

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

1994

Le Thanh Luong

Vysoká škola strojní a textilní Liberec

fakulta strojní
obor 23-21-08

Stroje a zařízení pro chemický, potravinářský
a spotřební průmysl

Zaměření:
Balicí a polygrafické stroje

Katedra balicích a polygrafických strojů

Diagnostika tiskového stroje
INTAGLIOCOLOR 8

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146075478

Vedoucí práce: Doc. Ing. Štěpán Beneš, Csc., VŠST Liberec

Rozsah práce : 47

Počet obrázků: 9

V 143/94 S

Fakulta strojní

Katedra balicích a polygrafických
strojů

Školní rok: 1993/94

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro Le Thanh Luong

obor Konstrukce strojů a zařízení
zaměření Balicí a polygrafické stroje

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 172/1990 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Diagnostika tiskového stroje INTAGLIOCOLOR 8

Zásady pro vypracování:

U stroje INTAGLIOCOLOR 8 linky na tisk bankovek ve Státní tiskárně cenin Praha proveďte:

1. Z kinematického schéma náhonu určete hlavní zdroje buzení a vypočtete jejich frekvence v závislosti na výkonu stroje.
2. U vývěv a kompresorů stroje určete hlavní zdroje buzení a vypočtete jejich frekvence.
3. Analýzu spekter kmitání dosud změřených ve vztahu např. k záběhu stroje.
4. Návrh a praktické ověření metody diagnostiky valivých ložisek s cílem spolehlivého určení počátečního stadia jejich poškození.
5. Návrh a praktické ověření metody určení případných rezonančních oblastí v užívaném výkonu stroje.
6. Celkovou analýzu provedených měření a zhodnocení hlavních přínosů technické diagnostiky.

Do 21.1.1994 proveďte body 1. až 3.

V 143/945

KRP/KS

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: cca 40 stran

Seznam odborné literatury: výzkumné zprávy a firemní literatura

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Štěpán Beneš, CSc.

Konzultant:

Zadání diplomové práce: 29.10.1993

Termín odevzdání diplomové práce: 27.5.1994

L.S.

Doc. Ing. Štěpán Beneš, CSc.

Vedoucí katedry

Prof. Ing. Jaroslav Exner, CSc.

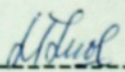
Děkan

V Liberci

dne 29.10. 19 93

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci dne 12.12.1994



Le Thanh Luong

Obsah

1. Předmluva.....	1
2. Úvod.....	3
3. Tiskový stroj INTAGLIOCOLOR 8 a problémy tisku.....	4
3.1. Popis a parametry.....	4
3.2. Poruchy tisku.....	8
4. Diagnostika tiskového stroje INTAGLIOCOLOR 8.....	10
4.1 Několik slov k diagnostice strojů.....	10
4.2 Teoretický princip technické diagnostiky.....	10
4.3 Hlavní zdroje buzení a jejich frekvence.....	12
4.4 Hlavní zdroje buzení vývív a jejich frekvence.....	15
4.5 Buzení valivých ložisek.....	15
4.6 Analýza systému.....	17
5. Metoda diagnostiky valivých ložisek.....	20
5.1 Význam a specifická.....	20
5.2 Požadavky na metody diagnostiky ložisek.....	21
5.3 Metody diagnostiky ložisek.....	21
5.4 Stručný popis nejpoužívanějších metod.....	23
5.5 Shrnutí k výběru metody.....	25
6. Analýza měření.....	26
6.1 Metody analýzy signalů.....	26
6.1.1 Analýza úzkopásmových spekter.....	26
6.1.2 Použití referenčního spektra.....	29
6.1.3 Použití kepstra.....	30
6.2 Analýza měřených spekter.....	32
6.2.1 Při přejímce stroje.....	32
6.2.2 V rámci pravidelné diagnostiky.....	34
7. Závěr.....	47

1. PŘEDMLUVA

Vývoj lidské civilizace je vždycky spojený s vývojem a zdokonalením pracovních nástrojů, jejichž nedělitelná část je údržba strojů. Už dávno mechanici a údržbáři uměli odhadnout pracovní stav strojů podle intenzity mechanického chvění, které je zdroj informací o stavu strojů.

Ideální stroj by nezpůsoboval žádné kmitání, protože jeho energie by se přeměňovala pouze v účelnou práci. Ve skutečnosti však kmitání vzniká jako vedlejší produkt normálního přenosu dynamických sil mechanickou soustavou. Prvky stroje vzájemně reagují a v soustavě dochází k rozptylu energie formou mechanického kmitání.

Dobrá konstrukce stroje se vyznačuje nízkými hladinami vlastního chvění. Opotřebení, sesedání základu a deformace jednotlivých součástí jsou příčinou změn dynamických vlastností stroje, postupně dochází k porušení souososti hřídelů, nevyváženosti rotorů a zvětšování vůlí. Všechny tyto faktory se projevují zvětšením energie chvění, která při přenosu mechanickou soustavou vyvolává rezonance a způsobuje tak značná přídavná dynamická zatížení ložisek. Toto přídavné dynamické zatížení velmi negativně ovlivňuje funkci stroje a tedy kvalitu tisku tiskových strojů.

Podle úrovně mechanického kmitání lze posoudit provozní a technický stav stroje, to znamená, že mechanické kmitání každého stroje je cenný zdroj informací o stavu stroje, to je základní myšlenka technické diagnostiky. Zdokonalení měřicí techniky a hlavně prudký vývoj výpočetní techniky v posledních letech znamenají obrovský pokrok v oblasti technické diagnostiky a údržby strojů.

Několikaleté zkušenosti z provozního uplatnění technické

diagnostiky strojů založené na analýze mechanického kmitání potvrzují publikované poznatky ze zahraničí, že bezdemontážní diagnostika přináší výrazné výhody:

- ve snížení nákladů na údržbu,
- odstranění neplánovaných odstávek strojů a z toho plynoucích ztrát,
- snížení spotřeby a nákladů na náhradní díly,
- možnost objektivního plánování oprav.

2. ÚVOD.

Státní tiskárna cenin Praha byla vybavena novou linkou tiskových strojů DE LA RUE GIORGI S.A na tisk bankovek a státních důležitých cenin. Linka sestává ze tří samostatných tiskových strojů,

- SIMUTAN 2
- INTAGLIOCOLOR 8
- NUMEROTA 2

Tyto stroje byly postupně uvedeny do provozu od října 1991 do dubna 1992. V rámci spolupráce Státní tiskárny cenin Praha s katedrou balících a polygrafických strojů VŠST Liberec se plánovalo při převěření strojů od zahraničního dodavatele provedení komplexního měření mechanického kmitání a hlučnosti, a následné vyhodnocení těchto strojů na základě analýzy měření mechanického kmitání.

Dále se plánovala provádět v provozních podmínkách technická diagnostika uvedených strojů založená na periodickém měření mechanického kmitání.

V rámci této diplomové práce je pozornost věnována tiskovému stroji INTAGLIOCOLOR 8.

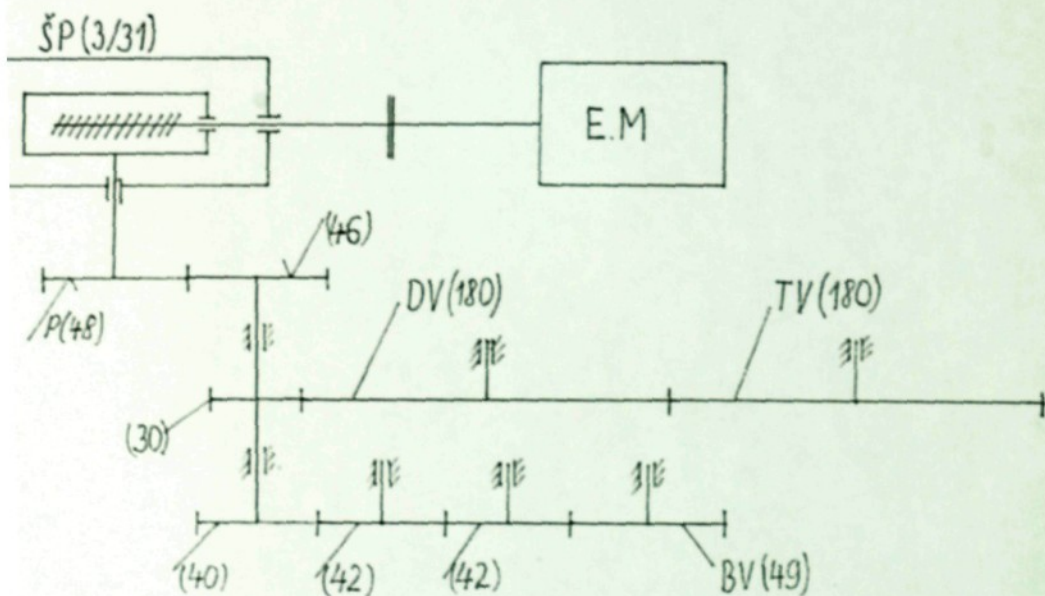
3. TISKOVÝ STROJ INTAGLIOCOLOR 8 A PROBLÉMY TISKU

3.1. POPIS A PARAMETRY

Tiskový archový stroj INTAGLIOCOLOR 8 (viz schéma č.1) je pro potisk archu maximálního formátu 740*1080 (mm*mm), jeho maximální výkon je určen na 8000 archů/hod.

Jako tisková technika je používáný tzv. letterset neboli suchý ofset (jde o kombinaci tisku z výšky a ofsetu). Stroj je vybaven fotopolymerovými formami o celkové tloušťce 0.74 mm (0.34 mm - hliníkový podklad a 0.40 mm - vrstva fotopolymeru).

Schéma hlavního pohonu a umístění.



Číslo vyjadřují počty zubů

EM-hlavní elektromotor
P-předloha
DV-deskový válec
TV-tlakový válec

Stroj je konstruovaný pro jednostranný tisk.

Stroj je vybaven třemi elektromotory. Pohon tiskových válců a barevníkového systému (vazba ozubením) zajišťuje hlavní regulační elektromotor. Jehož točivý moment je pomocí šnekového a ozubeného převodu přenášen na pastorek pohánějící tiskové válce (deskový válec - to je ofsetový válec), s nímž jsou spojeny všechny čtyři formové válce a tlakový válec.

Dva zbývající elektromotory zajišťují pohon dvou vývív pro vytvoření podtlakové energie, která zajišťuje nakládání a vykládání archů.

Archy jsou dopravovány systémem předchytačů a chytačů.

Vlastní potiskování bankovek probíhá mezi deskovým (ofsetovým) a tlakovým válcem.

S ohledem na frekvenci otáčení ofsetového válce, která při maximálním výkonu stroje 8000 archů/hod je 0.55 (Hz). Tiskový stroj INTAGLIOCOLOR 8 lze zařadit mezi pomaluběžné stroje.

Pro klidný chod stroje je používáno ozubených kol se šikmým ozubením pod úhlem 20. Je třeba říci, že šikmé ozubení má klidnější chod než u přímého ozubení, protože zcela vylučuje rázové buzení při záběru zubů.

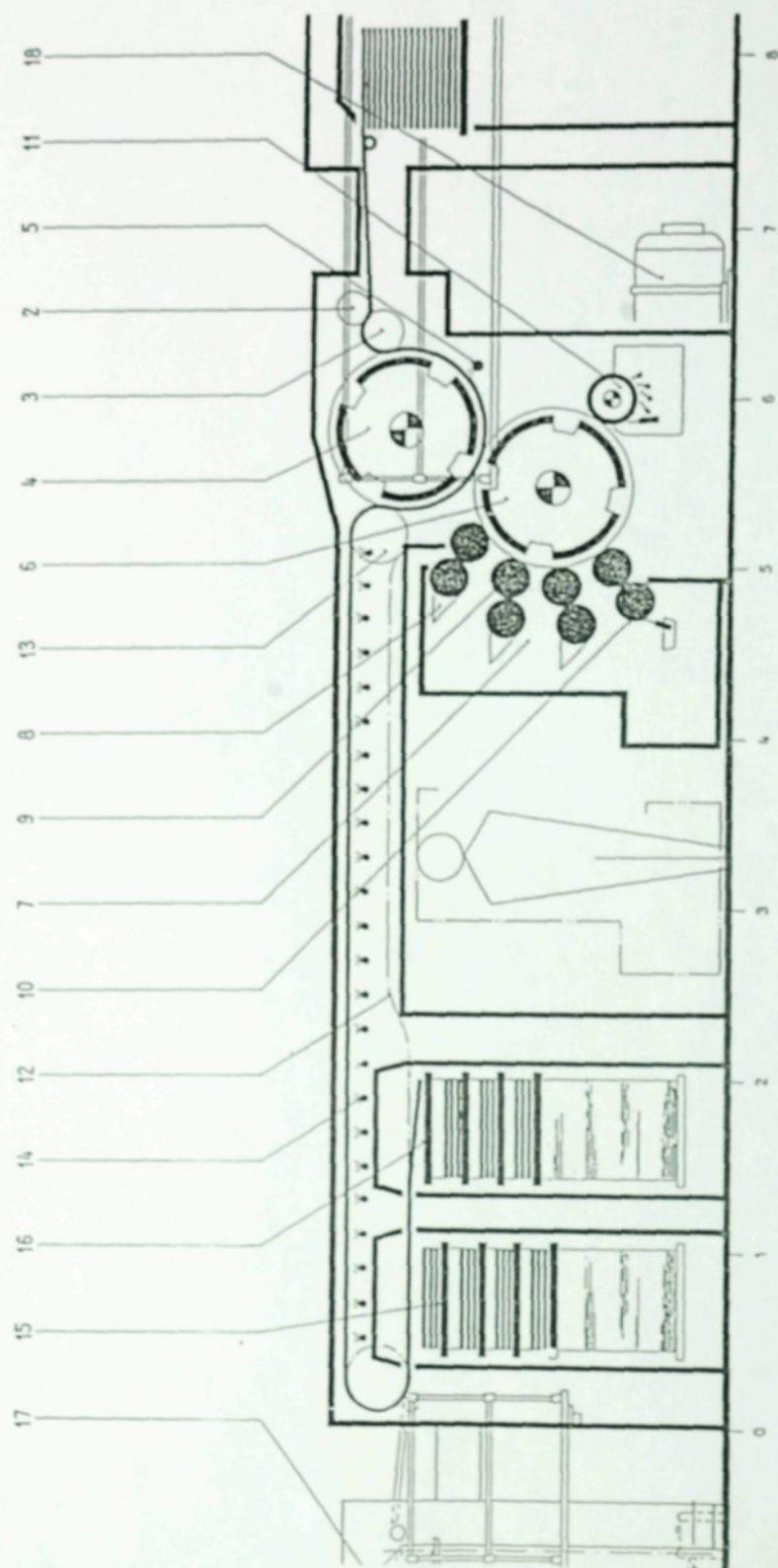
Základní údaje stroje INTAGLIOCOLOR 8.

Max. výkon (archů/hod)	8000
Počet archu na otáčku ofset. válce	4
Průměr ofset. válce (mm)	957.76
Průměr <i>formového</i> válce (mm)	239.44
Příkon hlavního motoru (kW)	30

Počet zubů ofset.válce	180
Počet zubů formového ^{šablonyho} válce	44
Počet chodů šneku	3
Počet zubů šnekového kola	31

U bankovek a cenin jsou kladeny nároky na kvalitu tisku, která je dána:

- Konstrukčním řešením stroje,
- Kvalitou montáže a seřízení stroje,
- Vlivem obsluhy a údržby,
- Tiskovou technikou.



Obr.1. Celkové schéma uspořádání stroje INTAGLIOCOLOR 8:

1 - N - nonstop šupinový nakladač, 2 - SV - stavný válec, 3 - PV - přenášeč válec, 4 - TV - tlakový válec,
 6 - DV - deskový válec, 7 - BS - odstavný systém barevníku, 8 - B - zkrácený barevník, 9 - SB - šablonový
 válec, 10 - NV - nanášecí válec, 11 - SV - sběrací válec, 18 - M - hlavní pohon

3.2. PORUCHY TISKU.

3.2.1 Poruchy soutisku.

U barevného tisku dochází k postupnému potiskování papíru jednotlivými barvami a proto kvalita tisku je podmíněna přesností soutisku jednotlivých barev na sebe. Úchyly od absolutního krytí soutiskových prvků se označují jako soutiskové odchylky.

Soutisková tolerance je nejvýše přípustná odchylka od ideálního soutisku.

3.2.2 Zdvojení tiskového bodu.

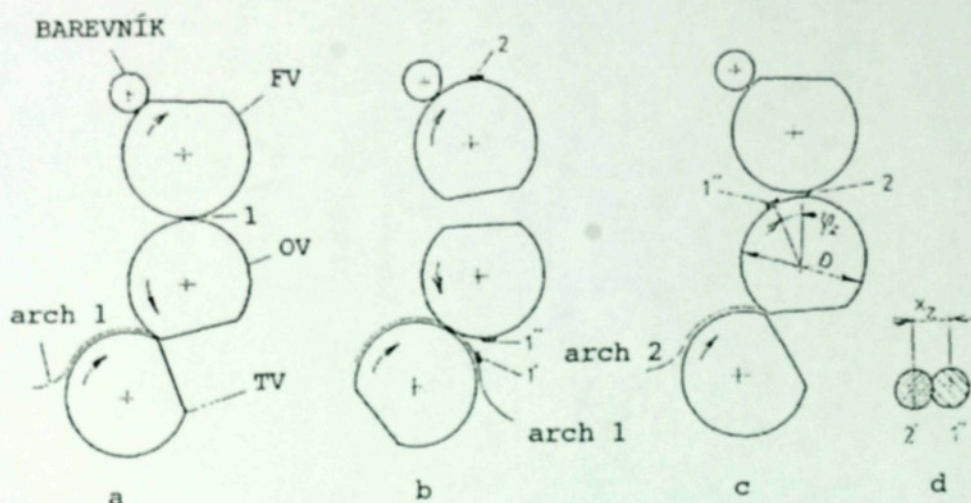
Relativní kmity formového válce FV vůči válci ofsetovému OV se na tisku mimo jiné projevují tzv. zdvojením tiskového bodu, které je definováno jako místní přesazení nového tiskového bodu vůči bodu přenesenému na papír obtahem. Vysvětlení příčin vzniku a velikosti zdvojení v obvodovém směru plyne z obr.2 na straně 9.

Při relativním axiálním pohybu formového válce FV vůči ofsetovému válci dochází ke zdvojení tiskového bodu v axiálním směru. Velikost zdvojení bude nulová když nedojde k relativnímu kmitání mezi formovým a ofsetovým válcem. Amplituda těchto kmitů mezi válci $FV \cdot OV$ nesmí překročit hodnotu 0.01 mm.

3.2.3 Smyk.

Smyk mezi válci tiskového ústrojí způsobí deformaci tiskového bodu, je způsoben nesprávným odvalem těchto válců a relativním kmitáním mezi formovými válci a ofsetovým válcem, ofsetovým a tlakovým válcem. Časově proměnná velikost smyku se dále projevuje nerovnoměrným vybarvením potiskové plochy. Pro stanovení hodnot smyku a rovnoměrného vybarvení se používá měrných testů a denzitometrického měření. Skluz v dotykové oblasti mezi formovým

a ofsetovým válcem nesmí překročit hodnotu 0.01 mm.



Obr.2. Zdvojení tiskového bodu v tiskové jednotce

- a - časový okamžik t_0 , kdy je barva tiskového bodu 1 předána z formového válce FV na ofsetový OV,
- b - čas. okamžik krátce poté, kdy část barvy tisk. bodu 1 je přenesena na arch 1-1, a část barvy téhož bodu zůstala na potahu ofsetového válce,
- c - čas. okamžik t_1 , kdy je přeneseno nové množství barvy 2 téhož bodu z formového na ofsetový válec a v důsledku relativního natočení válců je zbylá část barvy 1,, pootočena o úhel ϕ_s ,
- d - na archu 2 se relativní pootočení ϕ_s projeví jako zdvojení téhož tiskového bodu x_s .

Shrnutí.

Stručný popis základních poruch, které se mohou vyskytnout při tisku, jež jsem výše uvedl, má sloužit pouze jako všeobecné informace. Konkrétně u stroje INTAGLIOCOLOR 8, vzhledem k jeho specifičnosti - pro tisk bankovek a důležitých cenin, tyto poruchy nesmí objevit, nebo jen v malé míře vůbec projevit.

4. DIAGNOSTIKA TISKOVÉHO STROJE INTAGLIOCOLOR 8 .

4.1. Několik slov k diagnostice strojů.

Provoz všech točivých strojů je vždy provázen mechanickým chvěním, i nový dobře fungující stroj projevuje kmitání. Zvětšení hluku tedy mechanického kmitání znamená zhoršení provozního stavu stroje. Už velmi dlouho jsme věděli, že mechanické kmitání stroje obsahuje vzácné informace o provozním stavu, ale dosud jsme nemohli objektivně a přesně hodnotit. Teprve v posledních letech díky prudkému vývoji výpočetní techniky -schopnost rychlého zpracování dat můžeme hodnotit technický stav stroje velmi rychle a objektivně.

4.2 Teoretický princip technické diagnostiky.

Pomocí měřicích přístrojů můžeme získat časový průběh výchylky, rychlosti a zrychlení mechanického kmitání. Časový průběh $f(t)$ kmitání musíme transformovat na tzv. kmitočtové spektrum pomocí Fourierovy řady.

Fourierova řada pro libovolnou funkci $f=f(t)$ platí,

$$f = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cdot \cos(n\omega t) + b_n \cdot \sin(n\omega t)]$$

Přitom koeficienty jsou určeny

$$a_n = \frac{2}{T} \cdot \int_0^T f(t) \cdot \cos(n\omega t) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \cdot \int_0^T f(t) \cdot \sin(n\omega t) \cdot dt$$

kde $n=1, 2, 3, \dots$

$$a_0 = \frac{2}{T} \cdot \int_0^T f(t) \cdot dt$$

Právě v těchto kmitočtových spektrech jsou informace o technickém stavu strojů. Ty složky, jejichž frekvence odpovídají frekvenci buzení nebo jejím vyšším složkám, jsou pro nás nejzajímavější.

Hodnocení stavu stroje pomocí kmitočtových spekter se nazývá analýza signálů.

Kromě analýzy signálů pro posouzení hladiny kmitání je uvedena další hodnota :

+celkové úrovně efektivní hodnoty zrychlení kmitání,

$$a_{eff} = \sqrt{\frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} a^2(t) \cdot dt}$$

+a celkové úrovně efektivní hodnoty rychlosti kmitání,

$$v_{eff} = \sqrt{\frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} v^2(t) \cdot dt}$$

pro $f=0.4$ až $10\,000$ (Hz)

Při porovnání celkové úrovně V_{eff} s jinými normami je třeba brát v úvahu, že podle normy ISO a ČSN je mohutnost kmitání určena stejným vztahem a však v jiném rozsahu $f=10$ až 1000 (Hz). Podle kanadského doporučení $f=10$ až 10000 (Hz). Proto při porovnání změřené úrovně kmitání sledovaného stroje je třeba brát v úvahu, že v našem případě jsou amplitudy s rozsahem $f=0.4$ až $10\,000$ (Hz) zpravidla značné a taky změřená celková úroveň kmitání bude proto vyšší než hodnoty uvedené v uvedených normách.

4.3 Hlavní zdroje buzení a jejich frekvence.

Nejdůležitější zdroje buzení rotačních strojů jsou rotorová a zubová buzení.

Rotorové buzení hřídelů jeví jako výsledek tolerance, nesouososti a nebo přesazení.

Podstata zubového buzení spočívá v tom, že při záběru dochází ke smyku zubů a to vyvolá přídavné dynamické zatížení měnící směr působení, a to je příčina zubového buzení.

1. Rotorové buzení a jeho vyšší harmonické složky.

$$f_R = k \cdot n$$

n-otáčky hřídele, [$\dot{A}^1$]
 $k=1, 2, 3, \dots$

2. Zubové buzení a jeho vyšší harmonické složky.

$$f_Z = z \cdot f_R = z \cdot k \cdot n$$

n-otáčky kola [$\dot{A}^1$]
z-počet zubů
 $k=1, 2, 3, \dots$

3. Výpočet frekvencí hlavních zdrojů buzení.

Pro porovnání úrovně kmitání a hodnocení kmitočtových spekter je třeba zachovat stejné podmínky měření, a proto ve všech měřeních výkon stroje byl nastaven na konstantní $N = 7000$ archů za hodinu.

Výpočet frekvencí buzení musíme vycházet z výkonu stroje a počtů zubů ozubených kol (tyto údaje máme v zkráceném schématu hlavního pohonu a převodu).

Frekvence rotorového buzení tiskového (ofsetového) a tlakového válce,

$$f_{rt} = N / (4 \cdot 3600) = 0,486 \text{ (Hz)}$$

Frekvence zubového buzení tiskového a tlakového válce,

$$f_{zt} = z \cdot f_{rt} = 180 \cdot 0,486 = 87,5 \text{ (Hz)}$$

Frekvence rotorového buzení šablonových válců a nanášeče,

$$f_{rb} = f_{rt} \cdot 180 / 44 = 1,99 \text{ (Hz)}$$

Frekvence rotorového buzení sběracího válce,

$$f_{rs} = f_{rt} \cdot 180 / 30 \cdot 40 / 49 = 2,38 \text{ (Hz)}$$

Frekvence rotorového buzení hnacího ozubeného kola,

$$f_{rh} = f_{rt} \cdot 180 / 30 = 2,92 \text{ (Hz)}$$

Frekvence rotorového buzení šnekového kola,

$$f_{rn} = f_{rh} \cdot 46 / 48 = 2,8 \text{ (Hz)}$$

Frekvence rotorového buzení hlavního elektromotoru,

$$f_{rm} = f_{rn} \cdot 31 / 3 = 28,9 \text{ (Hz)}$$

Frekvence zubového buzení předlohy,

$$f_{zp} = f_{rn} \cdot 48 = 134,16 \text{ (Hz)}$$

Frekvence zubového buzení šnekového kola,

$$f_{zn} = f_{rn} \cdot 31 = 86.65 \text{ (Hz)}$$

Frekvence náběhu a výběhu tiskových válců,

$$f_{kv} = f_{rt} \cdot 4 = 1.94 \text{ (Hz)}$$

Tabulka č.1. Tabulka frekvencí buzení a jejichž vyšších harmonických složek pro výkon $N=7000 \text{ archů.h}^{-1}$.

	Funkce buzení a harmonické složky (Hz)				
BUZENÍ	f	2.f	3.f	4.f	5.f
Rotorové buzení					
1.Tiskové válce	0.486	0.97	1.46	1.94	2.43
2.Šablonové válce	1.99	3.98	5.97	7.95	9.9
3.Sběrací válce	2.38	4.76	7.14	9.52	11.9
4.Hnací ozuběné kolo	2.92	5.83	8.75	11.7	14.6
5.Šnekové kolo	2.8	5.6	8.4	11.2	14
6.Hlavní elektromotor	28.9	57.7	86.7	115.5	144.5
Zubové buzení					
7.Tiskové válce	87.5	175	262.5	350	437.5
8.Předlohy	134.1	268.3	402.5	536.6	670.7
9.Šnekový převod	86.65	173.3	260	346.6	433.2
10.Náběh a výběh kanálů tiskových válců	1.94	3.89	5.83	7.78	9.72

4.4 Hlavní zdroje buzení vývív a jejich frekvence.

Vývívky jsou přímo ve spojení s asynchronními elektromotory bez jakéhokoli převodu. Navíc vývívky jsou rotační lopatkové se 9 lopatkami. Elektromotory mají 2 dvojce pólů, a proto jejich synchronní otáčky $n=1500/\text{min}$. Ale v důsledku skluzu (v rozmezí 1-3 %) klesají na $n=1470 \text{ ot/min}$.

-Frekvence rotorového buzení vývív

$$f_{rv} = 1470/60 = 24.5 \text{ (Hz)}$$

-Frekvence lopatkového buzení,

$$f_{lv} = 9 \cdot f_{rv} = 220.5 \text{ (Hz)}$$

4.5 Buzení valivých ložisek.

4.5.1 Parametrické buzení .

Jen dokonalá strojní součást může splnit svou funkci a nebyla by zdrojem kmitání stroje. Ložisko není výjimka a sebelepší ložisko je zdroj buzení. Abychom zjistili příčinu a následnou frekvenci buzení ložisek, musíme zabývat problémem tzv. parametrického buzení.

Pro libovolný systém lze napsat pohybovou rovnici,

$$m \cdot \ddot{X} + b \cdot \dot{X} + k \cdot X = f$$

m ...hmotnost systému	[kg]
b ...tlumení	koefficient součinitele lineárního tlumení [Ns.m ⁻¹]
k ...tuhost	statické tuhost [N.m ⁻¹]
X...vychylka	[m]
f...působící síla	[N]

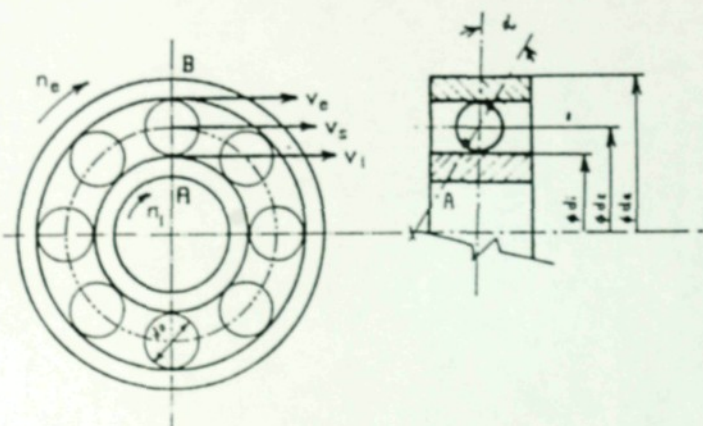
Kmitání související s změnou parametrů m , b , k se nazývá parametrické buzení.

Buzení ložisek spočívá v tom, že tuhost ložisek se periodicky mění a frekvence této změny je taky frekvence buzení ložisek.

Je třeba zdůraznit, že tento zdroj buzení nelze odstranit.

Úroveň tohoto kmitání je dána jednak kvalitou výroby (tolerancí) a jednak parametry ložisek (průměrem ložisek, počtem valivých těles a jejich průměrem).

4.5.2 Frekvence buzení valivých ložisek



$$f_L = 0.5 \cdot z \cdot [n_e \cdot (1 + \frac{d_0}{d_s} \cos \alpha) + n_i \cdot (1 + \frac{d_0}{d_e} \cos \alpha)]$$

z ...počet valivých těles

n_e ...otáčky vnějšího kroužku $[s^{-1}]$

n_i ...otáčky vnitřního kroužku $[s^{-1}]$

d_0 ...průměr valivých těles. $[mm]$

d_s ...roztečný průměr ložiska $[mm]$

α ...úhel styku $[^\circ]$

4.6 Analýza systému

4.6.1 Problém dynamiky a rezonance strojů

Pro přesné vyhodnocení celkového technického stavu strojů kromě spolehlivosti musíme taky hodnotit stroje z hlediska dynamické stability jako jednotný celek. Takový způsob hodnocení se nazývá analýza systémů.

Pro libovolný dynamický systém můžeme psát rovnici,

$$H(w) \cdot F(w) = X(w)$$

přičemž,

+ $H(w)$...poddajnost systému

+ $F(w)$...funkce působící síly

+ $X(w)$...funkce výchylky

$$\begin{array}{l} [m, N^{-1}] \\ [N] \\ [m] \end{array}$$

Všeobecně platí Newtonova pohybová rovnice

$$F(w) = m \cdot \ddot{x} + b \cdot \dot{x} + k \cdot x$$

kde

m...hmotnost

b...tlumení

k...tuhost.

[kg] (součinitel lineárního tlumení) $[N \cdot m^{-1} \cdot s]$
(statická tuhost) $[N \cdot m^{-1}]$

Předpokládáme, že průběh výchylky kmitání bude harmonický a tedy

$$x = x_0 \cdot e^{j\omega t}$$

$$H(w) = \frac{X(w)}{F(w)} = \frac{1}{-mw^2 + jbw + k}$$

$$\begin{aligned} H(w) &= \frac{1}{k \cdot [-\frac{m}{k} \cdot w^2 + j \cdot \frac{b}{k} \cdot w + 1]} \\ &= \frac{1}{k \cdot [(1 - \frac{w^2}{\Omega^2}) + j \cdot \frac{b}{k} \cdot w]} \end{aligned}$$

Teoreticky platí pro netlumený systém ($b=0$, ale v skutečnosti takový systém neexistuje), když frekvence buzení je totožná s vlastní frekvencí

$$\Omega_0 = \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

ω_0

hodnota poddajnosti systému $\frac{\Delta l}{l}$ vblíží k nekonečnu, znamená to, že i výchylka x kmitání vblíží k nekonečnu.

Pro b různé od 0 můžeme rezonanční frekvenci (nastává největší výchylka) určit

$$\Omega_{ef} = \omega_r = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{b^2}{2 \cdot m^2}}$$

ω_{ef}

z podmínky

$$\frac{\partial}{\partial \omega} [(k - m \cdot \omega^2)^2 + (b \cdot \omega)^2] = 0$$

4.6.2 Metoda určení rezonancí v užívaném výkonovém rozsahu

METODA DOBĚHOVÉ- ROZBĚHOVÉ KŘIVKY.

Princip této metody spočívá v měření závislosti amplitudy kmitání (rychlosti, výchylky, zrychlení) na frekvenci otáčení stroje n . Místo amplitudy kmitání se taky zajišťuje závislosti efektivní hodnoty rychlosti (či zrychlení) kmitání na frekvenci otáčení.

Před započítím měření doběhové nebo rozběhové křivky se doporučuje nejprve zjistit na stroji místa, kde se kmitání nejvíce projevuje (ložiska), měření se pak provádí v těchto

místech v různých směrech.

Doběhová křivka se měří tak, že se stroj uvede do maximálních otáček, po vypnutí motoru v důsledku pasivních odporů se frekvence otáčení stroje postupně zmenšuje a měřicí zařízení indikuje amplitudu (nebo efektivní hodnotu) kmitání v závislosti na frekvenci otáčení.

Rozběhová křivka se měří opačným postupem, tedy frekvence otáčení se plynule zvětšuje z minimální na maximální hodnotu.

5. METODY DIAGNOSTIKY VALIVÝCH LOŽISEK.

5.1 Význam a specifická diagnostika ložisek.

Určení stavu poškození valivých ložisek zaujímá velmi důležité postavení v oboru bezdemontážní diagnostiky vzhledem k tomu, že valivá ložiska se velmi často používají v konstrukci strojů a právě jejich přesnost a pracovní schopnost jsou dány stavem těchto ložisek. Ze zkušeností v oblasti údržby strojů plyne, že skutečná trvanlivost valivých ložisek za jinak stejných podmínkách má značný rozptyl, poměr mezi maximální a minimální trvanlivostí bývá 5-10.

Cílem diagnostiky ložisek u tiskových strojů, zvláště pak u strojů pro tisk bankovek a cenin, mezi které INTAGLIOCOLOR 8 patří, je včasné odhalení únavového poškození ložiska (např. pittingu) v počátečním stadiu. Už toto počínající malé poškození může mít vliv na výslednou jakost tisku i na jiné součásti stroje, které jsou jako náhradní díly velmi drahé. Navíc existuje nebezpečí, že tato změna kvality bude obsluhou, bez znalosti technické diagnostiky, chybně posouzena.

Závady na těchto ložiscích vysokofrekvenční kmity s velmi malou amplitudou v důsledku rezonance. Tyto malé složky kmitání mají frekvenci v oblasti vysokých kmitočtů kolem 10kHz, proto tyto závady při měření celkové úrovně kmitání vůbec neprojevují.

Analýzou vysokofrekvenčních složek (kde nejsou kryty složkami s většími amplitudami) je možno tyto počáteční závady ložisek odhalit. K tomu je, kromě jiného, potřeba použít piezoelektrický snímač zrychlení kmitání s velkým rozsahem frekvencí.

Podle dosavadních zkušeností lze konstatovat, že u tiskových strojů dochází k únavovému poškození ložisek až dvakrát dříve, než poškození boků zubů náhonu tiskových válců. Skutečná trvanlivost je kromě jiného dána:

-kvalitou výroby

- provozním zatížením
- způsobem montáže ložisek
- způsobem mazání a kvalitou maziva
- přídavným dynamickým provozním zatížením

Firma SKF na základě širokého rozboru uvádí, že trvanlivost valivých ložisek pouze z 25% určuje výrobce.

Trvanlivost ložisek má mimořádný význam, proto přední světoví výrobci věnují značnou pozornost vývoji prostředků a pomůcek pro montáž a demontáž valivých ložisek a taky přístrojům pro sledování provozního stavu strojů a zvláště valivých ložisek.

5.2 Požadavky na metody diagnostiky ložisek.

- schopnost zjistit vysokofrekvenční kmity s malými amplitudami
- vhodné přístrojové vybavení
- citlivý piezoelektrický snímač zrychlení

5.3 Metody diagnostiky.

V současné době existuje hned několik špičkových metod bezdemontážní diagnostiky valivých ložisek založených na různých principech-tabulka č.2. Všechny metody vychází z poznatku, že odvalováním poškozené části ložiska dochází k nárazům a ložisko je zdroj buzení.

Tabulka č.2. Přehled metod a přístrojů pro diagnostiku ložisek.

Metody diagnostiky valivých ložisek	Přístroje
Rázové Pulsy SPM	SPM Instrument - SPM 43A - SPM 21 - Mepa 10 - BEA 52 - TMED1- SKF
BCU kinetická dráha hřídele	SCHENCK - Vibrocam 1000 - Vibroport 30
Kurtosis součinitel K	Kurtosis - K-4100
Špičkové energie SE	Reutlinger - IRD 811 - IRD 820
K(t) parametru	Robotron - M 1320
Činitel výkmitu K_v	Brüel & Kjaer - 2513
Ultrazvuková emise	ČVUT - D 016 FEL
Obálkové spektrum a kepstrum	Brüel & Kjaer - 2515
SEE	SKF - MICROLOG

5.4 Stručný popis a princip nejpoužívanějších metod.

5.4.1 Metoda rázových pulsů SPM (Shock Pulze Method)

Princip spočívá v měření a posouzení rázových pulsů tzv. "krátkodobých tlakových vln", které vznikají ve valivých ložiscích. Přes snímač rázových pulsů se přístrojem vyhodnocují absolutní velikosti impulsů a také měření střední hodnoty amplitudy kmitání v oblasti 30 - 40 kHz. Tato metoda je použita v mikroprocesorovém zařízení - analyzátor valivých ložisek BEA-52 firmy SPM. Tento přístroj analyzuje rázové impulsy ze všech typů ložisek a dodává podrobné informace o stavu ložiskových ploch a i o mazání v odvalovací oblasti ložiska.

5.4.2 Metoda obálkové analýzy.

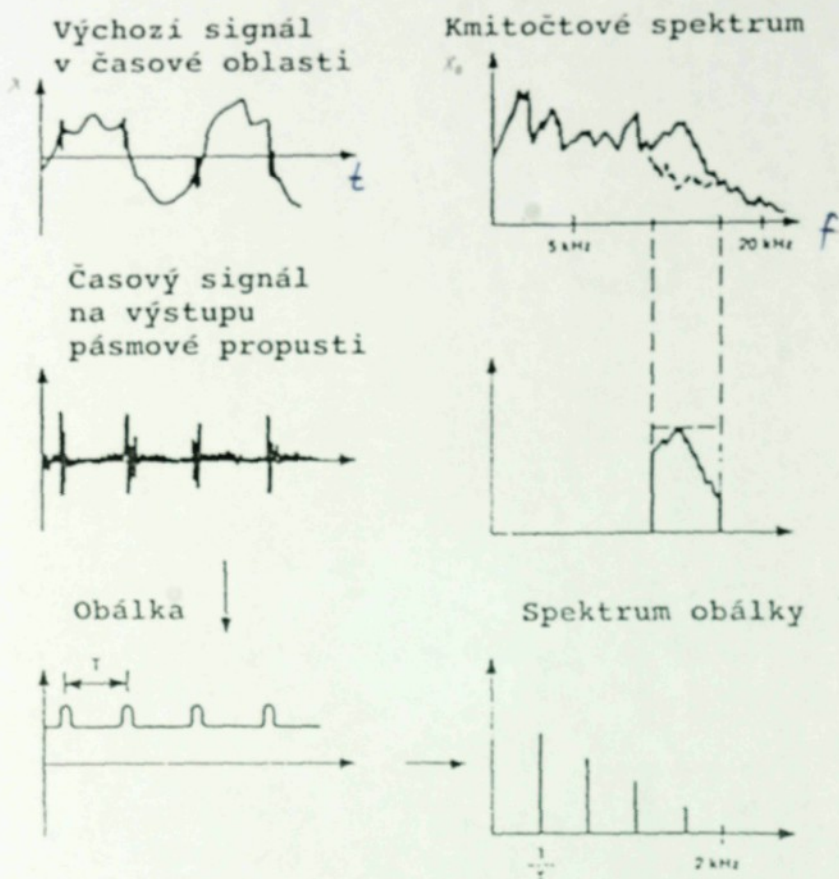
Závada valivého ložiska v počátečním stadiu se projevuje vznikem sledu ostrých vysokofrekvenčních impulsů s poměrně malou kinetickou energií.

Princip této metody spočívá v tom, že časový signál se filtruje pásmovou propustí překrývající kmitočtové pásmo, ve kterém bylo zjištěno zvýšení zvětšení amplitud složek měřeného spektra obr.3.

Signál na výstupu pásmové propustí obsahuje jen složky s vysokými kmitočty, ke kterým zaručeně patří i kmitání, vybuzení v důsledku závady ložiska. Nejdůležitější je však, že ve zpracovaném signálu je bezpečně obnoven opakovací kmitočet výchozích impulsů. Tento kmitočet je pak možno přesně určit pomocí analyzátoru, založeného na rychlé Fourierově transformaci. Hodnoty opakovacího kmitočtu impulsu (frekvence rázového buzení), odpovídajících závadě vnějšího kroužku, vnitřního kroužku, a nebo tělísek ložiska.

Porovnáním hodnot kmitočtu, zjištěných analyzátozem a výpočtem, lze bezpečně odhalit poškozenou součást. V případě závady

otáčejícího se kroužku ložiska je někdy možno bezpečně zjistit amplitudovou modulaci, způsobenou změnami zatížení v místě poškození.



Obr.3 Základní princip detekce a analýzy obálky.

5.4.3 Metoda SEE (Spektral Emitted Energy).

Kmitání je snímáno širokopásmovým akcelemetrem (SEE senzor) až do frekvencí několika MHz. Signál ze senzoru je filtrován kolem 300 kHz a je demodulována jeho nízkofrekvenční složka. Všechny nízkofrekvenčně se opakující složky signálu jsou zachovány. Další analýza signálu je provedena v nízkofrekvenční oblasti. Vypočítané spektrum je porovnáváno s frekvencemi, které vznikají v důsledku poruch v ložisku nebo jsou čáry spektra vynášeny do trendových grafů.

Tento princip je použit v přístroji MICROLOG KIT CMVA 10 firmy SKF.

5.5 Shrnutí k výběru metody diagnostiky ložisek stroje INTAGLIOCOLOR 8

Obecně nelze říci, která metoda z těchto uvedených metod je nejlepší a nejpoužívanější, a to hlavně z důvodu potřeby určité specializovanosti pro různé podmínky, různé požadavky a různé typy měřených strojů, pro které tu kterou metodu používáme. Samozřejmě je potřeba vzít v úvahu i cenu a parametry přístrojové vybavení, pro které se rozhodujeme.

Jak jsem výše naznačil mezi nejpoužívanější metody patří metoda rázových pulzů (SPM), obálková analýza a metoda SEE.

Z toho poslední dvě jmenované budou pro diagnostiku ložisek INTAGLIOCOLOR 8 použity. Oba přístroje, které tyto metody nabízejí, škola má k dispozici. Obálková analýza je z všech metod nejověřenější. Metoda SEE firmy SKF je modernější, ne tolik náročná na přesnost místa měření, ale ne tak ověřená. Tyto metody, jak bylo výše uvedeno, používají ve svých přístrojích firmy Brüel-Kjaer a SKF.

Tyto firmy se v České republice více angažují, proto je možno se s jejich technikou blíže seznámit. Navíc obě firmy ve svých přístrojích umožňují i práci s metodou $K(t)$ parametru což je, zrovna jako obálková analýza a metoda SEE, metoda spolehlivá, rychlá, nenáročná a jednoduchá.

6. ANALÝZA MĚŘENÍ.

6.1 METODY ANALÝZY SIGNÁLŮ.

Ve skutečnosti nejvíce používané metody analýzy signálů jsou následující,

- analýza úzkopásmových spekter,
- použití referenčního spektra,
- použití kepsra,
- použití obálkové analýzy.

Obálkovou analýzu používáme speciálně pro diagnostiku ložisek (viz metody diagnostiky ložisek).

6.1.1 Analýza úzkopásmových spekter.

Je to nejpoužívanější metoda analýzy pro zjišťování technického a provozního stavu strojů.

Princip této metody spočívá v tom, že každé zhoršení technického a provozního stavu stroje se projevuje výrazným zvýšením některé složky, několika složek a nebo nějakého kmitočtového pásma příslušného spektra. Kvůli specifitě problému (ozubené soukolí) věnujeme pozornost problémům souvisejícím s ozubeným kolem.

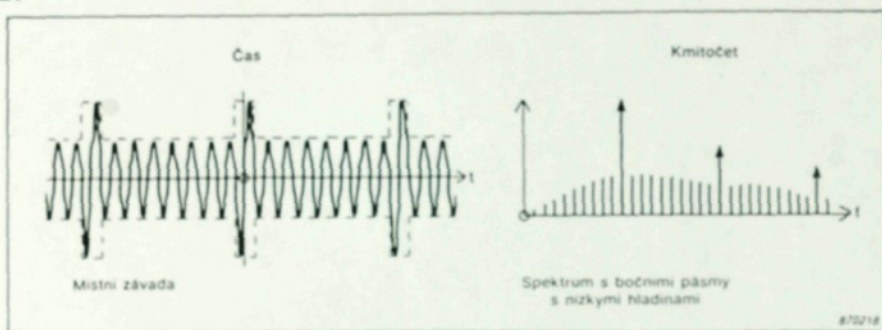
Víme, že i sebelepší ozubené kolo je zdroj buzení. Chvění zcela nového a nezávadného ozubeného soukolí obsahuje složku s kmitočtem záběru. Tato složka však není jedinou složkou chvění. Mechanické zatížení vyvolává deformace zubů, přičemž velikost těchto deformací závisí na počtu zubů v záběru. Zjednodušený signál, odpovídající mechanickému chvění nového ozubeného soukolí (převodovky), obsahuje nejen složku s kmitočtem záběru, ale i vyšší harmonické složky.

Postupné opotřebení je provázeno průběžnými pomalými změnami profilu zubů ozubených kol, působenými skluzem zubů v záběru ve všech bodech kromě roztečných bodů.

Z toho vyplývá, že se postupné opotřebení ozubených kol projevuje zejména změnami složek s kmitočtu, odpovídající druhé harmonické složce kmitočtů záběru. Jelikož změny, provázející opotřebení, nejsou sinusové, spektra chvění obsahují také rostoucí vyšší harmonické složky.

Počáteční stadium místní závady se však neprojevuje růstem amplitud složek s kmitočty záběru a odpovídajících vyšších harmonických.

Představme si ku příkladu ozubené kolo s prasklým, avšak dosud neulomeným zubem. Závada tohoto druhu zcela jistě unikne pozornosti personálu, obsluhující odpovídající strojní zařízení. Prasklý zub se však bude v důsledku snížené pevnosti vychylovat v záběru více než ostatní neporušené zuby. Odpovídající signál mechanického chvění bude mít tvar, znázorněný na následujícím obrázku.



Obr. 4.

Uvedený signál je možno považovat za signál, odpovídající nezávadnému (možná však částečně opotřeбенému) soukolí, se superponovanými impulsy, vyvolanými nadměrnou výchylkou porušeného zubu.

Závada tohoto druhu se tedy již v počátečním stadiu projeví ve spektru mechanického chvění zvětšením amplitud bočních pásem, nacházejících se pod a nad kmitočtem záběru s kmitočtovým odstupem, odpovídajícím rychlosti otáčení.

V oblasti kmitočtů, nižších než kmitočet záběru, se však také

nacházejí složky s nízkými kmitočty. Tyto složky jsou v souvislosti se závadami, provázejícími nevyváženost, ohybhrádelů, přesazení a jiné, a v důsledku větší energie maskují méně intenzivní složky, odpovídající prasklému zubu.

Složky s kmitočty záběru ozubených kol a jejich harmonické složky jsou také intenzivnější než složky, vyvolané závadou nebo závadami v počátečním stadiu. Zvětšení amplitud složek, vzniklých v důsledku závady, je však většinou zřetelné mezi harmonickými složkami kmitočtu záběru.

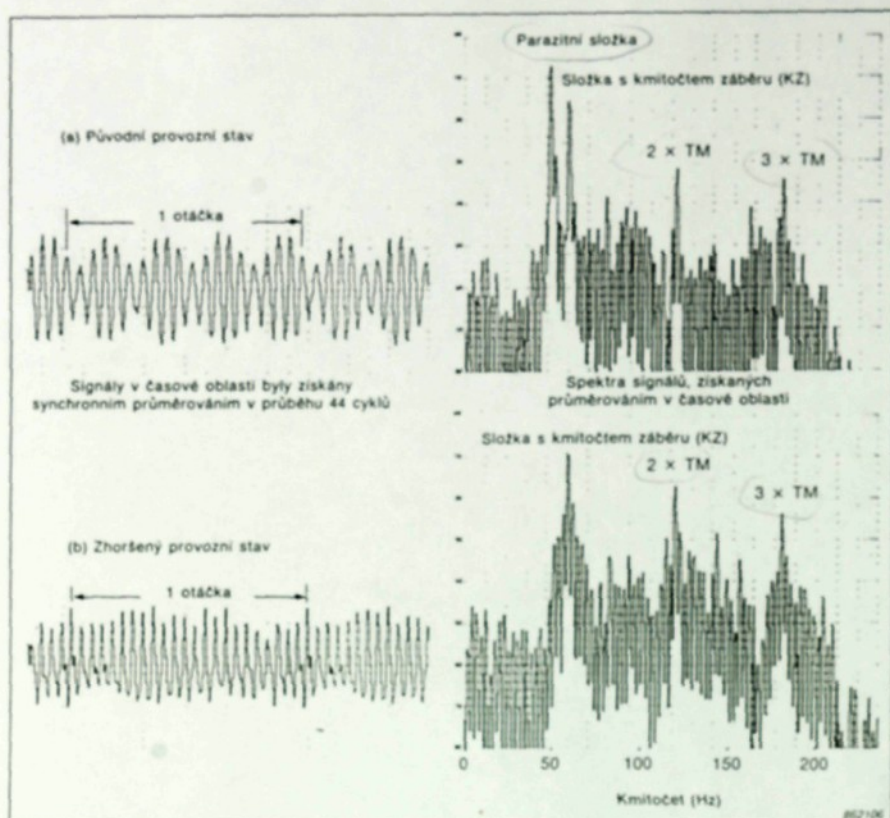
Postupné zvětšování závady, například rozšíření lomu na více zubů ozubeného kola, je provázeno postupnou změnou povahy signálu, odpovídajícího mechanickému chvění zařízení. Původně slabý signál se superponovanými impulsy se zvolna zvětšuje a nabývá povahy amplitudově modulovaného signálu. Spektrum tohoto signálu se mění odpovídajícím způsobem s charakteristickým růstem bočních pásem, rozložených kolem kmitočtů záběru a harmonických. Odstup bočních pásem je určen rychlostí (či rychlostmi) otáčení.

Následující obrázek znázorňuje časové průběhy a spektra signálů, odpovídajících mechanickému chvění převodovky v nezávadném a v zhoršeném provozním stavu.

Celkové opotřebení převodovky se projevuje nevelkým zvětšením amplitudy s kmitočtem, odpovídající kmitočtu záběru ozubených kol, a výrazným zvětšením amplitud složek s kmitočty druhé a třetí harmonické.

V pásmu mezi kmitočtem záběru a druhou harmonickou je patrné výrazné zvětšení amplitud složek s kmitočtovým odstupem, odpovídajícím rychlosti otáčení. Zvětšení amplitud těchto složek lze považovat za příznak závady v počátečním stadiu.

Parazitní složka spektra chvění nezávadné převodovky je způsobena geometrickou nepřesností ozubeného kola, vzniklou v důsledku nepřesnosti dělicího přístroje. Tato složka se zcela ztratila při rostoucím opotřebení převodovky.



Obr.5. Časový průběh a spektrum v bezvadném a zhoršeném stavu.

6.1.2 Použití referenčního spektra.

Tato metoda analýzy je velmi jednoduchá a spolehlivá pro zjištění počátečního stadia jakékoli závady. Je třeba říci, že pomocí této metody nelze přesně určit kterou závadu ale dává včas poplach o zhoršeném stavu stroje.

Cílem této metody je ze spektra nového (dobře fungujícího) stroje vytvořit tzv. referenční masku. Jakékoli převýšení referenční masky složkami nových syntezovaných spekter lze považovat za spolehlivý příznak zvětšující se závady sledovaného strojního zařízení.

Postup vytvoření referenční masky vypadá takto:

Z úzkopásmového kmitočtového spektra získaného Fourierovou

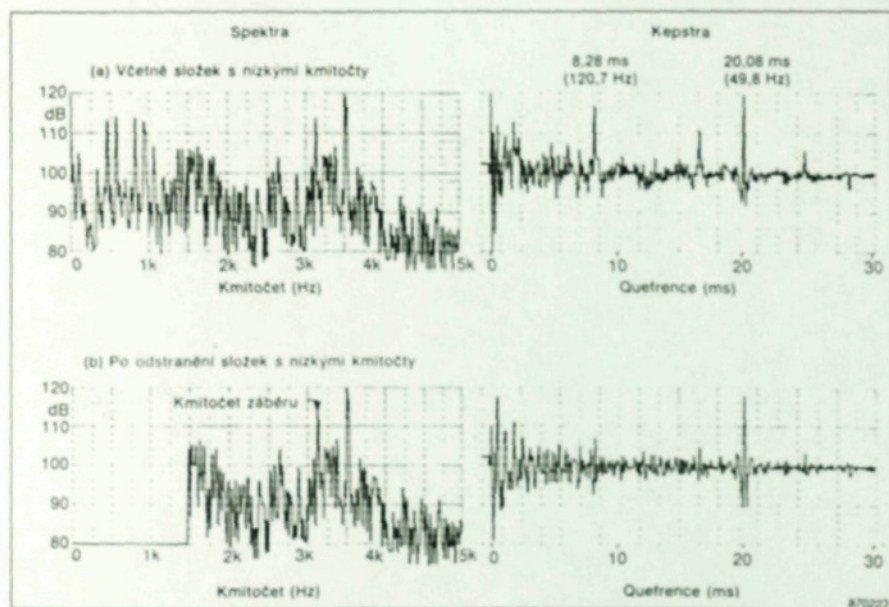
transformací je vytvořeno tzv. syntezované spektrum se širšími kmitočtovými pásmy.

Z syntezovaného spektra je vytvořeno referenční spektrum tak, jakoby amplitudy všech pásem byly o k krát vyšší (k je koeficient volitelný podle kategorie strojů).

Z referenčního spektra je tvořena referenční maska tak, že amplituda každého pásma referenčního spektra je dána maximální amplitudou tří pásem, toho pásma a dvou sousedních pásem.

6.1.3 Použití kepstra.

Pomocí kepster je možno indentifikovat série harmonických nebo bočních pásem, obsažených ve spektrech, a hodnotit jejich relativní intenzity. Výkonová kepstra, užívaná pro diagnostické účely, jsou v podstatě výsledky kmitočtové analýzy výsledků kmitočtové analýzy časových průběhů (např. chvění).



Obr.6. Použití kepstra k odhalení frekvencí buzení a jejich původů.

Sledu impulsů v časové oblasti odpovídá ve kmitočtové oblasti

diskrétní složka s opakovacím kmitočtem tohoto sledu a vyšší harmonické, jejichž počet a amplitudy jsou závislé na tvaru opakujících se impulsů. Obdobně sadě diskrétních složek kmitočtového spektra odpovídá série diskrétních složek kepstra. Stupnice na ose kepstra nese jednotky s (sekundy). Poloha první složky kepstra je určena převrácenou hodnotou kmitočtového odstupu harmonických nebo bočních pásem v odpovídajícím spektru.

Příklad, ilustrující kepstrum v kontextu s odpovídajícím spektrem, je uveden na obrázku č.6. Spektrum mechanického chvění opotřeбенé převodovky obsahuje řadu diskrétních složek a harmonických. Prakticky nelze zjistit, že uvedené spektrum ve skutečnosti obsahuje dvě sady harmonických, související s různými jevy. Odpovídající kepstrum však jasně indikuje přítomnost dvou sad harmonických nebo bočních pásem s odstupy 49.8 a 120.7 Hz (viz obr.6.a).

Totéž spektrum, jehož složky s kmitočty nižšími než přibl. polovina kmitočtu záběru byly dostatečně odstraněny, a odpovídající kepstrum jsou znázorněny na obr.6.b. (Určení kepstra, příslušejícího upravenému spektru, je velmi snadné při použití analyzátoru 2515, kdy je třeba jen správně nastavit elektronicky nanášený ukazatel na obrazovce a potom odpovídajícím tlačítkem spustit proces automatického určení a zobrazení spektra).

Kepstrum, získané na základě upraveného spektra (viz obr.6.b), neobsahuje složku, odpovídající kmitočtu 120.7 Hz. Tím je prakticky prokázáno, že tato složka kepstra souvisí se složkami spektra, nacházejícími se v oblasti nízkých kmitočtů a pravděpodobně způsobenými závadami s projevy právě v tomto kmitočtovém pásmu. Přítomnost složky, odpovídající kmitočtovému odstupu 49.8 Hz, však ukazuje na souvislost s oblastí středních kmitočtů a se závadami, projevujícími se v této oblasti. Je tedy možno usoudit na závadu ozubeného kola s rychlostí otáčení, odpovídající kmitočtu 49.8 Hz. V případě hřídele s rychlostí

otáčení, příslušející kmitočtu 120.7 Hz, se pravděpodobně jedná o nevyváženost nebo jinou závadu, projevují v oblasti nízkých kmitočtů.

Další výhoda kepster spočívá v jejich téměř úplné nezávislosti na fázových vztazích výchozích signálů a na charakteristikách přenosných cest těchto signálů. Například kepstra mechanického chvění převodovky, získaná na základě výsledků měření na dvou různých ložiscích, jsou prakticky shodná.

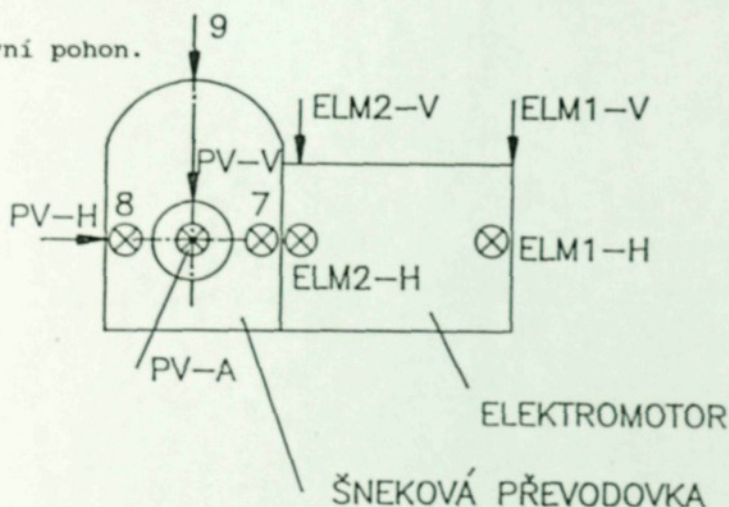
6.2 ANALÝZA MĚŘENÝCH SPEKTER.

6.2.1. Při přejímce stroje.

Cílem vstupního měření při přejímce stroje INTAGLIOCOLOR 8 je získat referenční spektra kmitání, provést analýzu provedeného měření a poskytnout odběrateli případné podklady pro reklamace a seřízení stroje v rámci záruční doby.

Pro vyhodnocení úplně nového stroje INTAGLIOCOLOR 8 budou uvedeny měřené celkové úrovně kmitání hlavního pohonu a tiskového ústrojí.

6.2.1.1. Hlavní pohon.

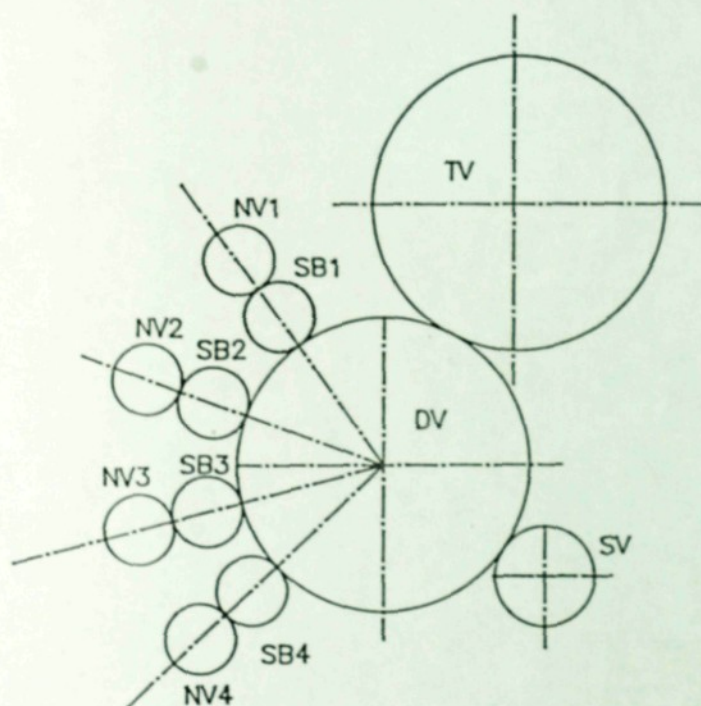


Obr.7.Označení míst měření hlavního pohonu stroje INTAGLIOCOLOR 8

Tabulka č.3 Změřená celková úroveň kmitání a_{eft} hlavního pohonu, pro $f=0.4$ až 10 000 Hz.

INTAGLIOCOLOR 8 Místo měření:	Změřená celková úroveň kmitání a_{eft} [m.s ⁻²]
Elektromotor:	
ELM1-V	3.9
ELM1-H	2.6
ELM2-V	2.1
ELM2-H	2.3
Šneková převodovka:	
PV-V	2.3
PV-H	2.0
PV-A	2.0
-7	2.0
-8	1.9
-9	1.6

6.2.1.2. Tiskové ústrojí.



Obr.8. Schéma tiskového ústrojí:TV-tlakový válec, DV-deskový válec,NV-nanášecí válce,SB-šablonové válce,SV-sběrací válec

Tabulka 4. Změřená celková úroveň kmitání a_{eft} tiskového ústrojí stroje INTAGLIOCOLOR 8, $f=0.4$ až 10 000 Hz, A-axiální směr, V-vertikální směr a H-horizontální směr.

INTAGLIOCOLOR 8 Místo měření:	Změřená celková úroveň kmitání $a_{eft}[m.s^{-2}]$	
	levá strana	pravá strana
Tlakový válec TV-V TV-A	1.7 0.8	2.0 2.8
Deskový válec DV-V DV-H DV-A	5.1 3.7 3.2	 3.8 1.2
Šablon.válec SB1-V SB1-H SB1-A SB2-V SB2-H SB2-A SB3-V SB3-H SB3-A SB4-V SB4-H SB4-A	9.9 4.6 4.0 1.4 2.7 0.7 3.3 3.2 3.3 2.5 2.8 5.8	3.2 2.5 3.0 2.8 3.5 4.2 2.1 2.2 2.3 1.9 1.1 1.6
Nanáš. válec NV1-V NV2-V NV3-V NV4-V	3.2 2.7 2.9 3.8	2.7 2.0 1.5 2.4
Sběrací válec SV-V SV-H SV-A	2.0 2.1	5.5 4.2

Analýza změřených spekter a nízké celkové úrovně kmitání u všech součástí stroje v rámci přejímky prokazují, že tiskový stroj INTAGLIOCOLOR 8 je kvalitně vyroben, montován a seřízen.

6.2.2 Analýza změřených spekter v rámci periodické diagnostiky.

Měření věnují pozornost zejména pohonům a tiskovému ústrojí. V následujících řádcích bude provedena analýza změřených spekter v termínech 6.5.1993, 12.8.1993, 9.9.1993, 30.11.1993 a 21.12.1993.

1. Tlakový válec (TV)

Je velmi zajímavý, že během tohoto období složky spektra místy mírně klesají.

Všechny složky zůstávají v nízké hladině, žádná složka nepřekročila úrovní $a=0.05\text{m.s}^{-2}$.

Nelze v těchto spektrech vidět zubové buzení.

2. Tiskový válec nebo deskový válec (DV)

Během tohoto období v těchto spektrech nedošlo k podstatné změně, všechny složky jsou v nízké úrovni.

Není vidět zubové buzení ($f_z=87.5$).

3. Sběrací válec (BV)

V těchto spektrech během tohoto období došlo k podstatnému zvětšení v některých pásmech (některé složky). A však i takové složky jsou ještě v nízké úrovni (0.55m.s^{-2}).

Pro přesné hodnocení je třeba pozorně sledovat průběh tohoto spektra.

Lze tady vidět zubové buzení ve spektrech měřených v 6.5.1993.

4. Šablonový válec horní (SVH)

V těchto spektrech došlo k mírnému zvětšení některých složek, např. $f=19.8\text{ Hz}$, $f=39.6\text{ Hz}$, $f=59.4\text{ Hz}$ lze to vysvětlit jako důkaz rovnoměrného opotřebení zubů.

Přesto složky spekter jsou v nízké úrovni.

5. Šablonový válec druhý zhora (SV2).

Nebyly podstatné změny, složky spekter změřených na straně bez náhonu v období 12.8 do 21.12.1993 dokonce mírně klesaly.

Není tady výrazné zubové buzení.

6. Šablonový válec třetí zhora (SB3).

Nebyly podstatné změny, jen složky spekter měřených v 12.8.93 byly podstatně větší než složky ostatních spekter. To lze vysvětlit jako důsledky jiných pracovních faktorů např. barevný film,...

7. Šablonový válec dolní (SBD).

Došlo k výraznému zvětšení některých složek $f=1.99$ Hz, $f=19.8$ a $f=39.6$ Hz, lze to chápat jako rovnoměrné počáteční opotřebení zubů. Ostatní složky zůstávaly skoro stejné.

8. Elektromotor hlavního pohonu (ELMH).

Lze v těchto pěti spektrech jasně indentifikovat vyšší harmonické složky rotorového buzení, tj. $3*f_r=86.7$ Hz, $6*f_r=173.4$ Hz a $10*f_r=289$ Hz. Tyto složky během tohoto období měly klesající tendenci a to můžeme pochopit jako důsledky výrobních výchylek, které se teprve během činnosti ztrácely.

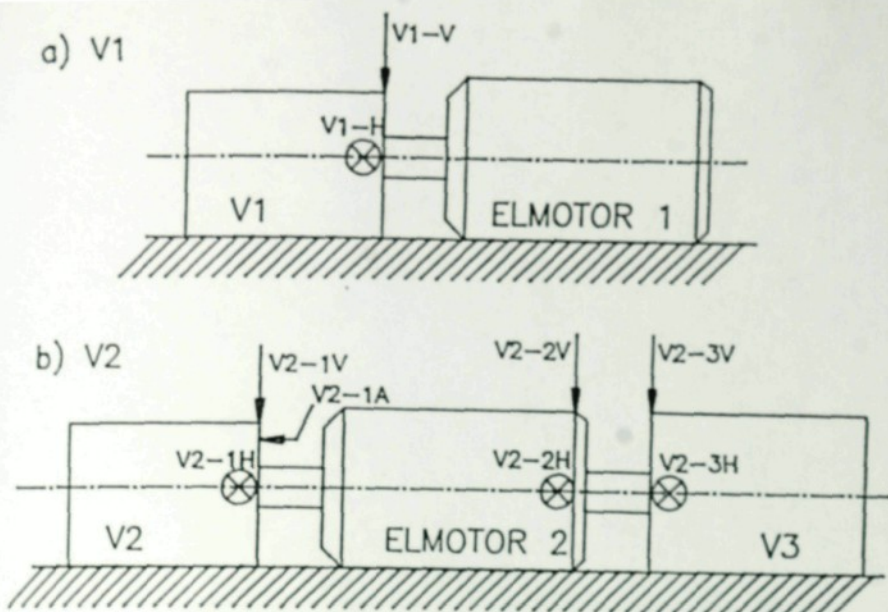
9. Šneková převodovka (PRH).

Můžeme tady vidět velmi dobře zubové buzení ($f=86.65$ Hz) a jeho vyšší harmonické složky, tyto složky nejprve v období od 6.5.93 do 30.11.93 trvale klesaly a pak se zvětšovaly, to můžeme chápat jako redukce výrobních výchylek opotřebením v prvním období a pak opotřebení (rovnoměrné) boků zubů ve druhém období.

10. Vývěva nakladače (VV-NK).

Je v těchto spektrech výrazné lopátkové buzení ($f=220.5$ Hz) a jeho vyšší harmonické složky. Kromě toho můžeme indentifikovat i rotorové buzení ($f=24.5$ Hz) a jeho vyšší harmonické složky. Během tohoto období se lopátkové buzení mírně zvětšovaly a přitom jeho druhá harmonická složka se zmenšovala.

Ostatní složky spektra byly téměř stejné na nízké úrovni.



Obr.9. Označení míst měření kmitání u vývěv.

a-vývěva u nakladače

b-vývěva u vykladače

11. Vývěva vykladače (VV).

I tady můžeme vidět lopatkové buzení ($f=220.5$ Hz) ale mnohem větší jsou jeho vyšší harmonické složky (druhá, třetí i čtvrtá). Během tohoto období rotorové buzení mírně klesá, přitom lopatkové buzení skoro konstantní a jeho druhá a třetí harmonická složka se zvětšují. Lze tento problém chápat jako malý problém spojený s lopatkami. Např. malé vychýlení od přesné polohy. Ostatní pásma zůstávají v nízké hladině.

CELKOVÉ HODNOCENÍ:

Analýzou změřených spekter v období od 6.5.1993 do 21.12.1993 lze potvrdit, že tiskový stroj INTAGLIOCOLOR 8 i přes malé počátečné opotřebení některých součástí je v velmi dobrém stavu. Tiskové ústrojí je ve vynikajícím stavu (není výrazné buzení a složky jsou nízké).

Následující strany jsou věnovány některým spektrům, která mají demonstrační význam uvedenému hodnocení stroje.

Ve všech spektrech jsou uvedeny všechny potřebné zkrácené údaje: místo (jméno součásti a strana), výkon, a datum.

N-strana náhonu.

B-strana bez náhonu.

7.0 to je $N=7000 \text{ archů.h}^{-1}$.

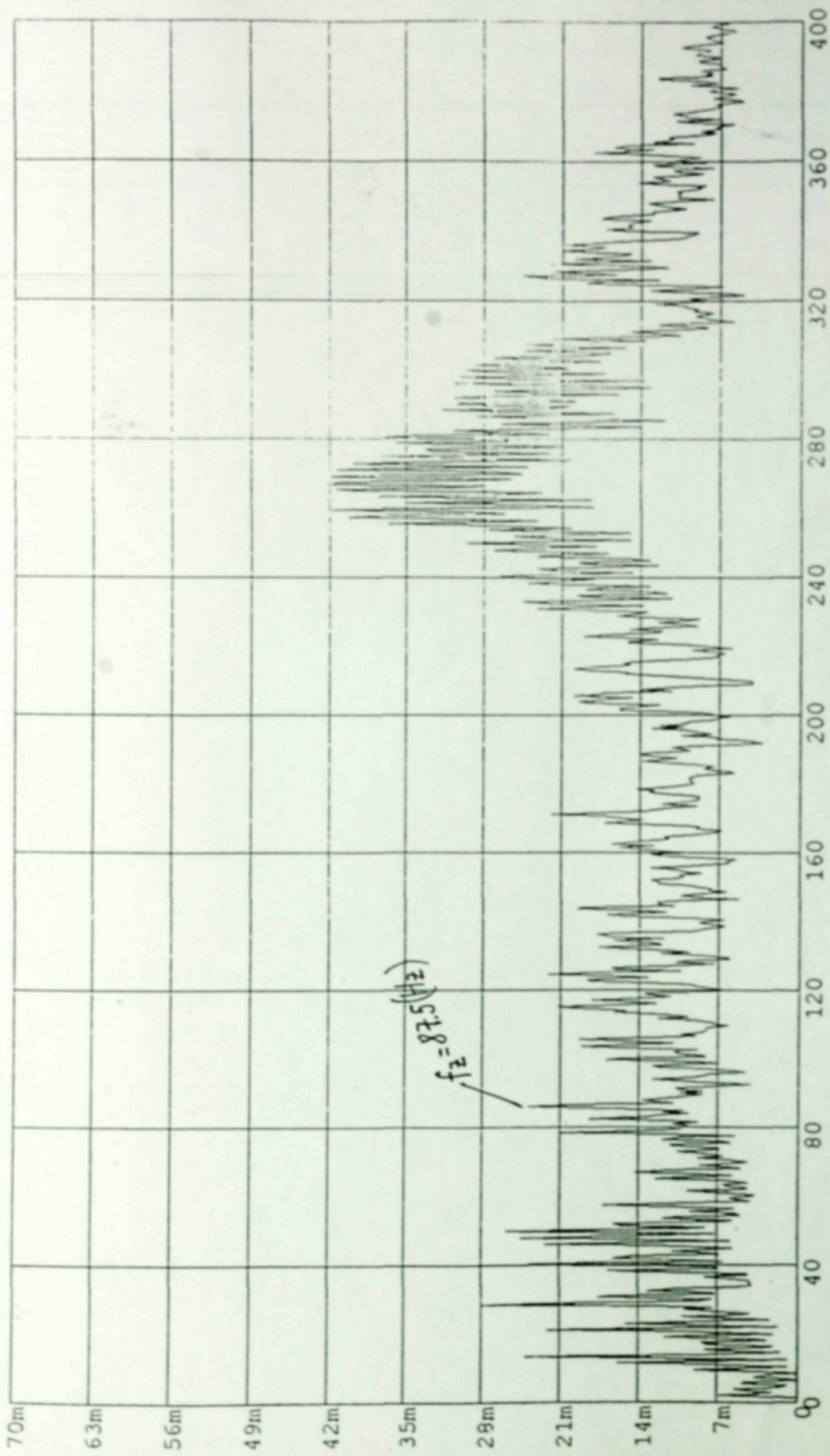
TV-N

TV-N-7.0 10000 00.00 11.35.18
 Magnitude Instant Spectrum (Mag)
 Křivka proudění Auto Spectrum - BG 2144 FFT

X:LIN Hz
 Y:MAG LIN m/s*2

Hodnoty kurzorů
 Mx 500m
 Rx 500m
 Dx 0

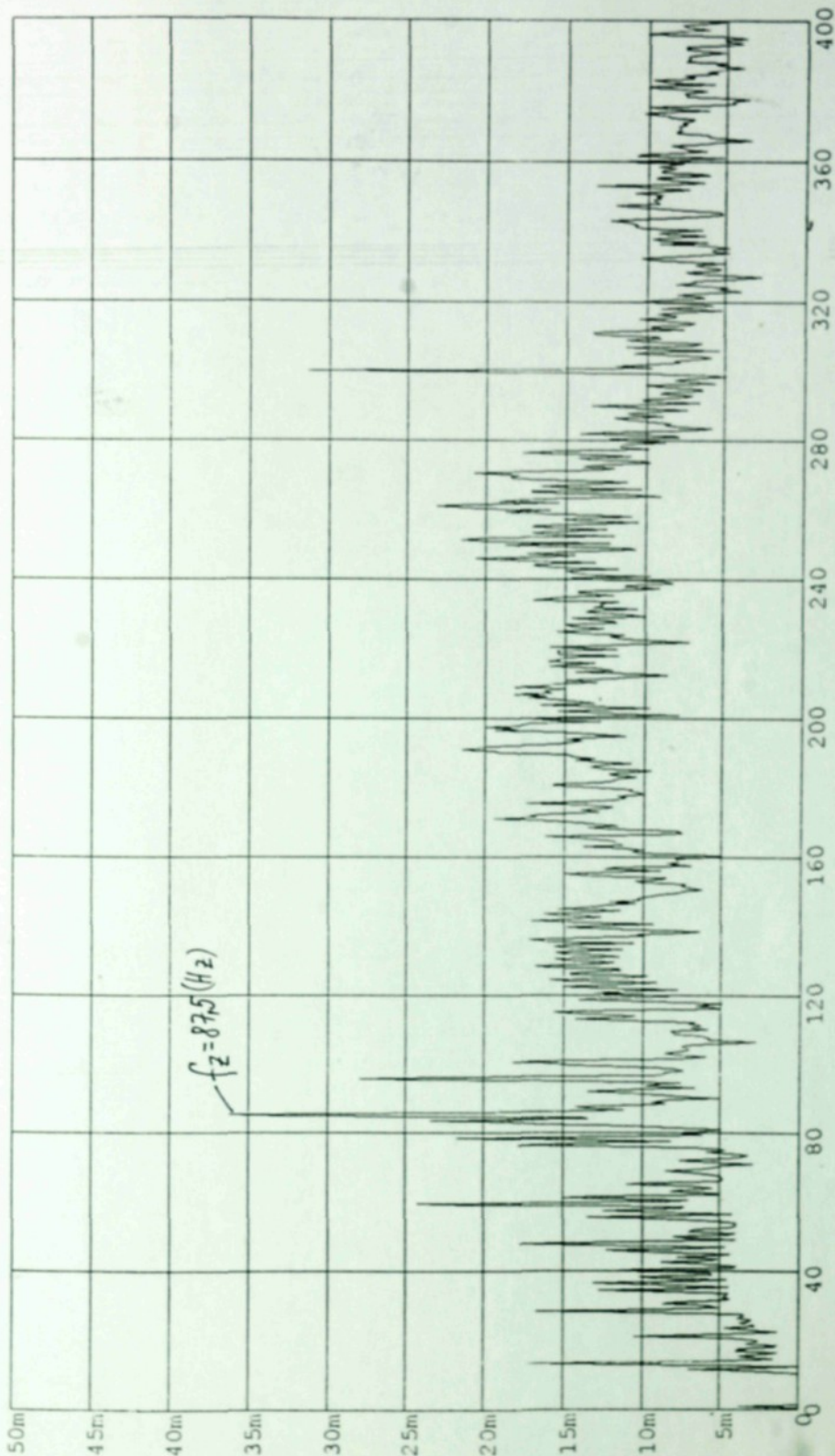
My:0
 Ry:0
 Dy:0



SVH-N

My:0
Ry:0
Dy:0

Hodnoty kurzorů:
Mx: 500m
Rx: 500m
Dx: 0

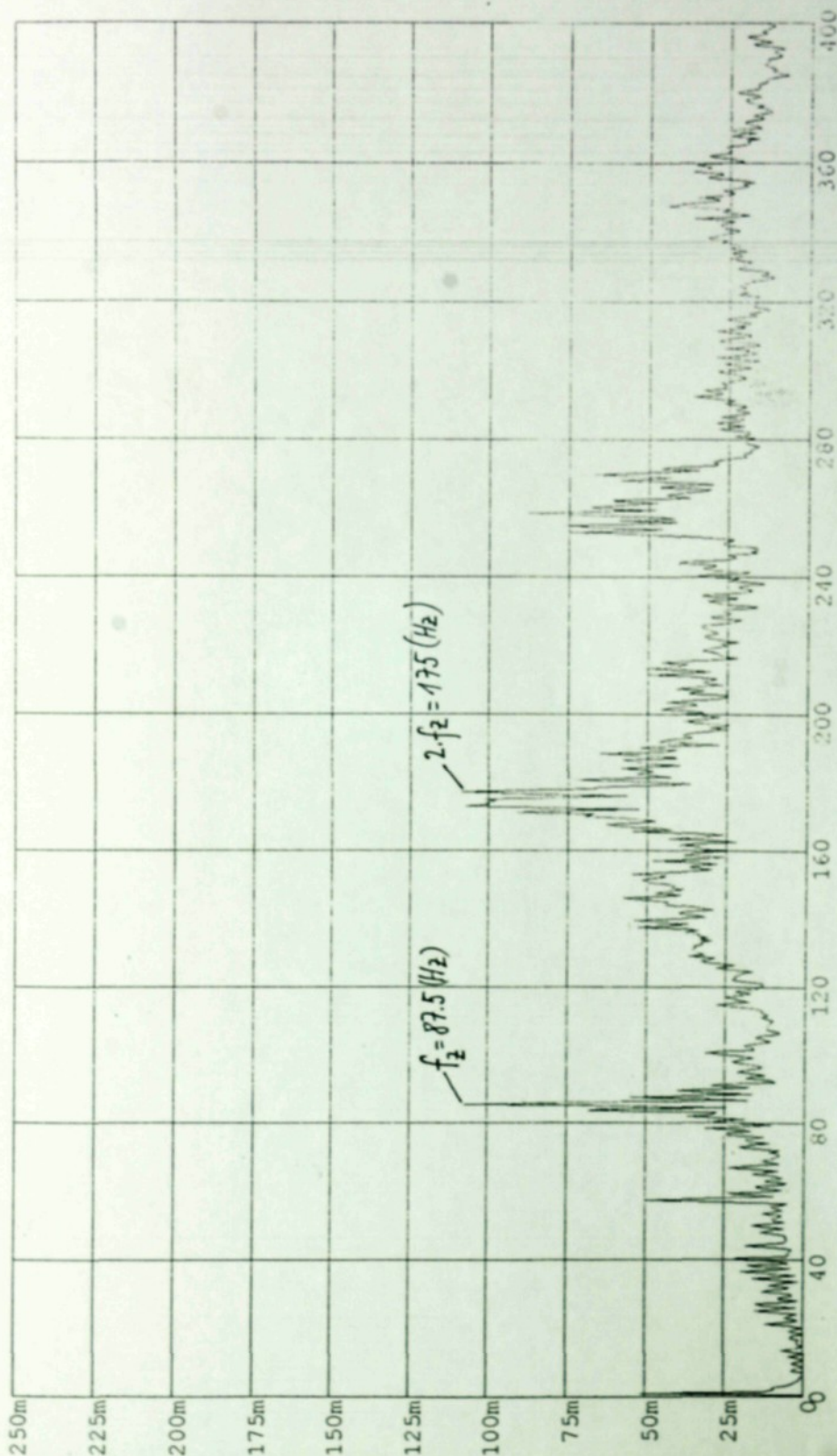


X:LIN Hz
Y:MAG LIN m/s²

Hodnoty kurzorů:
Mx:500m
Rx:500m
Dx:0

My:0
Ry:0
Dy:0

BV-N



Typ signálu: Lineární Auto Spectrum (Mag)
Krátká pozvánka: Auto spectrum - BK 2144 FFT

X: LIN Hz
Y: MAG LIN m/s²

Hodnoty kurzorů:

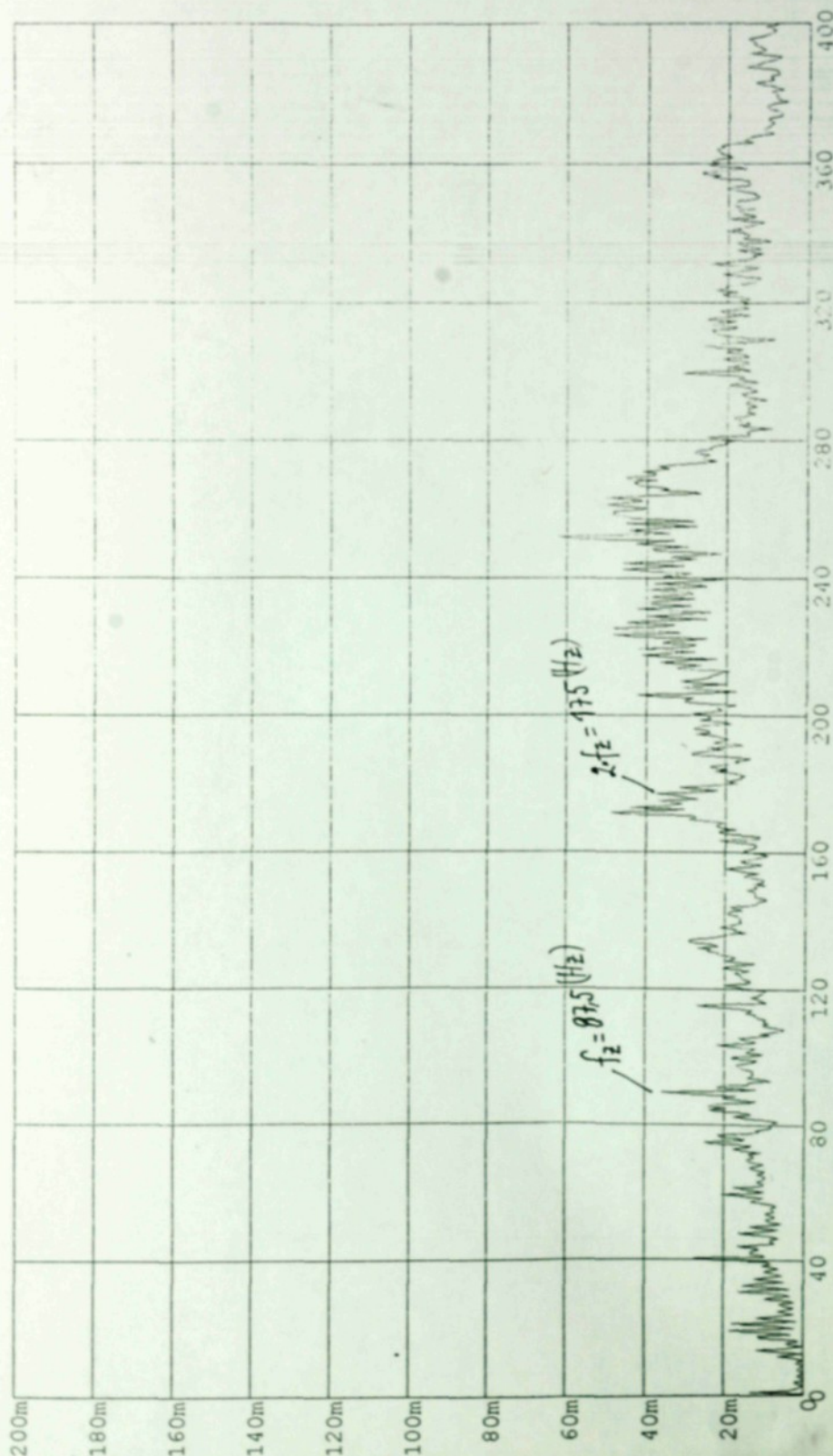
Mx: 500m

Rx: 500m

Dx: 0

My: 0
Ry: 0
Dy: 0

BV-B



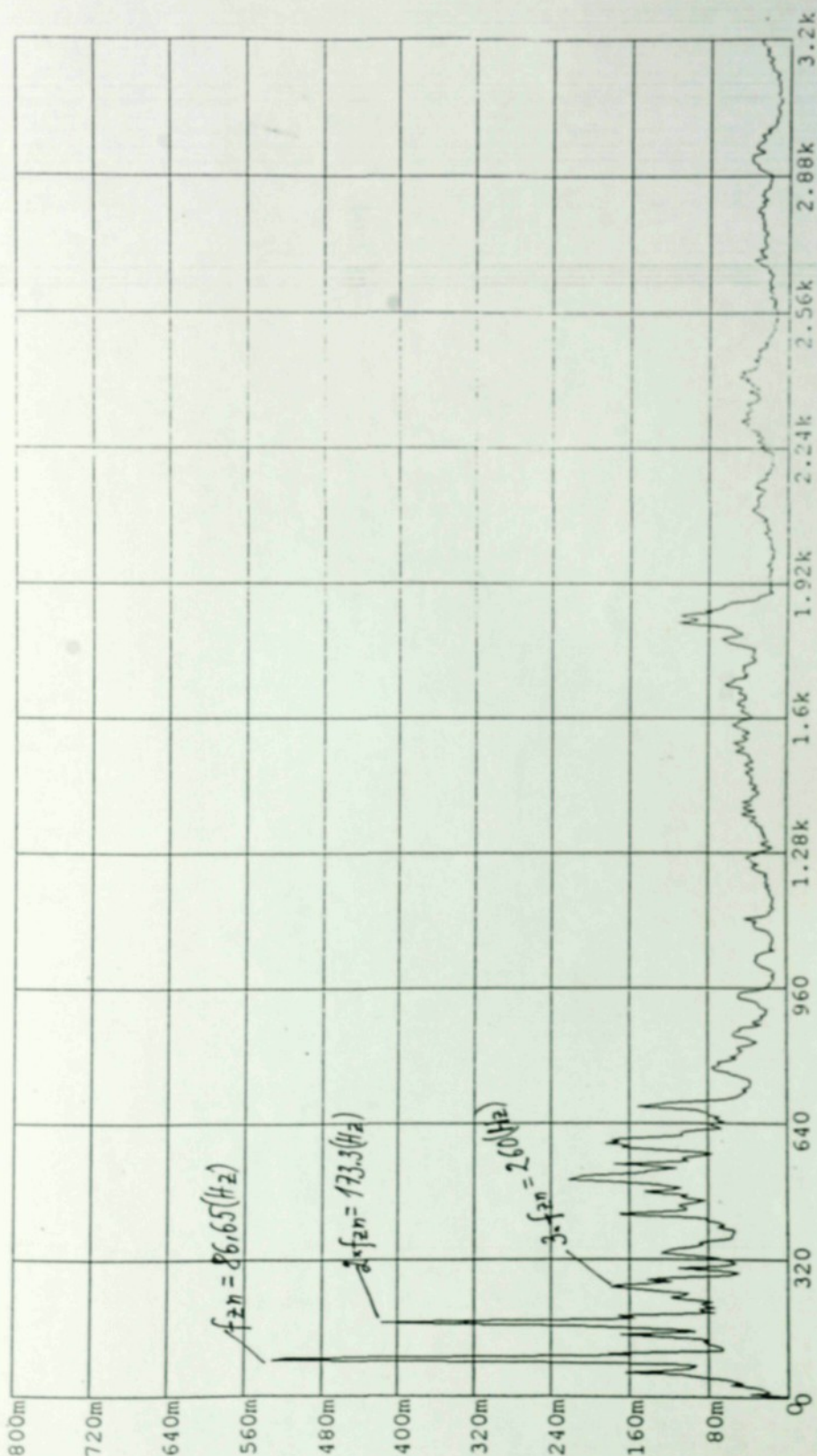
X: LIN Hz
 Y: MAG LIN m/s²

Hodnoty kurzorů:

Mx: 4
 Rx: 4
 Dx: 0

My: 0
 Ry: 0
 Dy: 0

PRH



VV-NK

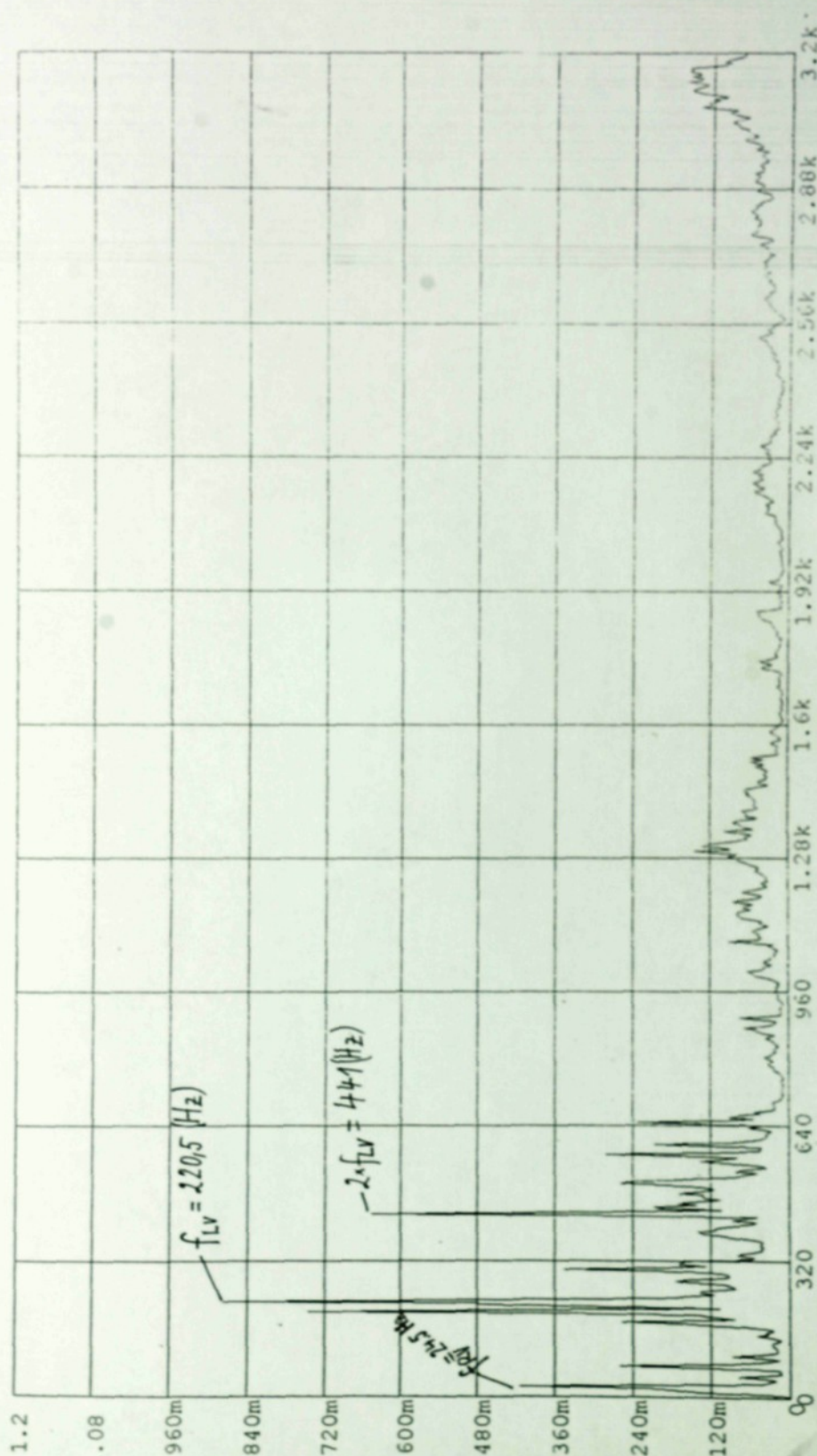
My 0
Ry 0
Dy 0

Typ signálu: Line Instant Spectrum (Mag)
Krátká poznámka: Auto spectrum - BK 2144 FFT

X: LIN Hz
Y: MAG LIN m/s²

Hodnoty kurzorů:

Mx: 4
Rx: 4
Dx: 0



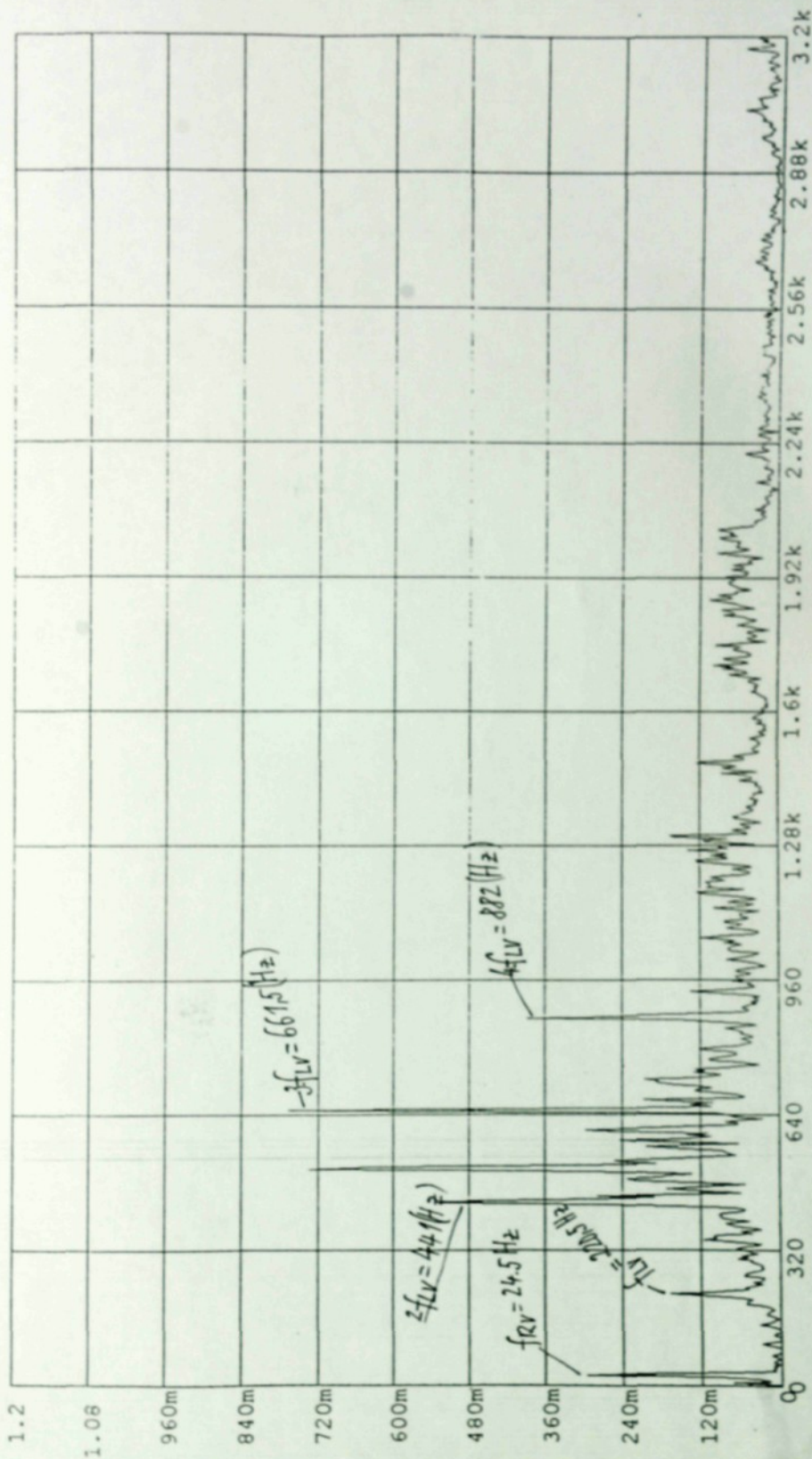
VV

Mx:0
Ry:0
Dy:0

X:LIN Hz
Y:MAG LIN m/s²

Hodnoty kurzorů:

Mx:4
Ry:4
Dx:0



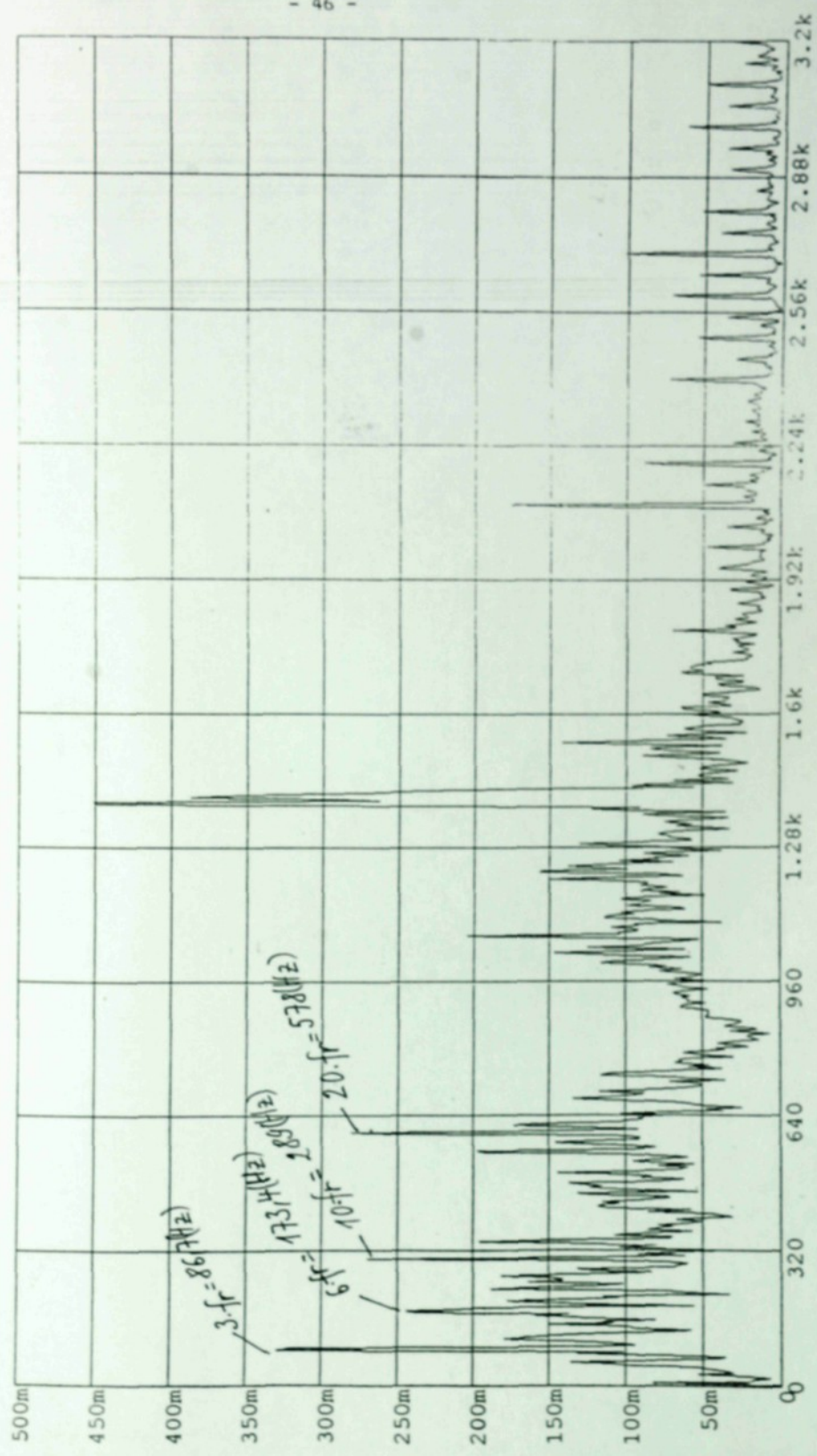
ELMH

My 0
Ry 0
Dy 0

Křivka posměrka Auto spectrum - BK 2144 FFT

X: LIN Hz
Y: MAG LIN mV/s²

Hodnoty kurzorů:
Mx 4
Rx 4
Dx 0



7. ZÁVĚR

Na základě výsledků provedených měření můžeme potvrdit, že nový tiskový stroj INTAGLIOCOLOR 8 byl kvalitně vyroben, smontován a seřízen. Takové vyhodnocení má rozhodující význam při koupi stroje.

Pravidelné měření a následná diagnostika stroje má velký význam v tom, abychom zjistili přesně skutečný pracovní stav stroje jako celek a jednotlivých součástí. Na základě analýzy změřených spekter v období od 6.5.1993 do 21.12.1993 můžeme říct, že do 21.12.1993 tiskový stroj INTAGLIOCOLOR 8 byl ve velmi dobrém pracovním stavu.

Je třeba na závěr poznamenat, že Státní tiskárna cenin v Praze díky spolupráci s Katedrou balících a polygrafických strojů v oblasti technické diagnostiky v rámci přejímky a periodického měření mechanického kmitání ušetřila na nákladech řádově desítky milionů korun.

Bez možností provádět diagnostická měření by tiskárna cenin byla nucena spolu se stroji nakoupit velké množství náhradních dílů, které by dlouho ležely ve skladě aniž by byly někdy použity. A bez možnosti technické diagnostiky nelze zjistit skutečný pracovní stav jednotlivých součástí, to dojde velmi často ke výměně součástí, která je v dobrém stavu.

Díky periodické diagnostice případná závada bude zjištěna s minimálně dvouměsíčním předstihem. Závadná součást, na základě smlouvy se švýcarským dodavatelem, musí být do šesti týdnů dodána.

Literatura

1. Beneš, Š.:

Teorie stavby strojů

VŠST Liberec 1986

2. Technical Review

Brüel & Kjaer - firemní literatura 1990

3. Beneš, Š., Tomeh E.:

Metody diagnostiky valivých ložisek

VŠST Liberec 1993

4. Zkoušení mechanických soustav 1,2

Brüel & Kjaer - firemní literatura.

5. Preventivní údržba strojů

SCHENCK, firemní literatura 1989.

6. Beneš, Š., Tomeh, E., Němeček, P.

Přejímka tiskového stroje INTAGLIOCOLOR 8

Výzkumná zpráva KST - VŠST Liberec 1992

7. Vorlíček, J.:

Spolehlivost a diagnostika výrobních strojů

ČVUT - Praha, 1991

8. Tomeh, E.:

Technická diagnostika v aplikaci na tiskové stroje

Disertační práce, VŠST Liberec 1993.