



# Technická a stavební mechanika

## Tlak sypkých hmot a vodní tlak působící na stavební konstrukci

Ing. Pavla Kotásková, Ph.D.

Podpora praktických kompetencí projekční činnosti v regionálním rozvoji  
(Registrační číslo **CZ.1.07/2.2.00/28.0303**.)  
za přispění finančních prostředků EU a státního rozpočtu České republiky.



europa  
european  
social fund in the  
czech republic



EUROPEAN UNION



MINISTRY OF EDUCATION,  
YOUTH AND SPORTS



OP Education  
for Competitiveness

INVESTMENTS IN EDUCATION DEVELOPMENT

# Sypké hmoty

- zeminy - písek, štěrk, hlína
  - průmyslové produkty – uhlí, cement
  - zemědělské produkty – obilí,...
- 
- charakteristická vlastnost sypké hmoty – úhel přirozené sklonitosti (úhel vnitřního tření) sypké hmoty  $\varphi$
  - pro různé hmoty různé hodnoty  $\varphi$
  - úhel vnitřního tření zahrnuje tření mezi jednotlivými zrny materiálu.



## Nebezpečná – smyková rovina

= kluzná rovina  $\psi$ , po které dochází k pohybu části sypké hmoty při nepatrném pootočení nebo posunu opěrné zdi ve směru od násypu

$$\psi > \varphi$$

$$\psi = 45^\circ + \frac{\varphi}{2}$$

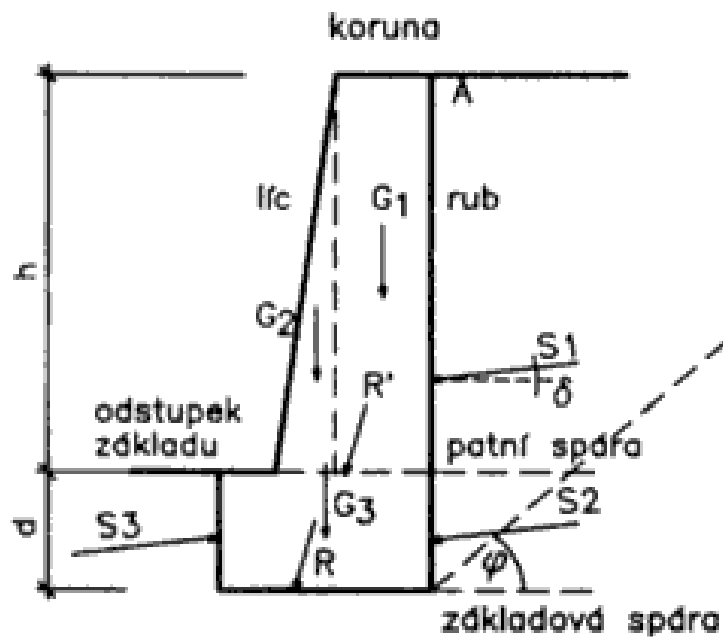
## Objemové hmotnosti $\gamma$ (v $\text{kg/m}^3$ ) a úhly vnitřního tření $\varphi$ některých hmot podle ČSN 730035

Přírodní kamenivo			a) Zeminy		
			soudržné zeminy		
hrubé (štěrk)			— s nízkou plasticitou		
zavlhlé . . . . .	1 800	40°	(např. hlinité písky až písčité hlíny)		
vlhké . . . . .	1 900	40°	tvrdé, pevné a tuhé . . . . .	2 000	28°
velmi vlhké až nasycené vodou . . . . .	2 000	38°	měkké a kašovité . . . . .	2 100	0°
— drobné (písek), ulehle			— se střední až vysokou plasticitou		
zavlhlé . . . . .	2 000	37°	(např. hlíny, jíly)		
vlhké . . . . .	2 100	37°	tvrdé . . . . .	2 000	22°
velmi vlhké . . . . .	2 150	35°	pevné až tuhé . . . . .	2 100	17°
			měkké až kašovité . . . . .	2 200	0°
— drobné, středně ulehle			zeminy s organickou příměsí		
zavlhlé . . . . .	1 800	35°	zavlhlé . . . . .	1 500	podle posouzení jednotlivého případu
vlhké . . . . .	1 900	35°	vlhké . . . . .	1 650	
velmi vlhké . . . . .	2 000	33°	velmi vlhké . . . . .	1 800	
— drobné, kypré			— s vysokou organickou příměsí		
zavlhlé . . . . .	1 650	32°	(např. rašelina)		
vlhké . . . . .	1 800	32°	zavlhlé . . . . .	500	
velmi vlhké až nasycené, nenastane-li ztekucení . . . . .	1 950	30°	vlhké . . . . .	800	
			velmi vlhké až nasycené . . . . .	1 100	

Pokračování tabulky

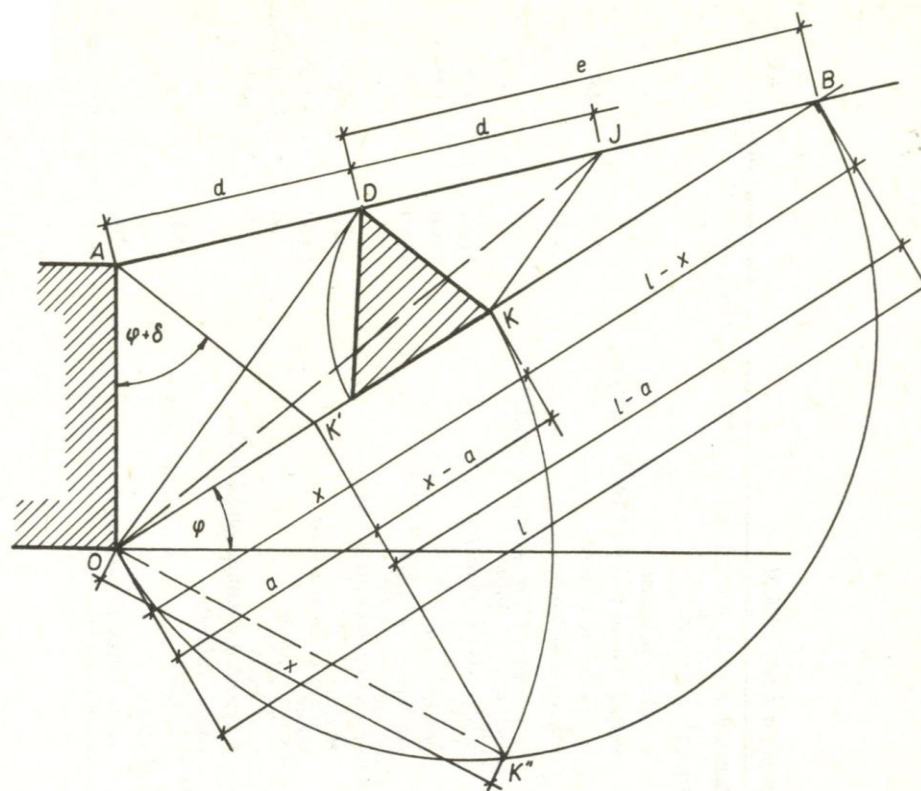
b) Sypké materiály					
drť cihelná . . . . .	1 200	35°	struska vysokopecní pěnová		
— z cihelného zdiva . . . . .	1 300	35°	— netříděná . . . . .	900	35°
— z velmi hutného kamene . . . . .	2 000	35°	— granulovaná . . . . .	1 000	25°
— z hutného kamene . . . . .	1 800	35°	— v kusech velikosti asi		
— z pórovitého kamene . . . . .	1 500	35°	30 až 70 mm . . . . .	1 800	40°
pemzový písek . . . . .	700	35°	štěrk, oblázek suchý . . . . .	1 900	—
písek (volně sypaný) . . . . .	1 600	30°	— drcený z velmi hutného kamene . . . . .	2 000	35°
popílek koksový . . . . .	700	25°	— z hutného kamene . . . . .	1 700	35°
stavební rum . . . . .	1 300	35°	— z pórovitého kamene . . . . .	1 500	35°
škvára kamenouhelná, kotlová a popílek . . . . .	900	45°	křemen (volně sypaný) . . . . .	1 600	30°
c) Paliva					
brikety volně sypané . . . . .	800	35°	uhlí dřevěné . . . . .	350	40°
koks kamenouhelný . . . . .	600	40°	— hnědé . . . . .	800	35°
— hnědouhelný . . . . .	1 000	40°	— kamenné a antracit . . . . .	1 000	35°
uhlí bitum. netříděné . . . . .	900	40°	— kamenné prachové . . . . .	800	25°
Pozn.: Podle ČSN 73 0035 pro převod hmotností na tíhy se uvažuje tíhové zrychlení $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ , takže hmotnosti 1 kg odpovídá tíha 10 N					

# Názvosloví opěrné zdi

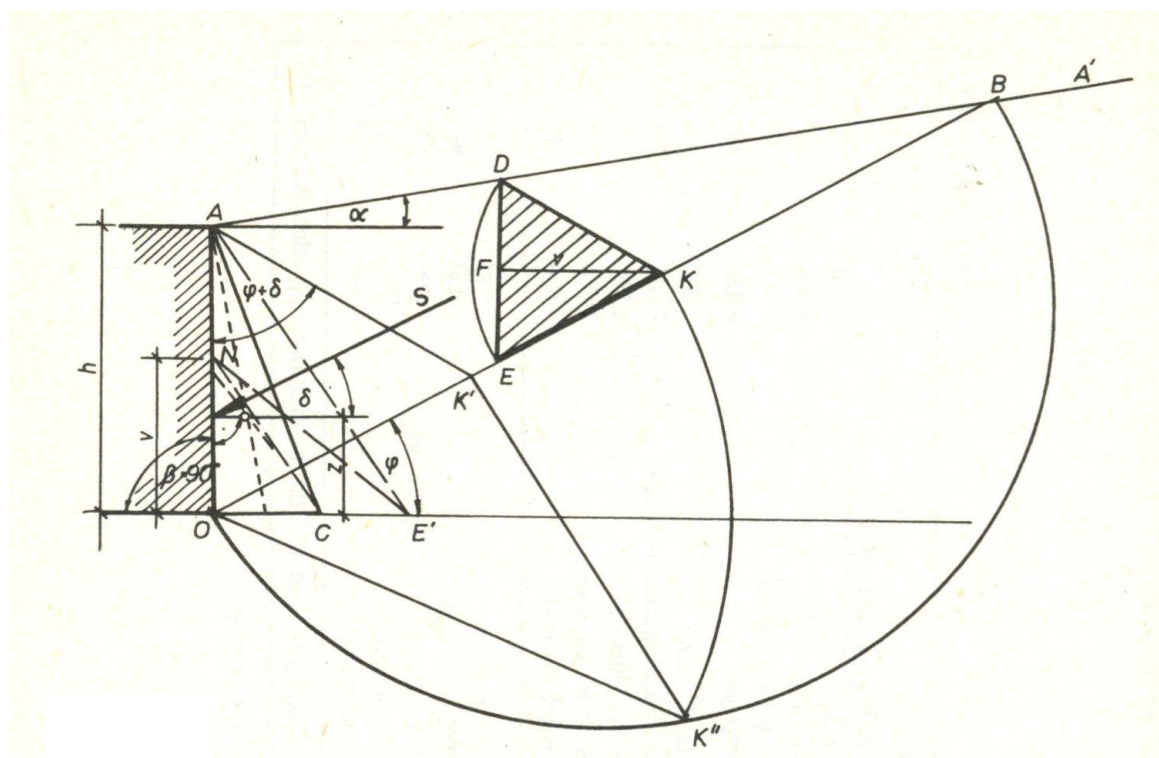




## Grafické řešení zemního tlaku – metoda Ponceletova



## Grafické řešení zemního tlaku – metoda Ponceletova

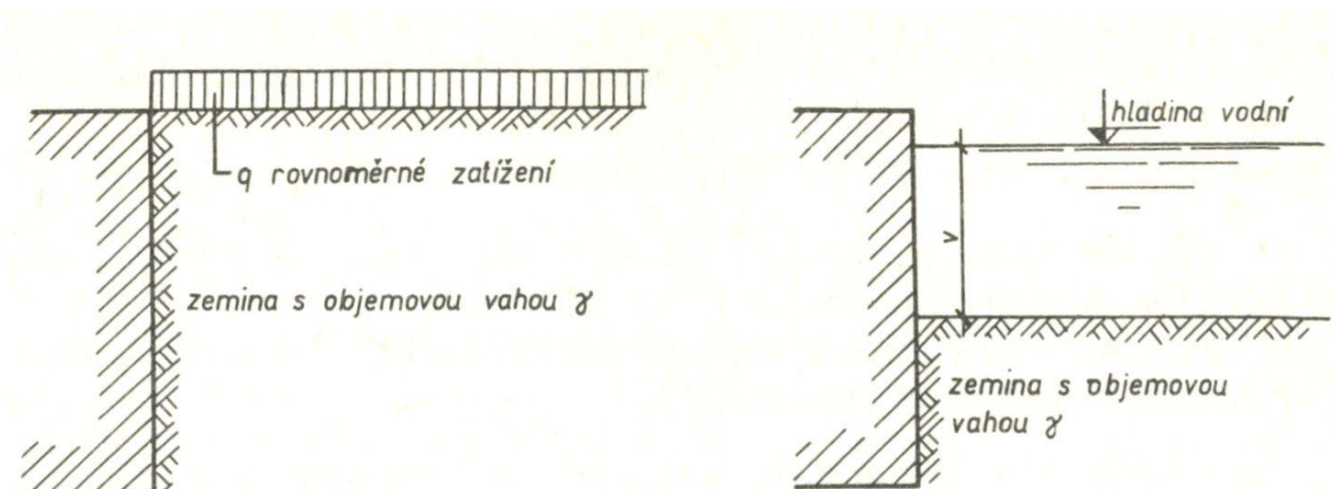




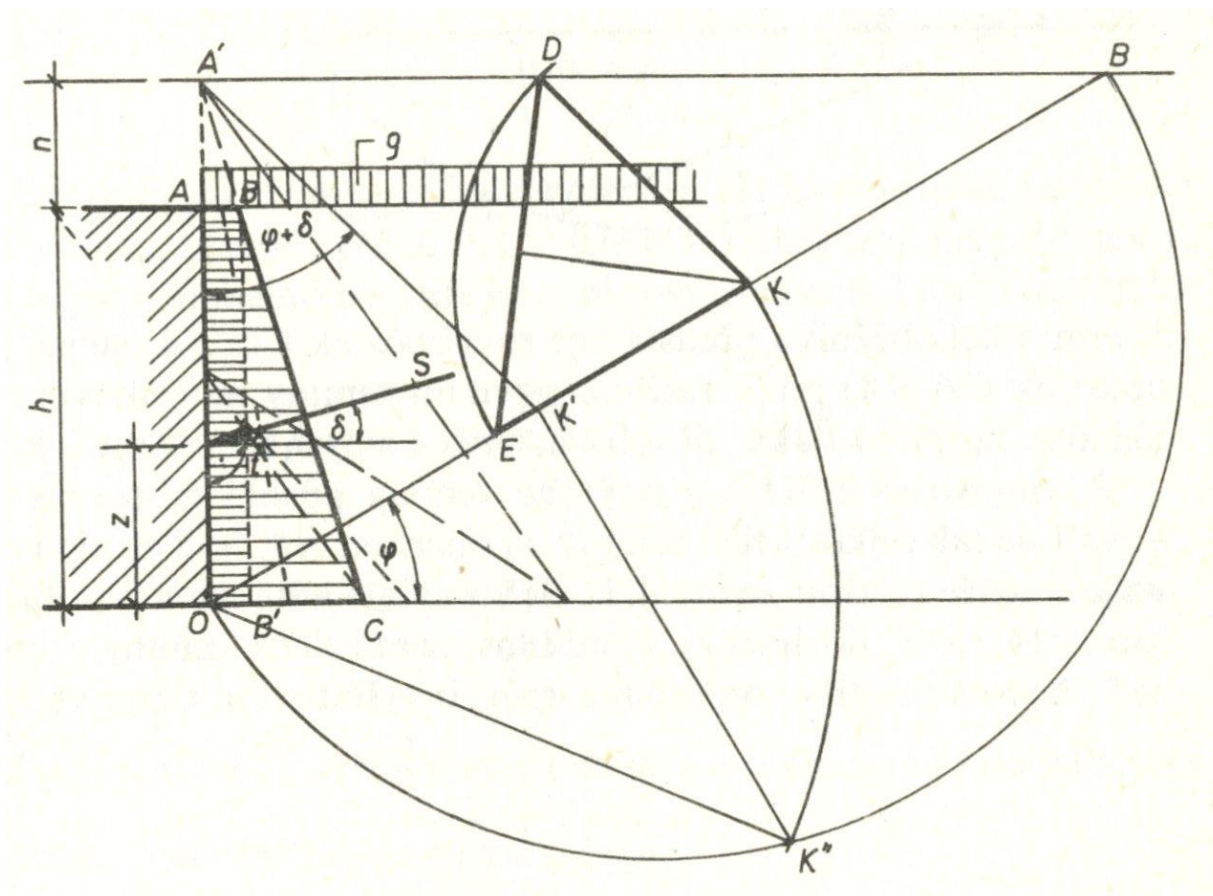
## Grafické řešení zemního tlaku:

- 1. V bodě O rubové plochy zdi sestrojíme od vodorovné pod úhlem  $\varphi$  rovinu přirozené sklonitosti OB.
- 2. V bodě A rubové plochy zdi sestrojíme od této plochy OA úhel  $\varphi + \sigma$ , jehož rameno protne rovinu OB v bodě K'.
- 3. Sestrojíme střední geometricky úměrnou mezi OB a OK': nad OB sestrojíme půlkružnici, v bodě K' sestrojíme kolmici k OB, která protne půlkružnici v bodě K'', bod K'' sklopíme kolem O zpět na OB ( $OK = OK''$ ), čímž obdržíme první vrchol tlakového trojúhelníka K.
- 4. Vedeme rovnoběžku KD  $\parallel$  AK' a nakreslíme rovnoramenný trojúhelník KDE, kde  $KE = KD$ . Převedeme tlakový trojúhelník KDE na rovnoplochy trojúhelník OCA při rubové ploše zdi.  $OE' = DE$ ,  $ON = FK$ ,  $NC \parallel AE'$ . Plocha trojúhelníka OCA = ploše trojúhelníka OE'N = ploše trojúhelníka KDE.
- 5. Pak přímka AC je současně čarou poměrného tlaku a trojúhelník OCA plochou zatěžovací.

## Tlak zeminy se zatíženým povrchem



## Tlak zeminy se zatíženým povrchem



## Tlak zeminy se zatíženým povrchem

Toto zatížení převádíme na objemovou hmotnost zeminy  $g$  tak, že zjišťujeme výšku  $n$  teoretického nadnásypu o stejné objemové hmotnosti zeminy  $g$ , aby tento nadnásyp působil ekvivalentním tlakem jako jeho rovnoměrné zatížení  $q$  nebo vodní polštář o výšce  $v$ .

- u rovnoměrného zatížení  $n = q / \gamma$
- u vody  $n = v \cdot \gamma_{\text{násypu}} / \gamma_{\text{vody}}$

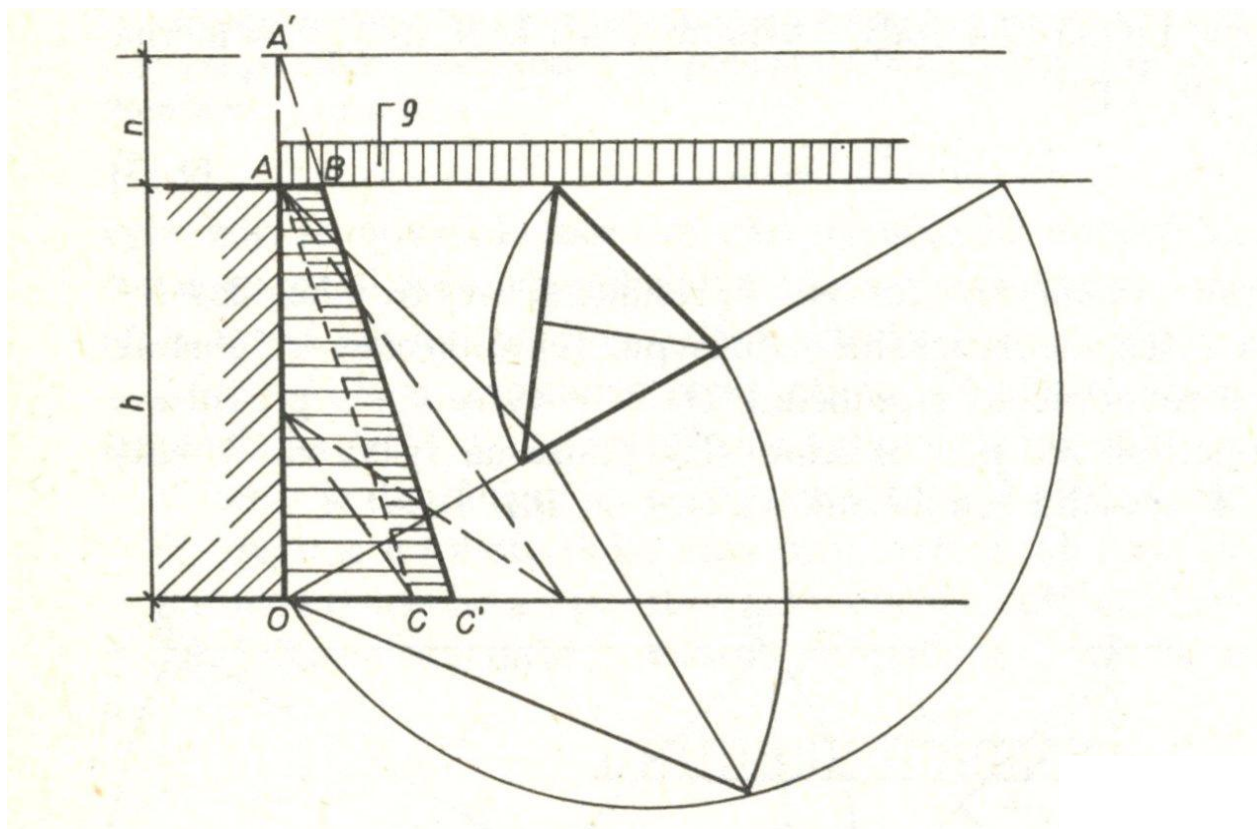
## Tlak zeminy se zatíženým povrchem

Graficky zjistíme tlakový trojúhelník stejným způsobem jako v předchozí úloze s tím, že rovinu přirozené sklonitosti vedeme až k rovině teoretického nadnásypu.

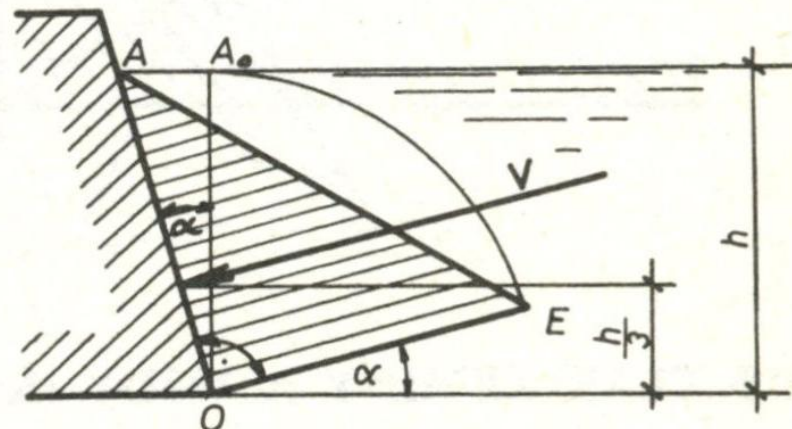
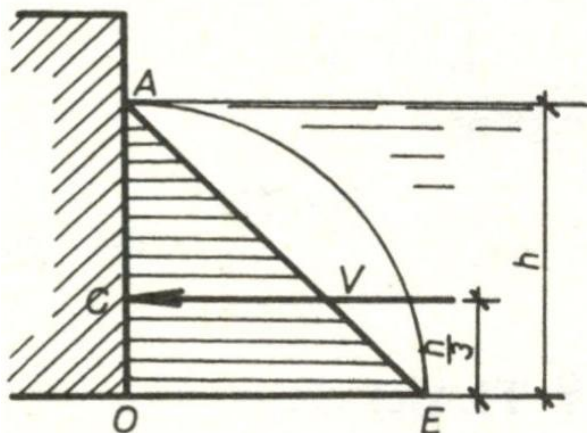
Tlakový trojúhelník převedeme na rovnoploché při rubové stěně zdi. Z trojúhelníka  $OCA'$  působí na opěrnou zeď pouze jeho část rovná výšce zdi. Proto velikost zemního tlaku se počítá z lichoběžníka  $OCBA$ . Působíště síly je ve výši těžiště tohoto lichoběžníka.



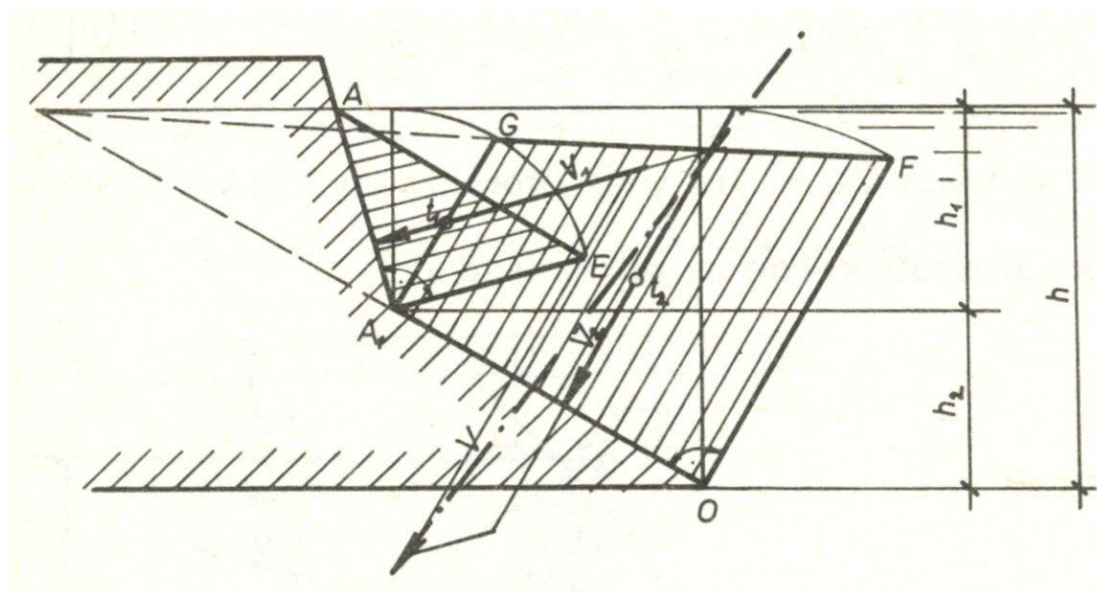
## Tlak zeminy se zatíženým povrchem



## Tlak vody na svislou a šikmou stěnu



## Tlak vody na lomenou stěnu

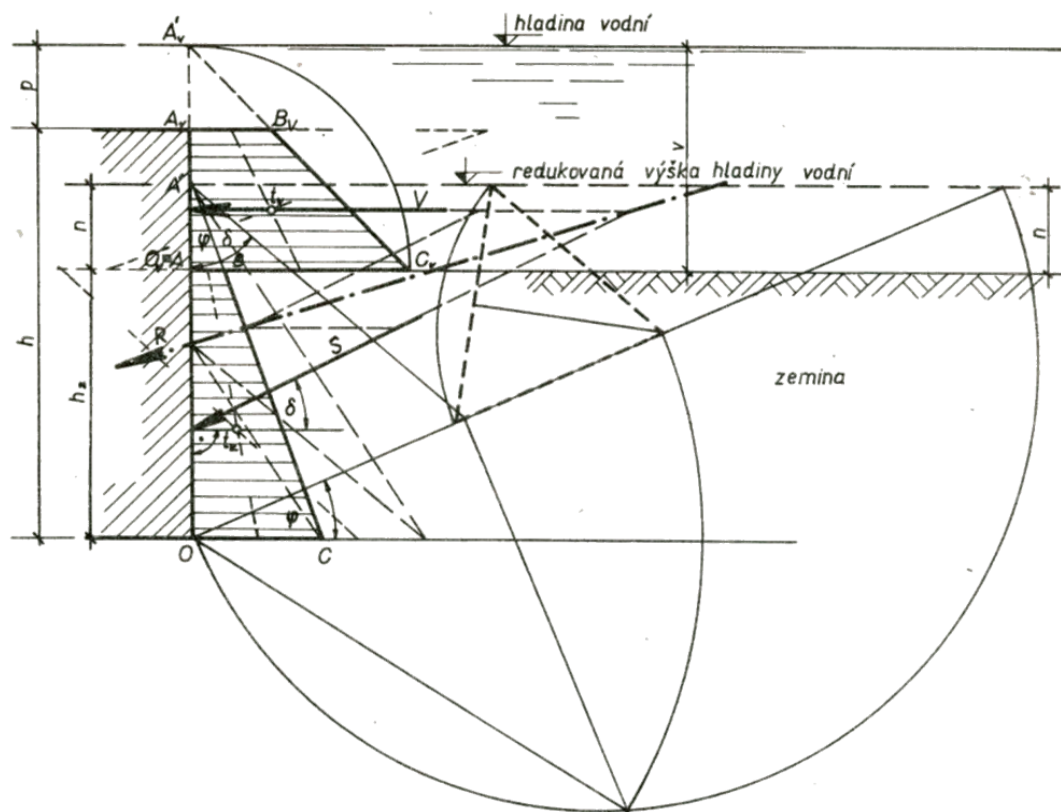


## Tlak zeminy a vody – kombinovaný tlak

- Nejprve určíme redukovanou výšku  $h$  vodní hladiny (teoretický nadnásyp). K ní sestrojíme tlakový trojúhelník zeminy zatížené vodou a převedeme jej na rovnoplochy trojúhelník  $OCA'$  o výšce  $h + n$  při rubové zdi.
- Velikost tlaku zeminy  $S$  je dána plochou lichoběžníka  $OCBA$ , jeho působíště je ve výši těžiště tohoto lichoběžníka na rubové stěně a směr působení pod úhlem  $\sigma$  od kolmice k rubové stěně v působíšti.
- Pro výšku hladiny vodní  $v$  sestrojíme trojúhelník  $O_v C_v A'_v$  vodního tlaku, z něhož však na zeď působí pouze lichoběžník  $O_v C_v B_v A_v$ . Velikost tlaku vody je dána tímto lichoběžníkem. Působíště síly je ve výši těžiště uvedeného lichoběžníka na rubové stěně zdi a směr působení je kolmý na rubovou stěnu.
- Pro posouzení stability zdi složíme oba výsledné tlaky (zeminy  $\underline{S}$  a vody  $\underline{V}$ ) ve výslednici  $R$ .



## Tlak zeminy a vody – kombinovaný tlak

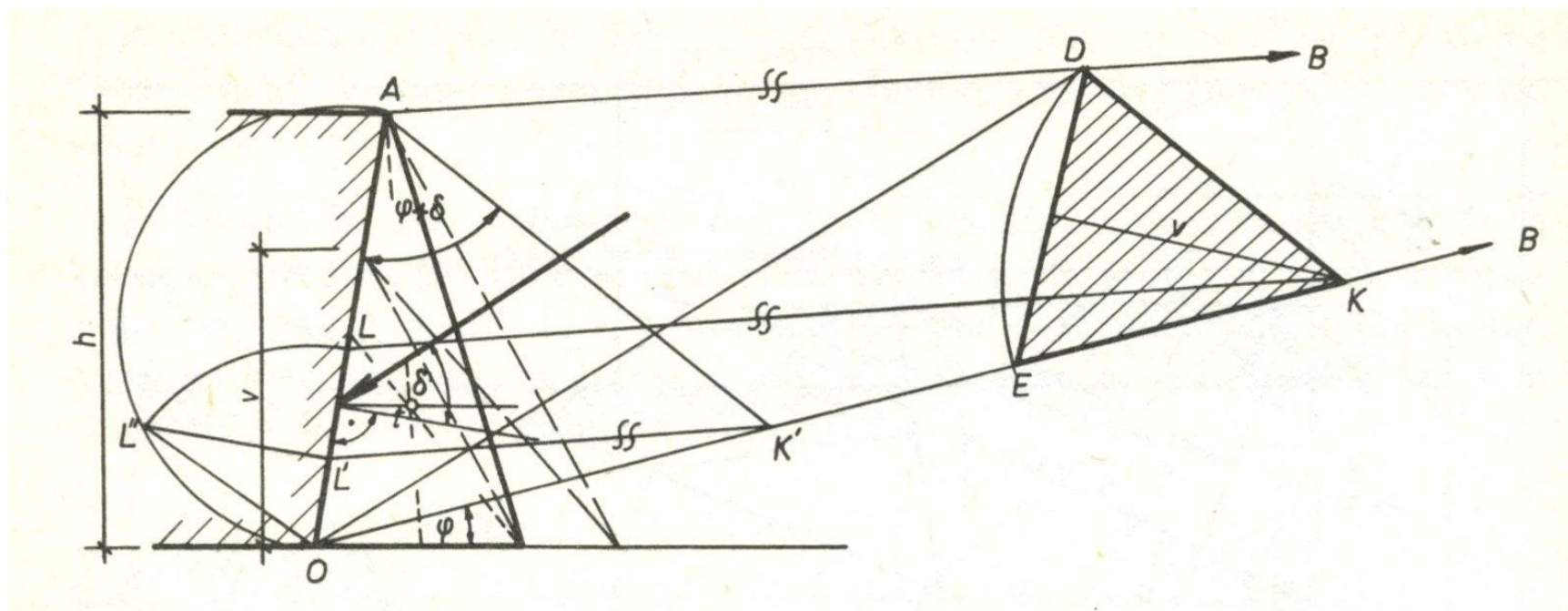




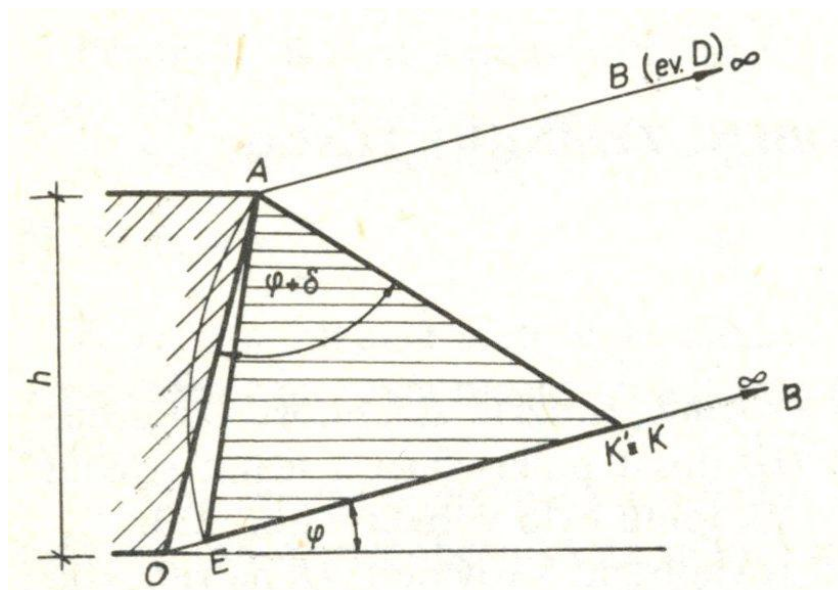
## Jednotlivé případy působení zemního tlaku

rovina násypu a přirozené sklonitosti se protínají mimo nákresnu

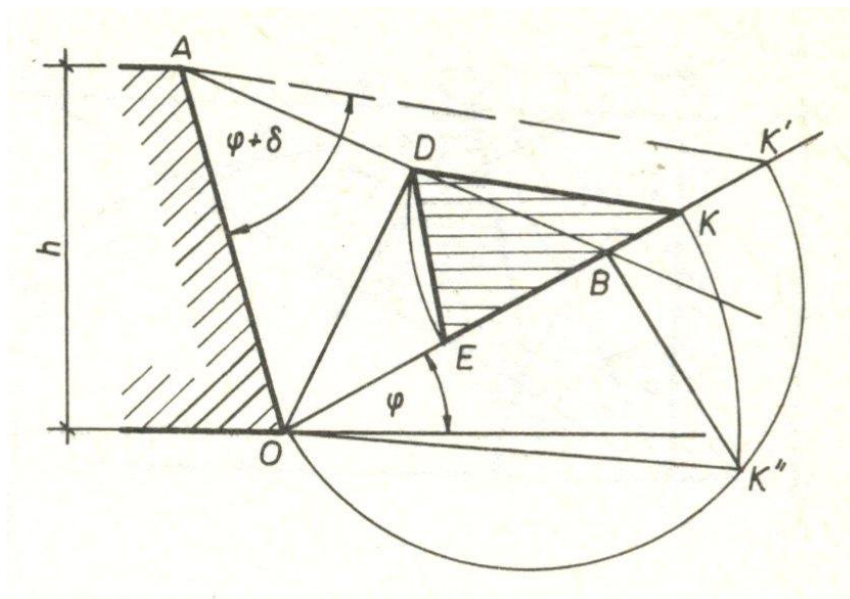
(bod  $B$  leží mimo nákresnu)



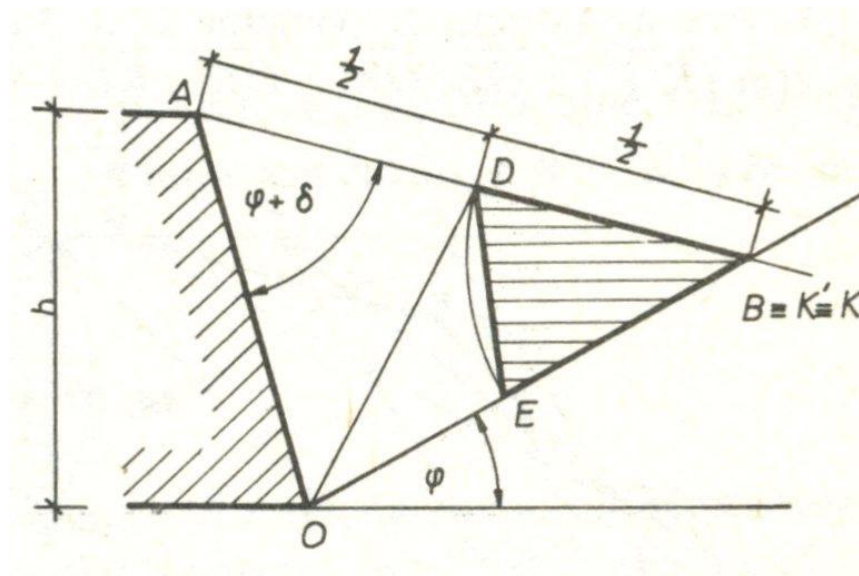
Povrch zeminy je rovnoběžný s rovinou přirozené sklonitosti zeminy



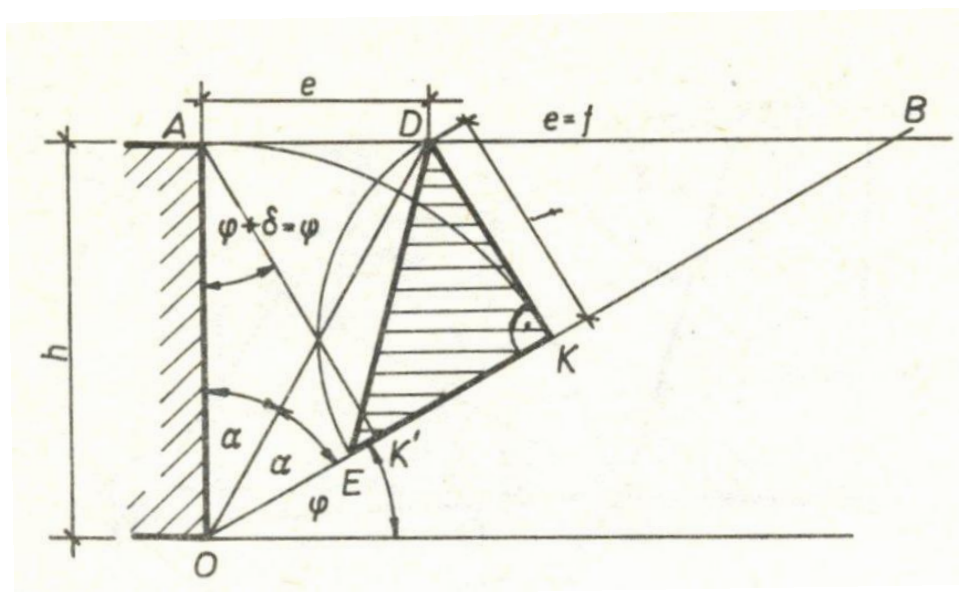
## Povrch zeminy protíná rovinu přirozené sklonitosti



## Podpora praktických kompetencí projekční činnosti v regionálním rozvoji

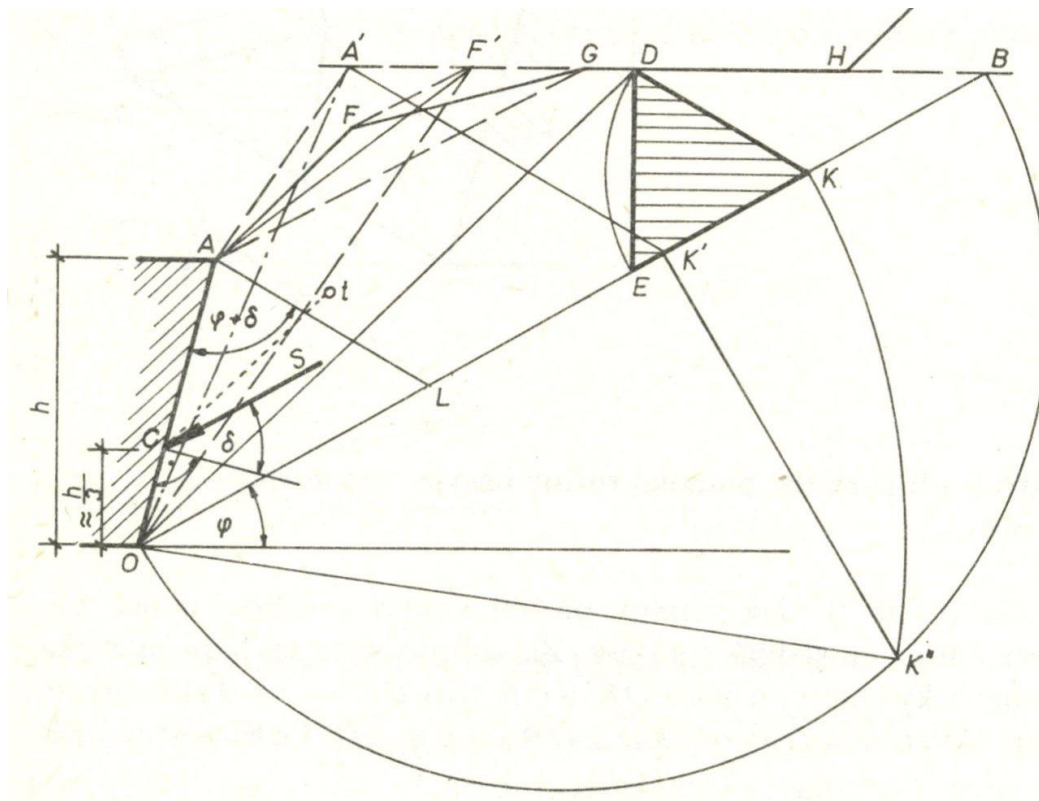


Rubová stěna zdi je svislá, omezení roviny násypu vodorovné a úhel  $\delta=0$

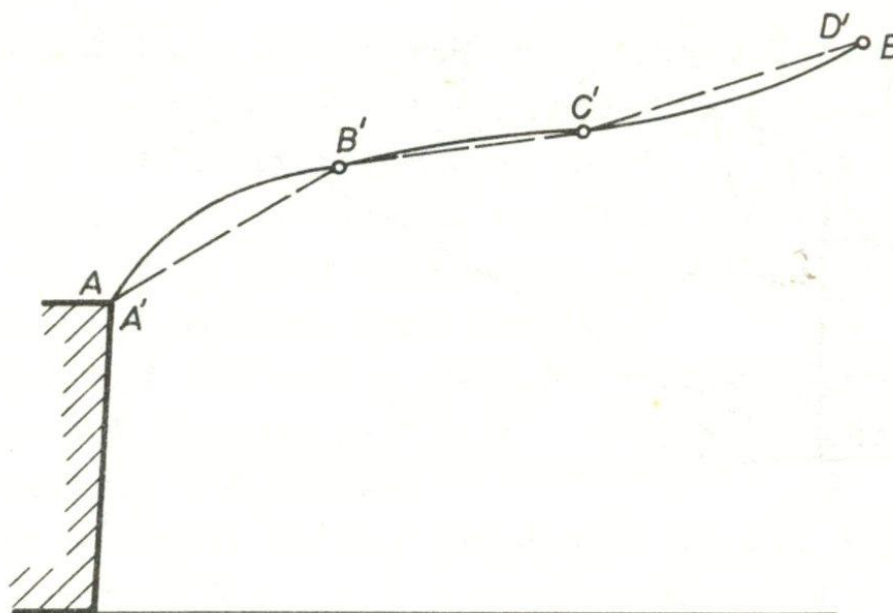




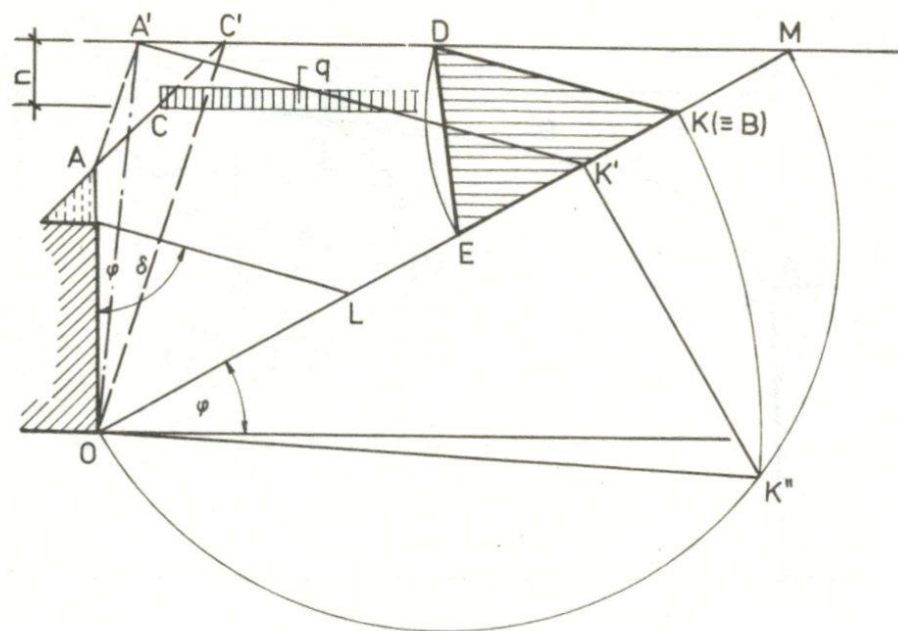
## Zemina je omezena několika rovinami



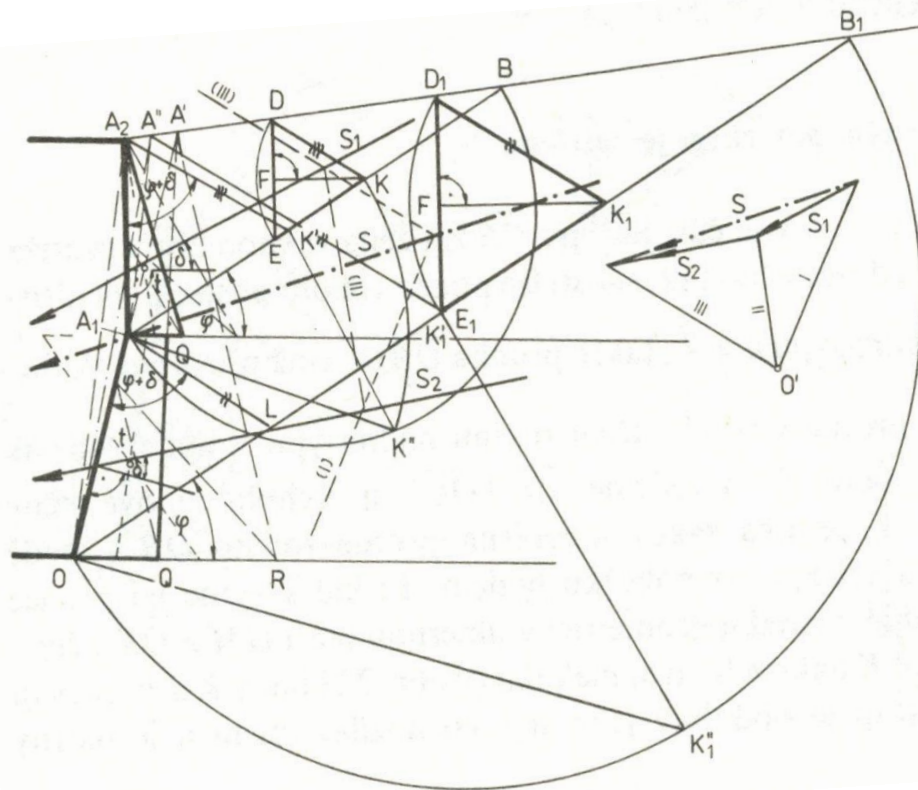
Zakřivený povrch – křivku nahradíme lomenou čarou



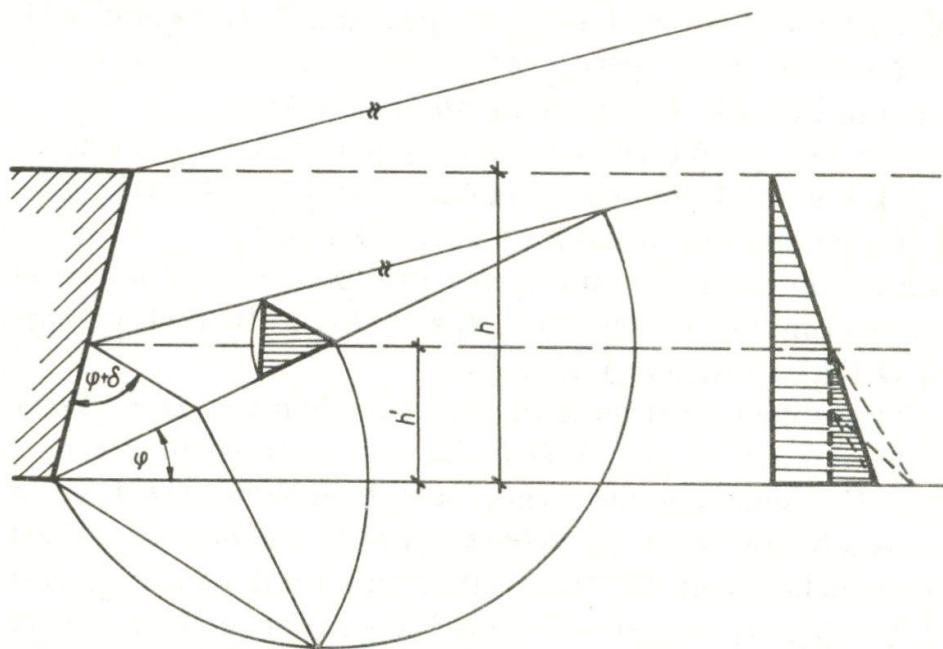
## Zemina s lomeným povrchem je zatížena



## Rubová plocha zdi je lomená

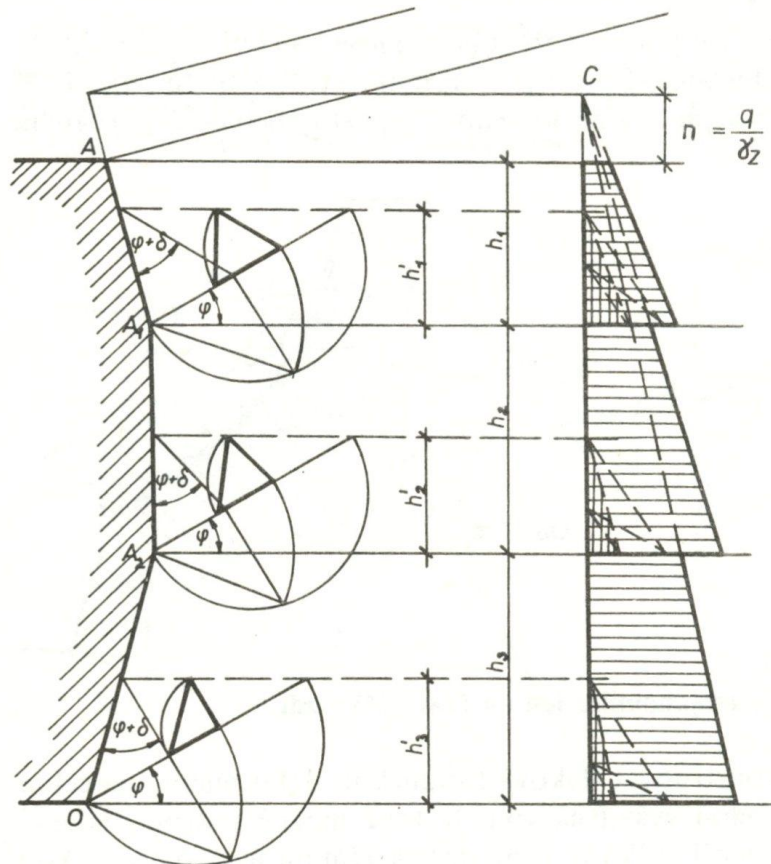


## Sestrojení tlakového trojúhelníka jen na část výšky zdi

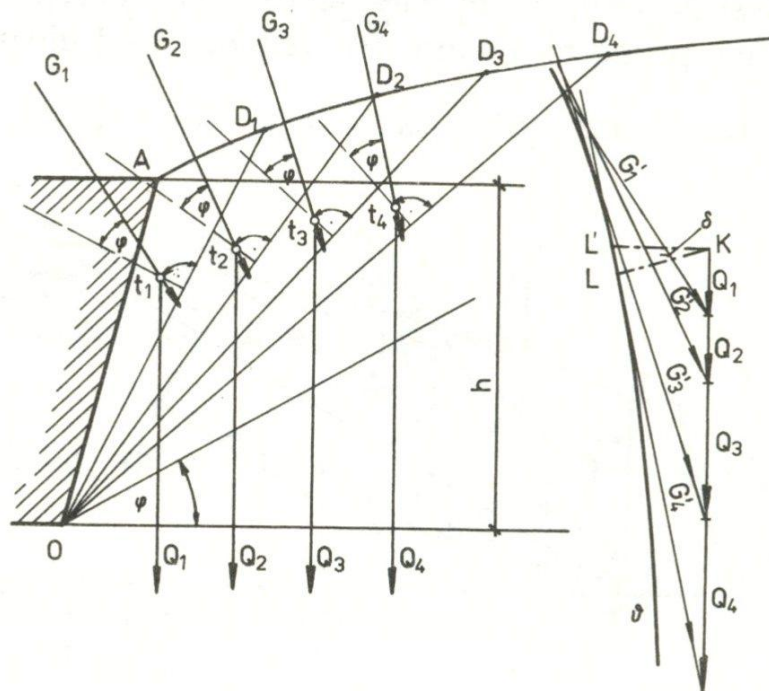




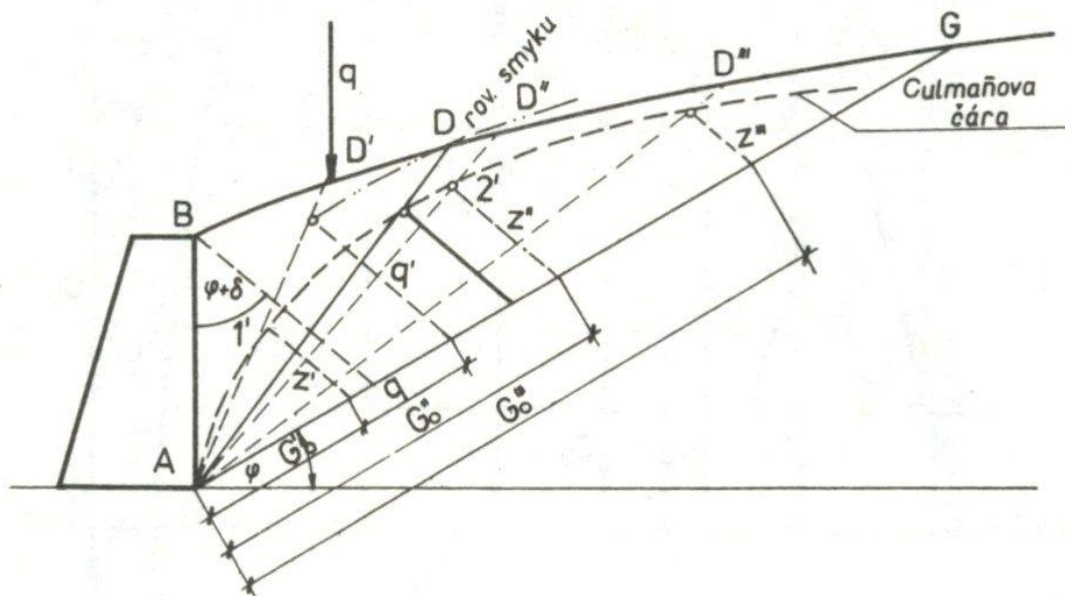
## Podpora praktických kompetencí projekční činnosti v regionálním rozvoji



## Řešení zemního tlaku podle Engessera



## Řešení zemního tlaku podle Culmanna



## Početní řešení zemního tlaku

Rubová plocha zdi svislá, omezení zeminy vodorovné,  $\delta=0$

