



Aplikační list



Vyvažování tuhého rotoru v jedné rovině přístrojem Adash 4900 - Vibrio



Ref: 15032007 KM

Adash s.r.o., Ostrava, Česká republika, tel.: +420 596 232 670, fax: +420 596 232 671, email: info@adash.cz
Další technické a kontaktní informace najdete na www.adash.net, www.adash.cz

Obsah

Vyvažování v jedné rovině bez měření fáze signálu	3
Nevýhody vyvažování jednoduchými přístroji	3
Metodika vyvažování jednoduchým přístrojem.....	4
Postup vyvažování.....	4
Volba měřicího bodu a směru umístění snímače vibrací	4
Kroky postupu vyvažování společné pro všechny metody	4
Metoda dvou testovacích měření.....	5
Vyhodnocení naměřených dat	6
Metoda dvou testovacích měření s přibližně dvojnásobným testovacím závažím.....	7
Metoda tří symetrických testovacích měření	9
Vyhodnocení naměřených dat	9
Metoda tří nesymetrických testovacích měření	11
Poznámky uživatele	13

Vyvažování v jedné rovině bez měření fáze signálu

Standardní přístroj pro vyvažování tuhých rotorů se opírá o výsledky měření:

- otáček,
- amplitudy a fáze vibračního signálu na otáčkové frekvenci.

Vyvažování **v jedné rovině** lze provést pomocí přístroje, který neměří otáčky ani fázi vibračního signálu, ale pouze **on-line měří širokopásmovou RMS hodnotu rychlosti vibrací [mm/s] ve frekvenčním pásmu do 1000 Hz.**

Dále popsanými metodami lze vyvažovat tuhé rotory pouze v jedné rovině, tedy lze vyvažovat rotory, jejichž konstrukce splňuje požadavky na možnost vyvážení v jedné rovině (rotor má dvě ložiska a pouze jeden štíhlý kotouč). Nelze je aplikovat na rotory, jejichž konstrukce vyžaduje vyvážení ve dvou rovinách (obsahuje jeden, ovšem široký kotouč, nebo má více kotoučů).

Nevýhody vyvažování jednoduchými přístroji

Jednoduchý přístroj neposkytuje zejména:

1. měření otáček vyvažovaného rotoru,
2. synchronizaci měření signálem z otáčkové sondy,
3. dynamická měření, tj. měření časového signálu, spektra signálu a řadové analýzy,
4. měření amplitudy a fáze na otáčkové frekvenci.

Ad 1. Tuhý rotor lze vyvažovat na **libovolných otáčkách** v pásmu, kdy je rotor stále dynamicky tuhý. Všechny kroky (fáze) vyvažovacího procesu ale již musí probíhat **při jedné vybraných otáčkách**. Standardní vyvažovací přístroje se brání tomu, aby přijaly výsledek měření provedený při rozdílných otáčkách. Jednoduchý přístroj neumožní obsluhu kontrolovat, zda před spuštěním měření dosáhl rotor požadovaných otáček. Pochopitelně si lze vypomoci externím měřičem otáček.

Ad 2. Neschopnost externí synchronizace dynamických měření pomocí signálu z otáčkové sondy vylučuje možnost:

- průměrovat časové signály,
- měřit fázi vibračního signálu.

Ad 3. Absence dynamických měření znemožňuje předběžnou analýzu, zda problém stroje (tedy zvýšení velikosti vibrací v měřeném pásmu) **je skutečně způsoben nevyváhou** a ne jinou příčinou (uvolněním, nesouosostí...). Taková analýza by měla předcházet před vlastním vyvažováním stroje. V opačném případě se nemusí podařit problém odstranit, protože není vyvolán nevyváhou.

Ad 4. Není-li možno on-line měřit amplitudu a fázi vibračního signálu na otáčkové frekvenci, potom:

- před zahájením procesu vyvažování nelze kontrolovat, že amplituda a fáze jsou při on-line měření stabilní, což je jednou z podmínek úspěšnosti vyvážení,
- nelze použít výkonnější a elegantnější postupy vyvažování, které se opírají o toto měření.

Jsme-li ochotni akceptovat tyto nevýhody, získáváme možnost vyvážit stroj v jedné rovině pomocí velice jednoduchého a tedy levného přístroje.

Metodika vyvažování jednoduchým přístrojem

Při vyvažování jednoduchým přístrojem se provede několik (podle typu metody 3 nebo 4) měření vibrací a naměřené hodnoty se graficky zpracují. Pro vyhodnocení je zapotřebí pouze čistý papír formátu A4, tužka, guma, pravítko s úhloměrem a kružítko.

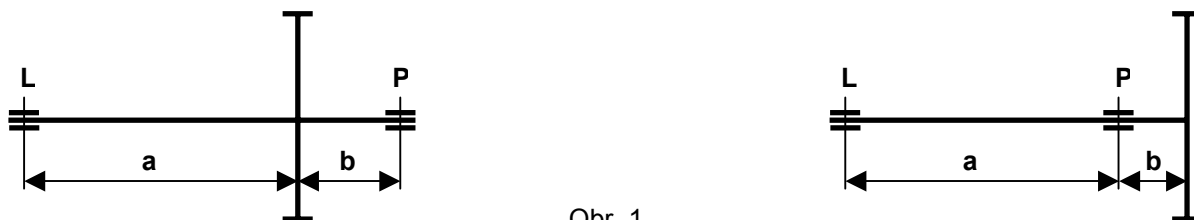
Postup vyvažování

V následujících podkapitolách jsou popsány body postupu vyvažování, které jsou společné pro všechny dále popsané metody.

Volba měřicího bodu a směru umístění snímače vibrací

Před zahájením procesu vyvažování je nutno na stroji vybrat měřicí bod, na kterém budou měřeny vibrace. Při vyvažování v jedné rovině může být rotor osazen pouze jedním úzkým kotoučem, který může být umístěn na převislém konci nebo symetricky či nesymetricky mezi ložisky - viz obr. 1. Ze dvou ložisek L (levé) a P (pravé) zvolíme **to ložisko, na kterém jsou vibrace větší** (větší napěťový signál ze snímače má větší odstup od šumu a rušení).

Lze-li zvolit směr umístění snímače vibrací, volíme opět **ten směr, ve kterém jsou vibrace největší**.



Obr. 1

Splňuje-li rotor podmínky pro vyvážení v jedné rovině, pak při minimalizaci vibrací na jednom ložisku se minimalizují i vibrace na druhém ložisku. Jelikož nemáme jistotu, že tyto podmínky jsou splněny, je nutno hodnoty vibrací před zahájením vyvažovacího procesu (zkušební běh) a po skončení vyvažovacího procesu (kontrolní běh) provést na obou ložiscích. Zbylá měření provedeme pouze na vybraném ložisku (měřícím bodě).

Kroky postupu vyvažování společné pro všechny metody

1. Provedení zkušebního běhu – odečtení a zapsání hodnoty vibrací RMS. Provést i pro druhé ložisko a naměřenou hodnotu zapsat, aby po skončení vyvažovacího procesu bylo možno prokázat, že vibrace poklesly i na druhém ložisku.
2. Umístění testovacího závaží na disk.
3. Provedení testovacího běhu – odečtení a zapsání hodnoty vibrací RMS.
4. Přemístění testovacího závaží na další bod.
5. Opakování bodů 3. a 4. – počet opakování je dán typem metody.
6. Odstranění testovacího závaží z disku.
7. Grafické vyhodnocení naměřených údajů a umístění vývažku na disk. Pouze v případě, je-li vyhodnocení v pořádku, má smysl provést vyvážení.
8. Provedení kontrolního běhu. Provést i pro druhé ložisko. Výsledkem správného vyvážení musí být **pokles vibrací na obou ložiscích**.

Ad 1. Ve zkušebním běhu měříme velikost vibrací stroje v takovém stavu, v jakém v současné době pracuje. **Měření musíme provést na obou ložiscích.** Jsou-li velikosti vibrací **na obou ložiscích** pod limitem, není nutno stroj vyvažovat.

Ad 2. Na disku zvolíme **libovolný vhodný** bod, do něhož umístíme testovací závaží. **Tento bod se stává nulou pro následné odměřování úhlů.** Kladný směr úhlu je ve směru otáčení stroje.

Ad 3. Provede se měření velikosti vibrací na vybraném ložisku (měřicím bodě). Pokud by přístroj uměl měřit fázi signálu, měl by nyní všechny podklady pro určení velikosti vývažku i jeho směru. Jednoduchý přístroj fázi neměří, proto se musí provést minimálně jedno následné měření s vývažkem přemístěným na stejném poloměru na jiný úhel.

Ad 4. Testovací závaží přemístíme na disk **po stejném poloměru** na jiný úhel.

- Pro metodu dvou testovacích měření je vhodné (ale ne nutné) přemístit testovací závaží na opačnou stranu disku, tedy na úhel 180°.
- Pro metodu tří testovacích měření je vhodné (ale ne nutné) přemístit testovací závaží o jednu třetinu kružnice, tedy na úhel 120°.

Ad 5. Provede se testovací měření s testovacím závažím v nové poloze.

- Pro metodu dvou testovacích měření se přechází k bodu 6.
- Pro metodu tří testovacích měření se testovací závaží opět přesune po stejném poloměru na další úhel. Je vhodné (ale ne nutné) provést posunutí o další třetinu kružnice, tedy na úhel 240°, měříme-li úhel od 0° do 360° (tj. na úhel -120°, měříme-li úhel od 0° do ±180°). Opět se provede testovací měření s testovacím závažím v nové poloze.

Ad 6. Testovací závaží se musí z disku odstranit!

Ad 7. Vyhodnocení naměřených dat se provede postupem popsaným dále.

- Při metodě dvou testovacích měření není kontrola, že problém stroje byl způsoben nevyváhou, kterou lze odstranit vyvážením v jedné rovině. Až při zkušebním běhu zjistíme, že na jednom nebo na obou ložiscích se vibrace nesnížily, tedy že se vyvážení nepodařilo provést.
- Při metodě tří testovacích měření lze při vyhodnocení dat zjistit, že problém takovou nevyváhou způsoben není, tedy že nemá smysl vypočtený vývažek na disk umísťovat.

Ad 8. V kontrolním běhu měříme velikost vibrací stroje ve stavu po vyvážení. **Měření musíme provést na obou ložiscích.** Jsou-li velikosti vibrací **na obou ložiscích** pod limitem, pak se podařilo stroj vyvážit. V opačném případě nebyl problém stroje způsoben nevyváhou, kterou lze odstranit vyvážením v jedné rovině.

Pokud během některého z testovacích měření naměříme velmi malou hodnotu vibrací, pak jsme měli štěstí a provedeme rovnou zkušební běh na druhém ložisku, kdy za vývažek prohlásíme právě umístěné testovací závaží. Naměříme-li malou hodnotu vibrací i na druhém ložisku, pak je vyváženo.

Metoda dvou testovacích měření

Postup provedení jednotlivých měření a vyhodnocení naměřených dat bude ukázán na konkrétním příkladě vyvážení stroje. Souběžně s naměřenými daty **RMS** [mm/s] jsou uváděna data naměřená přístrojem pro vyvažování, který měří amplitudu **A** [mm/s] a fázi **F** [°] vibračního signálu na otáčkové frekvenci **n** [ot/s]. Výsledky uvádí Tabulka 1.

Tabulka 1

Krok postupu	RMS [mm/s]	A [mm/s]	F [°]	n [ot/s]
Zkušební běh	1,51	1,60	-134	19,93
Test. běh 0°	2,72	2,83	-111	19,94
Test. běh 180°	0,97	neměřeno	neměřeno	neměřeno
Kontrolní běh		0,25	-75,5	19,94

Vyhodnocení naměřených dat

1. S ohledem na velikost naměřených hodnot RMS volíme měřítko 1 mm/s -> 40 mm.
2. Narýsujeme souřadnicový systém x, y - viz obr. 2.
3. Narýsujeme kružnici b se středem v počátku souřadnicového systému 0 a s poloměrem úměrným naměřené hodnotě RMS zkušebnímu běhu $B = 40 \cdot 1,51 \sim 60$ mm. Tato kružnice reprezentuje výsledek zkušebnímu běhu.
4. Průsečík kružnice b s kladným směrem osy x označíme 0°. Tento bod odpovídá první poloze testovacího závaží.
5. Narýsujeme kružnici t_1 se středem v bodě umístění testovacího závaží 0° a s poloměrem úměrným naměřené hodnotě RMS tohoto testovacího běhu $T_1 = 40 \cdot 2,72 \sim 109$ mm. Tato kružnice reprezentuje vliv testovacího závaží a výsledek testovacího běhu.
6. Průsečík kružnice b se záporným směrem osy x označíme 180°. Tento bod odpovídá druhé poloze testovacího závaží.
7. Narýsujeme kružnici t_2 se středem v bodě umístění testovacího závaží 180° a s poloměrem úměrným naměřené hodnotě RMS tohoto testovacího běhu $T_2 = 40 \cdot 0,97 \sim 39$ mm. Tato kružnice reprezentuje vliv testovacího závaží a výsledek testovacího běhu.
8. Spojnice počátku souřadnicového systému 0 s jedním ze dvou průsečíků P_1 a P_2 kružnic t_1 a t_2 určuje směry umístění vyvažovacího závaží s_1 a s_2 . Vzdálenost $p_1 = |OP_1|$ a $p_2 = |OP_2|$ průsečíků od počátku souřadnicového systému 0 odpovídá hmotnosti testovacího závaží. Který průsečík je ten pravý, je nutno zjistit zkusem.
9. Pro každý z průsečíků P_1 a P_2 spočítáme hmotnost vyvažovacího závaží z úměry: $m_T : p = m_V : B$, tedy $m_{V1} = m_T \cdot B / p_1$ a $m_{V2} = m_T \cdot B / p_2$.
10. Umístíme vyvažovací závaží m_{V1} do směru s_1 a provedeme zkušební běh.
11. Odstraníme vyvažovací závaží m_{V1} a umístíme vyvažovací závaží m_{V2} do směru s_2 a provedeme zkušební běh.
12. Vybereme z výsledků měření v bodech 11. a 12. to lepší nebo bohužel až zde zjistíme, že stroj nelze vyvážit v jedné rovině.

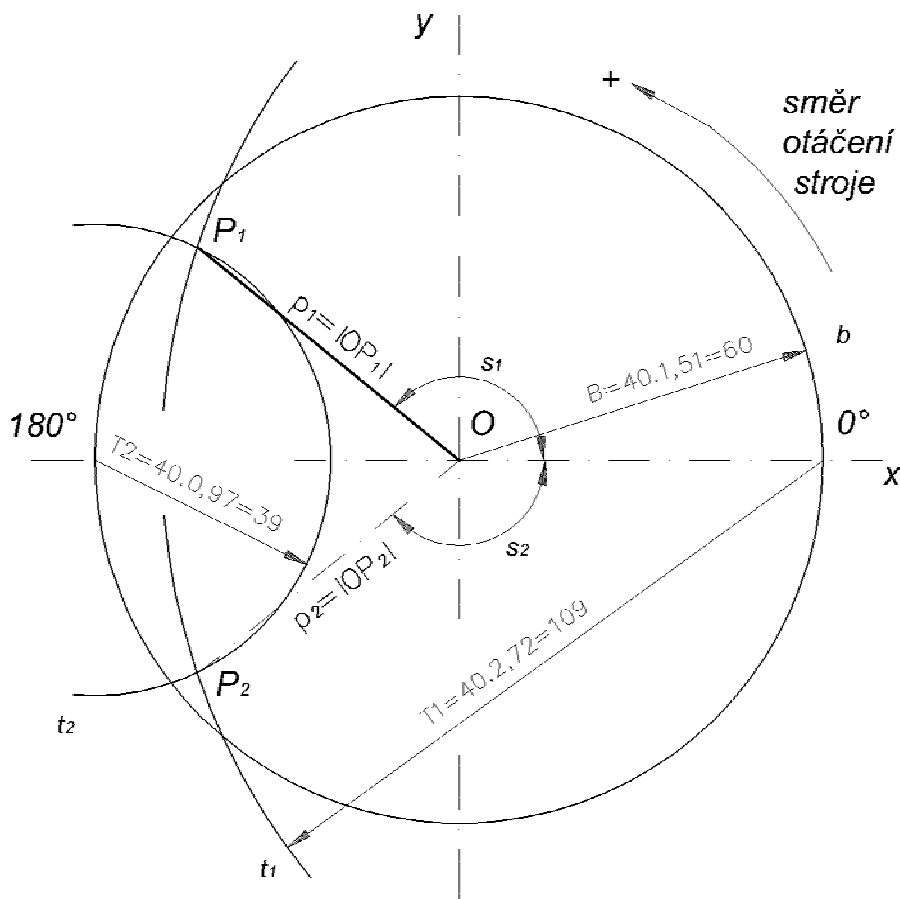
Tabulka 2

	P_1	P_2
Vzdálenost průsečíku [mm]	56	56
Poměr $B : p$, $B = 60$ mm	1,07	1,07
Vývažek $m_V = m_T \cdot B / p$ [-]	1,07	1,07
Směr průsečíku s [°]	140	-140

Výsledek získaný metodou měření amplitudy a fáze na otáčkové frekvenci je **1,06 . m_T na 132°**.

Poznámky:

1. Jelikož pro umístění testovacích vývažků byly použity doporučené úhly 0° a 180°, jsou polohy průsečíků symetrické, tedy 56 mm na 140° a stejných 56 mm na -140°, a vycházejí stejné hodnoty vývažku pro oba směry. Tím se zjednoduší vyhodnocení.
2. Byla použita metoda poměrného vývažku, kdy jistá hmotnost vývažku byla prohlášena za jednotkovou, tedy $m_T = 1$ [-]. Vývažky se určují jako zlomky resp. násobky této hmotnosti. Vývažek má v tomto případě velikost $m_V = m_T \cdot B / p = 1 \cdot B / p = B / p$. Tím se opět zjednoduší vyhodnocení.



Obr. 2

Metoda dvou testovacích měření s přibližně dvojnásobným testovacím závažím

V tomto případě jsou postup měření i vyhodnocení naměřených dat shodné s předchozím příkladem, pouze testovací závaží má větší hmotnost. Proto jsou dále uvedeny jen tabulky 3 a 4 naměřených a vypočtených dat a grafické řešení na obr. 3.

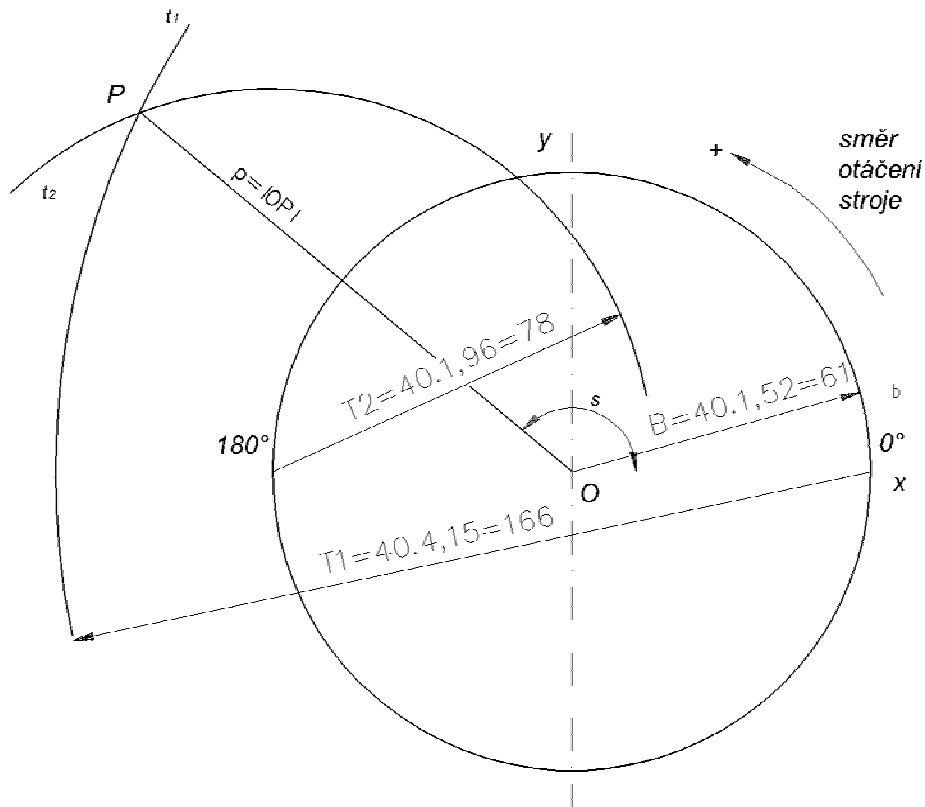
Tabulka 3

Krok postupu	RMS [mm/s]	A [mm/s]	F [°]	n [ot/s]
Zkušební běh	1,52	1,60	-134	19,93
Test. běh 0°	4,15	neměřeno	neměřeno	neměřeno
Test. běh 180°	1,96	neměřeno	neměřeno	neměřeno
Kontrolní běh		0,25	-75,5	19,94

$B = 40 \cdot 1,52 \rightarrow 61 \text{ mm}$
 $T_1 = 40 \cdot 4,15 \rightarrow 166 \text{ mm}$
 $T_2 = 40 \cdot 1,96 \rightarrow 78 \text{ mm}$

Tabulka 4

	P_1	P_2
Vzdálenost průsečíku [mm]	114	nepočítáno
Poměr $B : p$, $B = 61 \text{ mm}$	0,535	nepočítáno
Vývažek $m_v = m_T \cdot B / p$ [-]	0,535	nepočítáno
Směr průsečíku s [°]	140	nepočítáno



Obr. 3

Metoda tří symetrických testovacích měření

Postup provedení jednotlivých měření a vyhodnocení dat naměřených metodou tří testovacích měření bude ukázán na dvou konkrétních příkladech vyvážení téhož stroje jako v předchozí kapitole. Souběžně s naměřenými daty **RMS** [mm/s] jsou uváděna data naměřená přístrojem pro vyvažování, který měří amplitudu **A** [mm/s] a fázi **F** [°] vibračního signálu na otáčkové frekvenci **n** [ot/s].

V této kapitole je popsáno měření a vyhodnocení s vývažky rovnoměrně rozloženými po 120°. Naměřená data jsou uvedena v Tabulce 5.

Tabulka 5

Krok postupu	RMS [mm/s]	A [mm/s]	F [°]	n [ot/s]
Zkušební běh	1,52	1,60	-134	19,93
Test. běh 0°	2,66	2,83	-111	19,94
Test. běh 120°	0,55	neměřeno	neměřeno	neměřeno
Test. běh -120°	2,09	neměřeno	neměřeno	neměřeno
Kontrolní běh		0,25	-75,5	19,94

Vyhodnocení naměřených dat

1. S ohledem na velikost naměřených hodnot RMS volíme měřítko 1 mm/s → 40 mm.
2. Narýsujeme souřadnicový systém x, y - viz obr. 4.
3. Narýsujeme kružnici b se středem v počátku souřadnicového systému 0 a s poloměrem úměrným naměřené hodnotě RMS zkušebnímu běhu $B = 40 \cdot 1,52 \sim 61$ mm. Tato kružnice reprezentuje výsledek zkušebnímu běhu.
4. Průsečík kružnice b s kladným směrem osy x označíme 0°. Tento bod odpovídá první poloze testovacího závaží.
5. Narýsujeme kružnici t_1 se středem v bodě umístění testovacího závaží 0° a s poloměrem úměrným naměřené hodnotě RMS tohoto testovacího běhu $T_1 = 40 \cdot 2,66 \sim 106$ mm. Tato kružnice reprezentuje vliv testovacího závaží a výsledek testovacího běhu.
6. Průsečík kružnice b se směrem 120° označíme 120°. Tento bod odpovídá druhé poloze testovacího závaží.
7. Narýsujeme kružnici t_2 se středem v bodě umístění testovacího závaží 120° a s poloměrem úměrným naměřené hodnotě RMS tohoto testovacího běhu $T_2 = 40 \cdot 0,55 \sim 22$ mm. Tato kružnice reprezentuje vliv testovacího závaží a výsledek testovacího běhu.
8. Průsečík kružnice b se směrem -120° označíme -120°. Tento bod odpovídá třetí poloze testovacího závaží.
9. Narýsujeme kružnici t_3 se středem v bodě umístění testovacího závaží -120° a s poloměrem úměrným naměřené hodnotě RMS tohoto testovacího běhu $T_3 = 40 \cdot 2,09 \sim 84$ mm. Tato kružnice reprezentuje vliv testovacího závaží a výsledek testovacího běhu.
10. **Tyto tři kružnice by měly mít jeden společný průsečík P.** V důsledku nepřesností se nebude jednat o bod, ale o velmi malý křivočarý trojúhelník. Neexistuje-li takový průsečík, pak nelze stroj vyvážit v jedné rovině a je zbytečné v procesu dále pokračovat.
11. Spojnice počátku souřadnicového systému 0 se společným průsečíkem P všech tří kružnic t_1 až t_3 určuje směr umístění vyvažovacího závaží s. Vzdálenost $p = |OP|$ průsečíku od počátku souřadnicového systému 0 odpovídá hmotnosti testovacího závaží.
12. Pro průsečík P spočítáme hmotnost vyvažovacího závaží z úměry: $m_T : p = m_V : B$, tedy $m_V = m_T \cdot B / p$.
13. Umístíme vyvažovací závaží m_V do směru s a provedeme zkušební běh.
14. Nedopadne-li kontrolní běh dobře, nelze stroj vyvážit v jedné rovině. Pravděpodobnost, že se to dovíme až zde, je menší než u metody dvou testovacích závaží, neboť již v bodě 10 pravděpodobně zjistíme, že neexistuje společný průsečík.

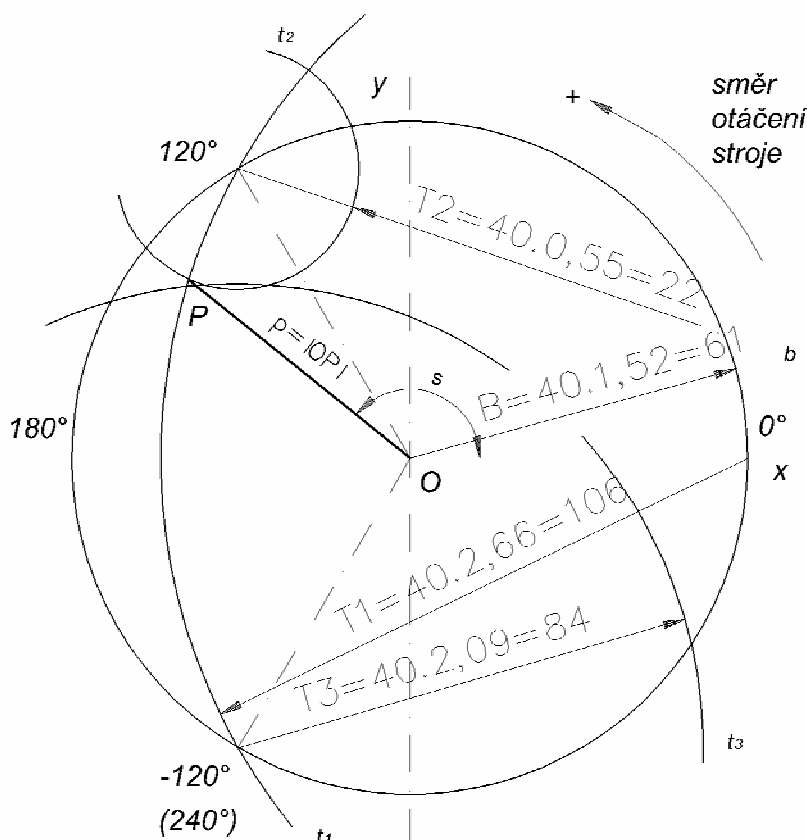
Tabulka 6

	P
Vzdálenost průsečíku p [mm]	50 až 52
Poměr B : p, B = 61 mm	1,22 až 1,17
Vývažek $m_v = m_T \cdot B / p$ [-]	1,22 až 1,17
Směr průsečíku s [°]	139°

Výsledek získaný metodou měření amplitudy a fáze na otáčkové frekvenci je **1,06 . m_T na 132°**.

Poznámky:

1. Byla použita metoda poměrného vývažku, kdy jistá hmotnost vývažku byla prohlášena za jednotkovou, tedy $m_T = 1$ [-]. Vývažky se určují jako zlomky resp. násobky této hmotnosti. Vývažek má v tomto případě velikost $m_v = m_T \cdot B / p = 1 \cdot B / p = B / p$. Tím se zjednoduší vyhodnocení.
2. Všimněme si výsledku měření při testovacím běhu 120°, kdy byla naměřena poměrně nízká hodnota vibrací 0,55 mm/s. Pokud by vyhověla požadavkům na vyvážení stroje, můžeme proces vyvažování ukončit, provést kontrolní běh na druhém ložisku a testovací závaží v poloze 120° prohlásit jako vývažek.



Obr. 4

Metoda tří nesymetrických testovacích měření

V tomto případě jsou postup měření i vyhodnocení naměřených dat shodné s předchozím příkladem, pouze testovací závaží nejsou symetricky rozmístěna na úhly 0°, 120° a -120°, ale nesymetricky na úhly 0°, 90° a 180°. Proto jsou dále uvedeny jen tabulky 7 a 8 naměřených a vypočtených dat a grafické řešení na obr. 5.

Tabulka 7

Krok postupu	RMS [mm/s]	A [mm/s]	F [°]	n [ot/s]
Zkušební běh	1,52	1,60	-134	19,93
Test. běh 0°	2,70	2,83	-111	19,94
Test. běh 90°	1,27	neměřeno	neměřeno	neměřeno
Test. běh 180°	0,99	neměřeno	neměřeno	neměřeno
Kontrolní běh		0,25	-75,5	19,94

$$B = 40 \cdot 1,52 \rightarrow 61 \text{ mm}$$

$$T_1 = 40 \cdot 2,70 \rightarrow 108 \text{ mm}$$

$$T_2 = 40 \cdot 1,27 \rightarrow 51 \text{ mm}$$

$$T_3 = 40 \cdot 0,99 \rightarrow 40 \text{ mm}$$

Tabulka 8

	P
Vzdálenost průsečíku p [mm]	54 až 59
Poměr B : p, B = 61 mm	1,13 až 1,03
Vývažek $m_v = m_T \cdot B / p$ [-]	1,13 až 1,03
Směr průsečíku s [°]	140°

Výsledek získaný metodou měření amplitudy a fáze na otáčkové frekvenci je **1,06 . m_T na 132°**.

Poznámky uživatele