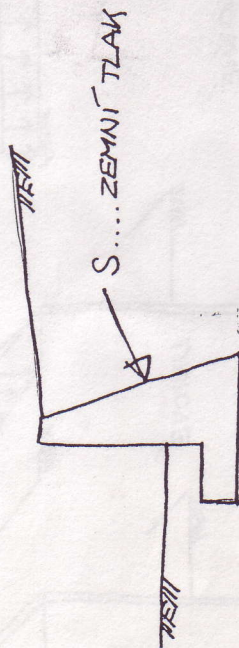


ING. MICHAL UHRIN

ÚSTAV GEOTECHNIK, FAKULTA STAVEBNÍ, VUT V BRNĚ
"HANDOUT" PRO CVIČENÍ ZE ZAKLÁDÁNÍ STAVĚB, OBOR K
TÉMA: ZEMNÍ TLAK

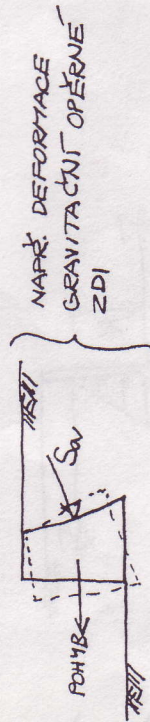
ZEMNÍ TLAK = SÍLA, KTEROU NA SEBE VZÁJEMNĚ PŮSOBÍ
ZEMNÍ HMASIV A STAVEBNÍ KONSTRUKCE



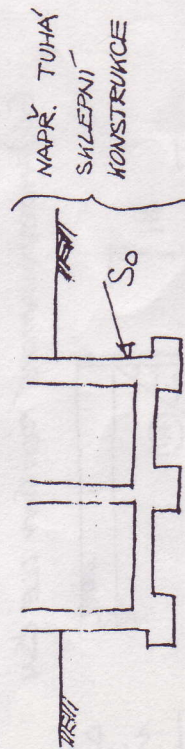
VELIKOST ZEMNÍHO TLAKU ZÁVISÍ NA:

1) RELATIVNÍ DEFORMACE KONSTRUKCE VŮČI ZEMINĚ

1a) KONSTRUKCE "UHÝBÁ" POD TLAKEM ZEMNÍM
→ TZV. AKTIVNÍ PODMÍNKY

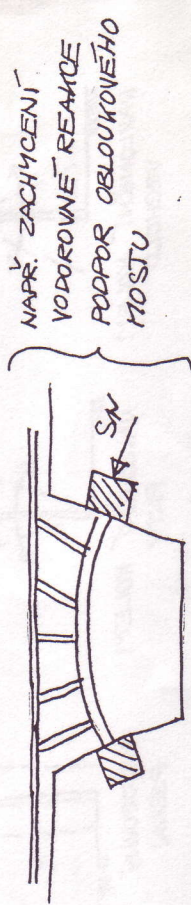


1b) KONSTRUKCE I ZEMINA JSOU NEHYBNÉ
→ TZV. KLIDOVÉ PODMÍNKY

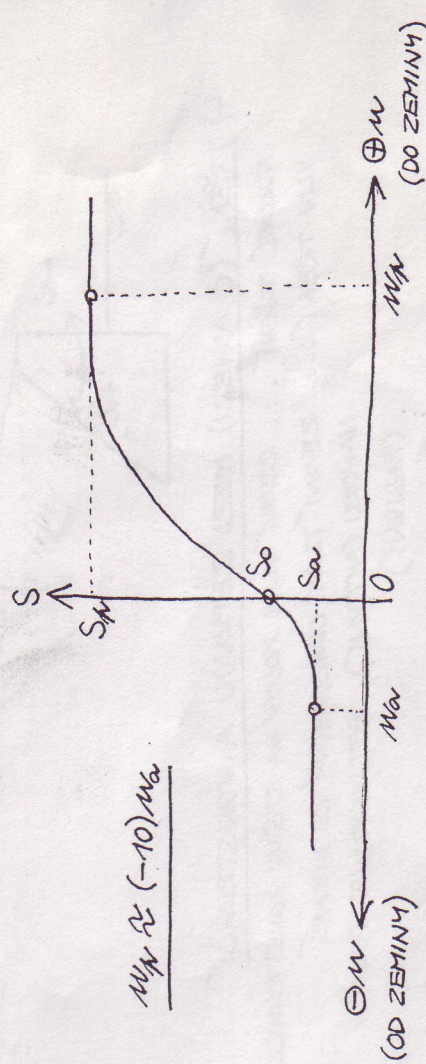


2

1c) KONSTRUKCE SE VTLAČUJE DO ZEMINY
→ TZV. PASIVNÍ PODMÍNKY



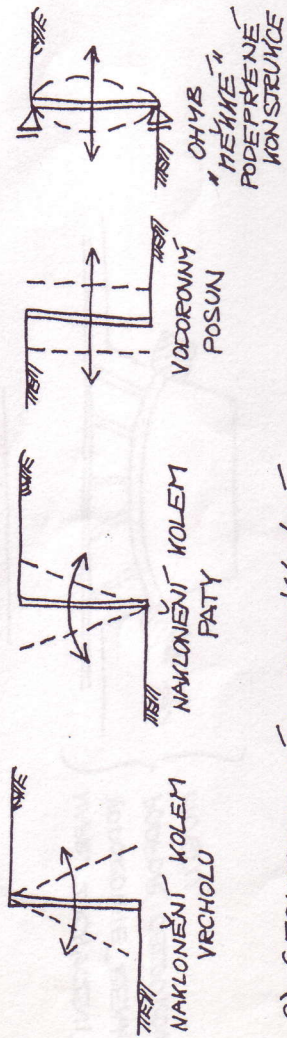
SCHEMA ZÁVISLOSTI ZEMNÍHO TLAKU NA POHYBU KONSTRUKCE
VŮČI ZEMINĚ:



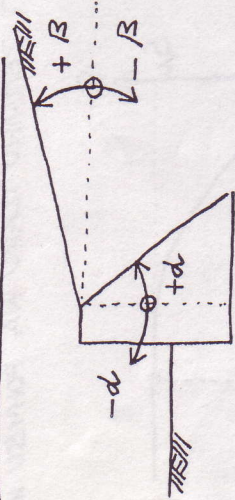
ANALYTICKY UMÍME URČIT POUZE:

- S_a AKTIVNÍ ZEMNÍ TLAK TJ. TLAK PŘI LIMITNÍ DEFORMACI W_a A VĚTŠÍ
- S_0 KLIDOVÝ ZEMNÍ TLAK TJ. TLAK PŘI NULOVÉ DEF.
- S_p PASIVNÍ ZEMNÍ TLAK TJ. TLAK PŘI LIMITNÍ DEFORMACI W_p A VĚTŠÍ
- POVŠIMNĚ SI, ŽE K MOBILIZACI PASIVNÍHO Z.T. JE NUTNÁ MNOHEM VĚTŠÍ DEFORMACE NEŽ K MOBILIZACI AKTIVNÍHO Z.T.
- $S_E(S_0; S_a)$ OBLAST SNÍŽENÉHO PASIVNÍHO TLAKU
- $S_E(S_a; S_0)$ OBLAST ZVÝŠENÉHO AKTIVNÍHO TLAKU

2) MÓDU DEFORMACE KONSTRUKCE

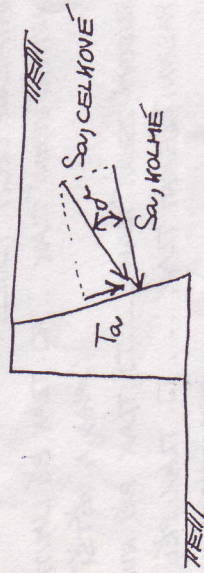


3) GEOMETRICKÉM USPOŘÁDÁNÍ



4) TŘENÍ (ČI ADHEZI) MEZI ZEMINOU A KONSTRUKCÍ

NULOVÉ TŘENÍ ZEMNÍ TLAK KOLMÝ NA STĚNU KONSTRUKCE
VLIV TŘENÍ ZEMNÍ TLAK ODHLONĚNÝ OD KOLMÉ
NAHORU (AKTIVNÍ), RESPEKTIVE DOLŮ
(PASIVNÍ)



- U PASIVNÍHO TLAKU OPAČNÝ SMĚR T_a
- ODVODNĚNÉ PODMÍNKY:

TŘENÍ SE ZADÁVÁ ÚHEM δ' :

$$\delta' = \frac{1}{3} \div \frac{2}{3} \phi'$$

KDE ϕ' EFEKTIVNÍ ÚHEL VNITŘNÍHO TŘENÍ ZEMINY

- NEODVODNĚNÉ PODMÍNKY:

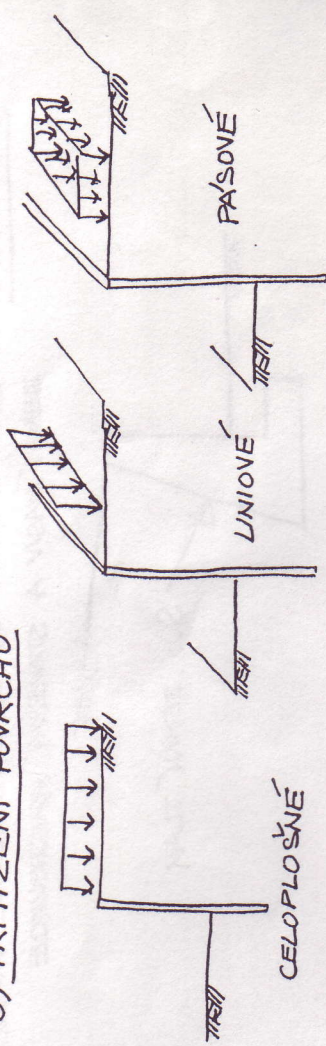
ZADÁVÁ SE PŘÍMO ADHEZE a :

4

$$a \approx \frac{1}{2} c_w$$

KDE c_w NEODVODNĚNÁ SMYKOVÁ PEVNOST
(TOTÁLNÍ KOHEZE)

5) PŘÍTIŽENÍ POVRCHU

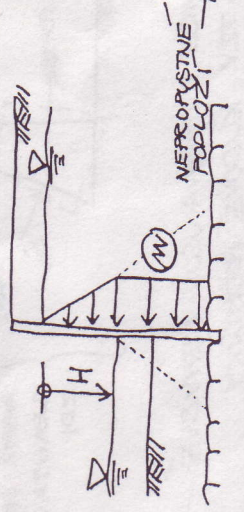


EVENTUELNĚ TAKÉ OBECNÝ PŘÍPAD ZATÍŽENÍ NA
OMEZENÉ PLOŠE

6) PŘÍTOMNOSTI A REŽIMU PODZEMNÍ VODY

(MÁ SMYSL ROUZE
U ODVODNĚNÝCH
PODMÍNEK)

6a) HYDROSTATICKÉ PODMÍNKY



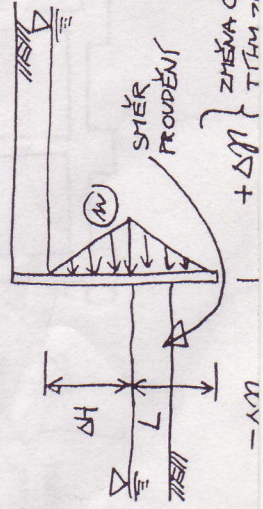
w HYDROSTATICKÝ
TLAK VODY

$$w = \gamma_w \times h_w \text{ (nebo } \gamma_w \times H)$$

PAK KONSTANTNÍ

VODA NEROTĚČE
POD PÁTOU

6b) HYDRODYNAMICKÉ PODMÍNKY DLE ČSN



$$\Delta p = \gamma_w \times u$$

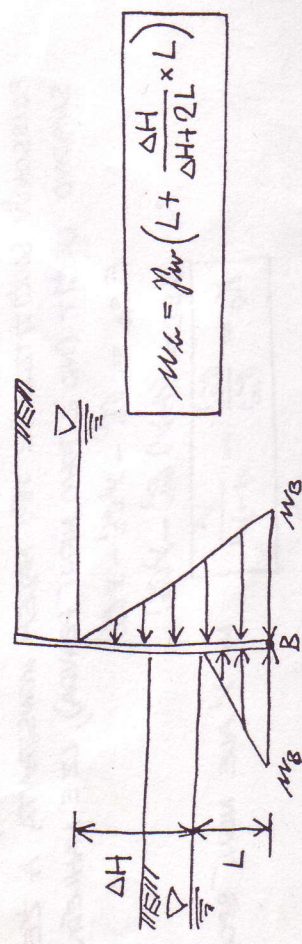
u HYDRAULICKÝ
GRADIENT

$$u = \frac{\Delta H}{\Delta H + 2L}$$

(PŘÍTLAK)

5

6c) HYDRODYNAMICKÉ PODMÍNKY DLE BS

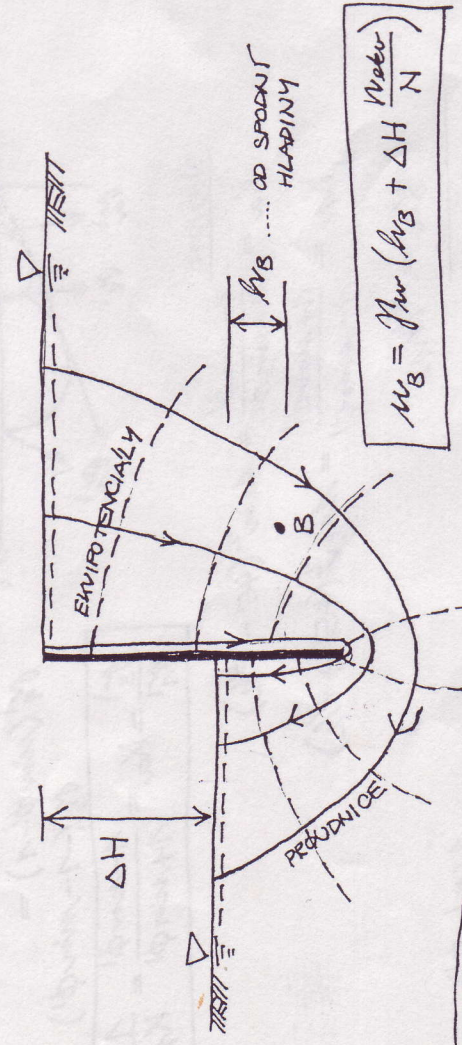


$$W_H = \gamma_w \left(L + \frac{\Delta H}{\Delta H + 2L} \times L \right)$$

"PŘÍMO OBRÁZCE PŮROVNÉHO TLAKU NA OBOU STRANÁCH STĚNY"

6d) HYDRODYNAMICKÉ PODMÍNKY OBECNĚ

→ NUTNO SESLAT SÍŤ PROUDNIC A EKVIPOTENCIÁLŮ
A Z NÍ ODEČÍST SKUTEČNÉ PRŮBĚHY PŮROVNÉHO
TLAKU PODEŘ KONSTRUKCE
→ POUŽÍVÁ SE U ÚZKÝCH A HLUBOKÝCH JÍTEK, KDE
PŘEDCHOZÍ PŘÍBLIŽNÁ ŘEŠENÍ NEPLATÍ MOC PŘESNĚ



$$W_B = \gamma_w (h_B + \Delta H \frac{W_{\text{dev}}}{N})$$

N.... POČET MEZER MEZI
EKVIPOTENCIÁLYMI
W_{dev}.... POČET ROZKROJENÝCH BODŮ
ZDE W_{dev} = 5.50

HYDRAULICKÉ PROHLAVENÍ NA
STRANĚ PŘÍTOKU:
KDYŽ $\eta' - \Delta \eta < 0$
NEBOLI $\eta' = \sigma' - u < 0$
NEBOLI $\eta' > \eta_{\text{set}} = \frac{\eta - \gamma_w}{\gamma_w} = \frac{G_s - 1}{1 + e}$

6

7) NA HISTORII ZATĚŽOVÁNÍ ZEMINY

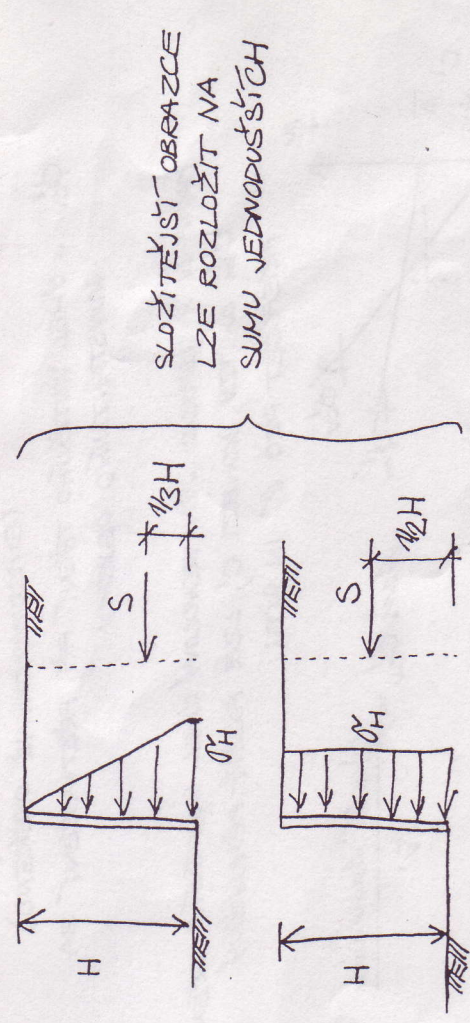
→ S ROSTOUcí MÍROU PŘEKONSOLIDACE ROSTE
TLAČIVOST ZEMINY

NAPŘ: U SILNĚ PŘEKONSOLIDOVANÝCH ZEMIN JE
GEOSTATICKÉ VODOROVNÉ NAPĚTÍ VĚTŠÍ
NEŽ SVISLÉ

JAK SPOČÍTAT ZEMNÍ TLAK ?

(ZDE POUZE ANALYTICKÉ METODY)

0 ZEMNÍ TLAK = VÝSLEDNICE OBRÁZCE TOTÁLNÍHO "BOČNÍHO" NAPĚTÍ



SLOŽITĚJŠÍ OBRÁZCE
LZE ROZLOŽIT NA
SUMU JEDNODUŠŠÍCH

2) JAK STANOVIT TOTÁLNÍ "BOČNÍ" NAPĚTÍ

$$K = \frac{\sigma'_H}{\sigma'_V}$$

..... KOEFICIENT ZEMNÍHO TLAKU

σ'_V SVISLÉ EFEKTIVNÍ NAPĚTÍ, $\sigma'_V = \sigma'_V - u = \gamma_x h - u$
 σ'_H VODOROVNÉ EFEKTIVNÍ NAPĚTÍ

7

$$\sigma_H^1 = \sigma_H^1 + u = K \cdot \sigma_v^1 + u = K \cdot (\sigma_v^1 - u) + u$$

VODOROVNÉ TOTÁLNÍ NAPĚTÍ

JAK SPOČÍTAT "K" ?

ANALYTICKY LZE URČIT POUZE PRO MEZNÍ PŘÍPADY DEFORMACE

- PLNĚ AKTIVNÍ PODMÍNKY
- PLNĚ KLIDOVÉ PODMÍNKY
- PLNĚ PASIVNÍ PODMÍNKY

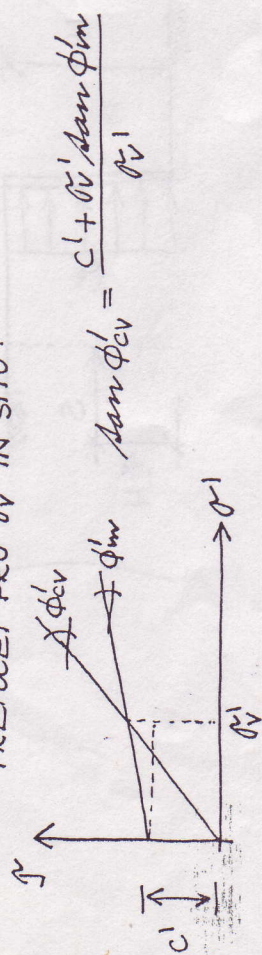
1) ZEMNÍ TLAK V KLIDU

$$K_0 = 1 - \sin \phi_{cv}^1$$

PLATÍ JAK PRO "SOUDRŽNÉ" TAK PRO "NESOUDRŽNÉ" ZEMINY (EXPERIMENTÁLNĚ OVĚŘENO)

ϕ_{cv}^1 ... ÚHEL VNITŘNÍHO TŘENÍ PŘI PŘETVÁŘENÍ ZA KONSTANTNÍHO OBJEMU

MAHE-LI K DISPOZICI JEN VECHOLOVÝ ÚHEL VNITŘNÍHO TŘENÍ ϕ_{hv} A Tzv. KOHEZÍ c^1 , LZE POUŽÍT PŘÍBLIŽNÝ PŘEPÖČET PRO σ_v^1 IN SITU:



$$\tan \phi_{cv}^1 = \frac{c^1 + \sigma_v^1 \tan \phi_{hv}^1}{\sigma_v^1}$$

PRO PŘEKOONSOLIDOVANOU ZEMINU LZE POUŽÍT PŘÍBLIŽNĚ

VZORCE:

$$K_0 = (1 - \sin \phi_{cv}^1) \sqrt{OCR}$$

NEBO

$$K_0 = (1 - \sin \phi_{cv}^1) (OCR)^{\sin \phi_{cv}^1}$$

OVERCONSOLIDATION RATIO

8

PŘEDPOKLÁDÁME-LI, ŽE ZEMINA SE CHOVÁ PRUŽNĚ, ŽE EFEKTIVNÍ POISSONŮV SOUČÍTEL JE TÍŽI PŘÍDEM KONSTANTNÍ A ŽE JI LZE SNADNO URČIT (NIC Z TOHO NENÍ PRAVDA), LZE NAHLÉDNOUT:

$$E \epsilon_R = \sigma_2^1 - \nu' \sigma_2^1 - \nu' \sigma_3^1$$

$$E \epsilon_R = (1 - \nu') \sigma_2^1 - \nu' \sigma_3^1$$

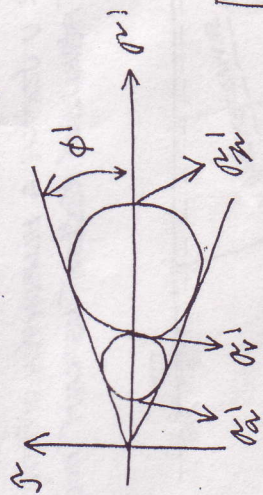
$$K_0 = \frac{\sigma_2^1}{\sigma_3^1} = \frac{\nu'}{1 - \nu'}$$

NA ν' ALE NENÍ SPOLEH

2) AKTIVNÍ & PASIVNÍ ZEMNÍ TLAK

2a) TEORIE DLE RANKINA ($\alpha = \beta = \delta = 0^\circ$)

ODVODNĚNÉ PODMÍNKY



platí:

$$\sin \phi^1 = \frac{\sigma_2^1 - \sigma_3^1}{\sigma_2^1 + \sigma_3^1}$$

$$\sigma_2^1 (\sin \phi^1 - 1) = \sigma_3^1 (-1 - \sin \phi^1)$$

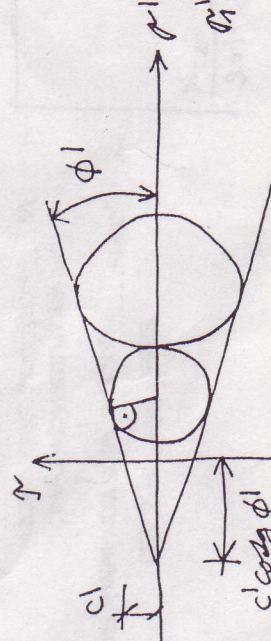
$$\frac{\sigma_3^1}{\sigma_2^1} = K_a = \frac{1 - \sin \phi^1}{1 + \sin \phi^1} = \frac{1}{K_p}$$

SHRNUTO:

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi^1}{1 + \sin \phi^1} = \tan^2 (45^\circ - \phi^1/2)$$

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi^1}{1 - \sin \phi^1} = \tan^2 (45^\circ + \phi^1/2)$$

$$K_a = 1/K_p$$



$$\sin \phi^1 = \frac{\frac{1}{2}(\sigma_2^1 + \sigma_3^1) + 2c \cos \phi^1}{2c \cos \phi^1 + (\sigma_2^1 + \sigma_3^1) \sin \phi^1}$$

$$2c \cos \phi^1 + (\sigma_2^1 + \sigma_3^1) \sin \phi^1 = \sigma_2^1 (\sin \phi^1 - 1)$$

$$\sigma_2^1 (\sin \phi^1 - 1) + \sigma_3^1 (1 + \sin \phi^1) = 1$$

$$\sigma_3^1 = \sigma_1^1 \times \frac{1 - \sin \phi^1}{1 + \sin \phi^1} - 2c^1 \frac{\cos \phi^1}{1 + \sin \phi^1}$$

$$\left(\frac{\cos \phi^1}{1 + \sin \phi^1} \right)^2 = \frac{(\cos \phi^1)^2}{(1 + \sin \phi^1)^2} = \frac{1 - (\sin \phi^1)^2}{(1 + \sin \phi^1)^2} = \frac{(1 - \sin \phi^1)(1 + \sin \phi^1)}{(1 + \sin \phi^1)^2}$$

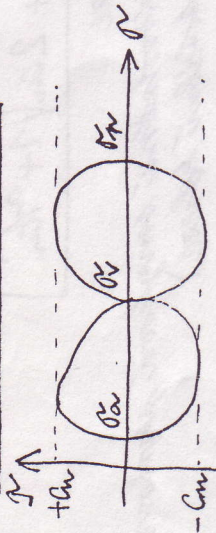
VÝSLEDNĚ Tedy:

$$\sigma_a^1 = \sigma_v^1 \times K_a - 2c^1 \sqrt{K_a}$$

A OSTATNĚNÍM σ_n^1 OBDOBĚ

$$\sigma_n^1 = \sigma_v^1 \times K_n + 2c^1 \sqrt{K_n}$$

NEODVODNĚNÉ PODMÍNKY



$$\sigma_a = \sigma_v - 2c$$

$$\sigma_n = \sigma_v + 2c$$

$$d = 2c \quad (\text{event } 2c \sqrt{K_a})$$



$$d = \frac{2c}{\gamma} \quad (\text{event } d = \frac{2c^1}{\gamma^1 \gamma^1})$$

V MÍSTĚ NULOVÉHO NAPĚTÍ VZNIKÁ TAHOVÁ TRHLINA

U NEODVODNĚNÝCH PODMÍNEK:

TRHLINA SE ZPŮSOBUJE VODOU A PRODLOUŽENÁ

$$d^* = \frac{2c}{\gamma - \gamma_{\text{sat}}}$$

NA TUTO VÝŠKU JE STĚNU NUTNĚ ZATÍŽIT HYDROSTATICKÝM TLAKEM VODY

U ODVODNĚNÝCH PODMÍNEK:

NA VÝŠKU d SE DOPORUČUJE POUŽÍT MINIMÁLNÍ

DIMENZAČNÍ TLAK

$$\sigma_a^1 = 0.2 \times \gamma \times d$$

2.4) TEORIE DLE COULOMBA

→ d, β MOHOU BÝT RŮZNÉ OD NULY

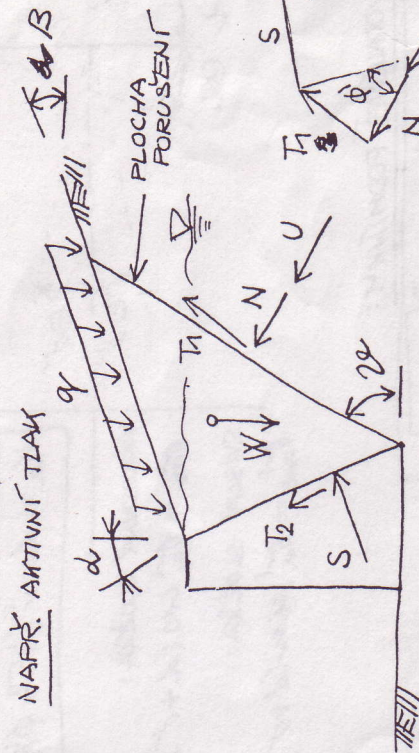
→ JEDNÁ SE O "METODU MEZNÍ ROVNOSTY":

1) ZVOLÍ SE MECHANISMUS PORUŠENÍ

2) IDENTIFIKUJÍ SE PŮSOBÍCÍ SÍLY

3) VYŘEŠÍ SE SOUSTAVA SIL POMOCÍ STATICKÝCH

PODMÍNEK ROVNOSTY



VÝSLEDNÝ VZTAH PRO 'S' NUTNO DERIVOVAT PODLE β PRO NALEZENÍ KRITICKÉ PLOCHY SMYKOVÉ PLOCHY β_{crit} DÁVAJÍCÍ $\min S = S_a$

U PASIVNÍHO TLAKU PŮSOBÍ T_1 A T_2 OPAČNÝM SMĚREM A HLEDAJÍ SE β_{crit} DÁVAJÍCÍ $\max S = S_n$

U NEODVODNĚNÝCH PODMÍNEK BY ODPADLO u', γ_1' BY SE STANOVILO POMOCÍ c_u NAMÍSTO ϕ' A HODNOTA T_2 BY SE NAZÝVALA ADHEZÍ NAMÍSTO TŘENÍ

A) AKTIVNÍ TLAK

ODVOVNÉ PODMÍNKY:

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi' - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\alpha + \sigma') \left[1 + \frac{\sin(\phi' + \sigma') \sin(\phi' - \beta)}{\cos(\alpha + \sigma') \cos(\alpha - \beta)} \right]^2}$$

PRO $\alpha = \beta = \sigma' = 0^\circ$

SE VZTAH REDUKUJE NA

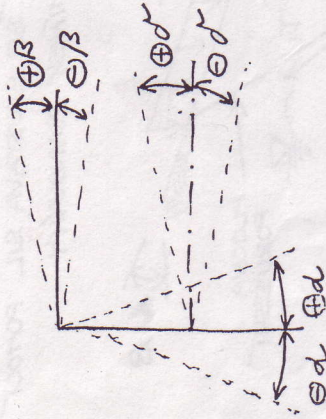
$$K_a = \tan^2(45^\circ - \phi'/2)$$

VODROVNÁ SLOŽKA:

$$P_{av} = P_a' \cos(\alpha + \sigma')$$

SVISLÁ SLOŽKA:

$$P_{av}' = P_a' \sin(\alpha + \sigma')$$



NEODVOVNÉ PODMÍNKY:

$$P_a = \gamma \times h - 2c \sqrt{1 + \frac{a}{c}}$$

a ADHEZE

TAHOVÁ TRHLINA V MÍSTĚ NULOVÉHO TLAKU O VÝŠCE

$$d = \frac{2c \sqrt{1 + \frac{a}{c}}}{\gamma}$$

PO ZAPLNĚNÍ VODOU SE TRHLINA ROZŠÍŘÍ NA

$$d^* = \frac{2c \sqrt{1 + \frac{a}{c}}}{\gamma - \gamma_w}$$

B) PASIVNÍ TLAK

ODVOVNÉ PODMÍNKY:

$$P_p' = P_v' \times K_p \times \psi$$

Z TABULEK

EVENTUELNĚ

$$P_p' = P_v' \times K_p \times \psi + 2c \sqrt{K_p \psi}$$

NEODVOVNÉ PODMÍNKY:

$$P_p = \gamma \times h + 2c \sqrt{1 + \frac{a}{c}}$$

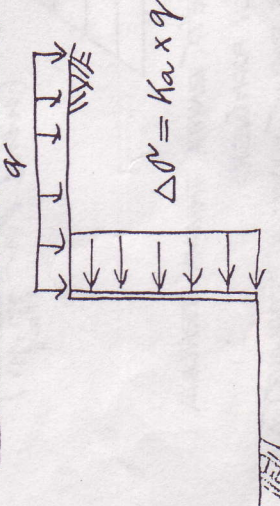
a adheze

c neodvozná smyková pevnost (adheze)

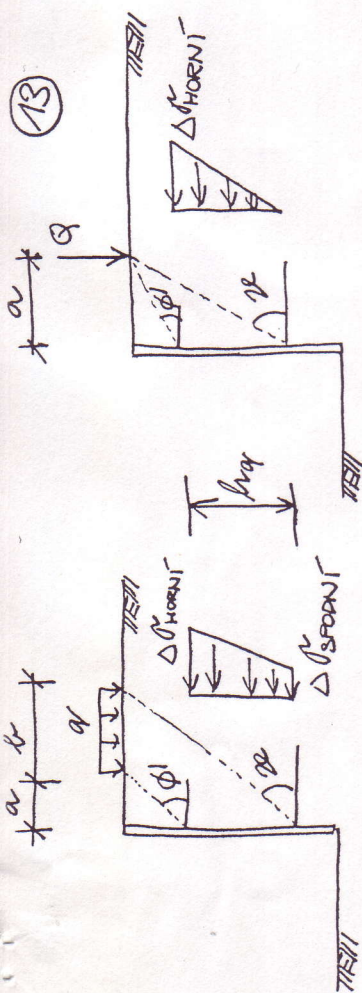
Vliv PRÍTÍŽENÍ POVRCHU

→ OBVYKLE RELEVANTNÍ ROUZE NA AKTIVNÍ STRANĚ KONSTRUKCE

1) CELOPLOŠNÉ PRÍTÍŽENÍ



2) PRÍMKOVÉ / PASOVÉ PRÍTÍŽENÍ



$$\nu = \phi' + \epsilon$$

$$\cos \epsilon = \sin(\phi' - \alpha) + \frac{1}{\cos(\phi' - \alpha)} \left[\frac{\sin(\phi' + \sigma') \cos(\alpha - \beta)}{\sin(\phi' - \beta) \cos(\alpha + \sigma')} \right]$$

PRO $\alpha = \beta = \sigma' = 0^\circ \rightarrow \nu = 45^\circ + \phi'/2$

$$\Delta S = Q \times K_q \quad \text{NEBO} \quad \Delta S = b \times q \times K_q$$

$$K_q = \frac{\sin(\nu - \phi')}{\cos(\nu - \phi' - \sigma')}$$

$$\Delta \nu_{\text{HORNÍ}} = \frac{\Delta S}{h q} \left(1 + \frac{a}{a+b} \right)$$

$$\Delta \nu_{\text{SPODNÍ}} = \frac{\Delta S}{h q} \left(1 - \frac{a}{a+b} \right)$$

VLIV MĚNU DEFORMACE KONSTRUKCE

