

SCIENTIFIC PAPERS
OF THE UNIVERSITY OF PARDUBICE

Series B

The Jan Perner Transport Faculty

3 (1997)

SIMULACE PROVOZNIHO NAMÁHÁNÍ KONSTRUKCÍ ŽELEZNI NICH
VOZIDEL

Bohumil CULEK st.^{a)}, Bohumil CULEK ml.^{b)}

^{a)} Katedra dopravních prostředků, ^{b)} Katedra dopravní infrastruktury

1. Úvod

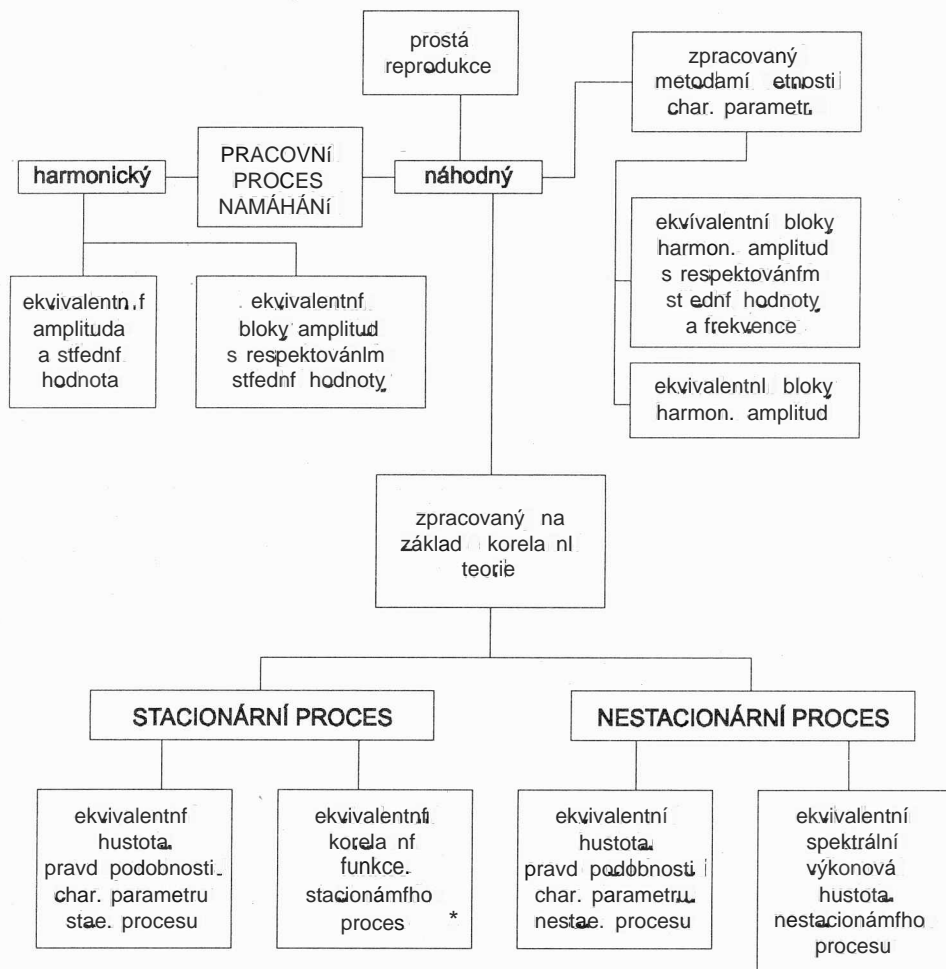
Požadavky na zvýšení užitných parametrů železničních vozidel (např. zvýšení rychlosti jízdy, zvýšení užitečného zatížení, snížení vlastní hmotnosti) kladou na konstruktéry složitý úkol, na jedné straně splnit tyto požadavky, na druhé straně garantovat takovou životnost a provozní spolehlivost navržených konstrukcí, aby jejich provoz byl bezpečný. Řešení tohoto přetrvávajícího úkolu lze vést dvěma směry: a) výpočetní cestou - prováděním teoretických odhadů životností pomocí hypotéz, b) experimentální cestou - simulacemi provozního namáhání konstrukcí na zkušebních stavech [1-3]. Praxe ukazuje, že oba zmíněné směry se musí při stavbě nových železničních vozidel vzájemně doplňovat a také jejich další zdokonalování by mělo probíhat ve vzájemné vazbě.

V experimentální oblasti se již mnoho let soustředí pozornost na zkušební postupy založené na možnostech elektrohydraulických zatěžovacích systémů, které mohou programovatelným způsobem zatěžovat konstrukci tak, aby tento proces co nejvíce odpovídal provoznímu zatížení. Podle dostupných informací je velmi blízko tomuto cíli systém simulace provozního namáhání konstrukcí pomocí programového souboru ITFC (Iterative Transfer Function Compensation), který se již uplatnil v některých oborech (např. v automobilovém průmyslu). V oboru železničních vozidel se v současné době získávají s tímto systémem potřebné zkušenosti. Část z nich je obsahem tohoto příspěvku.

2. Pohled ze strany simulace provozního namáhání konstrukcí

Možnosti simulace provozního procesu namáhání jsou znázorněny na obr. 1. Použití jednotlivých způsobů simulace závisí na technickém vybavení experimentálního pracoviště, na stupni znalostí reálného procesu namáhání a na odborných znalostech experimentátorů.

Simulace pomocí ITFC patří do bloku označeného ve schématu na obr. 1 značkou (*), i když všeobecně je ITFC někdy představován jako programový soubor, který umožňuje reprodukovat v laboratorních podmínkách na zkoušené konstrukci její reálné provozní namáhání (tedy v etn. nestacionárních procesech). Lze ho chápat jako vícekanálový řídicí systém, který za pomoci elektrohydraulických zatřžovacích válců reprodukuje na zkoušené konstrukci signály změněné v provozu.



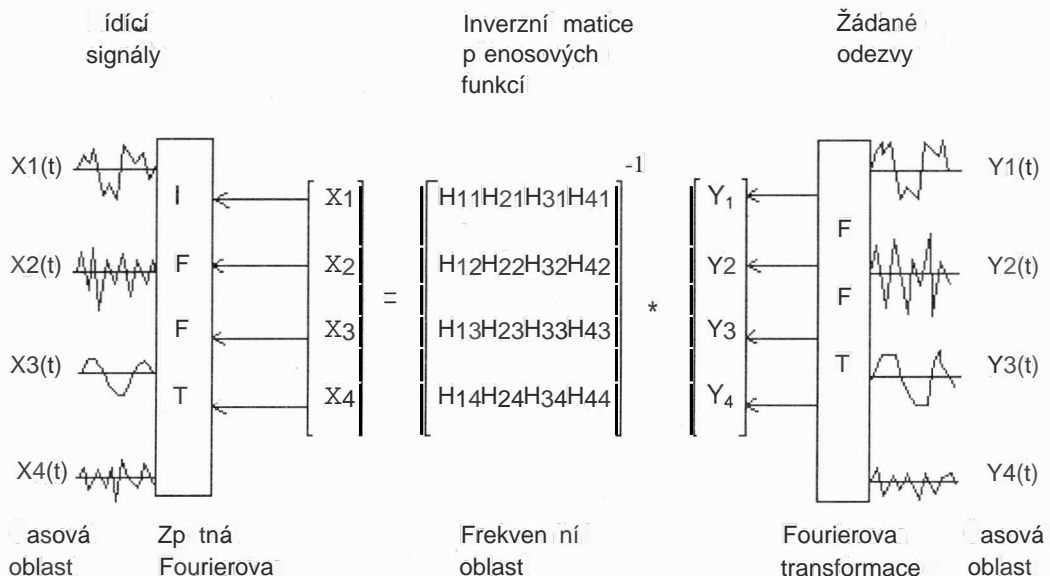
Obr.1 Schéma možností simulace provozního procesu namáhání

3. Princip simulace pomocí ITFC

Podstatou simulace pomocí ITFC je vyiterování vstupních signálů (řídících signálů zatřžovacích válců zkušebního stavu), které ve zkoušené konstrukci vyvolají předem stanovené výstupní signály (odezvy konstrukce - žádané signály). Tyto žádané signály mohou být například konstrukce změněné v provozních podmínkách.

Aby mohl být tento záměr v reálném případě splněn, je nutné převést problém tvorby řídicích signálů z časové oblasti do oblasti frekvencí a stanovit matici přenosových funkcí

zkušební soustavy, respektive inverzní matici k matici p enosových funkcí a zajistit zp tny p evod signál do asové oblasti. K realizaci těchto základních krok je třeba aplikovat rychlou Fourierovu transformaci (FFT) a zp tnou Fourierovu transformaci (IFFT) - viz schematické znázorn ní procesu iterace ídících signál na obr. 2.



Obr. 2 Schematické znázorn ní procesu iterace ídících signál

3.1 Aplikace FFT a IFFT

Fourierova transformace se aplikuje v diskretní form :

FFT:

$$X_j(nlNT) = \sum_{k=0}^{N-1} x_l^k T_s e^{-j2\pi D l k l N}, \quad n=0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

IFFT:

$$x_j(kT) = \sum_{n=0}^{N-1} X_j(nlNT) e^{j2\pi D l k l N}, \quad k=0, 1, \dots, N-1 \quad (2)$$

kde: T je interval vzorkování asového záznamu

N je počet vzorků

Vztahy (1), (2) tvo í tzv. fourierovský pár, který má pi tomto zp sobu simulace rozhodující význam z následujících d vod :

- proces, který má být simulován (p edpokládá se, že je náhodný), je pi m ení zaznamenáván v asové oblasti,
- vytvo ení ídících signál pi simulaci probíhá iterativním zp sobem v mnohonásobných opakováních, což by v asové oblasti nebylo možné,

- c) při iteraci řídicích signálů se využívá matice přenosových funkcí zkušební soustavy, jednotlivé prvky této matice jsou stanoveny na základě Fourierových obrazů výstupních a vstupních signálů zkušební soustavy,
- d) při simulaci se operuje se spektrálními výkonovými hustotami řídicích signálů i odezvy.

Díky FFT a IFFT lze mnoho etně opakování iterací kroků získání řídicích signálů zvládnout ve velmi krátkém čase. Vlastní proces transformace vychází z rozdělení časového signálu do intervalů T , intervaly se diskretizují 512, respektive 1024 vzorky. Fourierova transformace potom dává 256, respektive 512 diskrétních sinusových složek s frekvencemi $1/T, 2/T, \dots, 256(512)/T$. Chceme-li analyzovat signál např. do frekvence 125 Hz, musíme zvolit délku intervalu $T = 4$ sec. Sinusové složky, kterými bude pak popsán časový signál budou mít frekvence 0.25, 0.5, 0.75, ... 125 Hz.

3.2 Matice přenosových funkcí

Přenosovou charakteristiku vícekanalového systému (což je případ simulace provozního namáhání konstrukce železničního vozidla) nelze popsat pouze jedinou přenosovou funkcí. Zpravidla jeden samostatný pobíjecí budicí signál na vstupu vyvolá odezvy na všech výstupech (tenzometricky měřená místa zkoušené konstrukce). Každý vztah mezi jedním budícím signálem a jednotlivými výstupy je popsán odpovídajícími přenosovými funkcemi, takže např. 4 kanálový systém je popsán 16 přenosovými funkcemi, které tvoří matici přenosových funkcí (viz obr. 2).

Jednotlivé přenosové funkce zkušební soustavy můžeme vyjádřit vztahem

$$H_{xz} = \frac{G_{xz}}{G_{xx}}, \quad (3)$$

kde: G_{xy} je vzájemná spektrální výkonová hustota (SVH) vstupního a výstupního signálu,

G_{xx} je SVH vstupního signálu,

a matici přenosových funkcí zkušební soustavy vztahem

$$H_{xy} = \frac{G_{xy}}{G_{xx}}. \quad (4)$$

3.3 Iterace řídicího signálu

Při iteraci se na základě požadované odezvy Y_p (např. tí konstrukce změřené v provozních podmínkách), skutečné odezvy Y_s (např. tí konstrukce změřené v průběhu jípravy simulace) a inverzní matice W k matici přenosových funkcí H zkušební soustavy odvozuje postupně v jednotlivých iteracích krocích řídicí signál X pro zatřžovací válece. Postup při iteraci je následující:

- a) iterace vychází z vypočítané první aproximace řídicího signálu,

$$X_j = -Y_j \cdot H^{-1} \quad (5)$$

- b) signál X_1 se pustí do zat žovacích válců a po prob hnutí se zjistí, jak p esn odpovídá zm ená skute ná odezva Y_1 požadované odezvy Y_p a ur í se jejich rozdíl tzv. chybový signál

$$E_j = Y_p - Y_j \quad (6)$$

- c) vypo ítá se korek ní signál K_1 a s jeho pomocí se vypo ítá nový ídící signál X_2

$$K_j = E_j \cdot H \cdot j \quad (7)$$

$$X_2 = X_j + K_1 \quad (8)$$

Postup b) a c) se opakuje až do snížení odchyvky mezi požadovanou a skute nou odezvou na hodnotu, která je v mezích požadované p esnosti simulace. Po dosažení této p esnosti m že být spušt n proces simulace.

4. Experimentální získání podkladů pro simulaci provozního namáhání pomocí ITFC

Jak bylo uvedeno v bod 3, podstata simulace provozního namáhání pomocí ITFC spo ívá v tom, že se na dynamickém zkušebním stavu p sobí na konstrukci zat žovacími válci tak, aby odezva v konstrukci byla stejná jako odezva získaná p í m ení v provozních podmínkách. Tento požadovaný stav procesu simulace lze zdánliv snadno docílit prostou reprodukcí sil, které v provozu do konstrukce vstupují. V n kterých jednoduchých p ípadech to možné je (nap . simulace provozního namáhání prvk vypružení), ale ve v tšin ostatních p ípad se p í tomto postupu naráží na n kolik problém , které je nutno si uv domit ještě p ed výb rem velí in, které mají sloužit jako podkladové velí iny pro simulaci a musí se tedy v provozu zm ít.

P edevším je t eba si uv domit, že i velmi výkonné elektrohydraulické zat žovací systémy jsou výkonov limitovány. Jde-li tedy o slo~it jší vícekanálovou zkoušku, je v mnoha p ípadech nutné vyvarovat se velkých zdvihů zat žovacích hydraulických válců, aby energie pot ebná k p ívodu p íslušného tlakového hydraulického oleje byla co nejnižší (významnou roli v otázce spot eby energie hrají také frekvence zat žovacích válců, ale s t ími nelze v p ípad simulace provozního namáhání manipulovat). Hledá se proto takové ešení konstruk ního uspo ádání experimentu, které umožní snížit zdvihy zat žovacích válců, což v praxi v tšinou znamená vy adit z innosti pružící elementy. Nap . p í simulací provozního namáhání rámu podvozku železni ního vozidla se provede instalace pouze samotného rámu, i když v provozu se pochopiteln musí m ít podkladové velí iny na kompletn vybaveném vozidle a tedy i podvozku.

Zmín né ešení ovšem vyžaduje, aby v provozu m ené podkladové velí iny pro simulaci provozního namáhání byly p ímo na rámu podvozku, což je spln no tenzometrickým m ením mechanického nap tí. Protože ve v tšin p ípad takovýchto experiment , kdy se p í simulaci provozního namáhání jedná o stanovení životnosti konstrukce, se m í mechanická nap tí ve vybraných kritických místech konstrukce za ú elem následného stanovení její životnosti, není m ení provozních mechanických nap tí jako podkladu pro simulaci pomocí ITFC zvláštní úlohou, ale pouze sou ástí celého tenzometrického m ení.

4.1 Měření mechanických napětí konstrukce

4.1.1 Výběr míst konstrukce pro měření napětí

Tato část řešení experimentu, na jehož konci je simulace provozního namáhání pomocí ITFC, je velmi důležitá, protože má podstatný vliv na pozdější identifikaci zkušební soustavy a následnou iteraci řídicích signálů zatřžovacích válců. Jak bylo naznačeno již v bodě 3.2, je třeba, aby každý zatřžovací válec měl své identifikační místo na zkoušené konstrukci (svj tenzometr), které pokud možno nereaguje na silové úinky ostatních zatřžovacích válců, respektive reaguje na něco nejméně a naopak velmi silně reaguje na silový úinek příslušného válce.

Uvedený požadavek (předpoklad) se plní velmi obtížně, protože každá konstrukce, i velmi tenká, vykazuje základní symetrii, z níž plyne obdobné namáhání konstrukce v různých (symetrických) místech, vyvolané jednotlivými vnějšími silami a příslušnými reakcemi. Aby při přípravě simulace a při vlastní simulaci bylo problémů co nejméně, je nutné provést již před měřením napětí (v provozu) několik úkonů:

- a) pro každý zatřžovací válec vybrat více identifikačních míst (alespoň dva),
- b) v identifikačních místech umístit a rozložit situovat několik tenzometrů (alespoň dva),
- c) jednoduchou statickou zkouškou ověřit vhodnost výběru identifikačních míst a nalepených tenzometrů (toto lze provést jednoduše pomocí různých hydraulických zvedáků, plynosných siloměrů a řídicích zesilovačů zapojených na nalepené tenzometry).

Při stanovení identifikačních míst se také ve značné míře uplatňují zkušenosti z předchozích obdobných měření a experimentů.

4.1.2 Příprava konstrukce pro měření napětí v provozních podmínkách

Vlastní příprava konstrukce pro měření napětí v provozních podmínkách je dána standardním postupem přípravy tenzometrického měření.

4.2 Vyhodnocení změřených provozních napětí

Postup při vyhodnocení změřených provozních napětí se řídí potřebovanými údaji pro vlastní simulaci provozního namáhání a eventuální následné vyhodnocení životnosti zkoušené konstrukce. Napětí v identifikačních místech konstrukce se vyhodnocují ve formě SVH - viz bod 3. Napětí v kritických místech konstrukce se vyhodnocují rovněž ve formě SVH a pro potřebu vzájemného porovnání výsledků simulacího procesu a výsledků výpočtu životnosti se obvykle vyhodnocují matice a spektra napětí dvouparametrickou metodou Rain-flow (RF).

4.3 Sestavení reprezentativního spektra napětí

Sestavení reprezentativního spektra napětí má dvě fáze. První fáze zahrnuje vytvoření obecně platného reprezentativního spektra z naměřených hodnot napětí při zkušebních jízdách a ostatních provozních situacích. (zpracovává se obvykle v časové oblasti). Druhá fáze je již poplatná vlastní simulaci. Spektrum v ní vytvořené musí mít stejné statistické parametry jako spektrum obecné, ale vzhledem ke kapacitním omezením elektrohydraulických systémů, na nichž se simulace realizuje, je třeba, aby bylo časově redukováno cca na 30 min délky analogového záznamu napětí.

5. Vlastní provedení simulace provozního namáhání konstrukce pomocí ITFC

Z dosud provedených simulací provozního namáhání pomocí ITFC (vesm s konstrukcemi rám podvozk železni ních nákladních voz) plynou následující zkušenosti a doporu ení:

- a) Proces namáhání konstrukce, který má být na DZS simulován, musí být stacionární.. Pokud tato podmínka není spln na, vznikne konstantní posunutí mezi skute nou a žádanou odezvou simulovaného procesu. Pokud se chceme této skute nosti vyvarovat, musíme provést roz len ní procesu na jednotlivé stacionární bloky a ásti vykazující nestacionaritu vyeliminovat (dostaneme proces po ástech stacionární). Toto ešení však p ináší závažný problém, který souvisí s napojením takto získaných díl ích ástí procesu (viz dále).
- b) V procesu, který má být simulován, se nesmí vyskytovat frekvence nižší než je podíl: vzorkovací frekvence/délka bloku FFT. Pokud tato situace nastane, dochází p i simulaci k v domé chyb , která zp sobí (stejn jako vad. a) po sunutí skute né odezvy oproti žádané odezv .
- c) Vzorkovací frekvence procesu namáhání by m la být podstatn vyšší než v literatu e 2,5+3 násobek maximální frekvence procesu (této otázce je t eba se dále v novat a provést její experimentální ov ení).
- d) Vhodný výb r identifika ních míst konstrukce má podle teoretických p edpoklad podstatný význam p i iteraci idících signál . Jak ale nazna ily provedené experimenty, není z ejm umíst ní identifika ních míst rozhodujícím faktorem pro zdárný pr b h simulace.
- e) Simulace v režimu ízení elektrohydraulického systému "dráha-dráha" byla mén komplikovaná než v režimu ízení "síla-dráha". Lze p edpokládat, že u tužších zkušebních soustav, než byly zkoušené rámy podvozk nákladních voz , by se mohl uplatnit i režim ízení "síla-síla".

Pokud jde o podklady pro simulaci a zp sob sestavení reprezentativního spektra namáhání dané konstrukce, je nutné uvést, že zde z stává k vy ešení velmi závažný problém týkající se ástí procesu namáhání, které vykazují nestacionaritu (nap . p ejezd železni ních vozidel p es p echodnice oblouk). Tyto nestacionární ásti procesu jsou pro simulaci pomocí ITFC nežádoucí a m ly by být odstran ny. Jejich odstran ním však zmizí z procesu namáhání významný díl, který byl doposud kompenzován asov stejn obsáhlou jinou ástí téhož procesu se stacionárním pr b hem, avšak uvedená transformace nebyla korektní v tom, že potírala návaznost jednotlivých ástí procesu namáhání (historii procesu), ímž p edem vnášela do realizované simulace ur itou chybu.

V této souvislosti nabývá na významu poznatek, že je to velmi nízká frekvence, daná kvazistatickou zm nou st ední hodnoty procesu namáhání (nestacionarita ve st ední hodnot procesu), která zp sobuje posunutí mezi skute nou a žádanou odezvou simulovaného signálu. Vzhledem k tomu, že tuto velmi nízkou frekvenci (cca 0.05 Hz) nelze L procesu namáhání konstrukce železni ního vozidla odstranit jinak než dodate ným "od íznutím" p echodových ástí, nelze ani bez tohoto zákroku zcela eliminovat odchylku skute ného a žádaného signálu p i simulaci pomocí ITFC. Nalezením optima vzorkovací frekvence analogového záznamu procesu namáhání, která souvisí také s volbou délky bloku pro FFT, sice lze tuto nep íznivou situaci do ur ité míry ovlivnit, ale úplného odstran ní chyby (odchylky) skute né odezvy od odezvy žádané se tím nedocílí.. Jedno z možných ešení

tohoto problému vychází z transformace nestacionárního procesu na proces stacionární, jak je uvedeno dále.

6. Transformace provozního procesu namáhání konstrukce železničního vozidla pro simulaci pomocí ITFC

Jedná se o transformaci, která změní zaznamenaný nestacionární proces namáhání na proces stacionární ve střední hodnotě, jehož úroveň na zkoušenou konstrukci při realizaci na dynamickém zkušebním stavu bude co do životnosti konstrukce ekvivalentní úroveň u vodního procesu. Úloha má dvě části:

- části provozního procesu namáhání s jinou střední hodnotou, než je střední hodnota odpovídající statickému úroveň konstrukce, je nutné přetransformovat na tuto střední hodnotu tak, aby nově vzniklý proces měl stejný poškozuující úroveň jako u vodního provozního procesu
- Z přetransformovaného procesu namáhání je třeba vyadit části s nízkými amplitudami, které mají zanedbatelný poškozuující úroveň. Tento krok realizovat tak, aby byla zachována časová následnost amplitud, jaká byla u vodního provozního procesu.

6.1 Transformace procesu namáhání na jedinou střední hodnotu

K tomuto transformačnímu kroku lze použít principu Smithova diagramu obr. 3 a algoritmu obdobného metod "stékajícího deště", aby byla zachována následnost rozkmitů. Pro přepočet velikostí amplitud při změně střední hodnoty lze použít vztah:

$$\sigma_{a0} = \frac{\sigma_{ai} \cdot \sigma_{c0}}{l_p} \quad (9)$$

kde: σ_{a0} je transformovaná amplituda,

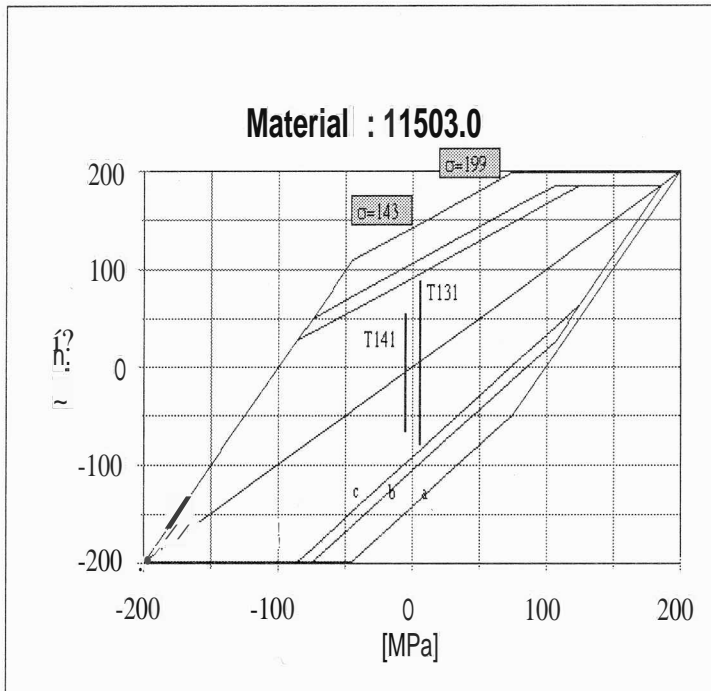
σ_{ai} je původní amplituda,

σ_{c0} je mez únavy zkoušené konstrukce,

σ_{mi} je střední hodnota příslušného rozkmitu,

l_p je součinitel sbíhavosti Smithova diagramu.

Názorné zobrazení tohoto transformačního kroku představují obr. 4, 5.

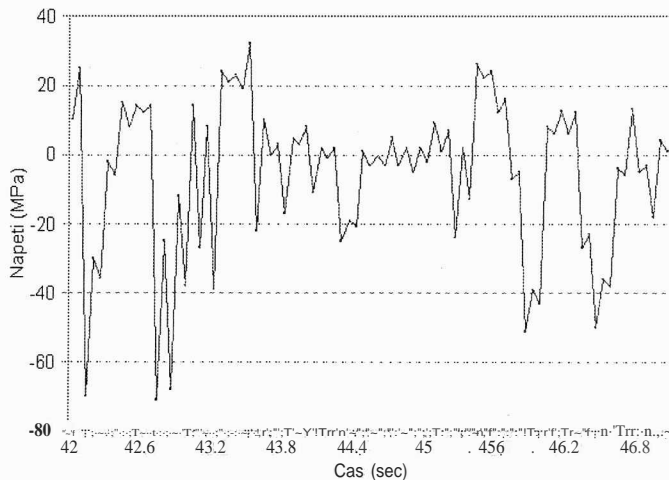


- a...hranice pro plný materiál
- b...hranice s respektováním vrubového úinku tupého svaru
- c...hranice s respektováním vrubového úinku koutového svaru

Obr. 3 Smithův diagram materiálu rámu podvozku

Část reálného procesu provoz. napeti

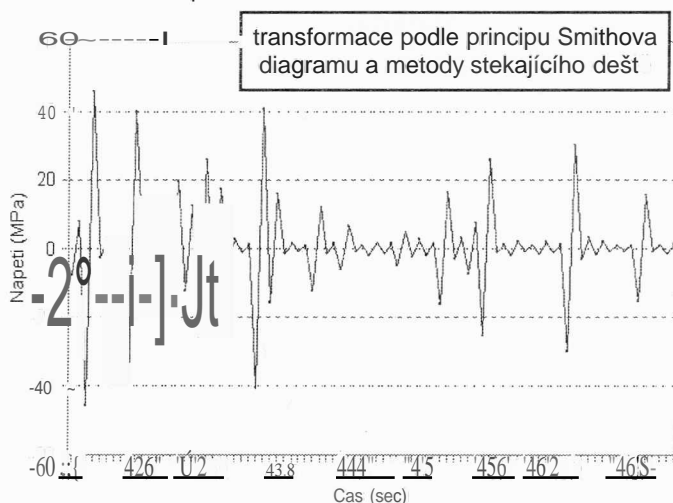
ramu podvozku Y25Rs v místě tenz. T123



Obr. 4 Část reálného procesu

Cast transform. procesu provoz. napeti

ramu podvozku Y25Rs v miste tenz. T123



Obr. 5 Část transformovaného procesu

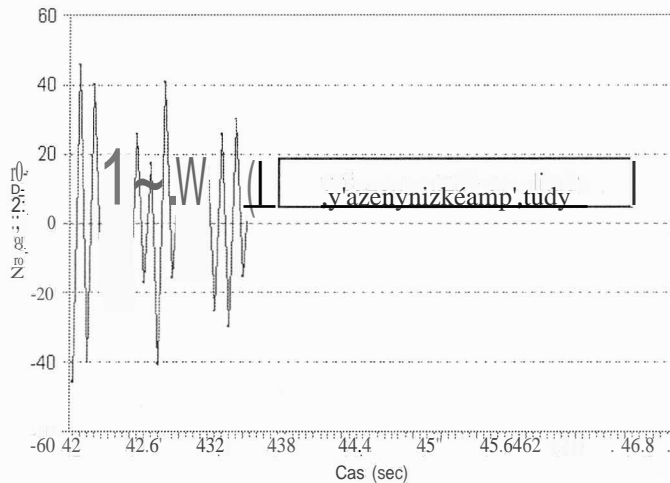
p sob transformace byl následn testován vypo ítáním a porovnáním mediánových životností jednotlivých míst konstrukce rámu podvozku pro reálné záznamy nap tí a transformované záznamy nap tí (viz dále bod 6.3). Životnosti pro transformovaná nap tí vycházely v rozmezí o 1 až 7% nižší než životnosti pro reálná nap tí, což lze považovat za přijatelný výsledek, jestliže se uváží skute nost, že odchylky byly vždy na tzv. bezpečné straně.

6.2 Vy azení nízkých amplitud p etransformovaného procesu namáhání

Hlavním smyslem tohoto bodu je asov zkrátit celý simula ní proces vy azením nízkých amplitud, které mají zanedbatelný poškozující ú inek ohledn životnosti zkoušené konstrukce. Vy azeny byly amplitudy nap tí ($J_i < 0.3$ (J_e (J_e -p íslušná mez únavy materiálu). Obdržíme tak upravený proces pro simulaci (viz obr. 6).

Stejn jako v p edchozím transforma nímu kroku (bod 6.1) i zde byla respektována podmínka následnosti amplitud podle reálného procesu provozního nap tí (algoritmus tohoto transforma ního kroku je pom rn složitý a zde prezentovaný výsledek je vázán na pouze na jeho zjednodušenou verzi).

Část transform. procesu provoz. napeti ramu podvozku Y25Rs v místě tenz. T123



Obr. 6 Část upraveného procesu

6.3 Ověření transformace procesu namáhání

K ověření provedené transformace procesu namáhání (viz obr.6), že takto upravený proces ekvivalentně nahrazuje původní provozní proces určený k simulaci na dynamickém zkušebním stavu, byl použit dříve navržený postup teoretického stanovení životnosti konstrukce železničního vozidla [4], skládající se z diskretizace analogového záznamu napětí dvouparametrickou metodou "stékajícího deště" (2D), aplikace upravené hypotézy Corten-Dolanovy a použití Wohlerových charakteristik získaných zkouškami konstrukčních uzlů rámu podvozku Y25 na dynamickém zkušebním stavu. Pro konkrétní místa rámu s tenzometry T131 a T141 byly provedeny výpočty životností nejprve pro případ reálného provozního procesu namáhání a potom opakovaně pro případ transformovaného procesu namáhání určeného pro simulaci. Jako podklady pro zmíněné výpočty byla použita spektra napětí rámu podvozku změřená na tratích D (ukázka spektra obr. 7). Z výsledků výpočtů životností (viz ukázka výpočtu obr. 8 a stručný souhrn v Tab. 1) je patrné, že pro provedení způsob transformace se vypočítané životnosti pro reálný a transformovaný proces (i upravený transformovaný proces s vyznačenými nízkými amplitudami) velmi blíží, což svědčí o splnění požadavků na transformaci. (Pro informaci je v Tab. 1 uveden i výpočet životností pro případ diskretizace reálného spektra pomocí jednoparametrické metody "stékajícího deště" (1D).

Tab. 1 Výsledky výpočtu životností

Tenzometr	Životnost [km]			
	reálný proces (1D)	reálný proces (2D)	transform. proces (1D)	upravený transform. proces (1D)
131	$3,554 \cdot 10^5$	$2,802 \cdot 10^5$	$2,797 \cdot 10^5$	$2,805 \cdot 10^5$
141	$8,668 \cdot 10^5$	$5,212 \cdot 10^5$	$5,192 \cdot 10^5$	$5,259 \cdot 10^5$

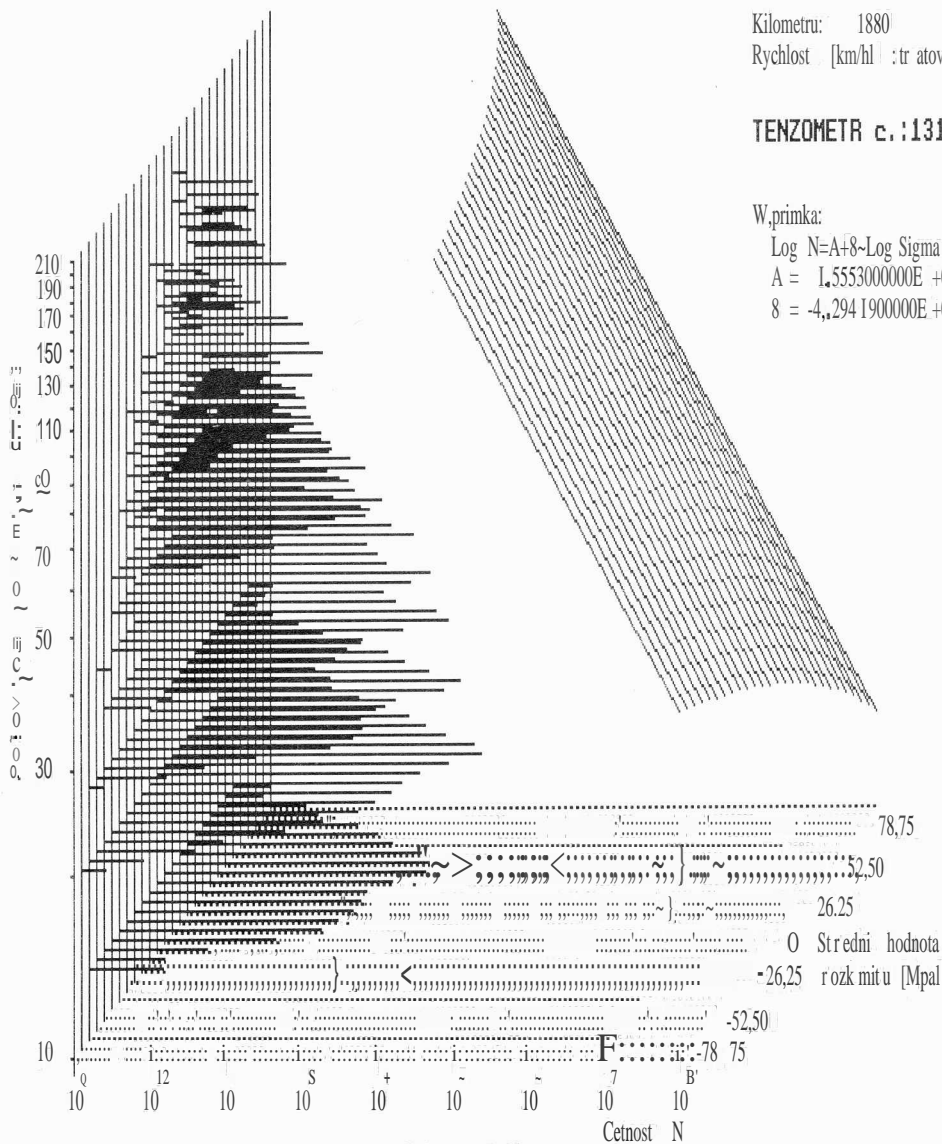
HVPOTEZA CORTEN-DOLANOVA 2-D

Merenny usek : Trate CO

Kilometru: 1880
Rychlost [km/hl] : tr atova

TENZOMETR c.:131

W,primka:
Log N=A+8-Log Sigma
A = 1.555300000E +01
8 = -4.,294 1900000E +00



Dilci poskozeni po 1880 km je 6,7087298743E-03,

Zivotnost v [kml je 2,8023188222E +05 ,

Obr. 8 Ukázka výpočtu životnosti

7. Závěr

Simulace provozního namáhání konstrukcí železničních vozidel pomocí ITFC je v souhrnu všech inností, které s tím jsou spojeny, velmi náročný experimentální postup. Jeho použití je předurčeno pro oblast dynamických procesů, které jsou stacionární ve stacionární hodnotě. Protože tato podmínka není v obecném případě u železničních vozidel splněna, je třeba hledat cestu, jak tento problém vyřešit. Jednou z možností je transformace nestacionárního procesu ve stacionární hodnotě v proces, který je v tomto parametru stacionární.

Lektoroval: Ooc. Ing. Jaroslav Menčík, CSc.

Předloženo v lednu 1998.

Literatura

- [1] Culek B.st.: Simulace provozního namáhání konstrukce železničního vozidla, HP, VUT Praha, 1997.
- [2] Culek B.st.: Řešení technických problémů pro provoz dynamického zkušebního stavu, zpráva VÚŽ Praha-Ú. U 02027322, Cerhenice 1992.
- [3] Culek B.st., Vaněk A., Zadražil M.: Dynamické zkoušky podvozku Y25, zpráva VÚŽ Praha Ú. P07118813-DÚ03-E01, Praha 1986.
- [4] Culek B.st.: Stanovení životnosti konstrukce železničního vozidla v podmínkách provozu na tratích SD a železničního zkušebního okruhu, KOP, VUT Praha 1991.

Resumé

SIMULACE PROVOZNÍHO NAMÁHÁNÍ KONSTRUKCÍ ŽELEZNIČNÍCH VOZIDEL

Bohumil CULEK st., Bohumil CULEK ml.

V příspěvku je naznačeno použití programového systému ITFC (Iterative Transfer Function Compensation) k simulaci provozního namáhání konstrukce železničního vozidla. Dále je zde uveden postup transformace nestacionárního procesu namáhání konstrukce vozidla na proces stacionární.

Summary

SIMULATION OF WORKING STRESS ON CONSTRUCTION OF RAILWAY TRUCKS

Bohumil CULEK st., Bohumil CULEK ml.

In this paper is outlined method application of program equipment ITFC (Iterative Transfer Function Compensation) to simulation of working stress on railway trucks. Further is here introduced advance of transformation of the non-stationary process of the trucks in to stationary process.

Bohumil Culek st., Bohumil Culek ml.;

Simulace provozního namáhání konstrukcí železničních vozidel

Zusammenfassung

SIMULATION DER BETRIEBSBEANSPRUCHUNG DER KONSTRUCTION VON EISENBAHNFahrZEUGEN

Bohumil CULEK st., Bohumil CULEK ml.

Im Beitrag wird das Verfahren der Benutzung des Programmsystems **ITFC** (Iterative Transfer Function Compensation) zur Simulation der Betriebsbeanspruchung der Konstruktion von Eisenbahnfahrzeugen angezeigt. Weiter ist hier ein Fortgang der Transformation der nonstationären Beanspruchungsprozess der Fahrzeugkonstruktion in den stationären Prozess eingeführt.

