

inž. František H o c h m a n n , VÚHU,
dipl.tech. Jan J a n í č e k , VÚHU:

VYVÁŽOVÁNÍ KOREČKOVÝCH RYPADEL A ZAKLADACÍCH S KOLEJOVÝM PODVOZKEM

1. Úvod:

Otázka vyváženosti dobývacích a zakládacích strojů je řešena při konstrukci strojů a musí být respektována během provozu. Nesprávné rozdělení hmot je zdrojem mnohých provozních potíží, které se projevují ve zhoršené stabilitě se všemi důsledky jako např. zabořování, nadměrné opotřebení kol, čepů vahadel, kulových a kruhových drah apod.

Poloha těžiště strojů se určuje výpočtem na základě konstrukčních vah. Stejnou cestou je stanovena i váha protizávaží. Do jaké míry jsou splněny předpoklady konstruktérů, je možné ověřit měřením. Tato měření jsou v případech, kdy došlo k úpravám strojů v rámci opravářských zásahů, jediným způsobem, jak určit polohu těžiště stroje.

Výzkumný ústav pro hnědé uhlí v Mostě po řadě měření vyváženosti kolesových rypadel provedl určení rozložení tlaků u korečkového rypadla D 800 za účelem posouzení váhy pevného protizávaží po rekonstrukci rypadla (obr.1). Toto poměrně jednoduché měření lze uplatnit u většiny kolejových dobývacích a zakládacích strojů. Váha kolejových strojů se přenáší na kolejový rošt prostřednictvím kolejového podvozku. Vahadlový systém podvozku se opírá o nosný rám ve třech bodech. Toto uspořádání je staticky určité a umožňuje vcelku rovnoměrné rozdělení váhy na jednotlivé podpěry a kola. Rozdělení váhy je určeno polohou těžiště T hmoty stroje (obr. 2), kterou lze ovlivnit vahou protizávaží. Polohu těžiště T hmoty stroje lze určit na základě znalosti reakcí, působících na podpěry stroje. Podstata problému proto spočívá v tom, určit měřením velikost těchto reakcí, vypočítat z nich polohu těžiště T hmoty stroje, porovnat zjištěnou skutečnost s předpokladem nebo původním stavem před rekonstrukcí a na základě toho určit případnou nutnost změny váhy protizávaží.

II. Metodika měření

Celkové reakce P_1 , P_2 , K (obr. 2), působící na podpěry stroje, se rovnají součtu tlaků, působících na jednotlivá kola příslušných podpěr. To umožnilo použít takový způsob měření, při kterém byla tensometricky změřena síla, potřebná k úplnému nadzvednutí jednoho čtyřkolí osmikolového podvozku. Měření bylo provedeno na čtyřech krajních čtyřkolích podvozku. Na obr. 3 jsou tato místa označena čísly 1, 2, 3, 4.

K zvednutí čtyř krajních čtyřkolí při měření bylo použito hydraulického agregátu o maximálním tlaku 200 atp, poháněného elektromotorem. Na zvláštní vybudované lože, skládající se z prahů a ocelové desky, byl pod každé zvedané čtyřkolí umístěn hydraulický zvedák o průměru pístu 250 mm. Na píst hydraulického zvedáku se umístil tenzometrický dynamometr. Tenzometrické dynamometry byly před použitím ocejchovány na tlačném lisu. Charakteristika tlakoměrů byla přímková.

Metoda měření odporovými tenzometry dovozuje i v nepříznivém provozním prostředí pracovat s přesností $\pm 2,5\%$. Je však třeba pečlivě eliminovat rušivé vlivy, vzniklé rozdíly teplot a vlhkostí a dbát při konstrukci dynamometrů zásady rovnoměrného rozdělení zatížení krajních vláken dynamometru.

Při měření byl stroj očištěn od zeminy a korečkový vodič byl přibližně ve vodorovné poloze. Uspořádání měřeného místa v období přípravy měření je patrné z obr. 4 a v období měření z obr. 5.

III. Výsledky měření

Odečítání tlakových údajů bylo prováděno na dvou tenzometrických můstcích Philips při citlivosti 1000. Výsledky měření jsou uvedeny v následující tabulce:

Měřené místo	Označení síly na obr. 3	Naměřeno kp
1	F_1	73 400
2	F_2	52 700
3	F_3	52 100
4	F_4	71 600

(Výsledky měření, odečítané v ustáleném stavu).

Při zpracování výsledků měření se vycházelo z následující úvahy:

Ramena pák, tvořených vahadly podvozku, jsou v určitém poměru. (Délky ramen jsou na obr. 6 a 7 označeny písmeny malé abecedy.) Z obr. 6 je patrné, že zvedne-li se čtyřkolí pevné podpěry v jeho ose, tj. v bodě M o hodnotu x (cm), zvedne se stroj v bodě M_3 , resp. v bodě A o hodnotu x_3 (cm) danou vztahem

$$x_3 = \frac{x}{p}$$

$$p = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{e}{f}$$

Tento vztah má obecnou platnost. Pro rypadlo typu D 800 platí podle obr. 6:

$$p = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{e}{f} = 6$$

$$x_3 = \frac{x}{6}$$

Ve stejném poměru se rozdělí na jednotlivá čtyřkolí část váhy stroje (bez podvozku), působící na podpěru v bodě A, resp. v bodě B. U kyvné podpěry jsou poměry obdobné. Vlastní váha podvozku se zpravidla až na pohony rozdělí na kulové čepy jednotlivých čtyřkolí rovněž rovnoměrně. Váha pohonné jednotky působí pouze na to čtyřkolí, na kterém je umístěna. V případě, že pohonná jednotka o váze m_p je umístěna na krajním, při měření zvedaném čtyřkolí a poháněn je každý osmikolový podvozek (jako je tomu např. u rypadla typu D 800), vypočítají se celkové reakce, působící na podpěry, podle následujících vztahů:

$$P_1 = (F_1 - \frac{1}{2} m_p) \cdot p \dots\dots\dots (1)$$

P_1 = celková reakce, působící na podpěru (součet tlaků, působících na jednotlivá kola příslušné podpěry)

F_1 = síla potřebná ke zvednutí čtyřkolí (např. v bodě M dle obr. 6). Její hodnota je uvedena v tab. 2

m_p = váha pohonné jednotky podvozku. Pro rypadlo typu D 80 je $m_p = 2400$ kg

p = převod, daný uspořádáním jednotlivých vahadel podvozku. Pro rypadlo typu D 800 platí, že $p = 6$, jak je uvedeno výše.

$$P_2 = (F_2 - \frac{1}{2} m_p) \cdot p \dots\dots\dots (2)$$

$$K = (F_3 - \frac{1}{2} m_p) \cdot p \dots\dots\dots (3)$$

$$p = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{e}{f} \text{ dle obr. 7}$$

Pro rypadlo typu D 800 platí, že $p = 8$

Ve vztahu (3) je možno za F_3 dosadit sílu F_4 , po případě aritmetický průměr těchto hodnot, jsou-li obě měřeny.

Skutečná poloha těžiště T_1 hmoty stroje v rovině kolé na podélnou osu podvozku se vypočítá z hodnot P_1 , P_2 a K na základě podmínek rovnováhy a momentové věty (obr. 8).

Z podmínek rovnováhy vyplývá velikost výslednice R :

$$P_1 + P_2 + K - R = 0$$

$$R = P_1 + P_2 + K \dots\dots\dots (4)$$

Z momentové věty je možno vypočítat vzdálenost t_1 těžiště T_1 hmoty stroje např. od osy pevné podpěry

$$K \cdot r - R \cdot t_1 = 0$$

$$t_1 = \frac{K \cdot r}{R} \dots\dots\dots (5)$$

Nevyhovuje-li tato zjištěná vzdálenost t_1 těžiště T_1 původním předpokladům nebo nastala-li její změna po rekonstrukci, je možno ji ovlivnit změnou váhy pevného protizávaží. Tak např. posunulo-li se těžiště T směrem k pevné podpěře o hodnotu Δt (obr. 8), je nutno k dosažení původního stavu přidat protizávaží o váze ΔQ , jehož hodnota se vypočítá z momentové věty:

$$\Delta Q \cdot v - R \cdot \Delta t = 0$$

$$\Delta Q = \frac{R \cdot \Delta t}{v} \dots\dots\dots (6)$$

V konkrétním případě byla určena váha přídatku protizávaží po rekonstrukci rypadla typu D 800.3 takto:

a) Podle vztahů (1), (2) a (3) byly určeny hodnoty reakcí:

$$P_1 = (F_1 - \frac{1}{2} m_p) \cdot p = (73,4 - 1,2) \cdot 6 = 433,2 M_p$$

$$P_2 = (F_4 - \frac{1}{2} m_p) \cdot p = (71,6 - 1,2) \cdot 6 = 422,4 M_p$$

$$K = \frac{F_2 + F_3 - m_p}{2} \cdot p = \frac{52,7 + 52,1 - 2,4}{2} \cdot 8 = 409,6 M_p$$

b) Podle vztahu (4) byla určena výslednice R

$$R = P_1 + P_2 + K = 1265,2 M_p$$

Tato hodnota představuje váhu stroje.

c) Podle vztahu (5) byla určena vzdálenost těžiště od pevné nohy v rovině kolmé na podélnou osu podvozku

$$t_1 = \frac{K \cdot r}{R} = \frac{409,6 \cdot 11}{1265,2} = 3,55 \text{ m}$$

r = vzdálenost podpěr (obr. 8). U rypadla typu D 800 je vzdálenost
r = 11 m.

Před rekonstrukcí byla vzdálenost těžiště od osy pevné podpěry větší, a to t = 3,76 m. Vzdálenost t vyplynula z měření před rekonstrukcí a shoduje se s výpočtem stability. Rozdíl vzdáleností t a t₁ je označen na obr. 8 symbolem Δt

$$\Delta t = t - t_1 = 3,76 - 3,55 = 0,21 \text{ m}$$

Ze vztahu (6) je určena váha přídatku protizávaží

$$\Delta Q = \frac{R \cdot \Delta t}{v} = \frac{1265,2 \cdot 0,21}{21,74} = 12,2 \text{ t}$$

v = vzdálenost těžiště pevného protizávaží od bodu T. Podle výpočtu stability rypadla typu D 800.3 je v = 21,74 m.

Následkem rekonstrukce se tedy těžiště hmoty stroje posunulo o 21 cm směrem k pevné podpěře. K dosažení původního stavu by bylo potřebné zvětšit váhu pevného protizávaží o 12,2 t. Zvětšením váhy protizávaží se změní tlak na kola. U pevných podpěr se zmenší, u kyvné podpěry zvětší. Jednoduchým výpočtem je možno se přesvědčit, že tyto změny nejsou v daném případě podstatné.

Výpočet při vyvažování otočných strojů

Použije-li se popsáný způsob měření a výpočtu u otočných strojů, vychází se při výpočtu vyvážení z následujících momentových podmínek (obr. 10, obr. 9):

a) momentová podmínka k ose y :

$$K \cdot r - G_s \cdot n - G_h \cdot (n + e \cdot \cos \varphi) = 0$$

b) momentová podmínka k ose y' :

$$P_2 \cdot s \cdot \sin \alpha - G_s \cdot (r - n) \cdot \cos \alpha - G_h \cdot / (r - n) \cdot \cos \alpha - e \cdot \cos (\alpha + \varphi) / = 0$$

c) momentová podmínka k ose y'' je obdobná jako k ose y .

Jednotlivé symboly použité v rovnicích mají následující význam:

K, P_2 = celková reakce působící na příslušnou podpěru. Jejich výpočet uvádí vztahy (2) a (3).

G_h = váha horní otočné části stroje.

G_s = váha spodní stavby. V uvedených rovnicích se pro jednoduchost předpokládá, že výslednice G_s působí ve středu otočné dráhy.

n, r, α = geometrické vztahy, dané konstrukčním uspořádáním stroje.

φ = úhel natočení horní stavby v případě, že výslednice G_h působí v ose vodiče nebo výložníku.

e = výstřednost působení G_h .

IV. Vliv tření při měření

Popsaný způsob měření předpokládá zvednutí některého čtyřkolí do určité malé výše nad kolejnici. Při tomto zvedání působí proti pohybu tření v příslušných čepech. Na příklad při zvedání krajního čtyřkolí v brzdě M dle obr. 6 působí proti pohybu tření v místech $O_1, O_2, O_3, M_1, M_2, M_3$. Síla F_i , potřebná ke zvedání čtyřkolí se vlivem tohoto tření zvětší o hodnotu T_x . Po zastavení zvedání, resp. při spouštění působí tření opět proti pohybu. Síla F_i se proto o hodnotu T_x zmenší.

Na obr. 11 jsou znázorněny grafy teoretické závislosti síly na velikosti zdvihu hydraulického zvedáku a síly na čase. V bodě S jsou již všechna kola zvedaného čtyřkolí nad kolejnicemi a při dalším malém zdvihu až do bodu S' se potřebná síla $F' = F_i + T_x$ prakticky nemění. Po ukončení zdvihu je síla, potřebná k udržení čtyřkolí ve zvednutém stavu $F'' = F_i - T_x$. (Prakticky nastává velmi nepatrné klesání vlivem netěsností hydraulického zařízení).

Protože síly F' a F'' je možné odděleně změřit, lze určit velikost síly T_x , vzniklé při zvedání čtyřkolí následkem tření takto:

$$F' = F_i + T_x$$

$$F' - F'' = 2T_x$$

$$F'' = F_i - T_x$$

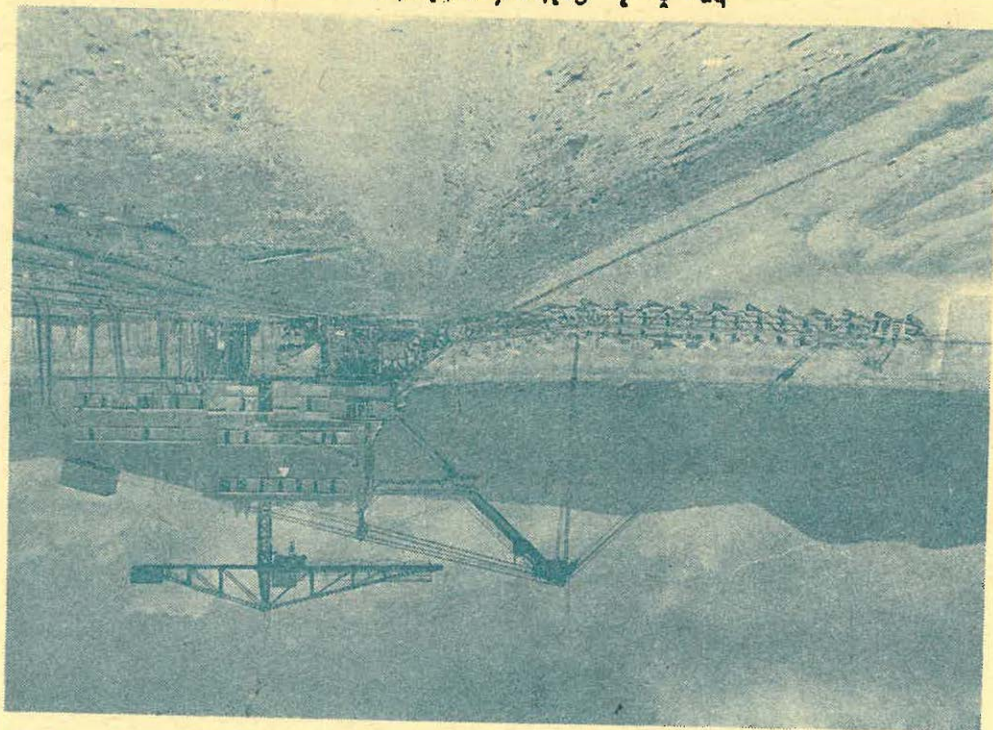
$$T_x = \frac{F' - F''}{2}$$

Při měření na rypadle typu D 800.3 po rekonstrukci byla oscilograficky zachycena závislost síly na čase dle obr. 11. Praktický průběh grafu potvrdil teoretické předpoklady, avšak hodnota síly T_x byla velmi malá; menší než předpokládaná přesnost měření. Měření bylo uskutečněno při teplotě okolí $+18^{\circ}\text{C}$.

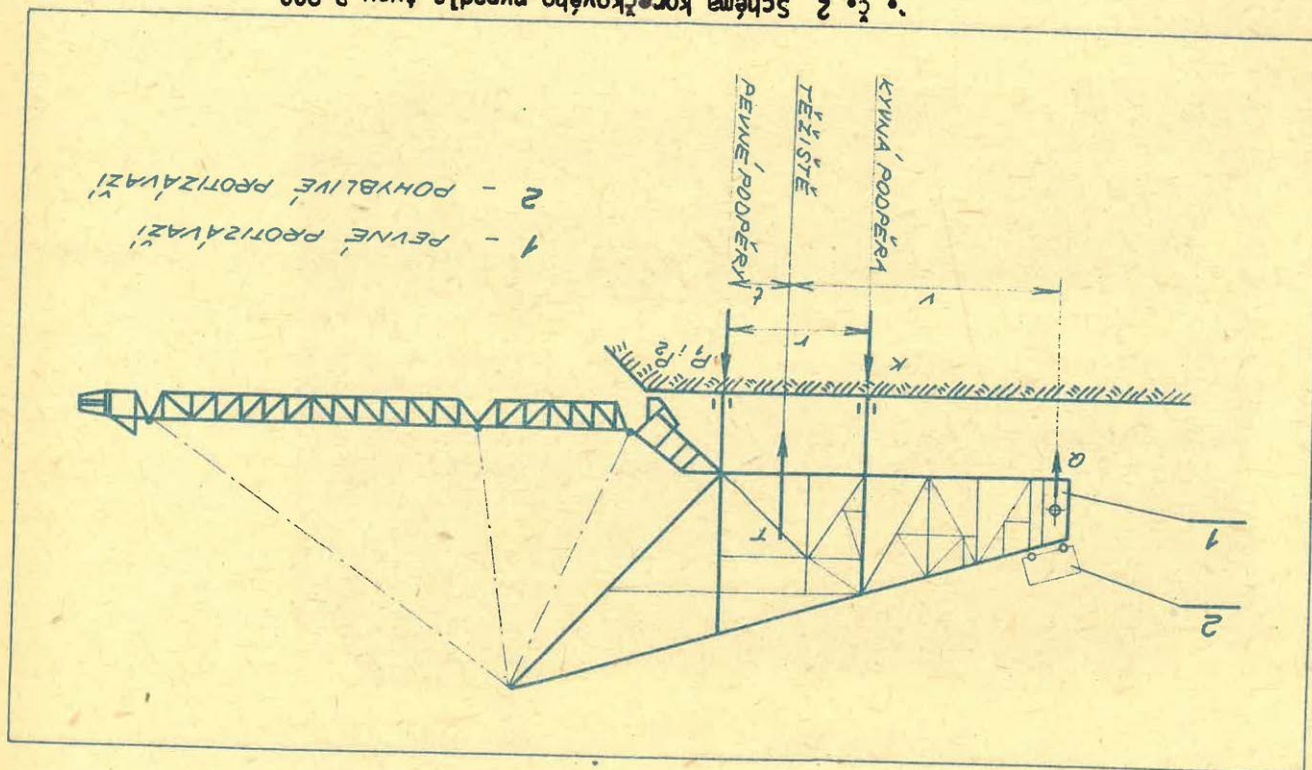
S h r n u t í

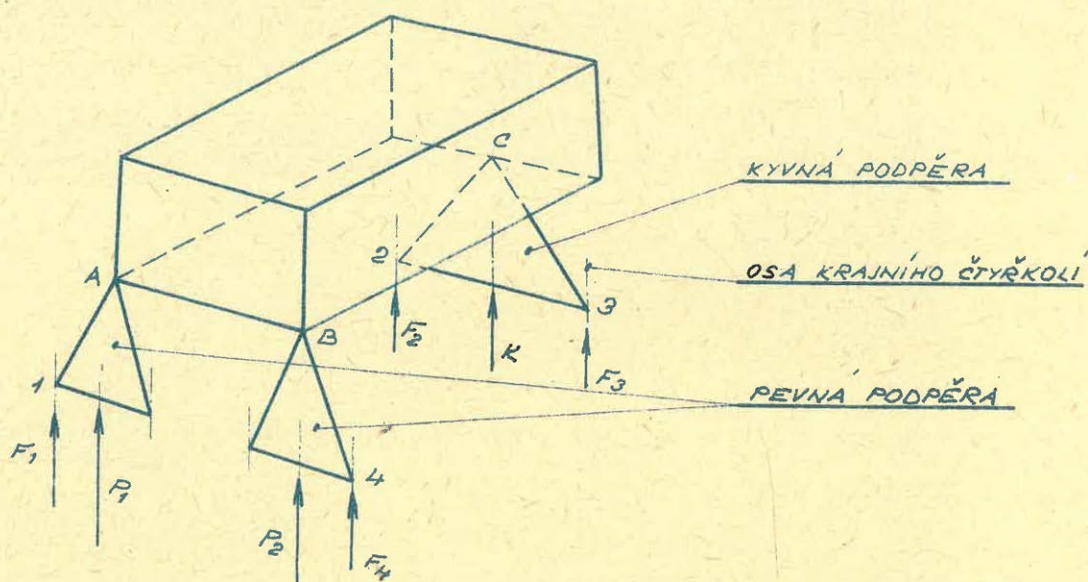
Pojednání se týká způsobu měření a výpočtu stavu vyváženosti kolejových rypadel a zakladačů. Měření je poměrně jednoduché a nenáročné na přípravu. Bylo dosaženo dobrých praktických výsledků.

br. č. 1 Celkový pohled na rypadlo typu D 800

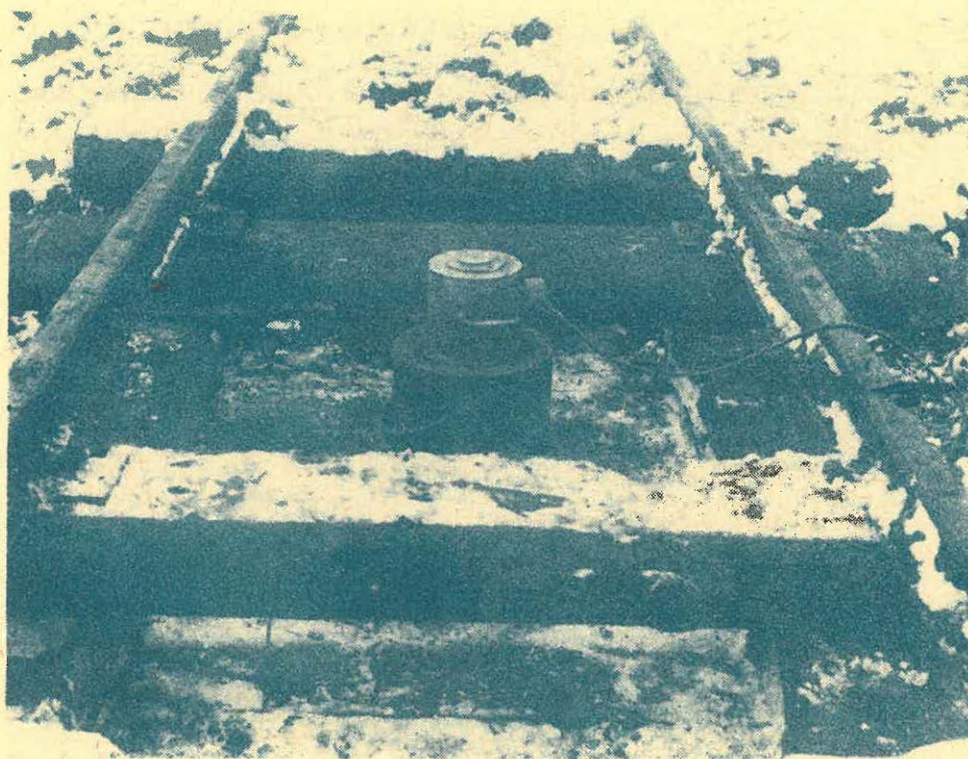


• č. 2 Schéma korečkového rypadla typu D 800

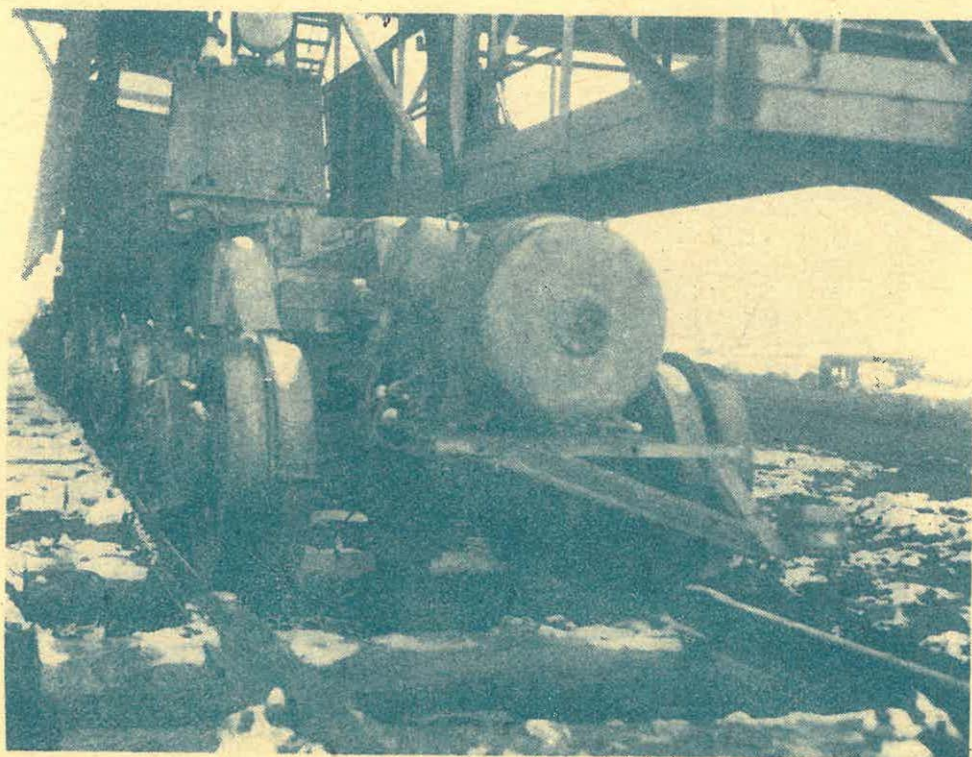




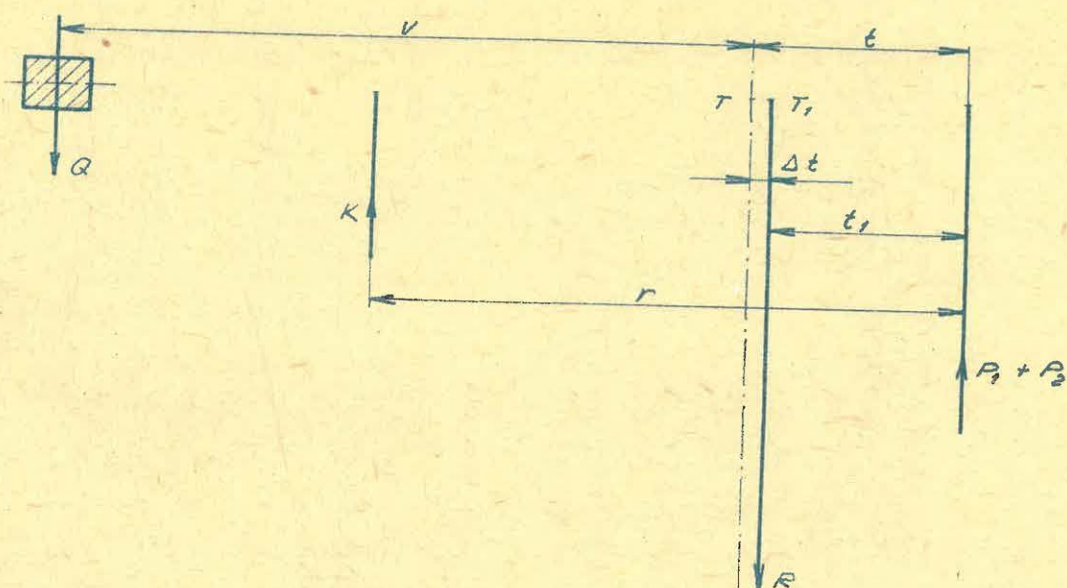
Obr. č. 3 Schéma měřených míst



Obr. č. 4 Hydraulický zvedák a tensometrický dynamometr

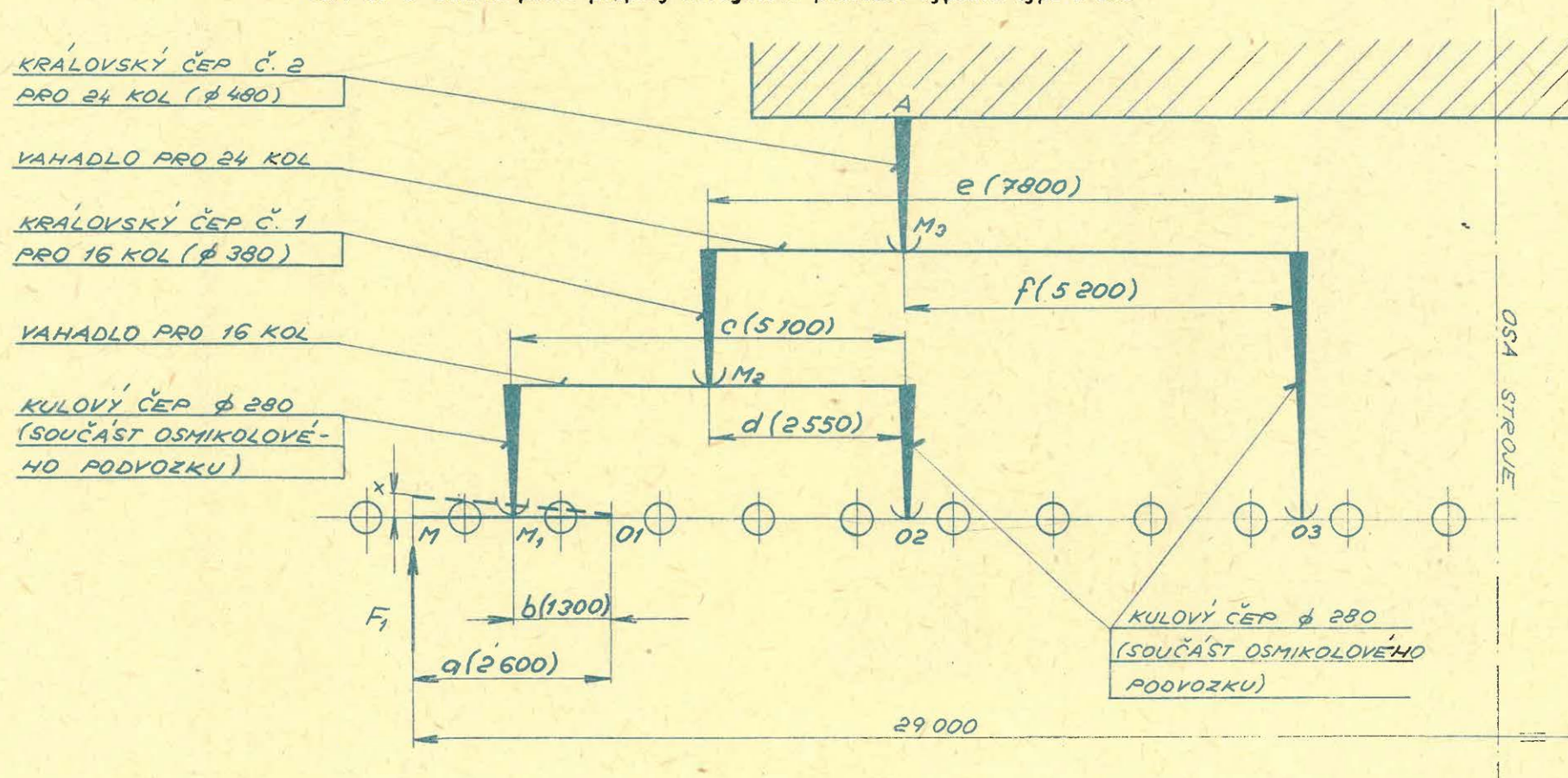


Obr. č. 5 Měřené místo

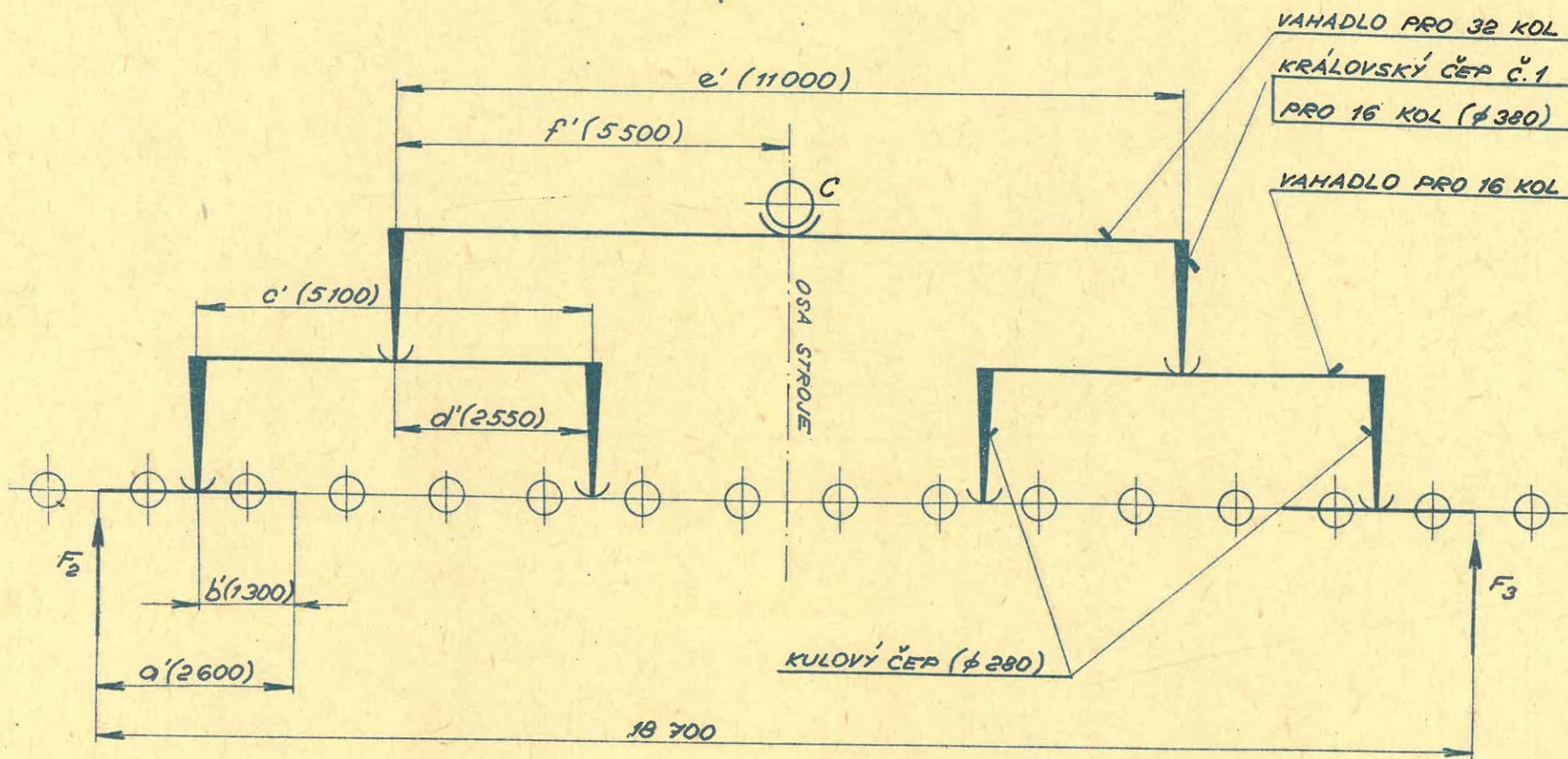


Obr. č. 8 Grafické znázornění působících sil

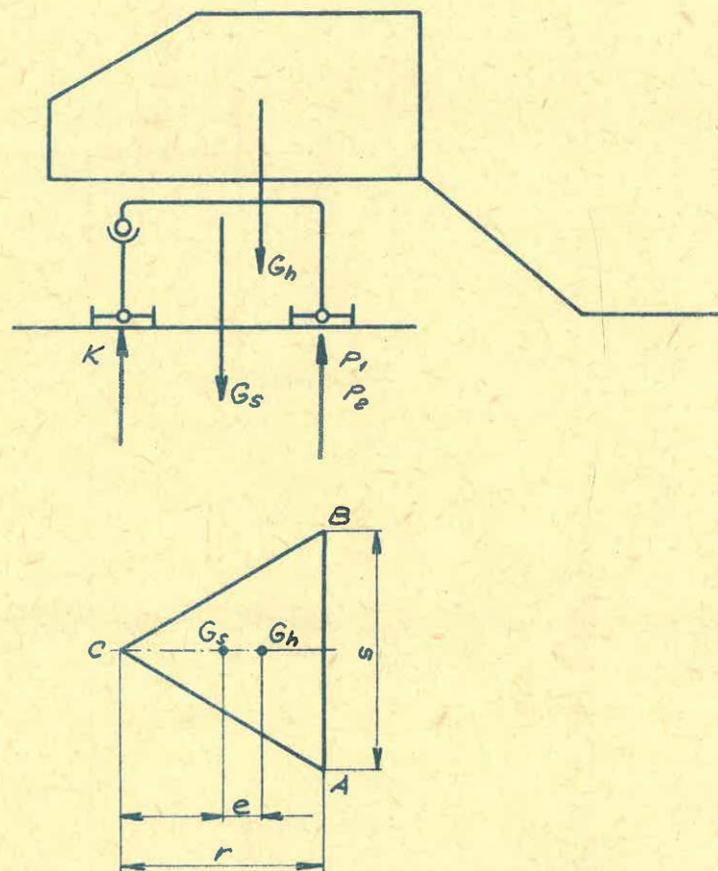
Obr. č. 6 Schéma pevné podpěry kolejového podvozku rypadla typu D 800



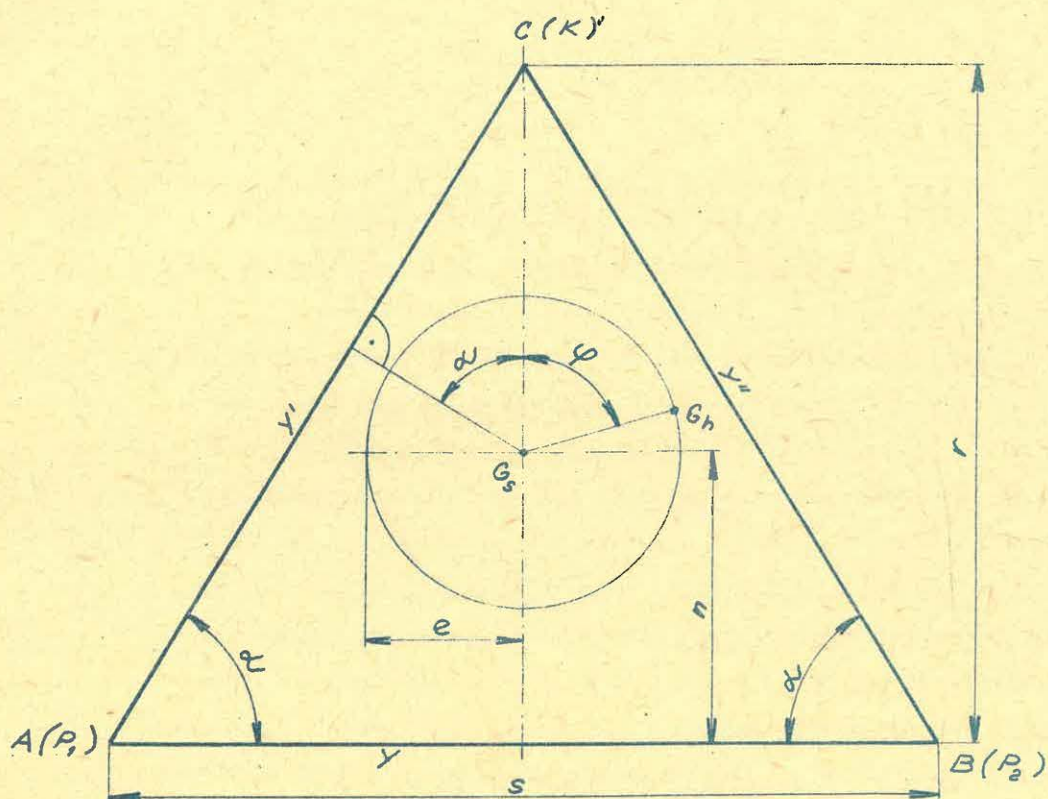
Obr. č. 7 Schéma kyvné podpěry kolejového podvozku rypadla typu D 800



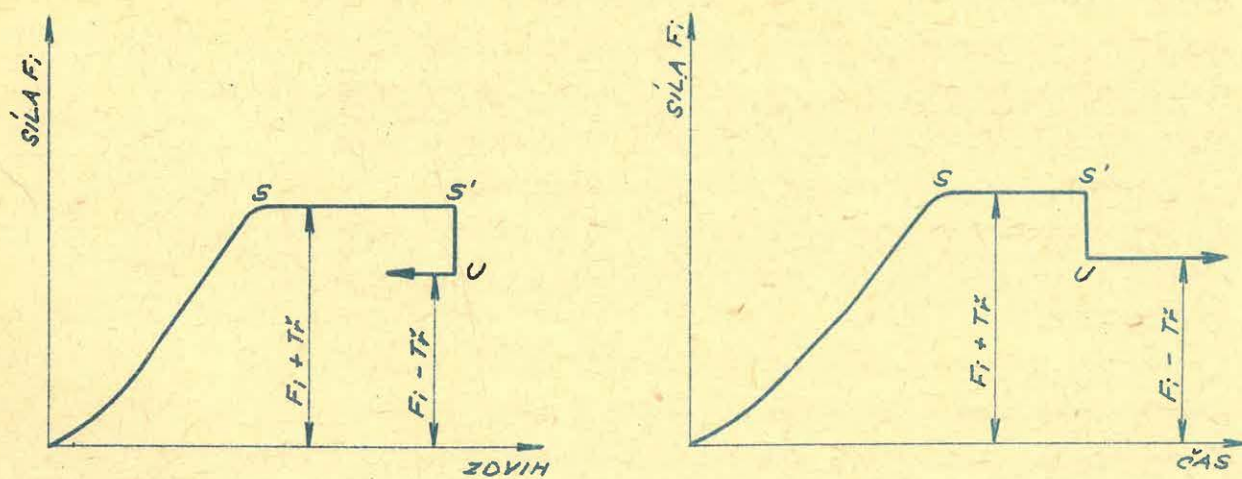
SCHEMA KYVNÉ PODPĚRY KOLEJOVÉHO PODVOZKU RYPADLA TYPU D 800



Obr. č. 9 Schéma otočného stroje



Obr. č. 10 Schéma k výpočtu u otočného stroje



Obr. č. 11 Teoretický graf závislosti síly na zdvihu a síly na čase