

5/6
VĚDECKÝ ČASOPIS



ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA

V

11

ROČNÍK 19 (XLVI)
PRAHA
LISTOPAD 1973
CENA 10 Kčs

ČESKOSLOVENSKÁ AKADEMIE ZEMĚDĚLSKÁ
ÚSTAV VĚDECKOTECHNICKÝCH INFORMACÍ

ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA

Rídi redakční rada

Jan Květoň (předseda), ing. Miloslav Adam, CSc., ing. Karel Bernhard, doc. ing. Marko Duriš, CSc., ing. Jiří Fiala, CSc., ing. František Fortuník, CSc., ing. Stanislav Haš, CSc., ing. Jaroslav Homolka, ing. Ján Jech, CSc., ing. Karel Joza, ing. Ján Kuchár, ing. Vladimír Píša, ing. Vladimír Suchý, CSc., prof. ing. Zdeněk Steffl, ing. Alois Vávra, CSc., Josef Višínský, CSc.

Vedoucí redaktorka ing. Jovanka Václavičková

© Ústav vědeckotechnických informací, Praha 1973

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

■
Научный журнал ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA публикует со- зоры, анализы и научные статьи о разрешенных заданиях по на- учному исследованию в области сельскохозяйственной техники. Издаст Чехословацкая сельскохозяйственная академия — Инсти- тут научно-технической информации. 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 Institute of Scientific and Technical Infor- mation. Issued monthly. Editorial office 120 56 Prague 2, Slezská 7.

■
Die wissenschaftliche Zeitschrift ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA veröffentlicht Studien, Analysen und wissenschaftliche Ab- handlungen über die gelösten Forschungsaufgaben auf dem Gebiete der Landtechnik. Herausgegeben vom Institut für wissenschaftlich-technische Informationen. Erscheint monat- lich. Redaktion 120 56 Prag 2, Slezská 7.

■
Le journal scientifiques ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA publie les études, analyses et traités scientifiques concernant les tâches de recherches résous dans le domaine de technique agricole. Publié par l'Institut des Informations Scientifi- ques et Techniques. Paraît une fois par mois. Rédaction 120 56 Prague 2, Slezská 7.

Vědecké práce Výzkumného ústavu zemědělských strojů v Praze - Chodově

Jako každý rok, je i letos jedno číslo časopisu Zemědělská technika věnováno publikování některých vědeckých prací Výzkumného ústavu zemědělských strojů v Praze-Chodově. Výběr příspěvků z mnoha výzkumných úkolů, které ústav řeší, je vždy omezen několika okolnostmi. Vědecká práce, určená k publikování, musí shrnout poznatky z ukončené etapy výzkumného úkolu a musí mít v určité míře obecnou platnost. I přes toto omezení je nutné při redakci volit z řady prací. Jedním z hledisek volby je snaha ukázat práce z různých úseků výzkumu podle toho, jaký se jim přikládá význam vzhledem k perspektivám rozvoje zemědělského strojírenství. Takový výběr nemůže sice poskytnout přehled o práci ústavu, může však ukázat využití některých moderních vědeckých metod základního výzkumu a aspekt perspektivního zaměření aplikovaného výzkumu.

V oblasti základního výzkumu se první práce (J. Procházka) zabývá statistickými metodami sestavování spekter provozních zatížení pro získání podkladů k hodnocení únavové životnosti částí zemědělských strojů. Postup sestavování spekter vychází z empirických údajů získaných měřeními a vyúsťuje v typizaci spekter, která je důležitá pro sjednocení a zjednodušení výpočtů i zkoušek životnosti zemědělských strojů.

Další práce v oblasti základního výzkumu (J. Novák) ukazuje použití analogové výpočetní techniky pro typické případy zpracování výsledků tenzometrických měření, zejména k pevnostním výpočtům. Matematická řešení v průběhu měření umožňují získávat výsledky bez dalších pracných operací. Obecný význam práce spočívá mimo jiné v tom, že uvádí schémata zapojení, která mohou sloužit jako příklad pro navrhování a řešení dalších úloh, souvisejících s měřením namáhání zemědělských strojů.

Příkladem aplikace výpočetní techniky v základním výzkumu zemědělských strojů je práce (Z. Souček) zabývající se řešením tlakových a dopravních poměrů potrubních dojicích strojů a navazující na obecně platné výsledky experimentálních prací. Cílem je získat kritéria k posouzení určitého projektu srovnáním vypočtených hodnot u experimentálně ověřené

sestavy a sestavy nově navrhované v několika alternativách. Práce uvádí matematickou formulaci modelovaného případu, soustavu simultánních algebraických rovnic a návrh programu k řešení této soustavy na číslicovém počítači MINSK 32.

Význam základního výzkumu pro konstrukci zemědělských strojů ukazuje také další práce (Z. Vraný), zaměřená na analýzu rychlostních poměrů řezanky v hubici, v koncovce a při volném letu vzduchem u sklízecích řezaček s nožovým bubnem. Pro různé způsoby změny směru řezanky jsou v práci odvozeny matematické vztahy, vyjadřující příslušné poklesy rychlosti. Výsledkem jsou poznatky dotýkající se přímo konstrukčního řešení aktivních ploch přicházejících do styku s řezankou a dále poznatky důležité pro stanovení bilance energetické účinnosti dopravní cesty řezanky.

Vědecké práce Výzkumného ústavu zemědělských strojů, shromážděné v tomto čísle Zemědělské techniky, jsou vesměs výsledkem řešení dílčích etap výzkumných úkolů dlouhodobého charakteru. Dílčí výsledky jsou však opět výchozími body pro další postup výzkumu, a proto uveřejněné práce dokumentují jen etapy v širších snahách, jejichž cílem je vybudování moderního zemědělského strojírenství v Československu.

Ing. Dušan Hu t l a, vědecký redaktor čísla,
Výzkumný ústav zemědělských strojů v Praze-Chodově

J. Procházka

Výzkumný ústav zemědělských strojů, Praha-Chodov

PROCHÁZKA J. *Spektra provozních zatížení částí zemědělských strojů.* Zem. technika 19 (11) : 657-669, 1973.

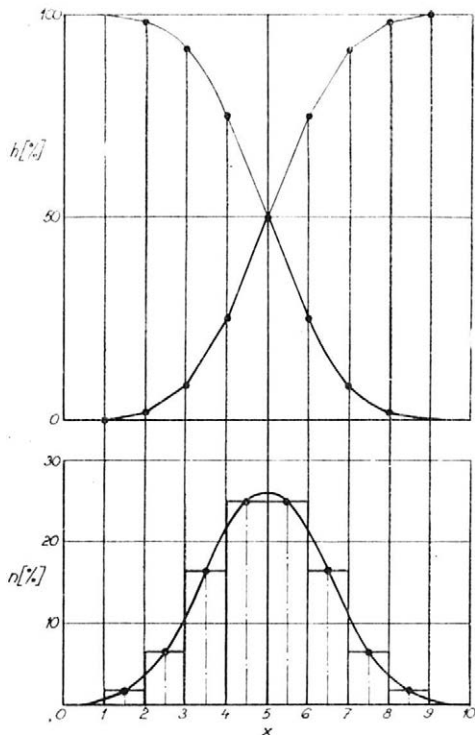
V práci je rozebrán a uveden do širších souvislostí statisticky podložený postup sestavování spekter provozních zatížení, která jsou výchozím podkladem pro hodnocení únavové životnosti částí zemědělských strojů. Postup sestavování spekter v sobě zahrnuje stanovení empirického spektra na základě výsledků měření, jeho nahrazení teoretickým rozdělením, extrapolaci výsledků do oblasti vyšších zatížení s nízkou pravděpodobností výskytu, určení dílčích jednotkových spekter pro charakteristické provozní režimy, sestavení souhrnného spektra pro celou životnost strojní součásti a konečně převedení plynulých souhrnných nebo dílčích spekter na spektra stupňovitá, použitelná při výpočtech nebo zkouškách únavové životnosti. Dále jsou uvedeny způsoby typizace spekter zatížení; tato typizace má význam pro sjednocení a zjednodušení výpočtů i zkoušek životnosti různých částí zemědělských strojů.

únavová životnost; spektrum provozních zatížení

Moderní přístup k hodnocení pevnosti zemědělských strojů vychází z poznatku, že provozní namáhání téměř všech jejich částí je kmitavé, takže se výrazně uplatňují vlivy únavy materiálu, které časově omezují životnost těchto částí. Amplituda kmitavého zatížení přitom není stálá, ale neustále a náhodně se mění většinou ve značně velkém rozmezí. K posouzení únavové životnosti částí zemědělských strojů je tedy nezbytné získat věrohodné podklady o celém souboru těchto proměnlivých provozních zatížení s ohledem na velikost kmitů i četnost jejich výskytu. Takovým podkladem, charakterizujícím namáhání součástí, je spektrum provozních zatížení, stanovené statistickými metodami z experimentálně zjištěných průběhů napětí či sil, které je pak základem jak pro výpočty, tak pro zkoušky únavové životnosti strojních částí.

ZÁKLADNÍ PROBLEMATIKA

Při analýze četností kmitů náhodně proměnných zatížení metodami, které popsal Procházka (1971), se celkové rozpětí změn zatížení rozdělí na řadu stejně širokých intervalů (tříd) vzájemně na sebe navazujících a určuje se počet pozorovaných hodnot (vrcholů kmitů, rozkmitů apod.) v každé třídě, který nazýváme třídní četností n a přiřazujeme jej k hodnotě zatížení odpovídající středu třídy (třídní znak). Grafickým znázorněním je histogram četností, nazývaný také stupňovitým třídním spektrem (obr. 1). Sečítáním třídních četností získáme kumulativní četnosti h , které odpovídají hodnotám zatížení daným hranicemi tříd a které tedy udávají, kolik hodnot souboru je menších nebo větších než zvolená hranice tříd. Význam kumulativních četností je i v tom, že na rozdíl od třídních četností jsou přesně přiřazeny vždy jen jedné hodnotě zatížení na hra-



1. Histogram třídých četností n a frekvenční křivka (dole), polygon kumulativních četností h a distribuční křivka (nahore) proměnné veličiny x (pro přehlednost je kreslen polygon kumulativních četností pro sčítání zleva, distribuční křivka pro sčítání zprava)

ké křivka hustoty pravděpodobnosti), polygon kumulativních četností pak distribuční křivkou (funkcí) zvoleného teoretického rozdělení, která je vůči frekvenční křivce křivkou integrální (obr. 1). Frekvenční křivka omezuje s osou pořadnic plochu rovnou 1 (nebo 100 %), takže distribuční křivka nabývá hodnot od 0 do 1 ($0 \div 100$ %). Distribuční křivky téhož rozdělení, odpovídající sčítání zprava i zleva, se protnou v bodě o relativní kumulativní četnosti 50 %, který v případě souměrného rozdělení udává i jeho střední hodnotu. Tento bod je vrcholem spektra provozního zatížení (kumulativního), které je dáno polovinami obou distribučních křivek (větví spektra) v rozsahu kumulativních četností $0 \div 50$ % (na obr. 1 vyznačeno silně). Tohoto způsobu odvození spektra provozních zatížení je zde použito především pro jeho názornost, přičemž k plnému určení spektra stačí samozřejmě jen jedna distribuční křivka (část jedné křivky v rozsahu $0-50$ % je zrcadlovým obrazem části druhé křivky v rozsahu $50-100$ %). Kumulativní spektrum je obecným podkladem, z něhož lze diferencováním odvodit třídící spektra pro libovolný počet tříd. Pro praktické účely se vynášejí nejčastěji v semilogaritmických souřadnicích.

Nejčastěji používanými typy teoretických rozdělení jsou rozdělení normální (Gaussovo), které je symetrické, dále exponenciální, logaritmicko-normální a Rayleighovo rozdělení (doporučováno zejména v sovětské literatuře pro vyrovnání četností rozkmitů), která jsou definována jen v kladné oblasti a jsou nesymetrická. Poněvadž však se spektrum

nici tříd a nejsou tedy závislé na šířce tříd. Grafickým znázorněním je polygon kumulativních četností. Četnosti se přitom udávají buď absolutně nebo relativně jako podíl z celkového počtu hodnot v souboru (nejčastěji v %).

Takto stanovené výsledky analýzy je možné aplikovat buď přímo, nebo je dále zpracovat statistickými metodami. Protože z praktických důvodů je možné zjistit experimentální podklady většinou jen za dobu odpovídající malé části celkové životnosti stroje, je získaný soubor dat ze statistického hlediska jen výběrem ze základního souboru pro celou životnost, a je tedy ovlivněn nepřesnostmi a nepravidelnostmi plynoucími z omezeného rozsahu výběru. Aby bylo možné tyto podklady přepočítat na celou životnost stroje, definovat pravděpodobnost výskytu zatížení různé velikosti, popřípadě extrapolovat výsledky do oblastí krajních zatížení, která se během měření nevyskytla, ale která lze v průběhu celé životnosti očekávat, je třeba získaný statistický soubor nahradit matematickým modelem, tj. provést vyrovnání experimentálních dat.

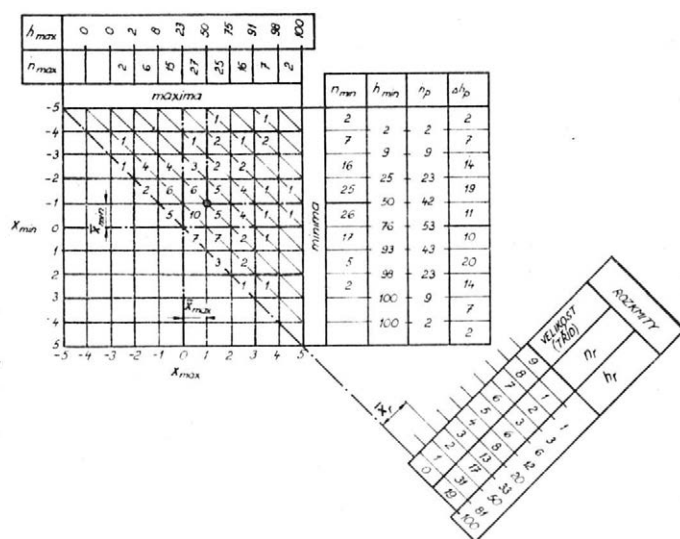
Jako matematické modely se uvažují teoretická rozdělení, jejichž parametry (střední hodnota, rozptyl) jsou rovné hodnotám vypočteným z experimentálních podkladů. Přitom histogram četností nahrazujeme frekvenční křivkou či funkcí (ta-

zatížení skládá stejně ze dvou polovin distribuční křivky, lze obdobně jako u rozkmitů tato nesymetrická rozdělení aplikovat pro každou větev spektra zvlášť. Typ rozdělení se volí buď podle tvaru histogramu četností, nebo nejlépe podle tvaru polygonu kumulativních četností. Prakticky pro všechna teoretická rozdělení lze sestavit pravděpodobnostní síť, ve které se distribuční funkce zobrazuje jako přímka; toho se nejčastěji využívá při volbě matematického modelu i vyrovnávání experimentálních hodnot. Dostupné jsou zejména pravděpodobnostní papíry pro normální a logaritmicko-normální rozdělení, pro exponenciální rozdělení tvoří pravděpodobnostní síť přímo semilogaritmický papír. Po vyrovnání se doporučuje posoudit shodu modelového rozdělení s experimentálním podle objektivních kritérií, jakými jsou tzv. testy shody.

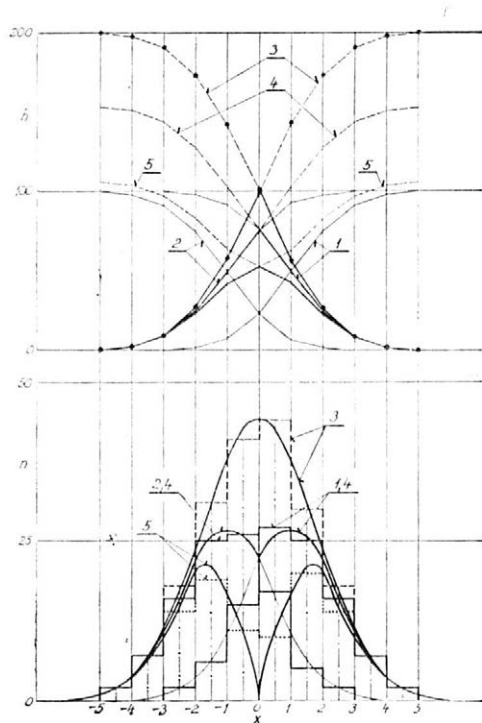
SESTAVENÍ SPEKTRA PROVOZNÍHO ZATÍŽENÍ

Na obr. 2 je příklad výsledků dvouparametrické analýzy náhodného kmitavého průběhu, zvolený s ohledem na další úvahy tak, aby rozdělení maxim a minim bylo normální; celkový počet cyklů je 100. Přitom se počítaly i ty kmity, které leží uvnitř jedné třídy a které se v praktických případech zanedbávají. Kromě četností samotných maxim a minim byly stanoveny výsledky čtyř nejčastěji používaných jednoparametrických metod analýzy četností, a to základní metody relativních vrcholů (započítává všechny vrcholy), metody orientovaných vrcholů (započítává jen maxima nad a minima pod dynamickou nulou), metody přechodové četnosti a relativních rozkmitů. Výsledky získané počítáním vrcholů a přechodů hladin jsou vyneseny na obr. 3, relativních rozkmitů na obr. 4.

Obr. 3 ukazuje, že zvolená rozdělení maxim a minim jsou prakticky stejná se středními hodnotami $\bar{x}_{max} = 1$, $\bar{x}_{min} = -1$, takže rozdělení četností vrcholů pro všechny tři metody je symetrické se střední hodnotou $\bar{x} = 0$. Z celkového počtu 200 vrcholů započítává metoda orientovaných vrcholů 153, metoda přechodové četnosti 106 vrcholů [tyto vztahy již objasnil Procházka (1971)]. Polygony kumulativních četností, odpovídající sčítání z pravé i levé strany, se pro každou metodu analýzy protínají v bodě s kumulativní četností rovnou 50 % započítaného počtu vrcholů (= započítanému počtu cyklů). Tento bod v našem případě souměrného spektra udává i jeho střední hodnotu. Nahrazení modelovými křivkami je s ohledem na přehlednost provedeno jen pro třídění



2. Příklad výsledků dvouparametrické analýzy četností náhodného průběhu veličiny x . Vyznačeny jsou třídění n a kumulativní h četnosti maxim, minim a rozkmitů, četnost přechodů hladin h_p a jí odpovídající třídění četnosti Δh_p

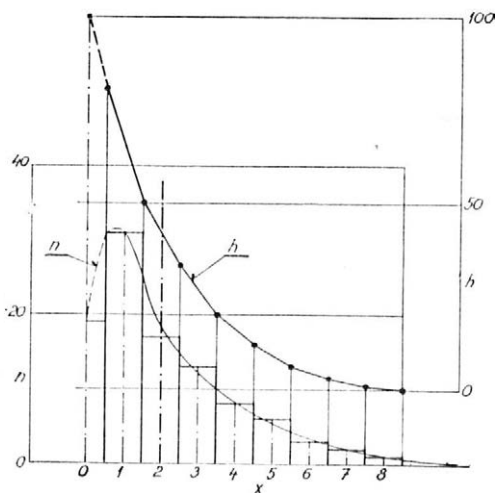


3. Histogramy a modelové křivky rozdělení třídních četností n (dole) a polygony kumulativních četností h (nahore), odpovídající výsledkům analýzy veličiny x na obr. 2:

1 - maxima, 2 - minima, 3 - základní metoda relativních vrcholů, 4 - metoda orientovaných vrcholů, 5 - metoda přechodové četnosti

trum amplitud. Střední hodnota rozdělení rozkmitů $\bar{x}_r = \bar{x}_{max} - \bar{x}_{min} = 2$ (obr. 2). Důležité je zde přiřazení tříd rozkmitů hodnotám analyzované veličiny x . Z principu dvouparametrické analýzy plyne, že velikost rozkmitu odpovídající středu třídy je dána (v měřítku tříd) počtem překročených hranic tříd. Na rozdíl od četností vrcholů jsou zde tedy pevně stanoveny středy tříd rozkmitů, zatímco hranice tříd se ve skutečnosti překrývají (rozkmitu velikosti jedné třídy odpovídá rozmezí nula až dvě třídy, velikosti dvou tříd rozmezí jedné až tří tříd atd.); berou se tedy uprostřed tohoto překrytí (obr. 1 a 3). Tím ovšem dostáváme i jednu třídu symetrickou kolem dynamické nuly (diagonály korelační tabulky), které odpovídá nulový rozkmit a která se v praktických případech zanedbává; spodní hranice první započítané třídy (rozkmít = 1) je však o polovinu třídy posunuta vůči dynamické nule.

Podle Paasche (1970) mají samotná maxima a minima velmi často normální rozdělení, která se zpravidla překrývají. Tyto poměry lze pak nejlépe analyzovat na pravděpodobnostním papíře, což ukazuje obr. 6, kde jsou vyneseny výsledky pro stejné případy jako na obr. 3. Distribuční křivky rozdělení maxim a minim, odpovídající sčítání od jedné (v našem případě levé) strany, se zobrazují jako rovnoběžné přímky (způsob vynášení distribučních křivek odpovídajících sčítání z obou stran je pro tento případ méně vhodný,



4. Histogram a modelová křivka třídních četností n a polygon kumulativních četností h rozkmitů veličiny x podle obr. 2

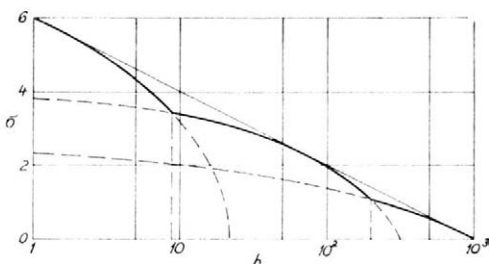
četnosti; části polygonů kumulativních četností, odpovídající spektrum provozních zatížení, jsou vyznačeny silně (čárkované části jsou jejich zrcadlovým obrazem).

Výsledky získané metodou relativních rozkmitů jsou vyneseny na obr. 4. Počet rozkmitů je roven počtu cyklů (jsou započítávány jen rozkmity v jednom smyslu). Posunutím středů rozkmitů na hladinu dynamické nuly (plyne z principu této metody) se původní nesymetrické spektrum rozkmitů převede na vždy symetrické spek-

i když napohled se může zdát názornější — na obr. 6 vyznačeno slabě čárkovaně jen pro maxima). Body těchto přímk s relativní četností 50 % určují střední hodnoty rozdělení maxim a minim $\bar{x}_{max}$ a $\bar{x}_{min}$, jejichž průměrem je střední hodnota všech vrcholů (v našem případě $\bar{x} = 0$) a rozdílem střední hodnota rozkmitů $\bar{x}_r$. Průsečíky obou přímk se svislicí proloženou střední hodnotou všech vrcholů udávají přímo počet vrcholů, který se zanedbá metodou orientovaných vrcholů (odpovídá čárkované části přímk). Svislá vzdálenost těchto průsečíků (v %) pak udává tzv. stupeň nepravdivosti N_0/N_1 (poměr počtu přechodů dynamické nuly k celkovému počtu vrcholů), který je důležitou charakteristikou analyzovaného průběhu (Procházka 1971).

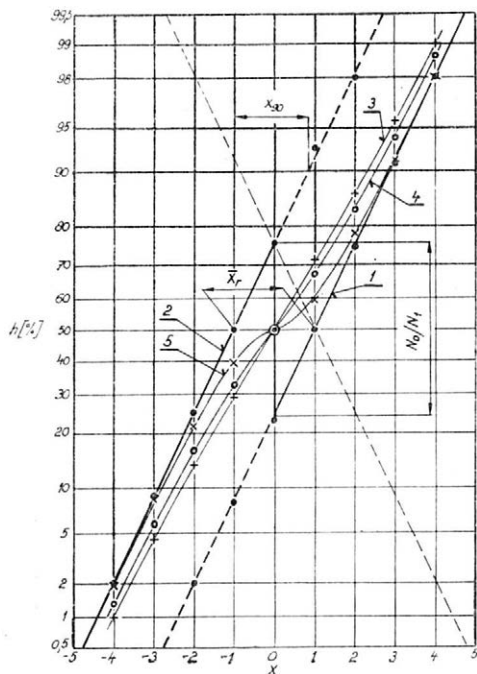
Z obr. 6 plyne, že při normálním rozdělení maxim a minim je rozdělení amplitud, odpovídající metodě orientovaných vrcholů, dáno částmi křivek normálního rozdělení, čehož lze využít k správnému určení amplitud zatížení; rozdělení vrcholů jako celku však již není přesně normální. U metod relativních vrcholů a přechodové četnosti, kde se překrývající části rozdělení maxim a minim buď sčítají nebo odečítají, není potom ani rozdělení amplitud, ani rozdělení vrcholů přesně normální, i když je pravděpodobně bude možné často s dostačující přesností tímto rozdělením nahradit. Poměry jsou zde závislé na velikosti překrytí rozdělení maxim a minim, tedy na vzdálenosti vrcholů spekter maxim a minim $\bar{x}_r$ a sklonu distribučních křivek na pravděpodobnostním papíře (rozptylu), který můžeme charakterizovat buď směrodatnou odchylkou, nebo nějakou jinou hodnotou pro předem dohodnutou pravděpodobnost, např. vzdáleností x_{90} na obr. 6. Velikost překrytí je potom charakterizována poměrem $\bar{x}_r/x_{90}$.

Vynesení spekter vrcholů na pravděpodobnostním papíře je tedy velmi účelné. Na tom je založen celý systém v NDR zavedeného znázorňování spekter zatížení, přičemž se vychází z toho, že rozdělení vrcholů je buď normální nebo smíšené, tj. složené ze dvou nebo více normálních rozdělení (Lehmann 1969a, Cottin 1970). Spektra zatížení jsou pak na pravděpodobnostním papíře dána dvěma nebo více na sebe navazujícími částmi přímk odpovídajících distribučním funkcím jednotlivých normálních rozdělení. Přitom přednostně doporučovanou metodou analýzy četností je podle Paasche (1970) metoda orientovaných vrcholů, méně již metoda přechodové četnosti, jímž zřejmě odpovídají i uváděná spektra zatížení. Příklad spektra složeného ze tří normálních rozdělení je na obr. 5 vyneseno v semilogaritmických souřadnicích (uvedena jen kladná polovina). Spektra takového tvaru se mohou získat tehdy, jestliže přes průběh kmitání vyvolaný jedním zdrojem (např. pracovním zatížením) se překládají kmity od jiných zdrojů (např. kmitání součásti ve vlastní frekvenci), nebo složením více dílčích spekter získaných za různých podmínek zatížení do spektra pro celou životnost stroje. Z obr. 5 je zřejmé, že smíšené spektrum se může velmi blížit tvaru exponenciálního rozdělení a může jím být nahrazeno.



5. Příklad spektra zatížení složeného ze tří normálních rozdělení

Rozdělení četností rozkmitů bývají převážně nesouměrná. Rozdělení rozkmitů může být normální jen tehdy, jestliže dvojnásobek až trojnásobek směrodatné odchylky nepřevyšuje velikost střední hodnoty tohoto rozdělení. To potvrzují i výsledky, které uvádí Procházka (1971). Čím je směrodatná odchylka relativně větší, tím více se vrchol rozdělení rozkmitů blíží k dělicí diagonále korelační tabulky a rozdělení se stává nesouměrným (obr. 2 a 4). Poněvadž rozkmity nemohou být menší než nula, používá se zde teoretických rozdělení definovaných jen v kladné oblasti. U logaritmicko-normálního nebo Rayleighova rozdělení pak nulovému rozkmitu odpovídá nulová četnost. Počítáme-li



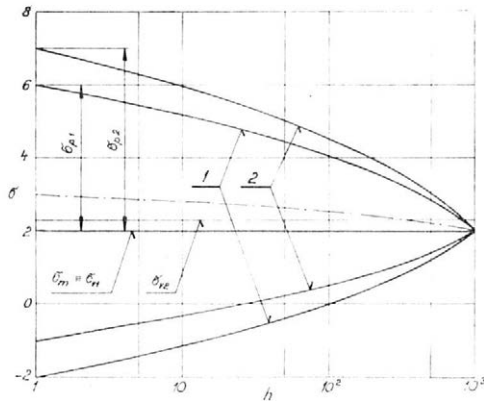
6. Spektra zatížení, odpovídající případům na obr. 3, vynesena na pravděpodobnostním papíře

1 - maxima, 2 - minima, 3 - základní metoda relativních vrcholů, 4 - metoda orientovaných vrcholů, 5 - přechodová četnost

Metody analýzy, vycházející z četností rozkmitů, dávají vždy souměrná spektra amplitud; metody počítající vrcholy kmitů mohou dát spektra souměrná i nesouměrná. Z principu stejného počtu maxim a minim plyne, že vrchol spektra je dán vždy 50% kumulativní četností všech vrcholů ve spektru zahrnutých; tomuto vrcholu odpovídající napětí σ_m udává medián rozdělení, který u souměrných spekter je shodný s aritmetickým průměrem všech vrcholů $\sigma_p = \bar{x}$, jenž pokládáme za střední hodnotu analyzovaného průběhu, i s hodnotou napětí odpovídající vrcholu frekvenční křivky (tzv. modus). U nesouměrných spekter se pak střední hodnota, medián a modus neshodují a nabývají rozdílných hodnot. Příklad obecného znázornění symetrického a asymetrického spektra v semilog. souřadnicích je na obr. 7, kde čerchovaná křivka ukazuje ve skutečnosti proměnlivá střední napětí cyklů asymetrického spektra.

POPIS SPEKTER A JEJICH ROZŠÍŘOVÁNÍ

Spektrum zatížení je charakterizováno polohou krajního bodu spektra, odpovídajícího největšímu zahrnutému výkmitu napětí σ_p (obr. 7) při četnosti h_p , souřadnicemi vrcholu spektra — napětím σ_m a četností h_m — a tvarem rozdělení četností (distribuční funkcí). To platí přesně pro spektra souměrná kolem osy dané napětím σ_m , takže stačí počítat jen s jejich polovinou pro $\sigma > \sigma_m$; u spekter nesouměrných pak je třeba udávat oba krajní body a obě části distribuční křivky. Rozdíl $h_m - h_p$ udává počet cyklů zahrnu-



7. Symetrické (1) a asymetrické (2) spektrum zatížení v semilogaritmických souřadnicích (σ = napětí, h = kumulativní četnost)

však při dvouparametrické analýze i rozkmitů v rozmezí jedné třídy (obr. 2), pak je zřejmé, že i ve třídě se střední hodnotou rovnou nule dostaneme nenulovou četnost. Exponenciální rozdělení pak předpokládá naopak v této třídě četnost nejvyšší. Tyto malé kmitky jsou ovšem při dostatečném počtu tříd z hlediska únavové pevnosti většinou bezvýznamné a uvedené poznámky mají opodstatnění jen s ohledem na volbu nepřiléhavějšího matematického modelu.

tých ve spektru a spolu s napětím σ_p je vázán zvoleným pravděpodobnostním rozsahem celého spektra. Je-li $h_p = 1$, bývá hodnota h_m nazývána rozsahem spektra; pro $h_p > 1$ se pak používá pojmu směrodatný rozsah spektra h_m/h_p (Hanke 1967).

Účelné je vyjadřovat velikost amplitud σ_i ve spektru relativní amplitudou vztahenou k největšímu výkmitu σ_p , tedy poměrem

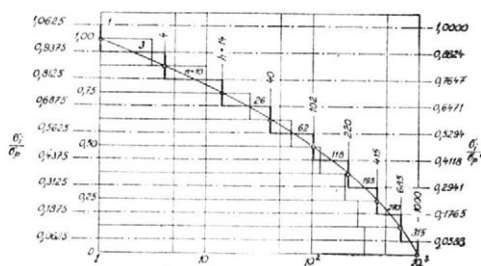
$$\sigma_i/\sigma_p = (\sigma - \sigma_m)/\sigma_p$$

který se pohybuje v rozmezí od +1 do -1. To je výhodné při přepočítávání spekter stejného tvaru na jiné amplitudy napětí. Jestliže přitom i četnosti udáváme relativně (např. v %), dostáváme bezrozměrné vyjádření spektra.

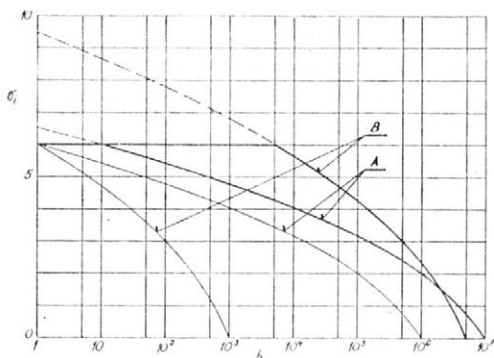
Především pro programové zkoušky životnosti, ale také pro některé způsoby výpočtů, se sestavují tzv. jednotková spektra, u nichž četnost největší amplitudy $n_p = 1$, která se při zkouškách opakovaně zavádějí. Gassner (1954) doporučuje rozsah takových spekter $h_m = 0,5 \cdot 10^6 \div 10^6$ cyklů. Opakováním jednotkového spektra při programové zkoušce dostáváme výsledné tzv. zúžené spektrum (viz silně vyznačená spektra na obr. 9), které odpovídá vynásobení třídních nebo kumulativních četností spektra jednotkového určitou konstantou, danou počtem opakování programu, což se v semilogaritmických souřadnicích jeví jako rovnoběžný posuv jednotkového spektra ve směru osy $\log h$. Zúžené spektrum se získá i v případech, kdy buď zatížení nemůže během předpokládané doby životnosti překročit určitou hodnotu, nebo když se nepřístupí k extrapolaci výsledků měření do oblasti vyšších zatížení při zvyšování počtu cyklů, nebo když realizaci tohoto vyššího zatížení při zkouškách nedovolí zkušební zařízení. Kromě zúženého spektra je třeba rozeznávat také zkrácené spektrum, u něhož je odříznuta vrcholová část (např. když se pro urychlení zkoušky vynechají nejnižší hladiny zatížení jako nejméně významné).

Při přepočtu jednotkových spekter na jiný počet cyklů se kromě již uvedeného násobení četností používá způsobu umocnění třídních četností určitou konstantou (Hanke 1967). Přepočtené spektrum je pak opět jednotkové a pravidelné, má s původním společný krajní bod, avšak vrcholová četnost n_m nebo h_m je rozdílná.

Pro praktické aplikace se původní spojitá spektra převádějí na spektra stupňovitá se zvoleným počtem hladin zatížení, které odpovídají středům jednotlivých stupňů (tříd), přičemž počty cyklů se určí diferencováním kumulativních četností na hranicích tříd. Gassner (1954) doporučuje volit šest až osm stupňů. Příklad pro jednotkové spektrum



8. Spektrum zatížení odpovídající normálnímu rozdělení (v souřadnicích kumulativní četnost h — relativní amplituda σ_i/σ_p) a jeho převedení na stupňovité spektrum pro 9 hladin. Relativní amplituda je vztahena buď ke krajnímu bodu kumulativního spektra (σ_p — vlevo) nebo ke krajnímu bodu třídního spektra (σ'_p — vpravo)



9. Porovnání dvou spekter zatížení A a B s normálním rozdělením četností a společným krajním bodem, odpovídajících rozdílným pravděpodobnostem (σ_i = amplituda napětí, h = kumulativní četnost)

s normálním rozdělením a rozsahem $h_m = 10^3$ je na obr. 8, kde jsou vyznačeny i hodnoty relativních amplitud pro zvolených devět hladin zatížení, jim odpovídající počty cyklů a kumulativní četnosti na hranicích tříd. Zde je třeba uvážit, že krajní bod kumulativního spektra udává spodní hranici nejvyšší třídy, takže nejvyšší hladina zatížení s počtem cyklů $n = 1$ je o půl třídy vyšší než σ_p . Někdy (Hanke 1967) se proto relativní amplitudy vztahují ke krajnímu bodu třídního spektra, tj. ke středu nejvyšší třídy, takže pro stejné hladiny jako v prvním případě dostaneme jiné relativní hodnoty uvedené na pravé straně obrázku. Slabě plně je vyznačen také histogram četností, odpovídající stupňovitému spektru.

Aplikace teoretických rozdělení k vyrovnávání experimentálních dat umožňuje provést tzv. rozšíření spektra, zjištěného za poměrně krátký úsek provozní doby, na potřebnou dobu životnosti součásti či stroje. Poněvadž teoretická rozdělení nejsou ukončena, nejsou ani krajní body spektra určeny předem, ale lze je jen volit tak, aby spektru odpovídal určitý rozsah pravděpodobnosti vždy menší než jedna. Přitom právě v těchto krajních oblastech je vliv zvolené pravděpodobnosti na velikost maximální amplitudy spektra nejvýraznější. Pravděpodobnostní rozsah spektra P_s (odpovídá tzv. funkci spolehlivosti) lze vyjádřit vztahem

$$P_s = (h_m - h_p)/h_m = 1 - (h_p/h_m) \quad (1)$$

takže pro kumulativní četnost vrcholu spektra pro zvolené P_s je

$$h_m = h_p/(1 - P_s) \quad (2)$$

pro jednotková spektra pak

$$h_m = 1/(1 - P_s)$$

Význam této pravděpodobnosti lze nejlépe objasnit na příkladu uvedeném na obr. 9. Zvolila se dvě jednotková spektra se společným krajním bodem (odpovídající normálnímu rozdělení četností), a to spektrum A s rozsahem 10^6 cyklů a pravděpodobnostním rozsahem 99,999 % a spektrum B s rozsahy 10^3 cyklů a 99,90 % (vyznačena slabě). Předpokládejme, že při aplikaci spektra A bude životnost součásti do lomu 10^7 cyklů, takže při programové zkoušce bude spektrum opakováno desetkrát. Při aplikaci spektra B s vyšším poměrným zastoupením větších kmitů bude životnost součásti nižší; zde je uvažována poloviční než pro spektrum A, tedy $5 \cdot 10^6$ cyklů, takže počet opakování spektra B bude $5 \cdot 10^3$ (jedná se o hrubý odhad, správné hodnoty by bylo třeba určit zkouškami nebo výpočtem). Spektra odpovídající celé životnosti jsou na obr. 9 vyznačena silně (jsou to zúžená spektra). Čárkované části křivek pak ukazují jednak zvětšení amplitud, které nebylo při aplikaci spekter respektováno, jednak jedenkrát se vyskytující nejvyšší zatížení, která lze v praktickém provozu očekávat, jestliže použitý matematický model je správný a platný pro celou životnost součásti či stroje. Krajní zatížení je značně vyšší u spektra B, odpovídajícího menšímu rozsahu pravděpodobnosti (obecně bude závislé také na tvaru spektra). Proto se často doporučuje extrapolovat experimentálně získaná spektra do oblastí vysokých pravděpodobností; např. v práci Paasche (1969) se zejména s ohledem na pevnostní výpočty doporučuje pravděpodobnost 99,999 % (běžné pravděpodobnostní papíry mají rozsah jen 99,96 %).

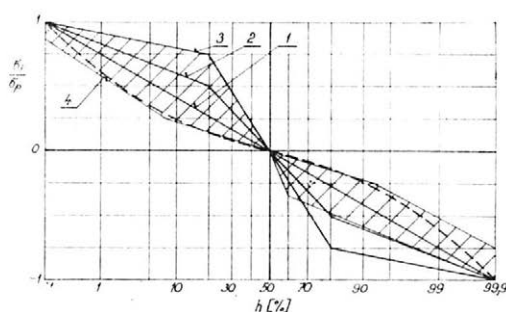
Rozšiřování spekter do oblastí vysokých pravděpodobností je ovšem správné tehdy, jestliže experimentální podklady správně a proporcionálně zahrnují všechny v praxi se vyskytující případy zatížení, jejichž pravděpodobnost výskytu podléhá stejným zákonitostem. Sestavit takové spektrum je však zejména u zemědělských strojů velmi obtížné, neboť proměnlivost provozních podmínek je zde mimořádně široká. Proto se k rozšiřování spekter zatížení v praktických případech všeobecně přistupuje se značnou opatrností. Lze předpokládat, že rozšiřovat bude možné především dílčí spektra pro jednotlivé provozní režimy; sotva však spektra pro celou životnost.

S tím souvisí také problém stanovení občasných vysokých přetížení, která se u zemědělských strojů vyskytují (např. při přejíždění velkých terénních nerovností, nárazu pracovního orgánu na překážku v půdě, ucpání pracovních orgánů, vlivem hrubého či neodborného zacházení apod.) a která jsou rozhodující pro statickou pevnost konstrukcí. Podle Cottina (1970) a podle našich zkušeností vede určení těchto přetížení extrapolací spekter provozních zatížení většinou k chybným výsledkům, neboť pravděpodobnost jejich výskytu závisí na jiných faktorech než u dynamického zatížení plynoucího z pravidelného provozního režimu. V těchto případech je tedy třeba i nadále vycházet z výsledků samostatných měření v krajních provozních podmínkách.

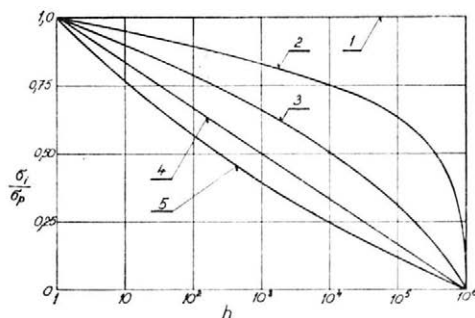
Spektrum zatížení pro celou životnost se skládá z řady dílčích spekter pro různé pracovní podmínky stroje či součásti, zahrnutých v poměru počtu cyklů odpovídajících době provozu v těch kterých podmínkách. Z hlediska dosažení co nejvěrohodnějších spekter by bylo správné zahrnout pokud možno všechny v úvahu přicházející provozní podmínky; z praktických a ekonomických hledisek je však většinou nutné omezit se jen na charakteristické provozní režimy. Práce v tomto směru by měly vést k postupnému vytýpování charakteristických provozních podmínek společných pro celé skupiny strojů nebo jejich součástí, které by dostatečně reprezentovaly zatížení za celou životnost. Druhým nezbytným podkladem jsou údaje o časovém rozvrhu práce stroje v různých provozních podmínkách. Rovněž zde je v oblasti zemědělských strojů naprostý nedostatek solidních informací. Je pravděpodobné, že pro důležité stroje nebo jejich skupiny bude třeba dělat samostatná šetření o způsobu využití strojů. Ze spektra zatížení pro celou životnost lze pak určit jednotkové spektrum pro zvolenou jednotku provozní doby či pro jinou jednotku charakterizující provozní vytížení stroje.

TYPIZACE SPEKTER

Hodnocení velkého počtu spekter zatížení získaných pro různé součásti strojů za různých podmínek (např. Lehmann 1969a, Cottin 1970) ukazují, že pro řadu součástí mají spektra podobný charakter, vyznačující se přibližně stejným tvarem spektra při rozdílné velikosti vyskytujících se zatížení, takže při bezrozměrném znázornění v souřadnicích relativní četnost — relativní amplituda jsou téměř shodná. Je proto snaha shrnout všechna spektra do menšího počtu charakteristických případů, tj. stanovit tzv. typická spektra zatížení platná pro skupiny součástí různých zemědělských strojů, což vede k značnému zjednodušení a zrychlení pevnostních výpočtů i zkoušek životnosti.



10. Oblast výskytu spekter zatížení částí zemědělských strojů (v souřadnicích relativní četnost h — relativní amplituda σ_i/σ_p) a z ní odvozená typická spektra zatížení 1-3 podle Cottina (1970). Křivka 4 odpovídá exponenciálnímu spektru

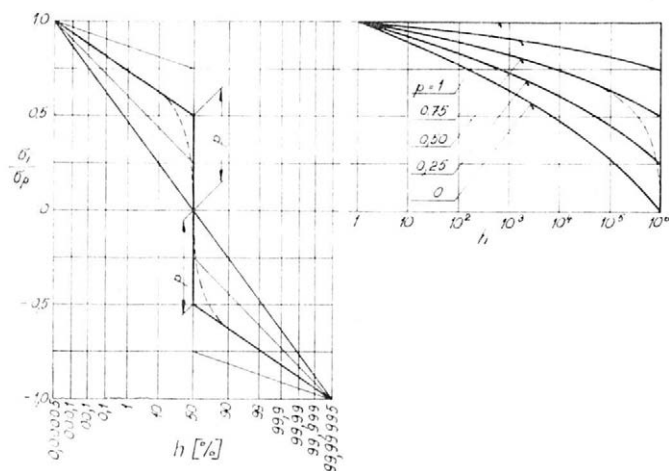


11. Nejčastěji se vyskytující typické tvary spektra zatížení (v souřadnicích kumulativní četnost h — relativní amplituda σ_i/σ_p)

Na obr. 10, převzatém z Cottina (1970), je šrafovaně vyznačena oblast výskytu několika set spekter zatížení zjištěných pro různé součásti zemědělských strojů; znázornění na pravděpodobnostním papíře odpovídá způsobu používanému v NDR. Tato oblast je pak nahrazena třemi typickými spektry (symetrickými), z nichž spektrum 1 odpovídá normálnímu rozdělení a spektra 2 a 3 jsou složena ze dvou normálních rozdělení (smíšená spektra — plnější než spektrum normální). Obrázek byl doplněn o exponenciální spektrum 4, které poměrně dobře souhlasí se spodní hranicí udávané oblasti. Podle Lehman-na (1969a) se u automobilů a samohodných zemědělských strojů vyskytují smíšená spektra blízká se spektru exponenciálnímu, nebo i méně plná.

Tvar spektra zatížení se často charakterizuje také zde již použitým pojmem plnost spektra, jehož význam ukazuje obr. 11; jsou na něm vyneseny nejčastěji se vyskytující typické tvary spekter. Křivka 1 znázorňuje krajní případ nejvíce plného spektra, odpovídajícího zatížení konstantní amplitudou (např. při zjišťování Wöhlerových křivek). Křivka 2 charakterizuje oblast značně plných spekter, pohybujících se mezi tímto krajním případem a spektrem 3 s normálním rozdělením četností. Spektra typu 2 se získají např. tehdy, jestliže rozdělení maxim a minim se překrývají jen málo nebo vůbec ne. Spektrum 4 odpovídá exponenciálnímu rozdělení četností, křivka 5 pak nejméně plným spektrům, ležícím v oblasti pod křivkou 4, kdy se často uplatňují části křivek logaritmicko-normálního nebo Rayleighova rozdělení. Je zřejmé, že čím méně plné je spektrum, tím menší je jeho poškozující účinek při jinak stejných parametrech. Je proto snaha zavést nějaký ukazatel, který by jednoduchým způsobem charakterizoval buď geometrický tvar spektra, nebo dokonce jeho poškozující účinek, takže by mohl být přímo uplatněn ve vztazích pro výpočet životnosti. S tím je ovšem často spojeno i určité zidealizování tvaru spektra.

První systém charakterizování tvaru spekter navrhl Gassner a kol. (1964) pro spektra typu 2 na obr. 11. Vychází ze znázornění na pravděpodobnostním papíře pro normální rozdělení, kde distribuční křivku nahrazuje přímkovými úseky podle obr. 12 vlevo. Plnost spektra udává parametrem p (nazývaným součinitelem spektra), který



12. Způsob idealizace a označování spekter zatížení podle Gassnera. Vlevo je v pravděpodobnostní síti silně vyznačeno idealizované spektrum pro $p = 0,5$ (čárkovaně skutečný průběh), slabě pak ostatní idealizovaná spektra odpovídající svazku křivek v pravé části obrázku. σ_i/σ_p = relativní amplituda, h = kumulativní četnost

nabývá hodnot od $p = 0$ (pro spektrum s normálním rozdělením) do $p = 1$ (pro spektrum odpovídající jednostupňovému zatížení). Svazek takových spekter je na obr. 12 vpravo; jejich relativní amplitudy se skládají z konstantní složky velikosti p a z proměnlivé složky odpovídající normálnímu rozdělení v rozsahu $1-p$. Rozdíly mezi skutečným a idealizovaným spektrem jsou především v oblasti vysokých četností a nejmenších amplitud, přičemž idealizace je vždy na straně vyšší bezpečnosti. Tvar spektra se pak dá měnit

pomocí jednoho parametru, který současně vyjadřuje systematické napojení na případ s konstantní amplitudou (Wöhlerovu křivku). Parametr p je však jen geometrickou charakteristikou tvaru a nelze jej přímo uplatnit ve vztazích pro životnost součástí; základním nedostatkem je to, že ho lze použít jen pro spektra plnější než dává normální rozdělení.

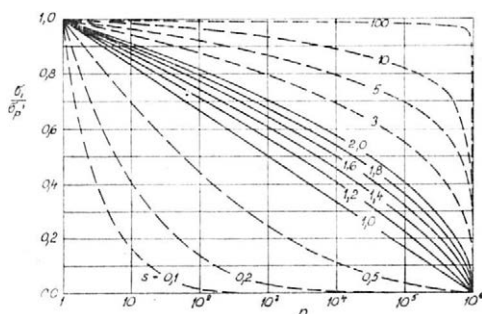
V NDR používané znázornění spekter na pravděpodobnostním papíře (obr. 10) je určitým zpřesněním a rozšířením uvedeného způsobu na všechny typy spekter, která pak ovšem nelze charakterizovat jen jedním parametrem.

Jiný systém popisu navrhl Hanke (1967) především pro spektra zatížení, jejichž tvar se pohybuje mezi normálním a exponenciálním rozdělením četností. Vychází z analogického tvaru výrazů pro frekvenční funkce normálního a exponenciálního rozdělení a třídní četnosti n_i vyjadřuje společným vztahem

$$n_i = n_m \cdot e^{-\alpha_s (\sigma - \sigma_m)s} = n_m \cdot e^{-\alpha_s \sigma_i s} \quad (3)$$

kde: σ a σ_m — absolutní hodnoty napětí
 $\sigma_i = \sigma - \sigma_m$ — amplituda napětí
 n_m — třídní četnost odpovídající vrcholu spektra (tj. napětí σ_m)
 α_s — hodnota závislá na velikosti odchylky
 s — parametr spektra

Tímto vztahem je dáno parametrické vyjádření celé rodiny funkcí v závislosti na parametru s , přičemž $s = 2$ odpovídá normálnímu, $s = 1$ pak exponenciálnímu rozdělení. Podle autora není přitom zásadních námitek proti použití parametru e i mimo uvedené rozmezí. Předpokládá se samozřejmě souměrné spektrum; v případě spektra nesouměrného je třeba uvažovat každou větev zvlášť. Tvar svazku třídních spekter s různou hodnotou parametru s je na obr. 13.



13. Svazek třídních spekter s různou hodnotou parametru s a s konstantní třídní četností vrcholu $n_m = 10^6$ podle Hankeho (1967)

Z experimentálně získaných výsledků lze parametr s určit různými způsoby s různou přesností; nejdokonalější cestou k určení nejen tohoto parametru, ale i krajního bodu (n_p, σ_p) a vrcholu spektra (n_m, σ_m), je regresní analýza. Je-li znám krajní bod a vrchol spektra, lze parametr s vypočítat ze vztahu odvozeného Hankem (1967)

$$s = \frac{\log \frac{\log n_m/n_i}{\log n_m/n_p}}{\log \sigma_i/\sigma_p} \quad (4)$$

kteří ukazuje, že v souřadnicích $\log \sigma_i/\sigma_p$ a $\log \frac{\log n_m/n_i}{\log n_m/n_p}$ se svazek třídních spekter zobrazuje jako svazek přímek se směrnici s . Jestliže tedy body získané měřením vytvoří v těchto souřadnicích přímku, lze pro toto empirické spektrum přijmout matematický model ve tvaru výše uvedené rovnice (3). I když parametr s je především ukazatelem

geometrického tvaru spektra, lze jím hodnotit i různý charakter skutečného provozu a kvalitativně i poškozující účinek spekter se stejnými rozsahy.

Jiné způsoby vycházejí z požadavku charakterizovat spektra především s ohledem na jejich poškozující účinek tak, aby zavedený ukazatel byl popřípadě přímo použitelný při pevnostních výpočtech. Tento přístup musí být již samozřejmě založen na některé předem zvolené hypotéze kumulace únavového poškození. Lehmann (1969b) navrhuje charakterizovat spektra tzv. mírou plnosti v , která ve smyslu definice křivek provozní pevnosti je stejná pro spektra se stejným poškozujícím účinkem. Míru plnosti vztaženou k nejvyšší hladině zatížení (tj. krajnímu bodu třídního spektra) určuje z poměru únavové životnosti při jednostupňovém zatížení na této nejvyšší hladině k životnosti odpovídající spektru zatížení podle Corten-Dolanovy hypotézy a udává vztah

$$v = \frac{\log \left[\sum \frac{n_i}{n_p} \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_p} \right)^r \right]}{\log \sum \frac{n_i}{n_p}} \quad (5)$$

Logaritmováním čitatele i jmenovatele se dosahuje toho, že míra plnosti se pohybuje v rozmezí od nuly do jedné, přičemž pro jednostupňové zatížení $v = 1$. Pro stejný tvar a rozsah spektra je nezávislá na velikosti zatížení. Exponent r doporučuje autor brát $r = 6,5$.

Na základě různých hypotéz kumulace únavového poškození a jejich různých formulací lze odvodit i řadu dalších obdobných ukazatelů poškozujícího účinku spektra, vhodných pro různé výpočtové postupy.

Literatura

- COTTIN D., 1970, Probleme bei der Durchsetzung des Leichtbaues im Industriezweig Landmaschinenbau. IfL Mitteilungen 11 12.
 GASSNER E., 1954, Betriebsfestigkeit. Konstruktion 3.
 GASSNER E., GRIESE W., HAIBACH E., 1964, Ertragbare Spannungen und Lebensdauer einer Schweißverbindung aus Stahl St 37 bei verschiedenen Formen des Beanspruchungskollektivs. Archiv für das Eisenhüttenwesen 3.
 HANKE M., 1967, Studie k vyhodnocení provozního zatížení a k výpočtu únavové životnosti dílů motorových vozidel. Zpráva ÚVMV č. Z-16/67.
 LEHMANN R., 1969a, Normkollektive für die Betriebsfestigkeitsforschung. IfL Mitteilungen 8.
 LEHMANN R., 1966b, Eine Indikationsfunktion zur Korrektur der Hypothese der linearen Schädigung. IfL Mitteilungen 6.
 PAASCH F., 1969, Über die Wahl einiger Einflußgrößen bei der Bemessung auf Zeit- und Betriebsfestigkeit. IfL Mitteilungen 6.
 PAASCH F., 1970, Ein System von Beanspruchungskennwerten zur zeitsparenden Ermittlung günstigster Klassiervverfahren bei Betriebsfestigkeitsversuchen. IfL Mitteilungen 9.
 PROCHÁZKA J., 1971, Metody analýzy náhodně proměnných zatížení zemědělských strojů z hlediska únavové životnosti. Zem. technika 10 : 611-628.

Došlo dne 16. 7. 1973

ПРОХАЗКА Й. (Научно-исследовательский институт сельскохозяйственных машин, Прага-Ходов, Чехословакия). Спектры эксплуатационной нагрузки частей сельскохозяйственных машин. Zem. technika 19 (11) : 657-669, 1973.

В работе анализируется и приводится в более широкой взаимосвязи статистически обоснованный процесс составления спектров эксплуатационной нагрузки, которые являются отправными данными для оценки переменной нагрузки частей сельскохозяйственных машин. Про-

цесс составления спектров включает определение эмпирического спектра на основе результатов измерения, его замену теоретическим распределением, экстраполяцию результатов. В работе анализируются и приводятся в более широкой взаимосвязи статистически обоснованные спектры для характерных режимов эксплуатации, составление суммарного спектра для всего срока службы машинной составной части и, наконец, перевод бесступенчатых суммарных или частных спектров на спектры ступенчатые, применимые при расчетах или испытаниях переменной нагрузки. Далее, приводятся способы типизации спектров нагрузки; эта типизация имеет значение для объединения и упрощения расчетов и испытаний срока службы разных частей сельскохозяйственных машин.

переменная нагрузка; спектр эксплуатационных нагрузок

PROCHÁZKA J. (Research Institute of Agricultural Engineering, Praha-Chodov, Czechoslovakia). *The Spectres of the Working Load of Farm Machine Parts*. Zem. technika 19 (11) : 657-669, 1973.

The paper presents an analysis and generalization of a procedure of the formation of working load spectres which serve as a basis for the evaluation of the fatigue life of farm machine parts. The procedure is based on statistical data. It includes the determination of the empirical spectre according to the results of measurement, its substitution by theoretical distribution, extrapolation of the results to the sections of higher loads with a lower probability of occurrence, the determination of the unit spectres for characteristic operational régimes, formation of the general spectre for the whole life of the machine part, and finally, the transformation of continuous general or partial spectres to graduated spectres, applicable to the calculation or testing of fatigue life. Furthermore, the paper describes the methods of the typification of load spectres; this typification is important for the unification and simplification of the computation and testing of the life of various parts of farm machines.

fatigue life; spectre of working loads

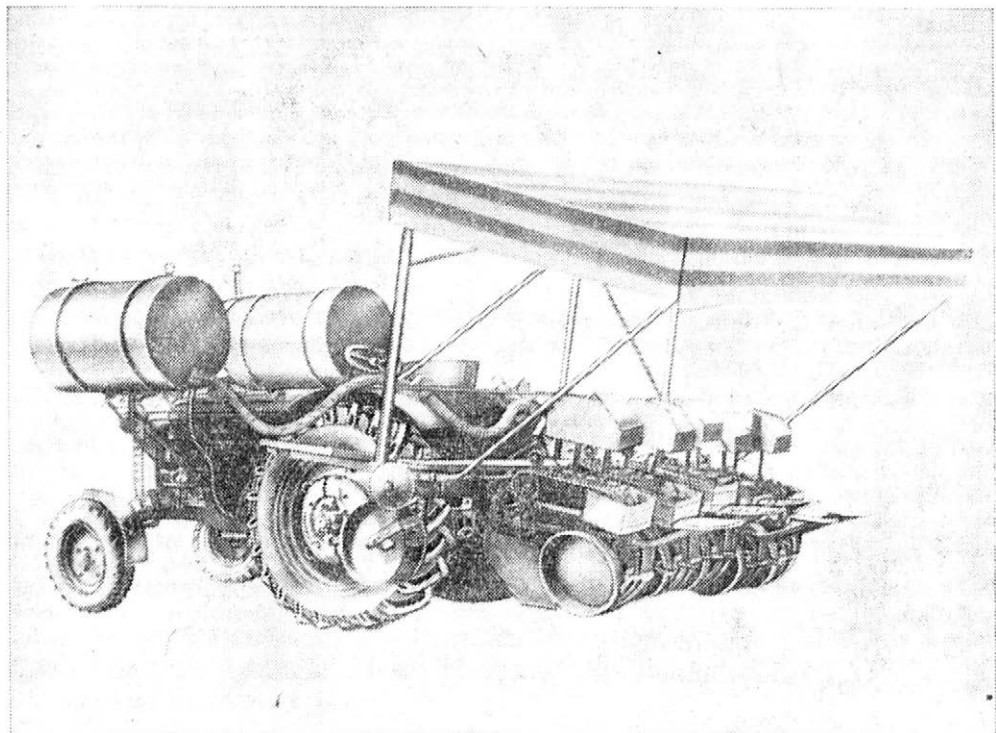
PROCHÁZKA J. (Forschungsinstitut für Landmaschinen, Praha-Chodov, Tschechoslowakei). *Spektren der Betriebsbelastungen des Landmaschinenteiles*. Zem. technika 19 (11) : 657-669, 1973.

In der Abhandlung wird das Verfahren zur Zusammenstellung von als Ausgangsgrundlage für die Auswertung der Ermüdungslebensdauer von Landmaschinenteilen dienenden Spektren von Betriebsbelastungen analysiert und in breitere Zusammenhänge gebracht. Das Verfahren der Zusammenstellung von Spektren umfaßt die Festlegung des empirischen Spektrums anhand der Meßergebnisse, seine Ablösung durch theoretische Einteilung, Extrapolation der Ergebnisse in die Gebiete von höheren Belastungen mit geringer Anfallwahrscheinlichkeit, Bestimmung von Einheitspektrums für charakteristische Betriebsregime, Zusammenstellung eines Gesamtpektrums für die ganze Lebensdauer von Maschinenteilen und schließlich Überführung von zügigen Gesamt- oder Teilspektren in Stufenspektren, die bei den Berechnungen oder Prüfungen der Ermüdungslebensdauer anwendbar sind. Ferner werden Verfahren der Typisierung von Belastungsspektren aufgeführt; diese Typisierung ist von Bedeutung für die Vereinheitlichung und Vereinfachung der Berechnungen sowie Prüfungen der Lebensdauer von verschiedenen Landmaschinenteilen.

Betriebsfestigkeit; Spektrum von Belastungskollektiv

Adresa autora:

Ing. Josef Procházk a, Výzkumný ústav zemědělských strojů, 149 43 Praha 4 - Chodov



SÁZECÍ STROJ SRN-5,2

K sázení nepřepichovaných tabákových sazenic a různých druhů zeleniny současně s jejich za-
dešťováním se používá sázecího stroje SRN-5,2.
Při práci nepoškozuje tento stroj sazenice a pro-
cento rostlin, které byly zasazeny nesprávně, je
minimální, čímž se zvyšuje rentabilita výroby.

Agromachinaimpex

BULGARIEN



Vývozce: StHU Agromachinaimpex, Bulharsko, Sofia, Aksakovova 5
telefon: 88 53 25, dálnopis: 022 563

V případě, že potřebujete dodatečně ještě další informaci, spojte se prosím
s Bulharským obchodním zastupitelstvím, Krakovská 6, Praha 1, ČSSR

J. Novák

Výzkumný ústav zemědělských strojů, Praha-Chodov

NOVÁK J., *Metody vyhodnocování naměřených hodnot jednoúčelovým analogovým počítačem*. Zem. technika 19 (11) : 671-686, 1973.

Pro některé úlohy při experimentálních měřeních na zemědělských strojích je vhodné a účelné zpracovávat měřené veličiny přímo v průběhu měření. K tomuto účelu byl ve Výzkumném ústavu zemědělských strojů sestaven jednoúčelový analogový počítač. Okamžité získávání výsledků bez dalšího pracovního a zdlouhavého zpracování umožňuje dělat operativní změny v průběhu zkoušek i úpravy na měřeném stroji. Pomocí počítačích jednotek počítače můžeme dělat s měřenými signály různé matematické, logické operace a řídit postup zpracování. Navržená schémata zapojení počítačích jednotek řeší často se vyskytující úkoly tenzometrických měření hlavně z oblasti pevnostních výpočtů.

tenzometrické měření; vyhodnocování; pevnostní výpočet; analogová výpočetní technika

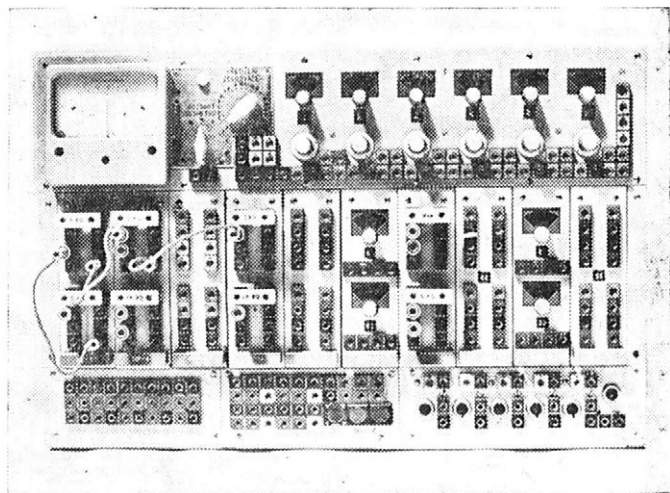
Se vzrůstající produkcí a modernizací nových zemědělských strojů stoupají požadavky kladené na jejich konstrukci a technologii výroby. Vývoj nových zemědělských strojů se opírá o teoretické znalosti, praktické zkušenosti a experimentální měření. Měření jednotlivých součástí, jejich skupin i celých zemědělských strojů dává relativně nejvíce podkladů pro řešení stále složitějších zemědělských mechanizačních prostředků. Při experimentálních pracích se podklady pro pevnostní, silové a energetické výpočty opírají o hodnoty mechanických veličin (jako např. hodnoty napětí částí strojů, sil, tlaků, kroutících momentů, dráhy, zrychlení, průtočného množství, vibrací atd.) a o hodnoty udávající podmínky měření (jako např. čas, poloha, otáčky, rychlost atd.). V současné době nejrozšířenější metoda měření mechanických veličin je měření na principu elektrických odporových tenzometrů s registrací průběhu naměřených veličin smyčkovým oscilografem (nebo měřicím magnetofonem). U většiny prací nestačí však záznam mechanických veličin sám o sobě, ale je nutné ještě udělat jeho správný rozbor a výklad. Naměřené mechanické veličiny je třeba dále zpracovávat. To znamená provádět s měřenými veličinami různé matematické a logické operace, jako např. násobení konstantou, vzájemné sečítání, odečítání, násobení, dělení, mocnění, odmocňování, zjišťování absolutních, maximálních a minimálních hodnot, určování středních hodnot, různé kombinace jednotlivých operací apod. Tyto operace s naměřenými veličinami je možné dělat buď numericky po převedení analogových (spojitých) signálů měřených veličin do číslicového (digitálního) tvaru, nebo přímým zpracováním měřených analogových signálů v průběhu měření.

Vlastní zpracování zaznamenaných měřených veličin se dělá v laboratorních podmínkách pomocí analogové nebo digitální výpočetní techniky.

Pro některé druhy úloh je výhodné zpracovávat měřené veličiny přímo v průběhu vlastního měření (experimentu). Získají se tak dílčí nebo konečné výsledky měření ihned po ukončení experimentu. Rychlé získávání výsledků umožňuje operativní změny jak v průběhu zkoušek, tak i úpravy na měřeném stroji.

Pro přímé zpracování signálů odpovídajících hodnotám měřených mechanických veličin byl ve VÚZS zkonstruován a sestaven jednoúčelový analogový počítač. Počítací jednotky analogového počítače umožňují dělat s měřenými signály matematické operace ihned v průběhu měření a zaznamenávat vypočtené průběhy nebo odečítat výsledky.

Počítač (obr. 1) je sestaven z napájecích a počítacích modulových jednotek používaných v tranzistorovém analogovém počítači MEDA 40T (výrobce n. p. Aritma-Vysočany) — (Kabeš 1968). Rám počítače umožňuje zasunutí 10 počítacích nebo přídavných modulových jednotek. Vzájemná zaměnitelnost počítacích jednotek dovoluje velmi snadno



1. Jednoúčelový analogový počítač zkonstruovaný ve VÚZS Praha

měnit skladbu počítače podle požadavku řešené úlohy. V horní přední části počítače je panel potenciometrů, kde je umístěn ručičkový voltmetr s přepínačem, kterým se přepíná citlivost a funkce voltmetru, šest $10k\Omega$ jednotáčkových a šest $10k\Omega$ desetitáčkových potenciometrů se stupnicí, korigovaných na zátěž $10k\Omega$, pro nastavení koeficientů, zdířky počítacího napětí ± 10 V, potenciometr pro nastavení symetrie počítacího napětí, obvody a optická indikace přetížení počítacích zesilovačů s přepínačem pro zjištění přetíženého zesilovače.

Ve spodní přední části počítače jsou umístěny čtyři integrační pole, tlačítka a zdířky pro řízení výpočtu a panel umožňující připojení pěti oscilografických smyček pro záznam výstupních počítacích napětí.

Nejzákladnějším prvkem analogového počítače je stejnosměrný zesilovač, u něhož při dostatečně velkém zesílení je přenosová funkce vyjádřena poměrem zpětnovazební a vstupní impedance. Podle zvoleného druhu a poměrné velikosti impedancí zajišťuje počítací zesilovač různé matematické operace jako inverzi, sčítání, násobení a dělení konstantou, integrování apod. Vstupní a zpětnovazební impedance počítacích jednotek jsou vnější výměnné a zasouvají se přímo do zdířek na panelech jednotlivých počítacích jednotek. Počítací síť se vytvoří vzájemným spojováním počítacích jednotek propojovacími šňůrami.

Podrobnější popis konstrukce jednoúčelového analogového počítače, zapojení počítacích zesilovačů a ostatních počítacích a napájecích jednotek uvádí Novák (1968, 1970) a Šimandl (1967). Vytvoření základních matematických operací pomocí počítacích jednotek, jejich vzájemné propojení v řízení výpočtu a programování je běžně známé

z analogové výpočetní techniky (Valenta a kol. 1966, Plander 1969, Borský a Matyáš 1965) a je v základě stejné jako u analogového počítače MEDA 40T.

Vyrobený jednoúčelový analogový počítač je umístěn v pojízdné měřicí laboratoři, která měří zemědělské stroje za provozu v polních podmínkách.

ŘEŠENÍ ÚLOH VYSKYTUJÍCÍCH SE PŘI MĚŘENÍ NA ZEMĚDĚLSKÝCH STROJÍCH

Vstupní signál, úměrný měřené mechanické veličině, je odebírán z napětového výstupu tenzometrického zesilovače. Velikost vstupního signálu se amplitudovou transformací upraví tak, aby napětí na zesilovačích v počítačové síti nepřekročila maximální hodnotu počítačového napětí ± 10 V.

Přesnost výpočtu je závislá na druhu a počtu matematických operací, které jsou s měřenými signály prováděny. Přesnost vlastních počítačových jednotek je pro zpracování měřených signálů dostatečná. Přesnost lineárních operací je určena přesností vstupních a zpětnovazebních odporů. Přesnost nelineárních operací je značně závislá na jakosti aproximace, kterou je nelineární vztah modelován. Diodové kvadrátory s deseti přímkovými úseky umožňují sestavit násobičku, pracující s pravděpodobnou chybou 1 %. Pro dosažení co největší přesnosti je třeba vstupní signály zesílit na maximálně možný potenciál (závislý na typu řešené úlohy). V úlohách, ve kterých se sečítá, je nutné nastavit stejná měřítka vstupních signálů. Při násobení, dělení, mocnění, odmocňování musí pro nulovou hodnotu měřené mechanické veličiny být nulový vstupní signál (správné vyvážení). Při nesprávně nastaveném měřítku a nulových signálů vznikají chyby, které se již nedají dalším zpracováním odstranit.

Každá úloha je počítána v určitém měřítku určeném amplitudovou transformací, proto i výstupní hodnota je v určitém měřítku vzhledem ke skutečné hodnotě. Při zpracování měřených veličin se počítačová síť (zapojení počítačových jednotek) před měřením (a po něm) cejchuje známým cejchovním signálem. Cejchování umožňuje správně nastavit měřítka vstupních i výstupních signálů.

VÝPOČET STŘEDNÍ HODNOTY MĚŘENÉ VELIČINY

Střední hodnotu spojitého měřeného signálu v čase je možné určit jednorázovou integrací (trvajícím časovým úsekem T) nebo spojitou integrací.

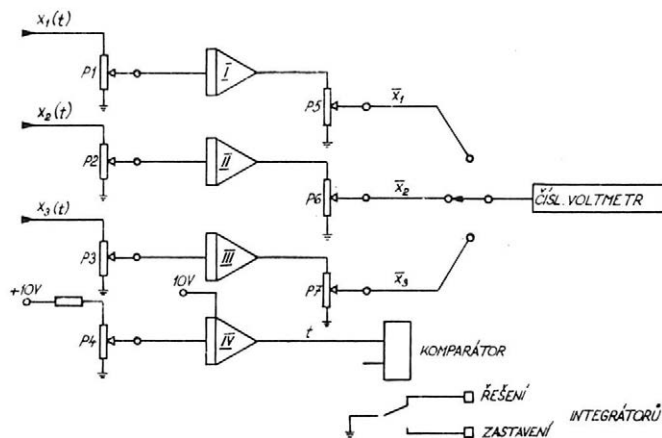
V prvním případě dostáváme výslednou číselnou hodnotu, druhá dává spojitý signál.

Střední hodnota spojitého měřeného signálu v časovém úseku T je dána vztahem

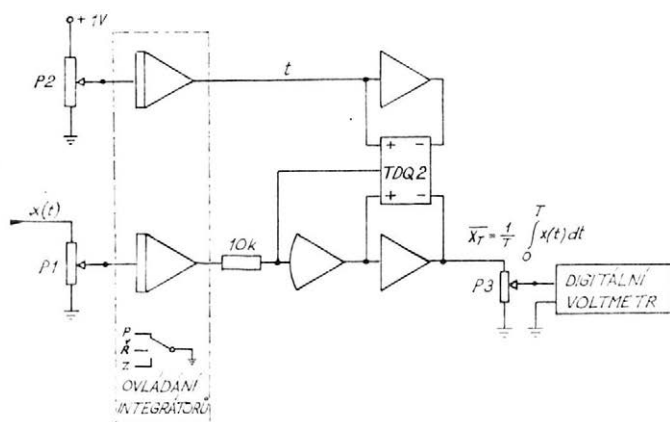
$$\bar{x}(T) = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt$$

Pro danou délku časového úseku T je možné sestavit z počítačových prvků integrátor, který dělá výpočet střední hodnoty. Schéma zapojení integrátorů pro výpočet tří středních hodnot měřených veličin v daném časovém úseku je na obr. 2.

Integrátory I, II, III dělají vlastní integraci měřených veličin $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$. Integrátor IV určuje časový úsek, ve kterém probíhá integrace. Začátek integrace se volí stisknutím tlačítka ŘEŠENÍ (možno i dálkově ovládat). Konec integrace určí komparátor ovládaný napětím z integrátoru IV. Správné měřítko jednotlivých kanálů se nastavuje potenciometry P5-P7 cejchováním. Po dokonalém vyvážení vstupních signálů se v časo-



2. Zapojení počítačích jednotek pro výpočet středních hodnot měřících signálů $x^1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$ v časovém úseku T



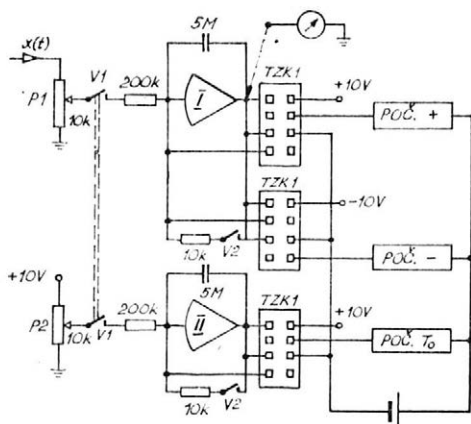
3. Schéma zapojení počítačích jednotek pro určení střední hodnoty měřené veličiny.

vém úseku integrují cejchovní signály. Potenciometry P5-P7 se nastaví skutečné hodnoty nebo násobky cejchovních signálů na číslicovém voltmetru. Potenciometry P1-P4 slouží pro nastavení vstupního napětí na integrátory (mohou být nahrazeny pevnými odpory). Potenciometry se nastavují tak, aby pro daný časový úsek integrace nedocházelo k přetěžování počítačích zesilovačů integrátorů.

Po ocejchování jsou integrátory schopny počítat střední hodnoty měřených veličin a výsledky udávat přímo ve skutečném měřítku nebo jeho násobku. Při nastavení jiné délky časového úseku integrace je nutné obvod znovu ocejchovat.

Doplní-li se integrátor o diodovou děličku (obr. 3), je možné po ocejchování počítat střední hodnoty pro různé délky časových úseků, které se určují manuálním řízením režimů počítače tlačítky nebo dálkově.

Pro určení středních hodnot z větších časových úseků než dovoluje integrátor (> 200 s) je možné sestavit na počítači zapojení podle obr. 4. Počítací zesilovač I po



4. Určení střední hodnoty měřené veličiny pro delší časové úseky

sepnutí kontaktu V1 pracuje jako integrátor, na jehož vstup je přiváděn měřený signál. V okamžiku, kdy výstupní napětí integrátoru dosáhne napětí 10 V, komparační zesilovač TZK-1 dá impuls počítadlu a vybijí přes kontakt V2 náboj na zpětnovazebním kondenzátoru, čímž uvede integrátor opět do počátečního stavu a integrace měřeného signálu může pokračovat. Při přerušení kontaktu V1, které je dáno požadovaným časovým úsekem T , se odečte hodnota integrálu měřené veličiny A na počítadlech jako rozdíl hodnot POČ+ a POČ- (hodnota určuje desítky Voltů) a přičte se napětí změřené ručkovým voltmetrem na výstupu počítacího zesilovače I. Hodnota úměrná časovému úseku T je vytvářena na integrátoru II.

Cejchováním se stanoví měřítko K a za předpokladu, že XO (vyvážení tenzometrického zesilovače) a CO (nulový cejchovní signál) jsou rovny nule, se střední hodnota vypočte z odečtených hodnot A a T :

$$\bar{X} = K \frac{A}{T_o} \quad K = \frac{H \cdot T_o}{AC}$$

kde: $\bar{X}$ — střední hodnota měřené veličiny
 K — konstanta určená cejchováním
 T_o — hodnota napětí úměrná časovému úseku T
 A — hodnota napětí úměrná integrálu měřeného signálu
 H — skutečná hodnota cejchu (např. v kpm)
 AC — hodnota napětí, úměrná integrálu cejchovního signálu za dobu T_c
 T_c — hodnota napětí, úměrná časovému úseku integrace cejchovního signálu

Není-li CO a XO rovno nule, pak se postupně přivádí před měřením na vstup integrátoru I signály C (cejchovní napětí), CO (cejchovní nula), XO (nula vyvážení) a výpočtem se stanoví odpovídající střední hodnoty

$$\bar{C} = \frac{AC}{T_c} = \text{konst} \quad \bar{XO} = \frac{AXO}{T_{xo}} = \text{konst}$$

$$\bar{CO} = \frac{ACO}{T_{co}} = \text{konst}$$

kde: AC, ACO, AXO — hodnota napětí úměrná integrálu signálu C, CO, XO
 T_c, T_{co}, T_{xo} — hodnota napětí úměrná časovému úseku

Střední hodnota se pak vypočte ze vzorce:

$$\bar{x} = \left(\frac{A}{T_o} - \bar{XO} \right) \frac{H}{\bar{C} - \bar{CO}}$$

Potenciometry P1 a P2 slouží pro nastavení vstupních veličin a kontakty V2 pro znulování integrátorů před měřením.

FILTRACE MĚŘENÝCH SIGNÁLŮ A MODELOVÁNÍ PŘENOSOVÝCH FUNKCÍ

Spektrum měřených signálů je v mnoha případech nutné pro další zpracování signálu upravit (filtrovat): potlačit vyšší frekvence spektra (dolnofrekvenční propust), odstranit stejnosměrnou složku a potlačit nižší frekvence spektra (hornofrekvenční propust), popř. vybrat určitou část spektra měřeného signálu (pásmová propust).

Např. pro sledování, záznam a další zpracování signálů z akcelerometrů je nutné odstranit filtraci nežádoucí složky vibrací vyšších frekvencí, které v mnoha případech úplně zakrývají základní průběh zrychlení.

Filtrační členy je možné vytvořit buď jako aktivní nebo pasivní čtyřpóly. Ideální dolnofrekvenční propust má v rozsahu $(0, \omega)$ nezávislou amplitudo-frekvenční charakteristiku a na frekvenci lineárně závislou fázovou charakteristiku. Realizace takového ideálního filtru není zcela možná. Je velmi obtížné aproximovat ideální amplitudovou i fázovou charakteristiku zároveň. Lze však snadno aproximovat jednu z nich. Maximálně plochý průběh amplitudové frekvenční charakteristiky se získá aproximací pomocí Butterworthovy funkce. Butterworthův filtr má přenos:

$$F(p) = \frac{1}{P_B(p)} = \frac{1}{1 + b_1 p + b_2 p^2 + \dots + p^n}$$

Koeficienty mnohočlenů $[P_B(p)]$ pro různé stupně n jsou vypočteny a shrnuty do tabulky (Balabanian 1965).

Filtr s lineárně závislou fázovou charakteristikou (maximálně plochý průběh skupinového zpoždění — časové posunutí) se získá aproximací Besselových mnohočlenů. Besselův filtr má přenos

$$F(p) = \frac{b_0}{P_n(p)} = \frac{b_0}{b_0 + b_1 p + b_2 p^2 + \dots + b_n p^n}$$

Koeficienty mnohočlenů $P_n(p)$ pro různé stupně n jsou vypočteny a shrnuty do tabulky (Balabanian 1965).

Přenos počítačící zesilovače při zesílení $A(p) \rightarrow \infty$ je dán poměrem zpětnovazební a vstupní impedance (Valenta a kol. 1966)

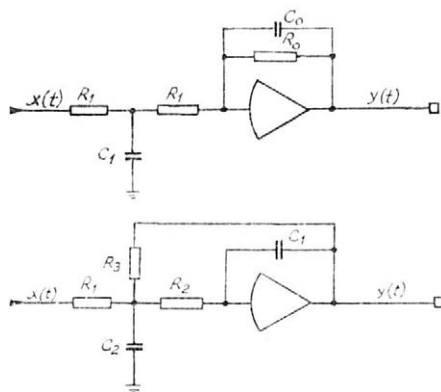
$$F(p) = - \frac{Z_o(p)}{Z_1(p)}$$

kde: $Z_o(p)$ — zpětnovazební impedance
 $Z_1(p)$ — vstupní impedance

Vhodnou volbou zpětnovazebních a vstupních impedancí počítačícího zesilovače lze realizovat rozmanité komplexní přenosové funkce. Typické přenosy počítačících zesilovačů s různými vstupními a zpětnovazebními impedancemi uvádí Valenta a kol. (1966) a Plander (1969).

Zapojení počítačícího zesilovače jako aktivního filtru druhého stupně je na obr. 5.

Skutečné hodnoty odporů a kapacit se pro danou mezní frekvenci stanoví porovnáním koeficientů mnohočlenů $[P_B(p)]$ nebo $[P_n(p)]$ s mnohočlenem daného přenosu počítačícího zesilovače.



$$F(p) = \frac{-K}{1 + (a_1 + a_2)p + a_2 p^2}$$

$$K = \frac{R_0}{2R_1}$$

$$a_1 = \frac{C_1 R_1}{2}$$

$$a_2 = R_0 C_0$$

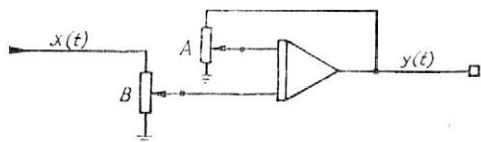
$$F(p) = \frac{-K}{1 + b(1+a)p + ap^2}$$

$$A = \frac{R_3}{R_1}, b = R_2 C_1$$

$$a = R_2 R_3 C_1 C_2$$

$$J = \frac{R_3}{R_1} + \frac{R_3}{R_2}$$

5. Zapojení počítačícího zesilovače vytvářející dolnofrekvenční propust



6. Zapojení integrátoru vytvářejícího dolnofrekvenční propust

Při modelování přenosů s použitím komplexních impedancí je nutné pamatovat na to, že vnější připojené kapacity se musí při návratu do přípravy vybíjet.

Přenosové funkce je možné modelovat také pomocí integrátoru. Např. dolnofrekvenční propust se vytvoří zapojením integrátoru podle obr. 6. Přenos tohoto zapojení je

$$F(p) = -\frac{K}{Tp + 1}$$

Časová konstanta $T = \frac{1}{A}$

Zesílení $K = \frac{B}{A}$

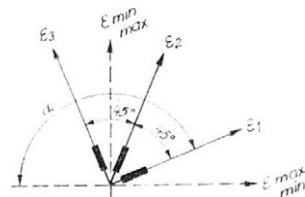
Modelování přenosů pomocí počítačích zesilovačů a jejich vzájemným propojováním je možné vytvářet celé soustavy takto zapojených počítačích zesilovačů. Výsledný přenos soustavy sériově řazených zesilovačů je dán součinitelem jednotlivých přenosů.

VÝPOČET REDUKOVANÉHO NAPĚTÍ ROVINNÉ NAPJATOSTI PODLE HYPOTÉZY HMH PŘI MĚŘENÍ PRODLOUŽENÍ TENZOMETRICKOU PRAVOÚHLOU ROZETOU

Ve většině případů vznikají v konstrukčních částech stavy víceosé napjatosti. Pro správné dimenzování konstrukční části je nutná znalost rozdělení napětí a pro posouzení míry bezpečnosti velikost redukováného napětí. Napětí materiálu se vypočte z měřených prodloužení (za předpokladu proporcionality mezi napětím a prodloužením — podle Hookova zákona, znalosti modulu pružnosti materiálu E a hodnoty Poissonovy konstanty). Měřit prodloužení je možné jen na povrchové ploše konstrukční části. Pro stanovení vnějších napětí z měřených hodnot prodloužení se použijí závislosti a vztahy rovinného stavu napjatosti, které pro dva vzájemně k sobě kolmé směry jsou (Růžha 1958)

$$\sigma_x = \frac{E}{1 - \mu^2} (\epsilon_x + \mu \epsilon_y)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1 - \mu^2} (\epsilon_y + \mu \epsilon_x)$$



Důležitá je znalost velikostí a směrů hlavních napětí. Aby mohla být určena velikost hlavních napětí σ_{max} a σ_{min} a jejich směry, musí být měřeno prodloužení ve třech směrech. Na obr. 7 je schéma pravoúhlé tenzometrické rozety (růžice), kterou se měří prodloužení ve třech směrech navzájem pod úhlem 45° . Ze tří v těchto směrech měřených prodloužení se stanoví velikost hlavních napětí a směr k ose 1 podle následujících vztahů:

$$\epsilon_{max/min} = \frac{\epsilon_1 + \epsilon_3}{2} \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2}$$

7. Pravoúhlá tenzometrická rozeta

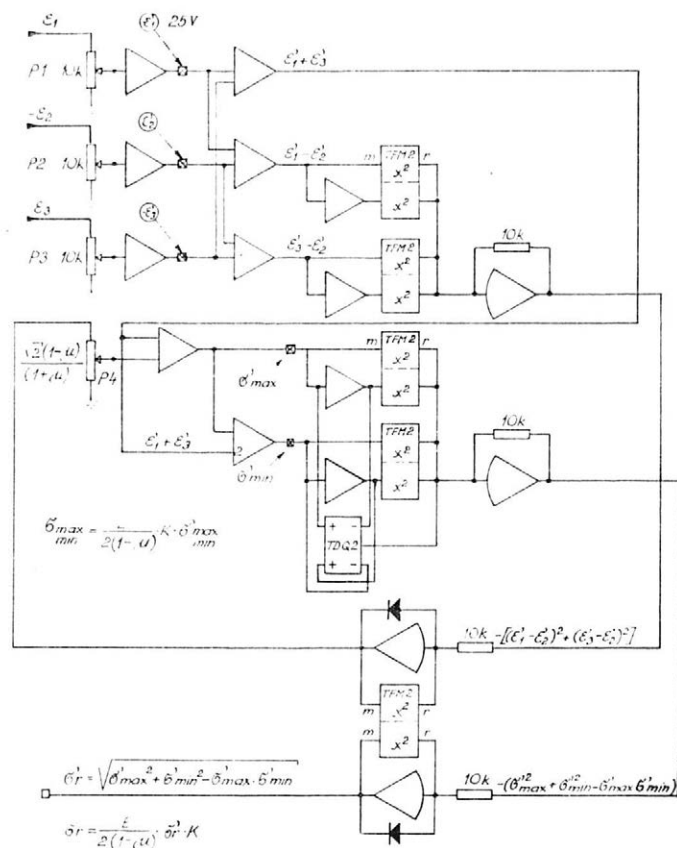
$$\sigma_{\max}^{\min} = \frac{E}{2(1-\mu)} \left[\varepsilon_1 + \varepsilon_3 \pm \frac{\sqrt{2}(1-\mu)}{1+\mu} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2} \right]$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2\varepsilon_2 - (\varepsilon_1 + \varepsilon_3)}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3}$$

Redukované napětí podle hypotézy HMM (Huber-Mises-Hencky) pro rovinnou napjatost (Janatka 1958)

$$\sigma_r = \sqrt{(\sigma_{\max}^2 + \sigma_{\min}^2 - \sigma_{\max} \sigma_{\min})}$$

Schéma zapojení počítačích jednotek pro výpočet redukovaného napětí je na obr. 8.



8. Schéma zapojení počítačích jednotek pro výpočet redukovaného napětí rovinné napjatosti podle hypotézy HMM při měření prodloužení tenzometrickou pravoúhloú rozetou

VÝPOČET REDUKOVANÉHO NAPĚTÍ PRO JEDEN OHYB A JEDNO KRUTOVÉ NAPĚTÍ

$$\sigma_r = \sqrt{(\sigma_o^2 + \alpha \tau^2)}$$

$$\text{kde: } \tau = \frac{\sigma_u}{1 + \mu}$$

σ_o — údaj tenz. měřicí ohyb
 σ_u — údaj tenz. měřicí krut

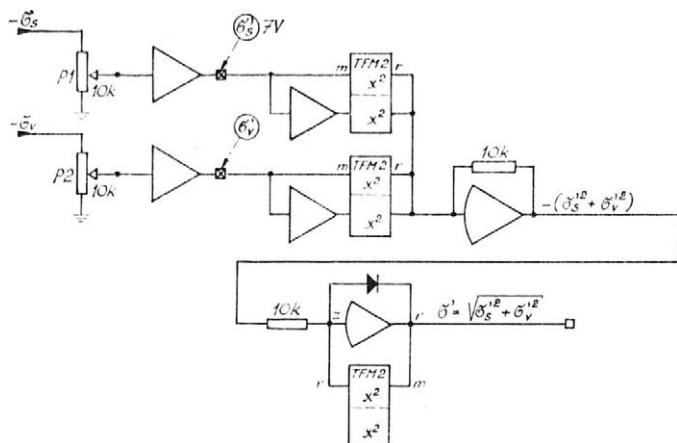
Koeficient $\alpha = 3$ při použití hypotézy HMH (Huber-Mises-Hencky)

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{1 + \mu} \sigma_u \right)^2}$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{(\sigma_o^2 + (Kl \sigma_u)^2)}$$

kde: $Kl = \frac{\sqrt{3}}{1 + \mu} \doteq 1,332$

Schéma zapojení počítačích jednotek pro výpočet redukovaného namáhání je na obr. 9.

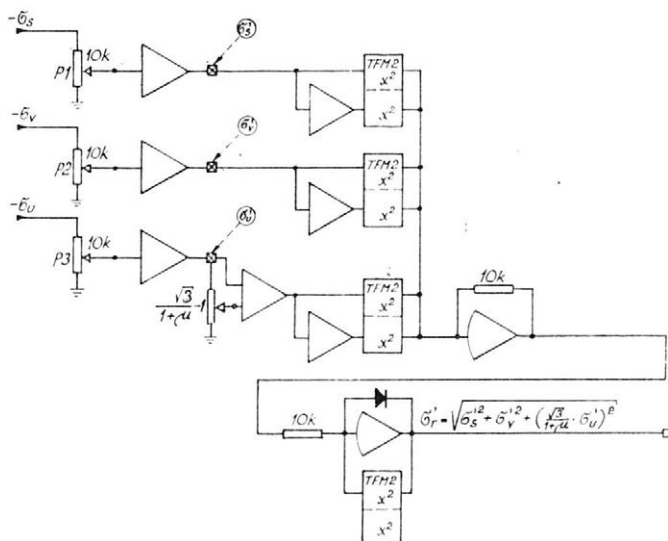


9. Schéma zapojení počítačích jednotek pro výpočet redukovaného napětí pro ohyb a krut

VÝPOČET REDUKOVANÉHO NAPĚTÍ PRO DVA OHYBY A KRUT KRUHOVÉHO PRŮŘEZU

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_s^2 + \sigma_v^2 + 3 \left(\frac{\sigma_u}{1 + \mu} \right)^2}$$

kde: σ_v — údaj tenz. měřící ohyb ve vodorovném směru
 σ_s — údaj tenz. měřící ohyb ve svislém směru
 σ_u — údaj tenz. měřící krut



10. Schéma zapojení počítačích jednotek pro výpočet redukovaného napětí pro dva ohyby a krut

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_v^2 + \sigma_s^2 + (K1 \sigma_u)^2}$$

kde: $K1 = 1,332$

Schéma zapojení počítačích jednotek je na obr. 10.

SOUČET OHYBOVÝCH NAPĚTÍ PRO KRUHOVÝ PRŮŘEZ

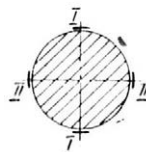
Měří-li se ohyb kruhového průřezu ve svislém a vodorovném směru (obr. 11), je výsledné ohybové napětí

$$\sigma = \sqrt{\sigma_s^2 + \sigma_v^2}$$

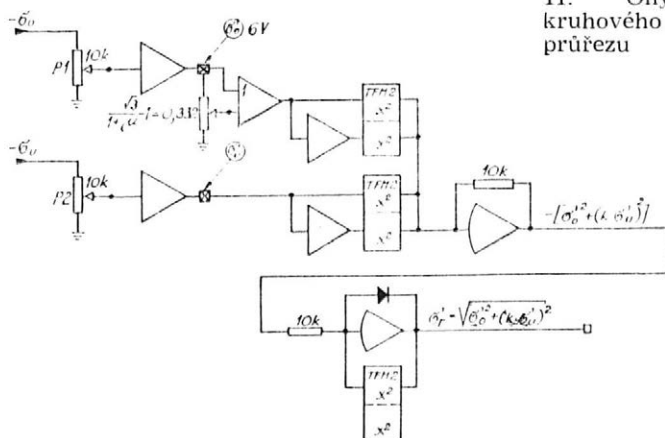
kde: σ_s — napětí od ohybu ve svislém směru I-I (kp/cm²)

σ_v — napětí od ohybu ve vodorovném směru II-II (kp/cm²)

Schéma zapojení počítačích jednotek je na obr. 12.



11. Ohyb kruhového průřezu



12. Schéma zapojení počítačích jednotek pro součet ohybových napětí pro kruhový průřez

SOUČET OHYBOVÝCH NAPĚTÍ PRO OBDÉLNÍKOVÝ PRŮŘEZ

Měří-li se ohyb obdélníkového průřezu ve vodorovném a svislém směru (obr. 13) je výsledné napětí v bodě A dáno vztahem

$$\sigma = (\sigma_s + \sigma_v)K1$$

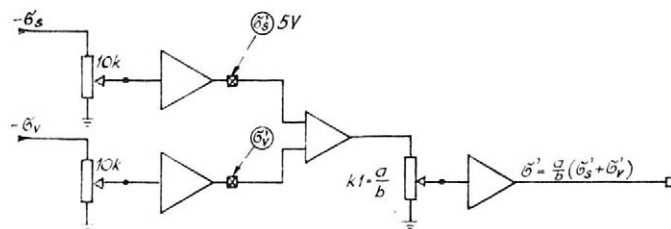
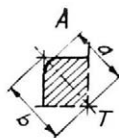
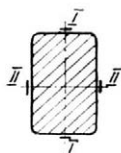
kde: σ_s — napětí od ohybu ve svislém směru

σ_v — napětí od ohybu ve vodorovném směru

$K1$ — koeficient zahrnující vliv zaoblení rohů

$$K1 = \frac{a}{b}, \text{ pro ostrý roh } K1 = 1.$$

Schéma zapojení počítačích jednotek je na obr. 14.



13. Ohyb obdélníkového průřezu

14. Schéma zapojení počítačích jednotek pro součet ohybových napětí pro obdélníkový průřez

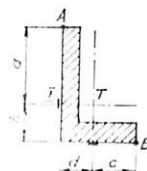
Měří-li se ohybové napětí v bodech I a II L profilu (obr. 15) je výsledné ohybové napětí v bodech A a B:

$$\sigma_A = \sigma_I + \frac{a}{b} \sigma_{II}$$

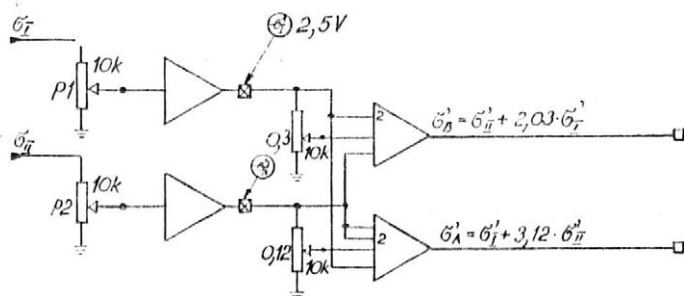
$$\sigma_B = \frac{c}{d} \sigma_I + \sigma_{II}$$

kde: σ_I — napětí od ohybu v bodě I

σ_{II} — napětí od ohybu v bodě II



15. Ohyb
L profilu



16. Schéma zapojení počítačích jednotek pro výpočet ohybového napětí pro L profil

Na obr. 16 je schéma zapojení počítačích jednotek pro výpočet ohybového napětí L profilu s rozměrovými koeficienty $\frac{c}{d} = 2,03$; $\frac{a}{b} = 3,12$.

VÝPOČET PŮSOBIŠTĚ SÍLY Z ÚDAJŮ DVOU OHYBOVÝCH NAPĚTÍ

Měří-li se ohybové napětí ve dvou místech od sebe vzdálených o délku a nosníku zatíženého silou P (obr. 17), je možné vypočítat působíště síly x

$$\sigma_2 = \frac{P}{W_2} x$$

$$\sigma_1 = \frac{P}{W_1} (x + a)$$

$$x = \frac{a \sigma_2}{\sigma_1 \frac{W_1}{W_2} - \sigma_2}$$

kde: P — síla (kp)

W_1 — modul odporu průřezu v ohybu v místě 1 (cm³)

W_2 — modul odporu průřezu v ohybu v místě 2

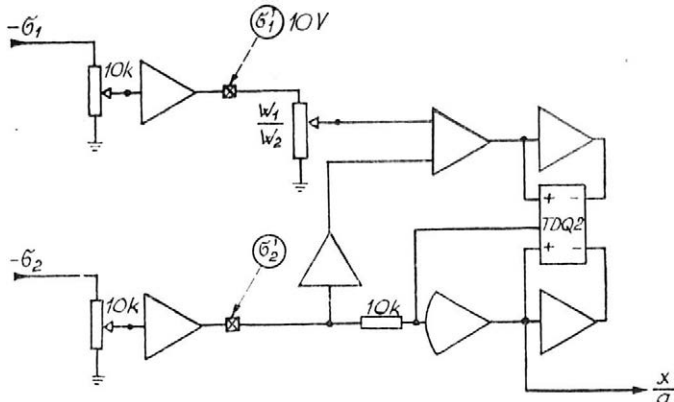
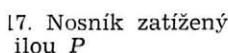
a — vzdálenost měřených míst 1 a 2 (cm)

x — vzdálenost působíště síly od měřeného místa 2 (cm)

V případě stejného modulu odporu průřezů v ohybu v místech 1 a 2

$$x = \frac{\sigma_2}{\sigma_1 - \sigma_2} a$$

Schéma zapojení počítačích jednotek je na obr. 18.



18. Schéma zapojení počítačích jednotek pro výpočet působíště sil z údajů dvou ohybových napětí

VÝPOČET NAMÁHÁNÍ TENKOSTĚNNÉHO I PROFILU STÍSNĚNÝM KRUTEM

Měřili se napětí tenkostěnného [profilu (obr. 19) v bodech 1, 2, 3, 4, je možné stanovit jednotlivé složky celkového namáhání profilu (Voroncov 1962)

$$\sigma_N = \frac{c}{2b} (\sigma_1 + \sigma_4) + \frac{b-c}{2b} (\sigma_2 + \sigma_3)$$

$$\sigma_y = \frac{b-c}{2h} (\sigma_2 + \sigma_3 - \sigma_1 - \sigma_4)$$

$$\sigma_x = \frac{a}{2h} (\sigma_1 - \sigma_4) + \frac{b-a}{2h} (\sigma_2 - \sigma_3)$$

$$\sigma_{\omega} = \frac{b-a}{2b} (\sigma_1 - \sigma_4 - \sigma_2 + \sigma_3)$$

kde: σ_N — namáhání od podélné síly N (kp/cm²)

σ_x, σ_y — namáhání od ohybových momentů M_x, M_y

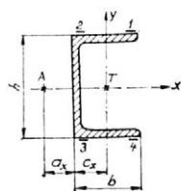
σ_{θ} — namáhání stísněným krutem

b, h — rozměry profilu (cm)

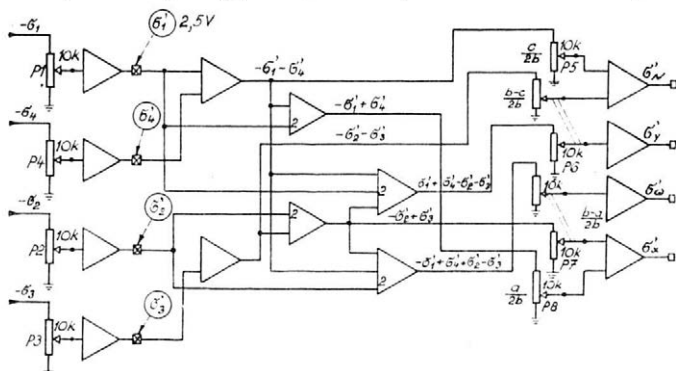
c — poloha těžiště (pro [profil $c = \frac{b^2}{h + 2b}$])

a — poloha středu krutu A (pro [profil $a = \frac{3b^2}{h + 6b}$)

Schéma zapojení počítačích jednotek pro výpočet jednotlivých složek namáhání je na obr. 20.



19. Tenkostěnný profil



20. Schéma zapojení počítačích jednotek pro výpočet jednotlivých složek namáhání tenkostěnného I profilu

Velikost vodorovné a svislé složky reakce působící na čep (pravý, levý) ramene hydraulického závěsu zemědělského stroje se vypočte ze známé polohy a naměřených sil v táhlech hydrauliky traktoru (obr. 21) z následujících vztahů (Kupř 1970)

$$V = H \cos \alpha + A \frac{a}{l} \sin \alpha \cos (\alpha - \beta) = Ha_1 + Aa_2$$

$$S = -H \sin \alpha + A \frac{a}{l} \cos \alpha \cos (\alpha - \beta) = -Ha_3 + Aa_2$$

kde: V — vodorovná reakce působící na levý (pravý) čep závěsu
 S — svislá reakce působící na levý (pravý) čep závěsu
 H — síla ve spodním táhle hydrauliky
 A — síla ve svislém táhle hydrauliky
 α — úhel mezi spodním táhlem a horizontálem
 β — odklon svislého táhla od svislice
 a, l — rozteče úchytných otvorů spodního táhla

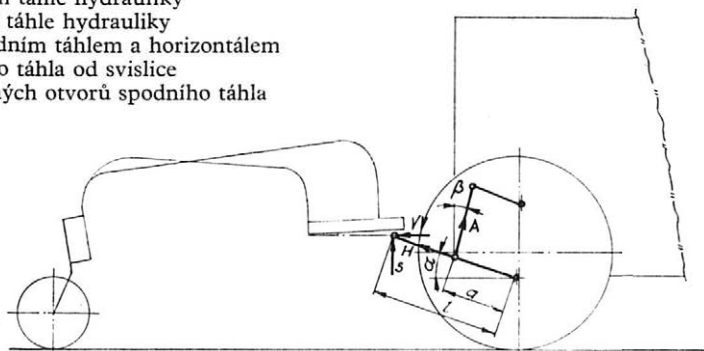
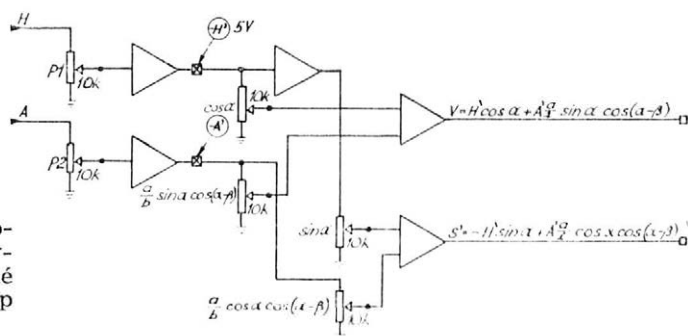


Schéma zapojení počítačích jednotek je na obr. 22.

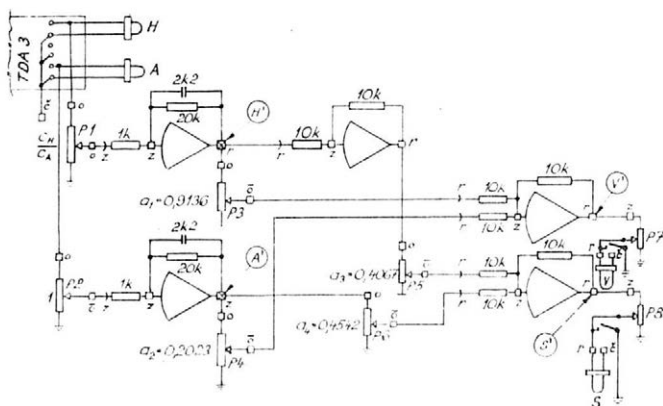
Schéma zapojení konkrétní úlohy reakce na čep závěsu při měření obráběcí a shrnovací OSP-2 je na obr. 23 ($a = 410$ mm, $l = 820$ mm, $\alpha = 24^\circ$, $\beta = 18^\circ$, cejch $H \dots C_H = 645$ (kp), cejch $A \dots C_A = 985$ (kp). Sčítají-li se dva signály, musí být zesíleny tak, aby měly stejné měřítko (V/kp), proto potenciometry $P1$ a $P2$ se nastaví tak, aby v bodech H' a A' bylo při vstupních signálech C_H a C_A napětí odpovídající skutečným hodnotám cejchů. Vhodné je nastavit u vstupního signálu, který má větší skutečnou hodnotu cejchu, potenciometrem koeficient 1 ($C_A > C_H$, $P2 \rightarrow 1$) a na druhém potenciometru nastavit hodnotu odpovídající poměru skutečných hodnot cejchů

$$\left(P1 \rightarrow \frac{C_H}{C_A} = 0,655 \right).$$

Hodnoty koeficientů a_1, a_2, a_3, a_4 se nastaví na potenciometrech $P3, P4, P5, P6$. Hodnoty koeficientů je možno nastavit přímo na stupnici, použijí-li se desetitáčkové



22. Schéma zapojení počítačích jednotek pro výpočet vodorovné a svislé reakce působící na čep závěsu



23. Schéma zapojení počítačích jednotek pro výpočet vodorovné a svislé reakce působící na čep obrabeče a shrnovače píce OSP-2

potenciometry ARIPOT, které jsou korigované na zátěž 10 kΩ. Výstupní signály V' , S' na výstupu koncových zesilovačů jsou ve stejném měřítku, jaké bylo nastaveno pro síly H' a A' . Na obr. 23 je zakresleno i zapojení oscilografické smyčky pro záznam výsledného signálu. Citlivost smyček lze nastavit potenciometry $P7$ a $P8$. Cejchuje se přivedením cejchovního napětí a nuly jednoho (při odpojení druhém) nebo obou vstupních signálů. Odečtená výchylka a vypočtená hodnota z rovnice při dosazení skutečných hodnot cejchů určí měřítko výstupního signálu na oscilografickém záznamu.

VÝPOČET SIL NAMÁHAJÍCÍCH NÁPRAVU ZADNÍHO KOLA

Namáhání nápravy je vyvoláno reakcemi, které působí na kola ve svislém (statické a dynamické síly od hmoty stroje) a vodorovné (náraz kola na terénní překážku) — (obr. 24). Při vhodné konstrukci (malý odklon nápravy od svislice) lze ze známých napětí v místech I a II určit velikosti svislé a vodorovné síly (Kupr 1970)

$$F_s = \frac{W_o}{ad - bc} (d \sigma_I - c \sigma_{II})$$

$$F_v = \frac{W_o}{ad - bc} (a \sigma_{II} - b \sigma_I)$$

kde: F_s — svislá síla (kp)
 F_v — vodorovná síla (kp)
 W_o — modul odporu průřezu nápravy v ohybu (cm^3)
 σ_I, σ_{II} — napětí v místech I, II (kp/cm^2)
 a, b, c, d, e — rozměrové charakteristiky náprav — viz obr. 24 (cm)

Výsledné ohybové napětí v rovině spodního okraje drážku (místo 1) se může vypočítat ze vztahu

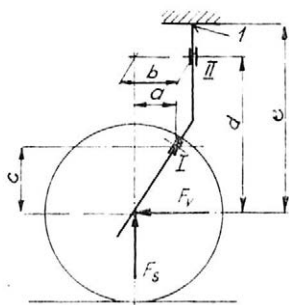
$$\sigma_1 = \frac{\sigma_{II}(ae - bc) + \sigma_I b(d - e)}{ad - bc}$$

kde: σ_1 — výsledné ohybové napětí v místě 1 (kp/cm^2)

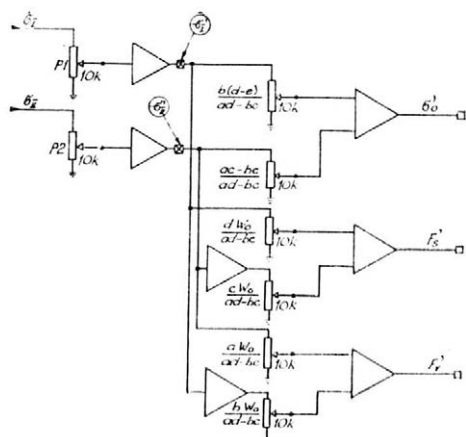
Schéma zapojení počítačích jednotek je na obr. 25.

Z Á V Ě R

V tomto článku je ukázáno použití analogo-výpočetní techniky pro typické často se vyskytující případy zpracování výsledků tenzometrických měření (zejména z oblasti pevnostních výpočtů). Hlavním přínosem výpočtu přímo během měření je okamžité



24. Schéma nápravy zadního kola



25. Schéma zapojení počítačic jednotek pro výpočet sil namáhajících nápravu zadního kola podle obr. 24

získávání výsledků bez dalšího pracného a zdlouhavého zpracování. Uvedená schémata zapojení by měla sloužit jako příklad pro navrhování a řešení dalších úloh, které se při měření namáhání zemědělských strojů vyskytují.

Literatura

- BALABANIAN N., 1965, Syntéza elektrických obvodů. TKI SNTL Praha.
 BORSKÝ V., MATYÁŠ J., 1965, Technika použití elektrických analogových počítačů. SNTL Praha.
 JANATKA J., 1958, Pružnost a pevnost I. SNTL Praha.
 KABEŠ K., 1968, Modulové jednotky. Bratislava.
 KUPR J., 1970, Tenzometrické měření obrabeče a shrnovače píce OSP-2. VÚZS Praha.
 NOVÁK J., 1968, Počítací zařízení na zpracování měřených signálů ze snímačů pro použití v měřicím voze. VÚZS Praha.
 NOVÁK J., 1970, Metody vyhodnocování naměřených hodnot pomocí jednoúčelového analogového počítače. VÚZS Praha.
 PLANDER I., 1958, Matematické metody a programovanie analogových počítačov. SAV Bratislava.
 RŮŽHA Z., 1958, Elektrické odporové tenzometry. Praha.
 ŠIMANDL J., 1967, Integrátor k měření středních hodnot mechanických veličin. VÚZS Praha.
 VALENTA J., ŠKVOR V., KOTVA M., 1966, Programování a řešení úloh na transistorových analogových počítačích MEDA-T. Bratislava.
 VORONCOV N. I., 1962, Tenzometrirovanie detalej avtomobilja. Moskva.

Došlo dne 16. 7. 1973

ПОВАК Й. (Научно-исследовательский институт сельскохозяйственных машин, Прага-Ходов, Чехословакия). Методы оценки установленных величин при помощи однооперационной аналоговой вычислительной машины. Зем. техника 19 (11) : 671-686, 1973.

Для некоторых задач при экспериментальных измерениях на сельскохозяйственных машинах целесообразно обрабатывать измеряемые величины непосредственно в ходе измерения. Для этой цели в НИИСХМ была сконструирована однооперационная аналоговая вычислительная машина. Моментальное получение результатов измерения без дальнейшей трудоемкой и длительной обработки позволяет оперативно менять ход испытаний и усовершенствовать измеряемые машины. При помощи вычислительной машины мы можем с измеряе-

мыми сигналами производить разные математические, логические операции и руководить процессом обработки. Предложенная схема включения вычислительных единиц часто решает встречающиеся задачи тензометрических измерений, главным образом, из области вычисления прочности.

тензометрические измерения; подытоживание; расчет на прочность; аналоговая вычислительная техника

NOVÁK J. (Research Institute of Agricultural Engineering, Praha-Chodov, Czechoslovakia). *Methods of the Evaluation of Measured Values Using a Single-Purpose Analog Computer*. Zem. technika 19 (11) : 671-686, 1973.

It is suitable and purposeful for some problems of experimental measurements in farm machines to process the data immediately during measurement. For this, the Research Institute of Agricultural Engineering designed a single-purpose analog computer. The immediate availability of the results of measurement without further tiresome processing allows for quick changing of the course of tests and for immediate adjustments of the machines measured. The computing units of the apparatus make it possible to perform various mathematic logical operations with the signals measured, and to control the course of processing. The proposed schemes of the connection of computer units solves the frequent problems of tensometric measurements, especially in the sphere of strength calculations.

tensometric measurements; evaluation; strenght calculation; analog computation technique

NOVÁK J. (Forschungsinstitut für Landmaschinen, Praha-Chodov, Tschechoslowakei). *Bewertungsmethoden der Meßwerte mittels eines Einzweck-Analogrechners*. Zem. technika 19 (11) : 671-686, 1973.

Für einige Aufgaben bei den Experimentalmessungen an Landmaschinen ist geeignet und zweckmäßig die Meßergebnisse direkt im Meßverlaufe zu bearbeiten. Zu diesem Zwecke wurde im Forschungsinstitut für Landmaschinen ein Einzweck-Analogrechner zusammengebaut. Die sofortige Gewinnung der Meßergebnisse ohne weitere arbeits- und zeitaufwendige Bearbeitung gestattet sowohl den Prüfungsablauf als auch Aufbereitung an der gemessenen Maschine operativ zu ändern. Mittels der Zählseinheiten des Rechners kann man mit den Meßsignalen verschiedene mathematische, logische Arbeitsgänge durchführen und den Bearbeitungsprozeß steuern. Die vorgeschlagenen Schaltbilder der Zählseinheiten lösen die oft anfallenden Aufgaben von Dehnungsmessungen, hauptsächlich vom Gebiete der Festigkeitsberechnungen.

tensometrische Messung; Auswertung; Festigkeitsberechnung; Analogrechentechnik

Adresa autora:

Ing. Josef Novák, Výzkumný ústav zemědělských strojů, 149 43 Praha-Chodov

ŘEŠENÍ TLAKOVÝCH A DOPRAVNÍCH POMĚRŮ POTRUBNÍCH DOJICÍCH STROJŮ NA ČÍSLICOVÉM POČÍTAČI

Z. Souček

Výzkumný ústav zemědělských strojů, Praha-Chodov

SOUČEK Z. *Řešení tlakových a dopravních poměrů potrubních dojicích strojů na číslicovém počítači*. Zem. technika 19 (11) : 687-700, 1973.

V práci se navazuje na obecně platné výsledky experimentálních prací zaměřených na výzkum tlakových ztrát působených dopravou mléka potrubím, získané v dřívějších pracích VÚZS (rovnice (1) a (2)). Přímé experimentální metody k hodnocení konkrétních návrhů uspořádání potrubních dojicích strojů (přes jejich značný význam) jsou těžko použitelné v těch případech, kdy se požaduje rychlý závěr. Přistoupilo se proto k řešení tlakových a dopravních poměrů potrubních dojicích strojů na číslicovém počítači. Řešením se získává nový nástroj usnadňující projektování potrubních dojicích strojů. Cílem práce je získat kritéria k posouzení určitého projektu. Výpočtem se získávají přibližné střední hodnoty podtlaků a průtočných množství. Měřítkem k posouzení nového projektu je srovnání těchto vypočtených hodnot u provozně vyzkoušené a experimentálně ověřené sestavy a u sestavy nově navrhované (v několika alternativách). V první části jsou uvedeny předpoklady řešení. Matematická formulace modelovaného případu vede na soustavu 24 simultánních algebraických rovnic (lineárních a nelineárních). Je navržen program k řešení této soustavy (v jazyku SLANG pro počítač MINSK 22).

potrubní dojící stroje; aplikace výpočetní techniky

Přímé experimentální metody přes jejich značný význam jsou těžko použitelné v těch případech, kdy se požaduje rychlé posouzení projektu nového dosud nepoužitého uspořádání potrubí podle stavební dispozice krávinů domácích, popř. zahraničních zákazníků. Projekt má často několik možností a je třeba navrhnout optimální uspořádání pro dané podmínky. Při náhodné volbě projektu se buď značně zhorší parametry stroje nebo se naopak nevyužijí možnosti, které stroj má. Řešení na počítači, uvedené v této práci, vychází ze základní sestavy stroje DZ-100 pro možnost porovnání vypočtených a skutečných poměrů.

TECHNICKÁ SPECIFIKACE ŘEŠENÍ

Zavedením řešení tlakových a dopravních poměrů na počítači se má získat nový nástroj usnadňující projektování potrubních dojicích strojů. Cílem je získat kritéria k posouzení určitého projektu, nikoliv plně nahradit měření. Výpočtem se získávají pouze přibližné střední hodnoty podtlaků a průtočných množství vzduchu a kapaliny (vody nebo mléka), odpovídající ustálenému ideálnímu stavu. Skutečné hodnoty kolem střední hodnoty kolísají. Při zadání řešení se neočekávala ani u středních hodnot vysoká shoda naměřených a vypočtených výsledků. Cílem bylo spíše získat možnost srovnávat výpočtem základní provozně ověřenou a vyzkoušenou sestavu potrubního dojícího stroje a nově navrhovanou a dosud neověřenou sestavu, ve snaze zajistit u nově navrhované sestavy

optimální provedení, jehož vlastnosti nebudou horší než u srovnávací vyzkoušené sestavy.

V rámci této práce byl navržen model mléčného potrubí ve tvaru uzavřené smyčky (obr. 1). Uvedené uspořádání odpovídá základní sestavě potrubního dojícího stroje DZ-100. Délky úseků potrubí mezi jednotlivými body vyznačenými na obr. 1 jsou následující:

úsek mm	12	23	34	45	17	67	56	58
l_{mn}	3,8	6,8	42,8	10,5	5,9	47,3	14,7	5,0

Dále uvedená matematická formulace vychází z experimentálních podkladů (Souček 1972) pro výpočet tlakové ztráty přímého úseku potrubí, zjištěných ve VÚZS

$$\Delta p = 0,00807 \cdot l_{mn} \cdot k \cdot (k + v_a) \quad (1)$$

Obdobně se zjistilo pro stoupačku

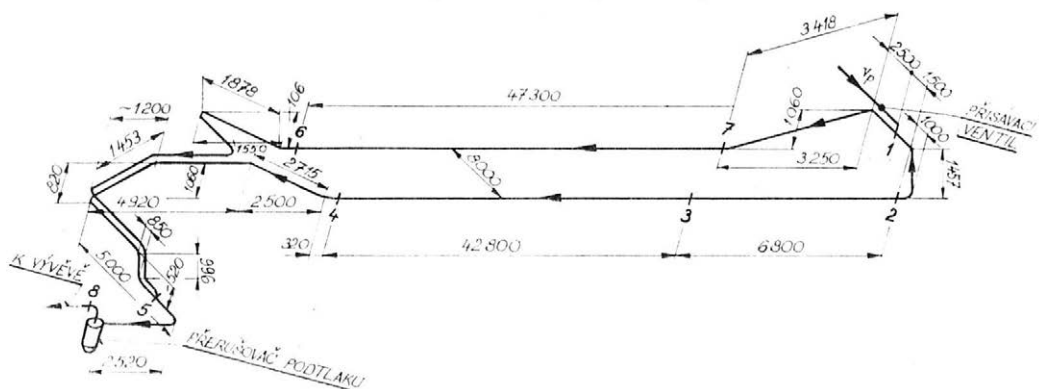
$$\Delta p = \frac{H}{13,6} \left(\frac{203,08 v_a + k \cdot \rho}{k + v_a} \right) + 0,00807 \cdot l_{mn} \cdot k \cdot (k + v_a) \quad (2)$$

V dále uvedené matematické formulaci se předpokládá, že takto počítané tlakové ztráty jednotlivých na sebe navazujících úseků potrubí je možné vzájemně superponovat. To je vyhovující předpoklad. Zjednodušení spočívá v tom, že se nepočítá s vlivem změny podtlaku podél potrubí na hodnotu průtočného množství vzduchu, které je určeno objemem vzduchu v potrubí. Použité vzorce zjednodušeně vycházejí ze střední hodnoty podtlaku, která byla v potrubí při experimentálních pracích. V běžných případech, pro které se předpokládá použití navrhované výpočetní metody, je rozdíl středních hodnot poměrně malý. V principu je možné k výpočtu použít složitější vztahy nahrazující rovnice (1) a (2), které lépe respektují vliv změny podtlaku podél potrubí na hodnotu průtočného množství vzduchu (Souček 1972). Takovýto postup však komplikuje formulaci, čímž roste pravděpodobnost chyb při přípravě formulace pro výpočet a při zadání do počítače. Řešení na počítači by se také prodloužilo a tím i zdražilo. V běžných případech by nedošlo k podstatnému zlepšení získaných výsledků. Navíc platí to, že pro využití výsledků pouze ke srovnání dvou případů eventuální odchylky od skutečnosti nejsou důležité.

Dále byl zaveden celkem samozřejmý a přijatelný předpoklad pro bod s nejnižším podtlakem, podle kterého se zde do potrubí vstupující směs kapaliny a vzduchu rozděluje do obou směrů a přitom složení směsi obou proudů si zachovává původní poměr kapaliny a vzduchu. Přitom se předpokládá, že mezi dvěma sousedními body potrubí (označenými čísly 1 až 8 na obr. 1) je proudící směs homogenní. Ve skutečnosti směs vytváří většinou sloupce kapaliny nepravidelné délky, vystřídáné vzduchovými sloupci. Zanedbávají se také dynamické síly (působící ve směru a proti směru proudění), vznikající v důsledku změn rychlosti proudění. Rychlost proudění mezi sousedními body potrubí se bere jako konstantní. Důsledkem těchto předpokladů je to, že řešením se získávají pouze střední hodnoty veličin. Ty jsou však při porovnání různých alternativ uspořádání instalací rozhodující. V dosavadní praxi, kdy se vycházelo z experimentálních podkladů, které udávají jak střední hodnoty veličin, tak i údaje charakterizující jejich proměnnost, se při porovnání různých alternativ vesměs využívaly pouze střední hodnoty. Přitom střední hodnoty zjištěné experimentálně nejsou zcela jednoznačné nejen vlivem omezené přesnosti měření a vyhodnocení a nastavení provozních parametrů (je třeba počítat s chybami až 3 % texty kolem 10 torr), ale také v důsledku obtížností udržení srovnatelných podmínek měření (samovolně kolísají vlastnosti přísavacího a regulačního ventilu, množství vzduchu přísávané netěsností instalací a v dojících soupravách). Přísávání netěsnostmi,

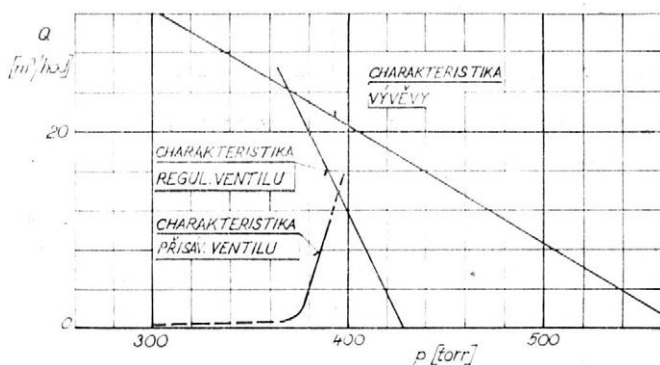
kteřé je ve skutečnosti rozloženo náhodně v různých místech instalací, se při výpočtu uvažuje rovnoměrně rozděleno do bodů 2, 4, 6 a 7 (obr. 1).

Volba vstupních veličin (obdobně jako při experimentálních pracích se předpokládá proudění směsi vody a vzduchu) vychází z tzv. základní úpravy, která se zvolila při experimentálních pracích na potrubním dojícím stroji DZ-100 (Souček 1967, tab. I). Tím je jednoznačně definováno vstupní průtočné množství kapaliny. V bodě 2 vstupuje do potrubí voda v množství 4,8 l/min (odpovídá čtyřem dojícím soupravám s průměrnou intenzitou dojení 1,2 l/min). V bodě 3 se obdobně počítá jedna souprava s intenzitou 2,5 l/min a v bodě 7 opět jedna souprava s intenzitou 1,2 l/min. Značně méně jednoznačná je volba vstupního průtočného množství vzduchu. Podle výsledků měření (Sinek 1968, 1969) lze předpokládat, že jednou soupravou se přisává přibližně $v_a = 4$ až 5 l/min. Přitom se zanedbává vliv velikosti podtlaku v soupravě na přisávané množství vzduchu.



1. Schéma mléčného potrubí, které odpovídá základnímu uspořádání potrubí dojícího stroje DZ-100

Předpokládá se, že netěsnostmi se přisává celkem 1 až 1,5 m³/h ($v_a = 4,2$ až 6,2 l/min v bodech 2, 4, 6, 7). Dále zkoumané alternativy počítají s průtočným množstvím vstupujícího vzduchu, vycházejícím z těchto rozmezí. Charakteristiky přisávacího a regulačního ventilu a vývěvy (obr. 2), předpokládané při výpočtu, byly odvozeny z výsledků měření (Sinec 1968) v posledních fázích vývoje stroje DZ-100. U regulačního ventilu se bere lineární charakteristika. U přisávacího ventilu se respektuje možnost uplatnění nejen lineární části charakteristiky, ale také přisávání netěsností po uzavření ventilu buď jako konstantní $v_p = 4$ nebo 5 l/min, nebo postupně klesající podle závislosti vyjadřující poměry při otevřeném i zavřeném přisávacím ventilu.



2. Charakteristika regulačního a přisávacího ventilu a vývěvy (průtočné množství vzduchu Q odpovídá objemu při atmosférickém tlaku)

Podle předpokladů uvedených v předešlé části je možno pro úsek mezi body 2 a 3 napsat rovnici

$$p_3 - p_2 = 0,00807 \cdot 6,8 \cdot k_{23}(k_{23} + v_{23}) \quad (3)$$

Obdobně platí pro další úseky tyto rovnice

$$p_4 - p_3 = 0,00807 \cdot 42,8 \cdot k_{34}(k_{34} + v_{34}) \quad (4)$$

$$p_5 - p_4 = \frac{1,06}{13,6} \left(\frac{203,08v_{45} + k_{45} \cdot 1000}{k_{45} + v_{45}} \right) + 0,00807 \cdot 10,5 \cdot k_{45}(k_{45} + v_{45}) \quad (5)$$

$$p_1 - p_2 = \frac{1,06}{13,6} \left(\frac{203,08v_{12} + k_{12} \cdot 1000}{k_{12} + v_{12}} \right) + 0,00807 \cdot 3,80 \cdot k_{12}(k_{12} + v_{12}) \quad (6)$$

$$p_7 - p_1 = 0,00807 \cdot 5,9 \cdot k_{17}(k_{17} + v_{17}) \quad (7)$$

$$p_6 - p_7 = 0,00807 \cdot 47,3 \cdot k_{67}(k_{67} + v_{67}) \quad (8)$$

$$p_5 - p_6 = \frac{1,06}{13,6} \left(\frac{203,08 \cdot v_{56} + k_{56} \cdot 1000}{k_{56} + v_{56}} \right) + 0,00807 \cdot 14,7 \cdot k_{56}(k_{56} + v_{56}) \quad (9)$$

Mezi body 58 kromě přímého úseku potrubí je také přerušovač podtlaku, jehož střední ztrátu je možné přibližně brát konstantní hodnotou 5 torr

$$p_8 - p_5 = 0,00807 \cdot 5 \cdot k_{58}(k_{58} + \Sigma v_a + v_p) + 5$$

Pro alternativu 1 počítáme s tím, že do potrubí v místech uvedených v první části vstupuje

místo	2	3	7	Σ
k	$k \cdot 1,2 = 4,8$	2,5	1,2	8,5

místo	2	3	4	6	7	Σ
v_a	$4 \cdot 5 + 6,2 = 26,2$	5	6,2	6,2	$5 + 6,2 = 11,2$	54,8

Pak $k_{58} = 8,5$ a $\Sigma v_a = 54,8$. Dosazením do předešlé rovnice dostáváme

$$p_8 - p_5 = 0,00807 \cdot 5 \cdot 8,5(8,5 + 54,8 + v_p) + 5 \quad (10)$$

Z fyzikálního názoru lze odhadnout, že místo s nejnižším podtlakem je v bodě 2. Tím je určen i předpokládaný směr průtoku ve všech úsecích potrubí, který bude v dalším řešení počítán jako kladný. Kritériem správnosti odhadu jsou např. kladná znaménka výsledků řešení. Vyjdou-li záporná znaménka, je odhad nesprávný. V bodě s nejnižším podtlakem se vstupující proud směsi rozděluje a podle předpokladu uvedeného v první

I. Výsledky řešení tlakových a dopravních poměrů potrubního dojícího stroje získané výpočtem a měřením

Podmínky řešení	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	k_{12}	k_{23}	k_{34}	k_{45}	k_{17}	k_{67}	k_{24}	v_{12}	v_{23}	v_{24}	v_{45}	v_{17}	v_{67}	v_{26}	v_p	c_{p1}	k_{34}/k_{67}
1. Nepříznivé podmínky: na jednu soupravu $v_a = 5$, netěsnost přísavacího ventilu $v_p = 5$, netěsnost potrubí $v_a = 24,8$, přerušovač podtlaku $\Delta p = 5$	321,80	295,69	298,83	349,35	390,79	356,95	323,26	419,21	1,8246	2,9753	5,4753	5,4753	1,8246	3,0246	3,0246	9,9592	16,240	21,240	27,440	14,959	26,159	32,359	5,0000	1,4759	1,8102
2. Nepříznivé podmínky, ale v_p je vyjádřeno funkcí nahrazující charakteristiku přísavacího ventilu*)	322,50	296,38	299,49	349,70	391,05	357,23	323,93	419,28	1,8390	2,9609	5,4609	5,4609	1,8390	3,0390	3,0390	10,0370	16,161	21,161	27,361	14,471	25,671	31,871	4,4334	1,4722	1,7969
3. Střední podmínky: na jednu soupravu $v_a = 4,5$, netěsnost přísavacího ventilu $v_p = 5$, netěsnost potrubí $v_a = 16,8$, ztráta přerušovače podtlaku $\Delta p = 0$	341,77	314,42	317,45	365,43	401,17	369,42	342,90	420,82	1,6636	3,1363	5,6363	5,6363	1,6636	2,8636	2,8636	7,6941	14,505	19,005	23,205	12,694	21,394	25,594	5,0000	1,3873	1,9683
4. Střední podmínky: na jednu soupravu $v_a = 4$, netěsnost přísavacího ventilu $v_p = 4$, netěsnost potrubí $v_a = 16,8$, ztráta přerušovače podtlaku $\Delta p = 5$	339,58	311,33	313,99	356,84	398,13	366,07	340,67	421,41	1,7531	3,0469	5,5468	5,5468	1,7531	2,9531	2,9531	7,3776	12,822	16,822	21,022	11,377	19,577	23,777	4,0000	1,2389	1,8783
5. Střední podmínky: na jednu soupravu $v_a = 4$, netěsnost přísavacího ventilu $v_p = 18$, netěsnost potrubí $v_a = 16,8$, ztráta přerušovače podtlaku $\Delta p = 5$	328,48	300,41	303,74	353,28	396,27	364,37	330,14	419,35	1,3889	3,4110	5,9110	5,9110	1,3889	2,5889	2,5889	5,8449	14,354	18,355	22,555	23,844	32,044	36,244	18,0000	1,3275	2,2832
Výsledky získané měřením za podmínek uvedených v první části	349	322	316	346	410	368	—	420	~2,1	~2,7	~5,2	~5,2	~2,1	~3,3	~3,3	~13,1 (min)	~14	~18,7	—	—	~35 (min)	—	18,3	~1,65 (1969) ~1,2 (1967)	~1,6

*) $v_p = \frac{16,6667}{13,76834 - 0,00509899 p_1 - 0,00008042 p_1^2}$

části si obě části zachovávají původní poměr kapaliny a vzduchu. Tedy platí

$$\frac{v_{23}}{k_{23}} = \frac{26,2}{4,8} = 5,45833 \quad (11)$$

$$\frac{v_{12}}{k_{12}} = 5,45833 \quad (12)$$

Dále platí tyto rovnice kontinuity

$$k_{12} + k_{23} = 4,8 \quad (13)$$

$$k_{34} = k_{23} + 2,5 \quad (14)$$

$$v_{34} = v_{23} + 5 \quad (15)$$

$$k_{45} = k_{34} \quad (16)$$

$$v_{45} = v_{34} + 6,2 \quad (17)$$

$$k_{17} = k_{12} \quad (18)$$

$$v_{17} = v_{12} + v_p \quad (19)$$

$$k_{67} = k_{17} + 1,2 \quad (20)$$

$$v_{67} = v_{17} + 11,2 \quad (21)$$

$$k_{56} = k_{67} \quad (22)$$

$$v_{56} = v_{67} + 6,2 \quad (23)$$

$$v_{58} = v_p + 54,8 \quad (24)$$

Závislost přísávaného množství vzduchu na podtlaku je dána charakteristikou přísávaného ventilu, která je v pracovní části ventilu přibližně přímková. Při měření na DZ-100 se zjistila charakteristika, u které rovnice přímkové části je

$$v_p = 9,166(p_1 - 372) \quad (25)$$

Obdobně závislost celkového množství vzduchu na podtlaku u vývěvy je dána charakteristikou regulačního ventilu (obr. 2), kterou lze na základě měření vyjádřit rovnicí (v extrémních případech je nutno vždy zvážit, zda se neuplatní charakteristika vývěvy)

$$v_{58} = -6,8(p_8 - 428) \quad (26)$$

Uvedená soustava 24 rovnic (lineárních a nelineárních) (3) až (26) umožňuje výpočet podtlaků v bodech 1 až 8 a průtoků kapaliny a vzduchu mezi sousedními body a přísávaného množství vzduchu, což je celkem 24 neznámých. Průtok kapaliny mezi body 5 a 8 (k_{58}) je dán celkovým průtočným množstvím kapaliny a není proto uvažován jako neznámá.

Pro konkrétní praktický výpočet je účelné zavést v této formulaci některé změny a zjednodušení.

V daném případě je přísávací ventil uzavřen (podle rovnice (25) by vyšlo záporné přísávané množství), což by odpovídalo při ideálních vlastnostech ventilu $v_p = 0$. Ve skutečnosti ventil není dokonale těsný a v_p kolísá kolem hodnoty, kterou lze brát přibližně jako konstantní (podle výsledků měření např. 5 l/min). Tedy platí jestliže

$$v_p < 5, \quad \text{pak } v_p = 5. \quad (27)$$

Tato podmínka doplňuje rovnici (25).

U našeho případu je experimentálně ověřeno, že podmínka (27) je vždy splněna, proto pro zjednodušení předpokládané soustavy a zkrácení doby výpočtu na počítači je účelné dosadit $v_p = 5$. Tím lze z rovnice (24) vypočítat $v_{58} = 59,8$, z rovnice (26) $p_8 = 419,21$ a z rovnice (10) $p_5 = 390,79$. Touto úpravou z původní soustavy tedy odpadnou rovnice (10), (24), (25), (26). Další jednoduché snížení počtu rovnic se dosáhne dosažením za $v_{23}, v_{12}, k_{45}, k_{17}, k_{56}$ podle rovnic (11), (12), (16), (18), (22). Bylo by možné celkem jednoduchými úpravami vyloučit několik dalších proměnných. To však není z hlediska praktického použití celého postupu účelné (roste možnost vzniku chyb, vylučují se proměnné, které jsou důležité pro praktické závěry a přitom dosažení dalšího zkrácení doby řešení na počítači již není důležité).

Po všech těchto úpravách přechází tedy původní soustava 24 rovnic na 15 rovnic v tomto tvaru

$$p_3 - p_2 = 0,3544k^2_{23} \quad (28)$$

$$p_4 - p_3 = 0,34539k_{34}(k_{34} + v_{34}) \quad (29)$$

$$390,79 - p_4 = \frac{15,828v_{45} + 77,941k_{34}}{k_{34} + v_{45}} + 0,084735(k_{34} + v_{45}) \quad (30)$$

$$p_1 - p_2 = 25,4455 + 0,19805k^2_{1,2} \quad (31)$$

$$p_7 - p_1 = 0,047613k_{12}(k_{12} + v_{17}) \quad (32)$$

$$p_6 - p_7 = 0,38171k_{67}(k_{67} + v_{67}) \quad (33)$$

$$390,79 - p_6 = \frac{15,828v_{56} + 77,941k_{67}}{k_{67} + v_{56}} + 0,11863k_{67}(k_{67} + v_{56}) \quad (34)$$

$$k_{12} + k_{23} = 4,8 \quad (35)$$

$$k_{34} = k_{23} + 2,5 \quad (36)$$

$$v_{34} = 5,45833k_{23} + 5 \quad (37)$$

$$v_{45} = v_{34} + 6,2 \quad (38)$$

$$v_{17} = 5,45833k_{12} + 5 \quad (39)$$

$$k_{67} = k_{12} + 1,2 \quad (40)$$

$$v_{67} = v_{17} + 11,2 \quad (41)$$

$$v_{56} = v_{67} + 6,2 \quad (42)$$

PROGRAM A ŘEŠENÍ NA ČÍSLICOVÉM POČÍTAČI

Rovnice (28) až (42) představují soustavu simultánních algebraických rovnic, z nichž část je lineárních a část nelineárních. Řešení je možné metodami vhodnými pro soustavy nelineárních rovnic (Ralston 1965, Rektorýs 1963, Jarník a Šisler 1969).

Soustavu nelineárních rovnic lze převést do tvaru

$$\begin{aligned} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \\ &\vdots \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \end{aligned} \quad (43)$$

Při řešení je třeba předpokládat, že funkce f_i mají v oblasti řešení první parciální derivace podle $x_1, \dots, x_n$. Další podmínkou technicky jednoznačného řešení je, aby determinant Jacobiovy matice $\mathcal{J}$ byl v oblasti řešení různý od nuly.

$$\mathcal{J} = \begin{vmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{vmatrix} \quad (44)$$

Dále je nutné zvolit počáteční aproximaci kořenů dostatečně blízko tak, aby iterační proces, použitý jako základ řešení, konvergoval.

Nejčastěji se k řešení soustav nelineárních rovnic používá metoda, která je v principu analogií Newtonovy metody pro řešení 1 rovnice (5). U této metody je základem řešení iterační funkce (v maticovém tvaru) — (Rektorys 1963, Brown a Conte 1967a).

$$x_{i+1} = x_i - [\mathcal{J}(x_i)]^{-1} f(x_i) \quad (45)$$

Tato metoda je kvadraticky konvergentní a na jeden iterační krok vyžaduje $n^2 + n$ vyhodnocení funkcí (43).

Program na řešení soustav nelineárních rovnic pomocí Newtonovy metody uvádí Janko (1968).

Ve snaze zjednodušit řešení a usnadnit jeho použití v praxi při řešení tlakových a dopravních poměrů potrubních dojíčích strojů byla použita metoda uvedená Brownem a Contem (1967). V principu tato metoda spočívá v rozvoji první funkce (43) v Taylorovu řádu kolem počátečního bodu při uvažování pouze lineárních členů, položí ji rovnu nule a řeší pro první proměnnou jako lineární kombinaci zbývajících $n-1$ proměnných. V druhé rovnici se tato proměnná vyloučí tím, že se nahradí jejím lineárním vyjádřením dříve zjištěným. Opět probíhá proces rozvinutí pomocí lineárních členů druhé rovnice, která se položí rovna nule a řešení pro druhou proměnnou jako kombinaci zbývajících $n-2$ proměnných. Tímto způsobem se pokračuje ve vylučování vždy jedné proměnné na jednu rovnici až pro n -tou rovnici zůstane jedna rovnice pro jednu neznámou, kterou vyjádříme. Nyní následuje zpětné dosazení do trojúhelníkového lineárního systému, doprovázené zjištěním nové hodnoty aproximace. Pivotace při eliminaci proměnných se dosáhne tím, že se vybírají vždy ty proměnné, které mají parciální derivaci s největší absolutní hodnotou. V celém výpočtu se místo parciálních derivací používají difference prvního řádu. Z numerických experimentů provedených autory metody (Brown a Conte 1967a) vyplývá, že rychlost konvergence ani stabilita numerického procesu nejsou ovlivněny použitím diferencí místo derivací. Z hlediska praktického účelu, pro který je výpočet navrhován, je rozhodující výhodou to, že při použití stačí v programu brát pouze základní řešení soustav rovnic. Není třeba počítat parciální derivace (44), jak to vyžaduje např. Newtonova metoda. Takový výpočet v praxi u pracovníků výrobního podniku, kteří nejsou zvyklí často používat složitější matematický aparát, by byl zdrojem častých chyb.

Metoda je zhruba kvadraticky konvergentní a vyžaduje na jeden iterační krok pouze $n^2/2 + 3n/2$ vyhodnocení funkcí, což je méně než u Newtonovy metody. Důsledkem jsou časové úspory při výpočtu.

Základem v této práci použitého programu je práce Browna a Conteho (1967b). Byl použit jazyk SLANG (Moudrý 1971), který je určitou modifikací jazyku ALGOL, určenou pro počítače MINSK. Sledovalo se dosažení dostatečné rychlosti výpočtu. Nevýhodou této volby bylo to, že vlivem omezení jazyka SLANG bylo nutné kromě formálních úprav programu, změn způsobu deklarací proměnných a procedur a změn identifikátorů dělat změny také v postupu algoritmu. K výpočtu se použil program (pro max. 25 rovnic), jehož kopie je na obr. 3.

V parametrech procedury NONLINEARS je N počet rovnic, NUMSIG požadovaný počet platných číslic, MAXIT maximální přípustný počet iterací. Dále zde vystupuje vektor X , za který se nejprve dosadí počáteční aproximace kořenů (XP) a po skončení výpočtu je tento vektor řešením soustavy (resp. nejlepší aproximací). Za MAXIT se nakonec dosadí počet skutečně použitých iterací. Tato možnost se však prakticky nevyužila, protože se výsledky všech iteračních kroků vypisují. Formálně se tento obrat v programu ponechal, i když dosazení ani výpis této hodnoty se nedělá. Výsledkem výpočtu je v proceduře parametr SINGULAR. Jestliže vyjde, že hodnota tohoto parametru je 0, je to znakem toho, že determinant Jacobiovy matice J (44) působí neurčité řešení soustavy. Naopak, je-li tato hodnota rovna 1, takováto obtíž při řešení nenastane. Tato možnost použité metody je značnou výhodou z hlediska daného problému, protože zatím lze těžko jednoznačně určit, na jaké složení soustav praktické použití povede, proto podmínky řešitelnosti nelze předem obecně hodnotit.

V daném programu se předpokládá, že řešená soustava rovnic je součástí programu (v proceduře EVALUATEFUN). Po větších zkušenostech s tvarem řešených rovnic v praxi bude pravděpodobně možné napsat soustavu obecně a koeficienty v rovnicích zadávat jako vstupní data. Pak bude účelné rovněž počáteční aproximace kořenů (XP), počet rovnic (NO), požadovaný počet platných číslic (NUM) a maximální počet iterací ($MAXI$) zadávat jako vstupní data.

V rámci ladění a zkoušek programu se vypočítalo navrženým programem kolem 20 soustav. Většina soustav (všechny soustavy z oblasti řešení tlakových a dopravních poměrů potrubních dojíčích strojů) velmi rychle konvergovala a doba řešení byla vyhovující. Řešení rovnic (28) až (42) (obr. 3) trvá přibližně 13 minut a překlad programu 2 minuty.

Obdobná soustava, která se předem úpravami zjednodušila na 9 rovnic, trvala 10 minut. 18 rovnic, ve kterých řešené rovnice byly o něco složitější, trvalo přibližně 28 minut. Soustava 22 rovnic o něco složitějších než soustava (22) až (48) trvala asi 45 minut. Tyto výsledky nemají pochopitelně absolutní význam, slouží pouze pro hrubou orientaci při dalším praktickém použití programu.

VÝSLEDKY ŘEŠENÍ A JEJICH HODNOCENÍ

I když hlavním výsledkem celé práce je vypracování nové metody přístupu k řešení potrubního dojíčeho stroje, jsou zajímavé také konkrétní výsledky, které se výpočtem na počítači zjistily. Rozbor těchto výsledků umožní zhodnotit účinnost nové metody.

Výsledky řešení jsou uvedeny v tab. I. Pro hrubé zhodnocení reálnosti výpočtem získaných výsledků jsou v tab. I uvedeny i hodnoty získané měřením. Některé z těchto výsledků jsou označeny jako přibližné (jedna vlnovka). Jsou to vesměs hodnoty vyplývající z výsledků měření střední rychlosti proudění směsi kapaliny a vzduchu. Za hrubě přibližné je třeba považovat veličiny (označené dvěma vlnovkami), které se zjistily kombinací dvou nebo několika přibližných výsledků. Alternativa 2 z tab. I byla vypočtena pro $v_p = f(p_1)$, nahrazující charakteristiku přísavacího ventilu uspokojivým způsobem

3. Kopie programu

```

'BEGIN
'PROCEDURE BACKSUB ('INTEGER KO, MO; 'REAL 'ARRAY Y, COE;
'INTEGER 'ARRAY ISUB, POINT);
'BEGIN 'INTEGER KM, KMA, JSU, J;
'FOR KM: = KO 'STEP -1 'UNTIL 2 'DO 'BEGIN KMA: = ISUB[KM-1]; Y[KMA]: = 0;
'FOR J: = KM 'STEP 1 'UNTIL MO 'DO
'BEGIN JSU: = POINT[KM, J];
Y[KMA]: = Y[KMA] + COE[KM-1, JSU] × Y[JSU]
'END;
Y[KMA]: = Y[KMA] + COE[KM-1, MO + 1]
END;
'END BACKSUB;
'PROCEDURE EVALUATEFUN ('INTEGER L; 'REAL 'ARRAY Z)
'RESULT: ('REAL V);

'BEGIN 'SWITCH FUNCTIONNUMBER: = F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9,
F10, F11, F12, F13, F14, F15;
'GOTO FUNCTIONNUMBER[L];
F1:V: = Z[3] - Z[2] - 0.3544 × Z[8] × × 2;
'GOTO RETURN;
F2:V: = Z[4] - Z[3] - 0.34539 × Z[9] × (Z[9] + Z[12]);
'GOTO RETURN;
F3:V: = 390.79 - Z[4] - (15.828 × Z[13] + 77.941 × Z[9]) / (Z[9] + Z[13]) -
0.084735 × Z[9] × (Z[9] + Z[13]);
'GOTO RETURN;
F4:V: = Z[1] - Z[2] - 25.4455 - 0.19805 × Z[7] × × 2;
'GOTO RETURN;
F5:V: = Z[6] - Z[1] - 0.047613 × Z[7] × (Z[7] + Z[11]);
'GOTO RETURN;
F6:V: = Z[5] - Z[6] - 0.38171 × Z[10] × (Z[10] + Z[15]);
'GOTO RETURN;
F7:V: = 390.79 - Z[5] - (15.828 × Z[14] + 77.941 × Z[10]) / (Z[10] + Z[14]) -
0.11863 × Z[10] × (Z[10] + Z[14]);
'GOTO RETURN;
F8:V: = Z[7] + Z[8] - 4.8;
'GOTO RETURN;
F9:V: = Z[9] - Z[8] - 2.5;
'GOTO RETURN;
F10:V: = Z[12] - 5.45833 × Z[8] - 5.;
'GOTO RETURN;
F11:V: = Z[13] - Z[12] - 6.2;
'GOTO RETURN;
F12:V: = Z[11] - 5.45833 × Z[7] - 5.;
'GOTO RETURN;
F13:V: = Z[10] - Z[7] - 1.2;
'GOTO RETURN;
F14:V: = Z[15] - Z[11] - 11.2;
'GOTO RETURN;
F15:V: = Z[14] - Z[15] - 6.2;

RETURN;
'END EVALUATEFUN;
'INTEGER 'ARRAY POINTER[625-1:25, 1:25], ISUB[24-1:24];
[REAL [ARRAY TEMP, PART[25-1:25], COE[650-1:25, 1:26];
'PROCEDURE NONLINEARS ('INTEGER N, NUMSIG, MAXIT; 'REAL 'ARRAY X)
'RESULT: ('INTEGER SINGULAR);
'BEGIN 'INTEGER CONVERGE, M, J, K, I, JSUB, ITEMP, KMAX, KPLUS, TALLY;
'REAL F, HOLD, H, EPLUS, DERMAT, TEST, FACTOR, RELCONVG;
CONVERGE: = 1; SINGULAR: = 1; RELCONVG: = 10 × × (-NUMSIG);
'FOR M: = 1 'STEP 1 'UNTIL MAXIT 'DO
'BEGIN
N(5,5); SPACE(5);
'FOR J: = 1 'STEP 1 'UNTIL N 'DO OUT(X[J]);

```

```

LINE(2);
'FOR J: = 1 'STEP 1 'UNTIL N 'DO POINTER[I, J]: = J;
'FOR K: = 1 'STEP 1 'UNTIL N 'DO
'BEGIN 'IF K 'GT 1 'THEN BACKSUB (K, N, X, COE, ISUB, POINTER);
EVALUATEFUN (K, X) 'RESULT: (F);
FACTOR: = .001;
AAA:TALLY: = 0; 'FOR I: = K 'STEP 1 'UNTIL N 'DO
'BEGIN ITEMP: = POINTER[K, I]; HOLD: = X[ITEMP];
H: = FACTOR × HOLD; 'IF H 'EQ 0. 'THEN H: = .001;
X[ITEMP]: = HOLD+H;
'IF K 'GT 1 'THEN BACKSUB (K, N, X, COE, ISUB, POINTER);
EVALUATEFUN (K, X) 'RESULT: (FPLUS);
PART[ITEMP]: = (FPLUS-F)/H;
X[ITEMP]: = HOLD;
'IF ABS(PART[ITEMP]) 'EQ 0.0 'THEN TALLY: = TALLY+1 'ELSE
'IF ABS(F/PART[ITEMP]) 'GT 1.010 'THEN TALLY: = TALLY+1;
'END;
'IF TALLY 'LE(N-K) 'THEN 'GOTO AA;
FACTOR: = FACTOR×10.0;
AA: 'IF K 'LT N 'THEN 'GOTO A;
'IF ABS(PART[ITEMP]) 'EQ 0.0 'THEN 'GOTO SING;
COE[K, N+1]: = 0.0; KMAX: = ITEMP; 'GOTO ENDK;
A:KMAX: = POINTER[K, K]; DERMAX: = ABS(PART[KMAX]);
KPLUS: = K+1;
'FOR I: = KPLUS 'STEP 1 'UNTIL N 'DO
'BEGIN JSUB: = POINTER[K, I]; TEST: = ABS(PART[JSUB]);
[IF TEST 'LT DERMAX 'THEN 'GOTO B;

DERMAX: = TEST;
POINTER[KPLUS, I]: = KMAX; KMAX: = JSUB;
'GOTO ENDI; B: POINTER[KPLUS, I]: = JSUB;
ENDI: 'END;
'IF ABS(PART[KMAX]) 'EQ 0.0 'THEN 'GOTO SING;
ISUB[K]: = KMAX; COE[K, N+1]: = 0.0;
'FOR J: = KPLUS 'STEP 1 'UNTIL N 'DO
'BEGIN JSUB: = POINTER[KPLUS, J];
COE[K, JSUB]: = -PART[JSUB]/PART[KMAX];
COE[K, N+1]: = COE[K, N+1]+PART[JSUB]×X[JSUB]
'END;
ENDK:
COE[K, N+1]: = (COE[K, N+1]-F)/PART[KMAX]+X[KMAX]
'END K;
X[KMAX]: = COE[N, N+1];
'IF N 'GT 1 'THEN BACKSUB (N, N, X, COE, ISUB, POINTER);
'IF M 'EQ 1 'THEN 'GOTO D;
'FOR I: = 1 'STEP 1 'UNTIL N 'DO
'IF ABS((TEMP[I]-X[I])/X[I]) 'GT RELCONVG 'THEN 'GOTO C;
CONVERGE: = CONVERGE+1;
'IF CONVERGE 'GE 3 'THEN 'GOTO TERMINATE 'ELSE
'GOTO D;
C: CONVERGE: = 1;
D: 'FOR I: = 1 'STEP 1 'UNTIL N 'DO TEMP[I]: = X[I]
'END M;
'GOTO THROUGH;
TERMINATE:
MAXIT: = M; 'GOTO THROUGH;
SING:SINGULAR: = 0;
THROUGH:
'END NONLINEARS;
'BEGIN

'REAL C34, P;
'REAL 'ARRAY XP[15-1:15]; 'INTEGER NO, NUM, MAXI, SING;

```

XP[1]: = 350.; XP[2]: = 320.; XP[3]: = 330.; XP[4]: = 350.; XP[5]: = 360.;
 XP[6]: = 355.; XP[7]: = 2.3; XP[8]: = 2.5; XP[9]: = 5.; XP[10]: = 3.5;
 XP[11]: = 17.5; XP[12]: = 18.5; XP[13]: = 24.5; XP[14]: = 34.5;
 XP[15]: = 28.5;
 NO: = 15; NUM: = 5; MAXI: = 15;

OUTPUT(11); LINE(3); TEXT(+VYSLEDKY RESENI POTRUBNIHO
 DOJICIHO STROJE - SOUCEK VUZZ +); LINE(3); SPACE(9); TEXT
 (+P1 P2 P3 P4 P6

P7

K12

K23

K34

K67

V17

V34

V45

V56

V67+); LINE(2);

NONLINEARS (NO, NUM, MAXI, XP) 'RESULT: (SING);

'IF SING 'EQ 1 'THEN

'BEGIN C34: = (XP[9]+XP[12]×(735./(735.-(XP[3]+XP[4])/2)))/29.452;

P: = XP[9]/XP[10];

TEXT(+ C34 = +); OUT(C34); LINE;

TEXT(+ K34/K67 = +); OUT(P); LINE(2);

TEXT(+ RESENI JE JEDNOZNACNE +);

'END;

'IF SING 'EQ 0 'THEN

TEXT(+ RESENI NENI JEDNOZNACNE +);

LINE(3);

TEXT(+ KONEC VYPOCTU +);

'END;

'END;

INISH;

v rozmezí 250 až 380 torrů. Konstanty v rovnici se zjistily řešením soustavy tří lineárních rovnic, které se sestavily tak, že do rovnice tvaru

$$y = \frac{1}{a + bx + cx^2} \quad (46)$$

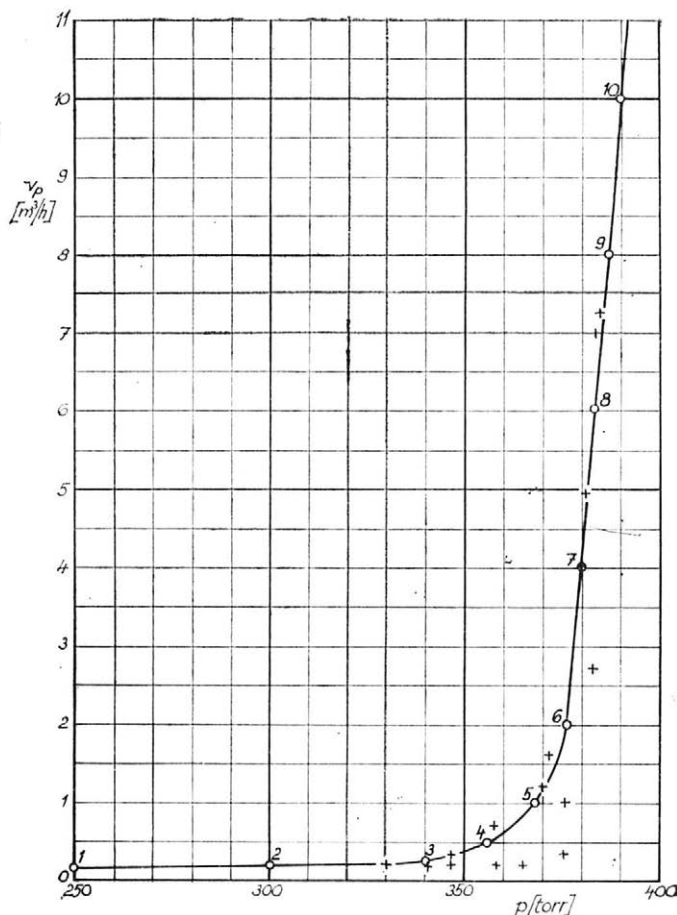
se dosadily souřadnice x a y tří různých bodů (2, 5, 7 na obr. 4).

Konstanty rovnic (46) se určily také metodou nejmenších čtverců postupem uvedeným Jakovlevem (1958). Pomocí transformace $y = 1/z$ se rovnice (46) převedla na výraz

$$z = a + bx + cx^2 \quad (47)$$

Metoda nejmenších čtverců se poměrně výhodně aplikuje na rovnice ve tvaru polynomu (47) postupem rovněž uvedeným Jakovlevem (1958). Rovnice (46) s takto získanými konstantami dost dobře vystihuje skutečný průběh charakteristiky v oblasti malých hodnot y , které použitím uvedené transformace odpovídají vysokým hodnotám z . V oblasti velkých hodnot y , kde z je velmi malé, jsou odchylky y velmi značné. Posuzováno prakticky (také s ohledem na pracnost přípravy výpočtu) se v daném případě jevil zjednodušený postup jako lépe vyhovující.

Ze vzájemného srovnání výsledků výpočtů uvedených v tab. I vyplývá, že alternativy 1 a 2 dávají velmi blízké výsledky. Posuzováno z hlediska technických požadavků na přesnost, jsou oba způsoby řešení téměř totožné. Z toho vyplývá, že ve vhodných případech je způsob výpočtu, ve kterém je uvažováno $v_p = \text{konst.}$, vyhovující. Kromě zjednodušení výpočtu přináší tento způsob výhodu v tom, že umožňuje snadno kontrolovat vliv nedokonalého těsnění přísávacího ventilu. U dosavadního provedení přísávacího ventilu, kdy stupeň dokonalosti jeho těsnění kolísá, umožňuje takovýto způsob vystihnout skutečný stav lépe než při zavedení dokonale jednoznačné funkční závislosti $v_p = f(p_1)$, nahrazující charakteristiku přísávacího ventilu. Výsledky alternativy 3 a 4 jsou rovněž



4. Charakteristika přisávacího ventilu potrubního dojícího stroje DZ-100 modelovaná ve výpočtu (křížky odpovídají experimentálním hodnotám)

blízké. Je zřejmé, že tyto alternativy jsou poměrně málo odlišné od naměřených hodnot. Přitom zvolené alternativy odpovídají částečně náhodné volbě některých vstupních veličin (přisávané množství vzduchu na soupravách, netěsnost přisávacího ventilu, netěsnost potrubí a velikost střední tlakové ztráty působené přerušovačem). Bylo by možné volit další kombinace těchto vstupních veličin z rozmezí uvedeného v první části, které by pravděpodobně teoretické hodnoty dále přiblížily experimentálním. Tento postup však není účelný, neboť rozdíly jsou již většinou v mezích přesnosti měření (např. hodnoty podtlaku mohou být zatíženy chybou ± 10 torr). Lze např. snadno dokázat, že střední podtlak v místě 2 musí být vždy nižší než v místě 3 (v soulase s výpočtem a na rozdíl od experimentálních výsledků). Jinak by část průtoku kapaliny vstupující do potrubí v místě 3 proudila směrem k místu 2, a tedy v průměru celý průtok vstupující v místě 2 by protékal „méně zatíženou“ větví, která by v tomto případě přebírala více než 70 % celého průtoku, což je zcela vyloučeno. Toto zjištění nijak nesnižuje hodnotu experimentálních výsledků (zde krajní uvažované odchylky nejdůležitějších veličin, tj. např. podtlaků jsou bezpečně v rozmezí ± 3 %, což je rozumný požadavek na přesnost při daném způsobu měření a registrace, zvláště však vyhodnocení). Z tohoto rozboru plyne, že experimentální výsledky zhruba potvrzují teoretické výsledky. Největší odchylky vykazují průtočná množství vzduchu, což zřejmě souvisí s nepřesnostmi v odhadu vstupních veličin. Největší odchylku vykazuje veličina v_p , která je sama zadanou vstupní veličinou. Počítala se proto alternativa 5, která se od alternativy 4 liší pouze tím, že $v_p =$

= 18. Je zřejmé, že touto úpravou se zmenšily některé odchylky v průtočném množství vzduchu.

Tím je dokázáno, že cíl řešení, kterým bylo nalézt kritérium k posouzení určitého projektu uspořádání potrubí, je splněn. Zdá se, že vypočtené výsledky splňují i vyšší nároky. Vypočtené hodnoty jsou spíše nepříznivější než naměřené, což je z hlediska praxe pravděpodobně účelné.

Použitá označení

- p_m — podtlak v bodě m (torr)
 Δp — ztráta podtlaku (torr)
 k — průtočné množství kapaliny (l/min)
 k_{mn} — průtočné množství kapaliny mezi body m a n (l/min)
 v_a — průtočné množství vzduchu odpovídající objemu při atmosférickém tlaku (735 torr a 20 °C) (l/min)
 v_{mn} — průtočné množství vzduchu v_a mezi body m a n (l/min)
 v_p — průtočné množství vzduchu v_a protékající přísavacím ventilem (v místě 1 na obr. 1)
 H — výška stoupačky (m)
 l_{mn} — délka potrubí mezi body m a n (m)
 ρ — měrná hmota kapaliny (kg/m³)

Literatura

- BROWN K. M., CONTE S. D., 1967a, The solution of simultaneous nonlinear equations. Proc. ACM 22nd Nat. Conf.
BROWN K. M., CONTE S. D., 1967b, Solution of simultaneous nonlinear equations. Communications of the ACM, Volume 10, Number 11.
JAKOVLEV K. P., 1958, Matematické zpracování výsledků měření. Praha
JANKO J., 1968, Řešení systémů nelineárních rovnic. Aplikace matematiky 5.
JARNÍK J., ŠISLER M., Jak řešit rovnice a jejich soustavy. SNTL Praha.
MOUDRÝ J., 1971, Programovací jazyk SLANG. Fyzikální ústav ČSAV.
RALSTON A., 1965, A First Course in Numerical Analysis.
REKTORYS K., 1963, Přehled užité matematiky. SNTL Praha.
SINEK F., 1967, Výzkum dojíacího automatu. Zpráva VÚZS.
SINEK F., 1968, Výzkum tlakových poměrů dojíacího automatu. Zpráva VÚZS.
SOUČEK Z., 1967, Výzkum tlakových poměrů a dopravního účinku dojíacího automatu. Zpráva VÚZS.
SOUČEK Z., 1972, Výsledky experimentálních prací na mléčném potrubí dojíacích strojů, získané v laboratorních podmínkách. Zem. technika 4 : 227-247.

Došlo dne 16. 7. 1973

СОУЧЕК З. (Научно-исследовательский институт сельскохозяйственных машин, Прага-Ходов, Чехословакия). Решение режима давления и условий транспортировки у трубопроводных доильных машин на вычислительной машине. Zem. technika 19 (11) : 687-700, 1973.

Работа исходит из общих фактических результатов экспериментальных работ, направленных на изучение потерь давления, вызванных транспортировкой молока по молокопроводу, достигнутых раньше в нашем институте (уравнение (1) и (2)). Непосредственные экспериментальные методы для оценки конкретных проектов устройства трубопроводных доильных машин (несмотря на их большое значение) с трудом применимы в тех случаях, когда необходимо быстрое заключение. Поэтому приступили к решению режима давления и условий транспортировки в доильных машинах на вычислительных машинах. Решение помогает получить новое орудие для облегчения проектирования трубопроводных доильных машин. Целью работы является определение критериев для оценки определенного проекта. При помощи вычислений будут получены приблизительные средние величины нижнего давления и проточного количества. Критерием для оценки нового проекта является сравнение этих вычисленных величин и испытанных в эксплуатации, экспериментально проверенные

системы и системы вновь проектируемые в нескольких вариантах). В первой части приводятся предпосылки решения. Математическая формулировка моделируемого случая ведет к системе 24 алгебраических уравнений (линейных и нелинейных). Предложена программа решения этих систем (на языке СЛАНГ для вычислительной машины МИНСК 22).

трубопроводные доильные машины; применение вычислительной техники

SOUČEK Z. (Research Institute of Agriculture Engineering, Praha — Chodov Czechoslovakia). *The Solution of the Pressure and Transport Conditions of Pipeline Milking Machines by Means of a Digital Computer*. Zem. technika 19 (11) : 687-700, 1973.

The paper deals with studies following up with the generally applicable results of experimental efforts concerning the research of the pressure losses caused by the transportation of milk along the pipeline; these efforts were made previously in the Research Institute of Agricultural Engineering (equations [1] and [2]). The direct experimental methods of the evaluation of actual designs of the layout of pipeline milkers are hardly applicable (despite their high importance) if a quick conclusion is needed. Hence it was decided to use a digital computer for the evaluation of the pressure and transport conditions in the pipeline milking machines. This provides a new instrument facilitating the projects of pipeline milking machines. The purpose of the study is to determine the criteria for evaluation of projects. Calculation provides the approximate mean values of vacuum and rate of flow. The comparison of these values calculated in a set tested in practice and checked experimentarily with the values obtained in a new-designed set (in several alternatives) serves as the criterion for the evaluation of a new project. The first part shows the prerequisites for solution. The mathematic formulation of a model case leads to a system of 24 simultaneous algebraic equations (linear and non-linear). A program for the solution of this system is presented (in language SLANG for the MINSK 22 computer).

pipeline milking machines; application of computers

SOUČEK Z. (Forschungsinstitut für Landmaschinen, Praha — Chodov, Tschechoslowakei). *Lösung der Druck- und Transportverhältnisse von Rohrmelkanlagen am Digitalrechner*. Zem. technika 19 (11) : 687-700, 1973.

Die Abhandlung knüpft an die bereits früher im Forschungsinstitut für Landmaschinen gewonnenen, allgemeingültigen Ergebnisse von Experimentalarbeiten an, die auf die Forschung der durch den Milchleitungstransport verursachten Druckverluste gezielt waren (Gleichungen [1] und [2]). Direkte Experimentalmethoden zur Schätzung der konkreten Vorschläge für die Anordnung von Rohrmelkanlagen sind (trotz ihrer wesentlichen Bedeutung) schwer anzuwenden in den Fällen, wo eine schnelle Schlußfolgerung gefordert wird. Man ist daher an die Lösung der Druck- und Transportverhältnisse der Melkmaschinen am Digitalrechner herangetreten. Dadurch gewinnt man ein neues Instrument, das die Projektierung von Rohrmelkanlagen erleichtert. Das Ziel des Aufsatzes ist, die Kriterien zur Beurteilung eines bestimmten Projektes festzulegen. Durch die Berechnung erhält man annähernde Mittelwerte des Vakuums und der Durchsatzmengen. Den Maßstab zur Beurteilung des neuen Projektes bildet der Vergleich dieser errechneten Werte bei der betriebsmäßig erprobten Zusammenstellung und der neu entworfenen (in einigen Alternativen) Zusammenstellung. Im ersten Teil werden Voraussetzungen für die Lösung aufgeführt. Die mathematische Formulierung des modellierten Falles führt zum System von 24 algebraischen Simultangleichungen (Linear- und Nichtlineargleichungen). Es wird ein Program zur Lösung dieses Systems (in der Sprache SLANG für den Rechner MINSK 22) vorgeschlagen.

Rohrmelkanlagen; Anwendung der Rechentechnik

Adresa autora:

Ing. Zbyněk Souček, CSc., Výzkumný ústav zemědělských strojů, 149 43 Praha 4-Chodov

Z. Vraný

Výzkumný ústav zemědělských strojů, Praha-Chodov

VRANÝ Z. *Analýza pohybu řezanky ze sklízecí řezačky*. Zem. technika 19 (11) : 701-709, 1973.

Práce řeší pohyb řezanky hubicí, koncovkou, popř. i sklopkou a další pohyb mimo řezačku pomocí teoretické analýzy. Ukazuje na tři základní způsoby, kterými se mění směr pohybu řezanky a osvětluje na základě kvantitativního hodnocení velikosti vznikajících ztrát. Poukazuje na význam správné konstrukce dopravní cesty pro řezanku a na požadavek zachovat co nejnížší obvodovou rychlost nožového bubnu; obvodová rychlost totiž významně ovlivňuje energetickou bilanci celé řezačky.

řezačka bubnová; doprava řezanky; hubice; koncovka

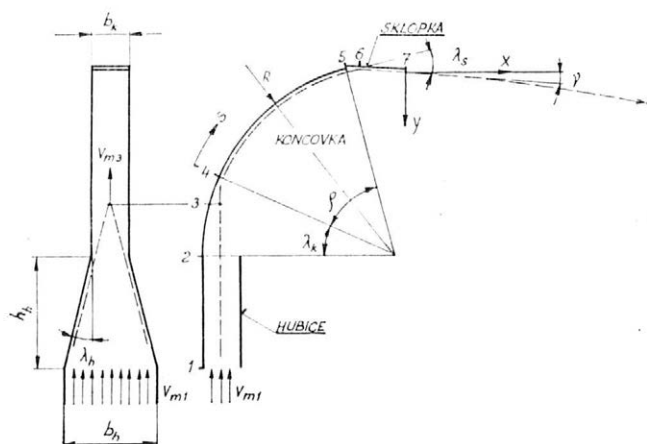
Sklízecí řezačky jsou a také do budoucna zůstanou důležitým článkem linek na přípravu zelených krmiv, linek pro výrobu siláže i senáže a pro zásobování sušáren a připravených krmných směsí. V ČSSR při počtu cca 15 000 řezaček činí jen náklady na pohonné hmoty k jejich provozu zhruba 150 miliónů Kčs ročně. Proto každá úspora v energetice řezaček představuje v celostátním měřítku obrovské částky, což zdůvodňuje nutnost hlubšího výzkumu energetiky všech jejich dílčích částí. V pracích Vraného (1969, 1971a, b, c) byly podrobně teoreticky i experimentálně vyšetřovány energetické poměry nožového bubnu, který se podílí cca 80 % na celkovém příkonu řezačky (bez příkonu pro pojezd). Pro uživatele řezaček odtud vyplynuly podklady o účelnosti včasného ostření nožů (zvláště u zavadlých a suchých materiálů) a o volbě co nejnižších otáček nožového bubnu, jen aby se dosáhla požadovaná délka doletu řezanky s ohledem na plnění vozů.

Změna otáček nožového bubnu má u dílčích složek příkonu nožového bubnu různý vliv: řezný příkon se nemění, všechny dopravní složky (urychlení, tření a výstup řezanky z bubnu) rostou kvadraticky, příkon na ventilaci roste s mocnitelem 2,1 až 2,9 podle uspořádání skříně. Teoreticky i experimentálně bylo prokázáno, že energie na zpracování jednotky řezané hmoty s otáčkami vždy roste. Při takové skladbě dílčích příkonů nožového bubnu, kdy jeho celková hodnota činí cca 25 až 30 k, roste příkon bubnu při zvýšení jeho otáček o 10 % (Vraný 1971c):

- cca o 10 % u zavadlých a suchých materiálů,
- cca o 15 % u zelených materiálů o vlhkosti 85 %,
- cca o 17 až 24 % u kukuřice o vlhkosti 83 až 89 %.

Uvedená čísla naznačují velký význam správné volby otáček nožového bubnu. Při normálních nárocích na délku doletu postačuje obvykle obvodová rychlost bubnu do 30 m s^{-1} . Předpokládá to ovšem optimálně řešenou celou další dopravní cestu řezanky od bubnu. To je cílem dále uvedeného rozboru, který je zde naznačen teoreticky; o experimentálních výsledcích výzkumu dopravy řezanky bude uveřejněn samostatný článek později.

Řezanka po výstupu z nožového bubnu prochází hubicí, která zužuje její tok (obvykle na polovinu původní šířky). Pak dopadá na stěnu koncovky, kde se obloukem zakřivuje její dráha z přibližně svislého směru do téměř vodorovného (obr. 1). Při výstupu z koncovky může být změněn její směr sklopkou, jejímž účelem je zkrácení doletu řezanky pro plnění bližší části vozu. U současných sklizecích řezaček střední výkonnosti (o záběru cca 2 m) se hubice navrhuje téměř svislá, aby se mohl plnit řezankou jak vůz zavěšený



1. Rychlostní poměry ve výstupním potrubí

za řezačkou, tak po otočení koncovky i vůz jedoucí vedle ní. Pro rozbor se počítá s hubicí oboustranně souměrně zúženou a s koncovkou natočenou dozadu. Nepřehlídí se k vlivu souběžně proudícího vzduchu, což se blíží nejvíce poměrům při dopravě zelených materiálů.

Předpokládejme zatím, že řezanka vystupuje z bubnu homogenním svislým proudem rychlostí v_{m1} (viz obr. 1) a ve vteřinovém množství q .

Část materiálu

$$q' = q \cdot b_k / b_h \quad (1)$$

projde hubicí mezi body 1 a 2 nerušeně rychlostí $v'_{m2} = v_{m1}$ další část q''

$$q'' = q - q' = \left(1 - \frac{b_k}{b_h}\right) q \quad (2)$$

narazí na boční stěny hubice pod úhlem

$$\lambda_h = \arctg \frac{b_h - b_k}{2h_h} \quad (3)$$

Dopadem na stěny ztrácí uvedené množství q'' část své rychlosti, takže

$$v''_{m2} \leq v_{m1} \cdot \cos \lambda_h \quad (4)$$

přičemž rovnítko platí, nepočítá-li se tření řezanky o boční stěny hubice; stav se třením bude řešen v dalším.

Obě množství q' a q'' se spolu spojí (bez větších ztrát třením) v dolní části koncovky a výsledná směs bude mít rychlost

$$v_{m3} = (q' \cdot v'_{m2} + q \cdot v''_{m2} \cdot \cos \lambda_h) / q \quad (5)$$

Po dopadu tohoto proudu na plášť koncovky pod úhlem λ_k klesne dále jeho rychlost na

$$v_{m4} \leq v_{m3} \cdot \cos \lambda_k \quad (6)$$

přičemž rovnítko opět platí pro poměry bez tření; případ se třením viz dále.

Potom se sune proud po vnitřku pláště koncovky, takže obdobně v bodě 5 bude mít rychlost

$$v_{m5} \leq v_{m4} \quad (7)$$

Je-li v činnosti sklopka, pak na jejím počátku se dále sníží rychlost řezanky na

$$v_{m6} \leq v_{m5} \cdot \cos \lambda_s \quad (8)$$

a na jejím konci pak na

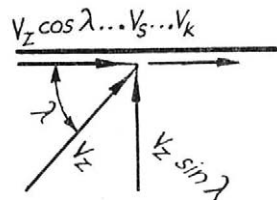
$$v_{m7} \leq v_{m6} \quad (9)$$

Uvedené schéma rychlostních poměrů ve výstupním potrubí je charakteristické tím, že v něm dochází k mnohonásobné změně směru proudu řezanky. Jedním druhem této změny je střetnutí různoběžných proudů ve volném prostoru (neúčastní se ho žádná pasivní plocha). Další změnou směru je v principu dopad proudu na šikmou desku (průběžně mezi body 1 a 2, pak v bodech 4 a 6). Třetím způsobem odchylování je plynulá změna směru vlivem zakřivení koncovky (mezi body 4 a 5). Poslední dva jmenované případy využívají pasivních (nehybných) ploch, k nimž je materiál dynamickými účinky proudu přitlačován. Protože většina zpracovávaných materiálů má poměrně značný součinitel tření, musí být tyto dva případy řešeny s respektováním tření. Tím budou konkretizovány vztahy uvedené zatím jen ve tvaru nerovností (4, 6, 7 a 8).

ZTRÁTY DOPADEM NA ŠIKMOU DESKU

Uvažujeme případ dopadu nepružné částice o hmotě m na tuhou desku rychlostí v_z pod úhlem λ (obr. 2). Je zřejmé, že normálná složka rychlosti $v_z \sin \lambda$ se zcela zmaří a v případě bez tření by částice pokračovala dále rychlostí $v_z \cos \lambda$ ve směru desky (bez odskoku od ní).

Přistoupí-li navíc tření, může být vyvoláno jen normální reakcí N po dobu dopadu částice na desku. Ačkoliv její velikost nelze jednoznačně vypočítat, protože se mění v intervalu $0 \rightarrow \max \rightarrow 0$, možno však N vyjádřit změnou hybnosti



2. Rychlostní poměry při dopadu proudu na šikmou desku

$$\int N dt = m \cdot \Delta v = m \cdot v_z \cdot \sin \lambda \quad (10)$$

Ztráta energie třením o desku pak bude

$$\int N dt \cdot \mu \cdot v_s = \mu \cdot m \cdot v_s \cdot v_z \sin \lambda \quad (11)$$

kde:

$$v_s = \sqrt{\frac{(v_z \cos \lambda)^2 + v_k^2}{2}} \quad (12)$$

Tuto třením zmařenou energii lze také formulovat jako dvojnásobek ztráty energie mezi $v_z \cos \lambda$ a v_s :

$$E = 2[(v_z \cos \lambda)^2 - v_s^2] \frac{m}{2} \quad (13)$$

Z rovnosti vztahů (11) a (13) pak vychází:

$$v_s^2 + \mu \cdot v_s \cdot v_z \sin \lambda - v_z^2 \cos^2 \lambda = 0$$

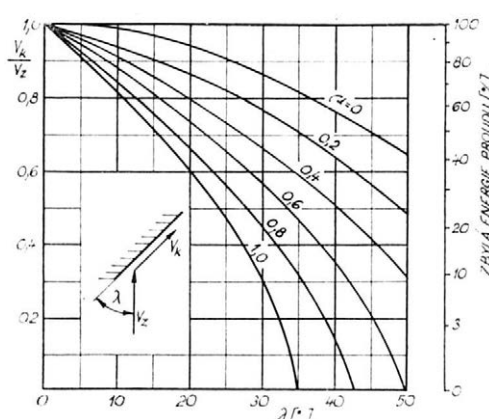
což je kvadratická rovnice, jejíž kořen v_s činí

$$v_s = \frac{v_z}{2} \left[-\mu \cdot \sin \lambda \pm \sqrt{\mu^2 \cdot \sin^2 \lambda + 4 \cos^2 \lambda} \right] \quad (14)$$

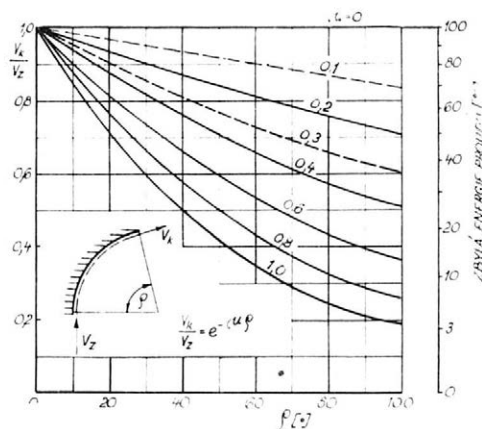
Konečná výstupní rychlost částice po dopadu pak z (12) bude

$$v_k = \sqrt{2v_s^2 - v_z^2 \cos^2 \lambda} = v_z \sqrt{\mu^2 \cdot \sin^2 \lambda + \cos^2 \lambda \pm \mu \sin \lambda \sqrt{\mu^2 \cdot \sin^2 \lambda + 4 \cos^2 \lambda}} \quad (15)$$

Reálné je u složeného členu znaménko záporné.



3. Graf pro pokles rychlosti a energie při dopadu proudu na šikmou desku (vztah 15)



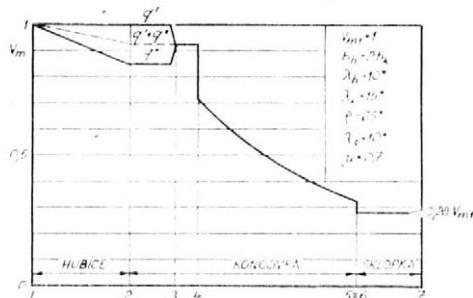
4. Graf pro pokles rychlosti proudu ohybem na zakřivené ploše (vztah 17)

Pro přibližné výpočty do úhlu $\lambda \doteq 25^\circ$ je možné zanedbat člen $\mu^2 \cdot \sin^2 \lambda$ ve třetím složeném členu, čímž vztah nabude jednoduchý tvar (analogický silovým poměrům)

$$v_k \doteq v_z(\cos \lambda - \mu \cdot \sin \lambda) \quad (16)$$

Pro poměry do $\lambda = 25^\circ$ činí rozdíly mezi výsledky podle (15) a (16) asi 2 %. Při vyšších úhlech však difference rychle rostou a není možné vztahu (16) použít. Pro usnadnění výpočtů je rovnice (15) vyznačena graficky v obr. 3. Odtud je zřejmé, že s rostoucím úhlem λ a součinitelem tření konečná rychlost po rázu rychle klesá. Protože však energie proudu klesá kvadraticky s rychlostí, bude zbytek pohybové energie proudu po dopadu dán kvadratickou stupnicí (obr. 3 vpravo).

Uvedený graf 3 je užitečnou pomůckou pro stanovení ztrát proudu řezanky na šikmé desce. Např. pro obvykle doporučený sklon 10° u hubic vychází relativní pokles rychlosti a energie ΔE



5. Teoretické řešení rychlosti proudu materiálu výstupním potrubím stolice

$$\text{u slámy s } \mu \doteq 0,3: \quad v_k/v_z = 0,925, \quad \Delta E \doteq 14 \%$$

$$\text{u zeleného jetele s } \mu \doteq 0,7: \quad v_k/v_z = 0,86, \quad \Delta E \doteq 26 \%$$

Z grafu lze také určit mezní velikosti úhlů, při nichž se proud materiálu na desce zastaví. Tyto hodnoty by bylo možné snadno zjistit experimentálně a ověřit tak platnost odvozených zákonitostí.

ZTRÁTY POHYBEM PO ZAKŘIVENĚ PLOŠE

Při pohybu hmoty m rychlostí v po zakřivené ploše s poloměrem R působí na hmotu kromě gravitace (kterou možno zanedbat) dostředivá síla

$$m \cdot v^2/R$$

a proti pohybu třecí síla

$$\mu \cdot m \cdot v^2/R.$$

V tečné rovině lze psát pohybovou rovnici částice

$$m \cdot \frac{dv}{dt} + \mu \cdot m \cdot v^2/R = 0$$

úpravou dostaneme

$$\frac{dv^2}{v^2} + 2 \frac{\mu}{R} ds = 0$$

a integrací

$$\lg \frac{v_k^2}{v_z^2} + 2 \frac{\mu}{R} s = 0$$

resp. pro $s = R \cdot \varrho$ podle obr. 1 bude

$$\lg \frac{v_k^2}{v_z^2} + 2\mu \cdot \varrho = 0$$

I. Relativní ztráty rychlosti a kinetické energie zeleného materiálu odchýlením proudu šikmou deskou a obloukem ($\mu = 0,7$)

Úhel	Odchýlení	v_k/v_z	ΔE %
10°	šikmou deskou	0,860	26
	obloukem	0,885	22
20°	šikmou deskou	0,700	51
	obloukem	0,790	38
30°	šikmou deskou	0,510	74
	obloukem	0,695	52
40°	šikmou deskou	0,260	93
	obloukem	0,615	62
50°	šikmou deskou	0*)	100*)
	obloukem	0,540	71

*) již při úhlu 47°

$$v_k = v_z \cdot e^{-\mu \cdot \varrho} \quad (17)$$

Tento výsledek ukazuje, že relativní změna rychlosti na oblouku nezávisí na jeho zakřivení, ale jen na jeho centrálním úhlu a na součiniteli tření. Tato skutečnost byla potvrzena pokusy Kromera (1967). Pro snadnější výpočet je funkce

$$\frac{v_k}{v_z} = e^{-\mu \cdot \varrho}$$

vyznačena v grafu na obr. 4 spolu s uvedením energetických poměrů kvadratickou stupnicí jako u obr. 3.

Z grafu 4 je patrné, že velikost změny směru proudu plynulým obloukem nemá omezení, jak tomu bylo u dopadu na šikmou desku. Ze srovnání obou grafů dále vyplývá, že relativní poklesy rychlosti v_k/v_z a pohybové energie ΔE při změně směru o stejný úhel provedený na šikmou desku jsou vždy vyšší, než plynulou změnou obloukem, jak dokládá tab. I. Z tohoto přehledu je názorně patrné, že s rostoucím úhlem změny směru proudu je rozdíl mezi oběma způsoby stále větší.

KONSTRUKCE PRŮBĚHU RYCHLOSTI MATERIÁLU VE VÝSTUPNÍM POTRUBÍ

Odvozené vztahy (1) až (9) a dále (15) a (17) umožňují stanovit velikost rychlosti v libovolném místě výstupního potrubí stroje. Velmi účelné je použití obr. 3 a 4, které zjednodušuje celý výpočet na několik základních početních úkonů. Protože při odvozování dílčích vztahů nebylo přihlíženo k vlivu vzduchu (rovněž i gravitace, která je zanedbatelná), blíží se naznačený postup výpočtu nejvíce poměrům při zpracování zelených materiálů. Ty mají v potrubí také největší ztráty, a proto jejich osvětlení a lokalizace má největší praktický význam.

Na obr. 5 byl vynesena průběh rychlosti materiálu celým výstupním potrubím stroje (pro podmínky uvedené v obr. 5 vpravo, které odpovídají poměrům na stolici při zpracování zelených materiálů, přicházející nejčastěji v praxi v úvalu). U obrázku zjištěné poklesy rychlosti materiálu a ztráty jeho pohybové energie jsou v tab. II. Tyto údaje přesvědčivě dokazují, že hlavním zdrojem ztrát je koncovka, v níž se maří 74 % řezance dočasně kinetické energie a pro užitečný odhoz zbývá z ní jen 8 %. Další cílevědomý výzkum na tomto poli by měl tedy přednostně buď hledat vhodné materiály pro aktivní plochu (plášť) koncovky s menším součinitelem tření, nebo řešit výstup řezanky z bubny tak, aby nemusel být tolik měněn její směr.

II. Teoretické ztráty rychlosti a kinetické energie materiálu ve výstupním potrubí stroje pro zelené materiály (podmínky viz obr. 5)

Ztráty	Hubicí %	Koncovkou (dopad + oblouk) %	Sklopkou %	Zbývá pro odhoz %
Na rychlosti	8	21 + 38	5	28
Na kinetické energii	15	33 + 41	3	8

Po výstupu z koncovky (resp. sklopky) letí řezanka dále volně v gravitačním zemském poli. Vliv vzduchu na její let je dvojitý:

- současně s řezankou dopravovaný vzduch má na výstupu ze stroje zpravidla rychlost výrazně vyšší (cca $2 \times$) než řezanka, neboť jeho proudění potrubím je spojeno s podstatně nižšími ztrátami rychlosti. Tento vzduch se snaží při interakci s řezankou ji za koncovkou urychlovat. Lehký materiál (sláma) je tímto proudem silně unášen dlouho i mimo stroj, těžší materiál z něj asi po $1/4$ své volné dráhy vypadne;
- klidný okolní vzduch brzdí pohyb řezanky, zvláště lehké (slámy). U zelených materiálů je jeho vliv malý.

Obě tato media lze při obtížně rozlišitelném rozmezí jejich vlivu těžko zahrnout do teoretického řešení dráhy řezanky. Pro zjednodušení je možné jejich proti sobě působící účinky zanedbat a uvažovat problém bez jejich vlivu. Při výstupu rychlostí v_7 pod úhlem ν je pak dráha řezanky dána rovnicí paraboly

$$y = \frac{g}{2} \left(\frac{x}{v_7 \cdot \cos \nu} \right)^2 - x \cdot \operatorname{tg} \nu \quad (18)$$

Dosáhne-li $y = h_0$ (tj. výšky konce sklopky nad zemí), bude $x = l$ (dálka doletu) a rovnice (18) nabude tvaru

$$l^2 \frac{g}{2v_7^2 \cdot \cos^2 \nu} - l \cdot \operatorname{tg} \nu - h_0 = 0$$

Řešením této kvadratické rovnice a další úpravou dostaneme:

$$l = \frac{v_7^2 \cdot \sin 2\nu}{2g} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2gh_0}{v_7^2 \cdot \sin^2 \nu}} \right) \quad (19)$$

Pro případ vodorovného výstupu nelze vztahu (19) použít, protože se stává neurčitým. Zde pak platí jednoduchý vztah

$$l = v_7 \sqrt{\frac{2h_0}{g}} \quad (20)$$

podle něhož je dálka doletu lineárně úměrná výstupní rychlosti řezanky. Při podrobnějším číselném zhodnocení lze zjistit, že s určitou přibližností platí linearita s konstantním členem i u vztahu (19). To znamená, že dálka doletu roste i s otáčkami nožového bubnu lineárně

$$l \doteq \text{konst} \cdot (n - n_0) \quad (21)$$

Z Á V Ě R

V článku jsou teoreticky analyzovány rychlostní poměry řezanky v hubici, v koncovce a při volném letu vzduchem, jaké jsou u sklízecích řezaček s nožovým bubnem. Řezanka při průchodu hubicí a koncovkou mění několikrát svůj směr, což je doprovázeno ztrátami na rychlosti. Podle způsobu, jakým se směr mění, se vyskytuje u používaných konstrukcí:

- střetnutí několika různoběžných proudů řezanky,
- usměrňování řezanky šikmo nastavenou rovinou,
- ohyb proudu na zakřivené ploše.

Pro všechny tyto případy byly odvozeny vztahy, kterými jsou vyjádřeny příslušné poklesy rychlosti. Jako nejnepríznivější vychází usměrňování řezanky šikmo nastavenou

rovinou; menší ztráty způsobuje ohyb proudu zakřivenou plochou, zvláště při větších změnách směru. V obou těchto případech je pokles rychlosti závislý kromě úhlu odchýlení proudu i na součiniteli tření řezanky o usměrňující plochu.

Zaměříme-li se na nejdůležitější materiály (zelený a mírně zavadlý jetel), je bilance rychlostních poměrů a energetické účinnosti dopravní cesty řezanky hubicí a koncovkou nepříznivá; výstupní rychlost řezanky pro uspořádání řezačky podle obr. 1 a dat v obr. 5 obnáší teoretickým výpočtem jen 28 % rychlosti počáteční. Energeticky to odpovídá účinnosti 8 %. To je závažný důvod, pro který je nutné věnovat konstrukci aktivních ploch velkou pozornost. Cesta zvyšování počáteční rychlosti volbou vyšší obvodové rychlosti nožového bubnu je energeticky nevýhodná, zvláště pro zelené materiály s vysokým součinitelem tření vůči běžně používanému ocelovému plechu.

Výsledky experimentálního výzkumu dopravy řezanky budou publikovány později.

Použitá označení

- a_r — dostředivé zrychlení (m s^{-2})
- b_h — šířka základny hubice (m)
- b_k — šířka koncovky (m)
- E — pohybová energie (J)
- g — zemské zrychlení (m s^{-2})
- h_o — výška konce sklopky nad zemí (m)
- h_h — výška hubice (m)
- l — dolet řezanky definovaný jako vodorovná vzdálenost těžiště hromady odhozené řezanky od osy nožového bubnu (m)
- n — otáčky nožového bubnu (min^{-1})
- q — průchodnost = vteřinová hmota zpracovaného materiálu (kg s^{-1})
- R — poloměr zakřivení pláště koncovky (m)
- s — dráha částic na zakřivení koncovky (m)
- t — čas (s)
- v — rychlost vzduchu (m s^{-1})
- v_m — rychlost materiálu (řezanky) (m s^{-1})
- v_k — rychlost částic po změně směru (m s^{-1})
- v_n — rychlost částic před změnou směru (m s^{-1})
- v_s — střední kvadratická rychlost částic při dopadu (m s^{-1})
- x — vodorovná osa souřadného systému
- y — svislá osa souřadného systému
- φ — centrální úhel oblouku, po němž se sune materiál v koncovce (°)
- λ — úhel změny směru materiálu šikmou deskou (°)
- λ_h — úhel dopadu materiálu na stěny hubice (°)
- λ_k — úhel dopadu materiálu na koncovku (°)
- λ_s — úhel dopadu materiálu na sklopku (°)
- μ — součinitel tření
- ν — elevační úhel výstupu proudu ze sklopky (event. z koncovky) (°)

Literatura

- BACK O., Ventilátory. SNTL Praha.
- CHANCELORE W. J., 1960, Influence of Particle Moment on Energy Losses in an Impeller Blower. Agricultural Engineering 2.
- CHANCELORE W. J., Relations between Air and Solid Particles Moving Upward in a Vertical Pipe. Agricultural Engineering 3.
- CHANCELORE W. J., LADUKE G. F., 1960, Analysis of Forage Flow in a Deflector Elbow. Agricultural Engineering 4.
- KROMER K. H., Untersuchungen am Trommelfeldhäckler unter besonderer Berücksichtigung der Materialförderung in und nach Schneid-Wurf-Trommeln. Hellmuth-Neureuter-Verlag, München-Wolphaussen.
- SEGLER G., ACKERMANN G., KEUNEKE J., 1959, Untersuchungen an Fördergeräten mit Einschleusung durch das Schaufelrad. Landtechnische Forschung 9, 4.

- VRANÝ Z., 1969, Výzkum bubnového řezacího ústrojí II. Výzkumná zpráva č. 2737, VÚZS Praha-Chodov.
- VRANÝ Z., 1971a, Rozbor silových a energetických poměrů na nožovém bubnu řezaček. Zem. technika 17, 1:23-38.
- VRANÝ Z., 1971b, Experimentální výzkum silových a energetických poměrů na nožovém bubnu řezaček. Zem. technika 17, 10:629-648.
- VRANÝ Z., 1971c, Energetické poměry sklízecích řezaček. Výzkumná zpráva č. 3074, VÚZS Praha-Chodov.

Došlo dne 16. 7. 1973

ВРАНЫ З. (Научно-исследовательский институт сельскохозяйственных машин, Прага-Ходов, Чехословакия). Анализ движения резки из косилки-измельчителя. Zem. technika 19 (11): 701-709, 1973.

Работа посвящена движению резки через мунштук, наконечник, опрокидыватель, ее дальнейшему движению за пределами машины и их теоретическому анализу. В работе освещены три основных способа, при помощи которых меняется направление движения резки и на основе количественной оценки определяется величина возникающих потерь. Подчеркивается значение правильной конструкции транспортировочного пути для резки и обращается внимание на требование сохранить самую низкую окружную скорость ножевого барабана; окружная скорость сильно влияет на энергетический баланс всей косилки-измельчителя.

барабанная косилка-измельчитель; транспортировка резки; мунштук; наконечник

VRANÝ Z. (Research Institute of Agricultural Engineering, Praha — Chodov, Czechoslovakia). *The Analysis of Forage Flow from the Chopper-Harvester*. Zem. technika 19 (11): 701-709, 1973.

The paper deals with forage flow along the pipe, deflector elbow and or tipper, and further flow outside the chopper; theoretical analysis is used this purpose. There are three ways to change the direction of forage flow. The losses are explained on the basis of quantitative evaluation. The author draws attention to the importance of the correct construction of the passage for the flow of the chopped material, and to the requirement for the lowest possible peripheral velocity of the knife drum; peripheral velocity is a factor exerting a significant influence on the energetic balance of the chopper as a whole.

drum harvester; forage flow; pipe; deflector elbow

VRANÝ Z. (Forschungsinstitut für Landmaschinen, Praha — Chodov, Tschechoslowakei). *Analyse der Häckselbewegung vom Feldhäcksler*. Zem. technika 19 (11): 701-709, 1973.

Die Abhandlung löst die Häckselbewegung durch den Diffusor, den Auswurfkrümmer bzw. auch Klappen sowie die weitere Bewegung außerhalb des Feldhäckslers mittels einer theoretischen Analyse. Sie deutet auf drei Grundverfahren, durch die die Richtung der Häckselbewegung geändert wird und erläutert anhand der mengenmäßigen Bewertung die Größen der anfallenden Verluste. Sie weist auf die Bedeutung einer funktionsgerechten Konstruktion des Häckseltransportweges sowie auf die Forderung hin, eine geringstmögliche Umfangsgeschwindigkeit der Messertrommel einzuhalten; die Umfangsgeschwindigkeit beeinflusst nämlich in bedeutender Weise die Energiebilanz des ganzen Häckslers.

Trommelfeldhäckler; Transport von Häcksel; Diffusor; Auswurfkrümmer

Adresa autora:

Ing. Zdeněk Vraný, Výzkumný ústav zemědělských strojů, 149 43 Praha 4 — Chodov

Dodávkou moderních strojů pro současné zemědělství — počínaje stroji na zpracování půdy přes stroje pro ochranu rostlin až po stroje sklízecí — se zabývá podnik zahraničního obchodu pro tovární zařízení KOMPLEX.

Nabízí stroj typu LCS 4M4O z rodiny pluhů Lajta, optimální pracovní stroj pro středně těžké půdy, talířové brány typu ETB-24, vysokotlaký stroj typu NA, jakož i 1000litrovou a 2000litrovou variantu nízkotlakého stroje typu K ze skupiny strojů na ochranu sadů a polních kultur.

Sklizňové stroje umožňují nasazení nižšího počtu cenných pracovních sil při polním pěstování zeleniny:

moderní rychlou sklizeň okurek umožňuje typ VU, cibule se sklízí typem UNIMAS, hrách typem RA-Pizomobil, paprika a zelené fazole typem FZB.

**EXPORT—IMPORT
BUDAPEST**

KOMPLEX
Maďarský podnik zahraničního obchodu
průmyslovým zařízením

H-1807 Budapest, Népköztársaság útja 10
telex 22-5957
telegramy Komplex Budapest



MONITORY PRO KONTROLU FUNKCE A PRACOVNÍ KVALITY ŽACÍCH MLÁTIČEK

U samojízdných žacích mlátiček s malým záběrem (1,50 až 2,40 m) měl většinou řidič ze svého stanoviště dobrý rozhled na všechny strany. Podle pracovních hluků a vibrací mohl rozeznat začínající poruchu nebo přetížení pracovních orgánů. Jako pomůcky ke kontrole stroje měl většinou pouze kontrolní zařízení, umožňující sledovat motor — tlak a teplotu oleje a nabíjení akumulátoru — a u strojů s plynule regulovatelnými otáčkami mláticího bubnu mohl ještě někdy používat otáčkoměrů.

S rostoucími dimenzemi žací mlátičky je vzhledem k vyšším investičním i pracovním nákladům stále důležitější využívat plně průchodnosti stroje. Pro řidiče je však obtížnější přehlednout stroj a přizpůsobovat jej pracovním podmínkám. Odhlučněná kabina umožňuje již jen vizuální kontrolu žacího a vkládacího ústrojí a odděluje řidiče od všech jinak vnímatelných informací. Tím se stávají ve stále větší míře nutným před-

pokladem ekonomického provozu zařízení ke kontrole mláticího ústrojí a dosahované kvality práce; tato zařízení jsou pro nasazení žací mlátičky s kabinou předpokladem. Velkovýrobní struktura zemědělství, zvláště v USA, a z ní vyplývající hromadné nasazení žacích mlátiček urychlily vývoj kontrolních a měřících zařízení, která se všeobecně označují jako monitory.

MONITORY PRO KONTROLU FUNKCE STROJE

Pool a Rickerd sestavili podle informací, nutných ke sledování práce žací mlátičky, seznam žádoucích monitorovacích zařízení. U informací rozlišili:

1. varovné signály, např. při zvýšené teplotě motoru, nedostatečném tlaku v hydraulickém ústrojí, před vyčerpáním zásoby paliva apod.;
2. hlášení poruch od všech ústrojí žací mlátičky;
3. informace o průběhu pracovního procesu.

K zachycení těchto informací jsou nutné monitory:

1. na energetických ústrojích (hnací motor, elektrické, hydraulické systémy),
2. na pracovních ústrojích žací mlátičky,
3. na speciálních zařízeních ke kontrole kvality práce.

Indikační přístroje ke kontrole provozních údajů, kontrolní a varovná světla, musejí být s ohledem na bezporuchový provoz žací mlátičky shromážděna a rozmístěna podle své důležitosti přehledně v zorném poli řidiče (Pool, Rickerd; Rickerd, Gardner). Kromě nezbytných naměřených hodnot se používá k indikaci převážného počtu kontrolovaných funkcí signálních světél. Pozornost řidiče může být tak upoutána

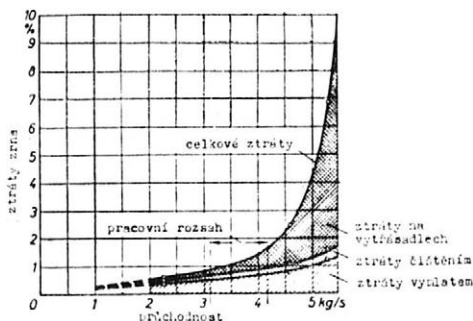
podle důležitosti signálu různými barvami světél nebo také blikáním. Pouze tehdy, hrozí-li provozní poruchy, by se mělo použít akustických signálů.

Ke kontrole hnacího motoru, elektrických a hydraulických ústrojí a zásoby paliva i pomocných hmot jsou známá měřicí čidla, která mohou plnit různé úkoly a jichž se ve stále větší míře také u žacích mlátiček používá.

K funkční kontrole pracovních ústrojí, která řidič nemůže vidět, se používá indikačních otáčkoměrů a čidel, sledujících vrstvu hmoty na vytrásadlech a na sítích. Jednoduše konstruované indikační otáčkoměry vyvolávají signály, klesne-li provozní počet otáček o 10 % (Rickerd, Gardner, Návod...); jejich indikační rozsah může být příslušnou změnou elektronického zapojení rozšířen na dva nebo více údajů počtu otáček (Rickerd, Gardner).

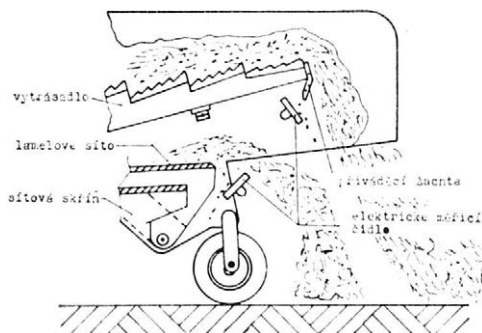
Větší počet monitorů funkce umožňuje snadno zkontrolovat před nasazením stroje jeho provozuschopnost absolvováním pokusného programu (Rickerd, Gardner). K tomu není třeba u některých velkých žacích mlátiček více, než udělat u monitorovacích zařízení některé logické spoje v elektronice.

Průchodnost žací mlátičky je omezena ztrátami zrna; charakteristické vztahy mezi ztrátami zrna a průchodností ukazuje diagram na obr. 1. (Zkušební zpráva.) Zatímco ztráty mlácením a čištěním stoupají s průchodností jen mírně, rostou ztráty na vytrásadlech při určité průchodnosti velmi silně. Pracovní režim žací mlátičky by se měl udržovat na prahu tohoto příkrého vzestupu ztrát na vytrásadlech.



1. Ztráty u žací mlátičky v závislosti na průchodnosti: rok sklizně 1962, místo: Kreis Wolfenbüttel, sklizená hmota: letní pšenice, poměr zrno — sláma: 1 : 1,35, vlhkost zrna: 22,8 %, záběr: 3040 (3060) mm, mlátič buben: průměr 450 mm, šířka 1250 mm

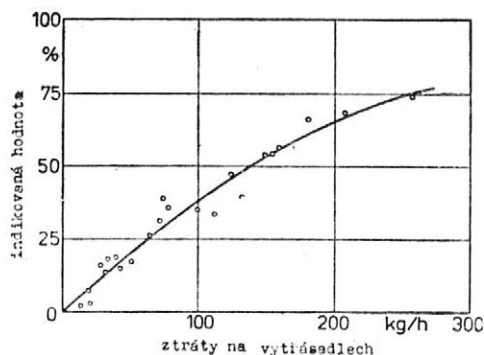
Dosud byl řidič žací mlátičky nucen zjišťovat úroveň ztrát pouze namátkovými zkouškami, a to počítáním zrn na plošnou jednotku pod řádkem slámy. Jednoduché provozně spolehlivé zařízení k plynulé kontrole ztrát vyvinuli Reed, Grovum a Krause. Zařízení umožňuje kontrolovat ztráty na vytrásadle i u síťové skříně, přičemž ztrátová zrna se zachycují měřením pouze částečně. Na obr. 2 je schematicky znázorněno umístění měřicích čidel tohoto zařízení u obou pracovních ústrojí žací mlátičky. Přiváděcí šachta umístěnou za rámem vytrásadla padají malé částky hmoty oddělené průřezem šachty na měřicí čidlo, umístěné pod šachtou. K měření ztrát čištěním slouží další čidlo, které odměřuje proud hmoty, dopravovaný přes síta. Impulzy indukované v měřicích čidlech se rozdělují speciálním elektronickým zapojením na impulsy vyvolané plevami a na impulsy, vyvolané zrny. Na monitoru se uplatňují při znázornění časově závislé indikační hodnoty pouze impulsy způsobované zrny.



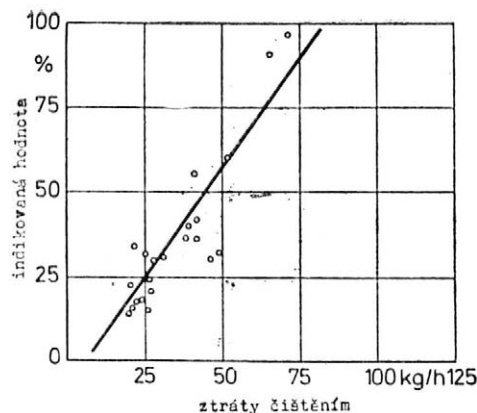
2. Umístění měřicích čidel ke kontrole ztrát zrna na vytrásadle a síťové skříně

Měření s čidlem na vytrásadle v polních pokusech ukázala, že hodnoty po počátečním lineárním vzestupu vykazují při rostoucích ztrátách menší rozdíly (obr. 3). To není chybou měření, ale odpovídá to pracovní charakteristice vytrásadla (obr. 1), které při určité průchodnosti slámy není již schopné dostatečně nakypřit celou vrstvu hmoty, takže se při vzrůstajících ztrátách odlučuje relativně méně zrn. Měření u síťové skříně ukázala lineární závislost mezi ztrátami a indikovanými hodnotami (obr. 4).

Monitory této konstrukce, určené ke kontrole ztrát zrna, vyžadují stanovení vztahu mezi ztrátami a indikovanými hodnotami pro určité pracovní podmínky při sklizni; přitom je třeba korigovat zá-

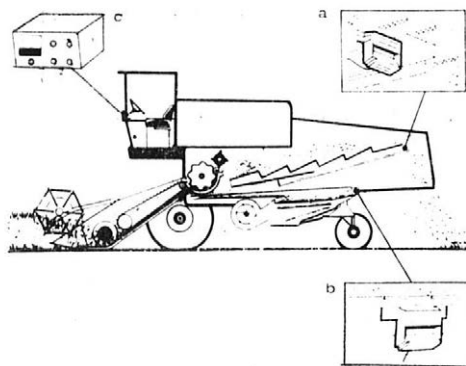


3. Ztráty na vytrásadlech a hodnoty indikované monitorem ztrát zrna, sklizená hmota: pšenice, rok sklizně: 1968, místo sklizně: Saskatoon (Kanada), výnos: 2,4 t/ha, šířka mlátičového bubnu: 810 mm, počet vytrásadel: 4

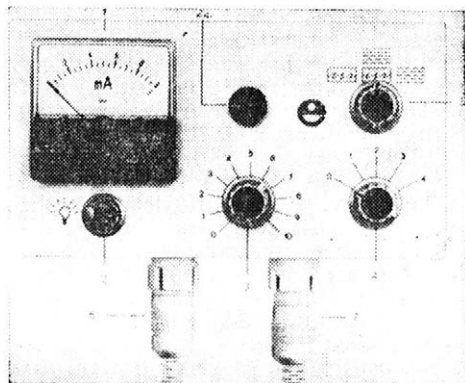


4. Ztráty při čištění a hodnoty indikované monitorem ztrát zrna: sklizená hmota: pšenice, rok sklizně: 1968, místo sklizně: Saskatoon, Kanada, výnos: 2,4 t/ha, šířka mlátičeho bubnu: 810 mm, počet vytrásadel: 4

kladní nastavení podle vlhkosti sklizené hmoty, mění se během dne. I tak se dodatečná časová ztráta se seřizováním vyplácí, protože monitory poskytují řidiči žací mlátičky užitečné informace nutné k udržování přijatelné úrovně ztrát, protože zřetelně znázorňují závislost mezi průchodností a ztrátami. Zpravidla je při většině pracovních podmínek vytrásadlo pracovním ústrojím, omezujícím výkon z hlediska vznikajících ztrát zrna. Proto by ztráty měřené na vytrásadle měly být hlavním údajem při hodnocení výsledku mlácení.

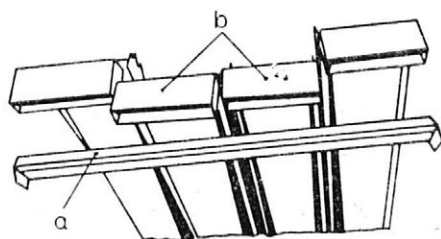


5. Schematické uspořádání monitoru Combine-Monitor ACG firmy Agrocomga Gaede: a - měřicí čidlo na vytrásadle, b - měřicí čidlo na síťovém čidle, c - monitorovací přístroj; měřicí čidla mají nárazovou membránu pod kalibrovanou příváděcí šachtou

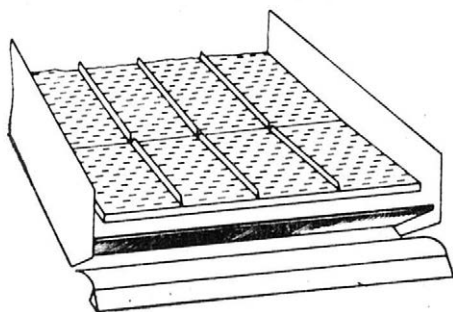


6. Monitorovací přístroj ACG, umístěný v kabině řidiče: 1 - indikační stupnice, 2 - světelný spínač, 2a - světlo, 3 - kalibrátor, 4 - nastavení druhu obilí, 5 - spínač pro polohy: vytrásadlo, vytrásadlo + sítový čistič, 6 - kabel připojení měřicích čidel, 7 - kabel elektrického připojení

měřicí čidlo za vytrásadly



měřicí čidlo za síťovou skříní



7. Měřicí čidla působící po celé šířce vytrásadla a síťového čističe (Claas), a - nárazová membrána čidla, b - příváděcí šachta na vytrásadle

Praktické provedení měřicího ústrojí, umístěného na vytrásadle a na silové skříni a příslušného monitorovacího zařízení, znázorňuje regulační ústrojí ACG Combine-Monitor firmy Agrocomba Gaede Co., Sindelfingen, NSR. (Hutla, Sulek 1972, Eimer 1973). Toto zařízení se dodává jako stavebnice k dodatečnému vestavění na žací mlátičku. Pojezdová rychlost stroje a počet otáček mlátičeho bubnu se regulují elektrohydraulicky. Neodloučená zrna na vytrásadle a na sítu dopadají na čidlové destičky (obr. 5) a nárazem vyvolávají elektrické impulsy vysoké frekvence a velké amplitudy, zatímco měkké částičky (slámy, plevy) vyvolávají impulsy nízké frekvence a malé amplitudy. Četnost elektricky zesílených impulsů je měřítkem ztrát a řídicí veličinou pro další regulaci. Monitor (obr. 6), který je zdrojem regulačních informací pro řidiče a je umístěn v jeho kabině, má stavitelný kalibrátor a stupnici k nastavení obilí, aby údaje na indikačním přístroji zobrazovaly vždy správně vztah mezi ztrátami a průchodností podle specifických podmínek sklizně.

Monitorovací zařízení, jako je uvedené zařízení firmy Agrocomba Gaede, vyhovuje podmínkám sklizně na rovině. Kon-

trola ztrát žací mlátičky při práci na svazích vyžaduje kontrolu ztrát na celé šířce stroje. Měřicí čidla musí být proto umístěna za pracovními orgány a připevněna na bočních stěnách jejich tělesa (obr. 7). U tohoto monitoru se dosahuje lineárního vztahu mezi ztrátami a mezi indikovanými hodnotami zesilovačem s nelineární charakteristikou. To vše ovšem neosvobozuje řidiče od určování hodnot pro základní nastavení a jeho korektury podle vlhkosti zpracované hmoty.

Za nevýhodu známých monitorů pro kontrolu ztrát zrna se považuje okolnost, že ukazují hodnotu vyjadřující hmotnost zrn ve vztahu k časové jednotce. Hodnoty vztažené na výnos zrna ukazují sovětský monitor LKLZ, předváděný na výstavě zemědělských strojů v roce 1972 v Moskvě. Monitor LKLZ měří kromě ztrát dalším měřicím čidlem proud zrna na výstupu zrnového elevátoru do zásobníku a poskytuje řidiči pro rozhodování více informací než ostatní známá zařízení.

Technické řešení ústrojí k měření ztrát přímo při výmlatu se dosud neobjevila, protože budou zřejmě vyžadovat technicky náročnější a mohem nákladnější zařízení, než jsou zařízení k měření uvolněných zrn ve slámě a v plevelu.

SOUHRN

Vývoj velkých samojízdých žacích mlátiček, jejichž práci řidič sedící v izolované kabině nemůže přehlédnout, vyžaduje stále naléhavěji vybavovat stroj kontrolními ústrojími a pomůckami pro rozhodování. Centrální kontrolní panel pro hnací motor, elektrické a hydraulické ústrojí a pro sledování funkce pracovních ústrojí usnadňuje práci řidiči a umožňuje mu včas rozeznat hrozící provozní poruchy.

Monitory k plynulé kontrole ztrát zrna vyžadují možnost nastavení správného vztahu mezi ztrátami a indikovanými hodnotami pro specifické pracovní podmínky a pro různé vlhkosti sklizené hmoty. Poskytují pak řidiči žací mlátičky spolehlivé informace o úrovni ztrát zrna, a tím informace nutné k regulování průchodnosti.

Vladimír Sulek, Výzkumný ústav zemědělských strojů, Praha-Chodov

Literatura

- EIMER M., 1973, Monitoren zur Überwachung der Funktion und Arbeitsqualität von Mähreschern. Lohnunternehmen 28, 6 : 174-176.
 HUTLA D., SULEK V., 1972, Cestovní zpráva ze služební cesty do NSR a Holandska. Č. 3129 VÚZS.
 POOL S. D., RICKERD C., Combine-combine operator communication SAE-Paper No 680588.
 REED, W. B., GROVUM M. A., KRAUSE E., Combine-harvester grain loss monitor ASAE-Paper No 68-607.
 —, Návod k obsluze žací mlátičky Class-Dominator 100 tiskovina firmy Gebr. Class, Harsenwikel, NSR.
 —, Zkušební zpráva DLG č. 880.

Rukopis odevzdán k tisku 3. 9. 1973 — Podepsáno k tisku 10. 1. 1974

OBSAH

Hutla D.: Vědecké práce Výzkumného ústavu zemědělských strojů v Praze-Chodově	655
Procházka J.: Spektra provozních zatížení částí zemědělských strojů	657
Novák J.: Metody vyhodnocování naměřených hodnot jednoúčelovým analogovým počítačem	671
Souček Z.: Řešení tlakových a dopravních poměrů potrubních dojicích strojů na číslicovém počítači	687
Vraný Z.: Analýza pohybu řezanky ze sklízecí řezačky	701
Zemědělská technika v zahraničí	
Sulek V.: Monitory pro kontrolu funkce a pracovní kvality žacích mlátiček	711

СОДЕРЖАНИЕ

Проха́зка Я.: Спектры эксплуатационной нагрузки частей сельскохозяйственных машин (668). — Но́вак Я.: Методы оценки установленных величин при помощи однооперационной аналоговой вычислительной машины (685). — Со́учек З.: Решение режима давления и условий транспортировки у трубопроводных доильных машин на вычислительной машине (699). — Вра́ны З.: Анализ движения резки из косилки-измельчителя (709).

CONTENT

Procházká J.: The Spectres of the Working Load of Farm Machine Parts (669). — Novák J.: Methods of the Evaluation of Measured Values Using a Single-Purpose Analog Computer (686). — Souček Z.: The Solution of the Pressure and Transport Conditions of Pipeline Milking Machines by Means of a Digital Computer (700). — Vraný Z.: The Analysis of Forage Flow from the Chopper-Harvester (709).

INHALT

Procházká J.: Spektren der Betriebsbelastungen des Landmaschinenteiles (669). — Novák J.: Bewertungsmethoden der Meßwerte mittels eines Ein-zweck-Analogrechners (686). — Souček Z.: Lösung der Druck- und Transportverhältnisse von Rohrmelkanlagen am Digitalrechner (700). — Vraný Z.: Analyse der Häckselbewegung vom Feldhäcksler (709).

TABLE DES MATIÈRES

Procházká J.: Spectres de charge de service de diverses parties des machines agricoles (res. An, Al/669). — Novák J.: Méthodes d'évaluation des valeurs mesurées au moyen d'un calculateur à usage unique (res. An, Al/686). — Souček Z.: Solution des situations de presse et de transport dans les trayuses à tuyauterie au moyen d'un colculateur à chiffres (res. An, Al/700). — Vraný Z.: Analyse du mouvement de la paille hachée sortant de la récolteuse hacheuse (res. An, Al/709).

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, Legerova 22, 120 00 Praha 2.