



ÚDRŽBA

MAINTENANCE - INSTANDHALTUNG

VYDÁVA SLOVENSKÁ SPOLOČNOSŤ ÚDRŽBY



ÚDRŽBA 2/2022

OBSAH

Šéfredaktor: doc. Ing. Juraj Grenčík, PhD.

Redakčná rada: Ing. Michal Abrahámfy
Ing. Dušan Belko
Ing. Peter Darvaši
Ing. Gabriel Dravecký, PhD.
Ing. Katarína Grandová
prof. Ing. Hana Pačaiová, PhD.
Ing. Marek Rentka
Ing. Jan Vytřísal, MBA
Ing. Michal Žilka

Vydavateľ: Slovenská spoločnosť údržby
Kocel'ova 15
815 94 Bratislava

Elektronický časopis
Ročník vydania: XXII
Periodicita nepravidelná

ISSN 2729-8396

Vplyv kvality výkonu plánovanej preventívnej údržby na kvalitu procesu výroby Rastislav Scherk, Peter Darvaši	1
Vnútoraná kontrola potrubia prostredníctvom robotického zariadenia Jan Vytřísal, Petr Palatka, Pavel Petrásek	11
Možnosti reverzného inžinieringu a aditívnej výroby pri náročných a časovo limitovaných opravách v priemysle Peter Brziak, Miroslav Jáňa, Vojtech Václav, Rastislav Dankovič	14
Identifikácia rizík prevádzky skupiny UAV využitím analýzy príčin a následkov Pavol Pecho, Július Fedáš	24
Údržba bezpilotných lietajúcich prostriedkov v civilnom použití Pavol Pecho, Patrik Veľký	32
Údržba v manažerstve hmotného majetku zameraná na zvyšovanie jeho hodnoty Juraj Grenčík	36

Odborní recenzenti:

doc. Ing. Juraj Grenčík, PhD.
prof. Ing. Hana Pačaiová, PhD.



VPLYV KVALITY VÝKONU PLÁNOVANEJ PREVENTÍVNEJ ÚDRŽBY NA KVALITU PROCESU VÝROBY

Rastislav SCHERK, Peter DARVAŠI

Anotácia

Cieľom štúdie bolo dokázanie vzťahu medzi kvalitou výroby a stavom strojného zariadenia. Po dokázaní tohto vplyvu nasledoval návrh procesu tvorby novej plánovanej preventívnej údržby so zameraním na kvalitu výroby. Následne bolo navrhnuté zavedenie do praxe v reálnom podniku a nakoniec boli vyhodnotené prínosy návrhu.

Kľúčové slová: Plánovaná preventívna údržba, FMEA, korelačná analýza, regresná analýza, Power BI, kvalita

ÚVOD

Významnou témou výrobných spoločností v súčasnosti je zvyšovanie produktivity s maximálnym využitím existujúcich výrobných kapacít. S tým je spojený vývoj inovatívnych riešení, metód, postupov atď. Ide o dlhotrvajúci trend, ktorý sa neustále posúva ďalej a tým mení pohľad na riadenie viacerých odvetví výroby. Prestoje a poruchy vznikajúce vo výrobe sú jedným z kľúčových faktorov, ktoré negatívne ovplyvňujú produktivitu podniku. Jeden z ďalších významných faktorov, predovšetkým v súčasnosti, je aj kvalita produkcie. Kvalita produkcie neovplyvňuje len produktivitu podniku ale aj jeho dobré meno a postavenie voči konkurencií a hlavne u zákazníkov. Je to spôsobené kvalitou finálnych produktov, ktoré ovplyvňuje práve kvalita podnikových procesov. Vzhľadom na tieto fakty sa stáva údržba strojných zariadení základom úspešného podniku súčasnosti. Porucha je definovaná ako odchýlka od požadovaného stavu strojného zariadenia, a pokiaľ sú požiadavky interného zákazníka kladené v rovine bezpečnej a efektívnej výroby kvalitného produktu, tak zlepšovaním sa myslí odstránenie vzniku príčin týchto odchýlok. Je tak nevyhnutné, aby údržba dokázala pružne reagovať na meniace sa požiadavky súvisiace so zvyšovaním kvality produktu, a to implementáciou vhodných preventívnych opatrení na zníženie rizika vzniku nekonformného produktu spôsobeného poruchou strojového zariadenia. Takto údržba prispieva k celkovému zlepšeniu výrobných procesov, kvality produktov a tým aj k zvýšeniu aj samotnej konkurencieschopnosti podniku.

Hlavným cieľom práce je exaktné dokázanie vzťahu medzi kvalitou produkcie a údržbou strojných zariadení a jej následné zvyšovanie prostredníctvom plánovanej preventívnej údržby v spoločnosti Continental Matador Rubber, s.r.o v Púchove.

1 PREPOJENIE KVALITY PRODUKCIE A ÚDRŽBY STROJNÝCH ZARIADENÍ

Existencia vplyvu údržby strojných zariadení, resp. vplyvu stavu strojného zariadenia na kvalitu produkcie doteraz nie je jasne definovaná a popísaná v literatúre pre gumársky priemysel. Tejto problematike sa väčšinou venujú iba odborné zahraničné články, ktoré však taktiež jasne nedefinujú model, ako implementovať tento problém do procesov riadenia údržby. Dokonca sa nedá povedať, ani žeby existovali exaktné analýzy, ktoré by tieto tvrdenia potvrdzovali. Neexistuje tak ani model

merania, resp. analyzovania tohto vzájomného vzťahu a tým pádom ďalej ani model údržby, resp. kvality, ktorý by ich vzájomne prepojil a ukázal správne smerovanie.

Pod pojmom vzťahu údržby a kvality sa dá rozumieť viacero vecí alebo pohľadov. Vplyv strojného zariadenia na kvalitu nenastáva iba v momente, keď sa stroj dostane do poruchového stavu a zastaví výrobu. Vtedy stroj jasne ovplyvňuje kvalitu či už v danom momente alebo následne po oprave, kým sa nevyrobí prvý zhodný výrobok. Je však nutné sa na to dívať z pohľadu toho, či niečo neindikovalo problémy zo strany STZ už pred samotným vznikom poruchy. V súčasnej dobe je možné tieto signály zachytiť pomocou diagnostiky STZ (prediktívna údržba), no tieto signály môžu prichádzať aj z pohľadu vyrábanej kvality na danom strojnom zariadení. To znamená, že stroj začne produkovať nezhodné výrobky, alebo merané a sledované parametre môžu naberať trend, ktorý indikuje že v blízkej dobe dôjde k nezhode, už niekoľko hodín pred poruchou a nemusí to byť kontinuálne. Pôjde teda o zvyšujúcu sa nekvalitu v sériách v rôznych časových intervaloch. Pritom dôvody vyradenia týchto nezhodných výrobkov môžu mať veľmi podobný charakter, čo okamžite indikuje určitý problém so strojným zariadením, ktorý je treba okamžite riešiť. A to, či už z pohľadu kvality (produkcia nezhodných výrobkov) ale aj údržby (možný prestoj).

To je však možné v prípadoch, kedy sa nezhodné výrobky identifikujú hneď. No nie každý proces to dovoľuje, a je tak nastavený. V niektorých prípadoch, keď produkt linky je polotovár, ktorý vstupuje do ďalšieho procesu s medzi uskladnením (kvôli technológií) o niekoľko desiatok hodín neskôr, môže vznikať problém detekcie. Stroj tak môže produkovať nekvalitu, ktorá nemusí byť včasne odhalená niekoľko hodín až kým tento problém neeskaluje do poruchy. Vznikne tak veľké množstvo nezhodných výrobkov/ polotovarov, a taktiež aj porucha, čiže možný dlhý prestoj vo výrobe. V prípade, že ide o polotovár, ktorý následne vstupuje do ďalších procesov môže tento problém negatívne ovplyvniť aj efektívnosť následného procesu z dôsledku nedostatku materiálov.

Zásah na základe signálov výroby nekvality je teda v tomto prípade obmedzený. Je tak nutné zamerať sa aj na priebežné anomálie polotovarov v priebehu procesu výroby. Ide o priebežné kontroly definovaných znakov kvality, napr. na úrovni konštrukčných celkoch liniek, ktoré keď už budú indikovať začínajúce opakujúce sa anomálie jedným smerom (typom chyby), bude potrebné tento problém riešiť čo najskôr, za účelom zabránenia produkcie výroby nezhodných výrobkov, prípadne vzniku poruchy. V týchto prípadoch je nevyhnutné vypracovať akčný plán, na danom konštrukčnom celku popisujúci kontrolné činnosti a aktivity s príslušnou zodpovednosťou. Pôjde teda o prevenciu na základe stavu, avšak nezachytenú na anomálií stroja, jeho časti, ale o anomáliu zachytenú na kvalite produktu v priebehu jeho výroby.

1.1 Vymedzenie súčasného problému reálnom podniku

V podniku Continental sa momentálne nekladie dostatočný význam vplyvu údržby na kvalitu, resp. úzkym prepojením týchto dvoch hlavných súčastí každej výrobnéj spoločnosti. Taktiež pri vykonávaní a tvorbe PPÚ sa nekladie dôraz na to, aby linka po PPÚ vyrábala kvalitne ale len na to aby fungovala. Toto poukazuje na to, že aj keď linka síce vyrába (nie je v poruche), nemusí to znamenať to, že vyrába kvalitne. Inak povedané, linka môže svojim stavom zapríčiniť vysokú produkciu nekvality, avšak tento stav linky nemusí zapríčiniť uvedenie linky do poruchy, čiže ostáva v bežnej produkcii. A práve na túto oblasť vzniku nekvality je diplomová práca zameraná.

1.2 FMEA procesu

Kľúčovým bodom, resp. nástrojom pomocou, ktorého bude snaha ovplyvňovať kvalitu výroby pomocou plánovanej preventívnej údržby, je metóda FMEA (Failure Mode and Effects Analysis). V súčasnosti sa metóda FMEA pravidelne využíva na rôznych úrovniach a oddeleniach v podniku. Vždy je prispôbena potrebám daných oddelení, no v skutočnosti ide o minimálne odlišnosti. Vo väčšine prípadov sa využíva práve FMEA procesná a jej rôzne modifikácie. V tejto práci bude využívaná FMEA údržbárska, ktorá sa začala využívať v podniku nedávno a jej proces aplikácie je stále iba na začiatku. Na skúmanom procese zatiaľ nie je vykonaná FMEA údržby, ale iba FMEA procesu. V nej sa ako možná príčina zlyhania síce označí strojné zariadenie alebo jeho časť, avšak tento problém sa rieši z pohľadu procesu a nie údržby. Aj preto sa ako jeden zo základných vstupných údajov pre vykonanie FMEA údržby vybrala práve FMEA procesu. FMEA procesná a všetky jej jednotlivé body boli podrobené analýze určujúcej či možnou príčinou zlyhania bolo označené strojné zariadenie alebo jeho časť.

Analýzou súčasnej FMEA procesnej, a jej určením ako jednej zo základných vstupných údajov pre vykonanie FMEA údržbárskej, sa určili všetky možné príčiny zlyhania chyby v troch rôznych podprocesoch. Dôležitým faktorom je taktiež hodnota RPN (Risk Priority Number). Priemerná hodnota RPN pri všetkých možných príčinách zlyhania je 152. Naproti tomu, priemerná hodnota RPN možných príčin zlyhaní v dôsledku STZ je 182. Je teda zrejmé, že body týkajúce sa STZ majú vyššiu mieru rizika ako priemer všetkých ostatných. Vykonaním FMEA údržbárskej a prijatím nápravných opatrení by malo po prehodnotení dôjsť k zníženiu hodnoty RPN. FMEA procesu označuje tieto body ako body, kde môže vzniknúť nekvalita alebo sa môže tvoriť odpad. Preto je dôležité zamerať sa na tieto body aj z pohľadu údržby a prijať nápravné opatrenia tak, aby sa riziko vzniku nezhodnej výroby minimalizovalo v čo najväčšej miere.

2 DOKÁZANIE VPLYVU STAVU STROJNÉHO ZARIADENIA NA NEZHODNÚ VÝROBU

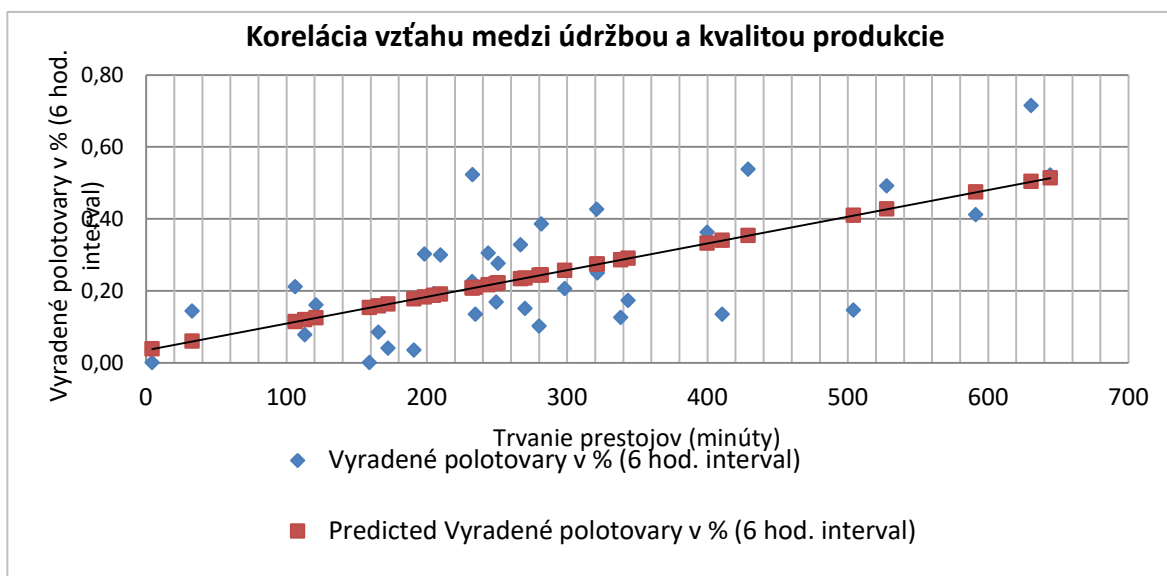
Pre dokázanie vplyvu údržby STZ na nezhodnú výrobu bolo nutné spracovať veľký objem dát, porovnať ich, určiť, ktoré budú tie najvhodnejšie a samozrejme prispôbiť ich potrebám analýzy. Dáta potrebné na analýzu, boli uložené v rôznych databázových zdrojoch. Tie bolo nutné najprv vzájomne spojiť, upraviť a následne vytvárať analýzy. Pre tieto účely sa použil program Power BI.

Na začiatok sa vybrali dáta nesúce všetky informácie o nezhodných polotovaroch vyrobených na vybranom procese a dáta o prestojoch, poruchách, ale aj vykonávaných prehliadkach preventívnej údržby. Taktiež však bolo potrebné určiť, ktoré dáta by najvhodnejším spôsobom a vzájomnou kombináciou deklarovali vzťah medzi údržbou a kvalitou výroby. Pre dokázanie vplyvu za absencie určovania, ktoré vyradené kazety s polotovarmi boli vyradené na základe stavu STZ, bolo toto dokazovanie o to zložitejšie a nejasnejšie. Z tohto dôvodu bolo nutné určiť spôsob, ktorý by sa nedal spochybníť a jasne by tento vzťah dokazoval. Pre tento účel sa ako základný ukazovateľ vzťahu medzi údržbou a kvalitou výroby vybrala korelačná a regresná analýza.

Pre účel tejto analýzy sa vybral problém, resp. jav, určujúci koľko percent z celkového počtu vyradených metrov polotovarov bolo vyrobených v určenom časovom intervale pred vzniknutou poruchou na STZ. Inak povedané, išlo o snahu určenia koľko percent vyradených materiálov ovplyvňuje či už priamo, alebo nepriamo STZ, resp. jeho údržba. Taktiež sa smerovalo k určeniu toho,

či sa dá na základe začínajúcej, resp. stúpajúcej nekvality predikovať porucha strojného zariadenia a indikovať tak stav, ktorý nezapríčiňuje samotný poruchový mód linky, ale už niekoľko hodín predtým spôsobuje tento stav zvýšenú nezhodnú výrobu. Na začiatok sa tak určil interval dvanásť hodín pred poruchou, kde sa sledovali vyradené metre polotovarov v kazetách a porovnávali sa voči všetkým vyradeným kazetám za určené časové obdobie.

Z údajov, ktoré boli dostupné sa pre potreby vytvorenia regresnej a korelačnej analýzy vybrali už spomenuté údaje o percente vyradených metrov polotovarov v určenom intervale, ako závislej premennej „Y“. Druhým údajom bol súčet trvania prestojov (porúch) v minútach ako nezávislej premennej „X“. Tieto údaje boli definované z časového hľadiska po dňoch. Po vytvorení tejto korelácie, bolo zrejmé, že závislosť medzi údajmi existuje, no bolo potrebné určiť, v ktorom časovom intervale pred poruchou táto závislosť bola najvyššia. Už definovaný počiatočný dvanásť hodinový interval pred poruchou vykazoval koreláciu okolo 0,45 až 0,5. Postupným znižovaním intervalu o jednu hodinu sa korelácia postupne zvyšovala až po interval šiestich hodín, kde dosiahla svoj vrchol. Už pri menších intervaloch začala korelácia opäť klesať, a tak sa za najvhodnejší, resp. za kritický interval pre vznik nezhodnej produkcie pred poruchou, určil v závislosti od korelácie šesť hodinový interval. V tomto intervale korelácia dosahovala hodnotu približne 0,67. Dá sa teda hovoriť o silnej vzájomnej korelácií týchto dvoch množín údajov. Túto korelačnú a regresnú analýzu určujúcu závislosť medzi nezhodnou výrobou a údržbou strojných zariadení je možné vidieť na grafe (Obr. 1), ktorý v podstate graficky vyjadruje opísanú analýzu.



Obr. 1 Korelačná a regresná analýza medzi nezhodnou výrobou a údržbou STZ

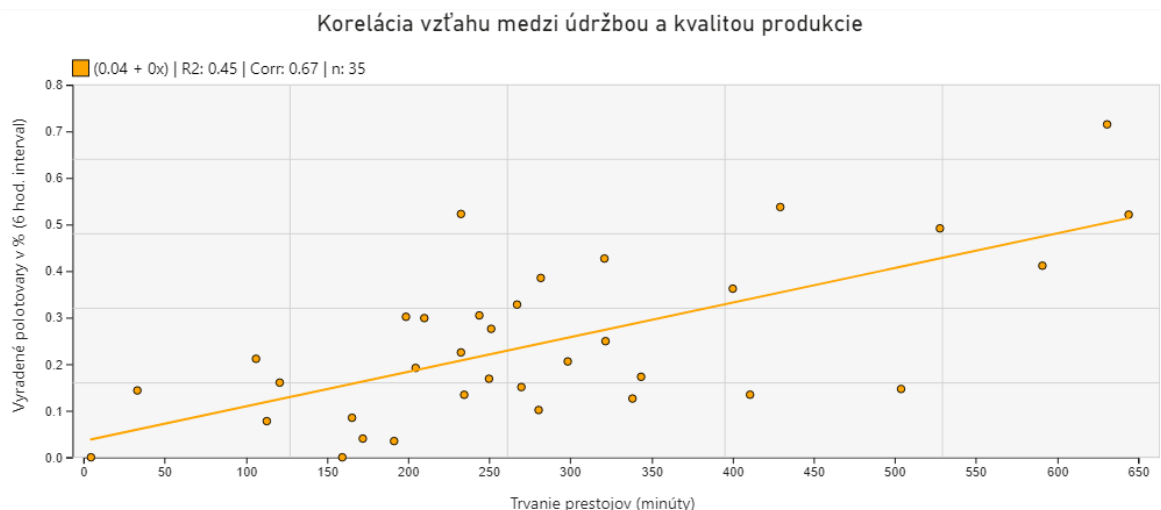
Rovnica tejto regresnej funkcie má tvar $y = 0,0351 + 0,000742x$. Ide o čísla, ktoré je následne potrebné premeniť do percent, aby mali lepšiu výpovednú hodnotu. Rovnica inak vyjadruje, že za predpokladu nulových porúch (linka by nenadobudla poruchový stav) by bolo vyradených 3,51% vyradených polotovarov, ktoré by boli ovplyvnené stavom strojného zariadenia. Hodnota 0,000742 vyjadruje o koľko by sa zvýšilo percento vyradených materiálov, pri zvýšení trvania prestojov o jednu základnú jednotku, čiže o jednu minútu. Pri zvýšení prestojov o každú jednu minútu by sa zvýšilo počet vyradených polotovarov o 0,0742%. Interval 95% spoľahlivosti tvrdí, že s pravdepodobnosťou 95% sa zvýši percento vyradených polotovarov o 0,0453% až 0,0103%. To sa dá však tvrdiť aj opačne, a teda o znížení.

V Tab. 1 sú vybraté hlavné štatistiky korelačnej a regresnej analýzy, ktoré definujú jej hlavné vlastnosti. Ukazovateľ „Multiple R“ definuje silu korelácie, ktorá už bola spomínaná a je na hodnote cca 0,67. Ide teda o silnú koreláciu týchto dvoj údajov, resp. porovnávaných veličín. Ďalšími ukazovateľmi sú „R Square“, ktorý charakterizuje hodnotu koeficientu determinácie a po premenení do percent vyjadruje akú variabilitu pokrýva zvolená regresia a ostatné ide o náhodné deje. V tomto prípade ide o cca 45%. Nadväzuje „Adjusted R Square“, ide o upravený predchádzajúci ukazovateľ zohľadňujúci počet meraní a počet odhadovaných parametrov. Nasleduje „Standard Error“ charakterizujúci chybu strednej hodnoty a táto hodnota by mala byť vždy čo najmenšia. Na záver ide o počet meraní (Observations), resp. z počtu údajov, z ktorých vychádza táto analýza. V tomto prípade ide o 35 meraní. Viacej údajov nebolo možné v súčasnosti zohľadniť do výpočtu, vzhľadom na databázy, z ktorej boli údaje získané, resp. na ktorú je regresná analýza napojená. Táto databáza momentálne disponuje s obmedzenou históriou údajov. Avšak pre regresnú a korelačnú analýzu sa udáva ako minimum 30 vstupujúcich údajov.

Tab. 1 Vybraté štatistiky regresnej a korelačnej analýzy

Štatistiky analýzy	
Multiple R	0,672106608
R Square	0,451727292
Adjusted R Square	0,435112968
Standard Error	0,129162989
Observations	35

Regresná analýza však bola vytvorená aj v spomenutom programe Power BI a napojená priamo do databáz, aby mohla byť pravidelne, na pozadí aktualizovaná a prinášala neustály aktualizovaný prehľad o vývoji tejto vzájomnej interakcii medzi údržbou a kvalitou výroby. Graf regresnej analýzy z programu Power BI je možné vidieť na Obr. 2.

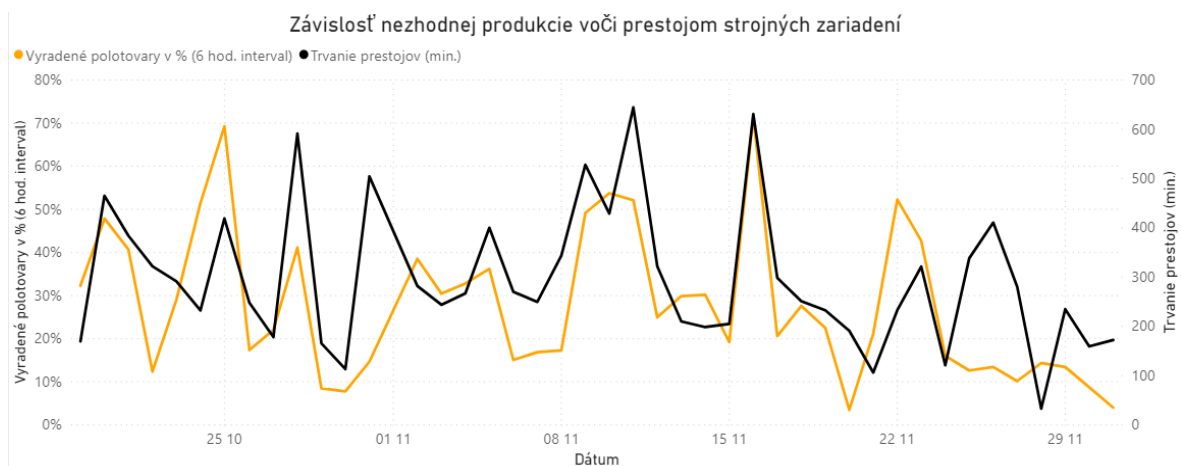


Obr. 2 Regresná a korelačná analýza v prostredí Power BI

Súčasťou tejto analýzy bolo určenie/dokázanie vzájomného vzťahu medzi kvalitou produkcie a údržbou strojných zariadení pomocou regresnej a korelačnej analýzy. Táto analýza dokázala, že vzťah je na základe korelácie silný a tieto údaje majú vzájomný súvis. Dokázanie vzťahu bolo teda

jasne deklarované. Druhou časťou analýzy bolo určenie dĺžky kritického intervalu pred poruchou, kedy začína linka produkovať vo väčšej miere nezhodné polotovary, čo v podstate indikuje, že sa niečo začína diať, čo v konečnom dôsledku môže vyústiť v poruchu. Tento interval bol na základe analýzy určený na šesť hodín pred poruchou vzhľadom na najvyššiu mieru vzájomnej korelácie údajov v tomto intervale. Týmito faktami sa dá povedať, že výroba nezhodných polotovarov sa stupňuje v danom intervale. Toto tvrdenie dokazuje aj graf na Obr. 3, kde sú vizualizované priebehy dvoch kriviek. Krivka čiernej farby predstavuje súčet trvania porúch v minútach (os vpravo) na strojných zariadeniach v priebehu času (dní). Oranžová krivka predstavuje percento vyradených polotovarov (os vľavo), opäť v intervale šesť hodín pred poruchou. Ako je vidieť, tak krivky sú si veľmi podobné, čo aj dokazuje tvrdenie silnej korelácie. Sú si podobné predovšetkým priebehom, nie hodnotami. V niektoré dni sa dokonca vyskytuje lokálny extrém vyradených polotovarov a deň alebo dva nato, sa vyskytuje lokálny extrém súčtu trvania porúch. Tento jav vzniká v niektorých prípadoch aj opačne. Z toho sa dá tvrdiť, že na základe vyradených polotovarov, resp. tvorby nezhodnej produkcie sa dá predikovať vznik poruchy alebo neoptimálny stav stroja. Tu však nastáva problém, pretože ide o polotovary vyradzované aj niekoľko dní späť, keď sa zachytia až v nasledujúcom procese. Až dodatočne tak poukazujú na problém, ktorý vznikol niekoľko dní skôr.

Jav, kedy predchádza lokálny extrém trvania porúch o jeden alebo niekoľko dní lokálnemu extrému percent vyradených polotovarov, môže ovplyvňovať stav liniek, kde po oprave linky, prípadne po vykonaní plánovanej preventívnej údržby, bola linka odovzdaná do výroby označená ako spôsobilá, no v skutočnosti tomu tak nebolo. Za toto je zodpovedná vyslovene údržba strojných zariadení, ktorá napr. nedôsledne vykonáva opravy, plánované preventívne prehliadky, resp. odovzdáva strojné zariadenie bez následnej kontroly stavu chodu linky a predovšetkým kvality jej produkcie.



Obr. 3 Graf závislosti medzi poruchovým stavom STZ a nezhodnou produkciou

Dôležité je však aj výsledné, resp. priemerné percento, koľko je vyradených nezhodných polotovarov v intervale 6 hodín pred poruchou za sledované časové obdobie. V tomto prípade, kedy bolo sledovaných 35 dní, toto percento v pôvodnom stave pred zavedením nápravných opatrení tvorilo približne 30 percent zo všetkých vyradených polotovarov. Ide teda o takmer tretinu, čo predstavuje významné množstvo, ktorým je nutné sa ďalej zaoberať a rôznymi nástrojmi/prístupmi skúsiť toto číslo eliminovať v čo najväčšom rozsahu. Výsledkom týchto analýz, je dokázanie vzájomného vzťahu údržby a kvality, a taktiež vytvorenie reportov na neustále sledovanie a porovnávanie jednotlivých období vzájomne medzi sebou. Priestor na zlepšenie stability a kvality procesu vytlačovania je zrejmy

a na základe vykonaných analýz je tento proces možné zlepšovať v oblasti kvality aj prostredníctvom údržby strojných zariadení. Ide teda nie len o odstraňovanie porúch, ale aj o predchádzanie produkcií nezhodných výrobkov.

3 NÁVRH METODIKY TVORBY PLÁNOVANEJ PREVENTÍVNEJ ÚDRŽBY V KONTEXTE KVALITY

Po dokázaní vzťahu, resp. vplyvu stavu strojných zariadení na kvalitu výroby v predchádzajúcich častiach nasleduje ďalšia významná oblasť. Touto oblasťou je plánovaná preventívna údržba. Práve pomocou nej a úplne novým prístupom ku tvorbe plánov preventívnej údržby s veľkým ohľadom na kvalitu výroby, bude snaha o minimalizovanie nezhodnej produkcie v dôsledku stavu strojných zariadení. Podnetom pre riešenie novej metodiky a celkového prístupu ku preventívnej údržbe v podniku sú meniace sa požiadavky na údržbu strojných zariadení. Jednou z týchto nových požiadaviek je práve zvýšenie kvality produkcie. Vznik novej metodiky PPÚ nie je požadovaný len z pohľadu minimalizácie prestojov, ale predovšetkým z pohľadu zvýšenia kvality produkcie prostredníctvom údržby strojných zariadení.

Vzhľadom na tieto skutočnosti bude návrh tejto metodiky navrhnutý ako komplexný systém pre riešenie plánov PPÚ z pohľadu vplyvu na kvalitu produkcie, vplyvu na bezpečnosť a samozrejme aj z pohľadu vplyvu na produktivitu. Fungovanie systému tvorby plánov PPÚ bude založené na metóde PDCA cyklu. Bude sa tak skladať z viacerých častí založených na ich neustálom a kontinuálnom zlepšovaní, z čoho by sa mala postupom času stať pre pracovníkov údržby rutina. Rutina v slova zmysle osvojenia si chápania, že procesy je nutné neustále zlepšovať na základe ich aktuálneho stavu.

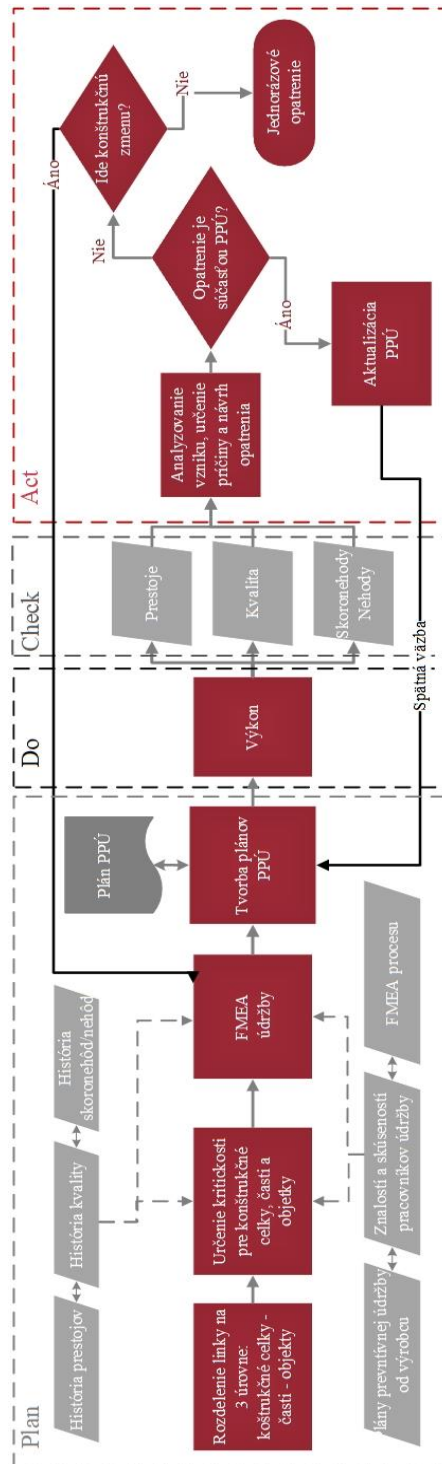
Na Obr. 4 je možné vidieť návrh fungovania tvorby plánov preventívnej údržby spolu s vyznačením PDCA cyklu a vstupných údajov. Tento diagram sa týka predovšetkým liniek, ktoré už sú v podniku nainštalované. Diagram je možné rozdeliť do dvoch základných fáz. Prvú fázu charakterizuje plánovanie a celková tvorba plánov preventívnej údržby (na Obr. 4 oblasť „Plan“). Druhú fázu obsahuje zavedenie plánov do výroby, ich kontrolu a následnú spätnú väzbu.

Celý proces, ako vyjadruje diagram (Obr. 4), tak začne rozdelením linky na tri úrovne až na jednotlivé objekty linky. Nasledovať bude určenie kritickosti jednotlivých konštrukčných celkov, častí a objektov. Na základe toho sa určí, ktorým konštrukčným celkom sa začne tvorba PPÚ a zároveň, ktoré kritické objekty budú vstupovať do FMEA-i údržby. Po tomto kroku sa realizuje FMEA údržby s veľkým ohľadom na kvalitu výroby, ale aj na bezpečnosť. Výsledkom budú nie len návrhové opatrenia, ale aj opatrenia z pohľadu údržby. Ide tak o určenie, ktoré objekty budú predmetom preventívnej údržby, a čo na nich bude potrebné vykonať. Vstupnými údajmi pre vykonanie ostatných dvoch bodov budú historické údaje o kvalite, prestojoch a skoronehodách/nehodách. Ďalšími významnými vstupmi budú plány PPÚ od výrobcu (pokiaľ sú k dispozícii), FMEA – procesu (reprezentujúca kvalitu produkcie) a v neposlednom rade aj znalosti a skúsenosti pracovníkov. Posledným bodom bude tvorba samotných plánov údržby, ich kompletné znenie atď., čoho výsledkom bude samotný plán PPÚ.

Ďalším krokom „Do“ bude realizácia a zavedenie tvorby plánov preventívnej údržby do výroby. Súčasťou bude preškolenie pracovníkov údržby na fungovanie nových systémov a postupov. Po zavedení novej PPÚ sa bude vykonávať jej kontrola „Check“ prostredníctvom ukazovateľov z rôznych oblastí, ktoré budú zároveň vstupnými údajmi a podkladmi pre riešenie nápravných opatrení na

základe aktuálneho stavu. Spätnou väzbou sa cyklus uzatvorí a malo by tak nastať neustále kontinuálne zlepšovanie nastavených plánov.

Tento definovaný rámcový návrh postupu tvorby PPÚ v kontexte na kvalitu produkcie by mal zabezpečiť nový pohľad a prístup ku preventívnej údržbe v podniku. Dôležité bude správne a podrobné vysvetlenie, čo sa čaká od pracovníkov údržby, aby mohol byť tento návrh a postup efektívny.



Obr. 4 Diagram tvorby plánov PPÚ

Postupnosť krokov pri definovaní nového plánu je vidieť na Obr. 4. Tieto kroky sú presne a podrobne rozpísané v diplomovej práci uvedenej v zdrojoch na konci článku. Jednotlivé kroky pozostávajú z:

1. Vstupné údaje pre tvorbu plánov PPÚ
2. Rozdelenie linky na konštrukčné celky, časti a objekty
3. Určenie kritickosti pre konštrukčné celky, časti a objekty
4. FMEA údržby ako súčasť tvorby plánu v kontexte kvality
5. Tvorba plánov PPÚ v kontexte kvality
6. Zavedenie novej PPÚ a jej výkon
7. Kontrola a nápravné opatrenia na základe stavu
8. Zavedenie nového plánu PPÚ

Základným a významným krokom je využitie FMEA – i údržby ako kostry celej metodiky. Totiž samotná metodika je postavená na analýze rizík z viacerých pohľadov a jedným z ich je práve aj kvalita produkcie a hlavným zdrojom pre vykonanie FMEA – i údržby je výstup z FMEA – i procesu. Pôjde tak o komplexné riešenie a analyzovanie problémov, ktoré momentálne v podniku na danej úrovni nefunguje a už vôbec neexistuje prepojenie na plánovanú preventívnu údržbu a FMEA–u procesu. Zároveň sa bude veľmi osobitne pristupovať k bodom s bezpečnosťou a k bodom ovplyvňujúcich kvalitu produkcie. Budú sa navrhovať riešenia, ktoré síce nemusia priamo znižovať vplyv na kvalitu produkcie, ale budú mať vplyv na zníženie výskytu danej príčiny, zlepšenie odhaliteľnosti atď. Pôjde tak o ďalší nástroj, ktorý sa doteraz nepoužíval pri tvorbe plánov preventívnej údržby.

4 ZHODNOTENIE PRÍNOSOV NÁVRHU

Výsledky a zároveň aj prínosy diplomovej práce je možné rozdeliť do viacerých častí. Prvým prínosom pre podnik je exaktné preukázanie vzťahu medzi stavom strojných zariadení (z pohľadu údržby) a kvalitou výroby. Tento vzťah sa preukázal z viacerých pohľadov s využitím rôznych kombinácií dát a v neposlednom prostredníctvom vyjadrenia tohto vzťahu korelačnou analýzou. Po dokázaní existencie tohto vzťahu nasledovala druhá časť práce, ktorá obsahovala návrh metodiky tvorby plánov preventívnej údržby na základe analýzy rizík predovšetkým z pohľadu kvality. Výstupom práce tak je aj návrh novej metodiky tvorby PPÚ v kontexte na kvalitu, ktorý sa odporúča podniku zaviesť ako smernicu pre tvorbu plánov preventívnej údržby v rámci celého podniku. Navrhnutá metodika sa overila prostredníctvom jej zavedenia do výroby, resp. sa overila prostredníctvom tvorby plánu PPÚ podľa tejto metodiky a zavedením tohto plánu. Pre tieto potreby bol vybraný pilotný najkritickejší konštrukčný celok na strojnom zariadení kategórie A.

Zhodnotenie návrhu je možné vykonať prostredníctvom vybraných reálnych ukazovateľov. Jeden z nich je napríklad počet vyradených materiálov v šesť hodinovom intervale pred vznikom poruchy. Ako je vidieť v Tab. 2, tak zlepšenie tohto ukazovateľa je o približne 24% oproti pôvodnému stavu. To znamená, že v šesťhodinovom intervale pred poruchou bolo vyradených o 23,76% menej polotovarov ako pred zavedením novej PPÚ. Vplýva na to aj fakt, že jej zavedením sa zmenšila aj početnosť porúch o 17,7%. Nová preventívna údržba tak priaznivo ovplyvnila obidva tieto faktory čoho vyústením je spomínané zlepšenie tohto ukazovateľa.

Tab. 2 Porovnanie vyradených materiálov po zavedení novej PPÚ

Vyradený materiál pred poruchou		
Pôvodný stav (%)	Súčasný stav (%)	Zlepšenie (%)
29,84%	22,75%	23,76%

Nadväzujúci ukazovateľ je počet vyradených metrov polotovarov v dôsledku strojného zariadenia. Po zavedení návrhov sa znížil výskyt vyradených polotovarov v dôsledku STZ o 23,01% (Tab. 3). Kde následne počet všetkých vyradených polotovarov bez ohľadu na dôvod o cca 16%. Ide o značné zlepšenie s viditeľným zlepšujúcim sa trendom. Hovoriť nie len o vyradených polotovarochoch v dôsledku STZ má význam preto, lebo stále je možné ovplyvnenie strojným zariadením aj ostatné prípady. V neposlednom rade pre vyjadrenie podielu na celkovom zlepšení.

Tab. 3 Porovnanie počtu vyradených polotovarov

Počet vyradených metrov materiálu			
Druh vyradenia	Pôvodný stav (m)	Súčasný stav (%)	Zlepšenie (%)
V dôsledku STZ	804	619	23,01%
Všetky dôvody	5821	4887	16,05%

Zavedenie novej PPÚ malo samozrejme v dlhšom časovom období dopad aj na zníženie pre stojovosti na danom konštrukčnom celku STZ. Ako už bolo spomenuté tak početnosť pre stojov sa znížila približne o 15%. Čo sa týka dĺžky pre stojov tak tam sa redukcia blíži až k rozmedziu medzi 30% až 40%. Z čísel tak vyplýva, že sa podarilo zredukovať najmä dlhšie pre stojy vznikajúce na danom konštrukčnom celku.

5 ZÁVER A POĎAKOVANIE

Táto práca bola úspešne obhájená ako diplomová práca na Strojníckej fakulte Žilinskej univerzity v Žiline v študijnom programe Priemyselné inžinierstvo v roku 2021 a bola ocenená Cenou SSU za diplomovú prácu v roku 2022 na konferencii Národné fórum údržby 2022 organizovanej Slovenskou spoločnosťou údržby. Tento článok tvorí iba stručnú a základnú kostru obsahu diplomovej práce, kde sú publikované všetky podrobnosti a vysvetlené všetky dôležité kroky a body.

Poďakovanie vedúcemu mojej diplomovej práce doc. Ing. Miroslav Rakytovi, PhD., oddeleniu Údržby v spoločnosti Continental Matador Rubber, s. r. o. za možnosť vypracovania mojej diplomovej práce a pracovníkom oddelenia za odborné rady a spoluprácu.

Použitá literatúra

SCHERK, R. 2021. Vplyv kvality výkonu plánovanej preventívnej údržby na kvalitu procesu výroby. Diplomová práca. Žilina: Strojnícka fakulta ŽU v Žiline.

Autori:

Ing. Rastislav Scherk

Inžinier údržby/Dátový analytik

Continental Matador Rubber s.r.o., Terézie Vansovej 1054, 020 01 Púchov, Slovakia

Ing. Peter Darvaši

vedúci odboru Údržba PLT

VNÚTORNÁ KONTROLA POTRUBIA PROSTREDNÍCTVOM ROBOTICKÉHO ZARIADENIA

Jan VYTRÍŠAL, Petr PALATKA, Pavel PETRÁSEK

Anotácia

Potrubie môžeme veľmi jednoducho charakterizovať ako spojnicu medzi jednotlivými technologickými zariadeniami ktorou sa prepravuje spracovávané médium (produkt). Ak sa pozrieme na potrubie podrobnejšie, zistíme, že ide o celok skladajúci sa z veľkého množstva komponentov. Stav potrubia ovplyvňuje veľké množstvo faktorov. Okrem základných parametrov akými sú rozmery (priemer, hrúbka, dĺžka) a materiál ide o zvary, podpery, oblúky, redukcie, príruby izolácie a pod. a tiež spôsob samotnej prevádzky (typ média, teplota, tlak). S neustálym rastom požiadaviek na spoľahlivosť potrubia a zachovanie jeho integrity rastú aj požiadavky na vykonávanie kontrol. V niektorých prípadoch kontrol potrubí môže byť problém sa dostať ku kontrolovanému miestu a v takých prípadoch vykonávame aj kontroly s použitím robotických zariadení.

Kľúčové slová: nedeštruktívna kontrola, NDT, kontrola potrubia, inšpekcia, diagnostika

DEGRADÁCIA POTRUBIA

Zásadný vplyv na životnosť potrubia majú degradačné mechanizmy. Z hľadiska kontroly potrubia ide najmä o zisťovanie chýb a nekvality v materiáli potrubia a vo zvaroch. Tieto chyby môžeme rozdeliť na výrobné a prevádzkové.

Výrobné chyby

Ide najčastejšie o chyby základného materiálu vo forme prevalkov, zavalcovaných nečistôt, laminácií, a pod. Tieto chyby vznikajú už v priebehu výroby a v priebehu prevádzky potrubia je potrebné ich stav monitorovať, aby sa nestali zdrojom rozvoja a rastu chýb a tým aj straty integrity.

Prevádzkové chyby

Tieto chyby vznikajú často veľmi zložitými procesmi. V našej praxi sa najčastejšie stretávame s výskytom trhlin a korózneho napadnutia. Trhliny môžu mať rôzne rozmery a orientáciu a tiež aj korózia môže mať rôzny charakter: plošná, lokalizovaná bodová, a ďalšie. Pre detekciu chýb súvisiacich s určitým degradačným mechanizmom je vždy potrebné navrhnuť optimálny prístup NDT kontroly.

Vznik prevádzkových chýb ovplyvňujú prevádzkové parametre a okolité prostredie, ale tiež konštrukčné a výrobné parametre. Ide predovšetkým o prevádzkový tlak a teplotu, ďalej o počty cyklov, dobu prevádzky, starostlivosť o zariadenie, ale tiež o geometriu potrubia, materiál, kvalitu výroby a ďalšie.

NOVÝ PRÍSTUP KU KONTROLE POTRUBIA

Každý degradačný mechanizmus sa prejavuje špecifickým druhom chýb. K spoľahlivej detekcii týchto chýb využívame unikátny prístup t.j. kombináciu tzv. skriningových metód pre rýchlu detekciu stavu zariadenia a kvantifikačných metód pre detailné hodnotenie indikácií.

Tento nový prístup má veľké výhody, nakoľko skriningovými metódami môžeme vykonávať kontrolu počas prevádzky napr. bez nutnosti odstránenie izolácie, pri zachovaní toku média, za vysokých teplôt, bez nutnosti stavby lešenia atď. Na základe výsledkov kontroly niektorou zo skriningových metód

následne používame kvantifikačné metódy pre detailné hodnotenie indikácií iba na vybraných miestach. Týmto dochádza k výraznej úspore nákladov vďaka skráteniu času na vykonanie detailnej kontroly, redukcii množstva lešenia, zníženiu rozsahu demontáže izolácií a zníženiu celkového času na odstávku.

Vnútrotná kontrola potrubia – robotická kontrola

Kontrola pomocou robotov/skenerov, ktoré sú diaľkovo riadené NDT technikom, je budúcnosť nedeštruktívnej kontroly. Výhody sú nesporné. Ide nie len o zrýchlenie a zvýšenie efektivity kontroly, ale predovšetkým o zabránenie vystaveniu pracovníka eventuálnemu riziku.

Revolučným prístupom je použitie robotického zariadenia, ktoré je schopné potrubie najprv vyčistiť a následne je osadené kamerou pre vizuálnu kontrolu (VT) a zariadením EMAT/UT pre meranie hrúbky steny potrubia (vid'. Obr.1).



Obr. 1 Robotické zariadenie na vizuálnu kontrolu potrubia

Popis zariadenia

Robotické zariadenie na Obr. 1 je zariadenie vyvinuté spoločnosťou JettyRobot s.r.o., ktoré je možné využiť pre priemery potrubia DN200 - DN1350, podľa konfigurácie.

Vďaka unikátnej technológii sklopných ramien je zariadenie schopné prejsť cez redukcie či iné zmeny profilu potrubia. Zariadenie pracuje s napätím 100-220VAC.

Zariadenie je najprv osadené hlavicou pre vnútrotné čistenie potrubia. Po ukončení čistenia sa hlavica demontuje a nasadí sa kamera s vysokým rozlíšením a jej prostredníctvom sa vykoná vizuálna kontrola. V ďalšom kroku sa nasadí zariadenie pre meranie hrúbky steny (EMAT/UT) a na vybraných miestach sa vykoná meranie hrúbky steny. Čistenie môže byť vykonané tlakovou vodou, stlačeným vzduchom, suchým landom, abrazívom alebo mechanickým odstránením nečistôt napr. kefou.

Robot môže byť dodatočne osadený aj modulom pre nanášanie farby či iných povlakov.

Výhodou zariadenia je jeho modulárnosť, čo znamená, že robot je možné vybaviť rôznymi ďalšími modulmi napr. pre vykonanie nedeštruktívneho skúšania inými metódami než EMAT/UT.

Maximálna dĺžka potrubia, ktoré je možné robotom skontrolovať z jedného prístupového miesta je 1,5km. Celková dĺžka skontrolovaného potrubia závisí od trasy potrubia, počtu oblúkov, redukcii a pod.

Priebeh kontroly

Jednotlivé fázy kontroly závisia od miery znečistenia vnútorného povrchu potrubia a od požiadaviek k výkonu NDT kontrol. Typický priebeh kontroly má 6 základných fáz:

1. fáza – vyčistenie potrubia,
2. fáza – odstránenie zvyškov z čistenia potrubia,
3. fáza – vizuálna kontrola potrubia kamerou,
4. fáza – výber kritických miest,
5. fáza – premeranie kritických miest a ich okolia (meranie hrúbky steny – EMAT/UT),
6. fáza – analýza a spracovanie dát.

Spracovanie dát

Pre vizuálnu kontrolu je možné použiť kameru s vysokým rozlíšením a tiež kameru s možnosťou zoomu pre zaistenie optimálneho zobrazenia detailu. Dáta sú následne spracované vo forme videozáznamu, príp. je možné vytvoriť „rozvinutý plášť potrubia“.

Najnovšou novinkou je aplikácia umelej inteligencie, ktorá pomáha inšpektorovi automatizovane detegovať indikácie. Týmto sa kontrola stáva ešte viac presnejšia a spoľahlivejšia, ale na začiatku vyžaduje značné množstvo dát k naplneniu databázy.

ZÁVER

V dnešnej dobe už nedeštruktívne kontroly materiálu nie sú iba o použití určitej metódy, ale tiež o návrhu optimálneho prístupu k jej vykonaniu. Tento prístup spočíva v kombinácii skríningových metód pre rýchlu detekciu stavu kontrolovaného zariadenia (resp. jeho vybranej časti) a metód pre detailné hodnotenie indikácií tzv. kvantifikačnými metódami (metódami, ktorými je možné zmerať rozmery a charakteristiky chyby).

Stále častejšie sme našimi zákazníkmi oslovovaní s požiadavkou nie len na vykonanie kontroly, ale aj návrhom vhodnej metódy NDT na vykonanie tejto kontroly a ďalej aj komplexným zhodnotením stavu kontrolovaného potrubia, nádoby, nádrže, ocelevej konštrukcie, zariadenia a pod. na základe vykonaných kontrol a skúšok. Tým sa dostávame k poskytovaniu komplexnej služby kontrol tzn. vypracovanie inšpekčného plánu ⇒ realizácia kontrol ⇒ vyhodnotenie stavu ⇒ návrh opatrenia (stanovenie životnosti a s tým spojená eventuálna úprava podmienok prevádzky; vykonanie vhodnej opravy a pod.), ktorá je neoceniteľným a veľmi efektívnym nástrojom pre znižovanie nákladov.

Budúcnosť pri vykonávaní kontrol najmä v neprístupných miestach, ako sú najmä potrubia, je v nasadení robotických zariadení. Použitím týchto zariadení sa kontrola stáva efektívnejšia, spoľahlivejšia a bezpečnejšia. Tiež sa nám ponúka možnosť kontrolovať zariadenie a konštrukcie v miestach, ktoré kvôli obmedzenému prístupu pracovníkov nebolo v minulosti možné spoľahlivo diagnostikovať a tým sledovať integritu konštrukcie v maximálne možnom rozsahu.

Autori:

Ing. Jan Vytřísal, MBA
Generálny riaditeľ
SEPS, a.s.
Údernícka 11, 85101, Bratislava
Tel.: +421 2 68 245 720;
E-mail: jan.vytrisal@sepssk.sk
www.sepssk.sk

Ing. Petr Palatka
Business Development
JettyRobot s.r.o.
Modřanská 621/72, 143 00 Praha 4
Tel.: +420 603 848 839
Email: palatka@jettyrobot.cz
www.jettyrobot.cz

Ing. Pavel Petrášek
Manažer pro nové NDT technologie
GAMALUX Plzeň spol. s r.o.
Komořanská 326/63, 143 00 Praha 4
Tel.: +420 725 726 281; Email:
petrasek@gamalux.cz;
www.gamalux.cz

MOŽNOSTI REVERZNÉHO INŽINIERINGU A ADITÍVNEJ VÝROBY PRI NÁROČNÝCH A ČASOVO LIMITOVANÝCH OPRAVÁCH V PRIEMYSLE

Peter BRZIAK, Miroslav JÁŇA, Vojtech VÁCLAV, Rastislav DANKOVIČ

Anotácia

Techniky reverzného inžinieringu zahŕňajú analýzu existujúceho dielu, ako aj zhodnotenie dostupných informácií o jeho konštrukcii a funkcii, aby sa umožnila jeho výroba respektíve oprava. Reverzný inžiniering sa zvyčajne používa v situáciách, keď nie sú k dispozícii úplné informácie o pôvodnom dizajne, dodávateľia už neexistujú alebo je dodacia lehota náhradného dielu neprijateľná. Článok popisuje niektoré dôležité faktory úspešnej aplikácie reverzného inžinieringu. Zároveň uvádza príklad úspešnej realizácie reverzného inžinieringu a aditívnej výroby v procese náročnej opravy poškodeného hriadeľa.

Kľúčové slová: reverzný inžiniering, aditívna výroba

ÚVOD

Keďže dodávateľia zariadení a náhradných dielov neustále odchádzajú z trhu alebo majú (špeciálne v súčasnom období) neakceptovateľné dodacie doby, výrobné firmy musia využívať nové prístupy, aby zabezpečili obstarávanie náhradných dielov respektíve ich kvalifikovanú a efektívnu opravu/údržbu. Preto je nevyhnutné zavádzať inovatívne techniky na analýzu, návrh a vyhotovenie náhradných dielov pre existujúce zariadenia alebo na modifikáciu zariadení respektíve inštalovanie nových alternatívnych náhradných zariadení. Reverzný inžiniering je účinným nástrojom na dosahovanie týchto cieľov. Ak je vhodne aplikovaný, môžu firmy ktoré ho poskytujú prevziať plnú zodpovednosť za kvalitu vyrobeného/opraveného dielu. Kolaterálny efekt je že výrobné firmy môžu využívať svoje zariadenia oveľa efektívnejšie, znížiť náklady na opravy a údržbu a zavedením nových obchodných väzieb zvýšiť dostupnosť dielov. Najuniverzálnejšia definícia opisuje reverzné inžiniering ako:

„proces duplikácie dielu fyzickým preskúmaním a zhodnotením dostupných informácií (funkčných, fyzikálnych a materiálových charakteristík) nevyhnutných pre jeho výrobu.“

Reverzný inžiniering siaha do počiatkov priemyselnej revolúcie. Výraznejšie sa rozšíril až v poslednej dobe. Prvým iniciátorom celoplošného a systematického programu reverzného inžinieringu zameraného na priemysel bola vláda USA v 80-tich rokoch minulého storočia. Bol to dôsledok cien náhradných dielov a komponentov účtovaných dodávateľmi pre obranný priemysel. Jeho výsledkom bolo vypracovanie legislatívneho rámca na ochranu zákazníka a rozšírenie konkurencie dodávateľov. Po vyriešení legislatívnych problémov a zavedení normalizovanej metodológie pre reverzný inžiniering boli armádou USA rozbehnuté viaceré projekty ktoré priniesli úspory cca. 400 mil. USD už počas prvých troch rokov existencie metodológie.

Primárnym cieľom príspevku je poskytnúť úvahy na to ako a kedy použiť reverzný inžiniering na dielce a komponenty výrobných zariadení. Sekundárnym cieľom je poskytnúť určitý pohľad ako analyzovať náklady v prístupovať k rizikám reverzného inžinieringu.

1 AKTUÁLNA SITUÁCIA NA TRHU S DODÁVKOU/OPRAVOU/ÚDRŽBOU NÁHRADNÝCH DIELOV

Počas fázy výstavby boli výrobné zariadenia a ich časti navrhované s použitím klasických inžinierskych metód. Konštrukčné návrhy boli prevzaté z iných priemyselných zariadení a tieto boli upravované pre potreby príslušných aplikácií, tak aby vyhoveli špecifickým licenčným požiadavkám podnikov, vhodnosti pred daný účel a existujúcim regulačným predpisom. Obvykle bol konštrukčným návrhom poverený výrobca originálneho zariadenia. Toto je dôvod prečo sa väčšina výrobnej dokumentácie nachádza mimo výrobných firiem. Niektorí dodávatelia považovali svoje konštrukčné riešenia za svoje súkromné vlastníctvo a tým pádom umožňovali podnikom alebo tretím stranám len obmedzený prístup k projektovej dokumentácii. Pokles dopytu pro výrobe výrobných celkov, spolu so snahami o alternatívne inžinierske riešenia a technickým pokrokom v konštrukčnom riešení spôsobili, že **mnohí výrobcovia originálnych zariadení prestali primerane podporovať svoje dlhodobu prevádzkované výrobné jednotky**, respektíve si pýtajú za náhradné diely vysoké sumy a ponúkajú neakceptovateľné dodacie doby. Najhorší stav je v jadrovej energetike kde cca. 50–70% tradičných jadrových dodávateľov opustila tento segment alebo ho v najbližších rokoch hodlá opustiť.

Keďže podniky a zariadenia navrhnuté pred viac ako 30 rokmi neustále starnú tak sa tento problém ešte viac vyhrcoje. Dodávatelia budú aj naďalej opúšťať trh spolu s väčšinou historickej technickej dokumentácie. Bude čoraz ťažšie alebo dokonca nemožné dostať sa k nejakým informáciám o návrhu jednotlivých konštrukčných uzlov. Ďalším problémom je zmena vlastníckych pomerov, odchod kľúčových ľudí do dôchodku, respektíve reštrukturalizácia firmy na iné ekonomicky perspektívnejšie odvetvia čím stráca udržiavanie zastaranej konštrukčnej dokumentácie pre veľa dodávateľských firiem význam. Tento problém ešte zhoršuje akútna potreba výrobných firiem výrazne znížiť náklady na prevádzku a údržbu tak, aby boli konkurencieschopné a zároveň dodržiavali požiadavky národnej legislatívy a svoje vlastné interné predpisy.

Nedostatok tradičných dodávateľov bude teda podniky nútiť aby pristúpili k modifikácii technickej úrovne komponentov tak aby využívali techniky **reverzného inžinieringu na analýzu, návrh a výrobu náhradných dielov pre existujúce zariadenia**. Podniky budú musieť vytvárať nové obchodné vzťahy aby dokázali k svojmu prospechu využiť pozitívne aspekty reverzného inžinieringu, výroby a modifikácie potrebných prvkov. **Reverzný inžiniering je účinným nástrojom na dosiahnutie týchto cieľov**. Dáta získané pomocou reverzného inžinieringu možno použiť aj na podporu obstarávania alebo vstupnej kontroly/preberania výrobku. Reverzný inžiniering môže byť tiež použitý ako účinný nástroj pri analýze koreňovej príčiny porušenia a aktualizácii položiek.

2 EKONOMICKÉ FAKTORY REVERZNÉHO INŽINIERINGU – ROZHODOVACÍ PROCES

Hlavným cieľom úspešného projektu reverzného inžinieringu je vytvoriť súbor informácií, ktorý bude postačujúci na výrobu nového dielu, čoho výsledkom **môže byť** vlastníctvo technickej dokumentácie a fakt, že riadenie procesu navrhovania (konštrukcie) **môže byť** prenesené na príslušný podnik.

Historicky dodávatelia odmietajú poskytovať technickú dokumentáciu alebo iné údaje svojim zákazníkom. Avšak akonáhle podniky začali využívať reverzný inžiniering na vybrané komponenty, niektorí dodávatelia začali poskytovať technickú dokumentáciu za minimálny poplatok. Uvedomujúc si skutočnosť, že podniky sú úspešné pri reverznom inžinieringu rôznych položiek, niektorí dodávatelia ponúkajú dodanie tej istej **položky za podstatne nižšiu cenu ako to bolo pri predošlom**

obstarávaní. Dodávateľa taktiež predávajú komponenty, ktoré získavajú subdodávateľsky od výrobcov nižšej úrovne (t. j. s nižšími cenami). Takže položka je dodaná podniku prostredníctvom dodávateľov, ale v skutočnosti bola vyrobená treťou stranou. Jedným z účelov reverzného inžinieringu je preto podstatné zníženie nákladov vytvorením konkurenčnej ponuky a eliminovaním nákladného obstarávania z jedného zdroja. *Tab. 1* popisuje dve základné možnosti ako môže dodávateľ vyrobiť náhradný diel. V oboch prípadoch na konci zákazky vlastní zákazník výkresovú dokumentáciu.

Tab. 1 Scenáre dodávky výrobku vyrobeného pomocou reverzného inžinieringu.

Konštrukčné detaily	Scenár	Zodpovednosť zákazníka	Zodpovednosť dodávateľa
Konštrukčné detaily dielu sú známe	<ul style="list-style-type: none"> Zákazník poskytuje kompletný dizajn. Diel vyrobený podľa priemyselných štandardov. 	<ul style="list-style-type: none"> Zákazník poskytuje kompletný dizajn. Zákazník vlastní výrobné výkresy dizajnu, je zodpovedný za všetky očakávané parametre dielu vrátane modifikácií. 	<ul style="list-style-type: none"> Dodávateľ nerobí konštrukčnú prácu. Dodávateľ vyrába podľa dodanej výkresovej dokumentácie Dodávateľ osvedčuje výkresovú dokumentáciu zákazníka.
Konštrukčné detaily dielu NIE sú známe	<ul style="list-style-type: none"> Zákazník poskytuje poškodený/ nepoškodený diel. Zákazník poskytuje technické/ prevádzkové nároky na diel/zariadenie. 	<ul style="list-style-type: none"> Zákazník si overuje či je dodávateľ schopný poskytnúť plnohodnotný reverzný inžiniering. V objednávke sa definuje zodpovednosť za konštrukčné riešenie. Zákazník potvrdí dodávateľom navrhnuté konštrukčné riešenie. Zákazník bude vlastniť detaily konštrukčného riešenia. Zákazník poskytuje informácie potrebné na osadenie dielu do zariadenia. 	<ul style="list-style-type: none"> Dodávateľ musí získať konštrukčné informácie. Dodávateľ osvedčuje hodnotu dodávaného dielu pre zákazníkom požadovaný účel. Dodávateľ poskytuje výrobnú dokumentáciu zákazníkovi na schválenie.

Podniky môžu dosiahnuť značné úspory nákladov reverzným inžinieringom dielu ako aj jeho obstaraním priamo od originálneho výrobcu nižšej úrovne s nižšou cenou. Kľúčom k tejto metóde je ale stanovenie kto je vlastne výrobcom nižšej úrovne. To môže byť často ťažkou úlohou. Riešením môže byť dôkladná technická analýza náhradného alebo prevádzkovaného dielu a sledovanie akýchkoľvek znakov alebo iných informácií, ktoré odhalia výrobcu nižšej úrovne.

3.1 Analýza rizika

Reverzný inžiniering má vlastné špecifické rizika. Veľakrát sa môžu vydať značné zdroje len preto, aby sa zistilo, že nie je možné získať dostatok informácií na aplikáciu reverzného inžinieringu danej položky. Riziko úspešnosti projektu je preto priamo úmerné zložitosti dielu, ktorý sa má vyrobiť pomocou reverzného inžinieringu ktorý sa musí zavádzať veľmi starostlivo s realistickým zvážením dostupných zdrojov a pravdepodobnosti úspechu. V princípe je možné každý diel vyrobiť reverzným inžinieringom, ak na je na to dostatok času a pridelených zdrojov, nie vždy je to ale najvýhodnejšie riešenie. V princípe platí že náklady na reverzný inžiniering extrémne zložitých dielov sa nemusia vrátiť respektíve výsledok nemusí byť zodpovedajúci vynaloženej námahe. Špeciálne výrobné podniky veľakrát nedisponujú prístrojovým vybavením a odborným personálom na realizáciu reverzného inžinieringu.

3.2 Analýza nákladov a prínosov

Analýza nákladov a prínosov pre klasické projekty reverzného inžinieringu v priemysle je málokedy jednoznačná, nakoľko sú informácie skreslené viacerými faktami. Ak však existuje možnosť že včasné nedodanie dielu alebo komponentu môže spôsobiť výpadok výroby závodu už len na jeden deň, potom je akýkoľvek projekt reverzného inžinieringu opodstatnený. Je ale potrebné zmeniť prístup vyhodnotenia obstarávacej ceny náhradného dielu. **Namiesto vyhodnocovania každého obstarávania iba na základe aktuálnej je potrebné zvážiť úsporu nákladov, ktoré sa môžu dosiahnuť prostredníctvom reverzného inžinieringu a analýzy nákladov na životný cyklus zariadení a ich komponentov.**

Problémy, ktoré je potrebné riešiť z hľadiska nákladov na životný cyklus samotného výrobku, sú:

- I. Frekvencia potreby výmeny dielu.
- II. Požadovaná údržba dielu.
- III. Priemerný čas medzi opravami.
- IV. Priemerný čas medzi poruchami.
- V. Spoľahlivosť dielu.
- VI. Celková kvalita dielu.

Na overenie či sa oplatí firme investovať reverzného inžinieringu sa dá použiť veľmi jednoduchý vzorec:

$$NRE = \frac{(LCS - REC)}{REC}$$

kde

NRE = Návratnosť po aplikácii reverzného inžinieringu.

LCS = Rozdiel medzi nákladmi na diel dodaný/vyrobený tradičným spôsobom a nákladmi za diel vyrobený pomocou reverzného inžinieringu. V týchto nákladoch sa musia odzrkadliť benefity reverzného inžinieringu počas celého životného cyklu ako dielu tak aj samotnej výrobnéj technológie. V prípade že ide o diel ktorý sa počas životného cyklu výrobnéj technológie viackrát vymieňa tak sa tento rozdiel násobí príslušným počtom výmen.

REC = Náklady spojené s reverzným inžinieringom daného dielu.

Príklad: náhradný diel stojí na trhu 20 000 € a počas životného cyklu technológie je potrebné ho 10 x vymeniť. Cena dielu je po reverznom inžinieringu 15 000 €. Cena za tvorbu technickej dokumentácie pomocou reverzného inžiniering je 20 000 €, potom

$$NRE = \frac{((20\,000 - 15\,000) \times 10 - 20\,000)}{20\,000}$$

NRE = 1,5

V princípe sa reverzný inžiniering oplatí pre akékoľvek NRE väčšie ako 1. V praxi sa ale firmy intenzívne zaujímajú o reverzný inžiniering pri hodnotách NRE nad 2,5. Samotný rozhodovací proces je samozrejme oveľa zložitejší. Tab. 2 uvádza názorný príklad odhadu použiteľnosti reverzného inžinieringu. Hodnoty NRE sú vypočítané na základe nasledovných údajov:

- I. cena za aplikáciu reverzného inžinieringu bola stanovená ako 50 % ceny dielu.
- II. Diel sa počas životného cyklu výrobnej jednotky vymieňa 20 x.
- III. Rozsah ceny za diel vyrobený reverzným inžinieringom sa pohybuje od 100 % do 50 % z ceny dielu ktorý je oddaný štandardne.

Z Tab. 2 vyplýva že reverzný inžiniering sa v princípe neoplatí aplikovať ak cena takto vyrobených dielov ja na úrovni cca. 85 % ceny štandardne dodaného dielu. V prípade ceny pod 70 % z ceny štandardne dodaného dielu, je návratnosť investície do reverzného inžinieringu už po výmene 5 dielov.

Jednou z najväčších položiek pri odhade ceny dielu ktorý je vyrobený reverzným inžinieringom sú tolerancie a povrchová drsnosť. Ide o parametre ktoré môžu, ak sú zle definované:

- A. Spôsobiť nefunkčnosť dielu (podhodnotené tolerancie a zle definovaná drsnosť).
- B. Zásadne zvýšiť výrobnú cenu (zbytočne presné tolerancie zle definovaná úroveň povrchových úprav). Zvýšenie výrobných tolerancií o rád môže zvýšiť cenu výroby 20 násobne. Výpočet NRE potom ukáže nekorektné hodnoty.

Tab. 2 Príklad odhadu vhodnosti aplikácie reverzného inžinieringu.

Počet dielov za životný cyklus	Cena dielu vyrobeného spätným inžinieringom (% z ceny dielu a dodaného štandardným spôsobom)										
	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50
1	-0,50	-0,45	-0,40	-0,35	-0,30	-0,25	-0,20	-0,15	-0,10	-0,05	0,00
2	-0,50	-0,40	-0,30	-0,20	-0,10	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
3	-0,50	-0,35	-0,20	-0,05	0,10	0,25	0,40	0,55	0,70	0,85	1,00
4	-0,50	-0,30	-0,10	0,10	0,30	0,50	0,70	0,90	1,10	1,30	1,50
5	-0,50	-0,25	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
6	-0,50	-0,20	0,10	0,40	0,70	1,00	1,30	1,60	1,90	2,20	2,50
7	-0,50	-0,15	0,20	0,55	0,90	1,25	1,60	1,95	2,30	2,65	3,00
8	-0,50	-0,10	0,30	0,70	1,10	1,50	1,90	2,30	2,70	3,10	3,50
9	-0,50	-0,05	0,40	0,85	1,30	1,75	2,20	2,65	3,10	3,55	4,00
10	-0,50	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50
11	-0,50	0,05	0,60	1,15	1,70	2,25	2,80	3,35	3,90	4,45	5,00
12	-0,50	0,10	0,70	1,30	1,90	2,50	3,10	3,70	4,30	4,90	5,50
13	-0,50	0,15	0,80	1,45	2,10	2,75	3,40	4,05	4,70	5,35	6,00
14	-0,50	0,20	0,90	1,60	2,30	3,00	3,70	4,40	5,10	5,80	6,50
15	-0,50	0,25	1,00	1,75	2,50	3,25	4,00	4,75	5,50	6,25	7,00
16	-0,50	0,30	1,10	1,90	2,70	3,50	4,30	5,10	5,90	6,70	7,50
17	-0,50	0,35	1,20	2,05	2,90	3,75	4,60	5,45	6,30	7,15	8,00
18	-0,50	0,40	1,30	2,20	3,10	4,00	4,90	5,80	6,70	7,60	8,50
19	-0,50	0,45	1,40	2,35	3,30	4,25	5,20	6,15	7,10	8,05	9,00
20	-0,50	0,50	1,50	2,50	3,50	4,50	5,50	6,50	7,50	8,50	9,50

3 APLIKÁCIA REVERZNÉHO INŽINIERINGU

Aby bol proces reverzného inžinieringu účinný mal by byť integrovaný v celom podniku. Jeden z kľúčov k úspešnému programu reverzného inžinieringu je identifikácia vhodných kandidátov. Voľba kritérií pre každý jednotlivý podnik bude odlišná a bude závisieť na individuálnom vyhodnotení. Avšak, na základe spätnej väzby z priemyslu najbežnejšie využitie reverzného inžinieringu vychádza z:

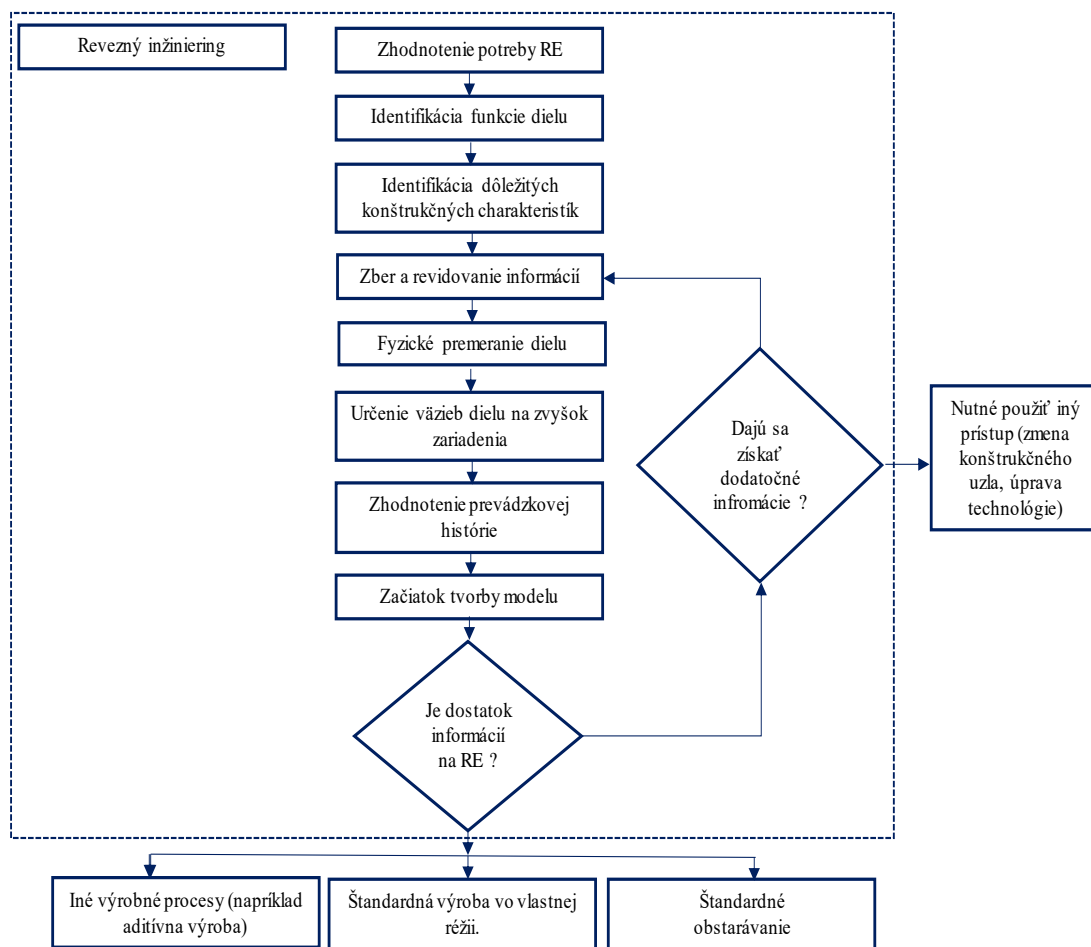
- úrovne morálneho a fyzického opotrebenia dielov,
- počtu dielov pri ktorých výrobca nedisponuje primeraným programom zabezpečenia kvality,
- úrovne technickej podpory výrobcov náhradných dielov,
- rastu ceny náhradných dielov,
- dodacej doby.

Požiadavky na reverzný inžiniering môžu **byť iniciované personálom údržby, systémovými inžiniermi, personálom vstupnej kontroly, nákupcami alebo inými pracovníkmi podniku, ktorí sa zaoberajú prevádzkou a údržbou.**

Proces reverzného inžinieringu vyžaduje multidisciplinárny prierezový tím. Keďže tento proces vyžaduje analytické vyhodnotenie údajov a inžinierske posúdenie daného komponentu, je logické aby primárne zodpovedná skupina mala dostatočnú úroveň odbornosti v strojárnských disciplínach.

Pred rozhodnutím aplikovať reverzný inžiniering sa odporúča, aby podnik zvážil všetky ostatné opatrenia a metódy, ako je alternatívna náhrada alebo technické úpravy. Reverzný inžiniering nesie riziká a neexistuje garancia úspechu a to ani pri značných výdajoch. Riziko sa taktiež exponenciálne zvyšuje so zložitosťou danej položky. Riziká sú vyššie ak sa nejedná o komponent bezprostredne súvisiaci s bezpečnosťou prevádzky alebo o komponent ktorý je súčasťou tlakového celku. Podnik môže využívať techniky reverzného inžinieringu v rôznych štádiách prevádzky a údržby výrobných zariadení. **Komponenty môžu byť ošetrené reverzným inžinieringom aj v prípade ak sa požaduje zlepšenie procesu vstupnej kontroly,** respektíve podnik má pochybnosť o adekvátnosti ponúknutého technického riešenia dodaného dielu. Pred prístupom k samotnému výkonu reverzného inžinieringu reverzného inžinieringu by mal podnik mal vykonať audit jeho vhodnosti z technického hľadiska. Zároveň musí byť preukázané že reverzný inžiniering je ekonomickejšou alternatívou k iným prístupom ako je napríklad oprava.

Obr. 1 popisuje všeobecný proces reverzného inžinieringu (definovanie kritických charakteristík, zber a vyhodnocovanie údajov atď.), ktorý možno vykonávať aj v inom poradí ako je zobrazené na vývojovom diagrame. Niektoré kroky môžu byť zase vynechané na báze posúdenia od prípadu k prípadu, pokiaľ sú nepoužiteľné pre daný prípad.

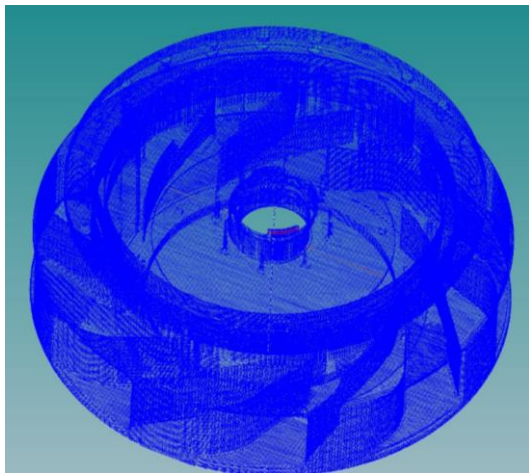


Obr. 1 Vývojový diagram aplikácie reverzného inžinieringu.

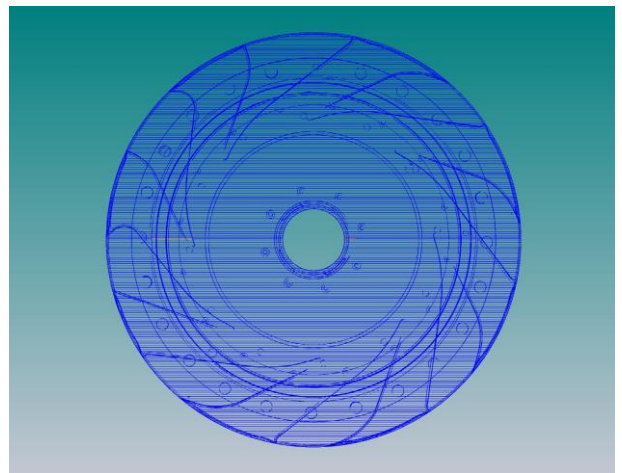
Ak má realizátor reverzného inžinieringu potvrdené, že má dostatok údajov na jeho realizáciu, potom sa pristupuje k samotnému výkonu činností ktoré sa dajú rozdeliť na nasledovné položky:

1. 3D Skenovanie (tvorba mraku bodov)
2. Tvorba a úprava trojuholníkových sietí
3. Tvorba alebo aktualizácia CAD modelov
4. Príprava výkresovej dokumentácie
5. Virtuálna montáž
6. Príprava výroby
7. Výroba, kontrola kvality

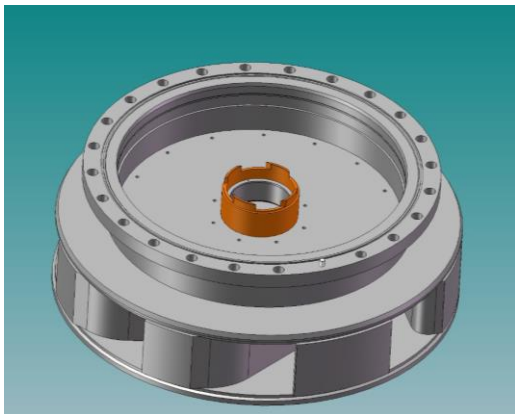
Obr. 2 dokumentuje príklad položiek 1,2, 3 a 4 na vyššie uvedenom zozname.



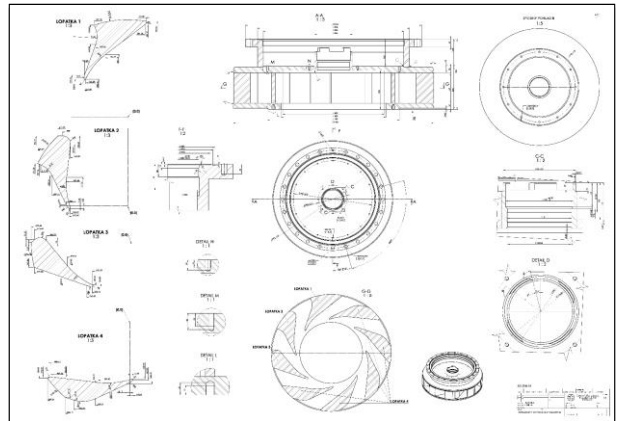
1



2



3



4

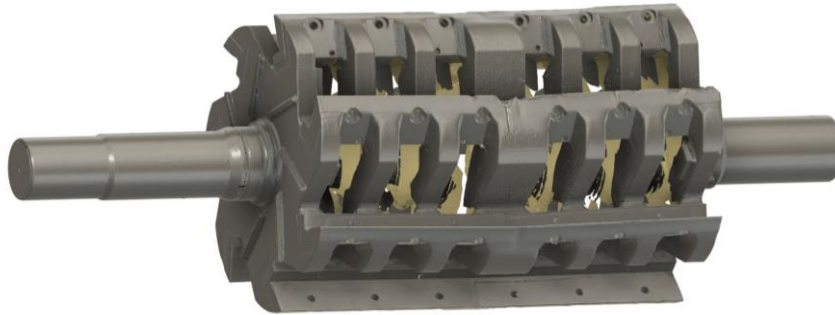
Obr. 2 Reverzný inžiniering rozvážacieho kola hlavného cirkulačného čerpadla primárneho okruhu JE (zdroj VÚZ).

4 ADITÍVNA VÝROBA A REVERZNÝ INŽINIERING

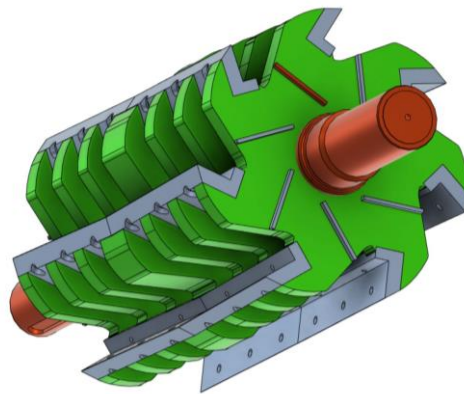
Aditívna výroba má s reverzným inžinieringom špecifický vzťah. Aditívna výroba sa dá použiť všade tam kde sa požaduje rýchlo vyrobiť relatívne zložitý tvar dielu respektíve jeho časti; a najdôležitejšou úlohu hrá časový faktor. Typický príklad je identifikácia poškodeného dielu alebo časti výrobného zariadenia počas krátkodobej odstávky. Dodacia doba tradične vyrábaného dielu (odliatok, výkovok, obrobok) je niekoľko mesiacov. Pomocou vhodnej aplikácie reverzného inžinieringu a aditívnej výroby sa môže doba výroby náhradného dielu respektíve opravy časti zariadenia skrátiť na niekoľko dní.

Obr. 3 dokumentuje náročnú opravu drviča s fatálnym poškodením pracovných plôch. Zákazník sa po zvážení ekonomických a časových hľadísk rozhodol aplikovať prístup reverzného inžinieringu. (viď Obr. 2 a Obr. 3) na základe ktorého bol vytvorený model drviča (Obr. 3 a b) ktorý bol počítačovo spojený so scanom jeho reálneho stavu (Obr. 3 c). Súčasťou reverzného inžinieringu bola aj pozitívna

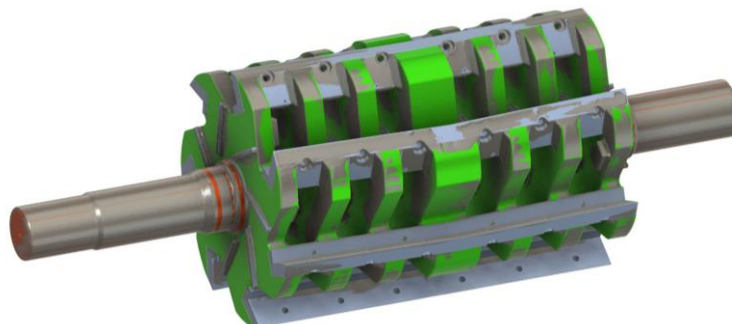
identifikácia materiálu drviča a analýza prevádzkovej histórie včítane analýzy príčiny poškodenia. Na základe takto získaného podkladu sa potom navrhla a overila technológia opravy naváraním chýbajúcich častí. Takýmto spôsobom sa dajú aditívne opraviť aj oveľa rozsiahlejšie poškodenia respektíve úplne nahradiť chýbajúce časti komponentu. V hraničnom prípade sa da takýmto spôsobom vyrobiť za krátky čas celý komponent.



a) 3D scan drviča



b) Model vytvorený spätným inžinieringom



c) Počítačové prepojenie reálneho scanu a modelu vytvoreného spätným inžinieringom

Obr. 3 3D scan poškodeného drviča (zdroj VÚZ).

5 ZÁVER

Príspevok:

1. načrtol úvahy ako a kedy použiť reverzný inžiniering na dielce a komponenty výrobných zariadení,
2. uviedol zjednodušený pohľad ako analyzovať náklady v prístupovať k rizikám reverzného inžinieringu,
3. definoval základné postupy pri reverznom inžinieringu,
4. uviedol konkrétny prípad reverzného inžinieringu spojeného s aditívnou výrobou.

Autori:

Peter Brziak, Miroslav Jáňa, Vojtech Václav, Rastislav Dankovič,
Výskumný ústav zväračský z.z.p.o., Bratislava
Tel.: +421 915 751 724 E-mail: brziakp@vuz.sk

IDENTIFIKÁCIA RIZÍK PREVÁDZKY SKUPINY UAV VYUŽITÍM ANALÝZY PRÍČIN A NÁSLEDKOV

Pavol PECHO, Július FEDÁŠ

ÚVOD

Hodnotenie spoľahlivosti je dôležitou a neoddeliteľnou súčasťou plánovania, navrhovania, výroby a prevádzky všetkých inžinierskych systémov. Ich zlyhanie môže často spôsobiť účinky, ktoré siahajú zanedbateľných až po tie so závažným dopadom na spoločnosť a prostredie. V prípade UAV hrá spoľahlivosť dôležitú úlohu, keď si jeho použitie vyžaduje zaistenie bezpečnostných podmienok, aby sa umožnil bezproblémový prístup do vzdušného priestoru. Štúdia spoľahlivosti UAV tiež umožňujú identifikovať potenciálne prostriedky na zlepšenie dostupnosti a efektivity ich použitia, ako aj zníženie obstarávacích a prevádzkových nákladov [1].

Počas procesu navrhovania UAV¹ existuje niekoľko aspektov, ktoré by sa mali vziať do úvahy. Medzi najdôležitejšie aspekty sú považované vytrvalosť, dolet, zaťaženie, bezpečnosť a funkčnosť. Bezpečnosť sa zvyčajne dosahuje pomocou hardvérovej redundancie a niektorých ďalších metód, ako je adaptívne riadenie a včasná detekcia porúch. Funkčnosť je dosiahnutá výberom vhodných hardvérových a softvérových modulov. Návrh UAV je však komplexná úloha a musia ju vykonávať odborníci z rôznych oblastí odbornosti. Jednou z najdôležitejších potrieb pri navrhovaní a vývoji UAV je mať vopred známe všetky požiadavky [2][3][4]. Je dôležité preskúmať možné situácie, ktoré môžu nastať počas prevádzky UAV. Na tento typ analýzy a vyšetrovania sa používajú rôzne metódy.

Jednou z často používaných metód, vykonávaných už v koncepčnom štádiu návrhu systému, je analýza príčiny a následkov porúch (Failure Mode and Effect Analysis). Táto metóda sa používa na efektívne predpovedanie a zvládanie rôznych režimov porúch a ukázalo sa, že je to skutočne efektívny a spoľahlivý nástroj systémového inžinierstva. Práve to je dôvod voľby tejto metódy pre potreby identifikácie rizík skupinovej prevádzky UAV, kedy sa riziko a možnosť zlyhania jednotlivých bezpilotných prostriedkov ale aj systému ako celku násobne zvyšuje.

1 FMEA – ANALÝZA PRÍČIN A NÁSLEDKOV V PRAXI

FMEA je analytická technika na definovanie, identifikáciu a odstránenie známych a/alebo potenciálnych porúch, problémov a chýb zo systému, návrhu, procesu a/alebo služby predtým, ako sa dostanú ku konečnému používateľovi [5]. Hlavným cieľom FMEA je identifikovať potenciálne spôsoby zlyhania, vyhodnotiť príčiny a účinky rôznych spôsobov zlyhania komponentov a určiť, čo by mohlo eliminovať alebo znížiť pravdepodobnosť zlyhania. Výsledky analýzy môžu pomôcť analytikom identifikovať a opraviť chybové režimy, ktoré majú škodlivý vplyv na systém, a zlepšiť jeho výkon počas štádií návrhu a výroby. FMEA sa používa predovšetkým na vykonávanie analýz rizík podsystémov a systémov, ale môže byť užitočná aj pri vykonávaní predbežných analýz nebezpečenstiev a prevádzkových analýz nebezpečenstiev. Od svojho zavedenia ako podporného nástroja pre dizajnérov sa FMEA vo veľkej miere používa v širokom spektre priemyselných odvetví,

¹ UAV - Unmanned Aerial Vehicle (Bepilotný lietajúci prostriedok)

vrátane leteckého, automobilového, jadrového, elektronického, chemického a medicínskeho priemyslu [6][7][8]. FMEA sa pôvodne používala pre mechanické komponenty, ale dnes je veľmi užitočná v elektronických a softvérových komponentoch [9].

Poskytuje prostriedky na identifikáciu a dokumentáciu:

1. Potenciálne oblasti zlyhania v procese, systéme, komponente alebo postupu.
2. Možné dôsledky zlyhania procesu, systému, komponentu alebo postupu.
3. Možné príčiny zlyhania.
4. Metódy znižovania pravdepodobnosti zlyhania.
5. Metódy zlepšovania prostriedkov zisťovania príčin porúch.
6. Klasifikácia rizík zlyhaní, ktorá umožňuje rozhodnutia na základe rizika.
7. Východiskový bod, z ktorého je možné vytvoriť plán kontroly.

Hlavnými výhodami použitia metódy FMEA je zníženie nákladov, skrátenie času potrebného od projektovej fázy po uvedenie na trh, zlepšenie kvality a spoľahlivosti produktov, pričom nastáva zvýšenie bezpečnosti ich prevádzky.

1.1 Typy FMEA analýzy

FMEA návrhu

Účelom tohto typu FMEA je identifikovať a predchádzať poruchovým režimom výrobkov, ktoré súvisia s ich návrhom, aby sa overili stanovené parametre návrhu pre špecifickú úroveň funkčného výkonu na úrovni systému, subsystému alebo komponentu. Najdôležitejšou funkciou tohto typu FMEA je identifikácia v počiatočných fázach vývoja návrhu možných porúch s cieľom eliminovať ich vplyvy, vybrať optimálny variant návrhu a vytvoriť dokumentačnú základňu na podporu budúcich návrhov s cieľom minimalizovať riziko, že sa chybné produkty dostanú ku koncovému používateľovi [10].

FMEA procesu

Sa zameriava na potenciálne zlyhania procesu, ktoré sú spôsobené nedostatkami výrobného alebo montážneho postupu. Procesná FMEA je dvoch typov: výrobná FMEA a montážna FMEA. Vo FMEA výroby sú režimy porúch vo všeobecnosti rozmerové alebo vizuálne. Zatiaľ čo v FMEA zostavy sú to vo všeobecnosti relačné rozmery, chýbajúce diely, diely zmontované nesprávne [10].

1.2 Metóda FMEA analýzy

V FMEA hrá funkčná analýza kľúčovú úlohu pri identifikácii potenciálnych porúch. Pomáha pochopiť rôzne funkcie a súvisiace výkonnostné kritériá systému a každého jeho funkčného bloku a identifikovať vzájomné vzťahy medzi funkciami.

Prvým krokom v FMEA je identifikácia všetkých možných spôsobov zlyhania produktu alebo systému prostredníctvom systematického brainstormingu. Ďalej by sa mali pre každý komponent identifikovať všetky možné spôsoby zlyhania. Pre každý komponent sa musia zvážiť účinky každého režimu poruchy na ostatné komponenty alebo celý systém – s osobitnou pozornosťou venovanou akýmkoľvek poruchám v bežnom režime [11]. Potom sa vykoná kritická analýza týchto porúch, pričom sa zohľadnia rizikové faktory: výskyt (V), závažnosť (Z) a detekcia (D) [10].

RPN (Risk Priority Number), hodnota rizika, sa vypočíta vzájomným vynásobením výskytu, závažnosti a detekcie:

$$RPN = V * Z * D$$

Na získanie RPN potenciálneho režimu zlyhania sa jednotlivé rizikové faktory hodnotia pomocou 10-bodovej stupnice (Tabuľka 1). Čím vyššie je RPN režimu zlyhania, tým väčšie je riziko pre spoľahlivosť produktu/systému. Vzhľadom na skóre RPN je možné zoradiť režimy zlyhania a potom sa prednostne prijímú správne opatrenia pre režimy s vysokým rizikom zlyhania. RPN by sa mali po zavedení korekčných opatrení prepočítať, aby sa zistilo, či sa riziká znížili, a aby sa skontrolovala účinnosť nápravných opatrení pre každý režim zlyhania [5][10].

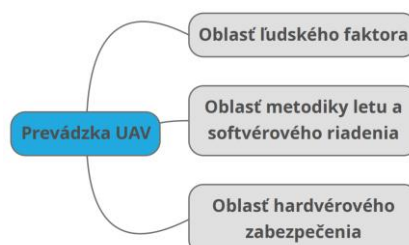
Tabuľka 1: Hodnota parametrov na určenie RPN.

Výskyt (V)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Výskyt takmer nemožný					Výskyt takmer neodvratný				
Závažnosť (Z)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Minimálny efekt na bezpečnosť					Katastrofické zlyhanie				
Detekcia (D)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Detekcia istá					Nedetekovateľné				

Dokončené výsledky FMEA môžu slúžiť ako spätná väzba pre proces návrhu, umožňujúca informované revízie, ktoré zlepšujú spoľahlivosť systému. Závažnosť môže byť znížená iba zmenou dizajnu. Ak je to dosiahnuteľné, potom sa porucha odstráni. Výskyt možno znížiť zlepšením špecifikácií úloh a/alebo požiadaviek v službe/procese s cieľom predchádzať príčinám alebo znížiť ich frekvenciu. Detekciu možno znížiť pridaním alebo zlepšením vyhodnocovacích techník, zväčšením veľkosti vzorky a/alebo pridaním detekčného zariadenia. Výsledkom bude zlepšenie schopnosti odhaliť poruchu skôr, ako sa dostane k zákazníkovi [5].

2 APLIKÁCIA FMEA DO HODNOTENIA RIZÍK UAV

V procese hodnotenia rizík či už prevádzky samostatného UAV, alebo skupiny, je potrebné zohľadnenie niekoľkých aspektov, ktoré so sebou nemusia priamo súvisieť pri zohľadnení spoločných merateľných ukazovateľov. Počas tvorby FMEA návrhu ide o oblasti zachytené na nasledujúcom obrázku pomocou vizualizácie hierarchie FMEA.



Obr. 1 Základné členenie systému v prvej úrovni FMEA

Napriek tomu že dané oblasti spolu nesúvisia, sú vzájomne prepojené cez prevádzku UAV a ďalej pokrývajú sekundárne, až terciárne oblasti po ich jednotlivom rozčlenení. Nasledujúce podrobné členenie identifikuje schému hierarchie oblastí pre návrh tvorby FMEA analýzy a jej využitia v praxi.

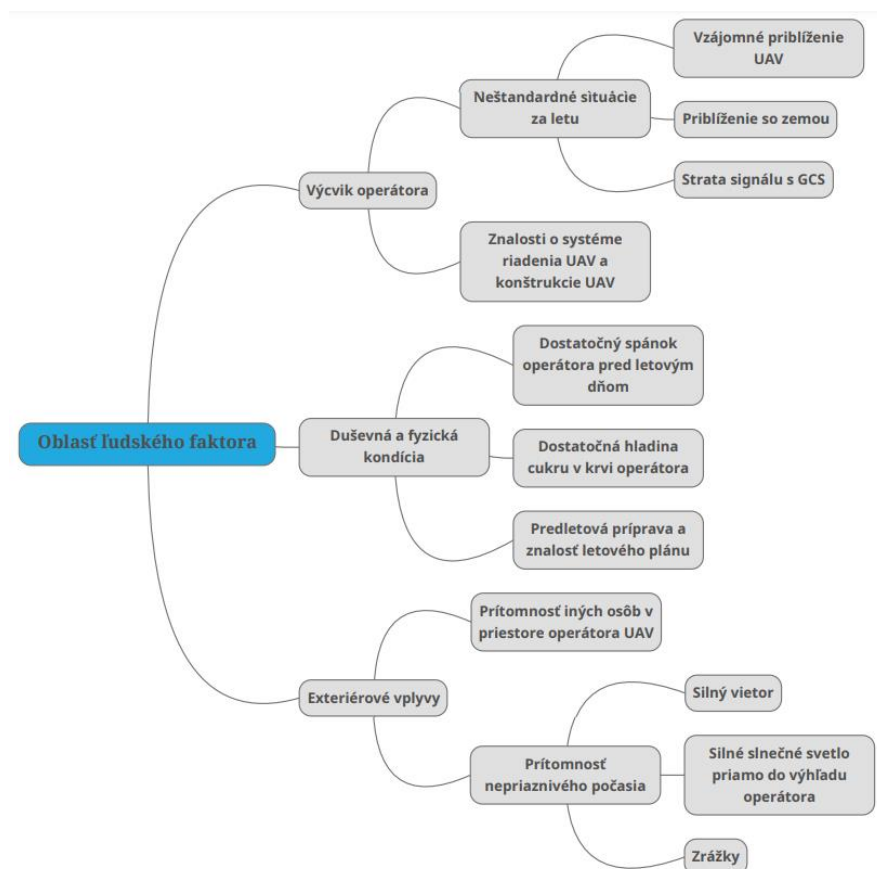
Prvou oblasťou FMEA analýzy je ľudský faktor (Obr. 2), alebo faktory. Ľudské faktory sa vzťahujú na environmentálne, organizačné a pracovné faktory a ľudské a individuálne vlastnosti, ktoré ovplyvňujú správanie pri práci spôsobom, ktorý môže ovplyvniť zdravie a bezpečnosť. Ide o podstatný vplyv na celkovú bezpečnosť prevádzky a z pohľadu sekundárneho členenia sem spadajú nasledovné oblasti:

- výcvik operátora,
- exteriérové vplyvy,
- duševná a fyzická kondícia.

V rámci týchto vplyvov sa môže na príklade parametra výcviku operátora vyskytnúť chyba v podobe nevládnutej neštandardnej situácie, ktorá by sa dala vyhodnotiť vynásobením výskytu, závažnosti a detekcie ako:

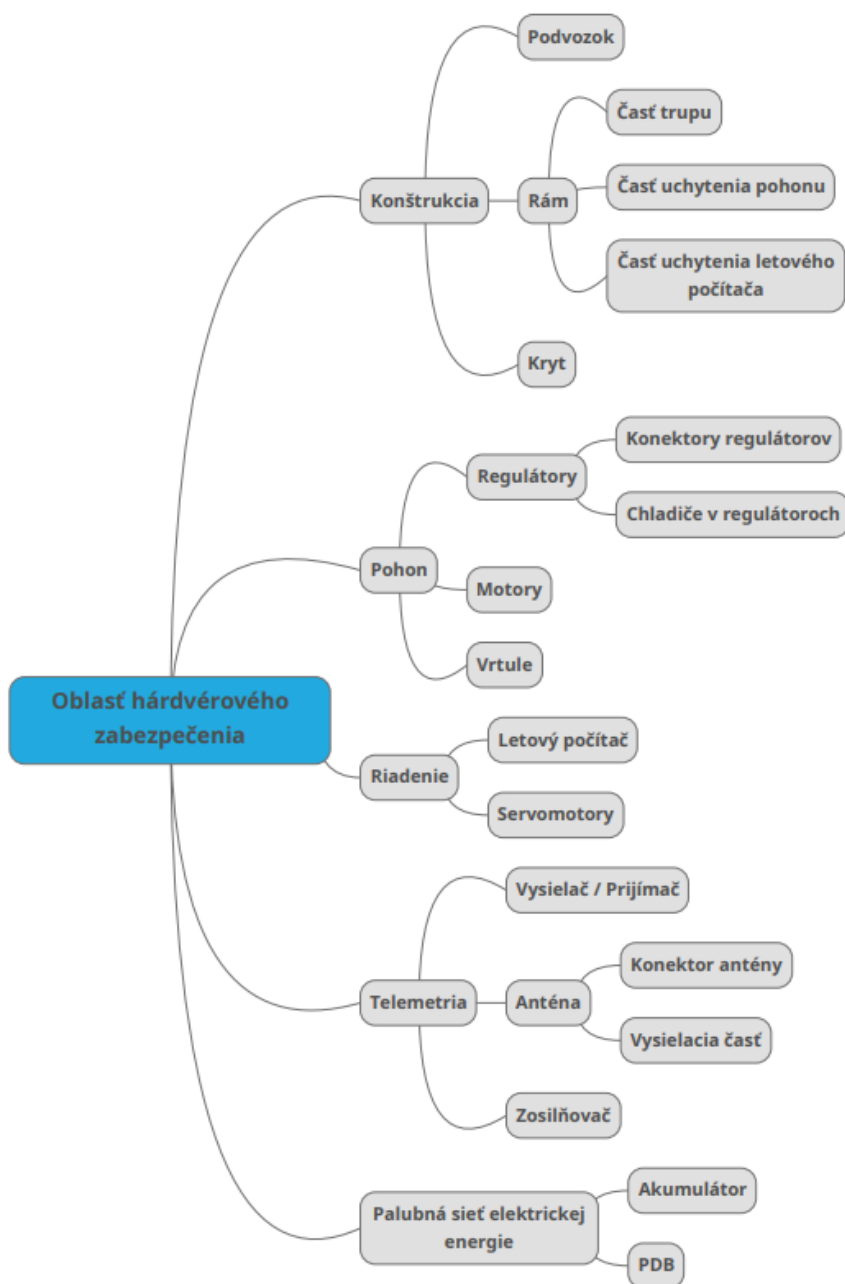
- výskyt – nevyskytujúca sa často (hodnotenie 2),
- závažnosť – v prípade že sa chyba udeje, závažnosť bude vysoká (hodnotenie 10),
- detekcia – takúto absenciu skúseností ťažko detegovať (hodnotenie 8).

V prípade že operátor neštandardnú situáciu nevládne, vedie to k havárii UAV a k udalostiam, ktoré sú nepriaznivé. Daná oblasť môže byť prepojená ako s konštrukciou, napríklad vznik neštandardnej situácie v dôsledku poruchy hardvérového zabezpečenia, alebo môže byť prepojená s oblasťou metodiky letu a softvérového riadenia, kedy môže vzniknúť neštandardná situácia v dôsledku nesprávne zvolenej metodiky letu.



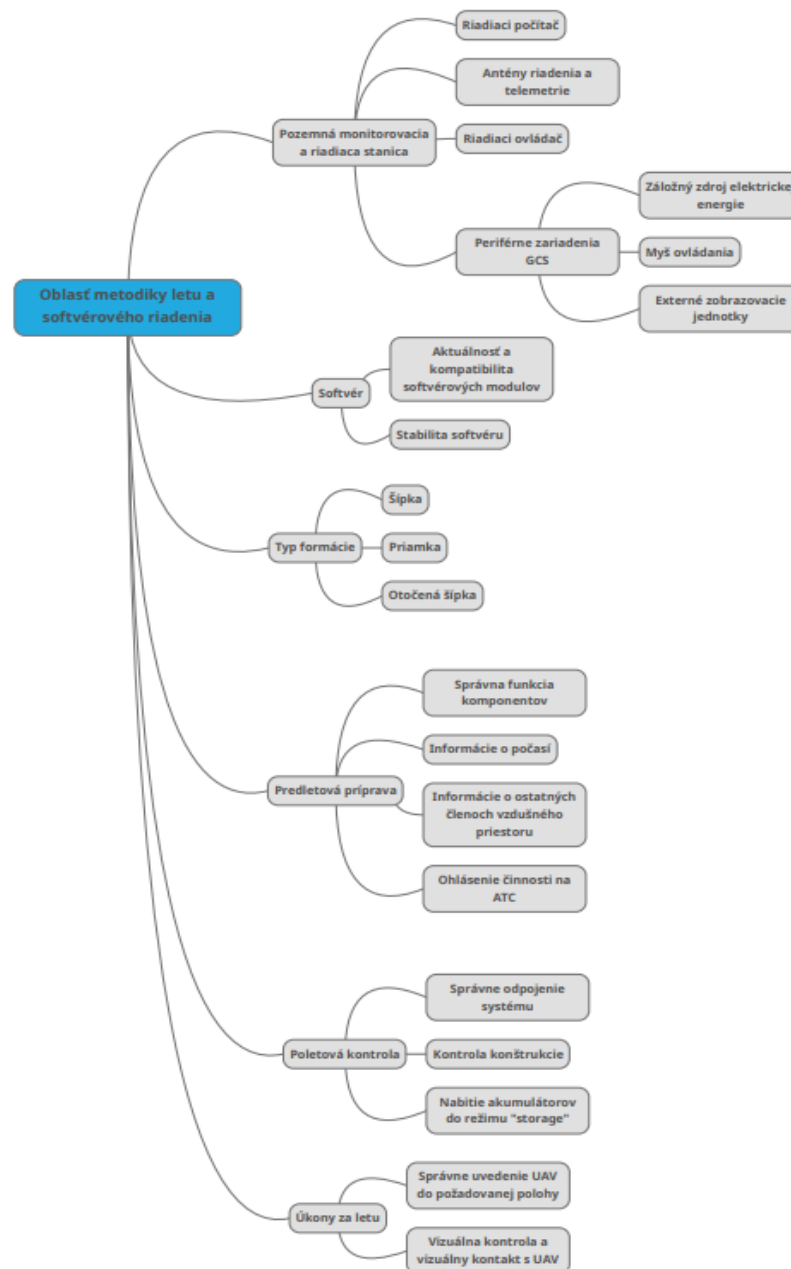
Obr. 2 Schéma hierarchie oblasti ľudského faktora prevádzky UAV

Druhou väčšou oblasťou je hardvérového zabezpečenia. Ide o štandardnú analýzu technickej schémy konštrukcie UAV a identifikácie kritických miest v konštrukcií. Daná oblasť pokrýva všeobecné rozloženie komponentov pre UAV typu multikoptér, ako aj pevných krídel a helikoptér. Oblasť je prepojená aj na ostatné dve (ľudský faktor a metodika letu) formou spoločných následkov v prípade zlyhania, prípadne formou spoločnej funkčnej siete s vrcholovou udalosťou, a to je úspešné zvládnutie letovej misie. V hierarchii siete (Obr. 3) je možné rozdeliť sieť na konštrukciu, rám, podvozok, riadenie a podobne. Ako príklad niektorej časti je možné uviesť napríklad vrcholový komponent – vrtuľu pohonu, ktorá sa nachádza v sekcii pohonu. Samotná vrtuľa môže byť uvedená do stavu kedy neplní funkciu hneď niekoľkými spôsobmi ako napríklad zlé dotiahnutie skrutiek, prasklina na vrtuli, alebo napríklad tvorba námrazy, ktorá je prepojená s oblasťou metodiky letu, alebo aj exteriérovými vplyvmi. Všetky poruchové stavy je možné individuálne hodnotiť na výšku RPN.



Obr. 3 Schéma hierarchie oblasti hardvérového zabezpečenia prevádzky UAV

Poslednou oblasťou hlavného rozdelenia je oblasť metodiky letu a softvérového riadenia. V rámci aplikácie FMEA ide o pokrytie najmä procesných úkonov, ktoré zohrávajú kľúčovú rolu v úspešnom prevedení misie UAV či už v lete sólo, alebo v skupine. Táto oblasť v sebe zahŕňa okrem úkonov aj pozemnú riadiacu a monitorovaciu stanicu (GCS²) a softvér riadenia. V praktickej prevádzke ide o komponenty, bez ktorých by let nebol uskutočniteľný a preto zohrávajú kľúčovú rolu. V príklade hierarchie (Obr. 4) sa GCS skladá z komponentov ako riadiaci počítač, periférnych komponentov, softvéru, antén a podobne. V prípade zlyhania niektorého z komponentov by mohlo viesť toto zlyhanie k prerušeniu misie, alebo až k poruche a havárii UAV. Prepojenie danej oblasti s inými je prostredníctvom priamej linky medzi GCS a napríklad pohonom UAV, ktorý je riadený pokynmi softvérového riadenia GCS.



Obr. 4 Schéma hierarchie oblasti metodiky letu a softvérového riadenia prevádzky UAV

² GCS – Ground Control Stations – Pozemná riadiaca a monitorovacia stanica

Okrem riadenia zohráva kľúčovú rolu aj metodika letu, typ formácie, a príprava a kontrola UAV pred a po lete, respektíve misií. Zásadným faktorom je aj uloženie UAV pred vzletom a ich uloženie do formačných pozícií. Nasledujúci obrázok (Obr. 5) zachytáva simulovanú trajektóriu letu troch UAV vo formácií v tvare šípky a vzájomné prekríženie trajektórií. Na obrázku je možné vidieť že oranžová trajektória sa v prípadoch ostrých zákrut stretáva so žltou trajektóriou, čo znamená riziko stretu UAV za letu. Pomocou simulácie je preto možné presné stanovenie hodnôt možnosti detekcie (D) a výskytu (V) a s jasne stanoveným parametrom závažnosti (Z) pre určenie hodnoty RPN.



Obr. 5 Ukážka trajektórií letu formácie v tvare šípky troch UAV

Z pohľadu FMEA je identifikácia typu formácie variabilný podľa typu zvoleného UAV, preto sa v hierarchii a formulári FMEA vyskytuje v presne stanovenom tvare. Ako príklad možno uviesť faktory ovplyvňujúce vhodnosť výberu formácie – rýchlosť letu, vertikálna a horizontálna vzdialenosť UAV, uhol zákrut UAV a podobne.

Z pohľadu prepojenia primárnych oblastí je možné uviesť príklad v poletovej kontrole letu UAV a uvedenia akumulátorov do režimu „storage“, teda nabitia, alebo vybitia akumulátorov na hodnotu napätia pre dlhodobé skladovanie akumulátora bez činnosti. Štandardnou hodnotou je napätie 3,8V na jeden článok akumulátora. V prípade ak by sa dlhodobo nechal akumulátor buď v plne nabitom stave, alebo opačne, akumulátor by nespĺňal očakávané parametre letu a stratil by potrebnú kapacitu, čo by viedlo k poruchovému stavu z oblasti hardvérového zabezpečenia, ako aj k neštandardnej situácii za letu – teda oblasti z ľudského faktora a k samotnej havárii UAV. Príklady hierarchie FMEA analýzy zachytávajú nasledujúca schémy obrázkov 2 až 4, ktoré v sebe spájajú v niektorých prípadoch až 4 úrovne jednotlivých parametrov daného systému pre hodnotenie úrovne RPN zobrazených častí, celkov a komponentov. Takto aplikovaná FMEA analýza je v praxi schopná zvýšiť bezpečnosť letov UAV a identifikovať kritické miesta, ktoré súvisia priamo s ich prevádzkou.

ZÁVER

Predkladaný článok predstavuje návrh využitia analýzy príčin a následkov (FMEA) v procese hodnotenia rizika prevádzky UAV ako v samostatnom, tak v skupinovom lete pre zabezpečenie čo najvyššej možnej miery bezpečnosti. V súčasnosti sa UAV prevádzkujú na dennej báze od amatérskych cez profesionálnych používateľov, až po aplikácie silových, záchranných a vládnych zložiek. Zvýšenie bezpečnosti vplýva významným spôsobom na legislatívnu úpravu začlenenia UAV do rôznych aplikácií a predovšetkým v ich priemyselnom využití. Práve systém hodnotenia rizík by umožnil objektívne hodnotenie reálnych rizík a stanovenie úrovne bezpečnosti prevádzky konkrétneho systému s možnosťou nápravných opatrení.

POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: „Výskum a vývoj využiteľnosti autonómnych lietajúcich prostriedkov v boji proti pandémie spôsobenej COVID-19“, Kód ITMS2014+: 313011ATR9, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Použitá literatúra

- [1] DoD. *Unmanned Aerial Vehicle Reliability Study*. Department of Defense, Office of the Secretary of Defense, 2003.
- [2] Torun, E. *Uav requirements and design consideration*. Turkish Land Forces Command Ankara. TURKEY, Tech. Rep., 2000.
- [3] Elands, P., Kraker, J., Laarakkers, J., Olk, J., Schonagen, J. *Technical aspects concerning the safe and secure use of drones*. TNO, Tech. Rep., 2016.
- [4] Schneider, T. *Fault-tolerant Multicopter Systems*. ETH Zurich, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, 2011.
- [5] Stamatis, D. H. *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution*. New York: ASQC Press, 2003.
- [6] Chang, K. H., Cheng, C. H. *Evaluating the risk of failure using the fuzzy OWA and DEMATEL method*. Journal of Intelligent Manufacturing, 2011. s. 113–129.
- [7] Chen, L. H., Ko, W. C. *Fuzzy linear programming models for new product design using QFD with FMEA*. Applied Mathematical Modelling, 2009. s. 633–647.
- [8] Sharma, R. K., Kumar, D., & Kumar, P. *Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling*. International Journal of Quality & Reliability Management, 2005. s. 986–1004.
- [9] Ahamad, S., Gupta, R. (2022). *Criticality Analysis for Safety-Critical Systems Using FMEA*. Innovations in Computing. Smart Innovation, Systems and Technologies, Springer, Singapore, 2022.
- [10] Sharma, K.D. Srivastava, S. *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Implementation: A Literature Review*. Copyr. J. Adv. Res. Aeronaut. Sp. Sci. J. Adv. Res. Aero SpaceSci, 2018.
- [11] Freeman P., G. J. Balas G. J. *Actuation failure modes and effects analysis for a small UAV*, American Control Conference, Portland, OR, USA, 2014. s. 1292-1297.

Autori:

Ing. Pavol Pecho, PhD.

odborný asistent

Žilinská univerzita v Žiline, F PEDaS, Katedra leteckej dopravy

Július Fedáš

študent 5. ročníka odboru Letecká doprava

ÚDRŽBA BEZPILOTNÝCH LIETAJÚCICH PROSTRIEDKOV V CIVILNOM POUŽITÍ

Pavol PECHO, Patrik VEĽKÝ

ÚVOD

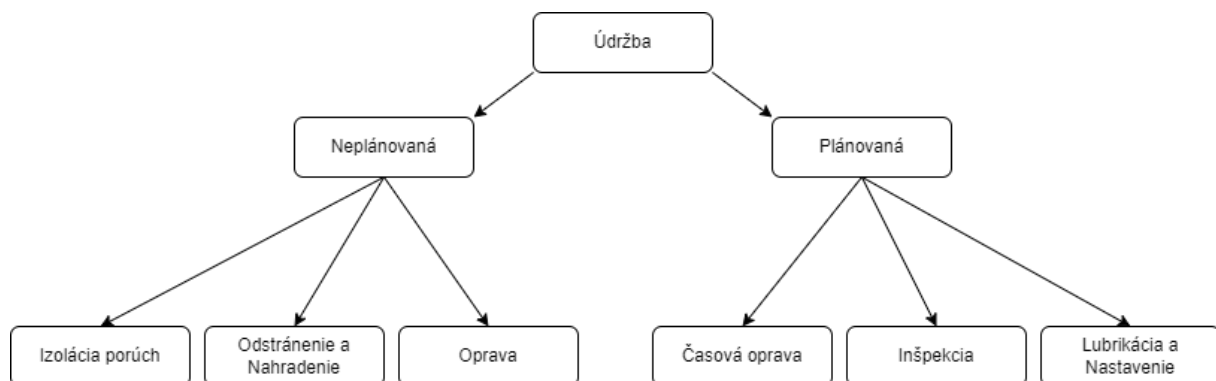
V súčasnej dobe je vykonávanie leteckej údržby vysoko profesionálnou činnosťou zahrňujúcou rozsiahle množstvo potrebných úkonov. Samotná činnosť údržby, personál ktorý ju vykonáva, nástroje, ktoré sú používané, priestory v ktorých sa pracuje, organizácie, ktoré tieto nástroje, personál a priestory certifikuje a množstvo ďalšieho, sú vykonávané, aby bola zabezpečená bezpečnosť práce a prevádzky. Avšak údržba bezpilotných dopravných prostriedkov, ktorých činnosť sa dostáva neustále do popredia, nie je tak značne regulovaná. Ich údržba si nevyžaduje toľké úsilie, ktoré má zabezpečiť to, čo údržba lietadiel.

Účelom tohto článku je poukázať na túto rozdielnosť a nevyhnutnosť, ktoré je potrebné dostať do povedomia a navrhnúť určité opatrenia s nimi spojenými.

1 ÚDRŽBA LIETADIEL

Letecký sektor je špecifické odvetvie v rôznych smeroch, pričom náklady sú jedným z nich. Po palive je údržba najväčším blokom nákladov, ktorým aerolínie čelia. Údržba lietadiel si vyžaduje kvalifikovaných pracovníkov, ktorí pracujú v najrôznejších podmienkach, ako sú: zúžené priestory, práca vo výške, práca s elektrikou, práca v chlade a hlučnosti, s najrôznejšími zariadeniami [1].

Vykonávanie údržby je možné opísať pomocou Obr. 1, kde je zobrazený postup vykonávaných prác pri údržbe lietadiel.



Obr. 1 Rozdelenie údržby

Plánovaná údržba sa tiež často označuje ako A, B, C alebo D check, ktoré sa vykonávajú po určitých časových intervaloch. A check sú rutinné prehliadky, ktoré sa vykonávajú zvyčajne po 100 odlietaných hodinách alebo tzv. 250 cykloch, kde 1 cyklus vyjadruje prevádzku motora od vzletu po pristátie. B check je podobný A check, ale zahŕňa rozdielne úlohy, zvyčajne v intervaloch medzi A check. C check sa vykonáva približne raz ročne v závislosti od vyťaženia lietadla. Zahŕňa rozsiahlu údržbu, ktorá trvá v priemere 4 až 7 dní [2]. Nakoniec D check, tiež známy ako generálna oprava, prebieha v závislosti od použitia lietadla po 6 až 10 rokoch. Zahŕňa rozsiahlu inšpekciu a opravu celého lietadla. Čas generálnej opravy sa môže vyšplhať až na 6 týždňov [3].

Akákoľvek údržba lietadiel podlieha legislatíve, ktorá určuje jej podmienky. V prípade dráhovej údržby, ktorá sa vykonáva mimo hangáru, sú povolené určité možnosti opráv či inšpekcií [4]. V prípade ťažkej údržby, ktorá je vykonávaná menej frekventovane, musí dôjsť k jej vykonávaniu v hangári. Hangár musí byť vybavený certifikovaným náradím a zariadeniami a musí zabezpečovať bezpečné vykonávanie prác. Niektoré, prevažne avionické zariadenia, sú častokrát ciachované a opravované v externých firmách mimo hangáru či samotného letiska. Tieto firmy podobne ako údržbové strediská, podliehajú legislatíve [5].

Personál vykonávajúci údržbu spadá po Annex 1, čo je prvý z 18-tich dodatkov medzinárodnej dohody. Ten určuje podmienky personálu, ktorý vykonáva špecifické činnosti v oblasti letectva. Každý člen údržby musí byť certifikovaný pracovník, ktorý preukázal svoje vedomosti a zručnosti počas predpísaných testov a povinnej praxe [6].

Akákoľvek organizácia, ktorá školí budúcich mechanikov, či iných pracovníkov v leteckom sektore, podlieha tzv. Časti 147. Takáto inštitúcia musí spĺňať definované podmienky k vydávaniu takýchto certifikácií. Musí zabezpečovať zariadenia, personál, vybavenie, nástroje a materiál, dokumentácie činností, postupov a zodpovedností, prístup k relevantným dátam a ich uchovávanie [7].

Údržba leteckej techniky si vyžaduje obrovské množstvo časových a finančných nákladov, kvalifikovaných pracovníkov, špecializovaných stredísk, rozsiahlej dokumentácie a mnoho ďalšieho. Na základe stručne opísaných podmienok, ktoré musí spĺňať sektor údržby lietadiel, je možné skonštatovať náročnosť a komplexnosť údržby lietadiel, ktorá v sebe zahŕňa postupy bezpečnej a ekonomicky hospodárnej prevádzky.

2 ÚDRŽBA BEZPILOTNÝCH DOPRAVNÝCH PROSTRIEDKOV

Prevádzka bezpilotných dopravných prostriedkov (UAV) má veľmi široké spektrum využitia. Od typu prevádzky sa vzťahujú mnohé podmienky, ako napr. kto môže UAV prevádzkovať. Let UAV nemá taký zásadný vplyv na bezpečnosť ako let lietadla, ale vzhľadom na stále sa zvyšujúci počet UAV letov a na rôzne typy prevádzky ich použitia, bola vydaná vyhláška, určujúca, že akýkoľvek let UAV za účelom podnikania, musí byť vykonávaný certifikovaným operátorom [8].

Množstvo nehôd spojených s ľudským zranením je vysoké, a uvádza sa, že takéto zranenia sa v rokoch 2015 až 2020 vyšplhali až na 4250, pričom 21% týchto zranení bolo na osobách mladších ako 18 rokov [9]. Až takmer 60% prevádzkovateľov uviedlo, že zažilo akýkoľvek typ nehody pri prevádzke [10]. Pričom sa uvádza, že pri zložitejších prípadoch konštrukcie UAV, sa nesprávna údržba podieľala až na 17% prípadov nehody [11].

K zabezpečeniu bezpečnej prevádzky nestačí, aby bol len jej prevádzkovateľ držiteľom licencie. Akákoľvek porucha elektrického či iného vybavenia UAV by mohla spôsobiť narušenie bezpečnosti a z toho dôvodu, je potrebné presne zadefinovať podmienky údržby a kontroly podobne, ako je to u lietadiel. V dnešnej dobe, pri kúpe UAV dodáva častokrát dodávateľ manuál, podľa ktorého je možné dané UAV kontrolovať či opravovať, alebo odporúča odosielať prostriedok na pravidelné kontroly do im stanoveného strediska [12-14].

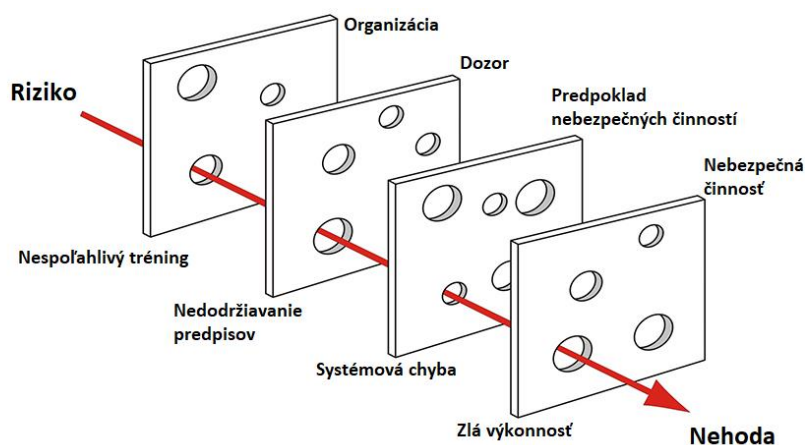
UAV je možné využívať pri rôznych aplikáciách ako mapovanie terénu, detekcia objektov, sledovanie, pátrania a záchrana, pre navigáciu, pre účely poľnohospodárstva a mnoho ďalšieho [15-17]. V prípade nedostatočnej zručnosti v riadení môže dôjsť ku škode na majetku, ktorá vo väčšine prípadov zahŕňa len samotné UAV. V prípade vyššej škody, ktorá by mohla predstavovať napr. náklad

ktorý UAV nieslo, prípadne nejaký požiar, ktorý spôsobil dopad prostriedku na určitý objekt, nesie zodpovednosť prevádzkovateľ.

Účelom leteckého priemyslu je minimalizovať pravdepodobnosť ohrozenia bezpečnosti, a chyba v údržbe UAV by mohla mať zásadný podiel na akejkolvek situácii, ktorá by mohla spôsobiť jej narušenie. Vyvodenie zodpovednosti je posledným krokom nebezpečnej prevádzky. K zamedzeniu takejto situácie je nevyhnutné regulovať spôsob údržby UAV podobne ako pri údržbe lietadiel.

3 NÁVRH ÚDRŽBY UAV

V letectve je často používaným modelom k zabezpečeniu bezpečnej prevádzky tzv. model švajčiarskeho syra Obr. 2. Každý plát predstavuje spôsob prevencie, ktorá zabráňuje nechceným udalostiam. Akákoľvek nehoda je potom len výsledkom viacerých zlyhaní na každej úrovni [18].



Obr. 2 Model švajčiarskeho syra (prevzaté a upravené z [19])

Podobná architektúra je navrhovaná aj pri údržbe UAV. Takýto model pozostávajúci zo spoľahlivých organizácií, kvalifikovaného personálu, s používaním certifikovaných nástrojov a materiálov je možný aplikovať na minimalizáciu možnosti akejkolvek nehody. Daný model vytvára predpoklad eliminácie pravdepodobnosti vzniku poruchy odstránením možných príčin a aplikáciou preventívnej, ako aj prediktívnej údržby sa opiera o aktuálne dostupné monitorovanie zariadenia pre stanovenie blížiaceho sa poruchového stavu. Vzhľadom na skutočnosť, že lietanie UAV pre osobné účely, športové účely by znamenalo pre množstvo majiteľov UAV finančne náročné hospodárenie, musí legislatíva zahŕňať presné špecifikovanie, ktoré určuje, kto musí dané opatrenia dodržiavať. Týkalo by sa to najmä podnikateľských činností a činností zahŕňajúce letecké práce. Prípadne by sa nariadenie týkalo UAV v hmotnostnej kategórii, ktorá by už predstavovala značné riziko v prípade stretu UAV s osobami, alebo objektami.

Podobne ako pri letectve, zavedenie medzinárodnej dohody o organizáciách prevádzkujúcich údržbu, organizáciách poskytujúcich certifikácie pre kvalifikovaný personál, alebo certifikácie povolených materiálov a nástrojov, je nevyhnutné. Takýto spôsob regulácie by mal taktiež výrazný vplyv na hospodárnosť, vzhľadom na to, že by poskytoval možnosť vytvárania nových pracovných miest pre kvalifikovaných ľudí.

4 ZÁVER

Vo svete stále väčšieho technologického rozvoja sa do popredia dostávajú systémy, ktoré pracujú automaticky, alebo sú pilotované na diaľku. Bezpilotné lietajúce prostriedky zachytávajú čoraz väčšie

kompetencie a ich aplikácia sa rozširuje z každodenného života na špecializované úlohy. Bežný človek už ani letiace UAV nad svojou hlavou nevníma, čo naznačuje ich úplnú integráciu do bežnej prevádzky. Údržba UAV patrí k oblastiam, ktoré prakticky, ani legislatívne nie sú aplikované v takej miere, aby pokryli všetky oblasti prevádzky UAV. Predkladaný článok navrhuje model údržby pre bezpilotné lietajúce prostriedky podľa vzoru údržby klasickej leteckej techniky v civilnej aplikácii. S ohľadom na bezpečnosť je nevyhnutné sledovanie technického stavu UAV, jeho pravidelná údržba a evidencia činnosti k zvýšeniu bezporuchovej prevádzky, bezpečnosti a celkovej efektívnosti prevádzky UAV.

POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: „Výskum a vývoj využiteľnosti autonómnych lietajúcich prostriedkov v boji proti pandémie spôsobenej COVID-19“, Kód ITMS2014+: 313011ATR9, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Použitá literatúra

- [1] Hobbs, A. Aircraft Maintenance and Inspection. V knihe International Encyclopedia of Transportation. Jún 2021, pp. 25-32.
- [2] Ajith, R. Aircraft Maintenance Engineering. Digital Notes. 2022.
- [3] Simpleflying. Dostupné na: <https://simpleflying.com/aircraft-maintenance-checks/>
- [4] Aircraft Enginner. Dostupné na: <https://www.aircraftengineer.info/aircraft-line-maintenance/>
- [5] Skybrary. Dostupné na: <https://skybrary.aero/articles/aircraft-maintenance>
- [6] ICAO Annex 1. Personnel Licensing. Júl 2018.
- [7] EASA. Course Syllabus. Part 147. Maintenance Training Organisation Approvals.
- [8] Kováčiková, K.; Kander, B.; Kováčiková, M. Výcvik Pilotov Bepilotných Prostriedkov. V AERO journal. 2022. DOI: <https://doi.org/10.26552/aer.C.2022.1.2>
- [9] Gorucu, S.; Ampatzidis, Y. Drone Injuries and Safety Recommendations. Jún 2021. DOI: doi.org/10.32473/edis-ae560-2021
- [10] Drone Blog. Dostupné na: <https://www.droneblog.com/drones-crash-fly-away/>
- [11] Williams, K. W. A Summary of Unmanned Aircraft Accident/Incident Data: Human Factors Implications. Final Report. December 2004.
- [12] Instruction Manual CW Series UAV CW-30. Apríl 2018.
- [13] Fly Dragon X Drone. Dostupné na: <http://www.dronefromchina.com/academy/maintenance-manual.html>
- [14] VDOT Governance Document. Unmanned Aerial Systems (UAS) Operations Manual. Január 2021
- [15] Nex, F.; Remondino, F. UAV for 3D Mapping Applications: A Review. V Applied Geomatics, Vyd. 6, pp. 1-15. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>
- [16] Chmaj, G.; Selvaraj, H. Distributed Processing Applications for UAV/drones: a survey. V Progress in Systems Engineering. 2015. pp. 449-454.
- [17] Gaurav, S.; Babankumar, B.; Lini, M. Unmanned Aerial Vehicle Classification, Applications and Challenges: A Review. 2018. DOI: 10.20944/preprints201811.0601.v1
- [18] EUROCONTROL. Revisiting the Swiss Cheese Model of Accidents. Október 2006.
- [19] Pattarachat, M.; Watcharaphat, M; Wisanupong, P. Operating Room and Flight Deck: What Do These Places Have in Common? V Siriraj Medical Journal. Október 2021, Vyd: 73. pp 710-720. DOI: 10.33192/Smj.2021.91

Autori:

Ing. Pavol Pecho, PhD.

Odborný asistent

Žilinská univerzita v Žiline, F PEDaS, Katedra leteckej dopravy

Ing. Patrik Veľký

Interný doktorand odboru Letecká doprava

ÚDRŽBA V MANAŽÉRSTVE HMOTNÉHO MAJETKU ZAMERANÁ NA ZVYŠOVANIE JEHO HODNOTY

Juraj GRENČÍK

Anotácia

Príspevok predstavuje novú európsku normu EN 17 485: 2021 Údržba v manažérstve hmotného majetku; Rámec na zvyšovanie hodnoty hmotného majetku v jeho celom životnom cykle, ktorá vyjde v slovenskom preklade v roku 2022. Norma uvádza metódy a postupy o údržbe v rámci manažérstva hmotného majetku pre všetky úrovne a funkcie manažérstva organizácií, vrátane manažérstva podnikového plánovania, manažérstva závodu, technického manažérstva, manažérstva výroby, finančného manažérstva, manažérstva majetku, manažérstva údržby a manažérstva kvality. Zaoberá sa princípmi manažérstva hmotného majetku, ktoré sú relevantné z hľadiska údržby v systematickom prístupe.

Kľúčové slová: manažérstvo majetku, európska norma, zvyšovanie hodnoty majetku

ÚVOD

Jednou z úspešných aktivít Slovenskej spoločnosti údržby (SSU) je prekladanie európskych noriem z oblasti údržby, ktoré realizuje v rámci dlhodobej spolupráce s Úradom pre normalizáciu, meranie a skúšobníctvo SR (ÚNMS SR), ktorého súčasťou sa stal Slovenský ústav technickej normalizácie (SÚTN). Začalo to v roku 2004 revíziou slovenského prekladu terminologickej nory EN 13 306:2000, a odvtedy prakticky každý rok je zavedená prekladom takmer každá nová norma pripravená pracovnou skupinou č. 319 „Údržba“ pri CENe.

Po roku tak predstavujeme ďalšiu európsku normu z oblasti údržby, ktorá v roku 2022 vyjde v slovenskom preklade. Tentoraz je to EN 17 485: 2021 Údržba v manažérstve hmotného majetku; Rámec na zvyšovanie hodnoty hmotného majetku v jeho celom životnom cykle. Norma nadväzuje na normu EN 16646: 2014 Údržba. Údržba v manažérstve hmotného majetku, ktorá však do slovenčiny nebola preložená (čo je trochu na škodu vzhľadom na preklad nadväzujúcej normy). Ale v prehľadnej tabuľke prebraných noriem tak zas pribudol ďalší riadok a manažéri údržby na Slovensku, tentoraz v spojení s manažermi majetku, majú zas ďalší materiál, ktorý môžu využiť pre efektívnejší chod a rozvoj svojich firiem.

Tab. 1 Prehľad európskych noriem z oblasti údržby preložených do slovenčiny

Norma	Slovenský preklad, rok vydania
EN 13306: 2001, 2010, 2018 Maintenance terminology	Terminológia údržby, 2005, 2011, 2018
EN 13269: 2006, 2016 Maintenance. Guideline on preparation of maintenance contracts	Údržba. Návod na prípravu zmlúv o údržbe, 2007, 2017
EN 15341: 2007, 2019 Maintenance. Maintenance Key Performance Indicators	Údržba. Kľúčové ukazovatele výkonnosti, 2007, 2021
CEN/TR 15628: 2007, 2014 Maintenance Qualification of Maintenance personnel	Údržba. Kvalifikácia pracovníkov údržby, 2008, 2015
EN 13460: 2009 Maintenance. Documentation for maintenance	Údržba. Dokumentácia údržby, 2009

EN 15331: 2011 Criteria for design, management and control of maintenance services for buildings	Kritériá návrhu, manažérstva a riadenia činností údržby budov, 2012
EN 16991: 2018 Risk-based inspection framework y	Rámec inšpekcie založenej na riziku, 2019
EN 17007:2017 Maintenance process and associated indicators	Proces údržby a súvisiace ukazovatele, 2020
EN 17485: 2020 Maintenance - Maintenance within physical asset management - Framework for improving the value of the physical assets through their whole life cycle	Údržba v manažérstve hmotného majetku. Rámec na zvyšovanie hodnoty hmotného majetku v jeho celom životnom cykle, plánované vydanie v 2022
EN 17 485: 2021 Maintenance within physical asset management; Framework for improving the value of the physical assets through their whole life cycle	Údržba v manažérstve hmotného majetku; Rámec na zvyšovanie hodnoty hmotného majetku v jeho celom životnom cykle

PREDMET NORMY

Norma EN 17485 uvádza metódy a postupy údržby v rámci manažérstva hmotného majetku pre všetky úrovne a funkcie manažérstva organizácií, vrátane manažérstva podnikového plánovania, manažérstva závodu, technického manažérstva, manažérstva výroby, finančného manažérstva, manažérstva majetku, manažérstva údržby a manažérstva kvality.

V roku 2014 bola publikovaná norma EN 16646 „Údržba. Údržba v rámci manažérstva hmotného majetku“, ktorá podáva všeobecný rámec na určenie úlohy údržby v rámci širšieho rámca manažérstva hmotného majetku, ale neuvádza podrobné metódy a postupy na jeho implementáciu alebo jeho zavedenie. Cieľom EN 17485 je preklenúť túto medzeru. Preto sa zaoberá princípmi manažérstva hmotného majetku, ktoré sú relevantné z hľadiska údržby a ponúka rámec pre systematický manažérsky prístup.

Cieľom normy je:

- vytvoriť a systematizovať prepojenie medzi podnikateľskými činnosťami, manažérstvom hmotného majetku a činnosťami údržby organizácií;
- ukázať vonkajšie a vnútorné ovplyvňujúce faktory a ich dôsledok na manažérstvo hmotného majetku a údržby;
- podporovať medzifunkčnú spoluprácu;
- riešiť transparentnosť pri rozhodovaní v organizáciách;
- venovať sa simulácii a vizualizácii ako efektívnym nástrojom na podporu rozhodovania;
- riešiť manažérstvo neistoty s cieľom zlepšiť kvalitu rozhodovania;
- zlepšiť manažérstvo informácií ako činnosti na dosiahnutie vyššie uvedených cieľov;
- riešiť udržateľnosť prevádzky.

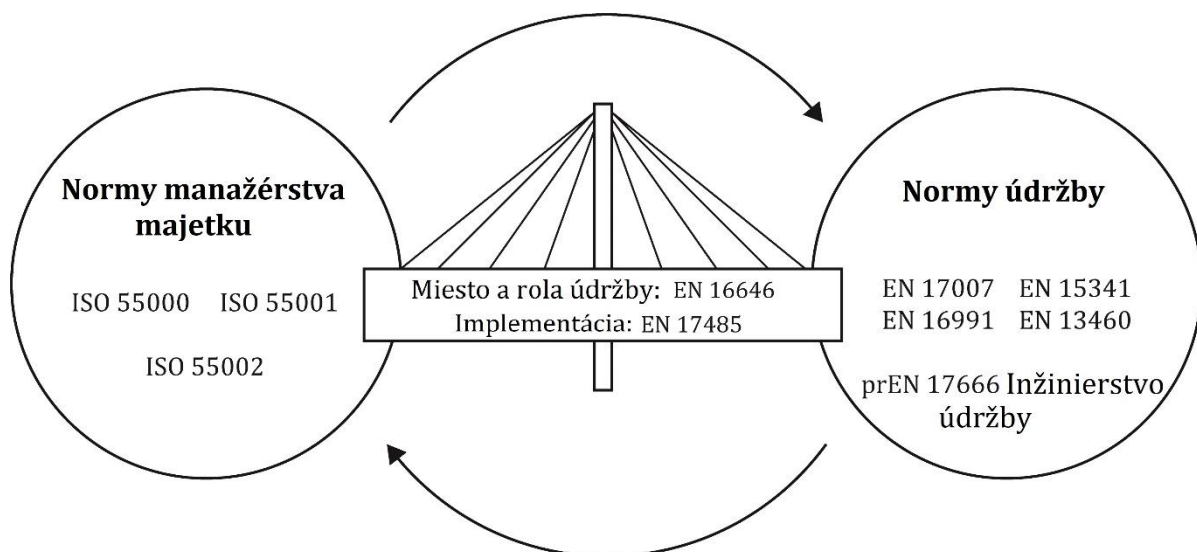
Tieto ciele zlepšujú šance na úspech pri plnení výziev manažérstva hmotného majetku uvedených v EN 16646.

Norma predstavuje metódy a prístupy vzájomného prepojenia medzi údržbou a ostatnými funkciami. Aplikáciou metodológie uvedenej v norme možno dosiahnuť viaceré prínosy:

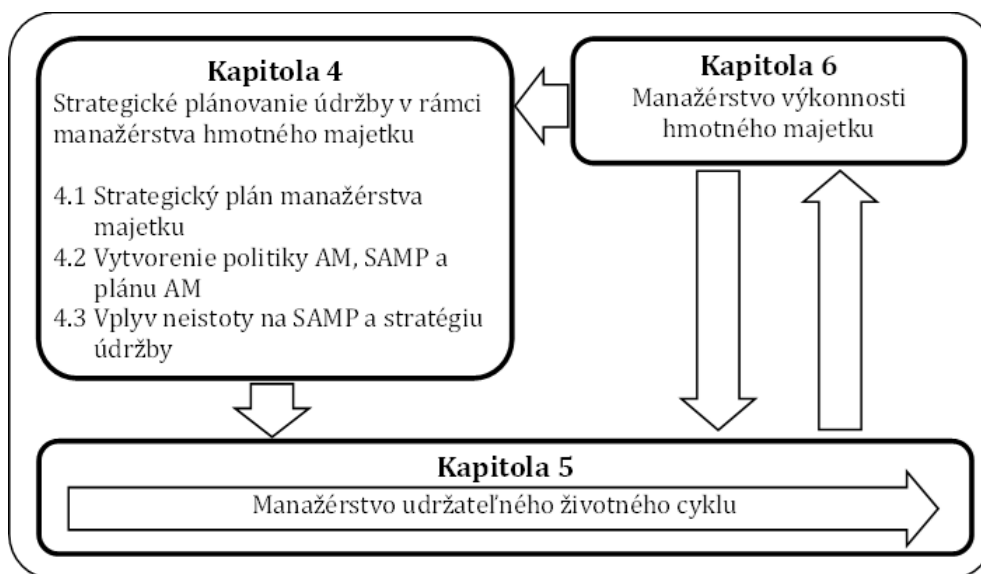
- ekonomicky účinnejšie, efektívnejšie a ziskovejšie využitie kapitálu: „obrat a návratnosť majetku“;
- presnejšie dlhodobé rozhodnutia o životnom cykle;
- integrované plánovanie investícií a údržby;
- integrovaný prístup k výrobnej funkcii (majetok, prevádzka a údržba);
- udanie smerovania stratégií a činností údržby;
- zlepšené postavenie údržby medzi ostatnými funkciami spoločnosti;
- zlepšené posudzovanie výkonnosti a riadenia;
- zlepšená schopnosť fungovať v rámci rozšírených podnikových ekosystémov (vrátane zákazníkov/dodávateľov);
- zlepšená reputácia;
- trvalo udržateľnejšie využitie kapitálu.

Výsledkom manažerstva hmotného majetku je aj oveľa väčšia angažovanosť a motivácia pracovníkov a udržateľnejšie a trvalé zlepšovanie podnikateľských procesov. Manažerstvo hmotného majetku vytvára požadované prepojenie medzi manažérstvom údržby a strategickým plánom organizácie a dáva smer činnostiam údržby.

Normy EN 16646 a EN 17485 vytvárajú most medzi normami ISO 5500x (normy systému manažerstva majetku) a normami EN pre údržbu. ISO 55001 uvádza, že organizácie majú určiť napr. organizačný kontext, požiadavky na majetok, rozhodovacie kritériá, strategický plán manažerstva majetku a plán manažerstva majetku (vrátane údržby). Neopisuje však, ako to urobiť. Respektíve normy údržby často uvádzajú napr. pojem požadovanej funkcie alebo pojem stratégie údržby, ale nevysvetľujú, ako sú určené. EN 17485 uvádza metodický rámec, ktorý radí organizáciám ako implementovať požiadavky uvedené v ISO 55001. Týmto vytvára most medzi niekoľkými normami údržby a normami ISO 5500x, s cieľom poskytnúť použiteľný východiskový bod k podrobnejším dokumentom pre špecifické podfunkcie údržby (Obr. 1).



Obr. 1 Prepojenie medzi EN 17485 a inými normami [1]



Obr. 2 Štruktúra základných kapitol normy [1]

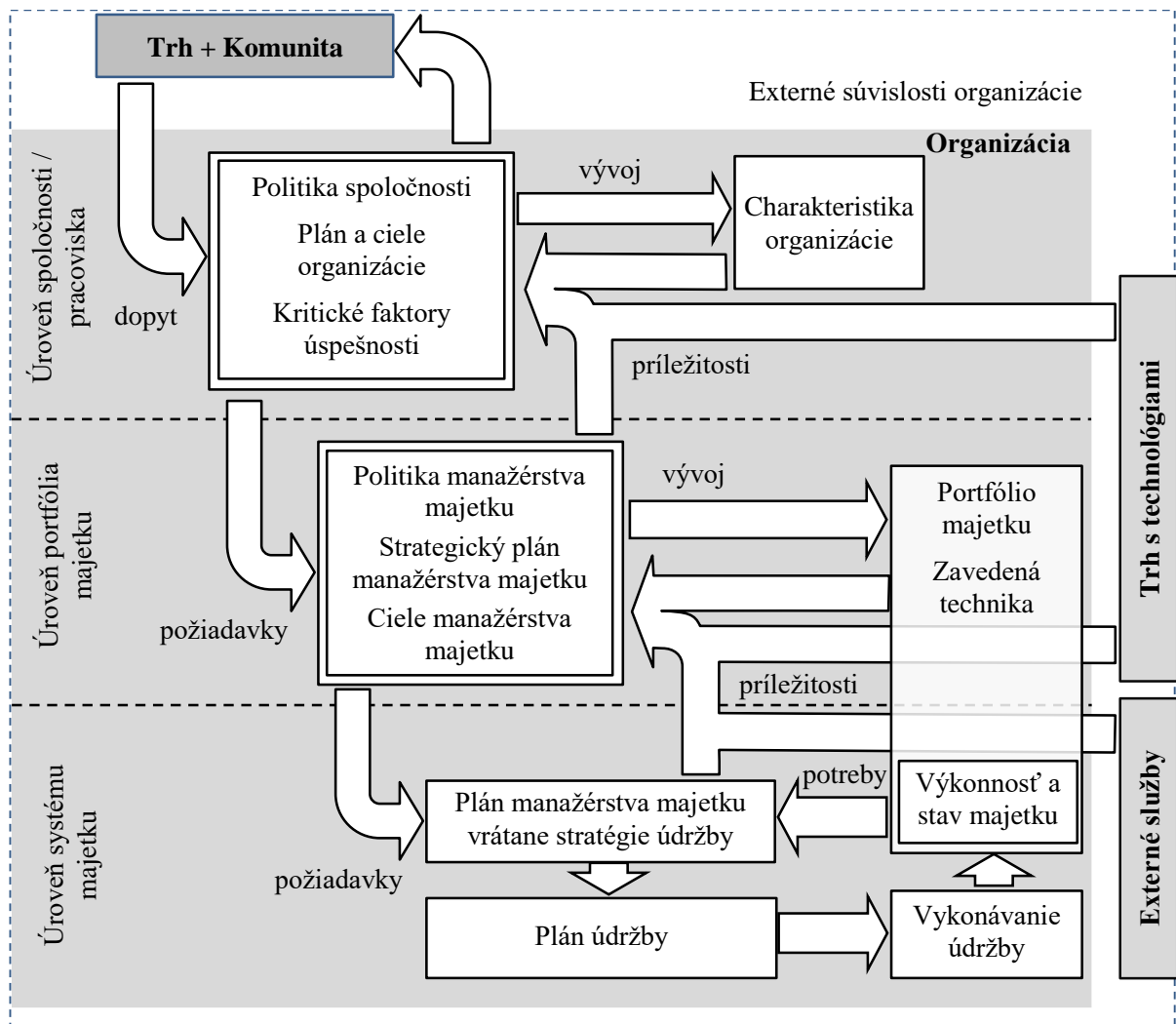
Manažérstvo životného cyklu pokrýva 3 hlavné fázy životného cyklu:

1. Fázy obstarávania (6 čiastkových fáz), kde bol indikovaný vplyv údržby na riešenia majetku a boli vytvorené prvé príspevky k stratégiám a programom údržby;
2. Fázy využívania (3 čiastkové fázy), ktoré sú:
 - Využívanie hmotného majetku;
 - Údržba hmotného majetku;
 - Výmeny, vrátane obnovy stavu, zlepšení, modifikácií, modernizácií;
3. Fáza likvidácie.

STRATEGICKÉ PLÁNOVANIE ÚDRŽBY V RÁMCI MANAŽÉRSTVA HMOTNÉHO MAJETKU

Obr. 3 ukazuje, ako je údržba začlenená do manažérstva majetku a rozvoja stratégie organizácie. Zvyčajne sa tento proces robí každoročne. Na úrovni podniku alebo pracoviska sa identifikujú kritické faktory úspešnosti a definuje sa podniková politika, plán organizácie a ciele organizácie. Politika obsahuje trvalé princípy organizácie a slúži ako rámec pre rozvoj alebo revíziu plánu organizácie. Tento plán zohľadňuje dopyt zo strany trhu a okolitej komunity, ako aj príležitosti a výzvy prichádzajúce z:

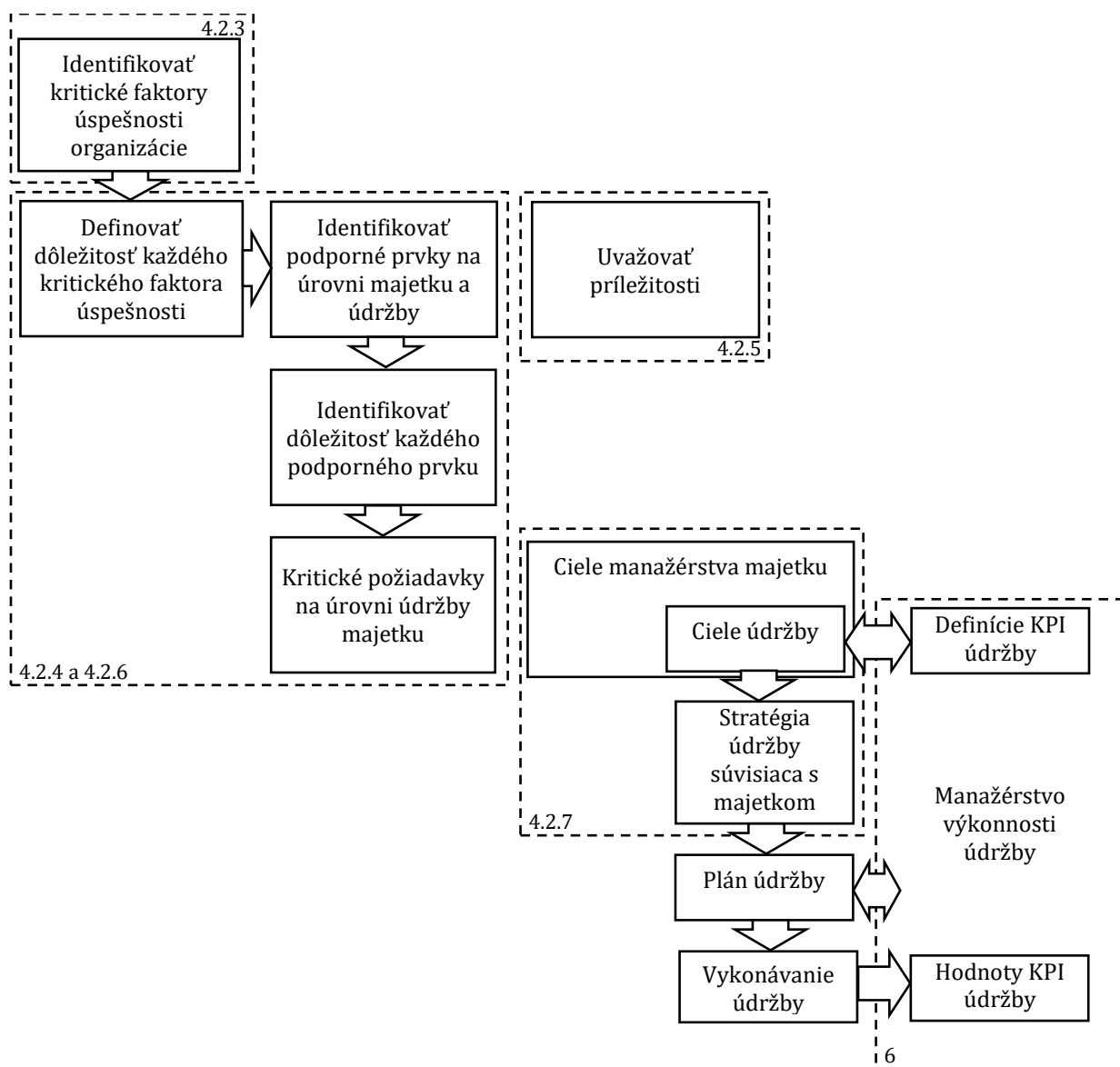
- plnenia cieľov predchádzajúceho plánu organizácie;
- charakteristiky organizácie;
- existujúcej implementácie politiky manažérstva majetku, strategického plánu manažérstva majetku a dosiahnutých cieľov manažérstva majetku na základe dostupného, implementovaného portfólia majetku;
- dostupnej technológie na trhu.



Obr. 3 Proces strategického manažerstva majetku [1]

Obrázok 3 ukazuje, ako je údržba začlenená do manažerstva majetku a rozvoja stratégie organizácie. Zvyčajne sa tento proces robí každoročne. Na úrovni podniku alebo pracoviska sa identifikujú kritické faktory úspešnosti a definuje sa podniková politika, plán organizácie a ciele organizácie. Politika obsahuje trvalé princípy organizácie a slúži ako rámec pre rozvoj alebo revíziu plánu organizácie. Tento plán zohľadňuje dopyt zo strany trhu a okolitej komunity, ako aj príležitosti a výzvy prichádzajúce z:

Kroky procesu vývoja periodickej stratégie sú vysvetlené na obrázku 4. Podrobnosti o každom kroku možno nájsť v ďalších kapitolách normy.

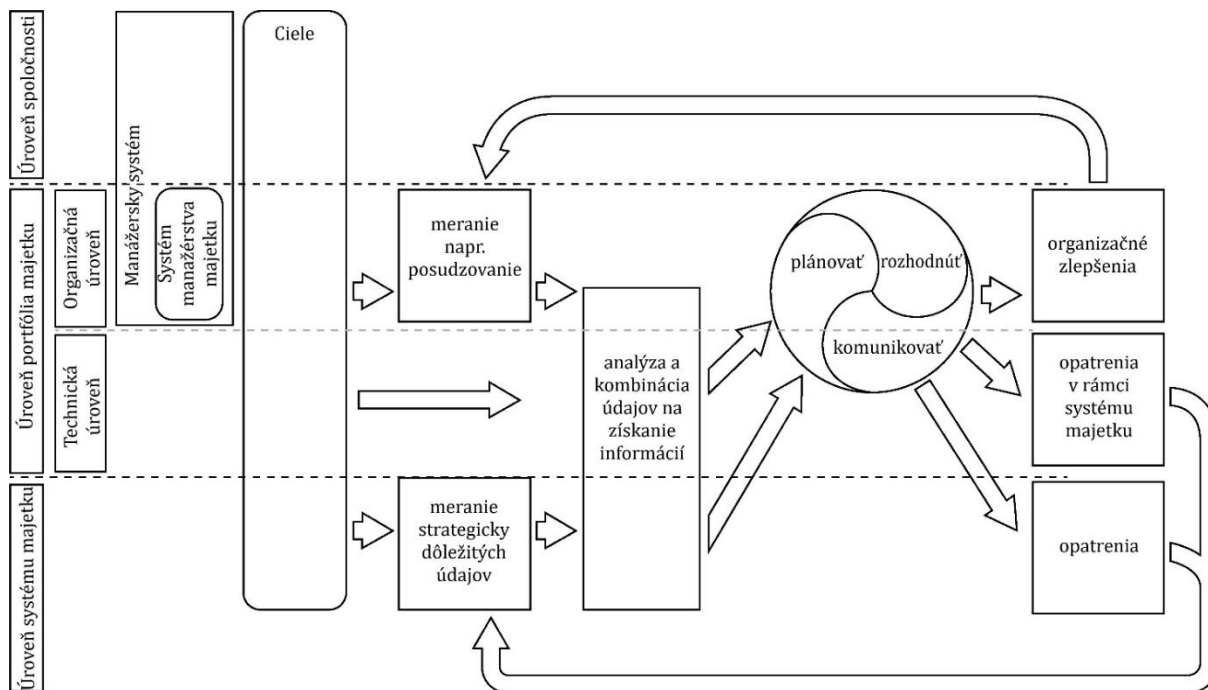


Obr. 4 Vývoj a zavedenie stratégie údržby [1]

HODNOTENIE VÝKONNOSTI A ZLEPŠOVANIE HMOTNÉHO MAJETKU

Strategicky dôležité údaje (požiadavky identifikované v strategickom plánovaní) sa monitorujú a vyhodnocujú v porovnaní s cieľmi. Táto analýza vedie k plánovaniu opatrení na zlepšenie. Následne sa o týchto opatreniach rozhoduje a sú ďalej komunikované. Vykonávanie opatrení ovplyvňuje systémy majetku. Efektívnosť sa sleduje meraním, ktoré uzatvára riadiaci cyklus. Tento prístup je v súlade s kapitolami 9 a 10 normy ISO 55002: 2018.

Obrázok 5 ukazuje tento princíp podrobnejšie. Portfólio majetku pozostáva zo systémov majetku, ktoré majú byť riadené systémom manažerstva majetku podľa ISO 55001: 2014. Tento systém manažerstva majetku sa má integrovať do systému manažerstva organizácie. Efektívnosť a vyspelosť organizačného systému sa má posudzovať v definovaných časových intervaloch (napr. ročne internými auditmi podľa ISO 55002: 2018, článok 9.2), pričom stav majetku na úrovni systému majetku sa meria často.



Obr. 5 Rámec manažérstva výkonnosti [1]

Údaje sa analyzujú s cieľom prideliť dostupné zdroje na splnenie cieľov. Vyžaduje si to opakovaný proces plánovania, rozhodovania, komunikácie a uvažovania spätnej väzby zozbieraných informácií. Následne sa na dosiahnutie cieľov vykonávajú organizačné a technické opatrenia. Technické opatrenia môžu byť nastavené v niekoľkých systémoch majetku alebo môžu byť špecifické pre jednotlivé systémy majetku. Na základe nameraných údajov sa analyzuje efektívnosť nastavených opatrení.

V norme je viacero príloh, ktoré dávajú bližší návod na aplikáciu popisovaných postupov. Norma je značne rozsiahla, má takmer 100 strán, a preto vyžaduje systematický a dlhodobý prístup ak má priniesť efekt v podobe zlepšenia hodnoty majetku spoločnosti.

Použitá literatúra:

- [1] EN 17 485: 2021 Maintenance within physical asset management; Framework for improving the value of the physical assets through their whole life cycle. [Údržba v manažérstve hmotného majetku; Rámec na zvyšovanie hodnoty hmotného majetku v jeho celom životnom cykle.]
- [2] EN 13306: 2017, Maintenance - Maintenance terminology [Údržba. Terminológia údržby.]
- [3] EN 16646: 2014, Maintenance — Maintenance within physical asset management [Údržba. Údržba v rámci manažérstva hmotného majetku.]
- [4] ISO 55000: 2014, Asset management — Overview, principles and terminology [Manažérstvo majetku. Prehľad, princípy a terminológia.]

Autor:

doc. Ing. Juraj Grenčík, PhD.
Katedra DMT, SJF, Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina