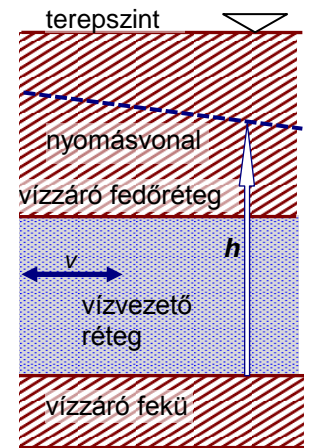


2. MUNKATÉR VÍZTELENÍTÉSE

2.1. Hidraulikai háttér

2.1.1. Alapfogalmak

Ha egy rétegben vagy azon keresztül vízáramlás nincs, vagy elhanyagolhatóan kicsiny a szomszédos réteghez képest, a réteget vízzárónak, míg a szomszédos réteget vízvezetőnek tekintjük. A vízvezető réteg szivárgási tényezője a vízzárónál nagyságrendekkel nagyobb, $k_{\text{vízvezető}} \gg k_{\text{vízzáró}}$. Ha egy vízvezető réteget alul vízzáró fekszik, felül vízzáró fedőréteg határol és a vízvezető rétegben kialakuló piezometrikus nyomásszintek magasabbak a fedőréteg alsó síkjánál, a réteg nyomás alatti. A nyomásszintet a feksző felső síkjától mérhetjük, melyet a 2.1. ábra is mutat. Ha a rétegződés a vízszintestől jelentősen nem tér el, az áramlás is közel vízszintesnek tekinthető.

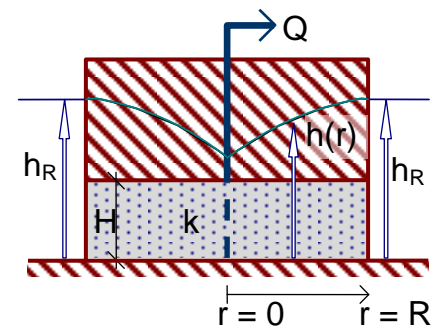


2.1. ábra: Nyomás alatti réteg

2.1.2. Magányos kút nyomás alatti talajvíztérben

Hidraulika I. (HEFOP 40. oldal) alapján meghatározható egy nyomás alatti (artézi) kút Q vízszállítása, ha ismert az eredeti, víztermelés nélküli nyomásszint h_R és a nyomásszint a kútpaláston, $h(r=r_k)$. Tekintsük most ismertnek a kút hozamát, és változónak az $r = R$ távolság és a kútpalást közötti szakaszon a $h(r)$ nyomásszintet! Ekkor a 2.2. ábra nyomán a nyomásszint és a sebesség r sugár irányú változása az alábbi:

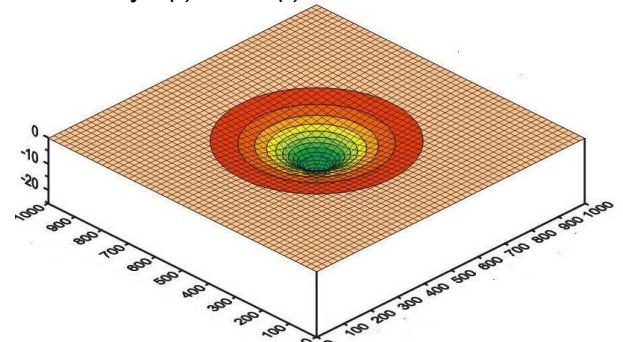
$$h(r) = \frac{Q}{2\pi kH} \ln\left(\frac{r}{R}\right) + h_R, \quad v(r) = -\frac{Q}{2\pi rH} \quad (2.1)$$



2.2. ábra: Kút nyomás alatti rétegben

Megjegyzések:

- A (2.1) alapján látható, hogy a nyomásszint a kút körüli koncentrikus körök mentén állandó (ekvipotenciális vonal), a sebességek erre merőlegesek, azaz sugár irányúak (2.3. ábra).
- Kutakat a nyomásszint helyett gyakran jellemzik azok leszívásával, mely $s(r) = h_R - h(r)$.
- A logaritmus összefüggés miatt a (2.1) az $r = 0$ helyen (kúttengely) szinguláris, az áramlás nem folytonos. Amennyiben ezen pont nyomásszintjére (mely matematikailag mínusz végtelen) valamely okból szükség lehet, a kúttengelyt a kútpalást egy pontjával lehet helyettesíteni, melyet a *Hidraulika I.* levezetése is alkalmazott.
- A távolság *Sichardt* tapasztalati összefüggésével becsülhető: $R[m] = 3000 \cdot s[m] \cdot \sqrt{k[m/s]}$, mely csak a megadott mértékegységekkel alkalmazható.



2.3. ábra: Leszívási tölcser

2.1.3. Kútcsoportok vizsgálata

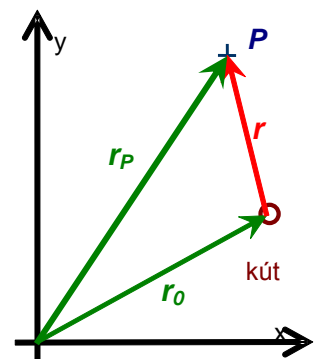
Az előző pont kútkeplete egyetlen, pontszerű vízkivételt vesz figyelembe, mely az origóban (polárkoordinátákkal $r_0 = \mathbf{0}$ helyen) található. Ha a kút nem az origóban van, hanem a 2.4. ábra szerinti $r_0(x_0, y_0)$ helyen, az ábrán megadott $P(x_p, y_p)$ pont kúttól mért r távolsága:

$$r = |\vec{r}_p - \vec{r}_0| = \sqrt{(x_p - x_0)^2 + (y_p - y_0)^2} \quad (2.2)$$

A nyomásszint és a sebességkomponensek az 2.4. ábra szerinti P pontban így az alábbiak lesznek:

$$h(x_p, y_p) = \frac{Q}{2\pi kH} \ln\left(\frac{r}{R}\right) + h_R, \quad (2.3)$$

$$v_x(x_p, y_p) = -\frac{Q}{2\pi H} \frac{x_p - x_0}{r^2}, \quad v_y(x_p, y_p) = -\frac{Q}{2\pi H} \frac{y_p - y_0}{r^2}$$



2.4. ábra: Helyvektorok

Ha a vizsgált területen több kút működök, kútcsoport leszívása az egyedi kutak s_j leszívásainak összege lesz. Ha a kútcsoport M tagból áll, az (x_i, y_i) helyen a leszívás az alábbi lesz:

$$s(x_i, y_i) = \sum_{j=1}^M s_j(x_i, y_i) \quad (2.4)$$

Ha fentieket az 2.5. ábra szerinti két kút esetére alkalmazzuk, akkor az r_1 helyen levő, Q_1 hozamú, R_1 távolhatású kút leszívása a $P(x_p, y_p)$ pontban a leszívás:

$$s_1(x_p, y_p) = h_R - h_1(x_p, y_p) = \frac{Q_1(\ln R_1 - \ln r_1)}{2\pi kH} \quad (2.5)$$

Hasonlóan, az r_2 helyen levő, Q_2 , R_2 adatokkal jellemezhető kút esetén:

$$s_2(x_p, y_p) = h_R - h_2(x_p, y_p) = \frac{Q_2(\ln R_2 - \ln r_2)}{2\pi kH} \quad (2.6)$$

Itt az r_1 és r_2 távolságok a $P(x_p, y_p)$ pont **1.** illetve **2.** kúttól mért távolságai, melyek az (2.2) segítségével meghatározhatók. Mindezek alapján a teljes leszívás

$$s(x_p, y_p) = s_1(x_p, y_p) + s_2(x_p, y_p) = \frac{Q_1(\ln R_1 - \ln r_1)}{2\pi kH} + \frac{Q_2(\ln R_2 - \ln r_2)}{2\pi kH} \quad (2.7)$$

Általánosítva, ha a kútcsoport M tagból áll, akkor az egyes kutak együttes hatása az alábbi:

$$s(x_p, y_p) = \sum_{j=1}^M [h_R - h_j(x_p, y_p)] = \sum_{j=1}^M \left[\frac{Q_j(\ln R_j - \ln r_j)}{2\pi kH} \right] = \frac{1}{2\pi kH} \left[\sum_{j=1}^M Q_j \ln R_j - \sum_{j=1}^M Q_j \ln r_j \right] \quad (2.8)$$

Amennyiben a kutak hozama azonos ($Q_j = Q$, $j = 1..M$), a távolhatásuk pedig megegyező ($R_j = R$, $j = 1..M$), a (2.8) az alábbi alakot ölti:

$$s(x_p, y_p) = \frac{Q}{2\pi kH} \left(M \ln R - \sum_{j=1}^M \ln r_j \right) \quad (2.9)$$

A leszívás mellett az áramlás másik fontos jellemzője a sebesség. A szuperpozíció elve szerint az áramlási tér egy adott pontjában kialakuló sebesség az egyedi kutak sebességeinek vektoriális összege. Így az 2.6. ábra $P(x_p, y_p)$ pontjában kialakuló sebesség az 1. és 2. jelű kutak által kialakított sebességek eredője:

$$\vec{v}_p = \vec{v}_{1p} + \vec{v}_{2p} = -\frac{Q_1}{2\pi H} \frac{1}{\vec{r}_1} - \frac{Q_2}{2\pi H} \frac{1}{\vec{r}_2} \quad (2.10)$$

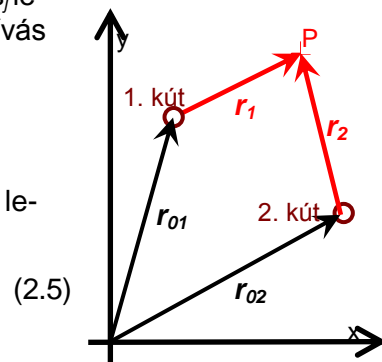
illetve az x és y irányú sebességkomponensek:

$$v_x(x_p, y_p) = v_{1x}(x_p, y_p) + v_{2x}(x_p, y_p) = -\frac{Q_1}{2\pi H} \frac{x_p - x_{01}}{r_1^2} - \frac{Q_2}{2\pi H} \frac{x_p - x_{02}}{r_2^2}, \quad (2.11)$$

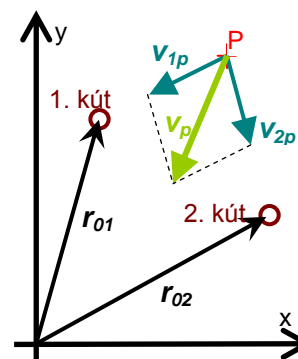
$$v_y(x_p, y_p) = v_{1y}(x_p, y_p) + v_{2y}(x_p, y_p) = -\frac{Q_1}{2\pi H} \frac{y_p - y_{01}}{r_1^2} - \frac{Q_2}{2\pi H} \frac{y_p - y_{02}}{r_2^2}$$

ahol r_i az (2.2) szerint az egyes kutaktól mért távolság. Általános alakban a sebesség így:

$$v_x(x_p, y_p) = \sum_{j=1}^M v_{jx}(x_p, y_p) \quad \text{és} \quad v_y(x_p, y_p) = \sum_{j=1}^M v_{jy}(x_p, y_p) \quad (2.12)$$



2.5. ábra: Távolság a kutaktól



2.6. ábra: Sebességek

2.2. Mintafeladat

2.2.1. A feladat

$H = 10\text{ m}$ vastag vízvezető réteg felett $m = 10\text{ m}$ fedő helyezkedik el. A vízvezető réteg szivárgási együtthatója $k = 25\text{ m/d}$, a nyomásvonal a felszín alatt $d = 3\text{ m}$ -re húzódik. A fedő nedves térfogatsúlya $\gamma_f = 21\text{ kN/m}^3$. A területen kelet-nyugati irányban $2a = 20\text{ m}$ hosszú és észak-déli irányban $2b = 16\text{ m}$ széles téglalap alakú munkateret kell kialakítani $m_G = 7\text{ m}$ mélységgel (2.7. ábra). A gödör víztelenítéséhez 4 kutat alkalmaznak, melyek sugara $r_k = 10\text{ cm}$. A kutak a gödör oldalfelezőiben, a gödörtől $e = 2\text{ m}$ -re találhatók (2.9. ábra). Üzemelésük esetén a nyomásvonal a gödör középpontjában a fenékszint alatt $c = 50\text{ cm}$ -re kerül.

- Igazolja, hogy szükség van víztelenítésre!
- Határozza meg a kutak szükséges Q hozamát!
- Határozza meg az egyes kutak vízszintjeit a feké fölé!
- Rajzolja meg a gödör két tengelye mentén a nyomáseloszlást!

2.2.2. Megoldás:

A./ Látszólag szükségtelen a víztelenítés, mert a gödör teljes egészében a vízzáró rétegben van. Viszont a gödör helyén a fedő vékonyabb lesz. Ezen elvékonyított fedő G súlya áll ellen az 2.8. ábra szerint a fedő alsó síkjára ható víznyomásnak. A fedő súlya:

$$G = (2a \cdot 2b)(m - m_g)\gamma_f = 20 \cdot 16 \cdot (10 - 7) \cdot 21 = 20160\text{ kN}$$

Nyugalmi nyomásszint a feké fölött

$$h_R = m + H - d = 10 + 10 - 3 = 17\text{ m},$$

így a fedő alsó síkjára ható felhajtóerő:

$$F_f = (2a \cdot 2b)(h_R - H)\gamma = 20 \cdot 16 \cdot (17 - 10) \cdot 10 = 22400\text{ kN}$$

Mivel $F_f > G$, a fedő a gödör alatt felszakadhat, ezért víztelenítés valóban szükséges.

B./ A további számításokhoz helyezzük az észak felé mutató pozitív y és kelet felé mutató x tengelyű koordináta-rendszerének origóját a gödör középpontjába! Ekkor a négy kút helye a 2.9. ábra alapján az alábbi lesz:

északi: $x_E = 0$

$$y_E = b + e = 8 + 2 = 10\text{ m}$$

keleti: $x_K = a + e = 10 + 2 = 12\text{ m}$

$$y_K = 0$$

déli: $x_D = 0$

$$y_D = -(b + e) = -(8 + 2) = -10\text{ m}$$

nyugati: $x_{NY} = -(a + e) = -(10 + 2) = -12\text{ m},$

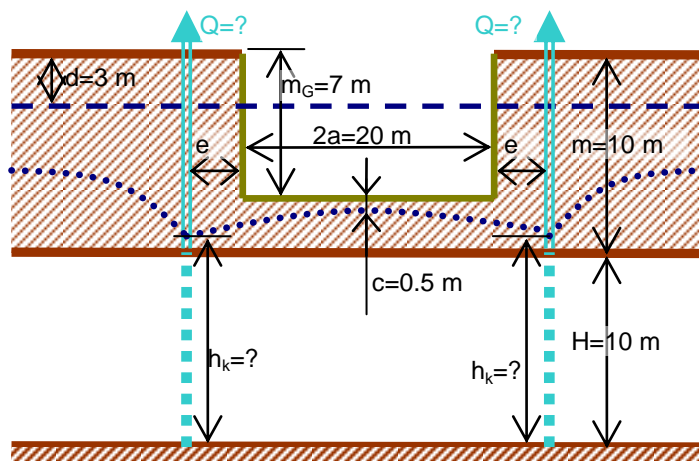
$$y_{NY} = 0$$

A megengedhető legmagasabb nyomásszint a gödör középpontjában (2.10. ábra), azaz az origóban lesz:

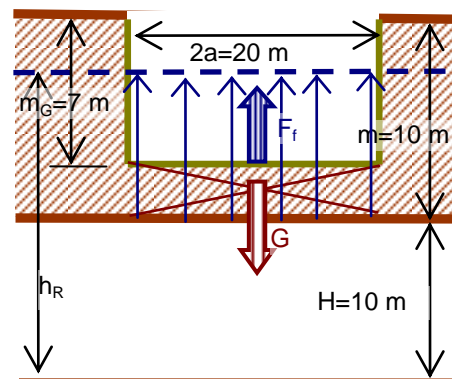
$$h_G = m + H - m_g - c = 10 + 10 - 7 - 0.5 = 12.5\text{ m}$$

Ez a négy, azonos hozamú kút által kialakított szint, mely a (2.9) nyomán az alábbi:

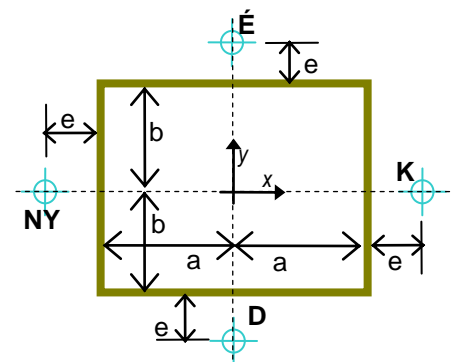
$$h_G = h(0,0) = \frac{Q}{2\pi kH} \left[4 \ln R - \sum_{i=1}^4 \ln r_i \right] + h_R$$



2.7. ábra: Víztelenítési feladat



2.8. ábra: Nyomásviszonyok a gödör alján, K- NY szelvény



2.9. ábra: A koordináta-rendszer

Mivel h_G -t a középpontban definiáltuk, az északi és déli kutak távolsága a kutak y koordinátájának abszolút értéke, a keleti és nyugati kutak távolsága a kutak x koordinátájának abszolút értéke lesz, így.

az északi és déli : $r_{\dot{E}} = r_D = b + e = 8 + 2 = 10 \text{ m}$,

a keleti és nyugati $r_K = r_{NY} = a + e = 10 + 2 = 12 \text{ m}$.

A távolhatás **SICHARDT** összefüggésével $R[m] = 3000 \cdot s[m] \cdot \sqrt{k[m/s]}$

számítható. Becsüljük a leszívást az eredeti nyomásszint és a gödör közepén megengedhető legmagasabb szint különbségeként:

$s = h_R - h_G = 17 - 12.5 = 4.5 \text{ m}$. Ekkor a távolhatás

$$R = 3000 \cdot 4.5 \cdot \sqrt{\frac{25}{24 \cdot 60 \cdot 60}} = 229.6 \text{ m}.$$

Így a hozam: $12.5 = \frac{Q}{2\pi \cdot 25 \cdot 10} (4 \ln 229.6 - 2 \ln 12 - 2 \ln 10) + 17$, melyből

$$Q = -580.8 \text{ m}^3/d = 6.7 \text{ l/s}.$$

c./ A kutak szintjéhez a szimmetria miatt elegendő egy keleti vagy nyugati és egy északi vagy déli kút vizsgálata. A 2.1.2. pont megfontolásai alapján a kutak palástján jelölünk ki egy pontokat a számításhoz! Így először a nyugati kút palástján, a nyugat-keleti kutak közötti tengelyen levő pont nyomásszintjét határozzuk meg. A vizsgált pont távolsága az egyes kutaktól a (2.2) definíció nélkül, szemlélettel is egyszerűen meghatározható, a (2.11. ábra) alapján:

$$r_{NY} = r_k = 0.1 \text{ m}$$

$$r_{\dot{E}} = \sqrt{(b+e)^2 + (a+e-r_k)^2} = \sqrt{10^2 + 11.9^2} = 15.5 \text{ m}$$

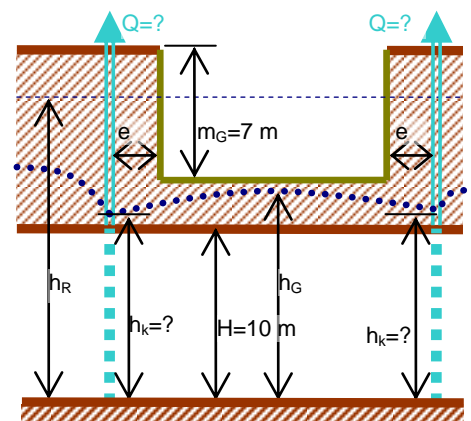
$$r_K = 2a + 2e - r_k = 2 \cdot 10 + 2 \cdot 2 - 0.1 = 23.9 \text{ m}$$

$$r_D = r_{\dot{E}} = 15.5 \text{ m} \text{ (szimmetria miatt)}$$

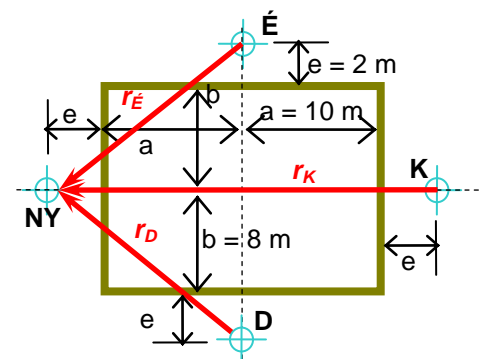
Így a szint a keleti és nyugati kutaknál:

$$h_{NY} = h_K = \frac{Q}{2\pi kH} \left[4 \ln R - \sum_{i=1}^{i=4} (\ln r_i) \right] + h_R =$$

$$= \frac{-580.8}{2\pi \cdot 25 \cdot 10} (4 \ln 229.6 - \ln 0.1 - 2 \ln 15.5 - \ln 23.9) + 17 = 11.31 \text{ m}$$



2.10. ábra: Magasságok, szintek



2.11. ábra: Távolság a nyugati kútpalástig

Ezután az északi kút vizsgáljuk! A kút palástján, az észak-déli kutak közötti tengelyen levő pont nyomásszintjét határozzuk meg. A vizsgált pont távolsága az egyes kutaktól a 2.11. ábra segítségével:

$$r_{\dot{E}} = r_k = 0.1 \text{ m}$$

$$r_K = \sqrt{(a+e)^2 + (b+e-r_k)^2} = \sqrt{12^2 + 9.9^2} = 15.6 \text{ m}$$

$$r_D = 2b + 2e - r_k = 2 \cdot 10 + 2 \cdot 2 - 0.1 = 19.9 \text{ m}$$

$$r_{NY} = r_k = 15.6 \text{ m} \text{ (szimmetria miatt)}$$

Így az északi és déli kutaknál:

$$h_{NY} = h_K = \frac{Q}{2\pi kH} \left[4 \ln R - \sum_{i=1}^{i=4} (\ln r_i) \right] + h_R =$$

$$= \frac{-580.8}{2\pi \cdot 25 \cdot 10} (4 \ln 229.6 - \ln 0.1 - 2 \ln 15.6 - \ln 19.9) + 17 = 11.24 \text{ m}$$

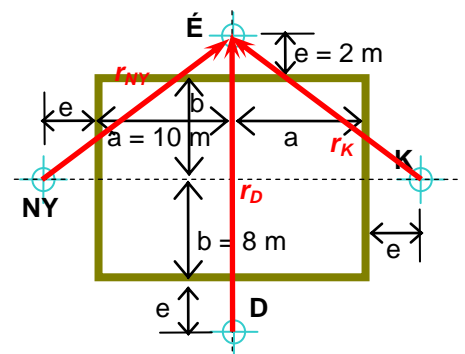
A viszonylag kis eltérés a négyzethez közeli alak miatt indokolt.

d./ A nyugat-keleti tengely mentén a nyomásszint hossz menti változása $h(x, y=0)$ a következő:

$$h(x, y=0) = \frac{Q}{2\pi kH} [4 \ln R - \ln(r_{NY}) - \ln(r_{\dot{E}}) - \ln(r_K) - \ln(r_D)] + h_R =$$

$$= \frac{-580.8}{2\pi \cdot 25 \cdot 10} [4 \ln 229.6 - \ln(r_{NY}) - \ln(r_{\dot{E}}) - \ln(r_K) - \ln(r_D)] + 17$$

ahol az egyes sugarakhoz a vizsgált, 2.13. ábrán kékkel jelölt pont koordinátái: $(x, 0)$, így a sugarak a (2.2) alapján



2.12. ábra: Távolság az északi kútpalástig

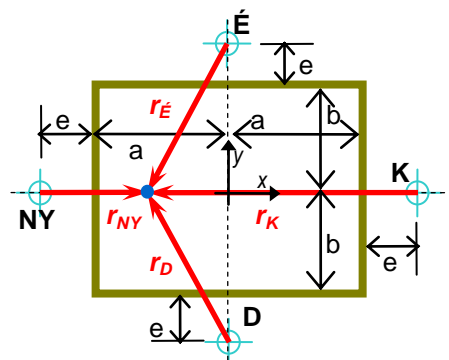
$$r_{NY} = \sqrt{\{x - [-(a+e)]\}^2 + (0-0)^2} = abs(x+a+e)$$

$$r_{\dot{E}} = \sqrt{x^2 + (b+e)^2}$$

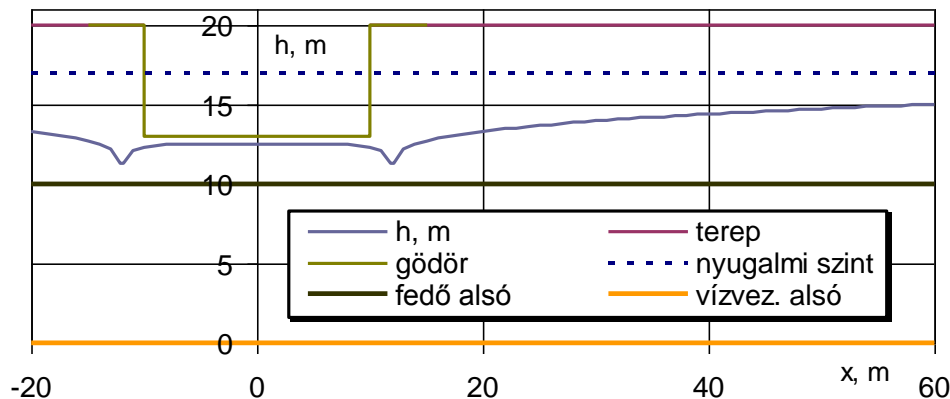
$$r_K = \sqrt{\{x - (a+e)\}^2 + (0-0)^2} = abs(x-a-e)$$

$$r_D = r_{\dot{E}} \text{ (szimmetria miatt)}$$

A gödör NY-K metszetét az 2.14. ábra mutatja.



2.13. ábra: Távolságok az x tengely mentén levő pontig



2.14. ábra: A gödör környezetének NY-K irányú metszete

A dél-észak tengely mentén a nyomásszint hossz menti változása $h(x=0,y)$ hasonlóan az előzőhöz:

$$h(x=0,y) = \frac{Q}{2\pi kH} [4 \ln R - \ln(r_{NY}) - \ln(r_{\dot{E}}) - \ln(r_K) - \ln(r_D)] + h_R =$$

$$= \frac{-580.8}{2\pi \cdot 25 \cdot 10} [4 \ln 229.6 - \ln(r_{NY}) - \ln(r_{\dot{E}}) - \ln(r_K) - \ln(r_D)] + 17$$

ahol az egyes sugarakhoz a vizsgált, 2.15. ábra kékkel jelölt pontjának koordinátái: $(0, y)$, így a sugarak a (2.2) alapján

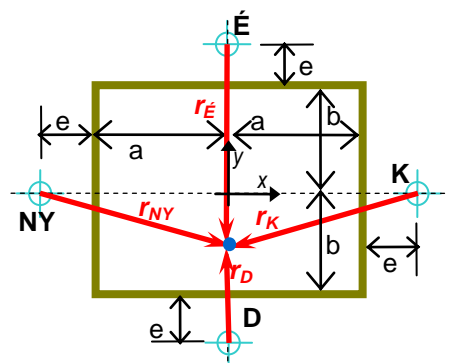
$$r_{NY} = \sqrt{(a+e)^2 + y^2}$$

$$r_{\dot{E}} = \sqrt{(0-0)^2 + [y - (b+e)]^2} = abs(y-b-e)$$

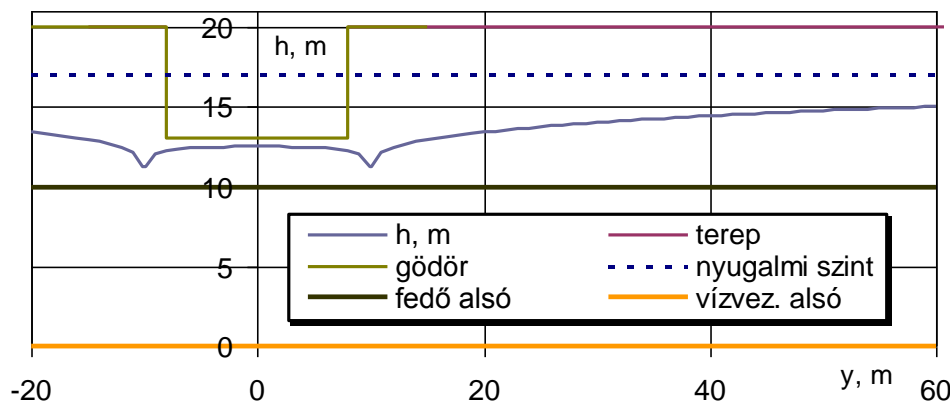
$$r_K = r_{NY} \text{ (szimmetria miatt)}$$

$$r_D = \sqrt{(0-0)^2 + \{y - [-(y+e)]\}^2} = abs(y+b+e)$$

A gödör NY-K metszetét az 2.16. ábra mutatja.



2.15. ábra: Távolságok az y tengelyen levő pontig



2.16. ábra: A gödör környezetének D-\dot{E} irányú metszete