

## Obliczenia konstrukcyjne przewodów układanych w gruncie przy użyciu oprogramowania TEPPFA

### Wstęp

Na przestrzeni ostatnich lat wielokrotnie podejmowano próby opracowania skutecznej i jednolitej metody obliczeń wytrzymałościowych przydatnej w projektowaniu przewodów z tworzyw sztucznych. Kilka krajów rozwinęło własne metody obliczeniowe - próby ich połączenia w jednolite akceptowane przez wszystkich rozwiązanie są jak dotąd nieudane. Potrzeba unifikacji wynika z praktycznych wymogów rynku a trudność sprawiają:

- opracowanie łatwych do stosowania, nieskomplikowanych modeli matematycznych, których wyniki zgadzałyby się z rzeczywistymi obserwacjami;
- brak szerokiej, spójnej bazy danych wyników badań polowych.

Dlatego TEPPFA oraz APME zdecydowały, by wykonać serię badań polowych, ilustrujących dobre własności rur termoplastycznych układanych w gruncie. Wyniki badań opublikowano w raporcie "Projektowanie rur termoplastycznych układanych w gruncie". Kolejnym krokiem było opracowanie oprogramowania, które pozwala na obliczenia z wykorzystaniem wniosków z badań polowych. Poniższy tekst ma za zadanie przybliżyć Państwu to narzędzie.

Wyniki badań prowadzą autorów do wniosków, które pozwalają inaczej spojrzeć na obecnie używane metody projektowania. Dla przykładu w szeregu obecnie stosowanych przez projektantów programach obliczeniowych obciążenie ruchem drogowym bezpośrednio wpływa na wynik otrzymanych ugięć (większe obciążenie powoduje większe ugięcie). Natomiast zdaniem autorów raportu obciążenie ruchem drogowym nie wpływa finalnie na wartości ugięcia. Ruch drogowy skraca jedynie czas w jakim zostanie osiągnięte ostateczne ugięcie.

Poniższy tekst ma zachęcić czytelników i użytkowników tego programu do samodzielnego zapoznania się z treścią raportu. Dokument ten jest dostępny na stronie internetowej Polskiego Stowarzyszenia Producentów Rur i Kształtek z Tworzyw sztucznych ([www.prik.pl](http://www.prik.pl)).

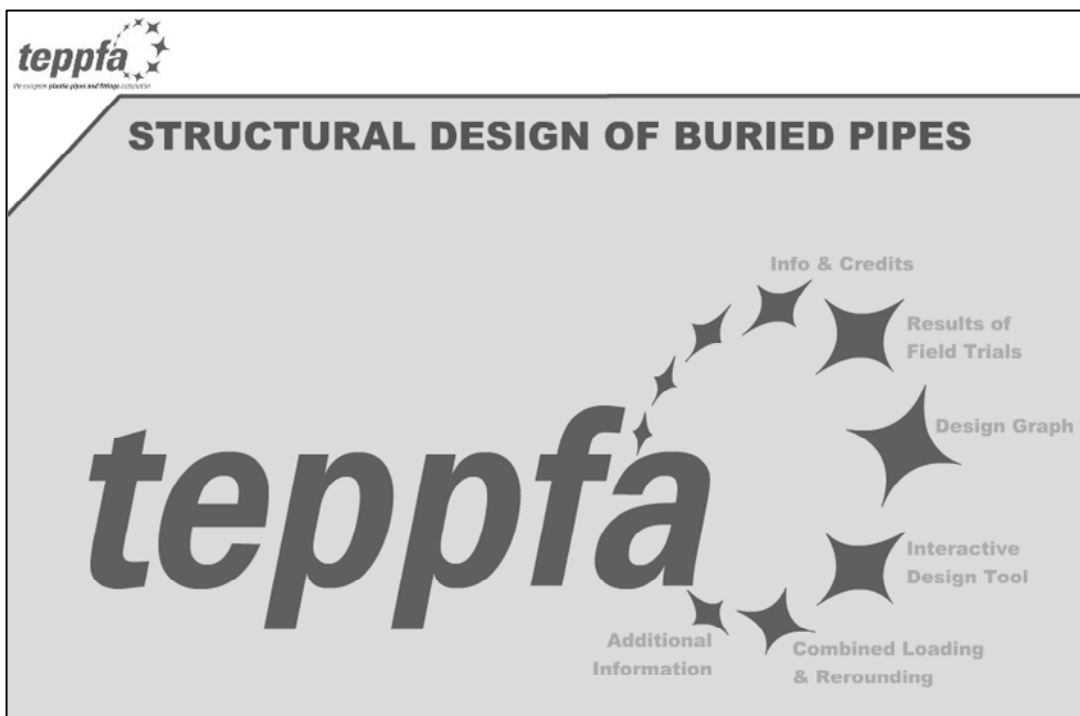
### Praca z programem

Po uruchomieniu programu należy wybrać język, którego chce używać użytkownik programu. W dalszej części tekstu przedstawiono pracę z programem działającym w języku angielskim (wersja w języku polskim dostępna będzie niedługo na [www.prik.pl](http://www.prik.pl)). Aby rozpocząć pracę należy zaakceptować warunki użytkowania programu. Wynika z nich, że jakkolwiek TEPPFA dołożyła wszelkich starań by prezentowane wyniki były poprawne wyklucza swoją odpowiedzialność z tytułu użycia programu bądź podjętych na podstawie jego obliczeń decyzji. Należy również uwzględnić m.in. następujące ograniczenia techniczne:

- ograniczenie głębokości układania rurociągu do 0,80 - 6,00 m;
- projektant powinien ustalić średnie i maksymalne dopuszczalne ugięcie rury (zgodnie ze sztuką projektową, narodowymi standardami itp.);
- obliczenia dotyczą rur zgodnych z EN 13476, EN 12666, EN 1852 oraz EN 1401;

- rodzaje/warunki instalacji (klasy zagęszczenia): W "dobre", M "umiarkowane" i N "nie". Pojęcia te odnoszą się do nakładu pracy poświęconego układaniu rurociągu w gruncie;
- zabezpieczenia wykopu powinny być usunięte przed rozpoczęciem zagęszczania gruntu (zgodnie z zaleceniami EN 1610). Jeżeli zabezpieczenia zostały usunięte z wykopu po zagęszczeniu - należy przyjąć najłabsze warunki instalacji;
- rozważania dotyczą rur o średnicy do 1100 mm;
- relacja "głębokość posadowienia/średnica rury" powinna mieć wartość większą od 2.

Po zaakceptowaniu warunków oczom użytkownika ukazuje się ekran na którym można wybrać następujące opcje:



- Info & Credits  
zawiera opis programu oraz podziękowania;
- Results of Field Trials  
zawiera wyniki badań polowych;
- Design Graph  
wykresy podsumowujące wyniki badań, mogące wprost służyć do celów projektowych;
- Interactive Design Tool  
część programu dokonująca obliczeń na podstawie wyników badań przedstawionych w tym opracowaniu;
- Combined Loading & Rerounding  
tekst opisujący zachowanie rur w warunkach obciążenia (obciążenie sumaryczne oraz powrót przewodu do przekroju kołowego w warunkach zmiennego ciśnienia w przewodzie);
- Additional information

wskazuje na dołączone do programu pliki w formacie \*.pdf zawierające informacje dodatkowe związane z tematyką programu.

W kolejnej części tekstu omawiane są szerzej wyżej wymienione opcje programu.

## **Info & Credits**

Ta część programu zawiera opis genezy powstania tego programu.

Głównym zadaniem programu jest zapoznanie szerokiej publiczności z wynikami badań polowych przedstawionymi w dokumencie "Projektowanie rur termoplastycznych instalowanych w gruncie".

Raport ten prezentuje rezultaty badań rur układanych w gruncie dla różnych warunków instalacji. Potrzeba przygotowania takiego opracowania stała się oczywista w momencie gdy w Europie zajęto się legislacją procesu projektowania rur układanych w gruncie. Chociaż wielu europejskich ekspertów pracuje nad zagadnieniem od ponad dziesięciu lat, żadna uniwersalna metoda nie jest obecnie dostępna. Jedną z głównych przyczyn tego stanu jest brak dobrze udokumentowanych danych uzyskiwanych doświadczalnie.

Podobnie jak inne dziedziny przemysłu, branża rur z tworzyw sztucznych rozwija i udoskonala stosowane obecnie metody projektowe. Trwają także prace nad opracowaniem nowych skutecznych metod oceny zachowań zainstalowanych rur.

Jak zawsze w takich wypadkach rzeczą o kluczowym znaczeniu jest dostęp do danych doświadczalnych. Jest to istotny powód powstania tego raportu. Kolejnym ważnym czynnikiem jest próba ujednoczenia projektowania oraz zaleceń montażowych. W chwili obecnej dostępnych jest wiele krajowych metod projektowania, niektóre z nich bardzo szczegółowe i wyrafinowane. Należy podkreślić, że celem który chce osiągnąć nasza branża dzięki opracowaniu tego studium jest lepsze zrozumienie procesu interakcji grunt-rura w ogólności ze szczególnym uwzględnieniem rur termoplastycznych.

Innym godnym podkreślenia faktem jest, że zdaniem autorów raportu zagadnienie układania rur w gruncie nie ma być wyszukany akademickim problemem badawczym. Zostało ono stworzone z myślą o inżynierach praktykach potrzebujących nieskomplikowanych, skutecznych narzędzi aby móc ocenić czy okoliczności instalacji przewodu włączając w to cechy rury, własności gruntu oraz sposób instalacji dają gwarancję poprawnej, bezpiecznej eksploatacji. Oznacza to, że należy zachować właściwe proporcje pomiędzy wymienionymi czynnikami.

Eksperyment przeprowadzono na rurach o średnicy 315 mm uznając, że jest to dobre przybliżenie typowo instalowanej rury w różnych zastosowaniach. Wszystkie rury używane w badaniach były rurami o pełnej ścianie. Przewody tego typu mogą być analizowane jako rury pracujące pod ciśnieniem lub nie. Wyniki badań mogą być przeniesione na rury ścianie strukturalnej.

Kluczowym jest fakt, że konstrukcja ścianki rury strukturalnej nie zmienia kształtu podczas ściskania. Standardy produkcyjne wymagają przeprowadzania tzw. testów sztywności pierścieniowej by sprawdzić zachowanie rury. W celu oceny różnic w zachowaniu gruntów spoistych i ziarnistych wybrano jako materiał podłoża piasek i glinę.

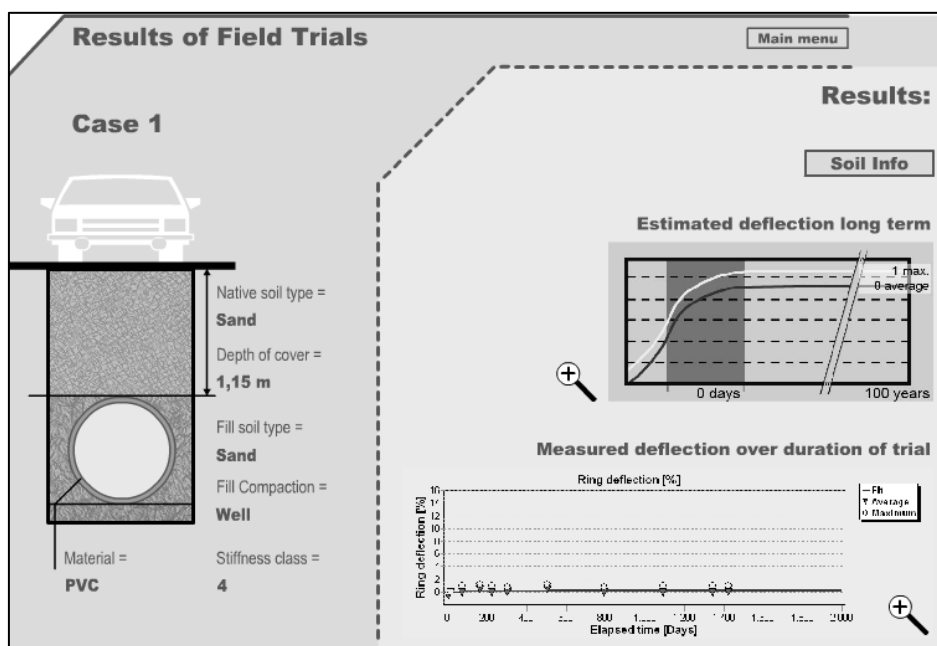
## Results of Field Trials

Ta część programu prezentuje wyniki badań polowych. Wyniki te to rdzeń raportu, na ich podstawie opracowano wykresy do celów projektowych. Program w tej części przedstawia w szczegółowy sposób 16 eksperymentów polowych wraz z dwoma eksperymentami dodatkowymi. Na ekranie jest schematycznie pokazany opis pojedynczego zadania.

Prezentowane są następujące dane:

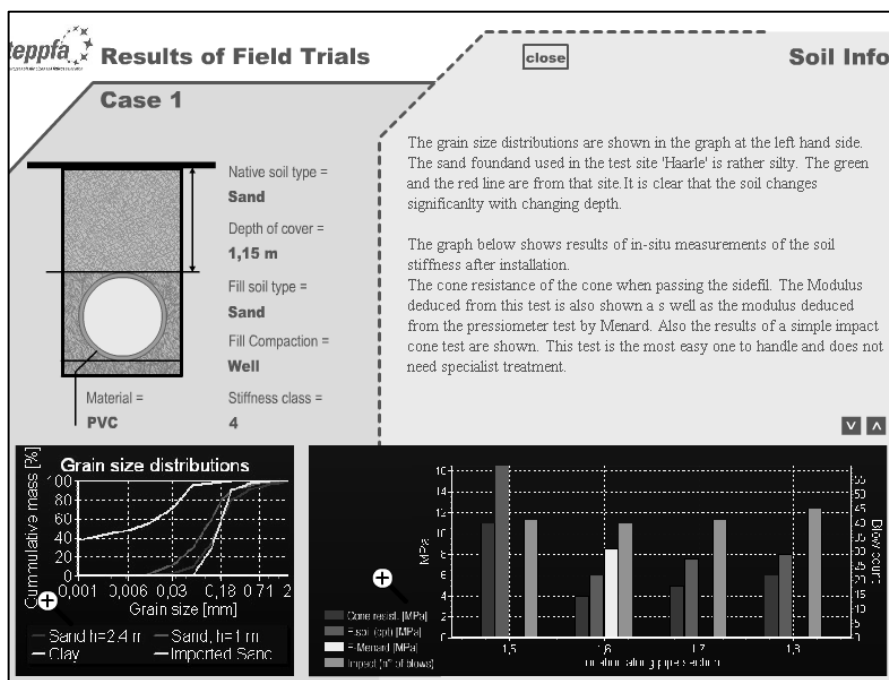
- rodzaj gruntu,
- głębokość przykrycia,
- rodzaj gruntu obsypki,
- rodzaj zagęszczenia,
- materiał rury,
- klasa sztywności rury.

Wykresy po prawej stronie ekranu (które można powiększyć po kliknięciu ikony z lupą) obrazują wartości średniego i maksymalnego ugięcia rury w funkcji czasu (górny wykres) oraz wyników ugięć pomierzonych w eksperymencie dla tego konkretnego przypadku instalacji.



Szczegółowy opis metody badania gruntu oraz przeprowadzonych na nim testów jest dostępny po kliknięciu przycisku "Soil info". Po jego użyciu w oknie programu prezentowane są przy pomocy wykresów następujące dane:

- wykres krzywej uziarnienia,
- wykresy obrazujące wyniki wybranych testów gruntu.



W oknie tekstowym zawarta jest lista przeprowadzonych badań (wraz z ich krótkimi opisami). Dla każdego zadania wykonano:

- analizę sitowej (krzywa uziarnienia gruntu),
- test Proctora,
- badanie kształtu ziaren,
- badanie aparatem trójosiowym,
- test penetracji stożkiem,
- test edometrem (pomiar stopnia zagęszczenia),
- badanie gęstości gruntu,
- test stożkiem ręcznym,
- test stożkiem udarowym,
- badanie presjometrem Menarda,
- test nacisku stożkiem,
- test osiadania gruntu.

Wszystkie badania zostały szczegółowo a jednocześnie w przystępny sposób opisane w programie. Dla przykładu opis metody pomiaru gęstości metodą Proctora:

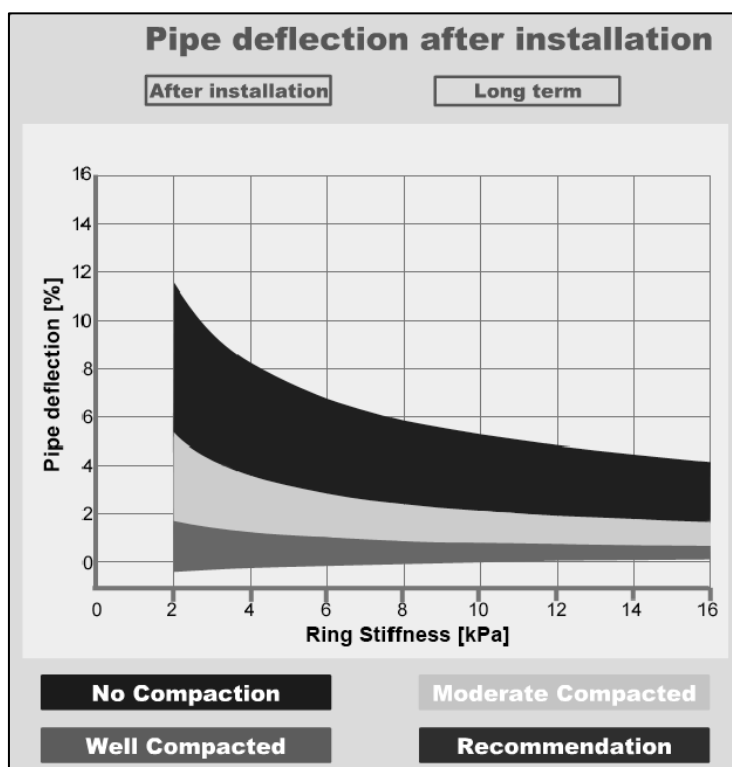
Maximum Proctor density  
 This test is performed according to RAW 1995, proef 5.1 STD.  
 In this test one start of with dried soil. The weight of the soil sample is measured, after compaction of the soil in a calibrated cylinder. Then a percentage of water is added to the soil and the previous procedure is repeated. By doing this several times with different moisture contents, one obtains a curve from which the maximum density and the related optimum water level is obtained. Later on, the soil samples taken in the field and weighted are related to this maximum density.

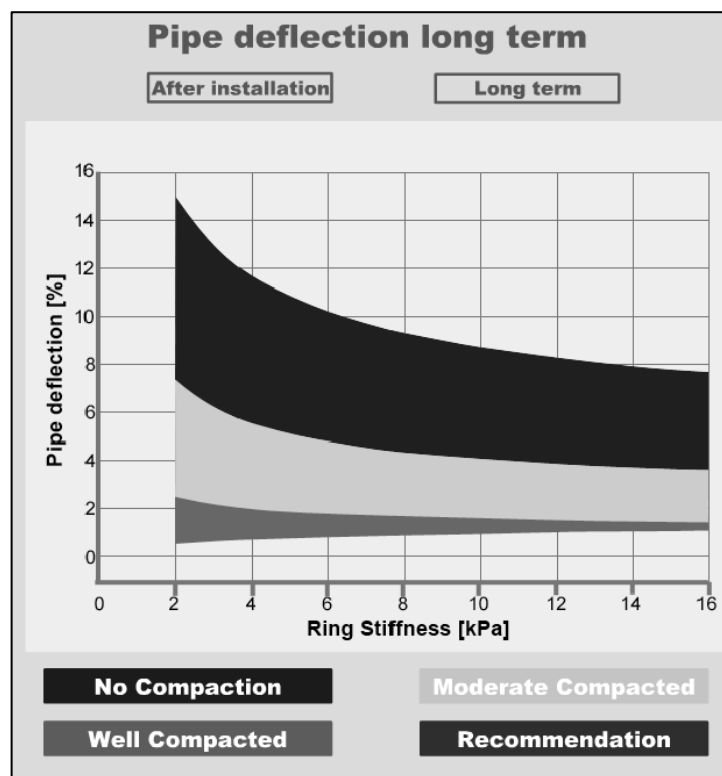
Pierwsze cztery testy były wykonywane w laboratorium, kolejne przeprowadzono w miejscu eksperymentu.

## Design Graph

Wykresy do celów projektowych.

Ta część programu zawiera graficzne podsumowanie wyników raportu. Prezentowane są dwa wykresy zawierające krzywe obrazujące oczekiwany zakres ugięć rur zaraz po zakończeniu prac (początkowe) i w dłuższej perspektywie czasowej (końcowe). Wielkości ugięć są funkcją sztywności obwodowej oraz klasy/jakości robót montażowych.





Kliknięcie pól "No compaction", "Moderate compacted", "Well compacted" i "Recomendation" otwiera okna z definicjami poszczególnych rodzajów instalacji.



Jak można wywnioskować z wykresów wartość ugięcia maleje wraz ze wzrostem sztywności obwodowej rury. Ugięcie zmniejsza się również wraz ze wzrostem jakości prac montażowych. Należy jednak mieć na uwadze fakt, że na wielkość ugięcia rury jej sztywność obwodowa wpływa w znacznie mniejszym stopniu (ok. 3%) niż jakość prac montażowych (aż w ok. 80%).

## Interactive Design Tool

Wiedzę zebraną w raporcie, którą graficznie prezentują wykresy do celów projektowych można przetestować dla konkretnych przypadków obliczeniowych. Umożliwia to część obliczeniowa programu - "Interactive Design Tool". Jej wybranie spowoduje wyświetlenie znanego z wielu programów tego typu okna zawierającego schemat instalacji przewodu. Należy podać z uwzględnieniem jednostek:

- obciążenie ruchem drogowym [kN];
- rodzaj gruntu;
- poziom wody gruntowej;
- głębokość przykrycia [m];
- szerokość wykopu [m];
- rodzaj gruntu zasyпки /lista wyboru/;
- rodzaj gruntu podłoża /lista wyboru/;
- rodzaj zagęszczenie obsypki /lista wyboru/;
- stopień zagęszczenia podłoża;
- sztywność obwodową rury. Program może obliczyć sztywność obwodową rury na podstawie danych modułu Younga, grubości ścianki rury oraz jej średnicy.

Ta opcja jest dostępna po kliknięciu ikonki "i" przy opisie "Stiffness class".

Program nie pozwala na wprowadzanie danych nie należących do zakresu obliczeniowego, dopiero po podaniu poprawnych danych wejściowych /sprawdzenie następuje po przyciśnięciu klawisza "OK"/ w oknie pojawia się przycisk "Calculate". Szczególnej uwadze należy polecić użytkownikowi programu krótkie podpowiedzi dostępne przy każdym z pól danych po naciśnięciu ikonki "i". W wielu przypadkach pozwalają one poznać ciekawe i niestandardowe wnioski płynące z raportu.



Wyniki obliczeń ugięć początkowych i końcowych prezentowane są w postaci wykresów. Prezentowane są zarówno wartości średnie jak maksymalne.

**Interactive Design Tool** Volume issue Main menu

Traffic Load = 10 kN

Native soil type = granular

Ground water level = 0 m

Depth of cover = 1.5 m

Trench width = 1 m

Material = PP-B

Diameter = 160 mm

Stiffness class = 4

Fill soil type = granular

Sidefill Compaction = moderate

Bedding type = sand

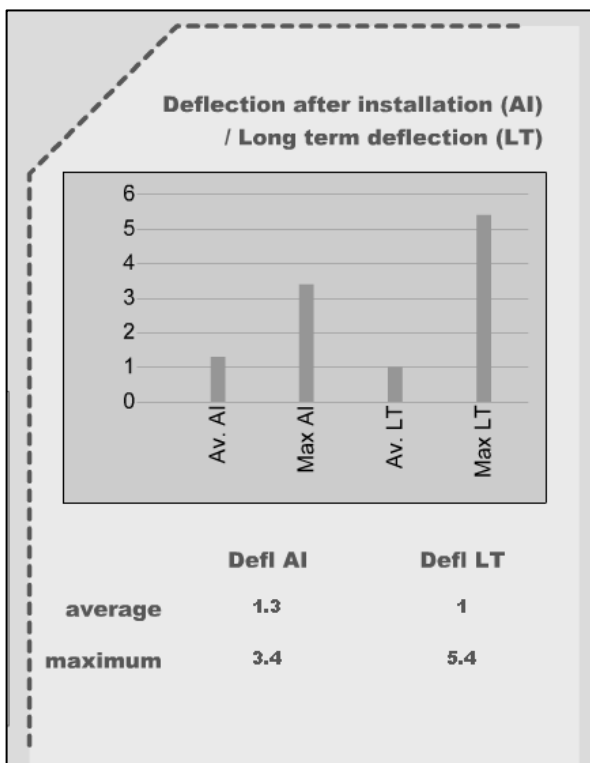
Bedding Compaction = moderate

Reset Back Calculate

**How to fill in:**

1. Please fill in all the fields.
2. Press "OK" to enter your value.
3. Notice: Rerounding is NOT taken in consideration by the calculation. For further information please see additional info.
4. The stiffness class can be calculated in the infomenu (click the "infobutton" next to it) or can be filled in directly.
5. When all parameters are filled in and all possible errors are corrected, the calculate button will appear which you can click then.
5. To make changes just click the back button.
6. To start a complete new case, click the reset button.

Please use point (.) as decimal separator instead of comma (,)



## Combined Loading & Rerounding

W tej części programu zawarto uzupełniające informacje dotyczące zachowań przewodów pracujących pod ciśnieniem (obciążenie sumaryczne oraz powrót przewodu do przekroju kołowego w przypadku rurociągów ciśnieniowych).

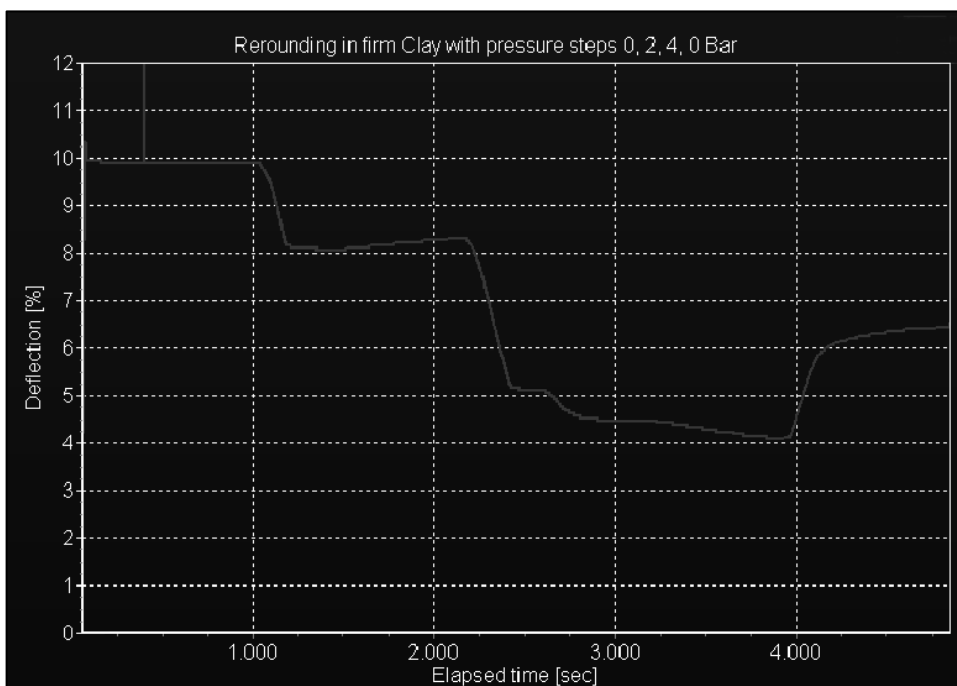
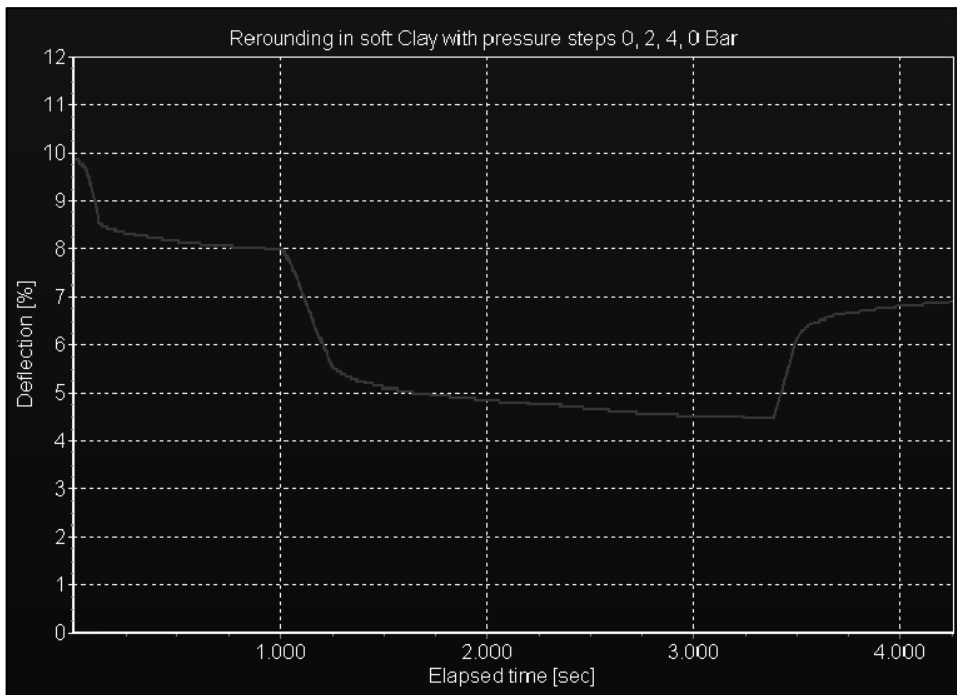
Kiedy w gruncie jest układana rura pracująca docelowo pod ciśnieniem, to w czasie instalacji zachowuje się ona jak rura grawitacyjna.

Jednakże po włączeniu rurociągu do eksploatacji ciśnienie sprawia, że rura będzie chciała powrócić do pierwotnego kształtu (bez ugięcia). Należy mieć na uwadze, że rury ciśnieniowe które poddawano testom miały sztywność obwodową  $6 \text{ kN/m}^2$  a więc wartości ugięć były niewielkie. Z drugiej strony można zauważyć, że w praktycznych warunkach instalacji rurociągów ciśnieniowych wykonawcy układają je w sposób mniej staranny niż rurociągi grawitacyjne.

Poniższe wykresy prezentują zjawisko zmniejszenia się ugięć początkowych w funkcji zmian ciśnienia wewnątrz przewodu. Przewody zainstalowano w różnych gruntach "soft clay" (miętka, słaba glina) "firm clay" (glina, twardy ił) i w różnych warunkach przykrycia (odpowiednio 3 i 1.5 m). Kiedy układanie ma miejsce w gruntach ziarnistych zjawisko powrotu rury do przekroju kołowego ma mniejszą siłę.

W przypadku rur ciśnieniowych mamy do czynienia z dwoma podstawowymi przypadkami:

1. Instalacja rury ma miejsce w gruncie słabonośnym. To najtrudniejszy przypadek instalacji. Rura w takich warunkach posiada swobodę pełzania - pod ciśnieniem wraca w pełni do przekroju kołowego. Ten właśnie przypadek jest brany pod uwagę przy klasyfikacji rur - co oznacza, że szereg PN odnosi się m.in. do tych warunków instalacji (rury posiadają pełną swobodę pełzania we wnętrzu komór zasuw, instalacjach naziemnych itp.).
2. Innym warunkiem jest instalacja przewodu w gruntach o dobrej nośności (firm soils). Pod wpływem ciśnienia rura nie będzie w stanie wrócić w pełni do przekroju kołowego. Zachowa swój przekrój odpowiadający ugięciu początkowemu a wywołane tym ugięciem naprężenia będą podlegać relaksacji. Naprężenia w ściance będą niższe od naprężeń projektowych dzięki czemu zmniejsza się ryzyko awarii rurociągu. W tym samym czasie rozszerzanie się rury w wyniku pełzania będzie powstrzymywane przez grunt w rezultacie czego naprężenia nie osiągną wartości opisywanych formułami Barlow'a lub Lame'go. Z tego powodu rury termoplastyczne powinny być projektowane dla bardziej niekorzystnego przypadku jaki został opisany w punkcie poprzednim (z użyciem formuły Barlow'a).



Wykresy pokazują zmiany ugięcia rury w funkcji zmiany ciśnienia panującego w przewodzie na przestrzeni czasu.

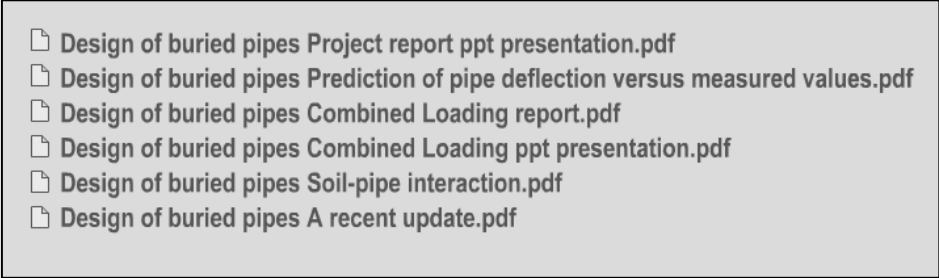
***Combined loading /obciążenie sumaryczne/***

Dla liniowo elastycznych materiałów naprężenia zginające są dodawane do naprężeń rozciągających powodowanych ciśnieniem panującym w przewodzie. Jak udowodniły badania takie podejście nie jest właściwe dla materiałów termoplastycznych. Dla tego typu rur należy w pełni uwzględnić możliwość pełzania rur. Więcej informacji można znaleźć w dodatkowych plikach \*.pdf dołączanych do programu.

## Additional info & downloads

Ta część programu zawiera odnośniki do plików w formacie \*.pdf zawierających dodatkowe informacje związane z tematyką programu:

### Wymagania techniczne programu

- 
- Design of buried pipes Project report ppt presentation.pdf
  - Design of buried pipes Prediction of pipe deflection versus measured values.pdf
  - Design of buried pipes Combined Loading report.pdf
  - Design of buried pipes Combined Loading ppt presentation.pdf
  - Design of buried pipes Soil-pipe interaction.pdf
  - Design of buried pipes A recent update.pdf

Aplikacja "Structural Design of buried pipes" zostało zaprogramowana w technologii Adobe Flash. Zalety takiego podejścia to:

- możliwość umieszczenia oprogramowania na stronie internetowej (dostęp przez WWW);
- możliwość pracy jako samodzielna aplikacja, nie wymagająca złożonej instalacji ani dodatkowych elementów oprogramowania.

Program może działać pod kontrolą różnych systemów operacyjnych (rodzina Windows, Mac). Do programu dołączona jest dokumentacja w postaci plików \*.pdf. Do ich odczytania konieczna jest instalacja czytnika formatu PDF (np. Acrobat Reader).

## Bibliografia

Alferink F., Soil pipe interaction: a next step in understanding and suggestions for improvements for design methods.

Alferink F., Björklund I., Kallioinen J. The Design of Thermoplastics Pipes: A Recent Update.

Alferink F., Wolters M., Janson Lars-Erc. Combined loading of buried thermoplastics pressure pipes.

Alferink F., Janson L.E, Olliff J.L., The Design of Thermoplastics Pipes: Prediction of Pipe Deflection versus Measured Values.

Janson Lars-Erc., Rury z tworzyw sztucznych do zaopatrzenia w wodę i odprowadzania ścieków. PRiK, Toruń 2010.

Kuliczkowski A., Rury kanalizacyjne tom I. Własności materiałowe.

Kuliczkowski A., Rury kanalizacyjne tom II. Projektowanie konstrukcji.