

Ing. Jaroslav S t a n e k CSc., VÚHU:

K otázce bezpečnosti zakládacích strojů

Úvod

S otázkou stability výsypkových stupňů, sypaných na únosnou podložku, je spojen i problém stupně ohrožení zakladačů. Ten je ovlivněn nejen výškou výsypkového stupně, technologií zakládání, druhem sypaných zemin, faktorem času a s ním spojených změn v sypanině, ale také dosahovými parametry použitých strojů.

Vliv posledně jmenovaného činitele v souvislosti s ostatními je možno zachytit následujícím řešením.

Výsledky pozorování

Měřením na vnitřní výsypce velkodolu Jan Šverma v Holešicích, náležejícího do komořanské oblasti, byl vyhodnocen poslední výsypkový stupeň vnitřní výsypky, čímž se předem vyhovělo podmínce uvedené výše - výsypkový stupeň leží na únosné podložce. Odtud ihned vyplývá, že největší možný dosah skluzných ploch na pracovní plán zakladače určují skluzné čáry, jež probíhají v těsné blízkosti pevné podložky.

Měření profilů posledního stupně bylo provedeno v místech, kde na tomto stupni nedošlo ke skluzům. Tím se měřené profily přibližují velmi těsně mezným profilům - jsou ve stavu velmi blízkému stavu meznému.

Z celkového počtu 15-ti měřených profilů je v příloze č. 1 zachyceno pro přehlednost pouze pět, jež plně uzavírají rozptyl ostatních měření.

U těchto vykreslených profilů je možno konstatovat:

- a) do hloubek 18 - 22 m pod korunou svahu je zachován přímkový obrys svahu,
- b) sklon přímkové části obrysu svahu se pohybuje v rozmezí 29 - 35°.

Z uvedeného vyplývá, že průměrně do hloubek 20 m pod korunou svahu lze během sypaní a v kratším období po něm chápat sypaninu v oblasti kolem obrysu svahu jako hmotu sypkou, neboť jen ta vytváří přímkový obrys. Pod úrovní bodu zlomu přímkového obrysu v křivočarý lze pak následkem druhotného zpevnění předpokládat, že jde již v tělese výsypkového stupně o zeminu polosoudržnou, již přísluší mezný obrys ve tvaru křivky. Abychom se v dalším řešení vyhnuli kombinaci dvou druhů zemin, můžeme vrstvu zeminy s průměrnou mocností 20 m chápat jako mezné přitížení na přeloženou fiktivní korunu svahu, probíhající horizontálně v úrovni zlomu obrysu svahu o velikosti $p_m = \delta \cdot h$, kde $h = 20 \text{ m}$ a $\delta = 1,7 \text{ Mp/m}^3$.

Za těchto předpokladů pro exaktní řešení průběhu skluzných čar je nutno ještě znát úhel vnitřního tření zeminy pod úrovní bodu zlomu. Jelikož přímá laboratorní metoda je vzhledem ke kusovitosti sypaniny dosud neproveditelná, lze použít metody, jež vychází z definice mezního obrysu svahu pro polosoudržnou zeminu.

Z ní vyplývá, že obrys svahu se asymptoticky blíží přímce svírající s horizontálou úhel vnitřního tření φ .

V příloze 1 je však pro jeho stanovení třeba zanedbat nejnížší část výsypkového stupně, u něhož průběh obrysu je porušen nahromaděním zeminy z mělkých skluzů a navršením hmoty, vyvolaným kotálením se větších kusů sypaniny po svahu.

Takto zjištěná průměrná hodnota úhlu vnitřního tření z úhlů odměřených v příloze č. 1 je $\varphi = 11^\circ$.

Mezná rovnováha

V tomto řešení je použito diferenciálních rovnic mezní rovnováhy.

$$\frac{\delta \tau_x}{\delta x} - \frac{\delta \tau_{yx}}{\delta y} = \delta$$

$$\frac{\delta \tau_{xy}}{\delta x} - \frac{\delta \tau_y}{\delta y} = 0$$

Jejich řešením, za použití Mohrových podmínek plasticity a použití metody konečných rozdílů, obdržíme pro uzlové body sítě skluzných čar rovnice:

$$x_3 = \frac{y_2 - y_1 + x_1 \operatorname{tg} \beta_{1,1} + x_2 \operatorname{cotg} (\beta_{2,1} + \varphi)}{\operatorname{tg} \beta_{1,1} + \operatorname{cotg} (\beta_{2,1} + \varphi)}$$

$$y_3 = y_2 - (x_3 - x_2) \operatorname{cotg} (\beta_{2,1} + \varphi)$$

$$\beta_{3,1} = \frac{1}{\tau_1 + \tau_2} \left\{ \tau_1 \beta_{1,1} + \tau_2 \beta_{2,1} + \frac{1}{2} (\tau_1 - \tau_2) \cotg \varphi + \right. \\ \left. + \frac{\delta}{2 \sin \varphi} \left[(x_3 - x_1) \frac{\cos (\beta_{1,1} + \varphi)}{\cos \beta_{1,1}} - (x_3 - x_2) \frac{\sin \beta_{2,1}}{\sin (\beta_{2,1} + \varphi)} \right] \right\}$$

$$\tau_3 = \tau_2 + 2 \operatorname{tg} \varphi \left[\tau_2 (\beta_{3,1} - \beta_{2,1}) + \frac{\delta (x_3 - x_2) \sin \beta_{2,1}}{2 \sin \varphi \sin (\beta_{2,1} + \varphi)} \right]$$

Výpočet zde vychází z toho, že známe x_1, y_1 a x_2, y_2 , tj. souřadnice dvou uzlových bodů 1 a 2, úhly $\beta_{1,1}, \beta_{1,2}$ a $\beta_{2,1}, \beta_{2,2}$, tj. úhly tečen ke skluzným čarám obou osnov, jež tyto svírají s vertikálním směrem v uzlových bodech 1 a 2 a střední normální napětí τ_1 a τ_2 v těchto uzlových bodech.

Vypočtené hodnoty uvedených veličin jsou seřazeny v tabulce č. 1, podle níž pak byla zkonstruována síť skluzných čar, která je zachycena v příloze č. 2.

Vzhledem k tomu, že za bodem zlomu na křivočarém obrysu není možno provést výpočet dalších uzlových bodů sítě skluzných čar, byl jejich průběh nahrazen kruhovými oblouky, určenými třemi předcházejícími vypočtenými uzlovými body. Rovněž tak je možno dokončit průběh skluzných čar v zatěžovací 20 m vrstvě zeminy. Jejich křivočarý průběh s ohledem na určitou bezpečnost řešení byl v této oblasti nahrazen přímkami.

Závěr

Podle stanoveného průběhu skluzných čar je nyní možno určit velikost nutného předpolí zakládacího stroje. Má-li se určit jeho velikost pro danou výšku výsypkového stupně, najde se podle přílohy č. 2 skluzná čára, jež by již v této hloubce probíhala pevnou podložkou. Jejím ukončením na koruně svahu je vymezeno minimální předpolí zakladače. Po opravení koeficientem bezpečnosti k získáme jeho bezpečnou velikost. Při $k = 1,5$ obdržíme z přílohy č. 2

Výška výsypkového stupně	Velikost předpolí
35 m	69,0 m
40 m	76,5 m
45 m	82,5 m
50 m	90,0 m

Dále z přílohy č. 2 je patrné, že skluzné čáry, probíhající do hloubky 60 m, mají přibližně ve vzdálenosti 45 m od hlavy výsypkového stupně vodorovnou tečnu. To znamená, že při dalším postupu sypání bylo by vhodné začít sypat do této oblasti, neboť dalším přitížením obrysu svahu by nedošlo hned zpočátku ke zvětšování mezního smykového napětí na skluzných čarách této oblasti, a tím by také nemělo docházet ke skluzům výsypkového stupně, nasypaného již na celou výšku.

S h r n u t í

Článek řeší problém stability zakladače vymezením bezpečného předpolí na základě dosahu skluzných ploch. Průběh skluzných ploch je určen použitím teorie mezní rovnováhy, jejímž základem je řešení diferenciálních rovnic mezní rovnováhy.

Р е з ю м е

К вопросу о безопасной эксплуатации отвальных машин

Проблему устойчивости отвалообразователей решает автор путем определения необходимой предохранительной полосы (предполя), устанавливаемой с учетом зон влияния имеющихся в рассматриваемой области зеркал скольжения. Форма последних определяется при помощи теории предельного равновесия путем решения дифференциальных уравнений предельного равновесия.

S u m m a r y

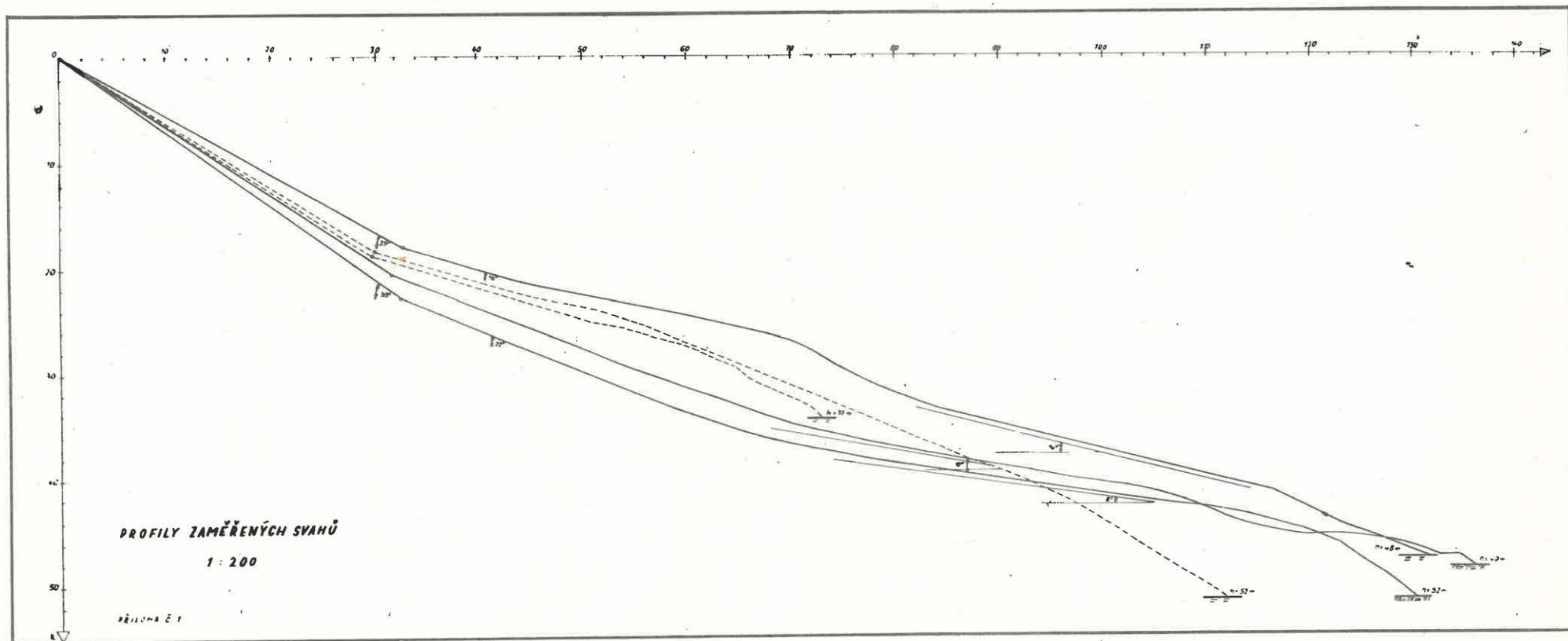
The question of stacking machines safety

The article deals with the problem of stacker stability by delimitation of outlying field on the basis of slip surface range. The course of slip surfaces is being defined by the use of the boundary equilibrium theory, the base of which is solving of differential equations regarding the boundary equilibrium.

Z u s a m m e n f a s s u n g

Zur Frage der Sicherheit von Absetzgeräten

In dieser Abhandlung wird das Problem der Standfestigkeit von Absetzgeräten durch entsprechende Abgrenzung des Sicherheitsvorfeldes auf der Grundlage der Reichweite der Gleitflächen gelöst. Der Verlauf der Gleitflächen wird unter Anwendung der Theorie des Grenzzustandsgleichgewichts bestimmt. Die Lösung der Differentialgleichungen des Grenzzustandsgleichgewichts bildet die Grundlage.



PRŮBĚH SKLIZNÝCH ČAR
1 : 200

