Wytyczna ATV - DVWK A 161: Obliczenia statyczne rur przeciskanych

Wydanie I – 1990

Rura przeciskana – etap realizacji i etap eksploatacji przewodu

praca na kierunku porzecznym przewodu – wybrane tabele, rysunki, współczynniki

obciążenia komunikacyjne, E_B, K_2

Tabela 1: Grupy gruntów

grupa gruntu	ciężar właściwy		kąt tarcia wewnętrznego [stopień]	współczynnik parcia gruntu[1]					moduł odkształcalności E_B [N/mm²] przy stopniu zagęszczenia D_{Pr} = 92 %
	powyżej wody [kN/m³]	poniżej wody [kN/m³]		powyżej	poniżej sklepienia przewodu				
					w etapie realizacji		w trakcie eksploatacji		
	γ_B	γ'_B	φ'	K_1	bez wypełnienia nadprzekroju K_2	z wypełnieniem nadprzekroju K_2	bez wypełnienia nadprzekroju K_2	z wypełnieniem naprzekroju K_2	
Gl	20	11	35	0,5	0,3	0,4	0,4	0,5	9
G2	20	11	30	0,5	0,3	0,4	0,4	0,5	4
G3	20	10	25	0,5	0,3	0,4	0,4	0,5	3
G4	20	10	20	0,5	0,3	0,4	0,4	0,5	2

1) dla rur stalowych zobacz również akapit 5.2.2 i tabelę 5

Etap realizacji przewodu

a) obciążenia działające poprzecznie do osi przewodu

- obciążenie pionowe gruntem,
- parcie boczne gruntu,
- obciążenie równomiernie rozłożone naziomu,
- obciążenia komunikacyjne (poruszającymi się w poziomie terenu pojazdami),
- obciążenie naziomu na ograniczonej powierzchni,
- ciężar własny rury,
- zewnętrzne ciśnienie wody gruntowej do poziomu sklepienia przeciskanej rury,
- zewnętrzne ciśnienie wody gruntowej powyżej poziomu sklepienia przeciskanej rury,
- ciśnienie wywierane przez środek poślizgowy,
- ciśnienie powietrza,
- oddziaływania wywołane przeciskaniem,
- wypór.

b) obciążenia działające wzdłuż osi przewodu

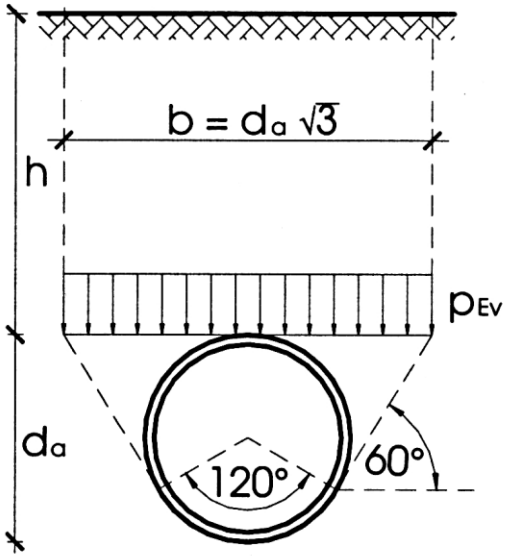
- siłę wciskającą rurę w grunt,
- dodatkowe oddziaływania, np. na skutek sterowania przeciskiem.

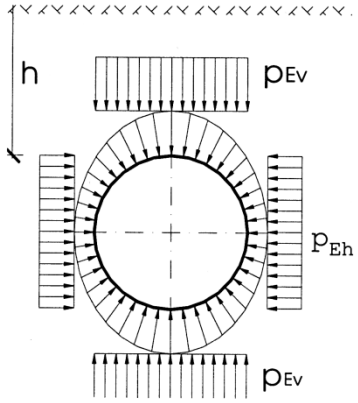
Etap eksploatacji

obciążenia działające poprzecznie do osi przewodu

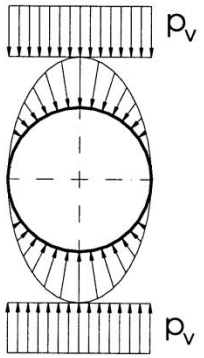
- obciążenie pionowe gruntem,
- parcie boczne gruntu,
- obciążenie równomiernie rozłożone naziomu,
- obciążenia komunikacyjne (poruszającymi się po naziomie pojazdami),
- obciążenie naziomu na ograniczonej powierzchni,
- ciężar własny rury,
- wypełnienie wodą do sklepienia rury,
- nadciśnienie wewnątrz rury,
- zewnętrzne ciśnienie wody gruntowej do poziomu sklepienia przeciskanej rury,
- zewnętrzne ciśnienie wody gruntowej powyżej poziomu sklepienia przeciskanej rury,
- wypór.

Schemat obciążeń rury przeciskanej – założenia wg teorii Terzagiego





Schemat obciążenia gruntem rury przeciskowej



Rozkład obciążeń rury przeciskowej wywołanych obciążeniami komunikacyjnymi

dla rury sztywnej

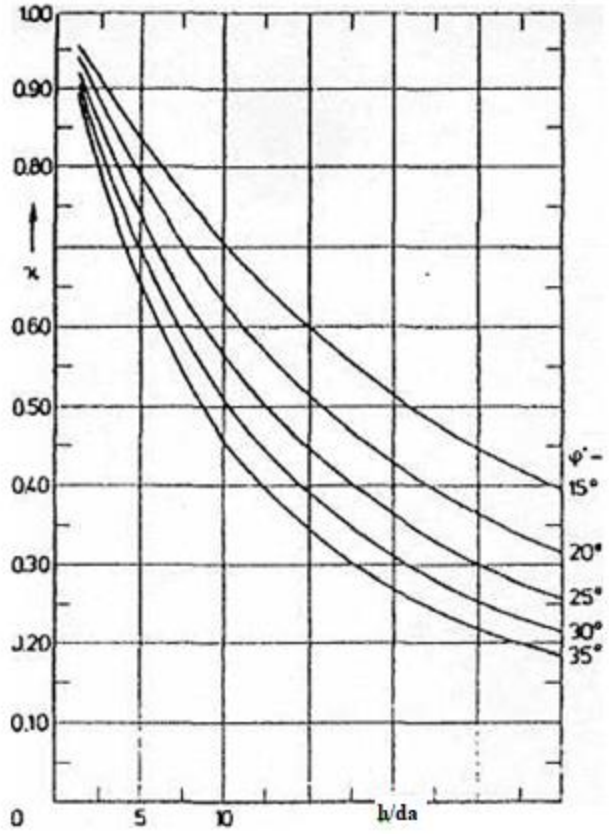
Obciążenia pionowe od gruntu:

$$p_{Ev} = \chi \gamma_B h$$

gdzie: χ – współczynnik zmniejszający uwzględniający współdziałanie górotworu będące następstwem ograniczonego rozluźnienia gruntu;
γ_B – ciężar objętościowy gruntu,
h – zagłębienie rury.

$$\chi = \frac{1 - e^{-2K_1 \operatorname{tg}\frac{\varphi'}{2}\frac{h}{b}}}{2K_1 \operatorname{tg}\frac{\varphi'}{2}\frac{h}{b}}$$

gdzie: K_1 – współczynnik parcia gruntu; wytyczne zalecają przyjmowanie $K_1 = 0{,}5$,
φ' – kąt tarcia wewnętrznego gruntu.



Rys.2. Współczynnik zmniejszający χ dla $K_1 = 0,5$

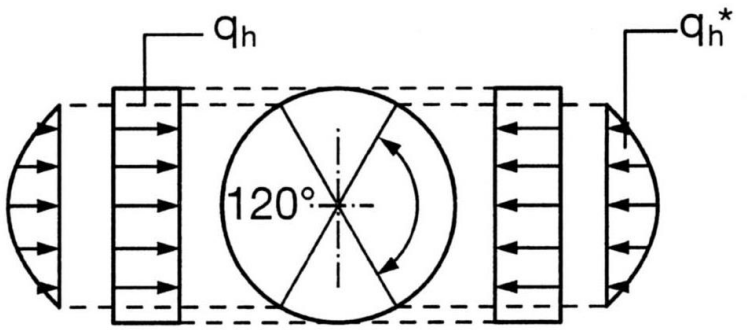
Boczne parcie gruntu p_{Eh} wyznaczamy z zależności

$$p_{Eh} = \chi \gamma_B h K_2$$

gdzie K_2 – współczynnik parcia gruntu.

w typowym przypadku jako miarodajny przyjmuje się grunt o najniższym współczynniku parcia K_2

W przypadku rur przeciskowych wykazujących się podatnością (stalowych), należy uwzględnić reakcję otaczającego gruntu (odporu) dla obciążenia pionowego gruntem i obciążenia komunikacyjnego

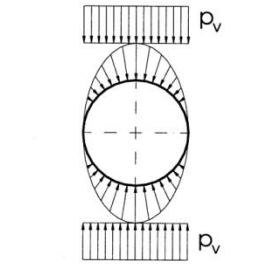


$$q_h^* = q_{hV}^* + q_{hE}^*$$

$$q_{hV}^* = p_V K^*$$ parcie od reakcji posadowienia wywołane obciążeniem komunikacyjnym

$$q_{hE}^* = (p_{Ev} - p_{Eh}) K^*$$ parcie od reakcji posadowienia wywołane obciążeniem gruntem

gdzie: K^* – współczynnik parcia od reakcji posadowienia (reakcji otaczającego rurę gruntu)

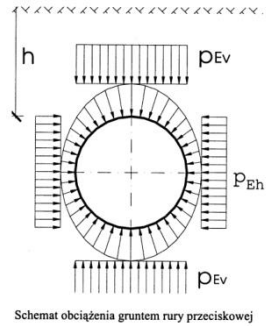


Rozkład obciążeń rury przeciskowej wywołanych obciążeniami komunikacyjnymi

$$K^* = \frac{0{,}0833}{V_{RB} + 0{,}066}$$

gdzie V_{RB} – sztywność układu rura–grunt wyznaczona z zależności

$$V_{RB} = 0{,}14 \frac{E_R}{E_B} \left(\frac{s}{r_m} \right)^3$$



Schemat obciążenia gruntem rury przeciskowej

gdzie: E_R – moduł sprężystości materiału rury,
E_B – moduł odkształcenia gruntu otaczającego rurę.
s – grubość ścianki rury,
r_m – średni promień rury.

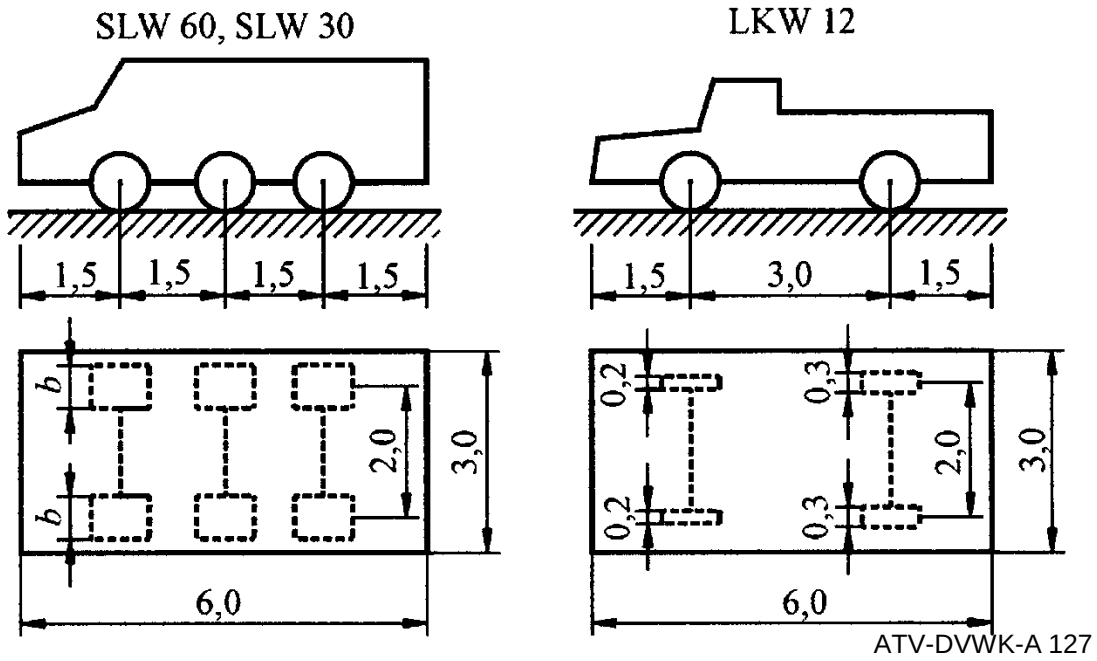
Wielkość obciążeń komunikacyjnych wynika z założonego modelu obciążeń przyjmowanego przez wytyczną.

Prezentowane są modele dla obciążeń ruchem ulicznym,
ruchem pojazdów szynowych,
obciążenia samolotami dla lotnisk,

zalecenia do obciążeń w przypadkach i dla lokalizacji szczególnych (np.: ciężkie pojazdy na trenach przemysłowych).

Podawane wzory i nomogramy umożliwiają określenie podstawowego obciążenia p_v w zależności od głębokości prowadzenia przecisku.

Obciążenie ruchem pojazdów ulicznych (samochodami)



Pojazdy samochodowe, wg [2]

Parametry pojazdów samochodowych

Rodzaj pojazdu	Ciężar, kN	Ciężar przypadający na koło, kN	Powierzchnia styku koła z nawierzchnią, m	
			szerokość	długość
SLW 60	600	100	0,6	0,2
SLW 30	300	50	0,4	0,2
LKW 12	120	przednie 20	0,2	0,2
		tylne 40	0,3	0,2

na potrzeby projektu można korzystać z tego modelu obciążenia i podanego nomogramu

Przyjmuje się obciążenie nad przekrojem rury jako równomiernie rozłożone obciążenie komunikacyjne na wysokości sklepienia przewodu.

Naprężenie w gruncie p wywołane ruchem pojazdów oblicza się w zależności od wysokości przekrycia i średnicy przewodu wg następującego równania:

$$p = a_F \cdot p_F$$

gdzie

$$p_F = \frac{F_A}{r_A^2 \cdot \pi}\left(1-\left(\frac{1}{1+\left(\frac{r_A}{h}\right)^2}\right)^{\frac{3}{2}}\right)+\frac{3\cdot F_E}{2\cdot\pi\cdot h^2}\left(\frac{1}{1+\left(\frac{r_E}{h}\right)^2}\right)^{\frac{5}{2}}$$

$$a_F = 1-\frac{0{,}9}{0{,}9+\frac{4h^2+h^6}{1{,}1d_m^{2/3}}}$$

$$d_m = \frac{d_a+d_i}{2}$$

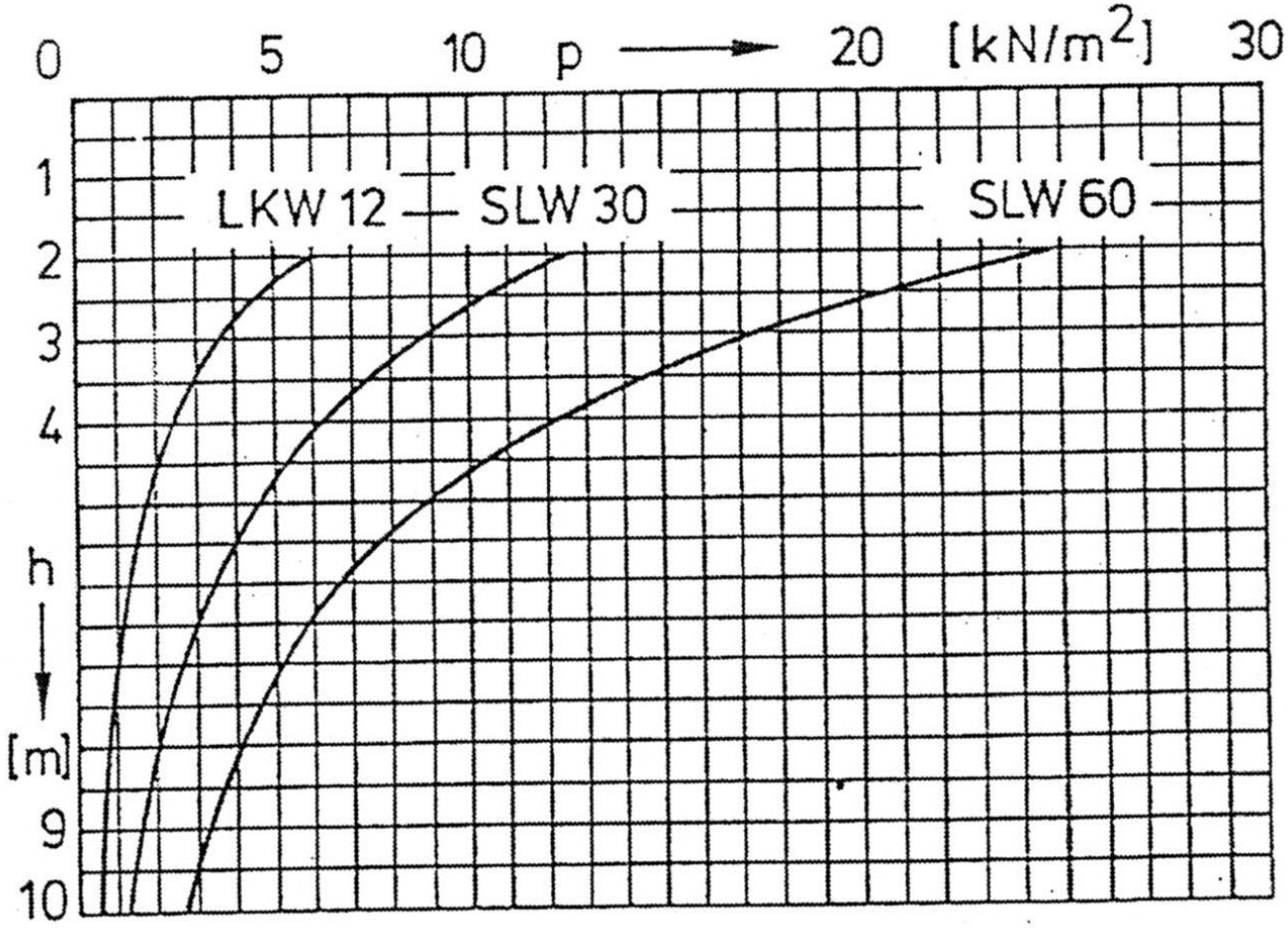
Podane równanie obowiązuje w następujących granicach:

$h \geq 0{,}5\ \mathrm{m}$

$d_m \leq 5{,}0\ \mathrm{m}$

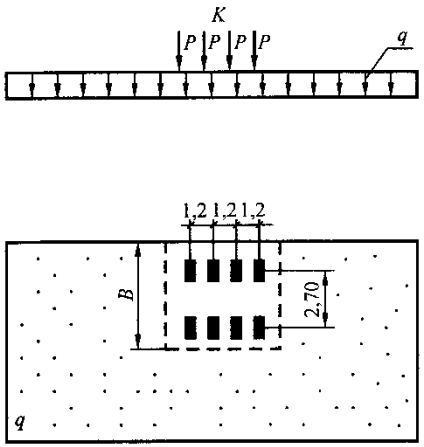
Tabela 5: Obciążenia pomocnicze i promienie pomocnicze

Pojazd typowy	F_A [kN]	F_E [kN]	r_A [m]	r_E [m]
SLW 60	100	500	0.25	1.82
SLW 30	50	250	0.18	1.82
LKW 12	40	80	0,15	2,26



Naprężenie p w gruncie wywołane przez SLW 60, SLW 30, LKW 12; h = 2 m do h = 10 m

PN-85/S-10030: Obiekty mostowe. Obciążenia.



B - szerokość pasa ruchu

Schemat obciążenia od taboru samochodowego

Obciążenia taborem samochodowym,

Klasa obciążeń	Mnożnik dla klasy A	Obciążenie q, kN/m^2	Obciążenie K, kN	Nacisk na oś, kN
A	1,00	4,00	800	200
B	0,75	3,00	600	150
C	0,50	2,00	400	100
D	0,40	1,60	320	80
E	0,30	1,20	240	60

Ciężary pojazdów dopuszczonych do eksploatacji dla klas obciążeń A – E

Klasa	A	B	C	D	E
Ciężar, kN	500	400	300	200	150

oczywiście można obliczyć naprężenia w gruncie z użyciem alternatywnych znanych rozwiązań – (uczyliście się Państwo na Mechanice Gruntów (np. ze wzoru Boussinesqa). Dotyczy to też przypadków pojazdów specjalnych np. na ternach zakładów przemysłowych.

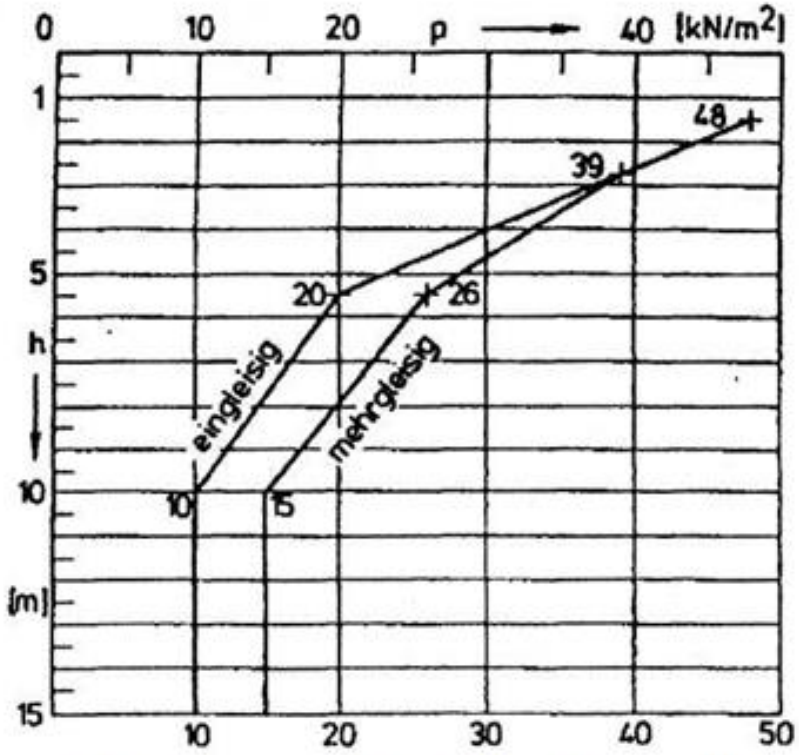
Obciążenia ruchem kolejowym

Przy określaniu pionowych naprężeń gruncie wywołanych obciążeniem ruchem kolejowym uwzględnia się działanie szyn i podkładów rozkładające obciążenie. Obliczenia prowadzi się wg wytycznej DS 804 Kolei Niemieckich z pionowym naprężeniem w gruncie *p* na poziomie sklepienia przewodu, w zależności od wysokości przekrycia h do górnej krawędzi podkładu.

Tabela 8: Naprężenia w gruncie p wywołane obciążeniem ruchem kolejowym

h [m]	p [kN/m^2]	
	1 tor	2 i więcej torów
1.50	48	48
2.75	39	39
5.50	20	26
> 10.00	10	15
wartości pomiędzy podanymi uzyskać można przez interpolację liniową		

Naprężenie w gruncie p na wysokości sklepienia przewodu można odczytać na podstawie rysunku 7.



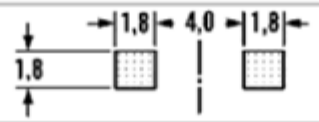
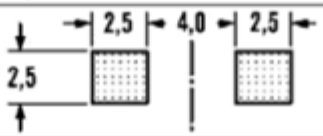
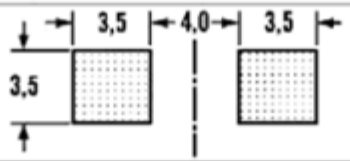
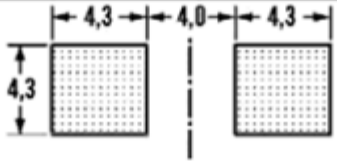
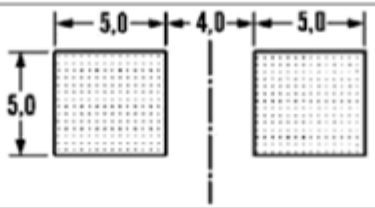
Naprężenie w gruncie p wywołane obciążeniem ruchem kolejowym

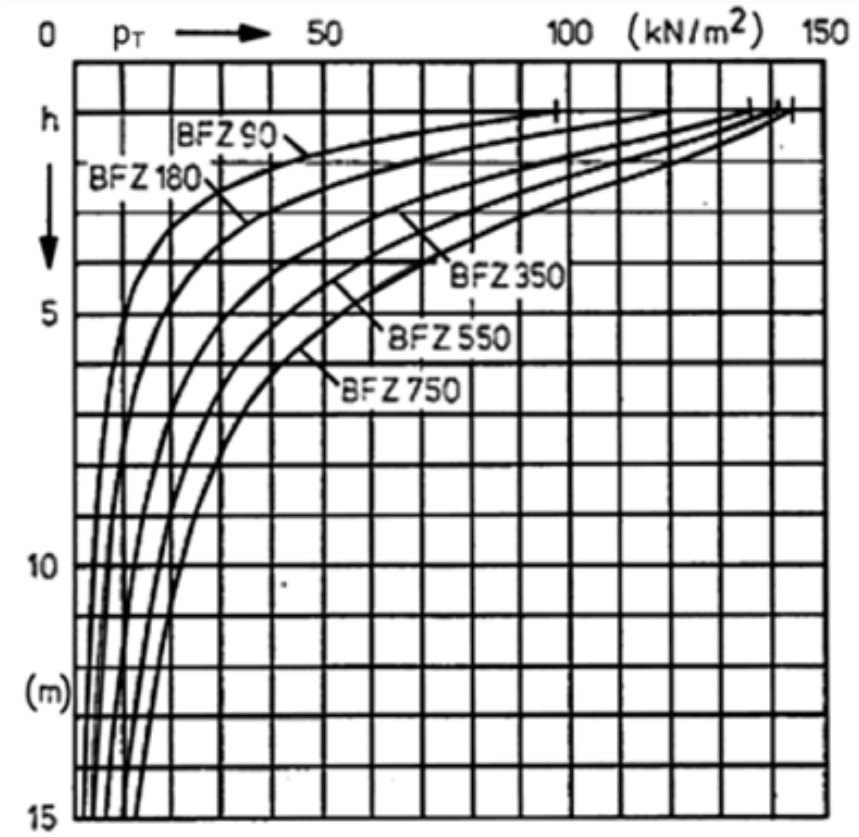
Dla minimalnego przekrycia obowiązuje większa z podanych wartości:

h = 1,50 m lub
h = d i

Dla rur pod torami współczynnik dynamiczny wynosi:
$\varphi = 1{,}40 - 0{,}1 \cdot (h - 0{,}50) \geq 1{,}0$
gdzie h podaje się w [m].

wytyczna podaje również schematy do obliczenia naprężeń od samolotów standardowych BFZ na terenach lotnisk

samolot standardowy	powierzchnie przylegania i rozstawy głównego podwozia	obciążenie
t	m	kN/m²
BFZ 90		150
BFZ 180		150
BFZ 350		150
BFZ 550		150
BFZ 750		150



Naprężenia w gruncie p_T wywołane ruchem samolotów

uwzględniają już wsp. dynamiczny

5.2.5. Ciężar własny

Ciężar własny rury oblicza się na podstawie grubości ścianki i ciężaru właściwego materiału rury.

5.2.6. Wypełnienie wodą do poziomu sklepienia

Przyjmuje się wypełnienie wodą do poziomu sklepienia; wypełnienia częściowe nie są uwzględniane.

5.2.7. Wewnętrzne nadciśnienie wody

Jako wewnętrzne nadciśnienie i przy tym ciśnienie obliczeniowe przyjmuje się maksymalne dopuszczalne ciśnienie eksploatacyjne lub wysokość słupa wody powyżej sklepienia rury.

5.2.8. Zewnętrzne parcie wody do poziomu sklepienia przewodu

Zewnętrzne parcie wody przyjmowane jest do poziomu sklepienia przewodu — stany pośrednie są pomijane.

5.2.9. Zewnętrzne parcie wody do poziomu powyżej sklepienia przewodu

Jako zewnętrzne parcie wody powyżej sklepienia przewodu przyjmuje się dla warunku naprężeń najniższy poziom wody gruntowej, natomiast dla warunku wyboczenia najwyższy poziom wody gruntowej.

5.2.10.Ciśnienie wywierane przez środki poślizgowe i wypełniające

Ciśnienie wywołane przez środki poślizgowe i wypełniające uwzględnia się przy warunku wyboczenia tak jak parcie wody powyżej poziomu sklepienia przewodu.

5.2.11. Ciśnienie powietrza

Ciśnienie powietrza jest traktowane jak wewnętrzne nadciśnienie i uwzględniane dla wartości podanych dla stanu eksploatacji i realizacji.

5.3. Obciążenie w kierunku osi rury wywołane siłą przeciskającą

Rury przeciskane obciążane są w kierunku osi przewodu siłami wywoływanymi przez główną i pośrednie stacje wtłaczania.

Wynikowe działania sił przeciskania leżą zazwyczaj poza osią rury na wskutek procesu sterowania oraz przez założoną krzywiznę przecisku.

5.4. Obciążenia siłami powstającymi przy przeciskaniu w trakcie realizacji (minimalny zakres wymiarowania)

W trakcie realizacji przewodu rury przeciskowe mogą być obciążone przez nieujmowane rachunkowo „siły przeciskowe" (niem. Zwangungskrafte). W celu uwzględnienia tych sił, rury należy obliczać - niezależnie od określenia sił przekrojowych wg rozdziału 6 i wymiarowania wg rozdziału 7 - przynajmniej dla następujących sił wewnętrznych w poprzek osi przewodu:

$$M^{Scheitel} = 33 \cdot r_m^2$$
$$M^{Kampfer} = -33 \cdot r_m^2$$
$$M^{Sohle} = 33 \cdot r_m^2$$
$$N^{scheitel} = -100 \cdot r_m$$
$$N^{Kampfer} = -200 \cdot r_m$$
$$N^{Sohle} = -100 \cdot r_m$$

Minimalne siły przekrojowe dla zamkniętych połączeń rur ($z/d_a = 1$) można zredukować do wartości:

$$M^{Scheitel} = 30 \cdot r_m^2$$
$$M^{Kampfer} = -30 \cdot r_m^2$$
$$M^{Sohle} = 30 \cdot r_m^2$$
$$N^{scheitel} = -90 \cdot r_m$$
$$N^{Kampfer} = -180 \cdot r_m$$
$$N^{Sohle} = -90 \cdot r_m$$

- dla rur żelbetowych $DN \geq 4000$
- dla rur azbestowo-cementowych $DN \geq 1900$
- dla rur kamionkowych $DN \geq 1000$

jeżeli spełnione są następujące warunki:

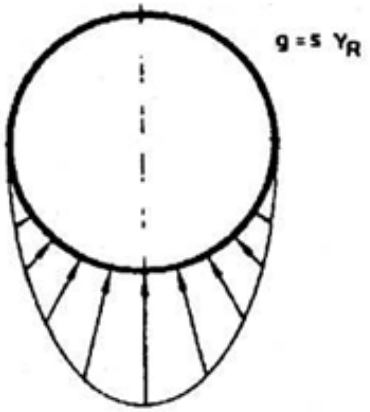
- podczas przecisku, na całej jego długości wtłaczany jest środek poślizgowy i wypełniający;
- trasa przecisku (jej wysokość i kierunek) jest stale kontrolowana w trakcie prowadzenia prac; wyniki pomiarów są dokładnie notowane;
- siły w głównej i pośrednich stacjach wtłaczania oraz w siłownikach sterujących są stale kontrolowane i zapisywane;
- prace prowadzone są z należytą starannością.

Dla rur stalowych minimalne siły przekrojowe mogą zostać zmniejszone, o ile nie bierze się pod uwagę parcia od reakcji posadowienia. Najniższe wartości sił przekrojowych można przyjmować jako:

$$M^{Scheitel} = 24 \cdot r_m^2$$
$$M^{Kampfer} = -24 \cdot r_m^2$$
$$M^{Sohle} = 24 \cdot r_m^2$$
$$N^{scheitel} = -130 \cdot r_m$$
$$N^{Kampfer} = -260 \cdot r_m$$
$$N^{Sohle} = -130 \cdot r_m$$

6.2.1. Siły wewnętrzne wywołane ciężarem własnym

Reakcje podporowe działające radialnie, rozłożone wg krzywej $\cos^2$

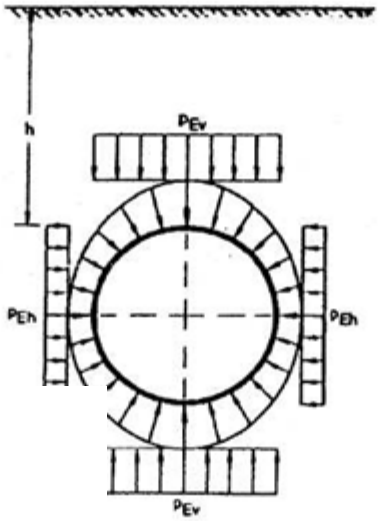


s = grubość ścianki rury
γ_R = ciężar właściwy materiału rury
r_m = średni promień rury

$$M_G^{Scheitel} = 0{,}345 \cdot s \cdot \gamma_R \cdot r_m^2$$
$$M_G^{Kampfer} = -0{,}393 \cdot s \cdot \gamma_R \cdot r_m^2$$
$$M_G^{Sohle} = 0{,}441 \cdot s \cdot \gamma_R \cdot r_m^2$$
$$N_G^{scheitel} = 0{,}167 \cdot s \cdot \gamma_R \cdot r_m$$
$$N_G^{Kampfer} = -1{,}571 \cdot s \cdot \gamma_R \cdot r_m$$
$$N_G^{Sohle} = -1{,}737 \cdot s \cdot \gamma_R \cdot r_m$$

6.2.2. Siły wewnętrzne wywołane obciążeniem gruntem i równomiernie rozłożonym obciążeniem powierzchniowym (np.: nasypy)

Średnie wartości z sił działających radialnie, rozłożonych wg krzywej $\cos^2$ i rozłożonych prostokątnie .



$$p_{Ev} = \chi \cdot \gamma_B \cdot h$$

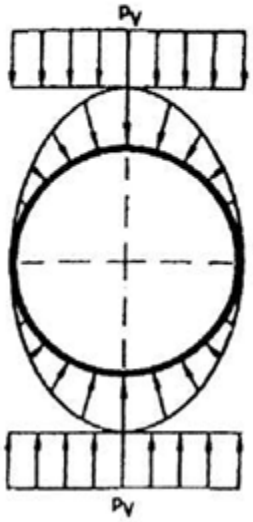
γ_B = miarodajny ciężar właściwy gruntu

$$M_E^{Scheitel} = m_E^{Scheitel} \cdot p_{Ev} \cdot r_m^2$$
$$M_E^{Kampfer} = m_E^{Kampfer} \cdot p_{Ev} \cdot r_m^2$$
$$M_E^{Sohle} = m_E^{Sohle} \cdot p_{Ev} \cdot r_m^2$$
$$N_E^{scheitel} = n_E^{Scheitel} \cdot p_{Ev} \cdot r_m$$
$$N_E^{Kampfer} = n_E^{Kampfer} \cdot p_{Ev} \cdot r_m$$
$$N_E^{Sohle} = n_E^{Sohle} \cdot p_{Ev} \cdot r_m$$

	$K_2 = 0.3$	$K_2 = 0.4$	$K_2 = 0.5$
$m_E^{Scheitel}$	0.1636	0.1375	0.1125
$m_E^{Kampfer}$	-0.1636	-0.1375	-0.1125
m_E^{Sohle}	0.1636	0.1375	0,1125
$n_E^{Scheitel}$	-0,4978	-0.5750	-0.6500
$n_E^{Kampfer}$	-1,0000	-1,0000	-1,0000
n_E^{Sohle}	-0.4978	-0.5750	-0.6500

6.2.3. Siły wewnętrzne wywołane obciążeniem komunikacyjnym i ograniczonym obciążeniem powierzchniowym

Średnie wartości z działających radialnie, rozłożonych wg krzywej $\cos^2$ i prostokątnie



$$M_P^{Scheitel} = 0{,}25 \cdot p_v \cdot r_m^2$$

$$M_P^{Kampfer} = -0{,}25 \cdot p_v \cdot r_m^2$$

$$M_P^{Sohle} = 0{,}25 \cdot p_v \cdot r_m^2$$

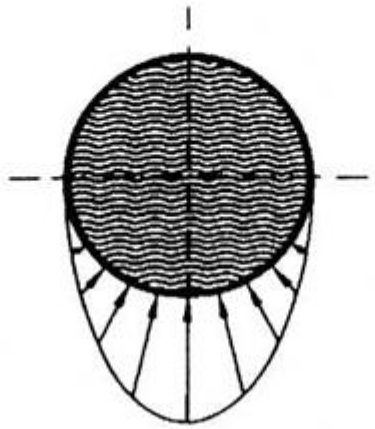
$$N_P^{scheitel} = -0{,}25 \cdot p_v \cdot r_m$$

$$N_P^{Kampfer} = -1{,}00 \cdot p_v \cdot r_m$$

$$N_P^{Sohle} = -0{,}25 \cdot p_v \cdot r_m$$

6.2.4. Siły wewnętrzne wywołane wypełnieniem wodą do poziomu sklepienia rury

Reakcje podporowe działające radialnie, rozłożone wg krzywej $\cos^2$



γ = ciężar właściwy cieczy wypełniającej

$$M_{Wi}^{\ Scheitel} = 0{,}172 \cdot \gamma_w \cdot r_m^3$$

$$M_{Wi}^{\ Kampfer} = -0{,}196 \cdot \gamma_w \cdot r_m^3$$

$$M_{Wi}^{\ Sohle} = 0{,}220 \cdot \gamma_w \cdot r_m^3$$

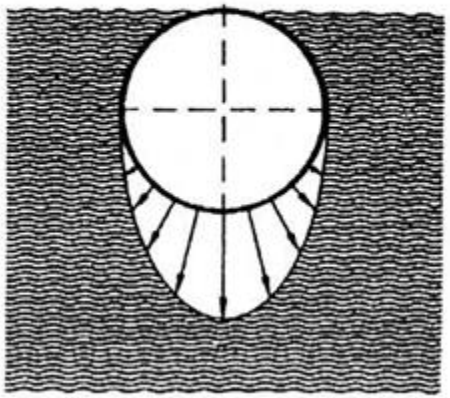
$$N_{Wi}^{\ scheitel} = 0{,}583 \cdot \gamma_w \cdot r_m^{\ 2}$$

$$N_{Wi}^{\ Kampfer} = 0{,}215 \cdot \gamma_w \cdot r_m^{\ 2}$$

$$N_{Wi}^{\ Sohle} = 0{,}631 \cdot \gamma_w \cdot r_m^{\ 2}$$

6.2.5. Siły wewnętrzne wywołane zewnętrznym parciem wody do poziomu sklepienia przewodu

Reakcje podporowe działające radialnie, rozłożone wg krzywej $\cos^2$



γ_w = ciężar właściwy cieczy wypełniającej

Reakcja podłoża występuje w postaci naprężenia rozciągającego (ujemne naprężenie w podporze) jeżeli suma naprężeń w podporze daje naprężenia ściskające.

$$M_{Wa}^{Scheitel} = -0{,}172 \cdot \gamma_w \cdot r_m^3$$

$$M_{Wa}^{Kampfer} = 0{,}196 \cdot \gamma_w \cdot r_m^3$$

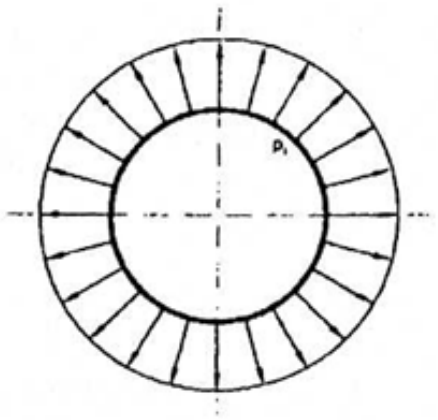
$$M_{Wa}^{Sohle} = -0{,}220 \cdot \gamma_w \cdot r_m^3$$

$$N_{Wa}^{scheitel} = -0{,}583 \cdot \gamma_w \cdot r_m^2$$

$$N_{Wa}^{Kampfer} = -0{,}215 \cdot \gamma_w \cdot r_m^2$$

$$N_{Wa}^{Sohle} = -0{,}631 \cdot \gamma_w \cdot r_m^2$$

6.2.6. Siły przekrojowe wywołane wewnętrznym nadciśnieniem



p_i = wewnętrzne nadciśnienie

r_i = wewnętrzny promień rury

r_a = zewnętrzny promień rury

$$c = \frac{1}{2} - \frac{r_i \cdot r_a}{r_a^2 - r_i^2} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i}$$

$$M_{pi}^{Scheitel} = p_i \cdot c \cdot r_i \cdot r_a$$

$$M_{pi}^{Kampfer} = p_i \cdot c \cdot r_i \cdot r_a$$

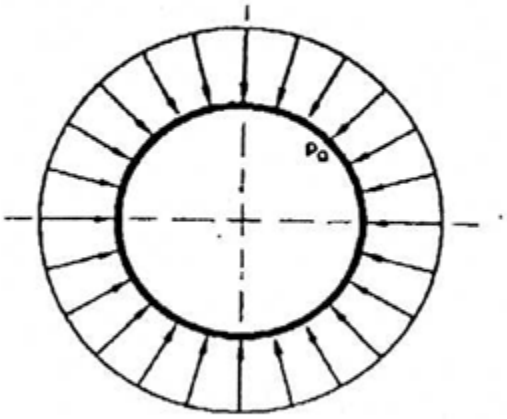
$$M_{pi}^{Sohle} = p_i \cdot c \cdot r_i \cdot r_a$$

$$N_{pi}^{Scheitel} = p_i \cdot r_i$$

$$N_{pi}^{Kampfer} = p_i \cdot r_i$$

$$N_{pi}^{Sohle} = p_i \cdot r_i$$

6.2.7. Siły wewnętrzne wywołane zewnętrznym parciem wody ponad sklepienie przewodu



p_a = zewnętrzne parcie wody ponad sklepienie rury
r_i = wewnętrzny promień rury
r_a = zewnętrzny promień rury

$$c = \frac{1}{2} - \frac{r_i \cdot r_a}{r_a^2 - r_i^2} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i}$$

$$M_{pa}^{Scheitel} = -p_a \cdot c \cdot r_i \cdot r_a$$

$$M_{pa}^{Kampfer} = -p_a \cdot c \cdot r_i \cdot r_a$$

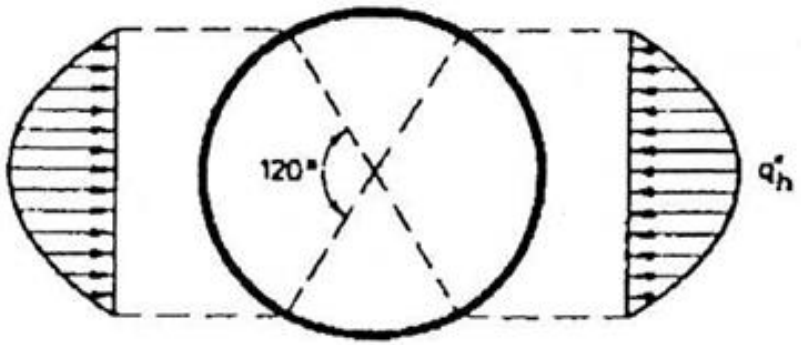
$$M_{pa}^{Sohle} = -p_a \cdot c \cdot r_i \cdot r_a$$

$$N_{pa}^{Scheitel} = -p_a \cdot r_i$$

$$N_{pa}^{Kampfer} = -p_a \cdot r_i$$

$$N_{pa}^{Sohle} = -p_a \cdot r_i$$

6.2.8. Siły wewnętrzne wywołane parciem od reakcji posadowienia dla rur stalowych



$$q_h^* = q_{hV}^* + q_{hE}^*$$

q_{hV}^* = parcie od reakcji posadowienia wywołane odkształceniem rury pod obciążeniem komunikacyjnym

q_{hE}^* = parcie od reakcji posadowienia wywołane odkształceniem rury od ciężaru i parcia gruntu

Od obciążeń komunikacyjnych:

sklepienie i kineta

$$M_{gh,V}^* = -0{,}181 \cdot q_{hV}^* \cdot r_m^2$$

$$N_{gh,V}^* = -0{,}577 \cdot q_{hV}^* \cdot r_m$$

wezgłowia

$$M_{gh,V}^* = 0{,}208 \cdot q_{hV}^* \cdot r_m^2$$

$$N_{gh,V}^* = 0$$

Od ciężaru i parcia gruntu:

sklepienie i kineta

$$M_{gh,E}^* = -0{,}181 \cdot q_{hE}^* \cdot r_m^2$$

$$N_{gh,E}^* = -0{,}577 \cdot q_{hE}^* \cdot r_m$$

wezgłowia

$$M_{gh,E}^* = 0{,}208 \cdot q_{hE}^* \cdot r_m^2$$