

FAUR KRISZTINA BEÁTA, SZABÓ IMRE,

GEOTECHNIKA

3



A Műszaki Földtudományi Alapszak tananyagainak kifejlesztése a
TÁMOP 4.1.2-08/1/A-2009-0033 pályázat keretében valósult meg.

III. FÖLDNYOMÁS, FÖLDELLENÁLLÁS

1. A FÖLDNYOMÁS

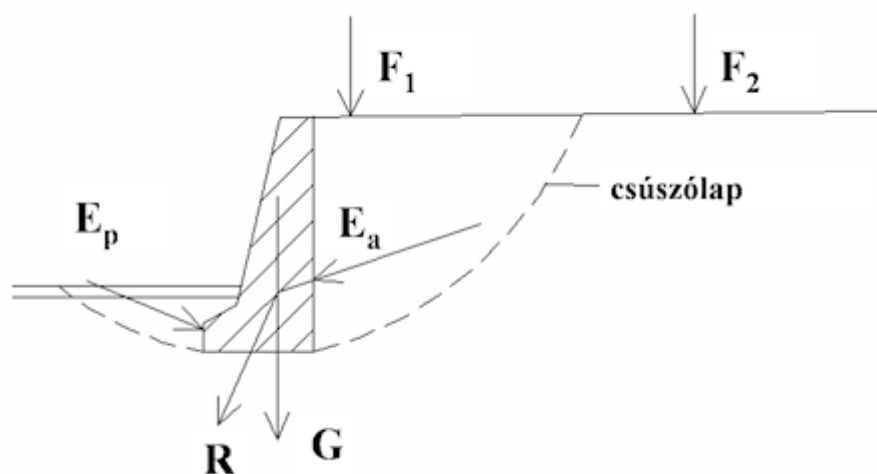
Ha egy rézsűt meredekebben akarunk megépíteni, mint ahogy az szabad rézsűben megállna, akkor a föld saját tömegéből és egyéb terhekből (pl. felszíni terhelés) származó **nyírófeszültségek** túlléphetik a talaj belső **nyírószilárdságát**, így a föld nem maradhat egyensúlyban megtámasztás nélkül.

Ha a **megtámasztó szerkezetet** (pl. támfalat) eltávolítanánk, a földtömeg egy része állékonyságát veszítve egy csúszólap mentén elmozdulna (leszakadna) a helyben maradó tömeghez képest. Vagyis a földtömeg megtámasztott állapotban nyomást ad át a megtámasztó elemnek, aminek következtében a fal önmagával párhuzamos eltolódást, alsó vagy felső sarokpontja körüli elbillenést, esetleg eltolódást és elbillenést is szenvedhet.

A mérnöki gyakorlatban használt végleges vagy ideiglenes jellegű megtámasztások méretezéséhez ismerni kell ezt a megtámasztott földtömeg által a falra átadott erőt, azaz a talajban keletkező vízszintes feszültségek (σ_x) eredőjét, más néven a **földnyomást** (E).

A feltöltött talajokat megtámasztó támfalak, termett talajt megtámasztó bélésfalak, munkagödröket megtámasztó pallófalak, szádfalak méretezése, a támasztó dűcokban keletkező erők meghatározása, emellett valamennyi sík- és mélyalapozási kérdés, az alagutakra ható hegnyomás, de a silókban tárolt anyagok oldal- és fenéknyomása is mind-mind földnyomási kérdés.

A talajba süllyesztett mélyépítési szerkezetekre ható terhek nagy része földnyomás-teher (**3.1. ábra**). E szerkezetek ugyanakkor a talajra terhelnek, illetve a talajhoz támaszkodnak. Teherbírásukat a terhelt talajban a terhelőelem (alap vagy támfal) helyzetétől, alakjától és nagyságától függő földellenállás (passzív földnyomás) határozza meg.



3.1. ábra: Súlytámfalra ható terhek

A földnyomás-erők hatására a megtámasztó szerkezetek kisebb-nagyobb mértékben elmozdulnak, eltolódnak vagy elfordulnak, a hajlékony elemek áthajlanak.

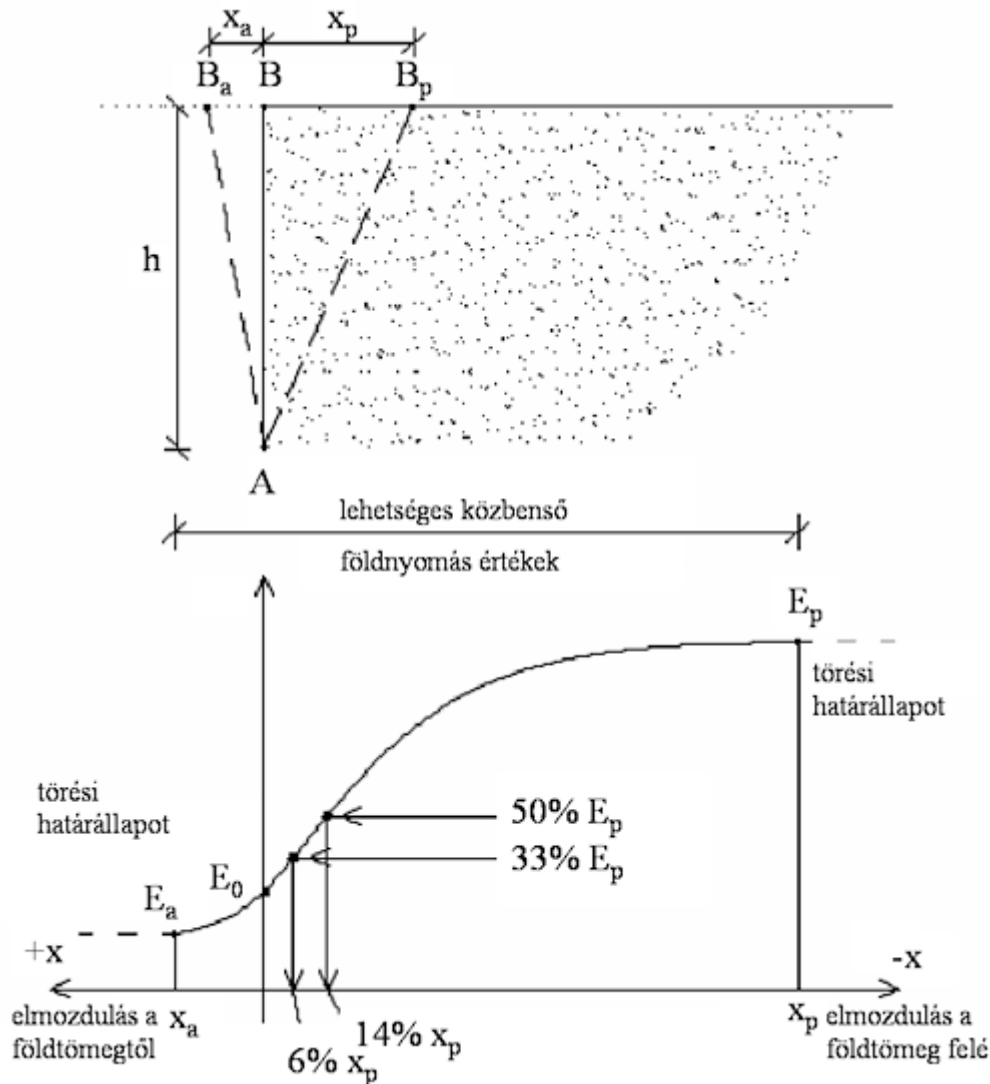
A fellépő földnyomás(ok) nagyságát és eloszlását meghatározza a talaj szerkezete, tulajdonságai, a föld és a megtámasztó szerkezet közötti kölcsönhatás, valamint a lehetséges mozgások jellege.

2. A FÖLDNYOMÁS FAJTÁI, KIALAKULÁSA

A földnyomások problematikáját Terzaghi modellkísérletei tisztázták. Ő egy, az alsó sarokpontja körül elforduló, merev, függőleges fal mögé homoktalajt töltött, és mérte, miként változik a falmozgástól függően a falra ható nyomóerő. A kísérletet és eredményeit a **3.2. ábra** érzékelteti, mely szerint a *falmozgástól függően háromféle földnyomási határállapotot* lehet megkülönböztetni:

1. Nyugalmi állapotban van a mozdulatlan fal mögötti talaj, amelyben a nyírószilárdság csak részben mobilizálódik, s a falra a kezdeti vízszintes feszültségek (σ_{x0}), ill. eredőjük, a **nyugalmi nyomóerő** (E_0) hat.
2. Aktív állapotban van a talaj által terhelt, a földtől elmozduló, távolodó fal mögötti talaj, melyben a nyírószilárdság teljesen mobilizálódik, ezért már viszonylag csekély (x_a) elmozdulás után kialakulnak az aktív vízszintes feszültségek (σ_{xa}) és ezek eredőjére, az **aktív földnyomási erő** (E_a) értékére csökken a falra ható erő.
3. Passzív állapot alakul ki a talajban, ha egy erő a talaj felé nyomja a falat, s ezzel szemben a mobilizálódó nyírószilárdság révén földellenállás fejlődik ki. Viszonylag nagy (x_p) elmozdulás után fejlődnek ki a passzív földnyomási feszültségek (σ_{xp}) és eredőjük, a **passzív földnyomási erő** (E_p).

Nagyon fontos megállapítás, hogy a földnyomások kialakulása elmozduláshoz kötött, azaz az erő (terhelő (aktív) – ellenálló (passzív)) "mobilizálódik".



3.2. ábra: A földnyomás nagysága a falmozgás függvényében

A földnyomási határértékek közelítő arányai általában: $E_a : E_0 : E_p = 0,5 : 1 : 5$

A határállapot eléréséhez szükséges elmozdulások közelítő nagysága a fal tetején aktív állapotban a falmagasság (H) függvényében $x_a \approx \frac{H}{300}$, míg passzív állapotban $x_p \approx \frac{H}{5}$.

Az alábbi keretben további részleteket olvashat a földnyomások határértékéhez szükséges határelmozdulásokról a falmozgás típusának és a talaj tömörségének a függvényében.

HATÁRELMOZDULÁS

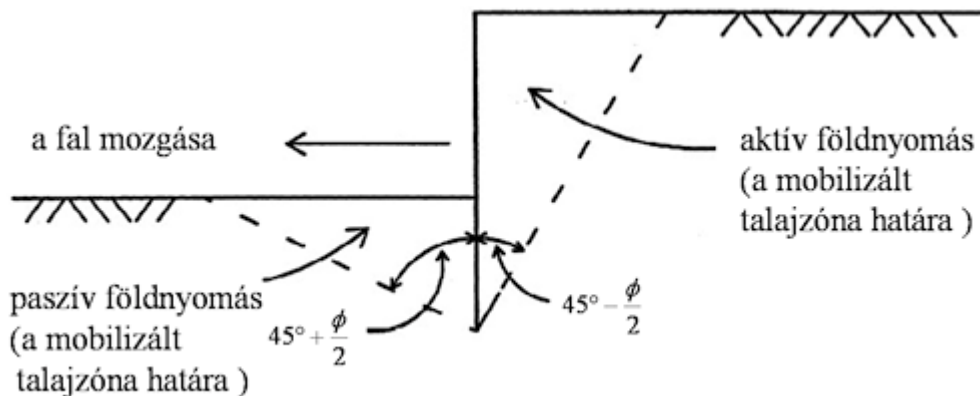
Valójában a falmozgás típusától és a talajtömörségtől is függ a határelmozdulás, pontosabb tapasztalati adatok a szakirodalomban találhatóak (3.1. táblázat). Az aktív állapothoz szükséges csekély érték kedvező, mert ekkora mozgás általában megengedhető, és ezért szabad a támfalakat, hídfőket az aktív határállapot kedvezően alacsony földnyomási terhére méretezni. Ezzel szemben a passzív határállapotban már rendelkezésre álló nagy földellenállásra általában nem szabad számítani, mert annak kifejlődéséhez akkora elmozdulás kellene, amelyet nem viselnének el a szerkezetek.

A falmozgás jellege, geometriai adatai								
	Tömörség	Laza	Tömör	Laza	tömör	Laza	tömör	Laza
Aktív állapot	0,004-0,005 m	0,001-0,002 m	0,002-0,003 m	0,005-0,001 m	0,008-0,01 m	0,0020,04 m	0,0040,005 m	0,0010,002 m
Passzív állapot	0,3 m	0,1 m	0,1 m	0,005 m	0,15 m	0,005 m	-	-

3.1. táblázat: A földnyomások határértékéhez szükséges elmozdulások

A földnyomásnak a nyugalmi és a határállapotok közötti - a mozgás mértékétől függő - változása hatványfüggvénnyel viszonylag jól leírható, a szakirodalomban található ilyen összefüggések képlettel vagy grafikus formában megadva.

A mobilizált talajzóna határát a 3.3 ábrán berajzolt csúszólapok érzékeltetik. A csúszólapok mögötti talajzóna már mozdulatlanak vehető. Fontos megjegyezni, hogy a sík csúszólap csak aktív állapotban és kohézió nélküli talajok esetén közelíti jól a valóságot, passzív állapotban a csúszólap metszete inkább görbe vonal.)



3.3. ábra: A támfal mozgás hatására kialakuló csúszólapok aktív és passzív állapotban

A kialakuló sík csúszólapok hajlásszöge:

- aktív állapotban $\alpha_a = 45^\circ + \frac{\phi}{2}$;
- passzív állapotban $\alpha_p = 45^\circ - \frac{\phi}{2}$.

Ezzel az értékekkel lehet közelítően elbírálni, hogy egy fal mögött levő létesítmények veszélyeztetve vannak-e, illetve terheiket a földnyomás számításakor figyelembe kell-e venni.

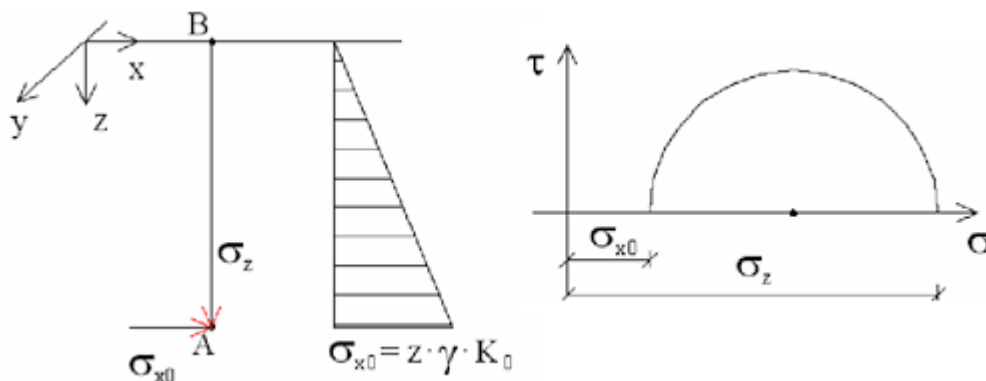
Méretezésnél az aktív földnyomás maximumát (terhelő erő), a passzív földnyomás minimumát (mobilizálódó ellenálló erő) keressük.

3. A FÖLDNYOMÁSOK MEGHATÁROZÁSA KOHÉZIÓ NÉLKÜLI ÉS KOHÉZIÓS TALAJOKBAN A RANKINE ELMÉLETTEL

Feszültségek és alakváltozások a végtelen féltér nyugalmi állapotában

Végtelen féltér alatt értjük a vízszintes vagy ferde síkkal határolt földtömeget.

Amennyiben a *térszín terheletlen* és feltételezzük, hogy a *talaj homogén*, térfogatsúlya állandó a talajban felvett z mélységű földprizma F alapfelületén keletkező **függőleges feszültségek** a **3.4. ábra** alapján határozhatóak meg.



3.4. ábra: Függőleges feszültségek ($\gamma = \rho \cdot g$)

A függőleges erők egyensúlya alapján felírható: $G = F \cdot \sigma_z$, azaz az F alapfelületen egyenletesen megoszló σ_z feszültségek eredője egyensúlyozza a prizma súlyát.

A felvett földprizma súlya: $G = z \cdot F \cdot \rho_{\text{talaj}} \cdot g$.

A két egyenletből kifejezhető a függőleges feszültség z mélységben: $\sigma_z = z \cdot \rho_{\text{talaj}} \cdot g$, azaz a függőleges feszültség a mélységgel lineárisan nő.

Egyenletesen megoszló felszíni terhelés és rétegzett altalaj esetében a képlet a következőképpen írható fel:

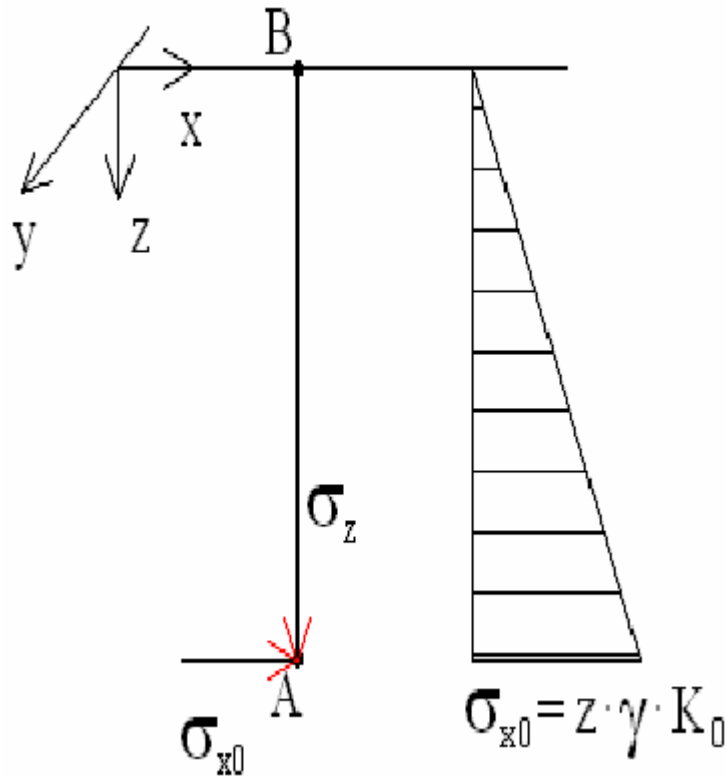
$$\sigma_z = \sum_{i=1}^n P_i + \sum_{j=1}^n z_j \cdot \rho_j \cdot g$$

A prizma oldallapjain fellépő feszültségek vízszintesek, mivel a féltér nyugalomban van és minden függőleges sík a féltér egy-egy szimmetriasíkjának tekinthető. Ebben az egyensúlyi helyzetben az oldallapokon fellépő vízszintes feszültségek eredői kiegyensúlyozzák egymást.

A **vízszintes feszültség** értéke nem adható meg fentiekhez hasonló egyszerű számítással. Meghatározásához vagy feltételezéseket teszünk a közeg viselkedését illetően, vagy kísérleti eredményekre alapozunk.

Ha feltételezzük, hogy a közeg *rugalmas* és követi a **Hooke-törvényt**, a $\sigma_{x0} = K_0 \cdot \sigma_z$ eredményre jutunk, azaz **nyugalmi állapotban a vízszintes feszültség is a mélység lineáris függvénye (3.5. ábra)**, ahol K_0 (a nyugalmi földnyomás tényezője) a

Poisson-tényező (μ) függvénye: $K_0 = \frac{\mu}{1 - \mu}$.



3.5. ábra: Vízszintes feszültségek ($\gamma = \rho \cdot g$)

A keretesben megismerheti a nyugalmi vízszintes feszültség (σ_{x0}) és a nyugalmi földnyomás tényezőjének (K_0) meghatározásának levezetését a Hooke törvényből.

Ha feltételezzük, hogy a közeg rugalmas és követi a Hooke-törvényt, kiindulhatunk a következő egyenletekből, amelyek azt fejezik ki, hogy a teljes rugalmas alakváltozás az egyes feszültségi komponensek okozta alakváltozások összege:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} \cdot [\sigma_x - \mu \cdot (\sigma_y + \sigma_z)] \quad (*)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} \cdot [\sigma_y - \mu \cdot (\sigma_x + \sigma_z)]$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} \cdot [\sigma_z - \mu \cdot (\sigma_x + \sigma_y)]$$

Mivel féltérről van szó, így $\sigma_x = \sigma_y$, valamint nyugalmi helyzetben nincs oldalirányú elmozdulás, így $\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0$.

Így a (*)-ból: $E \cdot \varepsilon_x = \sigma_x - \mu \cdot (\sigma_x + \sigma_z) = 0$, ebből $(1 - \mu) \cdot \sigma_x = \mu \cdot \sigma_z$, azaz

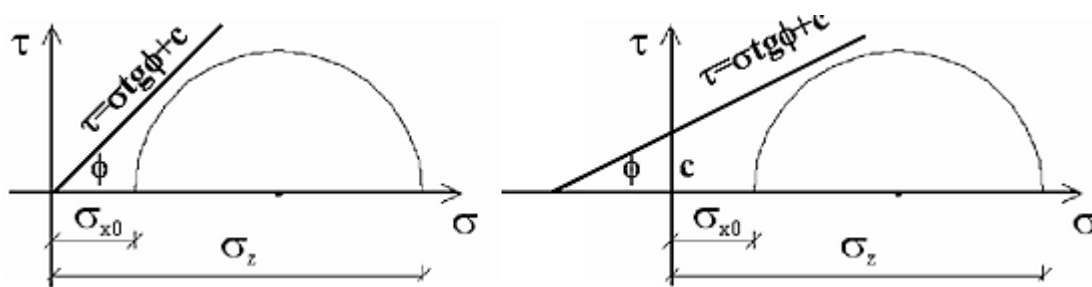
$$\sigma_x = \frac{\mu \cdot \sigma_z}{1 - \mu} = \frac{\mu}{1 - \mu} \cdot \sigma_z = K_0 \cdot \sigma_z$$

Azaz a nyugalmi vízszintes feszültség: $\sigma_{x0} = K_0 \cdot \sigma_z$, ahol $K_0 = \frac{\mu}{1 - \mu}$.

Jáky (1944) feltételezése szerint a függőleges feszültségek alatt bekövetkező oldalirányú kitérés megakadályozásában döntő szerepe van a nyírószilárdságnak, azaz $K_0 = f(\phi)$ kell, hogy legyen. A szemcsés talajokra levezetett $K_0 = 1 - \sin \phi$ képlet ma az egész világon általánosan alkalmazott jó közelítés.

A fentiek alapján, ha egy végtelen homogén féltér nyugalomban van, tehát nem lép fel benne sem lazulás, sem tömörödés, addig ennek az állapotnak megfelelő vízszintes és függőleges irányú feszültségek a mélység lineáris függvényei. Ebben az állapotban

egy adott pontban vagy egy adott felület mentén nincs kielégítve a *Coulomb-féle törési feltétel*, a főfeszültségek értékeiből rajzolható *Mohr-kör* nem érinti a *Coulomb-féle törési egyenest* (**3.6. ábra**).



3.6. ábra: A nyugalmi állapot Mohr köre a) szemcsés talaj b) kohéziós talaj esetén

A nyugalmi földnyomás értéke a vízszintes irányú feszültségek eredőjeként számolható, egyenlő a vízszintes feszültségek mélységbeli eloszlási ábrájának területével:

$$E_o = \frac{z \cdot \sigma_x}{2} = \frac{z \cdot K_0 \cdot \sigma_z}{2} = K_0 \cdot \frac{z \cdot z \cdot \rho \cdot g}{2} = K_0 \cdot \frac{z^2 \cdot \rho \cdot g}{2}$$

Azaz H magasságú, függőleges mozdulatlan támfalra $E_o = K_0 \cdot \frac{H^2 \cdot \rho \cdot g}{2}$ nagyságú nyugalmi földnyomás hat a vízszintes feszültségi ábra súlyvonalában, $\frac{H}{3}$ magasságban.

Az egyenletesen megoszló terhelés a függőleges feszültséget a terhelés intenzitásának megfelelően növeli, így az abból meghatározható vízszintes feszültség, valamint a földnyomás is arányosan nő.

Képlékenységi határállapotok, Rankine-féle földnyomás szemcsés közegben (statikus módszer)

Ha a féltérben egyenletes **fellazulás (expanzió)**, vagy **tömörödés (kompresszió)** jön létre, elmozdulások keletkeznek, egyre nagyobb mértékben *mobilizálódik a talaj belső nyírószilárdsága*. A nyugalmi feszültségállapot megváltozik, vagyis a Mohr-féle főfeszültségi kör egyre jobban közelít a Coulomb-féle törési egyeneshez. Ha a két főfeszültség különbségének növekedése folyamatos alakváltozást okoz, a talaj nyírási ellenállása teljesen kimerül, a Mohr-kör érinti a Coulomb-féle törési egyenest. Ezeket az eseteket Rankine vizsgálta. A következőkben ismertetett esetekben feltételezzük, hogy a támfal hátlapja sima, azaz a fal és a mögötte lévő talaj között nem lép fel súrlódás

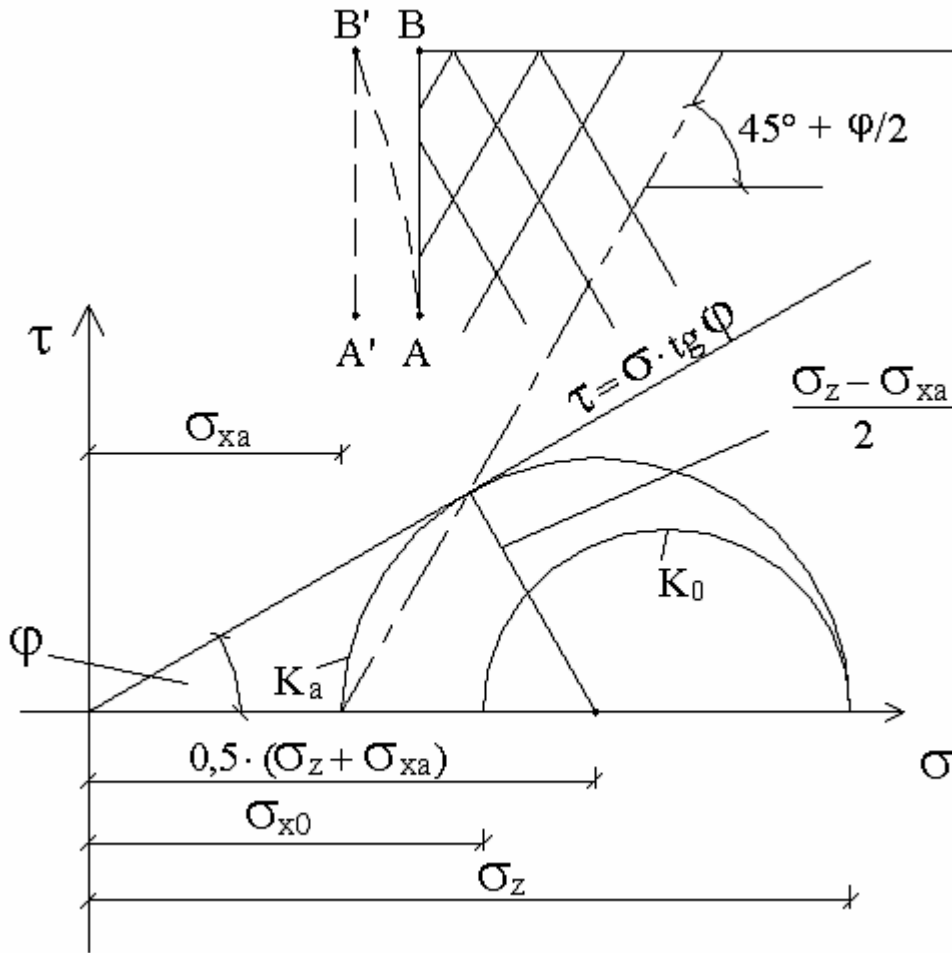
Aktív állapot, fellazulás (expanzió) esete

$$(\phi \neq 0; \quad c = 0)$$

A fal távolodásakor a földtömegben fellazulás lép fel tehát súrlódás is keletkezik, csökken a vízszintes feszültség.

A csökkenés értéke az elmozdulással arányos. Amikor a vízszintes feszültség csökkenése következtében a főfeszültségi Mohr-kör érinti a Coulomb-egyenest, bekövetkezik a törés, csúszás.

A feszültségek alakulása a Mohr-féle ábrázolásban, a vázolt földmozgásra a **3.7. ábrán** látható.



3.7. ábra: Az aktív feszültségek alakulása alsó sarokpont körüli billenés vagy párhuzamos eltolódás és kohézió nélküli talajok esetén

A törési feltételből a $\sigma_{xz} = K_a \cdot \sigma_x$ eredményre jutunk, azaz a vízszintes feszültség aktív állapotban is a mélység lineáris függvénye (3.8. ábra), ahol K_a (az aktív földnyomás tényezője) a talaj belső súrlódási szögének (ϕ) a függvénye:

$$K_a = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right).$$

A keretesben megismerheti az aktív vízszintes feszültség (σ_{xz}) és az aktív földnyomás tényezőjének (K_a) meghatározásának levezetését a törési feltételből.

$$\sin \phi = \frac{\frac{\sigma_x - \sigma_{xz}}{2}}{\frac{\sigma_x + \sigma_{xz}}{2}} = \frac{\sigma_x - \sigma_{xz}}{\sigma_x + \sigma_{xz}}$$

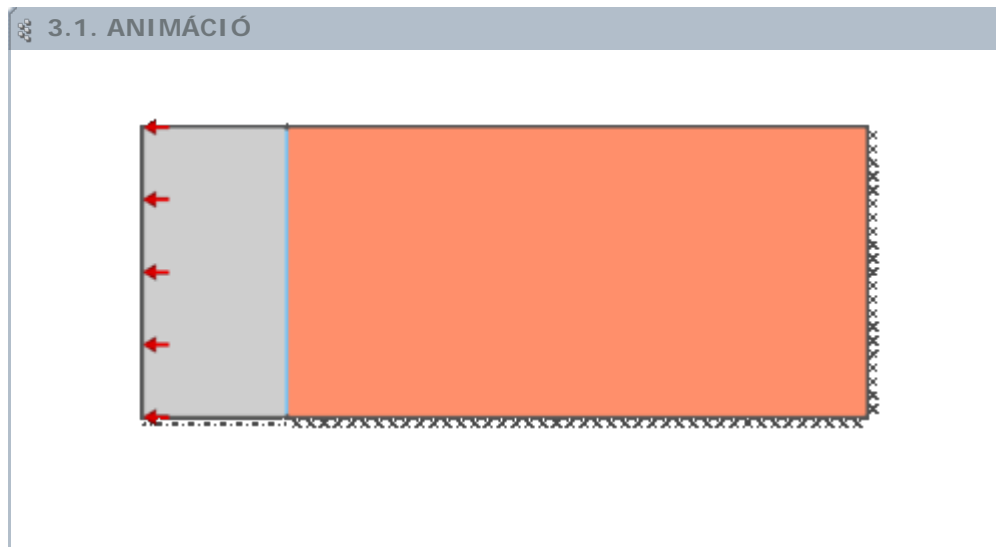
$$\sigma_x \cdot \sin \phi + \sigma_{xz} \cdot \sin \phi - \sigma_x + \sigma_{xz} = 0$$

$$\sigma_{xz} \cdot (1 + \sin \phi) = \sigma_x \cdot (1 - \sin \phi)$$

$$\sigma_{xz} = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \cdot \sigma_x = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \cdot \sigma_x = K_a \cdot \sigma_x$$

Először a fal felső pontjának környezete éri el ezt a határállapotot, kialakul egy csúszólap. Amint a fal alsóbb pontjai is elérik az elmozdulás határértékét, a csúszólapok egyre lejjebb terjednek és egymással párhuzamos csúszólaposereg fejlődik ki. Végül is az

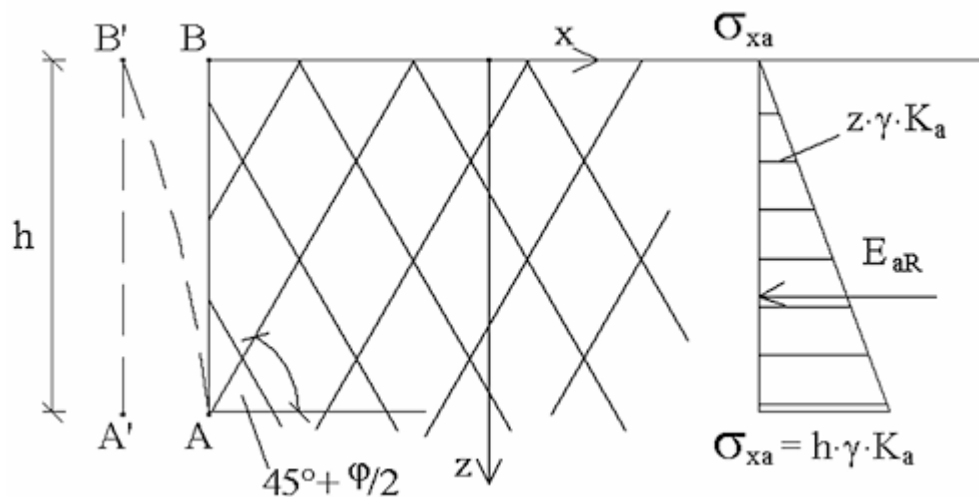
alsó sarokpontból kiindulva egy földék elválik a teljes földtömegtől és mivel a földék minden pontjában kielégül a törés feltétele, az ék $\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)$ hajlású csúszófelületen lefelé mozog.



3.1. animáció: Aktív földnyomás, kohézió nélküli talaj [1]

Ha a Coulomb-féle törési feltétel a talaj minden pontjában ki van elégítve, akkor az egész földtömeg képlékeny határállapotba kerül. Ekkor aktív Rankine feszültség-állapotról beszélünk, amire jellemző, hogy a vízszintes feszültségek a nyugalmi állapothoz képest csökkennek. A törési határállapothoz tartozó feszültségek eredője, az A-B falra ható (Rankine elmélettel meghatározott) aktív földnyomás (E_{aR}) a 3.8. ábra alapján számolható:

$$E_{aR} = \int_0^h \sigma_{xz} dz = \gamma \cdot K_a \cdot \int_0^h z dz = \rho \cdot g \cdot K_a \cdot \frac{h^2}{2} = \frac{h^2 \cdot \rho \cdot g}{2} \cdot K_a$$



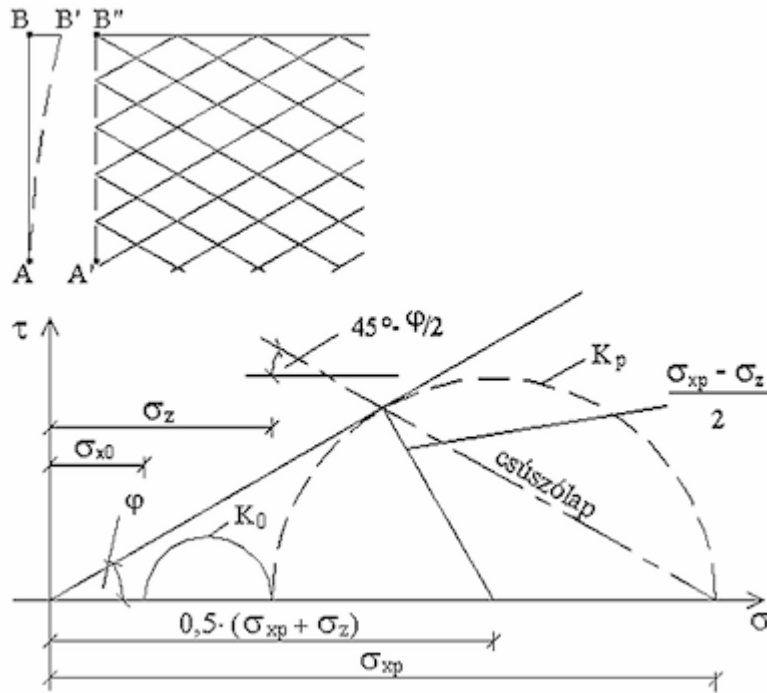
3.8. ábra: Az A-B falra ható aktív földnyomás ($\gamma = \rho \cdot g$)

Passzív állapot, a tömörödés (kompresszió) esete

($\phi \neq 0$; $c = 0$)

Ha a támfal a föld felé mozdul el, abban tömörödés lép fel. A súrlódás növeli a vízszintes feszültségeket, így nyugalmnál jóval nagyobb feszültségek alakulnak ki.

A feszültségek alakulása a Mohr-féle ábrázolásban, a vázolt földmozgásra a **3.9. ábrán** látható.



3.9. ábra: A passzív feszültségek alakulása alsó sarokpont körüli billenés vagy párhuzamos eltolódás és kohézió nélküli talajok esetén

A törési feltételből a $\sigma_{xp} = K_p \cdot \sigma_z$ eredményre jutunk, azaz a vízszintes feszültség passzív állapotban is a mélység lineáris függvénye (3.8. ábra), ahol K_p (az aktív földnyomás tényezője) a talaj belső súrlódási szögének (ϕ) a függvénye:

$$K_p = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right).$$

Az alábbi keretben megismerheti a passzív vízszintes feszültség (σ_{xp}) és a passzív földnyomás tényezőjének (K_p) meghatározását a törési feltételből.

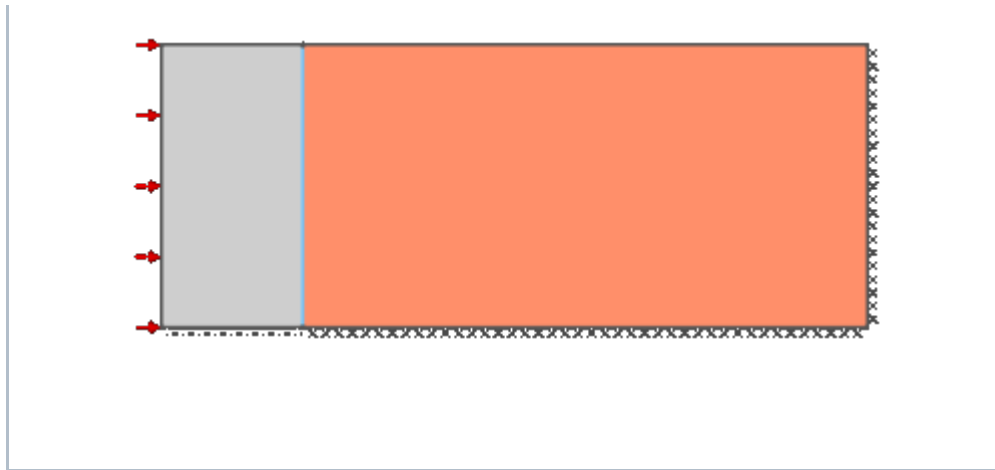
$$\sin \phi = \frac{\frac{\sigma_{xp} - \sigma_z}{2}}{\frac{\sigma_{xp} + \sigma_z}{2}} = \frac{\sigma_{xp} - \sigma_z}{\sigma_{xp} + \sigma_z}$$

$$\sigma_{xp} \cdot \sin \phi + \sigma_z \cdot \sin \phi - \sigma_{xp} + \sigma_z = 0$$

$$\sigma_z \cdot (1 + \sin \phi) = \sigma_{xp} \cdot (1 - \sin \phi)$$

$$\sigma_{xp} = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \cdot \sigma_z = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \cdot \sigma_z = K_p \cdot \sigma_z$$

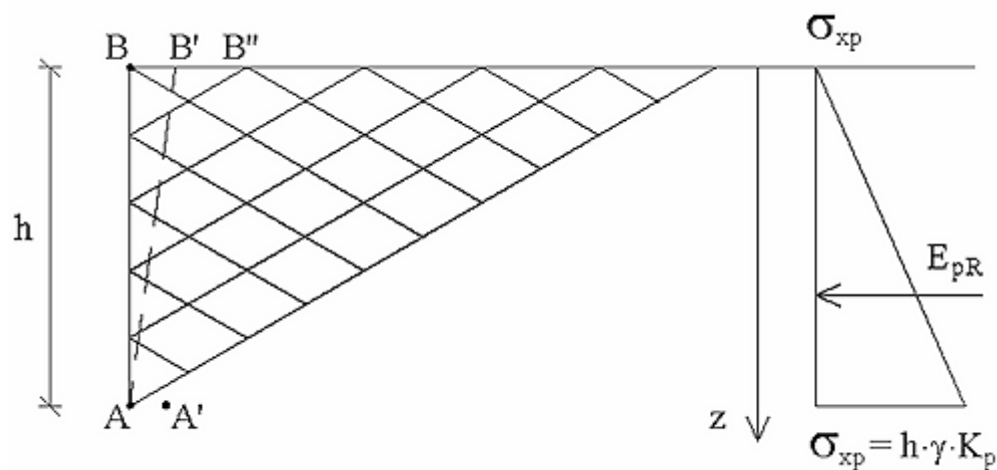
Ha akkora lesz az elmozdulás, hogy teljesül a törési feltétel, a földtömeg ismét képlékeny határállapotba kerül, amelyben kialakul a $(45^\circ - \frac{\phi}{2})$ hajlású szakadólap, és a fal mögötti földék felfelé mozog.



3.2. animáció: Passzív földnyomás, kohézió nélküli talaj [1]

A törési határállapothoz tartozó feszültségek eredője a (Rankine elmélettel meghatározott) passzív földnyomás (E_{pR}) a 3.10. ábra alapján meghatározható:

$$E_{pR} = \int_0^h \sigma_{xp} dz = \gamma \cdot K_p \cdot \int_0^h z dz = \gamma \cdot K_p \cdot \frac{h^2}{2} = \frac{h^2 \cdot \gamma}{2} \cdot K_p$$



3.10. ábra: Az A-B falra ható passzív földnyomás ($\gamma = \rho \cdot g$)

Az alábbi keretben mintapéldákat láthat a fenti számításokra. (A nyugalmi, az aktív és a passzív földnyomás számítása a Rankine elmélettel.)

MINTAFELADATOK

Az aktív, a nyugalmi, és a passzív földnyomás számítása a Rankine elmélettel

$$E_a = K_a \cdot \frac{h^2 \cdot \gamma}{2} \Rightarrow K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \text{ vagy másképpen } K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

Az aktív földnyomás tényezőjének értéke $\phi = 30^\circ$ súrlódási szögű talajnál

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \frac{1 - 0,5}{1 + 0,5} = \frac{1}{3}$$

Egy 5 m magas falnál, ha a talaj térfogatsúlya $\gamma_n = 20 \frac{kN}{m^3}$

$$E_a = K_a \cdot \frac{h^2 \cdot \gamma}{2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{5^2 \cdot 20}{2} = 83,3 \frac{kN}{m^2}$$

A nyugalmi földnyomás értéke:

$$E_o = \underbrace{(1 - \sin \phi)}_{K_o} \cdot \frac{h^2 \cdot \gamma}{2} = (1 - 0,5) \cdot \frac{5^2 \cdot 20}{2} = 125 \frac{kN}{m^2}$$

A passzív földellenállás tényezője:

$$E_p = K_p \cdot \frac{h^2 \cdot \gamma}{2} \Rightarrow K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \text{ vagy másképpen } K_p = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$E_p = \underbrace{\frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}}_{K_p} \cdot \frac{h^2 \cdot \gamma}{2} = \frac{1 + 0,5}{0,5} \cdot \frac{5^2 \cdot 20}{2} = 750 \frac{kN}{m^2}$$

A földnyomások aránya ezek szerint

$$\frac{E_a}{83,3} < \frac{E_o}{125} < \frac{E_p}{750}$$

Ez azt is jelenti, hogy nagyságrendileg az aktív földnyomás a nyugalmi földnyomás fele-kétharmada, míg a passzív földellenállás viszont a nyugalmi földnyomás 7-10 szeres értéke.

Képlékenységi határállapotok, Rankine-féle földnyomás kohéziós talajok esetén (statikus módszer)

A **kohézió** arányosan csökkenti a vízszintes feszültséget. Hozzá kell tenni azonban azt, hogy a kohézió csak állandó nedvességtartalom esetén vehető a teljes értékével figyelembe, az átázás erősen csökkenti, sőt meg is szüntetheti. A kohéziós talajok aktív földnyomásánál tehát nagyobb körültekintéssel kell a súrlódás és kohézió értékét megállapítani. A kohézió lecsökkenésén kívül a **duzzadás** okozta nyomás is jelentékeny hatású. E két tényező az oka az anyagokat megtámasztó támfalak gyakori tönkremenetelének.

A keretesben megismerheti a kohézió figyelembe vételének módját az Eurocode 7 alapján.

A kohézió figyelembe vétele körültekintést igényel. A talajtömeg kohéziójának figyelembe vétele az Eurocode 7 alapján a korábbi hazai szabályozásoktól eltérő. A talaj átlagos kohéziójából az un. karakterisztikus értéket vesszük figyelembe. A kohéziónál a meghatározott értékeknek jelentős szórása van. Ezt fejezi ki a variációs tényező, ami a szórás és az átlagérték hányadosát jelenti. Ennek javasolt értéke $\nu = 0,40$, azaz az átlagérték 40%-a is lehet a szórás értéke. A

$$c_{kav} = c_{\text{átlag}} \cdot \left(1 - \frac{\nu}{2} \right) \text{ azaz például } c = 100 \frac{kN}{m^2} \text{ átlagos kohézió érték mellett a karakterisztikus érték}$$

$$c_{kav} = 100 \cdot \left(1 - \frac{0,4}{2} \right) = 80 \frac{kN}{m^2} \text{ lesz. A kohézió tervezési értéke a karakterisztikus érték és a parciális biztonsági}$$

tényező hányadosa, így például 1,5-ös parciális tényező mellett a figyelembe vehető kohézió értéke már csak

$$c_{\text{terv}} = 53,3 \frac{kN}{m^2}.$$

Aktív állapot (expanzió)

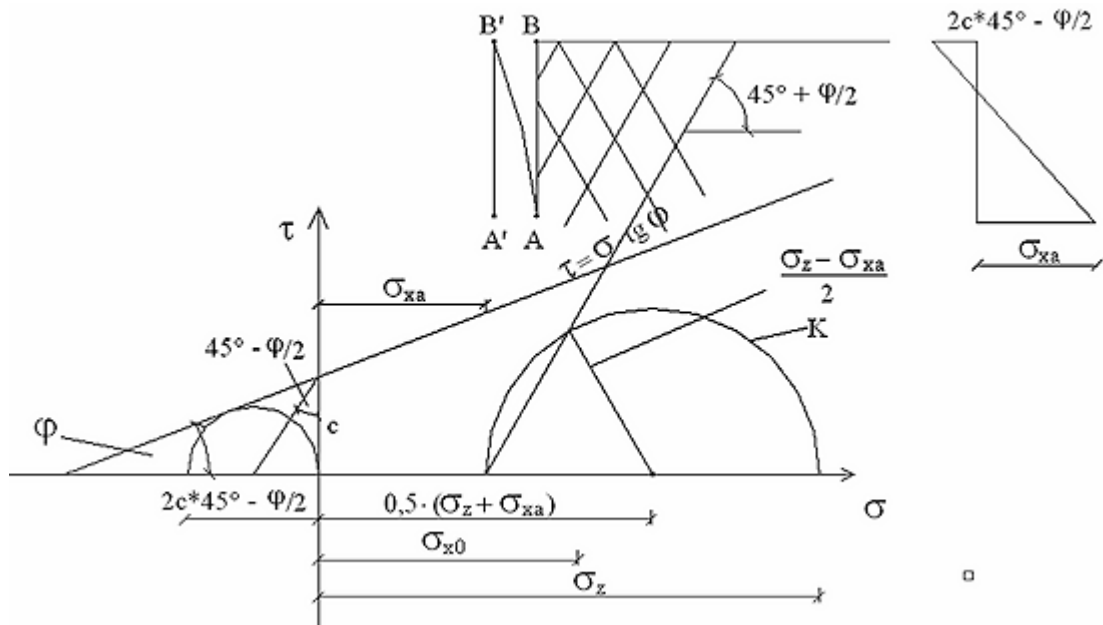
$$(\phi \neq 0, c \neq 0)$$

Aktív esetben a vízszintes feszültség a

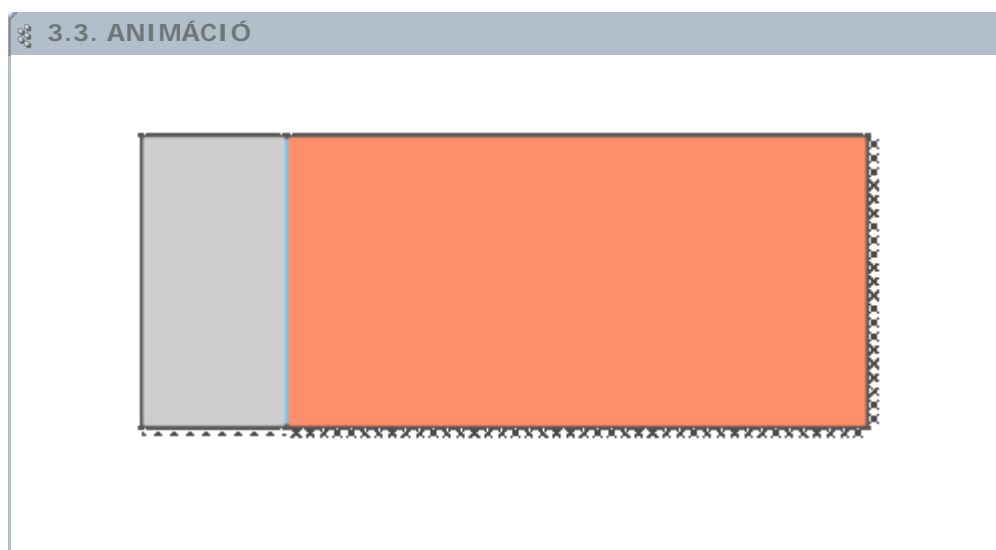
képlettel számolható, ahol az aktív földnyomás szorzója

$$\sigma_{xz} = \sigma_z \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

$K_a = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)$. A kohézió okozta feszültség csökkenés azt jelenti, hogy egy $h_0 = \frac{2 \cdot c}{\rho \cdot g} \cdot \tan\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)$ magasságú földfal megtámasztás nélkül is megáll, vagyis nem keletkezik aktív nyomás.



3.11. ábra: Az aktív feszültségek alakulása alsó sarokpont körüli billenés vagy párhuzamos eltolódás és kohéziós talajok esetén



3.3. animáció: Aktív földnyomás, kohéziós talaj [ii]

Az alábbi keretből megismerheti az aktív vízszintes feszültség (σ_{xz}), és a megtámasztás nélkül megálló földfal magasságának (h_0) meghatározását a főfeszültségek töréskori kapcsolatát alkalmazva kohéziós talajok esetén.

Aktív feszültségállapotban a törési állapot eléréséig, a nyírószilárdság teljes mobilizálásáig csökkenhet a vízszintes feszültség, és ekkor a főfeszültségek töréskori kapcsolatát alkalmazva:

ahol

azaz

$$\sigma_{xz} = \sigma_x \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right) - 2 \cdot c \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right) \quad K_a = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)$$

$$\sigma_{xz} = \sigma_x \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

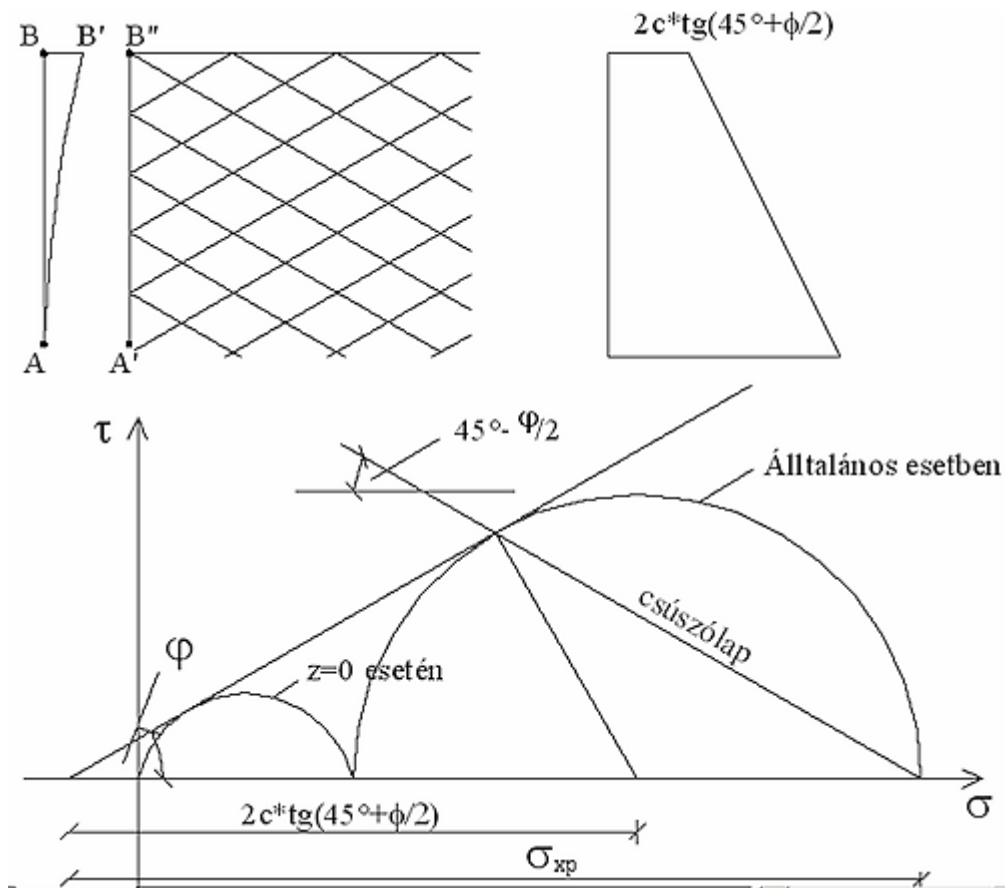
A vízszintes feszültség felszíni megoszló terhelés esetén:

$$\sigma_{xz} = (z \cdot \gamma + p) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

Belátható, hogy a fenti képlet szerint $\sigma_{xz} < 0$ a $z < h_0 = \frac{2 \cdot c}{\gamma} \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right) - \frac{p}{\gamma}$ mélyséig, ezért ebben a tartományban $\sigma_{xz} = 0$ veendő számításba, azaz ez az egyenlet adja meg a még megtámasztás nélkül megálló földfal magasságát (h_0).

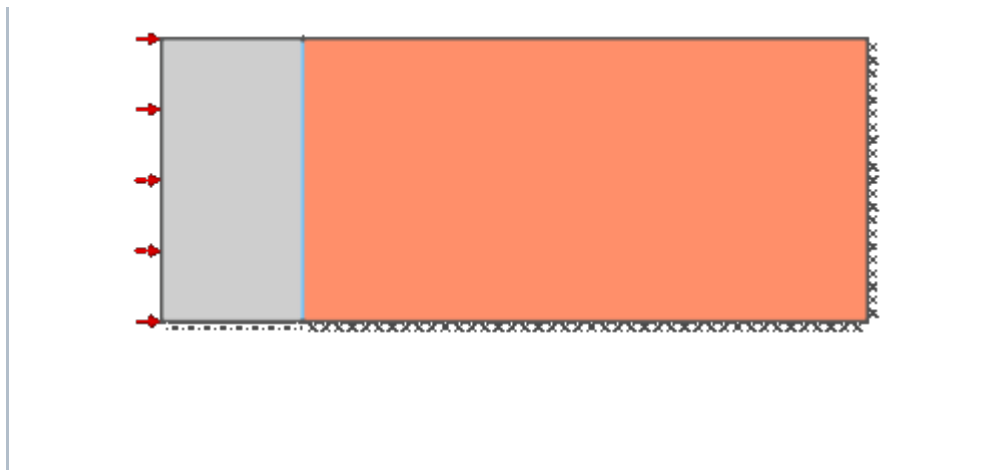
Passzív állapot (kompresszió)

($\phi \neq 0$; $c \neq 0$)



3.12. ábra: A passzív feszültségek alakulása alsó sarokpont körüli billenés vagy párhuzamos eltolódás és kohéziós talajok esetén

3.4. ANIMÁCIÓ



3.4. animáció: Passzív földnyomás, kohéziós talaj [ii]

Passzív esetben a vízszintes feszültség a $\sigma_{xy} = \sigma_x \cdot K_p + 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_p}$ képlettel számolható, ahol a passzív földnyomás szorzója $K_p = \tan^2\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)$.

Az alábbi keretesekből megismerheti passzív vízszintes feszültség (σ_{xy}) meghatározását a főfeszültségek töréskori kapcsolatát alkalmazva kohéziós talajok esetén, valamint a földnyomási eredő erő és hatásvonalának meghatározását a pozitív feszültségi ábra területéből kohéziós talajok esetén.

Passzív állapotban a törési állapot eléréséig, a nyírószilárdság teljes mobilizálásáig növekedhet a vízszintes feszültség. Ekkor a főfeszültségek töréskori kapcsolatát alkalmazva:

$$\sigma_{xy} = \sigma_x \cdot \tan^2\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right) + 2 \cdot c \cdot \tan\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right) \text{ ahol } K_p = \tan^2\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right) \text{ azaz}$$

$$\sigma_{xy} = \sigma_x \cdot K_p + 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_p}$$

A vízszintes feszültség felszíni megoszló terhelés esetén:

$$\sigma_{xy} = (z \cdot \gamma + p) \cdot K_p + 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_p}$$

A Rankine elmélettel meghatározott a feszültségekből a földnyomási eredő erő a feszültségek összegzéséből, a $z=H$ mélységig vett integrálból (a pozitív feszültségi ábra területéből) számítható: $E = \int_0^H \sigma_x dz$. Az eredő hatásvonalának a

magassága a fal alja ($z=H$ pont) felett:
$$h = \frac{1}{E} \cdot \int_0^H \sigma_x \cdot (H - z) dz$$

Pl. aktív nyomás esetén, amikor $h_0 < 0$, azaz $p \cdot K_a > 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$ vagyis a teljes mélységig van földnyomás, akkor a földnyomási erő nagysága:

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot H^2 \cdot \gamma \cdot K_a + p \cdot H \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot H \cdot \sqrt{K_a}$$

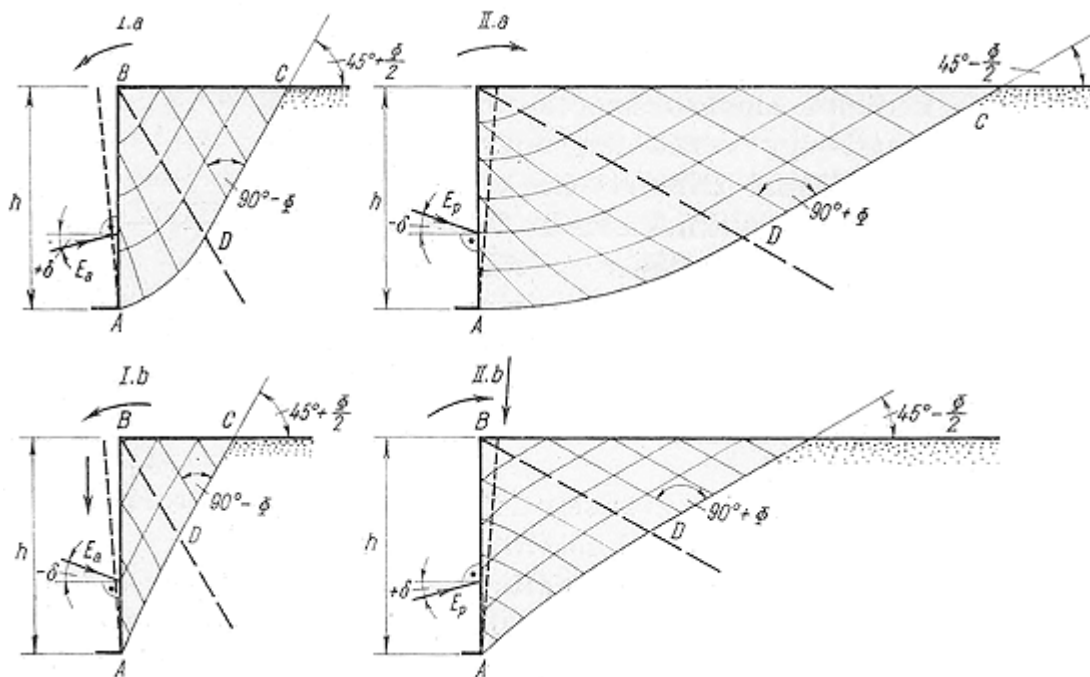
míg a támadáspont helye:
$$h = \frac{H}{3} \cdot \frac{H \cdot \gamma \cdot K_a + 3 \cdot p \cdot K_a - 6 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}}{H \cdot \gamma \cdot K_a + 2 \cdot p \cdot K_a - 4 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}}$$

4. KOHÉZIÓ NÉLKÜLI FÖLDTESTEK FÖLDNYOMÁSA

A falsúrlódás hatása a földnyomás irányára, a csúszólapok alakjára

Ha a támfal hátlapja érdes, a háttöltés tiszta, száraz homok ($c = 0 \frac{kN}{m^2}$), a talaj lefelé vagy felfelé irányuló mozgása súrlódást ébreszt a fal hátlapján is, ezért a feszültségek iránya és így az eredő földnyomás iránya megváltozik. Elérve a csúszás határállapotát az eredő földnyomás δ szöget zár be a fal normálisával.

A falsúrlódás hatása a földtömegnek csak a falhoz közel eső részében érvényesülhet. Ha a fal felső sarokpontjából behúzzuk a Rankine-féle határegyensúly állapotának megfelelő hajlású csúszólap egyenesét, az egyenes fölött a talajban aktív vagy passzív Rankine feszültségállapot uralkodik. A csúszólapok síkok és egymással $90^\circ - \phi$ illetve $90^\circ + \phi$ szöget zárnak be. Az egyenes alatti csúszó földtömeg tartományban (a fal közelében) a súrlódás következtében a csúszófelületek elgörbülnek (3.13. ábra).



3.13. ábra: A falsúrlódás hatása a földnyomásra és a csúszólapok alakjára [iii]

- Ha a támfal az alsó sarokpont körül kifelé billen, a talajban expanzió következik be, a támfal hátlapja és a homok között súrlódási erők lépnek fel, emiatt az eredő aktív földnyomás a fal normálisával δ szöget zár be (3.13.I.a. ábra).
- Ha a falat a föld felé billentjük, a mozgást a föld ellenállása, a passzív földnyomás gátolja. Ha a fal súlya nagyobb, mint a fal és a föld közötti súrlódás, az eredő földnyomás lefelé irányul (3.13.II.a. ábra).
- Ha a támfal a kifelé billenéssel egyidejűleg lefelé is mozog, mert pl. az altalaj összenyomódik, az irányszög értelme az ellenkezőjére változik és a csúszólapok görbe szakaszai felülről nézve domborúak (3.13.I.b. ábra).
- Ugyanez az eset áll elő akkor, ha a föld felé billenő falat felfelé ható erő támogatja meg (amelynek nagysága egyenlő a fal súlyának és súrlódásának összegével). Ekkor az eredő passzív földnyomás irányszöge ellentétes (3.13.II.b. ábra).

A valóságban minden támfal hátlapja többé-kevésbé érdes, ezért súrlódás lép fel. A korábban megismert Rankine elmélet ezt nem vette figyelembe. A falsúrlódás hatását a földnyomás "ékelmélete" (Coulomb és követőinek az elmélete) segítségével tárgyalhatjuk. Előnye ennek az elméletnek, hogy bármilyen határfeltétel esetén alkalmazható, hátránya, hogy a csúszólapot síknak tekinti.

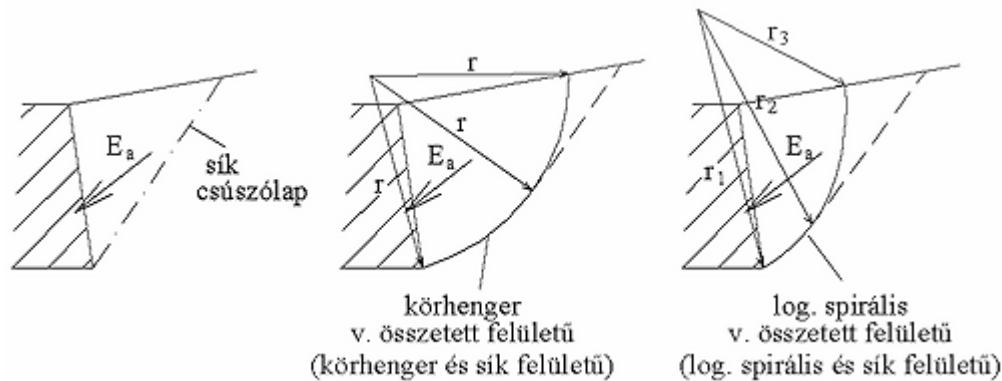
Az emiatt előálló hiba kohézió nélküli földtömeg és aktív földnyomás esetén kicsi, jóval kisebb, mint az egyéb okokból előálló bizonytalanságok (pl. a talaj inhomogenitása vagy a talajfizikai jellemzők meghatározásában elkövetett hiba) okozta eltérésnél jóval kisebb. Ha a kerületi feltételek megegyeznek a Rankine elmélet kerületi feltételeivel, akkor a két elmélet azonos eredményt ad.

Passzív földnyomás és kohéziós talaj esetén a sík csúszólappal való közelítés a valóságtól nagy eltérő eredményt ad, itt feltétlenül görbe csúszólapot kell használnunk.

Támfalak méretezése esetén a legfontosabb kérdés, hogy milyen földnyomási értékre, milyen elmozdulásra kell a falat méretezni?

Már az első, matematikailag megalapozott földnyomás elméletek is azon alapultak, hogy a **határegyensúlyi állapothoz tartozó földnyomási érték** lesz a mértékadó, amikor a földtömegben csúszólappal, a csúszólapon törési határállapot alakul ki. Feltételezik, hogy törési állapotban a földnyomási erő szélső érték, minimum vagy maximum. A szélsőérték vizsgálatokhoz fel kell vennünk a csúszólappal alakját, amely a **3.14. ábra** szerint többféle lehet:

1. Egyenes metszetű, azaz sík csúszólappal.
2. Görbe metszetű (Kör vagy logaritmikus spirális vezérvonalú hengerfelület).
3. Összetett (Kör vagy logaritmikus spirális vezérvonalú hengerfelület és sík csúszólappal).



3.14. ábra: A gyakorlatban használatos csúszólappal felületek

Mértékadó lesz az a csúszólappal, amelyhez tartozó földnyomás szélső érték.

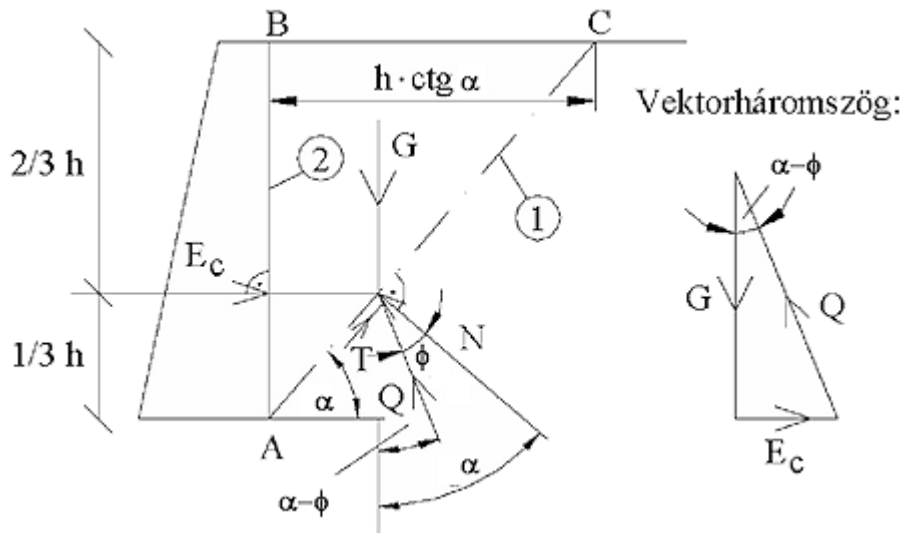
A csúszólappal helyzetének változtatásával, a lecsúszó földre ható erők egyensúlyából kiindulva határozzuk meg a földnyomás mértékadónak tekintett szélső értékét. A csúszásnak az egyszerűsített törésfelületekre korlátozódó nyírásokon (egyszerűsített törésmechanika) alapuló vizsgálatát kinematikai módszernek nevezzük.

Az aktív földnyomás meghatározása Coulomb "ékelméletével" (sík csúszólappal)

A földnyomás első, tudományosan megfogalmazott elméletét Coulomb-nak köszönhetjük. A **Coulomb elméletnek** elsősorban történelmi szerepe van: az első olyan elmélet, amely *mechanikailag helyesen*, az általa bevezetett súrlódási törvény segítségével vizsgálja és határozza meg – sík csúszólappal felvételével – a földnyomás alakulását (**3.15. ábra**).

Feltevésai:

1. A **csúszólappal sík** (elméletileg csak végtelen féltérben, súrlódásmentes fal esetén lenne igaz);
2. A hátlap függőleges ($\beta = 90^\circ$), a térszín vízszintes ($\varepsilon = 0^\circ$), az E földnyomáserő vízszintes, azaz súrlódás nincs a támfal hátlapon ($\delta = 0^\circ$);
3. Csúszáskor a **szakadólapon** érvényes a **törési feltétel**: $T = N \cdot \tan \phi$ vagyis a Q csúszólappreakció ϕ szöveget zár be a csúszólappal normálisával.
4. A végtelen lehetséges AC sík közül az a **mértékadó csúszólappal**, amelyhez tartozó földnyomás értéke maximális.



3.15. ábra: Az aktív földnyomás meghatározása Coulomb "ékelméletével" (sík csúszólappal)

A megoldás a fenti feltevések alapján a következő: Az ABC földék nekinyomódik a falnak és az alatta levő földtömegnek is. A földék önsúlyát (G) ellensúlyozza a támfal hátlapján fellépő aktív földnyomáserő (E_a) és a csúszólapon fellépő Q reakcióerő. Megrajzolva a vektorpoligont, egyensúly esetén felírható:

$$E_a = G \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \phi)$$

A földprizma súlya a falmagasság ismeretében felírható a csúszólap α hajlásának függvényében:

$$G = \frac{h \cdot h \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{2} \cdot \rho \cdot g = \frac{h^2 \cdot \rho \cdot g}{2} \cdot \operatorname{ctg} \alpha, \text{ amit behelyettesítve az előző egyenletbe:}$$

$$E_a = \frac{h^2 \cdot \rho \cdot g}{2} \cdot \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \phi) \quad (**)$$

A mértékadó csúszólap α hajlásának meghatározása lehetséges, ha megkeressük E_a értékének maximumát szélsőérték számítással: $\alpha = 45^\circ + \frac{\phi}{2}$

A szélsőérték számítás levezetését az alábbi keretben olvashatja:

SZÉLSŐÉRTÉK SZÁMÍTÁS LEVEZETÉSE

$$\frac{dE_a}{d\alpha} = \frac{h^2 \cdot \gamma}{2} \cdot \left[\frac{-1}{\sin^2 \alpha} \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \phi) + \frac{1}{\cos^2(\alpha - \phi)} \cdot \operatorname{ctg} \alpha \right] = 0$$

$$\frac{\operatorname{ctg} \alpha}{\cos^2(\alpha - \phi)} = \frac{\operatorname{tg}(\alpha - \phi)}{\sin^2 \alpha}$$

$$\operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin^2 \alpha = \operatorname{tg}(\alpha - \phi) \cdot \cos^2(\alpha - \phi)$$

$$\cos \alpha \cdot \sin \alpha = \sin(\alpha - \phi) \cdot \cos(\alpha - \phi)$$

$$2 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha = 2 \cdot \sin(\alpha - \phi) \cdot \cos(\alpha - \phi)$$

$$\sin(2 \cdot \alpha) = \sin(2 \cdot (\alpha - \phi))$$

$$2 \cdot \alpha = 180^\circ - (2 \cdot (\alpha - \phi))$$

A megoldás a földnyomásra a felrajzolt erő-vektorpoligonból adódóan:

$$E_{\alpha\zeta} = G \cdot \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\sin(\alpha + \psi - \varphi)} = f(\alpha, \psi)$$

A földnyomás meghatározása szintén szélsőérték-számítással történik, amelynek eredménye a már megismert:

$E_{\alpha\zeta} = \frac{h^2 \cdot \rho \cdot g}{2} \cdot K_{\alpha\zeta}$ ahol a $K_{\alpha\zeta}$ földnyomási szorzó értéke általános esetben a következő (nem túl egyszerű) eredményt adja:

$$K_{\alpha\zeta} = \left[\frac{\sin(\beta - \varphi)}{\sqrt{\sin(\beta + \delta)} + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi - \varepsilon)}{\sin(\beta - \varepsilon)}}} \right]^2$$

Ellenőrizhető, hogy $\beta = 90^\circ$ és $\varepsilon = \delta = 0^\circ$ behelyettesítésével a korábban mind a Rankine, mind a Coulomb elmélettel meghatározott $K_{\alpha} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$ eredményre jutunk. A fentiek alapján megállapítható, hogy ezekkel az összefüggésekkel a földnyomás meghatározása rendkívül bonyolult. Általános esetben viszont jól alkalmazhatók a grafikus módszerek, amelyek alapja a **Rebhann-tétel**, amely kimondja:

A mértékadó csúszólap olyan helyzetű, hogy éppen felezi a támfal hátlap, a térszín, a ϕ hajlású természetes rézsű és az azzal ψ szöget bezáró úgynevezett irányító egyenes által határolt ABCD négyszög területét, azaz:

$$T_{AB\zeta} = T_{ACD\zeta}$$

Ennek alapján meghatározható a földnyomás próbálgatással, vagy szerkesztéssel.

A Rebhann-tétel nagy előnye, hogy akkor is alkalmazható, ha a támfal hátlap és a térszín nem sík, hanem tört, vagy görbe felület, vagy ha a térszínen terhelés van. Ekkor az egyenlőség nem a háromszög területek, hanem a megfelelő síkidom területek, vagy a megfelelő erők (tömegerő, külső erő) között áll fenn. A Rebhann-tétel általános alakja:

$$G + \Sigma P = T_{ACD\zeta} \cdot \rho \cdot g \text{ ahol:}$$

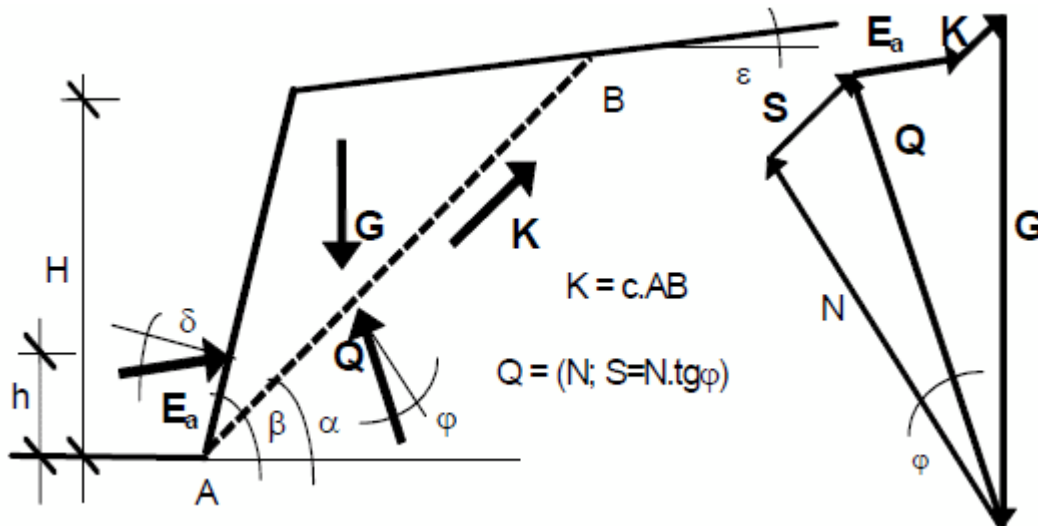
G : a csúszó földék súlya

ΣP : a felszíni terhelés(ek) összege

5. KOHÉZIÓS FÖLDTESTEK AKTÍV FÖLDNYOMÁSÁNAK MEGHATÁROZÁSA

A β hajlású falra a feltételezett AB csúszólapalattal határolt földék súlyából származó erő hat, ill. megfordítva: a falnak E_{α} erővel kell megtámasztania a földéket, hogy az egyensúlyban maradjon. Nyilvánvaló, hogy ebben az esetben is azt a csúszólap helyzetet kell keresnünk, amelyhez a maximális erő adódik. A probléma megoldásának menete tehát a következő (**3.17. ábra**):

- a csúszólap felvétele (az α szöggel, mint változóval jellemezve a csúszólap helyzetét),
- a földékre ható erők felvétele (a földék G súlyának, a K kohéziós erőnek nagysága és iránya, a Q csúszólap reakciónak és az erő irányának felvétele),
- az egyensúlyhoz szükséges E_{α} erő meghatározása a földék egyensúlyvizsgálatából,
- a földnyomásnak a csúszólap helyzetétől való függését leíró függvény előállítás,
- a mértékadó földnyomás meghatározása szélsőérték kereséssel.



3.17. ábra: Kohéziós földtestek aktív földnyomásának meghatározása

A földék súlya a földék területéből számítható, s ehhez még a felszínen működő terhelés adódhat. A csúszólapon ható erők a helyben maradó földtömeg hatásai, a normálfeszültségek eredője az N normálerő, a földék lecsúszását akadályozó nyírófeszültségek eredője a K kohéziós és az S súrlódási erő összege. Mivel a csúszólap törési felület, ott a Coulomb-féle törési feltétel teljesül, ebből adódik a K , ill. S erőre felírt összefüggés. A földnyomás irányát a falsúrlódás mértékét kifejező δ szög szabja meg, melyet a ϕ belső súrlódási szög felére, kétharmadára vehető fel.

E megoldás alapjait és a legegyszerűbb peremfeltételekre vonatkozó megoldását az előző fejezetben ismertettük. A valóságban a peremfeltételek általában bonyolultabbak, ezért Rankine és Coulomb végeredménye közvetlenül ritkán alkalmazható.

Az ékelméletet azonban továbbfejlesztették, bizonyos esetekre explicit megoldásokat adtak, a bonyolultabbakra pedig a módszer "próbálgatásos" szélsőérték kereséssel használható. A földnyomásokkal foglalkozó bőséges szakirodalomban megtalálható megoldások közül az alábbiakra hívjuk fel a figyelmet.

- a. Ferde és súrlódó fal, illetve ferde és megoszló terheléssel terhelt térszín gyakran fordul elő a gyakorlatban, s az is szokásos, hogy a háttöltés anyaga szemcsés talajból készül. Erre az esetre a fal normálisával δ szöget bezáró földnyomás nagyságát a

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot H^2 \cdot \rho \cdot g \cdot K_a + p \cdot H \cdot K_a$$

képlet adja, melyben a földnyomási szorzó:

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta - \phi)}{\sin^2 \beta \cdot \left[\sqrt{\sin(\beta + \delta)} + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \epsilon)}{\sin(\beta - \epsilon)}} \right]}$$

- b. Ugyanezen körülményekre, de kohéziós talajra Gross dolgozott ki megoldást, s azt a magyar szabvány is átvette. Coulomb nyomán vezette le a mértékadó csúszólap hajlásszögét és a földnyomás nagyságát adó képletet. Ezeket itt nem közöljük, a szakirodalomból vagy a szabványból kivehetők. Említeni kell ennek kapcsán, hogy Gross szerint a kohézió csak a Rankine (vagy Coulomb) esetben nem befolyásolja a csúszólap helyzetét, ezért nem teljesen korrekt az a szokásos közelítés, hogy a földnyomást a Rankine-képlettel, de az előbbi földnyomási szorzóval számítják.
- c. Teljesen általános körülményekre nincs explicit megoldás. Például a kohéziós talajokban lehetséges h_c mélységű függőleges berepedés és az abban kialakuló víznyomás, a felszíni parciális és koncentrált terhelés, esetleg áramlási nyomás, stb. működésekor egyedileg kell megkeresni a földnyomás szélső értékét. Fel kell venni több csúszólapot, szerkesztéssel meg kell határozni a különböző csúszólapokhoz tartozó földnyomást és az $E_a = f(\alpha)$ függvény képét előállítva kell meghatározni a legnagyobb aktív földnyomást.

Említést érdemel még, hogy a szakirodalomban (szabványokban) számos földnyomási táblázat található, melyek különböző peremfeltételekre adnak földnyomási szorzókat. A földnyomások problémakörének súlyos hiányossága a földnyomási erő támadáspontjának bizonytalansága. A földék egyensúlya ugyanis statikailag határozatlan feladat, mert a csúszólapon ébredő normálerők sokféle eloszlása mellett teljesülhet az egyensúly. Erre azonban nem sikerült még egzakt megoldást adni, ezért a földnyomás hatásvonalára különböző közelítésekkel élünk. Ilyenek lehetnek:

- Rankine-nyomások eloszlása alapján vesszük fel az ékelmélettel nyert erő hatásvonalát,
- a földnyomás különböző eredetű összetevőinek eloszlására tett feltevésekből számítjuk a támadáspont helyét,

- közelítésként, h_c berepedés esetén a fal alsó pontja feletti $h \approx \frac{(H - h_c)}{3}$ magasságban, terhelt felszín, kohézió és más bonyolult peremfeltételek esetén $h \approx \frac{H}{3}$ vesszük fel a támadáspontot.

6. A PASSZÍV FÖLDNYOMÁS MEGHATÁROZÁSA

A **passzív földnyomás** is számítható az *ékelmélet* alapján. (A csúszólapon a K és S erők ekkor értelemszerűen ellentett irányúak és a falsúrlódás is fordított irányban hat.) A vizsgálatok szerint azonban a legkisebb passzív földnyomást nem sík, hanem a fal alsó pontjából induló körből és ahhoz csatlakozó egyenesből álló összetett csúszólap esetén kapjuk. Vannak olyan földnyomási táblázatok is, melyek ilyen csúszólapal meg határozott szorzókat adnak, ill. ilyen csúszólapokkal próbálkozva lehet szerkesztéssel az előbbi c) pontban vázolt módon meghatározni a mértékadó értéket.

7. FELADATOK

FELADATOK - 3. LECKE 1. FELADATSOR

Többször megoldható feladat, **elvégzése kötelező.**

Oldja meg a következő feladatokat!

Az eredményeket százados pontossággal adja meg!

Ha egy 1,2 m magas függőleges fal a földtől távolodik, mekkora lesz a földnyomás (2 tizedesre kerekítve) a törési határállapotban, ha a talaj homok, térfogatsúlya 20 kN/m^3 , belső súrlódási szöge 30° ?

1. _____

kN/m

Ha egy 1,2 m magas függőleges fal a földtől távolodik, mekkora lesz a földnyomás (2 tizedesre kerekítve) a törési határállapotban, ha a talaj homok, térfogatsúlya 20 kN/m^3 , belső súrlódási szöge 35° ?

2. _____

kN/m

Ha egy 1,2 m magas függőleges fal a földtől távolodik, mekkora lesz a földnyomás (2 tizedesre kerekítve) a törési határállapotban, ha a talaj homok, térfogatsúlya 20 kN/m^3 , belső súrlódási szöge 40° ?

3. _____

kN/m

Ha egy 1,2 m magas függőleges fal a földtől távolodik, mekkora lesz a földnyomás (2 tizedesre kerekítve) a törési határállapotban, ha a talaj homok, térfogatsúlya 20 kN/m^3 , belső súrlódási szöge 45° ?

4.

kN/m

Ha egy 1,2 m magas függőleges fal a földtől távolodik, mekkora lesz a földnyomás (2 tizedesre kerekítve) a törési határállapotban, ha a talaj homok, térfogatsúlya 20 kN/m^3 , belső súrlódási szöge 50° ?

5.

kN/m



Többször megoldható feladat, elvégzése kötelező.

Oldja meg a következő feladatokat!

Az eredményeket százados pontossággal adja meg!

Ha egy 1,2 m magas függőleges fal a föld felé mozdul el, mekkora lesz a földnyomás (2 tizedesre kerekítve) a törési határállapotban, ha a talaj homok, térfogatsúlya 20 kN/m^3 , belső súrlódási szöge 30° ?

1.

kN/m

Ha egy 1,2 m magas függőleges fal a föld felé mozdul el, mekkora lesz a földnyomás (2 tizedesre kerekítve) a törési határállapotban, ha a talaj homok, térfogatsúlya 20 kN/m^3 , belső súrlódási szöge 35° ?

2.

kN/m

Ha egy 1,2 m magas függőleges fal a föld felé mozdul el, mekkora lesz a földnyomás (2 tizedesre kerekítve) a törési határállapotban, ha a talaj homok, térfogatsúlya 20 kN/m^3 , belső súrlódási szöge 40° ?

3.

kN/m

Ha egy 1,2 m magas függőleges fal a föld felé mozdul el, mekkora lesz a földnyomás (2 tizedesre kerekítve) a törési határállapotban, ha a talaj homok, térfogatsúlya 20 kN/m^3 , belső súrlódási szöge 45° ?

4.

kN/m

Ha egy 1,2 m magas függőleges fal a föld felé mozdul el, mekkora lesz a földnyomás (2 tizedesre kerekítve) a törési határállapotban, ha a talaj homok, térfogatsúlya 20 kN/m^3 , belső súrlódási szöge 50° ?

5.

kN/m

FELADATOK - 3. LECKE 3. FELADATSOR



Többször megoldható feladat, elvégzése kötelező.

Oldja meg a következő feladatokat!

Az eredményeket százados pontossággal adja meg!

Ha egy 1,5 m magas függőleges fal a földtől távolodik, mekkora lesz a földnyomás szorzója (2 tizedesre kerekítve) a törési határállapotban, ha a talaj agyag, térfogatsúlya 19 kN/m^3 , belső súrlódási szöge 6° ?

1.



Ha egy 1,4 m magas függőleges fal a földtől távolodik, mekkora lesz a földnyomás szorzója (2 tizedesre kerekítve) a törési határállapotban, ha a talaj agyag, térfogatsúlya 20 kN/m^3 , belső súrlódási szöge 8° ?

2.



Ha egy 1,3 m magas függőleges fal a földtől távolodik, mekkora lesz a földnyomás szorzója (2 tizedesre kerekítve) a törési határállapotban, ha a talaj agyag, térfogatsúlya 20 kN/m^3 , belső súrlódási szöge 10° ?

3.



Ha egy 1,2 m magas függőleges fal a földtől távolodik, mekkora lesz a földnyomás szorzója (2 tizedesre kerekítve) a törési határállapotban, ha a talaj agyag, térfogatsúlya 21 kN/m^3 , belső súrlódási szöge 13° ?

4.



Ha egy 1,1 m magas függőleges fal a földtől távolodik, mekkora lesz a földnyomás szorzója (2 tizedesre kerekítve) a törési határállapotban, ha a talaj agyag, térfogatsúlya 21 kN/m^3 , belső súrlódási szöge 16° ?

5.



Ha egy 1,5 m magas függőleges fal a föld felé mozdul el, mekkora lesz a földnyomás szorzója (2 tizedesre kerekítve) a törési határállapotban, ha a talaj agyag, térfogatsúlya 19 kN/m^3 , belső súrlódási szöge 6° ?

6.



Ha egy 1,4 m magas függőleges fal a föld felé mozdul el, mekkora lesz a földnyomás szorzója (2 tizedesre kerekítve) a törési határállapotban, ha a talaj agyag, térfogatsúlya 20 kN/m^3 , belső súrlódási szöge 8° ?

7.



Ha egy 1,3 m magas függőleges fal a föld felé mozdul el, mekkora lesz a földnyomás szorzója (2 tizedesre kerekítve) a törési határállapotban, ha a talaj agyag, térfogatsúlya 20 kN/m^3 , belső súrlódási szöge 10° ?

8.



Ha egy 1,2 m magas függőleges fal a föld felé mozdul el, mekkora lesz a földnyomás szorzója (2 tizedesre kerekítve) a törési határállapotban, ha a talaj agyag, térfogatsúlya 21 kN/m^3 , belső súrlódási szöge 13° ?

9.



Ha egy 1,1 m magas függőleges fal a föld felé mozdul el, mekkora lesz a földnyomás szorzója (2 tizedesre kerekítve) a törési határállapotban, ha a talaj agyag, térfogatsúlya 21 kN/m^3 , belső súrlódási szöge 16° ?

10.

Többször megoldható feladat, **elvégzése kötelező.**

Oldja meg a következő feladatokat!

Az eredményeket egészre kerekítve, tizedesek nélkül adja meg, centiméterben!



Hány cm magas (egész számra kerekítve) függőleges földfal áll meg megtámasztás nélkül, ha a talaj kohéziója 80 kN/m^2 , belső súrlódási szöge 5° , térfogatsúlya 20 kN/m^3 ?

1.

cm



Hány cm magas (egész számra kerekítve) függőleges földfal áll meg megtámasztás nélkül, ha a talaj kohéziója 60 kN/m^2 , belső súrlódási szöge 8° , térfogatsúlya 20 kN/m^3 ?

2.

cm



Hány cm magas (egész számra kerekítve) függőleges földfal áll meg megtámasztás nélkül, ha a talaj kohéziója 30 kN/m^2 , belső súrlódási szöge 10° , térfogatsúlya 20 kN/m^3 ?

3.

cm



Hány cm magas (egész számra kerekítve) függőleges földfal áll meg megtámasztás nélkül, ha a talaj kohéziója 10 kN/m^2 , belső súrlódási szöge 20° , térfogatsúlya 20 kN/m^3 ?

4.

cm



Hány cm magas (egész számra kerekítve) függőleges földfal áll meg megtámasztás nélkül, ha a talaj kohéziója 1 kN/m^2 , belső súrlódási szöge 50° , térfogatsúlya 20 kN/m^3 ?

5.

cm



Többször megoldható feladat, **elvégzése kötelező.**

Oldja meg a következő feladatokat!



Egészítse ki a következő mondatot!

Coulomb „ékelmélete” alapján a földnyomás támadáspontját a _____ alakú feszültségeloszlás alakú feszültségeloszlás _____, azaz a magasság harmadában vehetjük fel.



Egészítse ki következő mondatot a hiányzó szavakkal!

A _____ csúszólap olyan helyzetű, hogy éppen felezi a _____ a térszín, a Φ hajlású _____ és az azzal Ψ szöget bezáró úgynevezett _____ által határolt ABCD négyszög területét.



Mit takar a következő mondat?

8. A mértékadó csúszólap olyan helyzetű, hogy éppen felezi a támfal hátlap, a térszín, a Φ hajlású természetes rézsú és az azzal Ψ szöget bezáró úgynevezett irányító.

Rankine-tétel

Poncelet-elmélet

Rebhann-tétel

Coulomb-elmélet

Rephan-tétel

9. Melyik állítás igaz?

$E_a < E_0 < E_p$

$E_a > E_0 > E_p$



Döntse el, hogy az alábbi állítás igaz vagy hamis!?

10. A falsúrlódás hatása a földtömegnek csak a falhoz közel eső részében érvényesülhet, ebben a tartományban a súrlódás következtében a csúszófelületek elgörbülnek.

I	H

BIBLIOGRÁFIA:

[i] Forrás: www.limitstate.com

[ii] Forrás: www-limitstate.com

[iii] Kézdi: Talajmechanika