

Ing. Jaroslav Z e l e n k ' a, VÚHU

Teoretické podklady pro určení základních parametrů kola

1.0 Těžba skrývkových hmot na povrchových dolech revíru SHR a HDBS je převážně závislá na kolesových rypadlech. Těžební výkonnost těchto rypadel je však v první řadě určena konstrukcí a základními parametry kola a jeho nabíracích orgánů. V našich podmínkách se dosud značně podcenila otázka teoretických podkladů pro rypný orgán, a to zvláště v závislosti na půdních vlastnostech rýpané zeminy. Dosud získané provozní výsledky dokazují, že jednotné konstrukční provedení kola nevyhovuje pro všechny geomechanické podmínky, které se vyskytují v širokém rozsahu při těžbě jak skrývkových hmot, tak i uhelné sloje.

2.0 Základním technickým parametrem kola je těžební hodinová výkonnost, která je dána jednak konstrukčním provedením kola a jeho nabíracích orgánů, jednak požadavkem plánované těžby. Pro určení konstrukčních parametrů kola stanoví se teoretická výkonnost ze známého vztahu:

$$Q_t = 60 \cdot O \cdot p \quad (m^3 \cdot h^{-1})$$

kde značí:

O	- objem korečku + 50 % mezikruží	(m^3)
p	- počet výsypů	(min^{-1})

Jelikož při výpočtu se uvažuje vodní obsah korečku, pak tímto vztahem je určena těžební výkonnost v m^3 sypané zeminy.

Jestliže se dosazují do výpočtu teoretické výkonnosti další parametry kola a rozměry rýpané třísky, lze z odvozených vztahů konstatovat, že výkonnost kola je přímo úměrná na:

- objemu odrýpané třísky (rozměry třísky)
- rychlostních parametrech kola (obvodová rychlost kola, otočová rychlost horní stavby)
- měrné rypné nebo řezné síle
- rozměrových parametrech kola (průměr, počet korečků).

Uvedené vztahy stanoví výpočet teoretické hodinové výkonnosti, a to buď v sypané zemině, nebo v rostlé a jsou základním podkladem pro výpočet konstrukčních prvků kola a ocelové konstrukce.

2.1 Avšak pro provozní podmínky nasazení uvedené vztahy nevyhovují, jelikož dlouhodobá skutečná těžební výkonnost se značně liší od teoretické výkonnosti. Aby bylo možno stanovit z teoretické hodinové výkonnosti kola roční požadovanou těžbu dle plánovaných potřeb, je nutno prošetřit:

- a) koeficient nakypření rýpané zeminy. Z mnoha provedených měření se používá pro skryvkové hmoty 1,35 - 1,4, pro uhlí 1,5;
- b) časové využití stroje, z hlediska manipulačních ztrát při rypání v bloku a pohybu rypadla, vyplývající z technologických podmínek nasazení;
- c) provozní spolehlivosti rypadla a dalších navazujících článků technologického komplexu;
- d) kapacitní využití kola vlivem různých specifických podmínek při těžbě. Jedná se především při těžbě proplátek o malé mocnosti, při zvýšených rypných odporech, při dobývání lepivých či kusovitých zemín apod.;
- e) čas potřebný pro PPO.

3.0 Z uvedených ukazatelů, které je nutno stanovit z dlouhodobých výkazů, je pak možno určit i docílenou roční těžbu rypadla v daných provozních podmínkách.

Jedním ze základních parametrů kola, který výrazně ovlivňuje jak těžební výkonnost, tak i velikost pohonu kola, je měrná rypná nebo řezná síla.

Pro upřesnění používaných pojmů uvedeme nejprve základní definice. Pod pojmem měrná rypná síla na kole se uvažuje obvodová síla na vnějším obvodu kola, vztažená na 1 m délky hran, která se využívá k rozpojování a urychlení zeminy v korečku, k vynášení zeminy do místa výsypu, k překonání všech pasivních odporů mezi korečkem a zeminou mimo

pasivních odporů kola a pohonné jednotky. Ve vztahu k zemině odpovídá tato hodnota měrnému rypnému odporu.

Pod pojmem měrná řezná síla na kolese rozumíme opět podíl obvodové síly, snížený však o silový účinek potřebný pro vynášení zeminy od místa narýpnutí k bodu výsypu. Ve vztahu k zemině odpovídá měrnému řeznému odporu.

Zde je nutno si uvědomit, že měrná řezná nebo rypná síla je základním parametrem kola a vyplývá z jeho konstrukčního provedení. Měrný rypný nebo řezný odpor zeminy je základním parametrem zeminy a je ovlivňován jejími půdněmechanickými vlastnostmi.

Měrný rypný nebo řezný odpor zeminy by měl vycházet z podrobně analyticky prozkoumaného procesu rozpojování, ze znalosti skutečných silových a napěťových podmínek v zemině při její destrukci. Přes úsilí již mnoha autorů, kteří se pokusili na základě matematických vztahů mechaniky zemin stanovit analyticky velikost měrného a řezného odporu, nebylo dosud uspokojivě dosaženo shodnosti těchto hodnot při srovnání s naměřenými hodnotami v provozu.

3.1 Při stanovení velikosti rypných odporů je proto stále používáno metody, vycházející z provozních měření na strojích nasazených v daných těžebních podmínkách.

Měrná rypná síla vyplývá ze základních vztahů:

$$k = \frac{9,55 \text{ Nstr.}}{R \cdot n} \cdot \frac{1}{l_{\text{str}}} \quad (\text{kN} \cdot \text{m}^{-1})$$

kde značí: Nstr - střední výkon pohonu kola (kW)

} - účinnost kola a pohonu

R - poloměr kola

n - počet otáček kola

l_{str} - střední délka řezné hrany

Jednotlivé metodiky měření rypných odporů se liší jednak ve stanovení délky řezných hran, jednak v místě měření obvodové síly na kolese.

Stanovení délky řezných hran:

a) dle metodiky VÚHU

$$l_{\text{str}} = \frac{z}{2\pi} \cdot \left[b \cdot \beta_k + s \left(1 - \cos \beta_k \right) + \frac{s^2}{4R} \cdot \left(\beta_k + \frac{\sin 2\beta_k}{2} \right) \right] \quad (\text{m})$$

b) dle metodiky RVHP

$$l_{\text{str}} = \frac{z}{2\pi} \cdot \left[b \beta_k + \left(\frac{3\beta_k}{\pi} - 0,425 \right) \cdot (s + 0,7r) \right] \quad (\text{m})$$

c) dle přesných závislostí při použití počítače

$$l_{\text{str}} = \frac{\sum_{\varphi=0}^{\beta_k} L_{\varphi}}{i}$$

kde: $L_{\varphi} = b_{\varphi} + r \cdot \arccos \frac{r - s_{\varphi}}{r}$
pro $s_{\varphi} \leq r \cdot (1 - \sin \alpha)$

$$s_{\varphi} = s \cdot \sin \varphi + \frac{s^2}{2R} \cdot \cos^2 \varphi$$

$$L_{\varphi} = b_{\varphi} + \frac{s_{\varphi}}{\cos \alpha} + r \left[\frac{\sin \alpha - 1}{\cos \alpha} + \frac{\pi}{2} - \alpha \right]$$

$$b_{\varphi} = b \cdot \frac{a + R \sin \varphi}{a + R}$$

pro $s_{\varphi} \geq r \cdot (1 - \sin \alpha)$

Po dosazení a úpravě lze získat následující vztah:

a) Měrná rypná a řezná síla dle VÚHU

$$k = \frac{262,4 N_{\text{str}} \cdot z}{\sqrt{Q_r \cdot D \cdot n \cdot z}}$$

$$k_r = \frac{262,4 N_{\text{str}} \cdot z - 0,7 Q_r \cdot \gamma \cdot Hz}{\sqrt{Q_r \cdot D \cdot n \cdot z}}$$

pro $\beta_k = \frac{\pi}{2}$ $\frac{s}{b} \text{ opt} = 1,5$

b) Měrná rypná a řezná síla dle RVHP

$$k = \frac{252,92 N \cdot z}{\sqrt{Q_r \cdot D \cdot n \cdot z + 1,587 D \cdot n \cdot z \cdot r}}$$

$$k_r = \frac{252,92 N \cdot z - 0,69 Q_r \cdot \gamma \cdot Hz}{\sqrt{Q_r \cdot D \cdot n \cdot z + 1,587 D \cdot n \cdot z \cdot r}}$$

pro $\beta_k = \frac{\pi}{2}$ $\frac{s}{b} \text{ opt} = 1,46$

3.2 Pro určení měrné řezné síly nebo měrného řezného odporu odečítá se z celkové měrné rypné síly výkon, který se spotřebuje na zvedání zeminy v korečku do místa výsypu. Lze jej vyjádřit vzorcem:

$$N_z = \frac{Q_r \cdot \gamma \cdot H_z}{367}$$

Uvedený vztah však platí pro kola s korečky. U některých typů bezkomorových kol pro snížení kusovitosti bylo použito vložených mezibřítů, čímž rýpaná tříška je rozdělena na dvě části, avšak vynášení zeminy je provedeno jedním korečkem. V případě použití mezibřítů se proto výkonová složka pro zdvih zeminy do místa výsypu zvyšuje, jelikož polovina urýpnuté třísky mezibřitem propadá do následujícího korečku. Tímto se zvyšuje zdvihová výška cca o rozteč korečků a mimoto je nutno přičíst i kinetickou energii padající zeminy do následujícího korečku.

Pro zdvihový výkon lze pak stanovit: (při $H_z = 0,6 D$)

$$N_z = \frac{Q_r \cdot 2 \cdot 0,6 D \cdot 9,81}{2 \cdot 3600} + \frac{Q_r \cdot 2 \cdot 0,7 D \cdot 9,81}{2 \cdot 3600}$$

$$\text{při } \gamma = 2 \text{ t.m}^{-3}$$

Výkon od kinetické energie:

$$N_{ze} = \frac{10 \cdot Q_r \cdot \gamma \cdot 9,81 \cdot 0,1 D}{36 \cdot 1000}$$

Celkový zdvihový výkon:

$$N_z = \frac{Q_r \cdot D}{245}$$

Při použití mezibřítů je potřebný výkon pro zvedání zeminy do místa výsypu cca o 25 % vyšší oproti výkonu na kolese s korečky.

3.3 V poslední době se zjistilo, že jen sama hodnota střední měrné rypné síly nebo rypného odporu v těžkých a zvláště v rozdílných půdních podmínkách je nedostatečná. Zavádí se proto parametr, a to koeficient nerovnoměrnosti, který je dán poměrem maximální hodnoty rypného odporu k jeho průměrné střední hodnotě:

$$\mathcal{L} = \frac{k_{\max}}{k}$$

$$\text{kde: } k_{\max} = \frac{P_{\max}}{l_{\max}} = \frac{9,55 \text{ N}_{\max}}{R \cdot n \cdot l_{\max}} \quad (\text{kN} \cdot \text{m}^{-1})$$

Maximální hodnota rypné síly se určuje v okamžiku výběru prvního korečku ze záběru, přičemž maximální délka řezných hran činí:

$$l_{\max} = S \cdot \sum_{i=0}^{i=m} \left[\sin \left(\beta_k - m \cdot \frac{2\pi}{r} \right) + S \cdot \frac{\cos^2 \left(\beta_k - \frac{m \cdot 2\pi}{r} \right)}{2R} \right] + b \cdot \left[m + r \right]$$

kde: m - počet korečků v záběru

$n = 0$; jen pro počty korečků 8, 12, 16, 20, 24 je nutno dosadit za $n = 1$.

Výpočet koeficientu nerovnoměrnosti lze stanovit v metodice VÚHU, jelikož v metodice RVHP nelze stanovit obecný vztah pro maximální délku řezných hran. Pro výpočet musela by být stanovena pro každý měřený případ samostatně podle přesných závislostí.

Koeficient nerovnoměrnosti, ve výpočtu dosud vztažený na maximální délku řezných hran při výběhu korečku z řezu, není proto dokonale přesný a je ovlivněn několika dalšími faktory:

- a) dynamickými vlivy pohonu kola a ocelové konstrukce. Proměnlivý průběh budící obvodové síly na kolese ovlivňuje ocelovou konstrukci kola. Při stejné frekvenci vlastních kmitů ocelové konstrukce dochází pak k resonanci na kolesovém výložníku, k jeho rozkmitání

a tím i k okamžitým změnám rozměrů rýpané třísky. Při měření rypných odporů nepřímou metodou nelze tuto složku samostatně proměřit. Je proto nutné, aby návrh ocelové konstrukce byl vždy podroben rozboru z hlediska dynamiky.

- b) počtem korečků v záběru. Další nerovnoměrnost rypných odporů nastává při rypání malým počtem korečků, což vzniká při rypání nízkých lávek. Podle báňských rozborů vyplývá požadavek odrýpat výklizové proplástky, nacházejí se v uhelné sloji již od mocnosti 0,5 m.
- c) nehomogením složením zeminy. Dosud nebyl proveden podrobný teoretický rozbor rypání proplástku s odlišným řezným odporem při záběru několika korečků. Maximální hodnota rypného odporu může v tomto případě nastat při výběhu korečku z proplástku do měkčí horniny. Maximální špička zatížení nenastává pak v okamžiku, kdy nastává maximální délka řezných hran, čímž se zkreslují skutečné hodnoty koeficientu nerovnoměrnosti.

4.0 Dalším ze základních parametrů kola je jeho obvodová rychlost, která svojí velikostí lineárně ovlivňuje těžební výkonnost stroje při konstantním objemu korečku, avšak také přímoúměrně zvyšuje potřebný výkon pohonných jednotek a tím i zatížení špičky kolesového výložníku. Její vliv se však také výrazně projevuje na výsypu zeminy z korečku, na opotřebení a otěru rypných orgánů a na kusovitosti rýpaných hornin. Podobně jako měrnou řeznou či rypnou sílu nelze obvodovou rychlost kola posuzovat samostatně, ale v závislosti na dalších požadavcích ovlivňujících bezpečný a bezporuchový provoz rypadla.

U prvních poválečných typů kolesových rypadel byla používána obvodová rychlost kola do cca 2 m.s^{-1} , avšak v dalších letech došlo k výraznému zvýšení této hodnoty. Tak např. u kolesových rypadel KU 800, ale i zahraničních typů SRs 1500 překračuje obvodová rychlost kola přes 4 m.s^{-1} . Toho se docíluje buď zvýšením výkonu pohonných jednotek (KU 800), nebo snížením měrné rypné síly na kolese (SRs 1500). V poslední době se u velkých dobývacích jednotek vyráběných v NDR i NSR ustálila hodnota obvodové rychlosti kola v rozmezí cca $2 - 2,7 \text{ m.s}^{-1}$.

Zajímavé konstrukční a provozní poznatky byly získány na koleso-
vém rypadle SRs 2000, vyrobeném v Lauchhammer-NDR a nasazeném na nej-
větším uhelném lomu na světě Ekibastus v SSSR. Rypadlo s těžební vý-
konností cca $5000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ je nasazeno v tvrdé uhlé sloji proložené
proplástkem proměnné mocnosti. Koleso o průměru 11 m je osazeno 22 ko-
rečky a pro snížení kusovitosti byl ve středu přesypu zabudován jedno-
kotoučový drtič. Vlivem rezonance vlastních kmitů ocelové konstrukce
a vynucených kmitů na kolese docházelo k výrazným dynamickým účinkům a
k rozkmitávání horní stavby rypadla. Pro snížení těchto vlivů byly
zvýšeny otáčky kola z původních $3,34 \div 4,1$ na $5,36 \div 6,59 \text{ min}^{-1}$.
Přesto, že tím byla snížena početně stanovená měrná rypná síla cca o
60 %, bylo docíleno i ve tvrdých uhelných partiích zvýšení výkonnosti
cca o 50 %. Zároveň bylo dosaženo téměř požadované kusovitosti rýpa-
ných hornin a tím bylo možno vyloučit i provoz drtiče.

4.1 Základní a rozhodující omezení obvodové rychlosti kola je dáno
podmínkou bezpečného vyprazdňování zeminy z koreček do výsypného pro-
storu kola. Velký počet ovlivňujících faktorů a složité silové poměry
při vyprazdňování dosud neumožnily stanovit přesné teoretické zá-
vislosti pro optimální obvodovou rychlost kola a stávající hodnoty
jsou ponejvíce určovány empiricky, při čemž se vychází ze vztahu:

$$V_o = k_v \cdot V_M$$

$$\text{kde: } V_M = \sqrt{Q \cdot R}$$

Mezní obvodová rychlost - V_M - v závislosti na poloměru kola - R -
nastává při silové rovnováze mezi odstředivou silou a tíhou zeminy v
korečku. Skutečná obvodová rychlost kola je pak určena součinem této
hodnoty a rychlostního součinitele - k_v - , který se odhaduje dle geome-
chanických vlastností rýpané zeminy.

Pro teoretické stanovení optimální úhlové či obvodové rychlosti
kola, kdy dochází ještě k bezpečnému výsypu zeminy z koreček je nut-
no jednak zvážit geomechanické vlastnosti rýpané zeminy, jednak prošet-
řit chování zeminy v korečku během pracovního cyklu.

Rýpané zeminy se vyznačují značně proměnlivými vlastnostmi, jak geomechanickými tak geofyzikálními. Pro zjednodušení při dalších teoretických úvahách rozdělíme je do dvou základních skupin:

- a) zeminy drobné nebo kusovité, s třecími účinky mezi jednotlivými zemními částicemi, avšak bez soudržností nebo jen s malou soudržností, kterou lze zahrnout do třecích účinků, bez přilnavosti na stěny korečků a mezikružší. Do této skupiny, která představuje cca. 70 % všech rýpaných materiálů v severočeských revírech, lze zahrnout písky a štěrkopísky, písčité jíly, tuhé různobarevné jíly s malým obsahem kaolinitických přísad a uhlí. Patří sem i horniny s vysokou pevností v tlaku, jako např. pelosideritické a pelokarbonátové proplástky, pískovce apod.
- b) zeminy, tvořící téměř homogenní náplň korečků s vysokou soudržností jednotlivých zemních částic, s vysokou přilnavostí na stěny korečků, s malou pevností v tlaku, ale vysokou přirozenou vlhkostí. Do této skupiny, kdy dochází k vyprazdňování zemní hmoty z korečku najednou nebo v několika velkých kusech, lze zahrnout spraše, zvodnělé písky a písčité jíly (žlutky), zvodnělé jíly apod.

4.2 Pohyb narýpané zeminy v korečku lze rozdělit do čtyř základních fází:

- a) řezání a rozpojování zemních částic a ukládání do korečku. Tato fáze je silově i pohybově značně složitá a dosud nebyla řešena. Končí při výběhu korečku ze záběru.
- b) zvedání zeminy k místu výsypu, přičemž narýpaná zemina se pohybuje stejnou rychlostí jako koreček a na její částice působí silové poměry tak, že zemina se ustálí v určitých rovnovážných hladinách.
- c) počátek vyprazdňování je závislý na vlastnostech zeminy. Pro zemní částice, které lze zahrnout do první skupiny předchozího rozdělení nastává počátek vyprazdňování v okamžiku, kdy koreček dosáhne úhlu otevření výsypky vynášecího zařízení z kola. Zemní částice vlivem silových účinků se začnou pohybovat relativním pohybem po

zemních vrstvách v korečku vzhledem k jeho unášivému pohybu. U zemin zahnutých ve druhé skupině vlivem přilnavosti nedochází k relativnímu pohybu a při nepříznivých podmínkách dochází k vyprázdnění téměř celého korečku najednou v jeho horní poloze.

- a) jakmile zemní částice opustí zemní vrstvy v korečku, končí předchozí fáze relativního pohybu a nastává šikmý vrh částic, které padají do výsypky kola avšak výslednou rychlostí, která je složena z vektoru rychlostí relativní a unášivé. U druhé skupiny zemin dochází okamžitě k parabolickému vrhu při odtržení zemní hmoty od stěn korečku, a to při nepříznivých vlastnostech v jeho horní poloze. Povrch zemních vrstev v korečku ve druhé a částečně i v třetí fázi je vytvořen rovnovážnou hladinou, která je určena logaritmickou spirálou. Odvození této rovnice neuvádím, jelikož byla již mnohokrát uvedena pro různé silové poměry v korečku. Je nutno jen připomenout, že pro zemní částice v korečku lze stanovit dvě základní rovnovážné hladiny, a to v závislosti na smyslu působení třetí složky, která je závislá na smyslu relativní rychlosti.

Výsledná rovnice rovnovážné hladiny představuje tedy logaritmickou spirálu, jejíž pól leží na svislé ose kola ve vzdálenosti $-g\omega^2$ od středu kola. Zjednodušeně lze zakřivený povrch zeminy v korečku dle logaritmické spirály uvažovat za rovinný, ve směru tečny k logaritmické spirále, jelikož zakřivení pro prakticky používané rychlosti kola je nepatrné. Sklon tečny je však závislý na velikosti třecích účinků zemních částic.

4.3 Pro další teoretické úvahy při pohybu zemin v korečku přijmeme zjednodušení, že částice zeminy se pohybují po zemních vrstvách, jejichž spádnice procházejí středem kola, přičemž sklon spádnice musí být vždy větší než je sklon rovnovážné hladiny v daném okamžiku. Přitom se dopouštíme určité chyby, jelikož při vodorovné poloze korečku prochází rovnovážná hladina pod středem kola, v horní poloze pak prochází nad středem kola. Avšak uvedené zjednodušení umožňuje jednoduše stanovit okamžik, kdy začíná relativní pohyb zemních částic z ko-

rečku, jednak určit dráhy jednotlivých částic při výsypu.

Relativní pohyb částic zeminy nastává v okamžiku, kdy je narušena silová rovnováha, jak ukazuje obr. č.1.

$$mr\omega^2 + T - mg \cdot \sin \varphi = 0$$

$$mg \cdot \cos \varphi - N = 0$$

$$T = fN$$

Po úpravě:

$$\cos \varphi = \frac{-\frac{r\omega^2 f}{g} \pm \sqrt{f^2 + 1 - \frac{r^2 \omega^4}{g^2}}}{1 + f^2}$$

Má-li úhel při počátku relativního pohybu zemních částic φ - dosáhnout reálných hodnot, pak musí platit:

$$1 + f^2 - \frac{r^2 \omega^4}{g^2} \geq 0$$

Pro zeminy první skupiny lze uvažovat třecí koeficient f v mezích 0,3 - 0,7 z čehož pak vyplývá:

$$\frac{3,2}{\sqrt{r}} \geq \omega \leq \frac{3,5}{\sqrt{r}}$$

Při těchto rychlostních podmínkách dochází ještě k relativnímu pohybu zeminy do středu kola.

4.4 U rypných drobných zemin, které zahrnujeme do první skupiny lze pozorovat klouzavý pohyb zemních částic po zemních vrstvách, jejichž sklon musí být větší než je sklon rovnovážných hladin. Pohyb nastává v okamžiku, kdy koreček dosáhne místa výsypu. Z hlediska dynamiky pohybu jedná se v tomto případě o relativní pohyb částic při unášivém rotačním pohybu, takže do silového rozboru mimo setrvačnou sílu relativního pohybu, odstředivou sílu a vlastní tíhu je nutno zavést Coriolisovu sílu. Silové poměry, při tomto pohybu jsou označeny na obr. č.2.

Odpovídající rovnovážné silové podmínky:

$$m r \omega^2 + f N + m a_2 - m g \cdot \sin \varphi = 0$$

$$N + 2 m v_2 \omega - m g \cdot \cos \varphi = 0$$

$$a_2 = \frac{d^2 r}{dt^2} \quad v_2 = \frac{dr}{dt}$$

Řešením těchto rovnic dostáváme v parametrickém vyjádření:

$$r'' - 2 f \omega r' + \omega^2 r = g \cdot \sin \omega t - f g \cdot \cos \omega t$$

diferenciální rovnici, jejíž řešení udává obecně poloměr zemní částice jako funkci úhlu pootočení spádnice skluzové roviny. Po integraci této diferenciální rovnice dostaneme:

$$r = C_1 e^{f \omega t} \cdot \cos K f \omega t + C_2 e^{f \omega t} \cdot \sin K f \omega t + \frac{g \cdot \sin \omega t}{2 \omega^2} + \frac{g \cdot \cos \omega t}{2 f \omega^2}$$

kde lze položit : $\varphi = \omega t$

Integrační konstanty - C_1 - a - C_2 - stanovíme z okrajových podmínek:

$$r = R \text{ pro } \varphi = \varphi_0 \quad r' = v_2 = 0 \text{ pro } \varphi = \varphi_0$$

kde značí: R - vnější poloměr kola

φ_0 - úhel otevření výsypky

Po dosazení a úpravě obdržíme:

$$C_1 = R e^{-f \varphi_0} \cdot \cos' K f \varphi_0 - C_2 \operatorname{tg} K f \varphi_0 - \frac{g e^{-f \varphi_0} \cdot \left(\sin \varphi_0 + \frac{\cos \varphi_0}{f} \right)}{2 \omega^2 \cos K f \varphi_0}$$

$$C_2 = e^{-f \varphi_0} \cdot \left[R (\sin K f \varphi_0 - K \cos K f \varphi_0) + (\sin \varphi_0 + f^{-1} \cos \varphi_0) \cdot \left(\frac{g \cos K f \varphi_0}{2 K \omega^2} - \frac{g \sin K f \varphi_0}{2 \omega^2} \right) \right] +$$

$$+ \frac{g \cos K f \varphi_0}{2 K f \omega^2} \cdot \left(\frac{\sin \varphi_0}{f} - \cos \varphi_0 \right)$$

V uvedených vztazích je použito: $K = \sqrt{f^{-2} - 1}$

Jelikož při řešení diferenciální rovnice není uvažováno se záporným přírůstkem poloměru ($-dr$), pak skutečné hodnoty $-r_{sk}$ - pro stanovení dráhy částice zeminy v závislosti na úhlu natočení $-\varphi$ - nutno stanovit:

$$r_{sk} = 2R - r$$

Teprve v okamžiku, kdy nastane odpoutání částice zeminy od skluzné plochy (přestává působit normálová složka), přechází částice do šikmého vrhu. Počátek parabolického vrhu ($r_M; \varphi_M$) lze stanovit z podmínky:

$$N = 0 \implies 2v_2\omega = g \cdot \cos\varphi \quad v_2 = r'$$

Po úpravě a dosazení dostáváme závislost:

$$C_1 (\cos Kf\varphi_M - K \sin Kf\varphi_M) + C_2 (\sin Kf\varphi_M + K \cos Kf\varphi_M) = \frac{g \cdot \sin \varphi_M}{2f^2\omega^2 \cdot e^{f\varphi_M}}$$

která určuje sklon, při kterém nastává počátek parabolického vrhu.

V další fázi dochází k šikmému parabolickému vrhu z bodu o souřadnicích $-r_M; \varphi_M$; - rychlosti V_M .

Po dosazení do základních vztahů pro šikmý vrh a úpravě obdržíme závislost vzdálenosti $-r$ - na úhlu natočení $-\varphi$ - korečku. Pro určení časového úseku při parabolickém vrhu použijeme vztahu:

$$t = \frac{r_M \cdot \cos\varphi_M - r \cos\varphi}{V_M \cdot \cos \varepsilon}$$

V uvedených vztazích platí:

$$\varepsilon = \frac{\pi}{2} - \varphi_M - \arctg \frac{v_2}{v_0}$$

5.0 Rozteč korečků

Teprve po teoretickém rozboru pohybu zeminy při výsypu z korečků lze stanovit odpovídající rozteč korečků tak, aby byl zaručen bezpečný výsyp zeminy prostorem v mezikruží pod korečkem. Rozteč korečků byla

dosud určována empirickým vzorcem;

$$t = (2,5 - 5) \sqrt[3]{J} \quad \text{kde: } J - \text{objem korečku}$$

z čehož vycházel malý počet korečků a nedokonalé využití obvodu kola. Použijeme-li dřívější rozdělení zemin na dvě základní skupiny, pak je nutno pro každou skupinu řešit rozteč korečků rozdílným způsobem.

5.1 V případě drobných kusovitých zemin rozhoduje při výsypu z korečků dráha nejvzdálenějších zemních částic od středu kola. Aby došlo k úplnému výsypu z korečku musí být tato dráha zakřivena tak, aby procházela výsypným prostorem mezikruží a nedopadala na zadní část předchozího korečku.

V případě, že dráha relativního pohybu zemní částice protíná vnitřní kružnici mezikruží v prostoru korečku, pak nedochází ke kolisi sypné zeminy s předcházejícím korečkem a korečky mohou být umístěny těsně za sebou. V případě, že poslední část dráhy je po parabolické křivce, je nutno kontrolovat průsečík dráhy výsypu s dráhou zadního bodu předcházejícího korečku.

5.2 Při lepidlových zeminách zahrnutých ve druhé skupině uvažujeme nejnepříznivější případ, kdy zemina se vyklápí po parabolické vrhové křivce z nejvyššího místa korečku. Pak platí pro rovnici parabolického vrhu:

$$y = R - \frac{g}{2} \cdot \frac{x^2}{v_0^2}$$

průsečík s vnitřní kružnicí mezikruží:

$$y_0 = \frac{v_0^2}{g} + \sqrt{\left(\frac{v_0^2}{g} - R\right)^2 + h_k \cdot (h_k - 2R)}$$

Kde - h_k - zahrnuje jak výšku korečku, tak i šířku mezikruží.

Proběhnutý úhel zemní částice:

$$\varphi_M = \arccos \frac{y_0}{R - h_k}$$

Proběhnutý úhel zadní části korečku:

$$\varphi_k = \sqrt{2 \cdot \frac{\omega^2}{g} \cdot (R - y_0)}$$

Rozteč korečků, měřeno na obvodu kola:

$$t = l + h_t$$

kde: $l = R \cdot (\varphi_M - \varphi_K)$

Recenzoval: Ing. Karel Plachý

S h r n u t í

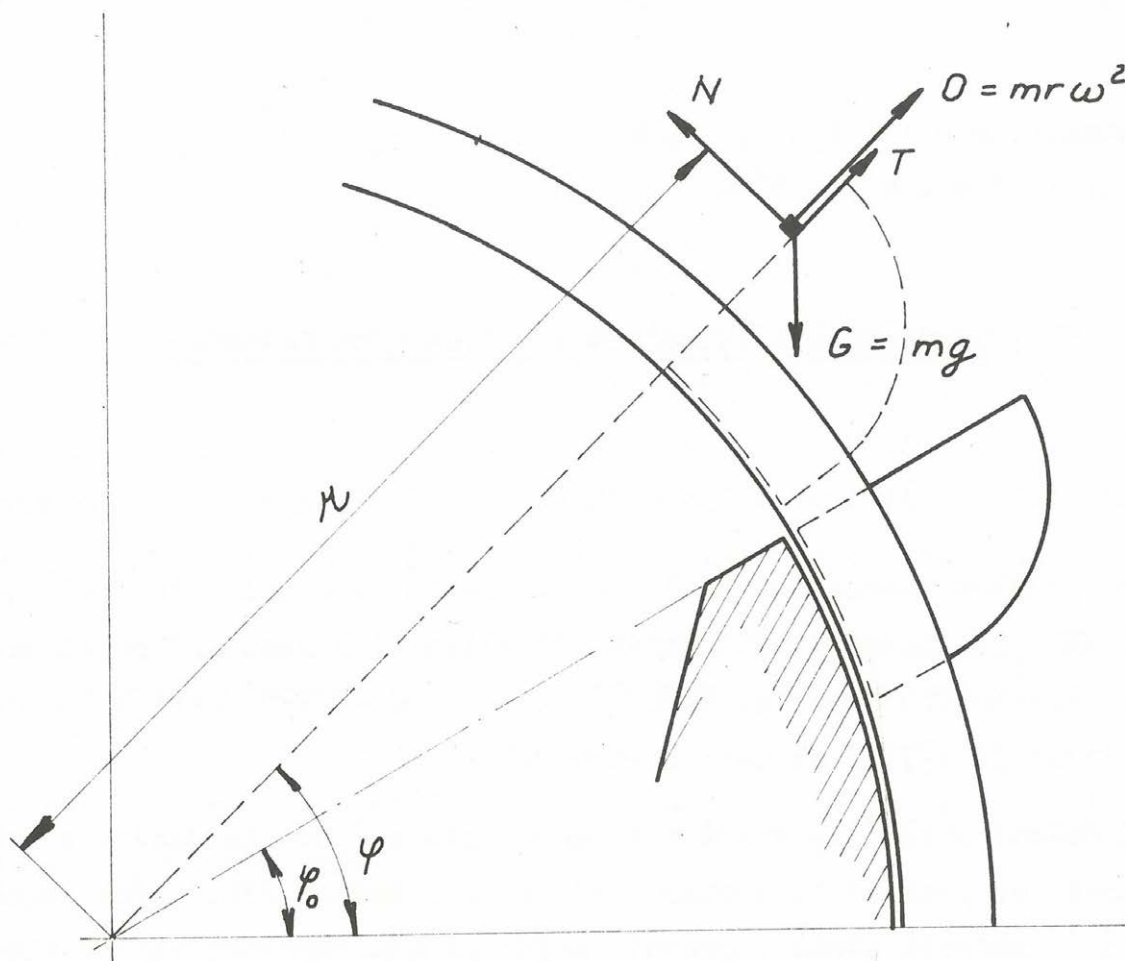
Teoretické podklady pro určení základních parametrů kola

Provozní výsledky dokazují, že pro různé geomechanické podmínky rýpaných zemín vyhovují různé konstrukční a geometrické parametry kola. V uvedeném článku jsou zhodnoceny dva základní ovlivňující parametry, a to měrná rypná nebo řezná síla a obvodová rychlost kola. Jejich vliv se projevuje při dimensování pohonu kola, při stanovení těžební výkonnosti a obvodové rychlosti při správném výsypu zeminy z korečků a tím i na velikost rozteče korečků.

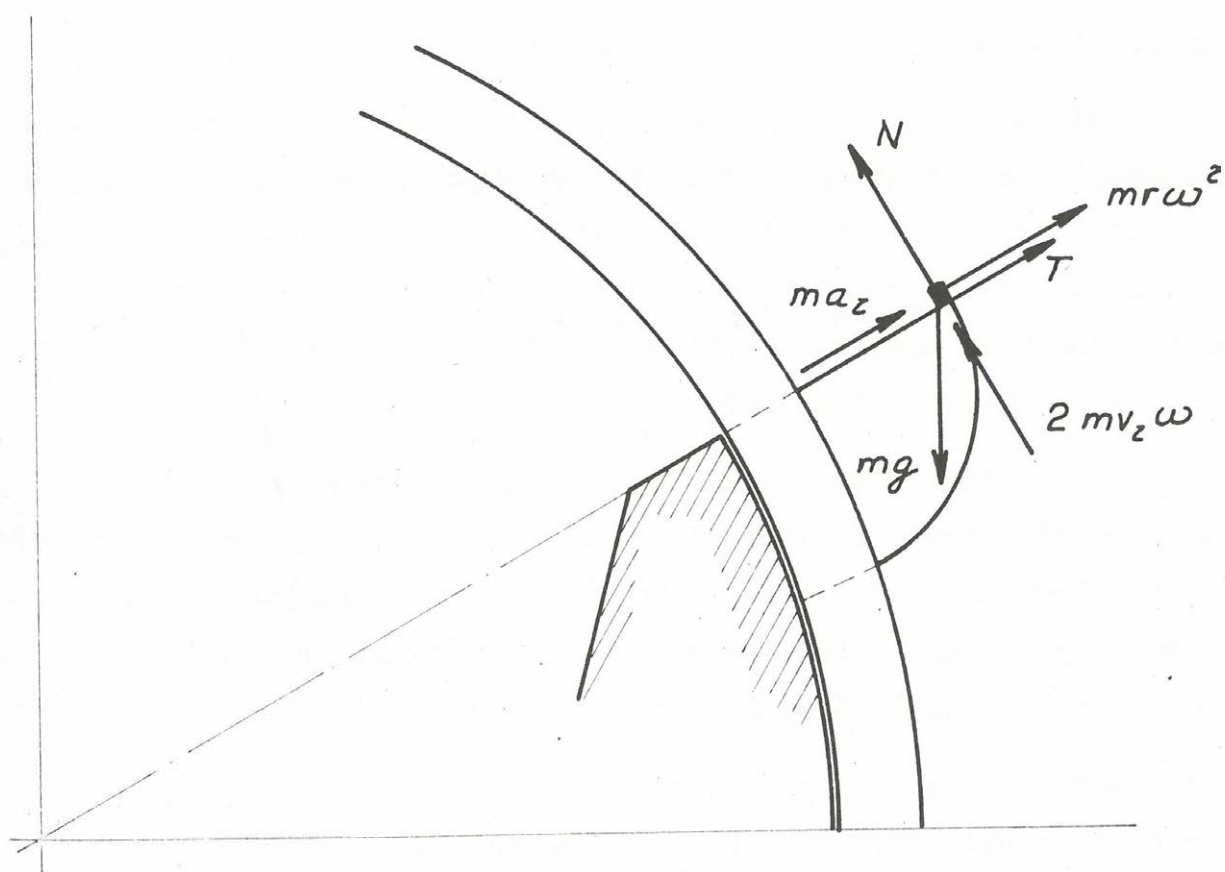
Р е з ю м е

Теоретические предпосылки установления основных параметров колеса роторного экскаватора

Опыт эксплуатации роторного экскаватора показывает, что конструктивные и геометрические параметры колеса должны устанавливаться с учетом геомеханической характеристики вынимаемого грунта. Автор останавливается на обсуждении, с конструктивной точки зрения, двух основных влияющих факторов, а именно, удельного усилия копания и окружной скорости ротора. Эти параметры должны строго учитываться при установлении мощности роторного привода, при



Obr. 1



Obr. 2