

Ing. Ivan D y k a s t, VÚHU

Empirické stanovení smykové pevnosti výsypkových zemín

1.0.0 Úvod

Na základě sledování svážných pohybů nestabilních výsypkových i skrývkových svahů byly již v dřívější praxi často odvozovány zpětně příslušné parametry smykové pevnosti zemín. Zpětné výpočty vedou zpravidla k řešení jedné rovnice se dvěma neznámými parametry smykové pevnosti - úhlem vnitřního tření φ a soudržností c . Při odhadu jednoho z parametrů je vypočítán parametr druhý. Je-li odhadovaný parametr nadhodnocený, vypočtený parametr vychází podhodnocený. Závislost platí i obráceně. Celkovou hodnotu velikosti smykové pevnosti zeminy uvažovaného svahu případná nepřesnost v odhadu jednoho z parametrů neovlivňuje, protože vzájemný poměr obou parametrů zaručuje vždy stejnou hodnotu. Chybný odhad uvedeného parametru však způsobuje nepoužitelnost získaných parametrů smykové pevnosti pro stabilitní hodnocení svahů jiných výšek, než jakou měl svah, z kterého byly odvozeny, třebaže by byly tvořeny stejnými zemínami. Vyplývá to z Coulombovy teorie smykové pevnosti, podle které je podíl parametru φ na tvorbu velikosti smykové pevnosti závislý na normálním napětí /tím i na výšce svahu/ a parametr c nikoliv.

V předkládaném článku je popsán způsob, jak je možno hodnoty φ a c u výsypkových zemín empiricky stanovit ve svých skutečných velikostech, což umožňuje jejich následné použití pro posouzení stability svahů různých výšek vždy v celé oblasti, je-li ovšem charakterisovaná stejným druhem zeminy a stejnými vnějšími podmínkami při jejím zakládání.

2.0.0 Postup při empirickém stanovení smykové pevnosti

Použití tohoto způsobu je možné všude tam, kde je k dispozici celá skupina různě vysokých svahů, v minulosti defor-

movaných v důsledku překročení mezní výšky. U takových svahů je možné odhadnout stabilitní stupeň bezpečnosti hodnotou $k_s = 1$, protože jsou v labilní mezní rovnováze udržovány pouze reziduální /zbytkovou/ velikostí smykové pevnosti. Parametry této smykové pevnosti pak sice zjišťujeme podobně jako dosud, ale tentokrát vždy pro celou skupinu svahů. Odhadneme velikost soudržnosti c a pomocí některé z běžných metod posuzování stability svahů vypočteme odpovídající velikosti hodnot úhlů vnitřního tření φ . Postup opakuje podle potřeby několikrát, pro různě volené hodnoty c . Pro hodnoty φ lze potom nalézt jejich lineární závislost na výškách svahů H , kterou je možné vyjádřit rovnicí:

$$\operatorname{tg} \varphi = a + b \cdot H$$

Správný odhad hodnoty soudržnosti c je takový, při kterém $\operatorname{tg} \varphi$ a tím i úhel vnitřního tření φ má pro všechny výšky svahů H konstantní hodnotu. Pro výše uvedenou rovnici pak platí $a = \operatorname{tg} \varphi$, $b = 0$. Za okrajovou podmínku úlohy zde tak slouží poznatek z laboratorních smykových zkoušek zemin, kdy obalová křivka Mohrových kružnic má při počátečních hodnotách normálního napětí /u výsypkových zemin do max 6 1,0 - 1,5 MPa/ přímkový charakter.

Známe-li kritickou výšku h_c , na jakou se zemina udrží krátkodobě ve svislé stěně, můžeme i tento údaj použít za okrajovou podmínku. Potom známý vzorec pro kritickou výšku

$$h_c = \frac{2c}{\gamma} \cdot \operatorname{tg} 45^\circ + \frac{\varphi}{2}$$

upravíme na tvar

$$\operatorname{tg} \varphi_{1/2} = \frac{\gamma \cdot h_c - 2c}{\gamma \cdot h_c + 2c}$$

Po dosazení hodnoty objemové tíhy zeminy γ a naměřené kritické výšky h_c dostáváme závislost mezi samotnými parametry smykové pevnosti φ a c , použitelnou jako další okrajovou podmínku.

Popsaného způsobu empirického stanovení smykové pevnosti výsypkových zemín lze výhodně použít v případech posuzování krátkodobé stability svahů všude tam, kde k rychlému posouzení nejsou k dispozici výsledky laboratorních smykových zkoušek. V případech posuzování dlouhodobé stability výsypkových svahů je tento způsob výhodný vždy, když jsou ovšem staré svahy z obdobných zemín k dispozici, protože sledování účinků faktoru času na smykovou pevnost sypanin není možné v laboratoři dosud spolehlivěji provádět.

3.0.0 Příklady empirického stanovení smykové pevnosti

3.1.0 Příklad 1 - dlouhodobá stabilita svahů koruny Ervěnického koridoru.

V tomto případě bylo empirické stanovení smykové pevnosti zadavatelem úkolu vyžádáno, třebaže byly k dispozici výsledky laboratorních smykových zkoušek. Úkolem empirického stanovení bylo zachycení účinků faktoru času na smykovou pevnost jílovcové sypaniny.

Stabilita 19 - 25 m vysokých svahů koruny Ervěnického koridoru, upravených ve sklonu 1 : 3, byla nejprve prokázána při použití laboratorně zjištěných parametrů smykové pevnosti do koruny zakládaných zemín. Jedná se o jílovce ze spodních řezů VČSA s výraznou kusovitostí. Byly použity hodnoty získané ve velkorozměrovém smykači, platné pro výsypkovou zeminu z V. řezu VČSA:

$$\begin{aligned}\varphi &= 17,2^\circ \\ c &= 20 \text{ kPa}\end{aligned}$$

Protože obdobné zeminy ze spodních řezů VČSA byly zakládány před 5 - 15 lety ve východní oblasti vnitřní výsypky VČSA, bylo právě odtud vybráno 10 svahů k empirickému odvození smykové pevnosti. Vybrané svahy byly v průběhu své dosavadní existence několikrát zaměřovány a dlouhodobě vykazovaly rovnovážný stav se stupněm bezpečnosti $k_s \approx 1$. Výšky sva-

hů byly v rozmezí 26 - 60 m. Pomocí Cousinsových diagramů byly pro všech 10 svahů nalezeny hodnoty úhlů vnitřního tření φ , odpovídající různě odhadovaným hodnotám soudržnosti c /5, 20, 40, 60, 80 kPa/. Pro každou z hodnot c tak byla nalezena lineární závislost hodnoty φ na výškách svahů H . Ta velikost hodnoty c , při které úhel φ je konstantní pro všechny výšky H , určila parametry smykové pevnosti takto: /z obr. 1/

$$\varphi = 10^{\circ}$$

$$c = 35 \text{ kPa}$$

V případě zemin zakládáných do koruny koridoru byla známa také kritická výška o velikosti $h_c \geq 4,5 \text{ m}$, na jakou se zemina udržela dočasně ve svislé stěně. Ověřena byla při odtěžování 6 let starého sypání zakladače Z - 50. Při použití tohoto údaje za okrajovou podmínku byly získány velice blízké parametry smykové pevnosti /obr. 2/

$$\varphi = 11,9^{\circ}$$

$$c = 33 \text{ kPa}$$

Porovnání parametrů smykové pevnosti získaných laboratorně na čerstvých zeminách a parametrů získaných empiricky na zeminách již 5 - 15 let konzolidovaných naznačuje, že se vlivem faktoru času při dlouhodobé konsolidaci mění parametry smykové pevnosti sypaniny. Zatímco velikost úhlu vnitřního tření v důsledku měknutí a rozpadu hrud klesá, hodnota soudržnosti naopak roste vlivem zvětšování kontaktních ploch mezi zrny a vlivem zmenšující se pórovitosti. V důsledku tohoto přetváření struktury sypaniny stabilita vysokých svahů vlivem času klesá /převládá zde vliv zmenšujícího se úhlu vnitřního tření/, naopak stabilita nízkých svahů určité výšky, charakteristické pro daný obsah zeminy se stupeň bezpečnosti vlivem faktoru času nemění. Stabilitní stupeň bezpečnosti svahů koruny Ervěnického koridoru, prokázaný s použitím empiricky odvozených parametrů smykové pevnosti se zmenšil jen velmi málo.

3.2.0 Příklad_2 - krátkodobá stabilita výsypkových etáží vnitřní výsypky Šmeral.

Zde se jednalo o zjištění smykové pevnosti výsypkových zemin z lomu Šmeral-Hořanského pole, zakládáných do dvou nej-
spodnějších výsypkových etáží. Byla opět zkoumána skupina de-
seti zřetelně deformovaných svahů, stabilizovaných pouze zbytkovou velikostí smykového napětí v labilní rovnováze. Přímkové závislosti délek vodorovných průmětů svahů na jejich výškách odpovídaly v krajních bodech sledovaného oboru svahy:

Svah výšky $H = 8$ m s vodorovným průměrem $L = 32$ m.

Svah výšky $H = 22$ m s vodorovným průměrem $L = 136$ m.

Při použití opět Cousinsových grafů, dosazením hodnot stupně bezpečnosti $k_s = 1$ a objemové hmotnosti $\gamma = 18 \text{ kN.m}^{-3}$ byly nalezeny zkusmo soudržnosti c takové velikosti, kdy úhel vnitřního tření vycházel pro oba svahy shodný. Získané hodnoty měly velikost: /obr. 3/

$$\varphi = 6,4^\circ$$

$$c = 7,2 \text{ kPa}$$

Těchto hodnot bylo využito k návrhu krátkodobě stabilních pracovních etáží.

4.0.0 Závěr

Při výběru svahů k empirickému vyšetřování nutno zásadně vycházet ze svahů zřetelně deformovaných, stabilizovaných v labilní rovnováze pouze reziduální /zbytkovou/ velikostí smykové pevnosti. Jen u takových svahů možno odhadnout stabilitní stupeň bezpečnosti a to hodnotou $k_s = 1$.

Při výběru svahů určených ke zpětnému vyhodnocení je třeba dbát na splnění analogických podmínek, odpovídajících svahům právě posuzovaným, jak co do vlastního druhu zeminy, tak i co do vnějších podmínek, za jakých se zemina zakládá /stlačitelnost a úklon podložky, hydrologické poměry/.

Stabilitní metoda pro zpětné výpočty může být libovolná,

musí však respektovat Coulombův vztah pro smykovou pevnost soudržných zemín $\tau = c + \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi$. Přednost mají metody umožňující rychlé získání výsledků pomocí grafů.

Z dosavadních výsledků empirického vyšetřování smykové pevnosti zemín jsou nejzajímavější ty, které sledují změny velikosti smykové pevnosti sypanin vlivem faktoru času. Tento problém si zaslouží dalšího zkoumání, například formou porovnávání výsledků laboratorních smykových zkoušek zemín, ve výsypce po řadu let již konzolidovaných s výsledky smykových zkoušek s obdobnými zemínami do výsypky čerstvě založenými.

S h r n u t í

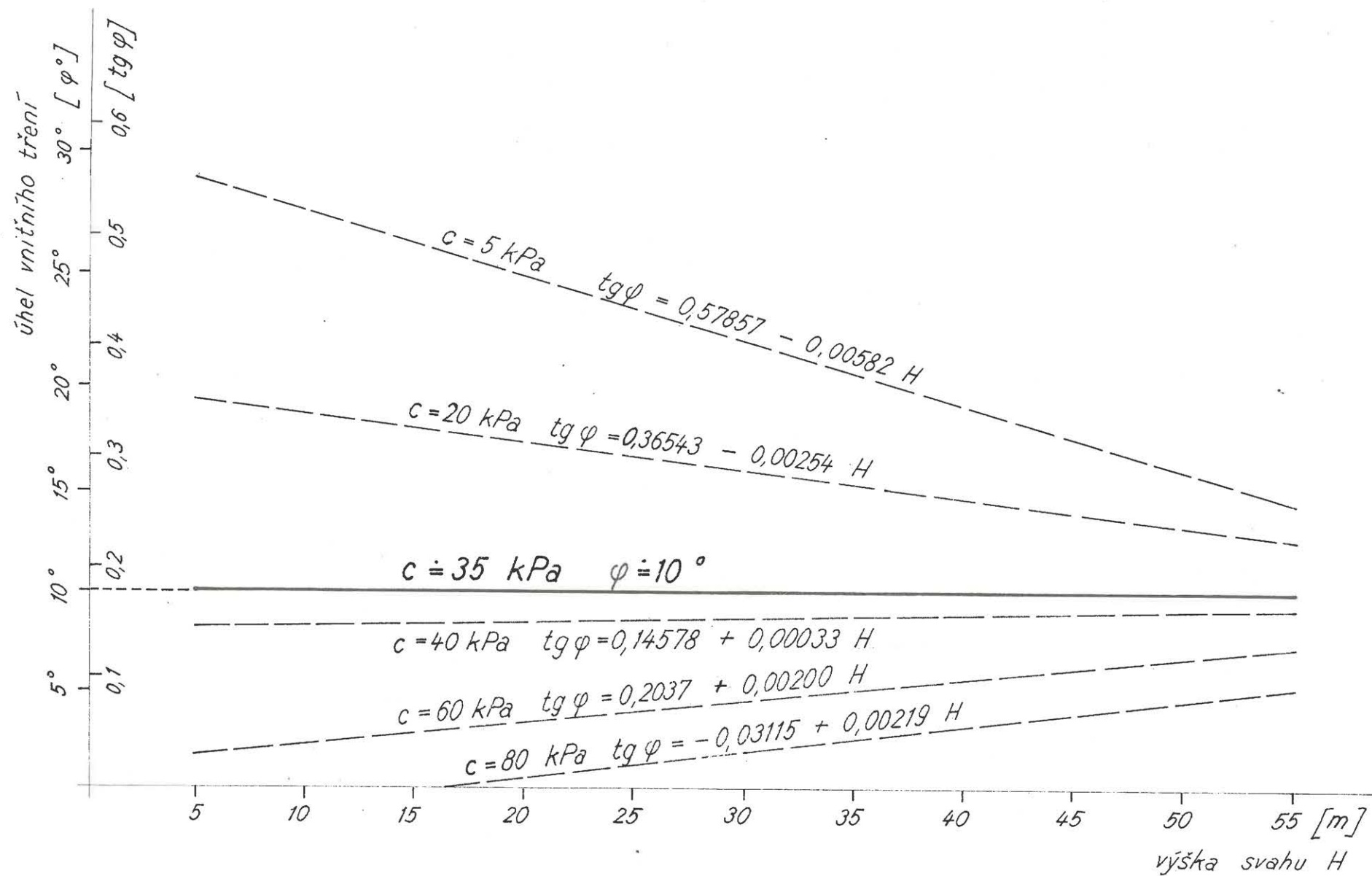
Empirické stanovení smykové pevnosti výsypkových zemín

V článku je popsán způsob stanovení smykové pevnosti výsypkových zemín empirickým způsobem, na základě rozboru tvarování dosavadních svahů z téže zeminy, anebo podle tvarování svahů ze zemín analogických vlastností a za analogických vnějších podmínek. Vychází se zásadně ze svahů v labilní rovnováze.

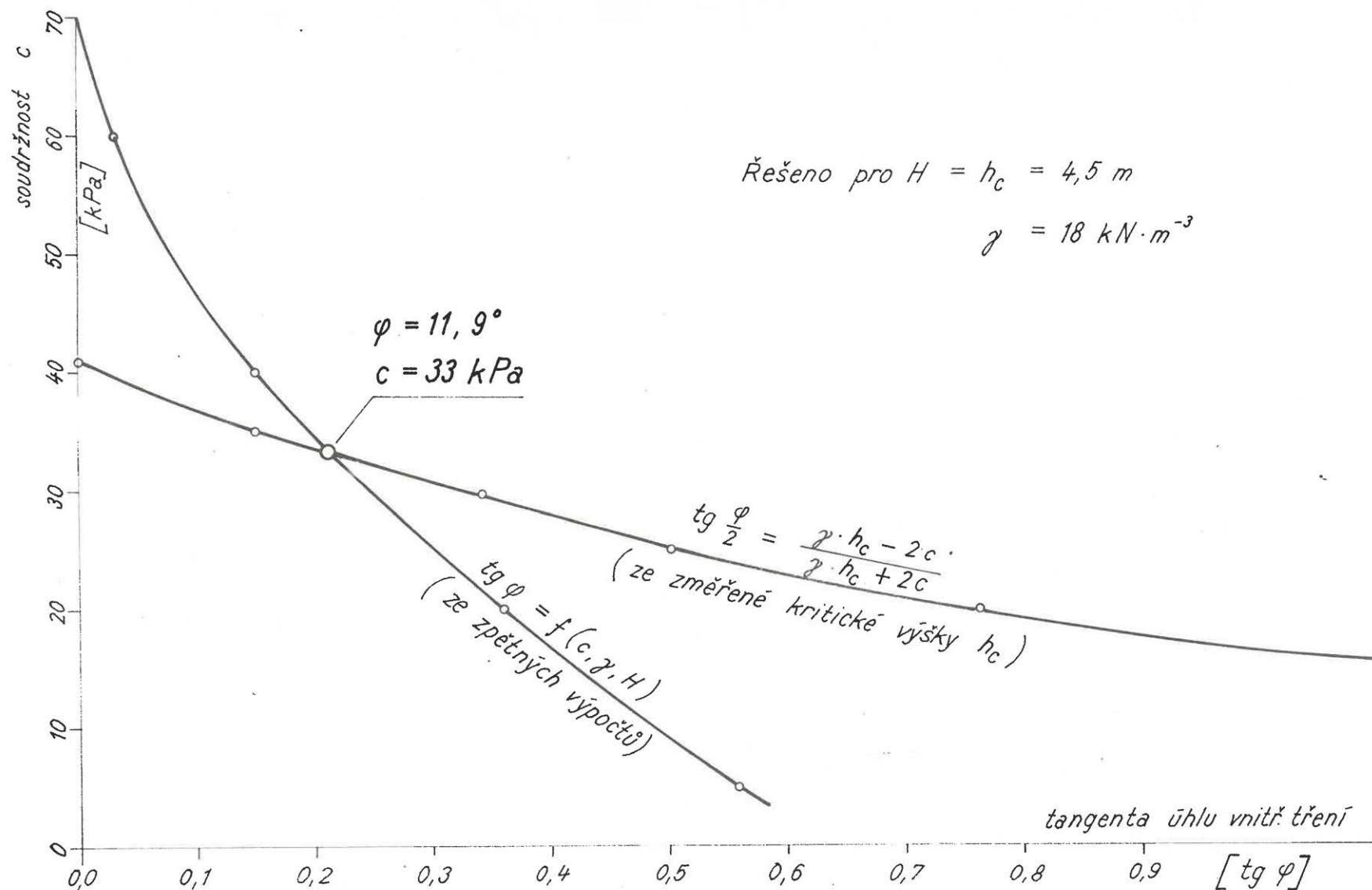
Р е з ю м е

Эмпирическое установление параметров сдвиговой прочности отвалных грунтов

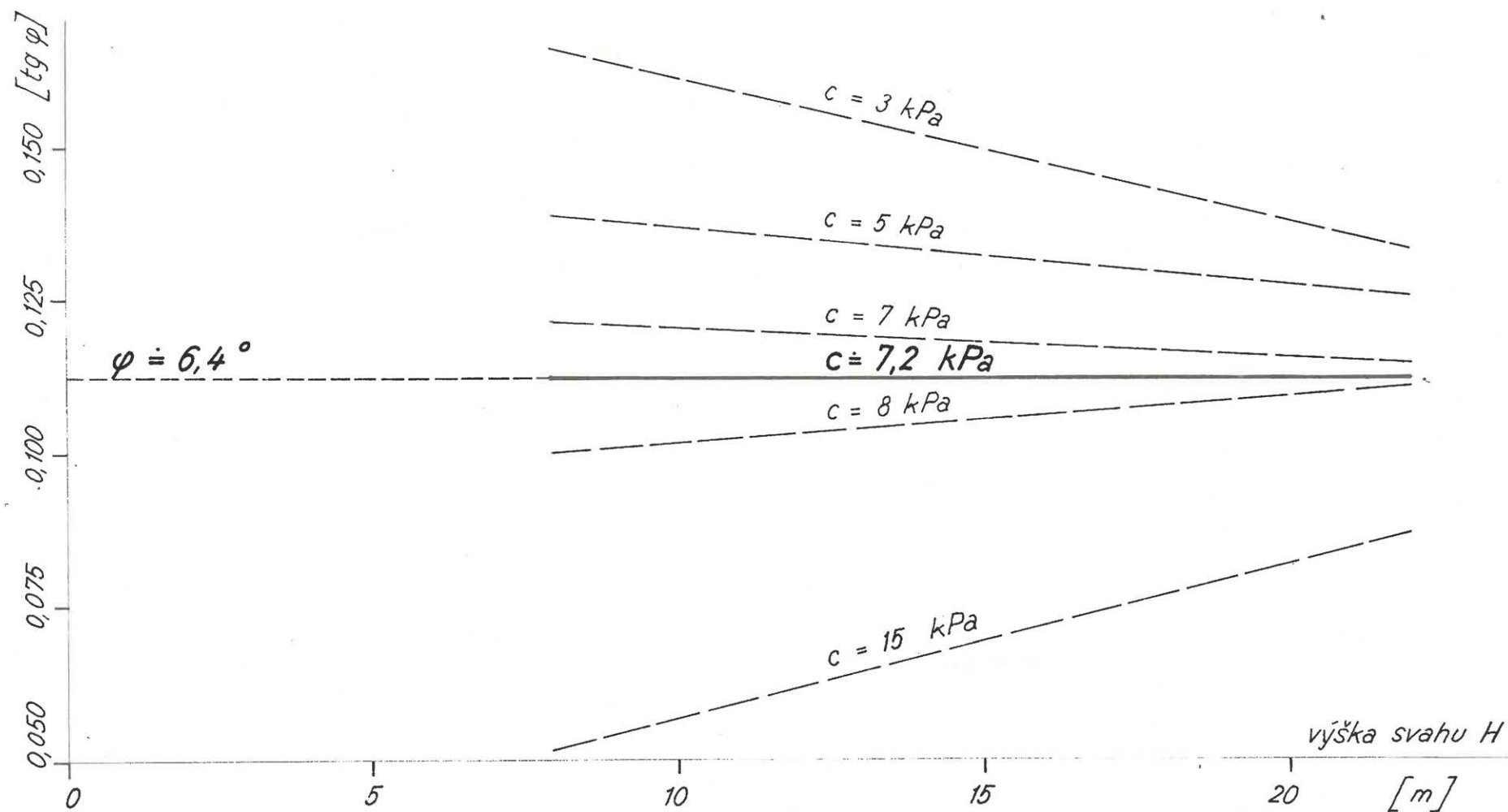
Дано описание методики эмпирического установления сдвиговой прочности отвалных грунтов обратным путём, исходя из анализа характера естественного профилирования (выполаживания) отсыпанных в прошлом отвалных откосов. Методика основана на сопоставлении условий неполаживания отвалов, сложенных грунтами одинакового типа, имеющими аналогичные свойства, при аналогичных внешних условиях. Подчеркивается необходимость при установлении сдвиговой прочности пород исходить всегда из положения откосов в состоянии неустойчивого предельного равновесия.



Obr. 1 Empirické stanovení smykové pevnosti zemin
Východní oblast vnitřní výsypky VČSA, 5–15 let konzolidovaná



Obr. 2 Empirické stanovení smykové pevnosti zemin
 Východní oblast vnitřní výsypky VČSA, 5-15 let konzolidovaná



Obr. 3 Empirické stanovení smykové pevnosti zemin
Vnitřní výsypka Šmeral, rypadlové etáže, krátkodobě konzolidované