

ČESKÁ SPOLEČNOST PRO JAKOST

Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

Udržitelnost a zajištění údržby



**Materiály z 58. setkání
odborné skupiny pro spolehlivost**

Praha, prosinec 2014

Obsah

	3
Udržovatelnost, zajištěnost a politika údržby <i>Václav Legát, Zdeněk Aleš</i>	
	19
Bezporuchovost, udržovatelnost a pohotovost <i>Adam Teringl, Zdeněk Aleš</i>	
	26
Výkon a spotřeba paliva jako ukazatel technického stavu motoru <i>Martin Pexa – Jakub Čedík – Jindřich Pavlů</i>	

Udržovatelnost, zajištěnost a politika údržby

Maintainability, maintenance supportability and policy

Václav Legát, Zdeněk Aleš

Annotation

The paper presents basic of maintainability and maintenance supportability. Much more the paper is involved with method of maintenance policy, which is choosing according to economic criterion. The criterion for choosing right maintenance policy is unit costs of operation, maintenance actions and failure consequence costs. Maintenance managers need the method for decision making of corrective or preventive (age, periodic, condition monitoring, predictive, proactive etc.) maintenance of an object. The paper gives tools for this decision making.

Keywords

Maintainability and maintenance support, maintenance policy, economic criterion, corrective maintenance, preventive maintenance, maintenance management

1. Úvod

Udržovatelnost je schopnost objektu v daných podmínkách používání a údržby být udržen ve stavu nebo být navrácen do stavu, ve kterém funguje tak, jak je požadováno – viz ČSN IEC 60050-192.

POZNÁMKA 1 Dané podmínky zahrnují hlediska, která ovlivňují udržovatelnost, jako jsou: místo údržby, přístupnost, údržbářské postupy a zdroje údržby.

POZNÁMKA 2 Udržovatelnost může být kvantifikována s použitím vhodných ukazatelů.

Zajištění údržby (podpora údržby) představuje poskytování zdrojů pro udržování objektu

POZNÁMKA 1 Mezi zdroje se zahrnují lidské zdroje, podpůrné zařízení, materiály a náhradní díly, vybavení pro údržbu, dokumentace a informace a informační systémy údržby.

Zajištěnost údržby je definována jako efektivnost organizace ohledně zajištění údržby.

POZNÁMKA 1 Zajištěnost údržby může být kvantifikována s použitím vhodných ukazatelů.

Integrovaná logistická podpora je proces managementu s cílem určit a koordinovat poskytování veškerých materiálů a zdrojů požadovaných ke splnění potřeb provozu a údržby.

Politika údržby (koncepte údržby) řeší stanovení cílů údržby, místa údržby, stupňů rozčlenění, stupňů údržby, zajištění údržby a jejich vzájemných vztahů

POZNÁMKA 1 *Politika údržby poskytuje základ pro plánování údržby, určování požadavků na podporovatelnost a pro přípravu logistické podpory.*

Cílem příspěvku je informovat manažera spolehlivosti a údržby o základech udržovatelnosti a zajištěnosti údržby a vytvořit metodickou pomůcku a pro výběr správné politiky (systémů) údržby stroje nebo zařízení a jejich prvků (objektů) s použitím ekonomického kritéria a hodnocení.

2. Udržovatelnost

Udržovatelnost je *schopnost objektu v daných podmínkách používání a údržby být udržen ve stavu nebo být navrácen do stavu, ve kterém funguje tak, jak je požadováno*, ale také snadnost, hospodárnost, provozní bezpečnost a přesnost, s níž lze vykonávat nutnou údržbu výrobku a která může být měřena buď v podobě pravděpodobnosti, nebo úrovně zdrojů (prostředků) požadovaných k údržbě objektu. Udržovatelnost tudíž má přímý vliv na schopnost výrobku uspokojovat výkonnost, která se od něj požaduje. Údržba je zásah provedený k zachování nebo obnovení této schopnosti – viz ČSN IEC 60300-3-10.

Dobrá udržovatelnost se projevuje **snadným udržováním** (čištěním, mazáním, seřizováním), **diagnostikováním** (dobrá diagnostikovatelnost zajišťovaná externím občasným monitorováním nebo interním vestavěným diagnostickým zařízením) a **opravováním** (dobrá opravitelnost daná technologií konstrukce, snadným přístupem, modulární konstrukcí apod.).

Pro zajištění udržovatelnost je důležitá **etapa návrhu a vývoje**. Aby se provozní požadavky převedly na podrobné kvalitativní a kvantitativní požadavky na udržovatelnost a na kritéria návrhu, provádějí se studie udržovatelnosti společně se studii bezporuchovosti. Tyto studie se mají zejména zaměřit na:

- úroveň dovedností údržbářů,
- navržená místa údržby,
- typ a rozsah údržby, která se má na každém místě údržby (údržbářské lince) provádět,
- přístupnost,
- modularitu,
- funkční zaměnitelnost objektů,
- střední dobu do opravy (MTTR),
- náklady na údržbu.

Snadnost údržby

Údržbu zpravidla provádějí zaměstnanci údržby v předem zvolených časech, nebo když je to nutné ke zjištění poruchových stavů či jako odpověď na akci vyvolanou zabudovaným zařízením jako čidlem.

Údržbářské zásahy mohou být prováděny snadněji, a tudíž rychleji a nižšími náklady, pokud se uváží následující faktory:

Podmínky prostředí – Zařízení má umožnit, aby se údržba prováděla na místě za specifikovaných mezních podmínek prostředí a provozu.

Přístup – Jednotky v zařízení mají být uspořádány s dostatečným prostorem pro práci okolo zařízení. Má být poskytováno přiměřené osvětlení a umožněn rozumný přístup k dílčím sestavám a identifikovaným součástkám, zejména k objektům s krátkou životností, které vyžadují časté nahrazování. Je třeba pokud možno zabránit násilnému vnikání do jiných systémů.

Upínací spony umožňující přístup – U celého zařízení je třeba při používání obvyklých typů a normalizovaných velikostí upínacích spon uvážit standardizaci jejich používání. V oblastech, kde se vyžaduje častý přístup pro údržbu, se mají použít upínací spony umožňující přístup, které se buď ovládají ručně, nebo vyžadují použití jen jednoduchých ručních nástrojů.

Nástroje – Pokud je to možné, mají se používat normalizované nástroje a požadavky na speciální nástroje a zařízení mají být minimalizovány.

Bezpečnostní opatření – Návrh zařízení má být takový, aby při otevření zařízení za účelem údržby začala fungovat přiměřená bezpečnostní ochrana, která je ve shodě se zákonnými zdravotními a bezpečnostními nařízeními a předpisy.

Mazání/servis – Návrhář má uvážit, jak se má daná jednotka mazat, doplňovat nebo vyměňovat, když je součástí úplného systému.

Údržba za chodu – Je třeba uvážit, jak se objekt učiní bezpečným pro práci na něm vykonávanou, jestliže se požaduje, aby byl udržován, když je systém v chodu, a jaká opatření budou nutná, aby byl tento objekt izolován.

Prokázání udržovatelnosti

Ve **smlouvě** může být požadováno, aby na závěr programu **kvalifikačních zkoušek udržovatelnosti** musel dodavatel přesvědčit zákazníka, že byly požadavky na udržovatelnost dosaženy. Za těchto okolností se zpravidla **udržovatelnost prokazuje před předáním do výroby**. Prokazování se může provádět s použitím pracovníků zákazníka a zajišťující organizace nebo pracovníků dodavatele.

Od **prokazování** lze očekávat, že jeho výsledky přispějí k celkovému procesu vývoje tím, že na jejich základě bude možné **zjistit zbývající nedostatky** v následujících oblastech:

- návrh systému a jeho testovacího zařízení;
- sestavení příruček pro údržbu;
- plány pro výcvik pracovníků údržby;
- studie logistické zajištěnosti.

Prokazování má být plánováno společně se zákazníkem a:

- mají se při něm používat výrobky, které jsou ze standardní výroby nebo které dobře reprezentují standardní výrobu;
- mají je provádět kvalifikovaní pracovníci údržby, kteří splňují specifikované požadavky na kvalifikaci a výcvik;
- má se provádět pokud možno za podmínek, které jsou reprezentativní pro prostředí údržby za provo-zu a pro daná omezení přístupu;
- má zahrnovat úkoly sdružené buď s preventivní údržbou, nebo s údržbou po poruše, v závislosti na požadavcích;
- mají se brát v úvahu základní informace získané během programu vývoje (tj. z analýzy FMEA, analýzy udržovatelnosti a z posouzení udržovatelnosti);
- má iniciovat opatření k nápravě, kdykoliv nejsou splněny nějaké ukazatele udržovatelnosti a provádějí se opakované zkoušky.

3. Zajištěnost údržby

Zajištěnost údržby je definována jako *efektivnost organizace ohledně zajištění údržby*.

POZNÁMKA: Zajištěnost údržby může být kvantifikována s použitím vhodných ukazatelů.

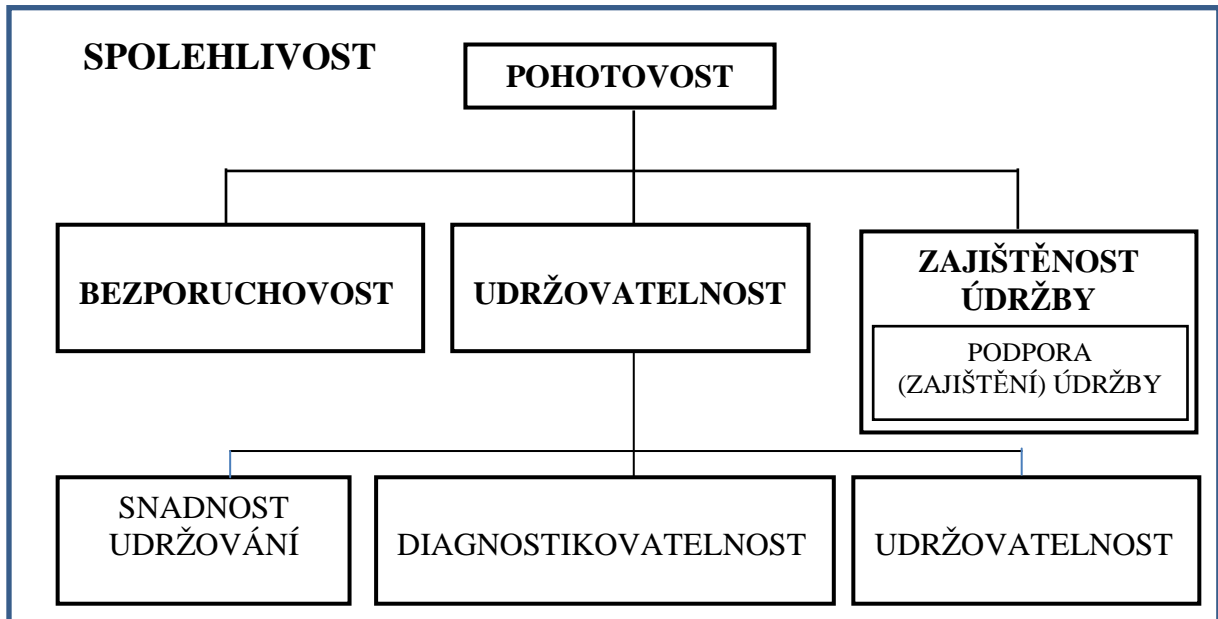
Podpora údržby (zajištění údržby) je definována jako *poskytování zdrojů pro udržování objektu*.

POZNÁMKA: Mezi zdroje se zahrnují lidské zdroje, podpůrné zařízení, materiály a náhradní díly, vybavení pro údržbu, dokumentace a informace a informační systémy údržby.

Zajištěnost údržby, jinými slovy, představuje schopnost organizace poskytující údržbářské služby (údržbářský útvar, servisní organizace) zajišťovat podle požadavků v daných podmínkách prostředí (zdroje – podpora údržby) potřebné pro údržbu podle dané koncepce údržby [1]. Zajištěnost údržby tedy vytváří nezbytné zázemí pro hladký a spolehlivý průběh všech údržbářských procesů.

Zapojení termínů udržovatelnost, zajištěnost a podpora údržby do spolehlivosti je zřejmá z obr.

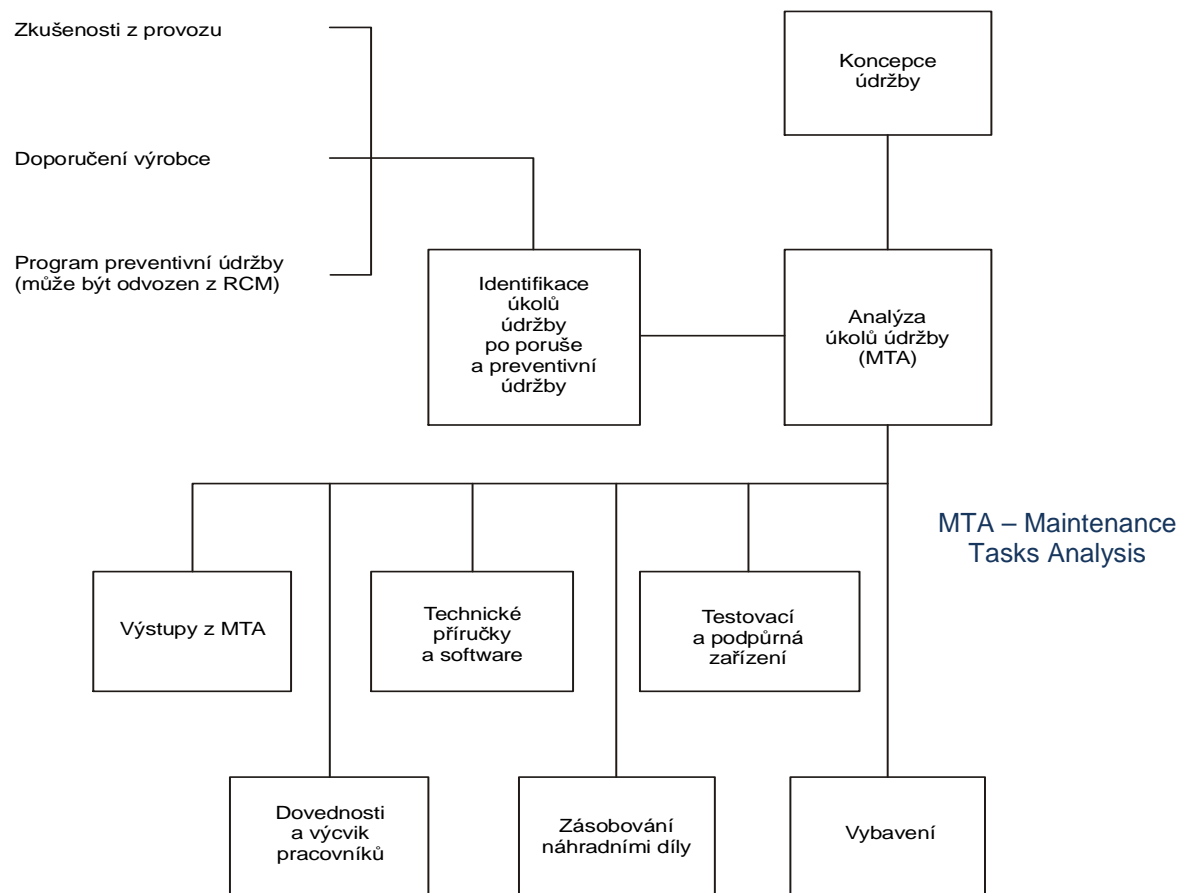
1.



Obr. 1 Vztahy mezi termíny z oblasti spolehlivosti

Při **plánování zajištěnosti údržby**, jehož obsah je znázorněn na obr. 2, mají být identifikovány požadavky na:

- počty pracovníků údržby, jejich dovednosti a výcvik,



Obr. 2 Plánování údržby a zajištění údržby

- technické příručky a software (podrobné výkresy, čísla generických součástí, například ložisek, těsnění),
- testovací a podpůrná zařízení,
- zásobování náhradními díly,
- vybavení pro údržbu a pro zajištění údržby.

Tento plán má být periodicky aktualizován, aby odrážel opakované změny návrhu.

Mají být **sbírána a analyzována data** o udržovatelnosti a zajištění údržby. K těmto datům patří:

- identifikace opravovaného objektu (číslo dílu, sériové číslo, status modifikace),
- administrativní údaje o opravě (identifikace vybavení, jméno údržbáře provádějícího opravu, datum začátku a konce opravy a jiné informace o objednavce servisu nebo o fakturování, jako je jméno zákazníka nebo identifikace uživatele),
- mechanismus poruchy nebo hlášená stížnost (indikace hlášené poruchy),
- popis provedeného zásahu pro odstranění vady a identifikace skutečné příčiny poruchy,
- popis provedeného opravářského zásahu,
- doby spotřebované na:
 - izolování poruchového stavu na díl nebo sestavu s poruchou,
 - opravu zařízení,
 - zkoušku/test opraveného objektu pro certifikaci opravy,
 - záznam dat o opravě a dokončení administrativních úkolů spojených s opravou,

- oddělení skutečných dob údržby (normohodin) od jakýchkoliv dob čekání (jako jsou doby na vysušení v peci) a zaznamenání obou těchto dob,
- díly a zdroje použité při opravě, u nichž je vyznačeno:
 - katalogové označení,
 - číslo dílu a sériové číslo (nebo datový kód či kód dávky),
 - použitý počet či použité množství,
 - náklady nebo cena,
- komentáře a návrhy údržbáře.

Doporučuje se, aby byl vypracován a používán standardní formulář “**záznam o opravě**“ tak, aby byly rutinně a jednotně zaznamenávány všechny potřebné datové prvky.

Základním **kvantitativním ukazatelem udržitelnosti a zajištění údržby** je střední doba údržby/opravy *MTTR*

$$MTTR = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n TTR_i, \quad (0)$$

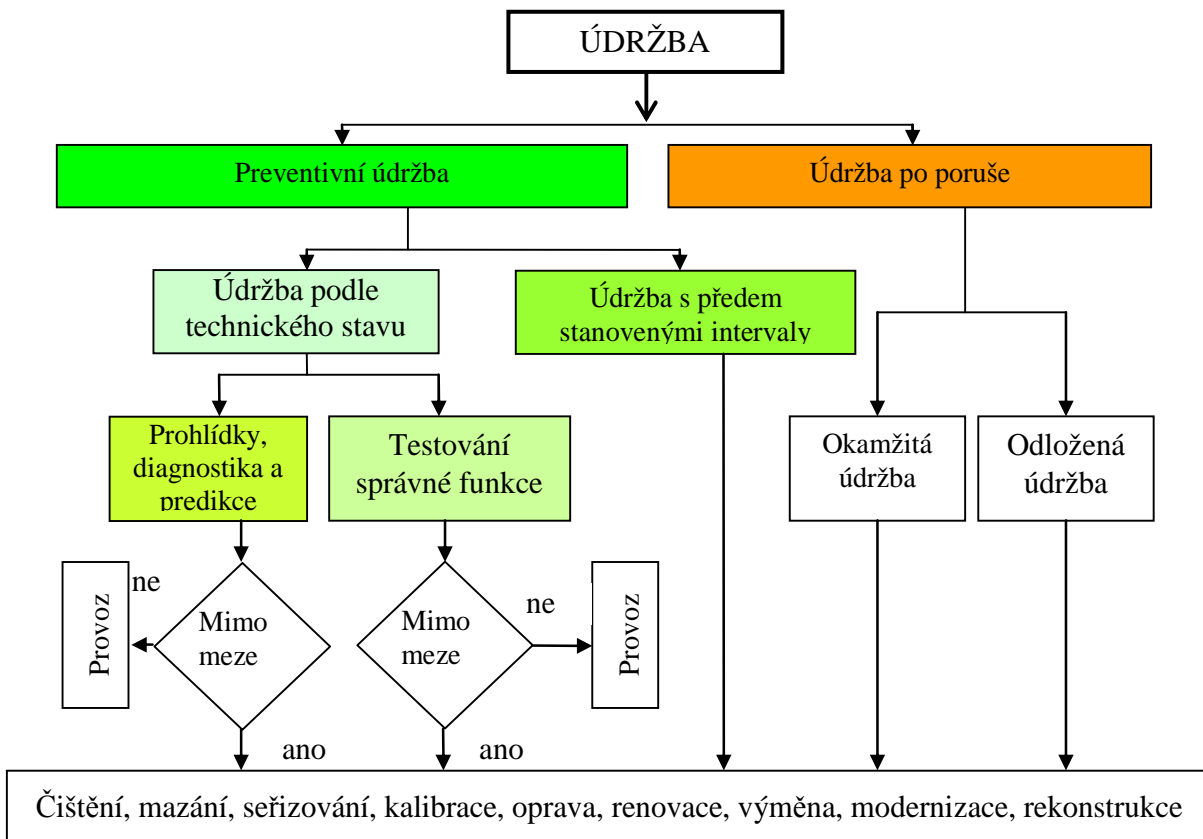
kde *n* je počet údržeb/oprav objektu a *TTR_i* je doba trvání údržby/opravy *i-tého* objektu.

O ukazateli **MTTR inherentní udržitelnosti** můžeme hovořit pouze tehdy, pokud je uplatněna standardizovaná zajištěnost údržby. V běžném provozu jde vždy o **provozní udržitelnost**, neboť není ve většině případů standardizována zajištěnost údržby.

K **identifikaci úkolů údržby** po poruše a preventivní údržby slouží metoda údržby zaměřené na bezporuchovost (**RCM**), která je rozpracována v normě ČSN EN 60300-3-11 Management spolehlivosti – Část 3-11: Pokyn k použití – Údržba zaměřená na bezporuchovost. Tato metoda je založena na metodě analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA), která je rozpracována v normě ČSN EN 60812 Techniky analýzy bezporuchovosti systémů – Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA).

Důležitým výstupem metody RCM, který souvisí s udržitelností a ovlivňuje efektivnost zajištění údržby je **program údržby** (úkoly údržby) pro jednotlivé opravitelné a opravované objekty. **Základní manuál** pro údržbu vypracovává výrobce strojů a zařízení, ale úkolem manažera údržby v organizaci, v níž je stroj a zařízení používáno, je tuto politiku (manuál) údržby aktualizovat a upřesňovat na základě konkrétních zkušeností z provozu a prakticky prováděné údržby.

Základní principiální úkoly programu údržby jsou v systémovém pojetí znázorněny na obr. 3. Jde o základní systémy (strategie, politiky, koncepty) údržby, které při tvorbě programu údržby přicházejí v úvahu.



Obr. 3 Schéma základních prvků systému(programů) údržby

4. Charakteristika systémů údržby

Každý systém (strategie, politika, koncepce) údržby má vliv na ekonomiku provozu a údržby strojů a zařízení. K základním systémům údržby patří [1]:

- údržba po poruše (okamžitá a odložená),
- preventivní periodická údržba (s předem stanovenými intervaly),
- preventivní diagnostická údržba (podle technického stavu s predikcí dispoziční doby provozu).

4.1 Údržba po poruše (okamžitá a odložená)

Tuto údržbu lze charakterizovat jako systém sice zastaralý, ale i používaný. Zastaralost tohoto systému je dána jeho **nevýhodami**, k nimž patří *nahodilost vzniku poruchového stavu, možnost vzniku závislých poruch, nemožnost jejich plánování, vyvolání nežádoucích prostojů a výpadků výroby, možnost nežádoucích dopadů na životní prostředí a bezpečnost provozu včetně náročného plánování a řízení zásob náhradních dílů a materiálu (NDM) a držení pohotovosti údržbářů zejména v odpoledních a nočních směnách.* Údržba po poruše se bezesporu ještě používá, protože není možné vždy předpovědět vznik poruchového stavu – není možno absolutně zabránit vzniku poruch ani periodickou preventivní údržbou a ani údržbou diagnostickou.

K **výhodám** patří *schopnost plně využít fyzický život objektu a rovněž odpadá plánovací činnost, porucha si „sama řekne“ o její odstranění - provedení opravy. Aplikuje se všude tam, kde metody periodické údržby jsou zcela neefektivní a nepoužitelné, nebo tam, kde náklady na diagnostickou prediktivní údržbu převyšují jednotkové náklady se všemi ztrátami na údržbu po poruše, či tam, kde je diagnostika technicky neproveditelná. Odložená údržba po poruše přechází v údržbu plánovanou, ale po-*

zor, u zálohovaných výrobních systémů zvyšuje jeho pravděpodobnost poruchy a u nezálohovaných systémů snižuje výrobní kapacitu.

4.2 Preventivní periodická údržba (s předem stanovenými intervaly)

Tento systém údržby lze charakterizovat jako pokrok a jako první systém, který částečně předchází výskytu poruch tím, že údržba je vykonána dříve, než dojde k poruše. Samozřejmě i tento systém údržby má **nevýhody**, které spočívají v tom, že *není možné využít celou dobu fyzického života* udržovaného objektu (na objektu je vykonána údržba většinou před výskytem poruchy) a dále *je nezbytné používat již plánovací systém a pochopitelně sledovat i dobu používání (stáří) a/nebo dobu provozu*.

Hlavní **výhodou** tohoto systému je *předcházení výskytu poruch* (včetně závislých poruch) s různou pravděpodobností, nikoliv s absolutní jistotou a *velmi jednoduché plánování*, zejména když interval je stanoven dobou používání (kalendářní dobou). Rovněž *vyvolané ztráty na výrobě jsou menší nebo žádné* (pokud se údržba provede mimo požadovaný provoz výrobního zařízení nebo v logistickém prostoji), stejně tak jsou menší nebo žádné environmentální a bezpečnostní ztráty a *logistika NDM se dá řídit výhodnějším tažným způsobem*.

4.3 Preventivní diagnostická údržba (podle technického stavu)

Tento systém údržby patří k modernímu způsobu řešení údržby a rovněž částečně předchází výskytu poruch tím, že údržba je vykonána dříve, než dojde k poruše. Rozdíl proti periodické údržbě je v tom, že je nespojitě nebo spojitě sledován (monitorován, diagnostikován) technický stav objektu a údržba se provede při dosažení mezního stavu pro údržbu, který se nachází poměrně blízko fyzického mezního stavu (okamžiku vzniku poruchy). Tento systém údržby je možné uplatňovat bez předpovědi dispoziční doby provozu nebo s předpovědí, za jakou dispoziční dobu provozu bude dosažen mezní stav pro údržbu. Je-li předpovídána dispoziční doba provozu, hovoříme o **prediktivní údržbě**.

Hlavní obecnou **výhodou** diagnostické údržby podle technického stavu je *vyšší využití fyzického života* (objekt je provozován blíže k fyzickému meznímu stavu – k okamžiku výskytu poruchy a *předcházení výskytu poruch* (včetně závislých poruch) s různou pravděpodobností, která je závislá na přesnosti diagnostikování. Přidanou hodnotou *prediktivní* údržby je možnost *lepšího plánování* okamžiku údržby. **Nevýhodou** diagnostické údržby jsou především *vyvolané náklady na diagnostiku a její vyhodnocování* a obecně *obtížnější plánování* – okamžik provedení údržby je proměnný. *Obecný trend moderní údržby spočívá v zásadě: aplikuj prediktivní diagnostickou údržbu všude tam, kde je to technicky možné a ekonomicky výhodné*.

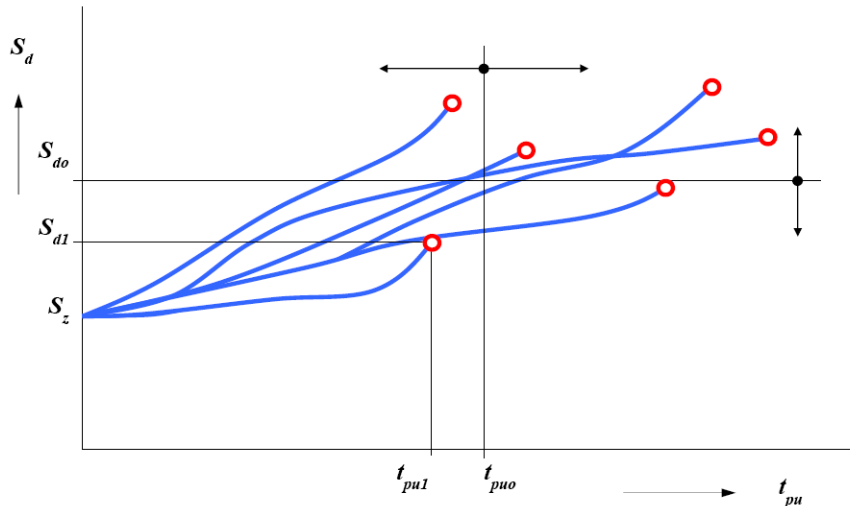
5. Matematický model pro výběr správného systému údržby

Na obr. 4 je uvedeno základní schéma vytváření politiky (systémů) údržby. Základem matematického modelu je hledání optimálního intervalu t_{puo} periodické údržby a hledání optimální velikosti diagnostického signálu S_{do} pro údržbu je výpočet jednotkových nákladů na provoz a údržbu včetně vyvolaných ztrát spojených s aplikací jednotlivých politik (systémů) údržby. Nejvhodnější je ten systém údržby pro daný objekt, který bude vykazovat **nejnižší jednotkové náklady**. Podle tohoto kritéria vybíráme optimální politiku (systém) údržby pro daný objekt [2, 3].

1. Jednotkové náklady na údržbu po poruše $u_{up}(MOTTF)$ jsou dány podílem nákladů na údržbu po poruše a střední doby provozu do poruchy a vypočítají se podle vztahu

$$u_{up}(MOTTF) = \frac{N_{up}}{MOTTF}, \quad (1)$$

kde N_{up} jsou náklady na údržbu po poruše (náklady na primární a sekundární (závislé) poruchy, držení zásob NDM, ztráty výroby, environmentální dopady, bezpečnost, pohotovost údržbářů) a $MOTTF$ je střední doba provozu do poruchy při údržbě po poruše.



Obr. 4 Základní princip politiky (systémů) údržby (údržba po poruše – údržba je prováděna po poruše – červené kroužky, periodická údržba – údržba je prováděna v předem stanoveném intervalu t_{puo} , diagnostická údržba – údržba je prováděna při dosažení předepsané hodnoty diagnostického signálu S_{do})

Střední doba provozu do poruchy $MOTTF$ (odhad) se vypočítá podle vztahu

$$MOTTF = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n OTTF_i \quad (2)$$

kde $OTTF_i$ je doba i -tého objektu do poruchy a n je počet sledovaných objektů.

Střední dobu provozu do poruchy je možné také vypočítat podle vztahu

$$MOTTF = \int_{t=0}^{\infty} t \cdot f(t) dt = \int_{t=0}^{\infty} R(t) dt, \quad (3)$$

kde $f(t)$ je funkce rozdělení hustoty pravděpodobnosti doby provozu do poruchy, $R(t)$ je funkce pravděpodobnosti bezporuchového provozu a t je doba provozu do poruchy.

2. Jednotkové náklady na preventivní periodickou údržbu $u_{pu}(t_{pu})$ jsou dány opět podílem, kde v čitateli je součet nákladů na preventivní údržbu vynásobenými pravděpodobnostmi bezporuchového provozu pro zvolený interval periodické údržby (jde o stav bez poruch) a nákladů na údržbu po poruše vynásobených pravděpodobnostmi poruchy pro zvolený interval periodické údržby (jde o stav s výskytem poruch) a kde ve jmenovateli je střední doba provozu do provedení preventivní periodické údržby a vypočítají se podle vztahu

$$u_{pu}(t_{pu}) = \frac{N_{pu} \cdot R(t_{pu}) + N_{up} \cdot F(t_{pu})}{\bar{t}(t_{pu})} = \frac{N_{pu} + Z_{up} \cdot F(t_{pu})}{\bar{t}(t_{pu})} = \min. \Rightarrow t_{pu} = t_{puo}, \quad (4)$$

kde $R(t_{pu})$ je pravděpodobnost bezporuchového provozu v době t_{pu} , $F(t_{pu})$ je pravděpodobnost poruchy v intervalu periodické údržby t_{pu} , $\bar{t}(t_{pu})$ je střední doba provozu do provedení preventivní peri-

odické údržby s intervalem t_{pu} a t_{puo} je optimální interval periodické údržby (jednotkové náklady dosahují minimální hodnotu).

Střední dobu provozu do provedení preventivní periodické údržby $\bar{t}(t_{pu})$ v intervalu t_{pu} vypočítáme z empiricky získaných dat podle vztahu

$$\bar{t}(t_{pu}) = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^{m(t_{pu})} t_i(t_{pu}) + \sum_{j=1}^{n-m(t_{pu})} t_j(t_{pu}) \right], \quad (5)$$

kde $t_i(t_{pu})$ je doba provozu i -tého objektu, žijícího při stavu (době) t_{pu} , $t_j(t_{pu})$ je doba provozu (fyzický život) j -tého objektu, který při stavu (době) t_{pu} již nežije; $m(t_{pu})$ je počet objektů žijících při stavu (době) t_{pu} a n je počet všech sledovaných objektů daného typu.

Střední dobu provozu do provedení preventivní periodické údržby $\bar{t}(t_{pu})$ v intervalu t_{pu} můžeme také vypočítat jako integrál pravděpodobnosti bezporuchového provozu $R(t)$

$$\bar{t}(t_{pu}) = \int_{t_p=0}^{t_{pu}} R(t) dt \quad (6)$$

3. Jednotkové náklady na preventivní diagnostickou údržbu $u_{du}(S_d)$ jsou dány opět podílem, kde v čitateli je součet nákladů na preventivní údržbu vynásobenými pravděpodobnostmi bezporuchového provozu pro zvolenou hodnotu diagnostického signálu S_d (jde o stav, kdy se předchází poruchám) a nákladů na údržbu po poruše vynásobených pravděpodobnostmi poruchy pro zvolenou hodnotu diagnostického signálu S_d (jde o stav, kdy se nedá předejít poruchám) a kde ve jmenovateli je střední doba provozu do provedení diagnostické údržby při hodnotě diagnostického signálu S_d a vypočítají se podle vztahu

$$u_{du}(S_d) = \frac{N_{pu} \cdot R(S_d) + N_{up} \cdot F(S_d)}{\bar{t}(S_d)} + u_d = \frac{N_{up} + Z_{up} \cdot F(S_d)}{\bar{t}(S_d)} + u_d = \min. \Rightarrow S_d = S_{do} \quad (7)$$

kde: S_d je obecný diagnostický signál (jde o proměnnou veličinu v intervalu S_{dz} až S_{dmax} , S_{dz} je počáteční hodnota diagnostického signálu po uvedení objektu do provozu, S_{dmax} je maximální hodnota diagnostického signálu, při níž (po bezprostředním překročení) došlo k poruše, S_{do} je optimální velikost diagnostického signálu pro údržbu, $R(S_d)$ je pravděpodobnost bezporuchového provozu pro zvolenou hodnotu diagnostického signálu S_d , $F(S_d)$ je pravděpodobnost poruchy pro zvolenou hodnotu diagnostického signálu S_d , u_d jsou jednotkové náklady na diagnostiku a $\bar{t}(S_d)$ je střední dobu provozu do provedení preventivní diagnostické údržby.

Střední dobu provozu do provedení preventivní diagnostické údržby $\bar{t}(S_d)$ pro velikost signálu S_d vypočítáme podle vztahu

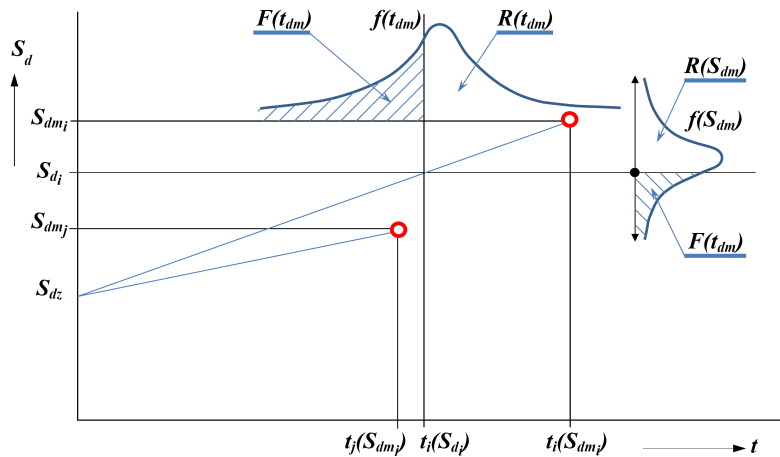
$$\bar{t}(S_d) = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^{m(S_d)} t_i(S_d) + \sum_{j=1}^{n-m(S_d)} t_j(S_{dm}) \right], \quad (8)$$

kde: $t_i(S_d)$ je doba provozu i -tého objektu, žijícího při stavu S_d , $t_j(S_{dm})$ je doba provozu (fyzický život) j -tého objektu, který při stavu S_{dm} ukončil život a při stavu S_d již nežije, $m(S_d)$ je počet objektů žijících při stavu S_d a n je počet všech sledovaných objektů daného typu. Na obr. 5 je naznačen princip výpočtu střední doby provozu.

Pro výpočet střední doby provozu do provedení preventivní diagnostické údržby $\bar{t}(S_d)$ při stavu S_d použijeme zjednodušený model, v němž degradace technického stavu probíhá po přímce

z počátečního stavu S_{dz} vždy do mezní hodnoty technického stavu i -tého objektu S_{dmi} . Přesnost této aproximace je z technického hlediska zcela postačující. Výpočet $t_i(S_d)$ se provede, v případě, že $S_{di} < S_{dmi}$, podle vztahu

$$t_i(S_d) = t_i(S_{dmi}) \frac{S_{di} - S_{dz}}{S_{dmi} - S_{dz}}, \quad (9)$$



Obr. 5 Princip stanovení vstupních dat pro výpočet střední doby provozu do provedení preventivní diagnostické údržby

a $t_j(S_d)$ pro níž platí, že $S_{dj} \geq S_{dmj}$, se stanoví přímým odečtem hodnoty $t_j(S_{dm})$. Význam jednotlivých symbolů (vstupních dat) ve vztahu (9) je zřejmý z obr. 5.

6. Příklad výběru správného systému údržby na základě kritéria jednotkových nákladů

Jako již bylo uvedeno, kritériem pro výběr správné politiky (systému) údržby byly zvoleny jednotkové náklady na provoz, údržbu a další vyvolané náklady (ztráty) způsobené výskytem poruchy – viz třetí kapitola příspěvku.

Numerické řešení ukážeme na základě simulovaných vstupních dat. Tato data jsou tvořena souřadnicemi (S_{dm} a $t_j(S_{dm})$) technického stavu a doby provozu do výskytu poruchy. Dále ke vstupním datům patří náklady na údržbu po poruše N_{up} , náklady na preventivní údržbu N_{pu} , jednotkové náklady na diagnostiku u_d – viz tabulka 1.

Tab. 1 Simulovaná vstupní data

N_{up} (Kč)	100.000,-	N_{pu} (Kč)	10.000,-	Z_{up} (Kč)	90.000,-	u_d (Kč/h)	10	S_{dz}	5
t (h)	61	83	84	121	122	125	143	144	170
S_{dm}	5,12	5,25	5,49	5,74	6,44	6,61	6,31	7,23	7,12
t (h)	173	197	204	209	210	216	217	224	241
S_{dm}	7,14	7,9	7,64	7,66	7,67	8,1	8,67	8,7	7,89
t (h)	242	244	249	257	262	267	270	272	282
S_{dm}	8,17	8,85	8,97	9,27	8,79	9,64	9	10,13	9,44
t (h)	318	319	347	356	366	367	373	379	379
S_{dm}	9,69	10,34	9,65	10,5	10,09	10,89	10,79	10,81	11,66
t (h)	381	388	423	434	460	468	468	506	563
S_{dm}	11,34	11,3	11,04	11,6	11,86	12,01	12,75	12,04	13,08
t (h)	604	643	650	688					
S_{dm}	13,27	14,09	15,67	16,53					

Poznámka: Veličiny t a S_{dm} jsou simulovány pomocí generátoru náhodných čísel.

Z tabulky 1 pro doby provozu t byly pomocí softwaru dostupného na internetu http://www.wessa.net/rwasp_fitdistrweibull.wasp [4] vypočteny parametry Weibullova rozdělení viz tabulka 2.

Tab. 2 Parametry Weibullova rozdělení doby provozu t

α	2,095	β	360,578
----------	-------	---------	---------

Výpočty jsou provedeny podle vztahů (1) až (9) pomocí tabulkového procesoru EXCEL.

1. Jednotkové náklady na údržbu po poruše

$$u_{up}(MOTTF) = \frac{N_{up}}{MOTTF} = \frac{N_{up}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n OTTF_i} = \frac{N_{up}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i} = \frac{100.000}{317,34} = 315,12 \text{ Kč/h} \quad (10)$$

2. Jednotkové náklady na preventivní periodickou údržbu

$$u_{pu}(t_{pu}) = \frac{N_{pu} + Z_{up} \cdot F(t_{pu})}{\bar{t}(t_{pu})} = \frac{N_{pu} + Z_{up} \cdot (1 - \exp(-(\frac{t_{pu}}{\beta})^\alpha))}{\int_0^{t_{pu}} \exp(-(\frac{t}{\beta})^\alpha) dt} = \min. \Rightarrow t_{pu} = t_{puo}, \quad (11)$$

Pravděpodobnost poruchy $F(t_{pu})$ je vyjádřena pomocí Weibullové distribuční funkce $(1 - \exp(-(\frac{t_{puo}}{\beta})^\alpha))$ a střední doba provozu do preventivní údržby je vyjádřena integrálem $\int_0^{t_{pu}} \exp(-(\frac{t}{\beta})^\alpha) dt$ pravděpodobnosti bezporuchového provozu – viz rovnici (6).

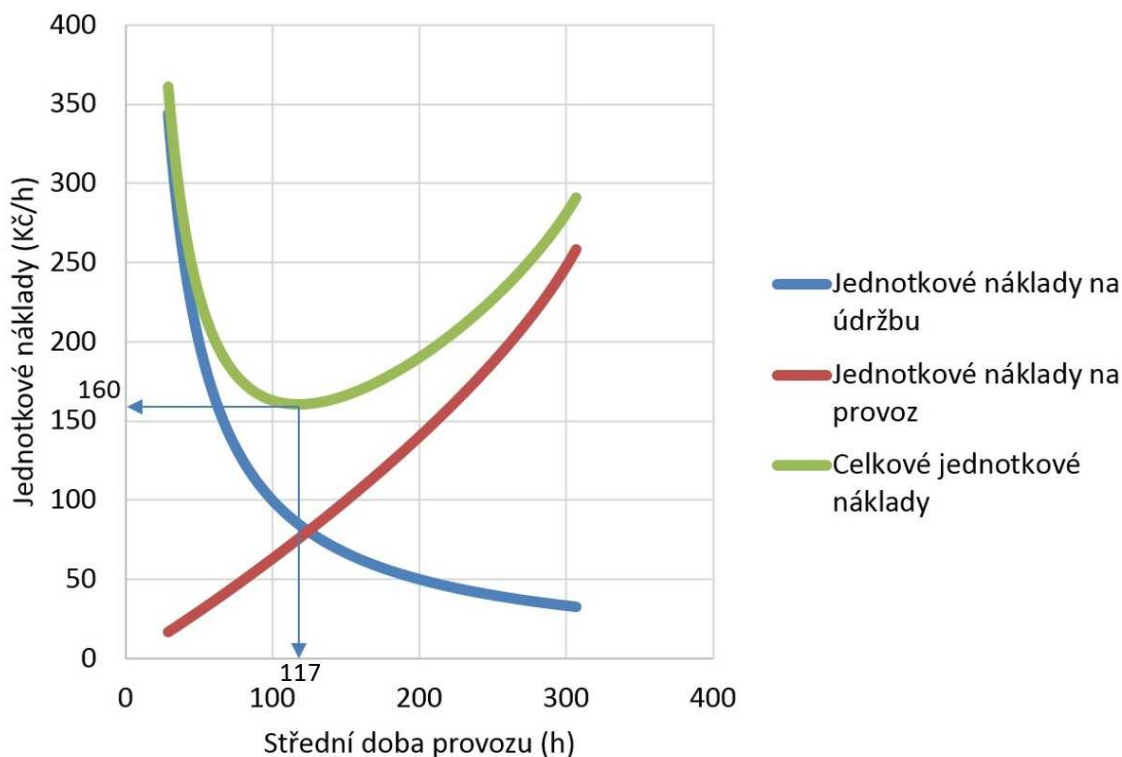
kde α a β jsou parametry Weibullova rozdělení hustoty pravděpodobnosti mezních hodnot diagnostického signálu a dob do poruchy. Výpočet je proveden SW [4].

Výpočet je proveden pomocí tabulkového procesoru EXCEL a výsledky jsou uvedeny v tabulce 2.

Tab. 3 Výpočet jednotkových nákladů na preventivní periodickou údržbu

t_{pu} (h)	30	60	90	122	150	180	210	240	270	300
$F(t_{pu})$	0,005	0,023	0,053	0,098	0,147	0,208	0,275	0,347	0,420	0,493
$\bar{t}(t_{pu})$ (h)	29,05	58,65	87,54	117,15	141,74	166,43	189,19	209,87	228,36	244,65
$\frac{N_{pu}}{\bar{t}(t_{pu})}$ (Kč/h)	344,27	170,50	114,24	85,36	70,55	60,08	52,86	47,65	43,79	40,88
$\frac{Z_{up} \cdot F(t_{pu})}{\bar{t}(t_{pu})}$ (Kč/h)	16,87	35,39	54,60	75,34	93,43	112,48	131,00	148,80	165,69	181,54
$u_{pu}(t_{pu})$ (Kč/h)	361,14	205,89	168,83	160,70	163,98	172,57	183,86	196,45	209,48	222,41

Z tabulky 3 je vidět, že minimální jednotkové náklady $u_{pu}(t_{puo}) = 160,70$ (Kč/h) odpovídají optimálnímu intervalu periodické údržby $t_{puo} = 122$ h.



Obr. 6 Závislost jednotkových nákladů na střední době provozu pro periodickou údržbu

3. Jednotkové náklady na preventivní diagnostickou údržbu

Z tabulky 1 pro diagnostické signály S_{dm} byly pomocí softwaru dostupného na internetu http://www.wessa.net/rwasp_fitdistrweibull.wasp [4] vypočteny parametry Weibullova rozdělení viz tabulka 4.

Tab. 4 Parametry Weibullova rozdělení diagnostických signálů S_{dm}

α	3,724	β	10,771
----------	-------	---------	--------

Jednotkové náklady na diagnostickou údržbu se vypočítají ze vztahu (12)

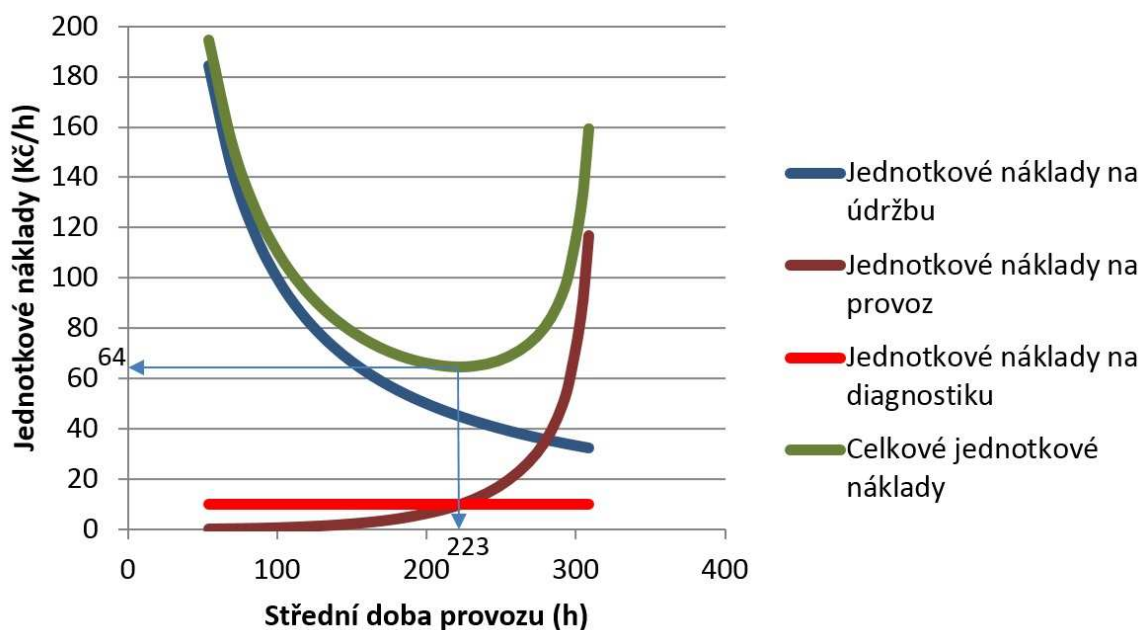
$$u_{du}(S_d) = \frac{N_{up} + Z_{up} \cdot F(S_{dm})}{\bar{t}(S_d)} + u_d = \frac{N_{up} + Z_{up} \cdot (1 - \exp(-(\frac{S_{dm}}{\beta})^\alpha))}{\frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^{m(S_d)} t_i(S_d) + \sum_{j=1}^{n-m(S_d)} t_j(S_{dm}) \right]} + u_d = \min. \Rightarrow S_d = S_{do} \quad (12)$$

Výpočet je proveden pomocí tabulkového procesoru EXCEL a výsledky jsou uvedeny v tabulce 5.

Z tabulky 5 je vidět, že minimální jednotkové náklady $u_{du}(S_{do}) = 64,76$ Kč/h odpovídají optimální hodnotě diagnostického signálu $S_{do} = 9$ a střední době provozu do diagnostické údržby $\bar{t}(S_{do}) = 223,2$ h.

Tab. 5 Výpočet jednotkových nákladů na preventivní diagnostickou údržbu

S_d	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$F(S_{dm})$	0,0001	0,002	0,009	0,025	0,056	0,107	0,182	0,281	0,401	0,532
$\bar{t}(S_d)$	70,0	129,9	181,7	223,2	255,0	279,0	294,3	303,1	308,6	312,3
$\frac{N_{up}}{\bar{t}(S_d)}$ (Kč/h)	142,9	77	55,04	44,8	39,21	35,85	33,98	32,99	32,4	32,02
$\frac{Z_{up} \cdot F(S_{dm})}{\bar{t}(S_d)}$ (Kč/h)	0,184	1,31	4,224	9,956	19,69	34,52	55,67	83,54	116,9	153,2
u_d (Kč/h)	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
$u_{du}(S_d)$ (Kč/h)	153,1	88,31	69,26	64,76	68,9	80,37	99,64	126,5	159,3	195,2



Obr. 7 Závislost jednotkových nákladů na střední době provozu pro diagnostickou údržbu

V tabulce 6 je provedena rekapitulace jednotkových nákladů pro jednotlivé politiky (systémy) údržby pro tentýž objekt.

Tab. 6 Rekapitulace dosažených výsledků

Ukazatel	Politika (systém) údržby		
	Údržba po poruše	Preventivní periodická údržba	Preventivní diagnostická údržba
u (Kč/h)	315,12	160,70	64,76
\bar{t} (h)	317,34	117,15	223,20
F	1	0,098	0,025
t (h)	-	122	-
S_{do}	-	-	9

Pro zvýšení názornosti jsou některé veličiny znázorněny graficky. Na obr. 6 je ukázka průběhu jednotkových nákladů na preventivní periodickou údržbu a na obr. 7 je ukázka průběhu jednotkových nákladů na preventivní diagnostickou údržbu.

7. Závěr

Lze shrnout, že udržovatelnost a zajištěnost údržby výrazně ovlivňuje ekonomiku údržby. Důležitým výstupem je identifikace úkolů údržby a jejich uspořádání do programu údržby. Rovněž optimalizace preventivní údržby (výběr a volba systémů údržby) je velmi důležitý úkol v oblasti managementu údržby při tvorbě programů údržby a navazujícího plánování údržbářských úkolů.

Autoři navrhli metodiku, jakým způsobem hodnotit vhodnost použití jednotlivých základních systémů údržby s využitím ekonomického kritéria ve formě jednotkových nákladů na provoz, údržbu a vyvolané ztráty. Samozřejmě kritérií spojených s udržovaným výrobním zařízením může být více, např. pohotovost, tržby, zisk apod. Nicméně náklady budou vždy rozhodující, neboť jsou ovlivnitelné managementem, na tržby a zisk má velký vliv vnější prostředí – trh.

Simulovaný příklad ukázal, že i když šlo o jeden a tentýž fyzický objekt, finanční vstupy mohou zásadně ovlivnit výběr systému údržby.

Jde zejména o vliv nákladů na preventivní údržbu, nákladů (včetně ztrát) na údržbu po poruše a pochopitelně i nákladů na diagnostiku. Ukázali jsme (tab. 4), že za daných ekonomických okolností vychází nejvýhodněji preventivní diagnostická údržba (64,76 Kč/h). Pokud by např. jednotkové náklady na diagnostiku vzrostly o 95,94 Kč/h či o více, bude výhodnější preventivní periodická údržba (160,70 Kč/h). Pokud by náklady na údržbu po poruše byly stejné jako náklady na preventivní údržbu, jednotkové náklady na údržbu po poruše by byly v daném případě 10 × menší, tedy 31,51 Kč/h, jednotkové náklady na diagnostickou údržbu by byly o 10 Kč vyšší (jde o jednotkové náklady na diagnostiku) tedy 41,51 Kč/h a jednotkové náklady na periodickou údržbu by byly rovněž 31,51 Kč/h. Tedy v této situaci by byla nejvýhodnější údržba po poruše.

Použitá literatura

- [1] LEGÁT, V. a kol.: Management a inženýrství údržby. Professional Publishing, Praha 2013, ISBN978-80-7431-119-2
- [2] LEGÁT, V., STÁVEK, M., ALEŠ, Z.: Preventivní údržba - cesta k vyšší kvalitě a efektivitě výroby. In: Sborník konference Kvalita 2014, Ostrava 2014
- [3] LEGÁT, V., STÁVEK, M., ALEŠ, Z.: Preventivní údržba - cesta k vyšší výrobě a tržbám. In: Sborník konference Národní fórum údržby 2014, Štrbské Pleso, SSÚ Bratislava 2014, ISBN 978-80-554-0880-4
- [4] Maximum-likelihood Fitting - Weibull Distribution: Free Statistics Software (Calculator). [online]. [cit. 2014-09-16]. Dostupné z: http://www.wessa.net/rwasp_fitdistrweibull.wasp

Kontaktní údaje

prof. Ing. Václav Legát, DrSc.

Ing. Zdeněk Aleš, Ph.D.

Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, katedra jakosti a spolehlivosti strojů,
Kamýcká 129, 165 21 Praha – Suchbátka

Tel.: +420 224 383 268, +420 224 383 254, E-mail: legat@tf.czu.cz, ales@tf.czu.cz

Bezporuchovost, udržovatelnost a pohotovost

Adam Teringl, Zdeněk Aleš

Annotation

It is necessary to define unique indicators for measuring maintenance impacts on reliability in general and its characteristics (reliability, service life, maintainability, supportability and availability). Data collection and its evaluation help to monitor the impact of maintenance on these indicators.

Keywords

maintenance, reliability, availability, preventive maintenance

1. Sledování spolehlivosti zařízení

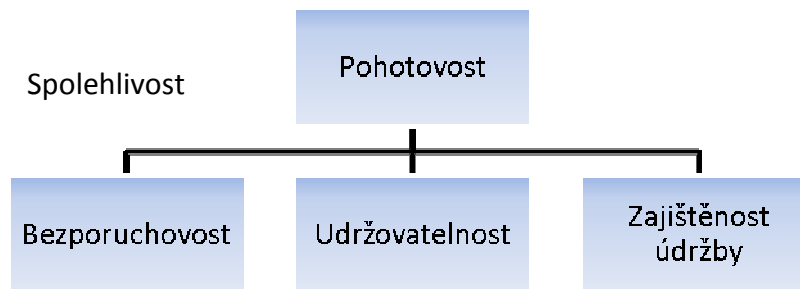
Spolehlivost je souhrnný termín popisující pohotovost jakéhokoliv jednoduchého i složitého produktu. Faktory ovlivňující pohotovost produktu jsou charakteristiky návrhu týkající se bezporuchovosti, udržovatelnosti a zajištěnosti údržby (Obr. 1). Bezporuchovost a udržovatelnost jsou charakteristiky výkonnosti (technické parametry), které jsou vlastní návrhu produktu. Zajištěnost údržby je vzhledem k produktu externí a ovlivňuje jeho spolehlivost. Zajištěnost údržby reflektuje schopnost údržbářské organizace poskytnout nutné zdroje pro zachování takové úrovně zajištěnosti údržby, aby se dosáhlo cílů pohotovosti systému.

Pohotovost (availability) je schopnost výrobku být ve stavu schopném plnit požadovanou funkci v daných podmínkách, v daném časovém okamžiku nebo v daném časovém intervalu za předpokladu, že jsou zajištěny požadované vnější prostředky

Bezporuchovost (reliability) je schopnost objektu plnit požadovanou funkci v daných podmínkách a v daném časovém intervalu.

Udržovatelnost (maintainability) je schopnost objektu v daných podmínkách být udržen ve stavu nebo navrácen do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci, jestliže se údržba provádí v daných podmínkách a používají se stanovené postupy a zdroje.

Zajištěnost údržby (supportability) je schopnost organizace poskytující údržbářské služby zajišťovat podle požadavků v daných podmínkách zdroje potřebné pro údržbu podle dané politiky údržby.



Obr. 1: Vztahy mezi termíny z oblasti spolehlivosti

Pro měření dopadu údržby na spolehlivost obecně a na její charakteristické vlastnosti (bezporuchovost, životnost, udržitelnost, zajištění údržby a pohotovost) zvláště, je potřeba definovat jednotlivé ukazatele. Pomocí sběru dat a následného vyhodnocování je možné sledovat dopad údržby na výše uvedené ukazatele.

Sběr dat pro účely týkající se spolehlivosti je často dlouhodobá činnost. Před dokončením vhodné analýzy mohou být požadována data pokrývající dlouhou dobu provozu objektu a/nebo mnoho objektů. Sběr dat se má provádět jako plánovaná činnost s uvážením příslušných cílů.

Analýza dat o spolehlivosti vyžaduje jasné pochopení objektu, jeho provozu, prostředí a fyzikálních vlastností. K analýze je též zapotřebí dobré pochopení obecného oboru spolehlivosti a způsobu, jak se spolehlivost projevuje ve specifické aplikaci.

Před zahájením procesu sběru dat je důležité si uvědomit, že sběr dat zpravidla nelze provádět bez spolupráce všech zúčastněných stran. Mezi tyto strany se zahrnují výrobci, dodavatelé, údržbářské organizace, uživatelé a zákazníci daného objektu.

Metoda sběru dat

Existuje několik potenciálních metod sběru dat založeného na čase:

- a) nepřetržitý sběr dat,
- b) sběr dat v časovém okně,
- c) sběr dat v několika časových oknech,
- d) sběr dat v pohyblivém časovém okně

U většiny nástrojů a analýz spolehlivosti je základním důvodem pro provádění sběru dat jakožto úkolu spolehlivosti zlepšit jakost produktu, monitorovat jeho výkonnost, modifikovat jeho logistické zajištění, určit, zda se dosáhlo požadované bezporuchovosti, zjistit nedostatky, aby se provedla analýza základní příčiny poruch, což vede ke zlepšení produktu jeho modifikací, zlepšit výkonnost a v dlouhodobém horizontu zlepšit zisky nebo jakost služby společnosti.

Aby bylo možné užívat správné matematické výrazy pro ukazatele, je třeba rozlišovat mezi opravovanými objekty (porucha je odstraněna údržbou objektu, např. stroje, zařízení, aparátu, vozidla apod.) a neopravovanými objekty (porucha je řešena prostou výměnou objektu, např. žárovky, pojistky, valivého ložiska apod.). Podle normy jsou [1] samostatně uvažovány následující třídy objektů:

- neopravované objekty,
- opravované objekty s nulovou dobou do obnovy,
- opravované objekty s nenulovou dobou do obnovy.

Nejjednodušší matematický model pro bezporuchovost **neopravovaných objektů** vychází z náhodné veličiny – doby do poruchy objektu. Jeden z široce používaných ukazatelů bezporuchovosti neopravovaných objektů je okamžitá intenzita poruch $\lambda(t)$. Tento ukazatel je odvozen z distribuční funkce doby do poruchy. Výraz $\lambda(t) \cdot \Delta t$ je podmíněná pravděpodobnost poruchy objektu během časového intervalu $(t, t + \Delta t)$ za předpokladu, že během intervalu $(0, t)$ objekt neměl poruchu.

U **opravovaných objektů** je základní model prostý proces obnovy, *když může být doba do obnovy objektu zanedbána*, nebo prostý střídavý proces obnovy, *když je doba do obnovy objektu nenulová*. Ve druhém případě je objekt střídavě v použitelném a nepoužitelném stavu a široce používaný ukazatel bezporuchovosti objektu je parametr proudu poruch, který je roven hustotě obnovy.

Parametr proudu poruch $z(t)$ je ukazatel odvozený z očekávané hodnoty kumulativního počtu poruch $E[N(t)]$ opravovaného objektu vyskytujících se během časového intervalu $(0, t)$. Výraz $z(t) \cdot \Delta t$ je pravděpodobnost poruchy objektu během časového intervalu $(t, t + \Delta t)$. Tento součin, např. pro $\Delta t = 24$ h, vyjadřuje s jakou pravděpodobností se strojní zařízení porouchá v průběhu jednoho dne.

Dalším důležitým obecným ukazatelem spolehlivosti neopravovaných objektů je střední doba do poruchy (střední doba života) $MTTF$

$$MTTF = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt. \quad (1)$$

Mají-li doby do poruchy exponenciální rozdělení, potom

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2)$$

Poznámka: Stejným způsobem lze počítat jakoukoliv střední hodnotu náhodné veličiny.

Při výpočtu ukazatelů spolehlivosti neopravovaných objektů v praxi vycházíme především z jejich empirických odhadů:

1. Odhad střední doby provozu do poruchy (středního života objektu) $MTTF$

$$M\hat{T}TF = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i, \quad (3)$$

kde n je počet sledovaných objektů do poruchy, t_i je doba života (provozu) i -tého objektu do poruchy.

2. Odhad hustoty doby provozu do poruchy $f(t)$

$$\hat{f}(t) = \frac{n_s(t) - n_s(t + \Delta t)}{n \Delta t}, \quad (4)$$

kde $n_s(t)$ je počet objektů, které jsou v časovém okamžiku t ještě v provozu, ($n_s(0) = n$), $n_s(t) - n_s(t + \Delta t)$ je počet objektů, které měly v časovém intervalu $(t, t + \Delta t)$ poruchu.

3. Odhad pravděpodobnosti poruchy $F(t)$

$$\hat{F}(t) = \frac{n - n_s(t)}{n}, \quad (5)$$

kde $n_s(t)$ je počet objektů, které jsou v časovém okamžiku t ještě v provozu ($n_s(0) = n$).

4. Odhad pravděpodobnosti bezporuchového provozu $R(t)$

$$\hat{R}(t) = \frac{n_s(t)}{n} = 1 - \hat{F}(t), \quad (6)$$

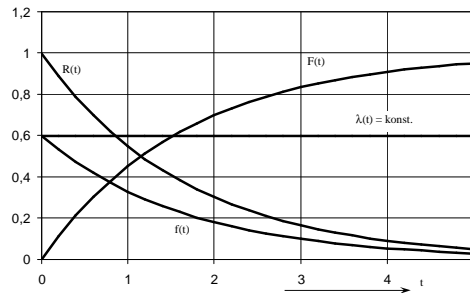
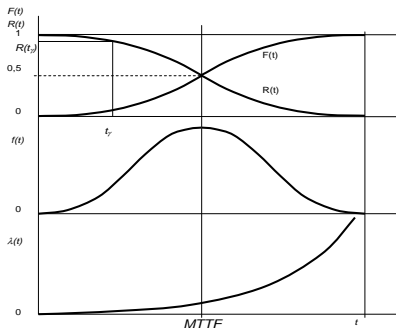
kde $n_s(t)$ je počet objektů, které jsou v časovém okamžiku t ještě v provozu ($n_s(0) = n$).

5. Gama procentní život t_γ

$$\hat{R}(t_\gamma) = \gamma, \quad (7)$$

kde γ je kvantil náhodné veličiny – doby provozu do poruchy s pravděpodobností bezporuchového provozu $\hat{R}(t_\gamma)$.

Průběh jednotlivých funkčních závislostí pro normální useknuté rozdělení dob do poruchy je na obr. 2 a pro exponenciální rozdělení dob do poruchy je na obr. 3.



Obr. 2 Průběhy $F(t)$, $R(t)$, $f(t)$ a $\lambda(t)$ pro useknuté normální rozdělení

Obr. 3 Průběhy $F(t)$, $R(t)$, $f(t)$ a $\lambda(t)$ pro exponenciální rozdělení

Pro zjednodušení praktických aplikací uvedeme v této stati bez odvozování a zdůvodňování pět základních vztahů pro výpočet odhadů empirických ukazatelů spolehlivosti opravovaných objektů s nenulovou dobou do obnovy:

1. Odhad střední doby provozu mezi poruchami $MOTBF$

$$MOTBF = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m t_j, \quad (8)$$

kde m je počet poruch opravovaného objektu, t_j je j -tá doba provozu mezi dvěma po sobě následujícími poruchami ($j-1; j$).

2. Odhad střední doby opravy $MTTR$

$$MTTR = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^k t_j, \quad (9)$$

kde m je počet poruch (oprav) opravovaného objektu, t_j je doba opravy j -té poruchy.

3. Odhad parametru proudu poruch $\Lambda(t)$

$$\hat{\Lambda}(t) = \frac{n_F(t, t + \Delta t)}{n \Delta t}, \quad (10)$$

kde $n_F(t, t + \Delta t)$ je počet poruch pozorovaných během časového intervalu $(t, t + \Delta t)$, n je počet opravovaných objektů.

4. Součinitel ustálené (asymptotické) pohotovosti A

$$A = \frac{MUT}{MUT + MDT}, \quad (11)$$

kde MUT je střední doba použitelného stavu, MDT je střední doba nepoužitelného stavu.

Jde o obecný ukazatel spolehlivosti opravovaných objektů s nenulovou dobou do obnovy. Součinitel ustálené pohotovosti lze konfigurovat jinou specifikací vstupních dat. Je velmi důležité, aby ve smlouvách při nákupu strojů a zařízení byla věnována mimořádná pozornost specifikaci těchto vstup-

ních dat pro výpočet součinitele ustálené pohotovosti. Níže je uveden další vztah pro výpočet součinitele ustálené pohotovosti A_1 .

$$A_1 = \frac{MOTBF}{MOTBF + MTTR}, \quad (12)$$

kde $MOTBF$ je střední doba provozu mezi poruchami, $MTTR$ je střední doba do obnovy (obsahuje střední dobu údržby po poruše + dobu nezjištěného poruchového stavu a administrativního zpoždění).

V tabulce 1 je uveden souhrnný přehled obecných ukazatelů týkajících se doby do poruchy (pravděpodobnost poruchy $F(t)$, rozdělení hustoty pravděpodobnosti poruchy $f(t)$, pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$ a intenzita poruch $\lambda(t)$) a vztahů mezi nimi.

Tab. 1: Vztahy mezi jednotlivými ukazateli bezporuchovosti

Ukazatel spolehlivosti	Vztah k jiným ukazatelům			
	$F(t)$	$f(t)$	$R(t)$	$\lambda(t)$
$F(t)$	–	$\frac{dF(t)}{dt}$	$1 - F(t)$	$\frac{1}{1 - F(t)} \frac{dF(t)}{dt}$
$f(t)$	$\int_0^t f(x) dx$	–	$\int_t^\infty f(x) dx$	$\frac{f(t)}{\int_t^\infty f(x) dx}$
$R(t)$	$1 - R(t)$	$-\frac{dR(t)}{dt}$	–	$-\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt}$
$\lambda(t)$	$1 - \exp\left(-\int_0^t \lambda(x) dx\right)$	$\lambda(t) \exp\left(-\int_0^t \lambda(x) dx\right)$	$\exp\left(-\int_0^t \lambda(x) dx\right)$	–

Poznámka: Obdobné vztahy platí mezi funkcionálními ukazateli jakékoliv náhodné veličiny, například doby do první poruchy, doby provozu mezi poruchami, doby použitelného stavu, doby nepoužitelného stavu, doby do obnovy, doby údržby po poruše, doby opravy apod.

Z tab. 1 dále vyplývá skutečnost, že známe-li jednu charakteristiku spolehlivosti, je možné dopočítat zbývající charakteristiky.

2. Numerické řešení charakteristik spolehlivosti – kvantitativní analýza

Tab. 2: Výpočet ukazatelů spolehlivosti pro kulové kohouty

Třídící pole	Doba do obnovy TTR_i (h)	$MTTR$ (h)	Ekvivalentní doba zkoušky T_{oEi} (h)	$MOTBF_i$ (h)	Pohotovost A_i
KUDN1000	88 176	2 844	4 467 024	144 098	0,9806
KUDN1200	22 920	2 084	1 159 680	105 425	0,9806
KUDN1400	4 488	1 496	2 010 312	670 104	0,9978
KUDN300	287 352	3 936	43 687 848	598 464	0,9935
KUDN500	66 648	2 563	14 299 752	549 990	0,9954
KUDN700	261 360	3 039	24 266 640	282 170	0,9893
KUDN800	75 672	4 451	1 763 928	103 760	0,9589
KUDN900	124 392	4 013	6 445 608	207 923	0,9811
Celkový součet	931 008		98 100 792		
<i>Vážený průměr</i>		3 408		452 664	0,9925

3. Výpočet parametru proudu poruch

V této části bude ověřena hypotéza, že se snižováním objemu plánované preventivní údržby dochází ke zvyšování parametru proudu poruch. To znamená, že existuje závislost intenzity/parametru proudu poruch na programu preventivní údržby (tzv. naplněnosti).

Protože sledované objekty/technická místa jsou opravitelné a jsou opravovány, použije se termín parametr proudu poruch

$$\Lambda(t_i)_j = \frac{m(t_i + \Delta t)_j - m(t_i)_j}{\Delta t \cdot n_j} = \frac{m(\Delta t_i)_j}{\Delta t \cdot n_j} \text{ (rok}^{-1}\text{)} \quad (13)$$

kde: $\Lambda(t_i)$ - parametr proudu poruch objektu j -té skupiny objektů/technických míst v čase t_i

$m(t_i)_j$ - počet poruch j -té skupiny objektů/technických v čase t_i ; počet poruch se počítá od počátku jejich sledování v čase t_0

$m(t_i + \Delta t)_j$ - počet poruch j -té skupiny objektů/technických míst v čase $t_i + \Delta t$; počet poruch se počítá od počátku jejich sledování v čase t_0

Δt - pevně stanovený časový interval (rok); pro případ této studie se doporučuje 1 rok

n_j - počet sledovaných j -tých objektů/technických míst

Prakticky se bude parametr proudu poruch počítat podle vztahu

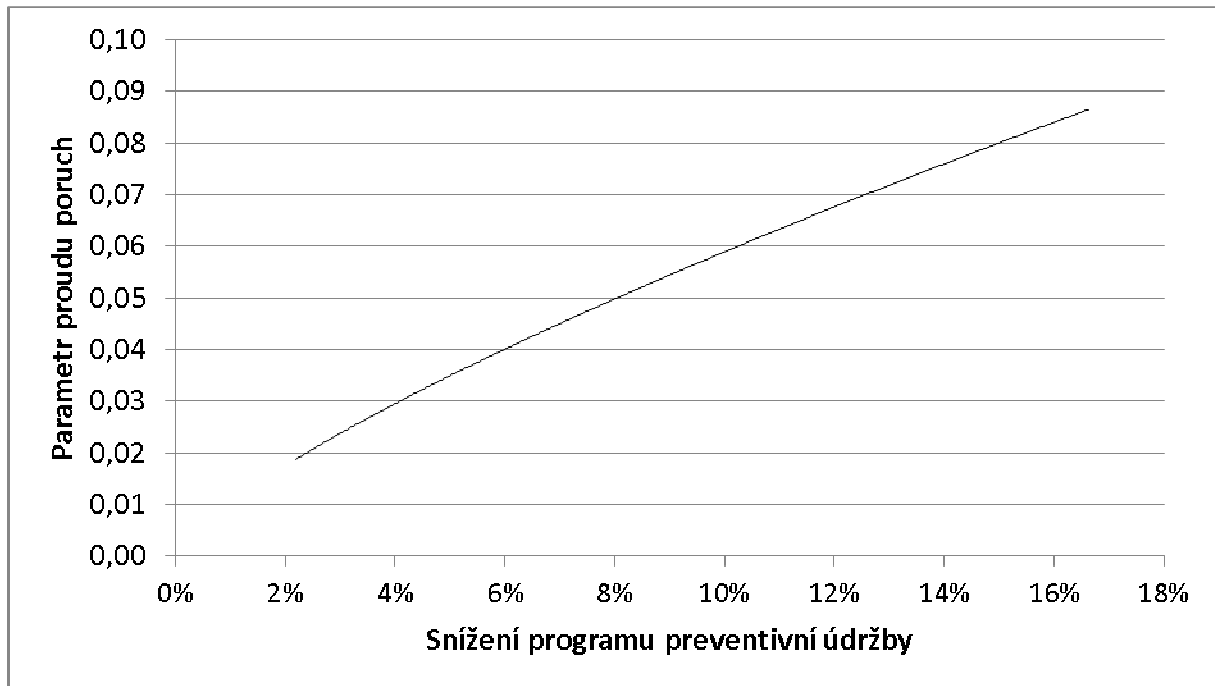
$$\Lambda(t_i)_j = \frac{m(\Delta t_i)_j}{\Delta t \cdot n_j} \text{ (rok}^{-1}\text{)} \quad (14)$$

$$\Delta t_i = 1$$

Pro každý j -tý druh objektu/technického místa v počtu n_j se zjistí počet poruch za dobu rok a dosadí do vztahu (14) a vypočítá se parametr proudu poruch pro daný rok sledování spolehlivosti.

Tab. 3: Výpočet parametru proudu poruch

Čas t_i (rok)	2008	2009	2010	2011	2012
Počty poruch m_j	34	136	105	92	161
Počet prvků n_j	2261	2261	2261	2261	2261
Parametr proudu poruch $\lambda(t_i)_j$	0,01504	0,06015	0,04644	0,04069	0,07121



4. Závěr

Pomocí numerického řešení charakteristik spolehlivosti a v kombinaci s KPI v údržbě dle ČSN EN 15341 (E16 – náklady na preventivní údržbu / celkové náklady na údržbu nebo O18 – počet normohodin preventivní údržby / celkový počet normohodin údržby) lze zkoumat vliv objemu plánované preventivní údržby na parametr proudu poruch. Existuje závislost parametru proudu poruch na programu preventivní údržby (na tzv. naplněnosti údržby).

Je zřejmé, že s růstem parametru proudu poruch rostou náklady na údržbu po poruše a tím celkové náklady na údržbu společnosti. Z analýzy dat lze dospět k závěru, že úspora v programu preventivní údržby vyvolá více než osmi násobek nákladů údržby po poruše.

Použitá literatura:

- [1] ČSN IEC 50(191): 1993 MEDZINÁRODNÝ ELEKTROTECHNICKÝ SLOVNÍK. Kapitola 191: Spolehlivost a akost' služieb.
- [2] LEGÁT, V. a kol.: Management a inženýrství údržby, 2013, Professional Publishing, Praha
- [3] ČSN EN 15341:2010 Údržba – Klíčové indikátory výkonnosti údržby
- [4] MYKISKA, A.: Bezpečnost a spolehlivost technických systémů. ČVUT Praha 2004.

Kontaktní údaje:

Ing. Adam Teringl
 NET4GAS, s.r.o.
 Na Hřebenech II 1718/8, CZ-140 21 Praha 4 - Nusle
 Tel.: +420 220 225 074, Mob.: +420 739 537 490
 E-mail: adam.teringl@net4gas.cz

Ing. Zdeněk Aleš, Ph.D.
 Katedra jakosti a spolehlivosti strojů, Technická fakulta, ČZU v Praze
 Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbátka
 Tel.: +420 22438 3254
 E-mail: ales@tf.czu.cz

Výkon a spotřeba paliva jako ukazatel technického stavu motoru

Martin Pexa – Jakub Čedík – Jindřich Pavlů

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů, Technická fakulta,

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technický rozvoj ve sféře automobilového průmyslu je doprovázen růstem počtu zařízení, na která jsou kladeny základní nároky bezvadného, spolehlivého, ekologického a ekonomicky příznivého provozu. Zabezpečit tyto požadavky nelze pouze kvalitní konstrukcí a výrobou, ale o vozidlo a jeho zařízení je nutno pečovat a jejich funkci pravidelně kontrolovat.

Úkolem servisních pracovišť je kontrolovat jednotlivé funkce všech zařízení vozidla, zejména ty, co mají dopad na bezpečnost silničního provozu, ale také na ekologičnost provozu, protože silniční doprava patří k předním znečišťovatelům životního prostředí. Z tohoto důvodu vznikly stanice technické kontroly pro vozidla v provozu. Pro vozidla nová platí homologační měření, která s velkou přesností vystihují chování vozidla v silničním provozu.

Hlavním parametrem spalovacích motorů z hlediska ekonomiky a ekologie provozu je míra účinnosti přeměny chemické energie obsažené v palivu na mechanickou práci. V případě, že se na stejné množství práce lépe využije energie obsažená v palivu, tak lze konstatovat, že dopad na životní prostředí bude menší. Nejvýznamnějším ukazatelem této účinnosti je měrná spotřeba paliva [g.kWh^{-1}], kterou lze charakterizovat jako komplexní diagnostický signál spalovacích motorů. Na velikost měrné spotřeby paliva má vliv technický stav daného motoru, ale také pokrok v konstrukci motoru. Aby bylo možné stanovit uvedený komplexní diagnostický signál tak je nutné, aby byly dostatečně přesně měřeny výkonové parametry a spotřeba paliva motoru.

1. Metody měření výkonových parametrů spalovacích motorů

K měření výkonových parametrů spalovacích motorů, výkonu a točivého momentu v závislosti na otáčkách, se využívá celá řada metod. Každá metoda měření má různé požadavky na její provedení a s tím souvisí také rozdílná přesnost. Z hlediska zatížení, lze rozdělit tyto metody na stacionární a dynamické. Podrobnější přehled uvádí tabulka číslo 1.

Tab. 1 Přehled metod měření výkonových parametrů motorů [Kadleček, 2003]

Způsob zatížení	Uložení motoru	Měření výkonu na	Princip měřícího zařízení
Stacionární (statické) - předvolené otáčky motoru jsou udržovány zatěžovacím momentem brzdy (automobilové motory) - zatěžovací moment se volí nezávisle na otáčkách (motory s vlastní regulací)	zkušební stanoviště	<i>klikovém hřídeli</i> nebo jiném srovnatelném místě	<i>Absorpční dynamometry:</i> - elektromagnetické vířivé brzdy - hydraulické brzdy - mechanické frikční brzdy
	ve vozidle (v místě instalace)	<i>obvodu hnacích kol</i> (válcové zkušebny)	- vzduchové brzdy (virtulové)
		<i>klikovém hřídeli</i> nebo jiném srovnatelném místě	- tandemové brzdy (kombinace)
		<i>vývodovém hřídeli</i> (traktory a užitková vozidla)	<i>Univerzální dynamometry:</i> - elektrodynamické motorge-nerátory na stejnosměrný nebo střídavý proud <i>Torznní dynamometry</i> (nebrzdí)
Dynamické - urychlování setrvačných hmot zvo-leným točivým momentem	ve vozidle	<i>obvodu hnacích kol</i> (válcové zkušebny)	<i>měření úhlového zrychlení setrvačných hmot</i> (přídavné setrvačníky na válcích)
		<i>klikovém hřídeli</i> nebo jiném srovnatelném místě	<i>měření úhlového zrychlení klikového hřídele samotného motoru (volná akcelera-ce)</i> nebo s přídavnými setrvač-nými hmotami při jízdě na určitý převodový stupeň
		<i>přepočet výkonu na klikový hřídel</i>	<i>měření přímočarého zrychlení celého vozidla</i>

Měření při stacionárním zatěžovacím momentu

Obvykle se statickým (stabilním) zatížením spalovacího motoru rozumí takové zatížení, které umožní nastavení předvolených otáček, které jsou v průběhu snímání jednotlivých vstupů a výstupů z motoru konstantní. K udržování příslušného zatížení slouží celá řada dynamometrů.

Měření motorovým dynamometrem na zkušebním stanovišti [Kadleček, 2003, Šmicr a kol. 1984, Pejša a kol, 1995]



Obr. 1 Měření samotného motoru na výkonovém dynamometru

také toto měření považováno za plně průkazné. Z praktického hlediska se však i zde vyskytují chyby měření, které mohou být například způsobeny vlastními ztrátami a hysterezí použitého dynamometru, chybou snímačů reakční síly a případně také snímači teplot a atmosférického tlaku, které se projeví jako chyba ve výpočtu korekčních činitelů na referenční atmosférické podmínky.

Zkušební stanoviště je s ohledem na své vysoké pořizovací náklady, požadavky na čas a pracnost vhodné zejména pro vývoj nových motorů, zkoušení při jejich výrobě a případně homologační měření. Pro běžnou servisní a opravářskou praxi je tento způsob měření výkonových parametrů nevhodný i s ohledem na nestejné provozní podmínky v zabudovaném stavu a ve stavu uložení na zkušební stanovišti (například rozdílná sací a výfuková soustava).

Měření spalovacího motoru ve vozidle pomocí válcového dynamometru [Kadleček, 2003, Šmicr a kol. 1984, Zákon č. 341/2002 Sb., www.dieselnet.com]

Některé uvedené nedostatky metody měření na zkušební stanovišti řeší měření spalovacího motoru ve vozidle na válcovém dynamometru. Tato metoda měření dosahuje srovnatelných přesností měření jako předchozí metoda, ale pouze při měření výkonových parametrů na obvodu hnacích kol. Ten je proti skutečnému výkonu motoru obvykle nižší. Navíc dochází ve vozidlech při přenosu rychlosti a momentu k transformaci v převodových a jízdních částech.



Obr. 2 Měření silničního vozidla na válcovém dynamometru [www.dieselnet.com]

Tento způsob měření spalovacího motoru vychází z normy ISO 1585:1992 „Silniční vozidla – Zkoušky motoru – Výkon netto“ nebo ČSN 30 2008 „Motory automobilové - Zkoušky na brzdovém stanovišti“. Motor je v tomto případě demontován z vozidla a uložen na měřící stanoviště, kde je dovybaven pouze pomocným zařízením, které je nezbytné k jeho provozu.

Měření výkonových parametrů motoru na zkušební stanovišti patří k základním způsobům snímání parametrů na klikovém hřídeli. Příslušná norma limituje přesnost měření jednotlivých signálů včetně korekcí na standardní podmínky. Z tohoto důvodu je

Lze tedy říci, že nejvýznamnější ztráty vznikají právě při přenosu energie z klikového hřídele na hnací kola a jsou závislé na účinnosti částí, jako je spojka, převodovka, kloubový hřídel, rozvodovka, koncové převody apod. Dalšími ztrátami jsou ztráty, které se týkají prokluzu a deformační práce pneumatiky s jistým vlivem ventilačních ztrát při jejich rotaci.

Velikost těchto ztrát je do jisté míry náhodného charakteru a není ani u vozidla stejné typové řady obvykle shodná. Na velikost ztrát má vliv technický stav a mazání všech třecích dvojic převodovek a rozvodovek a také řada faktorů, které se týkají

pneumatiky jako je stav dezénu a nahuštění. V hydraulických, elektrických a jiných soustavách se vyskytují energetické akumulátory, které způsobují kmitání soustavy. Obdobný problém hrozí právě i v uvedených mechanických soustavách, kdy přelévání energie z jednoho do druhého akumulátoru může ovlivnit měření.

Velikost celkových převodových ztrát při měření na válcových dynamometrech uváděná v literatuře je značně nejednotná. Ve starší literatuře se pohybuje až u 40 % a v novější literatuře do 25 % užitečného výkonu motoru na klikovém hřídeli. I když jsou v praxi používány metody pro zjištění ztrát, například decelerace motoru, korekční výpočty na prokluz apod., tak je stanovení výkonových parametrů na klikovém hřídeli zatíženo značnou chybou, což dokládají také experimenty, které provádí odborná periodika. V následující tabulce číslo 2 jsou uvedeny výsledky z měření vozidla Škoda Felicia 1,9 D v různých zkušebnách.

Z tabulky vyplývá, že jsou v měřených hodnotách různými zkušebnami značné výkyvy a jsou dosaženy odchylky i přesahující 20 % měřené veličiny, což je pro diagnostickou praxi nepřijatelné. Na druhou stranu nelze tyto metody v žádném případě zamítnout, protože dokáží přesně měřit zejména výkon na hnacích kolech. Ten je dále korigován a přepočítáván na klikový hřídel, což je běžně výrobcem udávaná hodnota, kterou měří na základě norem na zkušebním stanovišti, které má odlišné podmínky od jiných firemních podmínek a zejména je měřen jiný motor v jiném technickém stavu.

Tab. 2 Hodnoty výkonových parametrů vozidla Škoda Felicia 1,9 D v různých zkušebnách [Kadleček, 2003]

Zkušebna	Výkon [kW při min ⁻¹]	Točivý moment [Nm při min ⁻¹]
Jaroš Brno	45,77 při 4028	120,90 při 2328
Bosch	46,10 při 4240	115,80 při 2810
Maha Consulting	48,00 při 4380	112,00 při 2780
MEZservis Vsetín	42,66 při 4588	100,20 při 3226
Technology garage	42,60 při 4545	99,70 při 2970
Tabulkové hodnoty	47,00 při 4300	124,00 při 2500 - 3200

Uvedené důvody a praktické použití upozorňují na význam přenesených výkonových parametrů z klikového hřídele na hnací kola. Výkon na hnacích kolech slouží přímo k pohybu vozidla, kdežto výkon na klikovém hřídeli motoru musí pokrýt všechny dříve uvedené ztráty zařízení od motoru až po hnací kola. Zároveň by měření výkonu na hnacích kolech umožnilo kromě stavu motoru kontrolovat také stav převodových a pojezdových ústrojí. Z tohoto důvodu je válcová zkušebna vhodná. Jejím nedostatkem jsou však větší požadavky na investice a proto se hodí do větších firem a servisních pracovišť.

Měření výkonových parametrů dynamických způsobem

Proti statickým metodám měření, kdy jsou výkonové parametry spalovacího motoru měřeny při ustálených otáčkách a zatížení, tak jsou v případě dynamických metod měřeny při dynamických režimech motoru, jako je urychlování (akcelerace) a zpomalování (decelerace) jeho setrvačných hmot. Motor je tedy zatížen svou setrvačnou hmotností, kterou urychluje. Velikost zatížení není dána absolutní hodnotou momentu setrvačnosti, ale polohou palivového pedálu.

Měřený motor zpravidla urychluje setrvačné hmoty s plnou dodávkou paliva. Ve výsledku není rozdíl v tom, zda při jízdě na vozovce jsou setrvačné hmoty vztaženy k celému vozidlu nebo při urych-

lování samotného motoru (volná akcelerace), kdy setrvačné hmoty odpovídají jeho pohybujícím se součástkám. Změní se pouze poměr velikosti zrychlení a setrvačné hmoty, které jsou spolu v nepřímé úměře.

Na základě takto naměřených průběhů výkonových parametrů na otáčkách motoru lze sestavit dynamickou charakteristiku motoru, která je obdobná s vnější otáčkovou charakteristikou motoru měřenou na zkušebním stanovišti za statických podmínek, ale nelze je ztotožňovat, přestože mezi oběma druhy charakteristik nebývají výrazné rozdíly. Během dynamického procesu totiž dochází k situaci, že při rozběhu motoru si neodpovídají podmínky spalování s podmínkami přípravy spalování, protože dochází k fázovému posunu charakteristik, který je způsobený setrvačností pracovního cyklu.

V široké praxi jsou relativně často upřednostňovány statické měření na zkušebních stanovištích, i když se ve skutečném provozu tyto případy nevyskytují příliš často, ale spíše se jedná o dynamické režimy práce motoru (doba akcelerace mezi různými rychlostmi), které mají svůj význam především v otázce bezpečnosti předjíždění a plynulosti provozu. Statické charakteristiky mají význam při posuzování vozidel v provozu na dálnicích a silnicích pro motorová vozidla.

Válcové zkušebny pro dynamická měření [Kadleček 2003, Šmicr a kol. 1984, Pejša a kol, 1995]

Pro měření výkonových parametrů dynamickým způsobem na válcových zkušebnách se využívá jejich setrvačnickové provedení, které je původně pro kontrolu rychloměrů a tachografů, přezkoušení termostátů, teploměrů, činnosti spojky, řazení převodů, lokalizace hluků apod. Zařízení je vybaveno válci, které jsou poháněny hnacími koly vozidla a v režimu akcelerace se k nim pro zvýšení setrvačnosti připojují setrvačníky. Aby skutečné podmínky na pozemních komunikacích byly adekvátní s měřicími podmínkami, tak je zapotřebí přesně tak velkých setrvačnicků jako je setrvačná hmota vozidla. V praxi se to řeší kombinací zapojování různých setrvačnicků nebo pomocí vzduchových a hydraulických brzd.

Měření výkonu a točivého momentu motoru je obvykle u tohoto typu zkušebny řešeno pomocí vloženého členu mezi rotující válec a poháněný setrvačnick. Vloženým členem může být momentový převod nebo torzní dynamometr. V současné době jsou původní méně přesné analogové zapisovače nahrazeny digitálním vyhodnocením. Nejmodernější zařízení umožňují měření statické i dynamické.

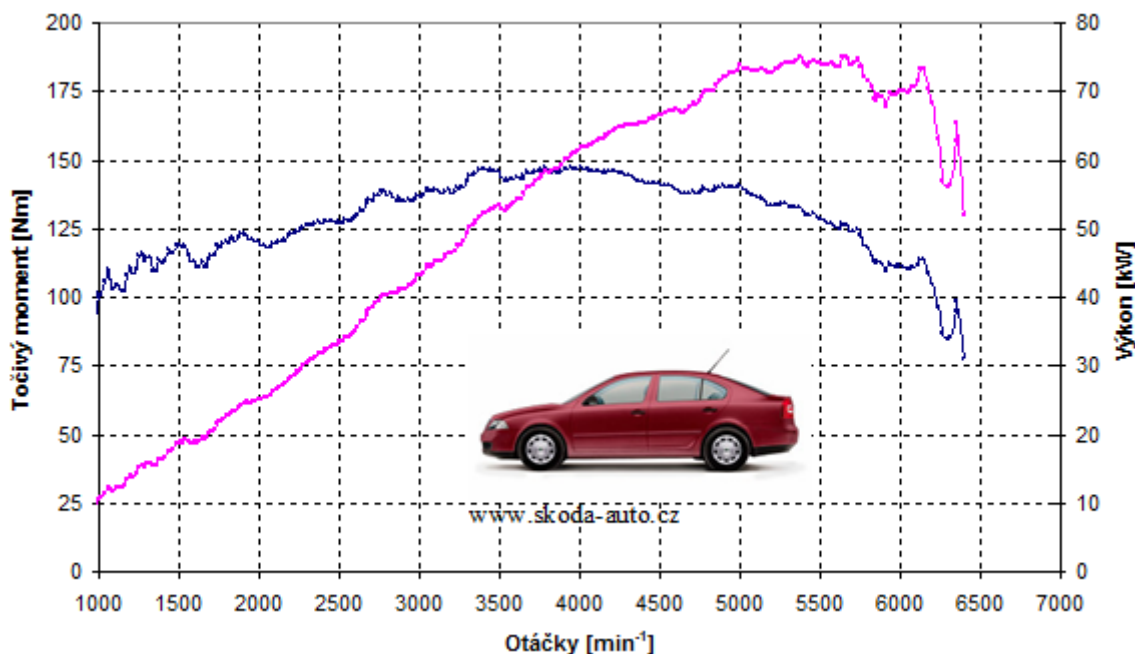
Bohužel jsou mnohdy ještě v současné době dynamické metody měření brány jako pouze pomocné a orientační, i když konstrukce setrvačnickové válcové zkušebny je jednodušší a také řádově levnější, čímž by našly uplatnění v běžných servisních střediscích nejen k orientačním zkouškám, ale k plnohodnotným zkouškám výkonových parametrů motoru.

Metoda měření při volné akceleraci [Kadleček 2003, Pejša a kol, 1995, Pejša a kol, 2000, Pejša a kol, 2001, Pejša a kol, 2001, Kadleček 2004]

Měření výkonových parametrů pomocí volné akcelerace vnější silou nezatíženého motoru je známo již dlouho dobu, ale bez objektivní podstaty. Pouze záleželo na subjektivních zkušenostech mechanika, který měření prováděl. S rozvojem techniky se postupně přešlo z méně přesných analogových přístrojů na digitální elektroniku a výpočetní techniku, která již je naprosto objektivní.

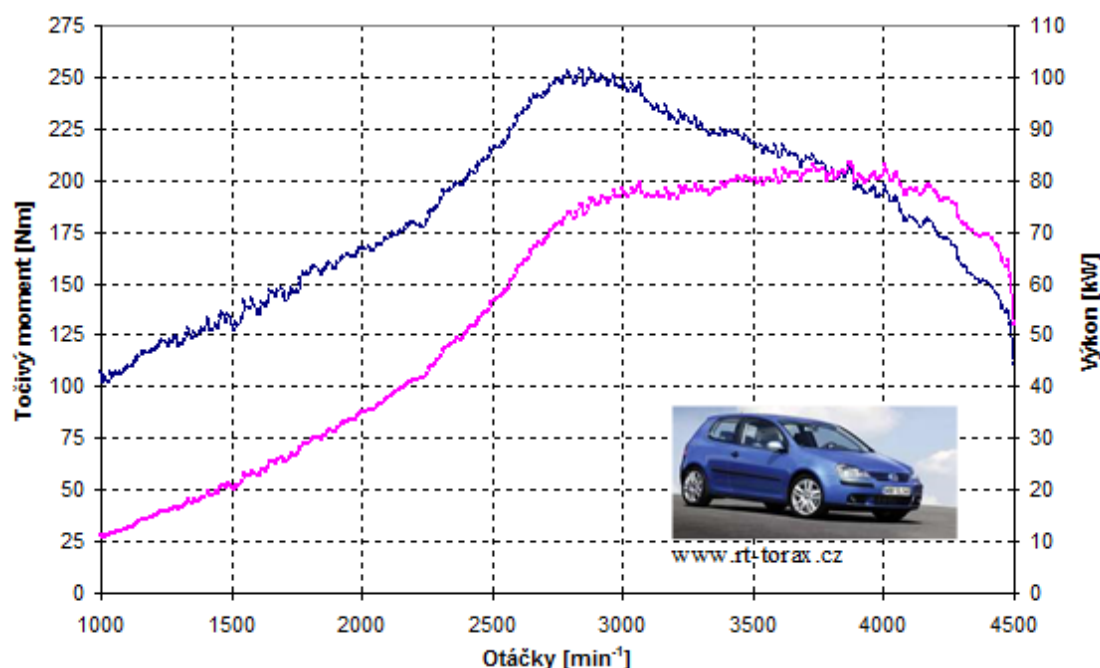
Výhodou této metody vůči výše popsaným metodám měření výkonu a točivého momentu motoru je vysoká přesnost a opakovatelnost, protože jako jediná z metod není ovlivněna ztrátami a hysterezí jako je tomu u statických měření. Přesnost měření na volných válcích je ovlivněna pouze přesností měření času, za který se pootočí klikový hřídel motoru o určitý úhel.

Měření úhlového zrychlení a úhlové rychlosti klikového hřídele motoru s dostatečnou přesností na μs je poměrně snadnou záležitostí. Problematické je stanovení momentu setrvačnosti motoru. První možností jak získat moment setrvačnosti motoru je informace od výrobce, který dodá přesnou hodnotu momentu setrvačnosti přímo s motorem vozidla. Tento způsob je velmi jednoduchý, ale v praxi se vyskytuje pouze ojediněle. Druhou možností je změřit nové vozidlo a moment setrvačnosti vypočítat zpětně z naměřeného točivého momentu. Možností třetí je měřit dostatečné množství vozidel a sledovat průběh točivého momentu. V případě, že překračuje výrobcem udávanou hodnotu, pro motor bez jakýchkoliv úprav, je hodnota momentu setrvačnosti snížena. Toto se opakuje, až se získá poměrně přesný moment setrvačnosti, který se blíží hodnotě skutečné. Čtvrtou možností je změřit motor s přívažkem o známé velikosti a moment setrvačnosti dopočítat. Následují další možnosti založené na akceleraci a deceleraci motoru, případně celého vozidla. Z hlediska provozu motoru lze moment setrvačnosti považovat za konstantní, jelikož se téměř nemění. Případná chyba v nastavení momentu setrvačnosti je při měření významná, ale je chybou systematickou a nemá tedy náhodný vliv na přesnost vlastního měření.



Obr. 3 Výkonové parametry – Škoda Octavia II s motorem 1,6 MPI (75 kW)

Kromě stanovení momentu setrvačnosti motoru je zde problém s parametry plnicího vzduchu. Jde především o motory s turbodmychadlem a motory, které mají proměnnou délku sacího potrubí. Zpoždění turbodmychadla je dané vlastním principem jeho práce a v závislosti na vyspělosti konstrukce je ovlivněna jeho velikost. Přesto i u moderních motorů se téměř v celém rozsahu během měření při volné akceleraci naměří hodnoty výkonových parametrů, které by odpovídaly atmosféricky plněnému motoru.



Obr. 4 Výkonové parametry – Volkswagen Golf V s motorem 1,9 TDI (39)

Kromě uvedených nedostatků, které nejsou nepodstatné, má metoda měření na volných válcích také celou řadu předností. Kromě toho, že je zaručena velmi vysoká opakovatelnost měření je toto měření prováděno bez demontáže motoru a dalších významných technických zásahů. Významnou výhodou je také neomezený rozsah výkonově různých strojů se stejnou přesností, které jsou měřeny jedním přístrojem. Nespornou výhodou jsou také nízké pořizovací náklady proti klasickým metodám měření.

2. Metody měření spotřeby paliva

Počet vozidel a tím také spotřeba paliva v České republice neustále roste. Současně na zvyšující se spotřebě paliva má vliv také rostoucí stáří motorových vozidel (jejich zhoršený technický stav a zastaralá konstrukce), které je v současné době více jak 14 roku.

Se zvyšujícím se stářím vozového parku České republiky souvisí také zastarávání jejich konstrukce, přičemž se odhaduje, že 10 % spotřeby paliva právě připadá na ztráty vlivem konstrukce a dalších 10 % na ztráty, které souvisí se zhoršeným technickým stavem motorových vozidel. Téměř většina závad spalovacích motorů se projevuje právě zvýšením měrné spotřeby paliva.

Právě měrná spotřeba paliva je považována za komplexní diagnostický signál, který charakterizuje účinnost motoru. Bohužel v praxi se spotřeba paliva převážně udává v litrech na 100 km provozu v podobě tří čísel, která charakterizují spotřebu paliva v simulovaném městském cyklu, mimoměstském cyklu a ve smíšeném provozu, který je kombinací předchozích dvou (36,8 % městský cyklus 63,2 % mimoměstský cyklus).

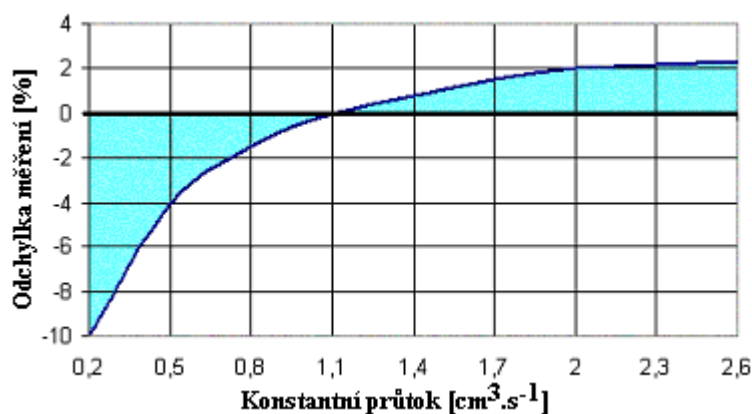
Měření spotřeby paliva pomocí průtokoměrů (volumetricky) [Havliček a kol. 1989, Pejša a kol, 1995]

Měření spotřeby paliva pomocí palivoměrů je poměrně jednoduché, ale má některé problémy, které souvisí především se správným umístěním do palivové soustavy měřeného spalovacího motoru a také s měřením a načítáním spotřeby paliva v průběhu dynamických režimů a také její přiřazení k jednotlivým hodnotám otáček motoru.

Při připojení palivoměru nesmí být ovlivněny správné provozní parametry palivové soustavy a musí být respektováno zpětné vracení přebytečného paliva do nádrže. Za těchto dvou podmínek je zcela bezproblémové připojení palivoměru do starší soustavy vznětových motorů s neproplachovaným vstřikovacím čerpadlem a zážehových motorů s karburátorem. Problém s proplachováním soustavy je třeba řešit tak, aby byly zachovány všechny funkce proplachování a současně nebyla měřená spotřeba paliva proplachovacím množstvím zvětšena. U motorů se vstřikováním paliva je eliminace zpětného vracení paliva obtížná proto, že je nutné dodržet také vstřikovací tlak, který charakterizuje podmínky pro vstříknutí správného množství ve správný čas do příslušného válce spalovacího motoru. Poslední konstrukce mají vstřikovací tlak proměnný v závislosti na otáčkách motoru.

Akcelerační způsob měření spotřeby paliva klade na konstrukci měřiče spotřeby paliva podstatně vyšší nároky, než je tomu u klasického statické zatěžování. Především se jedná o přesnost, jemné rozlišení a co nejnižší setrvačnost mechanických a hydraulických systémů použitého palivoměru. Lze použít běžné komerční palivoměry. V takovém případě je ovšem nezbytně nutné eliminovat časové zpoždění odečítání spotřeby, způsobené zejména setrvačností mechanismů, pasivními odpory použitého typu palivoměru a použitým potrubím, resp. jeho pružností.

Jedná se zejména o objemová pístová nebo rychlostní měřidla, kde je měřící prvek proudem kapaliny uváděn do rotačního pohybu. Rychlost je elektricky měřena a měřené údaje jsou cejchovány přímo v litrech za minutu nebo cm^3 za sekundu. Přesnost těchto průtokoměrů



bývá 1 až 2 % s tím, že nároky na přesnost a kvalitu částí jsou vysoké. Přesného měření lze v praxi dosáhnout jednak volbou průtokoměru o měřicím rozsahu, který zabezpečuje, že měřený průtok zpravidla prochází nulovou hodnotou cejchovní křivky nebo se využije výpočetní techniky, která umožní korekci podle cejchovní křivky znázorněné například na obrázku číslo 5.

Obr. 5 Příklad cejchovní křivky objemového průtokoměru [Pejša a kol, 1995]

V současnosti jsou ve stádiu zkoušek nové konstrukce palivoměrů, které jsou označovány jako aktivní palivoměry, ale bohužel nedosahují zatím potřebné přesnosti. Aktivní palivoměry reagují na podtlak v sací větvi palivové soustavy. Měřicí jednotkou může být zubové čerpadlo poháněné přes magnetickou spojku malým elektromotorem, jehož otáčky jsou obvykle řízeny diferenciálním podtlakovým regulátorem a elektronickými obvody. Další variantou je aktivní palivoměr, jehož podstata spočívá v tom, že píst odměrného válce je přes pohybový mikrometrický šroub poháněn elektromotorem, který je elektronicky řízen tak, aby jeho točivý moment, a tedy i systémový přetlak paliva v palivové soustavě byl ve všech otáčkových režimech motoru v souladu s předepsaným.

Měření spotřeby paliva pomocí váhy (gravimericky)

Dalším způsobem měření spotřeby paliva je metoda gravimetrická. Tato metoda spočívá v umístění externí nádrže na laboratorní váhu. V závislosti na přesnosti a rychlosti váhy může být tato metoda velmi přesná. Ovšem, zvláště u dynamických měření, je nutné se vypořádat s dynamickými účinky proudu paliva a také použití této metody v provozu je prakticky nemožné.

Měření spotřeby paliva pomocí palubní diagnostiky OBD

Nejjednodušší způsob, jak zjistit spotřebu paliva u vozidla se systémem palubní diagnostiky OBD, je odečíst hodnotu přímo z palubního počítače, případně po připojení diagnostického systému, přímo z řídicí jednotky motoru. Výpočet spotřeby paliva je většinou prováděn na základě efektivního tlaku ve vysokotlaké větvi palivové soustavy a času otevření vstřikovacích trysek, případně je ještě doplněn o kompenzaci vlivu teploty paliva. Nespornou výhodou této metody je fakt, že je prováděna bez zásahu do palivové soustavy, nevýhodou potom často pochybná a nezaručená přesnost.

Měření spotřeby paliva z emisí [Kadleček 2003, Havlíček a kol. 1989, Takacz 1997, Pejša a kol. 1995, Kadleček 2004, Hromádka 2011, Čedík a kol. 2014]

Pro homologační měření je od 1. 1. 1997 v rámci Evropského společenství závazný nový způsob určování spotřeby paliva stechiometrickým výpočtem ze změřených spalin. Dnes se zpracovávají výsledky měření na počítači a není problém vypočítat z množství oxidu uhelnatého CO, oxidu uhličitého CO₂ a uhlovodíků HC množství spotřebovaného paliva. Při schvalování nového typu vozidla se tedy změří pouze emise a z nich se vyhodnotí spotřeba paliva.

Výhodou způsobu zjišťování spotřeby paliva ze spalin je to, že není třeba zasahovat do palivové soustavy automobilu, připojením externího měřícího zařízení. To je u moderních palivových soustav obtížné a pracné a v některých případech dokonce nemožné, vzhledem k ovlivnění systémového tlaku paliva a tím základních parametrů měřeného motoru. Nevýhodou jsou zejména podstatně vyšší investice na celý měřící systém.

Metoda počítané spotřeby paliva ze spalin se vyvinula z měření emisí vozidlových motorů. Při „klasickém“ odběru vzorku z výfukového traktu spalovacího motoru je (zhruba řečeno) při dodržování stejných podmínek pro spalování koncentrace škodlivin přibližně stálá a se změnou režimu běhu motoru (klapka, otáčky) se mění výrazně průtok spalin. Pro výpočet spotřeby paliva z těchto tzv. neředitelných plynů je nutno zajistit přesné a kontinuální měření nasávaného množství vzduchu např. pomocí bezztrátové dýzy.

Naopak při velkém průtoku ředitelného vzduchu, několikanásobku průtoku spalin, se při změně režimu běhu mění výrazně koncentrace škodlivin (podle okamžitého podílu spalin ve vzorku přiváděném k analyzátorům) a průtok zředěných spalin je takřka neproměnný. V tomto případě není nutné zajistit kontinuální měření hltnosti motoru, je však nutné zajistit konstantní ředění v daném měření.

Výpočet spočívá v součtu uhlíku v uhlíkatých složkách emisí, jako jsou oxid uhličitý CO₂, oxid uhelnatý CO, nespálené uhlovodíky HC a pevné částice PM. Při znalosti hmotnostního podílu uhlíku v palivu, který se u motorové nafty pohybuje okolo 87 %, lze pak snadno dostat spotřebu paliva. Nejdůležitější jsou samozřejmě emise CO₂, v závislosti na účinnosti spalování se podíl paliva, spáleného na CO₂ pohybuje okolo 95 %, další složky slouží v podstatě ke zpřesnění výpočtu. Při použití přesných emisních analyzátorů lze docílit poměrně vysoké přesnosti. Hmotnostní tok spalin lze snímat přímo na výfuku nebo ho lze s určitou odchylkou nahradit hmotnostním tokem vzduchu do válců.

Na obrázku číslo 6 lze vidět porovnání několika způsobů měření spotřeby paliva u vozidla Škoda Roomster 1.4 TDi, při dynamickém měření při akceleraci na setrvačnickové válcové zkušebně. Výpočet spotřeby paliva z emisí probíhal podle vztahu 1, kde číselné koeficienty jsou stanoveny z poměru molární hmotnosti plynu a relativní atomové hmotnosti uhlíku.

$$m_p = (0,2727 \cdot C_{CO_2} + 0,4286 \cdot C_{CO} + 0,8172 \cdot C_{CH} + C_C) \cdot m_v \cdot \frac{100}{C_P} \quad (1)$$

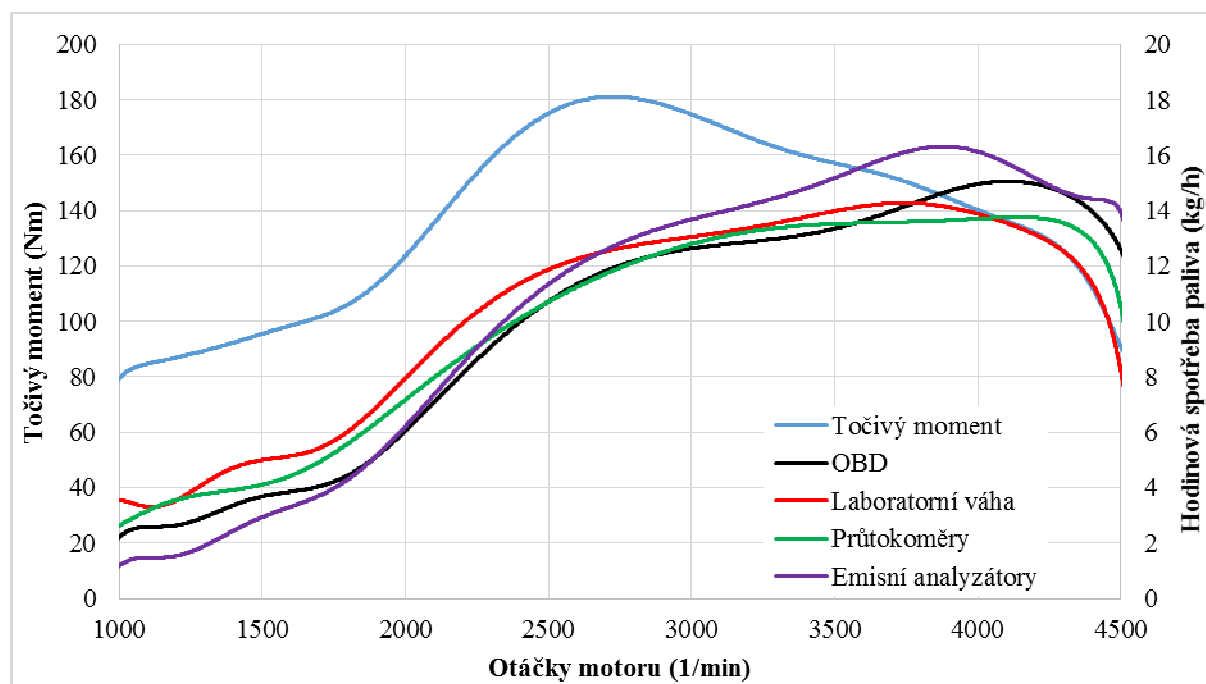
- m_p (kg.h⁻¹) - spotřeba paliva
 m_v (kg.h⁻¹) - hmotnostní průtok spalin
 C_i (%hm) - hmotnostní koncentrace i-té složky emisí ve spalinách (CO₂ – oxid uhličitý, CO – oxid uhelnatý, CH - uhlovodíky, C - částice)
 C_P (%hm) - hmotnostní podíl uhlíku v palivu (pro motorovou naftu 87%)

Podobná metoda se využívá i při homologačním měření spotřeby paliva vozidel do 3,5 t. Ovšem rozdíl je v určování hmotnostního toku, kdy při homologačním měření jsou spaliny ředěny několikanásobně větším množstvím vzduchu tak, aby byl zachován takřka neměnný průtok zředěných spalin (metoda CVS – Constant Volume Sampling). Rovnice pro výpočet jsou rovněž normalizovány pro zážehový (2) a pro vznětový motor (3).

$$FC = \frac{0,118}{\rho} * [(0,848 * M_{HC}) + (0,429 * M_{CO}) + (0,273 * M_{CO_2})] \quad (2)$$

$$FC = \frac{0,116}{\rho} * [(0,861 * M_{HC}) + (0,429 * M_{CO}) + (0,273 * M_{CO_2})] \quad (3)$$

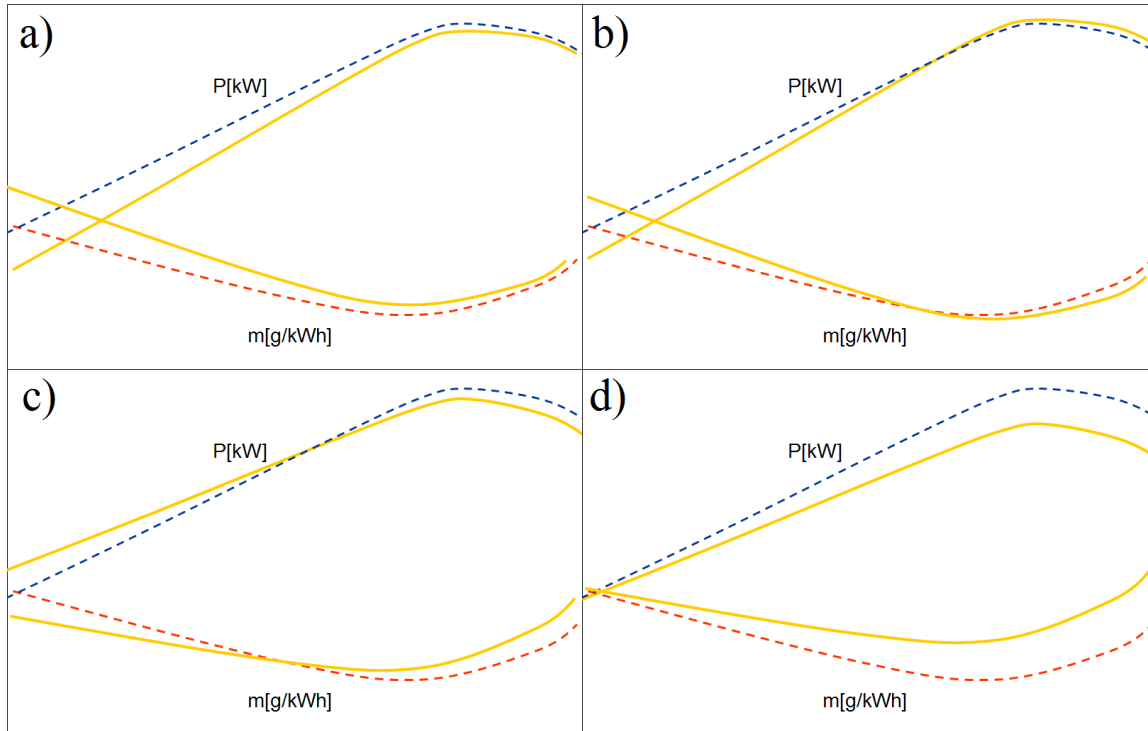
- FC (l/100km) - spotřeba paliva
 M_i (g/kWh) - měrné emise i-té složky emisí ve spalinách (CO₂ – oxid uhličitý, CO – oxid uhelnatý, HC - uhlovodíky)
 ρ (kg/dm³) - hustota paliva



Obr 6 Spotřeba paliva – Škoda Roomster 1,4 TDI

Příklad poruchy a její vliv na charakteristiky

Z průběhu měrné spotřeby v kombinaci s výkonem příp. točivým momentem tak lze vyčíslit například ztrátu komprese (obr.7a), velký (obr.7b) nebo malý (obr.7c) úhel předvstřiku, zanesený vzduchový filtr (obr.7d) atd.



Obr. 7 Typické projevy vybraných poruch – a) ztráta komprese, b) velký úhel předvstřiku, c) malý úhel předvstřiku, d) zanesený vzduchový filtr

3. Satelitní monitoring strojů [Bačovský 2010, Lau 2010]

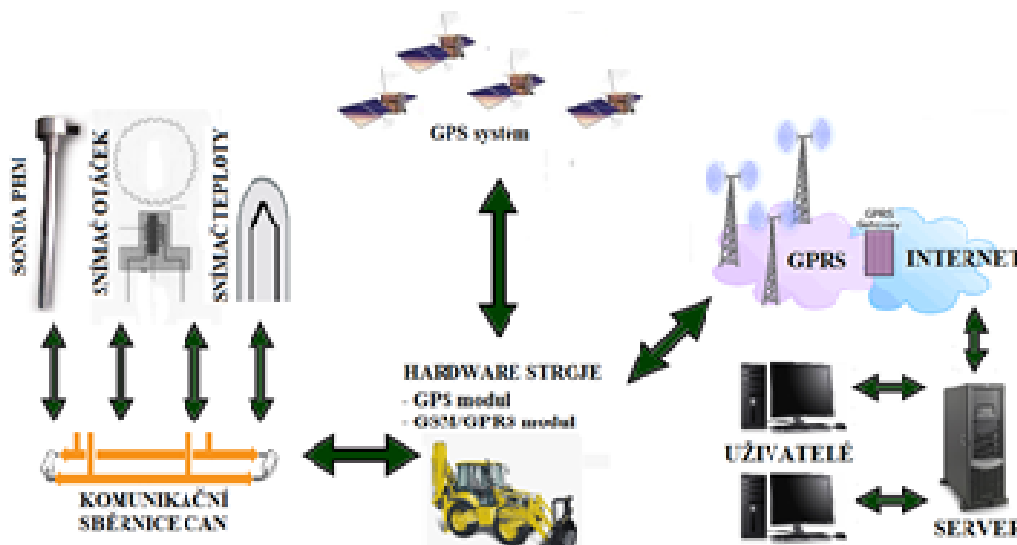
Z důvodů stále většího tlaku ohledně snižování provozních nákladů jsou podniky nuceny optimalizovat pracovní procesy svých strojů, zaměstnanců, a dosáhnout tak větší produktivity práce. Podnik, který chce na provozu svých strojů ušetřit, musí sledovat především spotřebu paliva, kterou je možno sledovat v rámci satelitního monitoringu externí kapacitní sondou CAP04. Vedoucí pracovníci musí mít pro své rozhodování přesné a aktuální informace, což právě umožňuje tento systém. Z ekonomických a technických důvodů jsou nejvíce používány systémy GPS (Global positioning system) pro určení polohy a systém GSM/GPRS (Global system for mobile communications/General packet radio service) pro odesílání dat.

Podnik, který se rozhodl satelitní monitoring využívat ke kontrole svých strojů a zaměstnanců, může zaznamenaná data dále použít ke stanovení optimálního intervalu údržby svých strojů na základě zvyšující se měrné spotřeby paliva v závislosti na době provozu stroje. Výhodou při analýze stanovení normativu je, že rozptyl dat měrné spotřeby paliva, daný variabilitou provozních podmínek, hmotnosti nákladu, způsobu jízdy řidiče, je eliminován velkým množstvím výchozích dat. Pro stanovení normativu je zvolena metoda optimálního ekonomického efektu, která je založena na základní účelové (kriteriální) funkci obnovy, definující optimální stav pro obnovu prvku.

Systémy pro satelitní přenos provozních parametrů

Celý systém pro satelitní přenos provozních parametrů lze rozdělit do pěti částí:

- Vesmírný satelitní systém pro určování polohy stroje (GPS),
- Pozemní systém pro přenos dat (GSM/GPRS),
- Sensory na stroji a jejich komunikační rozhraní (CAN sběrnice),
- Hardware pro sběr dat na stroji (Gcom),
- Systém pro vyhodnocení dat.



Obr. 8 Schéma satelitního monitoringu strojů

Pro sledování polohy v reálném čase slouží systémy GNSS (Global navigation satellite system). V současné době je GPS jediný plně funkční satelitní navigační systém, který vysílá signály umožňující GPS přijímačům určit jejich polohu, rychlost a směr pohybu. A právě z těchto důvodů je masově využíván pro všechny služby satelitního určování polohy. K přenosu dat provozních parametrů v reálném čase se využívá ve většině případů přenos dat pomocí systému GPS/GPRS hlavně z hlediska ekonomického, jelikož se neplatí za dobu připojení přenášeného kanálu, ale pouze za objem dat, které systém přenese. Data, která jsou potřeba přenést až ke konečnému uživateli se zjišťují pomocí už nainstalovaných snímačů na stroji nebo doprovodných snímačů, které si uživatel sám přeje nainstalovat. (1)

Nejsledovanějším provozním parametrem z hlediska firmy, která chce na svém provozu strojů ušetřit, je spotřeba paliva a to buď přímo při provozu stroje, tj. měrná spotřeba paliva nebo když stroj nepracuje, tj. únik paliva, krádeže paliva. Pomocí sběrnice CAN, která je součástí stroje je možné data shromáždit do paměti stroje ve formátu daném protokolem SAE J1939 pro těžké nákladní automobily a stavební stroje. Konečný uživatel má k dispozici data pomocí webového rozhraní a softwaru firmy, která satelitní monitoring strojů provozuje.

Popis systému pro vyhodnocení dat

Data jsou v zařízení Gcom zpracovávána podle nastavení konfiguračního souboru. Mohou to být data okamžitá, maximální či minimální za periodu záznamu, průměrná, statisticky určená a je možné na jejich měření aplikovat rozlišovací úrovně a filtry a to vše volit na dálku uživatelsky přímo z webové aplikace.

Data digitální, přicházející z Gcomů, jsou konvertována na serveru do dat fyzikálních, tato úroveň se nazývá „měřená data“. Z „měřených dat“ je možné z úrovně uživatele vzorci podobnými Excelu vypočítat „data dopočtená“. Z měřených a dopočtených dat je pak možné uživatelskými vzorci vytvářet požadovaná „data sumací“.

Měření provozních parametrů strojů

Lze měřit celou řadu provozních parametrů prostřednictvím již nainstalovaných snímačů na vozidle propojených sběrnici CAN (přesnost je dána normou do 10 %). Pro zvýšení přesnosti měření spotřeby paliva lze využít externí kapacitní sondu CAP04. Aktuální data umožňují kontrolu stroje v reálném čase. Záleží, jak je nastavená perioda záznamu pro přichozí data. Pro většinu případů je nastavena na 120 sekund a to z důvodů co nejaktuálnějších dat o provozu stroje a z důvodu ceny za přenášená data pomocí systému GPRS.

Tab. 3 Příklad aktuálních měřených parametrů

Spotřeba paliva	Akcelerace
Ujetá dráha	Tlaky v hydraulických okruzích
Rychlost	Teplota v hydraulických okruzích
Poloha GPS	Indikace pracovních prvků
Objem pohonných hmot	Moment
Otáčky motoru	Síla
Teplota motoru	Náklon
Tlak mazání	Napětí baterie

Tabulky sumací udávají vyhodnocení dat obdržných po dvouminutové periodě záznamu. Celková vizualizace tabulky sumací je zobrazena pro aktuální kalendářní měsíc. Je zde i možnost nastavení uživatelského rozsahu zobrazovaných dat. Uživatel má k dispozici tato sumační data:

- **Spotřeba/servis** - Datum a čas, nádrž start (l), nádrž stop (l), spotřeba z nádrže (l), ujetá vzdálenost (km), čas volnoběhu (h), čas jízdy (h), spotřeba (l/100 km), vyhodnocení spotřeby (nadspotřeba/ok), vyznačení servisu, vzdálenost do servisu, celková vzdálenost tachografu (km).
- **Tankování** - Datum a čas, nádrž start (l), nádrž stop (l), úbytek mezi směnami (l), úbytek v přestávkách (l), velký úbytek za provozu (l), kontrola sondy, tankování paliva mimo záznam (l), tankování paliva během záznamu (l), celkové tankování (l), zápis tankování (l), rozdíl měření a zápisu (l), relativní odchylka zápisu a tankování (%).
- **Časové využití** - Datum a čas, souřadnice GPS – start, čas zahájení směny, souřadnice GPS – stop, ukončení směny, délka směny (h), délka práce (h), přestávky (h), využití za den (%), využití pro jízdu za den (%).

Měření výšky hladiny paliva v nádrži kapacitní sondou CAP04

Měření měrné spotřeby paliva za účelem technického stavu a následně i potřeby diagnostické údržby známými metodami naráží na řadu problémů. Poměrně přesná měření na válcové zkušební výkonových parametru a měrné spotřeby paliva jsou velmi drahá, nehledě na problémy s měřením spalovacích motorů s větším jmenovitým výkonem jako je tomu například u stavebních strojů. Výrazně levnější akcelerační metody nejsou také bez problémů, zejména při měření dnes běžných přeplňovaných motorů.

Satelitní monitoring podniky využívají omezeným způsobem, prakticky jen pro sledování činnosti strojů. Není se čemu divit, pro tuto funkci byl také systém určen. Přitom přenášená data umožňují tento systém využívat mnohem sofistikovaněji. Aplikací vhodného algoritmu lze stanovit optimální interval údržby objektu na základě dat o měrné spotřebě paliva z činnosti stroje.

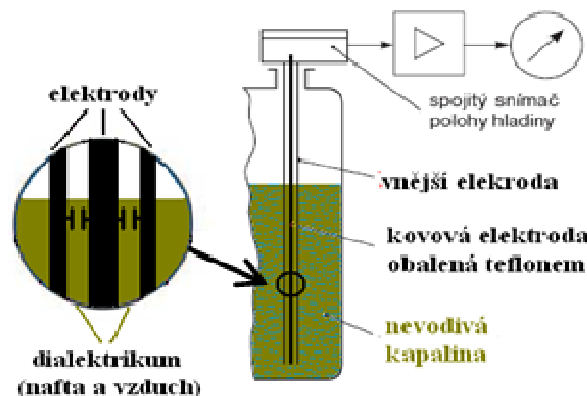
Pro měření měrné spotřeby paliva satelitním monitoringem se může využít externí kapacitní sonda, která je umístěna v nádrži stroje. Princip měření hladiny paliva kapacitní sondu je založen na faktu, že nafta je elektricky nevodivá kapalina.

Sonda CAP04 je tvořena dvěma trubkami různého průřezu, které jsou elektrodami kondenzátoru. Dielektrikum je tvořeno elektricky nevodivým materiálem, tedy naftou a vzduchem. Relativní permittivita vzduchu $\epsilon_r = 1$, při tankování je vzduch nahrazován naftou s relativní permittivitou $\epsilon_r = 2$ a tím kapacita kondenzátoru roste.

Platí základní vztah pro závislost kapacity na změně dielektrika mezi dvěma deskami kondenzátoru. Kapacitní snímač měří polohu mezihladiny vzduchu a nafty. (2)

Sonda CAP04 je vybavena teploměry, které snímají teplotu nafty, protože se zvýšením teploty nafty se zvětšuje její objem, a tím také stoupá kapacita sondy, ale zároveň klesá relativní permittivita nafty, se kterou klesá kapacita sondy.

Na základě naměřené teploty nafty procesor vyhodnocuje údaje tak, aby měřený objem nafty odpovídal objemu při referenční teplotě 15 °C. Tímto způsobem nejsou udávané objemy paliva zkresleny teplotní roztažností nafty. Dále sonda měří náklon nádrže ve dvou osách.



Obr. 9 Princip měření palivovou sondou CAP04

Výhody měření kapacitní sondou:

- chyba měření se s časem nesčítá,
- porucha sondy nezastaví provoz stroje,
- údaj hladiny je přepočítán na 15 °C,
- zcizení nafty je patrné téměř okamžitě,
- hlídání nádrže v době odstávky.

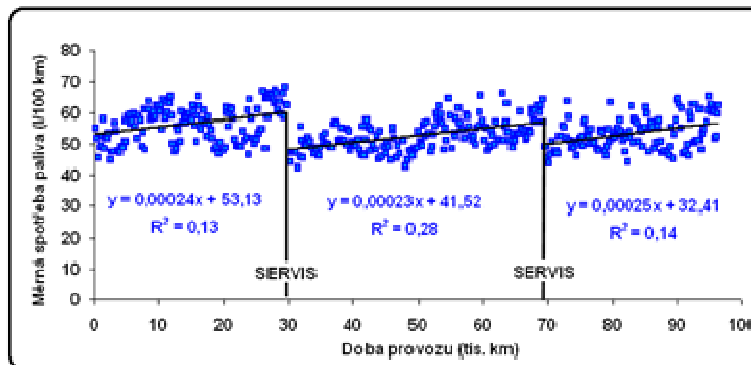
Nevýhody měření kapacitní sondou:

- v některých případech není možné sondu k nedostatečnému prostoru nad nádrží použít,
- není možné přesně měřit okamžitou spotřebu v l/hod nebo v l/km,
- jednou za rok čištění nádrže.

Stanovení optimálního intervalu údržby motoru stroje z dat měrné spotřeby paliva

V tomto případě byla provedena analýza pro nákladní vozidlo MAN TGA 35.480. Spotřeba paliva vlivem opotřebení systémů, které mají vliv na spotřebu paliva, stoupá v závislosti na době provozu vozidla. Analyzují se jen náklady na navýšení měrné spotřeby paliva. Data o měrné spotřebě paliva jsou vyhodnocována za každý den práce stroje.

Z obrázku číslo 10 je vidět, jak měrná spotřeba paliva nákladního vozidla MAN postupně narůstá v závislosti na době provozu až do pravidelné údržby motoru, kterou označuje nápis „SERVIS“.



Obr. 10 Závislost měrné spotřeby paliva na době provozu vozidla MAN TGA 35.480

Využití satelitního monitoringu pro nákladní vozidlo MAN TGA 35.480 spočívá v analýze měrné spotřeby paliva jako diagnostického signálu v závislosti na době provozu a v určení normativu pro údržbu motoru vozidla.

Normativ pro obnovu prvku lze definovat jako hodnotu diagnostického signálu, při které je poměr sumy nákladů na obnovu a provoz k sumě všech dob provozu prvků, které mají vliv na spotřebu, minimální. Tato definice je dána základní účelovou (kriteriální) funkcí obnovy, definující optimální stav pro obnovu.

$$u(t) = \frac{N_o + N_p(t)}{\bar{t}} \rightarrow \min.$$

Funkce jednotkových nákladů na obnovu $u_o(t) = N_o \cdot t^{-1}$ má s rostoucí hodnotou t , tj. s narůstající dobou provozu, klesající průběh. Jedná se o náklady na daný servisní zásah (údržba motoru) dělenou rostoucí dobou provozu. Průběh je charakterizován rovnoosou hyperbolou. Tato funkce tedy ukazuje, že z hlediska nákladů na obnovu je podporováno prodlužování doby obnovy.

Funkce jednotkových nákladů na provoz $u_p(t) = N_p(t) \cdot t^{-1}$ je s rostoucí dobou provozu rostoucí. V limitním případě může mít charakter konstanty, což je nepravděpodobné.

Lokální minimum součtové funkce jednotkových nákladů na obnovu a jednotkových nákladů na provoz přísluší optimální hodnotě obnovy. (2)

Z uvedeného vztahu vyplývá, že pro nalezení minima součtové funkce $u(t)$ je nutno znát dva základní podklady:

a) Náklady na obnovu N_o

Údržba je v servisu vykonána během jednoho pracovního dne a během tohoto dne jsou nákladové položky na údržbu motoru vozidla stanoveny takto:

- 1) Řidič vytváří finanční ztrátu firmě, pro kterou pracuje v servisní den tím, že má na starosti pouze převoz vozidla do servisu a zpět. Během této činnosti stále pobírá mzdu od zaměstnavatele a přitom nevykazuje pro firmu žádný zisk. Finanční ztrátu lze vypočítat takto: 25 000 Kč/měs. (čistá mzda řidiče) \times 1,35 (odvod ze mzdy) / 20 (pracovních dnů) = 1 688 Kč.
- 2) Finanční ztráta vzniklá prostojem vozidla se stanoví takto: 35 Kč/km (cena přepravy materiálu vozidlem) \times 220 km/den (průměrná ujetá vzdálenost za den) = 7 700 Kč

- 3) Ztráta vzniklá spotřebovaným palivem na cestu do servisu a zpět: $55 \text{ l}/100 \text{ km}$ (průměrná měrná spotřeba vozidla) $\times 30 \text{ km}$ (průmyslová vzdálenost do servisu a zpět) $\times 32,84 \text{ Kč/l}$ (průměrná cena paliva k datu 25. 2. 2011) = 540 Kč
- 4) Cena diagnostiky motoru 15 000 Kč
- 5) Cena práce po diagnostice a průměrná cena náhradních dílů (palivový, vzduchový a olejový filtr, vstříkovač, seřízení čerpadla, výměna oleje atd.) je 25 000 Kč

Sečtením stanovených a vypočítaných částek jsou určeny náklady na obnovu na 49 928 Kč, po zaokrouhlení jsou **NO = 50 000 Kč**.

b) Jednotkové náklady na provoz $u_p(t)$, které v tomto případě vychází ze sledování měrné spotřeby paliva (stanovením rovnice lineárního trendu měrné spotřeby paliva)

Pro stanovení optimálního intervalu údržby byl využit program Microsoft Excel. Pro výběr vy-exportovaných dat měrné spotřeby paliva, která jsou vhodná pro stanovení normativu, je důležité stanovení omezujících intervalů pro práci stroje. Důvodem zvolení intervalu pro výběr dat jsou pracovní podmínky každého stroje, které jsou odlišné a je nutné mít určitý přehled, v jakých podmínkách se stroj v danou dobu nacházel.

Pro nákladní vozidlo typu MAN 35.480 8×6 jsou zvoleny omezující intervaly následujícím způsobem. Doba volnoběhu musí být menší než polovina snímané doby jízdy, jelikož motor vozidla při volnoběhu spotřebovává palivo a ujetá celková vzdálenost vozidla v tomto režimu je velice malá z důvodů, že vozidlo je v tomto režimu většinu doby nakládáno materiálem určeným pro odvoz. Tímto způsobem jsou hodnoty měrné spotřeby paliva při režimech volnoběhu velice vysoké a tím dochází k nesprávnému stanovení normativu. Doba volnoběhu se načítá, jakmile otáčky motoru klesnou pod 900 min^{-1} a satelitní systém monitoringu vykazuje nulovou ujetou dráhu. Po selekci se data o měrných spotřebách za jednotlivé dny v Microsoft Excel proloží lineárním trendem.

Měrná spotřeba paliva je komplexní diagnostický signál a závisí na mnoha faktorech provozu, proto je velký rozptyl v monitorovaných měrných spotřebách paliva. Lineární trend je zvolen z důvodu právě tohoto velkého rozpětí měrné spotřeby paliva za jednotlivé pracovní dny. Lineární trend charakterizuje nárůst měrné spotřeby paliva v závislosti na době provozu.

Z rovnice lineárního trendu se určí jednotkové náklady na provoz $u_P(t)$, které jsou dány směrnicí trendu měrné spotřeby paliva a průměrnou cenou nafty 32,84 Kč k datu 25. 2. 2011 v dané době provozu vozidla (km). Po sestrojení funkcí jednotkových nákladů na provoz a na obnovu se obě tyto funkce sečtou a touto operací se stanoví průběh průměrných jednotkových nákladů $u(t)$. Stanovený normativ je v lokálním minimu funkce průměrných jednotkových nákladů.

Pro kontrolu v tomto případě může sloužit průsečík funkce $u_P(t)$ a $u_O(t)$, protože funkce $u_P(t)$ je lineární a lokální minimum funkce se nachází ve stejné době provozu jako již zmiňovaný průsečík.

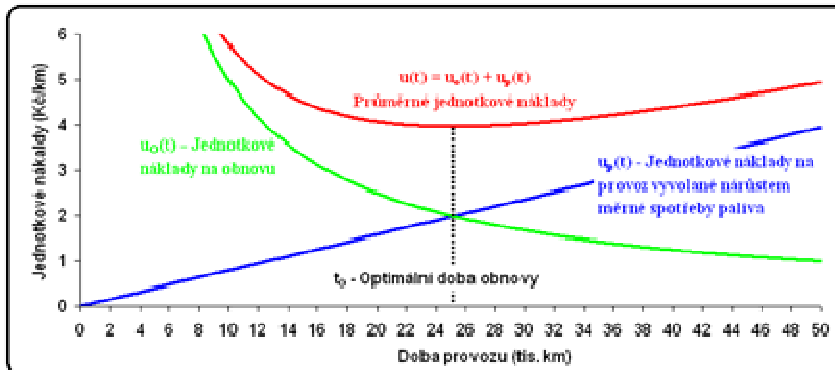
Dále lze stanovením normativu pro obnovu při analýze více stejných typů vozidel určit souhrnný normativ pro konkrétní typ stroje a využít ho pro dlouhodobé plánování vozového parku v podniku.

Tento příklad z praxe u vozidla MAN TGA 35.480 znázorňuje, že optimální doba provozu pro údržbu je 25 187 km (obr. 11). Po zaokrouhlení na tisíce km je normativ stanoven na 25000 km. Ztráty způsobené vlivem zaokrouhlení jsou znázorněny na obrázku číslo 12.

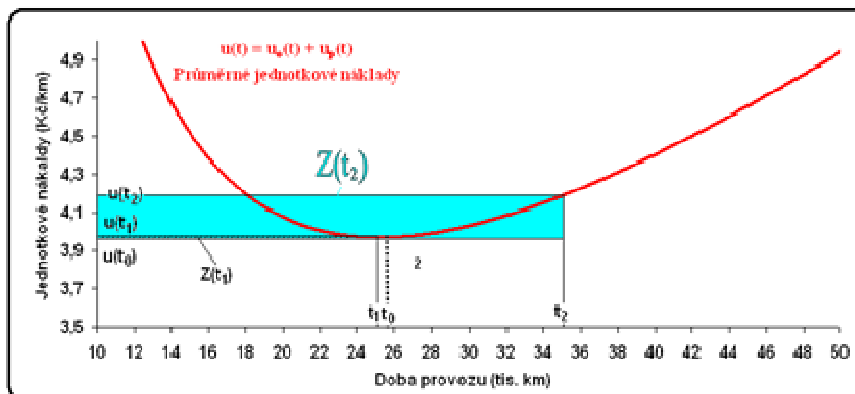
Z daného postupu je zřejmé, že normativ je proměnlivého charakteru a na jeho stanovení optimální doby má vliv:

- velikost nákladů na obnovu,
- změna ceny paliva,

- charakter průběhu jednotkových nákladů na provoz (např. při změně směrnice lineárního trendu na 0,0004 se normativ posunul na 19 509 → 20 000 km).



Obr. 11 Stanovení normativu údržby motoru pro nárůst měrné spotřeby paliva $y = 0,00024x$ danou lineárním trendem a průměrnou cenou nafty k datu 25. 2. 2011 (32,84 Kč/l



Obr. 12 Stanovení ztrát z nedodržení normativu údržby motoru vozidla u vozidla MAN TGA 35.480 8×6

Ztráty, které vzniknou předčasnou údržbou motoru, jsou způsobeny tím, že efektivně byla upotřebena jen určitá část celkových nákladů na obnovu. Tyto ztráty jsou definovány plochou, která je ohraničena hodnotou průměrných jednotkových nákladů v lokálním minimu funkce průměrných jednotkových nákladů $u(t)$ a průměrnými jednotkovými náklady v době předčasné údržby $u(t_1)$.

Je-li vozidlo posláno na servisní zásah později než je stanovený normativ údržby, vznikají ztráty následkem zvýšené úrovně provozních nákladů.

Jestliže obnovu prvku nelze provést v době provozu, kterou určuje normativ, tak ztráty z jeho nedodržení pomohou řešit tento problém. Již zmíněný problém se vyskytuje hlavně u stavebních strojů, kdy je potřeba dokončit práci ve stanoveném termínu a ztráty z nedodržení termínu pro dokončení práce by byly větší než ztráty z nedodržení normativu pro obnovu.

$$Z(t_1) = [u(t_1) - u(t_0)] \cdot t_1 = [3,9704 - 3,970289] \cdot 25000 = 2,8 \text{ Kč}$$

$$Z(t_2) = [u(t_2) - u(t_0)] \cdot t_2 = [4,187 - 3,97] \cdot 35000 = 7595 \text{ Kč}$$

Z výpočtu ztrát $Z(t_1)$ z nedodržení normativu a obrázku 12 je vidět, že po zaokrouhlení na 25 000 km vzniknou ztráty v hodnotě 2,8 Kč, což je v provozu zanedbatelná částka.

Z výpočtu ztrát $Z(t_2)$, které jsou graficky vyjádřeny na obrázku 12 je vidět, že při překročení normativu údržby motoru na 35 000 km vzniknou ztráty v hodnotě 7 595 Kč.

4. Závěr

Měrná spotřeba paliva je souhrnný diagnostický signál, který závisí na mnoha faktorech provozu strojů, a proto je velice těžké určit satelitním monitoringem, o jakou poruchu motoru se jedná. Jestliže stanovený interval údržby je podezřele kratší u konkrétního vozidla než stanovený průměrný interval může podnik rozhodnout o podrobnější diagnostice, která zjistí příčinu stanoveného normativu. Proto se doporučuje pro stanovení optimálního intervalu údržby přistupovat jednotlivě k monitorovaným strojům právě z důvodu velké různorodosti pracovních podmínek.

Nevýhodou je, že měrná spotřeba paliva závisí na mnohých faktorech provozu vozidla, a tím se přesnost stanoveného normativu zhoršuje. Je proto důležité vybrat data pro analýzu při podobných podmínkách provozu stroje a k tomu také napomáhá satelitní monitoring strojů.

Výhodou při analýze stanovení normativu je, že rozptýl dat měrné spotřeby paliva, daný variabilitou provozních podmínek, hmotnosti nákladu, způsobu jízdy řidiče, je do určité míry eliminován velkým množstvím výchozích dat.

Literatura

- 1) Bačovský, M. *Telematický systém pro správu flotily nákladních vozidel* [online]. Technický portál. Publikováno 28. 9. 2010 [cit. 2011-02-03]. Dostupné z: <http://www.techportal.cz/3/1/telematicky-system-pro-spravu-flotily-nakladnich-vozidel-cid243414>
- 2) Čedík, J., Pexa, M., Mařík, J., Kotek, T., Veselá, K., Pavlů, J. 2014. Porovnání metod měření spotřeby paliva spalovacího motoru při dynamickém zatěžování. In: Kvalita, technologie, diagnostika v technických systémech. Agroinštitút, 20-21.5.2014. Nitra: SPU v Nitře, 187-192
- 3) *Emission Test Cycles – ESC*. <<http://www.dieselnets.com/standards/cycles/esc.html>>. [cit. 2005-05-05].
- 4) HAVLÍČEK, J.: *Provozní spolehlivost strojů*. Vydalo Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 1989. ISBN 80-209-0029-2
- 5) Hromádko, J. a kol. 2011. *Spalovací motory*, Praha: Nakladatelství Grada, 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0
- 6) Jurča, V. *Přednášky k předmětu Jakost, spolehlivost a obnova strojů*, ČZU v Praze, 2014
- 7) JÜRGEN LAU. 2010. Jak určit polohu mezihladiny (2. část). *Automa*, 17, 2, str. 42., ISSN 1210-9592.
- 8) KADLEČEK, B., PEJŠA, L., HLADÍK, T.: *The application of quasi static measurement on tractors and heavy duty vehicles*. Science and Research - Tools of Global Development Strategy, Czech University of Agriculture in Prague, Technical Faculty, 2004. ISBN 80-213-1187-8
- 9) KADLEČEK, B., PEJŠA, L., PEXA, M., HLADÍK, T.: *Metoda měření na volných válcích pro testování emisí, spotřeby paliva a technického stavu motorů nákladních automobilů traktorů a*

speciálních vozidel. Zpráva z dílčího úkolu projektu EU COST 346, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 2003, s. 30.

- 10) KADLEČEK, B.: *Akcelerační diagnostické měření výkonových parametrů vozidlových motorů. Diagnostika a aktivní řízení 98, VUT Brno, 1998. ISBN 80-85918-46-3*
- 11) KADLEČEK, B.: *Habilitační práce - Systém péče o spalovací motory z hlediska vlivu na životní prostředí a ekonomiku provozu. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2003.*
- 12) PEJŠA, L., KADLEČEK, B., PEXA, M., HLADÍK, T.: *Metoda měření na volných válcích pro testování emisí, spotřeby paliva a technického stavu motorů nákladních automobilů, traktorů a speciálních vozidel. Zpráva z projektu COST 346.10, Česká zemědělská univerzita, Praha, 2002.*
- 13) PEJŠA, L., KADLEČEK, B.: *Metoda měření na volných válcích pro testování emisí, spotřeby paliva a technického stavu motorů nákladních automobilů, traktorů a speciálních vozidel. Zpráva z projektu COST 346.10, Česká zemědělská univerzita, Praha, prosinec 2001.*
- 14) PEJŠA, L., LACINA, J., JURČA, V., KADLEČEK, B.: *Technická diagnostika. Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta. Praha, 1995. ISBN 80-213-0249-6*
- 15) Sběrka zákonů: č. 341/2002 Sb.: *Vyhláška Ministerstva dopravy o schvalování technické způsobilosti a technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích, v aktuálním znění.*
- 16) ŠMICR, V., MATĚJKA, J., ZELENKA, R.: *Traktory a automobily III. Vysoká škola zemědělská v Praze, Praha, 1984.*
- 17) TAKÁTS, M.: *Měření emisí spalovacích motorů. Vydavatelství ČVUT, Praha, 1997. ISBN 80-01-01632-3*

220 - Česká společnost pro jakost

ISBN 978-80-02-02558-0

Udržitelnost a zajištění údržby

Sborník přednášek, kolektiv autorů, 1. vydání, rok vydání 2014
vazba brožovaná