

## Zajištění svahu stabilizačními pilotami

Program: Stabilita svahu, Stabilizační pilota

Soubor: Demo\_manual\_19.gst

### Úvod

Stabilizační piloty se využívají ke stabilizaci rozsáhlých sesuvů. Jedná se v podstatě o pilotovou stěnu, která je celá (nebo téměř celá) provedena ve svahu tak, aby procházela přes smykovou plochu a zabránila tím v dalším sesuvu. Jednotlivé piloty bývají velkopřůměrové. Jejich příčný řez může být kruhový nebo obdélníkový.

Svah, který chceme stabilizovat pomocí stabilizačních pilot, by měl splňovat několik základních podmínek. Především by měla být známá poloha smykové plochy (její hloubka pod terénem v místě stabilizační piloty), podle níž sesuv probíhá. Dále je důležité, aby hornina (zemina) pod smykovou plochou byla dostatečně neporušená a tím pádem schopná přenášet zatížení, kterým na ní stabilizační piloty působí.

Samotné řešení lze rozdělit do dvou kroků. Nejprve je třeba vyřešit svah z hlediska celkové stability. K tomu využijeme program *GEO5 – Stabilita svahu*. Zde získáme síly, které jednotlivé piloty musí přenést, aby svah dosáhl požadované bezpečnosti. Pokud neznáme předem přesnou polohu smykové plochy (například na základě inklinometrických vrtů z provedeného geotechnického průzkumu), můžeme ji v tomto programu určit na základě optimalizace. Ta je schopná na zadaném svahu najít nejnepríznivější smykovou plochu (kritickou, při které je bezpečnost svahu nejnižší). Druhá část řešení spočívá v samotném návrhu a posouzení stabilizačních pilot, které se provádí v programu *GEO5 – Stabilizační pilota*. Výsledkem tohoto výpočtu je průběh vnitřních sil po délce piloty a její vodorovná deformace.

Příklad využití stabilizačních pilot při stabilizaci svahu se silniční komunikací vidíme na obrázku níže. Podobný případ vyřešíme i krok za krokem na následujících stranách.



*Stabilizační piloty (celé pod úrovní terénu)*

## Specifikace úlohy

Provedeme návrh stabilizace svahu dle schématu pomocí stabilizačních pilot tak, aby výsledný stupeň stability byl roven minimálně **SF=2,0**. Zajištění stability svahu budeme uvažovat z dlouhodobého hlediska.

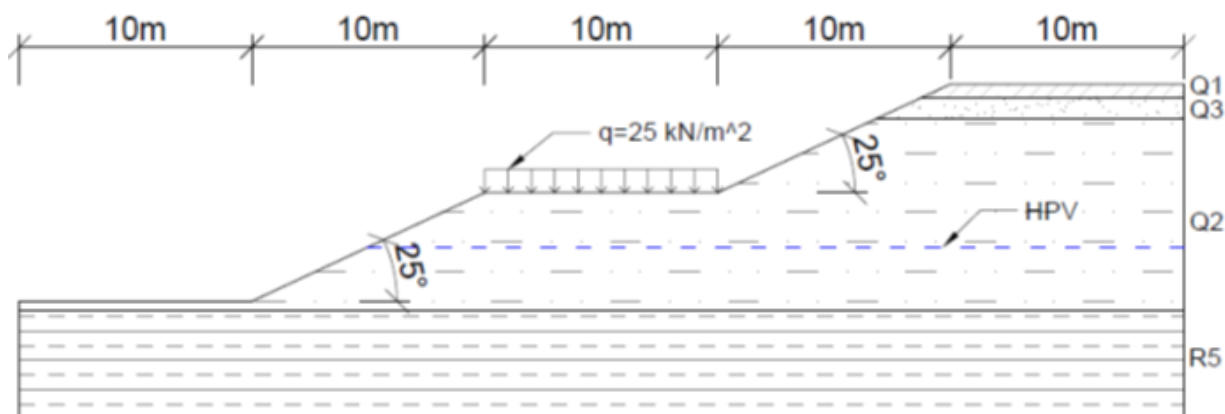


Schéma úlohy

Zatížení v místě komunikace je dané hodnotou 25 kN/m<sup>2</sup>.

Geologické poměry v řešeném místě jsou uvedeny v následující tabulce.

Vrstva	hloubka (m)	ČSN 73 1001	$\gamma/\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi_{\text{ef}}$ (°)	$C_{\text{ef}}$ (kPa)	$E_{\text{def}}$ (Mpa)	$\nu$ (-)
Hlína s nízkou plasticitou (Q1)	0,0 - 0,6	F5/ML	21/22	20	14	4	0,4
Písek jílovitý (Q3)	0,6 - 1,5	S5/SC	18/18,5	22	5	5	0,35
Jíl písčitý (Q2)	1,5 - 9,72	F4/CS	18,5/19,5	26	4	8	0,35
Břidlice prachovitá, silně zvětralá (R5)	9,72 - 17	R5	24/24,2	29	30	15	0,35

Geotechnické parametry

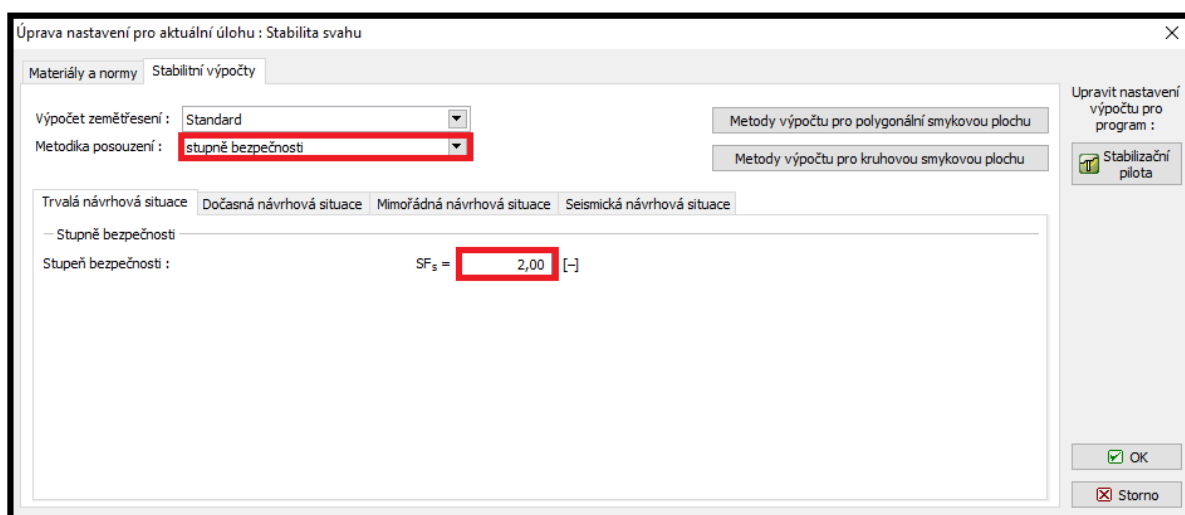
HPV je zastižena v hloubce 7 m pod terénem.

## Řešení

První část řešení spočívá ve vymodelování celého geotechnického problému v programu *GEO5 – Stabilita svahu*. Postup modelování je podrobně vysvětlen přímo v inženýrském manuálu [č. 8 \(Výpočet stability svahu\)](#). Proto jsou zde podrobně popsány jen body, které se přímo týkají výpočtu stabilizační piloty.

### Posouzení stávajícího svahu – Fáze budování 1

Nejprve upravíme základní nastavení úlohy pomocí tlačítka „Upravit“ v rámu „Nastavení“. Jako metodiku posouzení zvolíme Stupně bezpečnosti a zvýšíme hodnotu SF na 2,0 pro trvalou návrhovou situaci.

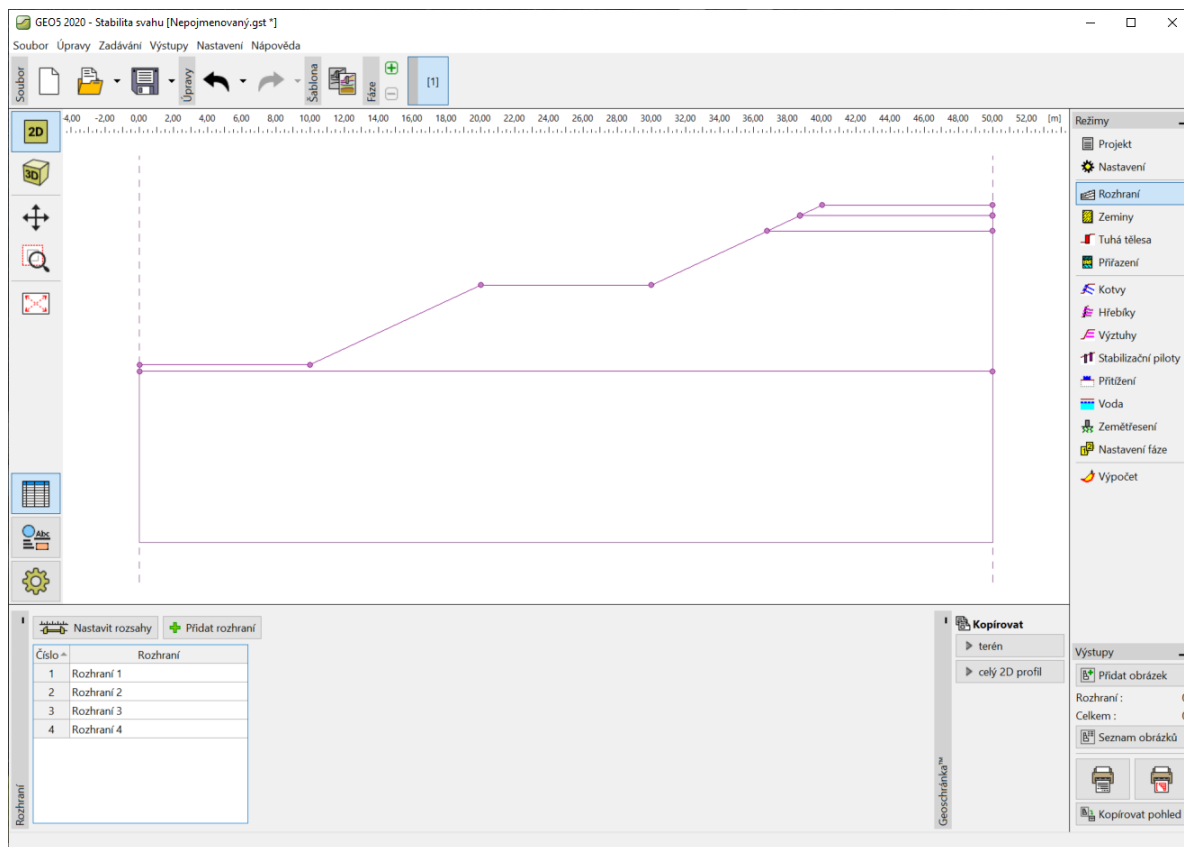


### Nastavení úlohy

V rámu „Rozhraní“ nastavíme rozsahy úlohy a pomocí souřadnic jednotlivých bodů vymodelujeme tvar terénu a rozhraní mezi jednotlivými zeminami.

### Pomocí tabulky vymodelujeme rozhraní:

Rozhraní 1			Rozhraní 2			Rozhraní 3			Rozhraní 4						
▶	1	0,00	0,00	▶	1	38,71	8,72	▶	1	36,78	7,82	▶	1	0,00	-0,40
	2	10,00	0,00		2	50,00	8,72		2	50,00	7,82		2	50,00	-0,40
	3	20,00	4,66												
	4	30,00	4,66												
	5	36,78	7,82												
	6	38,71	8,72												
	7	40,00	9,32												
	8	50,00	9,32												



Rám „Rozhraní“

Rozměry světa

— Rozměry

Minimální hodnota X :

0,00 [m]

Maximální hodnota X :

50,00 [m]

Hloubka od nejnižšího bodu rozhraní :

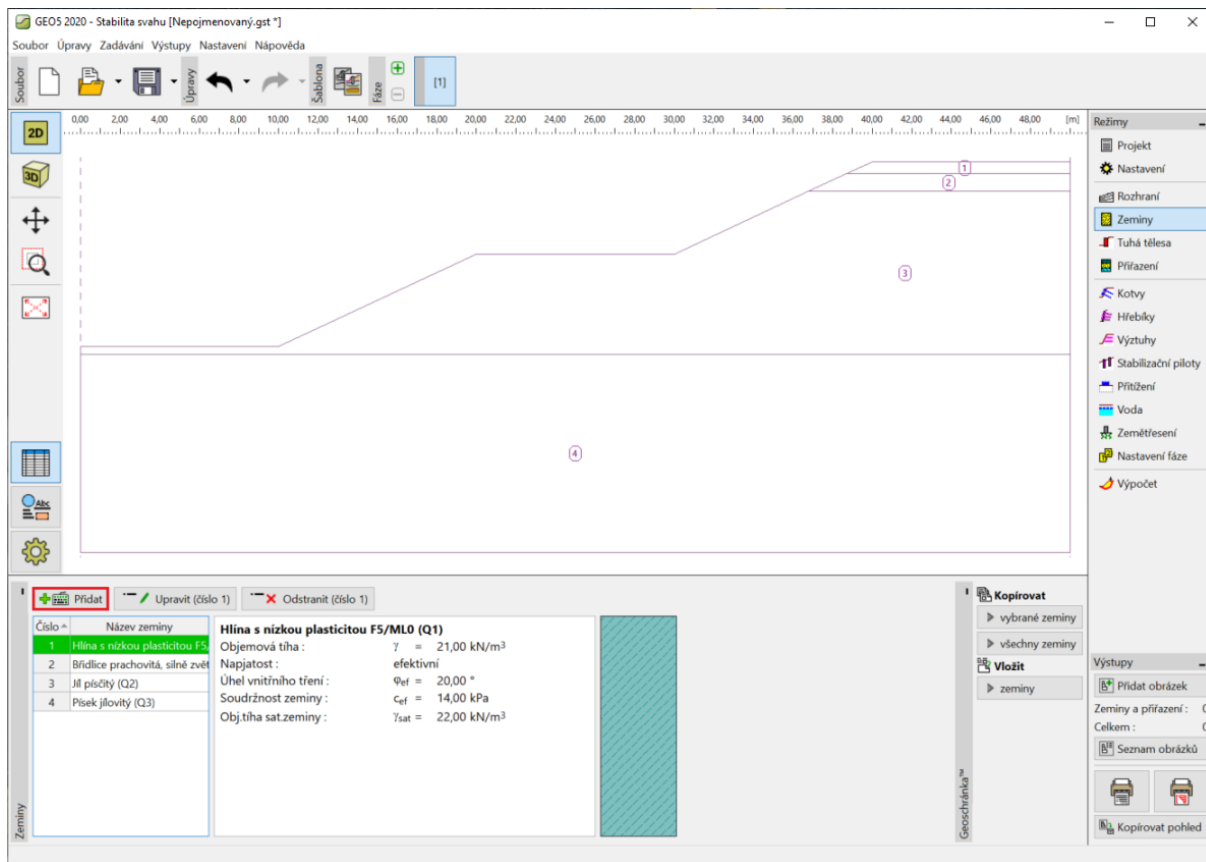
10,00 [m]

OK

Storno

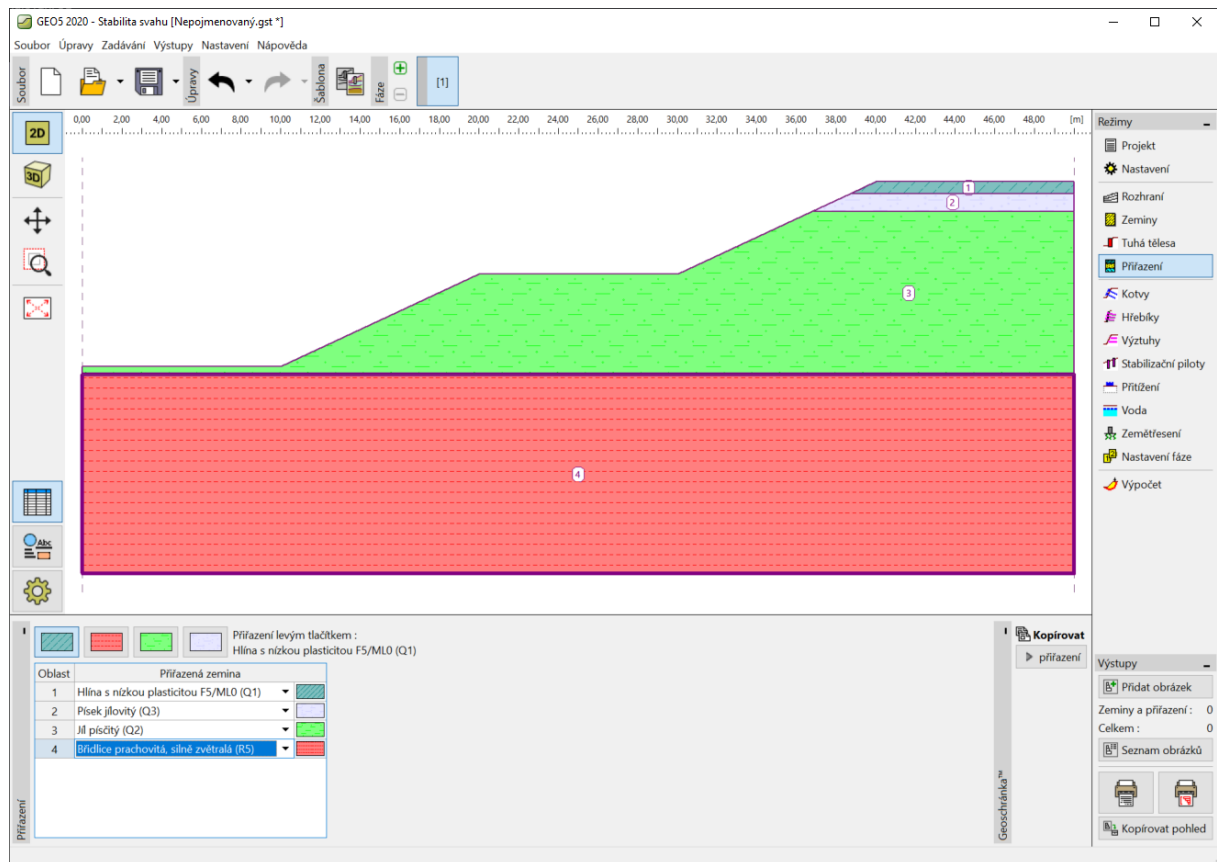
Rám „Rozhraní“ – rozměry světa

V rámu „Zeminy“ vložíme jednotlivé typy zemin podle zadání.



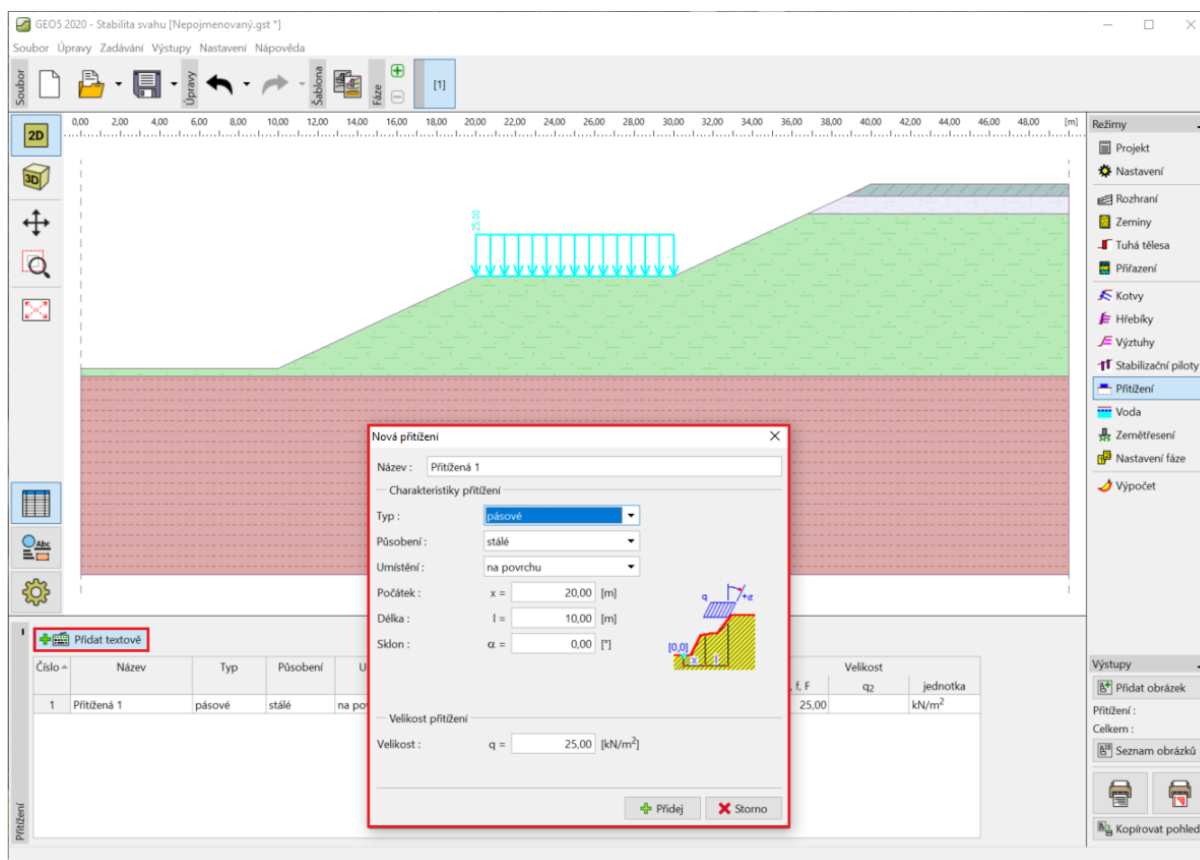
Rám „Zeminy“

Následně přiřadíme zeminy do jednotlivých vrstev v rámu „Přiřazení“.



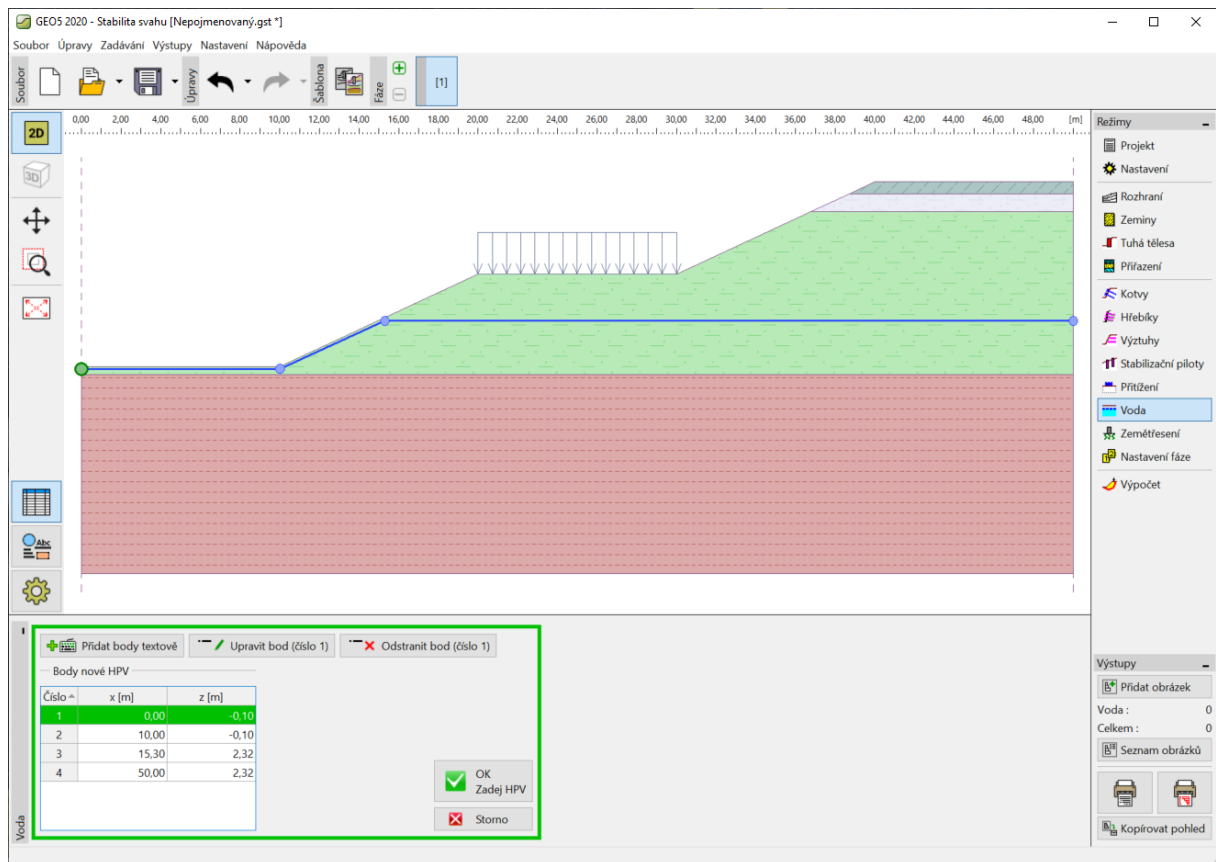
*Rám „Přiřazení“*

Dále zadáme přitížení v místě budoucí komunikace. To je charakterizováno jako pásové stálé o hodnotě 25 kPa.



Rám „Přítížení“

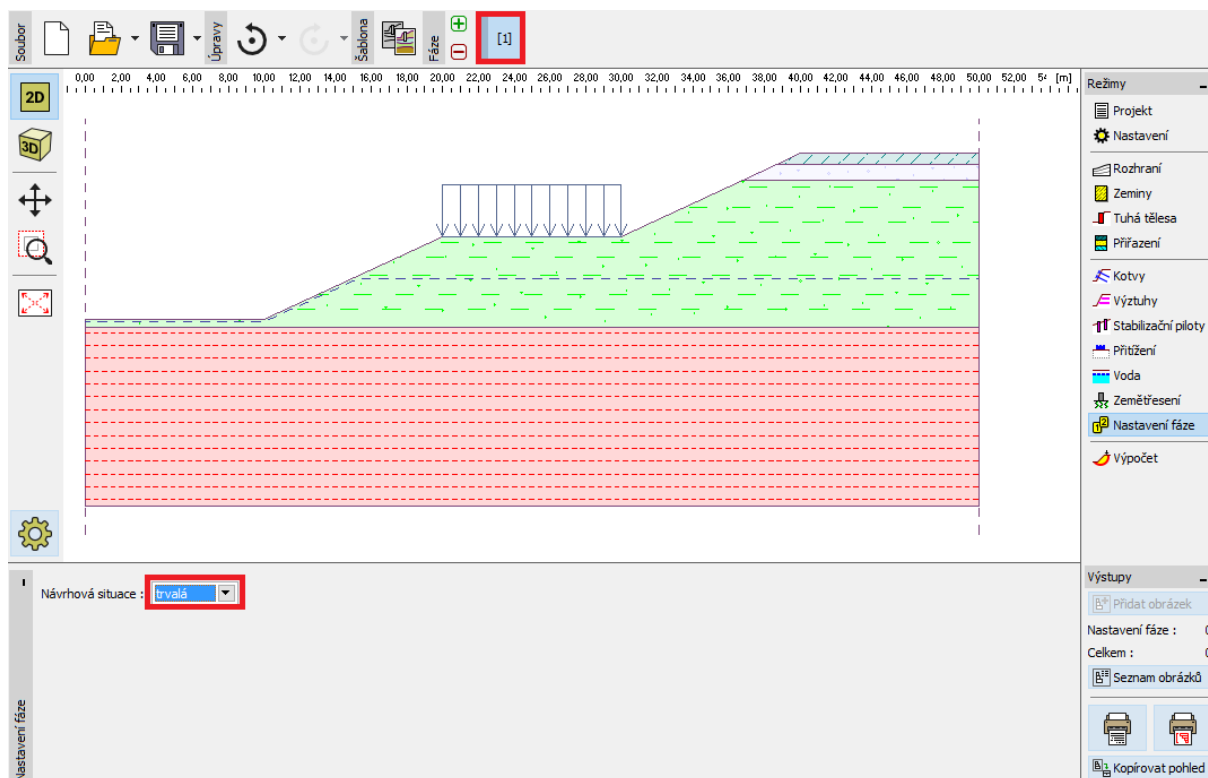
V rámu „Voda“ zadáme předpokládaný průběh hladiny podzemní vody.



Rám „Voda“



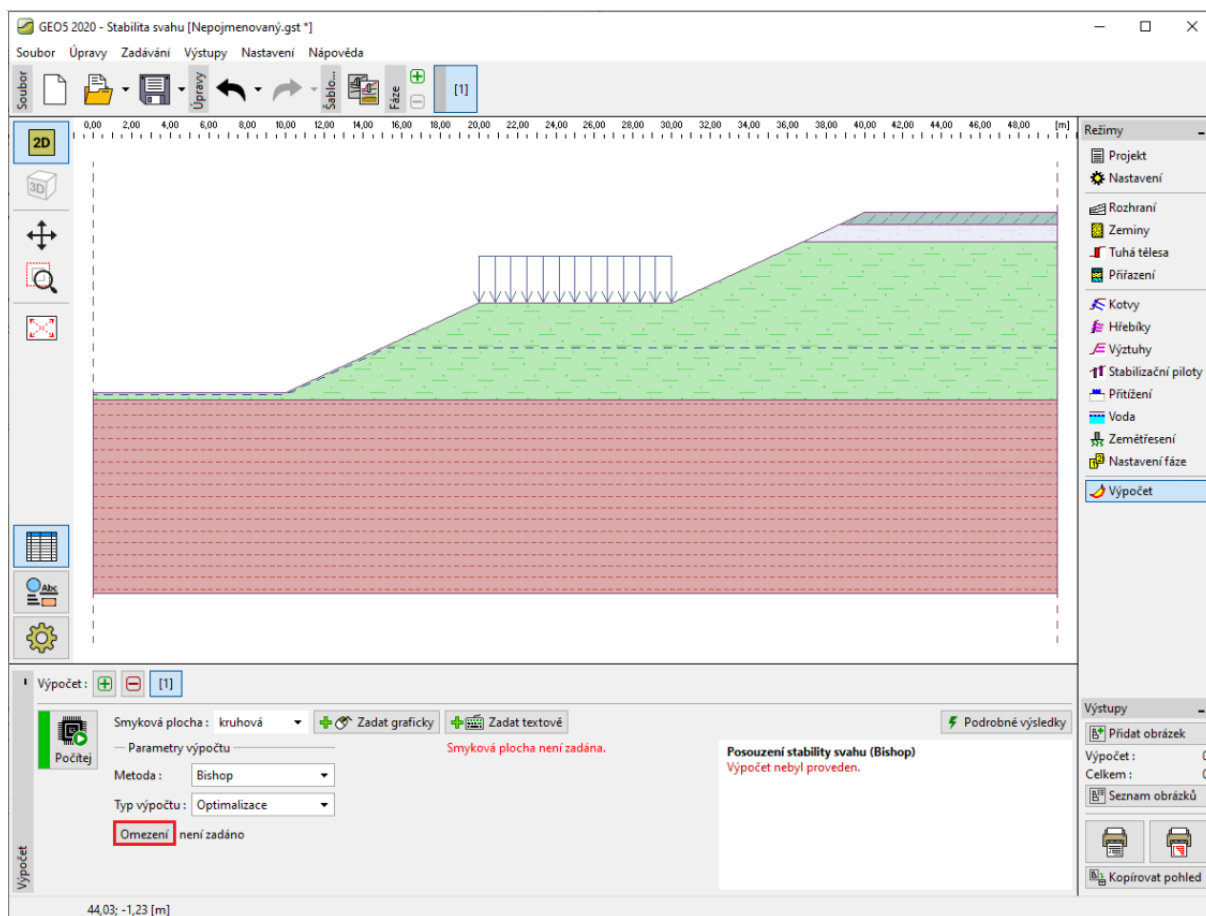
Jelikož řešíme stabilitu svahu z dlouhodobého hlediska, návrhovou fázi ponecháme jako trvalou.



*Rám „Nastavení fáze“*

Následně se přesuneme do rámu „Výpočet“. Pro výpočet stability svahu můžeme využít několik různých metod. Porovnání a více informací o jednotlivých metodách výpočtu je k dispozici v inženýrském manuálu [č. 8 \(Výpočet stability svahu\)](#) a v nápovědě k programu (F1).

Jelikož chceme řešit **celkovou** stabilitu, nebudeme uvažovat lokální smykové plochy v místě spodního či horního svahu, kde předpokládáme zajištění jiným způsobem. Proto zadáme na terénu omezení optimalizace, což zajistí nalezení globální smykové plochy.



Rám „Výpočet“ – zadání omezení optimalizace

<div> <span>+</span> Přidat graficky           <span>+</span> Přidat textově           <span>×</span> Návrat do režimu výpočet         </div>					
Omezení optimalizace smykové plochy úsečkami					
Číslo	První bod		Druhý bod		
	x [m]	z [m]	x [m]	z [m]	
1	10,00	0,00	20,00	4,66	<input type="checkbox"/> Držet levý bod smykové plochy <input type="checkbox"/> Držet pravý bod smykové plochy
2	20,00	4,66	30,00	4,66	
3	30,00	4,66	40,00	9,32	

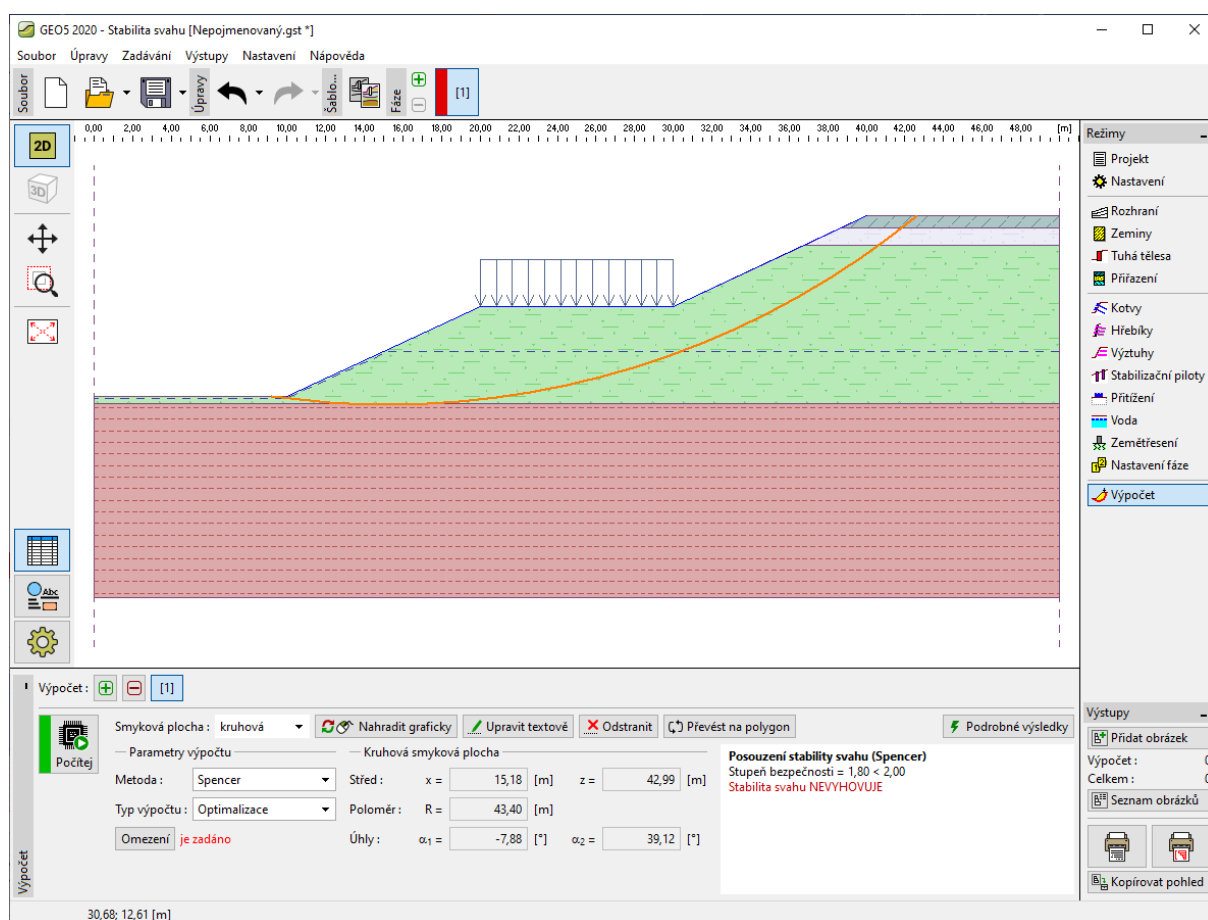
Rám „Výpočet“ – omezení optimalizace smykové plochy

Pro výpočet stability zvolíme Spencerovu metodu pro optimalizovanou kruhovou smykovou plochu. Počáteční tvar smykové plochy zadáme libovolně, optimalizace nalezne nejhorší stav.

*Poznámka: Pro další výpočet stabilizačních pilot je třeba znát síly, které na jednotlivé piloty působí. Stanovení těchto sil neumožňují v programu „Stabilita svahu“ všechny metody. Proto je třeba pro výpočet zvolit jednu z těchto metod: Spencer, Janbu, Morgenstern-Price a ITFM.*

*Poznámka: Volba metody výpočtu i typu smykové plochy je vždy čistě na rozhodnutí projektanta a záleží na jeho znalostech a zkušenostech. V praxi je dobré provést výpočet pomocí různých metod a až následně se rozhodnout pro konkrétní možnost.*

*Poznámka: Pokud bychom znali přesnou polohu smykové plochy, podle níž dochází k sesuvu, jako typ výpočtu bychom nastavili možnost „Standard“ a polohu zadali ručně. Jelikož ji ale neznáme, zvolíme možnost „Optimalizace“.*



### Rám „Výpočet“

Vypočtený stupeň bezpečnosti činí  $SF=1,8$ , požadovaný byl  $SF=2,0$ . Svah tedy na požadovanou stabilitu nevyhověl.

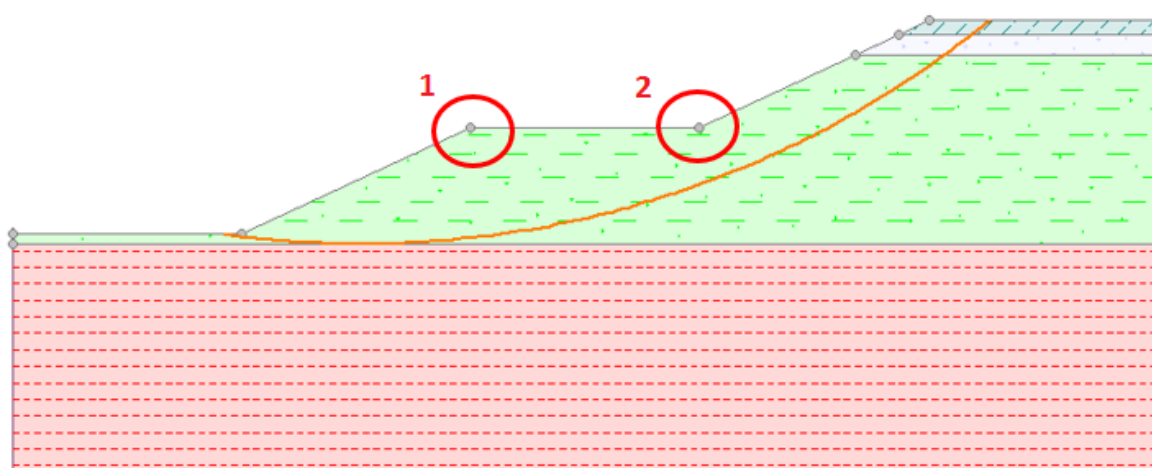
## Návrh stabilizačních pilot – Fáze budování 2

Před samotným návrhem se přesuneme do další fáze budování. To nám umožní zpětné porovnání chování svahu před a po realizaci pilot.

V rámu „Stabilizační piloty“ máme dvě možnosti zadání pilot. U grafického zadávání určujeme polohu piloty kliknutím přímo do svahu, u textového zadávání vkládáme piloty pomocí souřadnic horního bodu piloty a její délky. Možná je také jejich kombinace, kdy vložíme pilotu přibližně graficky a přesnou polohu upravíme textově.

*Poznámka: Ideální polohu pro vložení řady stabilizačních pilot většinou neznáme. Vždy ale musí protínat smykovou plochu a měla by zasahovat do únosnějších geologických vrstev. Také je důležité brát v potaz technologické možnosti zhotovení piloty a případně uvažovaného kotvení. Pilota uprostřed prudkého svahu by jeho stabilitu určitě zlepšila, nicméně je otázka, jak by probíhala její realizace.*

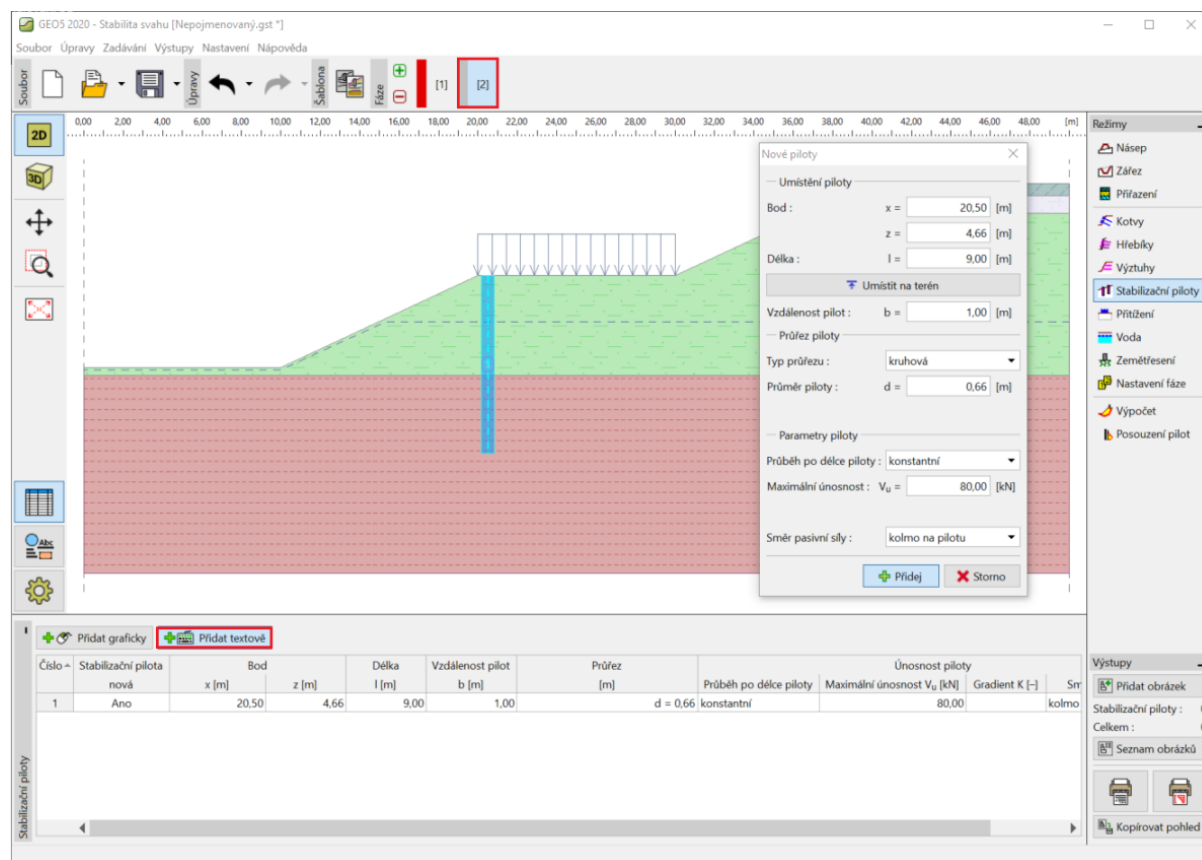
V našem příkladu připadají do úvahy dvě místa pro umístění stabilizačních pilot.



*Možné polohy pro realizaci řad stabilizačních pilot*

My si zde ukážeme řešení pro bod 1. Rozhodnutí o poloze stabilizačních pilot je však vždy na projektantovi.

*Poznámka: Pokud by byly piloty v zadaném svahu příliš namáhané, nebo bychom chtěli zmenšit jejich příčný průřez, je zde také možnost realizovat dvě řady pilot, tzn. v obou bodech.*

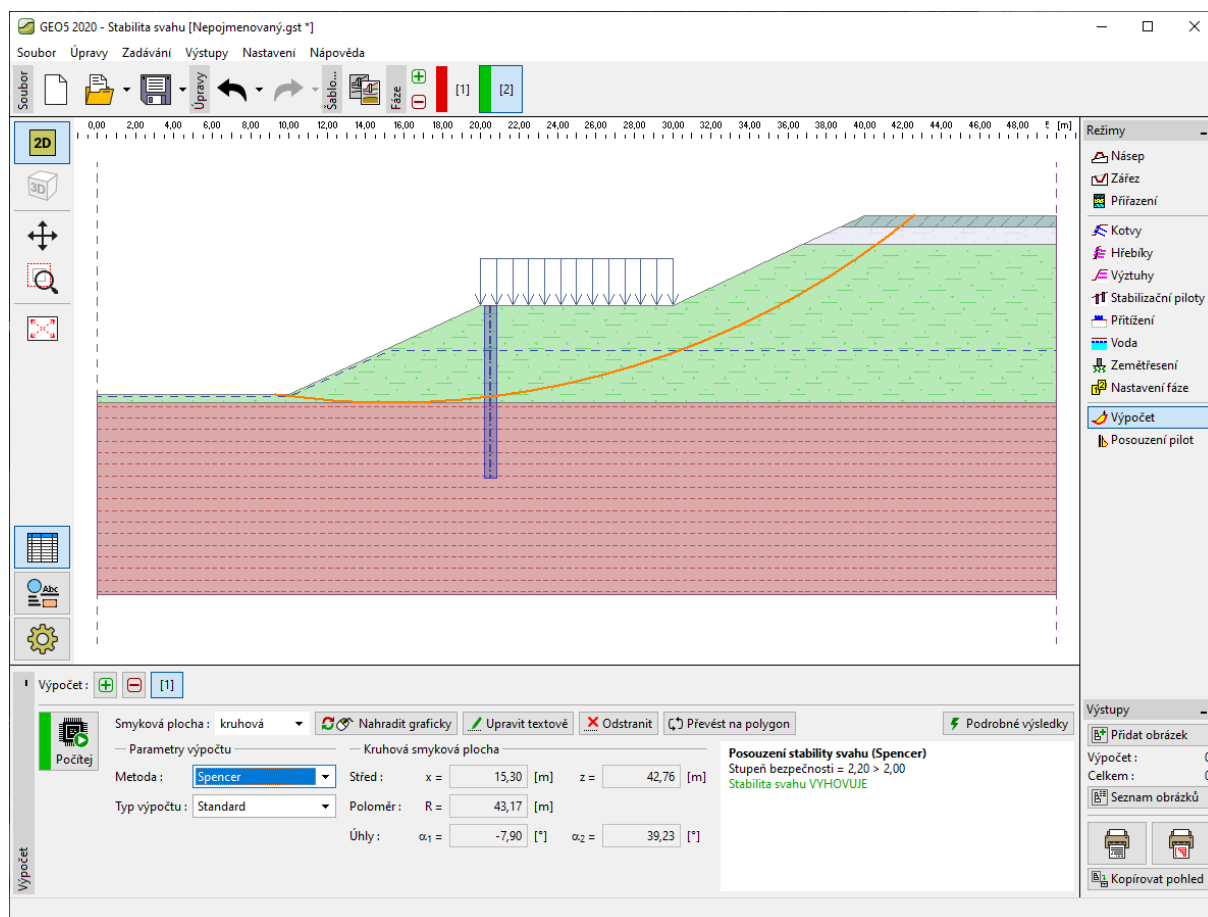


### Rám „Stabilizační piloty“ – textové vložení

*Poznámka: Kromě polohy, rozestupu a průřezu jednotlivých pilot vkládáme také jejich další parametry. Únosnost piloty je v podstatě síla, kterou pilota působí proti sesuvu. Tuto únosnost ověříme v dalším posouzení v programu „Stabilizační pilota“. Únosnost může být zadána jako konstantní nebo lineárně narůstající od paty piloty vzhůru. Pasivní síla na pilotu působí buď vodorovně, nebo ve směru smykové plochy. Více informací lze nalézt v nápovědě k programu (F1).*

V našem příkladu jsme se rozhodli použít kruhové piloty o délce 9 m a průměru 0,66 m. Jednotlivé jsou umístěné v osově vzdálenosti 1 m a jejich předpokládaná únosnost ( $V_u$ ) činí 80 kN.

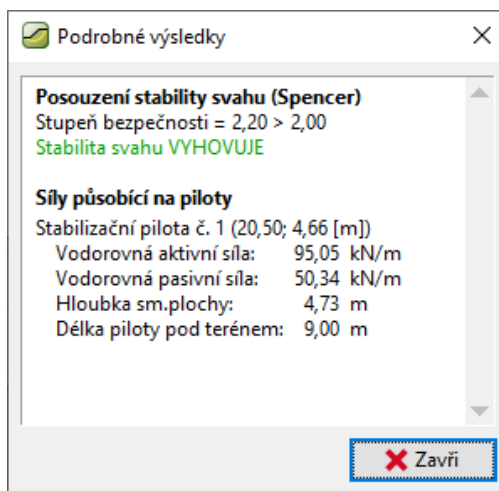
Po zadání piloty se přesuneme do rámu „Výpočet“. Jako typ výpočtu nyní zvolíme „Standard“. Při tomto typu výpočtu se nehledá kritická smyková plocha, ale spočte se stupeň bezpečnosti jen pro zadanou smykovou plochu (v našem případě převzatou z minulé fáze). Zbytek nastavení necháme beze změny.



Rám „Výpočet“ – vliv stabilizačních pilot

Po provedeném výpočtu vidíme, že použití stabilizačních pilot zlepšilo stabilitu svahu a ten již na požadovaný stupeň bezpečnosti vyhověl.

Po kliknutí na tlačítko „Podrobné výsledky“ se nám objeví dialogové okno, ve kterém vidíme informace týkající se výpočtu stabilizačních pilot.



Dialogové okno – „Podrobné výsledky“

*Poznámka: Jako výstup výpočtu dostáváme hloubku smykové plochy v místě piloty a velikosti dvou sil, které působí na pilotu.*

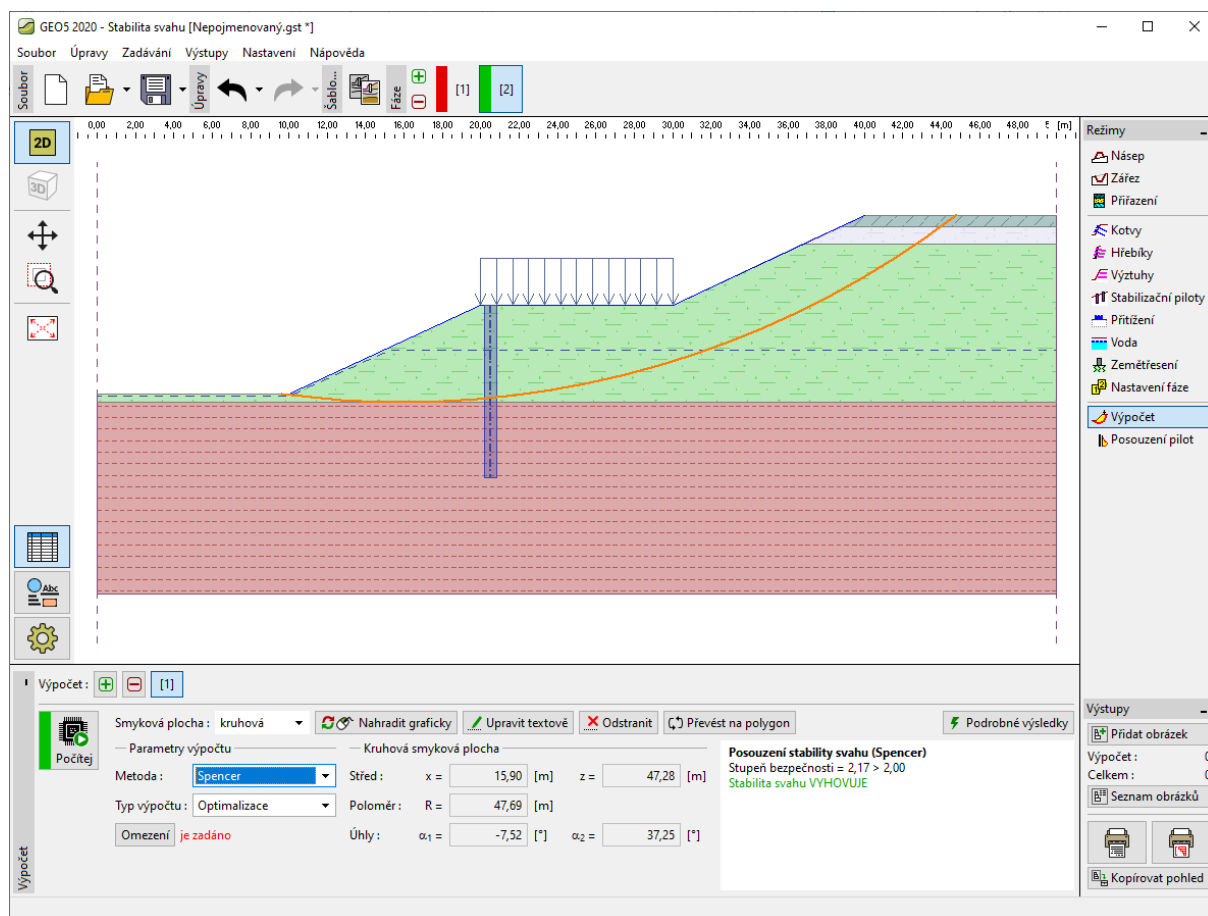
**Aktivní síla** je síla, kterou působí horní část svahu (vpravo) na pilotu a snaží se svah destabilizovat.

**Pasivní síla** působí proti směru sesuvu a pomáhá pilotě ve stabilizaci svahu. (Pokud vyjde pasivní síla nulová, znamená to, že svah před pilotou není dostatečně stabilní a je tedy třeba řešit jeho stabilitu zvlášť.)

Rozdíl mezi aktivní a pasivní silou je v podstatě síla, kterou musí pilota přenést, aby svah dosáhl požadovaného stupně bezpečnosti. Zjednodušeně se tedy jedná o únosnost, kterou musí pilota minimálně splňovat.

Stupeň bezpečnosti svahu závisí vždy na zadané smykové ploše. Kritická plocha, kterou jsme našli pomocí optimalizace na svahu bez piloty, měla **SF=1,8**. Ta samá smyková plocha na svahu stabilizovaném pilotami má hodnotu **SF=2,20**. Je však možné, že zde existuje ještě jiná smyková plocha, která před realizací pilot nebyla kritická, ale po realizaci se jí stala. Jednalo by se o smykovou plochu, která měla před stabilizací **SF>1,8**, ale po realizaci piloty má **SF<2,20**.

Tuto možnost ověříme v další fázi výpočtu pomocí optimalizace smykové plochy. Nyní ji ale provedeme již na svahu s pilotou.



Rám „Výpočet“ – Optimalizace smykové plochy po zadání piloty

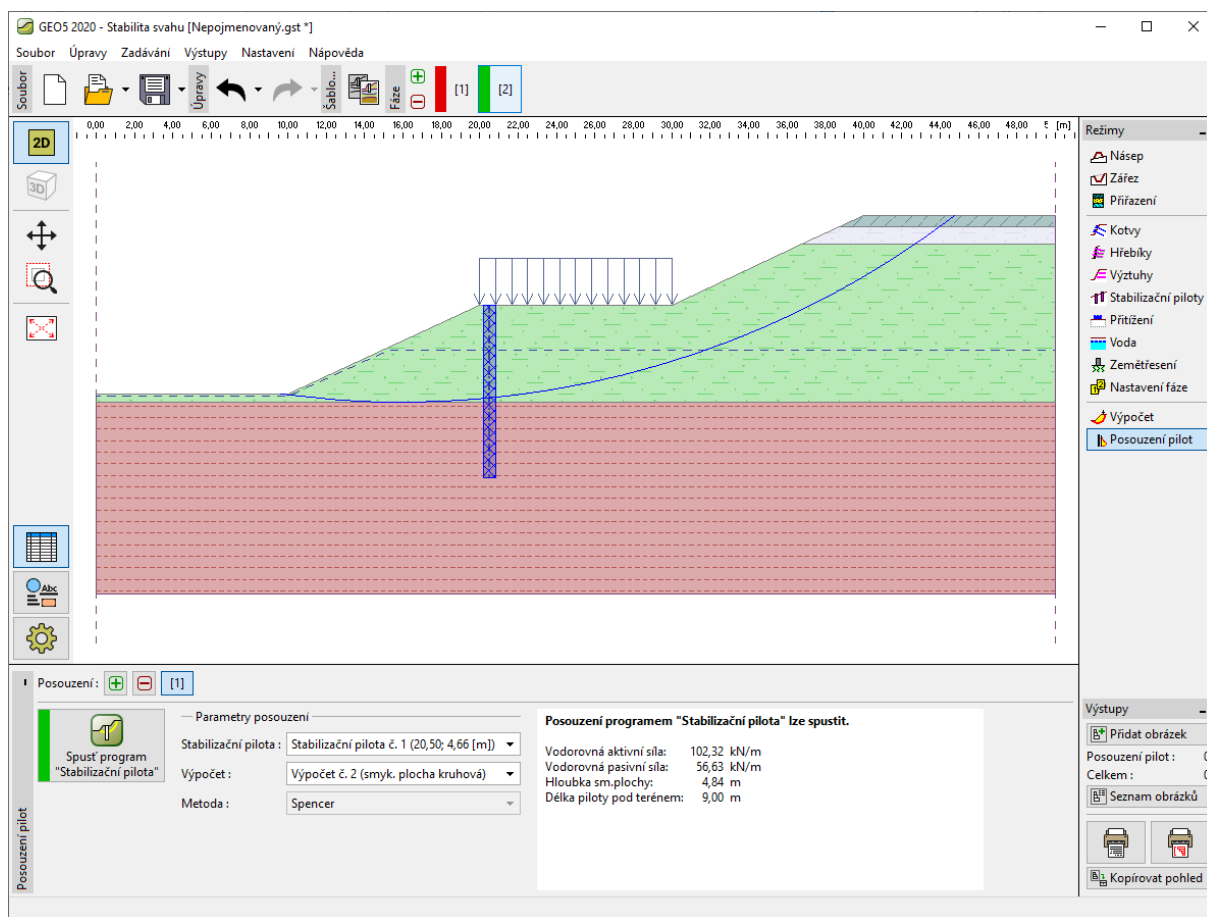
Vidíme, že svah vyhověl na požadovaný stupeň bezpečnosti i při nové kritické smykové ploše. Rozdíl mezi starou a novou kritickou smykovou plochou je zde minimální. Nemusí to tak být ale pokaždé, proto je dobré pro kontrolu vždy provádět optimalizaci i po zadání piloty.

Tento stav je po zadání piloty kritický, a proto na něj budeme jednotlivé piloty dále posuzovat a dimenzovat.

### Posouzení a dimenzování jednotlivých pilot

Nyní v rámu „Posouzení pilot“ vybereme výpočet č. 2 (optimalizovaná smyková plocha po zadání piloty) a vybereme možnost „Spustí program Stabilizační pilota“.

*Poznámka: V případě, že bychom měli zadaných více než jednu řadu pilot, bylo by ještě třeba určit, pro jakou řadu posouzení provádíme.*



Rám „Posouzení pilot“

Program *Stabilizační pilota* slouží k určení deformací a vnitřních sil po délce piloty. Tento program vychází ze stejných postupů jako program *GEO5 – Pažení posudek*. Hlavní rozdíl je ve stanovení zatížení, které působí na pilotovou stěnu. Zatímco v programu *Pažení posudek* je konstrukce zatížena zemními tlaky po celé její délce, v programu *Stabilizační pilota* je zatížení na pilotu rozdělené do dvou částí. V oblasti nad smykovou plochou je pilota zatížena na základě rozdílu aktivní a pasivní síly. Pod smykovou plochou je zatížení opět charakterizováno zemními tlaky.

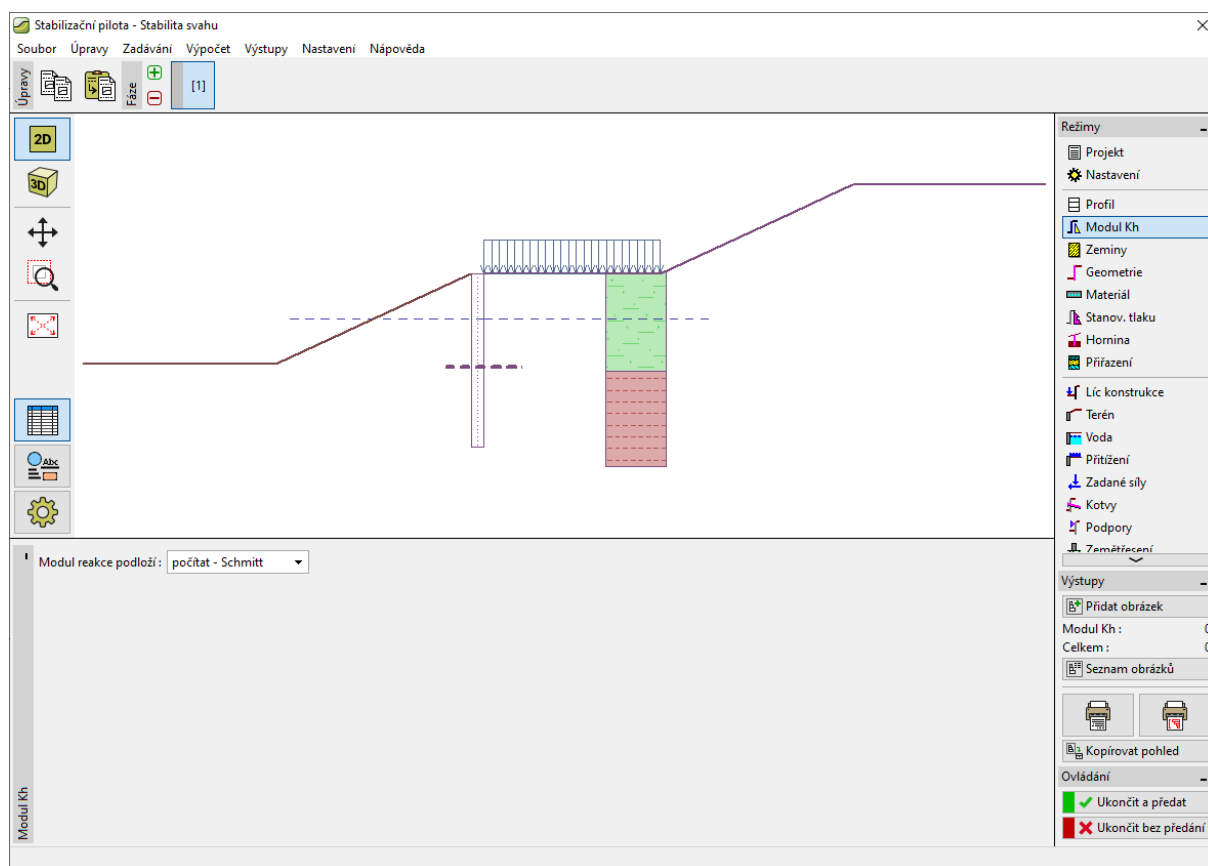


Po spuštění programu *Stabilizační pilota* se nám automaticky přenesou všechna potřebná data z programu *Stabilita svahu*.

*Poznámka: Zadávání většiny dat do programu Stabilizační pilota je shodné s možnostmi zadávání do programu Pažení posudek a je podrobně popsáno v inženýrských manuálech k tomuto programu (inženýrské manuály č. 6 a č. 7).*

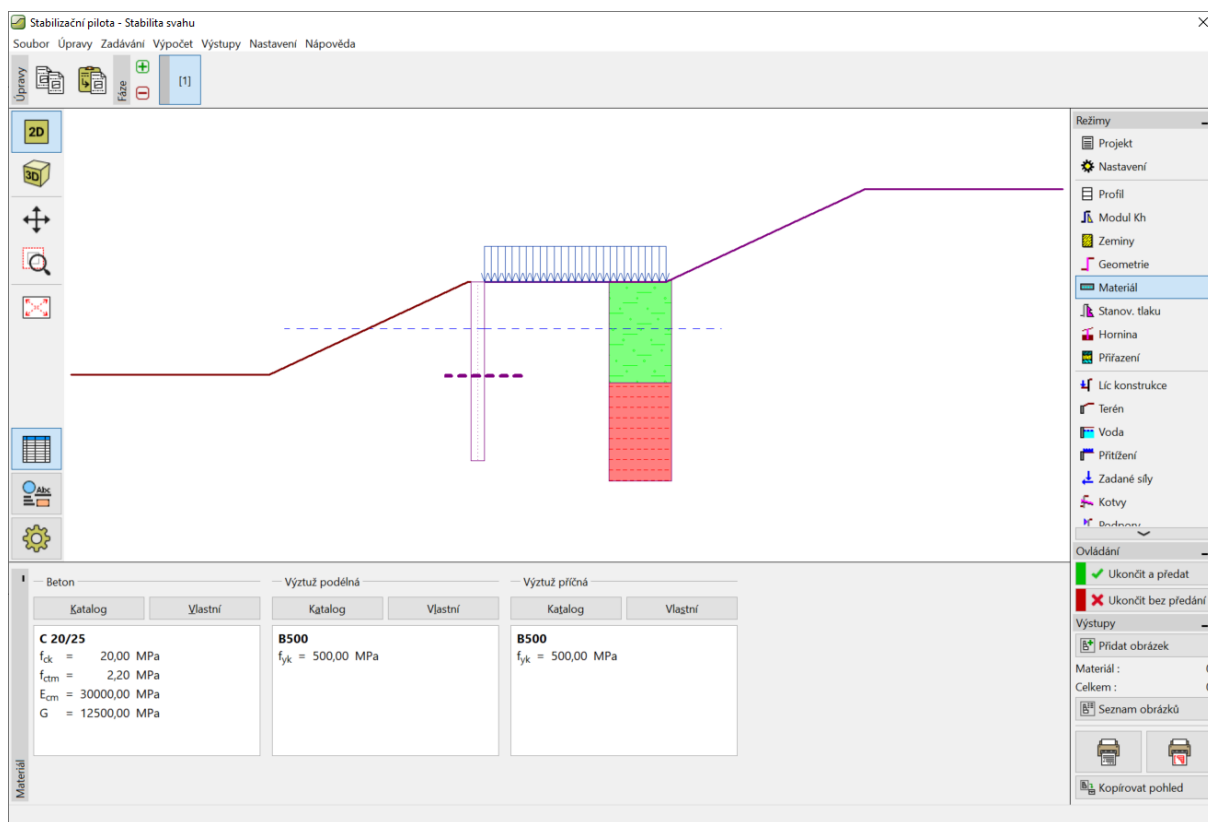
*Poznámka: Pokud bychom chtěli měnit některá nastavení pro výpočet v programu Stabilizační pilota (výpočty tlaků, normy pro materiály apod.), museli bychom tyto změny nastavení provést už v rámu „Nastavení“ v programu Stabilita svahu.*

V rámu „Modul Kh“ vybereme způsob výpočtu reakce podloží. My zvolíme možnost počítat dle *Schmitta*. Více informací o modulu Kh lze nalézt v inženýrských manuálech k programu *Pažení posudek* popř. v nápovědě (F1).



Program „Stabilizační pilota“ – „Modul Kh“

V rámu „Materiál“ zvolíme druh betonu a výztuž jednotlivých pilot. Parametry lze vložit ručně nebo vybrat z předpřipraveného katalogu. My jsme zvolili beton C20/25 a výztuž B500.

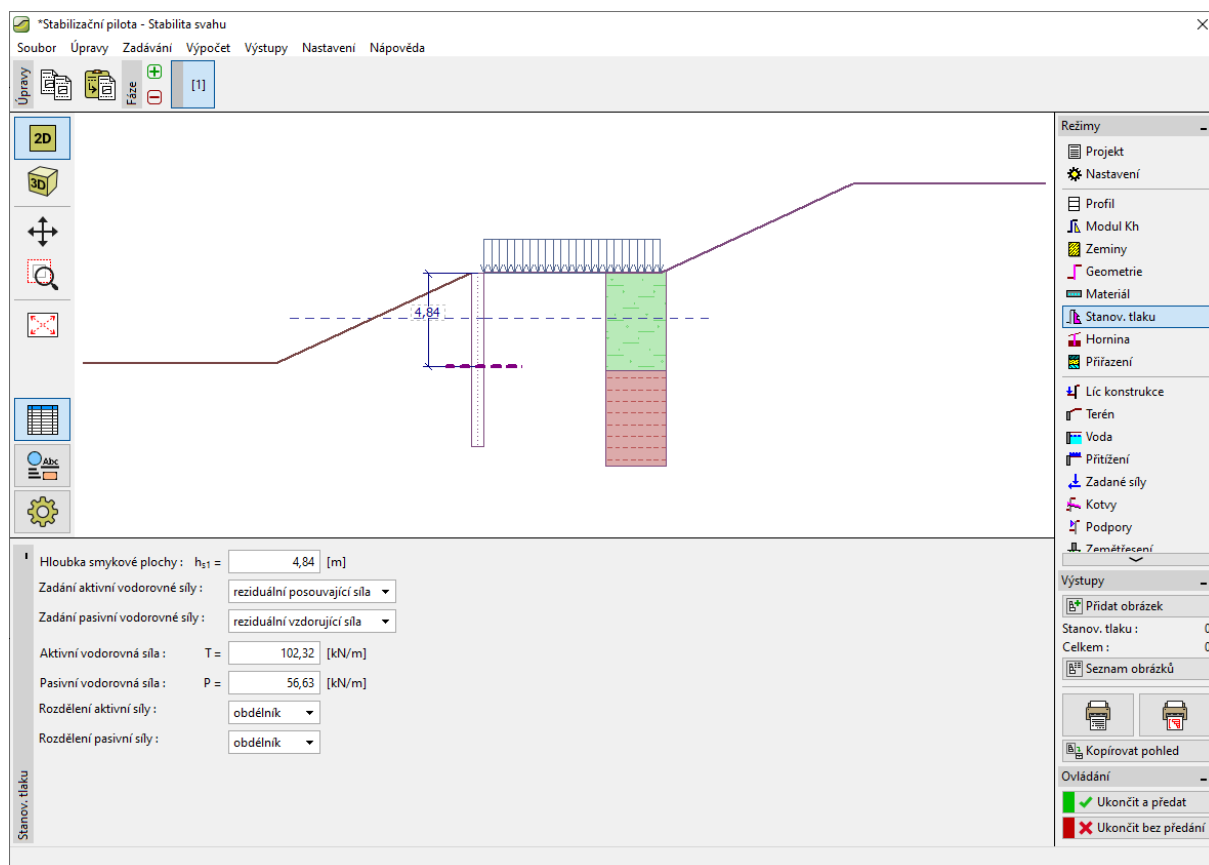


Program „Stabilizační pilota“ – „Materiál“

Další rám, který nás zajímá, je „Stanovení tlaku“. V tomto rámu máme automaticky vložené velikosti aktivní a pasivní síly a hloubku smykové plochy. Tyto údaje jsme získali při výpočtu stability svahu uvedeném výše.

Dále zde máme možnosti rozložení tlaku po délce piloty nad smykovou plochou. Aktivní síla může být rozložena podle tří základních obrazců (trojúhelník, obdélník a lichoběžník), pasivní síla je pak rozložena buď stejně jako aktivní, nebo podle zjednodušené paraboly. Možnosti rozložení tlaku jsou podrobně vysvětleny v nápovědě k programu GEO5 (F1).

*Poznámka: Obecně lze říci, že typ rozdělení aktivní síly volíme na základě převládajícího druhu zeminy nad smykovou plochou v místě piloty. Pro nás je touto zeminou písčitý jíl – pro jemnozrnné zeminy se doporučuje rozdělení podle obdélníku. Volba rozdělení pasivní síly je pak čistě na rozhodnutí projektanta.*

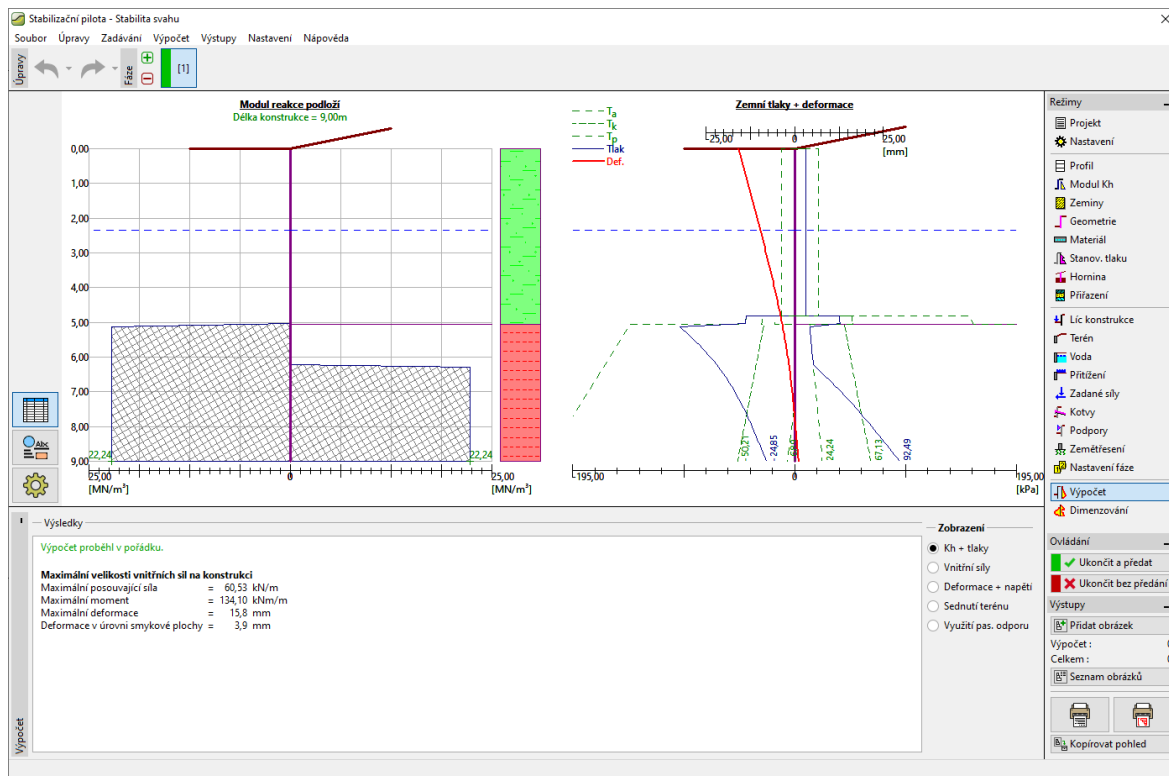


Program „Stabilizační pilota“ – rám „Stanovení tlaku“ – vstupy z programu „Stabilita svahu“

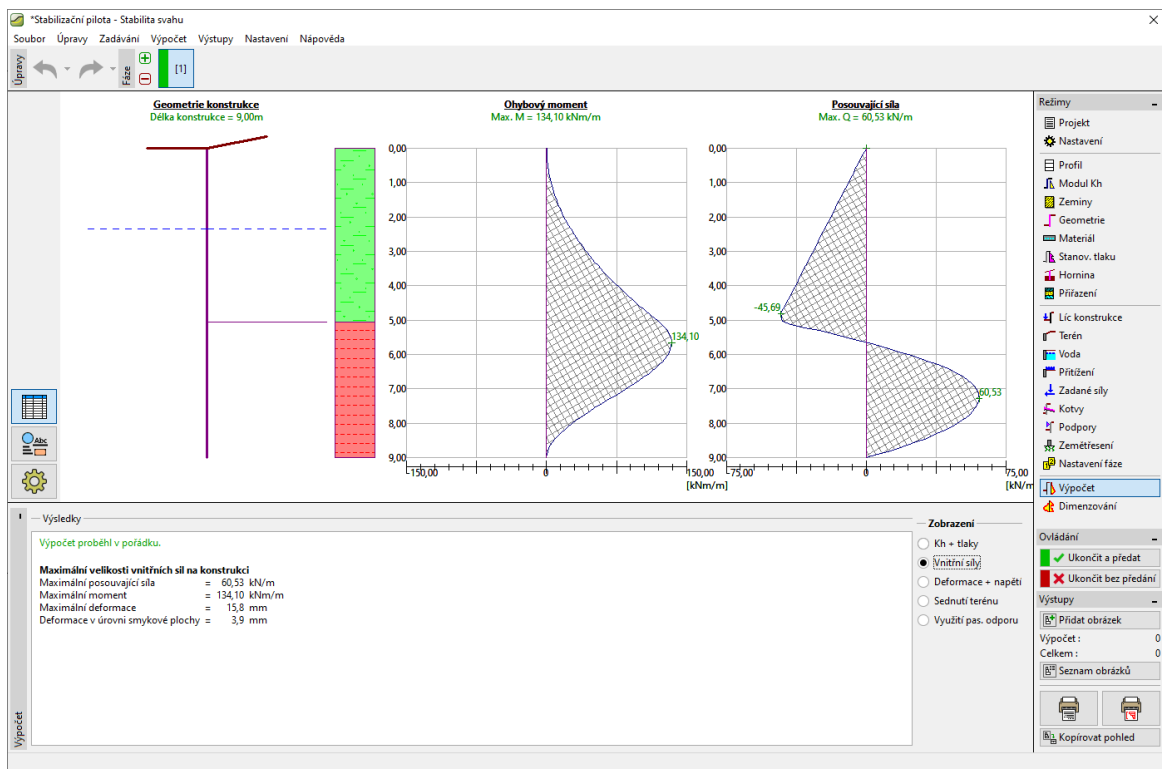
*Poznámka: V tomto rámu máme ještě volbu umožňující zadat tlak nad smykovou plochou přímo. Tuto možnost lze využít, pokud zatížení piloty nechceme počítat na základě rozdílu aktivní a pasivní síly, ale máme ho stanovené jakýmkoliv jiným způsobem.*

*Poznámka: Pokud bychom uvažovali pilotu vetknutou do skalního podloží, využili bychom ještě rám „Hornina“. V tomto případě bychom zadali hloubku vetknutí piloty a výpočtovou únosnost horniny. Maximální velikost napětí by následně nebyla omezena pasivním tlakem, ale mohla by dosáhnout libovolné hodnoty. Následně by v rámu výpočet došlo k ověření, že vypočtené napětí nepřekročí výpočtovou pevnost horniny. V našem příkladu tuto možnost neuvažujeme.*

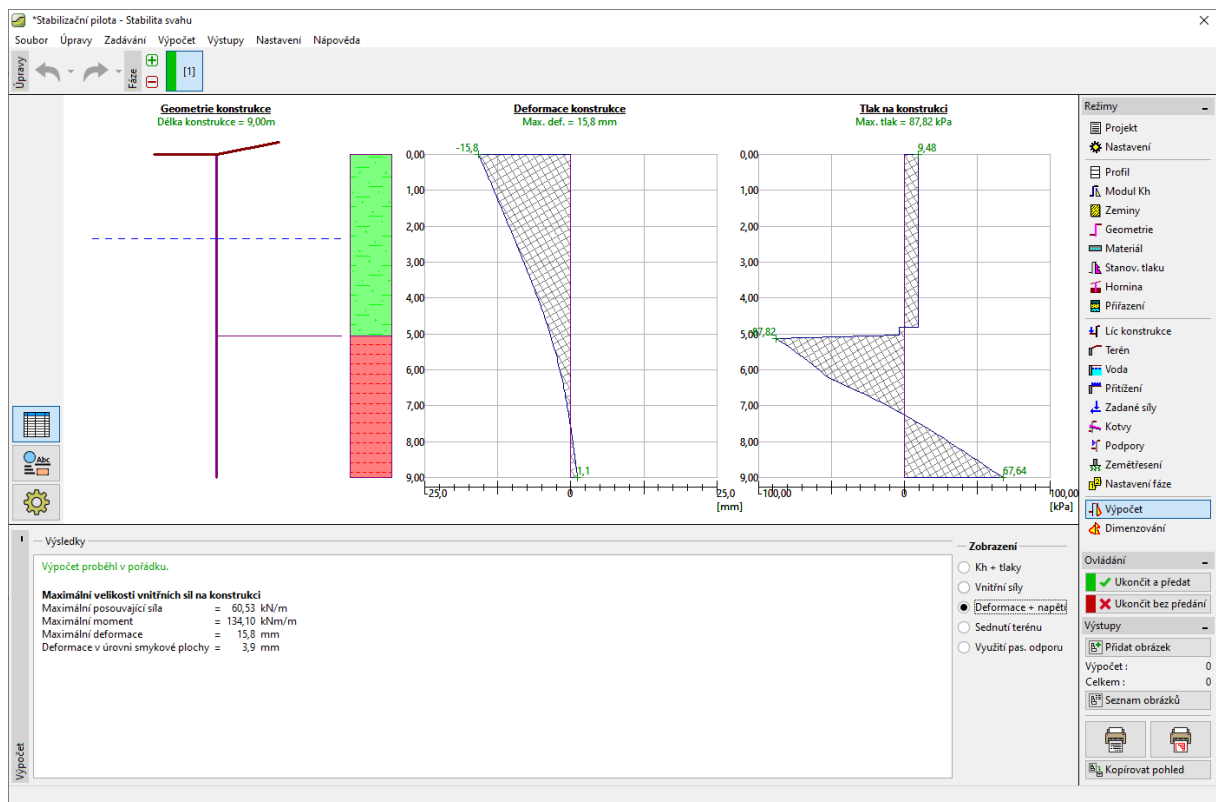
Nyní se přesuneme do rámu „Výpočet“.



Program „Stabilizační pilota“ – rám „Výpočet“ – zobrazení modulu Kh a působících tlaků

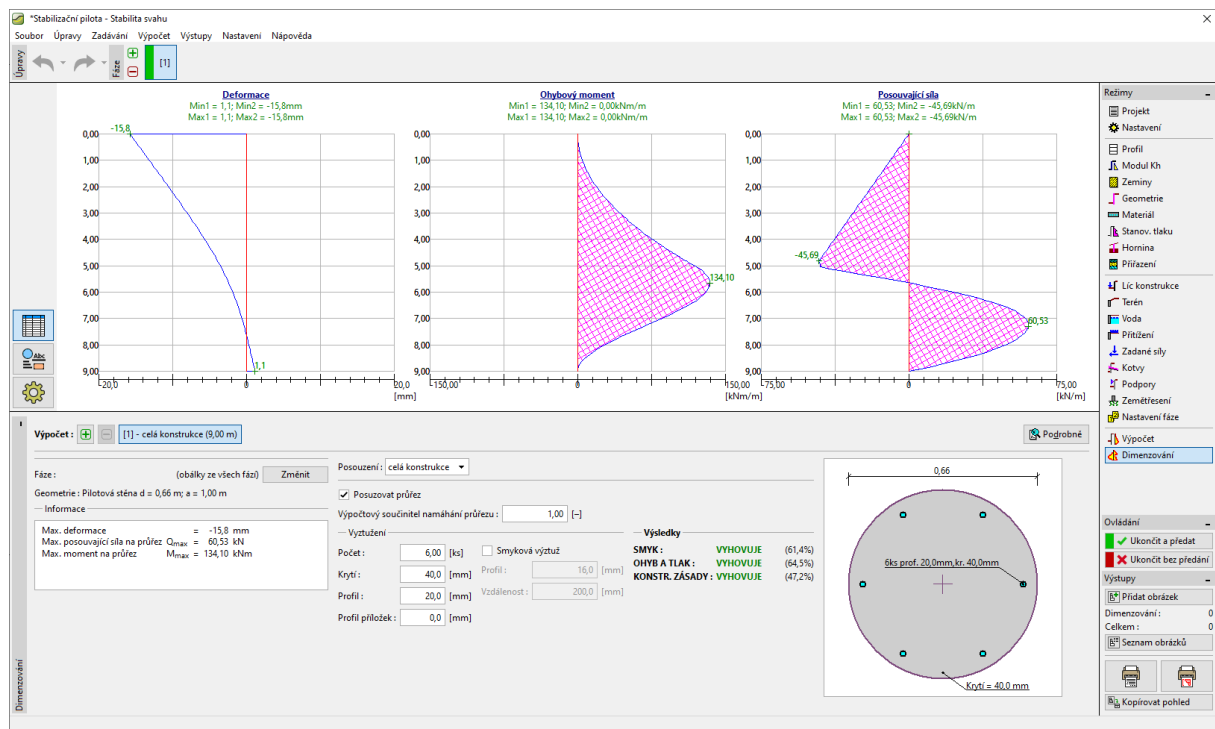


Program „Stabilizační pilota“ – rám „Výpočet“ – zobrazení vnitřních sil



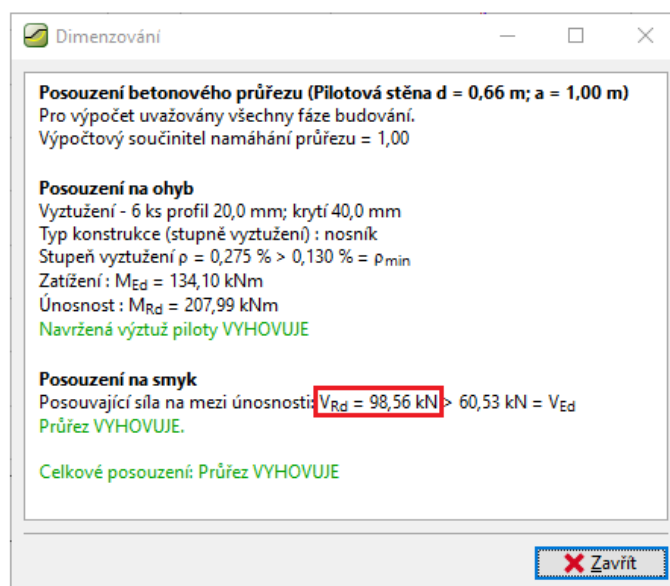
Program „Stabilizační pilota“ – rám „Výpočet“ – zobrazení deformací a napětí

V rámu „Dimenzování“ navrhne odpovídající vyztužení jednotlivých pilot.



Program „Stabilizační pilota“ – rám „Dimenzování“

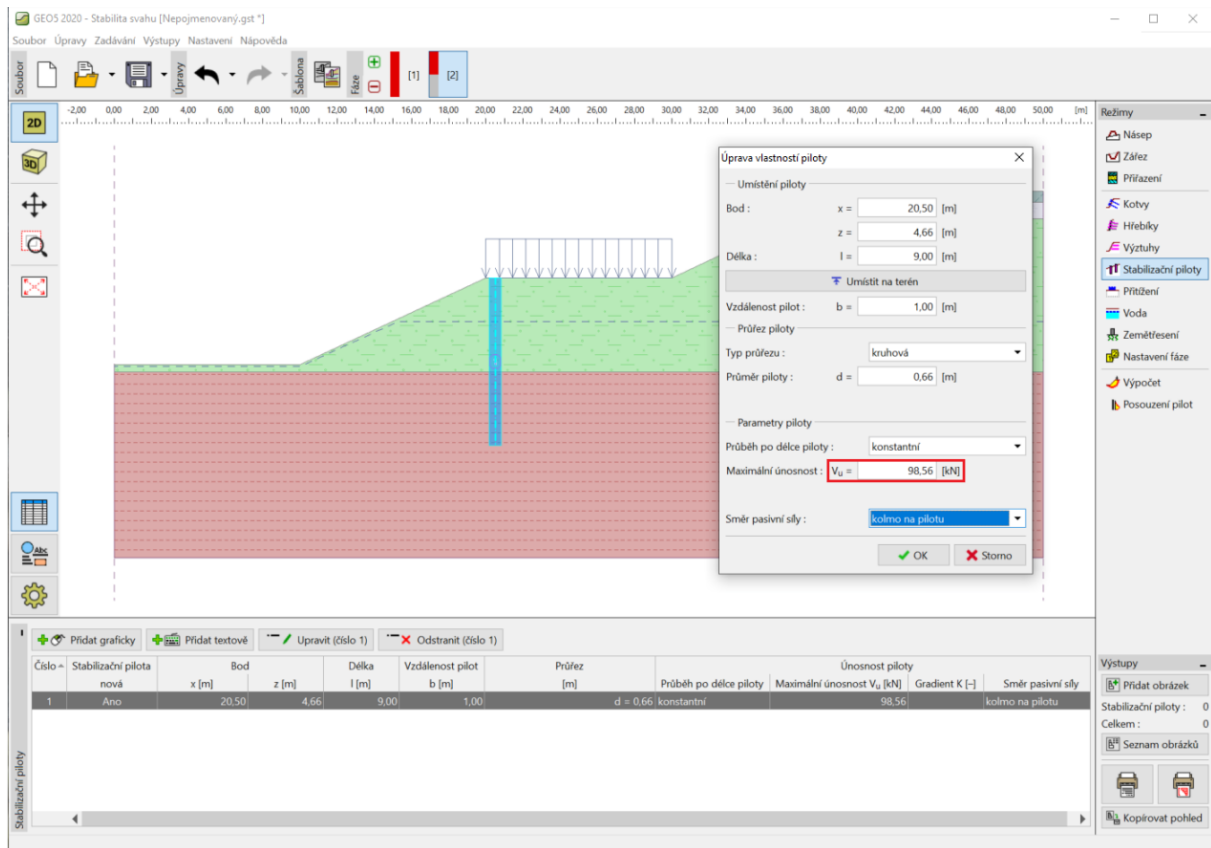
Vidíme, že pilota ve všech posouzeních vyhověla. Pokud nás zajímá její maximální smyková únosnost, otevřeme dialogové okno „Podrobně“.



Program „Stabilizační pilota“ – rám „Dimenzování“ – podrobné výsledky

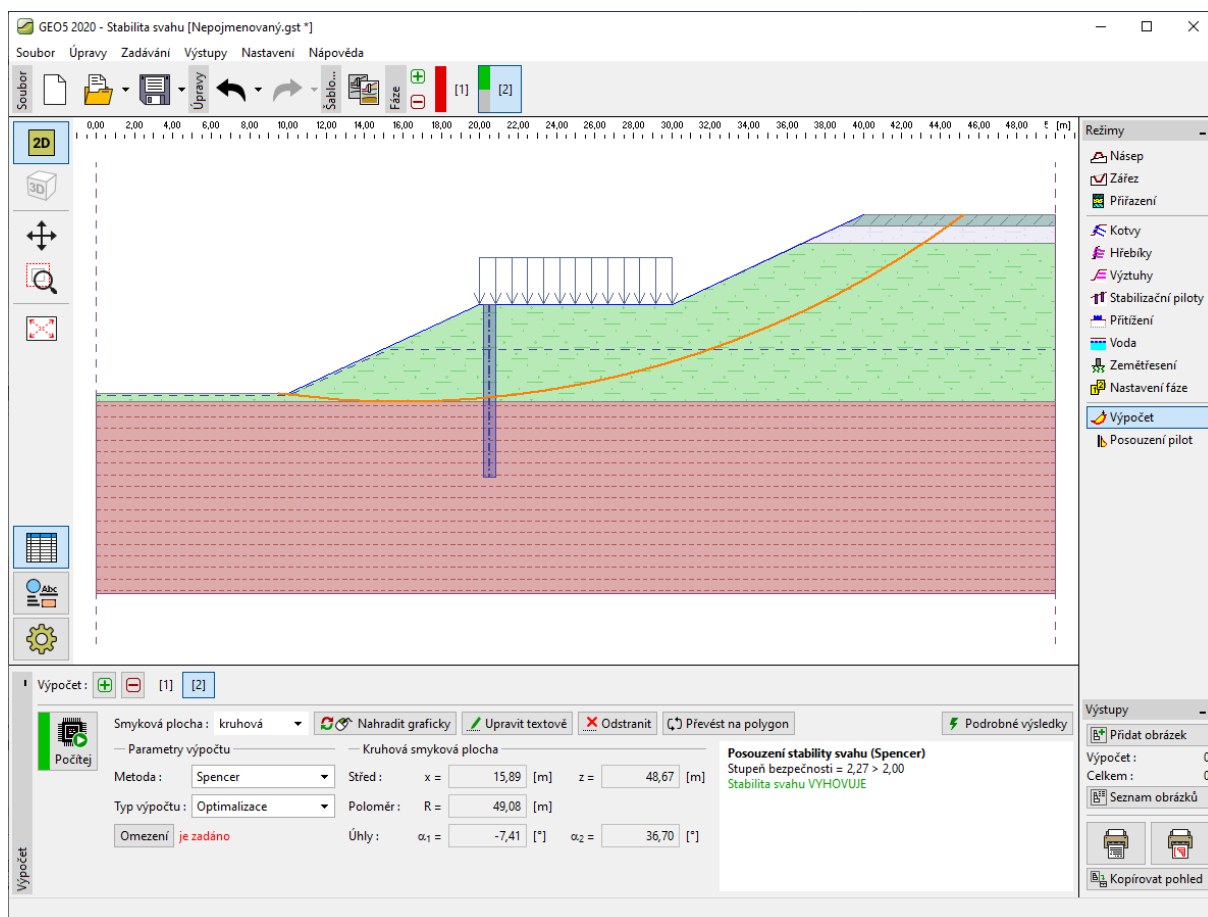
Při výpočtu stability jsme uvažovali únosnosti jednotlivých pilot jako 80 kN. Vidíme, že skutečná únosnost piloty je však vyšší (98,56 kN).

Pro získání skutečného stupně bezpečnosti zavřeme program „Stabilizační pilota“ a vrátíme se do programu „Stabilita svahu“. V tomto programu změníme únosnost stabilizačních pilot z hodnoty 80 kN na hodnotu 98,56 kN.



Program „Stabilita svahu“ – úprava únosnosti piloty

S touto úpravou provedeme výpočet.



## Závěr

Požadovaný stupeň bezpečnosti zadaného svahu byl **SF=2,00**. S použitím stabilizačních pilot se nám podařilo zvýšit stupeň bezpečnosti z hodnoty **SF=1,8** na hodnotu **2,27**.

Jednotlivé stabilizační piloty vyhověly na veškeré posouzení únosnosti (tlak, smyk) a jejich maximální deformace dosáhly hodnoty 15,8 mm, což je přijatelná hodnota.