

Inž. Jan O t ý a , VÚHU :

PŘÍZPŮSOBNÍ PETERSSONOVY METODY ZJIŠŤOVÁNÍ STABILITY
SVAHŮ PRO VÝPOČET NA SAMOČINNÉM POČÍTAČI

Úvod

Pro zjišťování stability svahů zemního tělesa je vypracována celá řada výpočtových metod, vycházejících z různých předpokladů. Různé výchozí předpoklady způsobují odchylky ve výsledcích, které bývají v některých případech dosti značné.

Jednou z klasických metod zjišťování stability je graficko-početní metoda Petterssonova. Užitá pro parametry zemin vyskytujících se v nadloží uhelné sloje v SHD poskytuje dosti spolehlivé výsledky. Její velkou nevýhodou je však značná pracnost a množství opakujících se matematických úkolů. Tato skutečnost dává předpoklad použít při výpočtu výhod samočinného číslicového počítače.

Petterssonova metoda zjišťování stability svahu vychází z předpokladu, že k sesutí svahu dochází po kružnici, která u svahů s podkladem přibližně stejných mechanických vlastností jako má zemina svahu, prochází patou svahu. Pro svah ohrožený podle tohoto předpokladu sesunem jsou sestaveny statické výminky rovnováhy a z nich se stanoví, s jakou bezpečností tento vzdoruje sesutí. Pro zjištění součinitele bezpečnosti k je nutno sestavit celou řadu kružnic procházejících patou svahu a u všech výpočtem zjistit příslušný součinitel stability. Přitom plocha vymezená v obr. 1 body ABC je zjišťována grafickou integrací.

Úkol, který vyvolal potřebu zprogramovat algoritmus Petterssonovy metody, je následující :

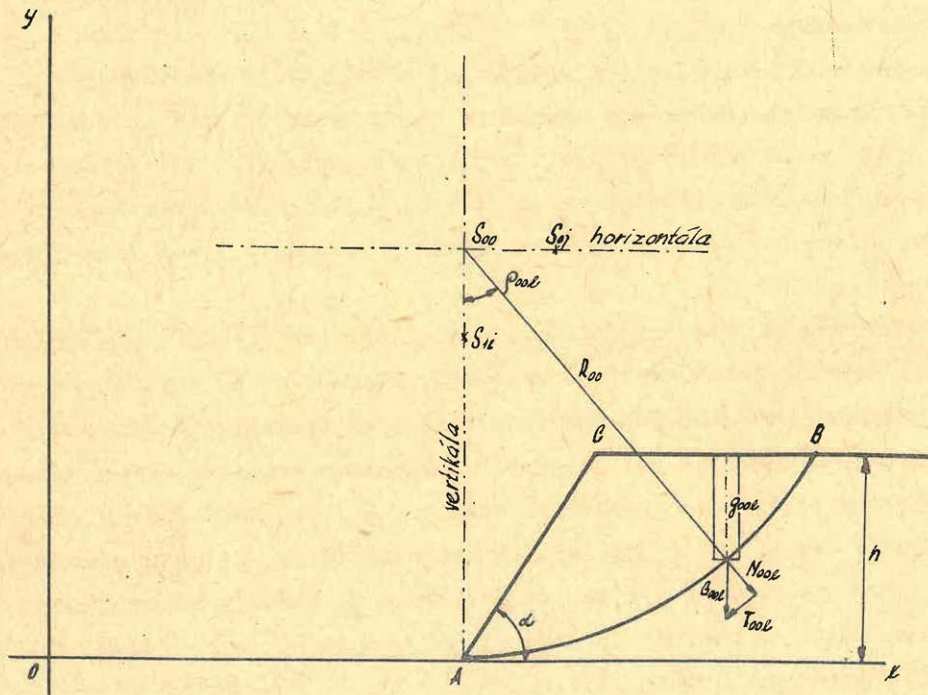
Při postupu porubní fronty Velkolomu Čs. armády dostane se boční svah lomu do bezprostřední blízkosti svahů Krušných hor a je třeba stanovit bezpečné svahové úhly jednotlivých řezů i celého bočního svahu, aby nevzniklo nebezpečí jejich skluzu. Z tohoto důvodu je v oblasti projektovaného bočního svahu podnikán vrtný průzkum a u odebíraných vzorků jsou laboratorně stanovovány geomechanické parametry jako podklady pro návrh stabilních svahů.

Protože není dosud přesně známo báňské řešení skrývky, bude třeba jed -

notlivé řezy řešit pro výšky 10 - 40 m s krokem po 1 m a pro úhly $20^\circ - 80^\circ$ s krokem po 5° , čím budou vyčerpány i extrémní hodnoty.

K dispozici bude řada vzorků odebraných vždy z jednoho vrtu, které ve vertikálním směru charakterizují nadložní sloje. Je třeba provést výběr vzorků tak, aby pro každý řez byl k dispozici vzorek s nejnepříznivějšími mechanickými vlastnostmi, avšak vertikálně příslušný do řezu. Protože takto vyhodnocovaných vrtů bude 24, byl i pro výběr příslušného vzorku vypracován program.

Obr. 1



1. Výběr vhodného vzorku pro výpočet

U každého vzorku jsou určeny hodnoty smykové pevnosti c , úhlu vnitřního tření φ a objemové váhy γ .

Mechanické vlastnosti vzorku nejlépe ilustruje tzv. mezí svislá výška podle doc. Sobotky. Mezí svislou výškou má autor na mysli výšku svislého svahu na mezi rovnováhy a pro její výpočet užívá vztahu :

$$h_0 = \frac{2c}{\gamma} \operatorname{tg} \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right)$$

- h_0 - mezní svislá výška v m
- c - smyková pevnost v t/m^2
- γ - objemová váha v t/m^3
- φ - úhel vnitřního tření ve stupních

Každý řez budeme řešit pro vzorek s nejmenší meznou svislou výškou, čímž předpokládáme, že vrstva zeminy s nejméně příznivými mechanickými vlastnostmi je rozšířena po celém řezu.

V příloze č. 1 je uvedeno blokové schéma výběru vzorku pro 1. řez o výšce 10 m. K jednotlivým blokům, které jsou číslovány, je nutno podat následující vysvětlení :

- blok 1 : Každý vzorek má svou hloubkovou kótu, kterou je jeho hloubka pod terénem. Kótou h_0 je označena hlava sloje, která zároveň tvoří patu posledního skryvkového řezu. V 1. bloku je kóta hlavy posledního skryvkového řezu zaslána na adresu p.
- blok 2 : Zkouška, zda vzorek s kótou h_1 přísluší vertikálně do sféry řezu. Jestliže ne, bude tak jako tak použit, neboť je nejbližším vzorkem.
- blok 3 : Zkouška, zda vzorek s kótou h_2 přísluší vertikálně do sféry řezu. Jestliže ne, bude použit vzorek s kótou h_1 .
- blok 4 : Zkouška, zda vzorek s kótou h_3 přísluší do sféry řezu. Jestliže ne, nutno srovnat ještě vzorky h_1 a h_2 , což se děje na vývodu - na blok č. 5.
- blok 5 : Standardní blok pro výpočet mezní svislé výšky dle Sobotky pro vzorek s kótou h_1 .
- blok 6 : Standardní blok pro výpočet mezní svislé výšky dle Sobotky pro vzorek s kótou h_2 .
- blok 7 : Výběr vzorku s menší mezní svislou výškou porovnáním.
- blok 8, 9, 10 : V případě, že je vhodný vzorek s kótou h_2 , zašlou se tangenta úhlu vnitřního tření, smyková pevnost a objemová váha na adresy q, r, s, aby mohly být použity ve výpočtu.
- blok 21, 22, 23 : Vykazuje-li menší mezní svislou výšku vzorek s kótou h_1 , jsou výše uvedené geomechanické parametry tohoto vzorku zaslány na adresy q, r, s.

V dalších blocích jsou přibírány do výpočtu další vzorky až do kóty, kdy

už vertikálně nespádají do oblasti posledního skrývkového řezu.

V bloku č. 11 je volný vývod, což značí, že dojde k momentu, kdy přijdeme na vzorek s menší kótou, než je hlava posledního skrývkového řezu.

Tuto metodu výběru vzorků možno používat universálně ve všech pracích tohoto typu, příkladně při bezpečnostními předpisy předepsané kontrole stability skrývkových svahů lomů.

2. Výpočet součinitele stability k :

Základní vzorec pro výpočet součinitele stability podle Petterssona opatříme vhodnými indexy, čímž nabude následujícího tvaru :

$$k_{oj} = \frac{\sum_0^1 N_{ojl} \cdot \text{tg} + \sum_0^1 T_{ojl} + c \cdot s_{oj}}{\sum_0^1 T_{ojl} +}$$

k_{oj} - v obr. 1 zvolen střed $S_{oo} = [2h, 2h]$ Petterssonovy kružnice; k_{oj} jsou součinitelné stability pro kružnice se středy na horizontále a to buď vpravo, nebo vlevo od S_{oo} .

N_{ojl} - normální složka elementu váhy G_{ojl} z obr. 1.

1 - krok grafické integrace, který zde činí 0,1 m.

T_{ojl+} - tečná složka elementu váhy G_{ojl} působící ve směru ujetí.

T_{ojl-} - tečná složka působící ve směru proti ujetí; vyskytne se jen u kružnic se středy na horizontále a vpravo od S_{oo} .

j - krok posunu středů kružnic, který zde činí 0,1 m.

s_{oj} - délka kruhového oblouku \widehat{AB} .

Úlohu řešíme v kartézských souřadnicích metodou analytické geometrie v rovině. Střed první Petterssonovy kružnice se volí v bodě $S_{oo} = [2h, 2h]$, kde h je výška řezu, a vypočteme k_{oo} . Dále se střed kružnice posouvá vždy o 0,1 m po horizontále doprava a počítají se jednotlivá k_{oj} . Tato jsou neustále porovnávána a je zjišťováno minimální k_{oj} ; x souřadnice středu příslušné kružnice je zároveň souřadnicí x středu kružnice s nejmenším koeficientem bezpečnosti pro daný svah. Podobným způsobem je nutno vyšetřit k_{11} minimální pro kružnice se středy na vertikále, jehož y souřadnice je zároveň souřadnicí nejnebezpečnější svážené kruhové plochy pro daný svah.

Pro definitivní kružnici zadanou středem a bodem A z obr. 1 vypočteme součinitel stability a tento potom pokládáme za součinitel stability svahu.

Dále jsou uvedeny vzorce pro výpočet k_{oj} pro středy vpravo od S_{oo} . Vzorce jsou uvedeny bez odvození, bloková schémata rovněž neuvádím, neboť jsou poměrně jednoduchá, blokové cykly se mechanicky opakují. Pro středy na horizontále vlevo od S_{oo} a pro středy na vertikále mají vzorce poněkud jiný tvar.

$$N_{ojl} = G_{ojl} \cdot \cos \rho_{ojl}$$

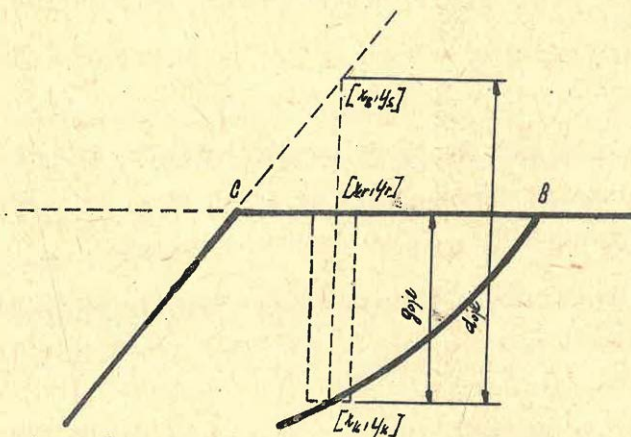
ρ_{ojl} - úhel sevřený úsečkou $\overline{S_{oo}A}$ a poloměrem R_{oo} z obr. 1.

$$G_{ojl} = d_{ojl} \cdot 0,1 \cdot J$$

$$G_{ojl} = g_{ojl} \cdot 0,1 \cdot J$$

Pro výpočet G_{ojl} existují dva vzorce; d_{ojl} je výška obdélníčku měřená k polopřímce roviny svahu, g_{ojl} výška měřená k polopřímce koruny svahu. Vhodnou výšku vybereme porovnáním, neboť vyhovuje vždy ta výška, která je menší, což je zřejmé z obr. č. 2.

Obr. 2



$$d_{ojl} = y_s - y_k$$

$$g_{ojl} = y_r - y_k$$

y_s - y souřadnice průsečíku d_{ojl} s polopřímkou svahu, jak je zřejmo z obr. č. 2

y_k - y souřadnice průsečíku d_{ojl} (g_{ojl}) s kružnicí svážné plochy

y_r - y souřadnice průsečíku g_{ojl} s polopřímkou koruny svahu

$$y_s = 0,1 \cdot l \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

0,1 = vzdálenosti jednotlivých výšek (krok)

l - index jednotlivé výšky 0,1 · l vzdálené od bodu t z obr. 1

α - svahový úhel

$$y_k = 2h \left(1 - \sqrt{1 - \frac{1(0,01l - 0,02j)}{4h^2}} \right)$$

h - výška řezu

j - krok postupu středů od S_{oo} , jejichž vzdálenost $S_{oo} S_{oj} = 0,1 \cdot j$

$$y_r = h$$

$$\cos \rho_{ojl} = \frac{0,02(j-1)^2}{0,01(j-1)^2 + y_k^2}$$

Výraz $c \cdot s_{oj}$ se řeší tak, že se do paměti počítače zašle tabulka délek oblouků jednotkové kružnice v závislosti na délce příslušné sečny. Porovnáním se stanoví nejpřiblíženější délka kruhového oblouku.

V příloze č. 2 je načrtnuto blokové schéma výpočtu souřadnic středu nejnebezpečnější skluzové plochy. Jednotlivé bloky vyžadují následující vysvětlení :

blok 82 : Na adrese ω je sečítán výraz $\sum_1^l N_{ojl} \cdot \operatorname{tg} \varphi$, na adrese je sečítán výraz $\sum_1^l T_{ojl}$.

blok 83 : Na adrese q je zapsán výraz $c \cdot s_{oj}$; tudíž na adresu ω je zaslán čítatel Petterssonova vzorce.

- blok 84 : Na adrese ψ je sčítán výraz $\sum_1^k T_{ojl-}$; tudíž na adrese $\lambda + j$ jsou zapisovány součinitele stability kružnic se středy $O, 1 \dots j$ m vzdálenými od S_{oo} . Pro příklad na adrese λ je zapsáno k_{oo} , na adrese $\lambda + 1$ je zapsáno k_{o1} atd.
- blok 85 : Posun cyklu pro výpočet následujícího k .
- blok 86 : V bloku 87 jsou porovnávána jednotlivá k_{oj} . Aby srovnání mohlo být provedeno, je třeba vypočítat k_{oo} a k_{o1} ; k tomu slouží blok 86, který vrací výpočet na blok 28, kde se po vypočtení k_{oo} začne s výpočtem k_{o1} (blokové schéma výpočtu jednotlivých součinitelů stability, ve kterém výpočet začíná blokem č. 28, není v článku uvedeno).
- blok 87 : Zjišťuje, zda velikost k_{oj} ve směru vpravo od S_{oo} roste. Jestliže nikoliv, pokračuje se ve výpočtu součinitele další kružnice ve směru vpravo od S_{oo} .
- blok 88 : Jestliže k_{oj} je větší než k_{oo} , je nutno ještě počítat jednotlivá k_{oj} vlevo od S_{oo} .
- blok 89 : Na adresu ν je zaslána x souřadnice středu nejnebezpečnější sklu-zové plochy.
- blok 90 : Po zjištění k_{11} minimálního je zaslána y souřadnice středu nejne-bezpečnější kruhové svázné plochy na adresu μ .
- blok 91 : Po výpočtu $k_{def.}$ pro svah $h_1 = 10$ m a $\alpha_1 = 20^\circ$ se $k_{def.}$ vytiskne. Organizace tisku se provede tak, že na téže řádce, kde se tiskne $k_{def.}$, se vytiskne kóta hlavy řezu jako identifikační znak.
- blok 92 : Svahový úhel α se zvětší o 1° a výpočet $k_{def.}$ se opakuje pro nový svah.
- blok 93 : Výška svahu h se zvětší o 1 m a opakuje se výpočet součinitelů stability pro všechny předepsané úhly α .

Závěr

Stručně popsaná transformace Petterssonovy metody může velmi usnadnit výpočet stability skrývkových a i jiných svahů. V odborné literatuře se uvádí, že podobné programy složitých a obtížných výpočetních postupů zvyšují efektivnost práce 60 - 100 krát. V našem konkrétním případě půjde o cifru

ještě podstatně vyšší, neboť výpočty se budou neustále opakovat a bude třeba vždy změnit jen vstupní data zasílaná do paměti. Další zjednodušení nastane až budou k dispozici číslicové počítače s algolovským překladačem, což bude zejména administrativně výhodné, neboť program i výsledek bude možno vyměňovat např. poštou.

S h r n u t í

Autor zpracovává složitou, graficko-analytickou metodu výpočtu stability svahů zemních těles podle Petterssona pro výpočet na samočinném počítači. Metodika výpočtu je zejména vhodná pro skryvkové svahy povrchových dolů, kde generální svah je dělen pracovními plošinami na více dílčích svahů. Kromě toho je v článku popsána metoda výběru nejvhodnějšího vzorku zeminy pro výpočet svahu.

Р е з ю м е

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ПЕТТЕРССОНА ДЛЯ РАСЧЕТА НА ЭЕМ

Автор обрабатывает сложный, графическо-аналитический метод расчета устойчивости откосов земляных полостей по Петтерссону для расчета на ЭЕМ. Методика расчета является особенно удобной для вскрышных откосов карьеров, где карьерный откос разделяется рабочими площадками в большие отдельные откосов. Кроме того в статье описывается метод подбора самого подходящего образца породы для расчета откоса.

S u m m a r y

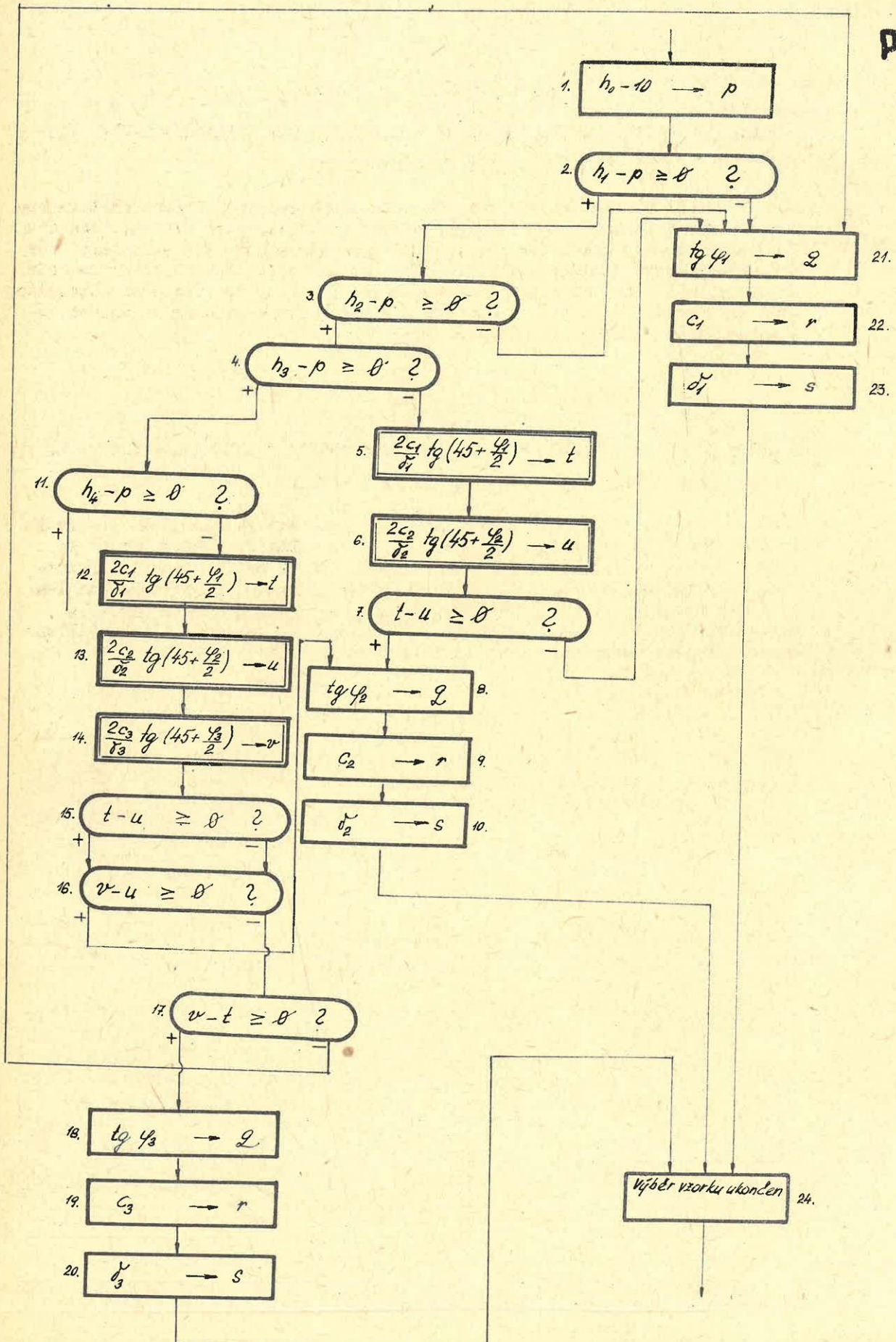
ADAPTION OF THE PETTERSSON METHOD FOR DETERMINING SLOPE STABILITY FOR CALCULATION ON AUTOMATIC COMPUTERS

The author elaborates a complicated, graphic-analytical slope stability calculation method of earth bodies by Pettersson for automatic computers.

The calculation methodology is especially useful for overburden slopes, where the main slope is divided by working benches into several sections. Besides this, the article describes the selection method of the most suitable earth samples for slope calculation.

- 34 - BLOKOVÉ SCHEMA VÝBĚRU VZORKU PRO VÝPOČET 1. ŘEZU

PŘÍL. 1



BLOKOVÉ SCHEMA VÝPOČTU SOUŘADNIC STŘEDU SKLUZNÉ KRUŽNICE

PŘÍL. 2

