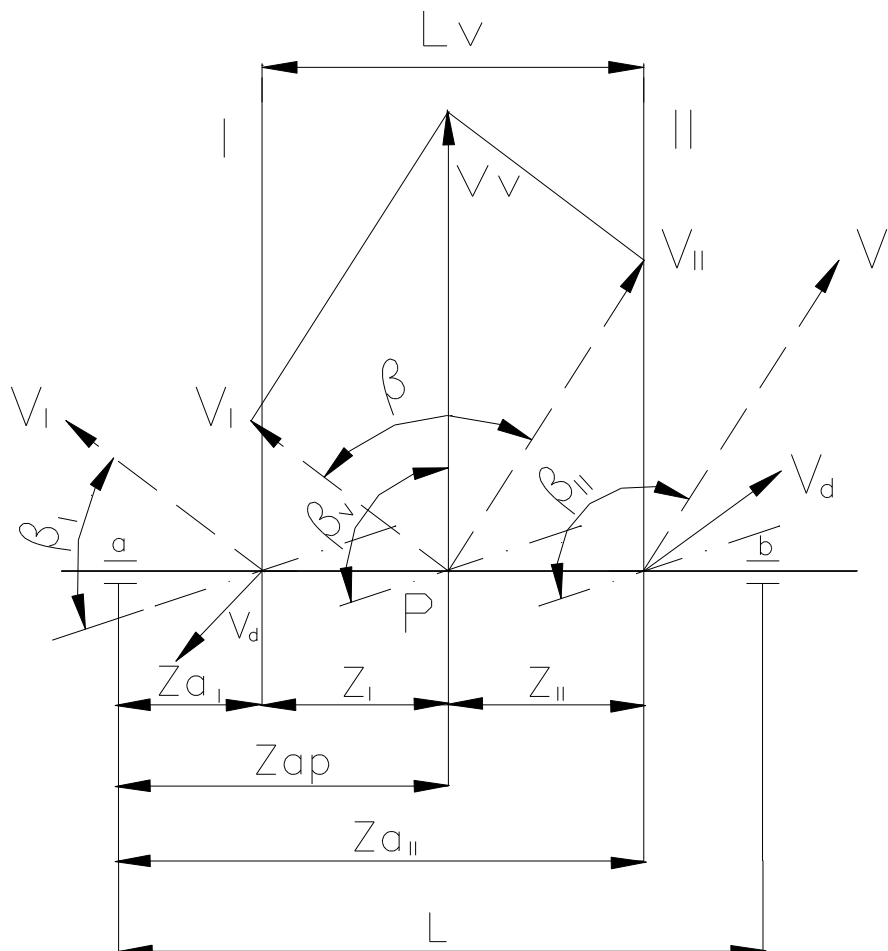
pretáčaní rotora (keď sa ešte neprejavujú dynamické účinky) a táto hodnota nesmie prevýšiť 25 % maximálnej výchylky S_{max} , alebo $6 \mu\text{m}$, pričom platí väčšia hodnota.

U strojov, kde je časovo náročné vyňatie rotora zo statora, je vhodné vykonať prevádzkové vyváženie rotora prenosnou vyvažovacou aparátúrou. Prevádzkovo sa dajú vyvážiť rotory u ktorých je prístup k hriadeľu rotora a k vyvažovacím rovinám. Okrem týchto podmienok musí byť ľahko spustiteľný a odstavitelný pohon stroja a zaistená bezpečnosť pri práci. Týmto podmienkam vyhovujú ventilátory a niektoré typy elektromotorov.

4. PRÍKLAD VYVÁŽENIA PRUŽNÉHO ROTORA TUHOSTNOU METÓDOU

Ak vyvažujeme pružný rotor pri nízkych otáčkach (ako tuhý rotor), tak zistenú nevývahu vo dvoch vyvažovacích rovinách rozdelíme do troch vyvažovacích rovin. Kde a ako je potrebné vybrať vyvažovacie roviny je predmetom analýzy, ktorej základy sú nasledovné.

Z obrázku vyvodzujeme, že zistené hmotnostné nevývahy V_I a V_{II} v základných vyvažovacích rovinách I a II sa dajú nahradiť vyvažovacou hmotnosťou V_V v pomocnej vyvažovacej rovine a dvojicou vyvažovacích hmotností V_d vo dvoch základných rovinách.



Matematické vyjadrenie hmotností a uhlov sú vyjadrené rovnicami:

$$V_v = V_I \sqrt{1 + k_2^2 + 2k_2 \cos \beta} \quad (1)$$

$$\beta_v = \beta_1 + \arcsin \frac{V_I k_2 \sin \beta}{V_v} \quad (2)$$

$$V_v = \frac{V_I}{1 + k_1} \sqrt{1 + k_1^2 + k_2^2 - 2k_1 k_2 \cos \beta} \quad (3)$$

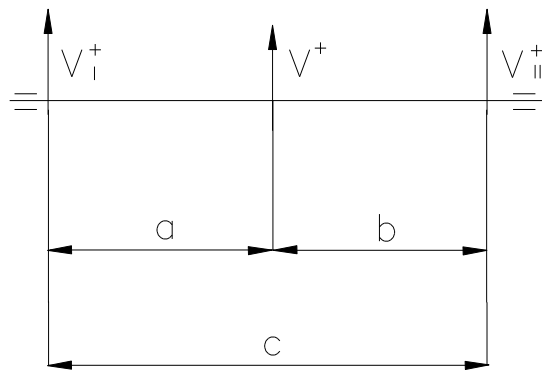
$$\beta_d = \beta_{II} + 180^\circ + \arcsin \frac{V_I \sin \beta}{(1 + k_1) V_d} \quad (4)$$

kde :

$$k_1 = \frac{z_{II}}{z_I}, \quad k_2 = \frac{V_{II}}{V_I}, \quad b = b_{II} - b_I$$

Vyvažovacie hmotnosti V_d nemajú, v prípade dynamickej nevývahy, vplyv na budenie prvého tvaru. Preto ich môžeme ponechať v základných rovinách.

Časť vyvažovacej hmotnosti $V^+ = k \cdot V_v$ umiestnime do pomocnej vyvažovacej roviny a zostatok rozdelíme na polovicu a umiestnime do základných vyvažovacích rovín tak, aby zostala dodržaná rovnováha síl a momentov – rovnice 5.



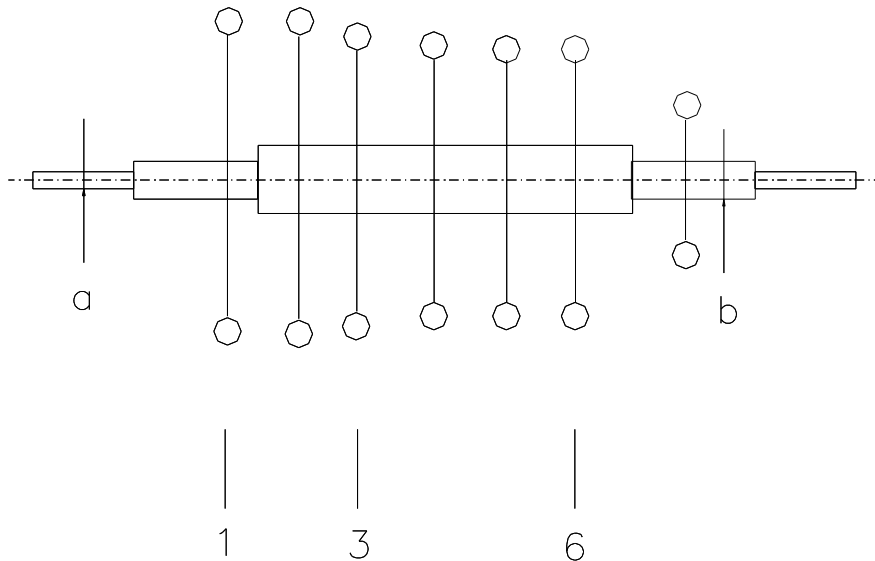
$$V_I^+ = \frac{b}{c} (V_v - V^+) \quad \text{a} \quad V_{II}^+ = \frac{a}{c} (V_v - V^+) \quad (5)$$

Vyvažovacie hmotnosti V_I^+ a V_{II}^+ môžeme zjednotiť s vyvažovacími hmotnosťami V_d tak, že vo všetkých vyvažovacích rovinách dostaneme len jednu vyvažovaciu hmotnosť.

Hodnotu koeficientu „k“ dostaneme z dynamickeho výpočtového modelu. Úspešnosť vyváženia pružného rotora tuhostnou metódou je tým väčšia čím je väčšia statická zložka počiatocnej nevývahy rotora.

Výsledkom tohto riešenia bolo to, že vyvažovanie tuhostnou metódou je teoreticky vhodné riešenie, ale je závislé od rozdelenia počiatocnej staticko-dynamickej nevývahy.

Príkladom využitia uvedenej metódy je vyváženie rotora kompresora NO_x plynov. Základné vyvažovacie roviny 1 a 6 boli doplnené pomocnou vyvažovacou rovinou 3 s optimálnou 63% vyvažovacou hmotnosťou v rovine 3.



Hmotnosť rotora - 1600 kg

Prevádzkové otáčky - 6200 min⁻¹

Hodnoty absolútnych vibrácií pred vyvážením:

v_{ef} - H - 3,6 mms⁻¹

V - 3,0 mms⁻¹

A - 2,6 mms⁻¹

Počiatočná nevyváha rotora :

Vyvažovacie otáčky - 1000 min⁻¹

rovina 1 - 42 g, 225°

rovina 6 - 52 g, 247°

Zostatková nevyváha po vyvážení tuhostnou metódou:

rovina 1 - 3 g, 130°

rovina 6 - 1 g, 300°

Hodnoty absolútnych vibrácií po vyvážení:

v_{ef} - H - 0,5 mms⁻¹

V - 0,5 mms⁻¹

A - 1,4 mms⁻¹

Ing. Jozef Vižďák
Duslo, a.s. Šaľa