

Hidraulikus Rétegrepezés Optimalizálása

Dr. Jobbik Anita

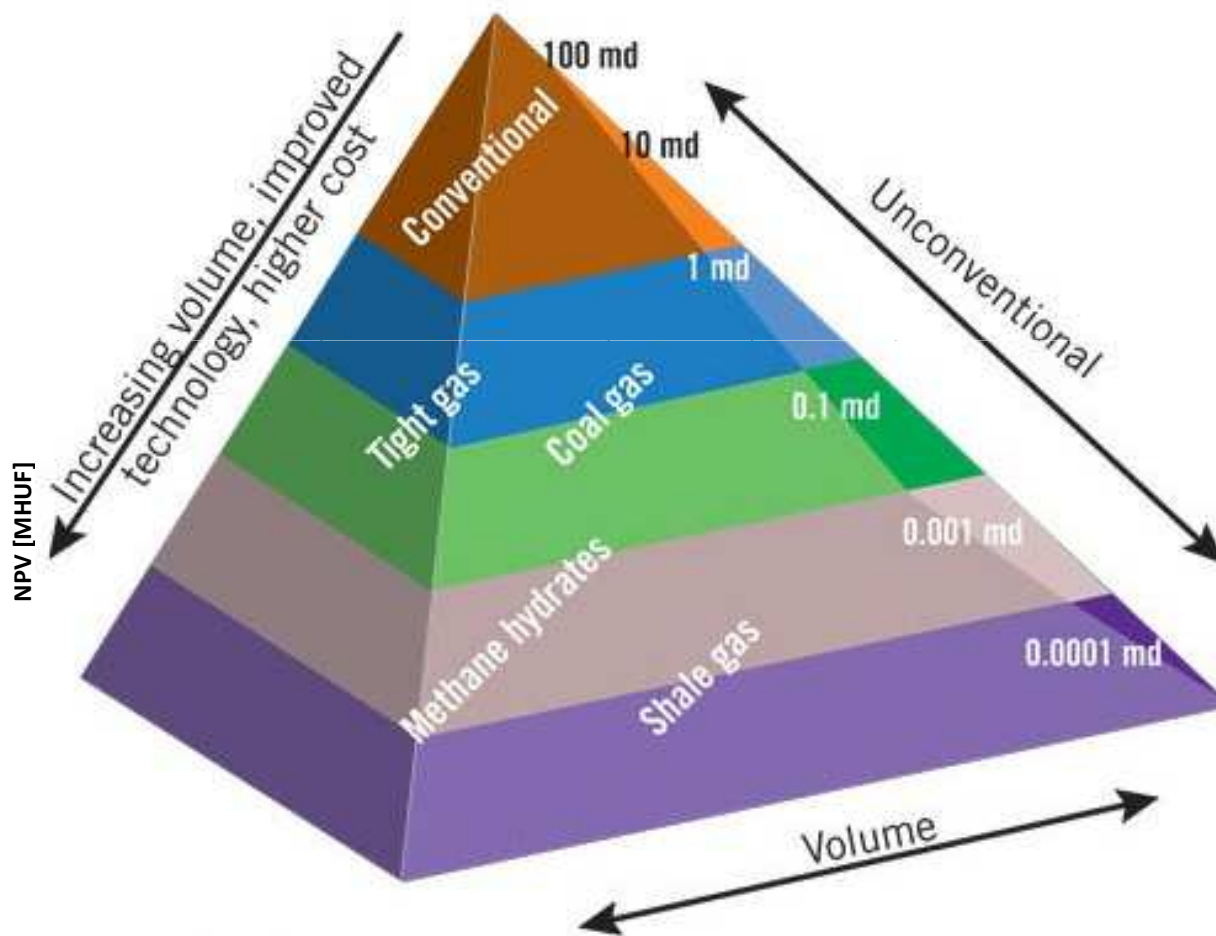
Miskolci Egyetem Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet
MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport

Lengyel Tamás, Pusztai Patrik

Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar



➤ Nem konvencionális szénhidrogének, áteresztőképesség

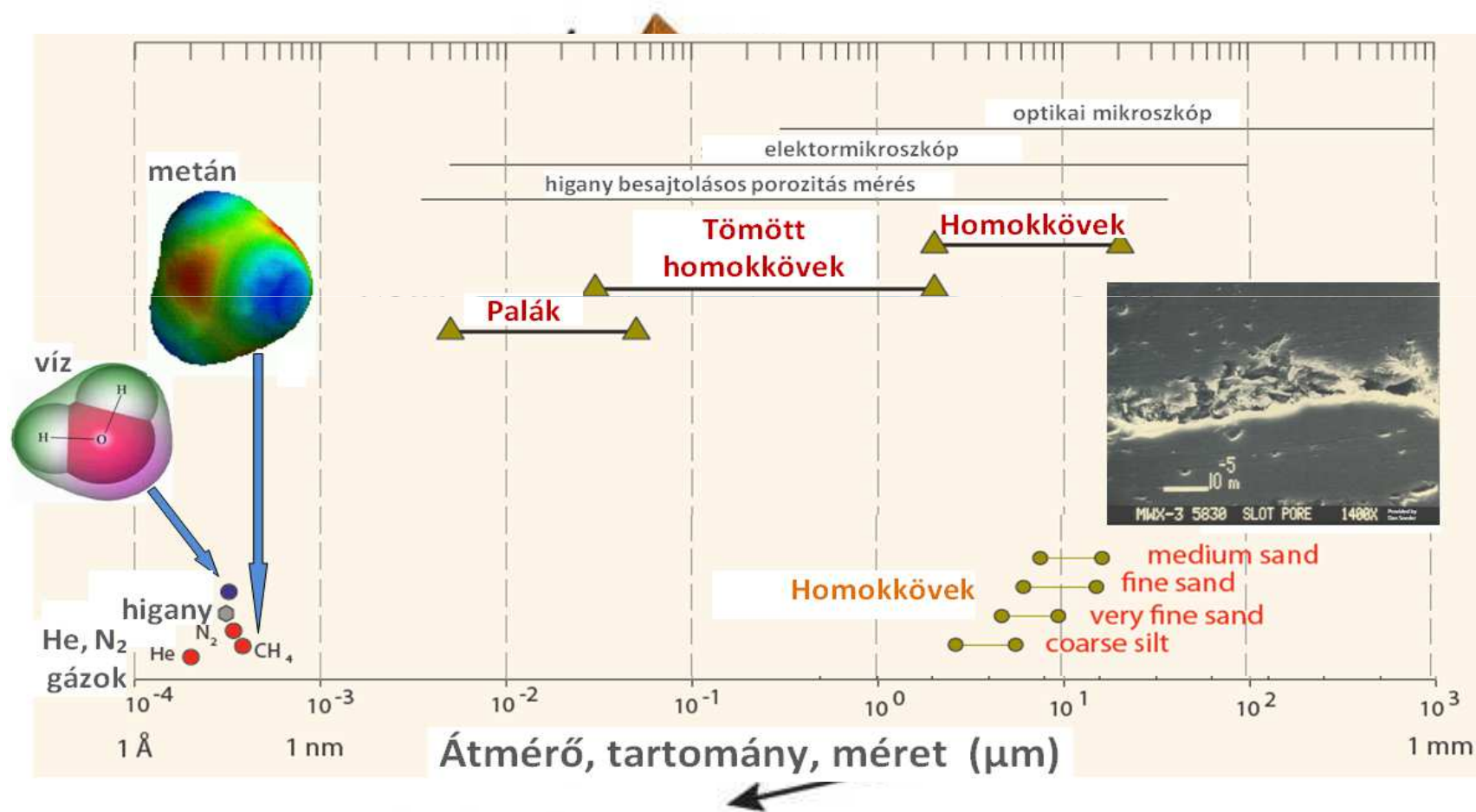


4.ábra: Repedés geometria

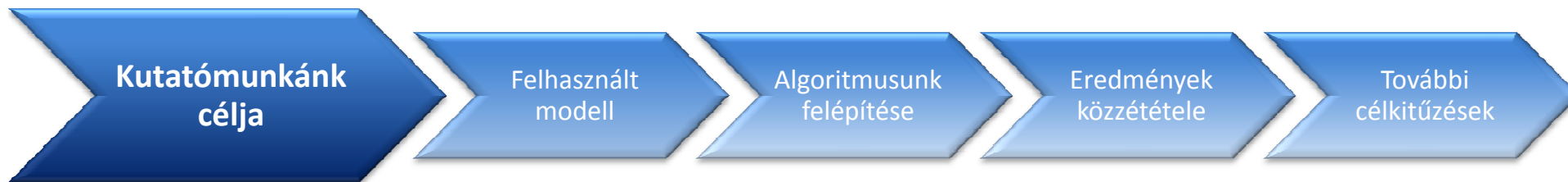
1.ábra: Nem-konvencionális tároló típusok



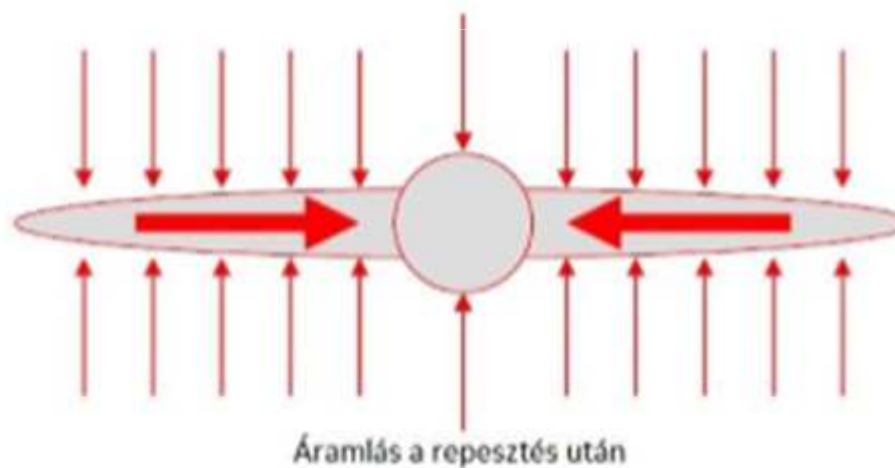
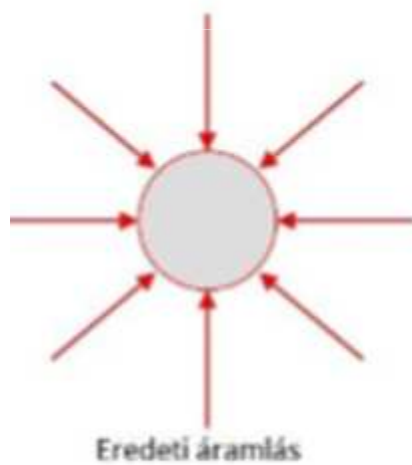
➤ Nem konvencionális szénhidrogének, átteresztőképesség



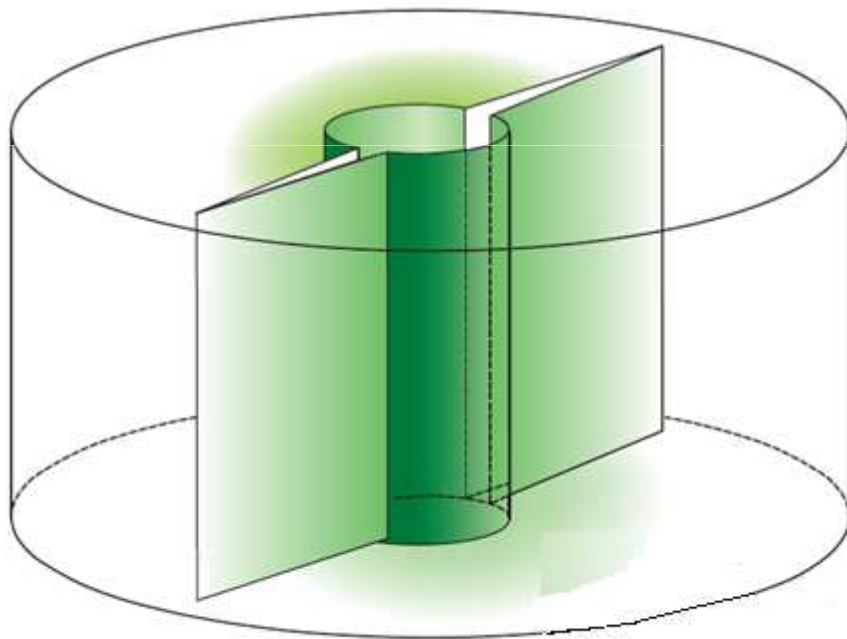
2.ábra: Permeabilitás eloszlások



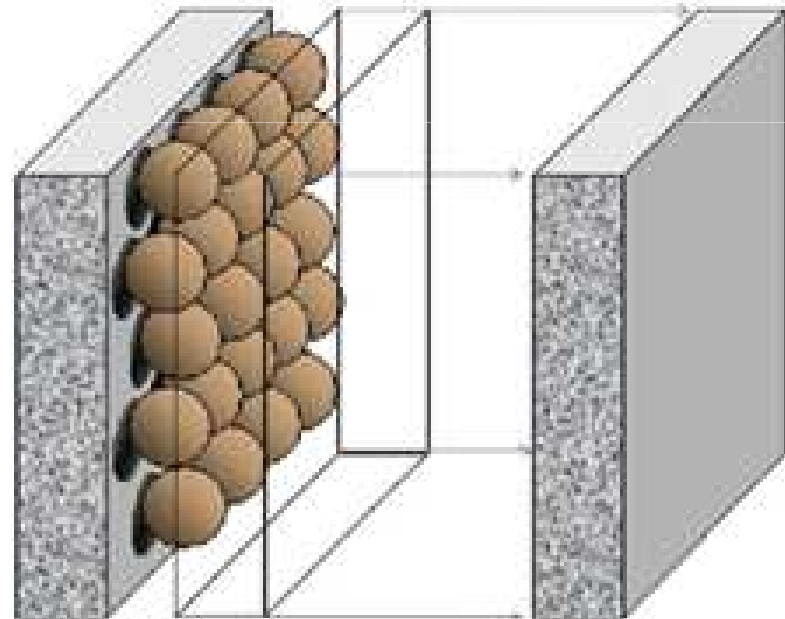
➤ Hidraulikus rétegrepesztés és jelentősége



3.ábra: A kúthoz történő áramlási rendszer változása



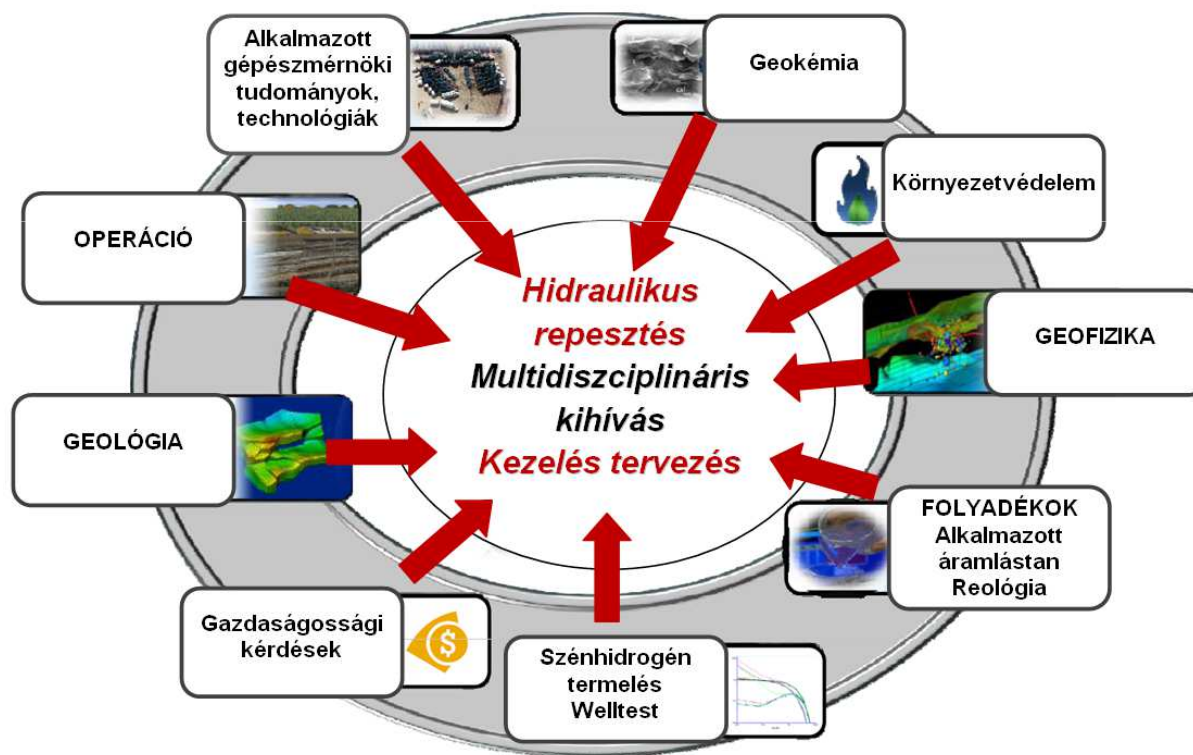
4.ábra: Repedés geometria



5.ábra: Proppant repedés kitámasztása



➤ Hidraulikus rétegrepezítés és jelentősége



6.ábra: Több tudományterület összedolgozása



➤ Hidraulikus rétegrepszítés és jelentősége



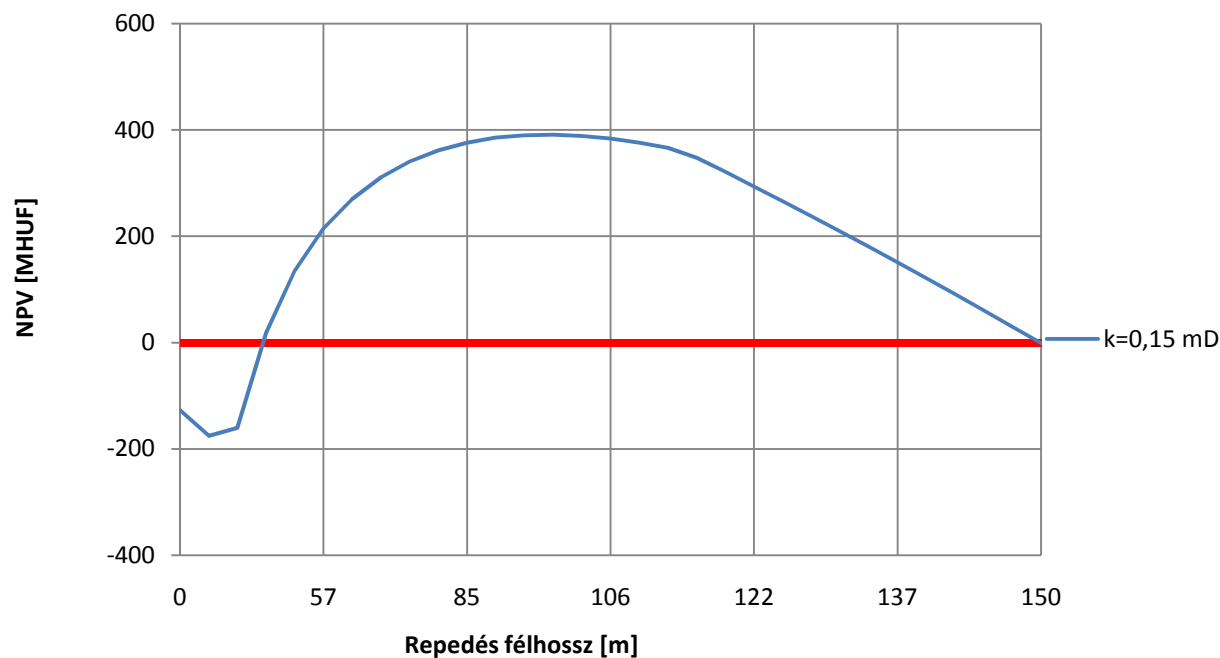
7.ábra: Rétegrepszítési művelet



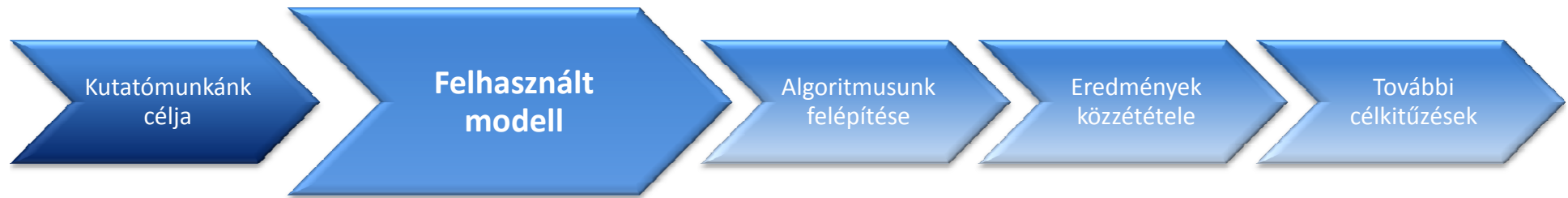
➤Cél: Olyan több lépcsős algoritmus kidolgozása, mely a bemenő paraméterek alapján megadja az adott tárolóra a legoptimálisabb repedés tulajdonságokat gazdasági szempontokra vonatkoztatva

Az eljárás nettó jelenértéke

(16/30-as bauxit proppant esetén)



8.ábra: NPV alakulása (saját készítésű ábra)



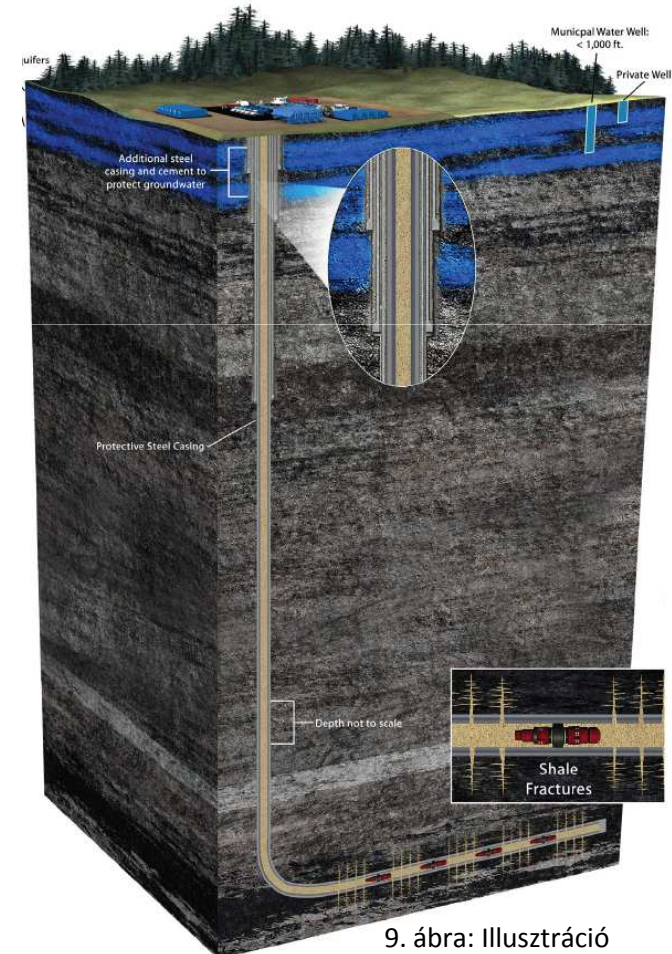
A modell alapadatai, magyarországi referencia

A vizsgált reservoir:

- 3500-4000 m mélyen, rétegvastagság 65 m
- Tömött (tight) homokkő; ~0,15 mD permeabilitás; ~8%-os porozitás
- Erősen túlnyomásos: 500-600 bar; $T \sim 200$ °C
- Nyomás, hőmérséklet, porozitás, permeabilitás homogén eloszlású
- A kút beáramlási területe 650 m oldalhosszúságú négyzet
- GIIP = $24 * 10^9$ nm³ P50 valószínűség mellett

A kút paramétereai:

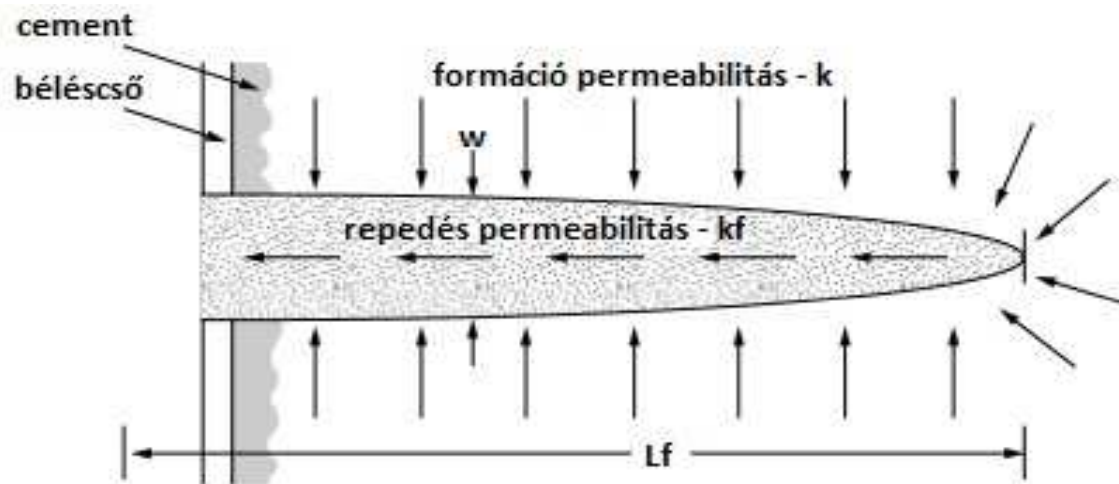
- Perforált szakasz átmérője 4 ½ inch
- A további szerkezeti adatok az algoritmusunkat tekintve elhanyagolhatóak



9. ábra: Illusztráció

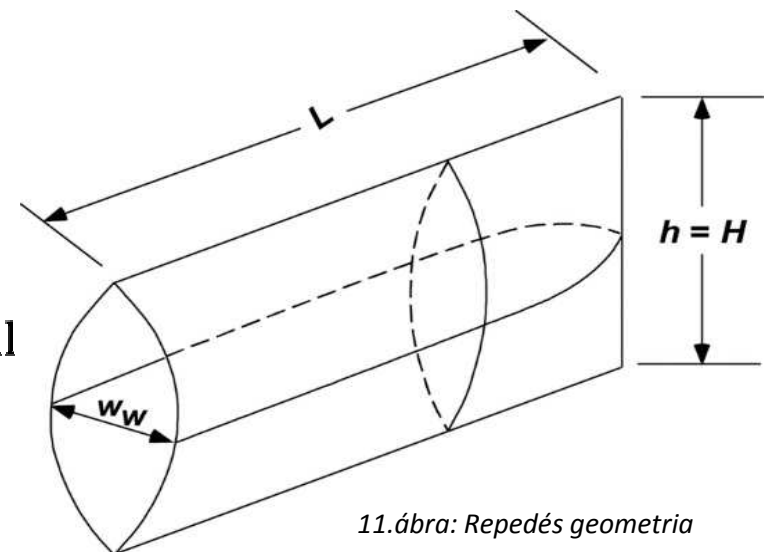


A repesztés paramétereit



10. ábra: Dimenzió nélküli repedés konduktivitás paramétereit

$$C_{fd} = \frac{k_f * w}{k * L_f} \rightarrow \text{minél kompaktabb a tároló annál hosszabb repedés szükséges}$$



11. ábra: Repedés geometria



A tároló nyomáscsökkenése

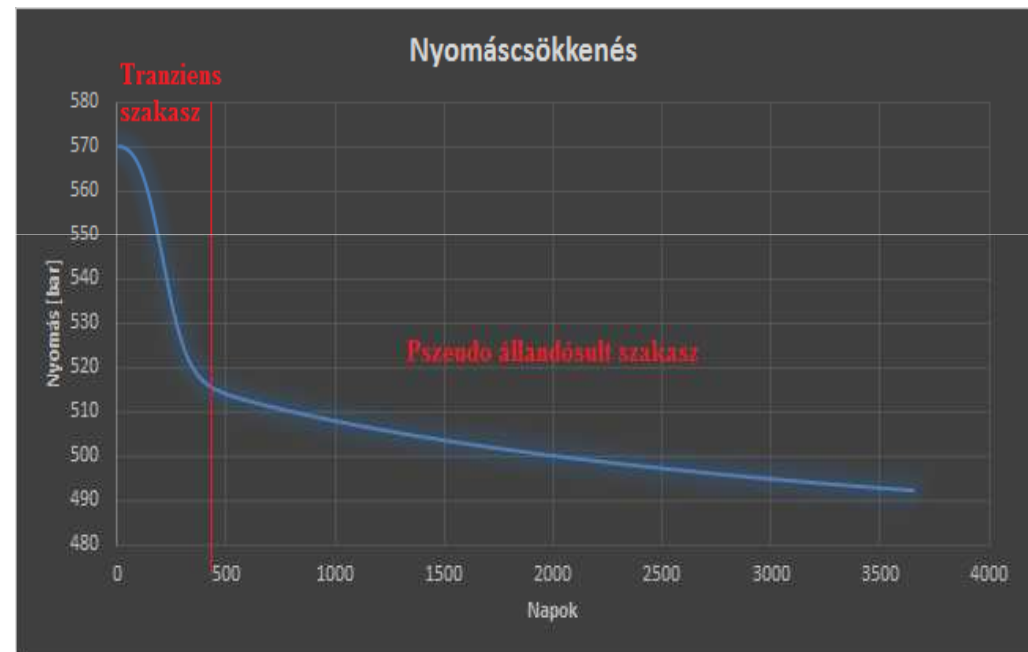
Zárt tároló anyagmérleg egyenletéből levezetve:

$$G_p = G_i - G = G_i - G_i \frac{B_{gi}}{B_g}$$

Izotermikus állapotot feltételezve:

$$G_p = G_i \left(1 - \frac{p}{p_i} \frac{Z_i}{Z} \right)$$

Átrendezve: $p = Z \left(1 - \frac{G_p}{G_i} \right) * \frac{p_i}{Z_i}$

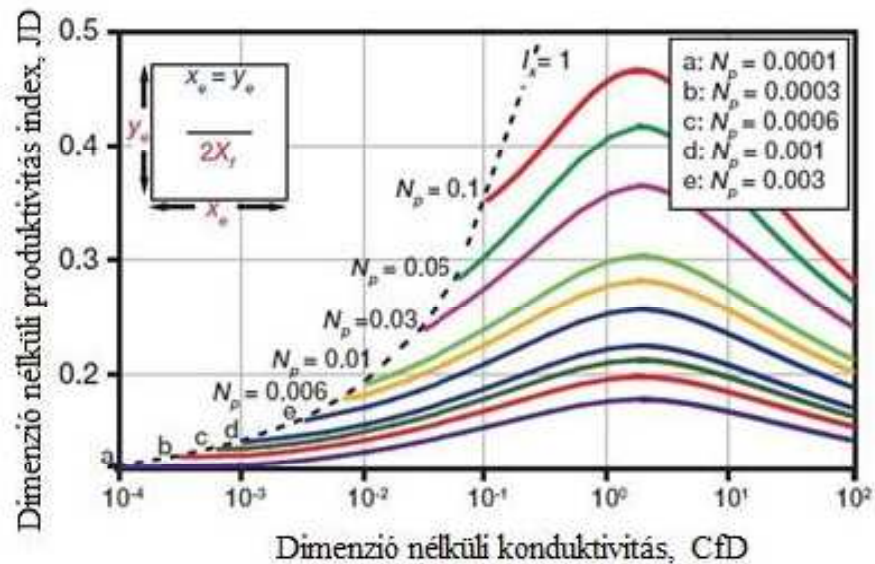


12.ábra: Tároló nyomáscsökkenése (saját készítésű ábra)



Az első főciklus

Az algoritmusunk 21 féle proppant tömeget generál (25 tonnánként), és így az összefüggések alapján, a bemenő paramétereiből 21 eltérő produktivitás indexet kapunk az első főciklus eredményeként.



13.ábra: J_d - C_fD diagram

Bemenő paraméterek:

Megnevezés	jelölés, dimenzió
Tároló réteg magassága	h [m]
Tároló permeabilitása	k [mD]
Tároló nyomása	P_e [bar]
Kúttalpnomás	P_{wf} [bar]
Beáramlási terület oldalhossza	X_e [m]
Tároló hőmérséklete	T [K]
Gáz dinamikai viszkozitása	μ [cP]
Gáz relatív sűrűsége	γ_g [-]
Proppant permeabilitása	k_f [mD]
Proppant halmazsűrűsége	ρ_p [kg/m ³]



Valkó és Economides összefüggései:

$$N_{prop} = \frac{2k_f V_p}{kV_r}$$

$$J_{Dmax}(N_{prop}) = \begin{cases} \frac{1}{0,990 - 0,5 \times \ln(N_{prop})}, & N_{prop} \leq 0,1 \\ \frac{6}{\pi} - \exp\left[\frac{0,423 - 0,311N_{prop} - 0,089(N_{prop})^2}{1 + 0,667N_{prop} + 0,015(N_{prop})^2}\right], & N_{prop} > 0,1 \end{cases}$$

$$C_{fD,opt}(N_{prop}) = \begin{cases} 1,6, & N_{prop} < 0,1 \\ 1,6 + \exp\left[\frac{-0,583 + 1,48 \times \ln(N_{prop})}{1 + 0,142 \times \ln(N_{prop})}\right], & 0,1 \leq N_{prop} \leq 10 \\ N_{prop}, & N_{prop} > 10 \end{cases}$$

$$x_{fopt} = \left(\frac{k_f \times V_f}{C_{fD,opt} \times k \times h}\right)^{0,5}, \quad w_{opt} = \left(\frac{C_{fD,opt} \times k \times V_f}{k_f \times h}\right)^{0,5}$$



A második főciklus

A kapott 21 db produktivitási indexből numerikusan egyenként kiszámolja az adott hozam mellett a tároló nyomáscsökkenést a vizsgált időintervallumra (1000 nap).

Lépései:

- Megfelelően kis időintervallum megválasztása (10 nap) → 100 db kis ciklus
- Kis ciklus:
 - Kumulált gáztermelés → új rétegnyomás
 - Az új rétegnyomás által módosul a gáz sűrűsége → eltérési tényezője → teleptérfogati tényezője
 - Ezek együttesen csökkentik a produktivitási indexet $J = J_D * \frac{k \cdot h}{B \cdot \mu}$
 - Lecsökkent depresszió és produktivitási index → új lecsökkent hozam $Q = J * \Delta P$
- Egy kis ciklus 7 db értéket számol, 100 db kis ciklus van a kapott 21 db produktivitási indexre → $7 \cdot 100 \cdot 21 = 14700$ db érték számítása
- A második főciklus végeredménye az 1000 napra kumulált hozam (21 db), ezeket a tranziens és pseudo-állandósult szakaszok numerikus integrálásával kapjuk meg.



Harmadik főciklus: *Gazdasági összefüggések*

- Nettó diszkontált árbevétel:

$$K = 1 + \kappa$$

$$\frac{\sum_{n=1}^{\text{Évek}} \frac{\$n}{K^n}}{\text{\$összes}} = f_d$$

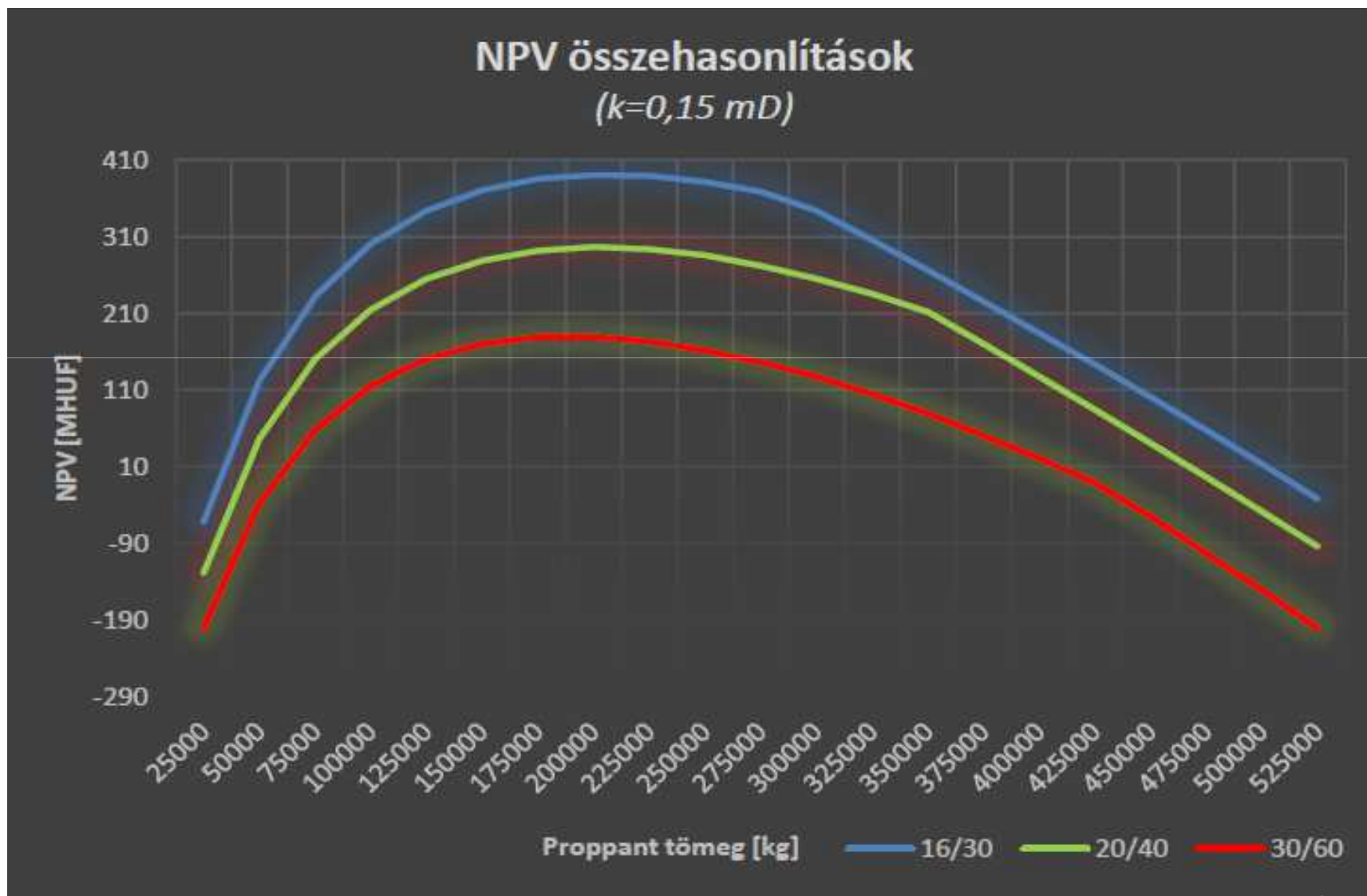
$$R_n = R_h \times \$h \times f_d \times (1 - f_v) \times (1 - f_a)$$

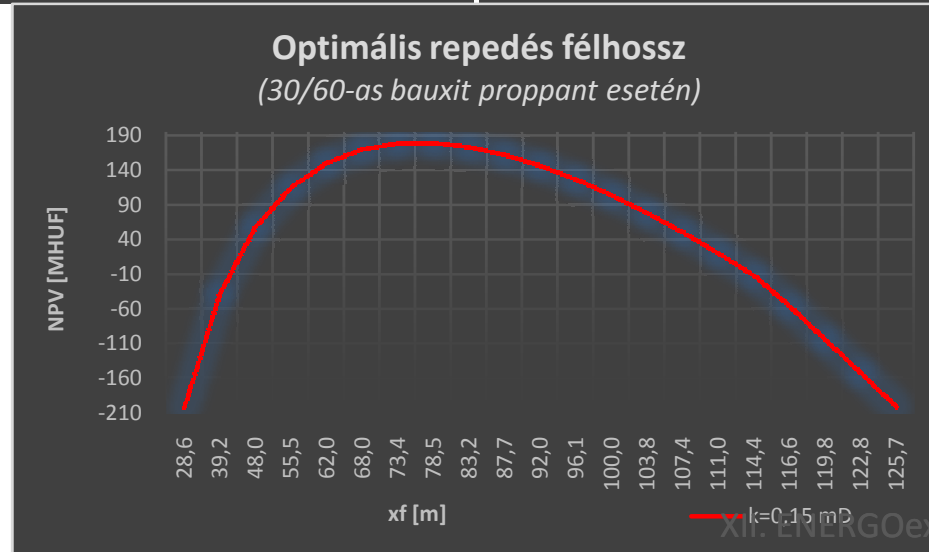
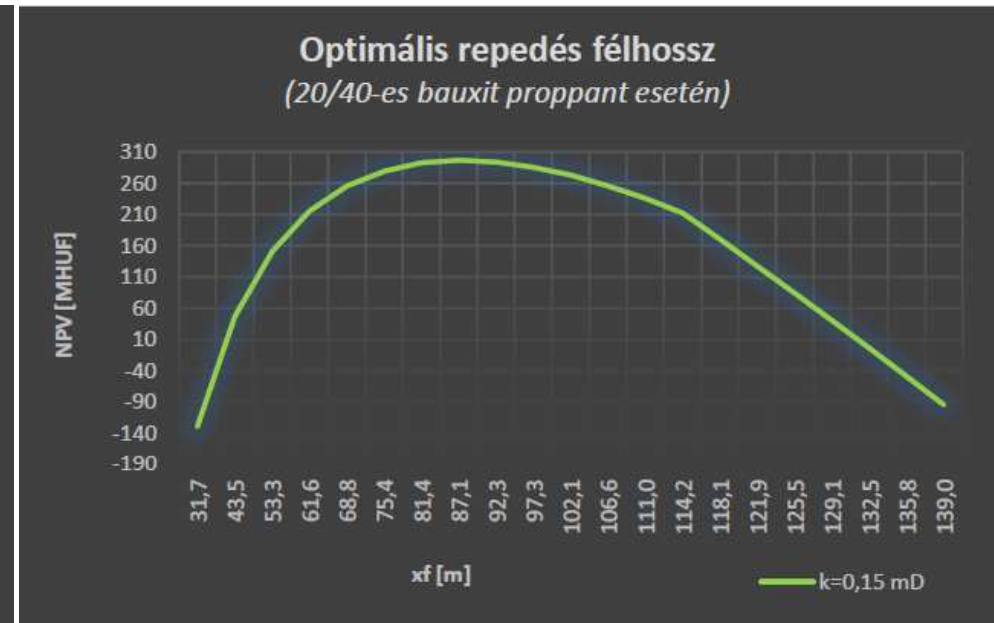
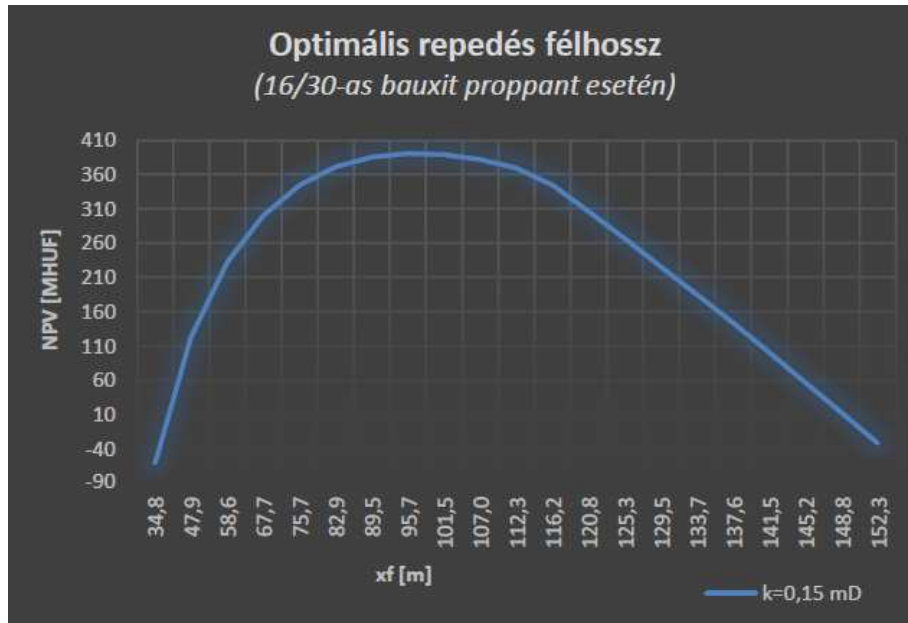
- Nettó Jelenérték számítás (NPV):

$$\$_{prop} = \rho_{prop} \times V_p \times (\$_{pkg} + \$_{FLkg})$$

$$NPV = Rn - (\$F + \$K + \$_{KRE} + \$_{KRU} + \$R + \$M + \$_{FEL} + \$E + \$_{prop})$$

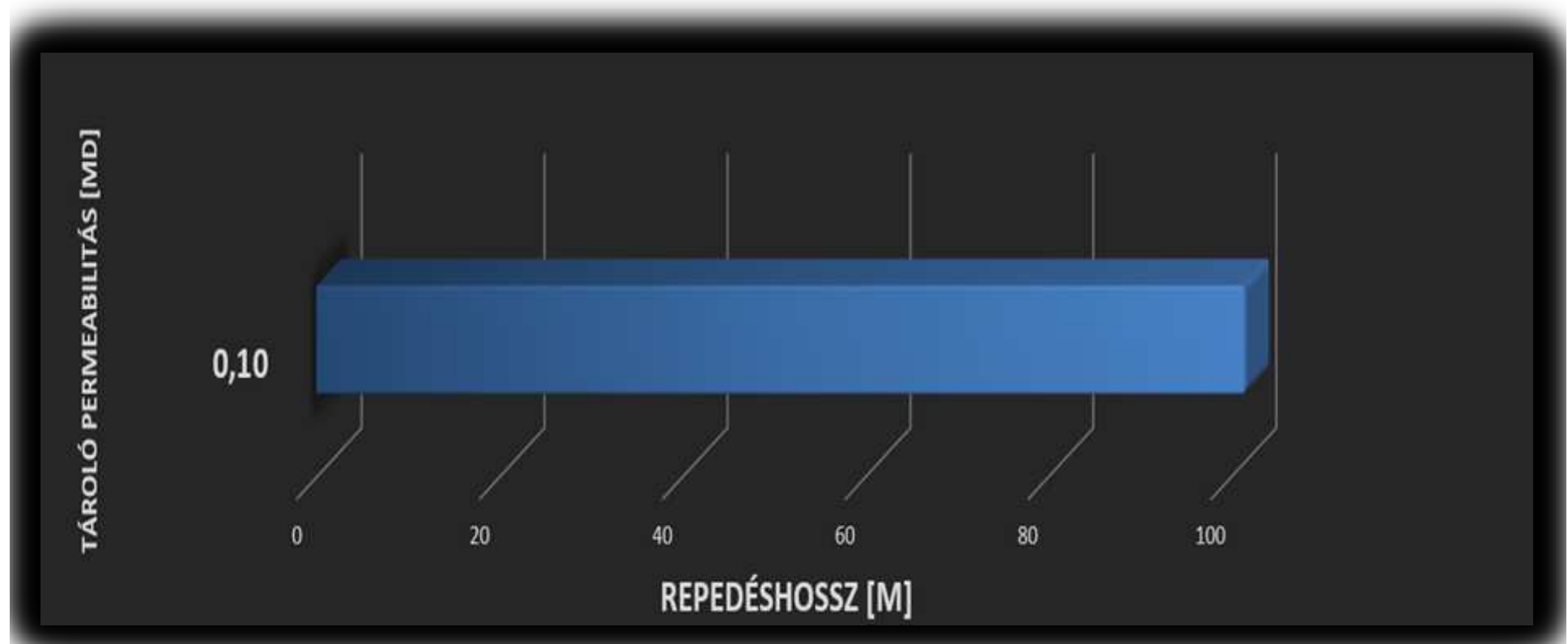
Megnevezés	jelölés, dimenzió
Kamatláb	κ [-]
Diszkontált szorzótényező	f_d [-]
Vállalat fenntartási költségei	f_v [-]
Állami adók	f_a [-]
Nettó diszkontált árbevétel	R_n [HUF]
Éves árbevételek	$\$n$ [HUF]
Adott időszak alatt az árbevétel	R_h [HUF]
Egységnyi gáz ára	$\$h$ [HUF/m ³]
Felhasznált proppant ára	$\$_{prop}$ [HUF]





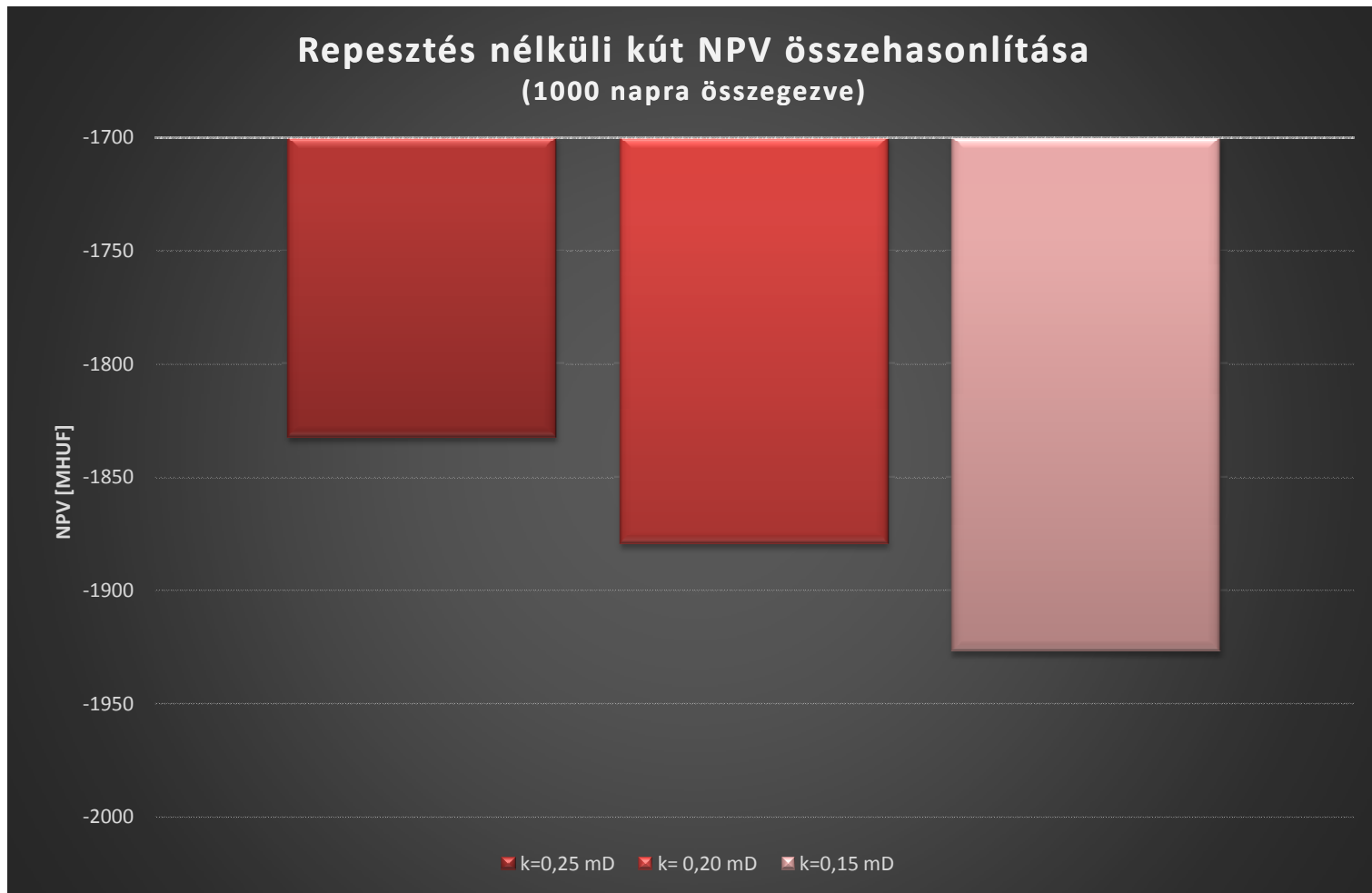


h[m]:	65	T állandó (K)	478,15
p_e [bar]:	570	Z_i	1,357332326
p_{wf} [bar]:	475	Proppant sűrűség[kg/m ³]:	2098,42
k_f [mD]:	3000	B_i :	0,00400381
X_e [m]:	650	μ [cP]:	0,03





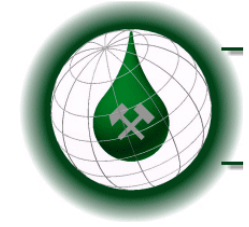
Eredmények összegzése





Modellünk továbbfejlesztése

- Proppant inhomogén eloszlása
- A modell geometriájának további finomítása
- A fluidum turbulens áramlása (turbulencia szkin)



Köszönjük a figyelmet!

Jó Szerencsét!