

ČESKÁ SPOLEČNOST PRO JAKOST

Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

**DIAGNOSTIKA MECHANICKÝCH SYSTÉMŮ
ZVYŠUJE JEJICH PROVOZNÍ SPOLEHLIVOST**



**Materiály z 40. setkání
odborné skupiny pro spolehlivost**

Praha, září 2010



Česká společnost pro jakost, Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1
DIAGNOSTIKA MECHANICKÝCH SYSTÉMŮ ZVYŠUJE JEJICH PROVOZNÍ SPOLEHLIVOST
Praha 16. 9. 2010



OBSAH:

Diagnostika systémů zvyšuje jejich provozní spolehlivost

1

Prof. Ing. Václav Legát, DrSc.

Využití dynamických diagnostických metod pro zvyšování provozní spolehlivosti automobilů

13

Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Tribotechnická diagnostika zvyšuje provozní spolehlivost vozidel

26

Ing. Zdeněk Aleš, Ph.D.

Diagnostika tlumičů pérování zvyšuje provozní spolehlivost vozidel

34

Ing. Bohuslav Peterka, Ph.D.

DIAGNOSTIKA SYSTÉMŮ ZVYŠUJE JEJICH PROVOZNÍ SPOLEHLIVOST

prof. Ing. Václav LEGÁT, DrSc.

Technická fakulta
Česká zemědělská univerzita v Praze
legat@tf.czu.cz



TECHNICKÁ FAKULTA

Seminář: DIAGNOSTIKA MECHANICKÝCH SYSTÉMŮ ZVYŠUJE JEJICH PROVOZNÍ SPOLEHLIVOST 1
16. září 2010

Úvod – osnova příspěvku

1. Pojetí diagnostiky technických systémů
2. Postavení diagnostiky v systému údržby
3. Vliv diagnostiky na provozní spolehlivost

Cíl: Ukázat možnosti technické diagnostiky pro zvyšování provozní spolehlivosti výrobních zařízení

1 Pojetí diagnostiky technických systémů

- ČSN EN 60706-5: 2009 (01,0661) POKYNY K UDRŽOVATELNOSTI ZAŘÍZENÍ – Část 5: Oddíl 4 – **Testovatelnost a diagnostické zkoušení**
- Termín **diagnostika** se v praxi používá ve smyslu **diagnostické zkoušení** a termín **diagnostikovatelnost** ve smyslu **testovatelnost**
- **Diagnostika ani diagnostikovatelnost nejsou normované pojmy v normách ČSN IEC, přesto jsou v praxi průmyslových podniků rozšířeny.**

3

- **diagnostické zkoušení** (*diagnostika*)

postup zkoušky prováděný za účelem provedení diagnózy

- ČSN EN 60706-5

Diagnostika: (subjektivní / objektivní)

- **preventivní** (okamžitý technický stav)
- **prediktivní** (předpověď dispoziční doby provozu)
- **po poruše** (lokalizace poruchy)

4

- **monitorování** (*sledování, pozorování*)
automatické sledování funkcí požadovaných pro provoz ve zvoleném provozním režimu; provoz nemá být tímto sledováním ovlivněn
- **testovatelnost** (*diagnostikovatelnost*)

charakteristika návrhu, která určuje stupeň, do něhož může být objekt funkčně zkoušen za stanovených podmínek

5

Signál (*diagnostický signál - DS*)
kolísání fyzikální veličiny používané k reprezentaci dat

- POZNÁMKA Signál je reprezentován jedním nebo několika parametry.

ČSN EN 60706-5

1. **Doba používání** (kalendářní stáří) - doba provozu včetně přestávek (prostoje)
 - Kvalita - opotřebení - nízká , koroze - vysoká
 - Výhoda - snadné zjištění.
 - Pro některé objekty plně vyhovující, např. kontinuálně pracující stroje, ale i např. akumulátor

6

2. Doba provozu

- a) doba potřebná pro vykonání určité práce, nejčastěji: h
- b) rozsah vykonané práce objektu - přesnější vyjádření úrovně provozního namáhání
 - **Výhoda** - přesnější informace o technickém stavu
 - Příklady jednotek doby provozu: km, l, tkm, hmt, t zpracovaného materiálu apod.

 - Volba jednotek tak, aby co nejlépe charakterizovaly rozsah vykonané práce:
např. bagr: motohodiny - litry spotřebovaného paliva
např. osobní auto: najeté km - litry spotřebovaného paliva

7

3. Strukturní parametr - bezprostředně vyjadřují rozsah defektů FP

- rozměr součásti, vůle, poloměr břitu nástroje apod.
- **Výhoda** - nejkvalitnější DS, odráží jakost konstrukce i působení provozních podmínek
- **Nevýhoda** - většinou je nutná demontáž

4. Provozní parametr - odvozen od (3) a vyjadřuje vnější projev změněného TS.

Příklady - teplota, vibrace, spotřeba, účinnost

- **Výhoda** - lze stanovit bez demontáže

8

5. Okamžité jednotkové náklady - obecný ekonomický diagnostický signál.

- Závislé nejen na technickém stavu, ale i na úrovni cen:
 - **nevýhoda** - stejná úroveň technického stavu vykáže při proměnlivých cenách rozdílnou velikost nákladů
 - **výhoda** - pohyb cen vyjadřuje váhu určitého mechanismu poruchy v daných ekonomických podmínkách

Příklad: při stejné úrovni opotřebení pístní skupiny budou jednotkové náklady vP

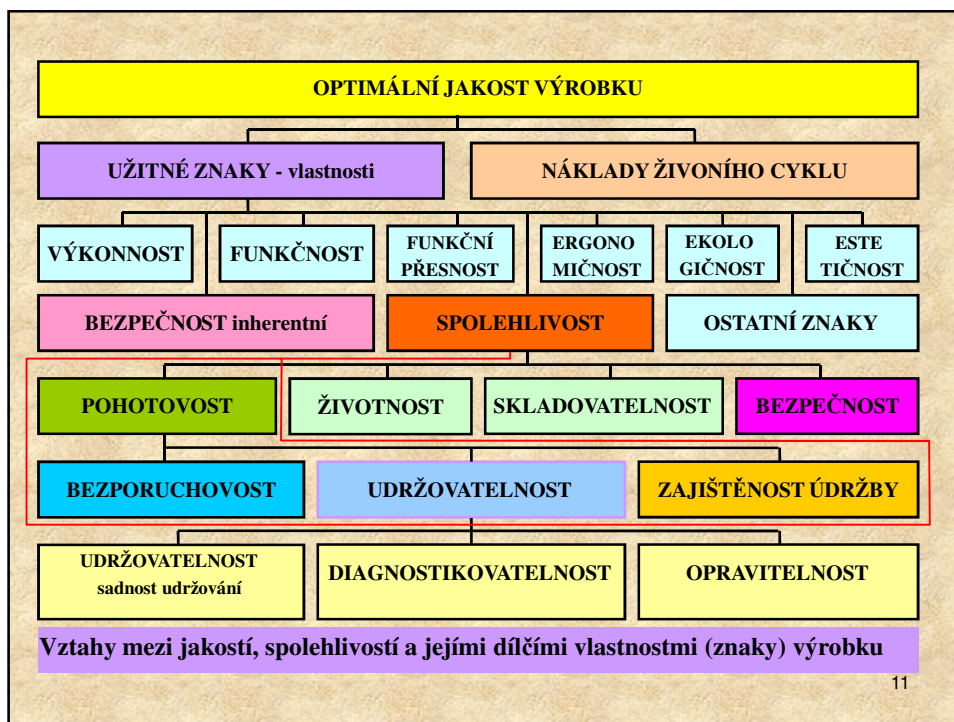
- na provoz motoru: a) při ceně benzínu 30 Kč $vP = 3$ Kč/km
b) při ceně benzínu 2 Kč $vP = 20$ haléřů/km
- Příklad pro různé ceny benzínu - při $vP = 20$ hal/km mě nebude stav pístní skupiny vůbec zajímat, pokud i v zimě nastartuji a auto jakž takž pojede.

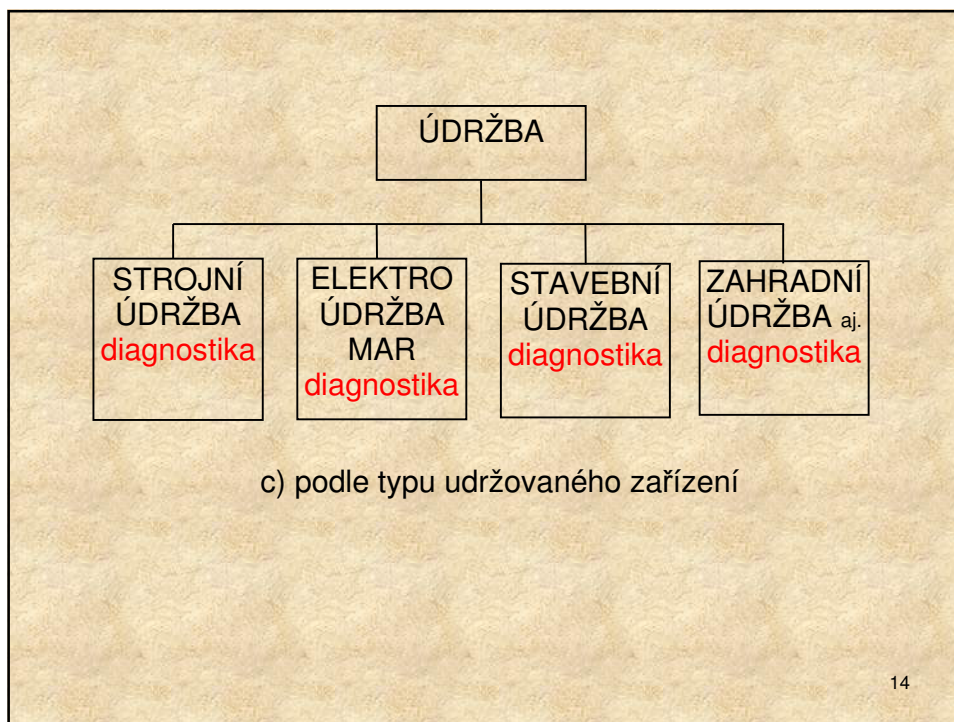
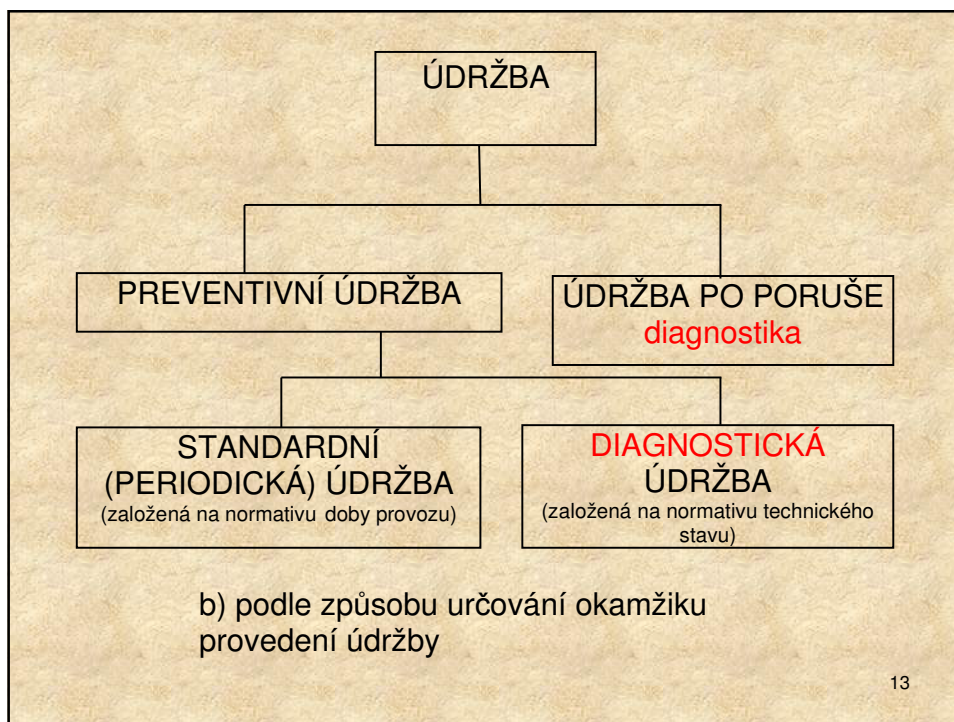
9

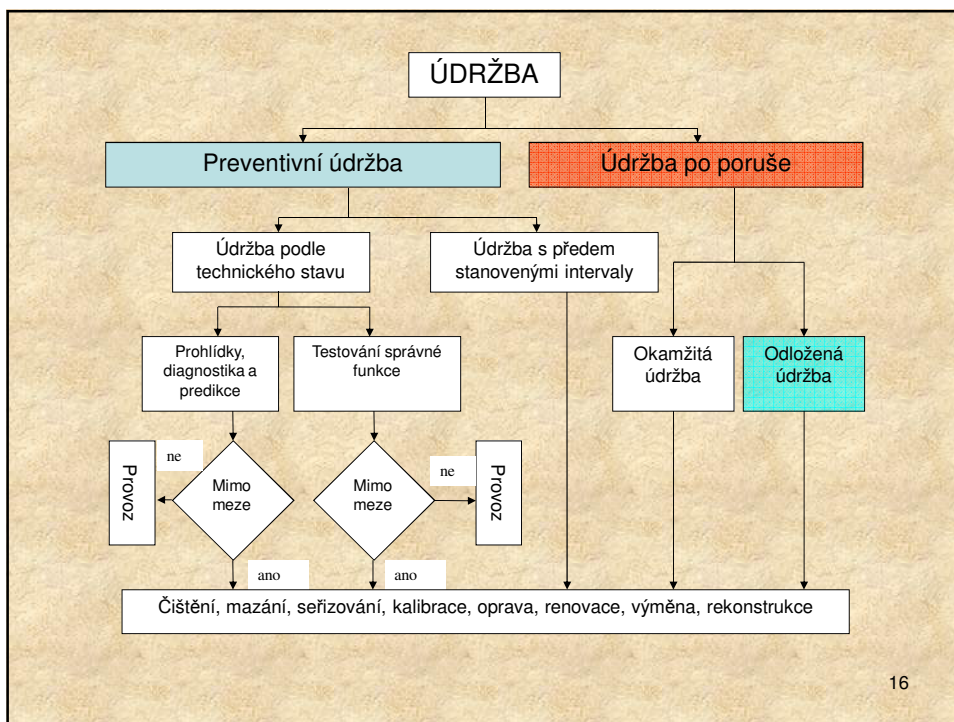
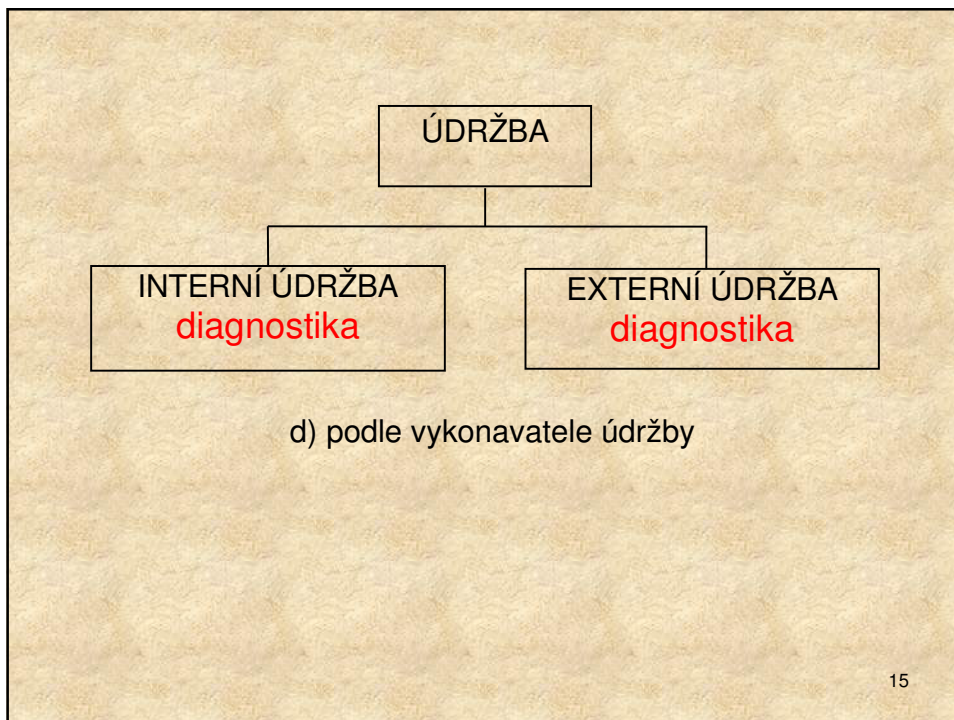
Porovnání diagnostických signálů - příklad benzinový motor :

- (1) je starý 14 let
- (2) má najeto 112 000 km
- (3) spotřeboval 8 700 litrů paliva
- (4) má vůli ložisek klikového hřídele 0,18 mm
- (5) má spotřebu 8,8 l na 100 km
- (6) má kompresní tlak 1,0 MPa
- (7) jeho provoz stojí 2,75 Kč.km⁻¹

10







3 Vliv diagnostiky na provozní spolehlivost

Diagnostika zvyšuje součinitel ustálené pohotovosti

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

MTBF – střední doba provozu mezi poruchami –
diagnostika zvyšuje *MTBF* – preventivní obnova není poruchou (nezapočítává se)

MTTR – střední doba trvání opravy - diagnostika snižuje
MTTR – zkracuje čas lokalizace poruchy

17

Vliv diagnostické údržby na pohotovost (příklad)

Údržba prováděná po poruše

$$A_{2CM} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{668}{668 + 0,8} = 0,9988038278$$

Údržba prováděna periodicky – preventivně provedená údržba se nepočítá jako porucha.

$$A_{2PM} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{22478}{22478 + 0,6} = 0,9999733079$$

18

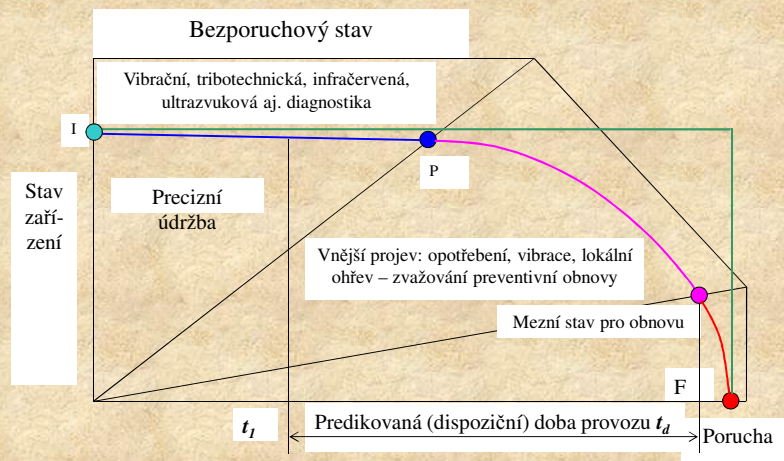
Doba použitelného stavu τ_{is} ; MUT				Doba nepoužitelného stavu MDT ; MADT				
Doba využitého (obsazeného) stavu t_{vs}	Doba nevyužitého stavu; nevyužitá doba t_{nvs}	Doba pohotovostního stavu t_{pst}	Doba nepožadované funkce t_{nf}	Doba provozuneschopného stavu z vnějších příčin t_{pnsvip}	Doba provozuneschopného stavu z vnitřních příčin t_{pnsvip}			Doba preventivní údržby t_{pu}
					Doba poruchového stavu t_{prs} Doba do obnovy MTR			
Doba provozu MTTF MTBF					Doba nezjištěného poruchového stavu MUFT	Doba administrativního zpoždění MAD	Doba údržby po poruše MCMT	Doba údržby t_u
					Doba provozuschopného stavu t_{pss}			

Struktura časových údajů pro kvantitativní analýzu spolehlivosti objektů

Pokračování detailního rozkladu doby údržby:

Doba údržby t_u							
Doba preventivní údržby t_{pu}		Doba údržby po poruše ξ_r ; MCMT					
Doba logistického zpoždění MLD	Doba aktivní údržby MAMT						Doba logistického zpoždění MLD
	Doba aktivní preventivní údržby t_{apu}	Doba aktivní údržby po poruše MACMT					
		Doba technického zpoždění MTD	Doba lokalizace porouchané části t_{lprc}	Doba aktivní opravy t_{aopr}	Doba kontroly t_{kontr}		
			Doba opravy MRT				

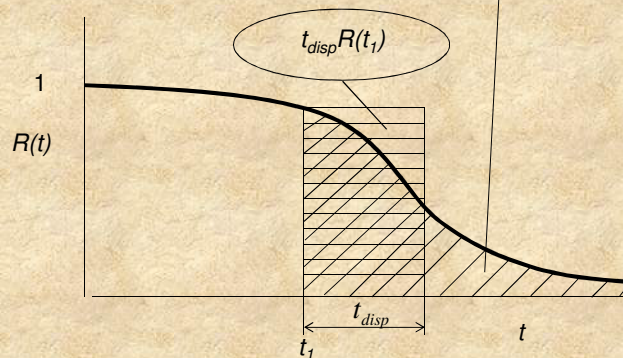
Degradační křivky provozních parametrů (diagnostických signálů) kritických zařízení a jejich prvků



21

Monitorování doby provozu umožňuje
predikovat dispoziční život

$$t_{disp} = \frac{1}{R(t)} \int_{t_1}^{\infty} R(x) dx$$



22

Závěr

- Diagnostika nemění technický stav objektu
- Diagnostika umožňuje předcházet poruchám
- Diagnostika umožňuje prodlužovat čas do/mezi započítávanými poruchami ve srovnání s periodickou údržbou
- Diagnostika umožňuje zkracovat dobu trvání opravy
- Diagnostika umožňuje zvyšovat pohotovost a tudíž i provozní spolehlivost

23

Děkuji za pozornost.

Otázky?

VYUŽITÍ DYNAMICKÝCH DIAGNOSTICKÝCH METOD PRO ZVYŠOVÁNÍ PROVOZNÍ SPOLEHLIVOSTI AUTOMOBILŮ

Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Technická fakulta
Česká zemědělská univerzita v Praze
pexa@tf.czu.cz



Seminář: DIAGNOSTIKA MECHANICKÝCH SYSTÉMŮ ZVYŠUJE JEJICH PROVOZNÍ SPOLEHLIVOST
16. září 2010

Obsah

- Úvod
- Definice dynamických měření
- Zařízení pro dynamické měření
- Využití dynamických metod měření
 - Měření výkonových parametrů vozidel
 - Válcová zkušebna
 - Samostatný motor
 - Měření vozidla pomocí GPS
 - Měření brzdné dráhy
 - Netradiční využití dynamické metody měření (vážení vozidel, výkon člověka apod.)
- Závěr



www.skoda-auto.cz

Úvod

■ Silniční doprava

- Bezpečný provoz
- Ekonomický provoz
- Ekologický provoz



<http://nehodyradyatypy-forum.webnode.cz/products/vazna-autonehoda/>



<http://www.shell.cz>



<http://www.neptun.harfa.cz>

Definice dynamických měření

- Výkon a točivý moment jsou úměrné **úhlovému zrychlení** na plno (nebo za jinak definovaných podmínek) se roztáčejícího stroje
- Maximální brzdná síla je úměrná **zpomalení** kol vozidla při plném sešlápnutí brzdového pedálu

$$M = I \cdot \epsilon$$

$$P = M \cdot \omega = I \cdot \epsilon \cdot \omega$$

- M - točivý moment motoru (N.m)
- I - moment setrvačnosti motoru (kg.m²)
- ϵ - úhlové zrychlení klikového hřídele motoru (rad/s²)
- P - užitečný výkon motoru na klikovém hřídeli (W)
- ω - úhlová rychlost klikového hřídele motoru (rad/s)



<http://www.skoda-auto.cz>

$$F_b = m \cdot a$$

- F_b - brzdná síla na obvodu kola (N)
- m - setrvačná hmota rotujících hmot na obvodu válců zkušebny (kg)
- a - zrychlení (zpomalení) kola vozidla (válců zkušebny) (m/s²)



<http://www.prochlapa.cz/silne-motory/keramicke-brzdy-pro-audi-a8-w12/>

Zařízení - Měření úhlového zrychlení

- Za využití moderní výpočetní techniky lze registrovat **časové úseky** (t_j, t_{j+1}) za otáčky stroje (např. inkrementální čidlo otáček, napěťové impulsy ze zapalování motoru, GPS apod.)



$$\omega_j = \frac{4 \cdot \pi}{t_j + t_{j+1}}$$
$$\varepsilon = 4 \cdot \pi \left(\frac{1}{t_{j+1}} - \frac{1}{t_j} \right)$$

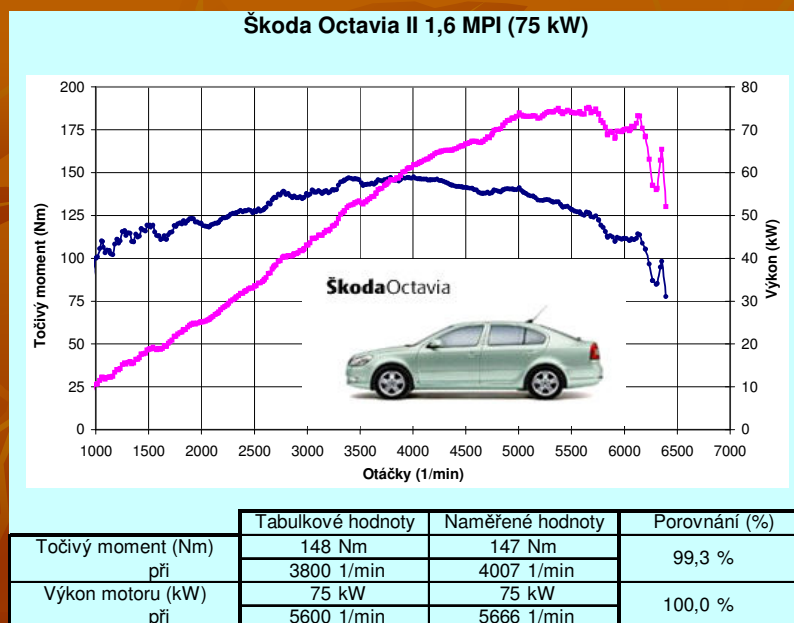
Zařízení - Měření momentu setrvačnosti

- **Získání údaje u výrobce** – U moderních motorů to již zpravidla nebývá problém.
- **Výpočtem** – Moment setrvačnosti lze stanovit i výpočtem z rozměrů a dalších údajů o jeho jednotlivých součástech.
- **Přívazkem** – Při použití přívazku o známém momentu setrvačnosti lze provést dvě měření. Jedno s přívazkem a druhé bez něj. Porovnáním výsledků obou měření pak lze dopočítat moment setrvačnosti motoru.
- **Nový motor** – Pokud je k dispozici nový motor u něhož výrobce garantuje výkonové parametry, lze provést akcelerační měření. Zpětně pak lze stanovit hodnotu momentu setrvačnosti motoru tak, aby výkonové parametry odpovídaly tabulkovým hodnotám.
- **Dynamometr** – Využívá se obdobně jako nový motor.
- **Průměr** – Tato metoda předpokládá měření rozsáhlého počtu motorů a postupné upravování zpřesňování hodnoty momentu setrvačnosti.
- **a další.**

Měření výkonových parametrů na válcové zkušebně

- měření převodového poměru,
- měření setrvačné hmotnosti pohybujících se částí vozidla (motor, převody, pneu)
 - menší motory se roztácejí elektromotory,
 - větší motory se roztáčí motorem vozidla,
- vlastní akcelerace měřeného motoru,
- měření setrvačné hmotnosti pohybujících se částí vozidla (převody, pneu).

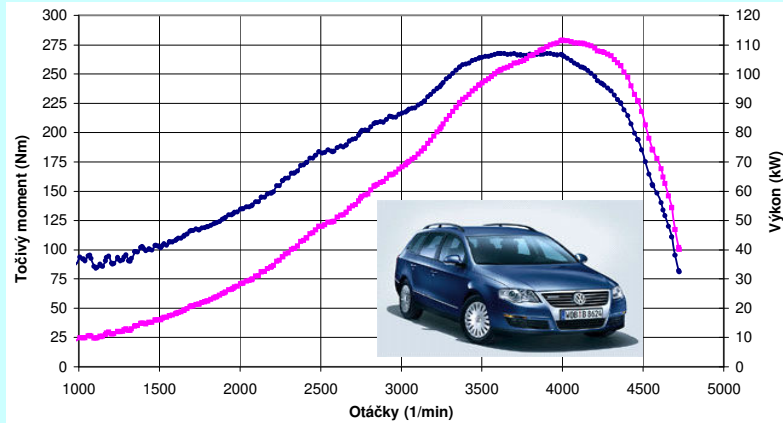
Příklad aplikace na měření výkonových parametrů silničních vozidel - válce



www.skoda-auto.cz

Příklad aplikace na měření výkonových parametrů silničních vozidel - válce

Volkswagen Passat 2,0 TDI (103 kW)

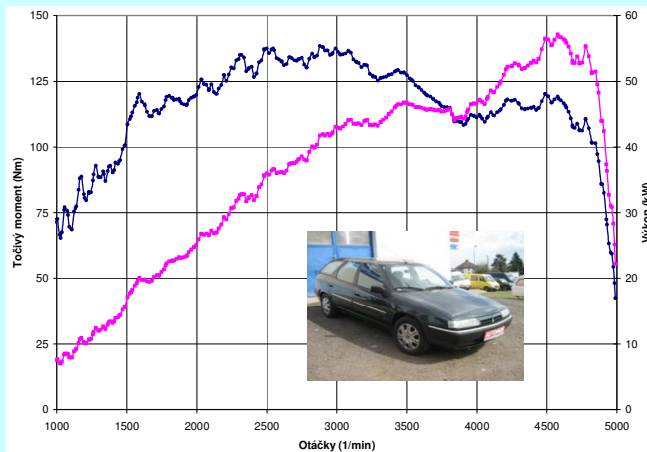


	Tabulkové hodnoty	Naměřené hodnoty	Porovnání (%)
Točivý moment (Nm)	320 Nm	267 Nm	83,4 %
při	1800 1/min	3613 1/min	
Výkon motoru (kW)	103 kW	111 kW	107,8 %
při	4000 1/min	3997 1/min	

www.volkswagen.cz

Příklad aplikace na měření výkonových parametrů silničních vozidel - válce

Citroen Xantia 2,0 Hdi (88 kW - po chiptuningu)



	Tabulkové hodnoty	Naměřené hodnoty	Porovnání (%)
Točivý moment (Nm)	279 Nm	138 Nm	49,5 %
při	1800 1/min	2878 1/min	
Výkon motoru (kW)	88 kW	57 kW	64,8 %
při	4100 1/min	4578 1/min	

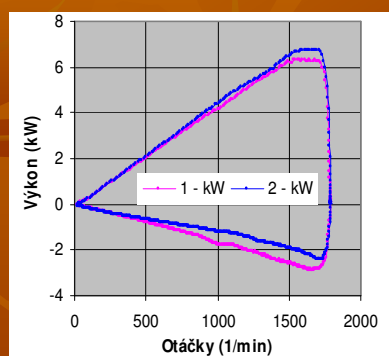
www.tipcar.cz

Měření výkonových parametrů na samotném motoru

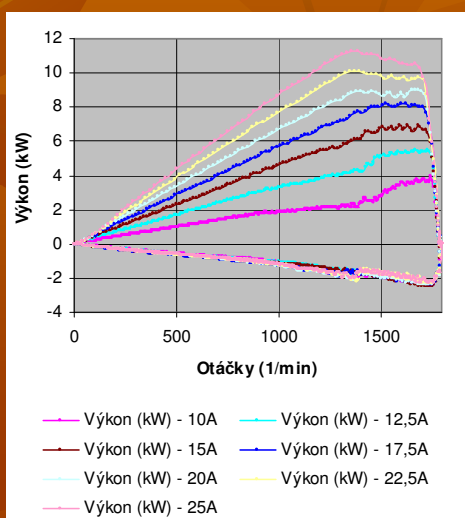
- příprava motoru pro měření (provozní teplota, připojení či odpojení přidružených setrvačných hmot),
- akcelerace s naplno sešlápnutým palivovým pedálem, zapnutým ovládním elektromotoru (frekvenční měnič) apod.
- vlastní vyhodnocení měření,

Je znám moment setrvačnosti?

Příklad aplikace na měření výkonových parametrů elektromotoru – 7 kW



<http://www.obrazky.cz>

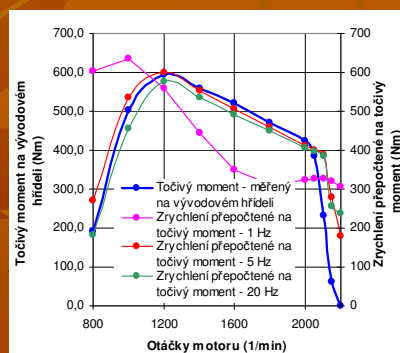
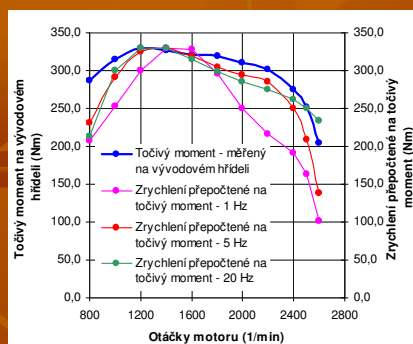


Měření výkonových parametrů zemědělských traktorů pomocí GPS

- volba výchozích podmínek (převodový stupeň, vhodná komunikace a přírodní podmínky),
- akcelerace s naplno sešlápnutým palivovým pedálem na předem zvolený převodový stupeň,
- zpracování dat z GPS (frekvence cca 5 Hz),
- porovnání s předchozími nebo tabulkovými hodnotami (podle toho, zda bylo či nebylo provedeno úvodní kalibrační měření.



Příklad aplikace na měření výkonových parametrů traktoru pomocí GPS



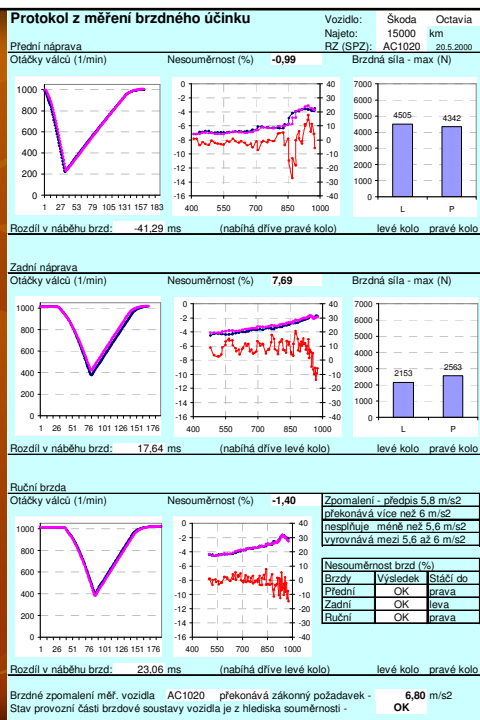
Záloha točivého momentu – Case a Fendt

Traktor	Tabulková záloha (%)	Měřená záloha dynamometrem (%)	GPS 1 Hz (%)	GPS 5 Hz (%)	GPS 20 Hz (%)
Case	37	31,47	72,83	31,84	31,84
Fendt	50	54,43	74,43	54,34	49,94

Měření brzdné dráhy

- bezpečné ustavení vozidla na válcích,
- měření souměrnosti nápravy – nastavené otáčky válců (1000 1/min – cca 45 – 50 km/h)
- měření brzdné síly prudkým sešlápnutím brzdového pedálu – nastavené otáčky válců (120 1/min – cca 5 km/h),
- zhodnocení naměřených údajů
- modelování brzdné dráhy na základě naměřené brzdné síly

Příklad protokolu z dynamického měření brzdné síly a její souměrnosti na levé a pravé straně přední i zadní nápravy



Příklad modelování brzdě dráhy

Předpokládaná brzdě dráha

Vozidlo: Škoda Octavia
 Najeto: 15000 km
 RZ (SPZ): AC1020 20.5.2000

Vstupní parametry:

Celková hmotnost vozidla: 1995 kg
 Brzdě síla - předek: 8948 N
 Součinitel odporu vzduchu: 0,3
 Brzdě síla - zadek: 4716 N
 Čelní plocha vozidla: 2,1 m²
 Max. rychlost vozidla: 200 km/h (pouze celé číslo větší nebo rovno 130)
 Hloubka dezénu: 5 mm (rozsah od 0 do 8,99 mm)
 Součinitel adheze - sucho: 0,900 (pokud není znám přiřadí se automaticky)
 Součinitel adheze - 1 mm vody: 0,400 (pokud není znám přiřadí se automaticky)
 Součinitel adheze - 2 mm vody: 0,220 (pokud není znám přiřadí se automaticky)
 Součinitel adheze - náledí: 0,060 (pokud není znám přiřadí se automaticky)

Standardní brzdě dráha (suchá vozovka, rychlost z 80 na 0 km/h):
 Brzdě dráha je: 34,88 m

Brzdě dráha vozidla (m) za podmínek daných tabulkou (rychlost x stav povrchu):

	Sucho	1 mm vody	2 mm vody	Náledí
130 km/h	89,77	148,59	248,65	619,43
90 km/h	43,96	73,82	126,65	348,06
50 km/h	13,76	23,33	40,71	120,66

Libovolně volitelné parametry pro brzdě dráhu:

Rychlost vozidla: 120 km/h (Rozsah je od 0 do 200 km/h)
 Hmotnost vozidla: 1785 kg (v rámci technických podmínek)
 Hloubka dezénu: 5 mm (Povolený rozsah je 1,6 až 9 po 0,2 mm)
 Stav povrchu: 1 (0 - sucho, 1 - 1 mm vody, 2 - 2 mm vody, 3 - led)
 Součinitel adheze: 0,4 (pokud není znám přiřadí se automaticky)
 Sklon svahu: -1% (+ stoupání, - klesání)
 Rychlost větru: -20 km/h (+ ve směru pohybu, - proti směru pohybu)
 Souč. odporu vzd.: 0,3
 Čelní plocha vozidla: 2,1 m²
 Reakce řidiče: 0,5 s

Dráha do zastavení: 143,39 m
 Brzdě dráha: 126,72 m

Příklad aplikace na vážení autíčka



m_v

I – moment setrvačnosti kladky (kg.m²)

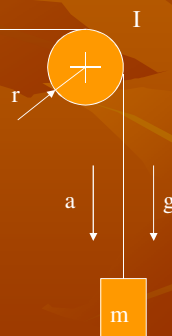
r – poloměr kladky (m)

g – tíhové zrychlení (m/s²)

a – měřené zrychlení (m/s²)

m – hmota závaží (kg)

m_v – zjišťovaná hmotnost vozidla (kg)



$$F = m \cdot g$$

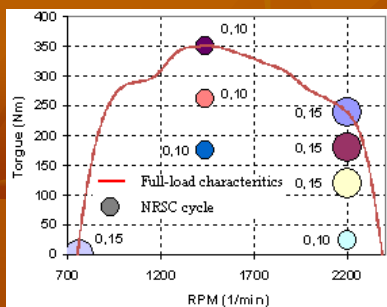
$$F = m_v \cdot a + \frac{I \cdot a}{r^2}$$

$$m \cdot g = m_v \cdot a + \frac{I \cdot a}{r^2}$$

$$m_v = 5 \cdot \frac{9,81}{3,5} - \frac{0,18}{0,125^2} = 2,49 \text{ kg}$$

$$m_v = m \cdot \frac{g}{a} - \frac{I}{r^2}$$

Příklad aplikace na simulování jízdních cyklů – NRSC (8-bodový test)

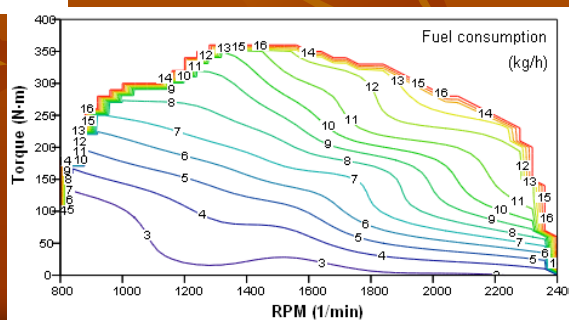


Na základě dynamických měřicích metod je vytvořena veličinová charakteristika spotřeby paliva a emisí (měření vhodného počtu bodů a jejich matematické proložení). Příslušné body jsou posléze modelově projžděny v těchto charakteristikách.

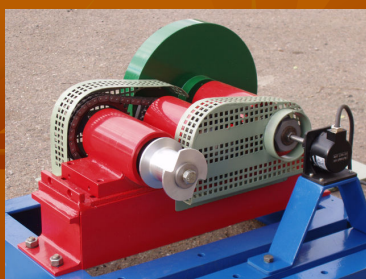
Předpis NRSC

Veličinová charakteristika spotřeby paliva

Zetor 8641



Příklad aplikace na měření výkonových parametrů - člověk

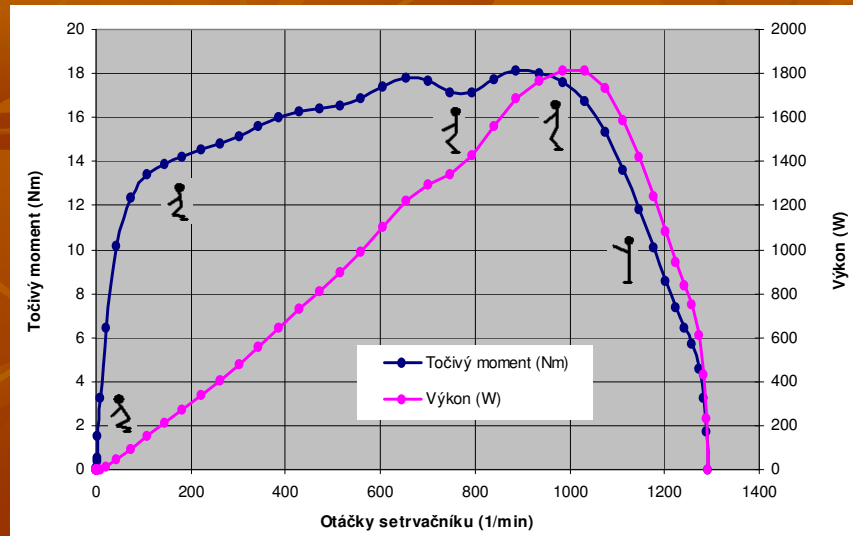


Měřený výkon je 1123 W.

Současný rekord je 2550 W



Příklad aplikace na měření výkonových parametrů - člověk



Příspěvek diagnostiky ke spolehlivosti vozidel - diagnostikovatelnost

- automobil jako stroj je poměrně dobře uzpůsoben k získávání údajů o technickém stavu
- z hlediska pokroku je to zejména zavedení palubní diagnostiky (OBD)
- přesto je řada parametrů (např. výkon motoru, provozní brzdy), které se obtížně zjišťují
- častější diagnostika vede ke zvýšení nákladů na diagnostiku za technický život stroje (zvýšení ukazatele diagnostikovatelnosti)
- proto se v praxi u zařízení, která vyžadují častější kontrolu montují trvalé snímače (možnost kontroly pomocí OBD)

Příspěvek diagnostiky ke spolehlivosti vozidel - udržovatelnost

- automobil je **složitý stroj** s mnoha různorodými systémy (běžnou údržbu může provádět uživatel, ale složitější zásahy je nutné svěřit odborníkům)
- odhalení nesprávně nastavené hodnoty vede k provedení údržby nebo seřízení a to vede ke zvýšení nákladů na údržbu za technický život stroje (**zvýšení ukazatele udržovatelnosti**)



<http://www.toptip.cz/autodiesel/>

Příspěvek diagnostiky ke spolehlivosti vozidel - opravitelnost

- diagnostika včas může včas odhalit začínající poruchy, která by skončila **havárií** (neplánové prostoje, související poruchy apod.)
- odhalení a odvrácení poruchy havarijního charakteru vede ke snížení nákladů na opravy za technický život stroje (**snížení ukazatele udržovatelnosti**)



<http://degradace.tf.czu.cz>

Příspěvek diagnostiky ke spolehlivosti vozidel - pohotovost

- definice součinitele ustálené pohotovosti - A

$$A = \frac{\bar{t}_p}{\bar{t}_p + \bar{t}_o}$$

- střední doba bezporuchového provozu - \bar{t}_p
- střední doba oprav - \bar{t}_o
- Včasné odhalení poruchy snižuje náklady plynoucí z případného provozu strojů při zhoršených parametrech, ale současně minimalizuje nebezpečí vzniku nečekané havárie – doba oprav je tak zkrácena a naopak je prodloužena doba provozuschopného stavu – **součinitel A roste**

Diskuze a závěr

- Dynamické měření parametrů - **jednoduché a ekonomicky výhodné**, je potřeba **dostatečná přesnost**.
- Dynamické metody mají i svá omezení v získání skutečných hodnot parametrů - **porovnávání s etalonem**.
- V akceleračních měřeních provozních parametrů (výkonu motoru, brzdové soustavy, ztrát ve vedeních a ložiscích apod.) je budoucnost zejména v **servisních aplikacích** vzhledem ke své přesnosti a ekonomické výhodnosti.
- Výsledkem je kladný efekt na snížení havarijních ztrát a zvýšení pohotovosti vozidla.

Tribotechnická diagnostika zvyšuje provozní spolehlivost vozidel

Ing. Zdeněk Aleš, Ph.D.

Technická fakulta
Česká zemědělská univerzita v Praze
ales@tf.czu.cz



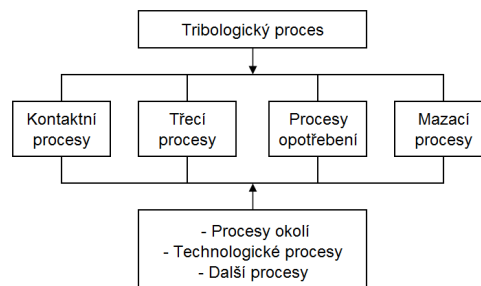
Seminář: DIAGNOSTIKA MECHANICKÝCH SYSTÉMŮ ZVYŠUJE JEJICH PROVOZNÍ SPOLEHLIVOST
16. září 2010



ÚVOD

TRIBOLOGIE – věda zabývající se chováním dotýkajících se povrchů při pokusu o vzájemný pohyb.

TRIBOTECHNIKA – vědní obor zabývající se aplikací tribologických zásad do konstrukce strojů a zařízení.



Obr. 2 Zařazení tribologického procesu do vzájemných vazeb (Provoz a údržba strojů / Věra Voštová a kol. 2002)



MAZÁNÍ

Mazání je charakterizováno jako technologické přivádění maziva mezi třecí plochy po sobě se pohybujících těles k odstranění suchého tření a zmenšení následků tj.:

- ztrát energie,
- opotřebení povrchu materiálu,
- popřípadě jejich zadření.

↑ ZVÝŠENÍ SPOLEHLIVOSTI ↑

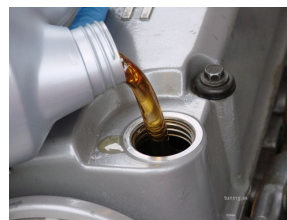


Obr. 3 Píst ze zadřeného motoru



TRIBOTECHNICKÁ DIAGNOSTIKA

- metody bezdemontážní technické diagnostiky využívající maziva jako media pro získání informací o dějích a mechanických změnách v technických systémech, u nichž jsou maziva aplikována.
- vhodná interpretace výsledků provedených analýz umožňuje nejen včasné upozornit na příznaky vznikající poruchy, ale v řadě případů umožní lokalizaci místa vzniku mechanické závady.
- **Vhodně aplikované nástroje tribotechnické diagnostiky zvyšují provozní spolehlivost strojů a zařízení.**



Obr. 4 Dolévání motorového oleje



TRIBOTECHNICKÁ DIAGNOSTIKA

Nástroje tribotechnické diagnostiky:

- Kinematická viskozita,
- Bod vzplanutí,
- Obsah vody,
- Kyselost a alkalita olejů ,
- Detergentně disperzní vlastnosti,
- Množství a druhy částic.

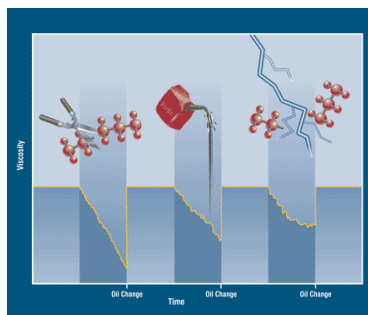


**SPRÁVNÉ INFORMACE O TECHNICKÉM STAVU MAZIV
VEDOU KE SPRÁVNÉMU ROZHODOVÁNÍ O ÚDRŽBĚ**



KINEMATICKÁ VISKOZITA

- Jedna z nejdůležitějších vlastností mazacích olejů.
- Hodnota viskozity určuje únosnost mazacího filmu, velikost odporů při rozběhu pohyblivých částí motoru, těsnicí schopnost, čerpatelnost oleje a jeho tepelnou vodivost atd.
- **Výrazné změny viskozity (>20%)** provozované olejové náplně poskytují diagnostické informace o změnách technického stavu sledovaného objektu a zároveň **ovlivňují jeho spolehlivost.**

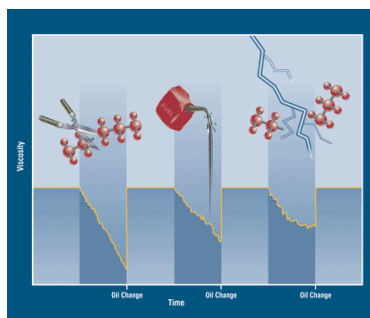


Obr. 5 Změny viskozity během provozu



KINEMATICKÁ VISKOZITA

- Jedna z nejdůležitějších vlastností mazacích olejů.
- Hodnota viskozity určuje únosnost mazacího filmu, velikost odporů při rozběhu pohyblivých částí motoru, těsnicí schopnost, čerpatelnost oleje a jeho tepelnou vodivost atd.
- **Výrazné změny viskozity (>20%)** provozované olejové náplně poskytují diagnostické informace o změnách technického stavu sledovaného objektu a zároveň **ovlivňují** jeho **spolehlivost**.



Obr. 5 Změny viskozity během provozu



BOD VZPLANUTÍ

Nástroje tribotechnické diagnostiky:

- Ukazatel, který souvisí s obsahem těkavých látek v mazacím oleji.
- Měří se hlavně u motorových olejů, kde naměřená hodnota představuje obsah paliva v oleji.
- **Příliš nízký bod vzplanutí** negativně ovlivňuje viskozitu oleje, čímž nedochází k tvorbě mazacího filmu a výsledkem je **zvýšené opotřebení**.

	Benzinové motory	Naftové motory
Bod vzplanutí	min. 150°C	min. 190°C - menší motory min. 170°C - velké motory



Obr. 6 Přístroj na měření bodu vzplanutí



OBSAH VODY

- Voda a olej jsou dvě navzájem neslučitelné látky.
- Nejjednodušší test orientačního charakteru na nadměrné množství vody v oleji je test na horké destičce.
- **Přítomnost vody** nebo chladicí kapaliny (glykol) má negativní vliv na mazací vlastnosti oleje a v konečném důsledku **nepříznivě ovlivňuje životnost a spolehlivost** mazaných částí.



Obr. 5 Prskací test



KYSELOST A ALKALITA

- Základové oleje jako takové jsou neutrální.
- Kyselé produkty spalování paliva, kondenzace vody a nespáleného paliva zvyšují kyselost motorového oleje.
- V nejhorším případě může přítomnost kyselých látek způsobit závažnou korozi motoru.
- **Pokročilá koroze** zásadním způsobem **snižuje životnost a spolehlivost** motoru.



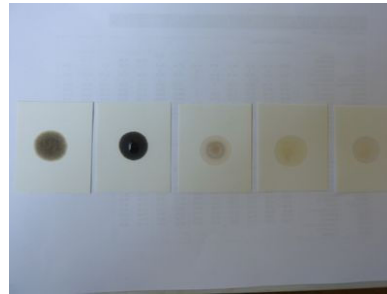
Obr. 7 Píst silně napadený korozi



DETERGENTNĚ DISPERZNÍ VLASTNOSTI

Kapkový test

- Velmi jednoduchý, spočívá ve vyhodnocení vzhledu kapky oleje na filtračním papíře (přítomnost nečistot, prachu, sazí).
- **Větší koncentrace nečistot a sazí** působí obdobně jako jemná brusná pasta a také při čerpání takového oleje dochází k abrazivnímu opotřebení.
- Závažným důsledkem vysokého obsahu sazí a dalších mechanických nečistot v oleji je **zvýšené opotřebení** motoru.



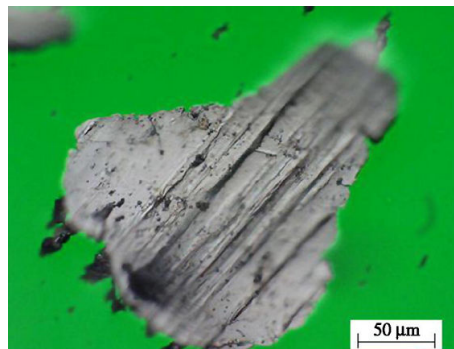
Obr. 8 Kapkový test

Infračervená spektroskopie



MNOŽSTVÍ A DRUHY ČÁSTIC

- Zdroje mechanických částic:
 - Otěrové částice kovů
 - Prachové částice a vlákna
- Rozdělení částic podle druhu:
 - Adhezivní
 - Abrazivní
 - Únavové
 - Nekovové
 - Ostatní
- **Přítomnost částic** v mazacím oleji zvyšuje opotřebení a tím **snižuje spolehlivost** strojů a zařízení.



Obr. 9 částice adhezivního opotřebení



MNOŽSTVÍ A DRUHY ČÁSTIC

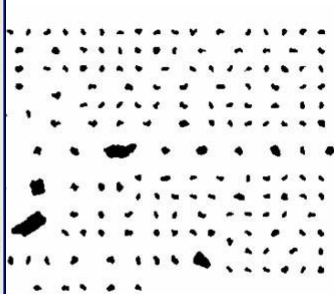
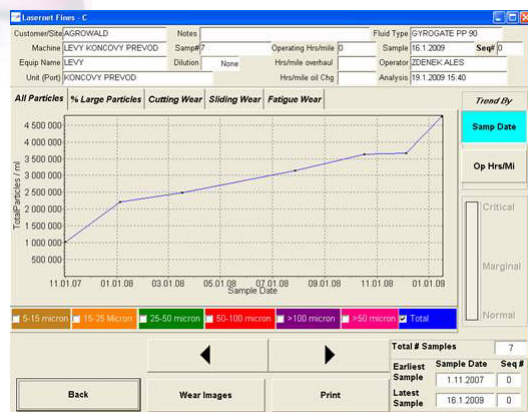
- LNF – LaserNet Fines
 - Příklad je schopen analyzovat hydraulické kapaliny a mazací oleje z různých typů strojů a zařízení a na základě výsledků analýz posoudit jejich aktuální technický stav a navrhnout případná opatření týkající se jejich údržby.
- Výsledek analýzy poskytuje komplexní informace o provedené analýze:
 - množství částic v rozmezí 4 μm – 100 μm ;
 - kódy čistoty podle norem ISO 4406 : 1999, NAS 1638;
 - klasifikace částic větších než 20 μm podle druhu.



Obr. 10 LaserNet fines



VÝSLEDKY ANALÝZ Z LNF



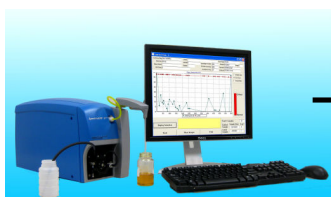
Obr. 11 Ukázky výstupů z analýzy LNF



ZÁVĚR

Správnou aplikací tribotechnických metod je zajištěno potřebné mazání funkčních ploch strojů a zařízení, které v konečném důsledku ovlivňuje:

- Snížení spotřeby energie
- Snížení prostojů v důsledku poruch vyvolaných nesprávným mazáním
- Snížení nákladů na údržbu a opravy strojů
- Zvýšení výrobní přesnosti strojů
- **Zvýšení životnosti a spolehlivosti strojů a zařízení**



DĚKUJI ZA POZORNOST

Dotazy ?

ales@tf.czu.cz

Ing. Zdeněk Aleš, Ph.D.
Katedra jakosti a spolehlivosti strojů
Technická fakulta
Česká zemědělská univerzita
165 21 Praha 6 - Suchbátův Břez

ČSJ Praha, Odborná skupina pro spolehlivost

DIAGNOSTIKA TLUMIČŮ PÉROVÁNÍ ZVYŠUJE PROVOZNÍ SPOLEHLIVOST VOZIDEL

Ing. Bohuslav PETERKA, Ph.D.

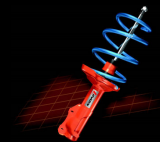
Technická fakulta
Česká zemědělská univerzita v Praze
peterka@tf.czu.cz



TECHNICKÁ FAKULTA

Seminář: DIAGNOSTIKA MECHANICKÝCH SYSTÉMŮ ZVYŠUJE JEJICH PROVOZNÍ SPOLEHLIVOST
16. září 2010

Funkce tlumičů pérování



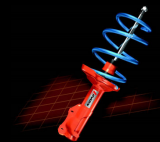
- Tvoří rozhraní mezi odpruženou a neodpruženou hmotou
- Eliminují nežádoucí kmitání karoserie a závěsu kola
- **Redukují oscilaci svislé síly** přenášené na vozovku
- Přispívají k zlepšení komfortu jízdy
- Jsou prvky **aktivní bezpečnosti** vozidla !

ŽIVOTNOST TLUMIČŮ



- Obecně se kontroluje technický stav každých 20 000 km najetých kilometrů
- Preventivní výměna přichází kolem 60 000 km najetých kilometrů
- Životnost je ovlivněna kvalitou a použitou technologií tlumiče

OPOTŘEBENÍ TLUMIČŮ



- Přichází zpravidla pozvolna a není subjektivně rozpoznatelné
- Zhoršení funkcí ABS, ESP
- Zhoršení trakce
- Oscilace světlometů
- Únava posádky a řidiče
- Zvýšení **opotřebení** pneumatik
- atp....

Pneumatiky automobilu s 65% účinností tlumičů vykazují po 9000 ujetých kilometrech o 10 % větší opotřebení než u vozu s plně funkčními tlumiči.

PORUCHY TLUMIČŮ



- Mechanické poškození pístnic a pláště (deformace, koroze)
- Netěsnící manžety
- Degradace/únik tlumičové kapaliny
- Vůle v zavěšení tlumiče
- Poruchy pružiny
- Poruchy stabilizátorů

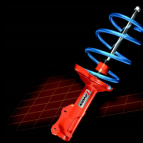
Diagnostika tlumiče zahrnuje diagnostiku zavěšení kola jako celku

DOPADY DISFUNKCE TLUMIČŮ NA PROVOZNÍ SPOLEHLIVOST

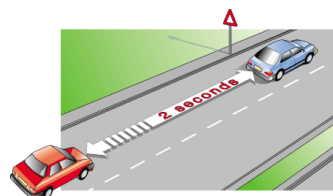


- ZVÝŠENÉ OPOTŘEBENÍ
 - PNEUMATIKY, PODVOZKOVÉ SKUPINY, BRZDY...
- SNÍŽENÁ AKTIVNÍ BEZPEČNOST
 - SMĚROVÁ STABILITA VOZIDLA, BRZDNÁ DRÁHA, MEZNÍ SITUACE, AQUAPLANING ...
- ZHORŠENÁ ERGONOMIE
 - JÍZDNÍ KOMFORT, FYZIOLOGICKÉ FUNKCE
- ZVÝŠENÉ NAMÁHÁNÍ VOZOVKY
- ZVÝŠENÁ SPOTŘEBA PALIVA

VLIV DISFUNKCE TLUMIČE NA BRZDNOU DRÁHU



- Porucha tlumiče vyvolává oscilaci svislé síly přenášené kolem na vozovku
- Vlivem snížení kontaktu kola a vozovky dochází k prodloužení brzdné dráhy
 - Prodloužení brzdné dráhy až 30%!
 - Při 35 kmh^{-1} až 1,5m



Rychlost vozu	Reakční dráha	Brzdná dráha	Dráha zastavení
suchá silnice			
50 km/h	14 m	14 m	28 m
60 km/h	17 m	20 m	37 m
80 km/h	22 m	35 m	57 m
mokrá silnice			
50 km/h	14 m	19 m	33 m
60 km/h	17 m	28 m	45 m
80 km/h	22 m	49 m	71 m
náledí			
50 km/h	14 m	64 m	78 m
60 km/h	17 m	93 m	110 m
80 km/h	22 m	165 m	187 m

EKONOMICKÉ DOPADY PORUCH TLUMIČŮ:



Všechny poruchy jsou nákladné:

- ztrátami při dopravních nehodách
- ztrátami hospodárnosti silničního provozu (zvýšení nákladů na provoz, ztráty času a pohodlí)
- náklady na údržbu
- opravy vozovky
- poškození pneumatik a ostatních částí vozidla

DIAGNOSTICKÉ SIGNÁLY



- Relativní pohyb (poloha) závěsu kola
- Minimální svislá síla přenositelná kolem na vozovku
- Zrychlení ne/odpružených hmot

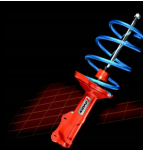
Diagnostickým signálem se rozumí nějaký vhodný ukazatel technického stavu diagnostikovaného objektu, jehož hodnota je známým způsobem na technickém stavu tohoto objektu závislá a lze ji zjistit (pokud možno) bez demontáže.

DIAGNOSTIKA TLUMIČŮ

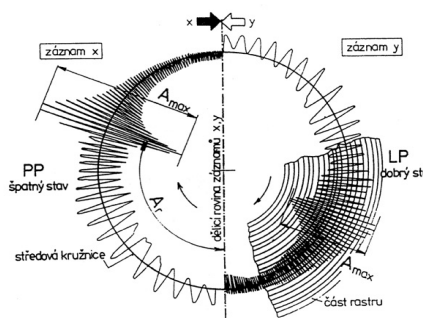
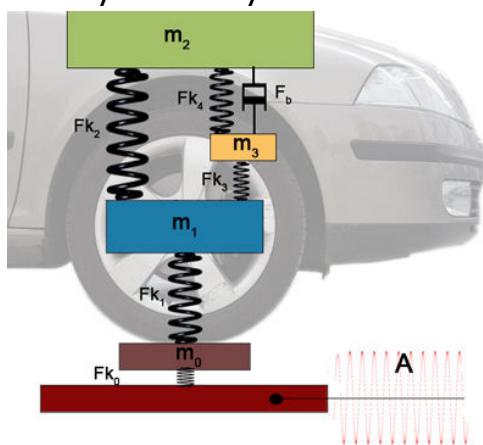


- Amplitudové zkušebny
 - Adhezní zkušebny
 - Impulsní testy
- Diagnostické metody vyžadující odstavení stroje:
- Laboratorní diagnostika
 - On-board diagnostika
- Diagnostické metody vyžadující demontáž:
- Laboratorní diagnostika
- Diagnostika probíhající za provozu stroje:
- On-board diagnostika

Amplitudová rezonanční metoda

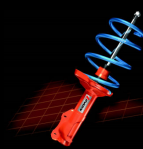


- Mechanismus zkušebního zařízení
- Dynamický model

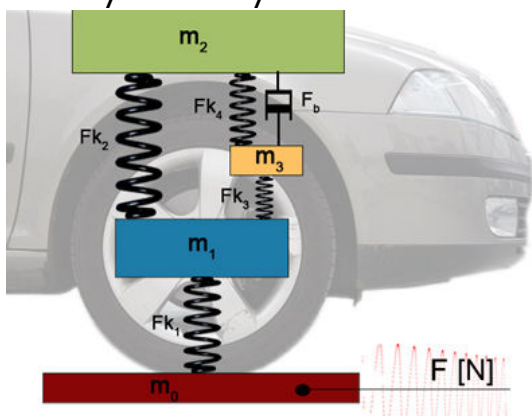


Vyhodnocuje se rozkmit plošiny zkušební

Adhezní rezonanční metoda



- Mechanismus zkušebního zařízení
- Dynamický model

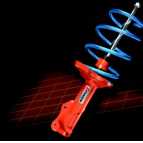


Vyhodnocuje se svislá síla (minimum)

TEST ADHEZE									
100 90 80 70 60 50 40 30 20 10	VPŘEDU		VZADU		VPŘEDU		VZADU		kg
	REF	L P	REF	L P	REF	L P	REF	L P	
					AKTUALNE	63 %	59 %		
					ROZDIL	4 %			
					HĚTNOST	937			kg
					CELKEM				kg

GRAF TLUMENI				
100 90 80 70 60 50 40 30 20 10	VPŘEDU		VPRÁVO	
	REF	L P	REF	L P
	67 %		60 %	
	0 %		0 %	
	83.4 %		82.8 %	
	0.0 %		0.0 %	

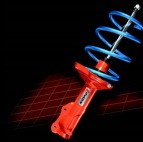
Adhezní rezonanční metoda



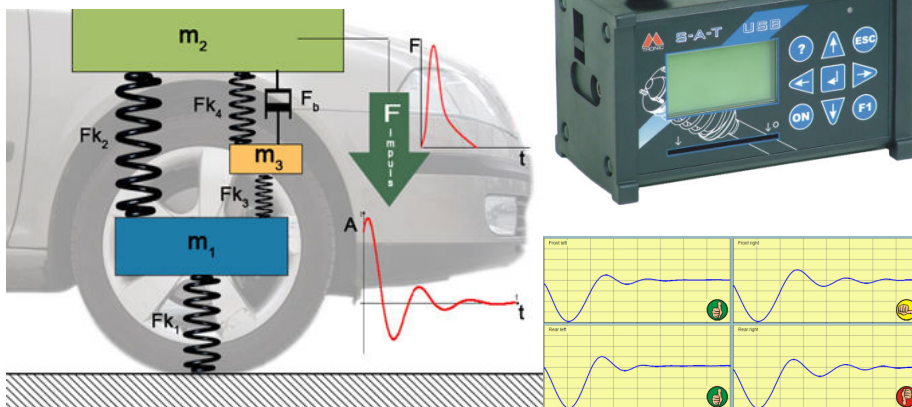
- Vyhodnocení testu
 - najde nejmenší hodnota svislé síly a stanoví se její procentní podíl z klidové hodnoty

$$r_{min} = 100 \frac{F_{min}}{F_s} [\%]$$

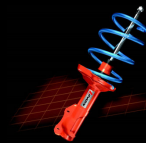
Impulsní dokmitový test



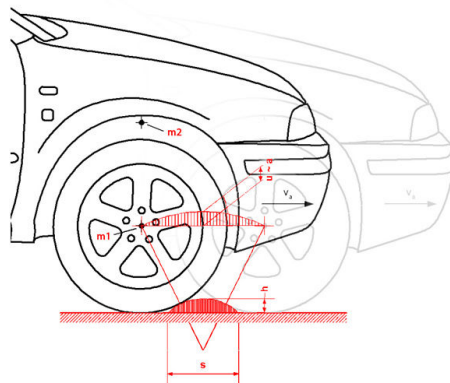
- Dynamický model testu



On-board diagnostika

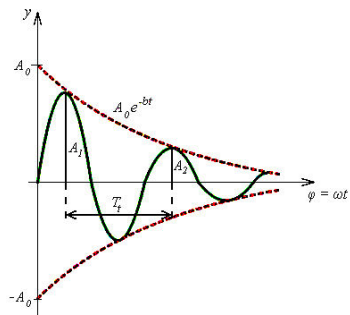


Přejezdový test

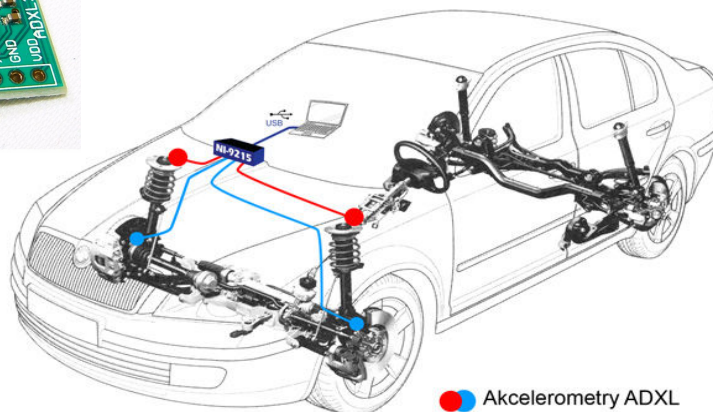
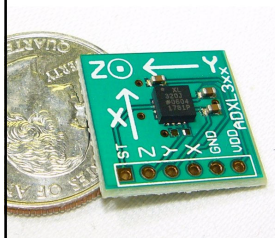


Sledování a vyhodnocení:

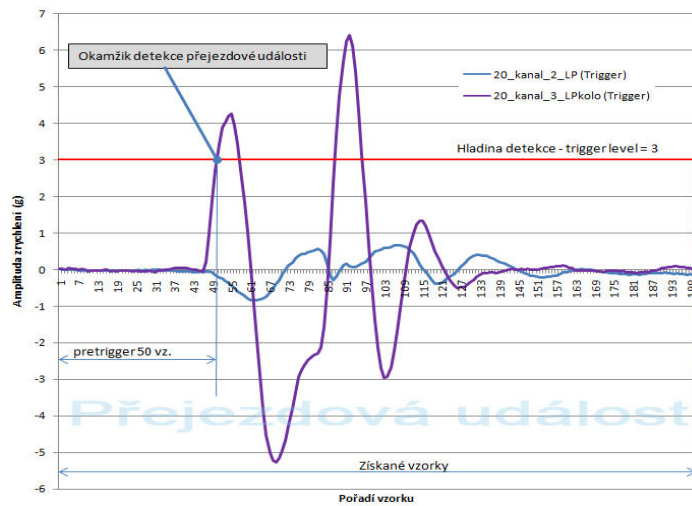
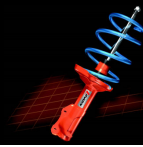
- poměrného útlumu
- koeficientu tlumení
- maximálního rozkmitu



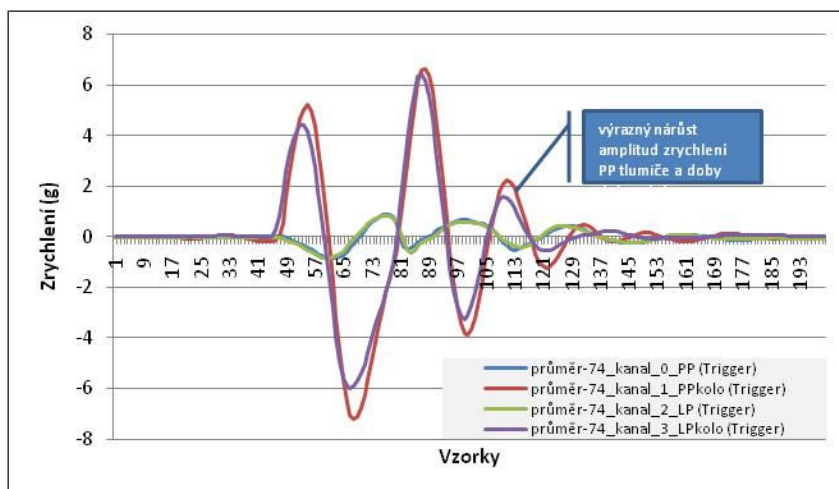
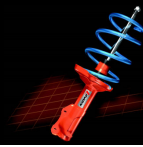
Použití akcelerometrů



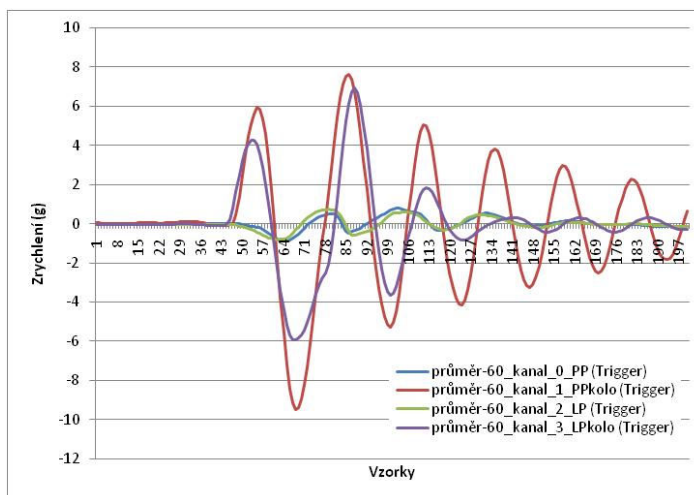
Přejezdová událost



Detekce poruchy



Úplná disfunkce jednoho z tlumičů



Volba diagnostické metody



Technická diagnostika je efektivní tehdy, jsou-li úspory z diagnostiky větší než náklady na diagnostiku.

$$U_D > N_D$$

Kde:

D_U jsou úspory z diagnostiky

D_N náklady na diagnostiku

Volba diagnostické metody



**Vhodně aplikované
diagnostické postupy
zvyšují provozní
spolehlivost strojů
a zařízení**

Diskuze



Děkuji za pozornost



Česká společnost pro jakost, Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1
DIAGNOSTIKA MECHANICKÝCH SYSTÉMŮ ZVYŠUJE JEJICH PROVOZNÍ SPOLEHLIVOST
Praha 16. 9. 2010

**DIAGNOSTIKA MECHANICKÝCH SYSTÉMŮ ZVYŠUJE JEJICH PROVOZNÍ
SPOLEHLIVOST**

(sborník přednášek),
kolektiv autorů
počet stran: 45
1. vydání,
rok vydání: 2010
druh vazby: brožovaná

ISBN 978-80-02-02263-3