

Politechnika Wrocławska

Projektowanie przewodów w technologii mikrotunelowania i przecisku hydraulicznego z użyciem standardu DWA-A 161

Bogdan Przybyła

Katedra Mechaniki Budowli i Inżynierii Miejskiej Politechniki Wrocławskiej

Obliczenia statyczno - wytrzymałościowe przewodów wykonywanych w technologii przecisku lub mikrotunelowania

literatura krajowa

Madryas C., Kolonko A., Wysocki L.: *Konstrukcje przewodów kanalizacyjnych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2002

Madryas C., Kolonko A., Szot A., Wysocki L.: *Mikrotunelowanie*, DWE, Wrocław, 2006

Kędracki M.: *Geotechnika metod bezwykopowych*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, 2008

Kuliczkowski A.: *Rury kanalizacyjne, t.II, Projektowanie konstrukcji*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2014

Kuliczkowski A., Madryas C.: *Tunele wieloprzewodowe dawniej i współcześnie*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2014

literatura krajowa c.d.

Kalisz H.: *Wybrane zagadnienia budownictwa komunalnego,* Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1994,

Glinicki S.: *Budownictwo podziemne*, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, 1994,

Furtak K., Kędracki M.: *Podstawy budowy tuneli*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2005.

Założenia wyjściowe dla projektowania:

- przeznaczenie i funkcja obiektu, dane geometryczne, warunki pracy i eksploatacji, elementy wyposażenia, czas użytkowania;

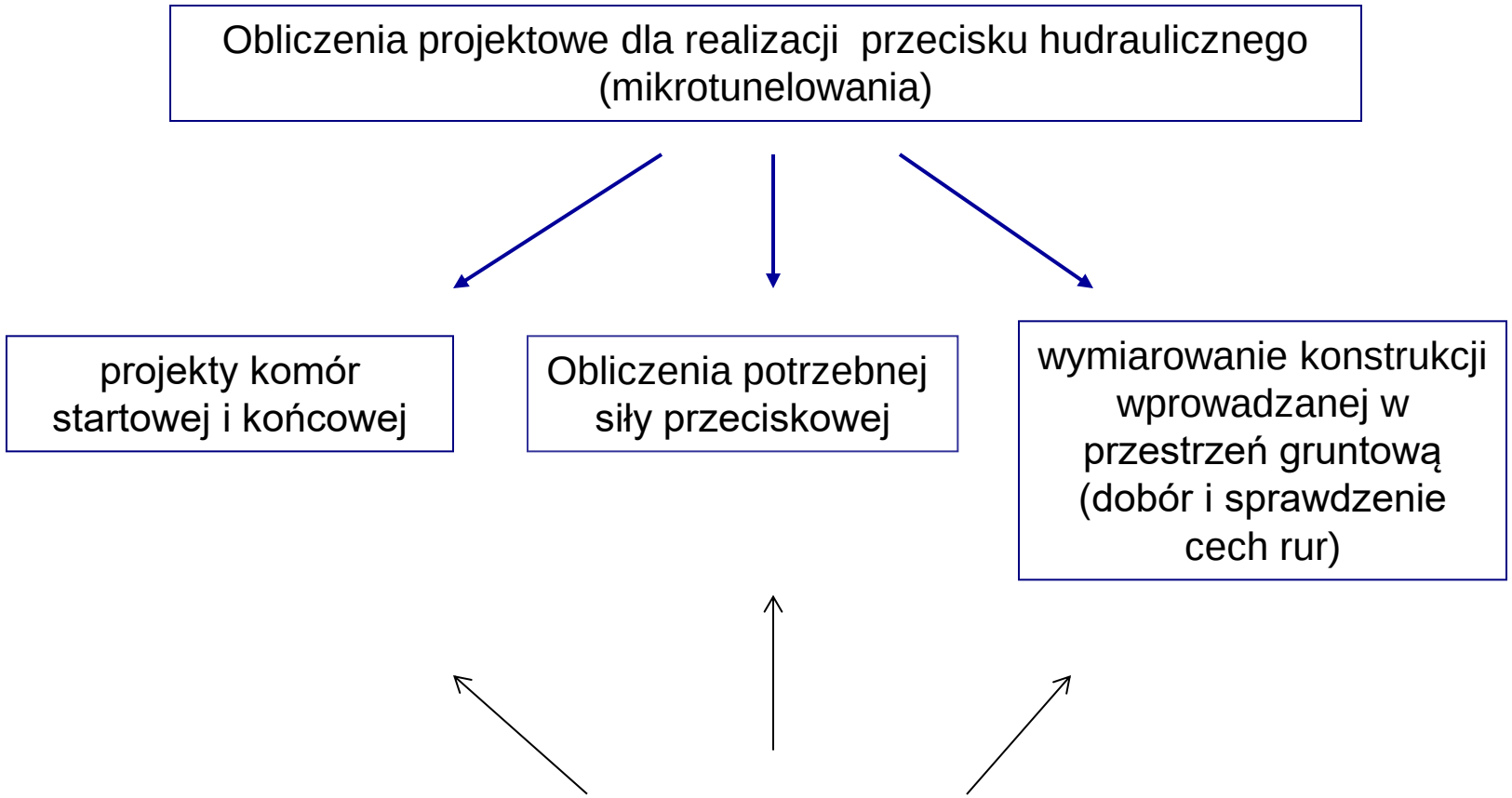
- aktualne i przewidywane obciążenia zewnętrzne i wewnętrzne;

- warunki gruntowo – wodne (z uwzględnieniem możliwych zmian);

- czas i miejsce realizacji;

- technologia realizacji;

- uwarunkowania dodatkowe;


Obliczenia projektowe dla realizacji przecisku hudraulicznego (mikrotunelowania)
projekty komór startowej i końcowej
Obliczenia potrzebnej siły przeciskowej
wymiarowanie konstrukcji wprowadzanej w przestrzeń gruntową (dobór i sprawdzenie cech rur)
Rozwiązanie zestawu do realizacji zadania – tarcze, siłowniki, smarowanie, transport urobku etc.

Projekty komór startowej i końcowej

Projektowanie uwzględniające zagadnienia geo- i hydrotechniczne, teorię i wymiarowanie konstrukcji stalowych i/lub żelbetowych – (spełnienie licznych wymagań formalno-prawnych)

- projekt odwodnienia wykopu (lub inne rozwiązanie),

- projekt obudowy wykopu (obliczenia ścian i rozparć),

- rozwiązanie dna komory,

- obliczenia i wymiarowanie bloku oporowego,

- rozwiązanie i wymiarowanie ściany wejściowej i wyjściowej,

- szczegóły montażu i powiązania z komorą elementów wyposażenia (w razie potrzeby), (studnia, komora).

Wymiarowanie konstrukcji wprowadzanej w przestrzeń gruntową

- rozważany etap realizacji i etap eksploatacji rurociągu,
- dla obu etapów bierze się pod uwagę pracę rurociągu na kierunku podłużnym i poprzecznym,







źródło internetowe: S & P Consult GmbH

Obliczenia (oszacowanie) potrzebnej siły przeciskowej

(za Kalisz H.: *Wybrane zagadnienia budownictwa komunalnego*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1994)

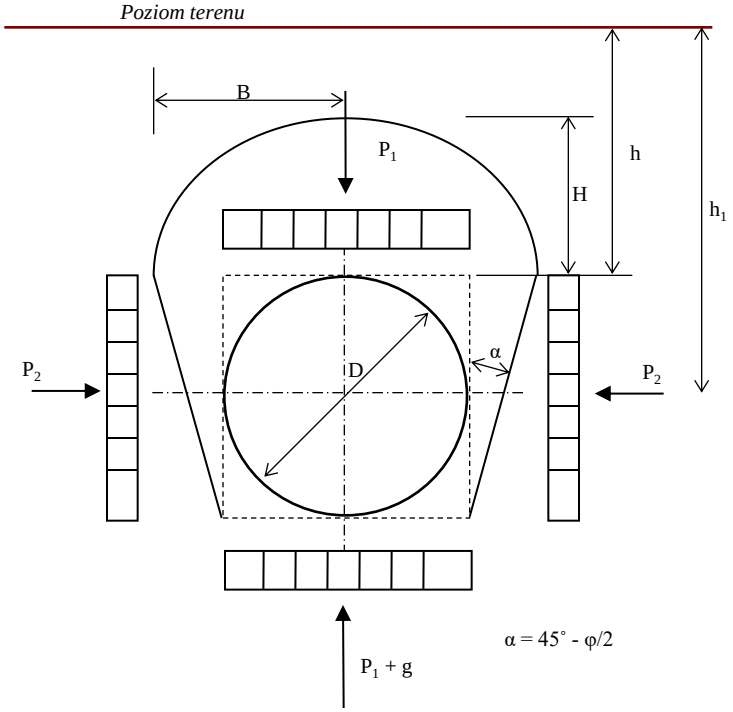
Siłę przecisku oblicza się wg wzoru:

$$T = \mu L [2(P_1 + P_2) + g] + G$$

μ- współczynnik tarcia między gruntem a zewnętrzną powierzchnią rury,
L – długość przecisku [m],
P_1 i P_2 – pionowy i poziomy nacisk gruntu na 1m rury [kN/m],
g – ciężar własny 1 m rury [kN/m],
G – opór czołowy rury [kN].

Znając moc urządzeń pchających T_{max}, średnicę i zagłębienie przecisku, rodzaj gruntu można obliczyć maksymalną długość przecisku z wzoru:

$$L_{max} = \frac{T_{max} - G}{\mu\left[2\left(P_1 + P_2\right) + g\right]} \quad [m]$



Naciski pionowe i poziome P_1 i P_2 oblicza się uwzględniając możliwość powstania przesklepienia w gruncie (tu wg. teorii Protodiakonowa)

dla $h/D \leq 1$ - metoda aktywnego parcia gruntu

(brak przesklepienia)

$$P_1 = 0{,}25\ \pi\ D\ \gamma_g\ h,$$
$$P_2 = 0{,}25\ \pi\ D\ \gamma_g\ h_1\ K_a, \quad [kN]$$

gdzie: γ_g – ciężar objętościowy gruntu [kN/m^3],
$K_a = tg^2(45^\circ - \varphi/2)$

$h/D > 2$ – zakłada się powstanie przesklepienia

$$P_1 = 0{,}7\ \gamma_g\ H\ D,$$
$$P_2 = 0{,}6\ P_1 \text{ - grunty niespoiste}$$
$$P_2 = 0{,}8\ P_1 \text{ - grunty spoiste} \qquad [kN]$$

wysokość sklepienia $H = B/f_p$,
gdzie: B – połowa rozpiętości sklepienia - $B = D/2 + D\ tg(45^\circ - \varphi/2)$,
f_p – doświadczalny współczynnik wytrzymałości gruntu.

obliczając siłę P1 dla wariantu bez powstającego przesklepienia należy uwzględnić obciążenie nasypem i obciążenie od fundamentów obiektów nad przeciskiem.
Obciążenia zmienne mogą być pominięte – uwzględnienie ew. obc. zmiennych długotrwałych.

Ciężar objętościowy gruntów oraz współczynniki f_p

Nazwa gruntu	γ_g[kN/m^3]	f_p
naruszony piaskowiec, łupek, margiel, glina, żwir,		
twarda glina, grunt zmarznięty	22 ÷ 26	2,0
zwarty ił, zwięzła glina	20 ÷ 22	1,0
glina piaszczysta, żwir, less	18 ÷ 20	0,8
wilgotny piasek, glina piaszczysta	16 ÷ 18	0,6
piasek, less, drobny żwir	14 ÷ 16	0,5
namuły bagienne	–	0,3

$1 \leq h/D \leq 2$

należy sprawdzić czy powstanie przesklepienie

(można wykorzystać zależność $H = B/f_p$ i porównać z h – jako najprostszy wariant)

Opór czołowy przeciskanego przewodu - **G**

Dla rur otwartych - szczególnie o średnicy 1000 mm i większej

$G = \pi D q$ [kN]

gdzie: q – współczynnik doświadczalny
q = 50 – 70 kN/m – grunty ilaste i gliniaste,
q = 70 – 100 kN/m – grunty piaszczyste,
q = 200 – 600 kN/m – grunty kamieniste.

- w przypadku tarcz ze stężeniami, do obwodu należy doliczyć długość stężeń,
- dla przejść przez różne grunty przyjmuje się średnie ważone po długości,

Wg Kędrackiego – w trakcie tunelowania w gruntach spoistych, małospoistych i niespoistych można zrezygnować z obliczania oporu czołowego tarczy G ponieważ nie jest ona wciskana w grunt a jedynie dociskana do wybranego już czoła przodka. W miejsce „G" należy wprowadzić :

$G = c s$ [kN]

gdzie: c – adhezja między betonem obudowy tunelu a gruntem [kPa],
s – zewnętrzna powierzchnia obudowy tunelu.

$$T = \mu L [2(P_1 + P_2) + g] + c \cdot s$$

Furtak K, Kędracki M.: *Podstawy budowy tuneli (Kraków 2005)* - wyniki badań doświadczalnych prowadzonych na Politechnice Łódzkiej dla określenia tarcia na pobocznicy przewodów wciskanych w grunt.

Parametry geotechniczne gruntów przemieszczanych po betonie wyznaczone metodą bezpośredniego ścinania w aparacie skrzynkowym

Nazwa gruntu	Ścinanie gruntu po betonie w aparacie skrzynkowym						
	powierzchnia betonu	bez bentonitu			z bentonitem		
		ϕ_s [°]	c_s [kPa]	μ	ϕ_s [°]	c_u [kPa]	μ
Piasek gliniasty (Pg)	gładka	23°10'	15,00	0,43	7°08'	0,00	0,12
	chropowata	27°40'	20,90	0,52	12°10'	10,00	0,22
Pył piaszczysty (πp)	gładka	14°42'	18,50	0,26	11°12'	0,00	0,20
	chropowata	21°56'	23,00	0,40	16°12'	8,00	0,29
Glina piaszczysta (Gp)	gładka	19°36'	10,00	0,36	5°48'	0,00	0,10
	chropowata	24°48'	18,00	0,46	8°36'	12,00	0,15
Piasek drobny (Pd)	gładka	25°48'	0,00	0,48	9°32'	0,00	0,16
	chropowata	32°18'	0,00	0,63	14°28'	3,00	0,26

ϕ_s – kąta tarcia gruntu przemieszczanego po betonie w aparacie skrzynkowym,
c_s – spójność gruntu przemieszczanego po betonie w aparacie skrzynkowym,
μ – współczynnik tarcia gruntu po betonie.

rozwiązanie Strieglera

opór czołowy tarczy można wyliczyć wg. wzoru:

$$T_1 = \pi/4 \cdot D_a^2 \cdot B$$

opory tarcia rury o otaczający grunt:

$$T_2 = D_a \cdot \pi \cdot L \cdot M$$

D_a – średnica zewnętrzna tarczy [m],
L – długość odcinka rury w trakcie przeciskania,
B – właściwy opór czołowy przodka [kN/m^2]
M – właściwy opór tarcia [kN/m^2]

przybliżone wartości oporu przodka wynoszą:

- dla warunków normalnych B=50 kN/m^2
- przy stosowaniu zawiesiny bentonitowej dla zmniejszenia oporów tarcia B=10-20 kN/m^2
- przy drążeniu w wodzie gruntowej B=5-15 kN/m^2

właściwy opór tarcia

$$M = \mu\left[\gamma_c\left(H_w + \frac{D_a}{2}\right)\left(\frac{2 + K_1 + K_2}{4}\right) + \frac{G}{4D_a}\right] \quad [\mathrm{kN/m^2}]$$

gdzie:

- μ – współczynnik tarcia zależny od struktury powierzchni rury,
- γ_c – ciężar objętościowy gruntu [$\mathrm{kN/m^3}$],
- H_w – głębokość prowadzenia przecisku [m],
- G – ciężar 1 mb obudowy przecisku (rury, lub obudowy prostokątnej) [kN],
- D_a – zewnętrzna średnica rury lub szerokość obudowy prostokątnej [m],
- K_1 – aktywny współczynnik parcia gruntu (współczynnik parcia czynnego gruntu, wg Rankine'a

$$K_1 = \mathrm{tg}^2\left(45° - \frac{\phi}{2}\right)$$

- K_2 – współczynnik oporu gruntu (współczynnik parcia biernego gruntu, wg Rankine'a)

$$K_2 = \mathrm{tg}^2\left(45° + \frac{\phi}{2}\right)$$