

2185/25
NKP



356708

ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA

1001732249



NÁRODNÍ KNIHOVNA

1

ROČNÍK 30 (LVII)

PRAHA

LEDEN 1984

CENA 10 Kčs

CS ISSN 0044-3883

ČESKOSLOVENSKÁ AKADEMIE ZEMĚDĚLSKÁ
ÚSTAV VEDECKOTECHNICKÝCH INFORMACÍ
PRO ZEMĚDĚLSTVÍ

Řídí redakční rada

Ing. Jiří Fiala, DrSc. (předseda), ing. Miloslav Adam, CSc., ing. Vladimír Dufek, prof. ing. Marko Ďuriš, CSc., ing. František Fortuník, CSc., ing. Stanislav Haš, CSc., ing. Dušan Hutla, doc. ing. Ján Jech, CSc., ing. Jiří Kulík, ing. Zdeněk Pastorek, CSc., ing. Vladimír Píša, ing. Bohumil Studeník, CSc., doc. ing. Vladimír Suchý, CSc., prof. ing. Zdeněk Steffl, CSc., Josef Višínský, CSc.

Za vedení časopisu odpovídá ing. Jiří Fiala, DrSc.

Redaktorka ing. Jovanka Václavíčková

© Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství,
Praha 1984

■

Vědecký časopis ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA uveřejňuje studie, rozborů a vědecká pojednání o vyřešených úkolech výzkumu v oboru zemědělská technika. Vydává Československá akademie zemědělská — Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství. Vychází měsíčně. Redakce: 120 56 Praha 2, Slezská 7, telefon 257541-9. Celoroční předplatné Kčs 120,—.

■

Научный журнал ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA публикует обзоры, анализы и научные статьи о решенных заданиях по научному исследованию в области сельскохозяйственной техники. Издаёт Чехословацкая сельскохозяйственная академия — Институт научно-технической информации по сельскому хозяйству. Выход в свет ежемесячно. Редакция 120 56 Прага 2, Слезска 7.

■

The scientific journal ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA publishes studies, analyses and scientific treatises about the solved research tasks in the line of the agricultural mechanization. Published by the Czechoslovak Academy of Agriculture — Institute of Scientific and Technical Information for Agriculture. Issued monthly. Editorial office 120 56 Prague 2, Slezská 7.

NOVÉ PŘÍSTUPY K SIMULACI PROVOZNÍCH ZATÍŽENÍ, POUŽITÉ PŘI ZKOUŠCE ŽIVOTNOSTI NÁPRAVY STROJE PRO MECHANIZACI PÍCNINÁŘSKÝCH PRACÍ NA SVAZÍCH MT 6-011

Z. Souček, J. Bláha

SOUČEK, Z. — BLÁHA, J. (Agrozet, koncernový výzkumný ústav zemědělských strojů, Praha-Chodov): *Nové přístupy k simulaci provozních zatížení, použité při zkoušce životnosti nápravy stroje pro mechanizaci pícninářských prací na svazích MT 6-011*. Zeměd. Techn., 30, 1984 (1) : 1-20.

Důležitou etapou ve vývoji nových zemědělských strojů jsou zrychlené zkoušky únavové životnosti. Věrohodnost výsledků zkoušky je silně závislá na tom, jak se zkušební zatížení přiblíží skutečným provozním podmínkám. Jednou z možností simulace provozního zatížení je použití upravených magnetofonových záznamů z měření v provozních podmínkách jako řídicího signálu pro elektrohydraulické zkušební zařízení. Záznamy je nutné upravit, aby se zkouška urychlila. Ve VÚZS byla vypracována metodika simulace vícesložkového provozního zatížení se zachováním vzájemné korelace mezi jednotlivými složkami. Metodika byla aplikována na zkoušku přední nápravy stroje pro mechanizaci pícninářských prací na svazích MT 6-011. Experimentální podklady pro přípravu a vyhodnocení zkoušky byly získány měřením v provozních podmínkách pomocí telemetrické soupravy.

únava materiálu; laboratorní zkoušky životnosti; program zkoušky; simulace provozního zatížení

V souvislosti se stále rostoucími nároky na nové zemědělské stroje z hlediska zvyšování produktivity práce, výkonnosti a zdokonalování jejich funkce rostou v ještě značně vyšší míře požadavky na spolehlivost jednotlivých funkčních a nosných konstrukčních prvků. Při tradičním postupu zkoušek jen v provozních podmínkách by neúměrně vzrostly nároky na jejich rozsah a opakování při ověřování úprav. Při často krátkém období možnosti nasazení konkrétních strojů v době agrotechnických lhůt přípravy, pěstování a sklizně zemědělských produktů by to mělo za následek, že vývoj těchto nových složitých strojů by trval nepřipustně dlouhou dobu. Proto jsou již mnoho let stále častěji používány zrychlené laboratorní zkoušky zemědělských strojů, které nejsou závislé na sezóně.

V oboru československého zemědělského strojírenství jsou nejrozšířenější únavové zkoušky součástí strojů. Jedná se zejména o zrychlené zkoušky životnosti celých strojů (především jejich nosných prvků) na kruhové dráze a o zkoušky exponovaných detailů pomocí elektrohydraulického zatěžovacího zařízení INOVA, které pro výrobní podniky Agrozet již tradičně zajišťuje Odbor základního výzkumu koncernového VÚZS.

Předkládaná práce uvádí na konkrétním příkladu novou, kvalitativně odlišnou metodu řešení zkoušky životnosti (ve srovnání s dosavadními postupy běžně používanými nejen ve VÚZS, ale i v jiných podnicích v ČSSR), využívající jednoduchého a levného (vůči dnes nabývaným špičkovým zařízením z KS) elektrohydraulického zařízení EDYZ firmy INOVA.

POUŽÍVANÉ METODY SIMULACE PROVOZNÍCH ZATÍŽENÍ

Zařízení EDYZ 3, které VÚZS vlastní, umožňuje především typické programové tradiční zkoušky podle Gassnera, tedy pravidelné opakování stupňovitých spekter zatížení (programových jednotek) až do skončení životnosti. Celkový počet cyklů na jednotlivých hladinách zatížení pak vychází z distribuční funkce (resp. třídních četností) amplitud zatížení zjištěných v provozu. Přitom je možné zatěžovat až čtyřmi válci současně. Střídaní zatěžovacích hladin a počtu cyklů řídí automaticky elektronická aparatura. Řízení zátěžných účinků pomocí průběhu zatížení reprodukováného z měřicího magnetofonu se v ČSSR používá poměrně vzácně. V minulosti se tento způsob ve VÚZS nepoužíval.

Velmi časté jsou zkoušky životnosti na jedné hladině zatížení, vycházející z tzv. redukováného zatížení. Zvolená hladina s výhodou vychází z provozního spektra zatížení pro celou životnost součásti, jehož poškozující účinek, přepočtený pomocí některé hypotézy (např. Minerovy hypotézy lineární kumulace dílčích poškození s uvažováním i cyklů pod mezí únavy, která často není známa — jak to doporučuje Corten-Dolan), je stejný jako při plánované zkoušce na zvolené hladině. Přitom úroveň zvolené hladiny může respektovat i požadovaný součinitel bezpečnosti, jak je zvykem při výpočtech únavové životnosti (např. hodnota bezpečnosti 1, 2 a pod.). Taková zkouška má význam zvláště při porovnání různých alternativ provedení součástí, zatímco skutečnou životnost odhaduje jen hrubě orientačně. Ve VÚZS je velmi často používána programová zkouška, jejímž cílem je zjistit mez únavy každého vzorku využitím známé Locatiho metody. Takto zjištěná mez únavy na několika vzorcích umožňuje jednak porovnávat různá provedení součástí, jednak orientačně posoudit životnost pro provozní spektrum zjištěné nebo i dodatečně zpřesněné.

Uvedené prakticky velmi výhodné postupy, ve VÚZS vesměs vycházející z platnosti Minerovy hypotézy, mohou při odhadech skutečné životnosti způsobovat chyby až v násobcích životnosti. Tyto možnosti chyb jsou známe již desítky let. Např. Freudenthal již v r. 1953 doporučoval náhodný způsob zatěžování jako správnější než zkouškami podle Gassnera. Další autoři dokázali, že volba postupu zatěžovacích cyklů (při stejné distribuční funkci amplitud zatížení) ovlivňuje výsledek zkoušky. Z těchto důvodů vzniklo více metod, které usilují o realizaci náhodného zatížení zkoušené součásti. Jsou používány generátory náhodných kmitů, které umožňují volit zatížení s náhodným průběhem, jehož statistické charakteristiky lze volit stejné jako u provozního zatížení. Aby reprodukovatelnost zatížení (zvláště s ohledem na požadavek zajistit stejnou maximální hodnotu pro jednotlivé zkoušené vzorky) byla přesná, jsou pro řízení zatěžování používány také měřicí magnetofony s nahraným (tedy reprodukovatelným) náhodným průběhem zatížení. Výrazné složitější případ nastane, když je skutečná součást v provozu zatěžována několika nezávislými nebo jen částečně závislými silovými účinky. Pak je možné takový režim nahradit elektrohydraulickými zařízeními řízenými počítačem, který zajistí redukcí podkladu z měření tak, jako to umožňují zkušební soupravy dodávané např. firmou MTS. Tyto soupravy však jsou pro vysoké pořizovací náklady (dovoz z USA) těžko dostupné. Princip, který uvádějí např. Bendat a Piersol (1973), je založen na hlubším zpracování náhodných veličin namáhání nebo zatížení součástí z provozu. Kromě základních statistických charakteristik (střední hodnoty a rozptylu) jsou pro vicesložkové zatěžování zjišťovány i autokorelační funkce, vzájemné korelační funkce, výkonové spektrální hustoty jednotlivých veličin, vzájemné výkonové spektrální hustoty a koherenční funkce. Náhodné zátěžné budící účinky (pro vicesložkové zatížení) pak počítač volí tak, aby odezva, tj. skutečné zatížení (resp. namáhání v kontrolovaných místech konstrukce), vykazovala stejné statistické charakteristiky jako v provozu.

Úvahy se zatím týkaly způsobu reprodukce známých průběhů, resp. spekter zatížení součástí, elektrohydraulickým zařízením. Zjednodušený přístup, jak bylo

uvedeno, způsobuje chyby, které mohou být při nižších nárocích i přijatelné. Zcela nepřijatelné chyby však může způsobit postup, jakým jsou experimentální data zjišťována. Není tím míněn jen způsob zpracování výsledků měření, který ve VÚZS vychází z osvědčených výsledků prací (Procházková, 1973, 1980 a další). Jde především o volbu podmínek měření, sledujících postižení výsledků blízkých skutečnému provozu. Při dosavadních možnostech přístrojového vybavení (použití pojiždných měřicích laboratoří s kabelovým spojením mezi měřeným strojem a laboratoří) se dílčí spektra zatížení mohla zjišťovat z poměrně krátkodobých měření (někdy pouze minutu nebo i méně). Důvodem bylo to, že pracovní proces zemědělského stroje je přerušován různými manévry (např. otáčením na souvrati apod.). Tato poměrně krátká měření dobře vystihují skutečnost při relativně stacionárních poměrech. I když se zvláště zjišťují podklady z neobvyklých situací (někdy i extrémních), nebylo snadné je do výsledných spekter zahrnout. Používané metody extrapolace průběhů spekter mohou stav zlepšit, ale v principu nemohou skutečné poměry dostatečně přesně vystihnout. Kvalitativně odlišný proces vznikající při obsluze stroje a manévrech nezapadá totiž do spojitého průběhu předpokládaných známých rozdělení četností, neboť se někdy jedná o zcela jinou činnost stroje. Seřazování souhrnných spekter z uvedených krátkodobých měření vyžaduje náročné odhady počtu realizací těžko postižitelných situací při manévrech, přechodových stavů při změnách režimů (řazení rychlostí, změny otáček, zatáčení apod.). Je zřejmé, že takto je možné vynechat i stav, který se v pracovním režimu často opakuje. Protože vliv pracovního režimu na namáhání jednotlivých součástí je velmi složitý a názorem těžko postižitelný, mohou být provozní spektra pro celou životnost ochuzena o kmity, které velmi podstatně zvýší úroveň namáhání. Z jednoduché úvahy plyne (při známých vysokých hodnotách exponentu Wöhlerovy křivky), že je možné získat podklady, které pak vedou k odhadům životnosti i o řád vyšším než ve skutečnosti. Tyto těžko sledovatelné nedostatky experimentálních podkladů mohou ještě výrazněji snížit věrohodnost závěrů zrychlených zkoušek únavové životnosti, než např. chyby plynoucí z citlivého používání zjednodušených teorií kumulace poškození.

PRINCIP NOVÉHO POSTUPU, POUŽITÉHO PŘI ZRYCHLENÉ ZKOUŠCE ŽIVOTNOSTI NÁPRAVY

Smyslem zvolené metodiky bylo snížit chyby obou skupin a přitom jednoduše realizovat poměrně náročnou zkoušku, která, jak plyne z dalších částí práce, vyžadovala zatěžování dvěma složkami zatížení (svislou a vodorovnou). Tyto složky však musí vyvodit odezvu, která v principu vzniká nejen z odpovídajících složek silových účinků na kola, ale také z působení adaptéru, který je nápravou nesen. Vzniká tak požadavek na vyvození dvou složek zatížení, které působí částečně synchronně, částečně zcela nezávisle nebo s časovým průběhem u obou složek částečně posunutým. Stav dobře popisuje vzájemná korelační funkce, jejíž jednotlivé body průběhu pro digitalizované veličiny (vzorky obou složek x_i a y_i) zjistíme vyhodnocením na počítači ze vztahu

$$c_{xy}(\tau) = \frac{1}{N - \tau} \sum_{i=1}^{N-\tau} x_i \cdot y_{i+\tau}$$

kde: N — celkový redukováný počet vzorků
 τ — časový posuv veličin x a y vyjádřený násobky časového intervalu mezi vzorky (mění se od 0 do hranice m po kroku 1)
 m — celkový počet bodů korelační funkce

Aby byl zajištěn vyhovující průběh vzájemné, ale i autokorelační funkce zátěžných účinků, bylo zvoleno řízení zkoušky měřicím magnetofonem, na jehož dvou stopách byly přehrány dva průběhy, z nichž jeden odpovídal zátěžné síle svislou složkou a druhý složkou vodorov-

nou. Tento v principu známý způsob splňuje všechny požadavky na věrohodnost reprodukce skutečných poměrů. Jestliže však sestavíme ze všech dílčích výsledků měření souhrnné spektrum, vede při správném procentuálním zastoupení dílčích měření k nepřijatelné době zkoušky, neboť obsahuje úseky (popř. celá měření), která se na únavovém poškození podílejí velmi málo. Aby zkouška trvala přijatelnou dobu (byl stanoven limit přibližně 10 % času vůči celkové plánované životnosti, která činila 4000 hodin), bylo nutno redukovat experimentální data a zvýšit tvrdost zátěžných účinků. Redukce spočívala v tom, že zátěžné spektrum bylo sestaveno pouze ze čtyř měření (v délkách odpovídajících jejich skutečnému časovému zastoupení v provozním spektru), která charakterizovala typické pracovní a transportní podmínky stroje. Navíc se tyto podmínky nejvíce podílely na poškozujícím účinku kmitavého namáhání. Po tomto kroku by se doba zkoušky vůči skutečnému provozu zkrátila zhruba na polovinu, což je stále ještě nepřijatelné. Obě složky proto byly zvýšeny o 60 %, což umožnilo snížit dobu zkoušky (pod požadovaný limit) odpovídající výpočtem stejnému poškozujícímu účinku jako souhrnné provozní spektrum pro celou životnost.

Některá ze čtyř použitých měření však po zvýšení úrovně z nich plynoucího zatížení obsahovala ojedinělé extrémy (maxima, resp. minima) přesahující extrémy, které byly při tenzometrických měřeních v provozních podmínkách zjištěny. Proto byly tyto nevyhovující extrémy odříznuty omezovačem nastaveným na zvolenou přípustnou hladinu. Z hlediska charakteristik vyjadřujících korelaci vzájemného i vlastního průběhu tím nebyl signál ovlivněn. Snížilo se nebezpečí, že by v některých místech byla překročena mez kluzu, což by změnilo charakter a vlastní mechanismus únavového procesu.

Uvedený způsob tedy zajistil při dvousložkovém zatěžování poměr svislého a vodorovného ohybu a krutu shodný s podmínkami v provozu. Zajistil také náhodný přirozený charakter průběhu zatížení. Principiální nedostatky v přepočtu provozního a zátěžného spektra se pak mohou uplatnit jen ve srovnání provozního a laboratorního zatížení obdobného typu (při výpočtu doby zkoušky). Rozhodujícího zlepšení bylo možné dosáhnout v postupu při získávání experimentálních podkladů pro souhrnné provozní spektrum zásluhou použití telemetrické soupravy. Bylo možno uskutečňovat měření, z nichž některá trvala 700 až 900 s. Jednalo se o normální pracovní činnost, obsahující všechny nestacionární náhodné změny (pozorovatelné, ale i skryté) v plynulosti základní pracovní činnosti v časových relacích, ve kterých se vyskytují v provozu. Bylo měřeno v neobvykle velkém počtu různých režimů a podmínek zahrnujících i vliv různých územních oblastí, sklonů, tvarů pozemků a řidičů, kteří při snaze dosahovat dobrých výkonnostních nebo transportních parametrů stroje bez zbytečného přetěžování volili způsob práce podle svého názoru. Na procentuálním odhadu zastoupení jednotlivých režimů se nezávisle zúčastnilo vždy několik pracovníků, kteří měli zkušenosti s provozem stroje. Tímto způsobem byl zajištěn relativně solidní experimentální podklad zkoušky.

Při vyhodnocení byly zjištěny — zřejmě v důsledku dlouhé doby měření a přirozeného charakteru práce — extrémy, které řešitele překvapily, neboť přesahovaly dříve zjištěné hodnoty extrémů za situaci uměle vyvolaných zdánlivě velmi tvrdým zacházením.

Je tedy zřejmé, že podklady z dlouhodobých měření v přirozených a různorodých podmínkách mohou přinést kvalitativní změnu v přesnosti odhadu skutečné provozní životnosti na základě laboratorních zkoušek.

TELEMETRICKÁ MĚŘICÍ SOUPRAVA POUŽITÁ K MĚŘENÍ NAMÁHÁNÍ V PROVOZNÍCH PODMÍNKÁCH

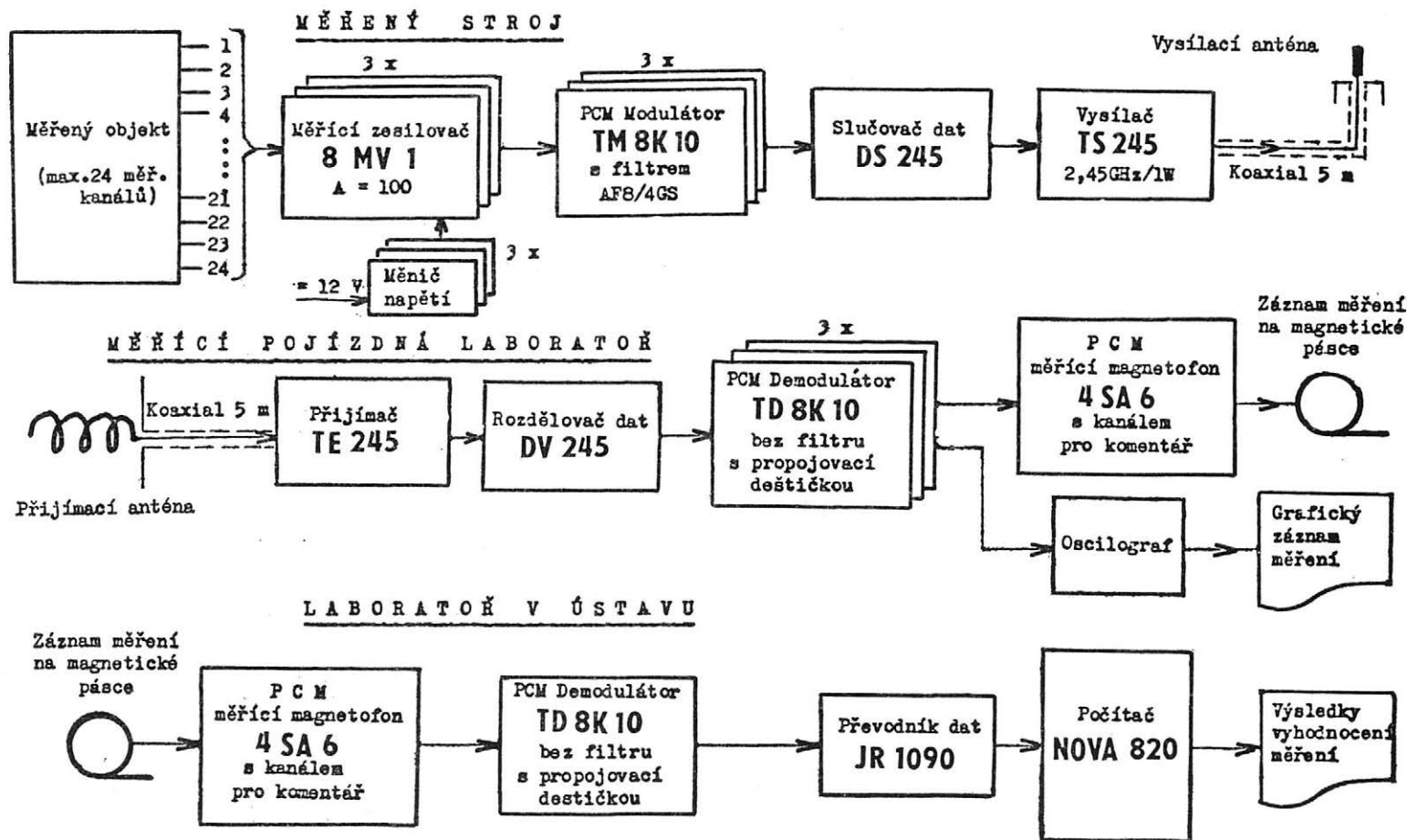
V oboru československých zemědělských strojů (obdobně jako v jiných oborech) jsou k měření namáhání tradičně používány odporové tenzometry [Souček, 1978]. Metoda umožňuje na stejném principu měřit i další mechanické veličiny (síly, krouticí momenty), kterých lze výhodně využít jako experimentální podklady pro zrychlené zkoušky životnosti.

Ve VÚZS byla zavedena do používání telemetrická souprava využívající pulsní kódové modulace vstupních signálů (PCM). Měřicí systémy na principu PCM přinášejí v některých oblastech použití výhody proti tradičním systémům s frekvenční modulací (FM). Je to zejména snadnější a levnější měření velkého počtu kanálů, snadnější realizace telemetrického přenosu, přímá návaznost na zpracování číslicovým počítačem, vyšší přesnost a stabilita, nízká hmotnost měřicích prvků, větší odstup užitečného signálu a šumu. Nevýhodou PCM (proti FM) je omezený frekvenční rozsah, který je však pro měření na zemědělských strojích dostatečný.

Experimentální podklady pro zrychlenou zkoušku životnosti byly pořízeny telemetrickou soupravou 8 K 10, vyráběnou firmou Johna a Reilhofer (obr. 1). Schéma ve VÚZS používaného zařízení k měření 24 veličin současně je na obr. 2. Výstupy z tenzometrických můstků jsou připojeny na stejnosměrné zesilovače 8 MV 1, které jsou výhodně uspořádány v modulech po osmi kanálech (obdobně jako ostatní základní prvky). Zesilovače umožňují automatické nulování. Cejchování

1. Pohled na telemetrickou měřicí soupravu 8 K 10 (zpracování signálů a vysílací část) při měření na stroji MT 6-011. V pozadí je měřicí laboratoř s přijímací a registrační částí aparatury — A view of the 8 K 10 telemetric apparatus (signal processing and transmitting part) when used for measurements on the MT 6-011 machine. Background: measuring laboratory with the receiver and recorder part of the apparatus





2. Blokové schéma sestavy měřicích a vyhodnocovacích zařízení, použité k zjištění experimentálních podkladů pro zkoušku životnosti — Block diagram of the set of measuring and processing apparatuses used for the determination of experimental data for machine life test

(buď postupně po kanálech, nebo současně pro všechny kanály) umožňuje vstupní jednotka s volitelnými přesnými odpory zařazovanými paralelně k tenzometrickým tělískům, navržená ve VÚZS. Výstup z 8 MV 1 je připojen k modulátorům TM 8K 10. Modulátor kromě jiného provádí vzorkování analogového signálu (převod do digitálního tvaru). Délka slova je 10 bitů, což umožňují 1024 úrovně hladin amplitudy. Při nejčastěji používané rychlosti posuvu pásky registračního magnetofonu 7"/s 4SA6 je frekvence vzorkování pro všech osm kanálů 40 000 bitů/s, tedy frekvenční přenos jednoho kanálu činí asi 100 Hz. Zvětšením rychlosti posuvu na 30"/s je možné zvýšit frekvenční rozsah čtyřikrát a omezením současně měřených kanálů lze dále frekvenční rozsah zvyšovat. Na vstupu modulátoru je zařazen filtr, jehož funkční rozsah se mění se zvolenou rychlostí posuvu. Tento filtr zabrání chybám vznikajícím z případných vyšších rušivých frekvenčních složek měřeného signálu.

Pro vysokofrekvenční přenos je nutné sloučit data s využitím časového multiplexu do rámců dat s jedním synchronizačním slovem, které zajišťuje jednoznačnou reprodukci jednotlivých veličin na výstupu celého měřicího řetězce. Při větším počtu kanálů než osm je nutný slučovač dat DS 245. Vlastní telemetrický přenos pomocí vysoké frekvence je v pásmu 2450 MHz. Ten má mnoho výhod (možnost přenosu velkého počtu kanálů s dostatečným frekvenčním rozsahem a nezávislost na průmyslovém rušení), ale i omezení. Je nutné zajistit přímou viditelnost mezi vysílací a přijímací anténou. Je také třeba zabránit možným odrazům signálů, a tím ztrátám synchronizace používáním směrových antén (zvláště v členitém terénu s výraznými odrazovými plochami).

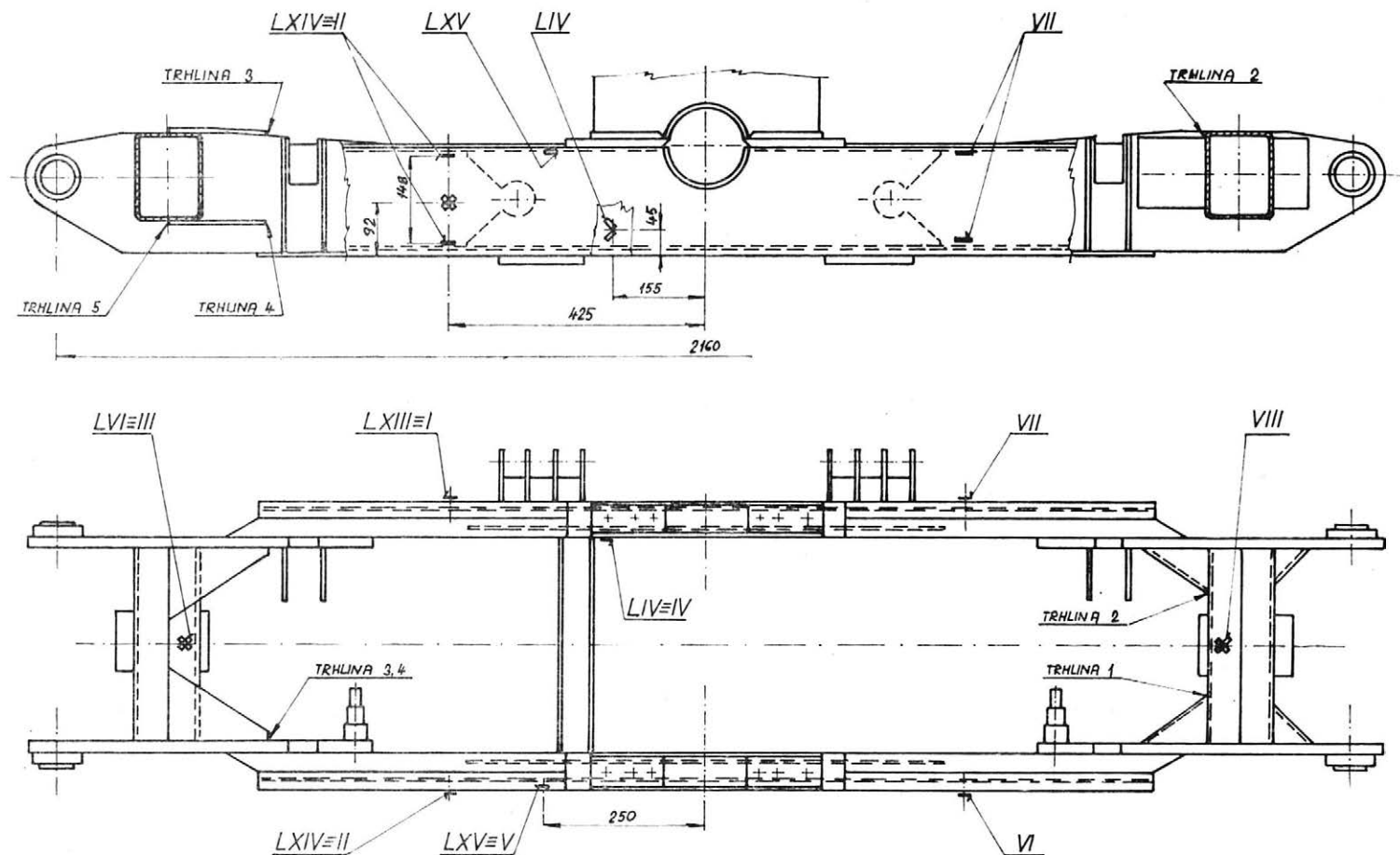
Ve vlastní měřicí laboratoři je kromě rozdělovače dat skupina demodulátorů, které jednak upravují signál pro registraci (v digitálním tvaru) na magnetofon 4SA6, jednak provádějí paralelně D-A převod pro registraci výstupních analogových veličin na smyčkový oscilograf. Grafický záznam slouží pouze pro průběžnou kontrolu funkce snímačů, kontrolu volby správných rozsahů a cejchovních výchylek. Ke zpracování se používá záznam na magnetické pásce, který je zpracován v laboratorních podmínkách na počítači NOVA 820. Při reprodukci z magnetofonu je možné používat buď přímý digitální vstup přes zvláštní interface počítače, nebo analogový výstup demodulátoru a zpracovávat měřené veličiny přes analogočíslicový převodník počítače (obdobně jako z klasického magnetofonu s FM). Další údaje o vlastnostech použitého zařízení uvádějí G l o c k m a n n (1976) a T e s a ř (1982).

Telemetrické měření 24 veličin současně (včetně značky k ovládání vyhodnocování) se ukázalo jako velmi operativní a vhodné k postižení skutečných pracovních režimů stroje MT 6-011 pro mechanizaci pícní-nářských prací na svazích, který při měření pracoval na extrémních svazích až 34° bez jakýchkoliv omezení měřicí aparaturou.

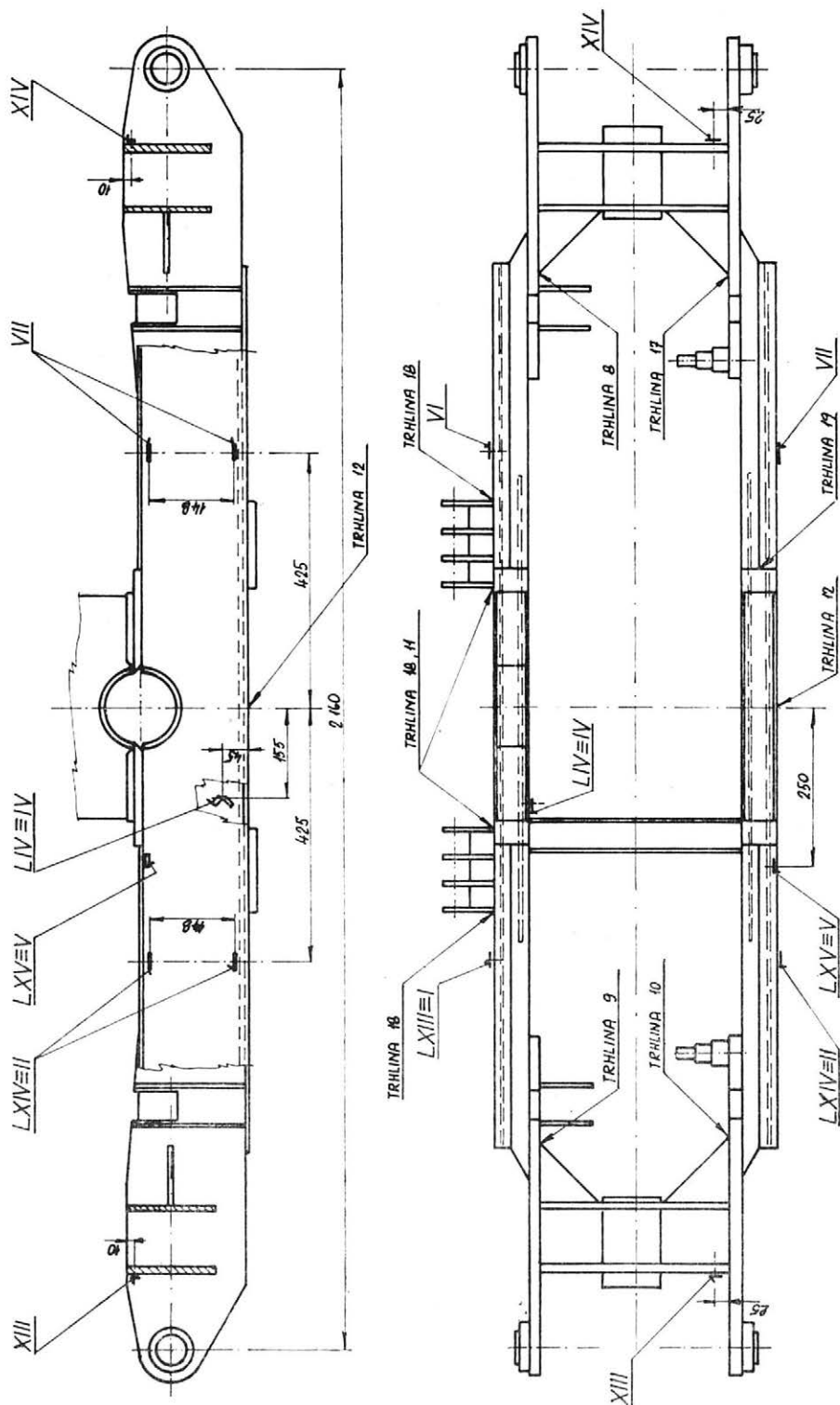
ZRYCHLENÁ ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI PŘEDNÍ NÁPRAVY STROJE MT 6-011

PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍHO PROGRAMU

Pro přípravu a řízení zkoušky bylo využito výsledků měření na stroji MT 6-011, provedených v září a říjnu roku 1979 v 26 různých pro-



3. Označení měřených míst při měření v provozu (LIV , LVI , $LXIII$, $LXIV$, LXV) a měřených míst (I až VII) a trhlin na zkušebním kusu č. 1 — Sites measured during operation (LIV , LVI , $LXIII$, $LXIV$, LXV) and sites (I to VII) and cracks found on axle beam no. 1



4. Označení měřených míst (LIV, LXIII, LXIV, LXV z provozu a I až VII, XIII a XIV ze zkoušky) a trhlín na zkušebních ku-sech č. 2 a č. 3 — Sites (LIV, LXIII, LXIV, LXV from working conditions and I to VII, XIII and XIV from test), and cracks found on axle beam no. 2 and no. 3

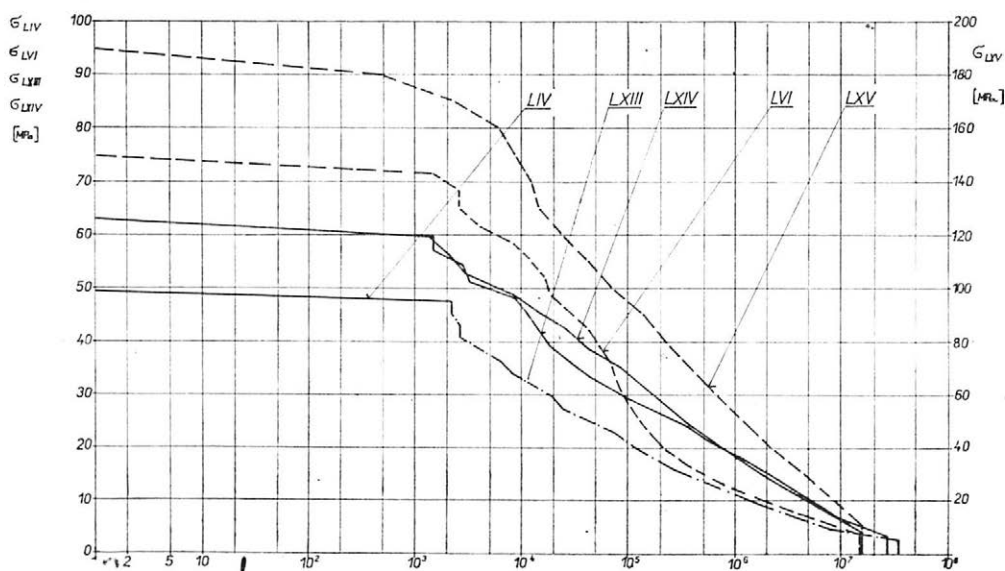
vozních podmínkách. Při měření bylo použito telemetrické soupravy s pulsně kódovou modulací (PCM) firmy Johne a Reilhofer. Namáhání bylo měřeno elektrickými odporovými tenzometry, síly v táhle paralelogramu prstencovým dynamometrem, kterým byl nahrazen seřizovací šroub. Síla v tyči řízení byla měřena dvojicí tenzometrů nalepených v nejvíce vyoseném průřezu. Jejich výstup byl ocejchován přímo na velikost zátěžné síly. Měřená místa na nápravnici jsou zakreslena na obr. 3 a 4. Výstup z měřených míst byl připojen k vysílací části telemetrické soupravy.

Statistickým vyhodnocením metodou úplných cyklů na lince NOVA pro zpracování výsledků měření byla získána dílčí spektra pro jednotlivé transportní a pracovní režimy. Na základě procentuálního zastoupení těchto režimů na celkové požadované životnosti (4000 provozních hodin) byla z rozkmitů sestavena souhrnná spektra amplitud provozních namáhání. Podrobnější údaje o vyhodnocení uvádí Bláha (1982). Příklad souhrnného spektra je na obr. 5.

Souhrnná spektra namáhání v místech LXIII a LXIV, charakterizující namáhání ohybem ve svislé rovině, a v místě LVI, charakterizující krut vyvozený tečnou reakcí na kola, byla použita jako podklad pro sestavení programu zkoušky. Souhrnná spektra v ostatních měřených místech byla použita pro porovnání namáhání při zkoušce vůči namáhání v provozních podmínkách.

Jak již bylo uvedeno, nelze prostou reprodukcí režimů měřených v provozních podmínkách zkoušku zrychlit. Proto byly pro zkoušku vybrány režimy s nejvyšším poškozujícím účinkem, vypočteným na základě Palmgren-Minerovy hypotézy lineární kumulace dílčích únavových poškození (při uvažování kmitů pod mezí únavy).

Aby byl respektován odlišný charakter zátěžného procesu a korelace mezi ohybem a krutem při různých pracovních a transportních



5. Souhrnná spektra provozních namáhání v měřených místech na nápravnici (pro životnost 4000 hodin) — Summarized spectra of working stress at measured sites on axle beam (for the life of 4000 hours)

režimech, byly pro přípravu zkoušky vybrány záznamy z měření v typických podmínkách využití stroje MT 6-011:

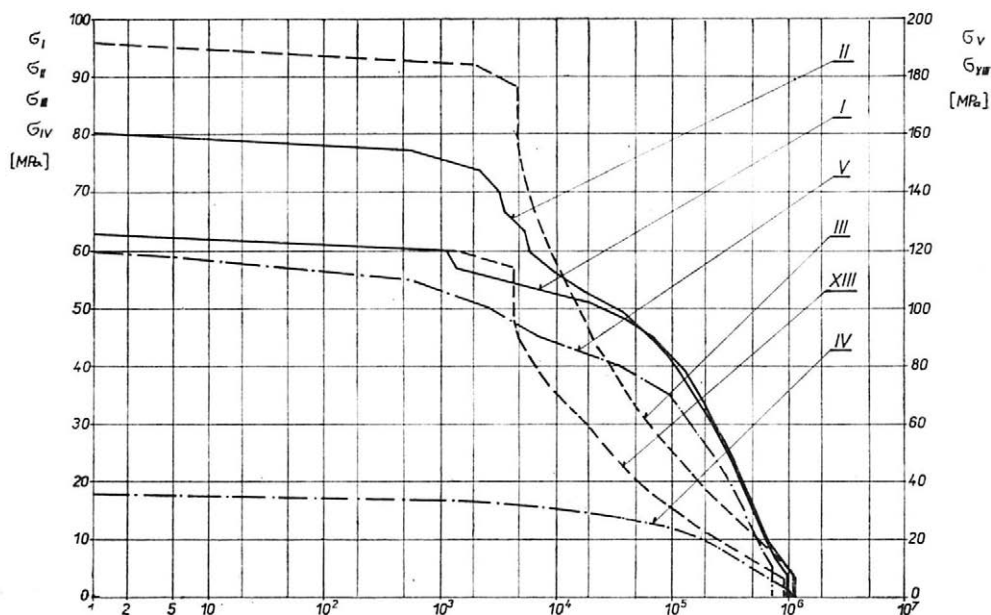
obnova louky cepovým adaptérem za velmi těžkých podmínek,
transport po špatné příjezdové cestě,
transport po střední příjezdové cestě,
sečení louky za velmi těžkých podmínek.

Při použití programu zkoušky sestaveného z těchto režimů lze snížit časovou náročnost zkoušky jednoho kusu zhruba na polovinu životnosti v provozu, tj. na 2000 hodin. Pro další zkrácení cca na 300 hodin bylo zvoleno vynásobení všech amplitud koeficientem 1,6. Aby však nedocházelo k eventuálnímu překročení meze kluzu (a tím ke změně mechanismu poškozování), byly maximální i minimální hodnoty zatěžovacího procesu omezeny na špičkové hodnoty, zjištěné při měření v provozních podmínkách.

Dalším krokem při přípravě zkušebního programu bylo porovnání poškozujícího účinku vybraných a upravených režimů s poškozujícím účinkem souhrnného spektra provozních namáhání. Za tím účelem byly magnetofonové záznamy vybraných měření použity jako řídicí signál pro zatěžování ověřovacího vzorku nápravy. Výstupní signál z PCM magnetofonu 4SA6 byl pomocí diferenciálního analyzátoru MEDA upraven na řídicí signál $\approx 1,5$ V, přivedený na externí vstup elektronické aparatury EDYZ. Potenciometry analyzátoru MEDA byly nastaveny tak, aby cejchovní výchylce magnetofonového záznamu odpovídala taková hodnota řídicího signálu, která vyvolá v odpovídajícím měřeném místě na nápravnici mechanické napětí rovné cejchovní hodnotě vynásobené zesilujícím koeficientem 1,6. Diferenciální analyzátor MEDA byl dále využit pro vytvoření průměru ze signálu měřeného místa LXIII (svislý ohyb předního nosníku nápravnice) a místa LXIV (svislý ohyb zadního nosníku nápravnice). Touto průměrnou hodnotou byla řízena síla svislých servoválců, které zatěžují nápravu ohybem ve svislé rovině. Signál z měřeného místa LVI (krut příčníku) byl využit k řízení síly vodorovných servoválců, které zatěžovaly nápravu ohybem ve vodorovné rovině a krutem vyvozovaným na rameni o velikosti statického poloměru kol. Maximální i minimální hodnoty řídicí veličiny byly analyzátozem MEDA limitovány tak, že signál vyšší než nastavené hodnoty byl odřezáván. Mezi analyzátozem MEDA a aparaturu EDYZ byl zařazen vícekanálový dolnoproustný filtr firmy BB Elektronik, který omezoval nejvyšší frekvence na 10 Hz.

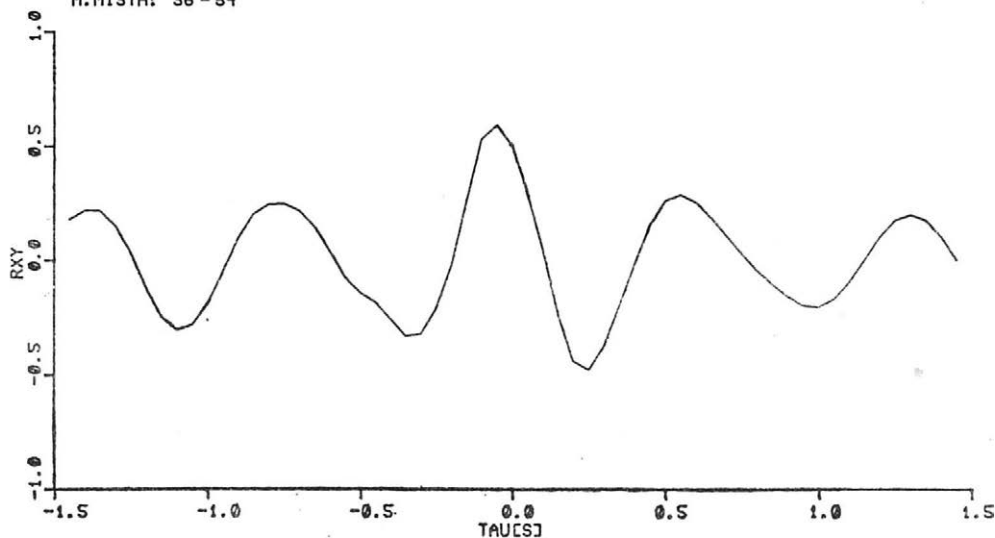
Na ověřovacím vzorku byly nalepeny tenzometry v místech odpovídajících místům měřeným při telemetrických měřeních v provozních podmínkách. Signály z těchto tenzometrů, zesílené odporovými můstky EMS 004, se zaznamenávaly na měřicí magnetofon CPR 4010 s frekvenční modulací (FM). Záznamy byly statisticky vyhodnoceny a spektra ze zkoušky (obr. 6) byla porovnána s odpovídajícími spektry provozními.

Porovnáním poškozujících účinků bylo potvrzeno očekávané zkrácení doby zkoušky na 300 hodin proti 4000 hodinám životnosti požadované v provozu. Ze záznamů namáhání nápravy při zkoušce byly dále vyhodnoceny a graficky znázorněny vzájemné korelační funkce ohybu ve svislé rovině, který je dán průměrem z měřeného místa I na předním

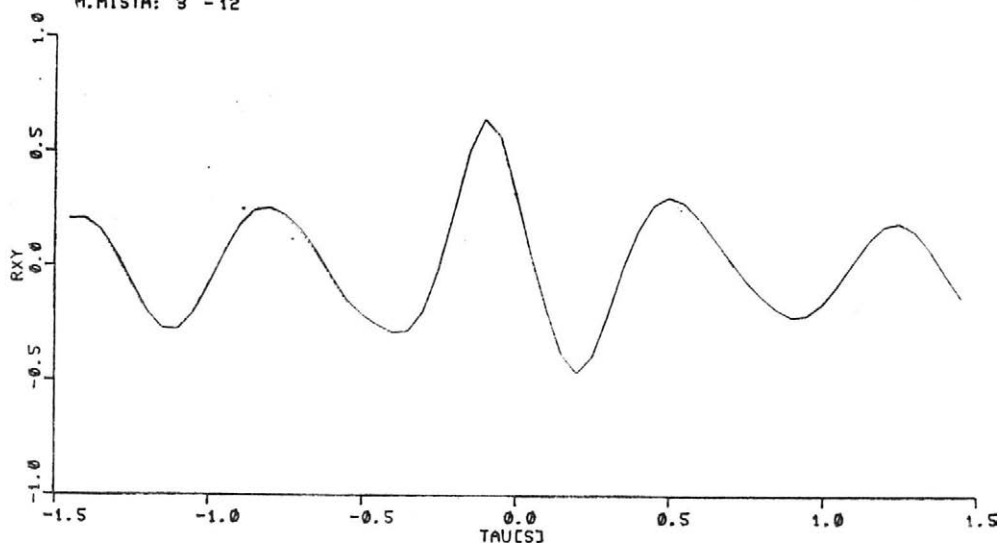


6. Souhrnná spektra při zkoušce v měřených místech na nápravnici (pro 300 hodin zkoušky) — Summarized spectra at test at measured sites on axle beam (for 300 hours of test)

NAZEV: MT6-011
 PROVOZ - TELOMETRIE
 C. USEKU: 49.01
 M. MISTA: 56-84



7. Vzájemná korelační funkce mezi svislým a vodorovným zatížením, zjištěná z měření č. 43.1 v provozních podmínkách — Mutual correlation function between vertical and horizontal load found from measurement in section 43.1 during operation



8. Vzájemná korelační funkce mezi svislým a vodorovným zatížením, zjištěná z kontrolního měření úseku 43.1 při zkoušce — Mutual correlation function between vertical and horizontal load found from control measurement in section 43.1 during the test

a měřeného místa II na zadním nosníku (označení XII) a krutu (měřené místo III na příčníku). Korelační funkce ze zkoušky byly porovnány s odpovídajícími korelačními funkcemi z měření v provozních podmínkách; ohyb ve svislé rovině byl dán průměrem z měřených míst LXIII a LXIV (označení XXXIV) a krut byl reprezentován měřeným místem LVI. Porovnáním vzájemných korelačních funkcí byla zjištěna jejich dostatečná shoda, zajišťující stejné podmínky zatěžování při zkoušce jako v provozu (obr. 7 a 8).

Po provedených kontrolách byly vybrané pracovní a transportní režimy sestaveny zhruba do hodinové programové jednotky (3993 s dlouhé), v níž byly zastoupeny ve stejném poměru jako v souhrnném spektru provozních namáhání. Signály z použitých záznamů byly upraveny diferenciálním analyzátozem MEDA a dolnoproputným filtrem firmy BB Elektronik. Uvedené signály pro řízení svislých i vodorovných sil byly ve formě programové jednotky zaznamenány na první stopu magnetofonového pásu PCM magnetofonem 4SA6. Dále byl zaznamenán značkový signál 1,5 V, který sloužil k připojení řídicích signálů k elektronické aparatuře EDYZ. V místě přechodu mezi jednotlivými úseky programové jednotky byl značkový signál přerušen, aby náprava nebyla zatěžována náhodným elektrickým šumem.

Takto připravená programová jednotka byla opakovaně nahrána na celý pásek magnetofonu CPR 4010 formy Bell a Howell, čímž byl vytvořen blok 11 programových jednotek, který se v průběhu zkoušky periodicky (samočinně) opakoal. Pro reprodukci řídicího signálu byla zvolena nejnižší rychlost magnetofonu, tj. $15/16'' \text{ s}^{-1}$.

Ke zkouškám byly použity nápravy — včetně mechanismů naklápění kol a rozvodovky. Koncové převody a kola byly demontovány a nahrazeny speciálními zatěžovacími přípravky pro zavádění zátěžných účinků do nápravy. Hlavními komponentami nosné části nápravy jsou nápravnice, konzola nápravnice, táhla paralelogramu, prstence naklápění kol a čepy kol. Pro upnutí nápravy při zkoušce bylo použito přední části (konzoly) rámu stroje MT 6-011 a lůžka, které slouží k uložení rozvodovky. Na skříni rozvodovky je náprava uchycena svěrným spojením.

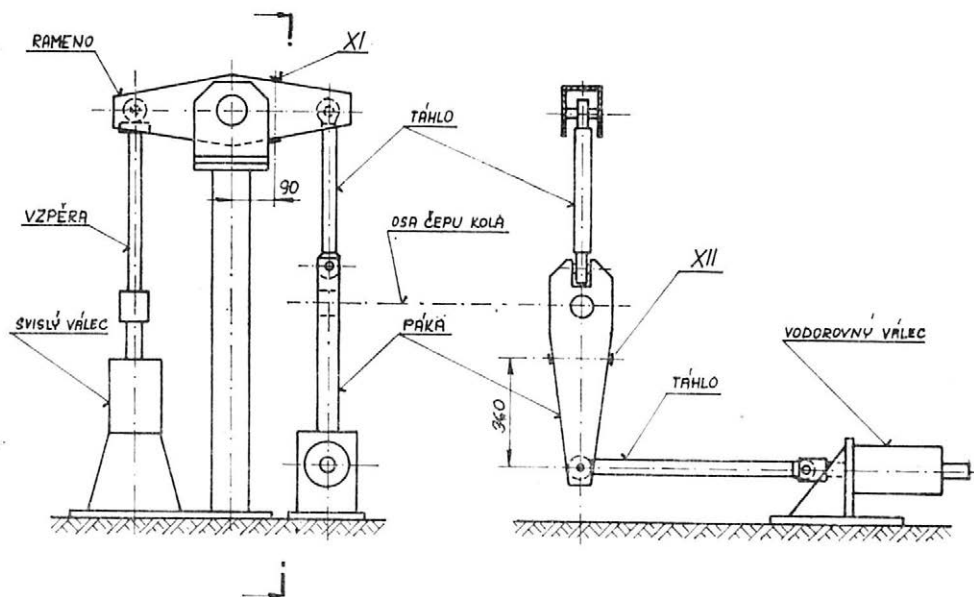
Agrozet Pelhřimov dodal tři nápravnice včetně konzoly a jednu dvojici prstenců naklápění kol. Ostatní díly (včetně táhel paralelogramu) byly převzaty z dřívějších zkoušek náprav. Jejich podrobný popis uvádí Bláha (1980).

Zkušební kus č. 1 odpovídal nápravnicí prototypu z r. 1979, tj. měl příčníky z uzavřeného profilu (obr. 3). Odlišné však bylo provedení výztuh. Na jedné straně bylo původní provedení výztuh z hraněného profilu, na druhé straně byly použity trojúhelníkové výztuhy z plechu. Zkušební kusy č. 2 a č. 3 měly stejné provedení. Jejich příčníky byly tvořeny dvěma svislými deskami o rozdílné tloušťce (obr. 4), spojujícími přední a zadní nosník nápravnice. Při zkoušce byla náprava včetně rozvodovky uchycena na odpruženou upínací desku v poloze otočené o 180° kolem podélné osy proti poloze na stroji a byla zatěžována na každém konci svislou i vodorovnou silou. Svislé síly byly vyvozovány dvěma hydraulickými servoválci SYVAD 80-100, které působily na nápravu přes ramena s převodem 1:1 (obr. 9). Vodorovné síly, realizované hydraulickými servoválci SYVAD 63-100, zatěžovaly nápravu pomocí pák, jejichž délka odpovídala statickému poloměru kola. Celková sestava při zkoušce je patrná z obr. 10. Schéma zatěžovacího zařízení, včetně měřených míst pro kontrolu zátěžných sil, je na obr. 9.

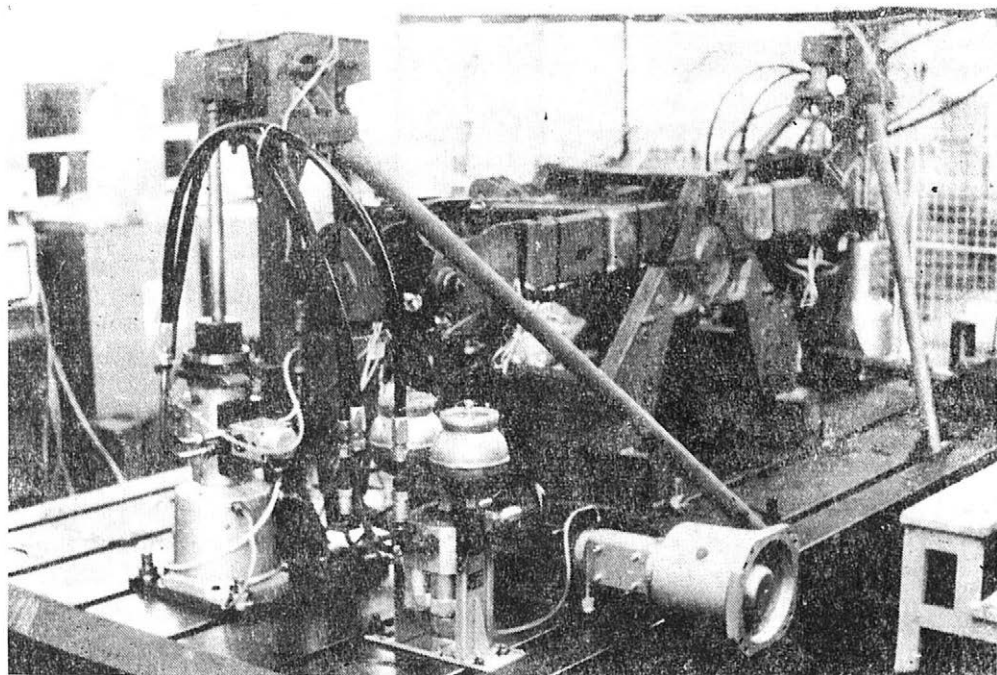
Jako řídicí signál sloužil výstup z magnetofonu CPR 4010 firmy Bell a Howell, který reprodukoval blok 11 programových jednotek. Magnetofon CPR 4010 je vybaven funkcí „shuttle control“, která zajišťuje automatické vrácení pásky rychloposuvem na začátek programu po absolvování poslední programové jednotky. Výstup z magnetofonu byl přiveden na externí vstup aparatury EDYZ přes diferenciální analyzátor MEDA. Analyzátor zajišťoval připojení a odpojení řídicí veličiny v závislosti na značkovém signálu. Aby nedocházelo k připojení řídicí veličiny v případě náhodného elektrického signálu o vysoké frekvenci, byl značkový signál filtrován analogovým filtrem.

Zpětnovazební signál pro řízení průběhu zatěžování byl odebírán z odporových tenzometrů C 600, nalepených na jednom z obou ramen a na obou pákách a připojených k elektronické řídicí aparatuře EDYZ namísto siloměrů. Statickým cejchováním byla ověřena dostatečná přesnost a linearita zpětnovazebních snímačů.

Svislá síla byla řízena pouze u jednoho svislého válce, druhý válec zachycoval reakci. Aby se náprava nenatáčela kolem příčné osy, byl druhý válec řízen polohově tak, aby se oba válce pohybovaly synchronně. Vodorovná síla byla rovněž řízena jen u jednoho válce, ale oba válce byly hydraulicky propojeny, aby působící síla byla stejná na obou stranách nápravy.



9. Schéma současného zatěžování nápravy svislými i vodorovnými silami při zkoušce — Diagram of the simultaneous exposure of axle to vertical and horizontal loads during the test



10. Celkové uspořádání zkušebního kusu a zkušebního zařízení při zkoušce — Arrangement of the tested axle and testing equipment during the test

Součástí zkušebního zařízení byly jistící a vypínací prvky, které umožňovaly třísměnný provoz zkoušek bez přítomnosti obsluhy. V případě jakékoli poruchy byla zkouška automaticky zastavena. Při zapojení aparatury EDYZ na provoz bez obsluhy vedlo zastavení zkoušky k zastavení chodu hydraulických agregátů a k odpojení všech přístrojů od zdroje elektrického napětí.

Vzhledem k malému počtu vzorků bylo rozhodnuto zvýšit dobu zkoušky jednoho zkušebního kusu na 600 hodin, tzn. na dvojnásobek doby odpovídající požadované životnosti. Toto zvýšení doby zkoušky odpovídá hodnotě součinitele bezpečnosti vůči mezi únavy (tj. poměru meze únavy a ekvivalentní amplitudy zátěžného provozního spektra) $s_u = 1,2$, což je hodnota ve strojírenství běžně požadovaná.

Aby mohlo být v průběhu zkoušky kontrolováno zatěžování náprav, byly na zkušební kusy nalepeny odporové tenzometry do stejných míst jako při měření v provozních podmínkách (obr. 3 a 4). Rovněž na ramenech a pákách sloužících pro přenos zátěžné síly ze servoválců na zkušební kusy byla instalována kontrolní měřená místa (XI a XII na obr. 9).

Před začátkem zkoušky bylo provedeno rozsáhlé cejchování při statickém zatížení. Byly zjišťovány závislosti mezi svislými a vodorovnými zátěžnými silami a mechanickým napětím ve všech měřených místech. Účelem tohoto cejchování bylo jednak získat podklady pro nastavení měřítka řídicího signálu, jednak kontrolovat vzájemné ovlivňování při řízení svislých a vodorovných sil. Cejchováním bylo zjištěno, že ovlivnění vodorovné síly svislou silou (v rozmezí nulového až maximálního zatížení) je menší než 1 % a ovlivnění svislé síly vodorovnou (v rozmezí maximálního tahového až maximálního tlakového zatížení) je menší než 2 %. Vzhledem k této skutečnosti nebylo nutné uvažovat o korekci řídicích signálů. V průběhu zkoušek bylo instalovaných měřených míst využito k pravidelným kontrolám zatížení, v průměru po 100 hodinách zkoušky. Při kontrolách byl výstup z tenzometrů zesílen zesilovači EMS 004 a zaznamenán na pásku PCM magnetofonu 4SA6. Z kontrolního záznamu o rozsahu jedné programové jednotky bylo na lince NOVA vyhodnoceno souhrnné spektrum namáhání v jednotlivých místech. Kontrolami byla potvrzena stabilita zatěžování v průběhu zkoušek.

VÝSLEDKY ZKOUŠEK A POSOUZENÍ ŽIVOTNOSTI NÁPRAVY V PROVOZNÍCH PODMÍNKÁCH

Veškeré poruchy, ke kterým došlo v průběhu zkoušek na všech zkušebních kusech, lze rozdělit do těchto základních skupin:

- a) trhliny na příčnicích nápravnice,
- b) trhliny na podélných nosnících,
- c) lomy na prstencích naklápění kol,
- d) trhliny na táhlech paralelogramu,
- e) opakované povolování a poškozování vodorovných čepů naklápění kol.

Podrobné údaje o vzniku, šíření a opravách vzniklých trhlin uvádí ve zprávě Bláh a (1982).

Z rozboru vzniklých trhlin vyplynuly tyto závěry:

a) Trhliny na výztuhách původního provedení příčníku (pravý příčník na zkušebním kusu č. 1 podle obr. 3) vznikaly zhruba v polovině požadované životnosti a vzhledem k rychlému šíření do profilu příčníku měly velmi nebezpečný charakter. Jsou pro životnost nápravy rozhodující. Trhliny na výztuhách u rekonstruovaného provedení (levý příčník na obr. 3) vznikaly sice přibližně ve stejné době, ale po rozšíření přes začátek svaru se prakticky zastavily, takže nepředstavují vážné nebezpečí pro únosnost nápravnice. U zkušebních kusů s nově navrhovaným provedením příčníků (zkušební kusy č. 2 a č. 3 podle obr. 4) vznikly u výztuh příčníku trhliny až po vyčerpání požadované životnosti. Rovněž tyto trhliny se šířily velmi pomalu, takže neomezují životnost nápravy. Z výsledků zkoušky tedy vyplývá, že nejvýhodnější je nově navrhované provedení příčníků.

b) U zkušebních kusů č. 2 a č. 3 byly zjištěny zhruba po 480 hodinách trhliny ve svarech mezi předním nosníkem a oky pro uchycení závěsu adaptéru. Poměr absolvované doby zkoušky k požadované době je 1,6, což při exponentu šikmé větve Wöhlerovy křivky $w = 4$ představuje bezpečnost vůči mezi únavy $s_u = 1,12$. Vzhledem k tomu, že tento výsledek byl stejný u obou kusů a vzhledem ke shodě zkušebních a provozních podmínek, lze tento součinitel považovat za dostatečný. Po 500 hodinách zkoušky zkušebního kusu č. 2 došlo k trhlíně uprostřed zadního nosníku (v tahové oblasti) a po 540 hodinách u zkušebního kusu č. 3 k trhlíně v místě připojení příruby pro konzolu. Pro tyto trhliny vycházejí součinitele bezpečnosti vůči mezi únavy 1,14 a 1,16. Tyto součinitele lze vzhledem ke způsobu zatěžování považovat za vyhovující. V druhém případě se trhlina navíc šíří pomalu, takže nepředstavuje vážné nebezpečí pro únosnost nápravnice.

c) V průběhu zkoušek všech tří zkušebních kusů docházelo k lomům na prstencích. Jejich životnost při zkoušce se pohybovala v rozmezí 265 až 560 hodin, což odpovídá životnosti 3500 až 4500 hodin v provozních podmínkách. Přitom prstence nebyly dodány nové, ale měly již absolvovanou různou nezjištěnou část životnosti.

d) Trhlina na levém táhle paralelogramu vznikla po absolvování 100 hodin zkoušky zkušebního kusu č. 2. Protože táhla paralelogramu absolvovala již zkoušku zkušebního kusu č. 1, je jejich minimální životnost 700 hodin zkoušky, tj. 9300 hodin provozu. Hodnota je označována jako minimální, protože táhla paralelogramu byla převzata po dřívějších zkouškách. Po opravě absolvovalo levé táhlo dalších 1000 hodin zkoušky bez poruchy.

e) Při zkoušce všech tří zkušebních kusů se uvolňovaly vodorovné čepy naklápění kol. Způsob axiálního zajištění byl nevyhovující a nemohl zabránit pootočení čepů, které mělo za následek utržení pojistných šroubů. Proto byl čep při zkoušce zajištěn radiálně plechovou podložkou, která byla dvěma šrouby (použitými dříve pro axiální zajištění) přichycena na čep a ohnuta kolem hrany prstence tak, aby bylo znemožněno pootočení čepu. Jak bylo zjištěno při kontrolních měřeních, má stav čepů značný vliv na namáhání příčníků, a tím i na životnost nápravnice. Z toho důvodu byla výrobcí doporučena změna způsobu zajištění.

Při posuzování životnosti přední nápravy v provozních podmínkách jsme dospěli k těmto závěrům:

Životnost nápravy je dána životností nápravnice. Pro životnost nápravnice v provedení použitým u prototypu (tj. s příčnický z uzavřeného profilu) je rozhodující vznik a šíření rhlín na příčnicku. Z hlediska únavové životnosti je podstatně výhodnější rekonstruované provedení příčnicku (tj. s trojúhelníkovými výztuhami) než provedení původní (tj. s výztuhami z hraněného profilu). Změnou výztuh lze zvýšit životnost z $1900 \div 3800$ hodin průměrně na 6000 hodin, tj. $1,6 \div 3,2$ krát.

Životnost nově navrhovaného provedení (tj. s příčnický ze svislých desek) je omezena vznikem a šířením trhlin na předním nosníku v místě přivaření ok pro připojení závěsu adaptéru. Na základě zkoušek lze předpokládat průměrnou životnost 6300 hodin v provozu.

Ze srovnání vyplývá, že nejvyšší životnost vykazuje nově navrhované provedení nápravnice. Vzhledem ke shodě výsledků u obou zkušebních kusů lze tento závěr akceptovat přes nedostatečný počet vzorků, který vylučuje statistické zpracování.

Pro porovnání zatížení v provozu a při zkoušce ve všech měřených místech na nápravě byly vypočteny podíly z požadované životnosti, ověřené zkouškou. V místech, která byla použita pro řízení zkoušky (svislý ohyb nosníků a krut příčnicků), bylo dosaženo více než dvojnásobku požadované životnosti. Zatěžování táhel paralelogramu bylo sice při zkoušce nižší než v provozu (jízda na svahu, boční reakce na kola), ale protože byla pro zkoušku všech tří zkušebních kusů k dispozici pouze jedna dvojice táhel, byla jejich životnost ověřena na více než 110 %. Navíc byla táhla již použita při předchozích zkouškách, takže jejich celková životnost je ještě vyšší.

Protože při zkoušce nebyla náprava zatěžována dynamickými silami od hmotnosti adaptéru, byla vyčerpána jen malá část životnosti v měřených místech V (v provozu označeno LXV) a IV (v provozu LIV). Pro místo V byla ověřena požadovaná životnost při dřívějších zkouškách (Bláha, 1980). V místě IV (krut předního nosníku) nebyla sice životnost dostatečně ověřena, ale vzhledem k poměrně malým hodnotám (vypočtem ze souhrnného spektra provozního namáhání $\sigma_{ekv} = 15,7$ MPa) neovlivňuje napětí v tomto místě podstatně životnost nápravnice.

ZÁVĚR

Stále se zvyšující nároky na životnost a provozní spolehlivost zemědělských strojů vyžadují, aby byly do laboratorních únavových zkoušek zaváděny nové metody. Metoda simulace vícesložkového provozního zatížení, která byla vypracována ve VÚZS, představuje proti metodám dosud používaným vyšší stupeň přiblížení ke skutečným provozním podmínkám. To umožňuje zpřesnit odhad životnosti v provozu na základě výsledků zrychlených zkoušek.

Metoda byla použita pro zrychlenou zkoušku životnosti přední nápravy stroje MT 6-011. Zkušební program byl aplikován na tři zkušební kusy, lišící se konstrukčním provedením. Účelem zkoušky bylo jednak ověřit požadovanou životnost, jednak zjistit kritická místa konstrukce. Z rozboru výsledků vyplynula pro výrobce doporučení směřující ke zvýšení životnosti nápravy.

Uvedená metoda simulace je vhodná zejména pro zrychlené zkoušky složitějších součástí a celků, které jsou zatěžovány několika silovými účinky, jejichž vzájemnou korelaci je nutné dodržet.

Literatura

- BENDAT, J. S. — PIERSOL, A. G.: Random data: Analysis and measurement procedures. New York, John Wiley and Sons, Inc, 1971.
- BLÁHA, J.: Zkoušky meze únavy přední nápravy, táhla řízení a kloubových hřídelů pro pohon adaptérů stroje MT 6-011 a porovnání výsledků zkoušek s namáháním v provozních podmínkách. [Závěrečná zpráva.] Praha-Chodov, Výzk. ústav zeměd. strojů 1980.
- BLÁHA, J.: Zrychlená zkouška životnosti přední nápravy stroje MT 6-011, řízená magnetofonovým záznamem provozních namáhání. [Závěrečná zpráva.] Praha-Chodov, Výzk. ústav zeměd. strojů 1982.
- FREUDENTHAL, A.: A random fatigue testing and procedure. Proc. ASTM, 53, 1953.
- GLOCKMANN, H. P.: Aufzeichnung und Übertragung von analogen Messdaten in PCM-Technik. Techn. Messen, ATM, 9, 1976.
- PROCHÁZKA, J.: Spektra provozních zatížení částí zemědělských strojů. Zeměd. Techn., 19, 1973, č. 11, s. 657-669.
- PROCHÁZKA, J.: Sestavování spekter namáhání zemědělských strojů z rozdělení četností rozkmitů a středů rozkmitů. Zeměd. Techn., 26, 1980, č. 11, s. 687-698.
- SOUČEK, Z.: Měřicí technika pro výzkum a vývoj zemědělských strojů. Zeměd. Techn., 24, 1978, č. 10, s. 617-625.
- TESAŘ, A.: Úprava, vř. přenos a záznam analogových signálů. In: Sbor. prací z 9. konference o elektronické měřicí technice ČSVTS, Brno 1982.

Došlo dne 6. 7. 1983

СОУЧЕК, З. — БЛАГА, Й. (Агрозет, концерновый научно-исследовательский институт сельхозмашин, Прага - Ходов): Новые методы имитирования эксплуатационных нагрузок при испытании долговечности оси машины для работы на склонах MT 6-011. Земед. Techn., 30, 1984 (1) : 1-20.

Важным этапом в разработке новых сельскохозяйственных машин являются ускоренные испытания усталостной долговечности. Достоверность результатов испытания сильно зависит от того, насколько опытная установка приближается к фактическим эксплуатационным условиям. Одной из возможностей имитирования эксплуатационной нагрузки является применение приспособленных магнитных записей измерений в эксплуатационных условиях как управляющего сигнала для электрогидравлической опытной установки. Записи необходимо приспособить в целях ускорения испытания. В НИИСХМ была разработана методика имитации многокомпонентной эксплуатационной нагрузки с сохранением взаимной корреляции между отдельными компонентами. Методику использовали при испытании передней оси машины для механизации уборки трав на склонах MT 6-011. Экспериментальные данные для подготовки и оценки испытания были получены путем измерений в эксплуатационных условиях при помощи телеметрического агрегата.

усталость материала; лабораторные испытания долговечности; программа испытания; имитирование эксплуатационной нагрузки

SOUČEK, Z. — BLÁHA, J. (Agrozet, Research Institute of Farm Machines, Praha-Chodov): New Approaches to the Simulation of Working Load on an Axle of the MT 6-011 Hillside Forage Harvester Exposed to Life Test. Zeměd. Techn., 30, 1984 (1) : 1-20.

Accelerated tests of fatigue life constitute an important stage in the development of new farm machines. The reliability of test results depends, to a considerable extent, on how close the test conditions are to the actual working conditions. One

of the possibilities of simulating working load is to use adjusted tape records of measurement under working conditions as the control signals for the electro-hydraulic testing set. The records should be adjusted to accelerate the test. In the Research Institute of Farm Machines a method was worked out of the simulation of multi-component working load maintaining the mutual correlation between the components. The method was applied to tests on the front axle of the MT 6-011 hillside forage harvester. The experimental data for the preparation and evaluation of the test were obtained from measurement under working conditions using a telemetric apparatus.

material fatigue; laboratory tests of machine life; test programme; simulation of working load

Adresa autorů:

Ing. Zbyněk Souček, CSc., ing. Josef Bláha, Agrozet, koncernový výzkumný ústav zemědělských strojů, 149 00 Praha - Chodov

VÝPOČET SIL V TŘÍBODOVÉM ZÁVĚSU TRAKTORU AGREGOVANÉHO S NESENÝM PLUHEM PŘI KVAZISTATICKÉ ROVNOVÁZE VYUŽITÍM MATICOVÝCH ZÁPISŮ

F. Bauer, A. Loprais

BAUER, F. — LOPRAIS, A. (Vysoká škola zemědělská, Brno): *Výpočet sil v tříbodovém závěsu traktoru agregovaného s neseným pluhem při kvazistatické rovnováze využitím maticových zápisů*. Zeměd. Techn., 30, 1984 (1): 21–24.

V článku je popsána praktická aplikace využití automatizace tvorby rovnic kvazistatické rovnováhy konkrétního prostorového mechanismu zemědělské praxe — tříbodového závěsu traktoru, agregovaného se staticky zatěžovaným neseným pluhem. Na konkrétním příkladu je ukázáno, jak je tvorba rovnic kvazistatické rovnováhy značně zautomatizována a zproduktivněna, čímž se podstatně snižuje možnost vzniku chyb.

maticový počet; bivektor úhrnného silového účinku; nutná podmínka statické určitosti soustav těles; použitelnost statických podmínek; uvolnění tělesa

Nejzávažnější problémy u neseného nářadí vznikají při použití silové regulace v souvislosti se správnou volbou vstupního — impulsního táhla regulační hydrauliky traktorů. Impulsní táhlo, reagující na změnu celkového odporu nářadí, zůstává nadále základním regulačním členem, ať už se jedná o mechanické systémy regulace, které se v současnosti ve světě u traktorů nejvíce používají, nebo o moderní systémy elektrohydraulické regulace, např. systém firmy Bosch.

Při orbě reaguje silová regulace na změnu celkového odporu nářadí tím, že ji impulsní táhlo (u traktorů nižších výkonových tříd je to zpravidla horní táhlo a u traktorů s vyššími výkonnostmi to bývají dolní táhla) tříbodového závěsu traktoru přenáší do automatického systému regulace, jehož úkolem je regulovat zatížení motoru na konstantní hodnotu. Proto, abychom mohli správně posoudit, které táhlo je z hlediska vstupního impulsu nejvhodnější, je důležité znát silové poměry v tříbodovém závěsu traktoru.

Z terénních měření prováděných ve spolupráci s VÚTr při n. p. Agrozet vyplývá, že frekvence pohybu pluhu ve vertikální rovině jsou z hlediska dynamického posuzování orebního agregátu relativně malé (Bauer, 1982). Při malém pohybu mechanismu (tj. při malých změnách v pohybu těles — pluhu) jsou setrvačné účinky na těleso malé a bývá možnost je zanedbat; takové řešení se nazývá kvazistatické. Proto v tomto článku prozatím nebereme v úvahu setrvačné účinky.

U tříbodového závěsu traktoru (tj. prostorového mechanismu) bývá tradiční vytváření rovnic pro úplné kinetostatické nebo kvazistatické řešení pracné a při sestavování momentových statických podmínek se velmi často stává zdrojem chyb. Tvorba těchto rovnic může být značně zautomatizována tím, že příslušné podmínky rovnováhy budou vyjádřeny pomocí maticových zápisů. Uvedeným způsobem se podstatně sníží možnost vzniku chyb a tvorba rovnic se značně zproduktivní (Loprais, 1983; Loprais a Mišun, 1983).

Poněvadž, jak již bylo vysvětleno, zanedbáváme setrvačné účinky tělesa, je rovnice kvazistatické rovnováhy tělesa, tj. všech akčních a reakčních účinků

$$\sum_{i=1}^m S_{iT^A} + \sum_{j=1}^n S_{jT^R} = 0 \quad (1)$$

kde: S — je bivektor úhrnného silového účinku v příslušném působišti
 0 — je nulový bivektor

Rovnice (1) pro uvolněné těleso 2 (obr. 1) nabývá tvaru:

$$\begin{bmatrix} E & 0 \\ R & E \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{Rx} \\ -G - F_{Ry} \\ F_{Rz} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} E & 0 \\ R & E \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{Jx} \\ F_{Jy} \\ F_{Jz} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} E & 0 \\ R & E \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{Kx} \\ F_{Ky} \\ F_{Kz} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} +$$

$$+ \begin{bmatrix} E & 0 \\ R & E \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_h \cdot \cos \alpha_h \\ F_h \cdot \cos \beta_h \\ F_h \cdot \cos \gamma_h \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

kde: E — jednotková matice třetího řádu
 0 — nulová matice třetího řádu
 R — matice průvodiče působíště bivektoru silového účinku

Podobně můžeme uvolňovat ostatní tělesa mechanismu tříbodového závěsu traktoru a psát rovnice kvazistatické rovnováhy při použití maticových zápisů.

Poněvadž u tělesa 6 a 7 (obr. 1) protínají nositelky všech sil spojnice středů okrajových sférických kinematických dvojic, je jedna z momentových rovnic rovnováhy triviální ve smyslu lineární závislosti na jiné momentové podmínce a je nepoužitelná.

Vynásobením matic kvazistatické rovnováhy dostáváme šestnáct lineárně na sobě nezávislých rovnic se šestnácti neznámými. Tato soustava tedy splňuje podmínku statické určitosti. Poněvadž matice soustavy není singulární, je soustava rovnic řešitelná a úloha je staticky určitá.

$$\underline{F_{Jx}} + \underline{F_{Kx}} + \underline{F_h} \cdot \cos \alpha_h = -F_{Rx} \quad (2)$$

$$\underline{F_{Jy}} + \underline{F_{Ky}} + \underline{F_h} \cdot \cos \beta_h = G + F_{Ry} \quad (3)$$

$$\underline{F_{Jz}} + \underline{F_{Kz}} + \underline{F_h} \cdot \cos \gamma_h + \underline{F_{Rz}} = 0 \quad (4)$$

$$F_{Jy} \cdot (-z) + F_{Ky} \cdot (-z) + F_h \cdot \cos \gamma_h \cdot y + F_{Rz} \cdot y = (G + F_{Ry}) \cdot (-z) \quad (5)$$

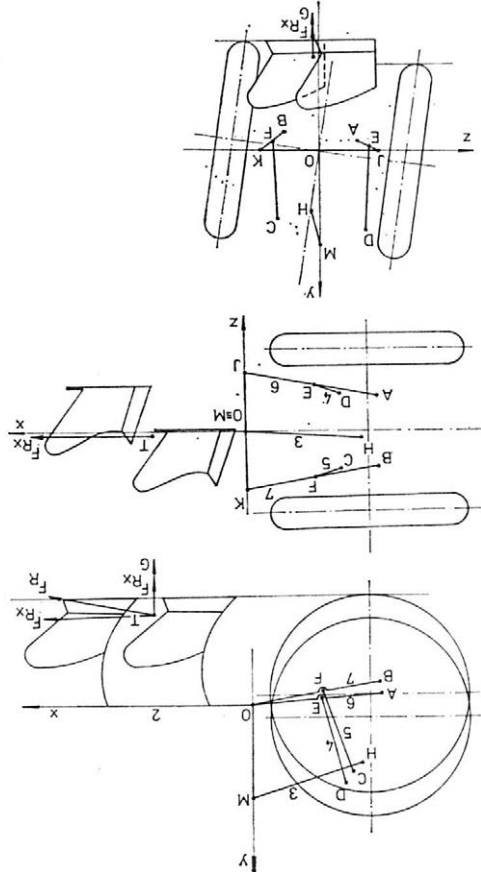
$$F_{Jx} \cdot z + F_{Kx} \cdot z + F_{Rz} \cdot (-x) = F_{Rx} \cdot z \quad (6)$$

$$F_h \cdot \cos \alpha_h \cdot (-y) = (G + F_{Ry}) \cdot x - F_{Rx} \cdot (-y) \quad (7)$$

$$-F_{Jx} + \underline{F_1} \cdot \cos \alpha_1 + \underline{F_{Ax}} = 0 \quad (8)$$

$$-F_{Jy} + \underline{F_1} \cdot \cos \beta_1 + \underline{F_{Ay}} = 0 \quad (9)$$

1. Schéma tříbodového závěsu traktoru agregovaného s neseným pluhem —
Diagram of the three-point hitch of a tractor aggregated with mounted plough



$$-F_{Jz} + F_1 \cdot \cos \gamma_1 + \underline{F_{Az}} = 0 \quad (10)$$

$$-F_{Jx} \cdot z + F_1 \cdot \cos \alpha_1 \cdot z + F_1 \cdot \cos \gamma_1 \cdot (-x) + F_{Ax} \cdot z + F_{Az} \cdot (-x) = 0 \quad (11)$$

$$F_1 \cdot \cos \alpha_1 \cdot (-y) + F_1 \cdot \cos \beta_1 \cdot x + F_{Ax} \cdot (-y) + F_{Ay} \cdot x = 0 \quad (12)$$

$$-F_{Kx} + \underline{F_p} \cdot \cos \alpha_p + \underline{F_{Bx}} = 0 \quad (13)$$

$$-F_{Ky} + \underline{F_p} \cdot \cos \beta_p + \underline{F_{By}} = 0 \quad (14)$$

$$-F_{Kz} + \underline{F_p} \cdot \cos \gamma_p + \underline{F_{Bz}} = 0 \quad (15)$$

$$-F_{Kx} \cdot z + \underline{F_p} \cdot \cos \alpha_p \cdot z + \underline{F_p} \cdot \cos \gamma_p \cdot (-x) + F_{Bx} \cdot z + F_{Bz} \cdot (-x) = 0 \quad (16)$$

$$\underline{F_p} \cdot \cos \alpha_p \cdot (-y) + \underline{F_p} \cdot \cos \beta_p \cdot x + F_{Bx} \cdot (-y) + F_{By} \cdot x = 0 \quad (17)$$

Podtržené síly tříbodového závěsu traktoru jsou v uvedených rovnicích neznámé, které počítáme.

ZÁVĚR

Na Vysoké škole zemědělské v Brně bylo provedeno experimentální měření sil v tříbodovém závěsu traktoru agregovaného s neseným pluhem, u kterého byl odpor na orební tělesa rovněž nahrazen měřenou zatěžovací silou F_R (obr. 1).

Porovnání vypočítaných hodnot sil matematicko-fyzikálního modelu tříbodového

závěsu traktoru se silami naměřenými ve skutečném zatěžovaném třibodovém závěsu bude ukázáno v příštím článku.

Seznam použitých symbolů

x, y, z	— souřadnice v jednotlivých osách	G	— tíha pluhu
α, β, γ	— směrové úhly	2	— těleso pluhu
h	— index pro označení horního táhla levého	3	— horní táhlo
1	— index pro označení levého zvedacího táhla	4	— levé zvedací táhlo
p	— index pro označení pravého zvedacího táhla	5	— pravé zvedací táhlo
F_R	— zatěžovací síla nahrazující odpor půdy	6	— dolní táhlo levé
T	— působíště celkového odporu	7	— dolní táhlo pravé

Literatura

BAUER, F.: Rozbor citlivosti třibodového závěsu traktoru. In: Sbor. VŠZ Brno, 18, 1982, č. 1-2, s. 51-60.

LOPRAIS, A.: Automatizace tvorby rovnic kinetostatické rovnováhy prostorových mechanismů využitím maticových zápisů. Zeměd. Techn., 29, 1983, č. 1, s. 47-52.

LOPRAIS, A. — MIŠUN, V.: Mechanika II. Ediční středisko VÚT, Brno 1983.

Došlo dne 30. 6. 1983

БАУЕР, Ф. — ЛОПРАИС, А. (Сельскохозяйственный институт, Брно): Вычисление усилия в трехточечном прицепе трактора, агрегатированного с навесным плугом при мнимостатическом равновесии с использованием матричных записей. Земед. Техн., 30, 1984 (1): 21-24.

V статье описано практическое применение автоматизации составления уравнений мнимостатического равновесия конкретного пространственного механизма сельскохозяйственной практики — трехточечного прицепа трактора, агрегатированного со статически загружаемым навесным плугом. На конкретном примере показано, как составление уравнений мнимостатического равновесия сильно автоматизировано и рационализировано, в результате чего существенно сокращается возможность возникновения ошибок.

матричное число; бивектор суммарного силового воздействия; неизбежное условие статической определенности систем тел; применимость статистических условий; освобождение тела

BAUER, F. — LOPRAIS, A. (University of Agriculture, Brno): The Use of Matrix Records for the Calculation of Forces in the Three-Point Hitch of Tractor Aggregated with a Mounted Plough at Quasi-Statical Equilibrium. Zeměd. Techn., 30, 1984 (1): 21-24.

The practical application of an electronic data processing of the equations of quasi-static equilibrium is described for an actual mechanism used in agricultural practice — the three-point hitch of a tractor aggregated with a statically loaded mounted plough. The high level of data processing and productivity of this process of formation of the equations of quasi-static equilibrium, reducing the possibilities of errors to the minimum, are demonstrated on this practical example.

matrix calculation; bivector of total force effect; necessary condition of the statical determination of the sets of objects; applicability of statical conditions; release of body

Adresa autorů:

Ing. František Bauer, CSc., ing. Antonín Loprais, CSc., Vysoká škola zemědělská, Zemědělská 1, 662 65 Brno

MOŽNOSTI ÚSPOR PALIVA PŘI SUŠENÍ PÍCE NA BUBNOVÝCH SUŠÁRNÁCH

V. Kučera

KUČERA, V. (Státní výzkumný ústav pro stavbu strojů, Praha - Běchovice): *Možnosti úspor paliva při sušení píce na bubnových sušárnách*. Zeměd. Techn., 30, 1984 (1): 25–33.

Práce se zabývá možnostmi snížení spotřeby tepla při sušení píce na bubnových sušárnách. Hodnotí přínos recirkulace sušicího média jak z hlediska spotřeby tepla, tak z hlediska zvýšení výkonu sušárny a možnosti sušit zavádou píci. Dále obsahuje návrh dvoustupňového sušení využívajícího odpadního tepla z bubnových sušáren a jeho ekonomické zhodnocení.

recirkulace; spalování; odpařivost; spotřeba tepla; rekuperace tepla; dvoustupňové sušení

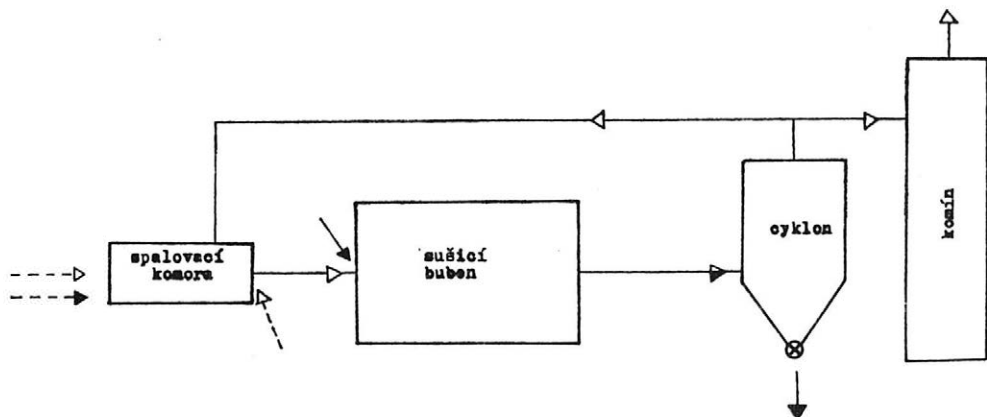
Současná palivoenergetická situace ve světě vyvolala různá racionalizační opatření nejenom v průmyslu, ale i v zemědělství. Jedním z největších spotřebičů energie v zemědělství jsou sušárny zelené píce. Zavedením výroby bubnových sušáren BS-6 a BS-18 (licence Promill) v k. p. Škoda — Ejovice (dříve RND Ejovice) došlo převážně k jednostrannému vybavení našeho zemědělství těmito sušárnami, které měly na svoji dobu — kdy byly zaváděny první jednotky do provozu — dobré technické parametry a spotřebu tepla na světové úrovni.

Po přehodnocení světových cen ušlechtilých paliv se však provoz těchto sušáren postupně stával neúnosný, a proto byly hledány možnosti, jak snížit spotřebu paliva na jednotku hmotnosti odpařené vody q_W , resp. na jednotku hmotnosti úsušku q_M . Hlavní směry vývoje úspor paliva u těchto sušáren jsou v podstatě dva:

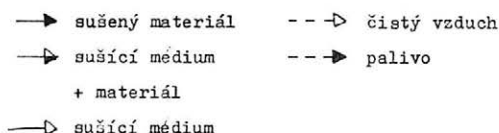
1. zavedení recirkulace sušicího média,
2. využití odpadního tepla ze sušárny.

ZHODNOCENÍ PŘÍNOSU ZAVEDENÍM RECIRKULACE U BUBNOVÝCH SUŠÁREN BS

Schéma bubnové sušárny s recirkulací je na obr. 1. Teoretický princip úspory tepla zavedením recirkulace spočívá v tom, že se sníží množství suchého sušicího média odváděného komínem, což vlastně znamená snížení komínové ztráty (Kučera, 1982). Množství suchého vzduchu odváděného komínem M_{LKS} je dáno množstvím suchých spalin M_{SPS} a množstvím suchého vzduchu přísávaného do sušárny z okolí M_{LOS} . Tento přísávaný vzduch můžeme nahradit recirkulovaným sušicím médiem M_{LR} . Spotřeba tedy bude nejmenší, jestliže hmotnostní průtok vzduchu přísávaného z okolí se bude blížit nule. Dolní mez recirkulačního poměru $M_{LR} : M_{LB}$ (poměr recirkulovaného média k celkovému množství sušicího média jdoucího bubnem) je dána potřebou snížit vstupní teplotu t_{LA} smíšením spalin s recirkulovaným médiem a teoretická horní mez je dána nasycením sušicího média. Dalším určujícím faktorem tohoto poměru je potřeba zachovat dopravní rychlost sušicího média v bubnu.



1. Blokové schéma sušárny BS s recirkulací — A block diagram of the BS drum drier with re-cycling

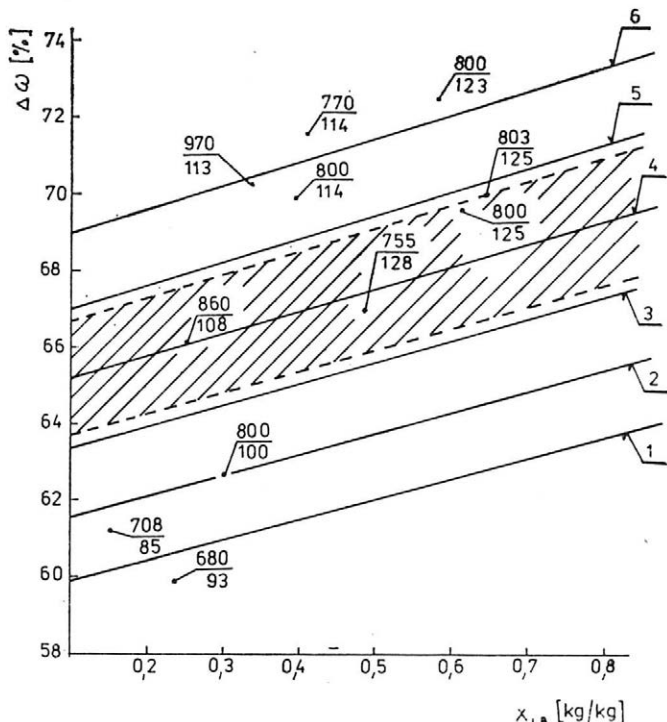


V praxi je však tento mechanismus složitější. Snížením M_{LKS} při zachování odpařivosti sušárny M_W zvyšujeme měrnou vlhkost v odcházejícím sušícím médiu x_{LK} . Protože $x_{LK} = x_{LR}$ (x_{LR} — měrná vlhkost recirkulovaného sušícího média) a recirkulovaným sušícím médiem M_{LRW} nahrazujeme M_{LOW} (množství vlhkého vzduchu přísávaného z okolí), zvyšuje se i měrná vlhkost sušícího média v místě podávání materiálu x_{LA} . Zvýšením měrné vlhkosti sušícího média v místě podávání materiálu do sušárny dojde při styku s chladným materiálem ke kondenzaci vlhkosti na materiálu, a tím se zvětší přestup tepla do materiálu při jeho současném orosení. To má za následek rychlé ohřátí materiálu na počátku sušícího procesu, aniž by došlo k uzavření povrchu. Tím se zvětší rychlost sušení a tedy i odpařivost sušárny M_W . Zvýšením x_{LA} se zvětší i entalpie sušícího média a poklesne jeho teplota, nezvýšíme-li výkon hořáku. Zvýšením výkonu hořáku změníme množství spalin i množství vody vzniklé hořením, tedy i x_{LA} , x_{LK} , M_W , M_{SPS} , M_{LKS} , a tím také spotřebu tepla q_W (Kučera, 1982).

Z těchto důvodů byly hledány vztahy mezi veličinami q_W , x_{LB} , t_{LA} , t_{LB} , M_W , $\Delta\omega$. Typy sušáren BS-6 a BS-18 jsou konstrukčně shodné a liší se pouze rozměry a výkonem. Protože pro sušárnu BS-6 byl k dispozici větší počet bilančních měření, byly pro ni stanoveny závislosti $\Delta\omega = f(t_{LA}, t_{LB}, x_{LB})$ — (obr. 2) a $M_W = f(t_{LA}, t_{LB}, x_{LB})$ — (obr. 3). Pomocí programu pro vícenásobnou lineární regresi byly na počítači Hewlett-Packard 41 C u naměřených údajů určeny funkční závislosti pro zvolené teploty $t_{LA} = 500$ až 1000°C a $t_{LB} = 110^\circ\text{C}$, které jsou na obr. 2 a 3 označeny čísly 1–6; šrafované je vyznačena oblast změny $\Delta\omega$, resp. M_W , příslušná $t_{LA} = 800^\circ\text{C}$ a změně t_{LB} o $\pm 10^\circ\text{C}$ (proti hodnotě $t_{LB} = 110^\circ\text{C}$). Na obr. 4 je uveden průběh závislosti $q_W = f(x_{LB})$ pro sušárny BS-6 a BS-18 a je porovnáván s teoretickým výpočtem sušárny BS-6 (Houška, 1978; Těšík, 1980).

Z obr. 2 a 3 je patrné, že při t_{LA} a t_{LB} konstantním se zvyšujícím se x_{LB} zvyšuje se i odpařivost M_W a $\Delta\omega$. Z obr. 4 je patrné, že se zvyšujícím se x_{LB} klesá q_W . Z uvedených průběhů závislosti dále vyplývá, že zavedením takové recirkulace pro sušárny BS-6, která by zajistila zvýšení hodnoty x_{LB} z $x_{LB} = 0,2$ kg/kg na $x_{LB} = 0,7$ kg/kg, se zvedne výkon sušárny z maximálního $M_W = 2200$ kg/h na $M_W = 2900$ – 3000 kg/h bez nebezpečí, že materiál nebude dosušen, a při snížení spotřeby tepla z $q_W = 3,2$ MJ/kg na $2,85$ MJ/kg.

	t_{LA} (°C)	t_{LB} (°C)
1 —	500	110
2 —	600	110
3 —	700	110
4 —	800	110
5 —	900	110
6 —	1000	110



2. Závislost rozdílu vstupní a výstupní vlhkosti $\Delta\omega$ sušeného materiálu na měrné vlhkosti využitého sušícího média X_{LB} (pro $\omega_A > 70$ %). Do grafu jsou vyneseny body jednotlivých zkoušek s údajem t_{LA} a t_{LB} — The relation of the difference between input and output moisture content $\Delta\omega$ in the dried material to the specific humidity of drying medium X_{LB} (for $\omega_A > 70$ %). Points for individual tests with data for t_{LA} and t_{LB} are plotted in the diagram

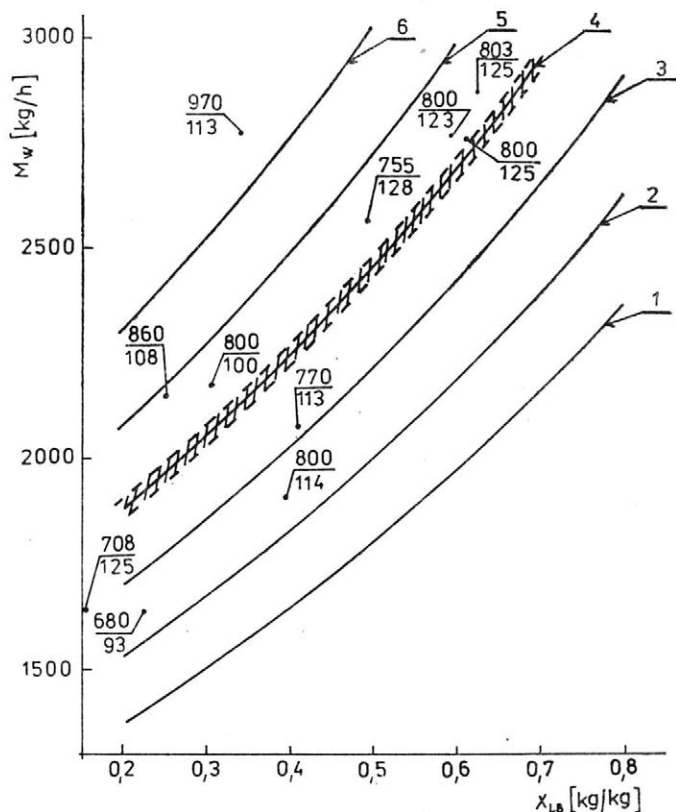
Zavedením recirkulace do původních, pro recirkulaci pouze upravených spalovacích komor přineslo s sebou negativní jev pro spalování, speciálně u kapalných paliv.

Recirkulovaným prostředím, které má vysoký obsah vody $x = 0,3-0,7$ kg/kg, se plamen ochlazuje ještě dříve než dohoří palivo a vlivem nedokonalého spalování dochází ke ztrátám na teple. Velikost ztrát byla zjištěna stechiometrickým výpočtem z obsahu kyslíčnicku uhelnatého a kyslíčnicku uhličitého, stanoveného v sušícím médiu, a činí při $x_{LB} = 0,7$ kg/kg až 5 % (Kučera a Choc, 1978, 1979; Kučera, 1981).

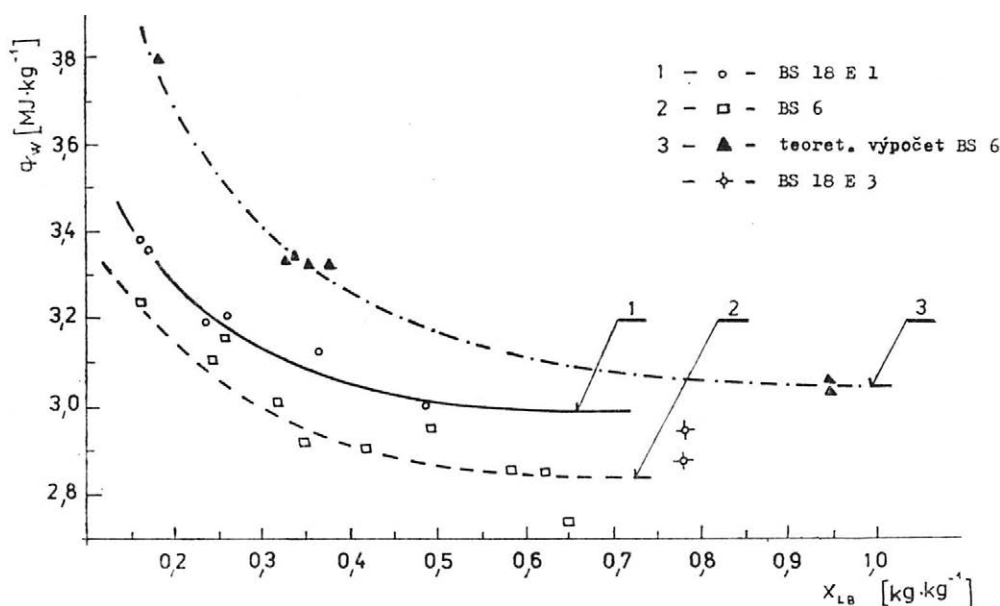
V případě, že by se při zavádění recirkulace vybavovaly sušárny novými spalovacími komorami, které by zaručily správné spalování i při obsahu vlhkosti v recirkulátu $x_{LR} = 0,7$ kg/kg, klesla by spotřeba tepla o dalších 5 % na hodnotu $q_W = 2,7$ MJ/kg, což představuje úsporu proti původnímu $q_W = 3,2$ MJ/kg cca o 17 %.

VYUŽITÍ ODPADNÍHO TEPLA ZE SUŠÁRNY

Princip rekuperace tepla u bubnových sušáren spočívá v tom, že využitě sušící médium se po odloučení usušeného materiálu vede přes odlučovače prachových částic do výměníků. Ve výměnících dochází k částečné kondenzaci vlhkosti obsažené v sušícím médiu a toto médium se sníženou teplotou a vlhkostí je dále odváděno do komína. Získané teplo je z rekuperátoru odváděno teplotonosným médiem a je dále využíváno pro úpravu zelené píce před sušením.



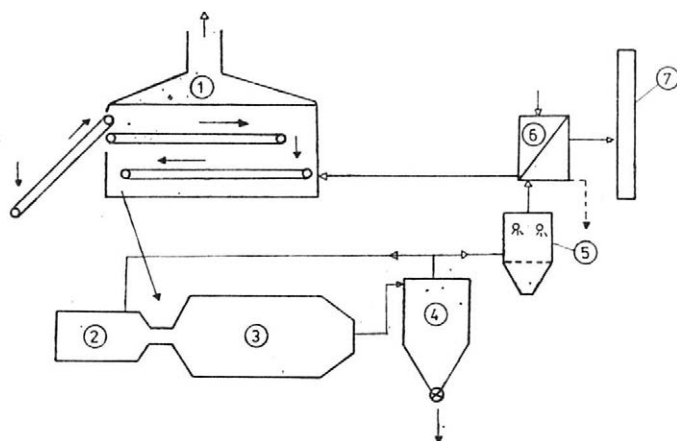
3. Závislost odpařivosti sušárny M_W na měrné vlhkosti využitého sušícího média X_{LB} (pro $\omega_A > 70\%$). Označení bodů a čar jako na obr. 2 — The relation of the evaporation discharge of the drier M_W to the specific humidity of drying medium X_{LB} (for $\omega_A > 70\%$). Points and lines denoted as in Fig. 2



4. Měrná spotřeba tepla (vztahovaná na jednotku odpařené vody) q_W v závislosti na měrné vlhkosti využitého sušícího média X_{LB} — Specific heat demand (related to unit of evaporated water) q_W in relation to the specific humidity of drying medium X_{LB}

- 1 — nízkoteplotní sušárna
- 2 — spalovací komora vysokoteplotní sušárny
- 3 — bublen vysokoteplotní sušárny
- 4 — cyklon vysokoteplotní sušárny
- 5 — mokrý odlučovač
- 6 — výměník — rekuperátor
- 7 — komín

- materiál
 ————— spaliny + materiál
 ————— čistý vzduch
 - - - - - kondenzát



5. Schéma sušárny s rekuperátorem a nízkoteplotní předsušárnou — Diagram of the drum drier with a recuperator and a low-temperature pre-drier

Systém, který dodává fa Promill, Francie, je znázorněn na obr. 5. Zařízení umožňuje sušení veškerého materiálu, i zavadlého. Úspory tepla dosahují 35 % (Mužík, 1982).

Proti systému Promill je možné namítat, že použití nízkoteplotní sušárny jako předsušárny zruší jeden z hlavních účinků recirkulace u vysokoteplotní sušárny tím, že se do vysokoteplotního stupně přivádí předehřátý materiál a nedojde k jeho orosení. Materiál má již z nízkoteplotního stupně zaschlý a uzavřený povrch, což snižuje rychlost sušení, a tedy i výkon vysokoteplotního stupně. Navíc vzniká nebezpečí, že oschlé částice materiálu při styku se sušicím médiem na vstupu do sušárny ohoří. Na základě těchto poznatků byl vypracován návrh systému dvoustupňového sušení, při němž je nízkoteplotní stupeň řazen až za vysokoteplotní (Kučera, 1981). Tento systém je výhodnější nejen z hlediska zvýšené rychlosti sušení, ale i z hlediska kvality produktu. Zapařený materiál se totiž ve druhém stupni profukuje čistým vzduchem, a tím se zbavuje nežádoucích pachů, které na něm mohou ulpět ve vysokoteplotním stupni.

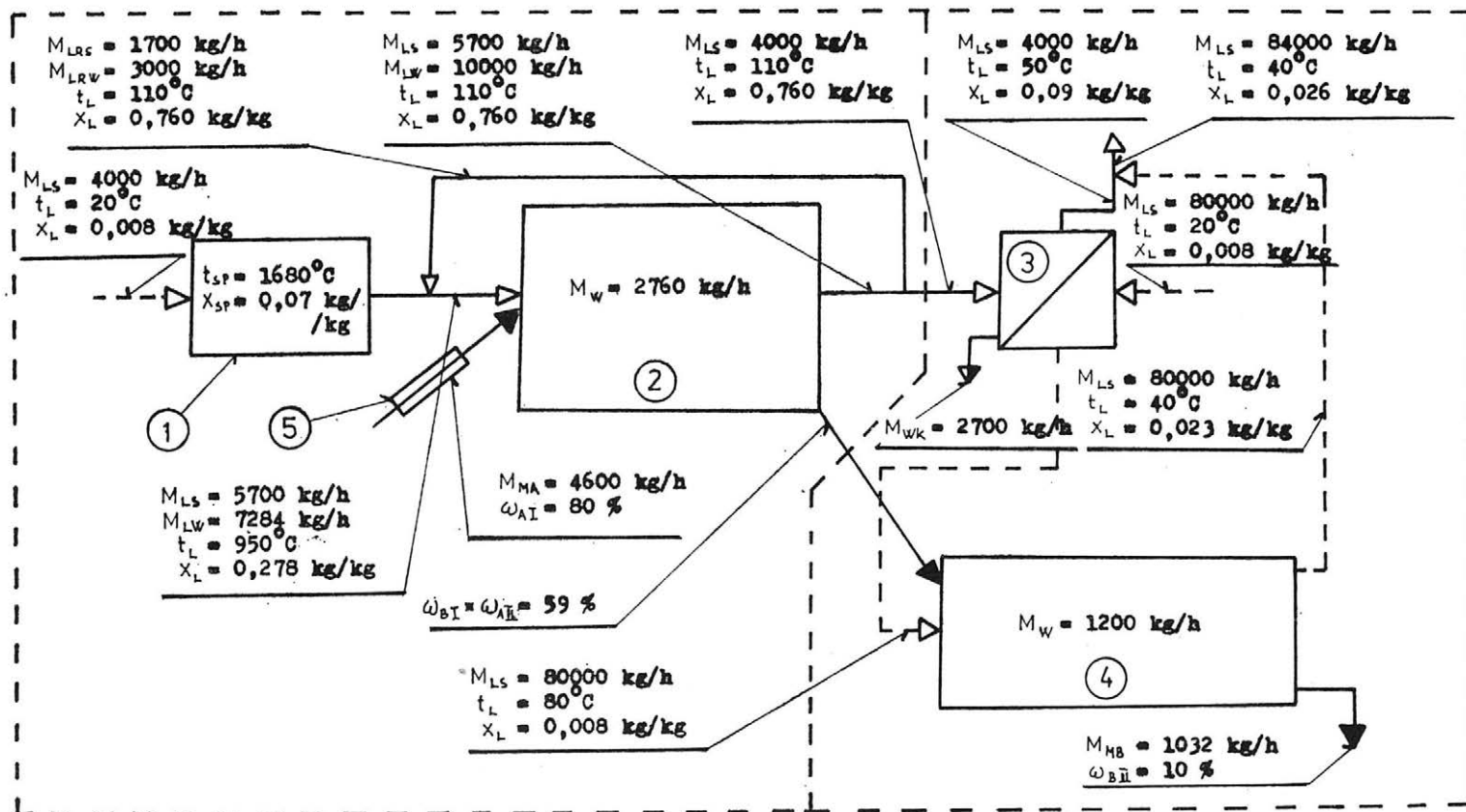
BILANČNÍ VÝPOČET DVOUSTUPŇOVÉHO SUŠENÍ

Pro výpočet dvoustupňového sušení byly stanoveny bilanční rovnice (Kučera, 1982), z nichž byly sestaveny vztahy pro výpočet měrné spotřeby tepla na jednotku odpařené vody v obou stupních q_{WC} a pro výpočet odpařivosti z obou stupňů M_{WC} .

$$q_{WC} = \frac{\Delta i_{LA I} \cdot \Delta i_{LA II}}{\Delta i_{LA II} \cdot \Delta x_I + \Delta x_{II} \cdot \Delta i_{RK}}$$

$$M_{WC} = \frac{M_{LS II} \cdot \Delta i_{LA II}}{\Delta i_{RK}} \cdot \Delta x_I + M_{LS II} \cdot \Delta x_{II}$$

- kde: $\Delta i_{LA I}$ — rozdíl entalpií sušicího média na vstupu do I. stupně a okolního vzduchu
 $\Delta i_{LA II}$ — rozdíl entalpií sušicího média na vstupu do II. stupně a okolního vzduchu
 Δx_I — rozdíl měrné vlhkosti využitého sušicího média na výstupu z I. stupně a měrné vlhkosti spalin
 Δx_{II} — rozdíl měrných vlhkostí sušicího média na vstupu a výstupu z II. stupně
 Δi_{RK} — rozdíl entalpií sušicího média z I. stupně na vstupu do rekuperátoru a na výstupu z rekuperátoru
 $M_{LS II}$ — množství sušicího média jdoucí II. sušicím stupněm

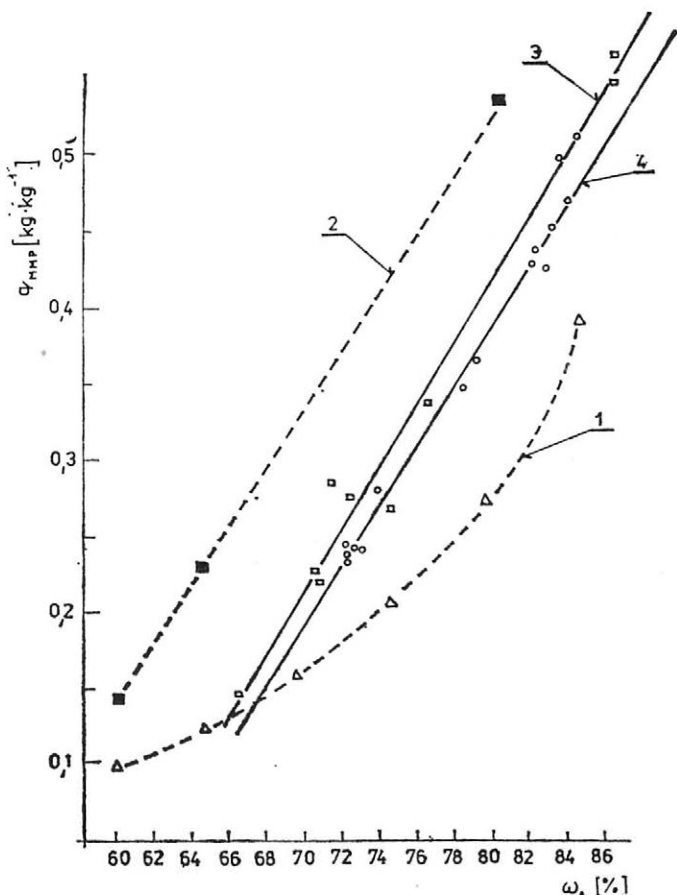


$$Q_{WC} = 2,27 \text{ MJ/kg}$$

- 1 — spalovací komora
- 2 — vysokoteplotní stupeň
- 3 — výměník
- 4 — nízkoteplotní stupeň
- 5 — podavač materiálu
- M_{LRS} — průtočné množství recirkulovaného média suchého
- M_{LRW} — průtočné množství recirkulovaného média vlhkého
- $M_{L\dot{S}}$ — průtočné množství sušícího média suchého
- M_{LW} — průtočné množství sušícího média vlhkého
- M_{WK} — průtočné množství kondenzátu za rekuperátorem
- M_{MA} — průtočné množství materiálu na vstupu I. stupně
- M_{MB} — průtočné množství materiálu na výstupu II. stupně
- M_W — odpařivost
- t_L — teplota sušícího média
- X_L — měrná vlhkost sušícího média
- t_{sp} — teplota spalin
- X_{sp} — měrná vlhkost spalin
- ω_{A1} — podíl vlhkosti materiálu na vstupu I. stupně
- ω_{B1} — podíl vlhkosti materiálu na výstupu I. stupně
- ω_{A11} — podíl vlhkosti materiálu na vstupu II. stupně
- ω_{B11} — podíl vlhkosti materiálu na výstupu II. stupně

7. Závislost měrné spotřeby měrného paliva (vztahené na jednotku hmotnosti úsušku q_{MMP}) na počátečním podílu vlhkosti materiálu ω_A — The relation of the specific demand for fuel (related to weight unit of dried material q_{MMP}) to the initial proportion of the moisture of the material ω_A

- 1 — dvoustupňové sušení
- 2 — nízkoteplotní sušení
- 3 — BS-18 E 1 — □ — experimentálně zjištěné hodnoty
- 4 — BS-6 — ○ — experimentálně zjištěné hodnoty



Jako základ výpočtu dvoustupňového sušení byly použity hodnoty odpovídající průběhu sušení na sušárnách BS-6 vybavených recirkulací a průběh sušení v nízkoteplotní sušárně. Z hodnoty Δi_{RK} se ve výpočtu počítá pouze se 75 % hodnoty, což odpovídá předpokládané účinnosti rekuperátoru. Konkrétní výsledky výpočtu dvoustupňového sušení pro vstupní podíl vlhkosti materiálu $\omega_A = 80$ % jsou vepsány do schématu dvoustupňové sušárny, uvedeném na obr. 6.

Vypočtený průběh závislosti měrné spotřeby měrného paliva (vztažené na jednotku hmotnosti produktu) na počátečním podílu vlhkosti materiálu $q_{MMP} = f(\omega_A)$ pro dvoustupňové sušení je uveden na obr. 7, kde je porovnáván s průběhy závislosti spotřeb pro jednostupňové sušení v bubnových sušárnách BS a v nízkoteplotních sušárnách (sušárny se vstupní teplotou sušicího média $t_{LA} < 150$ °C).

Z průběhů spotřeb je evidentní, že sušit na dvoustupňové sušárně materiál s nižší vlhkostí než $\omega_A = 70$ % nemá význam, protože spotřeba tepla q_{MMP} je téměř stejná jako při jednostupňovém sušení na sušárnách BS. Z obr. 6 dále plyne neopodstatněnost náhrady sušáren BS nízkoteplotními sušárnami, pokud není využíváno odpadní teplo, a naopak vyniká výhoda dvoustupňového sušení pro sušení píce s nesníženým podílem vlhkosti ω_A .

Na základě provedených výpočtů můžeme usuzovat, že dvoustupňové sušení umožní vyrábět na jedné jednotce při $\omega_A = 80$ % cca 1000 kg kvalitních úsušků za hodinu při spotřebě $q_{MMP} = 0,26$ kg/kg (proti $q_{MMP} = 0,38$ kg/kg pro vysokoteplotní sušení) a $q_{MMP} = 0,52$ kg/kg pro nízkoteplotní sušení a při $\omega_A = 75$ % cca 1400 kg úsušků za hodinu při $q_{MMP} = 0,21$ kg/kg (proti $q_{MMP} = 0,31$ kg/kg pro vysokoteplotní a $q_{MMP} = 0,45$ kg/kg pro nízkoteplotní sušení).

ZÁVĚR

Zavedení recirkulace umožňuje snížit množství sušicího média odváděného kominem při stejném množství média procházejícího bubnem. Zvýšením obsahu kyslíčnicku uhlíkatého a vody v sušicím médiu se dosahuje v podstatě inertního sušicího prostředí, což zvyšuje kvalitu produktu, snižuje ztráty materiálu hořením a umožňuje sušit zavadlou píci se vstupní vlhkostí sníženou až na 65 %. Sušení zavadlé píce na těchto sušárnách předpokládá, že píce bude před sušením nařezána podle technických požadavků udávaných výrobcem. To znamená, že sušárny musí být vybaveny řezačkami nebo drtiči zelené píce před dávkovacím zařízením.

Zavedení recirkulace z hlediska ekonomie sušení přináší zvýšení výkonu sušárny cca o 35 % v odpařené vodě a úsporu paliv cca 11 až 17 % (podle spalovací komory). Při sušení píce se sníženou vstupní vlhkostí na $\omega_A = 65$ % přináší snížení měrné spotřeby měrného paliva na jednotku úsušku z $q_{MMP} = 0,38$ kg/kg na $q_{MMP} = 0,1$ kg/kg, což představuje úsporu zhruba 60 % měrného paliva při současném zvýšení výkonnosti sušárny v usušeném produktu. V tomto případě je výkonnost omezena pouze průchodností cest vedoucích usušený produkt.

Další přínos recirkulace u sušáren píce spočívá v tom, že při dosažení obsahu vlhkosti ve využitém sušicím médiu $x_{LB} > 0,7$ kg/kg můžeme získat výparné teplo obsažené ve vlhkosti zpět v rekuperátorech s poměrně vysokým teplotním potenciálem $t \geq 80$ °C.

Špatné spalování paliva při zavedení recirkulace je nutné řešit výměnou nebo rekonstrukcí dosavadních spalovacích komor, což přinese úsporu paliva o dalších 5 %.

Přiřazením druhého stupně za sušárnu BS-6 se zvýší současný výkon zhruba na dvojnásobek, což umožní produkovat z jedné jednotky při předpokládaném provozu 2000 hodin asi 2400 tun úsušků za cca $q_{MMP} = 0,24$ kg/kg pravděpodobně ve vyšší kvalitě než u dosud používaných způsobů sušení.

Při předpokládaném výkonu 2400 t úsušků za rok spotřebujeme u dvoustupňového sušení 576 t měrného paliva proti 912 t měrného paliva pro stejný výkon při jednostupňovém sušení s recirkulací. Roční úspora bude tedy činit 336 t měrného paliva u jedné jednotky.

Literatura

- HOUSKA, K.: Studijní výpočet bubnové sušárny zemědělských produktů. [Výzkumná zpráva 78-09107.] Praha, Státní výzkumný ústav pro stavbu strojů 1978.
- KUČERA, V.: Experimentální ověření konstrukčních úprav bubnové sušárny objemové píce pro vývoj inovované sušárny typu BS-6 E 1. [Výzkumná zpráva 81-09123.] Praha, Státní výzkumný ústav pro stavbu strojů 1981.
- KUČERA, V.: Výzkum možností a zhodnocení různých směrů racionalizace spotřeby paliva při sušení objemové píce. [Výzkumná zpráva 82-09122.] Praha, Státní výzkumný ústav pro stavbu strojů 1982.
- KUČERA, V. — CHOC, M.: Provozní ověření vlivu recirkulace sušícího média na spotřebu paliva u sušárny typu BS-18 E 1. [Výzkumná zpráva 78-09137.] Praha, Státní výzkumný ústav pro stavbu strojů 1978.
- KUČERA, V. — CHOC, M.: Provozní ověření vlivu recirkulace sušícího média na spotřebu paliva u sušárny typu BS-6. [Výzkumná zpráva 79-09125.] Praha, Státní výzkumný ústav pro stavbu strojů 1979.
- MUŽÍK, V.: Úspory energie u bubnových sušáren. In: Sbor. ČSVTS České Budějovice. Ejpovice, Škoda, k. p., 1982.
- TĚŠÍK, J.: Kontrolní ověření vlivu recirkulace sušícího prostředí na spotřebu tepla u sušárny typu BS-6. [Výzkumná zpráva 80-09124.] Praha, Státní výzkumný ústav pro stavbu strojů 1980.

Došlo dne 7. 9. 1983

КУЧЕРА, В. (Государственный научно-исследовательский институт машиностроения, Прага - Беховице): Возможности экономии топлива при сушке сена на барабанных сушилках. Земед. Techn., 30, 1984 (1) : 25-33.

Работа рассматривает возможности сокращения затраты тепла при сушке сена на барабанных сушилках. Оцениваются выгоды рециркуляции сушильной среды как с точки зрения затраты тепла, так и с точки зрения повышения выработки сушилки и возможности сушить подвяленную траву. Далее в работе содержится проект двухступенчатой сушки, использующей тепловые отходы барабанных сушилок, и экономическая оценка этого проекта.

рециркуляция; сжигание; испаряемость; затрата тепла; рекуперация тепла; двухступенчатая сушка

KUČERA, V. (State Research Institute for Machine Structure, Praha-Běchovice): *Chances to Save Fuels when Drying Forage in Drum Driers*. Земед. Techn., 30, 1984 (1) : 25-33.

The ways of reducing heat demand for forage drying in drum driers are described. The advantages of recycling the drying medium are evaluated as to heat demand, as to the increase in drier output, and as to the possibility of drying wilted forage. A two-stage drying process using the waste heat from drum driers is proposed and economically evaluated.

re-cycling; combustion; evaporation rate; heat demand; heat recuperation; two-stage drying

Adresa autora:

Vlastimil Kučera, Státní výzkumný ústav pro stavbu strojů, 250 97 Praha 9 - Běchovice

Výběr z přírůstků

Ústřední zemědělské a lesnické knihovny ÚVTIZ

z úseku zemědělská technika

Uvedené publikace je možné si vypůjčit osobně nebo písemně v ÚZLK, výpůjční oddělení, 120 56 Praha 2, Slezská 7. Výpůjční doba: pondělí až pátek od 9 do 18 hodin. U každé žádané publikace uveďte signaturu.

D 50.847/2683

Potatissättare Underhaug 1388 med radgödsling. Anmälare: Svenska Lantmännens Riksförbund, Stockholm. Tillverkare: Underhaugs Fabrik A/S, Naerbö, Norge.

Uppsala, Statens maskinprovningar 1981. 7 s., 5 obr., 2 tab. Meddelande 2683. (Sázeče brambor — Underhaug 1388 — zkoušení — Švédsko — zprávy)

BOUMAN, A. — BOUMA, J.

D 64.961/164

Het trekken van aardappeloof. Pulling of potato haulms.

Wageningen, IMAG 1982. 43 s., 15 tab., 12 obr.; res. angl. Publikatie 164. (Bramborová nať — ničení — mechanizace — výzkum — Holandsko)

D 67.902/939

Merkenonderzoek Nimos tweerijige looftrekker type LT 2. Fabrikant/Verkoop: Drost Machines B. V., Postbus 96, 3810 AB Rhenen.

Wageningen, IMAG 1982. 6 s., 2 tab. Bulletin 939. (Rozbiječe bramborové natě — NIMOS LT 2 — zkoušení — Holandsko — zprávy)

SPIESS, E.

C 19.978/204

Alternative Bestell- und Ernteverfahren für Kartoffeln.

Tänikon, Eidg. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik 1982. 9 s., 10 obr., 2 tab. FAT Blätter für Landtechnik 204. (Brambory — sklizeň — mechanizace)

C 15.353/1981/115

HASSIA — Kartoffelvollecentemaschine Type SBM. Hersteller: Fa. A. Tröster, D-6308 Butzbach.

Wieselburg a. d. E., Bundesversuchsanstalt f. landw. Maschinen 1981. 8 s., 4 obr. Prüfbericht 1981/115. (Sklizeče brambor — HASSIA — typ SBM — zkoušení — Rakousko — zprávy)

Moderne Zuckerrüben-Produktion.

C 27.626

Weihenstephan, Institut für Landtechnik 1979. 220 s., tab., obr. Sndr. aus Landwirtschaftliches Unternehmer-Seminar Gut Schlüterhof Heft 3. 1979. (Cukrovka — pěstování — mechanizace — výzkum — NSR)

ZMĚNY PEVNOSTI ZRNA KUKUŘICE VLIVEM HORKOVZDUŠNÉHO SUŠENÍ

M. Thér

THÉR, M. (Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha-Rěpy): *Změny pevnosti zrna kukuřice vlivem horkovzdušného sušení*. Zeměd. Techn., 30, 1984 (1) : 35-44.

Ručně vydrolená zrna kukuřice o počáteční vlhkosti 29 až 24 % byla na laboratorním sušicím zařízení sušena při teplotě sušicího vzduchu 50 až 120 °C po dobu 15 až 180 minut. Dynamická pevnost zrna (odolnost proti mechanickému poškození při nárazu) byla zjišťována na nárazovém odstředivém testru, který umožňuje zkoušku hromadného vzorku. Výsledky jsou představeny v prostorovém grafu, ve kterém je znázorněn vliv doby sušení a sušicí teploty na průměrnou pevnost zrna. Stupňování sušicí teploty při konstantní době sušení vede k poklesu pevnosti zrna, který lze popsat mocninovou funkcí. Prodlužování doby působení tepla při konstantní teplotě rovněž snižuje pevnost zrna, přičemž asi do 60 °C jde o lineární závislost, zatímco při vyšších teplotách je tato závislost charakterizována mocninovou funkcí. Při vyšších teplotách nastane prudký pokles pevnosti už v prvních minutách působení tepla, pak se pokles zmenší a při dalším působení tepla už je nepatrný.

mechanické vlastnosti zrna; poškození zrna; tepelné namáhání zrna

Kukuřice zaujímá v zemědělské výrobě významné místo, protože to je plodina vysoce produktivní a má mimo užití jako krmivo i široké možnosti využití v potravinářském průmyslu. Vážným problémem při její výrobě je skutečnost, že zrna kukuřice je velmi náchylné k mechanickému poškození. Za stejných podmínek se poškozuje více než zrna pšenice nebo dalších obilovin. Je to způsobeno jednak větší velikostí zrna kukuřice a jeho z hlediska pevnosti méně vhodným tvarem, jednak vlastnostmi endospermu kukuřičného zrna, který je křehký a citlivý na teplotní a vlhkostní změny.

Nemalou roli při poškození zrna má vysoká sklizňová vlhkost zrna a z toho vyplývající nutnost umělého sušení. Při tom jde o značné snížení vlhkosti, např. asi z 30% i vyšší na vlhkost skladovací, tj. pod 15 %. Aby byla dosažena potřebná výkonnost sušáren, používá se vysokých sušicích teplot, způsobujících v zrna nežádoucí biologické a strukturální změny, které mají za následek snížení mechanické pevnosti. Zrna se pak při dalších manipulacích snáze poškozuje.

I když se tímto problémem ojedinele zabývali někteří autoři už dříve [Thompson a Foster, 1963], jsou tyto otázky v popředí zájmu zejména v posledních letech. Je to zřejmě motivováno tím, že poškození kukuřičného zrna se stává tíživějším problémem, mimo jiné

také proto, že toto zrno nachází stále pestřejší uplatnění v potravinářské výrobě, kde jeho poškození způsobuje technologické potíže.

V literatuře je uváděno hrubé poškození (zlomky), vznikající při sušení [Katic, 1973] a bezprostředně způsobované mechanismy sušárny. Při vzniku tohoto poškození spolupůsobí i tepelné zatížení. Za závažnější problém je považováno působení tepelných změn, které zapříčiňují vznik mikrotrhlin, a tedy snížení pevnosti zrna. Názory na vznik mikrotrhlin nejsou jednotné, což je pochopitelné, protože jde o působení velmi komplikované. Scherer a Kutzbach (1978) zkoumali změny statické a dynamické pevnosti kukuřičného zrna vlivem horkovzdušného sušení ze stejné počáteční vlhkosti na různou vlhkost konečnou s následným dosušením okolním vzduchem. Zjistili, že pevnost zrna je tím vyšší, čím vyšší je vlhkost, při které bylo horkovzdušné sušení přerušeno, čili čím kratší byla doba působení tepla. Teplota sušícího vzduchu byla 140 °C, teplota okolního vzduchu 20 °C. White a Ross (1972) zjistili značný vliv rychlého ochlazení zrna po horkovzdušném sušení na snížení pevnosti zrna.

Určitý vliv na snížení pevnosti zrna kukuřice mělo také opakované zmrazení i relativně suchého zrna [Jindal aj., 1978; Srivastava aj., 1976]. Kustermann a Kutzbach (1981) sledovali vliv tepelného zpracování zrna kukuřice na změny statické pevnosti. Sušili zrno o počáteční vlhkosti 36,6 % při teplotách 100, 140 a 200 °C na laboratorním sušicím zařízení při době sušení 2,5 až 30 minut a potom je chladili při různém teplotním gradientu. Při vlastním měření mělo zrno vlhkost 8,7 až 9,7 %. Statickými metodami pak zjišťovali pevnost ve zlomu, stupeň pružnosti a modul pružnosti zrna.

Z uvedené literatury je zřejmý značný vliv zejména podmínek sušení na vznik mikrotrhlin v endospermu, a tím na snížení pevnosti kukuřičného zrna. Autoři přitom vycházejí z předpokladu, že při sušení jsou nutné vysoké teploty. Jde proto v podstatě vždy o oblast, která je zřejmě značně nad kritickou oblastí. Nejsou proto dosud známy vztahy mezi teplotou a dobou působení tepla.

METODA

MATERIÁL A PŘÍPRAVA VZORKŮ

K pokusům jsme použili kukuřici hybrid Lg 5. Palice byly ručně sklizeny a ručně bylo také opatrně vydroleno zrno, aby nedošlo k nežádoucímu nekontrolovanému poškození. Vlhkost zrna po vydrolení — na začátku pokusů — byla asi 29 %. Protože zkoušky nebylo možné provést v krátké době, došlo v jejich průběhu ke snížení vlhkosti zrna asi na 24 %.

Vzorky jsme připravovali na laboratorním sušicím zařízení spolu se vzorky pro biologické a biochemické rozbor. Vzduch z odstředivého ventilátoru byl přiváděn do ohřívací komory s elektrickými topnými tělesy a odtud do komory, v jejíž horní stěně byly umístěny sušící nádoby se síťovými dny. Teplotu vzduchu jsme měřili a regulovali podle teploměru umístěného v komoře pod sušícími nádobkami. Výška vrstvy sušeného zrna v nádobkách byla asi 60 mm. Rychlost proudění vzduchu, vypočítaná z množství dodávaného vzduchu, byla asi 0,8 m/s.

Teploty sušícího vzduchu byly odstupňovány v rozmezí od 50 do 120 °C. Doba sušení při teplotách do 75 °C byla 30, 60, 120 a 180 minut, při teplotě 80 °C činila 30, 60 a 120 minut, při 90 a 100 °C byla 15, 30, 45 a 60 minut a při 110 a 120 °C byla 15, 30 a 45 minut. Zbytek vlhkosti byl pak volně odsušen okolním vzduchem o teplotě 18 až 20 °C. Protože jsme rozboru na testru nemohli udělat ihned po dosušení

Teplota sušícího vzduchu (°C)	Čas sušení (min)						
	0	15	30	45	60	120	180
50	28,9		26,2		25,0	21,7	20,3
55	28,6		25,4		24,0	20,8	18,7
60	29,3		24,6		22,3	19,4	18,2
65	26,5		22,5		19,5	17,2	15,5
70	26,4		21,6		19,1	16,3	12,7
75	25,1		20,5		17,4	15,0	11,7
80	25,2		19,0		15,8	12,0	
90	24,4	19,0	16,6	13,7	13,2		
100	24,6	17,2	15,3	11,9	10,8		
110	23,8	15,2	12,2	10,5			
120	23,8	14,8	10,8	10,0			

vzorků, došlo v průběhu skladování k vyrovnání vlhkosti, takže vlhkost zrna při testování činila 13 až 14,5 ‰. Přehled vlhkosti zrna před sušením a bezprostředně po sušení při různých režimech sušení je uveden v tab. I.

POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ A PŘÍPRAVA ZKOUŠEK

Vlhkost jsme stanovili elektrickým vlhkoměrem Digital moisture computer 700. Dynamická pevnost zrna, resp. odolnost proti mechanickému poškození, byla stanovena pomocí nárazového testru, který využívá odstředivé síly a umožňuje zkoušku hromadného vzorku (Thér, 1982). Otáčky testru byly měřeny odstředivým otáčkoměrem na hřídeli rotoru.

Ke každé zkoušce bylo použito 25 náhodně vybraných zrn, přičemž bylo dbáno, aby ve vzorku nebyla zrna extrémně drobná, zakrnělá, zaschlá apod. Zrno použité ke zkouškám bylo také pečlivě zkoumáno s ohledem na možnost mechanického poškození, např. požerem aj.

Otáčky testru byly odstupňovány po 1000 za minutu v rozsahu 1000 až 6000 za minutu, což přibližně odpovídá rychlosti nárazu zrn 6,2 až 37,2 m/s. Při každých otáčkách byly provedeny dvě zkoušky. V případech, kdy se výsledky odlišovaly, byla zkouška opakována.

Vyhodnocení každé zkoušky spočívalo v tom, že byla spočítána nepoškozená zrna. Za nepoškozené bylo považováno zrno bez jakékoliv známky narušení celistvosti, pozorovatelné pouhým okem. Rozhodnutí, zda je zrno poškozeno, většinou nebylo obtížné, protože poškození bylo zjevné.

VÝSLEDKY

Z každých dvou, resp. tří opakování při každých otáčkách byl vypočítán průměrný počet poškozených zrn. Dále byly vypočítány četnosti poškozených zrn příslušející odpovídajícím středům tříd. Z takto připravených hodnot byly pro každý vzorek vypočítány průměrné otáčky testru a jejich směrodatná odchylka. Průměrné otáčky testru představují otáčky, při kterých bylo poškozeno 50 % zrna. Tyto otáčky byly

II. Přehled naměřených hodnot — The values of measurements

Teplota sušícího vzduchu (°C)	Čas sušení (min)													
	0		15		30		45		60		120		180	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
50	4,26	1,26			3,98	1,45			3,82	1,39	3,04	1,02	2,98	1,36
55	3,90	1,38			3,48	1,36			3,68	1,28	3,34	1,18	2,94	1,19
60	3,80	1,24			3,60	1,53			3,38	1,33	3,24	1,24	3,08	1,19
65					3,70	1,29			3,07	1,21	3,08	1,10	2,99	1,10
70	3,82	1,14			3,31	1,25			3,10	1,25	3,16	1,20	2,93	1,09
75	3,98	1,03			2,96	1,28			2,84	1,10	2,80	1,22	2,72	1,00
80	3,80	1,21			2,91	1,05			2,73	1,14	2,70	1,19		
90	4,02	1,23	2,86	1,22	2,67	0,96	2,71	1,11	2,72	1,07				
100	3,80	1,30	2,98	1,22	2,58	0,96	2,44	1,01	2,52	0,93				
110	3,78	1,31	2,82	1,16	2,37	1,08	2,17	0,80						
120	3,76	1,38	2,53	1,03	2,41	1,08	2,56	1,03						

 $\bar{x}$ — průměrné otáčky v tis. za min s — směrodatná odchylka

zvoleny jako ukazatel dynamické pevnosti. Z praktických důvodů bylo počítáno s otáčkami v tisících za minutu. Přehled naměřených hodnot je uveden v tab. II.

V dalším postupu jsme hledali vztahy mezi dobou působení tepla a změnami pevnosti zrna a mezi sušící teplotou a změnami pevnosti zrna.

VLIV DOBY PŮSOBNÍ TEPLA

Z průběhu naměřených hodnot otáček testru v závislosti na době sušení vyplynulo, že s výší teploty sušícího vzduchu se tato závislost mění. Při nižších teplotách jsou naměřené body přibližně na přímce, zatímco při vyšších teplotách sleduje rozmístění bodů křivkovou závislost. Jako nejvhodnější analytické vyjádření byla nalezena mocninová funkce typu

$$V = k C^m$$

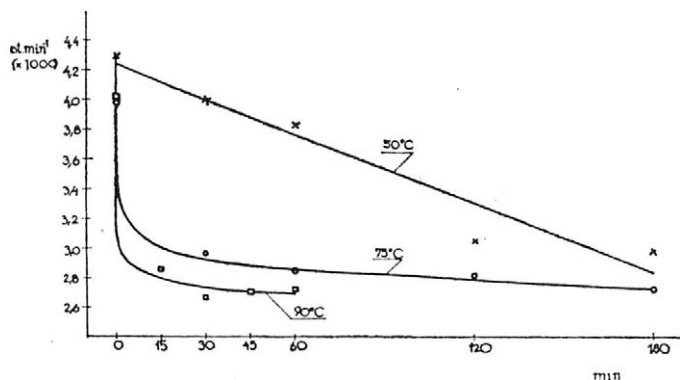
kde: V — otáčky testru (min)
 C — doba působení tepla (min)
 k, m — konstanty

Proto byly výsledky zpracovány podle uvedené mocninné závislosti; pro nižší teploty byla kontrolována také lineární závislost. Pro každou teplotu jsme vypočítali konstanty a korelační koeficient. K výpočtům jsme použili kalkulačku TI 58 se statistickým programovým modulem. Přehled vypočítaných hodnot je uveden v tab. III.

Z přehledu je zřejmá vysoká statistická průkaznost pro lineární závislost při nižších teplotách sušícího vzduchu — pro 50, 55 a 60 °C. Ale už při teplotě 65 °C je vyšší průkaznost pro mocninovou závislost a při teplotách 75 °C a vyšších je průkaznost mocninové závislosti velmi vy-

III. Vliv doby sušení na změny pevnosti kukuřičného zrna při různých teplotách — The influence of drying time on the changes in corn grain hardness at different temperatures

Teplota (°C)	$V = k \cdot C^m$			$V = a + b \cdot C$		
	k	m	r	a	b	r
50	3,862	-0,029	-0,725	4,225	-0,008	-0,964
55	3,422	-0,016	-0,731	3,543	-0,003	-0,801
60	3,545	-0,016	-0,807	3,698	-0,004	-0,973
65	5,120	-0,108	-0,866	3,569	-0,004	-0,745
70	3,356	-0,017	-0,894	3,459	-0,003	-0,876
75	3,342	-0,038	-0,999	3,457	-0,005	-0,721
80	3,170	-0,032	-0,992	V — otáčky testru (ot. min ⁻¹) C — doba sušení (min) k, m, a, b — konstanty r — korelační koeficient		
90	3,035	-0,029	-0,986			
100	3,213	-0,059	-0,974			
110	3,008	-0,065	-0,959			
120	3,067	-0,061	-0,988			



1. Vliv doby sušení na změny pevnosti kukuřičného zrna při různých teplotách — The influence of drying time on the changes in corn grain hardness at different temperatures

soká. Jako příklad je průběh změn pevnosti zrna v závislosti na době sušení pro některé teploty sušícího vzduchu spolu s naměřenými hodnotami znázorněn graficky na obr. 1.

VLIV TEPLoty SUŠÍCIHO VZDUCHU

Rozmístění bodů na grafu závislosti otáček testru na sušící teplotě naznačilo, že jde o křivkovou závislost, ve které je pokles pevnosti zrna rychlejší při nižších teplotách a se zvyšováním teploty se zmenšuje. Pro analytické vyjádření se ukázala rovněž jako nejvhodnější mocninová funkce

$$V = k T^m$$

kde: V — otáčky testru (min)

T — teplota sušícího vzduchu ($^{\circ}\text{C}$)

Přehled vypočítaných konstant a korelačních koeficientů je uveden v tab. IV. Nejvíce hodnot bylo naměřeno při době sušení 30 a 60

IV. Vliv teploty na změny pevnosti kukuřičného zrna při různé době sušení — The influence of temperature on the changes in corn grain hardness at different times of drying

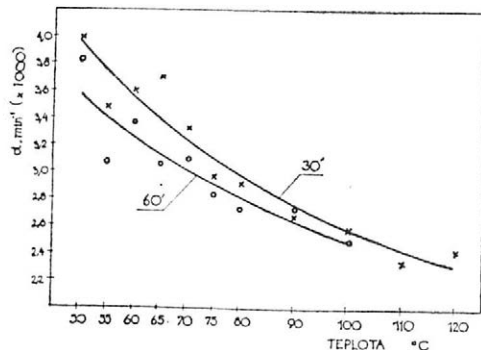
Čas (min)	$V = k \cdot T^m$		
	k	m	r
15	4,354	-0,004	-0,782
30	43,414	-0,613	-0,968
60	26,262	-0,510	-0,921
120	4,279	-0,005	-0,737
180	5,784	-0,164	-0,597

V — otáčky testru (ot. min^{-1})

T — teplota sušícího vzduchu ($^{\circ}\text{C}$)

k, m — konstanty

r — korelační koeficient



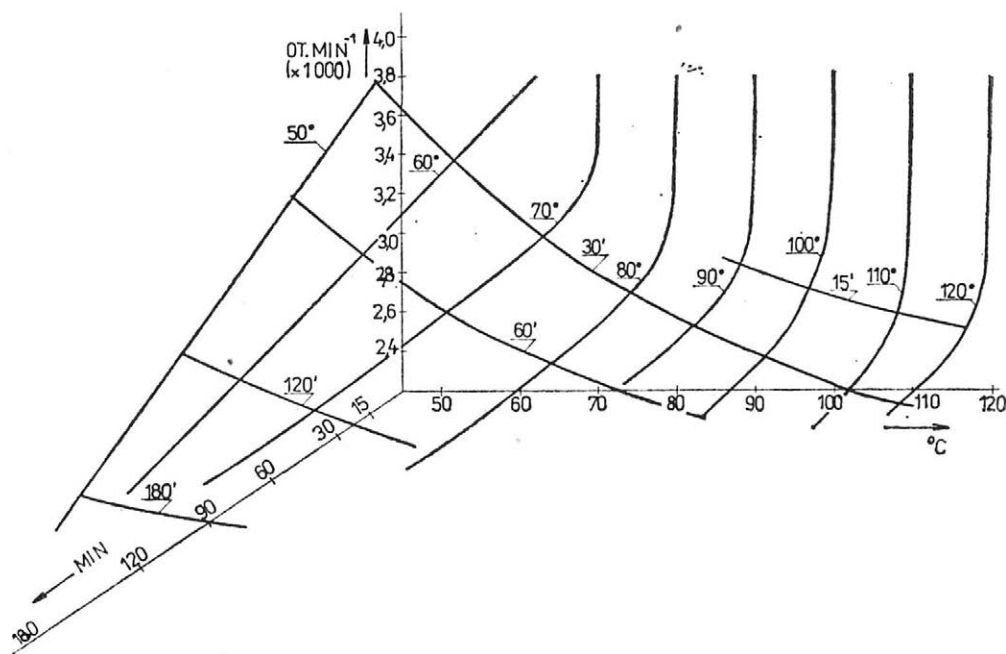
2. Vliv teploty na změny pevnosti kukuřičného zrna při různé době sušení — The influence of temperature on the changes in corn grain hardness at different times of drying

minut. Pro tyto případy je zvolená závislost vysoce průkazná. Při době sušení 15, 120 a 180 minut bylo získáno málo hodnot a nalezené závislosti jsou méně průkazné. Jako příklad je průběh závislosti pevnosti zrn na teplotě pro dobu sušení 30 a 60 minut spolu s naměřenými body znázorněn na obr. 2.

CELKOVÁ TEPELNÁ ZÁTĚŽ

Tepelné zatížení zrna, jehož následkem je snížení odolnosti vůči mechanickému namáhání, je dáno kombinujícími se vlivy výše teploty sušícího vzduchu a doby působení tepla. Pro lepší představu o vlivu tepelného namáhání byly tyto závislosti zpracovány do prostorového grafu (obr. 3). Z grafu je zřejmé, že zatímco vliv teploty při konstantní době sušení je charakterizován poměrně vyrovnaným poklesem odolnosti, je vliv doby působení tepla při konstantní teplotě při nižších a vyšších teplotách značně rozdílný. Asi do teploty 60 °C je pokles odolnosti zrna v závislosti na době sušení lineární a zřejmě je v podstatě stejný jako při sušení zrna provětráváním neohřívaným vzduchem. Při vyšších teplotách nastává největší pokles odolnosti zrna v prvních minutách působení tepla. Po této době se pokles zmenší a v dalším průběhu je poměrně malý. Čím vyšší je teplota sušícího vzduchu, tím je tento charakteristický průběh výraznější.

Zvýšená teplota, resp. teplotní změny způsobují trvalé změny ve struktuře endospermu zrna, popřípadě i v obalových vrstvách zrna, kte-



3. Vliv sušící teploty a doby sušení na změny pevnosti kukuřičného zrna — The influence of drying temperature and drying time on the changes in corn grain hardness

ré ovlivňují jeho odolnost vůči následnému mechanickému namáhání. Působením ohřátého sušícího vzduchu se postupně a zřejmě značně nerovnoměrně ohřívá hmota zrna. Čím větší je zrno, tím bude jeho ohřívání nerovnoměrnější. Z rychleji ohřátých povrchových vrstev zrna se odpařuje voda a dochází zde k objemovým změnám, zatímco vnitřní vrstvy jsou ještě chladnější a vlhčí. Rozdílné objemové změny mohou v zrnu vyvolat napětí, jehož následkem může být vznik různých vnitřních trhlin. Při rychlém zahřátí povrchových vrstev zrna se také může zmenšit propustnost těchto vrstev pro prostup vody, pohyb vody ze středu zrna směrem k obvodu se ztíží, a to rovněž vyvolá napětí, které vede ke vzniku vnitřních trhlin.

Tento úkaz je ještě zvýrazněn tím, že slupka kukuřičného zrna je sama o sobě značně hustá, takže brání průniku vody ze zrna. Tím je způsobeno, že jen nepodstatná část vlhkosti je vydávána slupkou kukuřičného zrna. Hlavním kanálem pro výstup vlhkosti u mechanicky nepoškozeného zrna je embryo a jeho bezprostřední okolí. Z toho vyplývá nerovnoměrné rozdělení vlhkosti v zrnu a vznik napětí, které rovněž může vést ke vzniku mikrotrhlin v endospermu.

DISKUSE

Je pochopitelné, že nalezené závislosti ve svých konkrétních hodnotách platí pro danou odrůdu kukuřice a pro podmínky, za kterých byl výzkum proveden. Aby bylo možné nalézt obecně platné závislosti, bylo by třeba opakovat zkoušky při různých vlhkostech a s jinými odrůdami. Přínos odvozených a pro zkoušené podmínky potvrzených vztahů je v tom, že rozšířily poznatky o velmi složitém tepelném působení na zrno.

Jedním z nedostatků pokusů bylo, že se nepodařilo dodržet stejnou počáteční vlhkost zrna při různých režimech sušení. Tím se stalo, že počáteční vlhkost v průběhu zkoušek postupně klesala asi z 29 % zhruba na 24 %. Při vyšších sušících teplotách tedy byla počáteční vlhkost nižší, než při nižších teplotách sušícího vzduchu. Je však známo, že důsledky působení tepla jsou tím horší, čím je počáteční vlhkost sušeného zrna vyšší. Lze proto soudit, že by dodržení stejné počáteční vlhkosti zrna výsledky podstatněji neovlivnilo, spíše by je jen zvýraznilo.

Další problém spočívá v nepřesném definování použité teploty sušícího vzduchu a doby sušení. Začátek působení tepla byl počítán od začátku provětrávání vzduchem o zvolené teplotě. V celkovém čase sušení je tedy zahrnuta i doba, po kterou bylo působení tepla nevyrovnané, tj. doba, po kterou se vzorek zrna postupně prohříval. K eliminaci této skutečnosti jistě přispělo provětrávání zrna značným přebytkem sušícího vzduchu a sušení zrna ve slabé vrstvě. Přesto je nutné připustit, že se spodní zrna zahřála dříve, než zrna na povrchu vrstvy. Je možné, že to přispělo k rozptylu naměřených hodnot.

Mohla by také vyvstat otázka, proč bylo jako kritérium mechanické pevnosti zrna zvoleno dynamické namáhání. Je skutečností, že největšímu dynamickému namáhání je zrno vystaveno při výmlatu, resp. drhnutí zrna z palic, tedy při procesech, které předcházejí sušení. I po sušení je však zrno vystaveno různé manipulaci, především dopravě ko-

rečkovými dopravníky a redlery, což je spojeno s plněním a výsypy při uskladňování v zásobnících a sílech. Jde tedy o namáhání spočívající ve tření, stlačování, odírání, o pád zrna z různé výšky při plnění dopravníků i skladovacích zařízení a o tlaky na zrno, způsobené výškou vrstvy skladovaného zrna, neboli o statické i dynamické namáhání, přičemž na základě dosavadních poznatků lze těžko rozhodnout, který druh namáhání převažuje.

Také chlazení zrna po sušení působí na pevnost zrna nepříznivě. Podobně jako při zahřívání zrna je i jeho ochlazování postupné. Nejdříve se ochladí vrchní vrstva obilky, potom se postupně prochlazují i vrstvy vnitřní. Postupné objemové změny, ke kterým dochází, rovněž mohou vyvolat napětí vedoucí ke vzniku mikrotrhlin v endospermu. Zjištěné snížení mechanické pevnosti zrna by proto mohlo být také částečně způsobeno při ochlazování zrna po sušení, neboť teplotní gradient je v prvních okamžicích stejný při zahřívání i při ochlazení. Eliminace vlivu chlazení při našich zkouškách spočívala v tom, že po skončení doby sušení bylo zrno chlazeno bez větrání volně na vzduchu. V tomto případě se patrně velmi rychle snížil teplotní gradient, protože teplo vydávané zrnem je jen pomalu odváděno.

ZÁVĚR

Minimalizace ztrát je jedním z velmi významných úkolů zemědělské výroby, který může nemalou měrou přispět k žádoucímu zvýšení soběstačnosti ve výrobě potravin. Týká se to všech odvětví zemědělské výroby a v plné míře zejména výroby zrnin včetně kukuřice.

Nezanedbatelným zdrojem kvalitativních i kvantitativních ztrát je také posklizňové ošetřování, sušení a uskladňování zrna. U kukuřice se na ztrátách poškozováním zrna nepřímo významně podílí horkovzdušné sušení. Nalezené závislosti dokazují značný pokles odolnosti kukuřičného zrna proti mechanickému namáhání teplem. Při vyšších teplotách sušícího vzduchu dochází k největšímu poklesu pevnosti zrna zejména v prvních okamžicích sušení. Snížení pevnosti zrna je způsobeno vznikem mikrotrhlin v endospermu. Takové zrno se pak při mechanickém namáhání — zejména nárazem — při poškození obalových vrstev snadno rozdělí na několik částí, popř. se zcela rozpadne.

Pro praxi z těchto poznatků vyplývá, že zrno kukuřice po horkovzdušném sušení vyžaduje velmi opatrné zacházení. Technologická doprava takového zrna by měla být omezena na nezbytné minimum a použitá dopravní zařízení by měla se zrnem zacházet co nejšetrněji.

Perspektivně by bylo třeba uvažovat o vhodnějším režimu sušení, který by umožnil pomalejší, popř. přerušované ohřívání zrna.

Literatura

- JINDAL, V. K. — HERUM, F. L. — MENSEH, J. K. A.: Effects of repeated freezing-thawing cycles on the mechanical strength of corn kernels. Trans. ASAE, 21, 1978, č. 2.
KATIC, Z.: Maiskornbeschädigung bei künstlicher Trocknung. Mühle u. Mischfutter-techn., 1973, sv. 110.
KUSTERMAN, M. — KUTZBACH, H. D.: Der Einfluss thermischer Vorbehandlung auf die statische Festigkeit von Maiskörnern. Grundl. Landtechn., 31, 1981, č. 5.

- SCHERER, R. — KUTZBACH, H. D.: Das Festigkeitsverhalten des Maiskorn. *Grundl. Landtechn.*, 28, 1978, č. 6.
- SRIVASTAVA, A. K. — HERUM, F. L. — BALASTREIRE, L. A.: Effect of freezing temperature treatment on rupture strength of corn kernels. *Trans. ASAE*, 19, 1976, č. 6.
- THÉR, M.: Změny pevnosti zrna pšenice při opakovaném mechanickém namáhání. *Zeměd. Techn.*, 28, 1982, č. 1, s. 47-56.
- THOMPSON, R. A. — FOSTER, G. H.: Stress cracks and breakage in artificially dried corn. *Dep. Agric. Mktg. Res. Rep.*, 1963, č. 631.
- WHITE, G. H. — ROSS, J. J.: Discoloration and stress cracking in white corn as affected by frying temperature and cooling rate. *Trans. ASAE*, 15, 1972, č. 3.

Došlo dne 1. 6. 1983

ТЭР, М. (Научно-исследовательский институт сельскохозяйственной техники, Прага - Ржепы): Изменения прочности зерна кукурузы под действием сушки горячим воздухом. *Zeměd. Techn.*, 30, 1984 (1) : 35-44.

Вручную обмолоченная кукуруза с начальной влажностью 29 — 24 % сушилась в лабораторной сушилке при температуре воздуха 50—120 °C в течение 15—180 минут. Динамическая прочность зерна (устойчивость к механическому повреждению при ударе) определялась на ударной центробежной установке, позволяющей проводить испытание массовой пробы. Результаты представлены на пространственной диаграмме с изображением влияния срока и температуры сушки на среднюю прочность зерна. С ростом температуры при постоянном сроке (времени) сушки понижается прочность зерна (это понижение можно выразить степенной функцией). С продлением срока действия тепла при постоянной температуре также понижается прочность зерна, причем приблизительно до 60 °C имеет место линейная зависимость, при более высоких температурах эта зависимость характеризуется степенной функцией. При высших температурах резко понижается прочность уже в первых минутах действия тепла, потом понижение уменьшается и при дальнейшей сушке оно бывает уже незначительным.

механические свойства зерна; повреждение зерна; тепловая нагрузка зерна

THÉR, M. (Research Institute of Agricultural Engineering, Praha-Rěpy): *Changes in Corn Grain Hardness during Hot-Air Drying*. *Zeměd. Techn.*, 30, 1984 (1) : 35-44.

Corn grains, hulled by hand, with the initial moisture content 29—24 % were dried in a laboratory drying equipment at the air temperature of 50—120 °C for 15—180 minutes. The dynamic hardness of grain (resistance to mechanical injury at impact) was determined on an impact centrifugal tester used for the tests of aggregate samples. The results are represented by a spatial diagram showing the influence of drying time and temperature on the average grain hardness. With increasing temperatures of drying at a constant time of drying grain hardness decreases, which can be expressed by an exponential function. The longer the time of exposure to a constant temperature, the lower the grain hardness: the relationship is linear up to 60 °C, at higher temperatures this relationship can be characterized by an exponential function. At the higher temperatures, a great decrease in hardness occurs already in the first minutes of exposure to heat, then the intensity of the decrease is smaller and at further exposure to heat, the decrease is minute.

mechanical properties of grain; grain injury; thermal stress of grain

Adresa autora:

Doc. ing. Miroslav Thér, CSc., Výzkumný ústav zemědělské techniky, 163 07 Praha 6 - Řepy

TEORETICKÉ PODKLADY PRO KONSTRUKCI PULSÁTORŮ S PLOCHÝM ŠOUPÁTKEM

F. Sinek

SINEK, F. (Agrozet, koncernový výzkumný ústav zemědělských strojů, Praha - Chodov): *Teoretické podklady pro konstrukci pulsátorů s plochým šoupátkem*. Zeměd. Techn., 30, 1984 (1): 45–58.

Práce se zabývá odvozením teoretických vztahů platných pro plochá šoupátka pulsátorů dojicích zařízení. Je motivována potřebou postavit pulsátory s vyšší úrovní provozních parametrů, zejména s vyšší stabilitou chodu. Řešení vychází z rozboru fyzikálních dějů při průchodu vzduchu pohybujícím se šoupátkem. Odvozené vztahy mají obecnější platnost. Vychází se z ověřené zkušenosti, že pro stavbu pulsátoru je základním kritériem délka doby, po kterou nabíhá podtlak do mezistěnných komor. Proto je odvozena diferenciální rovnice, která tento náběh popisuje. Její simulací na číslicovém počítači vznikly podklady pro volbu vhodných hodnot rozhodujících konstrukčních parametrů. Je také odvozen vzorec pro výpočet pulsačního poměru. Odvozené vztahy a výsledky simulací jednak slouží praktické potřebě, jednak tvoří základ matematického modelu chování šoupátkového pulsátoru.

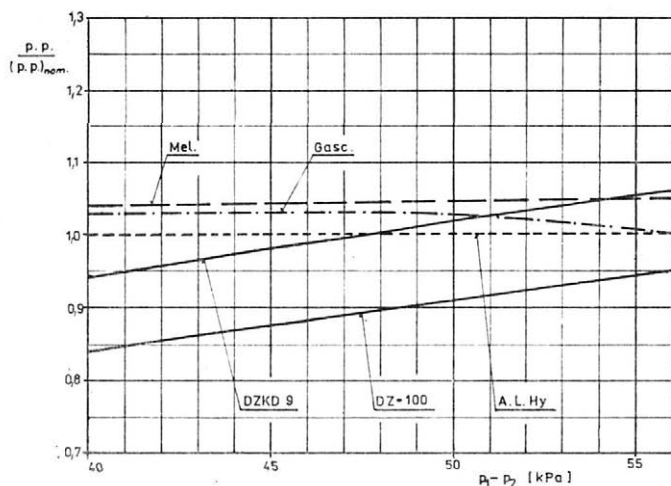
dojicí zařízení; pulsátor dojicího zařízení; matematické modelování zemědělských strojů

V konstrukci jednotkových pneumatických pulsátorů dojicích zařízení jsou v současné době používána zejména dvě řešení. V československé produkci se již desítky let využívá princip pulsátoru s volným ventilkem. V zahraničí v posledních deseti letech výrazně převládla řešení s plochým šoupátkem. Ploché šoupátko se prosadilo souběžně s růstem požadavků na přesnost a stabilitu chodu a provozních parametrů pulsátorů. Dosažení vhodných parametrů odůvodňuje i jejich vyšší výrobní cenu. Pro konstrukci československého pulsátoru s plochým šoupátkem zatím chybí podklady.

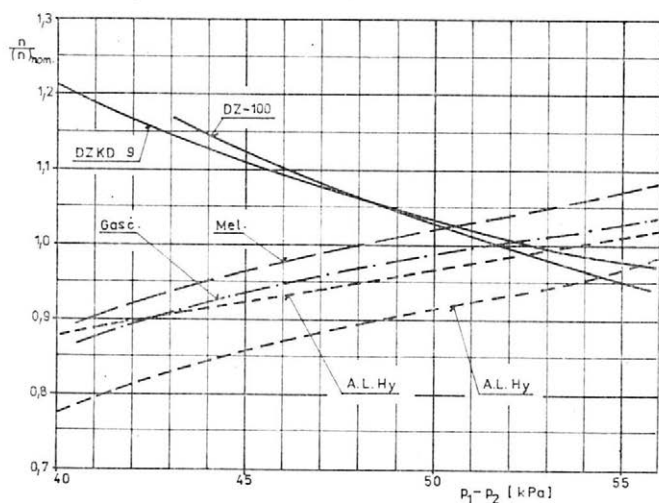
Stabilita provozních parametrů pulsátorů souvisí se stabilitou parametrů prostředí, v němž pracují. Z praxe je známo, že pulsátory s ventilkem jsou mnohem citlivější na znečištěný vzduch a méně závislé na teplotě vzduchu než pulsátory se šoupátkem. Závislost na teplotě nespočívá ovšem s plochým šoupátkem, ale se změnou viskozity kapaliny používané v pohonu šoupátek některých výrobků. Největší vliv má ovšem nestabilita pracovního podtlaku, která objektivně existuje a u některých typů dojicích zařízení bývá značná. Na obr. 1 a 2 jsou zakresleny závislosti pulsačního poměru a pulsační frekvence na podtlaku (Souček, 1967a; Sinek, 1969, 1972; Čánek, 1982). Porovnatelnost je zajištěna vynášením poměru naměřených hodnot k hodnotám nominálním (platným pro dané pulsátory). Z obr. 2 je vidět, že oba druhy pulsátorů se liší v charakteru závislosti na podtlaku. Zatímco u ventilkových pulsátorů (DZ-100, DZ9K) frekvence s rostoucím podtlakem klesá, u šoupátkových (Gascoigne, Melotte a Alfa-Laval-Hydropuls) naopak stoupá. Absolutní hodnota změny se u obou typů dost liší. Numericky činí např. při poklesu podtlaku z 50 na 45 kPa změna frekvence u ventilkových pulsátorů 8 a 10 %, nominální hodnoty, zatímco u šoupátkových jen 4 a 6 %.

Obr. 1 ukazuje, že pulsační poměr u šoupátkových pulsátorů je téměř nezávislý na podtlaku. Při poklesu z 50 na 45 kPa je u nich změna pulsačního poměru nejvýše několik promile nominální hodnoty, zatímco u sledovaných ventilkových pulsátorů činí 3,5 a 4,0 %.

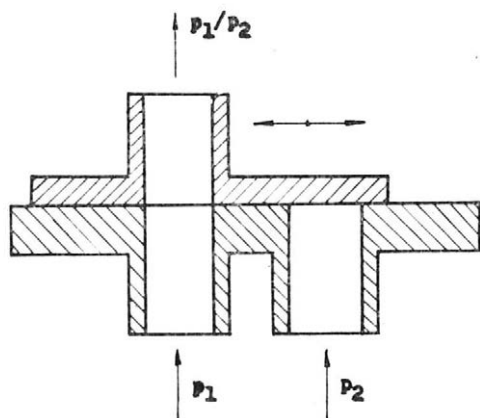
Porovnání ukazuje, že použitím plochého šoupátka lze dosáhnout výrazně lepší stability provozních vlastností pneumatických pulsátorů závislých na provozním podtlaku. Zkušební zpráva



1. Závislost pulsačního poměru na pracovním podtlaku pro pulsátory různých typů (plně — pulsátory ventilkové; čárkovaně a čerchovaně — pulsátory šoupátkové); jsou vyneseny poměrné hodnoty vztahované k nominálním — The dependence of pulsation ratio on the working vacuum for different types of pulsators (solid line: pulsators with free valves; dashed and dot-and-dash line: pulsators with flat valves); relative values are plotted in relation to the nominal values



2. Závislost frekvence na pracovním podtlaku pro pulsátory různých typů — The dependence of frequency on the working vacuum for pulsators of different types



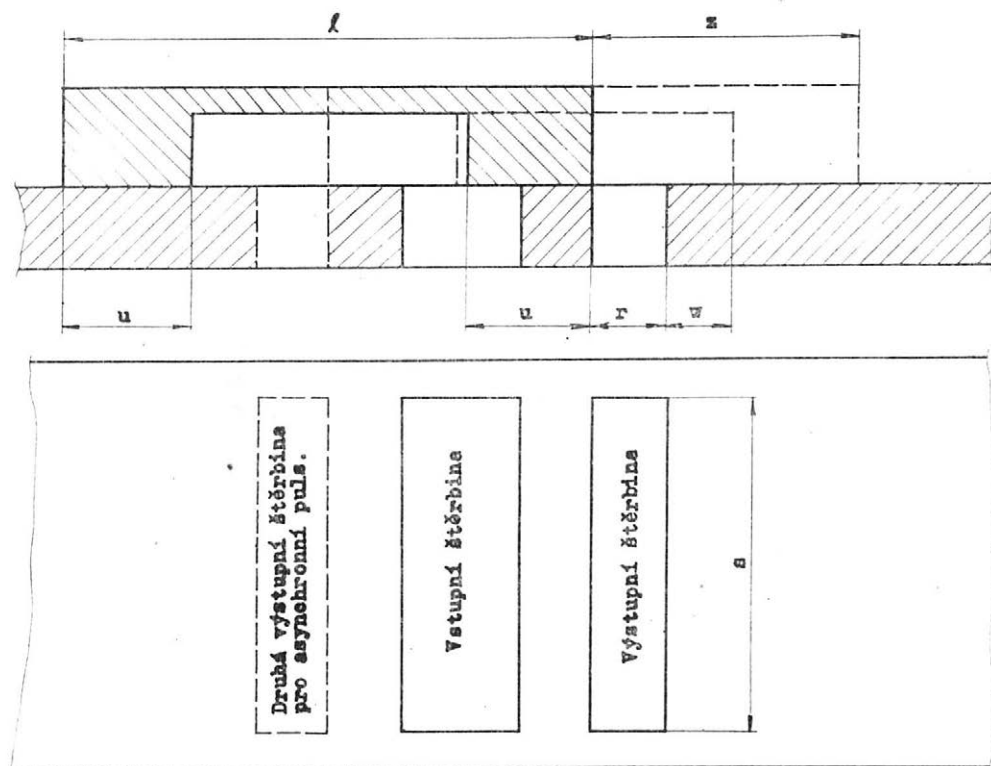
3. Nejjednodušší fyzikální představa pulsátoru s plochým šoupátkem — The simplest physical design of a pulsator with a flat gate valve

(Machine milking pulsators, 1976) tyto závěry potvrzuje. Dále z ní vyplývá, že většina známých výrobců již dala principu se šoupátkem přednost a že tyto pulsátory jsou schopné udržet si provozní parametry po dlouhou dobu — více než 2000 provozních hodin.

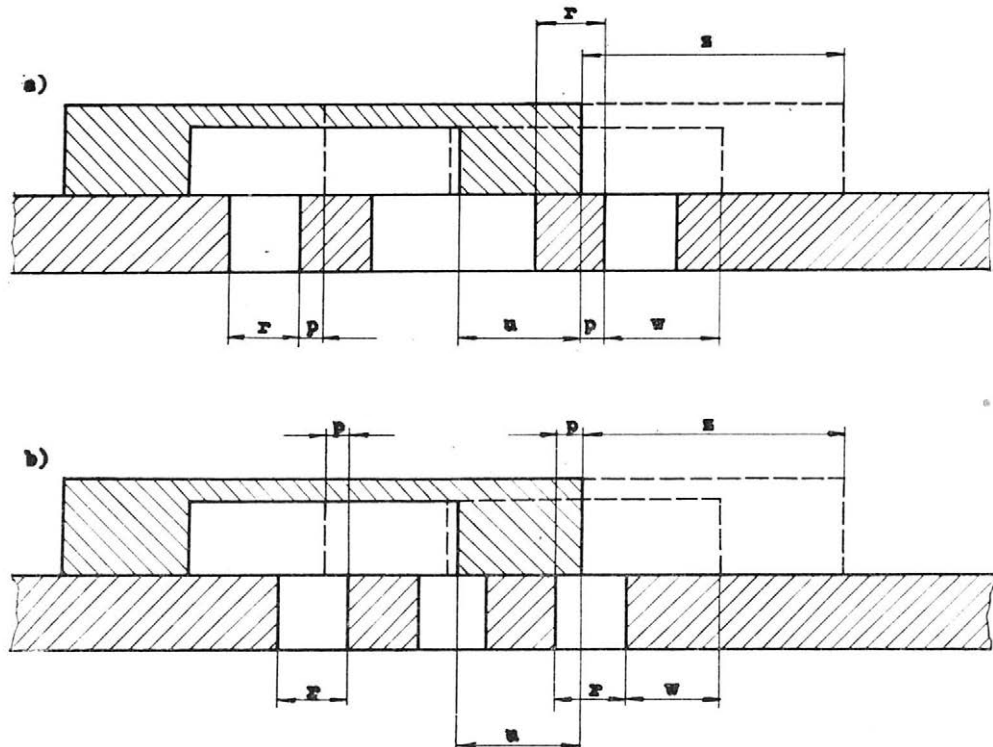
Funkčně je současný šoupátkový pulsátor tvořen dvěma vzájemně spojenými ústroji. První ústrojí přerušovaně rozvádí podtlak (vlastní ploché šoupátko), druhé tvoří pro tuto činnost pohon. Rozvod je téměř jednotně řešen plochým šoupátkem s obdélníkovými otvory. V podstatě je ploché šoupátko realizací nejjednodušší fyzikální představy funkce pulsátoru, tj. střídavého připojování zdrojů podtlaku a atmosférického tlaku k mezistěnným komorám strukových násadců (obr. 3). Známá řešení pohonu již nejsou tak uniformní, i když se nejvíce prosadil pohon založený na využití rozdílu tlaků působících na gumové membrány. V konstrukci pulsátorů je řešení pohonu šoupátka velmi důležitou složkou. Jsou známa různá řešení, která však jsou chráněna. Nová konstrukce musí být tedy originální. Šoupátko lze ovládat jak pneumaticky (což je běžné), tak mechanicky (používá se někdy u dojíren), ale i elektricky apod. Většina jeho parametrů nezávisí na typu pohonu. Z hlediska přesnosti a stability chodu pulsátorů jsou výhodná řešení, jejichž šoupátka se po většinu zdvihu pohybují rovnoměrně.

ODVOZENÍ ZÁKLADNÍCH VZTAHŮ A ROVNIC PRO PLOCHÉ ŠOUPÁTKO

Tvar a parametry plochého šoupátka, ovlivňující jeho funkci, jsou znázorněny na obr. 4. Poloha a rozměry otvorů v šoupátku a v protikusu jednoznačně určují pulsační poměr. Mezinárodní norma ISO 3918 (1977) zavádí hodnocení pulsačního poměru z průběhu podtlaku v mezistěnné komoře způsobem uvedeným na obr. 6. Je to způsob pro potřeby této práce výhodný, neboť vyhodnocované parametry přímo souvisí s ději v pulsátoru.

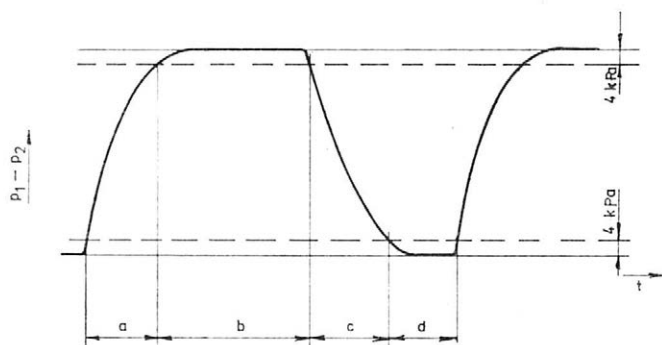


4. Schéma jednoduchého plochého šoupátka s označením hlavních funkčních rozměrů — A diagram of a simple flat gate valve with the indication of the main functional dimensions

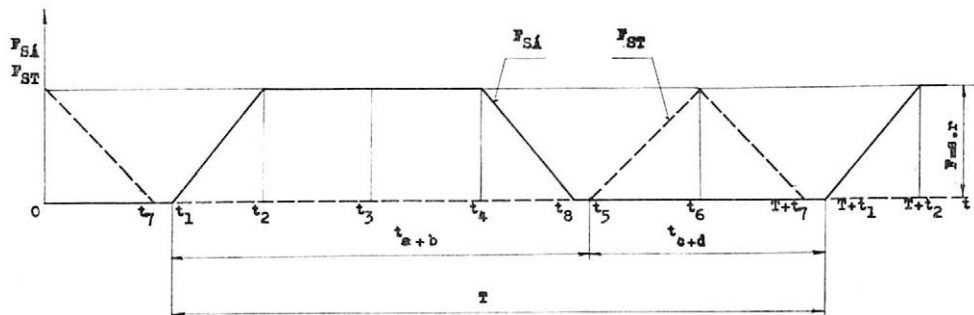


5. Schéma šoupátka, které v úvratí: a) přebíhá přes hranu výstupního otvoru o hodnotu p ; b) nedobíhá až k hraně výstupního otvoru o hodnotu p — A diagram of a gate valve which in the dead centre: a) runs over the edge of the outlet hole by value p ; b) fails to reach the edge of the outlet hole by value p

Vztah mezi pulsačním poměrem a parametry šoupátka je v dalším odvozen za zjednodušujícího předpokladu, že rychlost jeho posuvu je v průběhu celého zdvihu stálá. Tento předpoklad je možný a kvalitní šoupátkové pulsátory tlumené kapalinou jej dobře splňují. Při rovnoměrném pohybu šoupátka je doba, po kterou trvá stisk i sání, dána rozměry označenými v obr. 4 a 5 (r, u) a velikostí zdvihu (z). Obr. 4 představuje případ, kdy se vnější hrany šoupátka v každé úvratí kryjí s vnitřní hranou výstupního otvoru v protikusu. Pokud k této situaci nedojde, závisí hodnota pulsačního poměru i na velikosti překrytí či nedokrytí (obr. 5) o velikosti p . Pulsační poměr je podle ISO 3918 (1977) definován



6. Způsob vyhodnocení charakteristiky pulsátoru podle ISO 3918 — The method of evaluating the characteristics of a pulsator according to ISO 3918



7. Průběh velikosti plochy průřezu F_2 v šoupátku ve fázi sání — F_{SA} a ve fázi stisku — F_{ST} (odpovídá předpokladu konstantní rychlosti pohybu šoupátka o $p = 0$; značky t_i jsou označeny časové úseky od začátku, kdy $t = 0$) — Cross-section areas F_2 in the gate valve in the phase of suction — F_{SA} and in the phase of compression (F_{ST}), meeting the assumption of constant speed of gate valve movement by $p = 0$; symbols t_i indicate the time from start when $t = 0$

$$\pi = \frac{a + b}{a + b + c + d} \cdot 100 \% \quad (1)$$

Podle obr. 4 a 5 lze sestavit tab. I. Obecně je pro tato uspořádání pulsační poměr funkcí

$$\pi = f(u, r, z, p) = \frac{t_{a+b}}{t_{a+b} + t_{c+d}} \cdot 100$$

Pro $p = 0$ je z tab. I

$$\pi = \left(1 - \frac{u + r}{2z} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

Tím, že šoupátko přechází přes hranu (resp. když vnější hrana šoupátka přechází v úvrtí přes vnitřní hranu výstupního otvoru), prodlužuje se fáze stisku, tj. úsek $c + d$, na úkor fáze sání, tj. úseku $a + b$. Nedochází-li šoupátko až k vnitřní hraně výstupního

I. Odvození vzorců pro pulsační poměr pulsátorů s plochým šoupátkem tlumených kapalinou (π — pulsační poměr podle ISO 3918) — Derivation of formulae for the pulsation ratio of pulsators with a flat gate valve with liquid damping (π — pulsation ratio after ISO 3918)

	Hrana šoupátka se v úvrtí kryje s hranou výstupního otvoru (obr. 6)	Hrana šoupátka v úvrtí přechází přes hranu výstupního otvoru (obr. 7)	Hrana šoupátka v úvrtí nedochází ke hraně výstupního otvoru (obr. 7)
$w =$	$z - u - r$	$z - u - r - p$	$z - u - r + p$
$a + b =$	$(z - u) + (w + u)$	$(z - p - u) + (w + u)$	$(z - u + p) + (w + u)$
$c + d =$	$(u) + (r)$	$(p + u) + (r + p)$	$(u - p) + (r - p)$
$a + b + c + d =$	$2z$	$2z$	$2z$
$\pi =$	$\frac{2z - (u + r)}{2z} \cdot 100$	$\frac{2z - (u + r) - 2p}{2z} \cdot 100$	$\frac{2z - (u + r) + 2p}{2z} \cdot 100$

otvoru, je tomu naopak — stisk se zkracuje a sání prodlužuje. Pulsační poměr je potom vyjádřen výrazem

$$\pi = \frac{2z - (u + r) - 2p}{2z} \cdot 100 \quad (3)$$

kde: p — číslo kladné v případě, že šoupátko v úvrati přechází dále přes hranu výstupního otvoru (obr. 5a)

p — číslo záporné v případě, že šoupátko v úvrati nedochází až k hraně výstupního otvoru (obr. 5b)

Výraz (3) lze upravit

$$\pi = \left(1 - \frac{u + r}{2z} - \frac{p}{z} \cdot 100 \right) = (\pi)_{p=0} - \frac{p}{z} \cdot 100 \quad (4)$$

neboli pulsační poměr se v případě $p \neq 0$ změní o hodnotu $+$ nebo $-\frac{p}{z} \cdot 100$.

Překrytí nebo nedokrytí může být funkční pouze za předpokladu, že $p < u - r$. Rozměry šterbiny r a s je třeba důsledně volit tak, aby:

1. $s > r$ (z důvodů co nejrychlejšího otevření průtočných průřezů);

2. plocha průřezu $F_2 = s \cdot r$ byla dostatečná pro průtok potřebného množství vzduchu. Protože šterbina je zpravidla v protikusu šoupátka nejužším místem, kterým vzduch při náběhu sání, tj. ve fázi a , protéká, musí být plocha F_2 určena tak, aby např. při požadavku na dobu náběhu sání kratší než 10 % doby trvání pulsu bylo $t_a < 0,1 \cdot T$.

Pro přibližně konstantní rychlost pohybu šoupátka se otevírají a zavírají otvory v protikusu postupně a obdélníková plocha průřezu F_2 se mění v průběhu každého zdvihu tak, jak je naznačeno na obr. 7. Pro délky časových úseků t_i (podle obr. 5 a 7) platí (je-li $p = 0$):

$$\begin{array}{ll} t_1 \dots x = u & t_1 = \frac{u}{\dot{x}} \\ t_2 \dots x = u + r & t_2 = \frac{u + r}{\dot{x}} \\ t_3 \dots x = u + r + w = z & t_3 = \frac{z}{\dot{x}} = \frac{T}{2} \\ t_4 \dots x = z + w & t_4 = \frac{z + w}{\dot{x}} \\ t_5 \dots x = z + w + r = 2z - u & t_5 = \frac{2z - u}{\dot{x}} \\ t_6 \dots x = 2z & t_6 = \frac{2z}{\dot{x}} = 2t_3 = T \\ t_7 \dots x = r & t_7 = \frac{r}{\dot{x}} \\ t_8 \dots x = z + w + u = 2z - r & t_8 = \frac{2z - r}{\dot{x}} \end{array} \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
 t_{a+b} &= t_8 - t_1 = \frac{2z - r - u}{\dot{x}} = \frac{z + w}{\dot{x}} \\
 t_{c+d} &= T + t_1 - t_8 = \frac{2z + u - 2z + r}{\dot{x}} = \frac{u + r}{\dot{x}} \\
 T &= \frac{2z}{\dot{x}}
 \end{aligned} \tag{6}$$

Modifikace obr. 7 i vztahů (5) pro případ $p \neq 0$ je snadná. Pokud není splněn předpoklad konstantní rychlosti šoupátka, tj. $\dot{x}(t) = \text{konst.}$, vztahy (2) až (7) neplatí. Časy t_i ve vzorcích (5) a (6) se potom určí jako

$$t_i = \int_0^{x_i} \frac{dx_i}{\dot{x}(t)} \tag{7}$$

kde: x_i — odpovídá označení x ve vztahu (5) a (6)

Základní vlastností plochých šoupátek je postupné otevírání průtočných průřezů, což významně ovlivňuje délku náběhů jak sání, tak stisku. V principu jde o to, že v době, kdy tlakový spád mezi mezistěnnými komorami a vývěvou je největší (tj. na začátku průtoku), je průtočný průřez nepatrný a naopak. Aby se dalo odvodit, jaký je vztah mezi délkou náběhu — především sání — a dobou otevření příslušných průřezů šoupátka, lze přijmout předpoklad, že plocha průřezu v šoupátku je výrazně nejužší v cestě vzduchu od mezistěnných komor k vývěvě, nebo od pulsátoru zpět k mezistěnným komorám. Dále lze dobře předpokládat, že oba zdroje, tj. zdroj podtlaku a zdroj atmosférického tlaku, jsou tvrdé. Při výtoku vzduchu z uzavřeného objemu V , kde je tlak p , hustota ρ (počáteční hodnoty p_1, ρ_1), do prostoru o stálém tlaku p_2 a odpovídající hustotě ρ_2 , je výtaková rychlost beze ztrát

$$w_2^2 = \frac{2k}{k-1} \cdot \frac{p_2}{\rho_2} \left[\left(\frac{p}{p_2} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \tag{8}$$

Vztah (8) platí pro adiabatický výtok termodynamicky ideálního plynu — takový průtok je izoentropický a ze zákona zachování energie vyjde vztah (8) (Kalčík, 1963). Vliv tření (odporů) se vyjadřuje tzv. rychlostním součinitelem φ tak, že skutečná rychlost vzduchu

$$w_2' = \varphi \cdot w_2, \quad \varphi < 1 \tag{9}$$

V důsledku kontrakce proudu je průřez proudu menší než fyzická hodnota F_2 . Vyjádřeno pomocí součinitele kontrakce μ , je skutečná plocha $\mu \cdot F_2$. Výtok z prostoru V skončí při náběhu sání v okamžiku, kdy se tlak v tomto prostoru p vyrovná s vnějším tlakem p_2 . Z bilance protékajícího množství vzduchu plyne

$$\int_t^{t_a} \rho_2 \cdot w_2' \cdot \mu \cdot F_2 \cdot dt = V \cdot (\rho - \rho_2) = V \cdot \left[\left(\frac{p}{p_2} \right)^{\frac{1}{k}} - 1 \right] \cdot \rho_2, \tag{10}$$

protože platí:

$$p_1 \cdot \rho_1^{-k} = p_2 \cdot \rho_2^{-k} = p \cdot \rho^{-k} = \text{konst.} \tag{11}$$

Po derivaci vztahu (10) podle času vyjde

$$\frac{-w_2' \cdot \mu \cdot F_2 \cdot p_2}{V} = \frac{1}{k} \cdot \left(\frac{p}{p_2}\right)^{\frac{1-k}{k}} \cdot \frac{dp}{dt} \quad (12)$$

Je výhodné položit $\frac{p}{p_2} = P$

$$k_2 = \mu \cdot \varphi \cdot k \cdot \frac{2k}{k-1} \cdot \frac{p_2}{\varrho_2} \quad (13)$$

a po dosazení vztahů (13) a (8) do rovnice (12) vyjde

$$\frac{dP}{dt} = - \frac{F_2 \cdot k_2}{V} \cdot P^{\frac{1-k}{k}} \cdot \left(1 - P^{\frac{1-k}{k}}\right) \quad (14)$$

Tato diferenciální rovnice může být řešena pro fázi náběhu sání (růstu podtlaku) s počáteční podmínkou: v čase $t = 0$ je $P_0 = \frac{p_1}{p_2}$. Reálné hodnoty součinitelů φ a n lze určit pouze empiricky. Jejich hodnoty závisí jak na tvaru otvoru, tak na rychlosti průtoku. Podle Kalčíka (1963) se součinitel kontrakce obvykle pohybuje v rozmezí $\mu = (0,6 \text{ až } 0,85)$. Rychlostní součinitel pak pro zužující se nátrubek v mezích $\varphi = (0,8-0,95)$, pro šoupátko bude zřejmě menší.

Rovnice (14) popisuje náběh podtlaku do objemu velikosti V , který je vedle mezi-stěnných komor tvořen také soustavou hadic a zahrnuje i změnu objemu, způsobenou deformací strukových gum, ale tato změna je zanedbatelná. Průřez F_2 se otevírá postupně z nulové hodnoty na plný průřez (obr. 7). Začíná-li náběh sání v čase $t = 0$, platí pro obdélníkovou plochu F_2 :

$$F_2 = \dot{x}(t) \cdot t \cdot s \quad \text{pro } 0 \leq t < \frac{r}{\dot{x}(t)} = \frac{30 \cdot r}{z \cdot n} \quad (15)$$

$$F_2 = r \cdot s \quad \text{pro } \frac{r}{\dot{x}(t)} < t$$

$$\text{Zřejmě platí } \dot{x}(t) = \frac{2 \cdot z \cdot n}{60}$$

Vzhledem ke vztahu (15) má rovnice (14) tvar

$$\frac{dP}{dt} = - \frac{k_2}{V} \cdot \frac{z \cdot n \cdot s}{30} \cdot t \cdot P^{\frac{1-k}{k}} \left(1 - P^{\frac{1-k}{k}}\right)$$

za předpokladu, že

$$0 \leq t = \frac{r \cdot 30}{z \cdot n} \quad (16)$$

$$\frac{dP}{dt} = - \frac{k_2}{V} \cdot r \cdot s \cdot P^{\frac{1-k}{k}} \left(1 - P^{\frac{1-k}{k}}\right)$$

za předpokladu, že $t > \frac{r \cdot 30}{z \cdot n}$.

Řešením diferenciální rovnice (16) na číslicovém počítači lze získat — simulovat — vliv základních konstrukčních parametrů šoupátka na proces výměny vzduchu. Tak se zjistí potřebné hodnoty parametrů pro dané podmínky a může se vyhovět zadaným požadavkům. Délka náběhu sání (růstu podtlaku) je u pulsátorů dojících zařízení kritická.

S ní souvisí většina důležitých rozměrů, a proto je tento vztah také odvozen a používán jako výchozí rovnice.

Množství vzduchu protékající šoupátkem popisuje hmotnostní průtoková veličina názornější než průtoková veličina objemová. Její velikost není závislá na okamžité hodnotě tlaku p_2 .

Pro okamžitý průtok platí

$$Q = \mu \cdot F_2 \cdot w_2 \cdot \rho_2 \quad (17)$$

Po dosazení za w_2 ze vztahů (8) a (9) a za F_2 ze vzorce (15) dostaneme

$$Q = \mu \cdot z \cdot n \cdot s \cdot \frac{t}{30} \cdot \varphi \cdot \frac{2 \cdot k \cdot p_2}{(k-1) \cdot \rho_2} \cdot \left(P - 1 \frac{k-1}{k} \right) \quad (18)$$

Po vyrovnaní tlaků, tj. pro $P = 1$, je $Q = 0$. Je zřejmé, že musí platit

$$\int_0^T Q \cdot dt = V \cdot \rho_1 \left(1 - \frac{p_2}{p_1} \right) \quad (19)$$

tj. celkové množství vzduchu proteklého při náběhu podtlaku šoupátkem se musí rovnat množství vzduchu, které ubylo v prostoru V . Tento úbytek je s použitím Boyle-Mariottetova zákona dán rozdílem

$$V \cdot \rho_1 - V \cdot \rho_2 = V \cdot \rho_1 \left(1 - \frac{p_2}{p_1} \right)$$

PŘÍKLAD POUŽITÍ ODVOZENÝCH VZTAHŮ

Platnost vzorců (2) a (3) byla ověřena na dvou typech pulsátorů. Parametry jejich šoupátek, odměřené na dostupných vzorcích (vždy jeden kus), jsou uvedeny v tab. II. Shoda hodnot určených výpočtem s nominálními údaji udávanými výrobcí je velmi dobrá a vzorce (2) a (3) mohou být při návrhu nových pulsátorů využívány.

Rovnice (16) je diferenciální rovnicí 1. řádu. Byla řešena numericky na číslicovém počítači pro vybraný vzorek pulsátoru, jehož parametry jsou uvedeny v tab. III a výsledky řešení na obr. 8 až 11. Monotónní průběh řešení nekladl na vlastnosti podprogramu vysoké nároky. Rovnice byla řešena s konstantními hodnotami $k = 1,4$; $p_2 = 47\,344$ Pa; $\rho_2 = 0,072$ kg·m⁻³; $p_1 = 97\,992$ Pa; $r = 0,0032$ m. Po dosazení za k_2 z rovnice (13)

II. Porovnání teoretických a skutečných hodnot pulsačního poměru dvou vzorků pulsátorů s plochým šoupátkem, tlumených kapalinou — Comparison of the theoretical and actual values of pulsation ratio of two pulsators with flat gate valve with liquid damping

Pulsátor	Parametry šoupátka [mm]				Pulsační poměr		Poznámka
	r	u	z	p	nominální	π	
Vzorek č. 1	3,2	3,6	10,2	-0,03	70,0	69,7	naměřeno 70,7
Vzorek č. 2	3,0	5,2	10,0	0	60,0	59,0	—

V	μ	φ	z	n	s
$3,688 \cdot 10^{-4}$	0,65	0,8	0,0102	60	0,02

měla rovnice (16) tyto parametry: V, μ, φ, z, n, s . Jejich výchozí hodnoty jsou uvedeny v tab. III.

Opakovaným řešením rovnice (16) pro různé kombinace parametrů byly získány průběhy tlaku v prostoru V (odpovídá mezistěnným komorám) v čase. Dvě ukázky jsou na obr. 8 a 9.

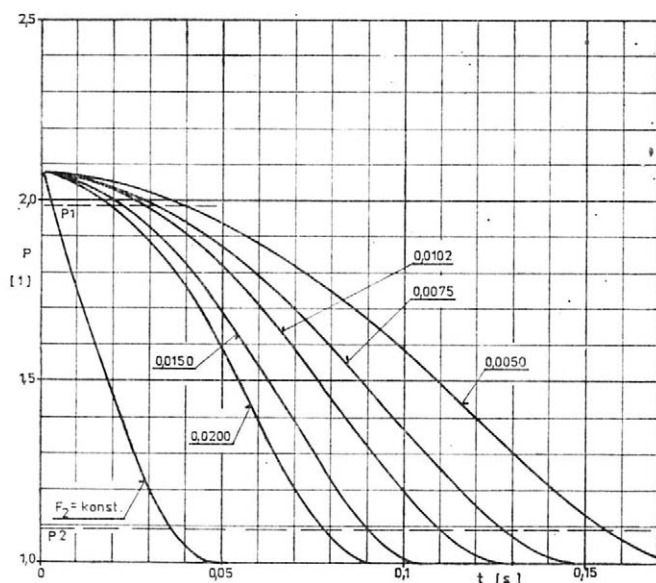
Řešení probíhalo vždy s počáteční podmínkou $P = \frac{p_1}{p_2} = 2,07$ a končilo v okamžiku, kdy se hodnota P přiblížila k jedné, resp. prakticky pro $P = 1,0001$.

Doba náběhu sání (růstu podtlaku) t_a se podle ISO určuje jako doba mezi dvěma mezními hodnotami poměru P , a to P_1 a P_2 . Norma ISO 3918 stanoví tyto hodnoty takto:

$$P_1 = \frac{p_1 - 4000}{p_2}; \quad P_2 = \frac{p_2 + 4000}{p_2} \quad (20)$$

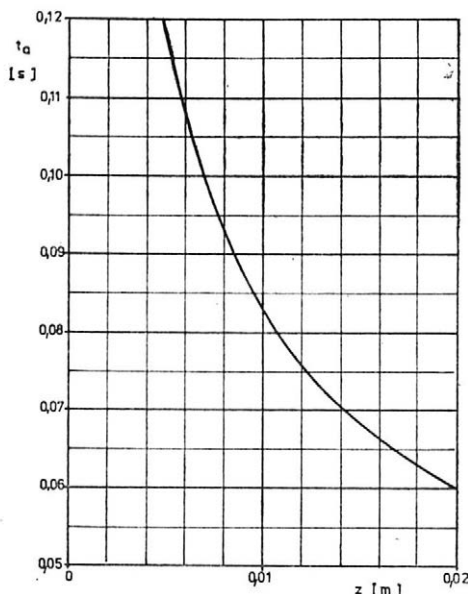
Po dosazení za p_1 a p_2 vyjde $P_1 = 1,98593$ a $P_2 = 1,08452$. Hodnoty součinitelů μ a φ nemohly být změřeny. Proto byly zvoleny tak, aby pro ostatní parametry, odpovídající skutečným poměrům, byla výsledná hodnota $t_a = 0,08$ s. V praxi se obtížně určují oba součinitele odděleně. Jednodušší a pro dané účely plně postačující je určovat hodnotu jejich součinu. Ze simulace rovnice (16) pro různé hodnoty součinu $\mu \cdot \varphi$ vyplynulo, že $t_a = 0,08$ odpovídá $\mu \cdot \varphi \approx 0,5$. Proto byly zvoleny za výchozí hodnoty $\varphi = 0,8$ a $\mu = 0,65$, což dává $\mu \cdot \varphi = 0,52$.

Ukázka průběhu $P = P(t)$ jako řešení rovnice (16) pro hodnoty parametrů z tab. III je na obr. 8 a 9. Dále je v obr. 8 pro srovnání zakreslen náběh pro hypotetický případ,



8. Ukázka průběhu poklesu tlaku ve fázi stoupajícího podtlaku pro různé hodnoty zdvihu šoupátka z . Hodnoty ostatních parametrů odpovídají výchozí alternativě podle tab. III (křivka $F_2 = \text{konst.}$ platí pro hypotetický případ, kdy průřez v šoupátku je otevřen okamžitě) — A graph of a decrease in pressure in the phase of increasing vacuum for different values of gate valve lift z . The values of the other parameters correspond to the starting alternative in Tab. III (curve $F_2 = \text{const.}$ holds good for the hypothetical case when the cross-section in the gate valve is opened immediately)

9. Závislost délky fáze stoupajícího tlaku t_a na délce zdvihu šoupátka z (hodnoty ostatních parametrů odpovídají výchozí alternativě podle tab. III) — The dependence of the phase of increasing pressure t_a on the time of gate valve lift z (the values of the remaining parameters correspond to the starting alternative in Tab. III)

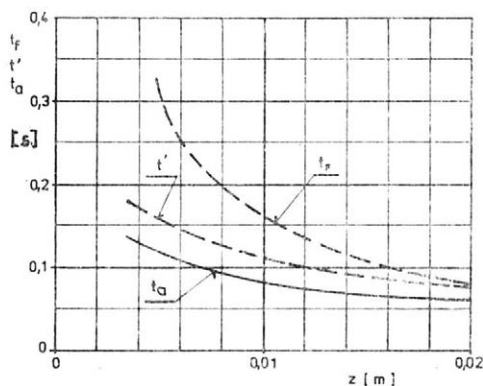


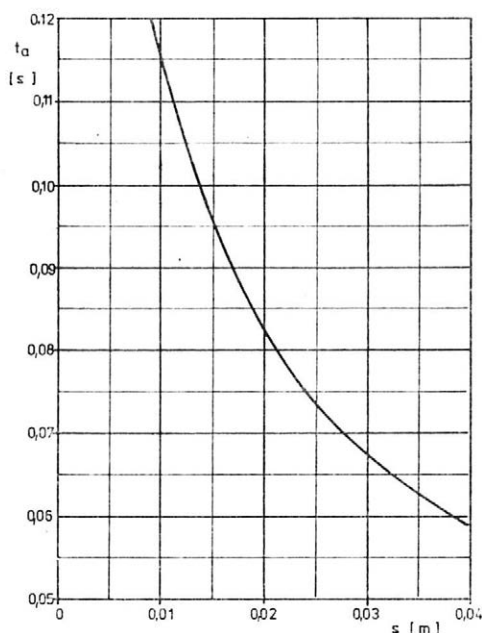
kdy plocha průřezu F_2 je okamžitě v počátku plně otevřena (odpovídá nekonečné rychlosti pohybu šoupátka). Je vidět, že postupné otevírání průřezu F_2 se významně podílí na prodlužování doby náběhu tlaku, zejména na začátku, kdy je sice tlakový spád největší, ale průřez F_2 je tak malý, že nedovolí protéci většímu množství vzduchu.

Při dané frekvenci n je délka zdvihu z nepřímo úměrná rychlosti $\dot{x}$. Je zřejmé, že rychlost pohybu šoupátka ovlivňuje délka náběhu t_a . Obr. 8 dává obraz o charakteru této závislosti. Zjevně platí: zvyšování délky zdvihu (což se rovná snižování rychlosti) prodlužuje dobu náběhu podtlaku. Z obr. 10 dále plyne, že pro daný pulsátor vždy platí, že náběh sání se uskuteční dříve, než se plně otevře průřez v šoupátku. Čas t' v obr. 10 je doba od začátku otevírání šoupátka až k poklesu podtlaku na hodnotu P_2 . To znamená, že otvory v šoupátku a v dalších průřezích jsou dimenzovány tak, že jejich průřezové plochy jsou větší, než je třeba pro vyměňovaný objem dané velikosti, daného času t_a a počátečního tlakového spádu; hodnoty P_2 , resp. času t' , je dosaženo využitím průřezu, který je menší než $F_2 = r \cdot s$. Z praktických hledisek je toto řešení výhodné. Pulsátor potom není vázán pouze na jeden typ dojíací soupravy, ale může pracovat i s většími objemy.

Pro praktické využití je výhodné vynést z obr. 8 závislost t_a na z přímo (obr. 9). Odtud lze nalézt potřebnou hodnotu z pro dosažení požadované délky náběhu sání,

10. Závislost délky fáze stoupajícího podtlaku — t_a , délky doby do úplného otevření průřezu F_2 — t_F a délky doby od začátku otevírání šoupátka do poklesu tlaku na hodnotu P_2 — t' na velikosti zdvihu šoupátka z — The dependence of the phase of increasing vacuum t_a , of the time to full opening of section F_2 — t_F , and of the time from start of gate valve opening to pressure drop to the value of P_2 — t' upon the lift of the valve z





11. Závislost délky fáze stoupajícího podtlaku t_a na šířce šterbiny v šoupátku s (hodnoty ostatních parametrů odpovídají výchozí alternativě podle tab. III) — The dependence of the phase of increasing vacuum t_a on the width of the slit in gate valve s (the values of the remaining parameters correspond to the starting alternative in Tab. III)

kteřá má mimo jiné také svou přirozenou hranici, danou nutností dosáhnout plného rozevření strukových gum ve fázi sání.

Ne vždy je možné ovlivňovat tvar charakteristiky rychlosti pohybu šoupátka. U hotových konstrukcí není tento postup prakticky možný. Lze však dobře měnit šířku šterbiny s . Jak se tato změna projeví, ukazuje obr. 11.

Takto lze získat podklady a údaje pro odůvodněný návrh plochého šoupátka nových pulsátorů. Odvozené vztahy dále tvoří podklady k sestavení matematického modelu celého pulsátoru, kterým by se ověřil princip a schopnost návrhu pulsátoru dosáhnout zadaných parametrů při optimálních hodnotách konstrukčních parametrů.

ZÁVĚR

Odvozené vztahy a rovnice mají praktické určení. Mají tvořit podklady pro konstrukci. Práce byla vyvolána aktuální potřebou, danou stále rostoucími nároky na provozní parametry pulsátorů dojících zařízení. Tyto nároky v principu mohou splnit šoupátkové pulsátory.

Metody matematického modelování dovolují získat konstrukční podklady ještě před zahájením vlastního vývoje. Nemohou dát odpověď na všechny otázky. Jsou-li však účelně využívány, přinášejí efekt v úspoře času i nákladů. Takto byly pojaty i práce popsané v tomto článku. Jsou součástí procesu vývoje nového prvku a uvedené výsledky tvoří jednak součást konstrukčních podkladů, jednak budou dále rozvíjeny a rozšiřovány podle praktických potřeb.

Jsou odvozeny vzorce pro výpočet pulsačního poměru v závislosti na konstrukčních parametrech šoupátka. Výsledky jejich konfrontace se skutečnými hodnotami jsou velmi dobré.

Základním kritériem pro stavbu šoupátka je délka náběhu podtlaku do mezistěnných komor. Odvozené vztahy dovolují určit (vybrat) hodnoty konstrukčních parametrů pro konkrétní případ. Použití je ilustrováno ukázkou řešení konkrétního případu.

Použitá označení

a	— poměrná délka fáze stoupajícího podtlaku [7], také náběhu sání, [%]
b	— poměrná délka fáze maximálního podtlaku [7], [%]
c	— poměrná délka fáze klesajícího podtlaku [7], také náběhu stisku, [%]
d	— poměrná délka fáze minimálního podtlaku [7], [%]
F_2	— plocha průtočného průřezu šoupátka, [m ²]
k	— Poissonova konstanta (poměr měrných tepel), [1]
k_2	— součinitel — def (13, [m.s ⁻¹])
n	— frekvence pulsátoru (počet pulsů za minutu), [min ⁻¹]
p	— tlak, [Pa]
p	— přesah šoupátka v úvrati (obr. 7), [m]
P	— poměr tlaků, [1]
p_1	— barometrický tlak, [Pa]
p_2	— nominální pracovní tlak pulsátoru, [Pa]
P_1, P_2	— mezní hodnoty poměru P pro vyhodnocení úseků a, b, c, d podle [7], [1]
Q	— okamžitý hmotnostní průtok, [kg.s ⁻¹]
r	— délka obdélníkové štěrby v tělese šoupátka, [m]
s	— šířka obdélníkové štěrby v tělese šoupátka, [m]
t	— čas, [s]
$t_a (t_b, t_c, t_d)$	— doba trvání úseku $a (b, c, d)$ charakteristiky [s]
t_{a+b}	— doba trvání úseků a a b , [s]
t_{c+d}	— doba trvání úseků c a d , [s]
t_F	— doba do plného otevření průřezu šoupátka, [s]
t'	— doba od začátku otevírání šoupátka do poklesu tlaku na hodnotu P_2 , [s]
T	— doba jednoho pulsačního cyklu, [s]
t_i	— časové úseky — viz obr. 9, [s]
u	— vzdálenost sousedních hran vstupní a výstupní štěrby v tělese šoupátka, [m]
V	— pulsátorem vyměňovaný objem, [m ³]
w	— pomocná veličina (viz tab. I), [m]
w_2	— ideální rychlost vzduchu vytékajícího z prostoru v průřezu F_2 , [m.s ⁻¹]
w_2'	— skutečná rychlost w_2 respektující ztráty třením, [1]
x	— souřadnice posuvu šoupátka, [m]
$\dot{x}$	— rychlost (okamžitá) šoupátka, [m.s ⁻¹]
z	— zdvih šoupátka, [mm]
μ	— součinitel kontrakce proudu, [1]
π	— pulzační poměr, [1]
φ	— rychlostní součinitel, [1]
ϱ	— měrná hmotnost, [kg.m ⁻³]
ϱ_1	— měrná hmotnost vzduchu při barometrickém tlaku, [kg.m ⁻³]
ϱ_2	— měrná hmotnost vzduchu při tlaku p_2 , [kg.m ⁻³]

Literatura

- ČAMEK, J.: Zkoušky pneumatických pulsátorů Melotte, Gascoigne a elektromagnetického pulsátoru Gascoigne. [Závěrečná zpráva.] Praha, Výzk. ústav zemědělských strojů 1982.
- ISO 3918: Milking machine installations — Vocabulary. 1977.
- KALČÍK, R.: Technická termodynamika. Praha, Nakladatelství ČSAV 1963.
- Machine milking pulsators. An Foras Taluntais test report No 60. 1976.
- SINEK, F.: Výzkum tlakových poměrů dojícího automatu. [Závěrečná zpráva.] Praha, Výzk. ústav zemědělských strojů 1969.
- SINEK, F.: Pulsátor DZ 9K. [Závěrečná zpráva.] Praha, Výzk. ústav zemědělských strojů 1972.
- SOUČEK, Z.: Pulsátor DZ-100. [Závěrečná zpráva.] Praha, Výzk. ústav zemědělských strojů 1967a.
- SOUČEK, Z.: Řešení pulsátoru dojícího stroje na analogovém počítači. [Závěrečná zpráva.] Praha, Výzk. ústav zemědělských strojů 1967.

Došlo dne 6. 7. 1983

СИНЕК, Ф. (Agrozet, Концерновый научно-исследовательский институт сельхозмашин, Прага - Ходов): Теоретические данные для конструкции пульсаторов с плоской задвижкой. Zeměd. Techn., 30, 1984 (1) : 45-58.

Статья посвящена выведению теоретических отношений, действительных для плоской задвижки пульсаторов доильных установок. Она мотивирована потребностью в пульсаторах на высшем уровне производственных параметров, главным образом на высшей стабильности хода. Решение исходит из анализа физических действий при проходе воздуха через движущуюся задвижку. Выведенные отношения имеют общую силу. При этом исходят из приобретенного опыта, что для конструкции пульсатора основным критерием является продолжительность времени, когда образуется вакуум в межстенных камерах. Поэтому выведено дифференциальное уравнение для такого срабатывания. Путем его симуляции на вычислительной машине нами были получены отправные данные для подбора пригодных значений основных конструктивных параметров. Также была выведена формула для вычисления пульсирующего соотношения. Выведенные соотношения и результаты симуляции практически необходимы и представляют собой основу математической модели поведения мембранного пульсатора.

доильная установка; пульсатор доильной установки; математическое моделирование сельхозмашин

SINEK, F. (Agrozet, Research Institute of Agricultural Machines, Praha-Chodov): *Theoretical Principles of Designing Pulsators with Flat Valves*. Zeměd. Techn., 30, 1984 (1) : 45-58.

Theoretical relations are derived applicable to the flat gate valves of the pulsators of milking machines. The problem was studied as a result of the need of developing pulsators with better working parameters, particularly with a higher stability of operation. Physical processes of air passage through a moving gate valve are analyzed. The derived relations have the more general applicability. The considerations are based on the verified fact that the basic criterion for designing a pulsator is the time of air exhaustion in the inter-wall chambers. Therefore a differential equation is derived to describe the rise of vacuum. Its simulation on a digital computer provides data for choosing suitable values of the main construction parameters. A formula for the calculation of pulsation ratio is also derived. The derived relations and results of simulations can be applied practically and form a basis for a mathematical model of the behaviour of a pulsator with a gate valve.

milking machine; pulsator of milking machine; mathematical simulation of agricultural machines

Adresa autora:

Ing. František Sinek, CSc., Agrozet, koncernový výzkumný ústav zemědělských strojů, 149 00 Praha-Chodov

MATEMATIKA A ZEMĚDĚLSKÉ VĚDY

Současná matematika dostala podstatný impuls ze strany moderní výpočetní techniky — číslicových počítačů. Je to impuls, který matematiku téměř od základů mění a na nějž nebyla připravena ani ve své metodě, ani ve svých společenských strukturách. Poprvé v dějinách se exaktnost matematiky snoubí s výzkumem velmi složitých systémů, které byly dosud studovány jen neexaktními, takřka intuitivními metodami netechnických věd; po tisíciletích vývoje vnikl do matematiky experiment jako integrální složka její metody a syntézou s dedukcí vytváří zcela novou metodu, o níž během vývoje věd od starověku nebylo do nedávna nejmenší představy (Kindler, 1980c). Obory matematiky, donedávna považované za důležité, aplikabilní a pro její další rozvoj podstatné, se stávají historickými relikty, pěstovanými spíše pro zachování kulturní kontinuity, než pro jejich význam pro aplikace či pro matematiku samu.

V takovéto situaci může matematika těžko hledat prostředky, které si sama vybuodovala a které by ji vedly k adaptaci na současnou realitu. Jediná cesta k zachování její integrity, k tomu, aby si ji „nerozebraly“ ostatní obory (Kindler, 1980a), je její úzké zaměření na aplikace; ty totiž nedovolí, aby se současná matematika uzavřela ve své vnitřní historizující problematice, nýbrž nutí ji ke stálému dohánění výsledků současnosti, jak je nabízí i rozvoj výpočetní techniky. Z druhé strany je ovšem podnětů ze strany aplikací velmi mnoho: právě výpočetní technika totiž způsobila, že matematika proniká téměř do všech vědních i technických oborů, a nabízí tak matematice neomezené množství stimulů a možností moderního uplatnění.

Vliv moderní techniky na matematiku a s ním spojená šíře matematizace, která nemá s předcházející epochou ani vzdálenou analogii, trvá několik desetiletí, což je sice krátká doba vzhledem k vývoji matematiky, ale dlouhá doba vzhledem k překotnému vývoji vědy a techniky po druhé světové válce a výpočetní techniky zvláště. Je tedy již možné v tomto vlivu specifikovat a identifikovat jisté struktury a jisté dílčí faktory. Nastíháme zde v krátkosti jejich charakteristiku.

Existují obory — zejména technické — s vlastní tradicí využití matematiky z doby ještě před vznikem počítačů. Příkladem je klasická elektronika či strojírenství. Tyto obory integrují vliv soudobé výpočetní techniky pomocí tzv. vědeckotechnických výpočtů, v nichž se problém zpracuje nejprve analyticky v rámci tradiční matematiky a výsledky této analýzy se pak více méně „řemeslně“ převedou na příslušné programy pro počítače. Tyto obory nedávají soudobé matematice mnoho stimulů a samy jsou v rámci překotného vývoje omezeny i ve vlastním významu vznikem nových, příbuzných oborů, jako je studium mezních stavů ve strojírenství či komplexních systémů o mnoha stovkách prvků v moderní elektronice.

Jistým protějškem takových technických oborů jsou matematizované obory, ať už z odvětví řízení a správy nebo z psychologie, sociologie, biologie atd. Tyto obory více méně s úctou a respektem přijímají i nejmenší výsledky předpočítačové matematiky, zatímco v oboru výpočetní techniky se spokojují s tradičně chápáným tzv. zpracováním hromadných dat. Při takovém zpracování dat se na počítači modeluje jednoduchý proces, složený z malého počtu aritmetických či logických operací, u nichž mluvit o nějaké matematické analýze je nevhodný patos. Příkladem je zpracování mezd či využití jednoduchých statistických testů.

VÝZKUM KOMPLEXNÍCH SYSTÉMŮ

Vedle obou extrémů, v nichž výpočetní technika představuje jistý řemeslný doplněk předpočítačové matematiky, se dnes rozvíjí jistá efektivní syntéza hlubokého matematického myšlení a využití výpočetní techniky, jež je historicky implikována nejen existencí výpočetní techniky, ale i vývojem v takřka všech vědních a technických oborech. Je to výzkum komplexních systémů, tj. výzkum reálně existujících nebo alespoň ve vši vážnosti proponovaných objektů, u nichž nezanedbáváme žádný faktor, o němž není jasně zaručeno, že výsledek zkoumání neovlivní.

Souvisejí to s tzv. systémovým pojetím ve vědě, výzkumu a projekci, ale i s bouřlivým vývojem mezioborových a hraničních disciplín. A tak se ve strojírenství zkoumají spolu se spojitými více méně deterministickými jevy i nespojitě hraniční jevy, které matematicky souvisejí spíše se statistikou a systémově navazují od technologie na ekonomii a řízení; nebo v elektrotechnice se přešlo od malých, nepodstatně izolovaných obvodů na řešení celých komplexů vcelku, kde kromě vlastní matematické metody, např. integrování stovek diferenciálních rovnic, existují zcela nové problémy, jako např. to, jak formulovat stovky takových rovnic bez nejmenšího omylu. V hutnictví se vývoj posunul od izolovaného výzkumu např. tuhnutí či krystalizace oceli ke studiu systému celých oceláren, v nichž jsou studovány faktory tepelné ve vztahu k faktorům energetickým, geometrickým, finančním, dopravním a dalším (Mojka aj., 1977).

Je evidentní, že podobné studium systémů z více hledisek se projeví jako významné zejména v mezioborových odvětvích, pro něž se po počátečním bouřlivém rozvoji stává propracovaná vlastní metodou. Dále je evidentní, že každé hledisko vyžaduje jinou matematickou metodu. Jelikož matematika předpočítačové epochy nedospěla k nějaké efektivní syntéze svých jednotlivých metod, musí nastoupit techniky ryze počítačové. Tyto techniky ani tak neumožňují syntézu rozdílnějších metod doby předpočítačové, jako spíše vznik metod zcela nových, „šitých na míru“ oborům, jež je vyžadují, a teprve druhotně obohacující matematiku jako celek. Konečně poznamenejme, že zcela nové kvality pro vznik takových metod přináší zejména ty mezioborové disciplíny, v nichž se stýká odvětví tradičně matematizované s odvětvím, jež se během svého dosavadního vývoje matematice spíše vyhýbalo: první odvětví totiž způsobí, že mezioborová disciplína nemá nezdravý respekt před jakýmikoliv — a tedy i tradičními či neužitečnými — matematickými postupy (připomeňme rezignující povzdechy různých lékařů, psychologů či historiků nad integrály), zatímco druhé odvětví způsobí, že celá mezioborová disciplína je brzy bezradná pokud jde o aplikaci tradičně užívaných metod prvního odvětví.

Styk takových dvou odvětví je tedy optimální situací pro vznik zcela originálních matematických metod podstatně vázaných na moderní výpočetní techniku. Autor tohoto článku může z vlastní zkušenosti poukázat na takový efekt v případě nukleární medicíny, v níž se stýká nematematizovaná medicína s fyzikou a měřicí technikou (Kindler, 1968, 1970), nebo na podobný efekt v řízení metalurgie oceli, v němž se dvě zcela odlišné matematizované disciplíny — hutní technologie pracující s parciálními diferenciálními rovnicemi a systémy hromadné obsluhy založené na statistické dynamice — stýkají se složitými, ale dosud nematematizovanými odvětvími dopravy, energetiky a ekonomiky hutí (Mojka aj., 1977; Kindler a Šplíchal, 1984). Existuje mnoho jednotlivých příkladů ze silniční či železniční dopravy, stavebnictví, strojírenské výroby, hornictví, energetiky i dalších oborů. Všechny uvedené zkušenosti však mají jednu společnou vlastnost, a to jistou neucelenost. Všude jde zatím více méně o práce menších skupin několika nadšenců, kteří vidí hluboce do problematiky, rozumějí si s podobnými nadšenci v celém světě, ale — přes publikace, které vydávají instituce a resorty, jimiž se tyto práce uvádějí ve známost — nevytvořily dosud objektivně sdělitelný systém poznatků, pomocí nichž by se získané metody mohly lehce sdělit celému vzdělanému světu a hlavně pomocí nichž by se všichni odborníci dali o významu takových metod rychle přesvědčit.

ZVLÁŠTNÍ VÝZNAM ZEMĚDĚLSKÝCH VĚD

Velmi význačné místo v tomto ohledu zaujímají moderní zemědělské vědy. I když si vysoce ceníme průkopnické práce odborníků, kteří před epochou počítačů aplikovali např. metody statistiky na problematiku šlechtění, přičemž museli nejen zvládnout problémy, jak správně abstrahovat biologickou realitu a zobrazit ji na matematickém modelu, ale i přesvědčovat odbornou veřejnost o oprávněnosti takových metod, musíme konstatovat, že tradiční zemědělská odvětví, založená na biologických oborech, lze těžko zařadit mezi obory s matematickou tradicí: jde spíše o typické reprezentanty oborů nematematizovaných, neboť přes velké úsilí dřívějších zastánců matematických metod je v těchto oborech zpracováno exaktními, matematickými metodami velmi málo problémů. V dnešní době se však uvedené biologické obory velmi efektivně syntetizují s obory technickými, a to následkem využívání techniky v zemědělství; přitom je třeba si uvědomit, že kromě oborů s matematickou tradicí (např. strojírenství, chemie či elektronika) vystupují v této syn-

téze i obory bez takové tradice (doprava, energetika) či s tradicí, jež se v dnešní době ukazuje již zjevně jako sporná (meteorologie). Není divu, že za těchto okolností je systém moderních zemědělských věd velmi důležitým faktorem ve vývoji metod vlastních moderní matematice, podstatně ovlivněné výpočetní technikou. Rozebereme-li však aktuální situaci blíže, poznáme, že úloha zemědělských věd při rozvoji matematiky je ještě výraznější.

Zemědělské vědy i jejich aplikace reprezentují mnohem bohatší spektrum oborů ve srovnání s jinými mezioborovými odvětvími, a to nejen co do šíře (komplex zemědělských věd je mnohem širší než např. komplex nukleární medicíny), ale i co do „hloubky“: zatímco v jiných oborech lze pro národohospodářské úvahy na vyšší úrovni elementy nižší úrovně buď snadněji normalizovat a typizovat (např. řízení ordinací v medicíně), nebo dokonce vypustit z úvah (např. v metalurgii oceli), v zemědělství existuje bezpočet nezanedbatelných strukturálně rozdílných útvarů na všech úrovních. Například struktura systému i pravidla řízení v jedné oblasti veterinární asanace (velikost několika okresů) se může lišit od podobných faktorů v jiné oblasti, stejně jako se tyto faktory liší např. ve dvou státních statcích či jednotlivých zemědělských družstvech. Nadto se i jeden z takových faktorů může lišit pokud jde o detailnější hlediska v jednom a toméž zemědělském podniku. Např. doprava hnojiva, doprava sklizňových substrátů, doprava osiva a doprava pracovníků může podléhat v toméž podniku různým konfiguračním i řídicím pravidlům, přestože ve všech případech jde o dopravu! Můžeme tedy vidět, že faktory, jež u ostatních mezioborových disciplín poznáváme jako podstatné podněty pro vliv na vznik nových matematických metod, jsou v zemědělství mnohem více vyvinuty, hierarchicky strukturovány, a tím i méně izolovány, než jak je tomu mimo zemědělství. Technika, která je vhodná např. pro víceokresovou oblast veterinárního asanačního ústavu, může být v mnohém (ale ne ve všem) převzata z jednoduššího případu aplikace v zemědělském podniku či jeho subsystému, kde může i zcela zákonitě vzniknout a být propracována (poznáme-li, že ovšem i uvnitř subsystému zemědělského podniku je situace tak složitá, že pro vědecké řízení nelze použít nějaké předpočítákové matematické metody či nějaké intuitivní metody). Je to zcela jiná situace než např. v hutnictví, kde se metody pro úroveň podniku značně liší od metod pro úroveň nadpodniku.

Zemědělské vědy jsou tedy disponovány k tomu, aby jako jedny z prvních podstatnou měrou přispěly ke zformování systému moderních matematických metod v podobě sdílitelné celé odborné veřejnosti. Připočteme-li k tomu ještě to, že mnohé tyto metody lze již z aplikačních vztahů automaticky nabídnout i mimozemědělským disciplínám (např. modelování dopravy v zemědělském podniku lze bez velkých komplikací převést na modelování dopravy v povrchové oblasti dolů, nebo rozvrhování traktorů lze matematizovat stejně jako rozvrhování technických prostředků ve stavebnictví), poznáváme, jak důležitým faktorem pro vývoj matematiky jsou zemědělské vědy.

Než však přistoupíme k dalším závěrům, ukažme si na konkrétních příkladech, jak se uvedené obecné vlastnosti promítají do jednotlivých situací.

SIMULAČNÍ MODELOVÁNÍ

Jednou z velmi podnětných oblastí moderní matematiky, jež má bohaté interpretace téměř ve všech disciplínách zemědělských věd, je využití výpočetní techniky k simulačnímu modelování. Modelování obecně spočívá v tom, že experimentujeme s modelem, místo abychom experimentovali se zkoumaným objektem. Jde tedy o experimentální techniku, ale v případě, že model sám je matematický objekt — v dnešní době většinou číslicový počítač pracující podle nějakého speciálně připraveného programu — zasahuje do ní podstatně i technika exaktní, deduktivní. Simulační modelování (Kindler aj., 1981) je zvláštní případ modelování, kdy — jednoduše řečeno — počítač produkuje výsledky v tom pořadí, jak by byly měřeny a indikovány na zkoumaném objektu. Simulační modelování, nebo krátce simulace, má význam například tehdy, nelze-li se zkoumaným objektem experimentovat přímo proto, že by v takovém případě mohlo dojít k nějakému zdravotně, ekologicky, ekonomicky či vojensky nebezpečnému jevu; má však význam i tehdy, chceme-li získat nějaké exaktní informace o velmi složitém systému, nebo — a to je pro zemědělství téměř typické — chceme-li získat o zkoumaném objektu prognostické informace, které bychom přímým experimentem získávali neúměrně dlouhou dobu, tj. např. několik let.

Simulační modelování má význam téměř ve všech odvětvích rostlinné a živočišné výroby a v tomto ohledu dalo zpětně zemědělství matematice jeden z prvních tzv. systémů pro kombinovanou spojitě diskrétní simulaci: je to systém CROPS (Miles aj., 1976), umožňující modelovat na počítači různé spojitě děje související s transportem důležitých prvků a sloučenin v krajině i plodinách, ovlivňované čas od času nespojitými řídicími a výrobními zásahy ze strany lidské společnosti.

V naší zemi byly technikou simulace úspěšně zkoumány zejména transportní jevy v nejrůznějších zemědělských systémech, a to z hlediska využití transportní techniky, tj. z hlediska optimálního využití dopravních prostředků i prostředků, jež s nimi kooperují, např. sklízecích mlátiček a secích strojů. Přitom vlastní cíl optimalizace pokrývá celé spektrum od lepšího řízení dosavadní techniky přes určení optimálních tras až po určení optimálního vybavení podniků či dokonce optimální polohy dopravních center (Kindler aj., 1982a, 1984). Touto metodou byl zkoumán proces sklizně (Kindler aj., 1981), rozvoz a palikace osiva (Kindler aj., 1982b), doprava osob a mnohé další speciální činnosti v zemědělském podniku (Chochol aj., 1979), stejně jako rozvoz hnojiva ve skupině zemědělských podniků a doprava živočišných odpadů ve veterinární asanaci v oblastech rovnajících se svým rozsahem několika okresům (Prokop aj., 1981; Chochol a Kindler, 1979). Ve všech případech byly zkoumané objekty chápány jako konfigurace stacionárních prvků, totiž míst a cest mezi nimi, po nichž se pohybují tzv. transakce, totiž dopravní a obslužné prostředky. Přitom jejich vzájemná interakce a k pohybu potřebné doby jsou vždy formulovány pomocí více méně složitých pravidel, zachycujících např. i manipulaci s kontejnery a mnohé další vlivy. Upozorňujeme, že tyto úlohy se podstatně liší od dnes již klasického tzv. dopravního problému matematického programování, neboť v nich neabstrahujeme od jevů závislých na čase, jako je kumulování prostředků ve frontách. Význam této třídy úloh je dnes, v době nedostatku pohonných hmot, celospolečenský (Kindler, 1981).

Jiný příklad simulačního modelování je v plánování optimálních stavebních investic sloužících zemědělské výrobě. V tomto případě je na počítači modelován proces okamžitých požadavků na tyto investice, které se ovšem v závislosti na čase mění (např. různá množství prasat v různém vývojovém stadiu při výrobě vepřového masa — Kindler a Prokop, 1976). Za zmínku stojí, že způsob strukturování dynamiky zkoumaného objektu, v němž vedle pevně plánovaných pracovních akcí ve směnách, dnech a týdnech existují náhodné vlivy biologického charakteru, byl v tomto případě natolik propracován, že se uplatnil i v tak odlehle oblasti, jako je odvoz nukleárního odpadu z jaderných elektráren.

U nás bylo simulační modelování využito i k prognóze hospodaření s pícninami: v podniku bylo třeba zjistit, zda rozhodnutí o vyčlenění části jeho půdy ze zemědělského fondu nebude ve sporu s finančními aspekty podniku a s aspekty týkajícími se fyto technických požadavků na složení krmiva během celého roku. V počítačovém modelu byly zachyceny i takové složky, jako jsou vliv roční doby, periodicitu přístupu k horkovzdušné sušárně, kvalita různých pozemků a různé způsoby konzervace pícnin (Chochol aj., 1979). Další aplikace simulačních metod spočívala v modelování stárnutí zemědělských strojů a v optimalizaci jejich postupné obnovy (Paholič, 1980).

Modely byly realizovány na různých počítačích a pomocí různých programovacích jazyků, včetně Algolu 60, Basicu a Matu (Chochol aj., 1979; Kavka aj., 1975), ale zdaleka jako nejvhodnější se ukázal moderní univerzální programovací jazyk SIMULA 67 (Benda a Stauděk, 1978; Kindler, 1982), který je sice u nás mnohem méně rozšířen než jiné programovací jazyky, ale jeho význam je již dobře poznán, a to jak přímo v zemědělství (Prokop, 1979), tak i jinde (Krejčí, 1978; Kindler, 1980a,b; Mojka a Janda, 1979). Je zajímavé, že z mnoha set tzv. simulačních jazyků, zaměřených přímo na realizaci simulačních modelů (Kindler, 1980a, 1982), se ani jeden neukázal pro zemědělskou dopravu jako vhodný.

HEURISTICKÉ ALGORITMY

Jiným příkladem technik moderní matematiky, v jejichž vývoji hrají důležitou roli potřeby zemědělských věd, jsou tzv. heuristické algoritmy. Na rozdíl od ostatních algoritmů nevznikají předběžnou matematickou analýzou problému, jejíž výsledek je nakonec algoritmizován, tj. převeden do formy přijatelné pro počítač, ale vznikají experimentováním na počítači od samého začátku své realizace. Při-

tom se často uplatní i grafické či kinetické pomůcky používané mimo výpočetní techniku; podstatnou roli však zde hraje počítač, neboť ten dovoluje experimentovat a získávat zkušenosti, který postup je nejlepší, a to v takové míře, že to nelze srovnávat s žádným jiným způsobem získávání matematických zkušeností a podnětů. Vztah k simulaci nebyl dosud ani v nejmenším teoreticky zpracován, přestože platí, že téměř v každém heuristickém algoritmu se vyskytuje i simulační model.

Výrazně se u nás uplatnilo navrhování a používání heuristických algoritmů pro optimalizaci vybavení zemědělských podniků traktorovým parkem; každý takový algoritmus je založen na simulaci využití jistého počtu traktorů různých tříd během několikaleté periody. Simulace ukáže, jak by byly splněny agrotechnické lhůty a v kterých obdobích by traktory byly málo využity. Výsledky několika takových pokusů se pak nejprve ručně skládaly tak, aby se v průběhu počtu nasazených traktorů „uhradily extrémy“, čímž se dosáhlo toho, že se potřebný počet traktorů jednotlivých tříd v podniku snížil. Po jistých zkušenostech byly ruční zásahy naprogramovány na počítači, dále vylepšeny, a tak vznikly velmi účinné algoritmy pro rozvrhování rostlinné výroby. Tyto algoritmy lze aplikovat i pro jiné mechanizační prostředky než traktory, dokonce i v jiných resortech, např. ve stavebnictví. Naproti tomu jsou zemědělské systémy tak složité, že pro rozvrhování v nich nelze zodpovědně využít výsledků teorie rozvrhování, která vznikla z podnětu potřeb operačních systémů počítačů.

Jiný příklad heuristického algoritmu je z oboru řízení zemědělské výroby, který uveřejnili Prokop aj. (1982). Zdá se, že i ve sféře řízení výroby si zemědělští zachovávají jisté prvenství v budování moderních matematických metod.

Zcela jiného druhu je heuristický algoritmus pro aproximaci naměřených bodů v rovině lineární kombinací předem neznámého počtu exponentiálních funkcí. Tento algoritmus, vzniklý nejprve pro účely radiobiologie (Kindler, 1969, 1970), se pro svou extrémní rychlost ukázal jako výhodný i v nukleární fyzice (Kindler a Prouza, 1974), pak v elektrotechnice (Lacina, 1973) a nyní byl implementován i pro zemědělské účely. Na rozdíl od předešlých algoritmů se tento algoritmus nevztahuje k problémům řízení, ale k řešení typických vědeckotechnických úloh, týkajících se technologických problémů.

ZÁVĚR

Není možné v jednom článku přesně zmapovat všechny oblasti zemědělských věd, které obohacují moderní matematiku, ani všechny oblasti moderní matematiky, které jsou ze strany zemědělství obohacovány. Předpokládáme však, že předcházející kapitoly celý vztah dostatečně ilustrovaly. Dodejme k tomu, že např. na matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy vzniklo na základě stimulů od zemědělství šest diplomových prací vynikající úrovně a že jistě není náhodné, že světová autorita v simulačním modelování, T. Oren, přešel po dosažení mezinárodního uznání na Vysokou školu zemědělskou v holandském Wageningenu. Tyto jevy ukazují, jaký význam pro moderní matematiku má zemědělská problematika. Je vhodné si tento význam uvědomit, uvědomit si i význam moderní výpočetní techniky a hlavně počítat s důsledky: tvůrčí matematická práce v zemědělství, stimulovaná aktuální problematikou v zemědělství, je dnes nestranně efektivnější než přebírání dosavadních metod, jež matematika může nabídnout.

*PhDr. RNDr. Evžen Kindler, CSc.
matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy, Praha*

Literatura

- BENDA, Z. — STAUDEK, J.: Programování v jazyku SIMULA 67. Praha, SNTL 1978. 254 s.
CHOCHOL, Š. — KINDLER, E.: Počítačová simulace a optimalizace ve veterinární asanaci. In: Materiály mezinárodní konference k 80. výročí trvání VAV. Brno 1979.
CHOCHOL, Š. — PROKOP, K. — KINDLER, E. a kol.: Metody materiálových toků v podniku. [Průběžná zpráva Zr-1576.] Praha, Výzk. ústav zeměd. techniky 1979.
KAVKA, M. — PROKOP, K. — BÍLKOVÁ, A. — DOUCHA, T.: Stochastický simu-

- lační model sklizně pčnin a jeho experimentální ověření. *Zeměd. Techn.*, 21, 1975, s. 597-610.
- KINDLER, E.: COSMO (Compartmental system modelling), description of a programming system. In: J. N. Buxton (ed.): *Simulation programming languages*. North-Holland, 1968, s. 402-424.
- KINDLER, E.: Simple use of pattern recognition in experiment analysis. *Kybernetika*, 5, 1969, s. 201.
- KINDLER, E.: Computer software for modelling of compartmental systems. In: R. de Haene, A. Wambersie (ed.): *Computers in radiology*. Karger, 1970, s. 444-447.
- KINDLER, E.: O jazyku SIMULA. *Rudé právo*, 28. 12. 1980. 1980a, s. 5.
- KINDLER, E.: Simulační programovací jazyky. Praha, SNTL 1980b. 280 s.
- KINDLER, E.: Počítače a matematika. In: *Moderní programování*. DT ČSVTS, Žilina 1980c.
- KINDLER, E.: Počítače a doprava. *Rudé právo*, 1. 6. 1981. 1981, s. 5.
- KINDLER, E.: Jazykové prostředky počítačové simulace. *Mechaniz. Automat. Admin.*, 1982, vnitřní příloha k č. 8 a 9.
- KINDLER, E. — PROKOP, K.: Simulace výroby vepřového masa a problém algoritmizace. In: *Simulace systémů '76*. ČSVTS, Ostrava 1976, s. 207-216.
- KINDLER, E. — PROUZA, Z.: Heuristical algorithm for the analysis of experimental decay curves. *Isotopenpraxis*, 10, 1974, č. 3, s. 97-100.
- KINDLER, E. — ŠPLÍCHAL, J.: Zkušenosti se simulačním řešením ocelářských úloh. *Mechaniz. Automat. Admin.*, 1984.
- KINDLER, E. — CHOCHOL, Š. — PROKOP, K.: Theory of material flows and its use for simulation. In: 27. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Technische Hochschule, Ilmenau, 1982a, B. 6, s. 133-136.
- KINDLER, E. — CHOCHOL, Š. — PROKOP, K.: Systems of Material Flows. *Int. J. gener. Syst.*, 1984.
- KINDLER, E. — PROKOP, K. — CHOCHOL, Š.: Dynamic modelling of transport in agricultural systems. *Elektr. Inform.-Verarb. Kyber.*, 17, 1981, č. 13, s. 645-657.
- KINDLER, E. — PROKOP, K. — CHOCHOL, Š.: Systems of material flows. In: COMTEX scientific data base — systems theory, New York 1982b.
- KREJČÍ, V.: Jazyk informačního systému. *Hospodářské noviny*, 1978, č. 18, s. 5.
- LACINA, O.: Aproximace naměřeného průběhu lineární kombinací exponenciál. *Elektrotechn. Obzor*, 11, 1973, s. 665-669.
- MILES, G. P. — PEART, R. M. — HOLT, D. A.: A mini-tutorial for the CROPS simulation language. St. Joseph (Michigan), ASAE 1976.
- MOJKA, J. — JANDA, J.: Unifikace typových prvků programových bank. *Zeměd. Techn.*, 25, 1979, č. 3, s. 185-188.
- MOJKA, A. — JANDA, J. — ŠPLÍCHAL, J. — KINDLER, E.: Simulační modely rozsáhlých výrobních celků. *ASŘ sešity INORGA*, 39, 1977, 84 s.
- PAHOLIČ, G.: Obnova strojového parku v poľnohospodárstve. [Diplomová práce.] Praha 1980. — Univerzita Karlova. Matematicko-fyzikální fakulta.
- PROKOP, K.: Languages for simulation of complicated stochastic systems. In: 8. Jahrestagung Grundlagen der Modellierung und Simulationstechnik, Kammer der Technik, WGMA, Rostock, 1970, s. 90-92.
- PROKOP, K. — CHOCHOL, Š. — KINDLER, E. — KORÝDEK, J. — KRŠŇÁKOVÁ, J.: Optimalizace dopravy — vnější a vnitřní optimalizace svozu suroviny včetně modelového programu. In: *Sbor. MF VŠZ v Praze*. Praha 1981.
- PROKOP, K. — TLUSTÝ, V. — KINDLER, E.: An algorithm for production control. In: 27. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Technische Hochschule, Ilmenau, 1982, B. 6, s. 137-139.

Došlo dne 6. 4. 1983

OBSAH

Souček Z., Bláha J.: Nové přístupy k simulaci provozních zatížení při zkoušce životnosti nápravy sklizeče pícnin na svazích MT 6-011	1
Bauer F., Loprais A.: Výpočet sil v třibodovém závěsu traktoru agregovaného s neseným pluhem při kvazistatické rovnováze využitím maticových zápisů	21
Kučera V.: Možnosti úspor paliva při sušení píce na bubnových sušárnách	25
Thér M.: Změny pevnosti zrna kukuřice vlivem horkovzdušného sušení	45
Sinek F.: Teoretické podklady pro konstrukci pulsátorů s plochým šoupátkem	45

AKTUALITY

Kindler E.: Matematika a zemědělské vědy	59
--	----

СОДЕРЖАНИЕ

Соучек З., Блага Й.: Новые методы имитирования эксплуатационных нагрузок при испытании долговечности оси машины для работы на склонах MT 6-011	19
Бауер Ф., Лопраис А.: Вычисление усилия в трехточечном прицепе трактора, агрегатированного с навесным плугом при мнимостатическом равновесии с использованием матричных записей	24
Кучера В.: Возможности экономии топлива при сушке сена на барабанных сушилках	33
Тэр М.: Изменения прочности зерна кукурузы под действием сушки горячим воздухом	44
Синек Ф.: Теоретические данные для конструкции пульсаторов с плоской задвижкой	58

CONTENTS

Souček Z., Bláha J.: New Approaches to the Simulation of Working Load on an Axle of the MT 6-011 Hillside Forage Harvester Exposed to Life Test	19
Bauer F., Loprais A.: The Use of Matrix Records for the Calculation of Forces in the Three-Point Hitch of Tractor Aggregated with a Mounted Plough at Quasi-Statical Equilibrium	24
Kučera V.: Chances to Save Fuels when Drying Forage in Drum Driers	33
Thér M.: Changes in Corn Grain Hardness during Hot-Air Drying	44
Sinek F.: Theoretical Principles of Designing Pulsators with Flat Valves	58

Rukopisy odevzdány k tisku 26. 9. 1983 — Podepsáno k tisku 12. 12. 1983

Rozšiřuje Poštovní novinová služba. Objednávky a předplatné přijímá PNS - ústřední expedice tisku, administrace odborného tisku, Jindřišská ulice 14, 110 00 Praha 1. Lze též objednat u každé pošty i poštovního doručovatele. Objednávky do zahraničí vyřizuje PNS — ústřední expedice tisku, oddělení vývozu tisku, Jindřišská ulice 14, 110 00 Praha 1. Vytiskl MÍR, novinářské závody, n. p., závod 6, tř. Lidových milicí 22, 120 00 Praha 2.