

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI  
FAKULTA STROJNÍ

ING. VLADIMÍR PATERA

TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA STROJŮ A ZAŘÍZENÍ PRO POVRCHOVÉ  
DOBÝVÁNÍ - STANOVENÍ MEZNÍCH HODNOT MECHANICKÉHO KMITÁNÍ

DISERTAČNÍ PRÁCE

LIBEREC, DUBEN 1993

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci  
fakulta strojní

Ing. Vladimír Patera

Technická diagnostika strojů a zařízení pro povrchové  
dobývání - stanovení mezních hodnot mechanického kmitání

DISERTAČNÍ PRÁCE:

obor: Konstrukce strojů a zařízení  
zaměření: Technická diagnostika  
školicel: Doc. Ing. Štěpán Beneš, CSc.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Univerzitní knihovna  
Voroněžská 1328, Liberec 1  
PSČ 461 17

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA  
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146088159

Liberec, duben 1993

645.

V289 S

## Anotace

-----

Pro stanovení provozuschopnosti strojů a zařízení jsou dnes užívány diagnostické metody. Mezi těmito metodami hraje důležitou roli vibrační diagnostika, která se zabývá měřením mechanického kmitání.

Úkolem této práce je zpracovat problematiku stanovení mezních hodnot mechanického kmitání strojů a zařízení pro povrchové dobývání. Při stanovení metodiky určování mezních hodnot se vycházelo z velkého souboru naměřených dat. Tento soubor byl získán pravidelným měřením poháněcích stanic dálkové pásové dopravy v průběhu několika let. Při řešení úkolu byly užity metody matematické statistiky.

Jako nová veličina, která hodnotí stav pohonu jako celku, byl stanoven koeficient hodnocení stavu pohonu. Tento koeficient umožňuje mezi sebou porovnávat pohony různých velikostí, typů i provedení.

Tato práce vytváří teoretický základ pro metodiku stanovení mezních hodnot mechanického kmitání a tím umožňuje objektivizovat stav provozuschopnosti strojů a zařízení.

# Obsah

-----

|     |                                                                |     |    |
|-----|----------------------------------------------------------------|-----|----|
| 1.0 | Cíle řešení                                                    | ... | 5  |
| 1.1 | Úvod                                                           | ... | 6  |
| 2.1 | Technická diagnostika strojů a zařízení pro povrchové dobývání | ... | 8  |
| 2.2 | Měření mechanického kmitání                                    | ... | 11 |
| 2.3 | Volba měřících míst                                            | ... | 14 |
| 2.4 | Význam růstu signálu                                           | ... | 17 |
| 2.5 | Stanovení mezních hodnot                                       | ... | 20 |
| 2.6 | Porovnání mezních hodnot pro jednotlivé typy pohonů            | ... | 36 |
| 2.7 | Porovnání mezních hodnot dle ČSN s naměřenými hodnotami        | ... | 39 |
| 2.8 | Posouzení celkového stavu provozuschopnosti pohonu             | ... | 42 |
| 2.9 | Stanovení mezí koeficientu hodnocení stavu                     | ... | 46 |
| 3.0 | Praktické využití                                              | ... | 56 |
| 4.0 | Závěr                                                          | ... | 62 |
|     | Použitá literatura                                             | ... | 64 |



## 1.0 Cíle řešení

---

Cílem této práce, bylo zobecnit výsledky a zkušenosti z měření mechanického kmitání na strojích a zařízeních pro povrchové dobývání a stanovit metodiku pro určování mezních hodnot. Určení optimálních mezních hodnot je předpokladem pro objektivní stanovení provozuschopnosti strojů a zařízení.

Dalším cílem bylo stanovit nezávislou veličinu, která hodnotí stav pohonu komplexně, tj. z pohledu několika měřících míst dohromady. Tato veličina byla označena jako koeficient provozuschopnosti pohohu.

Použití těchto veličin má být směřováno na provádění efektivní údržby strojů tak, aby došlo k získání velkého množství informací o strojích a hlavně informací o změnách jejich provozuschopnosti. Tyto informace pak musí vytvářet základní impuls pro provádění hlubších diagnostických měření (spektrální a cepstrální analýzy, rozběhové a doběhové charakteristiky, měření přenosových charakteristik, atd.).

## 1.1 Úvod

-----

Provozeroschopnost je komplexní vlastnost, která určuje schopnost strojního zařízení plnit provozní požadavky, při daných technických podmínkách.

Z této definice je zřejmé, že neexistuje jediná přímá metoda měření provozuschopnosti. Přesto je však nutné tuto vlastnost nějakým způsobem zachytit a kvantifikovat. K tomu je možno využít měřících metod, které měří přímoměřitelné parametry. Mezi tyto parametry můžeme zařadit např.:

- měření teplot
  - oleje,
  - chladicí kapaliny,
  - povrchové teploty strojního zařízení,
- měření stavu oleje (tribologické metody)
  - měření viskozity,
  - měření bodu tuhnutí,
  - měření bodu vzplanutí,
  - měření obsahu vody,
  - měření množství mechanických nečistot,
  - měření množství otěrových kovů (Fe, Cu),
  - měření tvaru a velikosti otěrových kovů (ferrografické metody)
- měření tlaku
  - v mazacím okruhu,
  - v chladicím okruhu,
- měření provozních otáček,
- měření sil,
- měření kroutícího momentu,
- měření výkonu,
- měření mechanického kmitání.

V tomto výčtu nejsou uvedeny zdaleka všechny možné použitelné metody. Přesto je na první pohled zřejmé, že měření některých parametrů je jednodušší a nevyžaduje žádné složité a drahé přístrojové vybavení (např. měření teploty oleje) a na straně druhé metody (např. ferrografické metody), které vyžadují poměrně drahé speciální přístrojové vybavení. Rozhodujícím momentem pro použití té které metody je její schopnost vypovědět pokud možno co nejvíce o daném stavu za-

řízení. Je to tzv. informativní schopnost metody. Některá měřicí zařízení jsou na strojních celcích namontována trvale (např. měření provozních otáček u turbin nebo měření teploty chladicí kapaliny u spalovacích motorů).

Všechny tyto metody lze společně zařadit do skupiny, která je označována jako metoda bezdemontážní diagnostiky. Tento název již vypovídá, že měření je prováděno při plném provozu strojního zařízení, a proto bezdemontážní diagnostiku lze využít k určení stavu provozuschopnosti strojního zařízení.

Měření mechanického kmitání je jednou z moderních metod bezdemontážní diagnostiky. Touto metodou lze zjišťovat stav provozuschopnosti pohybujících se strojních součástí. Pro použití této metody hovoří mnohé její výhody. Má velmi vysokou informativní schopnost, je poměrně rychlá a velmi univerzální, neboť měřicí zařízení se dá využít pro stroje různých konstrukcí a provedení. Nevýhodou jsou poněkud vyšší pořizovací náklady na měřicí techniku.

Je zřejmé, že pokud chceme zpřesnit "informaci" o stavu provozuschopnosti strojního zařízení, je nutné použít více diagnostických metod najednou.

## 2.1 Technická diagnostika strojů a zařízení pro povrchové dobývání

---

Stroje a zařízení pro povrchové dobývání se odlišují od jiných běžných strojů svojí velikostí a způsobem uložení. Proto je nutné při hodnocení jejich technického stavu uplatnit specifické přístupy.

Základním komplexem těchto strojů je technologický celek řady 2, který je označen TC2. Tento celek se skládá ze tří základních částí:

- rýpadla, např. rýpadlo KU 800 nebo SRS 2000,
- dálkové pásové dopravy (DPD), např. šíře B = 1800 mm,
- zakladače, např. ZP 6600.

K určení základních vztahů pro stanovení mezních hodnot mechanického kmitání strojů a zařízení pro povrchové dobývání byly vybrány pohony DPD. Důvodem této volby je to, že pro pohon dopravníků jsou zvoleny převodovky jednoho nebo několika málo typů a jsou zastoupeny ve velkém počtu, což umožňuje uplatnění statistického přístupu k řešení problému.

Tato práce vychází z datových souborů, které byly naměřeny na koncernovém podniku Doly a úpravny Komořany (DÚK) na závodě Důl Jan Šverma (DJŠ). Dálková pásová doprava, která je součástí technologického celku, se sestává přibližně z pěti až ze sedmi dopravníků. Pohon každého dopravníku je zajišťován poháněcí stanicí. Příklad poháněcí stanice je na obr. 1. Na této stanici mohou být dva až čtyři pohony. Na pohonech dálkové pásové dopravy na DJŠ jsou použity dva typy převodovek - OK 001224 a OK 001415A. Jedná se o třístupňové kuželočelní převodovky o výkonu 630 kW a vstupních otáčkách  $990 \text{ min}^{-1}$ . Pro pohon je použit elektromotor 1YGD 710 M-6. Příklad pohonu je na obr. 2.

Počet dopravníků na technologickém celku není pevný, neboť podle polohy rýpadla a zakladače se mění. V průběhu času, vlivem postupu těžby a postupu zakládání, dochází k přestavování, odstavování a znovu připojování dopravníků. Příklad stavu DPD k určitému datu je na obr. 3.



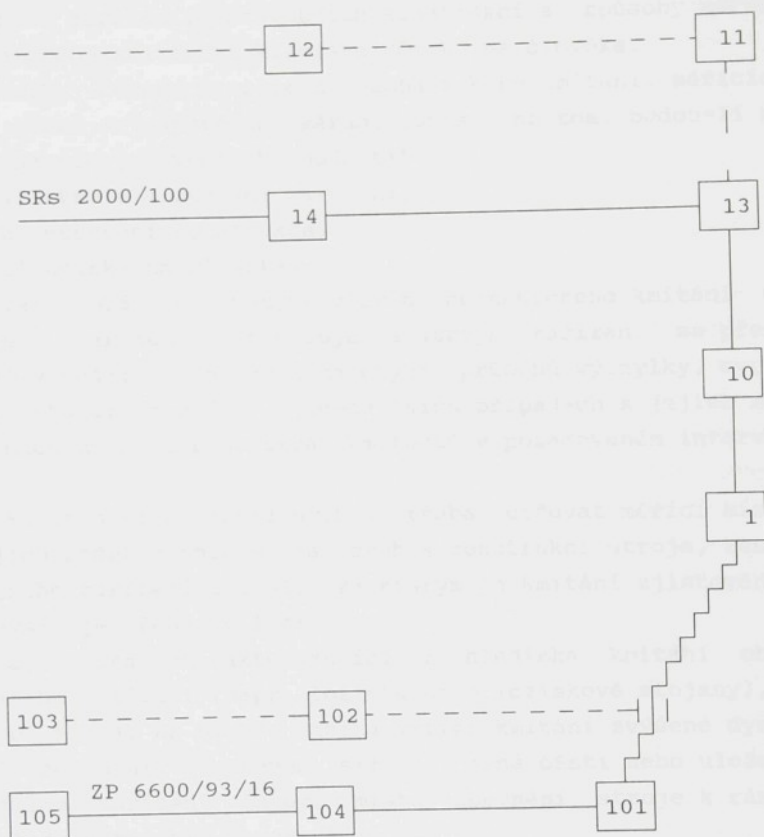


Obr. 1 Poháněcí stanice dálkové pásové dopravy



Obr. 2 Pohon na dálkové pásové dopravy

## 2.2 Metoda rozčítavckého kmitání



Obr. 3 Schéma DPD na Dole Jan Šverma - stav k 19.8.1992

Legenda: ————— pohony DPD v provozu  
 - - - - - pohony DPD mimo provoz

## 2.2 Měření mechanického kmitání

---

Norma ČSN 01 1390 "Měření mechanického kmitání" stanoví způsoby měření mechanického kmitání pro posouzení strojů, strojních zařízení, stavebních konstrukcí a způsoby měření mechanického kmitání z hlediska účinků na člověka.

Volba měřených veličin mechanického kmitání, měřících míst, směrů a uspořádání měření závisí na tom, budou-li se podle naměřených výsledků hodnotit:

- a) stroje a strojní zařízení,
- b) stavební konstrukce,
- c) účinky na člověka.

Tato práce se zabývá vlivem mechanického kmitání na stroje a zařízení. Pro stroje a strojní zařízení se přednostně vychází z měřených časových průběhů výchylky, rychlosti nebo zrychlení, v jednodušších případech z jejich maximálních hodnot, a spektra kmitočtů v požadovaném intervalu.

Na strojních zařízeních je třeba určovat měřící místa a jejich počet s ohledem na druh a konstrukci stroje, resp. strojního zařízení a účel, za kterým je kmitání zjišťováno. Především je třeba zvolit:

- a) místa charakterizující z hlediska kmitání chod strojního zařízení (např. ložiska nebo ložiskové stojany),
- b) místa, na nichž vzniká vlivem kmitání zvýšené dynamické namáhání a přenos sil na jiné části nebo uložení strojního zařízení (např. místa upevnění stroje k rámu, k základu, stavební konstrukci),
- c) místa na těch dílech strojního zařízení, jejichž nadměrným kmitáním může být ohrožena správná funkce stroje.

Kmitání v určených místech se měří zpravidla ve třech vzájemně kolmých směrech. Doporučuje se, aby jeden ze směrů měření souhlasil s předpokládaným směrem budící síly (např. u rotačních strojů leží dva směry měření v rovině kolmé na osu rotace, třetí směr měření je s touto osou rovnoběžný).

Při periodicky prováděném měření nebo při měřeních předepsaných přejímacími podmínkami musí být účelně volená měřící místa trvale označena.

Při měření mechanického kmitání na více místech

i v různých směrech na téže místě je třeba udržovat během celého měření setrvalý stav, tj. konstantně nastavené provozní podmínky (např. provozní otáčky, výkon, zatížení, tlak, teplotu). Je-li sledován vliv některého z provozních parametrů na velikost mechanického kmitání, poznamená se každá změna provozních podmínek spolu s neměřenými hodnotami do protokolu o měření.

Během měření je třeba vyloučit cizí (neměřené) zdroje vyvolávající kmitání mající za následek zkreslování naměřených hodnot. Nelze-li tyto cizí zdroje v okolí vyloučit, má být jimi vyvolané kmitání změřeno odděleně a hodnoty uvedeny do protokolu.

Norma ČSN 01 1412 "Mechanické kmitání velkých rotačních strojů s provozními otáčkami od 10 do 200  $s^{-1}$ , Ohodnocení mohutnosti kmitání v provozních podmínkách" stanoví pravidla měření a ohodnocení mohutnosti kmitání těchto strojů. Mohutnost kmitání je maximální efektivní hodnota rychlosti kmitání měřená na vybraných místech soustavy. Hodnocení je prováděno podle tabulky 1. Frekvenční rozsah, ve kterém je měřeno, je od 10 Hz do 1000 Hz.

Tabulka 1      Hodnocení mohutnosti kmitání

| Mohutnost kmitání<br>$v[mm.s^{-1}]$ | systém "stroj - základ" |              |
|-------------------------------------|-------------------------|--------------|
|                                     | tuhý                    | pružný       |
| 0.45<br>0.71<br>1.12<br>1.8         | dobrý                   | dobrý        |
| 2.8                                 |                         |              |
| 4.5                                 | uspokojivý              | uspokojivý   |
| 7.1                                 |                         |              |
| 11.2                                | neuspokojivý            | neuspokojivý |
| 18.0                                |                         |              |
| 28.0<br>71.0                        | nepřípustný             | nepřípustný  |
|                                     |                         |              |



Poznámka: V tabulce uvedené přípustné hodnoty kmitání (hodnota "uspokojivý") jsou mezní dovolené hodnoty pro trvalý provoz velkých rotačních strojů. V normách pro stroje konkrétních typů mají být tyto hodnoty zpřísněny.

Pro měření mechanického kmitání byl využit systém VIB-ROCAM 1000 od firmy Schenck, který se skládá z osobního počítače, sběrače dat a programového vybavení. Použití tohoto zařízení bylo záměrné, neboť jím je vybavena většina diagnostických pracovišť na lomových podnicích Severočeského hnědouhelného revíru.

## 2.3 Volba měřících míst

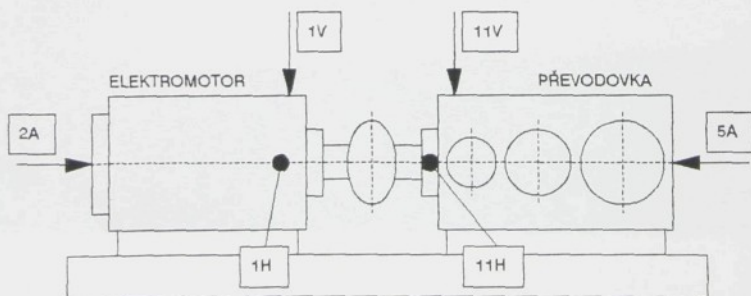
Obecně může být pro každý pohon zvolen libovolný počet měřících míst. Základními hledisky, ke kterým je nutno při volbě přihlížet jsou:

- technické hledisko: snaha, získat co nejvíce informací o stavu pohonu, tj. zvolit maximální počet měřících míst,
- ekonomické hledisko: zvolit co nejméně měřících míst, aby měření bylo co nejjednodušší a nejrychlejší, a tím také nejlevnější.

Na první pohled je zřejmé, že oba dva tyto požadavky jsou protichůdné. Výsledkem musí být kompromis. Najít jediné měřící místo, které by dokázalo dát plnohodnotnou informaci o stavu pohonu nebo jeho části, není možné. Je to způsobeno různými přenosovými charakteristikami vlastního měřeného zařízení (pohonu) a dále také vlastnostmi měřicího systému, jako např. směrovostí snímače.

Při stanovení měřících míst se vycházelo z následujících požadavků. Měřící místa volit:

- v souladu s ČSN 01 1411,
  - na té části pohonu, kde je největší pravděpodobnost poruchy,
  - tak, aby byla vhodná pro posouzení stavu montáže pohonu,
  - tam, kde je dostatečně měřitelný signál,
  - tak, aby byl zaručen bezpečný přístup k místu při měření.
- Dle těchto požadavků bylo vybráno 6 měřících míst, která jsou na obr. 4. Doporučená měřící místa s největší



Obr. 4 Měřící místa na pohonu

pravděpodobností vzniku poruchy jsou 11V a 11H pro převodovku a 1V a 1H pro elektromotor. U převodovky jsou na vstupu největší otáčky, poměrně "malá" ložiska, kuželový převod. V tomto místě dochází nejčastěji k poruchám. Doporučená místa pro posouzení vlivu nevývahy a nesouososti jsou totožná s předcházejícími. Aby byly splněny požadavky normy o měření ve třech na sebe kolmých směrech, byla tato měřicí místa ještě doplněna místy v axiálním směru. Ta byla volena s ohledem na bezpečnost obsluhy při měření na stranách vzdálených od spojky. Těchto 6 měřicích míst dobře popisuje stav mechanického chvění na pohonu. Příklad připevnění snímače na měřicím šroubu pomocí magnetu v měřicím místě 11V je na obr. 5. Volný šroub představuje měřicí místo 11H.



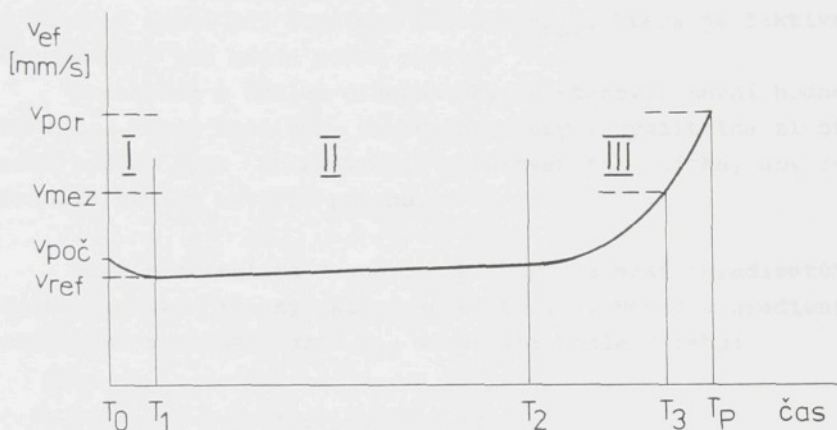
Obr. 5 Měřicí místa na převodovce

Tři měřicí místa na převodovce (11V, 11H a 5A) byla stanovena ve spolupráci s podnikem Transporta Chrudim. Převodovky byly vybaveny měřicími šrouby a bylo na nich prováděno kontrolní měření mechanického kmitání při ukončení zkušebního provozu a předávání pohonů do trvalého provozu pracovníky podniku Transporta. Tato trvale označená místa jsou nadále využívána pro diagnostická měření.

Značení měřicích míst je provedeno podle [3], kde číslice označují rovinu měření (např. 11) a písmeno směr měření (V - vertikálně, H - horizontálně, A - axiálně).

## 2.4 Význam růstu signálu

Úroveň signálu mechanického kmitání se v průběhu životnosti pohonu mění, a to přibližně podle tzv. "vanové křivky", která je zobrazena na obr. 6.



Obr. 6 Vanová křivka

Na této křivce jsou patrné 3 základní oblasti:

- I - záběh,
- II - oblast bezpečného provozu,
- III - oblast rychlého zvyšování úrovně kmitání, vedoucí k havárii pohonu.

V oblasti I dochází k záběru pohonu, a tím i ke snížení úrovně kmitání na hodnotu  $v_{ref}$  (referenční - výchozí). Na obr. 6 je této úrovně dosaženo v čase  $T_1$ . V provozní praxi je však obtížné tuto dobu přesně stanovit, protože záběh je poměrně rychlý. Lze stanovit tuto úmluvu: hodnotu mechanického kmitání pohonu v čase  $T_0 = 0$  (uvedení pohonu do provozu) lze brát jako údaj počáteční  $v_{poc}$  a hodnotu kmitání při následujícím měření ( $T_1 = 4 - 6$  týdnů) lze brát jako údaj referenční  $v_{ref}$ .

Oblast II je charakterizována přímkovým průběhem, kde



přírůstek signálu mechanického kmitání je konstantní, tj. poměrně velmi malý nebo dokonce i nulový. Tato oblast je z hlediska životnosti pohonů nejdelší a končí časem  $T_2$ .

Po dosažení času  $T_2$  dochází k rychlejšímu nárůstu signálu mechanického kmitání a tím i k rychlejšímu nárůstu celkové úrovně signálu mechanického kmitání, která v čase  $T_3$  dosáhne hodnoty  $v_{mez}$  (mezni). To je hodnota kmitání, nad jejíž úrovní provoz strojních zařízení směřuje k havárii. K havárii dojde při dosažení hodnoty  $v_{por}$ , která je fiktivní (po havárii již nejde pohon měřit).

Problémem a úkolem diagnostiky je stanovit mezní hodnotu  $v_{mez}$ , která musí být tak vysoká, aby i využitelná životnost pohonu byla co nejvyšší, a zároveň tak nízká, aby zabránila vzniku havárie pohonu.

Když překreslíme "vanovou křivku" na graf "gradientů", dostaneme tvar křivky, který je na obr. 7. Hodnota gradientu efektivní rychlosti grad  $v_{ef}$  se počítá podle vztahu:

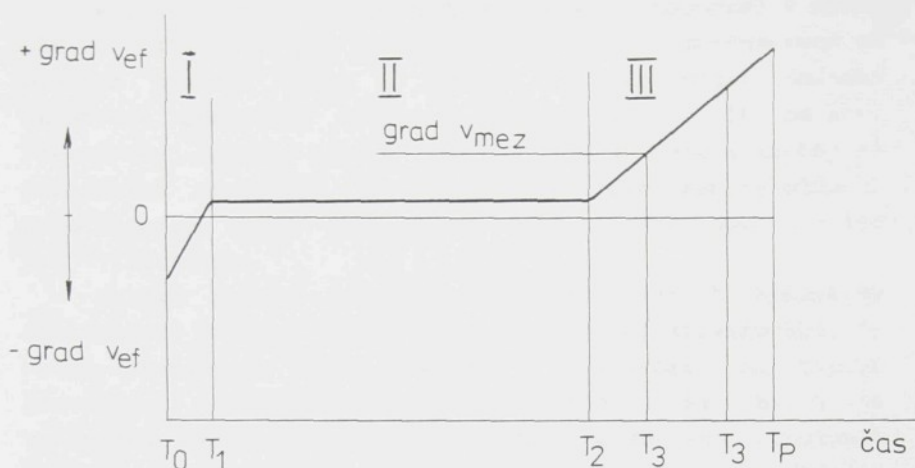
$$\text{grad } v_{ef(i)} = \frac{v_{ef(i+1)} - v_{ef(i)}}{T_{(i+1)} - T_{(i)}} \cdot 30 ,$$

kde  $T_{(i+1)}$  ... počet dnů od počátku měření při  $i+1$  -ním měření,  
 $T_{(i)}$  ... počet dnů od počátku měření při  $i$  -tém měření,  
 $v_{ef(i+1)}$  ... hodnota efektivní rychlosti kmitání při  $i+1$  -ním měření,  
 $v_{ef(i)}$  ... hodnota efektivní rychlosti kmitání při  $i$  -tém měření.

Hodnota grad  $v_{ef}$  udává změnu efektivní rychlosti kmitání, přepočtenou na dobu jednoho měsíce (30 dnů).

Na obr. 7 jsou patrné stejné oblasti jako na obr. 6, které lze charakterizovat:

- I - gradient  $v_{ef}$  je záporný,
- II - gradient  $v_{ef}$  je velmi malý (kladný) nebo dokonce nulový,
- III - gradient  $v_{ef}$  neustále roste.



Obr. 7 Křivka gradientů

Úkolem je stanovit  $\text{grad } v_{mez}$  (mezni), při jehož překročení je pravděpodobná blízkost se porucha.

Pokud budeme předpokládat, že měření je prováděno v pravidelném intervalu, pak stačí pro přibližné stanovení gradientu výraz:

$$\text{grad } v_{ef(i)} = v_{ef(i+1)} - v_{ef(i)}$$

Tím se výpočet podstatně zjednoduší.

## 2.5 Stanovení mezních hodnot

---

Při stanovení mezních hodnot je možné vycházet z normy ČSN 01 1412, kde pro velké rotační stroje, provozované na pružném systému stroj - základ, je jako mezní hodnota stanovena efektivní rychlost kmitání  $v_{ef} = 18 \text{ mm.s}^{-1}$ . Převodovky dálkové pásové dopravy, které jsou umístěny na poháněcích stanicích, lze zařadit do této skupiny strojů, neboť jejich výkon je  $P = 630 \text{ kW}$  a otáčky jsou  $n = 990 \text{ min}^{-1}$  ( $16.5 \text{ Hz}$ ).

Dalším možným způsobem stanovení mezních hodnot je statistický přístup. Abychom tuto metodu objektivizovali, je nutné stanovovat mezní hodnoty v závislosti na typech převodovek pro každé měřicí místo zvlášť. Na obr. 8 je znázorněn průběh středních hodnot efektivní rychlosti kmitání  $v_{ef}$  pro měřicí místa 11V, 11H a 5A pro převodovku typu OK 001415. Zde jsou zachyceny výsledky z více než tříletých měření. Hodnoty, které jsou oznčeny jako AKT (aktuální), jsou střední hodnoty počítané z naměřených hodnot v den měření. Hodnoty, které jsou označeny jako STŘ (střední), jsou vypočteny ze všech naměřených hodnot od počátku sledování. Z průběhů jednotlivých křivek je patrné, že na počátku diagnostických měření došlo k podstatnému snížení středních hodnot  $v_{ef}$  ve všech třech uvedených měřicích místech. Po roce sledování, tj. asi od poloviny roku 1990, se již střední hodnoty  $v_{ef}$  podstatně nemění. Výrazné snížení hodnot  $v_{ef}$  během prvního roku sledování lze přičíst na vrub zavedení diagnostických měření, neboť byly odstraněny hrubé nedostatky, při kterých byly pohony provozovány. Jednalo se konkrétně o ustavení a vyvážení pohonů.

Střední hodnoty  $v_{ef}$  však ze statistického hlediska nedávají úplný obrázek o naměřených hodnotách. Proto byly sestaveny histogramy jednotlivých měřicích míst, které jsou na obr. 9. Z uvedených histogramů vyplývá, že součet ploch do střední hodnoty je větší než 50%. To charakterizuje, že se nejedná o klasické Gaussovo rozdělení. V tabulce 2 jsou uvedeny vypočtené střední hodnoty efektivní rychlosti kmitání v  $[\text{mm/s}]$  pro typy převodovek OK 001415A a OK 001224 a zároveň procenta naměřených hodnot do střední hodnoty.

# OK 001415 - STŘEDNÍ HODNOTY Vef [mm/s]

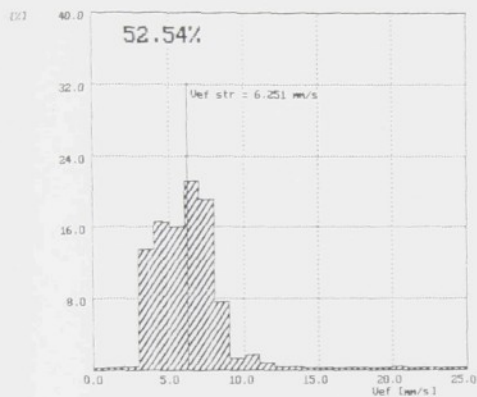
MĚŘÍCÍ MÍSTA: 11V, 11H, 5A



Obr. 8

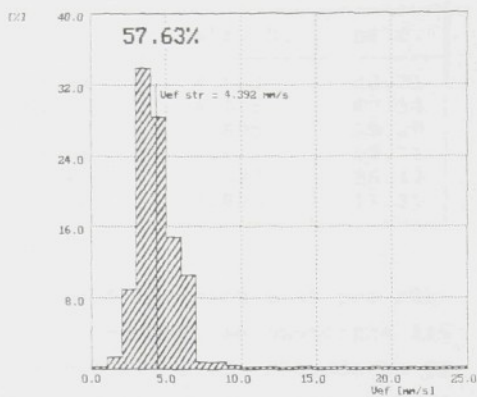
# DJS-TC2 PVD OK 001415

HISTOGRAM ČETNOSTI MĚŘENÍ V MĚŘICÍM MÍSTĚ 11V  
efektní rychlost kmitání  $U_{ef}$  (mm/s)



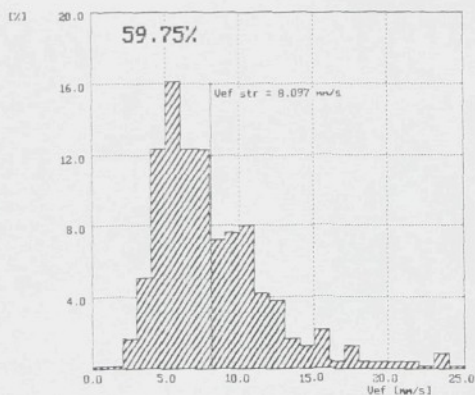
# DJS-TC2 PVD OK 001415

HISTOGRAM ČETNOSTI MĚŘENÍ V MĚŘICÍM MÍSTĚ 11H  
efektní rychlost kmitání  $U_{ef}$  (mm/s)



# DJS-TC2 PVD OK 001415

HISTOGRAM ČETNOSTI MĚŘENÍ V MĚŘICÍM MÍSTĚ 5A  
efektní rychlost kmitání  $U_{ef}$  (mm/s)



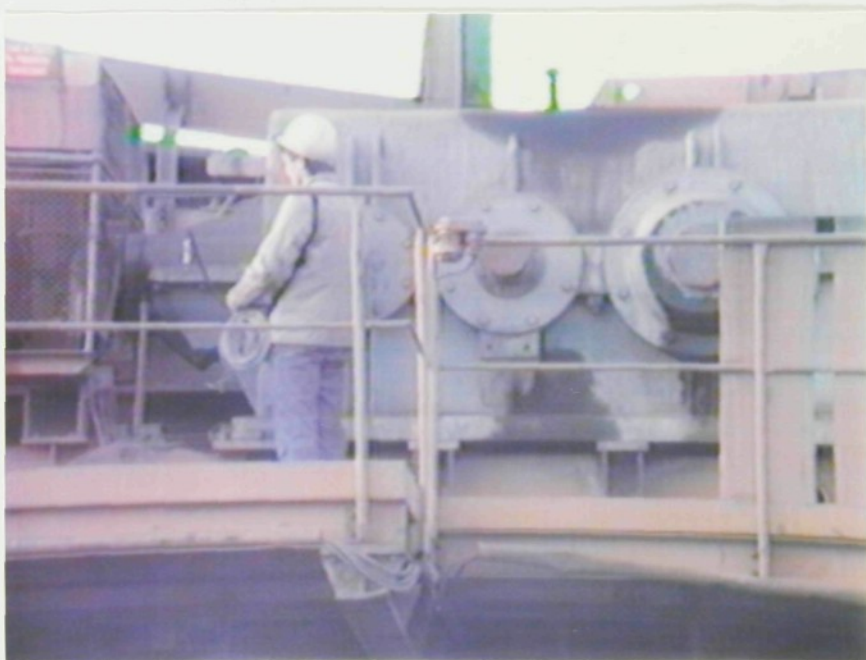
Obr. 9 Histogramy četností naměřených hodnot pro pohon s převodovkou OK 001415 v měřicích místech 11V, 11H a 5A



Tabulka 2 Vypočtené střední hodnoty  $v_{ef}$  a procenta četností naměřených hodnot do střední hodnoty

| měřicí místo | pohon s převodovkou typu |       |           |       |
|--------------|--------------------------|-------|-----------|-------|
|              | OK 001415A               |       | OK 001224 |       |
|              | stř. h.                  | proc. | stř. h.   | proc. |
| 11V          | 6.251                    | 52.54 | 4.083     | 60.71 |
| 11H          | 4.392                    | 57.54 | 4.175     | 62.14 |
| 5A           | 8.097                    | 59.75 | 3.805     | 59.29 |
| 1V           | 4.650                    | 54.04 | 3.617     | 55.71 |
| 1H           | 2.932                    | 60.43 | 2.427     | 56.43 |
| 2A           | 3.378                    | 64.68 | 2.829     | 63.31 |

Z porovnání středních hodnot stejných měřicích míst pro různé typy převodovek vyplývá, že tyto hodnoty se podstatně liší, a to zvláště v měřicích místech 11V a 5A. Převodovka OK 001415A je převodovka s tzv. "krkem" (viz. obr. 10). Tuhost



Obr. 10 Převodovka OK 001415A

převodovky proti působení sil je nižší (pohyblivost je vyšší). To má za následek i přenos větších deformací přes spojku na elektromotor, což potvrzují střední hodnoty, které jsou na pohonu s převodovkou OK 001415A vyšší pro všechna měřicí místa než u pohonu s převodovkou OK 001224. Z toho vyplývá, že je nutno generovat mezní hodnoty vždy pro každý konkrétní typ pohonu zvlášť.

Byla navržena rovnice funkce rozdělení (hustota pravděpodobnosti), která je modifikací Bose-Einsteinovy statistiky, ve tvaru

$$p_x = \frac{n_x}{N} = \frac{K}{N} \cdot \frac{x^5}{\exp(x/F)-1} \quad (1),$$

kde  $n_x$  .... počet naměřených hodnot na hladině  $x$ ,  
 $N$  .... počet měření,  
 $K, F$  .. konstantní koeficienty,  
 $x$  ....  $v_{ef}$  [mm/s].

Musí platit, že střední hodnota  $v_{str}$ , která je dána souborem naměřených hodnot, je i střední hodnotou funkce rozdělení  $x_{str}$ .

$$v_{str} = \frac{\sum n_x \cdot x}{\sum n_x} = x_{str}.$$

Protože funkce rozdělení je funkce normovaná, musí platit pro počty naměřených hodnot

$$\sum n_x = N$$

respektive pro hustotu pravděpodobnosti

$$\sum p_x = 1 \quad \text{nebo} \quad 100 \, \%.$$

Vzhledem k tomu, že hodnoty  $X$  a  $N$  jsou dány souborem naměřených hodnot, lze vypočítat pro daný soubor hodnoty koeficientů  $K$  a  $F$ . Příklady rozdělovacích funkcí jsou na

obr. 11.

Tento typ statistiky má proti Gaussovu rozdělení uvedené přednosti:

- maximum funkce rozdělení (maximální počet naměřených hodnot na dané úrovni) je vlevo od střední hodnoty, což lépe popisuje skutečnost,
- vylučuje naměření záporných hodnot, což Gaussovo rozdělení nevyklučuje a ve skutečnosti nelze naměřit,
- pravděpodobnost naměření hodnot blízkých nule je též blízká nule, kdežto u Gaussova rozdělení může být libovolná.

Stanovení mezních hodnot podle této statistiky lze provést následujícím způsobem. Je nutno stanovit s jakou pravděpodobností při měření najdeme pohon s blížící se poruchou. Je možno vyjít z následující úvahy, která byla potvrzena provozními pracovníky měřeného technologického celku:

- počet převodovek umístěných na technologickém celku je přibližně 20,
  - počet měření realizovaných za 1 rok je v průměru 10 krát na jednom pohonu (průměrný interval 5 týdnů),
  - 4 převodovky jsou vyměněny ročně pro blížící se poruchu.
- Z toho vyplývá, že na 200 provedených měření jsou 4 překročení mezní hodnoty, tj. 2 procenta. Pak pravděpodobnost výskytu poruchy mezi naměřenými hodnotami je právě 2 procenta. Musí tedy platit:

$$2 \% = \sum_{0}^{\infty} p_x - \sum_{0}^{\frac{x_{98\%}}{x_{98\%}}} p_x = \sum_{\frac{x_{98\%}}{x_{98\%}}}^{\infty} p_x ,$$

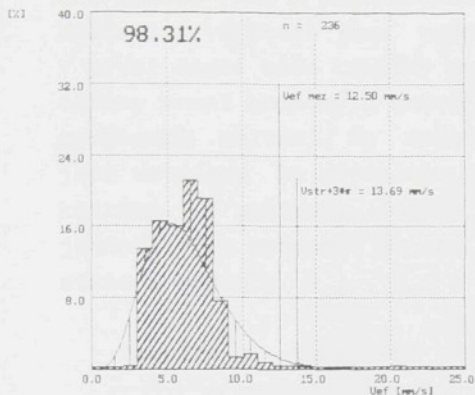
kde  $p_x$  ... hustota pravděpodobnosti funkce rozdělení dané rovnicí (1).

Úkolem je určit hodnotu  $x_{98\%}$ . Řešením této rovnice je výraz

$$x_{98\%} = 2 \cdot x_{str} .$$

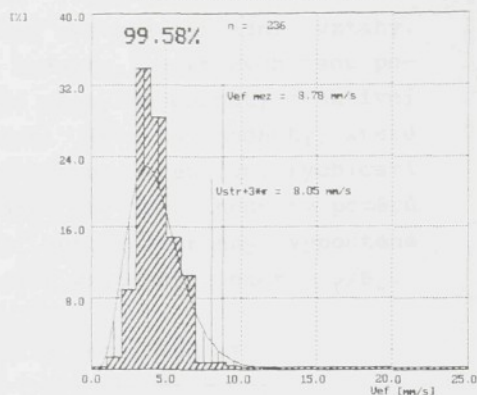
# DJS-TC2 PUD OK 001415

HISTOGRAM ČETNOSTI MĚŘENÍ V MĚŘICÍM MÍSTĚ 11V  
efektivní rychlost kmitání U<sub>ef</sub> [mm/s]



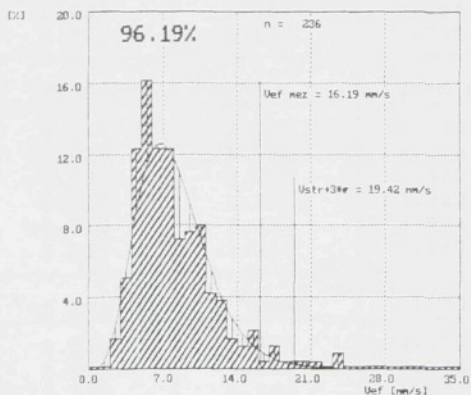
# DJS-TC2 PUD OK 001415

HISTOGRAM ČETNOSTI MĚŘENÍ V MĚŘICÍM MÍSTĚ 11H  
efektivní rychlost kmitání U<sub>ef</sub> [mm/s]



# DJS-TC2 PUD OK 001415

HISTOGRAM ČETNOSTI MĚŘENÍ V MĚŘICÍM MÍSTĚ 5A  
efektivní rychlost kmitání U<sub>ef</sub> [mm/s]



Obr. 11

Histogramy četností naměřených hodnot  
s rozdělovací křivkou pro měřicí místa  
11V, 11H a 5A

Pro každé měřicí místo, lze stanovit mezní hodnotu, která je dána jako

$$v_{mez} = 2 \cdot v_{str}$$

(2)

Pro pohony DPD s převodovkami OK 001415 byla sestavena tabulka 3, ve které jsou vypočteny některé základní vztahy. V první části této tabulky jsou hodnoty, ze kterých jsou počítány mezní hodnoty a směrodatná odchylka hodnoty efektivní rychlosti kmitání. Ve druhé části jsou to hodnoty, které jsou vztaženy ke gradientu (přírůstku) efektivní rychlosti kmitání. V poslední (dolní) části to jsou hodnoty poměrů jednotlivých hodnot. Na obr. 12 jsou znázorněny vypočtené střední hodnoty  $v_{ef}$ ,  $S_v$  a jejich vzájemný poměr  $v_{ef}/S_v$ .

Tabulka 3 Vypočtené střední a mezní hodnoty

| Měřicí místo | Střední hodnota   | Směrodatná odchylka | Mezní hodnota     |
|--------------|-------------------|---------------------|-------------------|
|              | $v_{ef\ str}$     | $S_v$               | $v_{ef\ mez}$     |
| 11V          | 6.251             | 2.478               | 12.502            |
| 11H          | 4.392             | 1.221               | 8.784             |
| 5A           | 8.097             | 3.775               | 16.194            |
| 1V           | 4.650             | 1.270               | 9.300             |
| 1H           | 2.932             | 1.051               | 5.864             |
| 2A           | 3.378             | 1.117               | 6.756             |
|              | $v_{grad\ str}$   | $S_{grad}$          | $v_{grad\ mez}$   |
| 11V          | 0.080             | 2.021               | 6.143             |
| 11H          | -0.026            | 1.088               | 3.238             |
| 5A           | -0.176            | 2.898               | 8.518             |
| 1V           | 0.019             | 1.301               | 3.922             |
| 1H           | -0.019            | 1.321               | 3.944             |
| 2A           | 0.017             | 1.210               | 3.647             |
|              | $v_{ef\ str}/S_v$ | $S_v/S_{grad}$      | $v_{ef}/v_{grad}$ |
| 11V          | 2.523             | 1.226               | 2.035             |
| 11H          | 3.597             | 1.122               | 2.713             |
| 5A           | 2.115             | 1.303               | 1.901             |
| 1V           | 3.661             | 0.976               | 2.371             |
| 1H           | 2.790             | 0.796               | 1.487             |
| 2A           | 3.024             | 0.923               | 1.852             |
| průměr       | 2.957             | 1.058               | 2.060             |



# POHONY DPD S PŘEVODOVKAMI OK 001415

## VYPOČTENÉ STŘEDNÍ HODNOTY Vef a Sv



Obr. 12

Střední hodnota tohoto poměru je, jak vyplývá z tabulky, 2.957. Je zřejmé, že se tato hodnota pohybuje okolo hodnoty 3. Pro další výpočty bude uvažován poměr  $v_{str}/S_v = 3$ .

Na obr. 13 jsou znázorněny hodnoty  $v_{ef}$  mez,  $v_{grad}$  mez,  $S_v$ ,  $S_{grad}$  a poměry  $v_{ef}$  mez/ $v_{grad}$  mez a  $S_v/S_{grad}$ . Z tabulky 3 vyplývá, že platí pro střední poměr  $S_v/S_{grad} = 1.058$ , dále lze pro výpočet uvažovat  $S_v/S_{grad} = 1$ . Pro střední poměr  $v_{ef}$  mez/ $v_{grad}$  mez = 2.060, pro výpočet lze dále uvažovat  $v_{ef}$  mez/ $v_{grad}$  mez = 2.

Protože byly stanoveny přibližné vztahy mezi středními hodnotami a rozptyly, lze mezi sebou porovnat i oba dva statistické přístupy. Na obr. 14 jsou tři příklady, které jsou normovány na mezní hodnotu 18 mm/s:

- v prvním příkladu je poměr  $v_{str}/S_v = 3$ . Mezní hodnota je vypočtena

$$v_{mez} = v_{str} + 3 \cdot S_v = 2 \cdot v_{str} = 2 \cdot 9 = \underline{18 \text{ mm/s.}}$$

Gaussovo rozdělení má v tomto případě poněkud vyšší maximální hodnotu a meze jsou shodné,

- v druhém příkladě je poměr  $v_{str}/S_v = 3.46$ . Mezní hodnota je vypočtena

$$\begin{aligned} v_{mez} &= v_{str} + 3 \cdot S_v = v_{str} + \frac{3}{3.46} v_{str} = 1.867 v_{str} = \\ &= 1.867 \cdot 9 = \underline{16.8 \text{ mm/s.}} \end{aligned}$$

Gaussovo rozdělení má podstatně vyšší maximální hodnotu a mez je nižší (snížení směrodatné odchylky  $S_v = 2.6$ ),

- ve třetím příkladě je poměr  $v_{str}/S_v = 2.65$ . Mezní hodnota je vypočtena

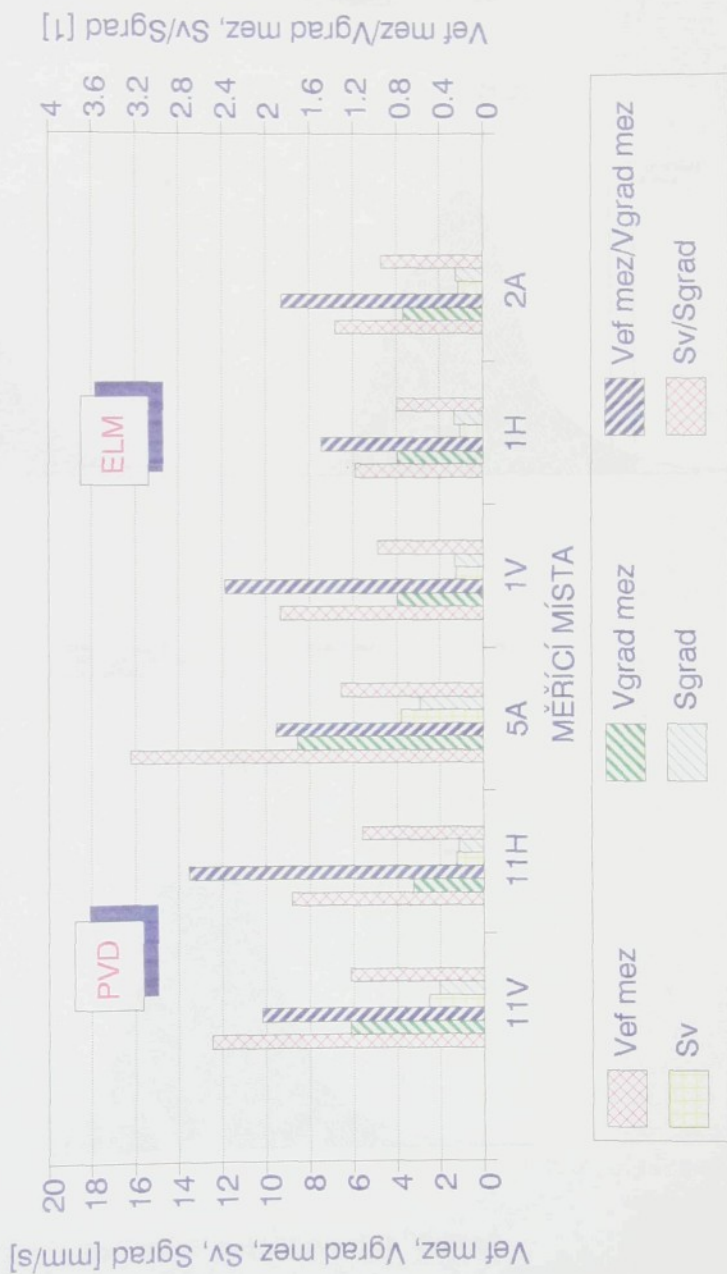
$$\begin{aligned} v_{mez} &= v_{str} + 3 \cdot S_v = v_{str} + \frac{3}{2.65} v_{str} = 2.132 v_{str} = \\ &= 2.132 \cdot 9 = \underline{19.2 \text{ mm/s.}} \end{aligned}$$

Gaussovo rozdělení má shodnou maximální hodnotu a mez je poněkud vyšší (zvýšení směrodatné odchylky  $S_v = 3.4$ ).

Z uvedených příkladů vyplývá, jakým způsobem ovlivňuje velikost směrodatné odchylky samotnou mez u klasického Gaussova rozdělení.

# POHONY DPD S PŘEVODOVKAMI OK 001415

## VYPOČTENÉ HODNOTY POMĚRŮ



Obr. 13

STREDNI Uef [mm/s] 9  
 SM. ODH. STR. Uef [mm/s] 3  
 PRAKDEPODOBENOST 0.98

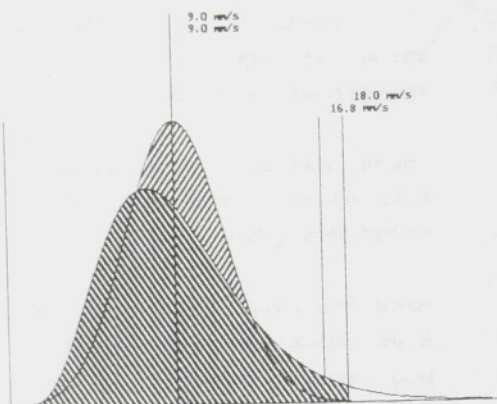
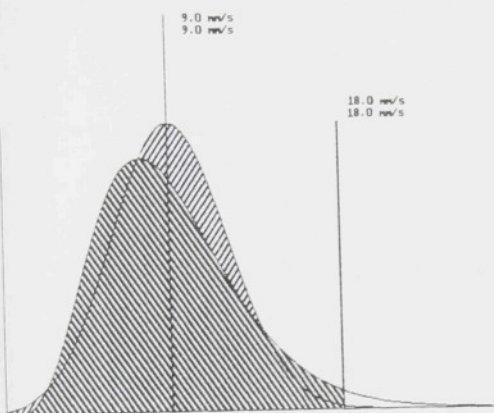
KUANTIL Uef

2.98

STREDNI Uef [mm/s] 9  
 SM. ODH. STR. Uef [mm/s] 2.6  
 PRAKDEPODOBENOST 0.98

KUANTIL Uef

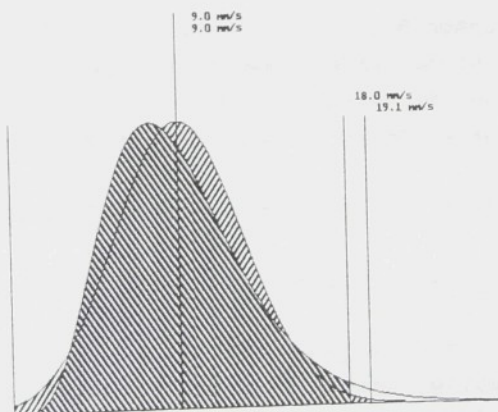
2.99



STREDNI Uef [mm/s] 9  
 SM. ODH. STR. Uef [mm/s] 3.4  
 PRAKDEPODOBENOST 0.98

KUANTIL Uef

2.98



Obr.14

Porovnání rozdělovacích funkcí



U druhého typu rozdělení je mezní hodnota stanovena výhradně podle střední hodnoty.

Pokud chceme stanovit s jakou pravděpodobností je určena mez (obr. 15), lze k tomu přistupovat následovně:

- lze předpokládat, že směrodatná odchylka, která byla určena jako  $v_{str}/3$ , může popisovat i mezní hodnotu,
- pak pravděpodobnost 0.5 (50 %) právě popisuje mezní hodnotu a velikost plochy pod křivkou (pravděpodobnost rozdělení) je 98.13 %,
- jestliže zvolíme nízkou pravděpodobnost dosažení meze, např. 0.008 (0.8 %), pak tomu odpovídá mezní hodnota 10.8 mm/s, tj. poměr  $10.8/18 = 0.6$  a velikost plochy pod křivkou (pravděpodobnost rozdělení) je 72.74 %,
- jestliže zvolíme vysokou pravděpodobnost dosažení meze, např. 0.99 (99%), pak tomu odpovídá mezní hodnota 25.0 mm/s, tj. poměr  $25/18 = 1.388$ , a velikost plochy pod křivkou (pravděpodobnost rozdělení) je 99.95 %.

Z těchto úvah vyplývá, že pokud pro dané měřicí místo, které je normované na nějakou hodnotu, např. na  $v_{ef}$  mez = 18 mm/s, a naměřená hodnota je např.  $v_{ef} = 25.0$  mm/s, pak lze s 99 procentní pravděpodobností říci, že naměřená hodnota přesahuje mez. Je zde vysoká pravděpodobnost výskytu nějaké anomálie, tj. vysoká pravděpodobnost blížící se poruchy.

Naopak, naměříme-li v nějakém místě hodnotu  $v_{ef} = 10.8$  mm/s, je pravděpodobnost dosažení meze pouze 0.8 procenta. Pravděpodobnost výskytu nějaké anomálie je tedy velmi malá. To charakterizuje hodnotu, která je velmi "bezpečná".

Pro výpočet meze gradientu je použit vztah

$$v_{grad\ mez} = v_{grad\ str} + 3 \cdot S_{grad}$$

Příklady vypočtených gradientů jsou na obr. 16. Histogramy četností jednotlivých měřicích míst ukazují, že pro gradienty je charakteristické Gaussovo rozdělení. Střední hodnota  $v_{grad\ str}$  se blíží k nule. Pak je v podstatě gradient určen výrazem

$$v_{grad\ mez} = 3 \cdot S_{grad}$$



STŘEDNÍ Uef [mm/s]  
PRÁVĚPODOBNOST

9  
0.5

KVANTIL Uef  
PRÁVĚP. ROZDĚLENÍ

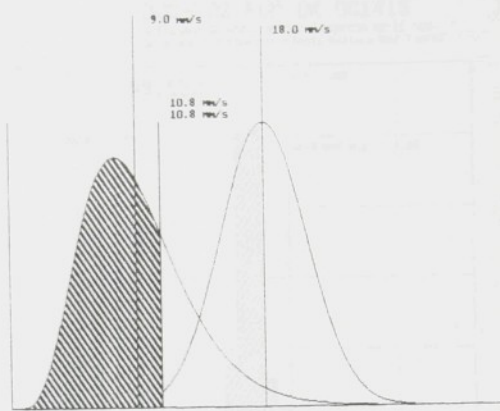
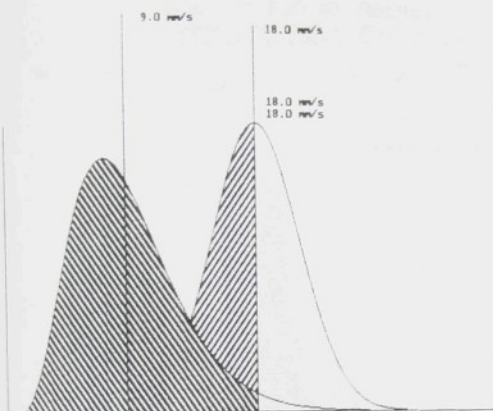
0.01  
0.7813

STŘEDNÍ Uef [mm/s]  
PRÁVĚPODOBNOST

9  
0.008

KVANTIL Uef  
PRÁVĚP. ROZDĚLENÍ

-2.41  
0.7274

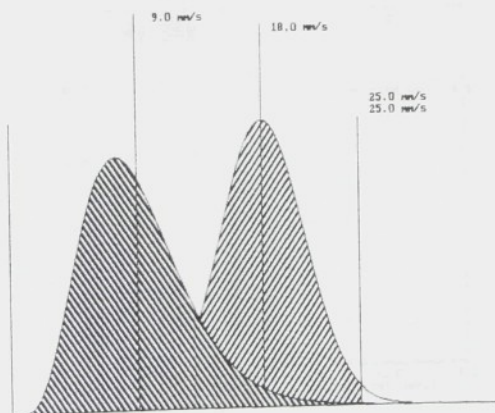


STŘEDNÍ Uef [mm/s]  
PRÁVĚPODOBNOST

9  
0.99

KVANTIL Uef  
PRÁVĚP. ROZDĚLENÍ

2.32  
0.9995

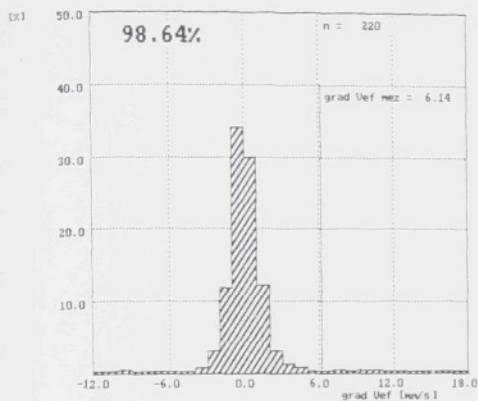


Obr. 15

Stanovení mezních hodnot s určitou  
pravděpodobností

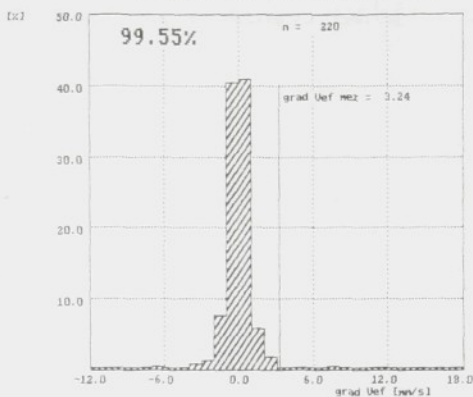
# DJS-TC2 PUD OK 001415

HISTOGRAM ČETNOSTI MĚŘENÍ V MĚŘICÍM MÍSTĚ 11V  
gradient efektivní rychlosti kmitání U<sub>ef</sub> [mm/s]



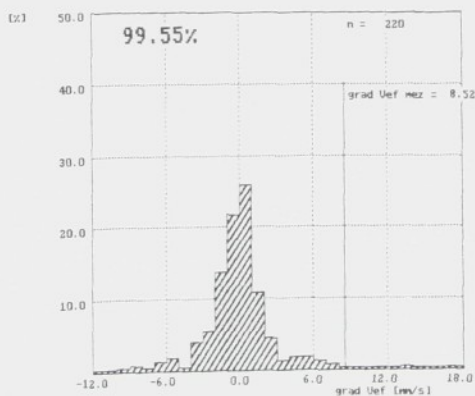
# DJS-TC2 PUD OK 001415

HISTOGRAM ČETNOSTI MĚŘENÍ V MĚŘICÍM MÍSTĚ 11H  
gradient efektivní rychlosti kmitání U<sub>ef</sub> [mm/s]



# DJS-TC2 PUD OK 001415

HISTOGRAM ČETNOSTI MĚŘENÍ V MĚŘICÍM MÍSTĚ 5A  
gradient efektivní rychlosti kmitání U<sub>ef</sub> [mm/s]



Obr. 16

Histogramy četností gradientů naměřených hodnot pro měřicí místa 11V, 11H a 5A

Pokud využijeme vztahy z tab. 3, podle kterých  $S_v/S_{grad} = 1$  a  $v_{str}/S_v = 3$  lze psát

$$v_{grad\text{ mez}} = 3 \cdot S_v = v_{str}$$

Mezní hodnota přírůstku je rovna střední hodnotě efektivní rychlosti kmitání nebo, budeme-li ji vztahovat k mezní hodnotě, pak jedné polovině mezní efektivní rychlosti kmitání.

## 2.6 Porovnání mezních hodnot pro jednotlivé typy pohonů

Porovnání mezních hodnot pohonů s převodovkou OK 001415 a OK 001224 je uvedeno v tab. 4. Hodnoty v závorkách pod typem převodovky jsou počty měření, ze kterých byla mezní hodnota stanovena. Jak již bylo uvedeno, podstatný vliv na mezní velikost efektivní rychlosti kmitání ve frekvenčním pásmu od 10 do 1000 Hz má tuhost celé soustavy, která je dána mezi jiným vlastní konstrukcí převodovky. Vliv konstrukce

Tabulka 4 Porovnání mezních hodnot

| Měřicí místo | Mezní hodnota<br>$v_{ef}$ mez [mm/s] |                    | Poměr<br>mezních<br>hodnot |
|--------------|--------------------------------------|--------------------|----------------------------|
|              | OK 001415<br>(236)                   | OK 001224<br>(140) |                            |
| 11V          | 12.502                               | 8.165              | 1.531                      |
| 11H          | 8.784                                | 8.350              | 1.052                      |
| 5A           | 16.194                               | 7.609              | 2.128                      |
| 1V           | 9.300                                | 7.234              | 1.286                      |
| 1H           | 5.864                                | 4.854              | 1.208                      |
| 2A           | 6.756                                | 5.658              | 1.194                      |

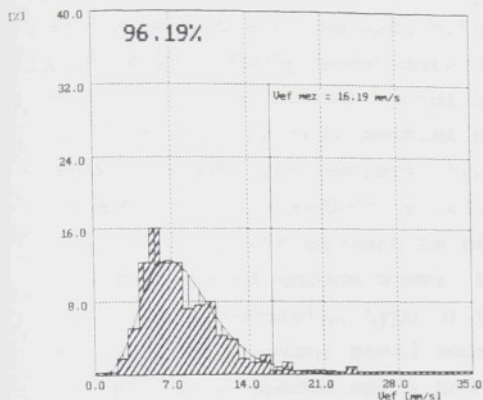
převodovky je zřejmý z údajů uvedených v tabulce. Konstrukce poháněcích stanic pro oba typy převodovek je v podstatě shodná. Typ použitého elektromotoru je shodný, spojka je též shodná. Jediný zásadní rozdíl je tedy v typu převodovky. Vzájemné ovlivnění převodovky a elektromotoru vyplývá ze skutečnosti, že u typu převodovky OK 001415 jsou hodnoty mechanického kmitání v měřicích místech na elektromotoru přibližně o 20 % vyšší.

Největší rozdíly vypočtených mezních hodnot jsou v měřicích místech 11V a 5A. Porovnání histogramů naměřených hodnot v měřicím místě 5A je na obr. 16. Oba statistické soubory jsou popsány stejnou rozdělovací funkcí, přesto rozdíly jsou zásadní. To potvrzuje názor, že pro každý typ pohonu je nutno stanovit vlastní mezní hodnotu.

Samozřejmě lze generovat mezní hodnotu pro dané měřicí místo, která není závislá na typu pohonu. Soubor, který vznikne, je na obr. 17 a na první pohled vypadá

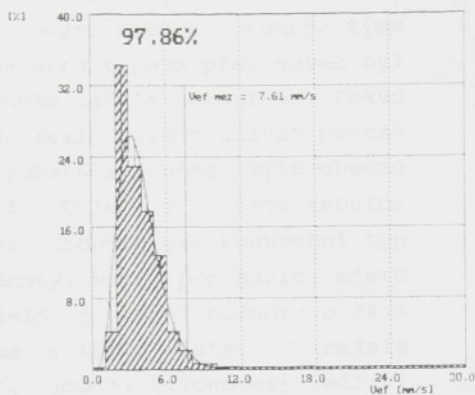
# DJS-TC2 PVD OK 001415

HISTOGRAM DETNOSTI MERENI V MERICIM MISTE 5A  
efektivni rychlost kmitani Uef [mm/s]



# DJS-TC2 PVD OK 001224

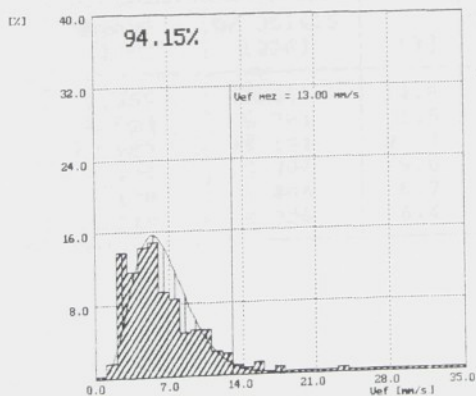
HISTOGRAM DETNOSTI MERENI V MERICIM MISTE 5A  
efektivni rychlost kmitani Uef [mm/s]



Obr. 16 Porovnání histogramů naměřených hodnot  
v měřicím místě 5A

# DJS-TC2

HISTOGRAM DETNOSTI MERENI V MERICIM MISTE 5A  
efektivni rychlost kmitani Uef [mm/s]



Obr. 17 Histogram všech naměřených hodnot  
v měřicím místě 5A



statisticky poměrně dobře. Nutno však podotknout, že při výpočtu této mezní hodnoty jsou brány i četnosti výskytu počtů měření na jednotlivých typech převodovek. Protože měření na převodovkách typu OK 001415 je podstatně víc, je obecná mezní hodnota bližší mezní hodnotě tohoto typu převodovky. Kdyby počet měření na obou typech převodovek byl stejný, pak by obecná mezní hodnota ležela uprostřed. Pokud je malý rozdíl mezi mezními hodnotami, lze využívat obecné mezní hodnoty pro některé typy pohonů společně. Tyto obecné hodnoty jsou uvedeny v tab. 5. Dále je v této tabulce uvedeno o kolik procent se mezní hodnota pro konkrétní typ pohonu liší od obecné mezní hodnoty. Např. pro měřicí místo 5A a pro převodovku typu OK 001415 je mezní hodnota o 24.4 % vyšší než obecná mezní hodnota v tomto místě. V krajním případě lze obecné mezní hodnoty pro elektromotory (měřicí místa 1V, 1H a 2A) používat bez rozlišení typu pohonu, neboť největší rozdíl je přibližně 15 %. Obecně je však výhodnější oddělovat od sebe jednotlivé typy pohonů.

Tabulka 5 Porovnání mezních hodnot

| Měřicí místo | Mezní hodnota<br>v <sub>ef</sub> mez [mm/s] |                    |      |                    |       |
|--------------|---------------------------------------------|--------------------|------|--------------------|-------|
|              | obecná<br>(376)                             | OK 001415<br>(236) | [%]  | OK 001224<br>(140) | [%]   |
| 11V          | 10.887                                      | 12.502             | 14.8 | 8.165              | -25.0 |
| 11H          | 8.623                                       | 8.784              | 1.5  | 8.350              | - 3.2 |
| 5A           | 12.997                                      | 16.194             | 24.4 | 7.609              | -41.5 |
| 1V           | 8.529                                       | 9.300              | 9.0  | 7.234              | -15.2 |
| 1H           | 5.498                                       | 5.864              | 6.7  | 4.854              | -11.7 |
| 2A           | 6.348                                       | 6.756              | 6.4  | 5.658              | -10.9 |

## 2.7 Porovnání mezních hodnot dle ČSN s naměřenými hodnotami

Kvocient mezi jednotlivými stupni hodnocení v normě ČSN je přibližně 0.4. Z toho vyplývá, že i kdyby funkce rozdělení byla konstantní, pak by odpovídalo:

- "dobrému" stavu  $98\% \cdot 0.4 \cdot 0.4 = \underline{15.7\%}$   
všech měření,
- "uspokojivému" stavu  $98\% \cdot 0.4 - 15.7 = \underline{23.5\%}$   
všech měření,
- "neuspokojivému" stavu  $98\% - 15.7 - 23.5 = \underline{58.8\%}$   
všech měření.

Abychom mohli porovnat, jak se shoduje mez dle ČSN se skutečností, použijeme rozdělovací funkci naměřených hodnot s danou hustotou pravděpodobnosti, která je na obr. 18. Mezní hodnota naměřených hodnot je normována na  $v = 18 \text{ mm/s}$ . Hodnoty, které tuto mez přesahují, jsou označovány jako "nepřípustné". Podle definice funkce rozdělení to představuje 2 % naměřených hodnot. Hraniční hodnotou, která odděluje "uspokojivý" a "neuspokojivý" stav je dle ČSN hodnota  $v = 7.1 \text{ mm/s}$ . Plocha rozdělovací funkce od  $v = 7.1$  až  $v = 18 \text{ mm/s}$  představuje 64 % ze všech naměřených hodnot. Pokud však vezmeme v potaz poznámku z ČSN 01 1412, podle které se jako mezní hodnota pro trvalý provoz velkých rotačních strojů bere hodnota "uspokojivý", pak 66 % všech měření nevyhovuje provoznímu stavu. Pouze 34 % naměřených hodnot lze považovat za vyhovující. Z toho přibližně pouze 1.2 % měření lze hodnotit jako "dobrý" a 32.8 % jako "uspokojivý". Zobrazení tohoto procentuálního vyjádření je na obr. 19.

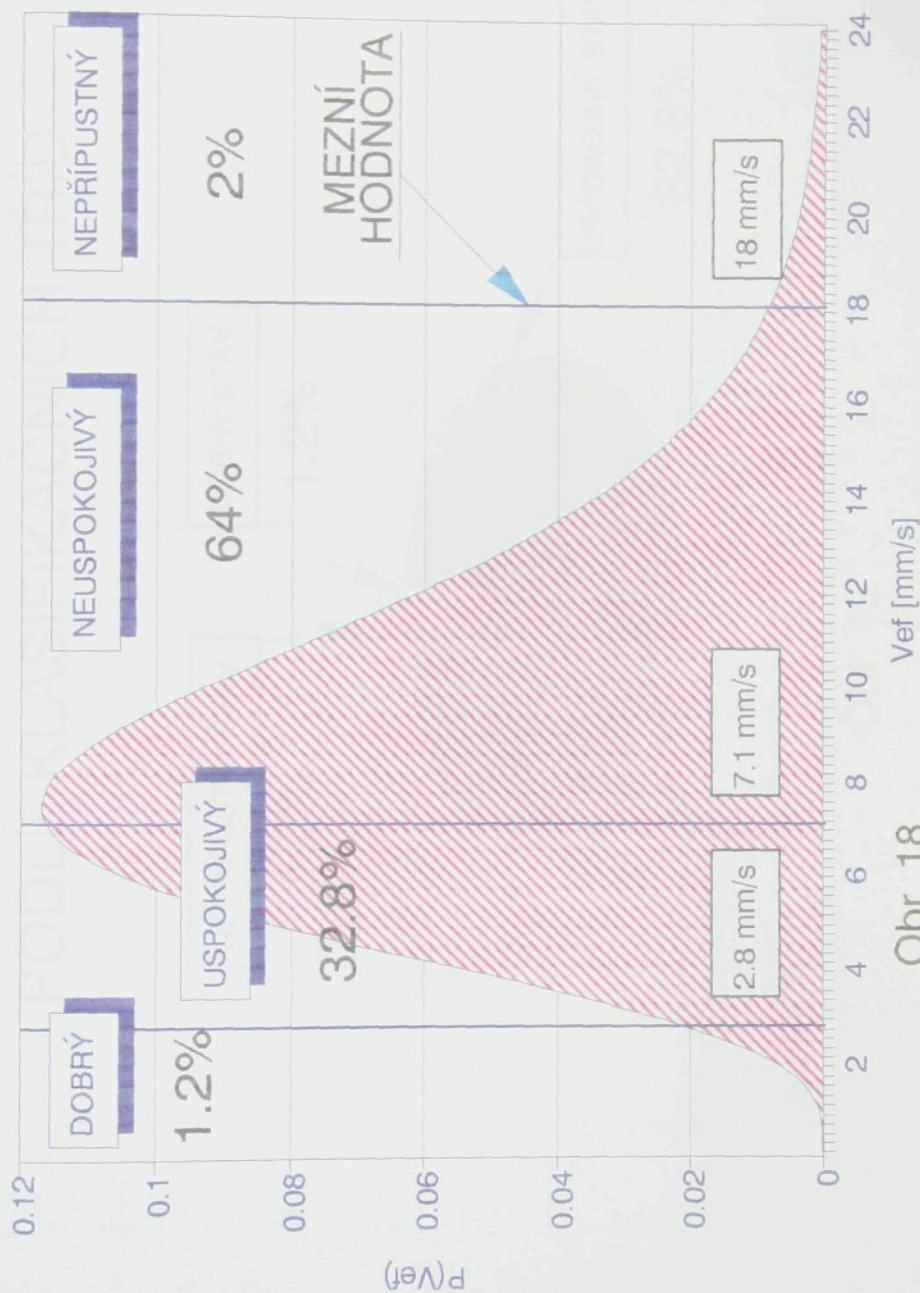
Z uvedeného vyplývá, že použití tohoto způsobu hodnocení, není pro praktické použití vhodné. Proto pro základní hodnocení byly zvoleny pouze tři stupně:

- dobrý  $< 0.6$  . mezní hodnota,
- vyhovující  $<$  mezní hodnota,
- nepřípustný  $>$  mezní hodnota.

Pro počítačový způsob hodnocení je pak použito barevné značení - zelená (dobrý),

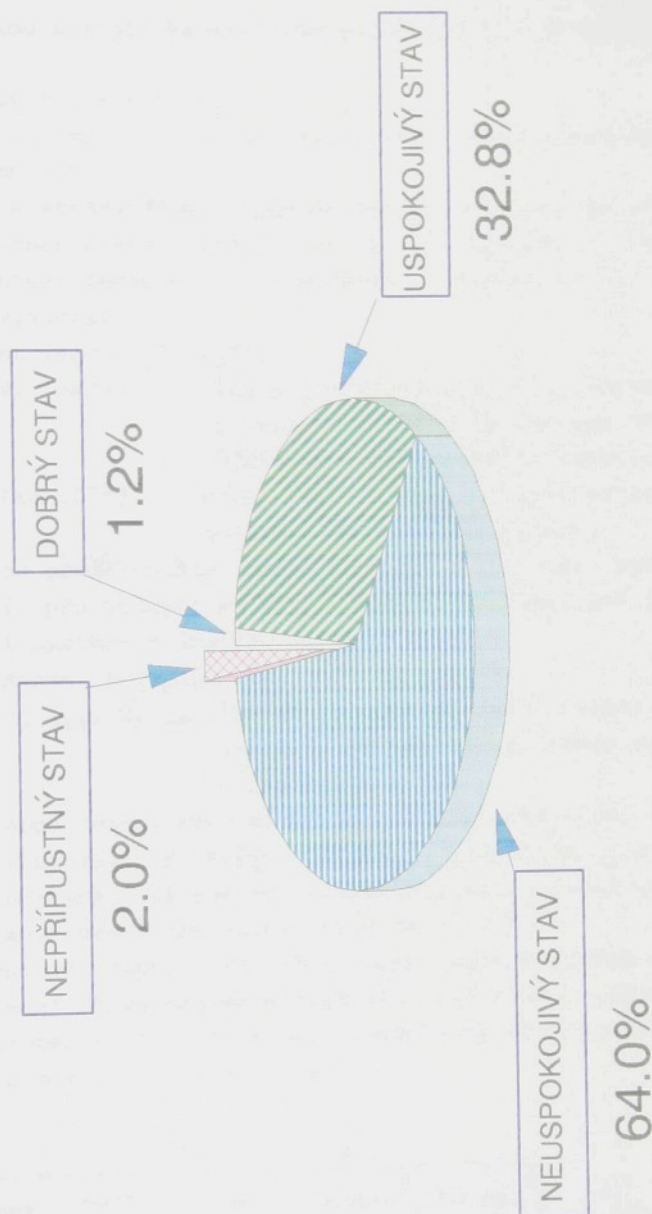
- žlutá (vyhovující),
- červená (nepřípustný).

# HUSTOTA PRAVDĚPODOBNOSTI



Obr. 18

## ROZDĚLENÍ POČTU MĚŘENÍ PODLE KLASIFIKAČNÍCH TŘÍD



Obr. 19



## 2.8 Posouzení celkového stavu provozuschopnosti pohonu

---

Kinetickou energii každého pohybujícího se systému lze vyjádřit

$$W = \text{konst} (v_x^2 + v_y^2 + v_z^2),$$

kde  $v_x, v_y, v_z$  [m/s] ... složky rychlosti ve zvoleném souřadném systému  $x, y, z$ .

Pokud uijeme standardního způsobu značení, který je vžit při měření mechanického kmitání, pak energii mechanicky kmitajícího systému měřenou ve frekvenčním rozsahu od 10 do 1000 Hz lze vyjádřit

$$W = \text{Konst} (v_V^2 + v_H^2 + v_A^2),$$

kde  $v_V, v_H, v_A$  [mm/s] .. složky efektivní rychlosti kmitání ve zvoleném souřadném systému VHA (vertikální-horizontální-axiální),

Konst [kg.10<sup>-6</sup>] ... konstanta, která charakterizuje hmotnost kmitajícího tělesa.

Jestliže budou předem známy mezní hodnoty efektivních rychlostí kmitání pro jednotlivé měřené směry kmitání, pak lze mezní energii systému vyjádřit

$$W_{\text{mez}} = \text{Konst} (v_V \text{ mez}^2 + v_H \text{ mez}^2 + v_A \text{ mez}^2),$$

kde  $v_V \text{ mez}, v_H \text{ mez}, v_A \text{ mez}$  [mm/s] .. složky mezní efektivní rychlosti kmitání ve zvoleném souřadném systému VHA.

Pokud mezi sebou budeme porovnávat pohony stejného typu, tj. například převodovky OK 001415, pak tato hodnota  $W_{\text{mez}}$  charakterizuje nejvyšší přípustný energetický stav jedné konkrétní soustavy (právě převodovek typu OK 001415).

Zde vyvstává otázka, jak podle těchto energetických měřítek porovnávat stavy provozuschopnosti mezi sebou. Nejjednodušším způsobem by bylo porovnat energetický stav konkrétní soustavy s mezní soustavou. Poměr

$$C = \frac{W}{W_{\text{mez}}} = \frac{\text{Konst} (v_V^2 + v_H^2 + v_A^2)}{\text{Konst} (v_V \text{ mez}^2 + v_H \text{ mez}^2 + v_A \text{ mez}^2)},$$

po vykrácení konstant přejde na tvar



$$C = \frac{v_V^2 + v_H^2 + v_A^2}{v_{V \text{ mez}}^2 + v_{H \text{ mez}}^2 + v_{A \text{ mez}}^2} \quad (3)$$

Pokud budeme předpokládat, že mezní hodnoty efektivních rychlostí kmitání jsou pro všechny tři směry stejné, tj.  $v_V \text{ mez} = v_H \text{ mez} = v_A \text{ mez}$ , např.  $v_{\text{mez}} = 18 \text{ mm/s}$ , pak přejde vzorec na tvar

$$C = \frac{v_V^2 + v_H^2 + v_A^2}{3 v_{\text{mez}}^2} = \frac{1}{3} \left[ \left( \frac{v_H}{v_{\text{mez}}} \right)^2 + \left( \frac{v_V}{v_{\text{mez}}} \right)^2 + \left( \frac{v_A}{v_{\text{mez}}} \right)^2 \right]$$

Tento výraz lze využívat ke stanovení stavu provozuschopnosti soustavy, neboť vzorec se rozpadl na dílčí části, které jsou tvořeny poměry naměřených hodnot ku hodnotám mezním. Jestliže však  $v_V \text{ mez} \neq v_H \text{ mez} \neq v_A \text{ mez}$ , pak výpočet podle (3) není na všechny směry měření stejně citlivý, neboť upřednostňuje hodnotu nejvýše stanovené meze. Vše je zřejmé z konkrétního příkladu.

Př. : Dané mezní hodnoty jsou:

$$v_V \text{ mez} = 18 \text{ mm/s}, \quad v_H \text{ mez} = 12 \text{ mm/s}, \quad v_A \text{ mez} = 9 \text{ mm/s}.$$

Dosazením do (3) dostaneme

$$C = \frac{v_V^2 + v_H^2 + v_A^2}{18^2 + 12^2 + 9^2} = \frac{v_V^2 + v_H^2 + v_A^2}{551}$$

Budeme předpokládat soustavu, jejíž naměřené hodnoty efektivní rychlosti kmitání budou ležet právě v jedné polovině mezních hodnot, tj.  $v_V = 9 \text{ mm/s}$ ,  $v_H = 6 \text{ mm/s}$ ,  $v_A = 4.5 \text{ mm/s}$ . Pak

$$C = \frac{9^2 + 6^2 + 4.5^2}{551} = \frac{137.25}{551} = 0.249$$

Jestliže se naměřená hodnota změní v prvním případě např. ve vertikálním směru o  $4.5 \text{ mm/s}$ , tj.  $v_V = 13.5 \text{ mm/s}$ ,

nebo ve druhém případě v axiálním směru o 4.5 mm/s, tj.  $v_A = 4.5$  mm/s, budou vypočtené hodnoty koeficientů C pro první případ:

$$C = \frac{13.5^2 + 6^2 + 4.5^2}{551} = \frac{238.50}{551} = 0.432$$

a pro druhý případ

$$C = \frac{9^2 + 6^2 + 9^2}{551} = \frac{198}{551} = 0.359$$

Přestože druhý případ je mnohem nebezpečnější, neboť naměřená hodnota efektivní rychlosti kmitání dosáhla mezní hodnoty, je na první pohled zřejmé, že došlo k nižšímu zvýšení koeficientu C. Z toho vyplývá, že popis stavu provozuschopnosti systému tímto způsobem není možný, neboť vzorec (3) "zvýhodňuje" nejvyšší hodnotu. Výrazem "zvýhodňuje" je myšleno, že je k této vyšší hodnotě citlivější, než k hodnotám nižším, jejichž změnu tak nepostihuje.

Proto byl jako koeficientu hodnocení stavu provozuschopnosti zvolen výraz

$$K = \left( \frac{v_H}{v_H \text{ mez}} \right)^2 + \left( \frac{v_V}{v_V \text{ mez}} \right)^2 + \left( \frac{v_A}{v_A \text{ mez}} \right)^2 \quad (4)$$

Na první pohled je vidět, že pokud jsou mezní hodnoty stejné, pak platí  $K = 3 C$ .

Protože jsou zde za základ vzaty poměry naměřených hodnot ku mezním hodnotám, je tento koeficient citlivý ke všem směrům měření, které jsou charakterizovány mezními hodnotami, stejně.

Tento koeficient popisuje součet kvadrátů poměrů naměřené a mezní hodnoty ve třech na sebe kolmých směrech. Význam tohoto koeficientu je v tom, že slučuje tři základní měřicí místa dohromady a klasifikuje stav systému, což vytváří podstatně jednodušší a přehlednější informaci o měřeném systému.

Dalším charakteristickým znakem tohoto koeficientu je to, že umožňuje mezi sebou porovnávat systémy různých typů, neboť výsledkem je bezrozměrné číslo.

Použijeme-li hodnoty z předcházejícího příkladu, pak jsou hodnoty koeficientu hodnocení stavu následující:

$$K = \left(\frac{9}{18}\right)^2 + \left(\frac{6}{12}\right)^2 + \left(\frac{4.5}{9}\right)^2 = 0.25 + 0.25 + 0.25 = \underline{0.75},$$

$$K = \left(\frac{13.5}{18}\right)^2 + \left(\frac{6}{12}\right)^2 + \left(\frac{4.5}{9}\right)^2 = 0.5625 + 0.25 + 0.25 = \underline{1.06},$$

$$K = \left(\frac{9}{18}\right)^2 + \left(\frac{6}{12}\right)^2 + \left(\frac{9}{9}\right)^2 = 0.25 + 0.25 + 1 = \underline{1.5}.$$

Tyto hodnoty správně popisují stavy provozuschopnosti od nejlepšího k nejhoršímu.

## 2.9 Stanovení mezí koeficientu hodnocení stavu

Pokud vyjdeme z (4), pak při poměru

$$\frac{v_H}{v_{H \text{ mez}}} = \frac{v_V}{v_{V \text{ mez}}} = \frac{v_A}{v_{A \text{ mez}}} = 1 \quad (5)$$

je mezní hranicí hodnota  $K = 3$ . Tato hranice je však příliš vysoká, neboť pokud by došlo k překročení meze pouze v jediném místě a ostatní dvě hodnoty by byly nulové, pak by muselo platit

$$\frac{v}{v_{\text{mez}}} = 1.73$$

Naopak, pokud budeme chtít mít jistotu, aby poměr  $v/v_{\text{mez}}$  byl maximálně roven jedné, musíme volit  $K = 1$ . Pak se může stát, že při stejných poměrech

$$\frac{v_H}{v_{H \text{ mez}}} = \frac{v_V}{v_{V \text{ mez}}} = \frac{v_A}{v_{A \text{ mez}}}$$

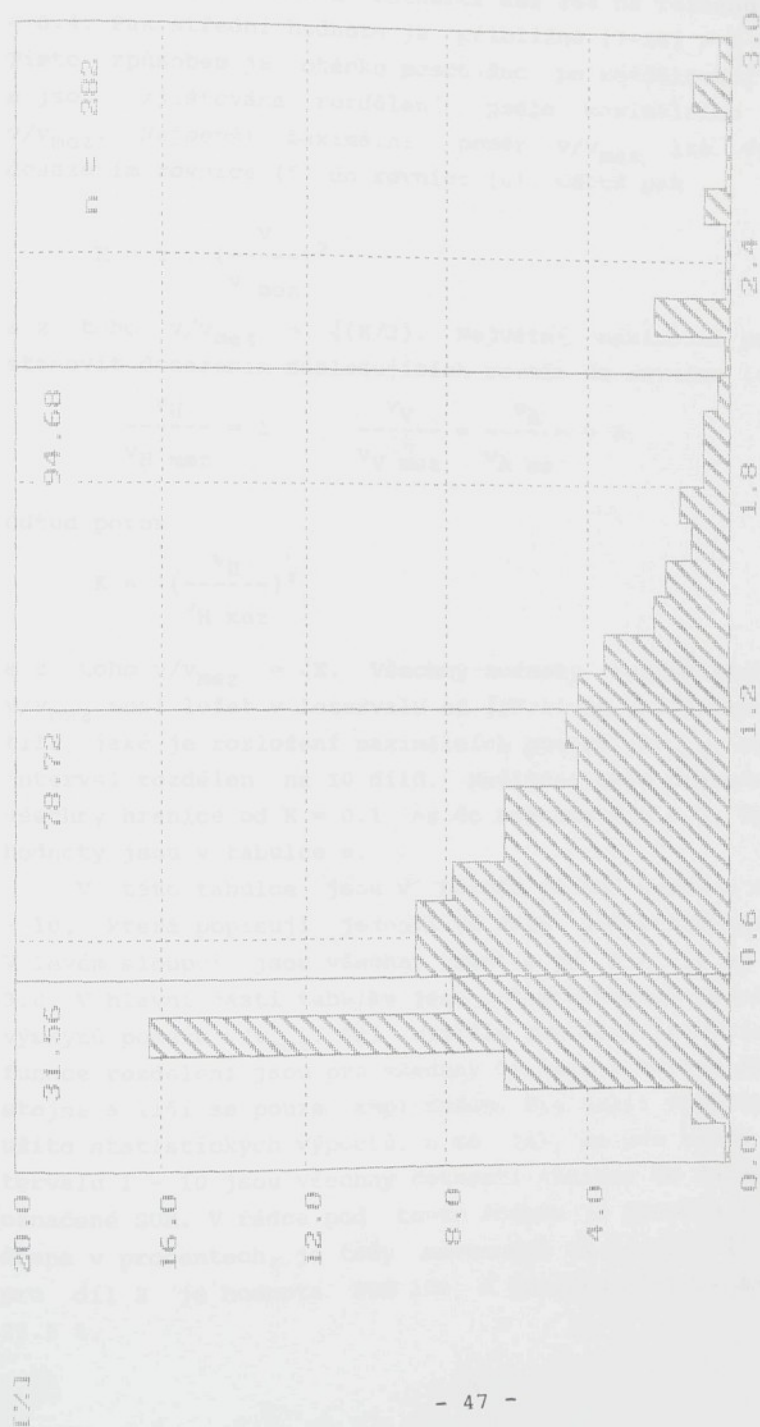
bude  $v/v_{\text{mez}} = 0.58$ . To však hodnota poměrně nízká. Z toho vyplývá, že skutečná mezní hodnota koeficientu hodnocení stavu bude ležet v intervalu mezi hodnotami 1 a 3.

Pro praktické stanovení této mezní hodnoty vyjdeme ze skutečných naměřených hodnot. Ty jsou zobrazeny na obr. 20, který je označen jako Histogram četností - PVD - koeficient hodnocení stavu provozuschopnosti. Zde jsou četnosti v procentech vyneseny po hodnotách 0.1. Např. pro rozsah  $K = 0-0.1$  je četnost 0, pro rozsah  $K = 0.3-0.4$  je četnost přibližně 16%.

Aby bylo možno vypočítat skutečné rozdělení poměrů  $v/v_{\text{mez}}$  na konstantní hodnotě koeficientu hodnocení stavu  $K$ , byly zvoleny přechody mezi jednotlivými stupni též po 0.1.

# DJS-102

HISTOGRAM ČETNOSTI - PUD  
koeficient hodnocení stavu provozuschopnosti



Obr. 20



Pak tedy pro hranici, např.  $K = 0.3$ , jsou četnosti asi 7% na rozsahu  $K = 0.2 - 0.3$  a četnosti asi 16% na rozsahu  $K = 0.3 - 0.4$ . Pak střední hodnota je přibližně  $(7+16) / 2 = 11.5\%$ . Tímto způsobem je okénko posouváno po rozdělovací funkci a jsou zjišťována rozdělení podle maximálního poměru  $v/v_{mez}$ . Nejmenší maximální poměr  $v/v_{mez}$  lze vypočítat dosazením rovnice (5) do rovnice (4). Odtud pak

$$K = 3 \cdot \left( \frac{v}{v_{mez}} \right)^2$$

a z toho  $v/v_{mez} = \sqrt{(K/3)}$ . Největší maximální poměr lze stanovit dosazením následujících rovnic do rovnice (4)

$$\frac{v_H}{v_H \text{ mez}} = 1 \quad \frac{v_V}{v_V \text{ mez}} = \frac{v_A}{v_A \text{ mez}} = 0$$

Odtud potom

$$K = \left( \frac{v_H}{v_H \text{ mez}} \right)^2$$

a z toho  $v/v_{mez} = \sqrt{K}$ . Všechny hodnoty maximálních poměrů  $v/v_{mez}$  musí ležet v intervalu od  $\sqrt{(K/3)}$  do  $\sqrt{K}$ . Abychom zjistili, jaké je rozložení maximálních poměrů  $v/v_{mez}$ , byl tento interval rozdělen na 10 dílů. Načítání bylo provedeno pro všechny hranice od  $K = 0.1$  až do hodnoty  $K = 3.0$ . Vypočtené hodnoty jsou v tabulce 6.

V této tabulce jsou v horním řádku uvedena čísla 1 - 10, která popisují jednotlivé díly zvoleného intervalu. V levém sloupci jsou všechny hranice od  $K = 0.1$  až do  $K = 3.0$ . V hlavní části tabulky jsou potom četnosti jednotlivých výskytů poměrů  $v/v_{mez}$ . Při bližším zkoumání lze zjistit, že funkce rozdělení jsou pro všechny hranice  $K$  tvarem přibližně stejné a liší se pouze amplitudou. Pro další výpočet je využito statistických výpočtů, a to tak, že pro každý díl intervalu 1 - 10 jsou všechny četnosti sečteny do řádky označené SUM. V řádce pod touto řádkou je hodnota SUM vyjádřena v procentech, je tedy normována na hodnotu 100. Např. pro díl 2 je hodnota SUM 131 a procentuální vyjádření je 23.5 %.

Tabulka 6 Rozdělení četnosti koef. hodnocení stavu

|      | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | SUM |      | FILT |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|
| 0.1  |      |      |      | 1    |      | 1    |      |      |      | 1    | 3   | 0.54 | 8    | 1.44 |
| 0.2  | 3    | 1    | 5    | 7    | 5    |      |      |      |      |      | 21  | 3.76 | 29.3 | 5.27 |
| 0.3  | 15   | 16   | 10   | 12   | 9    | 2    |      |      |      |      | 64  | 11.5 | 51   | 9.16 |
| 0.4  | 25   | 21   | 7    | 7    | 2    | 3    | 2    | 1    |      |      | 68  | 12.2 | 59.7 | 10.7 |
| 0.5  | 9    | 7    | 11   | 11   | 7    | 2    |      |      |      |      | 47  | 8.42 | 55   | 9.88 |
| 0.6  | 8    | 12   | 15   | 9    | 3    | 2    | 1    |      |      |      | 50  | 8.96 | 48   | 8.62 |
| 0.7  | 7    | 14   | 13   | 7    | 3    | 2    | 1    |      |      |      | 47  | 8.42 | 45.7 | 8.2  |
| 0.8  | 7    | 12   | 7    | 5    | 5    | 3    | 1    |      |      |      | 40  | 7.17 | 41   | 7.37 |
| 0.9  | 6    | 5    | 8    | 12   | 3    | 2    |      |      |      |      | 36  | 6.45 | 35.3 | 6.35 |
| 1    | 2    | 9    | 9    | 7    | 2    | 1    |      |      |      |      | 30  | 5.38 | 30.3 | 5.45 |
| 1.1  | 2    | 8    | 8    | 4    | 1    | 1    |      | 1    |      |      | 25  | 4.48 | 26.7 | 4.79 |
| 1.2  | 6    | 8    | 7    |      | 2    |      | 2    |      |      |      | 25  | 4.48 | 24   | 4.31 |
| 1.3  | 4    | 4    | 3    | 6    |      | 4    | 1    |      |      |      | 22  | 3.94 | 21   | 3.77 |
| 1.4  |      | 3    | 5    | 1    | 5    | 2    |      |      |      |      | 16  | 2.87 | 16.3 | 2.93 |
| 1.5  | 1    | 2    | 2    | 5    | 1    |      |      |      |      |      | 11  | 1.97 | 11.7 | 2.1  |
| 1.6  | 1    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    |      |      |      |      | 8   | 1.43 | 8.67 | 1.56 |
| 1.7  |      | 2    | 1    | 2    | 2    |      |      |      |      |      | 7   | 1.25 | 7    | 1.26 |
| 1.8  |      | 3    | 2    |      |      | 1    |      |      |      |      | 6   | 1.08 | 5.67 | 1.02 |
| 1.9  |      | 1    | 1    | 1    | 1    |      |      |      |      |      | 4   | 0.72 | 4.33 | 0.78 |
| 2    |      |      | 2    |      | 1    |      |      |      |      |      | 3   | 0.54 | 2.67 | 0.48 |
| 2.1  |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      | 1   | 0.18 | 3.33 | 0.6  |
| 2.2  |      | 1    |      | 1    | 2    | 1    |      | 1    |      |      | 6   | 1.08 | 4.33 | 0.78 |
| 2.3  |      | 1    | 1    |      | 2    | 1    | 1    |      |      |      | 6   | 1.08 | 4    | 0.72 |
| 2.4  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0   | 0    | 2.67 | 0.48 |
| 2.5  |      |      | 1    | 1    |      |      |      |      |      |      | 2   | 0.36 | 1.33 | 0.24 |
| 2.6  |      |      | 1    | 1    |      |      |      |      |      |      | 2   | 0.36 | 1.33 | 0.24 |
| 2.7  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0   | 0    | 1.67 | 0.3  |
| 2.8  | 1    |      | 1    |      | 1    |      |      |      |      |      | 3   | 0.54 | 2.33 | 0.42 |
| 2.9  | 1    |      | 1    |      | 1    |      | 1    |      |      |      | 4   | 0.72 | 2.67 | 0.48 |
| 3    |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      | 1   | 0.18 | 1.67 | 0.3  |
| SUM  | 98   | 131  | 123  | 101  | 61   | 30   | 10   | 3    | 0    | 1    | 558 | 100  | 557  | 100  |
|      | 17.6 | 23.5 | 22   | 18.1 | 10.9 | 5.38 | 1.79 | 0.54 | 0    | 0.18 | 100 |      |      |      |
| FILT | 76.3 | 117  | 118  | 95   | 64   | 33.7 | 14.3 | 4.33 | 1.33 | 0.33 | 525 |      |      |      |
|      | 14.5 | 22.3 | 22.5 | 18.1 | 12.2 | 6.41 | 2.73 | 0.83 | 0.25 | 0.06 | 100 |      |      |      |

V následujícím řádku je provedeno matematické filtrování vypočtených hodnot a pod tím opět procentuální vyjádření filtrované funkce. Na obr. 21 je střední funkce rozdělení maximálních hodnot poměru  $v/v_{mez}$  znázorněna. Protože známe průběh této funkce, můžeme dále stanovit, jaké průměrné střední hodnotě odpovídá 50 % všech měření. Z tab. 6 (filtrované hodnoty v procentech) vyplývá, že dílu 1 odpovídá 14.5 %, dílu 2 pak 22.3 %. Do 50 % pak zbývá ještě 13.2 % z dílu tři. To lze vypočítat z poměru této chybějící části ku celému dílu 3:

$$\text{Část dílu 3} = \frac{13.2}{22.5} = 0.59$$

Protože každý díl představuje jednu desetinu zvoleného intervalu, pak souřadnice, která popisuje polohy 50 procentní čáry, je 0.1 (2 + 0.59). Celkově se pak tato 50 % hodnota pro každou hodnotu koeficientu hodnocení stavu provozuschopnosti K nachází v místě, které je určeno rovnicí

$$v/v_{mez} 50\% = \sqrt{(K/3)} + (\sqrt{K} - \sqrt{(K/3)}) * 0.259 \quad (6).$$

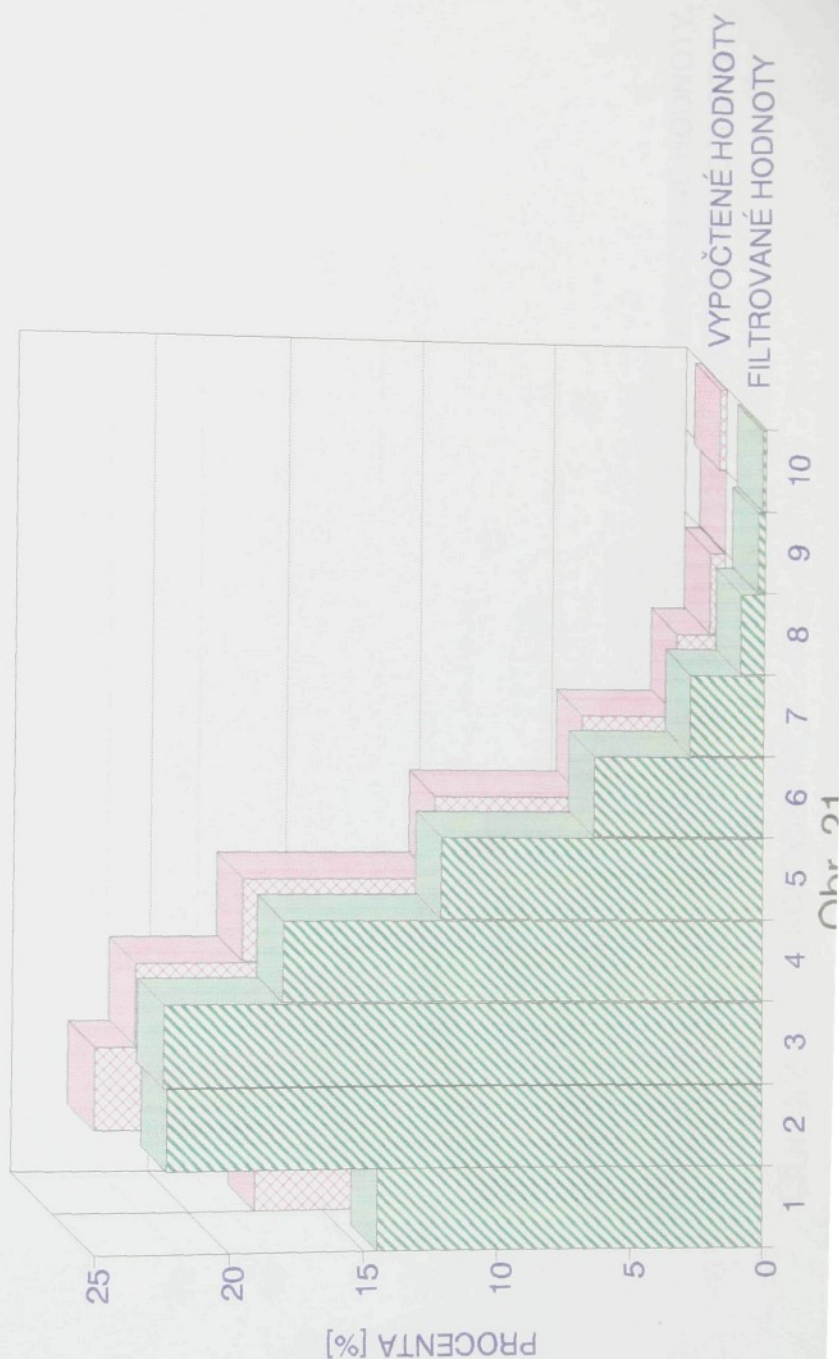
V tabulce 6 na pravé straně za dvojitou čarou jsou v prvním sloupci uvedeny četnosti koeficientů K pro hranice  $K = 0.1$  až  $K = 3$ . Hodnota SUM vyjadřuje součet všech dílů 1 - 10 v řádku. V dalším sloupci je procentuální vyjádření. Ve třetím sloupci, označeném FILT, jsou filtrované hodnoty a ve čtvrtém sloupci je procentuální vyjádření filtrovaných hodnot. Procentuální vyjádření vypočtených a filtrovaných hodnot rozložení koeficientu K je na obr. 22.

Prostorové vyjádření funkce rozdělení maximálních hodnot poměrů  $v/v_{mez}$  je pro vybrané hodnoty K na obr. 23.

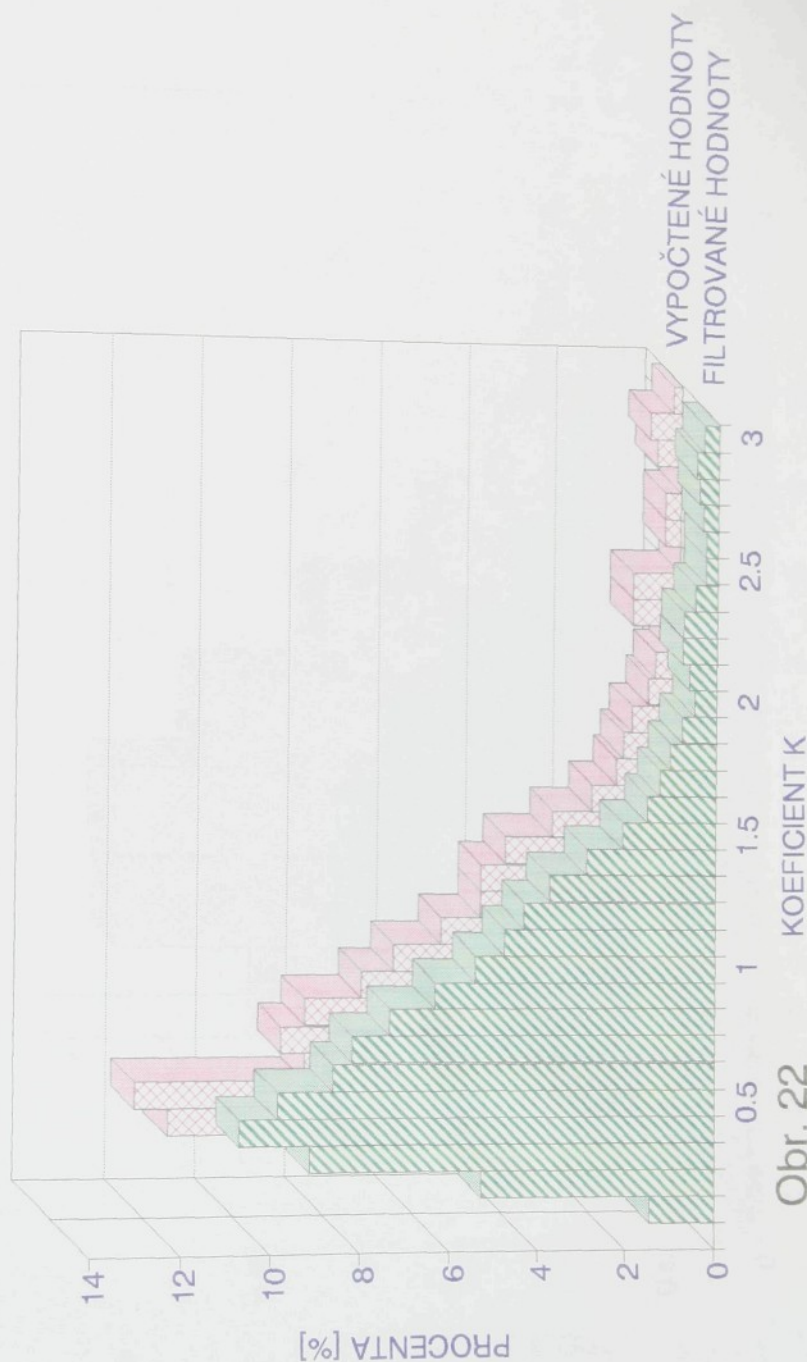
Pokud budeme uvažovat jako kritický poměr  $v/v_{mez} 50\% = 1$ , pak lze dosazením do rovnice (6) určit jako mezní koeficient hodnocení stavu provozuschopnosti hodnotu  $K = 2.12$ . Pro hraniční hodnotu uspokojivého stavu lze uvažovat poměr  $v/v_{mez} 50\% = 0.75$ , čemuž pak odpovídá  $K = 1.2$ . Pro hraniční hodnotu dobrého stavu lze uvažovat poměr  $v/v_{mez} 50\% = 0.5$ , čemuž pak odpovídá  $K = 0.5$ .



# STŘEDNÍ ROZDĚLOVACÍ FUNKCE MAXIMÁLNÍCH HODNOT POMĚRU $V/V_{mez}$



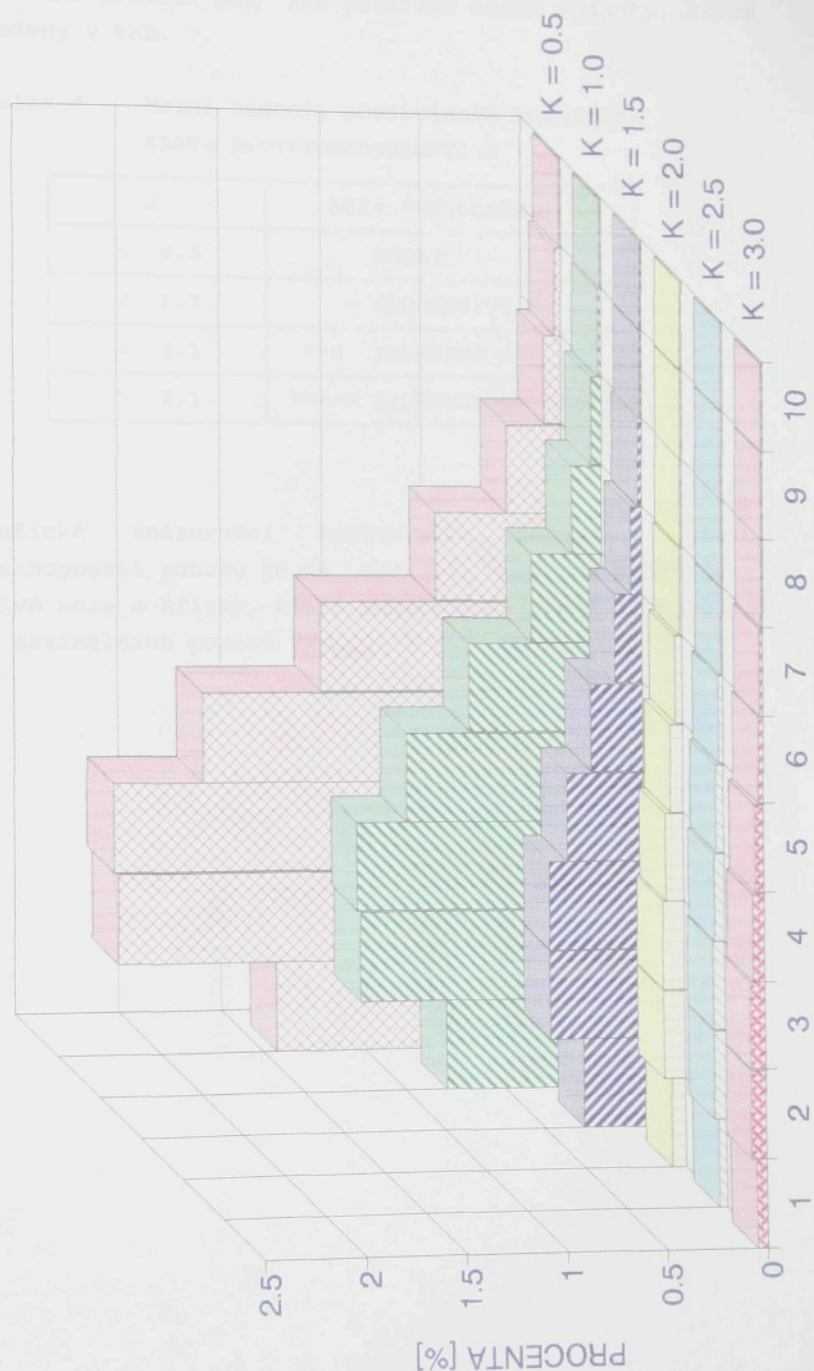
# HISTOGRAM ČETNOSTÍ KOEUF. HODNOCENÍ STAVU PROVOZUSCHOPNOSTI



Obr. 22



# ROZDĚLOVACÍ FUNKCE MAXIMÁLNÍCH HODNOT POMĚRU $V/V_{mez}$



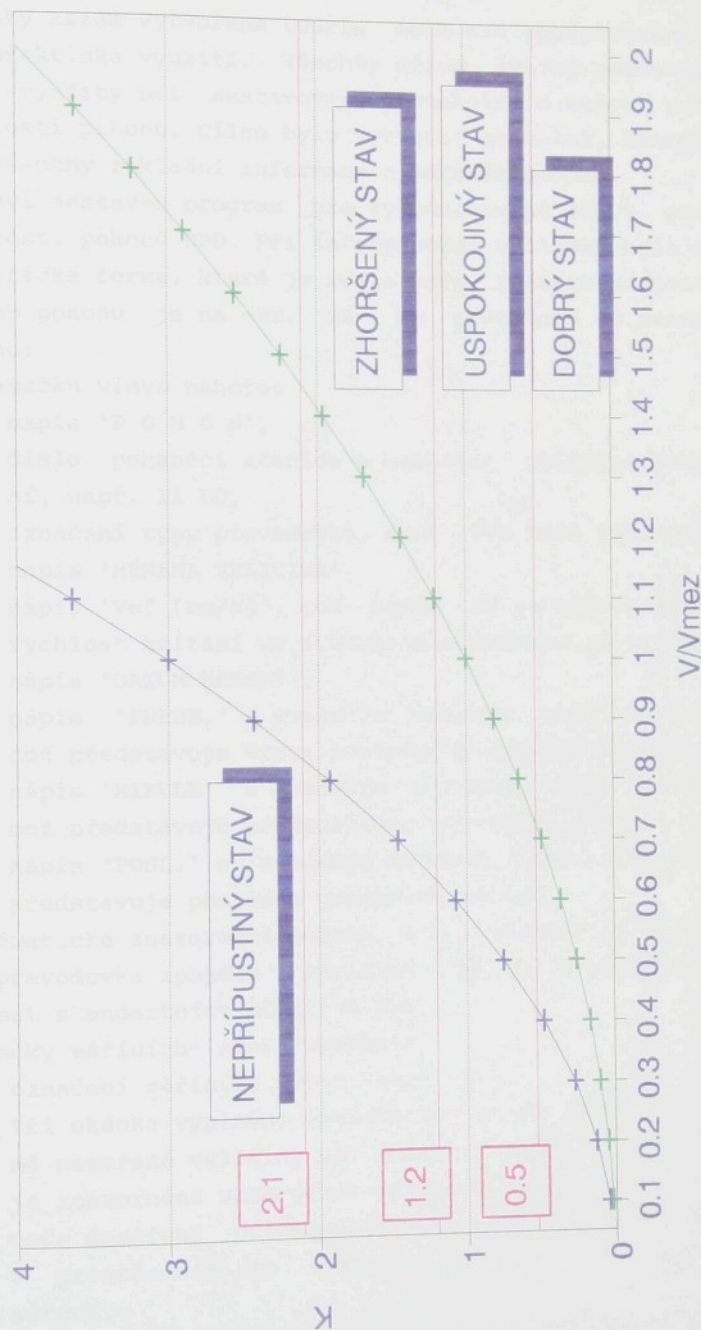
Pro praktické použití pak lze používat mezní hodnoty, které jsou uvedeny v tab. 7.

Tabulka 7      Mezní hodnoty koeficientu hodnocení stavu provozuschopnosti K

| K     | STAV PŘEVODOVKY         |
|-------|-------------------------|
| < 0.5 | DOBŘÍ                   |
| < 1.2 | = USPOKOJIVÝ =          |
| < 2.1 | *** ZHORŠENÝ ***        |
| > 2.1 | ***** NEPŘÍPUSTNÝ ***** |

Grafické znázornění koeficientu hodnocení stavu provozuschopnosti pohonu je na obr. 24. Jsou zde znázorněny jednotlivé meze a křivky, které popisují nejmenší a největší hodnoty maximálních poměrů  $v/v_{mez}$ .

# KOEFICIENT HODNOCENÍ STAVU PROVOZUSCHOPNOSTI POHONU



Obr. 24

$$+ \quad V_V = V_H = V_A \quad + \quad V_H = V_A = 0$$

### 3.0 PRAKTICKÉ VYUŽITÍ

-----

Aby každá vytvořená teorie měla své opodstatnění, musí mít praktické využití. Všechny dříve uvedené poznatky byly proto využity při sestavování protokolů o stavu provozuschopnosti pohonů. Cílem bylo vytvořit protokol, který obsahuje všechny základní informace o měřeném pohonu.

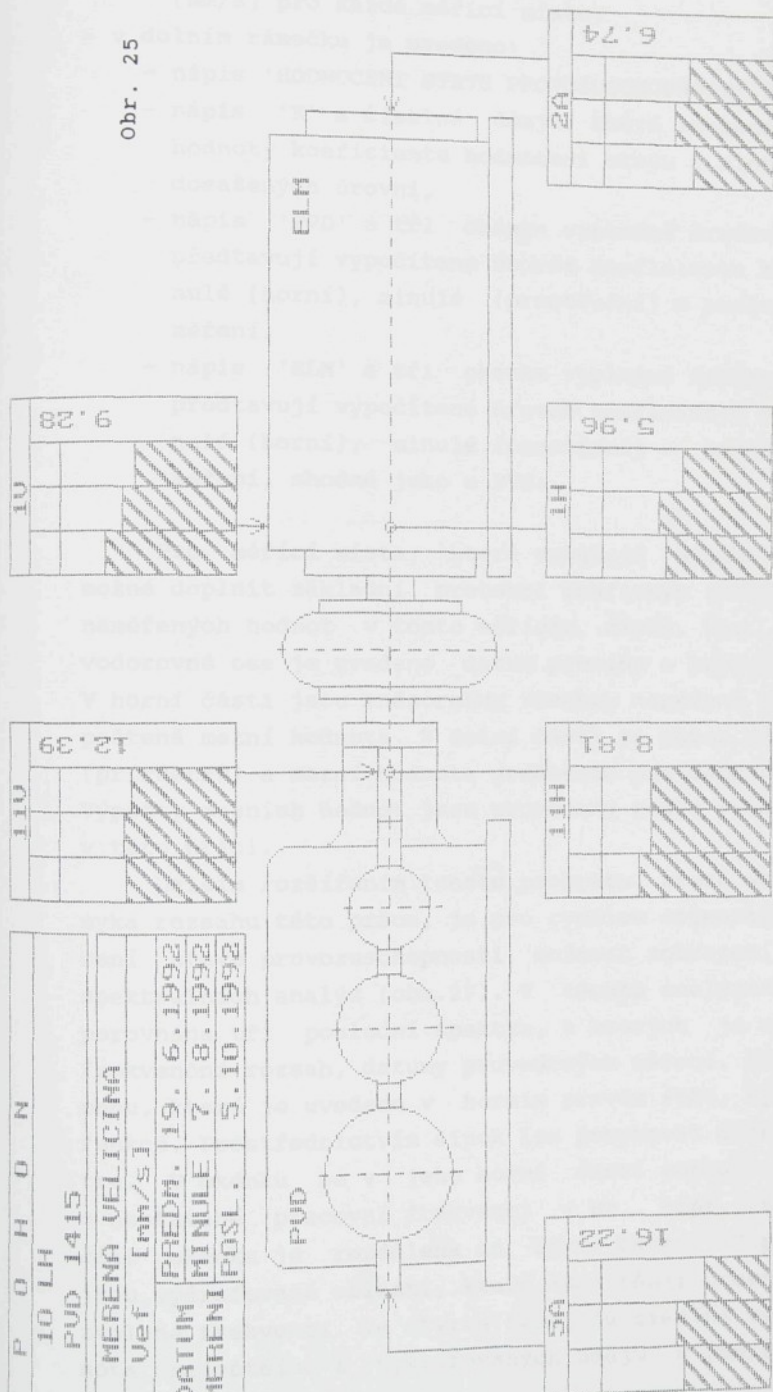
Byl sestaven program pro vyhodnocování stavu provozuschopnosti pohonů DPD. Při interpretaci výsledků byla zvolena grafická forma, která je zcela nová. Znázornění protokolu jednoho pohonu je na obr. 25. Na protokolu je standardně uvedeno:

- v rámečku vlevo nahoře:
  - nápis 'P O H O N',
  - číslo poháněcí stanice a označení umístění pohonu na ní, např. 11 LD,
  - označení typu převodovky, např. PVD 1224 (OK 001224),
  - nápis 'MERENA VELICINA',
  - nápis 'Vef [mm/s]', což udává, že je měřena efektivní rychlost kmitání ve frekvenčním rozsahu 10 - 1000 Hz,
  - nápis 'DATUM MERENI',
  - nápis 'PREDM.' s uvedeným datumem, např. 19.6.1992, což představuje třetí poslední provedené měření,
  - nápis 'MINULE' s uvedeným datumem, např. 7.8.1992, což představuje předposlední provedené měření,
  - nápis 'POSL.' s uvedeným datumem, např. 5.10.1992, což představuje poslední provedené měření,
- schématické znázornění pohonu, a to kuželočelní třístupňová převodovka spojená 'Periflex' spojkou s elektromotorem a šest standartních měřících míst,
- rámečky měřícího místa obsahují:
  - označení měřícího místa, např. 11V,
  - tři okénka vyplněná šrafováním, která znázorňují úroveň naměřené veličiny ve vztahu k mezní hodnotě, která je znázorněna vodorovnou čarou. V levém okénku je hodnota naměřená při minulém, tj. předposledním měření, v prostředním je hodnota naměřená při posledním měření,
  - čtvrté okénko je vyhrazeno pro znázornění číselného



|                 |        |            |   |   |
|-----------------|--------|------------|---|---|
| P               | O      | H          | O | N |
| 10              | LH     |            |   |   |
| PUD             | 1415   |            |   |   |
| MERENÁ VELICINA |        |            |   |   |
| Uef             | [mm/s] |            |   |   |
| DATUM           | PREDN. | 19. 6.1992 |   |   |
| MERENÍ          | MINULE | 7. 8.1992  |   |   |
|                 | POSL.  | 5.10.1992  |   |   |

Obr. 25



| HODNOCENÍ STAVU PROVOZUSCHOPNOSTI POHONU |       |            |             |
|------------------------------------------|-------|------------|-------------|
| K                                        | 0.5   | 1.2        | 2.1         |
| PUD                                      | DOBRY | USPOKOJIVY | ZHORSENY    |
| ELM                                      |       |            | NEPRIPISTNY |

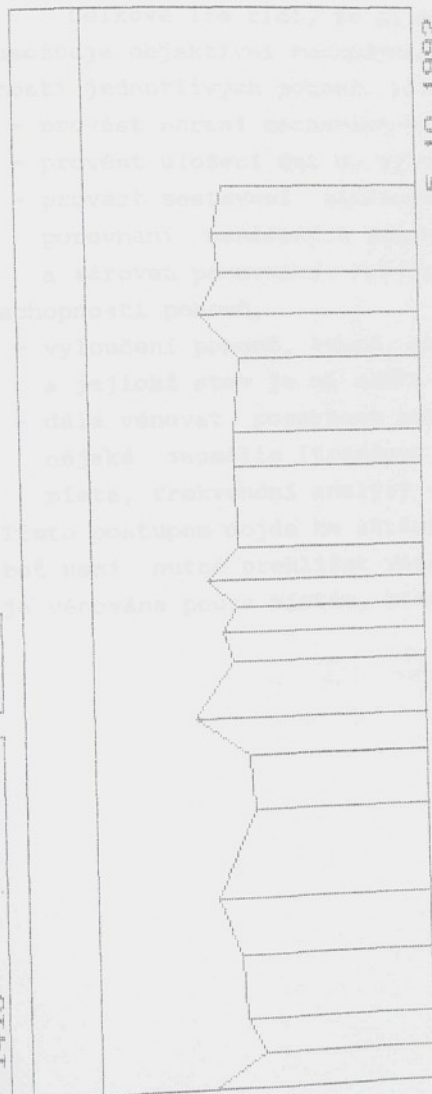


- údaje o úrovni statisticky stanovené mezní hodnoty  $V_{ef}$  [mm/s] pro každé měřicí místo,
- v dolním rámečku je uvedeno:
    - nápis 'HODNOCENI STAVU PROVOZUSCHOPNOSTI POHONU',
    - nápis 'K' a číselné údaje, které znamenají hraniční hodnoty koeficientu hodnocení stavu a slovní hodnocení dosažených úrovní,
    - nápis 'PVD' a tři okénka vyplněná šrafováním, která představují vypočítané úrovně koeficientu K pro předminulé (horní), minulé (prostřední) a poslední (spodní) měření,
    - nápis 'ELM' a tři okénka vyplněná šrafováním, která představují vypočítané úrovně koeficientu K pro předminulé (horní), minulé (prostřední) a poslední (spodní) měření, shodné jako u PVD.

Pro měřicí místa, která vykazují nějaké anomálie, je možné doplnit základní protokol grafickým znázorněním všech naměřených hodnot v tomto měřicím místě, viz. obr. 26. Na vodorovné ose je uvedeno datum prvního a posledního měření. V horní části jsou znázorněny všechny naměřené hodnoty a vypočtená mezní hodnota. V dolní části je potom graf gradientů (přírůstků) a mezní hodnota gradientu pro dané měřicí místo. Výpočty mezních hodnot jsou provedeny podle vztahů uvedených v této práci.

Dalším rozšířením tohoto programu, které se poněkud vymyká rozsahu této práce, je pro rychlou orientaci při hodnocení stavu provozuschopnosti možnost zobrazení naměřených spektrálních analýz (obr.27). V těchto analýzách jsou spolu porovnávána tři poslední spektra, u kterých je uveden měřený frekvenční rozsah, datумы provedených měření. Dále lze podle menu, které je uvedeno v horním pravém rohu, využívat další funkce. Prostřednictvím šipek lze pohybovat okénkem po spektru. V okénku se v jeho horní části zobrazí číselný údaj o nastavené pracovní frekvenci v Hz, např. 16.25, spodní část okénka je rozdělena na čtyři části. V prvních třech jsou vyšrafované oblasti, které znázorňují úrovně signálů na zvolené frekvenci. Ve čtvrté části je číselně vyjádřena hodnota největšího z vyšrafovaných údajů v [mm/s]. Použitím

|           |     |
|-----------|-----|
| P O H O N | 110 |
| 10 LH     |     |
| PUD 1415  |     |



12.39

5.10.1992

13. 9.1989

6.20

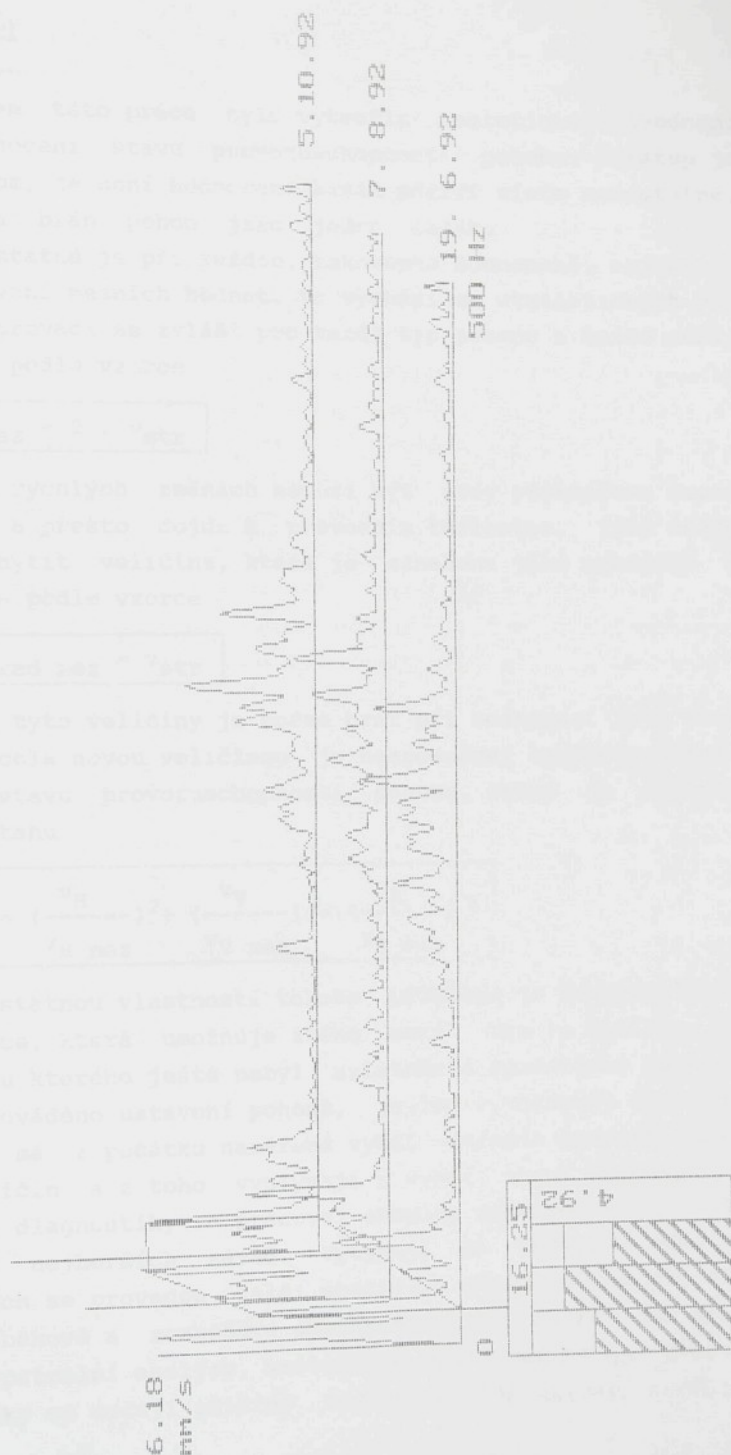
funkce  $R$  - rozdíl, se provede odečtení spekter od sebe, a to tak, že minulé měření je základnou a poslední měření se na této základně zviditelní jako přírůstky, respektive úbytky úrovní signálů na jednotlivých frekvencích. Na první pohled je patrné, jestli došlo k nárůstu, či nikoliv, a na jaké frekvenci.

Celkově lze říci, že cílem bylo vytvořit nástroj, který umožňuje objektivní rozhodování při stanovení provozuschopnosti jednotlivých pohonů. Představa je taková:

- provést měření mechanického kmitání,
  - provést uložení dat do vyhodnocovacího systému,
  - provést sestavení základních protokolů, které umožňují porovnání naměřených úrovní signálů v měřících místech a zároveň porovnání koeficientů hodnocení stavu provozuschopnosti pohonů,
  - vyloučení pohonů, které nevykazují žádné podstatné změny a jejichž stav je na dobré nebo uspokojivé úrovni,
  - dále věnovat pozornost pohonům, jejichž stav vykazuje nějaké anomálie (trendové diagramy - historie měřícího místa, frekvenční analýzy - v konkrétním měřícím místě).
- Tímto postupem dojde ke zkrácení času při vyhodnocování, neboť není nutné prohlížet všechna naměřená data a pozornost je věnována pouze místům, která to vyžadují.

| P   | O    | H | O | N |
|-----|------|---|---|---|
| 10  | LH   |   |   |   |
| PUD | 1415 |   |   |   |

110





## 4.0 Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit teoretické zdůvodnění pro hodnocení stavu provozuschopnosti pohonu. Přístup je nový v tom, že není hodnoceno každé měřicí místo samostatně, nýbrž je brán pohon jako jeden celek.

Podstatné je při každém, takovémto hodnocení, objektivní stanovení mezních hodnot. To vychází ze statistických výpočtů a provádí se zvláště pro každý typ pohonu a každé měřicí místo podle vzorce

$$v_{\text{mez}} = 2 \cdot v_{\text{str}}$$

Při rychlých změnách nemusí být vždy překročena mezní hodnota a přesto dojde k provozním těžkostem. Tyto změny může zachytit veličina, která je označena jako gradient a počítá se podle vzorce

$$v_{\text{grad mez}} = v_{\text{str}}$$

Obě tyto veličiny je možno brát při hodnocení jako klasické. Zcela novou veličinou je bezrozměrný koeficient hodnocení stavu provozuschopnosti pohonu, který je počítán podle vztahu

$$K = \left( \frac{v_H}{v_{H \text{ mez}}} \right)^2 + \left( \frac{v_V}{v_{V \text{ mez}}} \right)^2 + \left( \frac{v_A}{v_{A \text{ mez}}} \right)^2$$

Podstatnou vlastností tohoto přístupu je samoregulační funkce, která umožňuje změnu mezí. Tím je myšleno, že systém, u kterého ještě nebyl uplatněn diagnostický přístup (není prováděno ustavení pohonů, jejich vyvažování ani sledování), má z počátku naměřené vyšší střední hodnoty měřených veličin a z toho vyplývají i vyšší mezní hodnoty. Po zavedení diagnostiky se pracovní skupiny soustřeďují na odstranění nejhorších závad. Vytypují se nejhorší pohony, na kterých se provedou další speciální diagnostická měření, např. doběhové a rozběhové charakteristiky, frekvenční analýzy, cepstrální analýzy, kmitočtové charakteristiky. Těmito prostředky se určují příčiny zvýšení úrovně vibrací a zhor-



šeného stavu pohonu, což umožňuje následovné odstranění závad. Tím dojde k celkovému zlepšení stavu celého souboru a změní se i střední hodnoty měřených veličin (dojde k jejich poklesu). Tím opět dojde i k poklesu mezních hodnot a k celkovému zpřísnění norem. Tento proces se opakuje tak dlouho, až nastane ustálený stav mezních hodnot. Tento stav lze vysvětlit tím, že přirozené zhoršování stavu, které je způsobeno provozem, je vyrovnáno výměnou nejhorších pohonů za nové.

Grafická forma výstupu pak vytváří přijatelný způsob, jak tyto veličiny předkládat uživatelům. Programové vybavení, které bylo za tímto účelem vytvořeno a vychází z používaného měřicího systému VIBROCAM 1000, bylo rozšířeno na lomu podniku v Severočeském hnědouhelném revíru. Konkrétně toto programové vybavení využívají diagnostické skupiny na Dolech a úpravnách v Komořanech, Dolech Ležáky v Mostě a Dolech Nástup v Tušimicích pro hodnocení pohonů na rýpadlech, zakladačích a dálkové pásové dopravě. Dále jsou takto sledovány pohony dopravníků na úpravnách, pohony drtičů a třídičů.

Způsob hodnocení i závěry, které z tohoto hodnocení vyplývají, byly použity i pro zařízení, která nejsou provozována na povrchových dolech. Jako příklad lze uvést podnik Pivovar Most - Sedlec, ve kterém jsou prováděna měření pohonů chladicích kompresorů.

Využití závěrů, které vyplývají z této práce, je možno používat obecně, není nutno se omezovat pouze na stroje a zařízení provozovaná na povrchových dolech.

## Použitá literatura

---

- [1] Gondek, H.- Helebrant, F.: Analýza trendů vibrací rotačních strojů s prognózou pro jejich údržbu. VŠB, Ostrava 1987,
- [2] Beneš, Š. a kol.: Bezdemontážní diagnostika. Liberec 1987,
- [3] Patera, V. a kol.: Jednotná metodika použití vibrační bezdemontážní diagnostiky poháněcích jednotek DPD pro technologické celky TC2. Výzkumná zpráva, VÚHU Most, 1988,
- [4] Patera, V.- Novák, A.: Odborné posouzení převodovek DPD na technologickém celku TC2 - DVIL k.p. (Důl Jan Šverma) metodou vibrační diagnostiky. Odborný posudek, VÚHU Most, 1989,
- [5] Patera, V.- Novák, A.- Kratochvil, T.: Odborné posouzení převodovek DPD na technologickém celku TC2 - DVIL k.p. (Důl Jan Šverma) metodou vibrační diagnostiky. Odborný posudek, VÚHU Most, 1990,
- [6] Patera, V.- Novák, A.: Hodnocení stavu pohonů dálkové pásové dopravy, DÚK - Komořany - DJŠ - TC2. Protokol posouzení stavu provozuschopnosti pohonů, VÚHU Most, prosinec 1991,
- [7] Patera, V.- Novák, A.: Hodnocení stavu pohonů dálkové pásové dopravy, DÚK - Komořany - DJŠ - TC2. Protokol posouzení stavu provozuschopnosti pohonů, VÚHU Most, říjen 1992,
- [8] Patera, V.- Veselý, J.: Program VÚHU - Uživatelská příručka, VÚHU Most, prosinec 1991,
- [9] ČSN 01 1403 - Mechanické kmitání a rázy. Obecné požadavky na měření, VÚNM, 1982,
- [10] ČSN 01 1411 - Mechanické kmitání strojů s provozními otáčkami od 10 do 200 s<sup>-1</sup>. Základní směrnice pro ohodnocení mohutnosti kmitání, VÚNM, 1980,
- [11] ČSN 01 1412 - Mechanické kmitání velkých rotačních strojů s provozními otáčkami od 10 do 200 s<sup>-1</sup>. Ohodnocení mohutnosti kmitání v provozních podmínkách, VÚNM, 1980.