

Výpočet vodorovné únosnosti osamělé piloty

Program: Pilota

Soubor: Demo_manual_16.gpi

Cílem tohoto inženýrského manuálu je vysvětlit použití programu GEO 5 – PILOTA pro výpočet vodorovné únosnosti osamělé piloty.

Specifikace zadání úlohy

Obecné zadání úlohy je popsáno v kapitole (12. *Pilotové základy – úvod*). Veškeré výpočty pro vodorovnou únosnost osamělé piloty proveďte v návaznosti na předchozí úlohu uvedenou v kapitole 13. *Výpočet svislé únosnosti osamělé piloty*. Výslednice složek zatížení $N_1, M_{y,1}, H_{x,1}$ působí v úrovni hlavy piloty. Dimenzování piloty proveďte podle EN 1992-1.

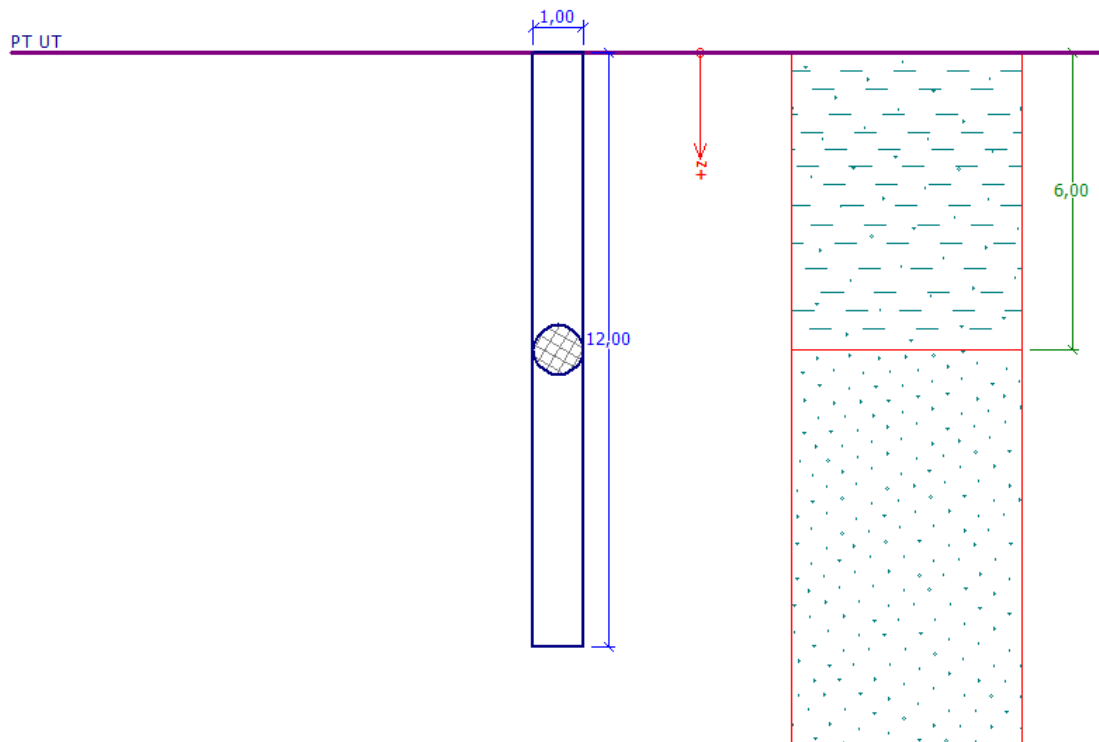


Schéma zadání úlohy – osamělá pilota

Řešení

K výpočtu této úlohy použijeme program GEO 5 – PILOTA. V následujícím textu postupně popíšeme řešení příkladu po jednotlivých krocích.

Příčně zatížená pilota je řešena metodou konečných prvků jako nosník uložený na pružném Winklerově podloží (*pružný poloprostor*). Parametry zemin po délce piloty charakterizuje modul vodorovné reakce podloží k_h .

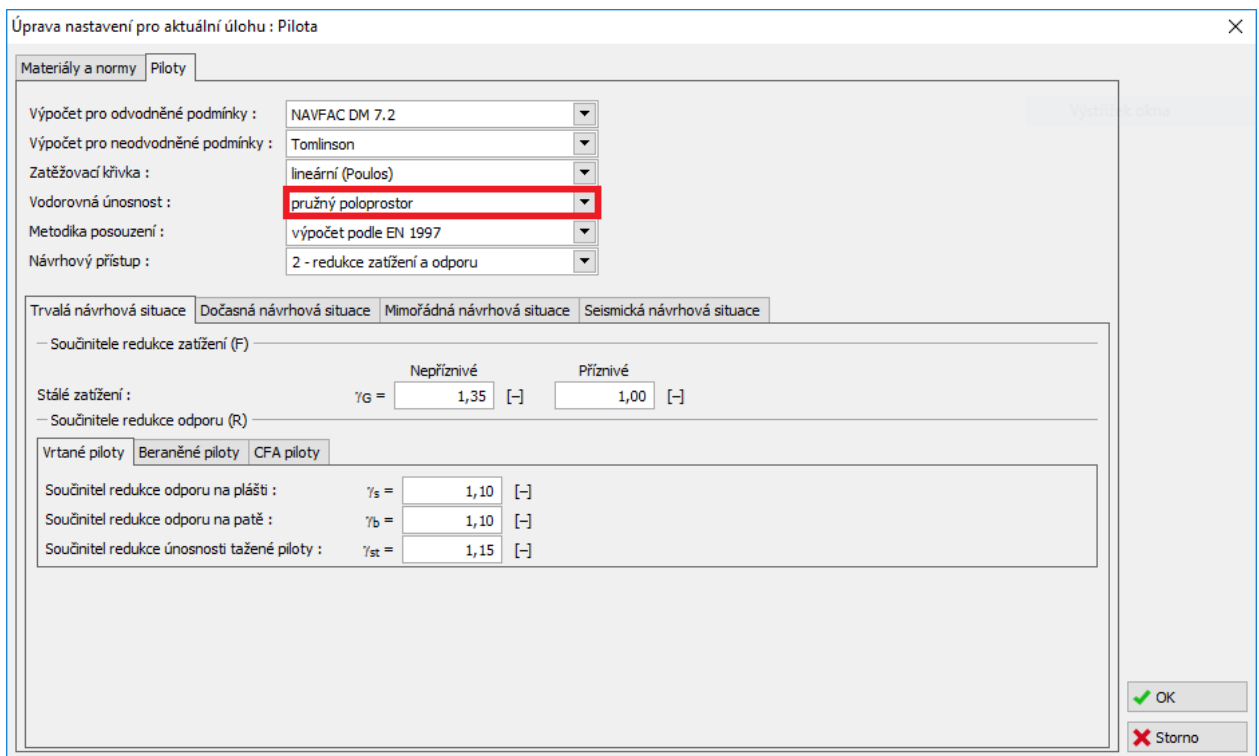
Program obsahuje více možností stanovení modul reakce podloží. Metody s lineárním průběhem (Lineární, Matlock a Reese) jsou vhodné pro nesoudržné zeminy, metody s konstantním průběhem (Konstantní, Vesic) spíše pro soudržné zeminy. Metoda výpočtu modulu k_h podle ČSN 73 1004 pak oba přístupy kombinuje.

V první části této kapitoly provedeme výpočet s konstantním modulem reakce podloží, v druhé části pak porovnáme rozdíly při použití dalších metod.

Postup zadání

V programu „Pilota“ otevřeme soubor z manuálu č. 13. Nejprve v rámu „Nastavení“ klikneme na tlačítko „Upravit“ a zkontrolujeme, že metoda výpočtu vodorovné únosnosti je nastavena jako „pružný poloprostor“.

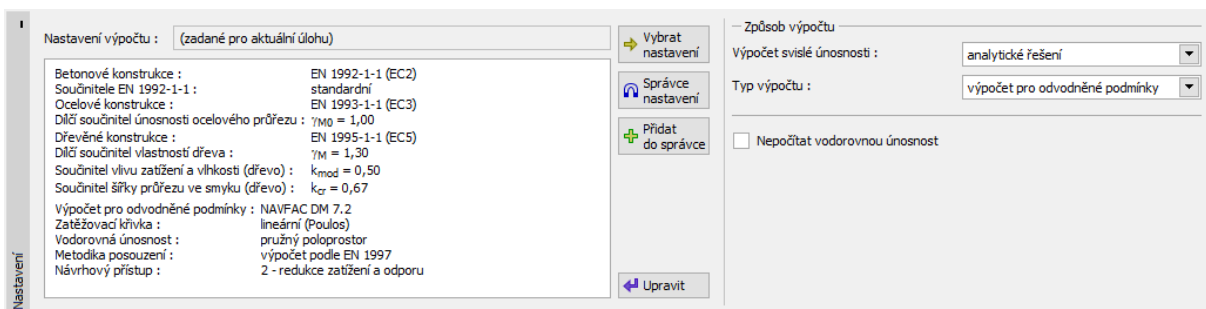
Poznámka: Další možností výpočtu vodorovné únosnosti piloty je tzv. [Bromsova metoda](#), která je vhodná pro řešení pilot v homogenním prostředí (viz nápověda k programu - F1).



Dialogové okno „Úprava nastavení pro aktuální úlohu“

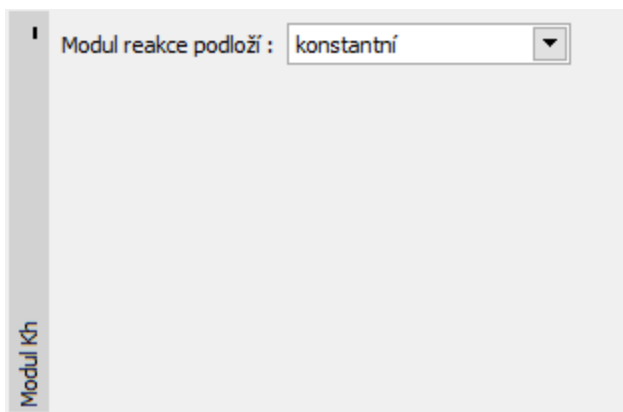
Ostatní nastavení výpočtu jako hodnoty zadaných zatížení a geologický profil včetně základních pevnostních parametrů zemín zůstávají beze změn.

V rámu „Nastavení“ také zrušíme zatrhnutí možnosti „Nepočítat vodorovnou únosnost“.



Rám „Nastavení“

Poté se přesuneme do rámu „Modul Kh“, kde vybereme metodu „konstantní“.



Rám „Modul k_h “

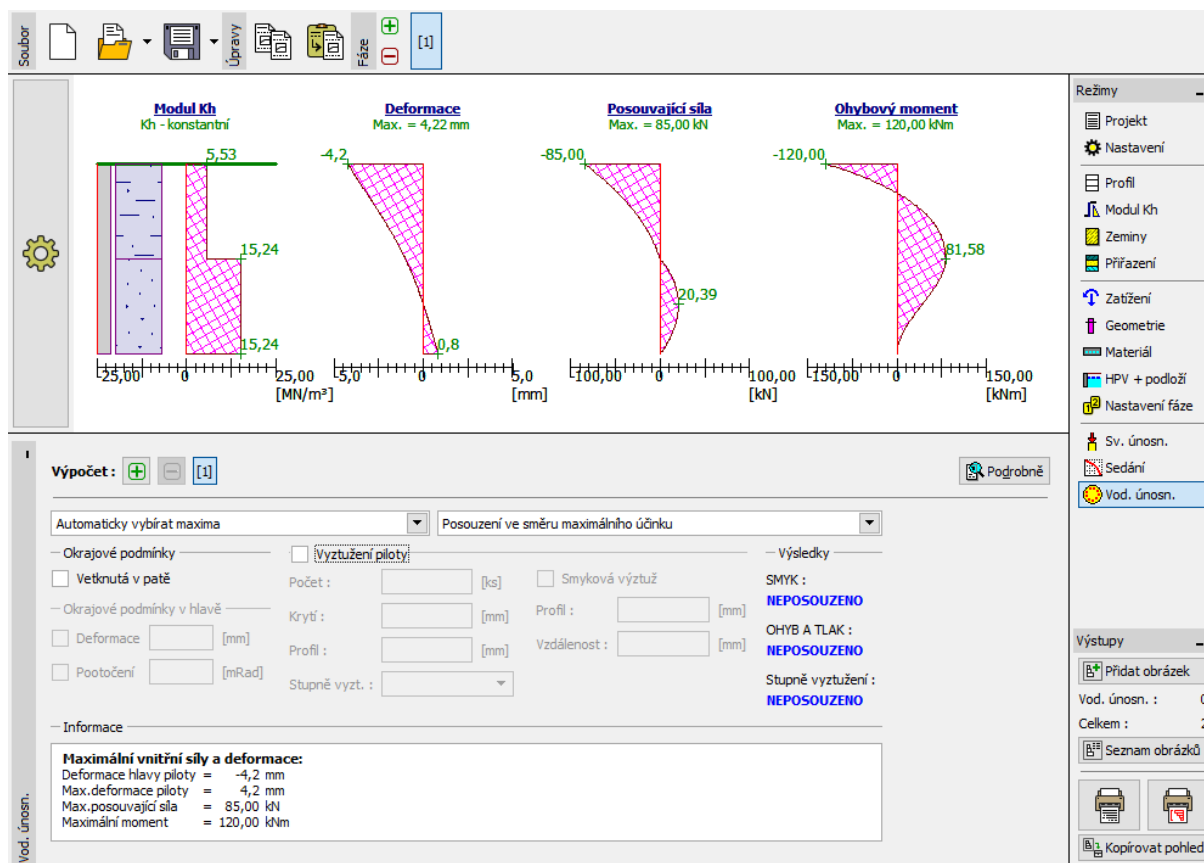
Poznámka: Konstantní průběh modulu vodorovné reakce podloží závisí na deformačním modulu zeminy E_{def} [MPa] a redukované šířce piloty r [m] (více informací v nápovědě k programu – F1).

Následně v rámu „Zeminy“ zadáme hodnotu úhlu roznášení β [–] v rozmezí $\frac{\varphi_{ef}}{4} - \varphi_{ef}$. Tento součinitel se tedy určuje v závislosti na velikosti úhlu vnitřního tření zeminy (více informací v nápovědě k programu – F1).

Zemina (specifikace, zatřídění)	Objemová tíha γ [kN/m^3]	Úhel vnitřního tření φ_{ef} [°]	Úhel roznášení β [°]	Typ zeminy
F4, tuhá konzistence	18,5	24,5	10,0	Soudržná
S3, středně ulehlá	17,5	29,5	15,0	Nesoudržná

Tabulka s parametry zemín – Vodorná únosnost osamělé piloty

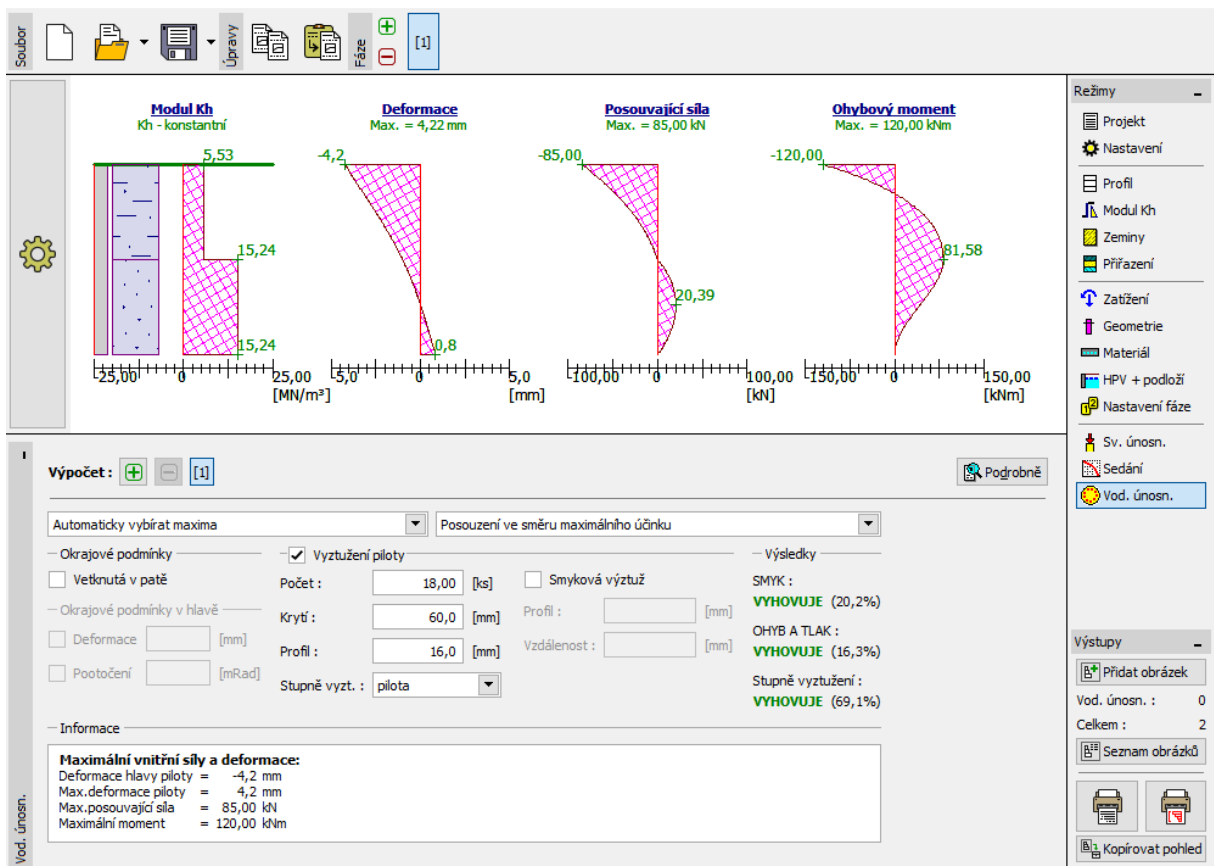
Nyní přejdeme do rámu „Vodorovná únosnost“, kde zjišťujeme hodnotu maximální vodorovné deformace v hlavě piloty, dále průběhy vnitřních sil po délce piloty a výsledky dimenzování piloty pro posouzení výztuže ve směru maximálního účinku.



Rám „Vodorovná únosnost“ – Posouzení pro konstantní průběh modulu k_h

Poznámka: Okrajová podmínka pro vetknutí v patě se modeluje především v případě opřených pilot o skalní, respektive poloskalní podloží (není to tento případ). Okrajové podmínky v hlavě piloty se uvažují při použití tzv. deformačního zatížení, kdy se v programu zadává pouze pootočení a deformace v hlavě piloty, nikoliv silové zatížení (více viz nápověda k programu – F1).

V tomto rámu rovněž provedeme dimenzování výztuže piloty. Navrhne podélnou nosnou výztuž – **18 ks Ø 16 mm** a minimální krytí **60 mm** podle stupně vlivu prostředí XC1.



Rám „Vodorovná únosnost“ - dimenzování

Stupeň vyztužení příčně zatížené osamělé piloty v řešeném případě uvažujeme podle ČSN EN 1536: *Provádění speciálních geotechnických prací – Vrtané piloty* (Tabulka 4 – Minimální vyztužení pilot). V programu se toto zadává výběrem možnosti „pilota“.

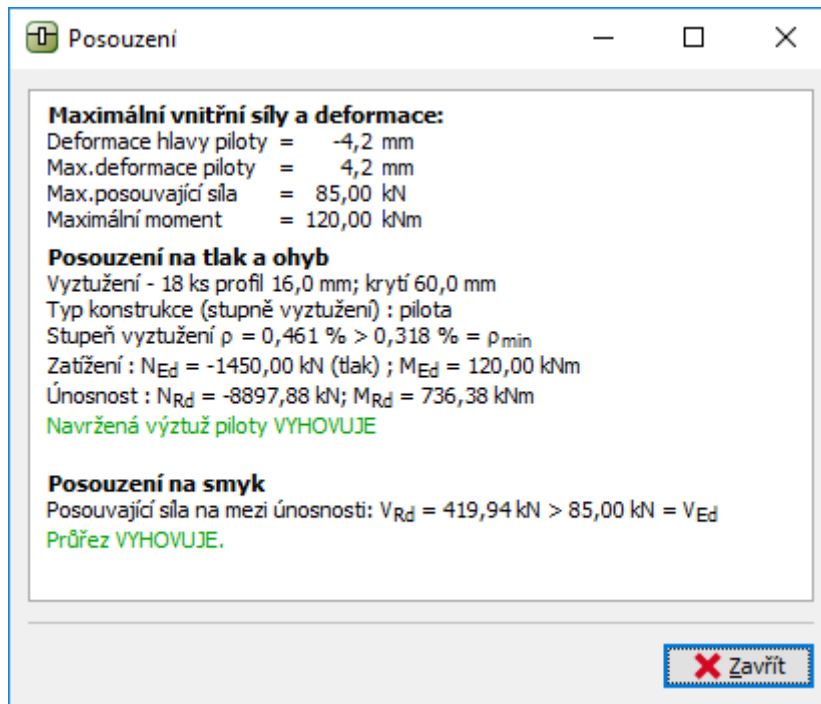
Průřezová plocha dříku piloty: $A_c [m^2]$	Plocha podélné výztuže: $A_s [m^2]$
$A_c \leq 0,5 m^2$	$A_s \geq 0,5 \% \cdot A_c$
$0,5 m^2 < A_c \leq 1,0 m^2$	$A_s \geq 0,0025 m^2$
$A_c > 1,0 m^2$	$A_s \geq 0,25 \% \cdot A_c$

„ČSN EN 1536: Tabulka 4 – Minimální vyztužení pilot“

Poznámka: Pro tlačené prvky je vhodné používat stupeň vyztužení jako „sloup“, pro ohýbané piloty jako „nosník“. Pro kombinaci svislého a příčného zatížení předepisuje ČSN EN 1536 podle poměru plochy

betonu a plochy výztuže minimální stupeň vyztužení vrtaných pilot (více informací v nápovědě k programu – F1).

Ve výsledcích dimenzování piloty sledujeme využití průřezu piloty na ohyb a podmínku pro minimální stupeň vyztužení (pomocí tlačítka „Podrobně“).



Dialogové okno – „Posouzení (podrobně)“

Výsledky výpočtu

V rámci posouzení příčně zatížené osamělé piloty nás zajímají průběhy vnitřních sil po délce piloty, maximální deformace a využití průřezu piloty. Pro **konstantní průběh** modulu vodorovné reakce podloží k_h vycházejí výsledné hodnoty takto:

– Maximální deformace piloty:	$u_{\max} = 4,2 \text{ mm} .$	
– Maximální posouvající síla:	$Q_{\max} = 85,0 \text{ kN} .$	
– Maximální ohybový moment:	$M_{\max} = 120,0 \text{ kNm} .$	
– Únosnost ŽB piloty (tlak + ohyb):	16,3 %	VYHOVUJE
– Únosnost ŽB piloty (smyk):	20,2 %	VYHOVUJE
– Stupeň vyztužení piloty:	69,1 %	VYHOVUJE

Porovnání výsledků různých metod stanovení modulu reakce podloží

Hodnoty a průběh modulu vodorovné reakce podloží k_h se liší na základě různých výpočetních metod a vstupních parametrů zemin, které ho ovlivňují:

- **KONSTANTNÍ:** úhel roznášení β [-],
- **LINEÁRNÍ (Bowles):** úhel roznášení β [-],
koeficient k [MN/m^3] podle typu zeminy,
- **podle ČSN 73 1004:** soudržná, resp. nesoudržná zemina,
modul horizontální stlačitelnosti n_h [MN/m^3],
- **podle VESICE:** modul pružnosti E [MPa].

Když změníme metodu výpočtu modulu vodorovné reakce podloží, musíme do programu přidat další parametry zemin (více informací v nápovědě k programu – F1). V jednotlivých výpočtech vstupní hodnoty zadáme v programu takto:

Modul reakce podloží k_h [MN/m^3]	Úhel roznášení β [-]	Koeficient k [MN/m^3]	Modul pružnosti E [MPa]	Modul horizontální stlačitelnosti n_h [MN/m^3]
KONSTANTNÍ	10 – F4	---	---	---
	15 – S3			
LINEÁRNÍ (Bowles)	10 – F4	60 – F4	---	---
	15 – S3	150 – S3		
podle ČSN 73 1004	Soudržná zemina – třída F4			---
	Nesoudržná zemina – třída S3			4,5 – S3
podle VESICE	---	---	5,0 – F4	---
			15,5 – S3	

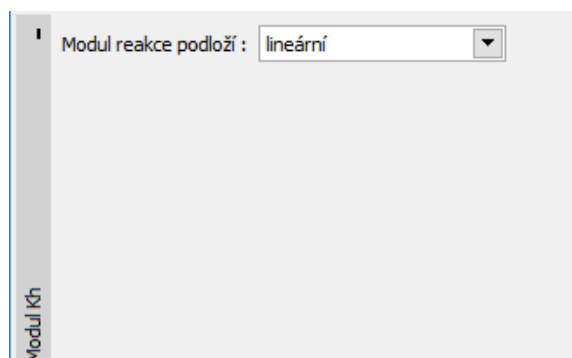
Souhrnná tabulka s parametry zemin pro vodorovnou únosnost osamělé piloty

Nyní se vrátíme zpět k zadávání vstupních dat, změníme vždy příslušnou metodu výpočtu modulu vodorovné reakce podloží v rámci „Modul Kh“ a poté doplníme zbývající parametry zemin. Postup provedeme pro následující metody:

- lineárním průběhem (podle Bowlese),
- podle ČSN 73 1004,
- podle Vesice.

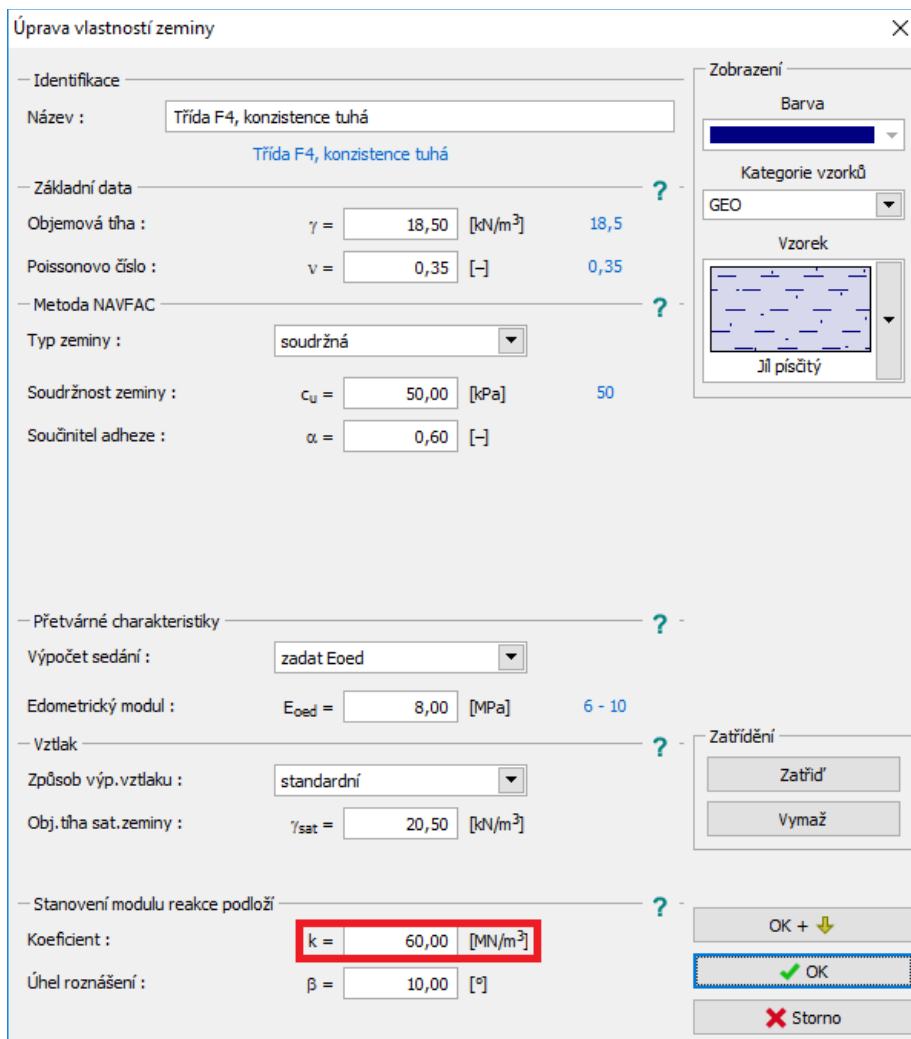
Lineární průběh (podle Bowlese)

Nejprve se vrátíme do rámu „Modul Kh“, kde změním nastavení na „lineární“.



Rám „Modul Kh“

Poté v rámu „Zeminy“ vybereme zeminu „Třída F4 – konzistence tuhá“. Klikneme na tlačítko „Upravit“ a změním koeficient k na 60 MN/m^3 .



Úprava vlastností zeminy

Identifikace
Název : Třída F4, konzistence tuhá
Třída F4, konzistence tuhá

Základní data
Objemová tíha : $\gamma = 18,50 \text{ [kN/m}^3\text{]}$ 18,5
Poissonovo číslo : $\nu = 0,35 \text{ [-]}$ 0,35

Metoda NAVFAC
Typ zeminy : soudržná
Soudržnost zeminy : $c_u = 50,00 \text{ [kPa]}$ 50
Součinitel adheze : $\alpha = 0,60 \text{ [-]}$

Přetvárné charakteristiky
Výpočet sedání : zadat Eoed
Edometrický modul : $E_{oed} = 8,00 \text{ [MPa]}$ 6 - 10

Vztlak
Způsob výp. vztlaku : standardní
Obj. tíha sat. zeminy : $\gamma_{sat} = 20,50 \text{ [kN/m}^3\text{]}$

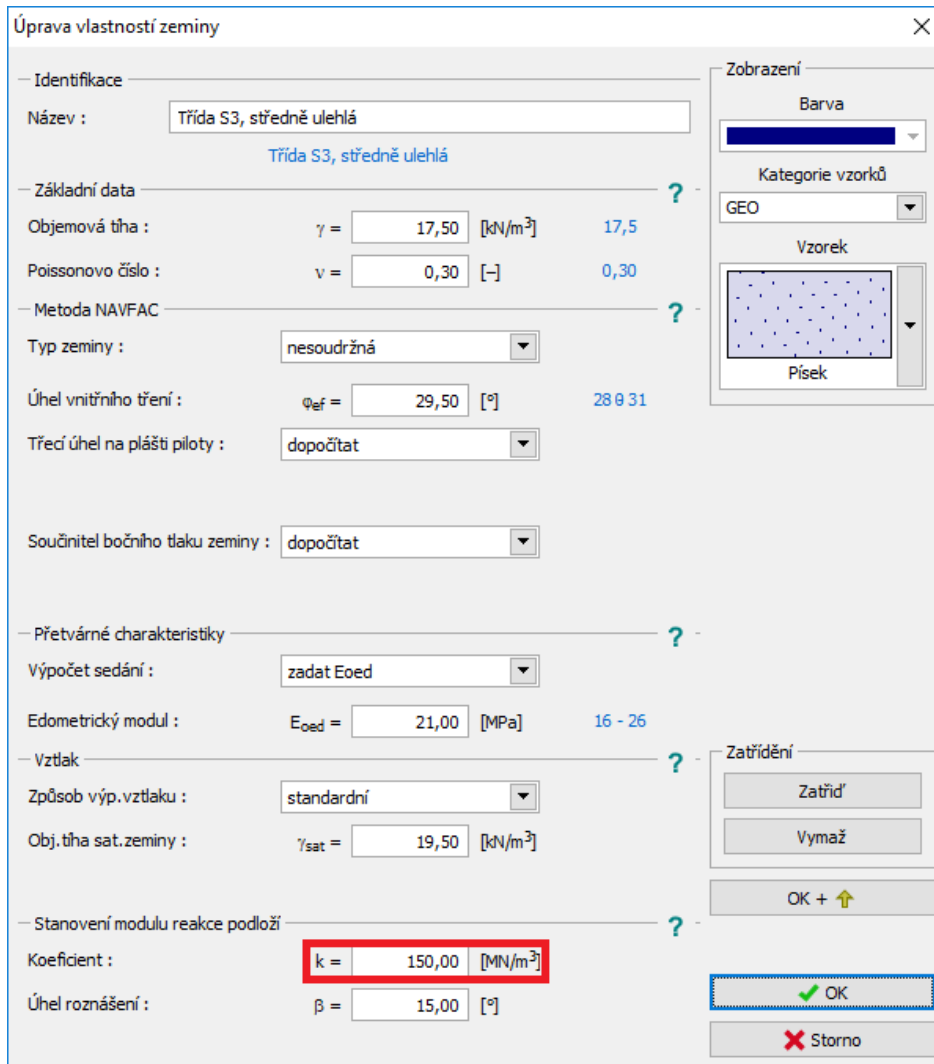
Stanovení modulu reakce podloží
Koeficient : $k = 60,00 \text{ [MN/m}^3\text{]}$
Úhel roznášení : $\beta = 10,00 \text{ [°]}$

Zobrazení
Barva :
Kategorie vzorků : GEO
Vzorek :
Jíl písčité

Zatřídění
Zatříd
Vymaž
OK + ↓
OK
Storno

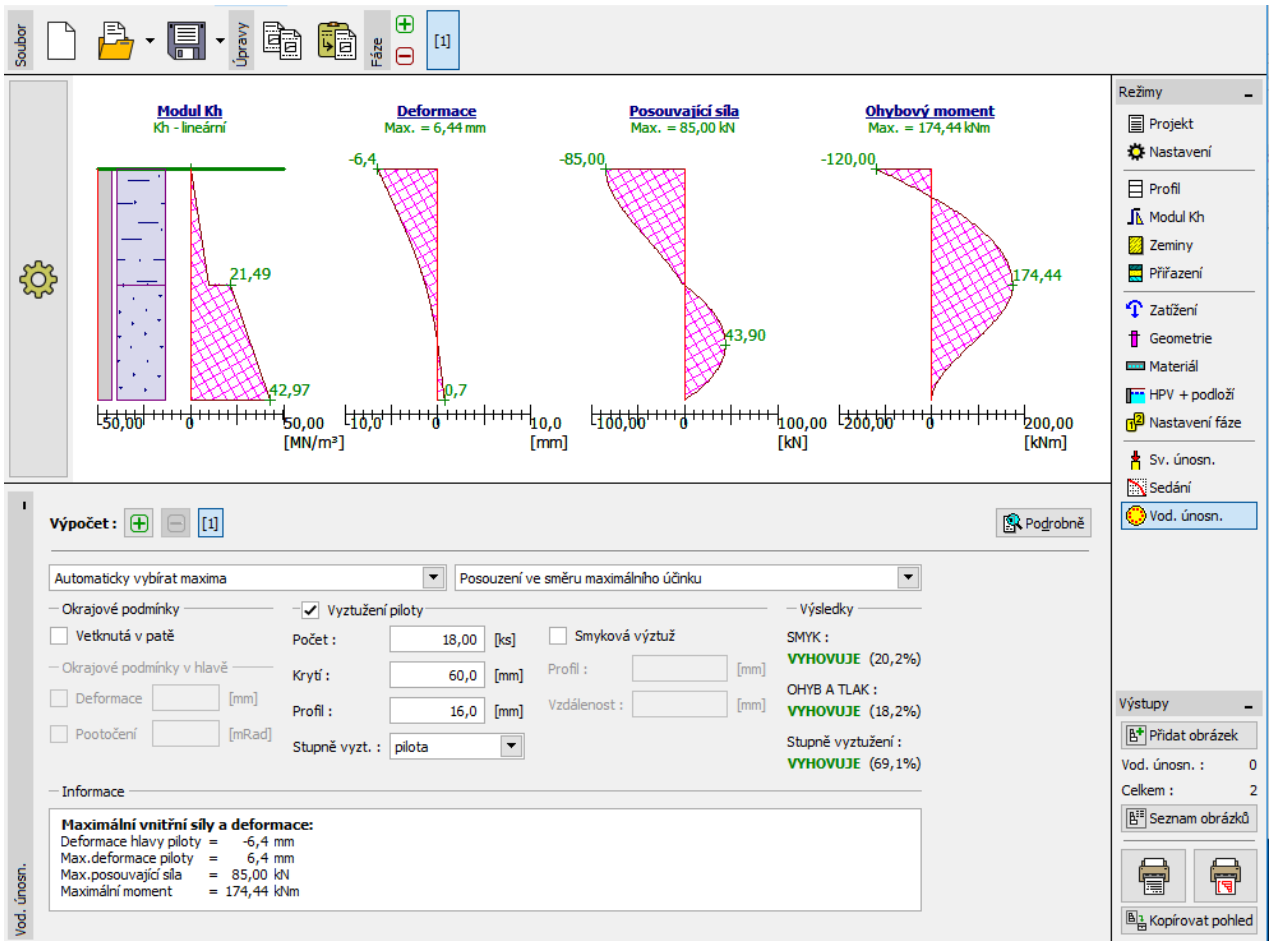
Rám „Zeminy“ – úprava vlastností zeminy (F4)

To samé provedeme i pro zeminu třídy S3. V tomto případě nastavíme koeficient k na 150 MN/m^3 .



Rám „Zeminy“ – úprava vlastností zeminy (S3)

Nyní se přesuneme do rámu „Vodorovná únosnost“, kde můžeme vidět výsledky výpočtu.



Rám „Vodorovná únosnost“ - Lineární průběh modulu vodorovné reakce podloží k_h , deformace a vnitřní síly po délce piloty

Podle ČSN 73 1004

Znovu se přesuneme do rámu „Modul Kh“, kde tentokrát zvolíme možnost „podle ČSN 73 1004“.



Rám „Modul Kh“

V rámu „Zeminy“ je nyní nutné nastavit modul horizontální stlačitelnosti pro nesoudržnou zeminu S3. Hodnotu modulu nastavíme jako 4,50 MN/m³.

Úprava vlastností zeminy

Identifikace
Název : Třída S3, středně ulehlá

Základní data
Objemová tíha : $\gamma = 17,50$ [kN/m³] 17,5
Poissonovo číslo : $\nu = 0,30$ [-] 0,30

Metoda NAVFAC
Typ zeminy : nesoudržná
Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 29,50$ [°] 28 8 31
Třecí úhel na plášti piloty : dopočítat
Součinitel bočního tlaku zeminy : dopočítat

Přetvárné charakteristiky
Výpočet sedání : zadat Eoed
Edometrický modul : $E_{oed} = 21,00$ [MPa] 16 - 26

Vztlak
Způsob výp.vztlaku : standardní
Obj. tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 19,50$ [kN/m³]

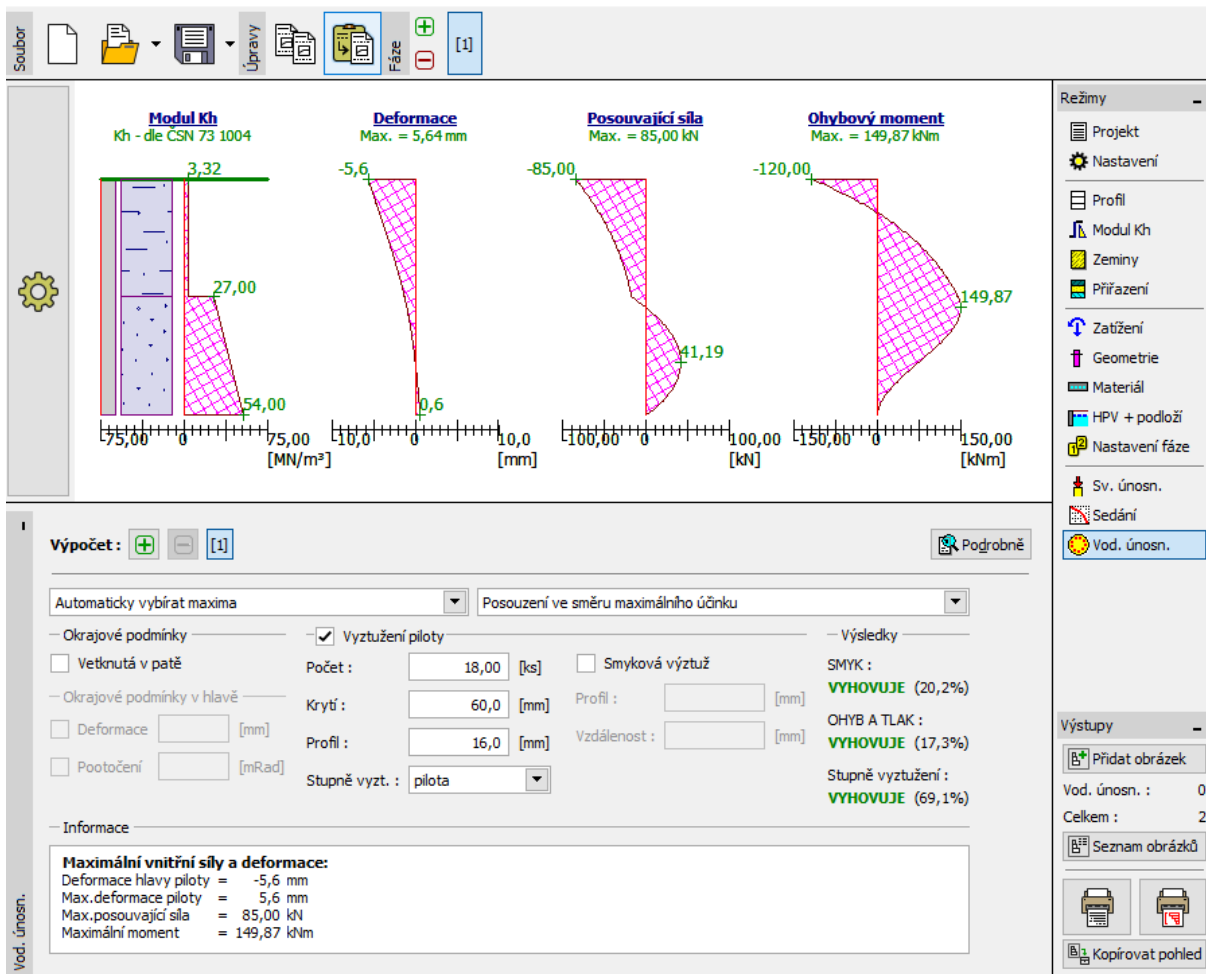
Stanovení modulu reakce podloží
Typ zeminy : nesoudržná
Modul horiz.stlačitelnosti : $\eta_h = 4,50$ [MN/m³]

Zobrazení
Barva :
Kategorie vzorků : GEO
Vzorek : Písek

Zatřídění
Zatříd' :
Vymaž' :
OK + ↑ :
OK :
Storno :

Rám „Zeminy“ – úprava vlastností zeminy (S3)

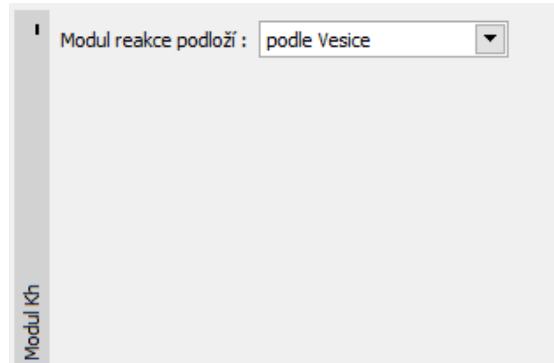
V rámu „Vodorovná únosnost“ lze nyní zobrazit výsledky výpočtu.



Rám „Vodorovná únosnost“ - Průběh modulu vodorovné reakce podloží k_h podle ČSN 73 1004, deformace a vnitřní síly po délce piloty

Podle Vesice

Znovu otevřeme rám „Modul Kh“, kde tentokrát zvolíme metodu výpočtu „podle Vesice“.



Rám „Modul Kh“

V rámu „Zeminy“ je nyní nutné nastavit modul elasticity E pro obě zeminy. Pro zeminu F4 nastavíme hodnotu modulu jako 5 MPa.

Úprava vlastností zeminy

Identifikace
Název : Třída F4, konzistence tuhá

Základní data
Objemová tíha : $\gamma = 18,50$ [kN/m³] 18,5
Poissonovo číslo : $\nu = 0,35$ [-] 0,35

Metoda NAVFAC
Typ zeminy : soudržná
Soudržnost zeminy : $c_u = 50,00$ [kPa] 50
Součinitel adheze : $\alpha = 0,60$ [-]

Přetvárné charakteristiky
Výpočet sedání : zadat E_{oed}
Edometrický modul : $E_{oed} = 8,00$ [MPa] 6 - 10
Vztlak
Způsob výp.vztlaku : standardní
Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 20,50$ [kN/m³]

Stanovení modulu reakce podloží
Modul pružnosti : **E = 5,00 [MPa]**

Zobrazení
Barva : [Blue]
Kategorie vzorků : GEO
Vzorek : Jíl písčítý

Zatřídění
Zatříd' / Vymaž

OK + ↓ / OK / Storno

Rám „Zeminy“ – úprava vlastností zeminy

Hodnotu modulu nastavíme i pro zeminu S3. V tomto případě nastavíme hodnotu 15,50 MPa.

Úprava vlastností zeminy

Identifikace
Název : Třída S3, středně ulehlá

Základní data
Objemová tíha : $\gamma = 17,50$ [kN/m³] 17,5
Poissonovo číslo : $\nu = 0,30$ [-] 0,30

Metoda NAVFAC
Typ zeminy : nesoudržná
Úhel vnitřního tření : $\phi_{ef} = 29,50$ [°] 28 0 31
Třecí úhel na plášti piloty : dopočítat
Součinitel bočního tlaku zeminy : dopočítat

Přetvárné charakteristiky
Výpočet sedání : zadat Eoed
Edometrický modul : $E_{oed} = 21,00$ [MPa] 16 - 26

Vztlak
Způsob výp.vztlaku : standardní
Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 19,50$ [kN/m³]

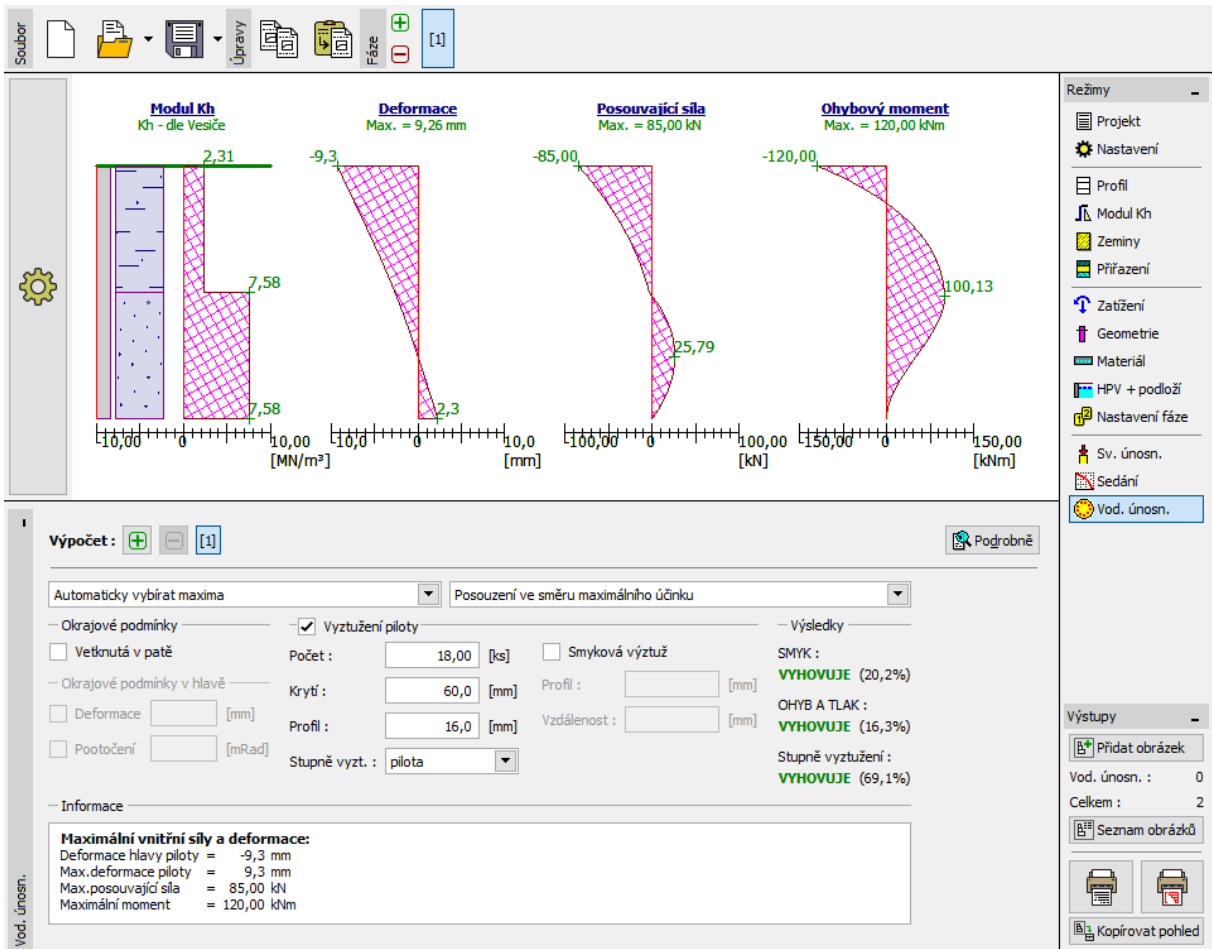
Stanovení modulu reakce podloží
Modul pružnosti : **E = 15,50 [MPa]**

Zobrazení
Barva : [Blue]
Kategorie vzorků : GEO
Vzorek : Písek

Zatřídění
Zatříd' Vymaž
OK + ↑
OK
Storno

Rám „Zeminy“ – úprava nastavení zeminy (S3)

Výsledky výpočtu je nyní možné zobrazit v rámu „Vodorovná únosnost“.



Rám „Vodorovná únosnost“ - Průběh modulu vodorovné reakce podloží k_h podle Vesice, deformace a vnitřní síly po délce piloty

Výsledky výpočtu vodorovné únosnosti osamělé piloty

Výsledky výpočtu vodorovné únosnosti osamělé piloty v závislosti na použité metodě výpočtu modulu vodorovné reakce podloží k_h jsou uvedeny v následující tabulce:

Modul reakce podloží k_h [MN/m^3]	Maximální deformace piloty u_{max} [mm]	Maximální ohybový moment M_{max} [kNm]	Využití ŽB piloty na únosnost (tlak + ohyb) [%]
KONSTANTNÍ	4,2	120,0	16,3
LINEÁRNÍ (Bowles)	6,4	174,44	18,2
podle ČSN 73 1004	5,6	149,87	17,3
podle VESICE	9,3	120,0	16,3

Souhrnný přehled výsledků – Vodorovná únosnost a dimenzování osamělé piloty

Závěr

Z výsledků výpočtu vyplývá, že sledované hodnoty vnitřních sil po délce piloty a maximální deformace v hlavě piloty se mírně liší, ale vliv zvolené metody výpočtu modulu reakce podloží není z hlediska dimenzování piloty zásadní.