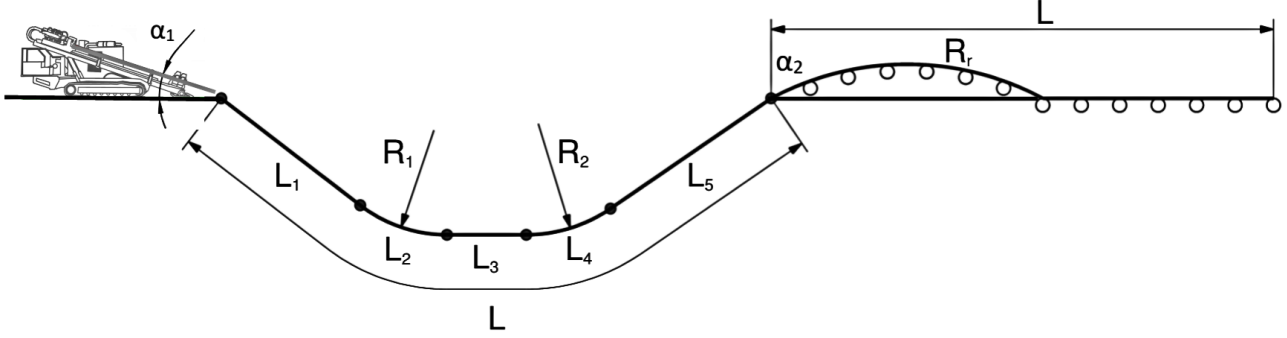


Obliczenie dla HDD zgodnie z NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.6 ©	
Dane główne			
Nazwa projektu : Przykład obliczenia dysku twardego			
Czesc projektu : Obliczanie wytrzymałości i ciśnienia płuczki wiertniczej			
Dane materialu			
Rodzaj materialu:	PE		
Jakosc:	PE 100 SDR 11		
Długoterminowa wytrzymałosc na rozciąganie	MRS = 10		N/mm ²
Współczynnik materialu	$\gamma_M = 1,25$		-
Dopuszczalne napiecie dlugookresowe	$\bar{\sigma}_t = 8,00$		N/mm ²
Modul elastycznosci, krótkotrwały	E = 975		N/mm ²
Modul elastycznosci, dlugotrwały	E' = 350		N/mm ²
Współczynnik rozszerzalnosc liniowej	$\alpha_g = 16,0 \cdot 10^{-5}$		mm/(mm·K)
Alfa stycznosc (tangensowa) / Alfa osiowa	$\alpha_\sigma = 0,65$		-
Ciezar własciwy rury	$\rho_L = 9,55$		kN/m ³
Dopuszczalne ugiecie	$\delta = 8,00$		%
Dane rurociagu			
Srednica zewnetrzna	D _e = 450,00		mm
Grubosc scianki	d _n = 41		mm
Dane procesu			
Rodzaj przewodniciecz/gaz/bezczisnieniowy		= Plyn	
Cisnienie projektowe	p _d = 0,3		N/mm ²
Volume weight product	$\rho = 1000$		kg/m ³
Różnice temperatury	$\Delta t = 10$		°
Aspekty konstrukcyjne, trasa przewiertu, katy wejścia i wyjścia			
Długosc całkowita	L = 578,36		m
Długos pierwszej prostej czesci	L ₁ = 40,00		m
Długosc schodzacego luku	L ₂ = 74,18		m
Długosc drugiej prostej czesci	L ₃ = 350,00		m
Długosc wschodzacego luku	L ₄ = 74,18		m
Długosc trzeciej prostej czesci	L ₅ = 40,00		m
Promien powierzchni/ przenosnika rolkowego	R _r = 100,00		m
Promien w dół luku wznoszacego	R ₁ = 250,00		m
Promien w górę luku opadajacego	R ₂ = 250,00		m
Kat wejścia (przy wiertnicy)	$\alpha_1 = 17,00 / 30,57$		° / %
Kat wyjsciowy (w poblizu przenosnika walowego)	$\alpha_2 = 17,00 / 30,57$		° / %
Kat obciazenia	$\alpha = 180$		°
Kat wspierajacy	$\beta = 120$		°
Kat wspierajacego cisnienia horyzontalnego	$\gamma = 120$		°
Wykonanie analizy geotechnicznej	$\gamma = 1,1$		
			

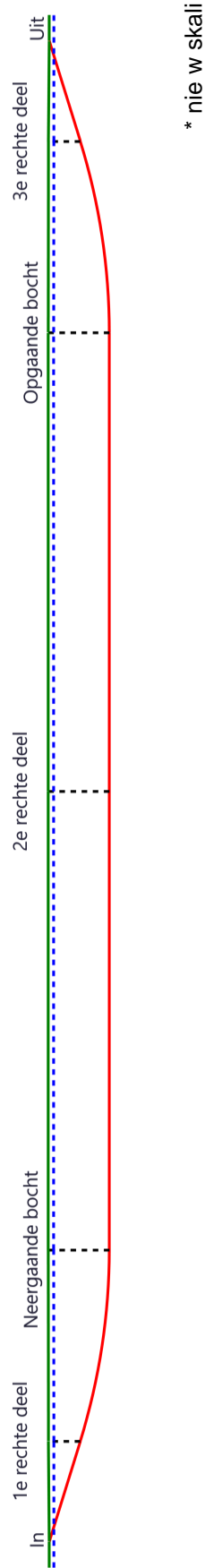


Obliczenie dla HDD zgodnie z NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.6 ©					
Aspekty konstrukcyjne							
Srednica wiertnicy	D_b	= 127	mm				
<i>During pilot</i>							
Diameter drill head/bore hole	D_p	= 311	mm				
Ciezar właściwy płuczki wiertniczej	$\rho_{m,p}$	= 11,5	kN/m ³				
Krytyczne natezenie płuczki wiertniczej	$\tau_{y,p}$	= 13,4	Pa				
Plastic viscosity mud	η_p	= 0,009	Pa·s				
Mud flow	$Q_{m,p}$	= 900	l/min				
<i>During reaming</i>							
Use drill rods during reaming							
Diameter drill reamer/bore hole	$D_{g,r}$	= 406,4	mm				
Ciezar właściwy płuczki wiertniczej	$\rho_{m,r}$	= 11,5	kN/m ³				
Krytyczne natezenie płuczki wiertniczej	$\tau_{y,r}$	= 13,4	Pa				
Plastic viscosity mud	η_r	= 0,009	Pa·s				
Mud flow	$Q_{m,r}$	= 2000	l/min				
<i>During pull back</i>							
Combined reaming and pull back							
Diameter drill reamer/bore hole	$D_{g,i}$	= 675	mm				
Ciezar właściwy płuczki wiertniczej	$\rho_{m,i}$	= 11,5	kN/m ³				
Krytyczne natezenie płuczki wiertniczej	$\tau_{y,i}$	= 13,4	Pa				
Plastic viscosity mud	η_i	= 0,009	Pa·s				
Mud flow	$Q_{m,i}$	= 1400	l/min				
Rurociąg nie zostanie wzmocniony na przenosniku rolkowym							
Rurociąg nie zostanie wzmocniony w miejscu wiercenia							
Uncertainty and friction factors							
Współczynnik niepewności przy normalnym wierceniu	f	= 1,4					
Load factor, aboveground	$f_{k,b}$	= 1,1					
Load factor, belowground	$f_{k,o}$	= 1,4					
Uncertainty factor radius, belowground	$f_{r,o}$	= 0,9					
Współczynnik tarcia bez przenośnika rolkowego	f_1	= 0,3					
Tarcie pomiędzy rurociągiem a płuczka wiertnicza	f_2	= 0,00005	N/mm ²				
Tarcie pomiędzy rurociągiem a tunelem wiertniczym	f_3	= 0,2					
Dane geotechniczne i obciążenie ruchem drogowym							
Lokalizacja	Odległość do punktu wejścia [m]	Kolumna glebowa względem poziomu terenu [m]	Poziom wody względem terenu [m]	Typ gruntu	Ciezar objętościowy, grunt suchy [kN/m ³]	Ciezar objętościowy, grunt wilgotny [kN/m ³]	Kąt tarcia gruntu [°]
1e rechte deel	40	12,00	2,00	Glina	17,00	17,00	17,50
Neergaande bocht	114,18	23,00	2,00	Glina	17,00	17,00	17,50
2e rechte deel	289,18	23,00	2,00	Glina	17,00	17,00	17,50
Opgaande bocht	464,18	23,00	2,00	Glina	17,00	17,00	17,50
3e rechte deel	538,36	12,00	2,00	Glina	17,00	17,00	17,50
HDD				13-11-2023 13:33:46			



Lokalizacja	Srednia pionowa stalej podloza [N/mm ³]	Efektywna kohezja [kN/m ²]	E-modul gruntu pod przewodem [MN/m ²]	Natezenie ruchu
1e rechte deel	-	5,00	2,00	Wykres ½ x II
Neergaande bocht	0,0028	5,00	2,00	Wykres II
2e rechte deel	-	5,00	2,00	Wykres I
Opgaande bocht	0,0028	5,00	2,00	Wykres II
3e rechte deel	-	5,00	2,00	Wykres ½ x II

Lokalizacja	Gereduceerde grondbelasting
1e rechte deel	Geen
Neergaande bocht	Geen
2e rechte deel	Geen
Opgaande bocht	Geen
3e rechte deel	Geen



Obliczenie dla HDD zgodnie z NEN 3650/3651:2020	Sigma 2022 1.6 ©
---	------------------

2. Własności przewodu

Srednica wewnetrzna	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 368,00	mm
Srednia srednica	$D_g = (D_e + D_i) / 2$	= 409,00	mm
Srednica zewnetrzna + powloka	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 450,00	mm
Promien zewnetrzny	$r_e = D_e / 2$	= 225,00	mm
Promien wewnetrzny	$r_i = D_i / 2$	= 184,00	mm
Sredni promien	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 204,50	mm
Moment bezwladnosci rury	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 1.112.643.645,78	mm ⁴
Współczynnik przekroju rury	$W_b = I_b / r_e$	= 4.945.082,87	mm ³
Moment bezwladnosci scianki	$I_w = d_n^3 / 12$	= 5.743,42	mm ⁴ /mm ¹
Współczynnik przekroju	$W_w = d_n^2 / 6$	= 280,17	mm ³ /mm ¹
Powierzchnia rurociagu	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 52.681,37	mm ²
Ciezar rury	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,5031	N/mm ¹

3. Obliczanie wagi rury podczas ciagniecia

	<i>Rurociag na przenosniku rolkowym/powierzchni terenu</i>	<i>Rura w otworze wiertniczym</i>
Ciezar rury z medium	$g = 0,5031 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,5031 \text{ N/mm}^1$
Ciezar wypelnienia	$g_{vul} = \text{Nie ma zastosowania}$	$g_{vul} = \text{Nie ma zastosowania}$
Waga calkowita	$g_{rol} = 0,5031 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,5031 \text{ N/mm}^1$

4. Obliczanie sil ciagnacych i naprezen powyzej gruntu

4.1 Obliczenie wymaganej sily naciagu na przenosniku rolkowym/powierzchni

Sila rozciagajaca T_1 na różnych etapach [N]	L [m]	T_1 [N]
Początek operacji przeciągania	578,36	122.210
After pulling L_5	538,36	113.758
After pulling $L_5 + L_4$	464,18	98.084
After pulling $L_5 + L_4 + L_3$	114,18	24.127
After pulling $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	40,00	8.452

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,4 \cdot L \cdot 0,5031 \cdot 0,3$$

4.2 Obliczanie naprezen pod wplywem sily ciagnacej na przenosniku rolkowym / poziom terenu

Naprezenia σ_t podczas różnych etapów [N/mm ²]	T_1 [N]	σ_t [N/mm ²]
Początek operacji przeciągania	122.210	2,32
After pulling L_5	113.758	2,16
After pulling $L_5 + L_4$	98.084	1,86
After pulling $L_5 + L_4 + L_3$	24.127	0,46
After pulling $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	8.452	0,16

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{52.681,37}$$



4.3 Obliczanie występujących naprężeń pod wpływem ugięcia na przenośniku rolkowym

$$M_b = f_{k,b} \cdot E \cdot \frac{I_b}{R_r}$$

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{1.112.643.646}{100.000} = 11.933.103,10 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{11.933.103,10}{4.945.083} = 2,41 \text{ N/mm}^2$$

4.4 Suma naprężeń występujących na powierzchni/przenośniku walowym

Naprężenia σ_a podczas różnych etapów [N/mm ²]	σ_t [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Początek operacji przeciągania	2,32	3,89
After pulling L ₅	2,16	3,73
After pulling L ₅ + L ₄	1,86	3,43
After pulling L ₅ + L ₄ + L ₃	0,46	2,03
After pulling L ₅ + L ₄ + L ₃ + L ₂	0,16	1,73

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 2,41 + \sigma_t$$

Dopuszczalne napiecie: $\sigma_{kd} = MRS = 10,00 \text{ N/mm}^2$

5. Obliczanie występujących naprezeń podczas ciągnięcia

5.1 Obliczanie wymaganej sily ciagnacej T_2 i T_{3a} w odniesieniu do tarcia miedzy rura a pluczka wiertnicza

Tarcie pomiedzy rura a pluczka wiertnicza wytwarzajace sie podczas ciagnienia w trakcie wiercenia otworu.

(0)% rury jest w kontakcie z bentonitem. Rezultat: $D_{e,omtr} = 1.413,72 \text{ mm}^1$

Waga rury (+wypelnienie) w otworze wiertniczym $g_{gat} = 0,503 \text{ N/mm}^1$

. Z uwzględnieniem wagi pluczki wiertniczej $g_{opw} = \rho_m \cdot D_0^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 450,00^2 \cdot \pi/4 = 1,829 \text{ N/mm}^1$

and $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 1,326$

Sila rozciagajaca T_2 i T_{3a} na róznych etapach [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
After pulling L_5	40,00	18.808	-
After pulling $L_5 + L_4$	114,18	-	53.688
After pulling $L_5 + L_4 + L_3$	464,18	218.262	-
After pulling $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	538,36	-	253.142
Calkowicie wciagniety	578,36	271.950	-

Czesci proste: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (1.413,72 \cdot 0,00005 + 1,326 \cdot 0,2)$

Czesci lukowe: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (1.413,72 \cdot 0,00005 + 1,326 \cdot 0,2)$

5.2 Obliczanie wymaganej sily ciagnacej T_{2c} w odniesieniu do zachowania gruntu na lukach

5.2.1 Luk schodzacy

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_0 \cdot k_{v,gem}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{450,00 \cdot 0,0028}{4 \cdot 975 \cdot 1.112.643.645,78}} = 0,0007 \text{ mm}^{-1}$$

$$Q_{r1} = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_0 \cdot f_{r,o} \cdot R}$$

$$Q_{r1} = \frac{0,322 \cdot 0,0007^2 \cdot 975 \cdot 1.112.643.645,78}{450,00 \cdot 0,9 \cdot 250.000} = 0,0019 \text{ N/mm}^2$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_{r1}}{2} \cdot D_0 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3$$

$$T_{3b} = 1,4 \cdot 4 \cdot \frac{0,0019}{2} \cdot 450,00 \cdot \frac{\pi}{0,0007} \cdot 0,2 = \mathbf{2.004,98 \text{ N}}$$

5.2.2 Wschodzacy luk

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v, gem}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{450,00 \cdot 0,0028}{4 \cdot 975 \cdot 1.112.643.645,78}} = 0,0007 \text{ mm}^{-1}$$

$$Q_{r2} = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot f_{r,o} \cdot R}$$

$$Q_{r2} = \frac{0,322 \cdot 0,0007^2 \cdot 975 \cdot 1.112.643.645,78}{450,00 \cdot 0,9 \cdot 250.000} = 0,0019 \text{ N/mm}^2$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_{r2}}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3$$

$$T_{3b} = 1,4 \cdot 4 \cdot \frac{0,0019}{2} \cdot 450,00 \cdot \frac{\pi}{0,0007} \cdot 0,2 = \mathbf{2.004,98 \text{ N}}$$

5.3 Obliczenie tarcia sil lukowych T_{3c}

Sila rozciągająca T_{bocht} na różnych etapach [N]	T_1 [N] (f = 1)	T_2 / T_{3a} [N] (f = 1)	$T_{3b, neer}$ [N] (f = 1)	$T_{3b, op}$ [N] (f = 1)	T_{bocht} [N]
Luk schodzacy	70.060	38.349	1.432	-	109.841
Wschodzacy luk	6.037	180.816	1.432	1.432	189.717

Luk schodzacy: $T_{bocht} = T_1 + T_2 + T_{3a, neer} + T_{3b, neer, max}$

Wschodzacy luk: $T_{bocht} = T_1 + T_2 + T_{3a, neer} + T_{3b, neer, max} + T_{3a, op} + T_{3b, op, max}$

Sila rozciągająca T_{3c} na różnych etapach [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Luk schodzacy	8,50	109.841	9.092
Wschodzacy luk	8,50	189.717	15.704

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{bocht} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{bocht} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,4 \cdot 2 \cdot T_{bocht} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

5.4 Suma sil rozciągania w fazie II

Sila rozciągająca T_{tot} na różnych etapach [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b, neer}$ [N]	$T_{3c, neer}$ [N]	$T_{3b, op}$ [N]	$T_{3c, op}$ [N]	T_{tot} [N]
After pulling L_5	113.758	18.808	-	-	-	-	132.567
After pulling $L_5 + L_4$	98.084	53.688	2.005	9.092	-	-	162.869
After pulling $L_5 + L_4 + L_3$	24.127	218.262	2.005	9.092	-	-	253.485
After pulling $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	8.452	253.142	2.005	9.092	2.005	15.704	290.399
Calkowicie wciagniety	0	271.950	2.005	9.092	2.005	15.704	300.755

$$T_{tot} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b, neer, max} + T_{3c, neer} + T_{3b, op, max} + T_{3c, op}$$

5.5 Characteristic value for the needed pulling force in phase II

When no overall safety factor is used ($f = 1$), the following characteristic value for the needed pulling force is calculated

Sila rozciągająca T_{tot} na różnych etapach [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3c,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{3c,op}$ [N]	T_{tot} [N]
After pulling L_5	81.256	13.435	-	-	-	-	94.690
After pulling $L_5 + L_4$	70.060	38.349	1.432	6.494	-	-	116.335
After pulling $L_5 + L_4 + L_3$	17.233	155.901	1.432	6.494	-	-	181.061
After pulling $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	6.037	180.816	1.432	6.494	1.432	11.217	207.428
Calkowicie wciagnięty	0	194.250	1.432	6.494	1.432	11.217	214.825

The maximum characteristic value for the needed pulling force is **214.825 N (» 21,5 ton)**.

As stated in the Technical Guidelines by the Drilling Contractors Association (DCA - Europe), a drilling rig with a size 2 to 3 times this maximum number is recommended.

5.6 Obliczanie naprezen pod wpływem sily ciagnacej w fazie 2

Naprezenia σ_t podczas różnych etapów [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
After pulling L_5	132.567	2,52
After pulling $L_5 + L_4$	162.869	3,09
After pulling $L_5 + L_4 + L_3$	253.485	4,81
After pulling $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	290.399	5,51
Calkowicie wciagnięty	300.755	5,71

$$\sigma_t = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{52.681,37}$$

5.7 Występujące napreżnia pod wpływem zakrzywienia przewodu w otworze wiertniczym

5.7.1 Luk schodzący

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{1.112.643.645,78}{0,9 \cdot 250.000} = 6.750.038,12 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{6.750.038,12}{4.945.082,87} = \mathbf{1,37 \text{ N/mm}^2}$$

5.7.2 Wschodzący luk

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{1.112.643.645,78}{0,9 \cdot 250.000} = 6.750.038,12 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{6.750.038,12}{4.945.082,87} = \mathbf{1,37 \text{ N/mm}^2}$$

5.8 Suma napiec w wierconej dziurze w czasie ciągnięcia

Napreżenia σ_a podczas różnych etapów [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
After pulling L ₅	132.567	2,52	-	2,52
After pulling L ₅ + L ₄	162.869	3,09	1,37	3,98
After pulling L ₅ + L ₄ + L ₃	253.485	4,81	-	4,81
After pulling L ₅ + L ₄ + L ₃ + L ₂	290.399	5,51	1,37	6,40
Calkowicie wciagnięty	300.755	5,71	-	5,71

Czesci proste: $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{52.681,37} = \sigma_t$

Czesci lukowe: $\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$

Dopuszczalne napiecie: $\sigma_{kd} = MRS = \mathbf{10,00 \text{ N/mm}^2}$

6. Faza III: Obliczanie naprezen wystepujacych podczas fazy uzytkowania

6.1 Obliczenie naprezenia s_p i s_{pl} pod wplywem cisnienia wewnetrznego

$D_g/d_n = 409,00/41,00 = 9,98 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Przewód gruboscienny

$$\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$$

$$\sigma_p = \frac{225,00^2 + 184,00^2}{225,00^2 - 184,00^2} \cdot 0,3 = 1,51 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_p = 1,51 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,51 = 0,60 \text{ N/mm}^2$$

Dopuszczalne napiecie = $\bar{\sigma}_t = 8,00 \text{ N/mm}^2$

6.2 Obliczenie wspólczynnika ponownego zaokrąglenia wyników f_{rr}

$$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$$

$$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 204,5^3 \cdot 0,089}{975 \cdot 5.743,42}) = 0,92$$

6.3 Calculation of neutral soil load Q_n

Lokalizacja	Kolumna glebowa wzgledem poziomu terenu [m]	Poziom wody wzgledem terenu [m]	Typ gruntu	qSuchy [kN/m ²]	qWilgotny [kN/m ²]	q _n [kN/m ²]	Q _n [N/mm ¹]
1e rechte deel	12,00	2,00	Glina	37,40	87,00	124,40	55,98
Neergaande bocht	23,00	2,00	Glina	37,40	182,70	220,10	99,05
2e rechte deel	23,00	2,00	Glina	37,40	182,70	220,10	99,05
Opgaande bocht	23,00	2,00	Glina	37,40	182,70	220,10	99,05
3e rechte deel	12,00	2,00	Glina	37,40	87,00	124,40	55,98

$$q_{\text{Suchy}} = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$$

$$q_{\text{Wilgotny}} = \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$Q_n = q_n \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot 450$$

6.4 Obliczanie obciążenia w ruchu drogowym Q_v

Lokalizacja	Kolumna glebowa względem poziomu terenu [m]	Natezenie ruchu	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
1e rechte deel	12,00	Wykres ½ x II	0,65	0,29
Neergaande bocht	23,00	Wykres II	0,45	0,20
2e rechte deel	23,00	Wykres I	1,01	0,46
Opgaande bocht	23,00	Wykres II	0,45	0,20
3e rechte deel	12,00	Wykres ½ x II	0,65	0,29

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 450$$

6.5 Momenty i naprezenia spowodowane górnym obciążeniem

Lokalizacja	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ²]
1e rechte deel	55,98	0,29	56,27	1.588,02	5,24
Neergaande bocht	99,05	0,20	99,25	2.800,84	9,24
2e rechte deel	99,05	0,46	99,50	2.808,02	9,27
Opgaande bocht	99,05	0,20	99,25	2.800,84	9,24
3e rechte deel	55,98	0,29	56,27	1.588,02	5,24

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,138 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 204,50$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 0,92 \cdot \frac{M_q}{280,17}$$

6.6 Występujące naprezenia s_{qr} pod wpływem reakcji gruntu na lukach

6.6.1 Luk schodzący

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_{r1} \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w}$$

$$\sigma_{qr} = 0,083 \cdot 0,0019 \cdot 450,00 \cdot \frac{225,00}{280,17} = \mathbf{0,06 \text{ N/mm}^2}$$

6.6.2 Wschodzący luk

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_{r2} \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w}$$

$$\sigma_{qr} = 0,083 \cdot 0,0019 \cdot 450,00 \cdot \frac{225,00}{280,17} = \mathbf{0,06 \text{ N/mm}^2}$$

6.7 Obliczanie naprezenia s_{ax} pod wpływem różnicy temperatur

$$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$$

$$\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{1,56 \text{ N/mm}^2}$$

Obliczenie dla HDD zgodnie z NEN 3650/3651:2020	Sigma 2022 1.6 ©
---	------------------

7. Test dla minimalnej sztywnosci pierscienia S_N

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

$$S_N = 975 \cdot \frac{5.743,42}{409^3} = 0,0818 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,85 \text{ kN/m}^2}$$

Minimalna wymagana sztywnosc pierscieniowa = **2 kN/m²**

8. Test dla implozji: obliczanie dopuszczalnego nadcisnienia wszechkierunkowego

Wskaznik bezpieczenstwa Współczynnik gamma dlugotrwałego niskiego cisnienia: $\gamma = 3$

Wskaznik bezpieczenstwa Współczynnik gamma krótkookresowego niskiego cisnienia: $\gamma = 1,5$

$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 5.743,42}{409,00^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 5.743,42}{409,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Wniosek: Szansa na implozje przy **27,98** w wodzie gruntowej powyzej rurowciagu

9. Obliczanie skumulowanych naprezen

9.1 Wystepujace naprezenia obwodowe przewodu

Lokalizacja	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_{σ} [-]	σ_{y2} [N/mm ²]
1e rechte deel	5,24	-	0,65	3,41
Neergaande bocht	9,24	0,056	0,65	6,04
2e rechte deel	9,27	-	0,65	6,02
Opgaande bocht	9,24	0,056	0,65	6,04
3e rechte deel	5,24	-	0,65	3,41

Czesci proste: $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$

Luki: $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

Dopuszczalne napiecie: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$

9.2 Wystepujace naprezenia wzdluzne przewodu

Lokalizacja	σ_{pl} [N/mm ²]	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_{σ} [-]	σ_x [N/mm ²]
1e rechte deel	0,60	1,56	-	-	2,16
Neergaande bocht	0,60	1,56	1,37	0,65	3,05
2e rechte deel	0,60	1,56	-	-	2,16
Opgaande bocht	0,60	1,56	1,37	0,65	3,05
3e rechte deel	0,60	1,56	-	-	2,16

Czesci proste: $\sigma_x = \sigma_{pl} + \sigma_{ax}$

Luki: $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_A \cdot \sigma_b + \sigma_{ax}$

Dopuszczalne napiecie: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$



10. Obliczanie aktualnego i dopuszczalnego ugięcia

Lokalizacja	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ²]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
1e rechte deel	55,98	0,29	-	5,39	1,32
Neergaande bocht	99,05	0,20	0,0019	9,52	2,33
2e rechte deel	99,05	0,46	-	9,53	2,33
Opgaande bocht	99,05	0,20	0,0019	9,52	2,33
3e rechte deel	55,98	0,29	-	5,39	1,32

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 204,50^3}{350 \cdot 5.743,42}$$

Dopuszczalne ugięcie = 8,00% · D_g = 0,08 · 409,00 = **32,72 mm**

11. Obliczenie ciesnien pluczki wiertniczej

Lokalizacja	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p'_f [kN/m ²]	E_{100} [MN/m ²]
1e rechte deel	12,00	85,45	59,76	72,61	99,21	2,38
Neergaande bocht	23,00	145,45	101,72	123,59	165,52	3,76
2e rechte deel	23,00	145,45	101,72	123,59	165,52	3,76
Opgaande bocht	23,00	145,45	101,72	123,59	165,52	3,76
3e rechte deel	12,00	85,45	59,76	72,61	99,21	2,38

$$\sigma_{vert} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$\sigma_{hor} = \sigma_{vert} \cdot (1 - \sin(\varphi))$$

$$\sigma_o' = \frac{\sigma_{vert} + \sigma_{hor}}{2}$$

$$p'_f = \sigma_o' \cdot (1 + \sin(\varphi)) + c \cdot \cos(\varphi)$$

$$E_{100, norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^m \quad (\text{Piasek/Loam/Gravel} \rightarrow m = 0,5; \text{ Torf/Glina} \rightarrow m = 0,8)$$

Lokalizacja	G [MN/m ²]	Q [-]	u [N/mm ²]	v [-]	p_{lim} [N/mm ²]	90% p_{lim} [bar] 1
1e rechte deel	0,84	0,032	0,1000	0,4115	0,34	3,06
Neergaande bocht	1,33	0,031	0,2100	0,4115	0,60	5,38
2e rechte deel	1,33	0,031	0,2100	0,4115	0,60	5,38
Opgaande bocht	1,33	0,031	0,2100	0,4115	0,60	5,38
3e rechte deel	0,84	0,032	0,1000	0,4115	0,34	3,06

$$G = \frac{E_{100, norm}}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

$$Q = \frac{\sigma_o' \cdot \sin(\varphi) + c \cdot \cos(\varphi)}{G}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$K = 1 - \sin(\varphi)$$

$$\nu = \frac{K}{1 + K}$$

$$p_{lim} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

11.1 During pilot

Lokalizacja	$R_{p,max}$ [m]	Δh_{in} [m]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 2	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 3
1e rechte deel	6,00	11,69	0,34	3,39	0,14	1,37
Neergaande bocht	11,50	22,62	0,60	5,97	0,27	2,69
2e rechte deel	11,50	22,62	0,60	5,97	0,28	2,81
Opgaande bocht	11,50	22,62	0,60	5,97	0,29	2,94
3e rechte deel	6,00	11,69	0,34	3,39	0,17	1,74

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}, R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \epsilon_{g,max}} \text{ or } \frac{H}{2}$$

$$R_o = \frac{D_p}{2} = \frac{311}{2} = 155,5 \text{ mm}$$

$$p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_{p,max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$v_{m,p} = \frac{Q_{m,p}}{A_p} = \frac{900}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{900}{1/4 \cdot \pi \cdot (311^2 - 127^2)} = 0,237 \text{ m/s}$$

$$p_{min} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_p \cdot v_{m,p}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,p}}{(D_p - D_b)} \right) \cdot L + \rho_{m,p} \cdot \Delta h_{in} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,237}{(311 - 127)^2} + \frac{13,4}{(311 - 127)} \right) \cdot L + 11,5 \cdot \Delta h_{in}$$

11.2 During reaming

Lokalizacja	$R_{p,max}$ [m]	Δh_{uit} [m]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 4	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 5
3e rechte deel	6,00	11,69	0,34	3,38	0,14 ⁽¹⁾	1,36
Opgaande bocht	11,50	22,62	0,60	5,97	0,27 ⁽¹⁾	2,66
2e rechte deel	11,50	22,62	0,60	5,97	0,27 ⁽¹⁾	2,74
Neergaande bocht	11,50	22,62	0,60	5,97	0,27 ⁽²⁾	2,69
1e rechte deel	6,00	11,69	0,34	3,38	0,14 ⁽²⁾	1,37

$$R_o = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{406,4}{2} = 203,2 \text{ mm}$$

$$v_{m,r,uit} = \frac{Q_{m,r}}{A_r} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_b^2)} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot (406,4^2 - 127^2)} = 0,285 \text{ m/s}$$

$$v_{m,r,in} = \frac{Q_{m,r}}{A_p} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot (311^2 - 127^2)} = 0,527 \text{ m/s}$$

$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,uit}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{(D_{g,r} - D_b)} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{uit}$$

$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,285}{(406,4 - 127)^2} + \frac{13,4}{(406,4 - 127)} \right) \cdot (578,36 - L) + 11,5 \cdot \Delta h_{uit} \quad (1)$$

$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,in}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{(D_p - D_b)} \right) \cdot L + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{in}$$

$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,527}{(311 - 127)^2} + \frac{13,4}{(311 - 127)} \right) \cdot L + 11,5 \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$

11.3 During pull back

Lokalizacja	$R_{p,max}$ [m]	Δh_{uit} [m]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 6	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 7
3e rechte deel	6,00	11,69	0,33	3,34	0,14 ⁽¹⁾	1,37
Opgaande bocht	11,50	22,62	0,60	5,95	0,27 ⁽¹⁾	2,67
2e rechte deel	11,50	22,62	0,60	5,95	0,27 ⁽²⁾	2,74
Neergaande bocht	11,50	22,62	0,60	5,95	0,27 ⁽²⁾	2,66
1e rechte deel	6,00	11,69	0,33	3,34	0,14 ⁽²⁾	1,36

$$R_o = \frac{D_{g,i}}{2} = \frac{675}{2} = 337,5 \text{ mm}$$

$$v_{m,i,uit} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,i}^2 - D_o^2)} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (675^2 - 450^2)} = 0,117 \text{ m/s}$$

$$v_{m,i,in} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_b^2)} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (675^2 - 127^2)} = 0,199 \text{ m/s}$$

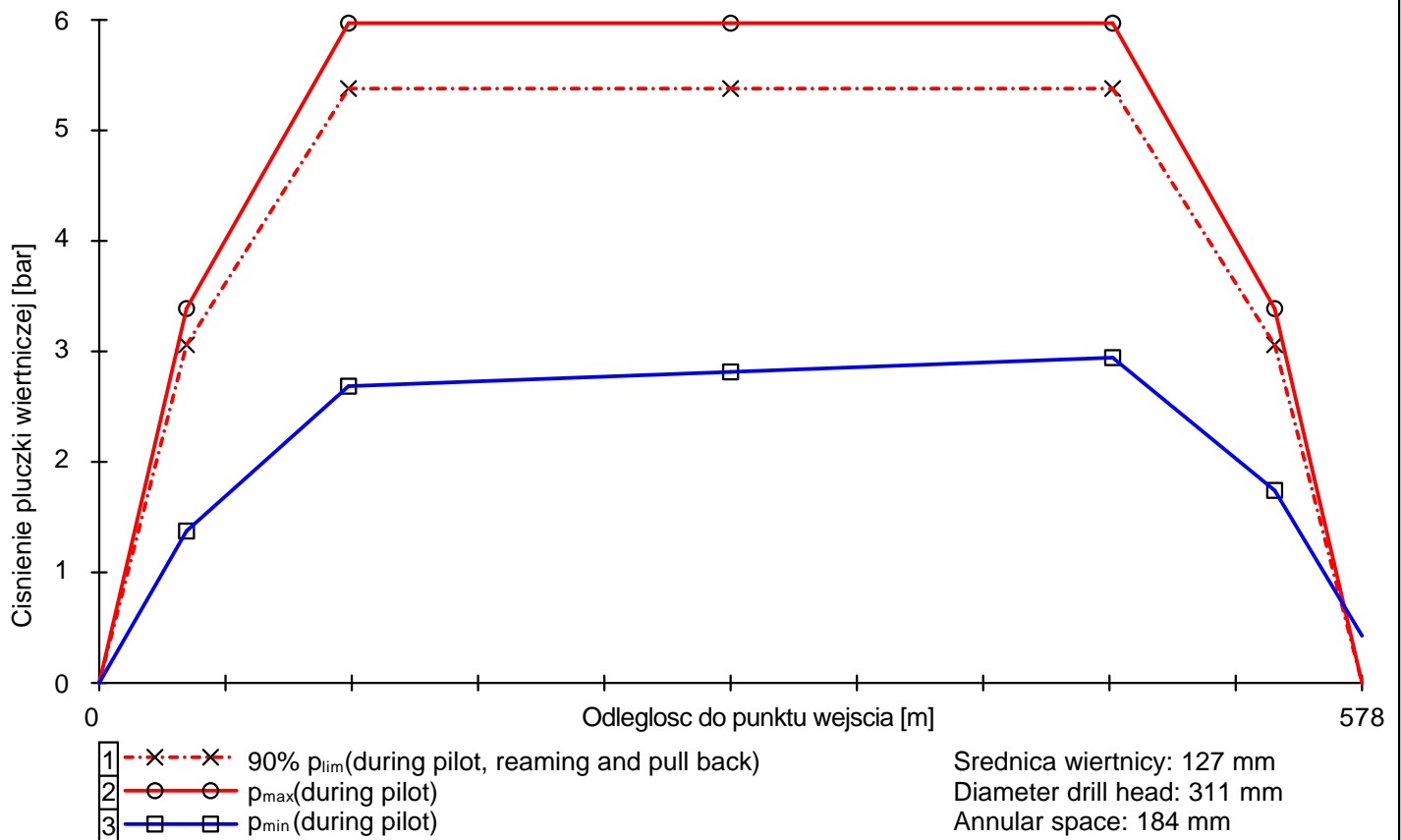
$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,i,uit}}{(D_{g,i} - D_o)^2} + \frac{\tau_{y,i}}{(D_{g,i} - D_o)} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{uit}$$

$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,117}{(675 - 450)^2} + \frac{13,4}{(675 - 450)} \right) \cdot (578,36 - L) + 11,5 \cdot \Delta h_{uit} \quad (1)$$

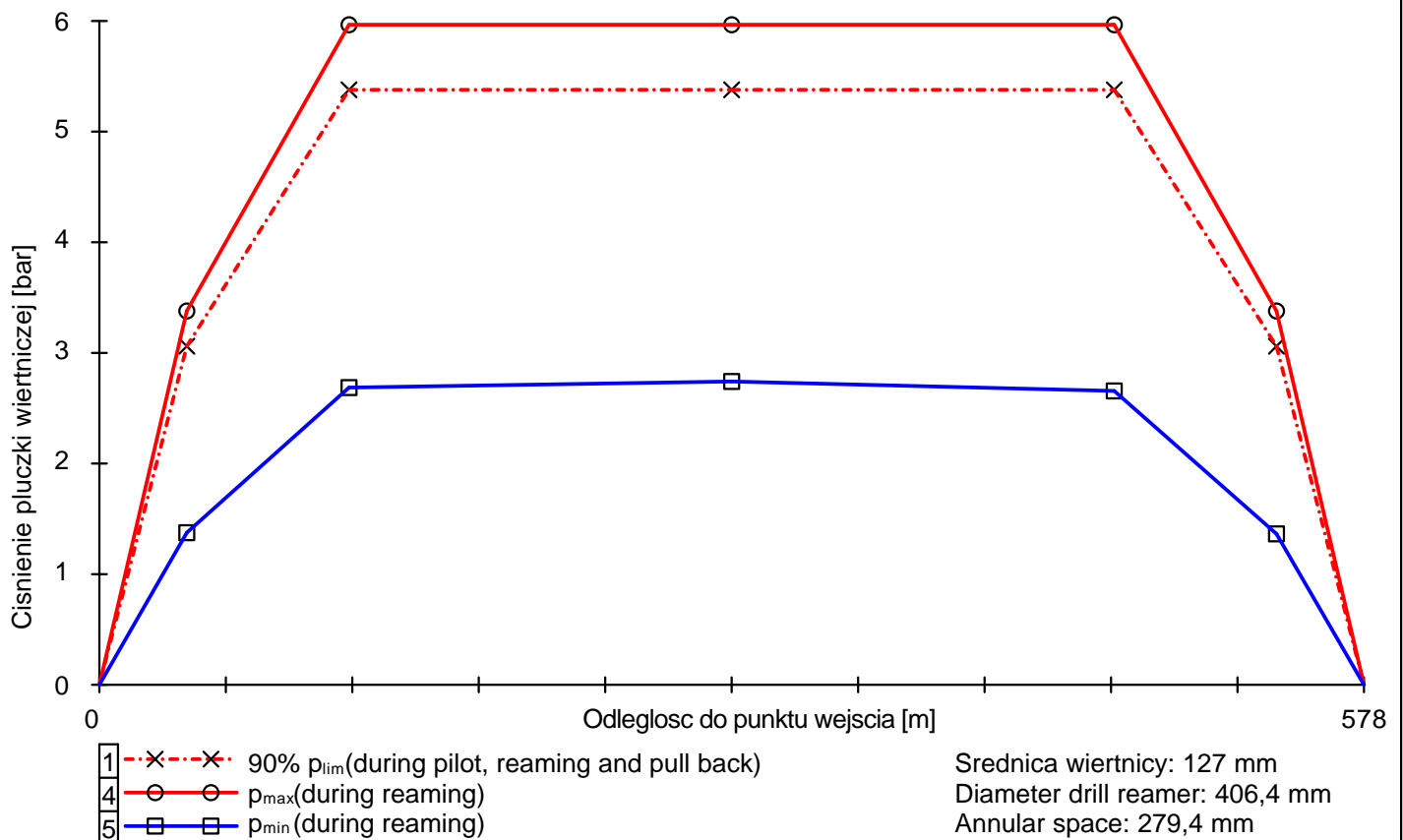
$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,i,in}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,i}}{(D_{g,r} - D_b)} \right) \cdot L + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{in}$$

$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,199}{(406,4 - 127)^2} + \frac{13,4}{(406,4 - 127)} \right) \cdot L + 11,5 \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$

11.4 Drill pressure during pilot



11.5 Drill pressure during reaming



11.6 Drill pressure during pull back

