

Ing. Jiří B a r t á k , VÚHU

Výpočet parametrů bloku, těženého rýpadly s nevýsuvným

kolesovým výložníkem

1.0 Úvod

Při návrhu nového rýpadla, případně při rozhodování o nasazení rýpadla cizí výroby, je nutno posoudit, zda rýpadlo je schopno s minimálními ztrátami pracovat v požadovaných podmínkách nasazení. Pro toto posouzení byl zpracován postup výpočtu, kterým je možno stanovit technologický postup rýpadla s nevýsuvným kolesovým výložníkem v bloku a rovněž stanovit parametry těženého bloku při optimálním využití všech parametrů rýpadla.

1.1 Použité značky:

B	šířka těženého bloku	[m]
$\emptyset D$	průměr kola	[m]
H	výška těženého bloku	[m]
H_u	výška uchycení kolesového výložníku na horní stavbě rýpadla	[m]
L	délka kolesového výložníku	[m]
$L_{pl} + L_{pn}$..	půdorysný průmět délky kolesového výložníku (L) při těžbě lávky č. 1 až n, kde lávka č. 1 je první horní lávka a lávka č. n je poslední lávka tvořící pláň	[m]
$L_1 + L_n$..	půdorysná vzdálenost mezi horními hranami lávek č. 1 až n a osou otáčení horní stavby rýpadla	[m]
$P_1 + P_n$..	průřeží horních hran lávek č. 1 až n v místě přechodu bočního svahu na čelní svah	
R	poloměr kola	[m]
T	hloubka bloku definovaná jako vzdálenost mezi vnějším obrysem housenicového podvozku a	

	pomyslnou patou řezu [m]
$V_1 + V_n \dots$	výška osy kola nad pracovní plání při těžbě lávky č. 1 až n [m]
a	maximální vzdálenost vnější hrany podvozku kolmo na osu postupu rýpadla [m]
b	maximální rozměr podvozku od osy otáčení horní stavby rýpadla ve směru postupu stroje [m]
d	vzdálenost výchozího postavení rýpadla na počátku těžby lávky č. 1 a n [m]
$d_1 + d_{n-1} \dots$	vzdálenost výchozího postavení rýpadla na počátku těžby dvou sousedních lávek [m]
e	horizontální vzdálenost kolesového výložníku od osy otáčení horní stavby [m]
h	výška lávky [m]
k	horizontální vzdálenost mezi horní hranou lávky a osou kola [m]
p	horizontální vzdálenost mezi horními hranami dvou sousedních lávek na bočním svahu [m]
$p_1 \dots$	horizontální vzdálenost mezi horními hranami dvou sousedních lávek na svahu v přechodovém úseku [m]
$s_1 \dots$	vzdálenost mezi osou postupu rýpadla a patou bočního svahu předchozího řezu [m]
$s_2 \dots$	vzdálenost mezi osou postupu rýpadla a patou bočního svahu [m]
$x_2 + x_n \dots$	vzdálenost mezi odpovídajícími průsečíky P_2 až P_n a postavením rýpadel na počátku těžby lávky č. 2 až n [m]
$x_{2p} + x_{np} \dots$	vzdálenost mezi odpovídajícími průsečíky P_2 až P_n a postavením rýpadla na počátku těžby lávky č. 1 až n-1 [m]
$x_t \dots$	vzdálenost postavení rýpadla na počátku těžby lávky n od paty čelního svahu v úrovni max. šířky podvozku [m]

- α úhel sklonu bočního svahu $[^\circ]$
 β úhel sklonu svahu v přechodovém úseku $[^\circ]$
 γ úhel vytáčení kolesového výložníku z osy postupu směrem k bočnímu svahu $[^\circ]$
 δ úhel vytáčení kolesového výložníku z osy postupu na stranu od bočního svahu $[^\circ]$
 φ úhel sklonu kolesového výložníku při těžbě první lávky $[^\circ]$
 ψ úhel sklonu kolesového výložníku při těžbě poslední (n-té) lávky $[^\circ]$

1.2 Stanovení výšky osy kola nad pracovní plošinou při těžbě jednotlivých lávek a určení sklonu kolesového výložníku při těžbě 1. a poslední n-té lávky.

Pro stanovení výšky osy kola nad pracovní plošinou v jednotlivých lávkách je nutno znát průměr kola D a výšku řezu H , potom je možné řez rozdělit na lávky. Z hlediska ekonomického využití kolesového rýpadla by výška lávky neměla být menší než $0,5 D$ a z hlediska stability vytvářeného svahu by neměla být větší jak $0,7 D$. Z toho tedy plyne:

$$\text{výška lávky } h = (0,5 + 0,7) D.$$

Z výšky řezu H je pak možno určit počet lávek v řezu n - (musí být celé číslo)

$$n = \frac{H}{h} = \frac{H}{(0,5 + 0,7) D}$$

Výšku osy kola nad pracovní plošinou při těžbě jednotlivých lávek je možno určit ze situace na bočním svahu dle obr. 1.

$$\text{Výška osy při těžbě 1. lávky} \quad V_1 = (n-1)h + R$$

$$\text{Výška osy při těžbě 2. lávky} \quad V_2 = (n-2)h + R$$

$$\text{Výška osy při těžbě (n-1) lávky} \quad V_{n-1} = h + R$$

$$\text{Výška osy při těžbě n lávky} \quad V_n = R$$

Pro stanovení sklonu kolesového výložníku vzhledem k horizontální rovině, při těžbě první a poslední n-té lávky je nutno znát výšku V osy kola nad pracovní plošinou při těžbě těchto lávek, délku L kolesového výložníku a výšku uchycení kolesového výložníku H_u na horní stavbě rýpadla.

Potom úhel sklonu kolesového výložníku při těžbě první lávky je možno určit ze vztahu:

$$\varphi = \arcsin \frac{V_1 - H_u}{L}$$

a úhel sklonu kolesového výložníku při těžbě poslední n-té lávky je dán rovnicí:

$$\psi = \arcsin \frac{H_u - V_n}{L}$$

1.3 Stanovení půdorysné vzdálenosti mezi horní hranou jednotlivých lávek a osou otáčení horní stavby rýpadla.

Stanovení této půdorysné vzdálenosti lze provést na základě znalosti délky kolesového výložníku, výšky jeho uchycení na horní stavbě rýpadla a případně i znalosti horizontální vzdálenosti uchycení kolesového výložníku od osy otáčení horní stavby rýpadla.

Z obrázku č. 1 je možno stanovit půdorysný průmět délky kolesového výložníku při těžbě jednotlivých lávek:

$$L_{p1} = \sqrt{L^2 - (V_1 - H_u)^2}$$

$$L_{p2} = \sqrt{L^2 - (V_2 - H_u)^2}$$

$$L_{pn} = \sqrt{L^2 - (V_n - H_u)^2}$$

Určení horizontální vzdálenosti mezi horní hranou těžené lávky a osou kola:

$$k = \sqrt{R^2 - (h - R)^2}.$$

Půdorysná vzdálenost mezi horními hranami lávek 1 až n a osou otáčení horní stavby rýpadla je:

$$L_1 = L_{p1} + k$$

$$L_2 = L_{p2} + k$$

$$L_n = L_{pn} + k.$$

Tyto vztahy platí jen pro rýpadlo u kterého je kolesový výložník uchycen přímo v ose otáčení horní stavby rýpadla. V případě, že kolesový výložník je uchycen o míru "e" před osou otáčení horní stavby, budou předchozí vztahy rozšířené:

$$L_1 = L_{p1} + k + e$$

$$L_2 = L_{p2} + k + e$$

$$L_n = L_{pn} + k + e.$$

1.4 Určení postavení rýpadla na řezu a stanovení podrýpnutí první lávky.

Na základě předchozích kapitol je možno výpočet parametrů těžného bloku dále provádět pomocí vztahů analytické geometrie v rovině, kde rovinu nám představuje půdorys postupu rýpadla v bloku, znázorněn na obr. 2.

Vzdálenost osy postupu rýpadla na řezu od horní hrany 1. lávky při vytáčení kolesového výložníku na 90° je rovna vzdálenosti L_1 (obr. 1 a 2). V této vzdálenosti volíme rovněž osu x. Osu y pravouhlého souřadného systému zvolíme tak, aby procházela bodem P_1 . V tomto bodě horní hrana 1. lávky bočního svahu přechází z přímky do oblouku.

Velikost podrýpnutí jednotlivých lávek je dána dovoleným sklonem svahu v přechodovém úseku. Úhel sklonu bočního svahu α i úhel svahu β v přechodovém úseku je nepřímo úměrný horizontální vzdálenosti horních hran dvou sousedních lávek. Na obr. 1 jsou tyto vzdálenosti označeny u bočního svahu jako p a u svahu v přechodovém úseku jako p_1 . Jejich velikost je možno určit ze vztahů:

$$p = \frac{h}{\operatorname{tg} \alpha}$$

$$p_1 = \frac{h}{\operatorname{tg} \beta}$$

Z toho plyne, že na bočním svahu je horní hrana druhé lávky ve vzdálenosti p od horní hrany první lávky. Vzhledem k zavedenému souřadnému systému je potom tato rovnoběžka s osou x vyjádřena rovnicí $y = L_1 - p$. Dovolnému sklonu β přechodového úseku odpovídá vzdálenost mezi dvěma horními hranami sousedních lávek, označená p_1 . Této vzdálenosti mezi hranami první a druhé lávky v přechodovém úseku je možno dosáhnout jen v jednom bodě. Na obr. 2 je tento bod označen P_2 . Jestliže má bod P_2 být ve vzdálenosti p_1 od horní hrany první lávky, která je kružnicí o poloměru L_1 , musí tento bod rovněž ležet na soustředné kružnici (vzhledem ke kružnici o poloměru L_1), která má poloměr $L_1 - p_1$. Potom polohu P_2 je možno určit analyticky jako průsečík přímky $y = L_1 - p$ s kružnicí $x^2 + y^2 = (L_1 - p_1)^2$, což je rovnice kružnice se středem v počátku souřadného systému, v našem případě v bodě zahájení těžby první lávky.

Obecně přímka $y = b$ má s kružnicí $x^2 + y^2 = r^2$ dva průsečíky o souřadnicích:

$$x_{1,2} = \pm \sqrt{r^2 - b^2}$$

$$y_{1,2} = b$$

Nás zajímá průsečík se souřadnicí x zápornou. Protože se jedná o souřadnici bodu P_2 , budeme ji dále značit x_{2p} a v dalším výpočtu její velikost budeme považovat kladnou.

Po dosazení hodnot výše uvedených se pak $x_{2p} =$

$$= \sqrt{(L_1 - p_1)^2 - (L_1 - p)^2}$$

1.5 Určení postavení rýpadla na počátku těžby druhé lávky a stanovení průsečíku P_3 .

Pro stanovení postavení rýpadla na počátku těžby druhé lávky známe bod P_2 , kterým musí procházet horní hrana druhé lávky, známe vzdálenost L_2 mezi horní hranou druhé lávky a osou otáčení horní stavby a rovněž víme, že rýpadlo musí být na ose postupu rýpadla. Graficky bod 2 (postavení rýpadla na počátku těžby druhé lávky) určíme tak, že kružnicí o poloměru L_2 se středem v bodě P_2 přetneme osu postupu rýpadla. Analyticky se bod 2 určí opět jako průsečík přímky a kružnice. Pro zjednodušení výpočtu bude počátek souřadného systému v bodě P_2 s osami x a y rovnoběžnými s původním souřadným systémem. Osa postupu rýpadla pak je vzdálená od bodu P_2 o hodnotu $L_1 - p$ a jako rovnoběžka s osou x je vyjádřena rovnicí $y = L_1 - p$. Kružnice s počátkem v bodě P_2 má pak rovnici $x^2 + y^2 = L_2^2$.

Vzdálenost bodu P_2 od bodu 2, tj. postavení rýpadla na počátku těžby druhé lávky pak v souřadném systému činí:

$$x_2 = \sqrt{L_2^2 - (L_1 - p)^2}$$

Rýpadlo je oproti počátku těžby první lávky (bod 1) zpět o vzdálenost $d_1 = x_2 - x_{2p}$.

Velikost podrýpnutí druhé lávky je limitována opět jako u předchozí lávky dovoleným sklonem svahu v přechodovém úseku. Bod, ve kterém horizontální vzdálenost horní hrany druhé lávky a horní hrany třetí lávky odpovídá p_1 (viz obr. 1) je na obr. 2 označen P_3 . Jeho poloha je opět určena jako průsečík přímky $y = L_1 - 2p$ s kružnicí $x^2 + y^2 = (L_2 - p_1)^2$. počátek souřadného systému je nyní v bodě 2, tj. v místě zahájení těžby rýpadla na druhé lávce.

Vzdálenost bodu P_3 od bodu 2 pak v souřadném systému je:

$$x_{3p} = \sqrt{(L_2 - p_1)^2 - (L_1 - 2p)^2}$$

Obdobně stanovení postavení rýpadla na počátku těžby dalších lávek se určí ze vztahů:

$$x_3 = \sqrt{L_3^2 - (L_1 - 2p)^2}$$

$$x_{n-1} = \sqrt{L_{n-1}^2 - [L_1 - (n-2)p]^2}$$

$$x_n = \sqrt{L_n^2 - [L_1 - (n-1)p]^2}$$

Určení velikosti podrýpnutí lávek č. 3 až $n-1$ v závislosti na dovoleném sklonu v přechodovém úseku se určí ze vztahů:

$$x_{4p} = \sqrt{(L_3 - p_1)^2 - (L_1 - 3p)^2}$$

$$x_{np} = \sqrt{(L_{n-1} - p_1)^2 - [L_1 - (n-1)p]^2}$$

1.6 Kontrola vytočení kolesového výložníku vzhledem k velikosti čelního úhlu špičky kolesového výložníku a určení délky pojezdu mezi postavením rýpadla na počátku těžby jednotlivých lávek.

Úhel vytočení kolesového výložníku v zásadě je možno kontrolovat na všech lávkách, ale nejmenší úhel mezi bočním svahem a osou kolesového výložníku dosahujeme na poslední spodní lávce. Aby nedošlo k porušení zařízení na špičce kolesového výložníku, je nutno kontrolovat úhel vytočení μ kolesového výložníku na této lávce a tento úhel musí být větší nebo roven čelnímu úhlu špičky kolesového výložníku.

Velikost úhlu vytáčení kolesového výložníku na poslední lávce určíme ze vztahu:

$$\mu = \arctg \frac{y_n}{x_n} = \arctg \frac{L_1 - (n-1)p}{\sqrt{L_n^2 - [L_1 - (n-1)p]^2}}$$

Stanovení délky pojezdu mezi postavením rýpadla na počátku těžby jednotlivých lávek je již zřejmé z obr. 2:

vzdálenost mezi bodem 1 a 2
(počátek těžby 1. a 2. lávky) $d_1 = x_2 - x_{2p}$

vzdálenost mezi bodem 2 a 3 $d_2 = x_3 - x_{3p}$

vzdálenost mezi bodem n-1 a n $d_{n-1} = x_n - x_{np}$

Potom celková vzdálenost mezi výchozím postavením rýpadla na první a poslední lávce označené n je rovna:

$$d = d_1 + d_2 + \dots + d_{n-1} = x_2 - x_{2p} + x_3 - x_{3p} + \dots + x_n - x_{np}$$

1.7 Stanovení hloubky a šířky těženého bloku

Pro stanovení hloubky bloku je nutno opět řešit průsečík přímky $y = a$, (kde a je max. rozměr podvozku kolmo na směr postupu rýpadla) s kružnicí $x^2 + y^2 = (L_n - k)^2$, což je rovnice kružnice pomyslné paty čelního svahu na pracovní pláni se středem v počátku těžby poslední n-té lávky (viz obr. 2).

Vzdálenost tohoto průsečíku od počátku těžby n-té lávky je pak možno určit ze vztahu:

$$x_t = \sqrt{(L_n - k)^2 - a^2}$$

Potom hloubka těženého bloku bez uvažování bezpečnostního předpolí se určí ze vztahu:

$$T = x_t - d - b,$$

kde b je maximální rozměr podvozku ve směru postupu rýpadla.

Šířka těženého bloku dle obr. 2 se určí jako součet s_1 a s_2 , kde s_2 je vzdálenost paty bočního svahu od osy postu-

pu rýpadla a její velikost je vyjádřena rovnicí:

$$s_2 = L_1 - (n-1)p - k$$

Vzdálenost mezi osou postupu rýpadla a patou bočního svahu předchozího řezu s_1 je dána úhlem vytáčení horní stavby rýpadla δ na poslední n -té lávce. Její velikost je možno určit ze vztahu:

$$s_1 = \sin \delta (L_n - k),$$

potom šířka těženého bloku:

$$B = s_2 + s_1 = L_1 - (n-1)p - k + \sin \delta (L_n - k)$$

2.0 Příklad výpočtu parametrů bloku těženého rýpadlem s nevýsuvným kolesovým výložníkem

Pro praktickou ukázkou výpočtu parametrů těženého bloku je zvolen příklad technologického postupu rýpadla v bloku, který je znázorněn na obr. 2.

Pro výpočet parametrů bloku je nutno znát tyto výchozí údaje řezu:

výšku řezu	$H = 20 \text{ m}$
dovolený sklon bočního svahu	$\alpha = 45^\circ$
dovolený sklon svahu v přechodovém úseku	$\beta = 50^\circ$

Dále je nutno znát tyto parametry rýpadla:

průměr kola	$D = 12 \text{ m}$ ($R = 6 \text{ m}$)
výšku uchycení kolesového výložníku	$H_u = 16,5 \text{ m}$
délku kolesového výložníku	$L = 65 \text{ m}$
vzdálenost uchycení kolesového výložníku od osy otáčení horní stavby	$e = 0$
max. rozměr podvozku od osy otáčení horní stavby ve směru postupu rýpadla	$b = 18,2 \text{ m}$
max. vzdálenost vnější hrany podvozku kolmo na osu postupu rýpadla	$a = 13,7 \text{ m}$

čelní úhel špičky kolesového výložníku $\gamma_c = \max. 45^\circ$.

2.1 Rozdělení řezu na lávky, stanovení hodnot k, p a p₁,
určení výšky kola nad pracovní plošinou při těžbě
jednotlivých lávek a výpočet délek L₁ až L₃.

Volíme tři lávky, z toho pak plyne výška lávky $h = \frac{H}{3} = 6,67$ m. Tato výška splňuje podmínku vztahu $h = (0,5 + 0,7)D$.

$$k = \sqrt{R^2 - (h-R)^2} = 5,962 \text{ m}$$

$$p = \frac{h}{\tan \alpha} = 6,67 \text{ m}$$

$$p_1 = \frac{h}{\tan \beta} = 5,597 \text{ m}$$

$$V_1 = 2h + R = 19,34 \text{ m}$$

$$V_2 = h + R = 12,67 \text{ m}$$

$$V_3 = R = 6,0 \text{ m}$$

$$L_1 = \sqrt{L^2 - (V_1 - H_u)^2} + k = 70,9 \text{ m}$$

$$L_2 = \sqrt{L^2 - (V_2 - H_u)^2} + k = 70,85 \text{ m}$$

$$L_3 = \sqrt{L^2 - (V_3 - H_u)^2} + k = 70,108 \text{ m}$$

2.2 Určení vzdálenosti mezi postaveními rýpadla na počátku
těžby jednotlivých lávek

$$x_2 = \sqrt{L_2^2 - (L_1 - p)^2} = 29,904 \text{ m}$$

$$x_{2p} = \sqrt{(L_1 - p_1)^2 - (L_1 - p)^2} = 11,789 \text{ m}$$

$$x_3 = \sqrt{L_3^2 - (L_1 - 2p)^2} = 40,025 \text{ m}$$

$$x_{3p} = \sqrt{(L_2 - p_1)^2 - (L_1 - 2p)^2} = 30,738 \text{ m}$$

$$y_3 = L_1 - 2p = 57,76 \text{ m}$$

Vzdálenost mezi počátkem těžby první a druhé lávky je $d_1 = x_2 - x_{2p} = 18,115 \text{ m}$ a mezi počátkem těžby 2. a 3. lávky je $d_2 = x_3 - x_{3p} = 9,287 \text{ m}$.

Celková vzdálenost mezi počátkem těžby 1. a 3. lávky je potom $d = d_1 + d_2 = 27,402 \text{ m}$.

2.3 Výpočet hloubky a šířky bloku

Vzdálenost mezi postavením na 3. lávce a patou čelního svahu určíme ze vztahu: $x_t = \sqrt{(L_3 - k)^2 - a^2} = 62,666 \text{ m}$, hloubka bloku se určí ze vztahu:

$$T = x_t - d - b = 17,06 \text{ m}.$$

Pro stanovení šířky těžného bloku zvolíme úhel vytáčení kolesového výložníku $\delta = 30^\circ$ (odpovídá úhlu vytáčení na obr. 2)

$$s_1 = \sin \delta (L_3 - k) = 32,073 \text{ m}$$

$$s_2 = L_1 - 2p - k = 51,598 \text{ m}$$

$$\text{šířka těžného bloku } B = s_1 + s_2 = 83,671 \text{ m}.$$

2.4 Kontrola úhlu vytáčení kolesového výložníku na poslední lávce vzhledem k čelnímu úhlu špičky kolesového výložníku a stanovení sklonu kolesového výložníku při těžbě první a třetí (poslední) lávky

Velikost úhlu vytáčení kolesového výložníku na třetí lávce je:

$$\mu = \arctg \frac{y_3}{x_3} = 55^\circ 11' 12'';$$

úhel vytáčení μ vyhovuje, protože $\mu_c = 45^\circ$.

Kolesový výložník při těžbě první lávky je zvednutý od vodorovné roviny o úhel

$$\varphi = \arcsin \frac{V_1 - H_u}{L} = 2^{\circ}30'15''$$

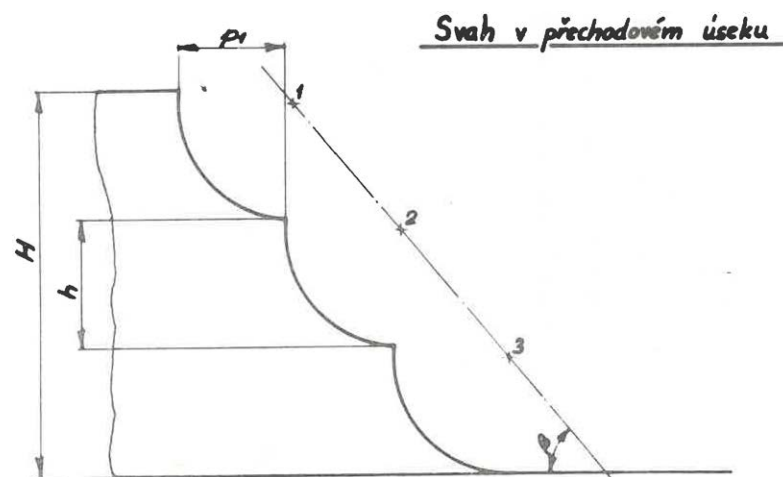
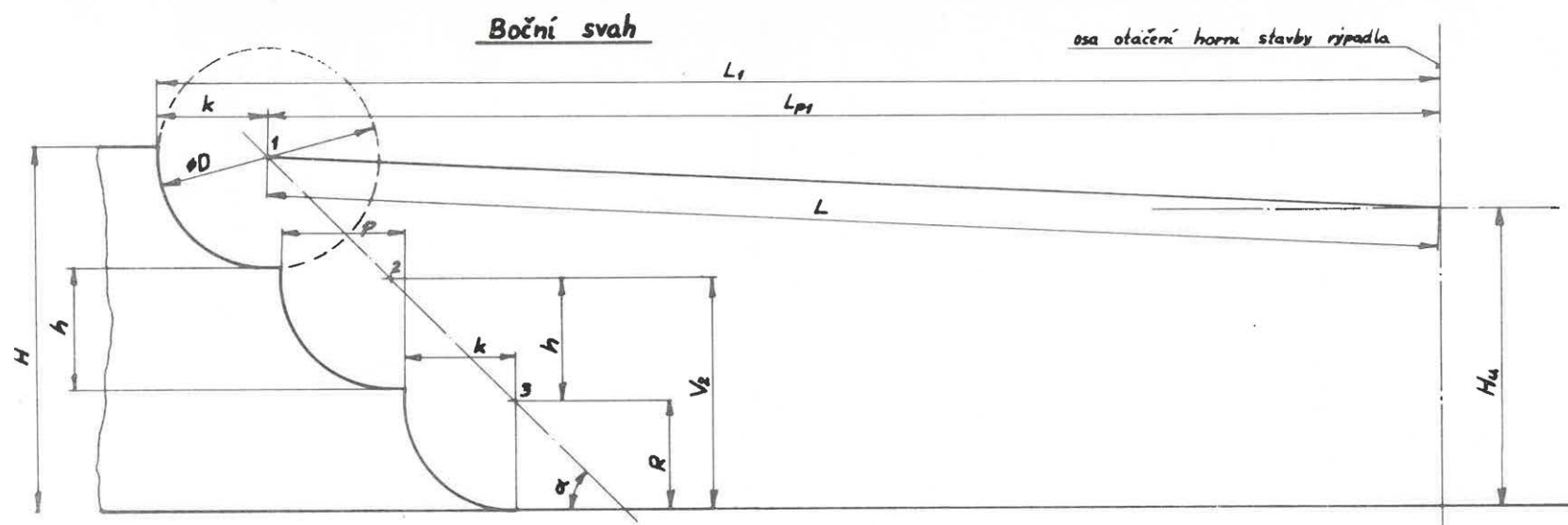
a při těžbě 3. lávky je spuštěn od této roviny o úhel

$$\psi = \arcsin \frac{H_u - V_3}{L} = 9^{\circ}17'46''.$$

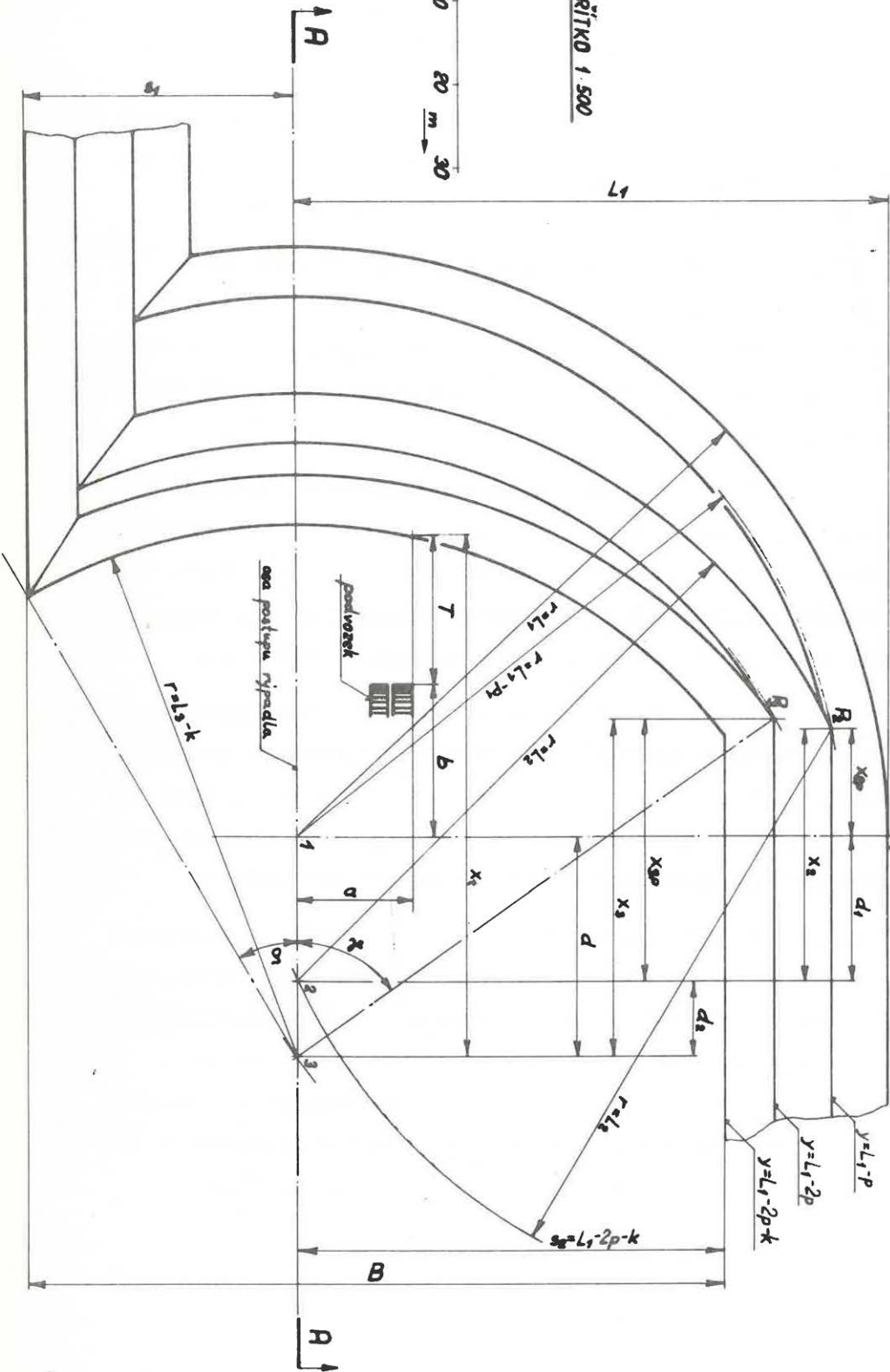
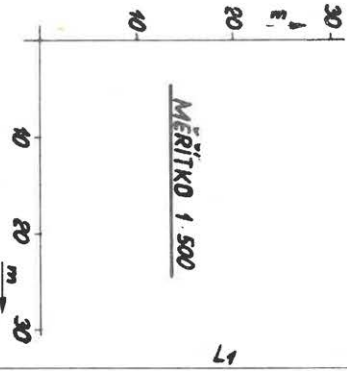
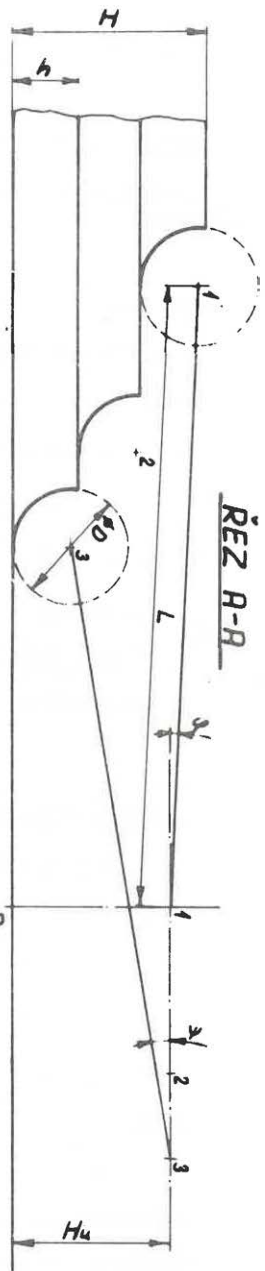
3.0 Z á v ě r

Z uvedeného postupu a příkladu výpočtu je patrné, že uvedenou metodikou výpočtu je možno nahradit dosud používanou pracovní a značně nepřesnou grafickou metodu stanovení technologického postupu rýpadla a parametrů bloku těženého rýpadly s nevýsuvným kolesovým výložníkem. Ve výpočtu je rovněž zahrnut vliv podrýpnutí jednotlivých lávek v přechodovém úseku na parametry těženého bloku. Vzhledem k jednoduchosti uvedeného výpočtu a tím i jednoduchých početních úkonů již na běžných programovatelných kalkulátorech, se zde nabízí možnost stanovení optimálních technologických postupů pro jednotlivé stroje nasazené v revíru, při respektování požadavku minimálních manipulačních ztrát a respektování okamžitých konkrétních podmínek těžby.

Recenzoval: Ing. Oldřich Klimecký, CSc



Obr. 1



Obr. 2