

ZPĚTNÁ ANALÝZA MĚLCE ZALOŽENÝCH TUNELOVÝCH KONSTRUKCÍ.

Ing. Aleš Zapletal, DrSc., Satra

Ing. Tomáš Louženský, Satra

Praha, březen 2014

Obsah

Úvod	3
1. Ambice a realita zpětné analýzy	4
1.1. Geometrická interpretace	4
1.2. Chyby, kterým zpětná analýza čelí: chyba odečtu měření	9
1.3. Chyby, kterým zpětná analýza čelí: nedokonalá kompatibilita výpočetního modelu a stavu in natura neboli přechod od Výpočtu 2 k Výpočtu per natura	11
1.4. Chyby, kterým zpětná analýza čelí: koincidence chyb 1.2 a 1.3.	13
1.5. Možné důsledky	13
1.6. Precizovaná formulace zadání zpětné analýzy.	14
2. Metoda přímého výpočtu	16
2.1. Všeobecně	16
2.2. Základní terminologie a vztahy přímé metody zpětné analýzy	17
2.3. Zakázané operace	22
3. Metoda postupného vyhledání	23
4. Metoda průsečíků stop vrstevnic	28
5. Příklady	32
5.1. Dřívější výpočty	32
5.2. Nový výpočet pomocí metody přímého výpočtu	33
6. Důsledky	71
7. Výjimka z pravidla	74
8. Závěr	74
9. Příloha	76

Úvod

Toto pojednání zkoumá možnosti zpětné analýzy. Říká se, že zpětná analýza tunelových konstrukcí umožňuje naléztí pravé hodnoty geotechnických parametrů horninového masivu. V kap.1 ukážeme, že toto tvrzení je poněkud odvážné.

Projektant při tvorbě statického výpočtu projektu (budeme mu říkat základní výpočet) pracuje s deterministickým algoritmem, ve kterém je horninový masiv popsán souborem k geotechnických parametrů. Příroda pracuje s algoritmem, o kterém nic nevíme, o kterém ale předpokládáme, že se dá s dostatečnou přesností aproximovat nějakým algoritmem, rovněž deterministickým, popisujícím horninový masiv pomocí stejného souboru k geotechnických parametrů, jako algoritmus projektanta.

Geotechnické parametry, vstupující do deterministického algoritmu přírody, nazveme *pravými geotechnickými parametry*. Jsou jednoznačné.

Zpětná analýza bývá prováděna *metodou postupného přiblížení*. Pojďme o iteračním charakteru této metody. Ukážeme, že metoda není schopna zajistit, aby iterace konvergovaly k pravým geotechnickým parametrům. Hodnoty, ke kterým iterace konvergují (pokud konvergují), budeme nazývat *nepravými geotechnickými parametry*. *Nejsou jednoznačné*.

Iterace konvergují k nepravým hodnotám proto, že se iteračního cyklu nezúčastňují všechny geotechnické parametry, nýbrž pouze (dva) vybrané. Chápání metody postupného přiblížení, jako metody vyhledávající pravé geotechnické parametry, je tedy principiálně chybné.

Zkoumáme-li (bez ohledu na předchozí výtku) metodu postupného přiblížení samu o sobě, nalézáme některé její těžkosti. Abychom se jim vyhnuli, navrhneme, jako analogii k ní, *metodu průsečíků stop vrstevnic*. Z analogie vyplývá, že i tato metoda, nahlížena jako nástroj k vyhledání pravých geotechnických parametrů, bude principiálně chybná. Ale z toho, že ji zavádíme, lze usoudit, že nad metodou postupného přiblížení „nelámeme hůl“. To proto, že tato metoda dokáže poměrně spolehlivě (a metoda průsečíků stop vrstevnic ještě lépe) naléztí vybraná, byť omezená, sblížení deformací vypočtených a in situ naměřených. *Nalezení takových sblížení nelze ovšem považovat za nalezení pravých geotechnických parametrů*.

Vzniká tedy poptávka po metodě, která pravé parametry vyhledat dokáže. Ve snaze vyhovět tomuto požadavku jsme zavedli *metodu přímého výpočtu* geotechnických parametrů (přesněji řečeno znovu zavedli, protože metoda byla publikována již v r. 2011 v časopise Tunel č.2/2011 pod názvem „Kritické zhodnocení možností zpětné analýzy“, autora Ing. A. Zapletala, DrSc.). Ta pracuje se všemi geotechnickými parametry, a principiálně nabízí možnost pravé parametry naléztí. Je to metoda diferenciální a neumí využít iterační cyklus. Proto, pokud je schopna pravé parametry vyhledat, nedokáže je vyhledat kdekoliv. Pravé geotechnické parametry nesmějí býti libovolně „vzdáleny“ od parametrů základního výpočtu, abychom na ně dosáhli pomocí derivací z pozice, jejíž koordináty jsou geotechnickými parametry základního výpočtu.

Toto ale není jediné úskalí, na které metoda naráží a jehož zdrojem sama metoda není. V první kapitole se seznámíme s dvěma chybami, které zpětnou analýzu doprovázejí. Tyto chyby způsobují, že pravé geotechnické parametry jsou „skrytými“ veličinami, na které

většinou neumíme dosáhnout. Dosáhneme pouze na veličiny, které nazveme *kvazipravými*. Ty jsou vyhodnocením údajů in situ, zatížených chybou měření. Toto vyhodnocení se děje algoritmem počítače, který je odlišný od algoritmu, se kterým pracuje příroda. Bude-li rozdíl mezi algoritmem in computer a algoritmem in natura výrazný, budeme mluvit o nekompatibilitě. Výpočetní model se nebude schopen přírodě přizpůsobit. To se podepíše na kvazipravých parametrech, které (jak ukážeme v příkladu) mohou v takovém případě nabýt hodnot až zcela absurdních. Bližší podrobnosti o tom, jak se právě parametry mění na kvazipravé, nalezneme v kap.1. *Kvazipravé parametry nejsou jednoznačné.*

Obrazně řečeno, metoda přímého výpočtu chce mířiti na správný cíl s koordinátami, kterými jsou právě geotechnické parametry. Nevidí jej však. Místo toho vidí několik cílů, falešných obrazů pravého cíle, v místech s koordinátami, kterými jsou kvazipravé parametry. Po těch střílí a ty zasahuje.

Tato úvodní konstatování naznačují, že objektem našeho zájmu je poměrně komplikovaný subjekt. Pokusíme se tuto komplikovanost utřídit. Pomůže nám v tom i kap.5 „Příklady“, ve které předvedeme metodu přímého výpočtu jak v situaci metody úspěšné, tak metody kolabující. Zároveň se zde setkáme s aplikací metody průsečíků stop vrstevnic.

V závěrečných partiích učiníme návrh, kterak problémy, zde popsané, překonat.

1. Ambice a realita zpětné analýzy

Pro potřeby tohoto pojednání se dohodneme na tom, že v případě homogenního horninového masivu je ražbou vyvolaná deformace, počítaná na výpočetním modelu /měřená in situ, funkcí šesti geotechnických parametrů: koeficientu bočního tlaku K , modulu pružnosti E , Poissonovy konstanty ν , kohese c , úhlu vnitřního tření ϕ a vydechnutí horninového masivu P . Ve složitějším případě bude masiv vrstevnatý a každé vrstvě bude přiřazen šestičlenný soubor těchto parametrů. (Zařazením P mezi geotechnické parametry říkáme, že naše pozornost bude zaměřena na úlohy rovinné deformace, neboť právě tam je vydechnutí P používáno. P jsme zařadili mezi geotechnické parametry, ačkoliv to běžně není zvykem. Je to ale v možnostech dohody, kterou tímto považujeme za uzavřenou. Současná přítomnost koeficientu bočního tlaku K a Poissonovy konstanty ν na seznamu geotechnických parametrů je oprávněná. Koeficient K se totiž týká minulosti, která utvářela horninový masiv a dala vzniknout bočním horninovým tlakům. Poissonova konstanta se týká současnosti a vstupuje do hry až v okamžiku ražby tunelu, jako současná charakteristika masivu.)

1.1. Geometrická interpretace

Ambice zpětné analýzy a potíže, na které narážíme při jejich realizaci, vysvětlíme pomocí geometrické interpretace zpětné analýzy.

Potíž geometrické interpretace spočívá v tom, že soubor šesti geotechnických parametrů $[K, E, \nu, c, \phi, P]$ vytváří šestiřozměrný prostor, který si naše myšlení nedovede představit. Tomu musíme učinit ústupek, vytvořit rozumovému chápání dostupnou analogii

šestirozměrného problému a poznatky, v této analogii získané, rozšířit na prostor šestirozměrný.

- A tak si představme nějaké těleso, jehož **deformace v daném směru** w je funkcí nikoliv šesti, nýbrž toliko dvou proměnných, které označíme jako α, β . Vyberme na tělese dva měřičské body 1 a 2. Jejich deformace v daném směru, **který může být v obou bodech různý**, jsou funkcemi proměnných α, β , neboli plochami nad rovinou α, β (obr. 1):

$$w_1 = f_1(\alpha, \beta), \quad (1)$$

$$w_2 = f_2(\alpha, \beta), \quad (2)$$

kde w_1 je funkce deformace v bodě 1, zatímco w_2 je funkce deformace v bodě 2.

Změřme deformace bodů 1, 2 a označme je symboly $w_{1,0}$ (pro bod 1) a $w_{2,0}$ (pro bod 2). Tyto veličiny leží (viz obr. 1) na vrstevnicích ploch f_1, f_2 , které označíme jako v_1, v_2 . Průměty vrstevnic do roviny α, β nazveme stopami. Stopu vrstevnice v_1 označíme jako s_1 , stopu vrstevnice v_2 jako s_2 .

Jak patrně z obr. 1, měřené **deformace** $w_{1,0}, w_{2,0}$ **náleží k těm proměnným** α_0, β_0 , **kteře jsou souřadnicemi průsečíku stop** s_1, s_2 .

Bude-li měřičských bodů n , bude existovat n stop s od n vrstevnic v . Všechny se budou protínat v tomtéž bodě o souřadnicích α_0, β_0 , které jsou těmi hodnotami proměnných α, β , pro které deformace w nabývají v n měřičských bodech hodnot $w_{i,0}, i=1,2,\dots,n$.

- Inverzní analýza ve své nejjednodušší formulaci nás staví před následující problém (obr. 2):

Představme si dva výpočty, *Výpočet1* a *Výpočet2*, téhož tělesa, provedené pomocí téhož algoritmu a se vstupy, které se liší pouze v hodnotách α, β . Měřičské body jsou co do počtu, polohy, tak i orientace měření u obou výpočtů stejné. Počet měřičských bodů je n . *Výpočet1* je proveden s proměnnými α_o^*, β_o^* , *Výpočet2* s proměnnými α_o, β_o .

Zadáním je zaručeno, že kterékoliv plochy $w_i = f_i(\alpha, \beta), i=1,2,\dots,n$, jsou pro oba výpočty stejné. (Poznámka: stejný algoritmus *Výpočtů 1, 2* budeme uvažovat neustále až do odst. 1.3.)

Výpočet1 je náš, takže známe souřadnice α_o^*, β_o^* bodu V (výchozího bodu). *Výpočet2* je někoho jiného a my o něm víme pouze to, že v n měřičských bodech jsou deformace, tímto výpočtem stanovené $w_{i,0}, i=1,2,\dots,n$. Neznáme tedy polohu bodu C (cílového bodu).

Úkol zní: Pomocí Výpočtu1 naleznete proměnné α_o, β_o z Výpočtu2 když víte, že deformace měřičských bodů jsou v tomto výpočtu $w_{i,0}$.

V řeči geometrické interpretace to pak zní takto: naleznete polohu bodu C , když víte, že se nalézáte v bodě V a deformační odečty na měřičských bázích v bodě C jsou $w_{i,0}$.

V kap.2 popíšeme metodu přímého výpočtu, která se tomuto zadání v rámci možností snaží vyhovět. Předtím se ale, pomocí geometrické interpretace, seznámíme s potížemi, způsobenými dvojím druhem neodstranitelných chyb, které se při hledání bodu C vynořují a jeho jednoznačné nalezení znemožňují. Přitom se od úlohy o dvou *Výpočtech* posuneme až k reálné situaci, kdy úlohu *Výpočtu2* převezme příroda, pracující s vlastním, od algoritmu

Výpočtu 1 odlišným a nám neznámým algoritmem, který je uplatňován na tělese, jehož details neznáme a které přibližně modelujeme v námi použitým statickým schématu.

- Nejprve však, pomocí naší dvourozměrné geometrické interpretace, vysvětlíme, co činíme, když ve snaze nalézt bod C používáme metodu postupného vyhledání (obr.2). {V těchto závorkách přitom budeme uvádět, jak se námi diskutované dvourozměrné události promítají do šestiřozměrného prostoru geotechnických parametrů.}

Kdybychom do postupného vyhledání zapojili obě proměnné α, β {všech šest geotechnických parametrů}, podařilo by se nám nalézt dvě souřadnice α_0, β_0 {šest hodnot geotechnických parametrů, příslušných v šestiřozměrném prostoru k } bodu C . K vyhledání bychom potřebovali dva údaje {šest údajů} ze souboru $w_{i,0}, i=1,2,\dots,n$. Takovýchto dvojic {šestic} bychom mohli sestavit $K(n,2) = n!/((n-2)!*2!)$ { $K(n,6) = n!/((n-6)!*6!)$ }. Postupné vyhledání by je všechny přivedlo do bodu C . Cesta, po které by se postupné vyhledání ubíralo by byla křivolaká. O její dvourozměrné verzi si můžeme udělat představu v kap.3 „Metoda postupného vyhledání“.

Postupné vyhledání však takto neprobíhá. Je založeno na tom, že jednu proměnnou {čtyři geotechnické parametry} blokuje a k postupnému vyhledání uvolňujeme pouze zbylou proměnnou {pouze dva geotechnické parametry; to proto, že při uvolnění většího počtu geotechnických parametrů již nejsme schopni techniku postupného vyhledávání zvládnout}. K postupnému vyhledání máme k dispozici $K(n,1) = n!/((n-1)!*1!) = n$ { $K(n,2) = n!/((n-2)!*2!)$ } údajů.

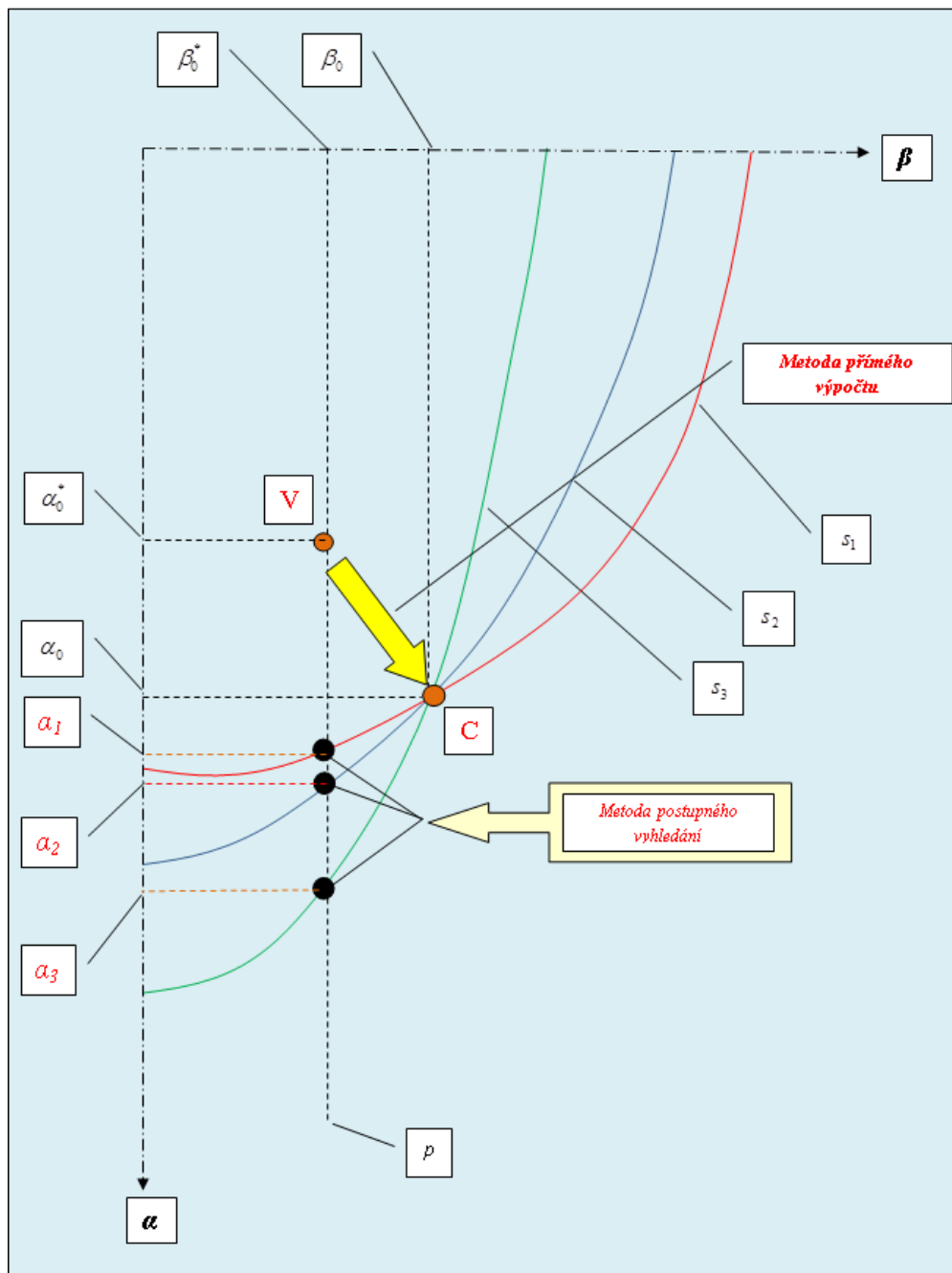
Na obr.2 jsou zakresleny tři stopy, takže počet údajů, které je možno k postupnému vyhledání použít je $K(n,1) = 3$ { $K(3,2) = 3!/((3-2)!*2!)=3$ }. Samo postupné vyhledání pak vypadá takto:

Ve *Výpočtu 1* (v našem výpočtu) zafixujeme hodnotu β_0^* a měníme hodnotu α (pohybujeme se tedy po přímce p , rovnoběžné s osou α , vzdálené od ní o β_0^*) tak dlouho, až narazíme na průsečík přímky p se stopou s_k měřičského bodu k . Setkání přímky p a stopy s_k (připomínáme, že ji neznáme, jen víme, že existuje) poznáme podle toho, že *Výpočtem 1* stanovená deformace v místě měřičského bodu k je rovna hodnotě $w_{k,0}$ (kterou poskytl *Výpočet 2*).

Průsečík určuje ty souřadnice α, β_0^* při kterých deformace, vypočtená *Výpočtem 1* v místě měřičského bodu k , dosáhne hodnoty $w_{k,0}$. Těchto průsečíků je tolik, kolik je měřičských bodů (kolik je stop) a každému odpovídají jiné souřadnice α, β_0^* . Na obr. 2 se jedná o tři soubory $\alpha_1, \beta_0^*; \alpha_2, \beta_0^*; \alpha_3, \beta_0^*$. Že tyto soubory nemají nic společného s hledanými vstupy α_0, β_0 *Výpočtu 2*, je zřejmé. Jsou to falešné hodnoty, nepravé geotechnické parametry. Jejich nejednoznačnost je na první pohled patrná.

To, co nalézáme na obr.2, má svoji analogii při použití metody postupného vyhledání v šesti-rozměrném prostoru geotechnických parametrů, kdy (zpravidla) čtyři geotechnické parametry blokuje a dva (zpravidla) uvolňuje k vyhledání. Proto, změním-li zde dvojici měřičských údajů, popř. změním-li zatěžovací stav, popř. provedeme-li obojí, obdržíme různé výsledky.

Vypořádáváme se s tím tak, že jeden z výsledků „odborně“ vybereme a označíme za ten pravý, zatímco ostatní výsledky ignorujeme.



Obr.2

Vskutku odborné je ale toto konstatování: Metoda postupného vyhledání není schopna stanovit pravé hodnoty geotechnických parametrů. Tento deficit metody není založen v algoritmu metody, která je metodou iterační. Je důsledkem toho, že v iteračním cyklu nejsou zastoupeny všechny veličiny, které do něj patří (jsou zastoupeny dvě místo šesti), takže iterace konvergují (pokud konvergují) k nepravým cílům, k nepravým geotechnickým parametrům.

1.2. Chyby, kterým zpětná analýza čelí: chyba odečtu měření

Věnujme pozornost chybám, kterými je zpětná analýza zatížena a které ovlivňují její výsledky. Dají se rozdělit do tří skupin, kterými jsou: chyba odečtu měření, chyba mající původ v nedokonalé kompatibilitě výpočetního modelu a stavu in natura a nakonec chyba z výpočetního postupu, použitého při zpětné analýze. Poslední chybu probereme až v odst. 2.2.2.

Nejprve se věnujme chybě odečtu měření. Přitom se budeme orientovat podle obr. 2 a obr. 3.

Podle obr. 2 se nad bodem C (jeho souřadnice má zpětná analýza stanovit), na kolmici k rovině α, β nalézají tři měřičské body (protože se v něm protínají tři stopy), které jsou průsečíky této kolmice a ploch w_i , $i=1,2,3$. Body leží na vrstevnicích v_i , $i=1,2,3$, jejichž průměty do roviny α, β jsou stopy s_i . Pořadnicemi těchto bodů ve směru osy w jsou proto tři hodnoty $w_{i,0}$. Tyto tři hodnoty vytvářejí tři soubory k_i , $i=1,2,3$ **dvou** pořadnic ($k_1 = w_{1,0}, w_{2,0}$; $k_2 = w_{1,0}, w_{3,0}$; $k_3 = w_{2,0}, w_{3,0}$), které je možno použít ke stanovení **dvou** souřadnic polohy α_0, β_0 bodu C . Protože kombinace jsou tři, musí být i tři výsledky. Ty se, pokud je všechno v pořádku, musí shodovat a polohu bodu C pevně fixovat.

Nyní si představme (obr. 3), že se ve vrstevnicových polích posuneme z hodnot v_i na hodnoty $v_i + \varepsilon_i$, přičemž přírůstek ε_i je významný. Stopy vrstevnic $v_i + \varepsilon_i$ (označíme je symboly $s_{i,\varepsilon}$) se již neprotínají v bodě C , nýbrž na třech různých místech mimo něj. Tak je bod C rozptýlen do tří bodů c_i ($i=1,2,3$) v jeho okolí.

Zpětná analýza nalézá své uplatnění především tam, kde jsou požadovány malé deformace, v řádu milimetrů. To je však i řád přesnosti odečtu měření. Vnáší proto odečet měřičského bodu významnou chybu ε_i do přesnosti měřené veličiny w_{i0} a platí to, co je znázorněno na obr. 3. Proto to, co měříme na měřičských bodech a sestavujeme do kombinací k_i , se netýká bodu C , nýbrž bodů c_i .

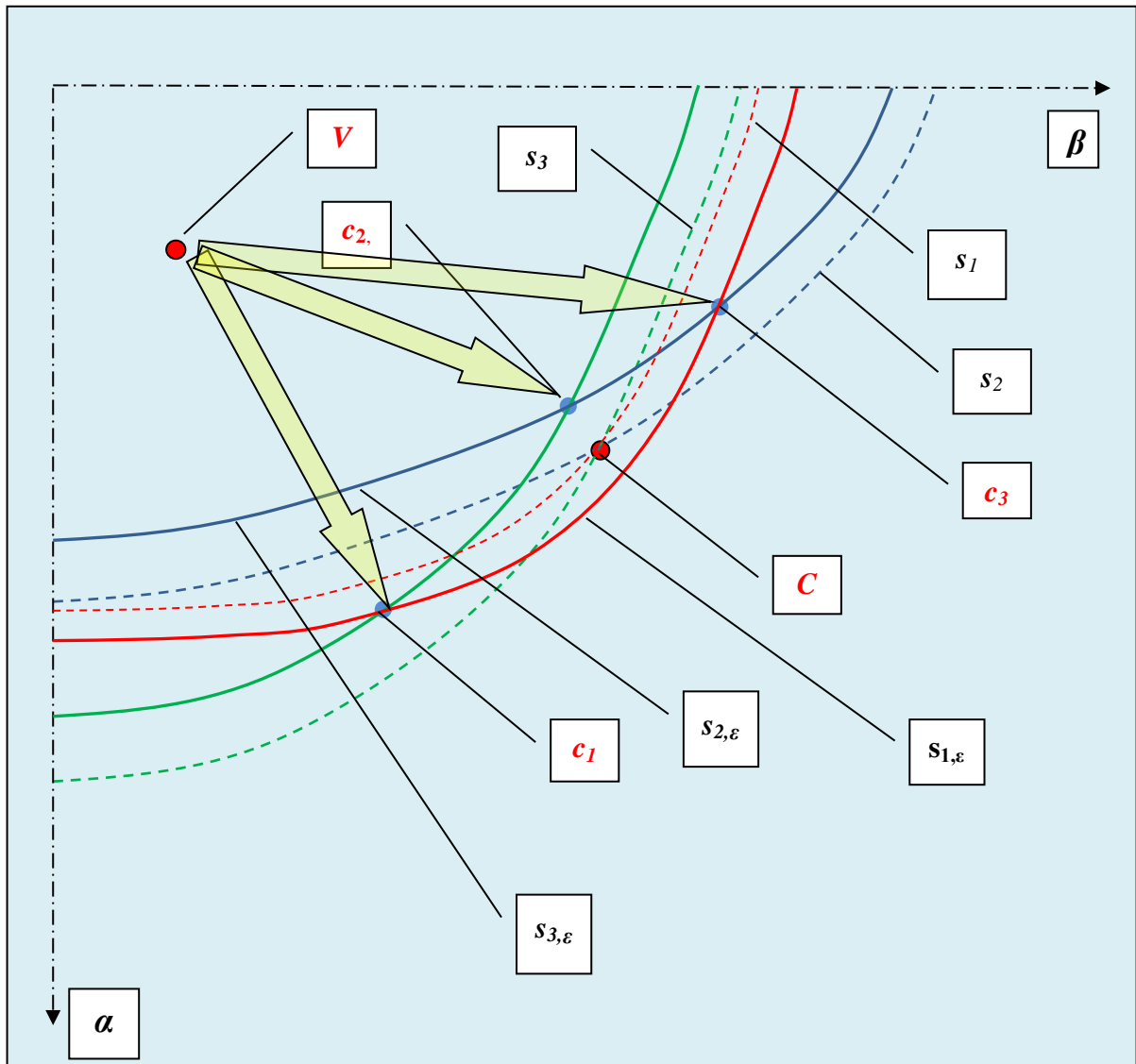
Geometrický termín „bod“ má geotechnický obsah „hornina s určitými geotechnickými parametry“.

A tak zjišťujeme, že zpětná analýza, v důsledku chyby měření, nemůže nalézt horninu odpovídající bodu C . Nenalezne sblížení s jediným souborem pravých geotechnických parametrů, nýbrž se třemi soubory kvazipravých parametrů. Nalezne tři různé horniny.

Zobecněme: Bod C byl rozptýlen do **tří** bodů c_i , protože měřičské body byly **tří** zatímco poloha v rovině je určena **dvěma** souřadnicemi (= dvěma geotechnickými parametry). Kdyby byly měřičské body čtyři, došlo by k rozptýlení bodu C do šesti bodů c_i , takže zpětná analýza by mohla nalézt až šest dvojic geotechnických parametrů. Obecně, při n

měřeních by mohla zpětná analýza nalézt $K(n,2)=n!/(2(n-2)!)$ sblížení s $K(n,2)$ různými horninami.

Zjišťujeme, že chyba odečtu měření znemožňuje nalezení pravých geotechnických parametrů horninového masivu, které jsou jednoznačné.



Obr.3

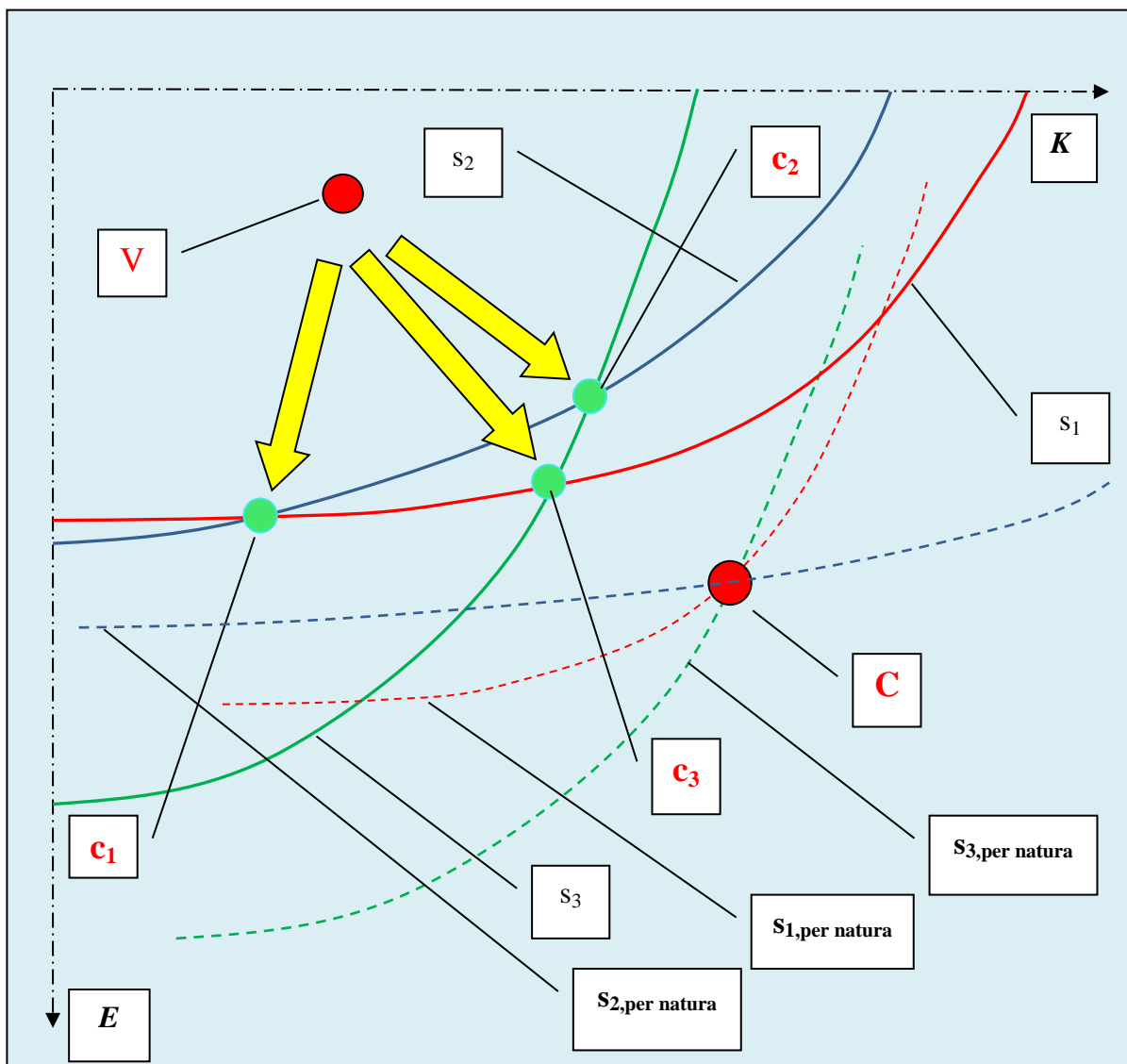
1.3 Chyby, kterým zpětná analýza čelí: nedokonalá kompatibilita výpočetního modelu a stavu in natura neboli přechod od Výpočtu 2 k Výpočtu per natura.

Doposud jsme úlohu zpětné analýzy zkoumali na „akademické úrovni“, kdy algoritmy Výpočtu 1 i Výpočtu 2 byly tytéž. Nyní se přesuneme do úrovně více odpovídající realitě, kdy algoritmy Výpočtů 1a 2 shodné nejsou, avšak chyba z odst.1.2 se neuplatňuje. O Výpočtu 2

budeme hovořit jako o *Výpočtu per natura* a budeme tím vyjadřovat, že se jedná o výpočet podle všelikého možného algoritmu, různého od algoritmu *Výpočtu I*, tedy i o výpočet podle algoritmu, který sestavila sama příroda (a proto *per natura*).

Dojde k těmto odchylkám od toho, co jsme doposud poznali (obr.4):

Plochy $w_i = f_i(a, \beta)$, $i=1,2,3$ (připomeňme, že se jedná o plochy deformací v daném směru, příslušné k trojici měřičským bodům) pro *Výpočet I* a *Výpočet per natura* již nebudou shodné.

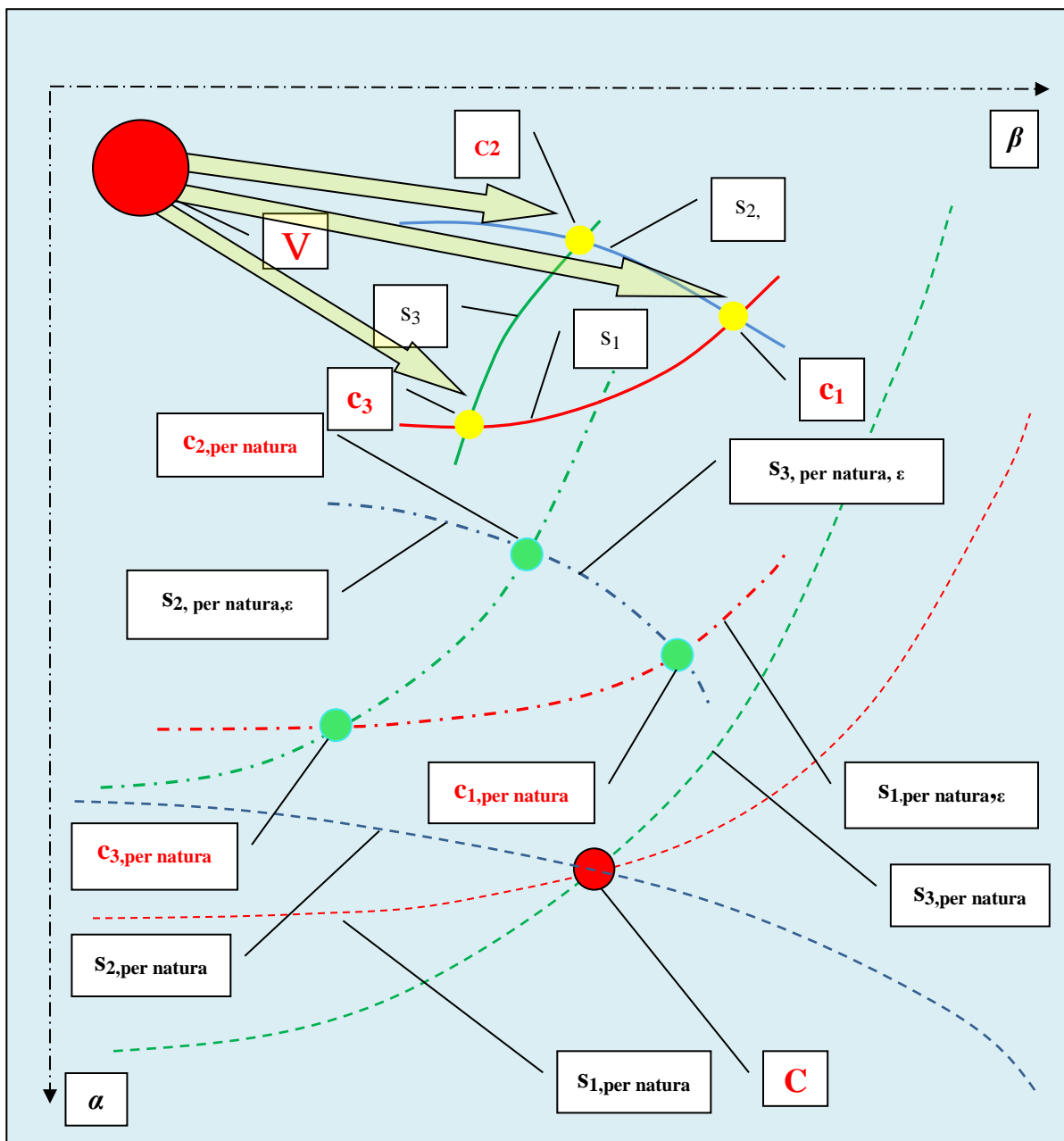


Obr.4

Stopám $s_{i,per natura}$, příslušným k *Výpočtu per natura*, budou ve *Výpočtu I* odpovídat jiné stopy s_i , které se neprotínají v bodě C, nýbrž ve třech bodech c_i .

A tak pomocí *Výpočtu I* nejsme schopni proniknout k poloze bodu C, neboli k pravým geotechnickým parametrům. Ty nám zůstávají utajeny. Jsme schopni stanovit pouze polohu tří bodů c_i , neboli tři skupiny kvazipravých parametrů.

Podobně jako v případě podle 1.2, tyto skupiny podávají zkreslenou a nejednoznačnou informaci o skutečných geotechnických poměrech horninového masivu.



Obr.5

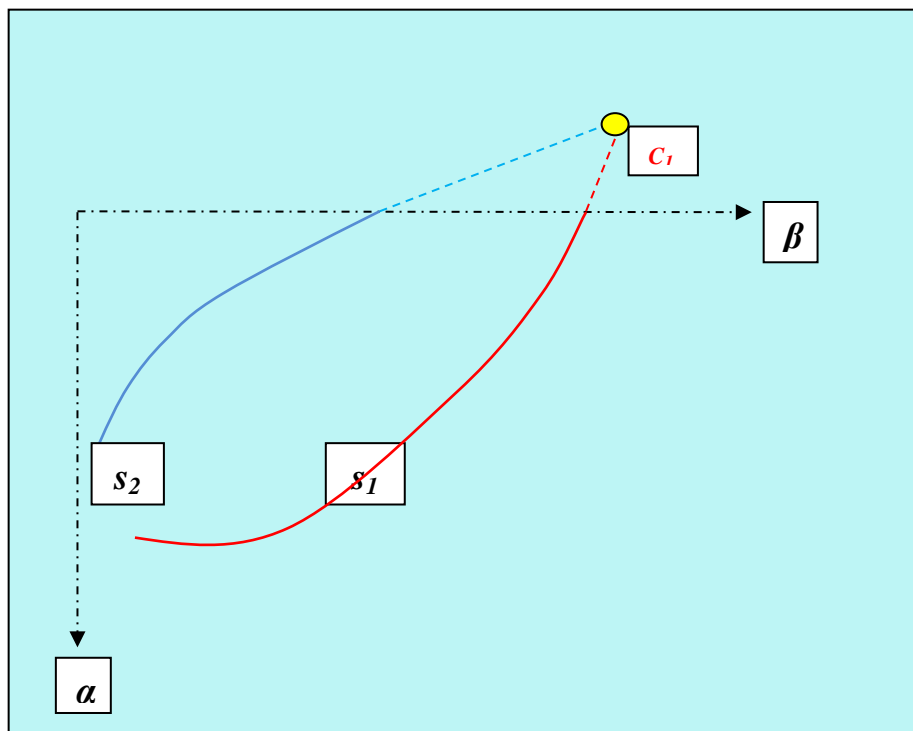
1.4 Chyby, kterým zpětná analýza čelí: koincidence chyb 1.2 a 1.3.

Body c_i , jejichž koordinátami jsou kvazipravé geotechnické parametry, vznikají ve skutečnosti dvojí transformací (obr.5) bodu C . K první dochází rozptýlením bodu C , vlivem chyby měření, do bodů $c_{i,per\ natura}$. Ty jsou poté přinuceny k transformaci další, totiž k přechodu ze sítě vrstevnic *Výpočtu per natura*, kterým odpovídají stopy $s_{i,per\ natura,\varepsilon}$, do sítě vrstevnic *Výpočtu 1*, které odpovídají stopy s_i . Tato další transformace mění polohu bodů c_i , aniž by se změnil jejich počet.

1.5 Možné důsledky

Přechod od *Výpočtu per natura* k *Výpočtu 1*, neboli přechod od skutečnosti k námi sestavenému výpočetnímu modelu, může mít závažné důsledky. Dochází k tomu, když je výpočetní model málo věrohodným popř. nevěrohodným obrazem skutečnosti, tedy tehdy, když je narušena kompatibilita.

V málo věrohodném popř. nevěrohodném výpočetním modelu může transformace bodu C do bodu/bodů c_i způsobit, že se bod/body c_i ocitne/ocitnou mimo definiční oblast souřadnic bodu C . To je znázorněno na obr. 6. Zde je definiční oblastí bodu C a tudíž i bodu c_1 kvadrant kladných hodnot α , β . Bod c_1 se však transformačním procesem ocitl mimo tuto definiční oblast.



Obr.6

Je dokonce možné, že výpočetní model je nekompatibilní do té míry, že body c_i vůbec naléztí nelze. Situace je znázorněna na obr. 7. Dochází k tomu, když rovina, ve které leží např. vrstevnice $v_{1,per\ natura,\varepsilon}$ nemůže protnout plochu $w_{1,per\ computer} = f_{1,per\ computer}(\alpha,\beta)$. To proto, že plocha $w_{1,per\ computer}$ leží pod/nad plochou $w_{1,per\ natura}$.

Typickým příkladem tohoto případu je situace (obr. 8), kdy výpočetní model, symetrický podél svislé osy tunelu, přiřadíme ad natura, která je podle této osy nesymetrická.

Měřičský bod, např. 1, nechť leží na svislé ose tunelu a měření, na něm provedené, se týká vodorovného směru. In natura lze naléztí stopu $s_{1,per\ natura,\varepsilon}$ i její průsečík $c_{1,per\ natura}$ se stopou jiného měřičského bodu, např. 2, která je $s_{2,per\ natura,\varepsilon}$ a které ve výpočetním modelu odpovídá stopa s_2 . Na symetrickém výpočetním modelu je však měření na bodě 1 ve vodorovném směru přiřazena vždy funkce $w_1 = f_1(\alpha,\beta) = 0$, tedy celá rovina α,β . Proto nelze naléztí průsečík stopy s_2 se stopou s_1 , neboť stopa s_1 neexistuje.

Pravda, tuto situaci v praxi obcházíme, jednoduše tak, že vodorovné pohyby v bodě 1 ignorujeme. Přinejmenším však dává tento příklad tušit, že nekompatibilita mezi modelem a stavem in natura může být zdrojem problematických výsledků zpětné analýzy.

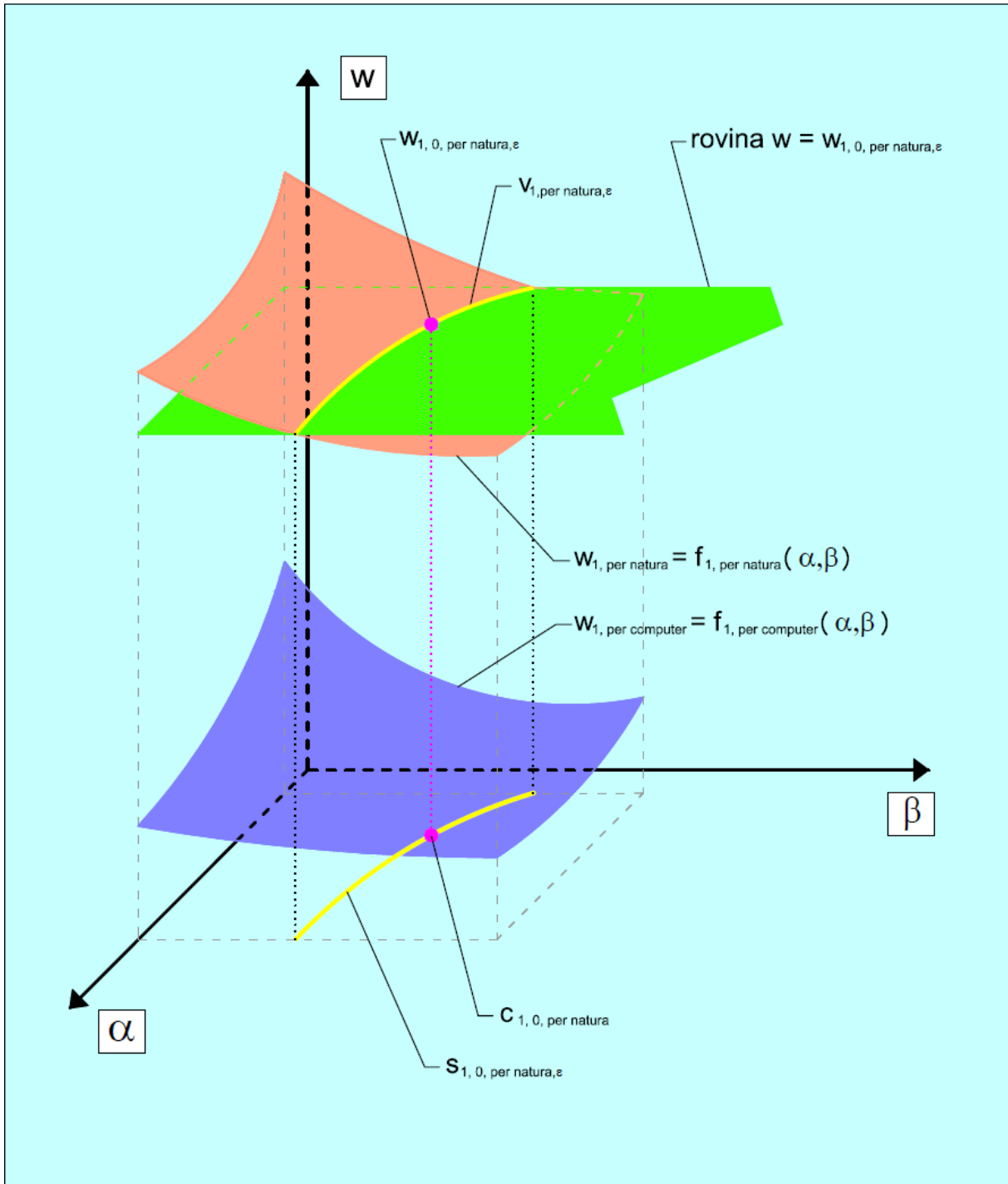
Slabá kompatibilita se tak řadí po bok nepřesnosti v odečtu měření. Tento tandem zdrojů chyb zpětnou analýzu komplikuje. Metodu přímého výpočtu, kterou se budeme zabývat v příští kapitole, může zkomplikovat až do nepoužitelnosti.

1.6 Precizovaná formulace zadání zpětné analýzy.

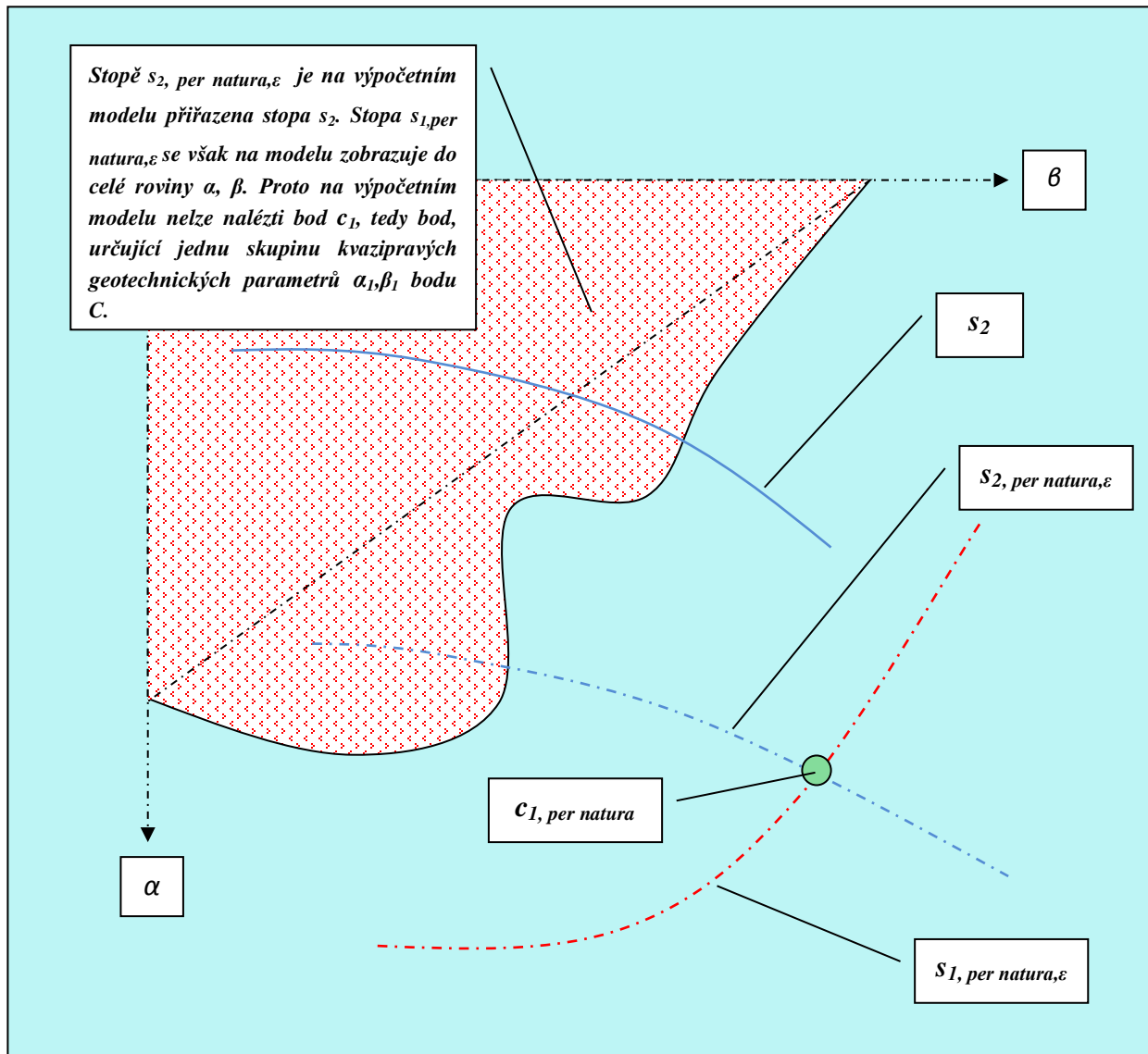
Po rozboru, provedeném v odst. 1.1-1.5, docházíme k následujícímu zjištění: Chyba měření způsobuje, že jednoznačný soubor pravých geotechnických parametrů je rozptýlen do nejednoznačného souboru geotechnických parametrů. Ty jsou dále transportovány z prostředí in natura do prostředí in computer. Teprve k takto zkreslenému souboru kvazipravých parametrů máme přístup a můžeme je stanovit.

Proto je vhodné náš pohled na zpětnou analýzu upravit takto:

Ambicí zpětné analýzy nemůže být nalezení bodu C, v němž je uložena nezkrslená a jednoznačná informace o pravých geotechnických parametrech. Zpětná analýza může naléztí pouze body c_i , ve kterých je uložena zkrslená a nejednoznačná informace o té skutečnosti, která je poznatelná počítači a která je vyjádřena více soubory kvazipravých parametrů.



Obr.7



Obr. 8

2. Metoda přímého výpočtu

2.1. Všeobecně

V kap. 1 jsme ukázali, že metoda postupného vyhledávání není schopna stanovit pravé hodnoty geotechnických parametrů. Tento deficit metody, která je metodou iterační, je důsledkem toho, že v iteračním cyklu nejsou zastoupeny všechny veličiny, které do něj patří (jsou zastoupeny dvě místo šesti), takže iterace konvergují (pokud konvergují) k nepravým geotechnickým parametrům.

Metoda přímého výpočtu, které věnujeme tuto kapitolu, (je popsána také v článku Zapletal, A.: Kritické zhodnocení možností zpětné analýzy, Tunel 2011/2) nalezení pravých geotechnických parametrů principiálně umožňuje, protože pracuje se všemi parametry.

Naráží však na problémy, popsané v odst. 1.2-1.5 (a jeden další, o kterém se teprve zmíníme). To – jak již víme - znamená, že přímá metoda je zatížena jednak chybou měření in situ, jednak chybou nedokonalé kompatibility výpočetního modelu a stavu in natura. Malá kompatibilita může způsobit, že výsledky analýzy jsou buď málo věrohodné, nebo nevěrohodné, nebo chybné.

Chyba měření spolu s chybou nedokonalé kompatibility výpočetního modelu (společně i každá zvlášť) způsobují, že metoda přímého výpočtu není schopna proniknout k bodu C (k pravým geotechnickým parametrům horninového masivu), nýbrž k jeho transformacím, kterými jsou body c_i (k nejednoznačným kvazipravým geotechnickým parametrům).

Je na čase naše chápání bodu C a bodů c_i zobecnit. V kap. 1 měly tyto body dvě souřadnice, což značilo, že náš fiktivní horninový masiv byl definován pomocí dvou geotechnických parametrů α, β . Existovaly tam tři stopy, které se po rozptýlení z bodu C protuly ve třech bodech c_i . To znamená, že pravé geotechnické parametry α_o, β_o bodu C se rozpadly do tří skupin kvazipravých geotechnických parametrů α_i, β_i neboli souřadnic bodů c_i . Kdyby byly stopy čtyři (kdyby byla čtyři měření), vzniklo by rozptýlením šest bodů c_i , neboli šest skupin kvazipravých geotechnických parametrů

Uvažujme nyní o horninovém masivu, jehož geotechnických parametrů je k , takže body C a c_i mají k souřadnic. Necht' je na tomto masivu provedeno n nezávislých měření, přičemž $n > k$.

Pak je možno pořídit

$$K(n, k) = \frac{n!}{(n - k)!k!} \quad (3)$$

kombinací k -geotechnických parametrů. Těchto $K(n, k)$ kombinací určuje počet bodů c_i , rozptýlených v k - rozměrném prostoru geotechnických parametrů. Polohu bodů c_i neznáme. Přímá metoda zpětné analýzy má polohu těchto bodů stanovit. Polohu samotného bodu C stanovit nedokáže. (Poznámka: metoda postupného vyhledání nedokáže stanovit ani polohu bodů c_i .)

2.2.Základní terminologie a vztahy přímé metody zpětné analýzy

2.2.1. Výpočtem budeme rozumět rovinnou geotechnickou úlohu (rovinnou proto, že jedním z parametrů horninového prostředí je vydechnutí P) tělesa ve stavu rovinné deformace, řešenou v pružně-plastickém oboru pomocí MKP. V případě homogenního izotropního horninového prostředí bude masiv – podle dříve učiněné dohody - popsán souborem šesti geotechnických parametrů. Pět z nich, totiž koeficient bočního tlaku K , modul deformace E , Poissonova konstanta ν , koheze c a úhel vnitřního tření φ jsou standardní geotechnické parametry, šestou veličinu, koeficient vydechnutí horninového masivu P , zařadíme mezi geotechnické parametry smluvně. Tyto parametry seřadíme do řádkové matice $\mathbf{a} = [K, E, \nu, c, \varphi, P]$.

Deformace v daném směru (tedy skalární veličina) w , bodu tělesa s polohovým vektorem \vec{r} , je

$$w = f(\vec{r}, \vec{z}, K, E, \nu, c, \varphi, P), \quad (4)$$

kde \vec{z} je symbolem pro zatížení tělesa.

Základním výpočtem nazveme ten výpočet, který je obsažen ve statickém výpočtu prováděcí dokumentace a který v předchozí kapitole 1 nazýváme *Výpočet 1*. Jeho geotechnické parametry jakož i výpočtem získané deformace označíme dolním indexem o , takže např. E_o je modul deformace a w_o je deformace v daném bodě a v daném směru při základním výpočtu.

Variovaným výpočtem nazveme výpočet, který se od základního liší tím, že jeden a jen jeden jeho geotechnický parametr se od toho, který je použit v základním výpočtu, liší o diferenci. Např. výpočet variovaný podle E je proveden s $E_{var} = E_o + \Delta E$, kde ΔE je zmíněná diference, zatímco ostatní geotechnické parametry základního výpočtu zůstávají nezměněny.

Obdobně $K_{var} = K_o + \Delta K$, $\nu_{var} = \nu_o + \Delta \nu$, $c_{var} = c_o + \Delta c$, $\varphi_{var} = \varphi_o + \Delta \varphi$, $P_{var} = P_o + \Delta P$. Variované výpočty slouží ke stanovení numerických parciálních derivací, na kterých je metoda přímého výpočtu založena.

Doporučuje se provést několik výpočtů, variovaných podle téhož geotechnického parametru, nabývajících několika hodnot na obě strany parametru E_o , resp. K_o , resp. ν_o , resp. c_o , resp. φ_o , resp. P_o , aby bylo možno lépe stanovit číselné hodnoty numerických derivací, se kterými se vzápětí seznámíme.

Technika, kterou použijeme při separaci numerických derivací z těchto výpočtů je popsána v „Příloze“. V kap.5 „Příklady“ se předpokládá znalost „Přílohy“.

Deformace, získané při variaci E , označíme symbolem $w_{var E}$. Při variaci ostatních geotechnických parametrů použijeme obdobně symboly $w_{var K}$, $w_{var \nu}$, $w_{var c}$, $w_{var \varphi}$, $w_{var P}$.

2.2.2. Budiž w_o deformace v daném bodě a v daném směru, vypočtená s geotechnickými parametry masivu $\mathbf{a}_o = [K_o, E_o, \nu_o, c_o, \varphi_o, P_o]$. Zaměníme-li \mathbf{a}_o za $\mathbf{a} = \mathbf{a}_o + dif\mathbf{a}_o = [K_o + difK_o, E_o + difE_o, \nu_o + dif\nu_o, c_o + difc_o, \varphi_o + dif\varphi_o, P_o + difP_o]$, změny se w_o na $w_o + difw_o$. Pro totální diferenciál $difw_o$ můžeme psát:

$$\begin{aligned} difw_o = & \frac{w_{var K} - w_o}{\Delta K} difK_o + \frac{w_{var E} - w_o}{\Delta E} difE_o + \frac{w_{var \nu} - w_o}{\Delta \nu} dif\nu_o + \frac{w_{var c} - w_o}{\Delta c} difc_o + \\ & + \frac{w_{var \varphi} - w_o}{\Delta \varphi} dif\varphi_o + \frac{w_{var P} - w_o}{\Delta P} difP_o \end{aligned} \quad (5)$$

Zlomky v rovnici (5) jsou numerickými parciálními derivacemi. Jsou to čisté produkty výpočetního modelu. A podle toho, do jaké míry je model hodnověrný, budou hodnověrné i numerické derivace. Naším hendikepem je, že to dopředu nedovedeme odhadnout.

(Poznámka: Numerické derivace budeme v následujícím textu po řadě označovat symboly $\partial w / \partial K, \partial w / \partial E, \partial w / \partial \nu, \partial w / \partial c, \partial w / \partial \varphi, \partial w / \partial P$, které jsou symboly analytických parciálních derivací. Budiž nám to prominuto.)

Totální diferenciál $difw_0$ nabývá ve zpětné analýze hodnotu

$$difw_0 = w_{in\ situ} - w_0, \quad (6)$$

takže je kombinací hodnoty naměřené $w_{in\ situ}$ a vypočtené w_0 . Je proto zatížen jak chybou měření in situ, tak chybou nedokonalé kompatibility výpočetního modelu.

Diference $difK_0$, $difE_0$, $difv_0$, $difc_0$, $dif\varphi_0$, $difP_0$ jsou veličiny, které hledáme a o které nutno opravit geotechnické parametry základního výpočtu, aby došlo k nalezení kvazipravých geotechnických parametrů horninového masivu, neboť pravé parametry, jak víme z kap.1, nalézt nelze.

Názornou představu o tom, jak rovnice (5) funguje, získáme (sleduj obr. 9), když ji zjednodušíme předpokladem, že deformace w je funkcí pouze jediného geotechnického parametru, třeba E . Pak

$$difw_0 = \frac{w_{var\ E} - w_0}{\Delta E} difE_0 = w_{insitu} - w_0 \quad (7)$$

Rádi bychom získali hodnotu $E_{per\ natura}$ geotechnického parametru E . To není možné, protože měření in situ neposkytuje hodnotu $w_{per\ natura}$, nýbrž hodnotu $w_{in\ situ}$. Bod C je pro nás proto nedostupný. Místo něj se na scéně objevuje bod $c_i\ per\ natura$, jehož deformaci $w_{in\ situ}$ měříme. Jeho parametr $E_{in\ situ}$ bychom mohli zjistit, kdyby příroda pracovala podle téhož algoritmu jako program, který používáme. Protože se však algoritmy našeho programu a přírody liší (a algoritmus přírody zůstává navíc utajen), možnost určení $E_{in\ situ}$ zaniká a nás to vede k přesunu od nám utajené křivky $w_{per\ natura} = f_{per\ natura}(E)$ k nám přístupné (neboť ji sestavuje počítač) křivce $w_{per\ computer} = f_{per\ computer}(E)$, na které jako nositele deformace $w_{in\ situ}$ nalézáme bod $c_i, per\ computer$. Určit parametr $E_{per\ computer}$ je principiálně možné. Musel by však být použit jiný postup, než je ten, který používá metoda přímého výpočtu. Metoda přímého výpočtu pracuje s tečnou ke křivce $w_{per\ computer} = f_{per\ computer}(E)$ v bodě E_0 (pro který je proveden základní výpočet) a nalézá její průsečík s přímkou $w = w_{in\ situ}$ v bodě E_Q , který není parametrem $E_{per\ computer}$, jak je z obr. 9 zřejmé. Je také zřejmé, že může být podstatný rozdíl mezi parametry $E_{per\ computer}$ a E_Q . Tento rozdíl je způsoben použitou metodou přímého výpočtu. **Je to chyba metody, která se přiřazuje ke dvěma chybám předchozím, totiž k chybě měření a k chybě nedokonalé kompatibility výpočetního modelu a stavu in natura.**

Obdobně, aniž bychom si to dovedli představit, funguje plnohodnotná rovnice (5) v prostoru šesti dimenzí geotechnických parametrů K , E , v , c , φ , P . Proto bychom měli mít na paměti toto: bude-li základní výpočet příliš „vzdálen“ od stavu in natura (dá se to poznat srovnáním hodnot vypočtených v základním výpočtu s hodnotami naměřenými in situ), je téměř jisté, že metoda přímého výpočtu poskytne chybné výsledky (uvidíme to v kap. 5 „Příklady“). V takovém případě je nutno základní výpočet opravit, přiblížit jej stavu in natura a teprve poté nasadit metodu přímého výpočtu.

2.2.3. Necht' je n počet měření in situ. Pak můžeme sestavit n rovnic typu (6) a zapsat je v maticovém tvaru

$$\begin{pmatrix} (w_{insitu} - w_0)_1 \\ (w_{insitu} - w_0)_2 \\ * \\ * \\ * \\ (w_{insitu} - w_0)_6 \\ * \\ (w_{insitu} - w_0)_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (\partial w / \partial K)_1 & (\partial w / \partial E)_1 & (\partial w / \partial v)_1 & (\partial w / \partial c)_1 & (\partial w / \partial \varphi)_1 & (\partial w / \partial P)_1 \\ (\partial w / \partial K)_2 & (\partial w / \partial E)_2 & (\partial w / \partial v)_2 & (\partial w / \partial c)_2 & (\partial w / \partial \varphi)_2 & (\partial w / \partial P)_2 \\ * & * & * & * & * & * \\ * & * & * & * & * & * \\ * & * & * & * & * & * \\ (\partial w / \partial K)_6 & (\partial w / \partial E)_6 & (\partial w / \partial v)_6 & (\partial w / \partial c)_6 & (\partial w / \partial \varphi)_6 & (\partial w / \partial P)_6 \\ * & * & * & * & * & * \\ (\partial w / \partial K)_n & (\partial w / \partial E)_n & (\partial w / \partial v)_n & (\partial w / \partial c)_n & (\partial w / \partial \varphi)_n & (\partial w / \partial P)_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} difK_0 \\ difE_0 \\ difv_0 \\ difc_0 \\ dif\varphi_0 \\ difP_0 \end{pmatrix} \quad (8)$$

Obdélníkovou matici $n \times k = n \times 6$ v (8) budeme nazývat **maticí základního seznamu**.

Necht' jsou řádky matice základního seznamu nezávislé. Pak můžeme z těchto n řádků vytvořit $K(n, k) = n! / (k!(n - k)!) = n! / (6!(n - 6)!$ kombinací čtvercových matic $k \times k = 6 \times 6$ soustav lineárních rovnic.

Jejich řešením získáváme $K(n, k)$ matic-vektorů $dif_i = [difK_{oi}, difE_{oi}, difv_{oi}, difc_{oi}, dif\varphi_{oi}, difP_{oi}]$, $i = 1, 2, \dots, K(n, k)$.

Pokud by neexistovaly chyby, které jsme popsali v předchozí kapitole, byly by všechny vektory dif_i stejné. Protože však chyby existují, budou vektory dif_i rozdílné.

Maticvektory $a + dif_i = [K_o + difK_{oi}, E_o + difE_{oi}, v_o + difv_{oi}, c_o + difc_{oi}, \varphi_o + dif\varphi_{oi}, P_o + difP_{oi}] = [K_{oi}, E_{oi}, v_{oi}, c_{oi}, \varphi_{oi}, P_{oi}]$ jsou **vektory kvazipravých parametrů**.

Jak s nimi naložíme je věcí úvahy. Některé z nich můžeme preferovat, jiné vyloučit. Rozhodneme-li se pro průměrnou veličinu, pak nám přijde vhod následující odvození a z něj plynoucí zjištění:

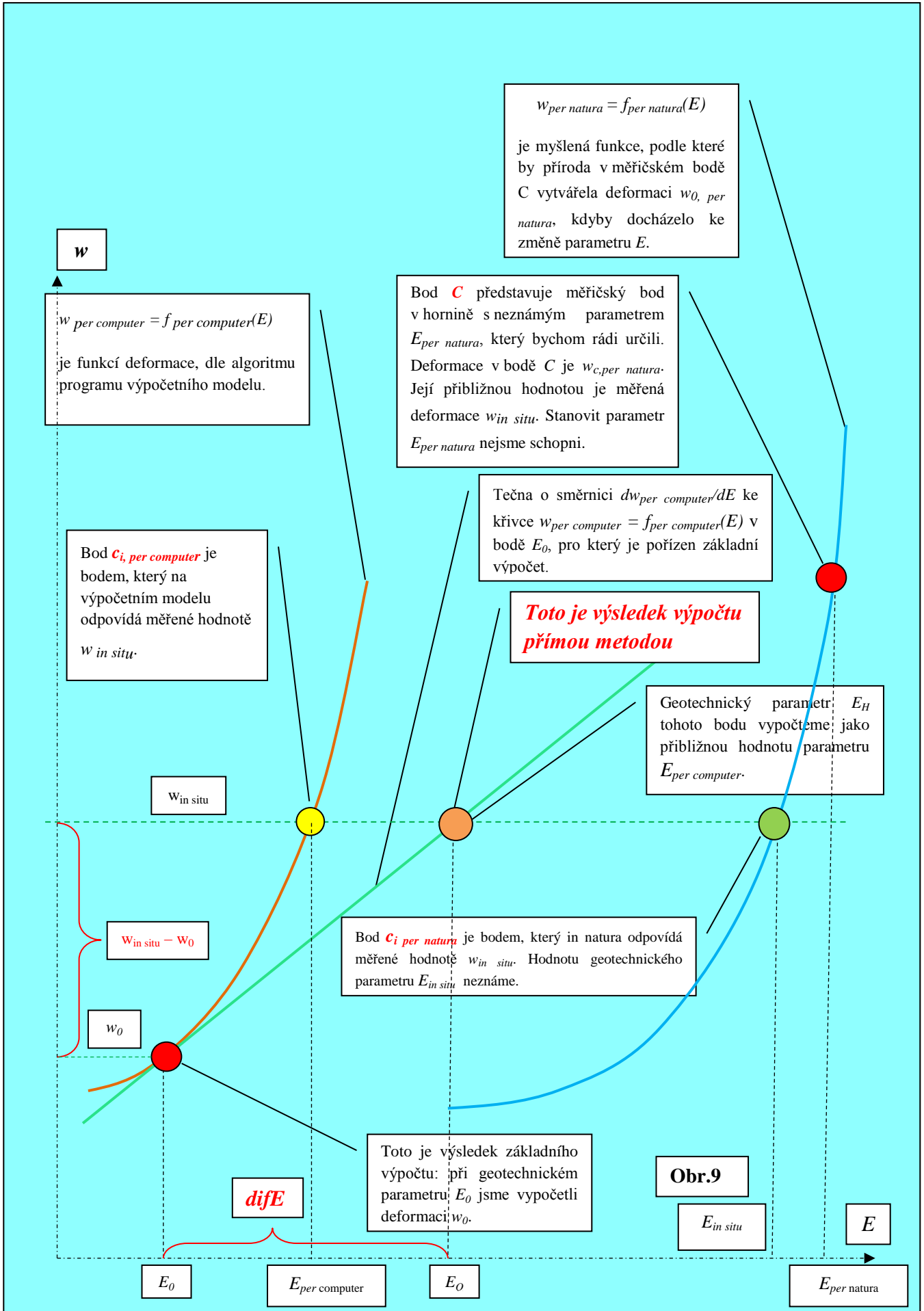
Stanovíme střední vektor od dif_i , který označíme symbolem dif_c :

$$\begin{aligned} dif_c &= [difK_c, difE_c, difv_c, difc_c, dif\varphi_c, difP_c] = (\sum_1^{K(n,k)} dif_i) / K(n, k) = \\ &= [\sum_1^{K(n,k)} difK_i, \sum_1^{K(n,k)} difE_i, \sum_1^{K(n,k)} difv_i, \sum_1^{K(n,k)} difc_i, \sum_1^{K(n,k)} dif\varphi_i, \sum_1^{K(n,k)} P_i] / K(n, k) \end{aligned} \quad (9)$$

Tedy: souřadnice středního vektoru dif_c jsou středními hodnotami souřadnic vektorů dif_i .

Vektor dif_c přičteme k vektoru a . Součet $a + dif_c$ nazveme **vektorem průměrných hodnot kvazipravých geotechnických parametrů**.

Vektor průměrných hodnot kvazipravých geotechnických parametrů není reprezentantem skutečného horninového masivu. Je statistickým zpracováním souborů hodnot, které jsou projekcí jednoznačných geotechnických parametrů in natura do fiktivního a nejednoznačného zobrazení těchto parametrů in computer.



2.2.4. Masiv, ve kterém se tunel nachází, je obvykle nehomogenní, vrstevnatý. Proto, v případě m vrstev, místo jedné matice $\mathbf{a} = [K, E, \nu, c, \varphi, P]$ nastupuje matic m a sbližovaných geotechnických parametrů by bylo $6m$. Toto - a to již v případě dvou vrstev - představuje přesun přímé metody z rangu náročné úlohy do rangu úlohy ručně těžce/stěží řešitelné. Navíc zatížené nevyjasněnou otázkou o vlivu počtu neznámých na přesnost výsledku.

Nabízí se následující východisko: Nebudeme masiv variovat po vrstvách, nýbrž vcelku. Jednu z vrstev prohlásíme za základní (nabízí se ta, ve které leží tunel) a stanovíme předpis (funkční závislost) Π , podle kterého se budou při variaci parametru základní vrstvy automaticky variovat tytéž parametry vrstev ostatních, které nazveme vrstvami závislými. Je možno vytvořit šest různých předpisů $\Pi_i, i=1,2,\dots,6$ pro každý ze šesti parametrů základní vrstvy. Na předpisy se nekladou omezení s výjimkou požadavku, že předpis nesmí v závislých vrstvách předepisovat nereálné (např. nulové) parametry.

Po této úpravě se přímá metoda stává opět úlohou o šesti neznámých a platí pro ni vše, co bylo řečeno v odst. 2.2.2 a 2.2.3. Řešení úlohy se týká základní vrstvy, která obdrží novou šestici kvazipravých geotechnických parametrů. Poté musíme vzít v potaz předpisy Π_i a podle nich přiřadit nové šestice kvazipravých parametrů i závislým vrstvám.

Pozornost si zaslouží dvě definice předpisů $\Pi_i, i = 1,2,\dots,6$:

Definice 1:

Nechť má základní vrstva základního výpočtu geotechnické parametry $[K_1, E_1, \nu_1, c_1, \varphi_1, P_1]$. Nechť variované parametry této vrstvy jsou $[K_{1var} = \alpha K_1, E_{1var} = \beta E_1, \nu_{1var} = \gamma \nu_1, c_{1var} = \zeta c_1, \varphi_{1var} = \lambda \varphi_1, P_{1var} = \xi P_1]$. Pak variované parametry v kterékoliv závislé vrstvě i jsou $[K_{ivar} = \alpha K_i, E_{ivar} = \beta E_i, \nu_{ivar} = \gamma \nu_i, c_{ivar} = \zeta c_i, \varphi_{ivar} = \lambda \varphi_i, P_{ivar} = \xi P_i]$.

Definice 2:

Nechť má základní vrstva základního výpočtu geotechnické parametry $[K_1, E_1, \nu_1, c_1, \varphi_1, P_1]$. Nechť variované parametry této vrstvy jsou $[K_{1var} = \alpha K_1, E_{1var} = \beta E_1, \nu_{1var} = \gamma \nu_1, c_{1var} = \zeta c_1, \varphi_{1var} = \lambda \varphi_1, P_{1var} = \xi P_1]$. Pak variované parametry v kterékoliv závislé vrstvě i jsou $[K_{ivar} = K_i, E_{ivar} = E_i, \nu_{ivar} = \nu_i, c_{ivar} = c_i, \varphi_{ivar} = \lambda \varphi_i, P_{ivar} = P_i]$.

V tomto případě je sbližení dosahováno změnami, odehrávajícími se toliko v základní vrstvě. Tohoto postupu bude použito i v kapitole 5. „Příklady“.

2.3. Zakázané operace

Zakázanými nazveme ty operace, které vedou k závislosti řádků matice základního seznamu. Tato závislost by způsobila, že determinanty některých systémů lineárních rovnic, odvozených z této matice, by byly nulové a systémy by neměly řešení.

• **Výpočet je symetrický podle svisté osy tunelu a měřičské body jsou podle této osy rovněž symetrické.**

Pak řádek matice základního seznamu náležející měřičskému bodu zleva a deformaci ve směru osy X/osy Y se od obdobného řádku pro symetrický bod zprava liší jen ve

znaménku svých členů /se od obdobného řádku pro symetrický bod zprava neliší. Proto jsou tyto řádky závislé.

Doporučuje se analyzovat levou část tunelu odděleně od části pravé. Tím tomuto druhu závislosti řádků matice základního seznamu zabráníme.

• Deformace celkové versus deformace přírůstkové

Obsahuje-li matice základního seznamu jak dva řádky sestavené pro celkové deformace, tak řádek sestavený pro přírůstkovou deformaci mezi nimi, jsou tyto tři řádky mezi sebou závislé.

Abychom se závislosti tohoto druhu vystríhali, stačí se rozhodnout pro práci s veličinami buď celkovými, nebo přírůstkovými a toto rozhodnutí při sestavování rovnice (8) dodržovat.

3. Metoda postupného vyhledání.

3.1. Věnujme se, poté co jsme popsali metodu přímého výpočtu, metodě postupného vyhledání.

Zatímco metoda přímého výpočtu vychází z rovnice (4), která je (o významu jednotlivých symbolů je referováno u rovnice (4))

$$w = f(\vec{r}, \vec{z}, K, E, \nu, c, \varphi, P)$$

a která obsahuje šest nezávisle proměnných geotechnických parametrů, vychází metoda postupného vyhledání z rovnice

$$w = f(\vec{r}, \vec{z}, K, E, \nu_{ZV}, c_{ZV}, \varphi_{ZV}, P_{ZV}). \quad (10)$$

V této rovnici jsou pouze dva nezávisle proměnné geotechnické parametry K , E , zatímco zbylé geotechnické parametry ν_{ZV} , c_{ZV} , φ_{ZV} , P_{ZV} jsou blokovány hodnotami ze základního statického výpočtu

Z rovnice (10) lze usoudit, že rozdíl mezi deformací ostění in situ a deformací podle základního výpočtu je vyvolán toliko rozdílností v modulu pružnosti horniny E a koeficientu bočního tlaku K základního výpočtu a přírody.

Metoda postupného vyhledání tento mylný úsudek bere za svůj a snaží se sjednotit hodnoty výpočtu s hodnotami in situ, postupným vyhledáním takových hodnot E_{MPV} a K_{MPV} (při zachování ν_{ZV} , c_{ZV} , φ_{ZV} , P_{ZV}), při kterých naměřené a vypočtené deformace (dvou a toliko dvou) měření budou v souladu. (Index MPV znamená „metoda postupného vyhledání“.)

Metoda k tomu používá iteračního postupu, který popíšeme.

Nejprve ale zavedeme **pojem identifikačního kódu**. Jeho úkolem je jednoznačně popsat místo měření in situ, směr měření a fázi výrubu, při které je měření provedeno. Identifikační kód budeme psát ve tvaru $IK = w$ (souřadnice x resp. y), b (číslo), f (číslo), např. $w(x), b2, f3$, a budeme číst *deformace ve směru x , v měřičském bodě 2 a fázi výrubu 3*. Pamatujme si tento kód, budeme ho často používat. Usnadní nám orientaci v „houštině čísel“, se kterou se budeme potýkat.

3.2. K vysvětlení iterační podstaty metody postupného vyhledání použijeme zkrácený zápis rovnice (10), ve kterém

- vynecháme to, co bude dále nepotřebné a lze to vynechat (totiž neměnné geotechnické parametry v_{ZV} , c_{ZV} , φ_{ZV} , P_{ZV} , neměnný vektor polohy \vec{r} a neměnný vektor zatížení \vec{z}) a

- doplníme označení identifikačním kódem. Budeme uvažovat o dvou kódech, $IK1$, $IK2$.

K identifikačnímu kódu $IK1$ náleží v algoritmu základního výpočtu rovnice plochy deformace

$$w_{IK1} = f_{IK1}(E, K), \quad (11a)$$

zatímco k identifikačnímu kódu $IK2$ náleží v algoritmu základního výpočtu rovnice plochy deformace

$$w_{IK2} = f_{IK2}(E, K). \quad (11b)$$

Měření $w_{IK1, in situ}$ leží na vrstevnici $v_{IK1} = w_{IK1, in situ}$ plochy w_{IK1} , měření $w_{IK2, in situ}$ na vrstevnici $v_{IK2} = w_{IK2, in situ}$ plochy w_{IK2} . Stopy těchto vrstevnic v rovině E , K jsou $s_{1,MPV}$ a $s_{2,MPV}$, znázorněné na obr.10, na který se nyní soustředíme. Tyto stopy (jejich skutečný průběh nahrazujeme na obr.10 přímkami), jejichž existenci předpokládáme, ale neznáme je, se protínají v bodě E_{MPV} , K_{MPV} , který hledáme a ke kterému se máme postupným vyhledáním přiblížit z naší pozice, která se nalézá v bodě o koordinátách E_{zv} , K_{zv} . Koordináty jsou součástí vstupu základního výpočtu.

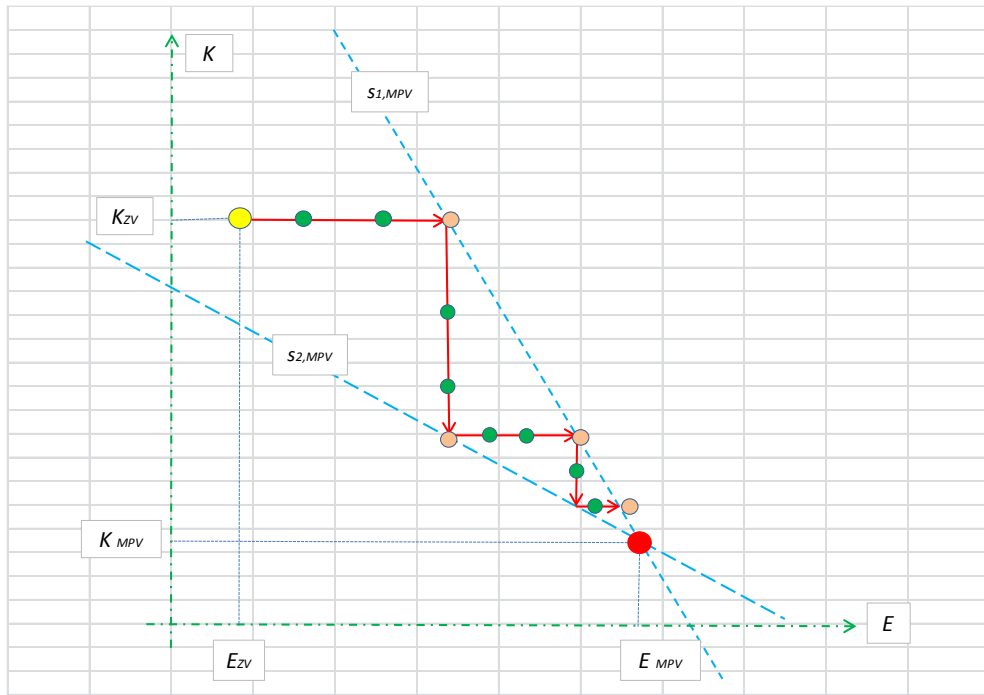
Provedeme sérii výpočtů. Nejprve měníme jeden parametr. Na obr.10 je to parametr E . Výpočet se „pohybuje“ po rovnoběžce s osou E (červená čára, na které šipka určuje směr pohybu) a postupné změny parametru E jsou vyznačeny zelenými body. Sledujeme změnu deformace w_{IK1} . Při určitém E dosáhne deformace w_{IK1} hodnoty na vrstevnici $v_{IK1} = w_{IK1, in situ}$. To se stane, když rovnoběžka s osou E „narazí“ na stopu $s_{1,MPV}$. Nyní E zablokujeme a postupnou změnou K (výpočet se nyní „pohybuje“ po rovnoběžce s osou K) dosáhneme shody mezi deformacemi w_{IK2} a $v_{IK2} = w_{IK2, in situ}$ (rovnoběžka s osou K „narazí“ na stopu $s_{2,MPV}$). Zablokujeme K a pokračujeme ve směru E . Tento cyklus opakujeme tak dlouho, až dosáhneme požadované přesnosti přiblížení se hodnotám E_{MPV} , K_{MPV} .

Máme-li n měření, jsme teoreticky schopni nalézt $n!/((n-2)!*2!)$ dvojic E_{MPV} , K_{MPV} .

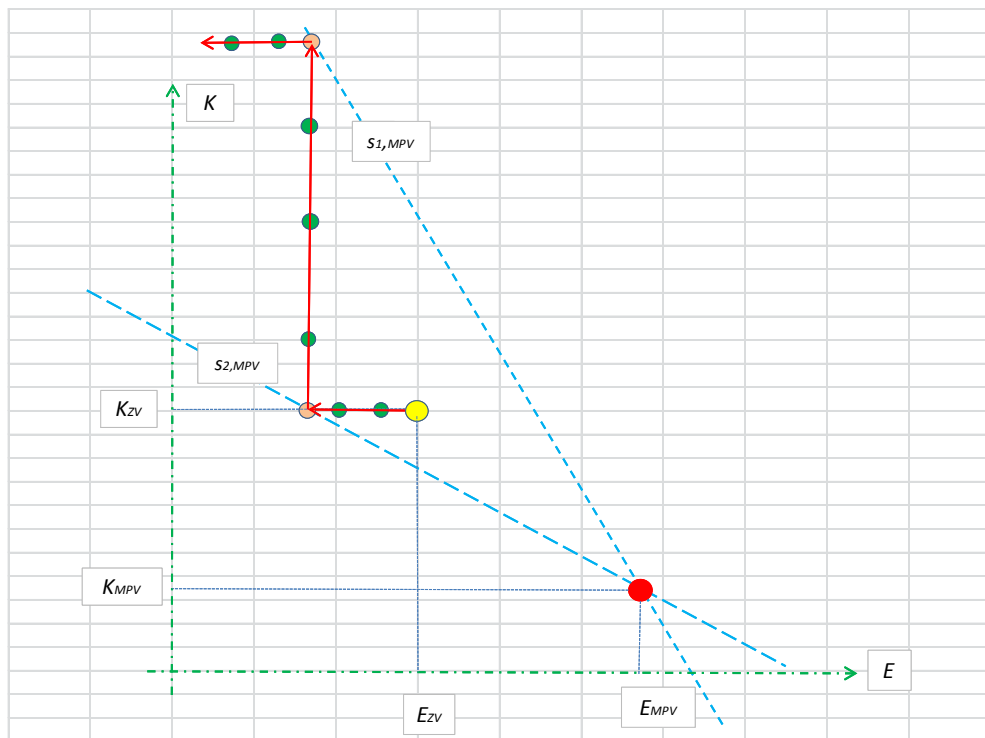
Teoreticky říkáme proto, že na obr.10 zaznamenaný iterační proces je tou dobrou variantou možné iterační procedury. Obecně však platí, že to, jak iterace dopadne, záleží na:

- orientaci vrstevnic vůči sobě,
- orientaci vrstevnic vůči souřadnému systému,
- poloze výchozího bodu,
- volbě iterační cesty (rozhodnutí o tom, ke které vrstevnici se vydáme nejdříve).

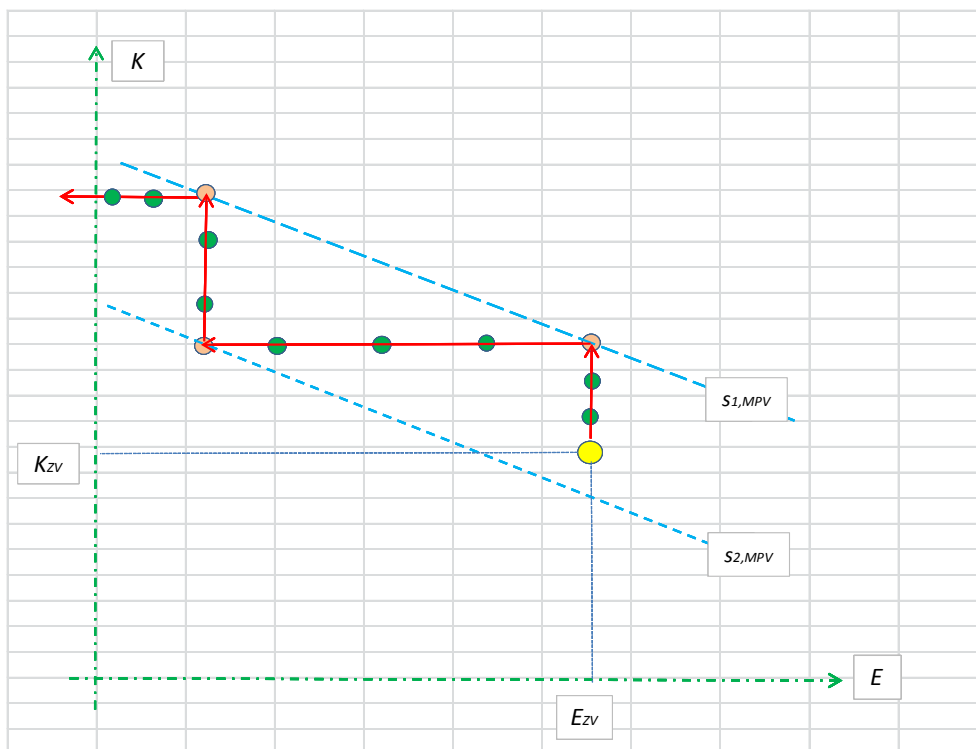
Podle konstelace těchto okolností některé iterace konvergují (jako ta na obr.10), jiné však divergují (obr.11, obr.12) a některé se mohou dokonce zacyklit (obr.13).



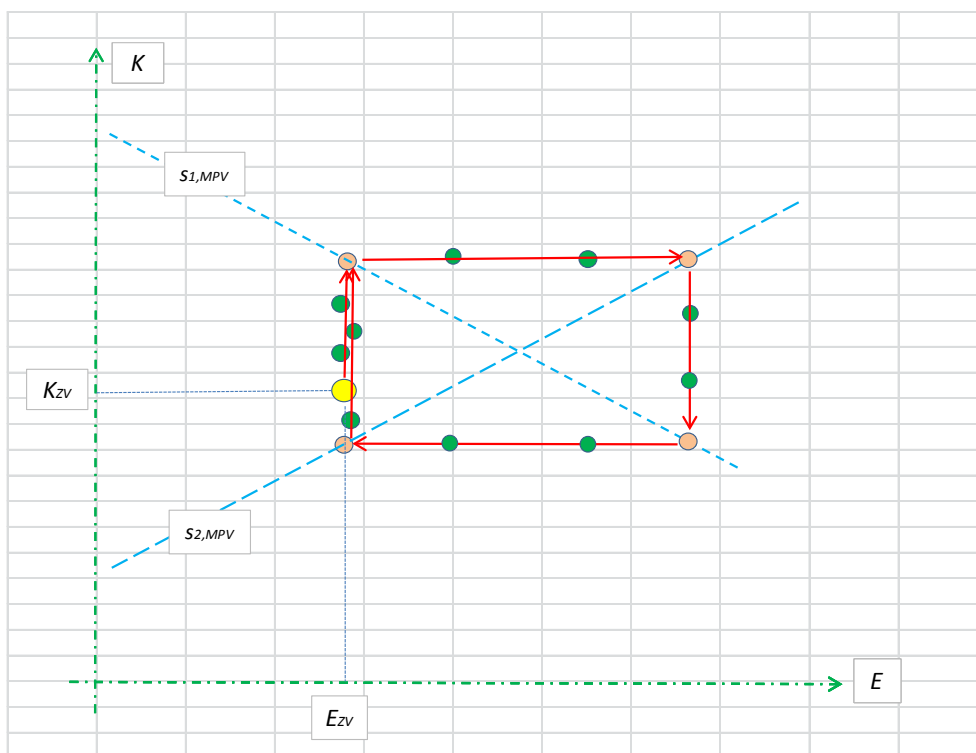
Obr.10



Obr.11: Špatná volba počátku iterací cesty



Obr.12: Tento případ není vymyšlený. Nalezli jsme ho při výpočtu.



Obr.13

A nyní pozor! Není příbuznost mezi stopami $s_{i,MPV}$ v tomto odstavci 3.2 a stopami, které známe z kap.1. Stopy z kap.1 jsou stopami v úplném definičním oboru dvourozměrné

funkce $w = f(\alpha, \beta)$, zatímco stopy z odst.3.2 jsou stopami v dvourozměrném podprostoru geotechnických parametrů E, K , vyseparovaném ze šestirozměrného prostoru všech geotechnických parametrů K, E, v, c, φ, P .

Byla-li by deformace horninového masivu funkcí toliko E, K , takže by platilo $w = f(E, K)$, byla by metoda postupného vyhledání metodou, vyhledávající průsečíky c_i stop s_i , jak je známe z kap.1, neboli kvazipravé geotechnické parametry.

Jelikož je ale $w = f(K, E, v, c, \varphi, P)$ není průsečík E_{MPV}, K_{MPV} stop $s_{i,MPV}$ srovnatelný s průsečíky c_i stop s_i , nýbrž s body $[\alpha_i, \beta_o^*]$, $i=1,2,3$, z obr.2 (který teď mějme po ruce). Abychom tuto okolnost lépe pochopili, představme si, že naše *proměnné* argumenty E, K jsou na obr.2 „svinuty“ kolem osy α , zatímco *blokové* argumenty $v_{ZV}, c_{ZV}, \varphi_{ZV}, P_{ZV}$ jsou „svinuty“ kolem osy β . Po „rozvinutí“ zjišťujeme, že metoda postupného vyhledání je schopna stanovit pouze soubory veličin typu $E_{MPV}, K_{MPV}, v_{ZV}, c_{ZV}, \varphi_{ZV}, P_{ZV}$, kde jenom první dva členy jsou stanoveny metodou postupného vyhledání, zatímco zbylé čtyři členy jsou předem známé konstanty ze základního výpočtu. Těchto souborů bude $n!/((n-2)!*2!)$.

Soubory, které bychom rádi našli jsou ale soubory typu $E_Q = E_o + difE_o, K_Q = K_o + difK_o, v_Q = v_o + difv_o, c_Q = c_o + difc_o, \varphi_Q = \varphi_o + dif\varphi_o, P_Q = P_o + difP_o$. Tyto soubory nejsou metodou postupného vyhledání k nalezení, neboť její iterace konvergují (pokud konvergují) k nepravým cílům, vytvářejícím soubory nepravých geotechnických parametrů $E_{MPV}, K_{MPV}, v_{ZV}, c_{ZV}, \varphi_{ZV}, P_{ZV}$.

Metoda postupného přiblížení se dá formulovat také pomocí numerických diferenciálů. Pak zjistíme, že se v ní vyskytují pouze dvě diference, totiž $difE$ a $difK$, ačkoliv deformace w je funkcí šesti geotechnických parametrů. Metoda tedy pracuje s neúplným diferenciálem, z čehož plyne, že není schopna poskytnout správné výsledky, neboť k jejich nalezení je zapotřebí totálního diferenciálu.

Na pravé geotechnické parametry (v jednorozměrném prostoru obr.9 jsou reprezentovány bodem $E_{per\ natura}$) míří metoda přímého výpočtu. Leč ani ona, z důvodů popsaných v kap.1 a 2, není schopna na ně dosáhnout. Zastaví se u $n!/((n-6)!*6!)$ souborů kvazipravých parametrů $[E_{Qi}, K_{Qi}, v_{Qi}, c_{Qi}, \varphi_{Qi}, P_{Qi}]$, které jsou v jednorozměrném prostoru obr.9 „svinuty“ do bodu E_Q .

Obě metody tedy trpí podobným hendikepem a nedosahují tam, kam bychom si přáli. Přesto je nelze stavět do jedné řady.

Metoda přímého výpočtu chce „mířit“ k pravému cíli, bodu C, jehož souřadnicemi jsou pravé geotechnické parametry. „Nevídá“ jej však přesně, nýbrž rozptýleně do bodů c_i , jejichž souřadnicemi jsou kvazipravé geotechnické parametry.

Metoda postupného vyhledání na cíle c_i zaměřena není. Je tudíž zaměřena na cíle falešné. To jí ale nevylučuje ze hry, když se domluvíme (a my to později uděláme), že pravé geotechnické parametry nehledáme.

4. Metoda průsečíků stop vrstevnic.

Abychom se vyhnuli problémům, které jsme konstatovali u metody postupného vyhledání, totiž problémům s konvergencí a naší „slepotou“, způsobenou tím, že nevidíme stopy $s_{i,MPV}$, navrhneme jiný postup nalezení E_{MPV} , K_{MPV} , který nazveme metodou průsečíků stop vrstevnic. Metoda spočívá v grafickém nalezení stop, v jejichž průsečíku bod o souřadnicích E_{MPV} , K_{MPV} leží.

Vyžaduje sérii výpočtů $V(i,j) = V(E_i, K_j, v_{ZV}, c_{ZV}, \varphi_{ZV}, P_{ZV})$, $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, m$. Geotechnické parametry v_{ZV} , c_{ZV} , φ_{ZV} , P_{ZV} jsou ze základního výpočtu, parametry E_i, K_j jsou proměnné veličiny (jedna dvojice E_i, K_j však může být dvojicí E_{ZV}, K_{ZV} , takže základní výpočet může být jedním ze série). Minimální počet i, j je $i = j = 3$ (aby čáry, na které vzápětí narazíme, byly křivkami a nikoliv přímkami), takže minimální počet výpočtů je 9.

Sérii výpočtů je přiřazena následující tab.1.

Tabulka 1

i \ j	1	2	...	n
1	E_1, K_1	E_2, K_1	...	E_n, K_1
2	E_1, K_2	E_2, K_2	...	E_n, K_2
.
.
.
m	E_1, K_m	E_2, K_m	...	E_n, K_m

Každému identifikačnímu kódu přiřazuje série výpočtů $n*m$ deformací.

V tabulkách na obrázcích 14 a 15 jsou prezentovány deformace, vypočtené pro dva identifikační kódy $w(y), b1, f3$ a $w(y), b2, f3$ v sérii výpočtů, ve které je $n = 3$ a $m = 4$.

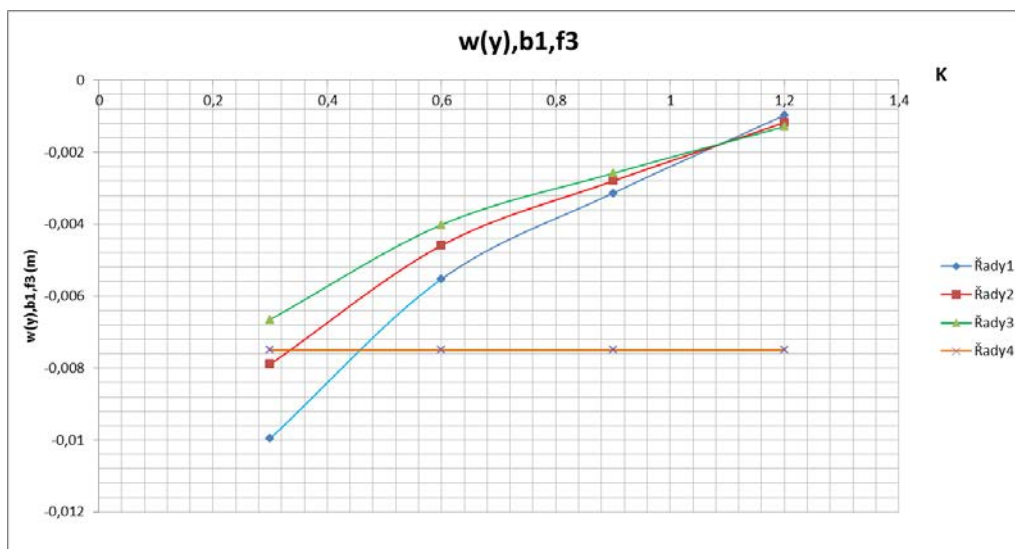
Poslední sloupec tabulek obsahuje hodnoty, měřené in situ při identifikaci $w(y), b1, f3$, resp. $w(y), b2, f3$.

Tři křivky na každém z obrázků, (řady 1-3), zachycují průběh *deformace* $w(y)$, v *bodě* $b1$ resp. $b2$ a ve *fázi* *ražby* 3, pro tři hodnoty $E = 200 \text{ MPa}$, $E = 275 \text{ MPa}$, $E = 350 \text{ MPa}$, které jsou podél křivky, ke které patří, neměnné. Tyto křivky jsou funkcemi K . Rovnoběžka s osou K (řada 4) reprezentuje hodnotu *deformace* $w(y)$, v *bodě* $b1$ resp. $b2$ a ve *fázi* *ražby* 3, naměřenou in situ.

Průsečíky této rovnoběžky s křivkami trasují bodově souřadnice E, K stopy $s_{w(y), b1, f3}$ resp. $s_{w(y), b2, f3}$ vrstevnice $v_{w(y), b1, f3} = -0,0075m$ (=hodnota in situ), resp. $v_{w(y), b2, f3} = -0,0035m$ (=hodnota in situ).

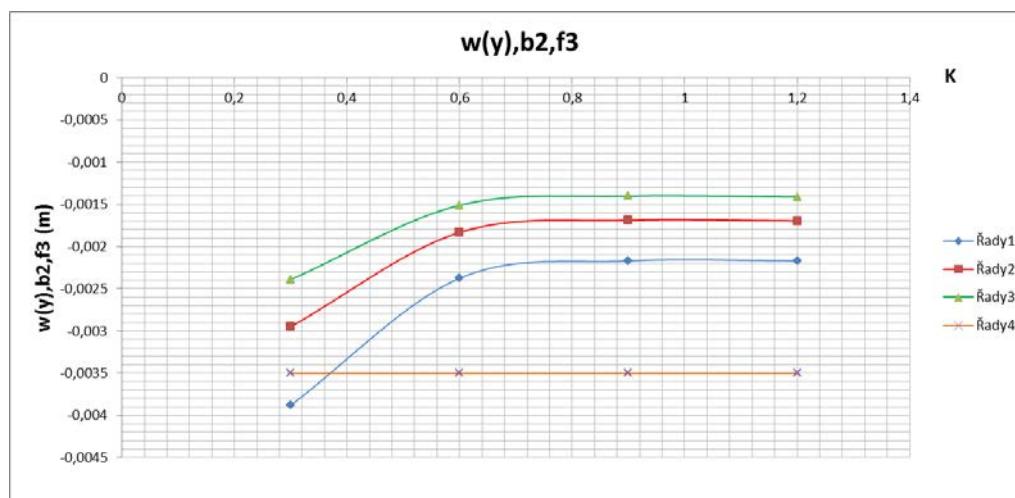
Tyto průsečíky nalezneme a v souřadném systému E, K nakreslíme stopy (obr.16, obr.17).

	E=200 Mpa	E=275 Mpa	E=350 Mpa	In situ
K	w(y),b1,f3	w(y),b1,f3	w(y),b1,f3	w(y),b1,f3
0,3	-0,009959	-0,007899	-0,006651	-0,0075
0,6	-0,005524	-0,004591	-0,004017	-0,0075
0,9	-0,003138	-0,002802	-0,002588	-0,0075
1,2	-0,000976	-0,00118	-0,00129	-0,0075



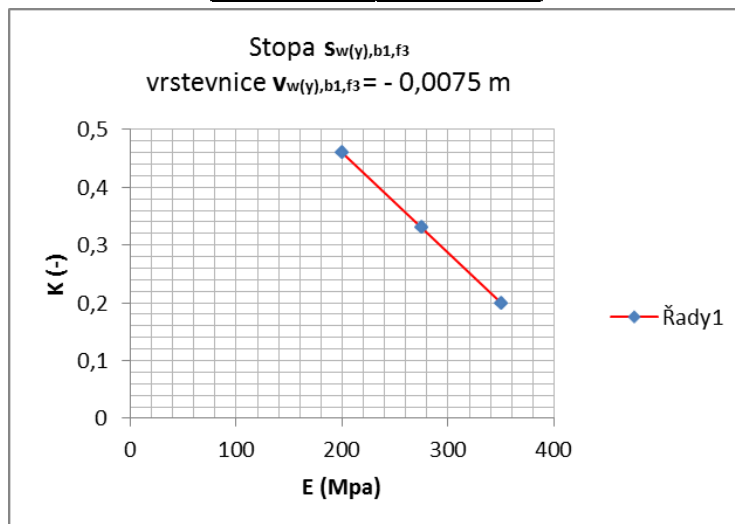
Obr. 14

	E=200	E=275	E=350	In situ
K	w(y),b2,f3	w(y),b2,f3	w(y),b2,f3	w(y),b2,f3
0,3	-0,003879	-0,002947	-0,00239	-0,0035
0,6	-0,002375	-0,001832	-0,001511	-0,0035
0,9	-0,00217	-0,001688	-0,001402	-0,0035
1,2	-0,002169	-0,001695	-0,001413	-0,0035



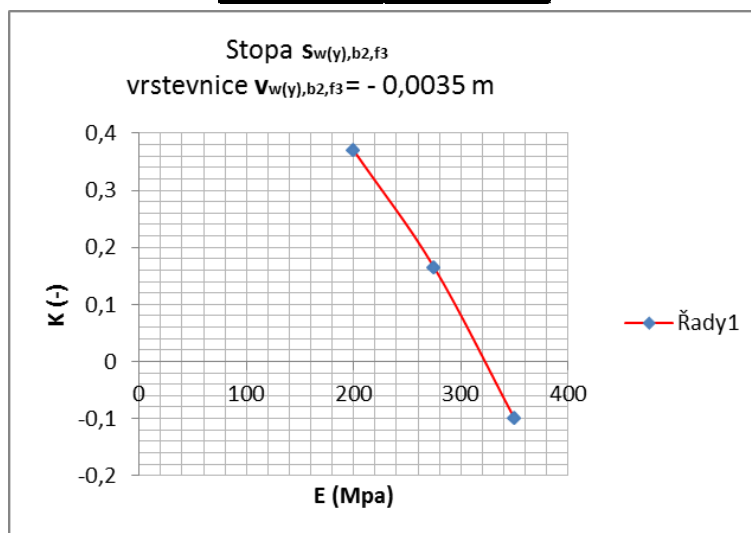
Obr. 15

E (Mpa)	K (-)
200	0,46
275	0,33
350	0,2



Obr.16

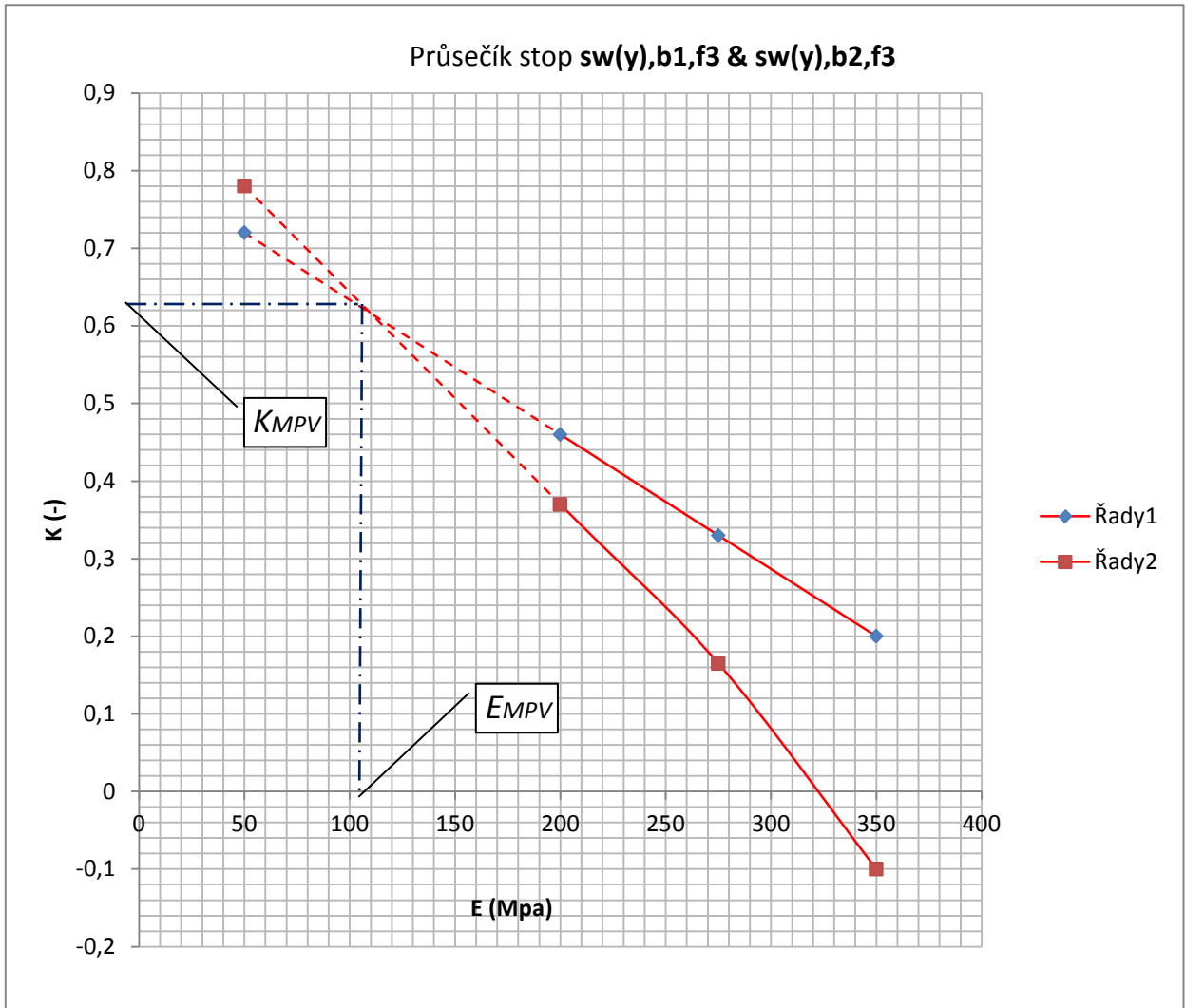
E (Mpa)	K
200	0,37
275	0,165
350	-0,1



Obr.17

Poté sloučíme obrázky 16, 17 do jednoho obr. 18 a nalezneme průsečík stop, jehož souřadnice jsou hledanými hodnotami E_{MPV} , K_{MPV} . (K nalezení bodu E_{MPV} , K_{MPV} jsme museli použít extrapolace (červeně psaný řádek v tabulce a čárkované čáry na obrázku).)

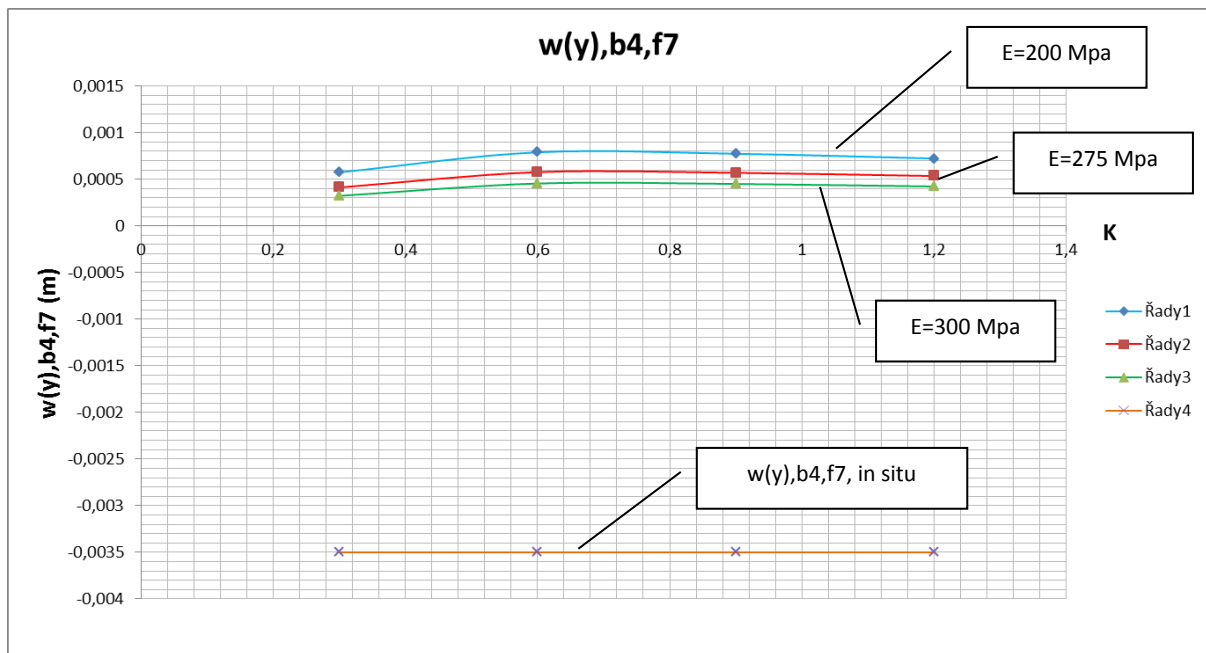
E (Mpa)	$K_{w(y),b1,f3}$ (-)	$K_{w(y),b2,f3}$ (-)
50	0,72	0,78
200	0,46	0,37
275	0,33	0,165
350	0,2	-0,1



Obr. 18

Kdybychom měli n měření, měli bychom šanci sestrojit n stop (jenom šanci a nikoliv jistotu, protože ne vždy je možno stopy sestrojít, viz obr.19) a tyto zkombinovat do nálezů $n!/((n-2)!*2)$ jejich průsečíků, analogických tomu na obr.18. Tyto průsečíky se budou nalézat v $n!/((n-2)!*2)$ bodech s různými souřadnicemi E_{MPV} , K_{MPV} .

S metodou průsečíku stop vrstevnic se znovu setkáme v kap. 5 „Příklady“. Metodu použijeme bez dalšího komentáře, neboť vše potřebné zde bylo vysvětleno.



Obr.19

5. Příklady

5.1. Dřívější výpočty

V časopise Tunel 2/2011 (http://www.ita-aites.cz/files/tunel/komplet/tunel_2_11.pdf), v článku „Kritické zhodnocení možností zpětné analýzy“ nalezneme dva výpočty, provedené metodou přímého výpočtu. V prvním i druhém výpočtu jsou měření in situ nahrazeny hodnotami, vypočtenými programem použitým při statickém výpočtu. Tyto hodnoty jsou v prvním výpočtu stanoveny s přesností na šest desetinných míst (fyzikálním rozměrem délkovým je metr). Ve druhém výpočtu jsou zaokrouhleny na tři desetinná místa (na milimetry), což jest předpokládaná přesnost skutečných měření. (Vypočteným hodnotám in situ, popř. vypočteným a zaokrouhleným hodnotám in situ budeme říkat nepravé hodnoty in situ.)

První výpočet je zřejmě zatížen pouze chybou metody (viz 2.2.2, tučná kurziva), zatímco výpočet druhý je zatížen chybou metody a chybou odečtu měření (viz 1.2). Žádný z výpočtů nečelí chybě nedokonalé kompatibility výpočetního modelu a stavu in natura (viz 1.3).

Výpočty byly zjednodušeny takto: byly elastické a Poissonova konstanta základního výpočtu byla shodná s konstantou výpočtu, simulujícího poměry in situ. Projektant tedy předem věděl, že derivace $\partial w / \partial c, \partial w / \partial \varphi$ nejsou definovány a že $difv = 0$. Tak se šestirozměrná úloha obecné formulace přímé metody zpětné analýzy zúžila na úlohu třírozměrnou, řešící systémy rovnic 3×3 , s maticí soustavy obsahující pouze derivace $\partial w / \partial K, \partial w / \partial E, \partial w / \partial P$, s cílem stanovit $difK_o, difE_o, difP_o$.

Podrobnosti jsou v časopise, tady jsou výsledky:

Tabulka 2: Výsledky pro nepravé hodnoty in situ. Hodnoty jsou vypočteny s přesností na šest desetinných míst (na tisíce milimetru). Z 56 možných řešení vybrány náhodně 3.

	Soustava rovníc 2	Soustava rovníc 3	Soustava rovníc 4	Průměr	Přesná hodnota
$difP_o [-]$	0,09	0,08	0,08	0,83	0,10
$difK_o [-]$	0,07	0,08	0,07	0,07	0,10
$difE_o [kN/m^2]$	55214	59716	59319	58083	50000

Tabulka 3: Výsledky pro nepravé hodnoty in situ, zaokrouhlené na tři desetinná místa (na milimetry). Z 56 možných řešení vybrány náhodně 3, shodné s těmi z tab.2.

	Soustava rovníc 2	Soustava rovníc 3	Soustava rovníc 4	Průměr	Přesná hodnota
$difP_o [-]$	0,22	0,05	0,05	0,11	0,10
$difK_o [-]$	0,08	0,10	0,09	0,09	0,10
$difE_o [kN/m^2]$	-17536	44878	27979	18440	50000

Tabulkám odpovídají grafy na obr.20 a obr.21. Vliv chyby metody (modré koule versus červená koule), především ale vliv chyby odečtu měření (zelené koule versus červená koule) je dobře rozpoznatelný. Je však také rozpoznatelné, že výsledky se zdržují v okolí hodnoty přesné (v okolí červené koule). Uvidíme, že tato „idyla“ může být těžce narušena, když do hry vstoupí to, co jsme zatím vyloučili ze hry: špatná kompatibilita výpočetního modelu a stavu in natura.

5.2 Nový výpočet pomocí metody přímého výpočtu

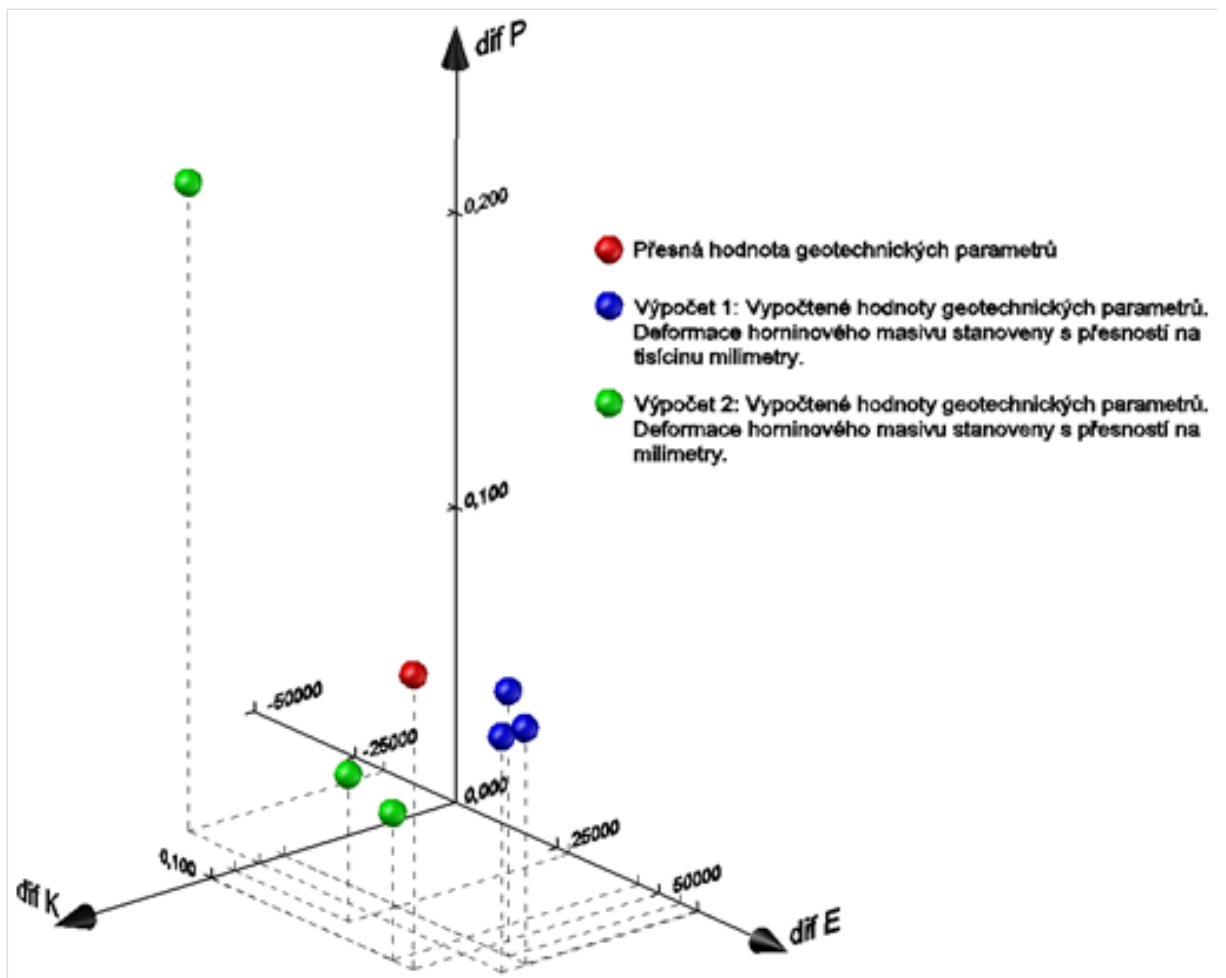
5.2.1 Na obr.22 je znázorněna síť MKP, symetrická podle svislé osy tunelu, se kterou byl proveden výpočet ostění ze stříkaného betonu na jednom z úseků tunelu Blanka.

Geotechnické parametry geologických vrstev, použité ve statickém výpočtu projektu, jsou obsahem tab.4.

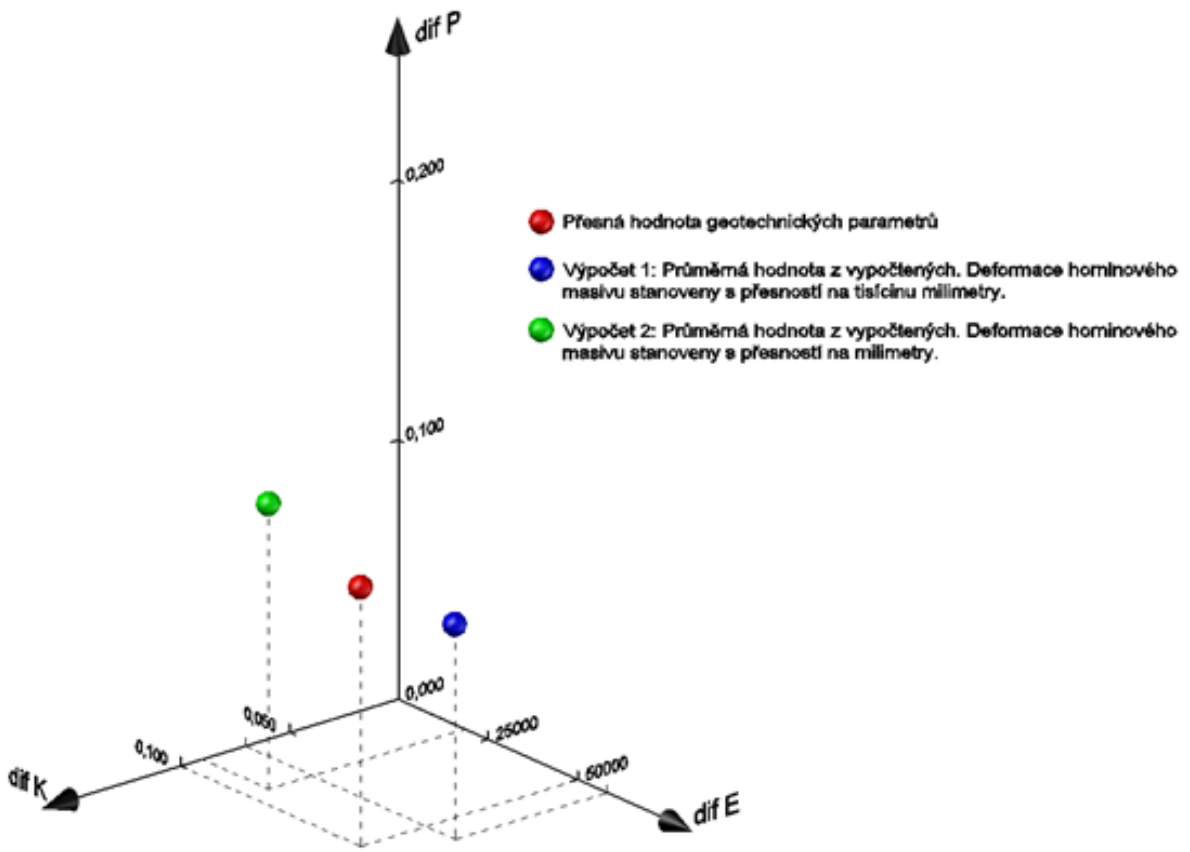
Před uzavřením dna (které již nic neměnilo na odečtech měřičských bodů a proto je ponecháváme stranou) probíhala ražba v sedmi fázích tak, jak zaznamenáno na obr.23, kde je 1. fáze výpočtu, geostatická napjatost, vynechána.

Tabulka 4: Geotechnické parametry geologických vrstev

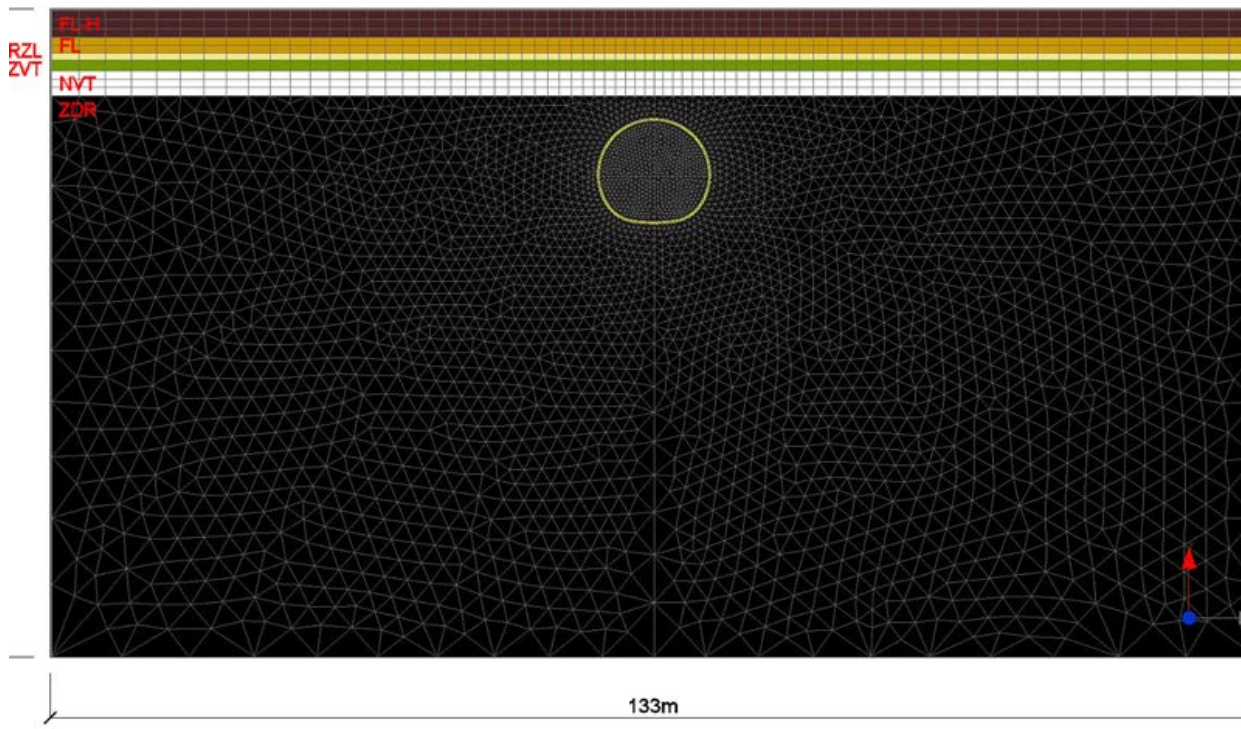
Geologická vrstva	Parametr						
	γ [kg/m ³]	E_{def} [MPa]	ν [-]	c [MPa]	φ [deg]	K	P
Holocénní náplavy FL-h	1900	6,0	0,40	0,015	23		
Fluviální sedimenty FL	2125	42,5	0,34	0,000	36		
Rozložená hornina RZL	2125	11,5	0,39	0,020	22		
Zvětralá hornina ZVT	2300	30,0	0,34	0,020	26		
Navětralá hornina NVT	2500	105,0	0,31	0,033	31		
Zdravá hornina ZDR	2600	275,0	0,27	0,080	34	0,30	0,30



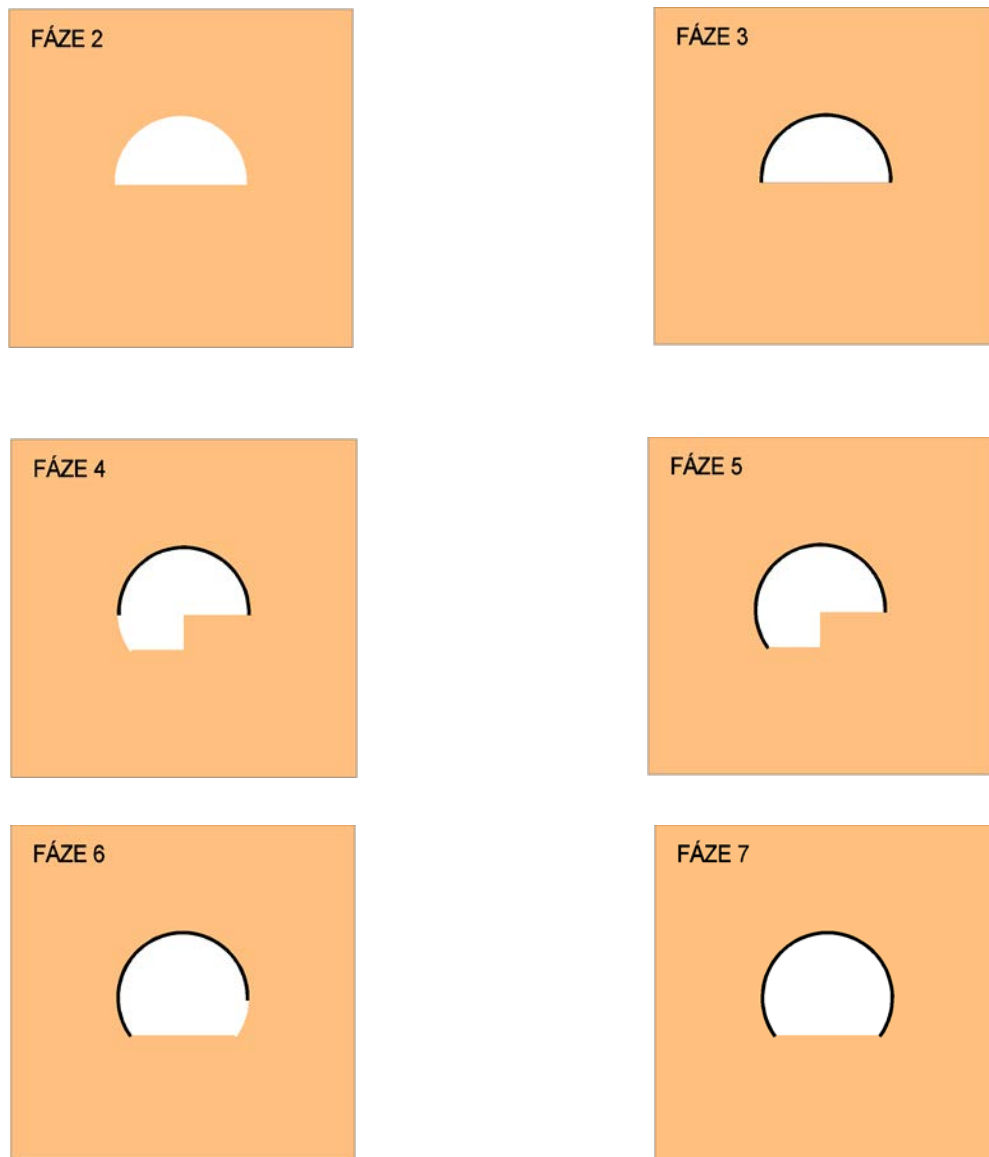
Obr.20



Obr.21



Obr.22



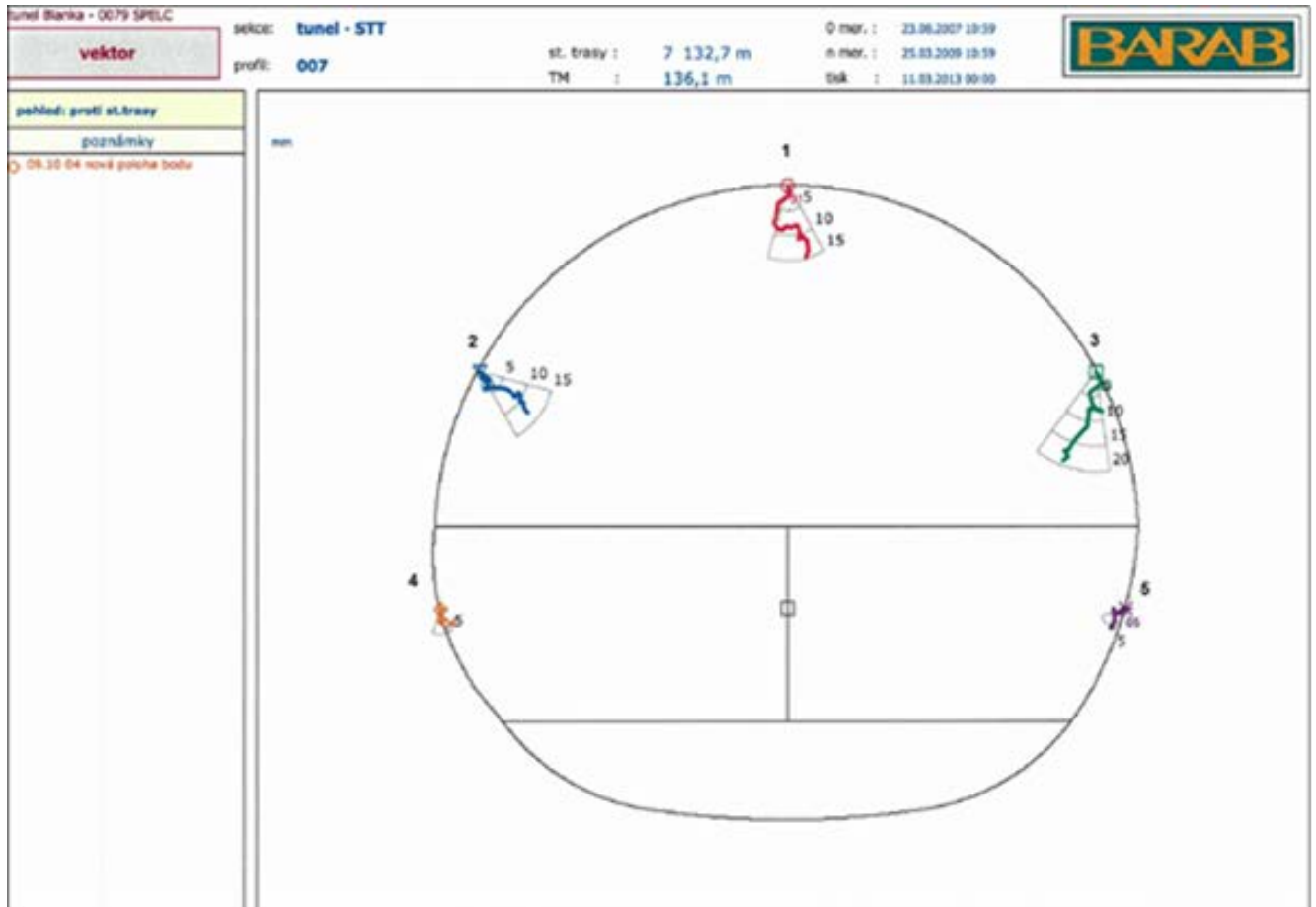
Obr.23

Úloha je nejprve symetrická (do fáze 3), poté je symetrie narušena nesymetrickou ražbou. Podle výpočtu je narušení symetrie málo výrazné. Podle měření in situ je odchylka od symetrie pozorovatelná, jak můžeme zjistit na obr.24. Ten je vektorovým záznamem měření, pořízených na měřičském profilu, příslušném k výpočtu. Je na něm vyznačeno také očíslování měřičských bodů, které jsou ztotožněny s uzly sítě.

Ve zpětné analýze je možno použít pouze ustálených měření. To jsou (jak zjišťujeme z grafů časového průběhu měření, které zde neuvádíme, které jsou ale notoricky známé) měření po nástřiku kaloty (fáze 3) a dále až měření po nástřiku pravého opěří (fáze 7). Máme tedy k dispozici měření podle tab.5. Měření jsou označena identifikačními kódy (připomínáme, že např. identifikační kód $w(y), b1, f3$ čteme: deformace w ve směru y , na měřičském bodě 1, po fázi ražby 3).

Deformace po fázi 3 mohou být buď přírůstkové nebo celkové. Doporučuje se vybrat jedny nebo druhé a nemixovat je navzájem. Zabráníme tím možnému přehmatu, před kterým varuje odst.2.3. My budeme pracovat s deformacemi celkovými.

Pro každou polovinu tunelu máme podle tab.5 $n = 8$ měření. To umožňuje sestavení matice základního seznamu 8×6 . Proto lze pro každou polovinu tunelu sestavit $K(8,6) = 28$ kombinací soustav lineárních rovnic s maticí soustavy 6×6 , pro výpočet 28 hodnot vektorů $[difK_{oi}, difE_{oi}, difv_{oi}, difc_{oi}, dif\varphi_{oi}, difP_{oi}]$, $i=1,2,\dots,28$.



Obr.24

Model je symetrický podle svislé osy tunelu. Proto, podle doporučení z odst.2.3, budeme vyšetřování provádět pro symetrickou polovinu sítě MKP.

Bylo by zapotřebí vyšetřit obě poloviny. My to ale provádět nebudeme, neboť pro instruktážní výpočet to není podstatné.

Tabulka 5: Měření, která jsou k dispozici

	Měření na levé straně tunelu					Měření na pravé straně tunelu				
Deformace po fázi 3	w(y),b1,f3	w(x),b2,f3	w(y),b2,f3			w(y),b1,f3	w(x),b3,f3	w(y),b3,f3		
Deformace po fázi 7	w(y),b1,f7	w(x),b2,f7	w(y),b2,f7	w(x),b4,f7	w(y),b4,f7	w(y),b1,f7	w(x),b3,f7	w(y),b3,f7	w(x),b5,f7	w(y),b5,f7

5.2.2 Porovnání základního výpočtu s měřeními in situ

V tab.6 jsou porovnány hodnoty naměřené in situ s odpovídajícími hodnotami vypočtenými v základním výpočtu.

Tabulka 6: Porovnání hodnot in situ a základního výpočtu

	Stat. výpočet	In situ	In situ / Stat.výp.
w(y),b1,f3	-0,007899	-0,0075	0,95
w(x),b2,f3	-0,002843	0,0015	-0,53
w(y),b2,f3	-0,002947	-0,0035	1,19
w(y),b1,f7	-0,007538	-0,0105	1,39
w(x),b2,f7	-0,002089	0,007	-3,35
w(y),b2,f7	-0,003013	-0,005	1,66
w(x),b4,f7	0,000427	0	0,00
w(y),b4,f7	0,000413	-0,0035	-8,47

Ze srovnání vyplývá, že:

- Svislé deformace in situ jsou převážně větší než tytéž v základní výpočtu, takže model je tužší nežli příroda.

- Vodorovné deformace in situ jsou opačného směru nežli deformace v základním výpočtu a směřují do výrubu. Z toho usuzujeme, že boční tlak K in situ je větší, nežli boční tlak v základním výpočtu. Ukáže se, že je podstatně větší. Proto si stanovení derivací w podle K vyžádá zvláštního ošetření (viz odst. „Variace w podle koeficientu bočního tlaku K . Derivace w podle K .“ a srovnej s ostatními odstavci, týkajícími se variací w .)

Ve zpětné analýze by měl tedy býti výpočetní model změkčen, za současného zvětšení bočních tlaků. To budeme mít na zřeteli při variačních výpočtech, když budeme vybírat z možných typů numerických derivací (viz Příloha, kterou si je nutno před následujícím výkladem osvojit) ten vhodný.

5.2.3 Vlastní výpočet

Výpočet bude zatížen všemi chybami, které jsme dříve popsali, tedy chybou měření (viz 1.2), chybou nedokonalé kompatibility výpočetního modelu a stavu in natura (viz 1.3) a chybou metody (viz 2.2.2).

Výpočet provedeme podle definice 2 z odst. 2.2.4. To znamená, že variaci geotechnických parametrů bude podrobena pouze vrstva, ve které je situován tunel. Zbylé vrstvy nedoznají žádných změn.

• Variční výpočty

Připomeňme, že variovaným výpočtem nazýváme výpočet, který se od základního výpočtu liší tím, že jeden a jen jeden jeho geotechnický parametr se od toho, který je použit v základním výpočtu, liší o diferenci.

Např. výpočet variovaný podle E je proveden s $E_{var} = E_o + \Delta E$, kde E_o je hodnota ze základního výpočtu a ΔE je zmíněná diference, zatímco ostatní geotechnické parametry statického výpočtu zůstávají nezměněny. Obdobně $K_{var} = K_o + \Delta K$, $v_{var} = v_o + \Delta v$, $c_{var} = c_o + \Delta c$, $\varphi_{var} = \varphi_o + \Delta \varphi$, $P_{var} = P_o + \Delta P$. Variované výpočty slouží ke stanovení numerických parciálních derivací.

Doporučuje se provést několik výpočtů, variovaných podle téhož geotechnického parametru, nabývajících několika hodnot, buď na obě strany nebo na jednu stranu od parametru E_o , resp. K_o , resp. v_o , resp. c_o , resp. φ_o , resp. P_o . Preferujeme oboustrannou volbu, v případě potřeby ale dáme přednost volbě jednostranné.

Tak tomu bude v případě bočního tlaku K (viz tab.7), který je v základním výpočtu výrazně podceněn (viz tab.6), takže je zřejmé, že numerické derivace bude nutno hledat pro $K \gg K_o$.

V případě ostatních parametrů provedeme 4 variované výpočty podle seznamu tab.7. Tak např. modul pružnosti základní vrstvy, který je ve statickém výpočtu projektu $E = 275$ MPa, nahradíme ve čtyřech variovaných výpočtech postupně hodnotami $E = 175$ MPa, $E = 225$ MPa, $E = 325$ MPa, $E = 375$ MPa. Ostatní parametry zůstanou beze změny. Obdobně postupujeme u ostatních parametrů.

Tabulka 7: Seznam variovaných parametrů

	Variace		Základní výpočet	Variace				
E [MPa]	175	225	275	325	375			
v [-]	0,17	0,22	0,27	0,32	0,37			
c [kPa]	40	60	80	100	120			
ϕ [°]	24	29	34	39	44			
K [-]			0,3	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20
P [-]	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4			

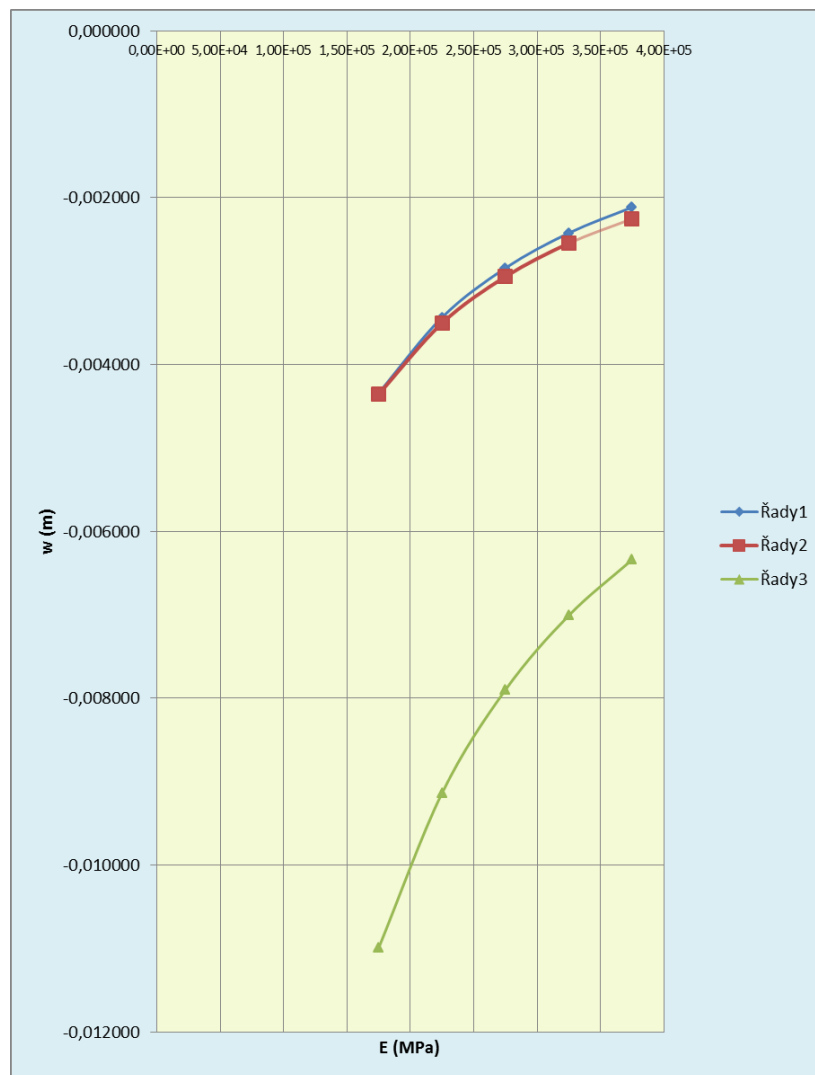
1) Variace w podle E . Derivace w podle E

Postup výpočtu i jeho výsledky budeme prezentovat pomocí tabulek a grafů. V tab.8 a tab.9 uvedeme deformace, vypočtené v místech měřičských bodů v základním a variovaných výpočtech. Tabulky převedeme na grafy (obr.25, obr.26), vystihující funkční závislost w na E .

Pomocí těchto grafů, které dávají představu o tom, jak se funkce $f(E)$ v okolí bodu E_0 chová, a se znalostí či předpokladem o tom, bude-li E_0 při zpětné analýze zvětšováno či zmenšováno, vypočteme v tab.10 numerické derivace $\partial w/\partial E$. (Připomínáme, že vyznat se v tab.10 znamená, seznámit se s Přílohou.)

Tabulka 8

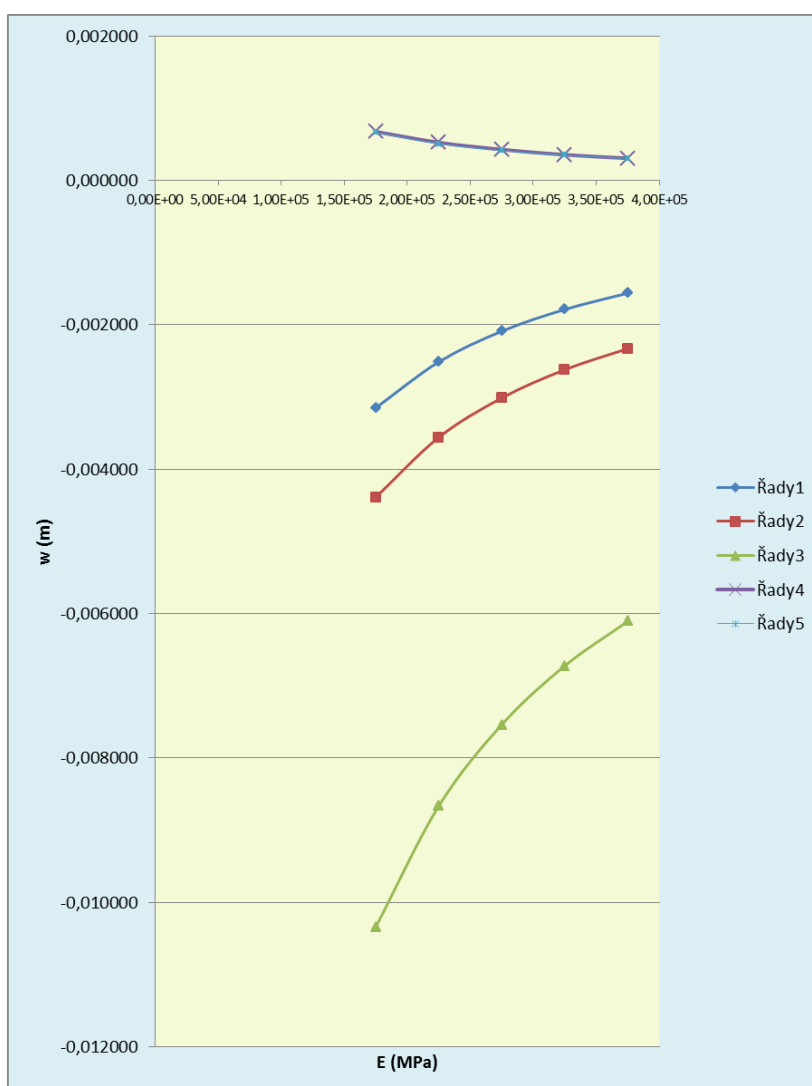
Deformace v měřičských bodech po třetí fázi výrubu, na levé straně tunelu			
E (kN/m ²)	w(x),b2,f3 (m)	w(y),b2,f3 (m)	w(y),b1,f3 (m)
1,75E+005	-0,004340	-0,004354	-0,010991
2,25E+005	-0,003435	-0,003504	-0,009136
2,75E+005	-0,002843	-0,002947	-0,007899
3,25E+005	-0,002424	-0,002547	-0,007007
3,75E+005	-0,002115	-0,002253	-0,006339



Obr.25: Průběh deformací z tab.8

Tabulka 9

Deformace v měřičských bodech po sedmé fázi výrubu, na levé straně tunelu					
E (kN/m ²)	w(x),b2,f7 (m)	w(y),b2,f7 (m)	w(y),b1,f7 (m)	w(x),b4,f7 (m)	w(y),b4,f7 (m)
1,75E+005	-0,003151	-0,004388	-0,010341	0,000675	0,000661
2,25E+005	-0,002514	-0,003560	-0,008665	0,000524	0,000508
2,75E+005	-0,002089	-0,003013	-0,007538	0,000427	0,000413
3,25E+005	-0,001788	-0,002622	-0,006723	0,000355	0,000348
3,75E+005	-0,001562	-0,002330	-0,006106	0,000306	0,000301



Obr.26: Průběh deformací z tab.9

Tabulka 10: Numerické derivace funkce $w = f(E)$ v měřičských bodech

E	w(y),b1,f3			E	w(x),b2,f3
(kN/m ²)	(m)			(kN/m ²)	(m)
175000				175000	
225000	-0,009136			225000	-0,003435
275000	-0,007899			275000	-0,002843
325000				325000	
375000				375000	
2,474E-08	-0,0147025			1,184E-08	-0,006099
E	w(y),b2,f3			E	w(y),b1,f7
(kN/m ²)	(m)			(kN/m ²)	(m)
175000				175000	
225000	-0,003504			225000	-0,008665
275000	-0,002947			275000	-0,007538
325000				325000	
375000				375000	
1,114E-08	-0,0060105			2,254E-08	-0,0137365
E	w(x),b2,f7			E	w(y),b2,f7
(kN/m ²)	(m)			(kN/m ²)	(m)
175000				175000	
225000	-0,002514			225000	-0,003560
275000	-0,002089			275000	-0,003013
325000				325000	
375000				375000	
8,5E-09	-0,0044265			1,094E-08	-0,0060215
E	w(x),b4,f7			E	w(y),b4,f7
(kN/m ²)	(m)			(kN/m ²)	(m)
175000				175000	
225000	0,000524			225000	0,000508
275000	0,000427			275000	0,000413
325000				325000	
375000				375000	
-1,94E-09	0,0009605			-1,9E-09	0,0009355

Numerické deformace $\partial w/\partial E$ posléze sestavíme do tab.11.

Tabulka 11

	$\partial w/\partial E$
w(y),b1,f3	2,474E-08
w(x),b2,f3	1,184E-08
w(y),b2,f3	1,114E-08
w(y),b1,f7	2,254E-08
w(x),b2,f7	8,5E-09
w(y),b2,f7	1,094E-08
w(x),b4,f7	-1,94E-09
w(y),b4,f7	-1,9E-09

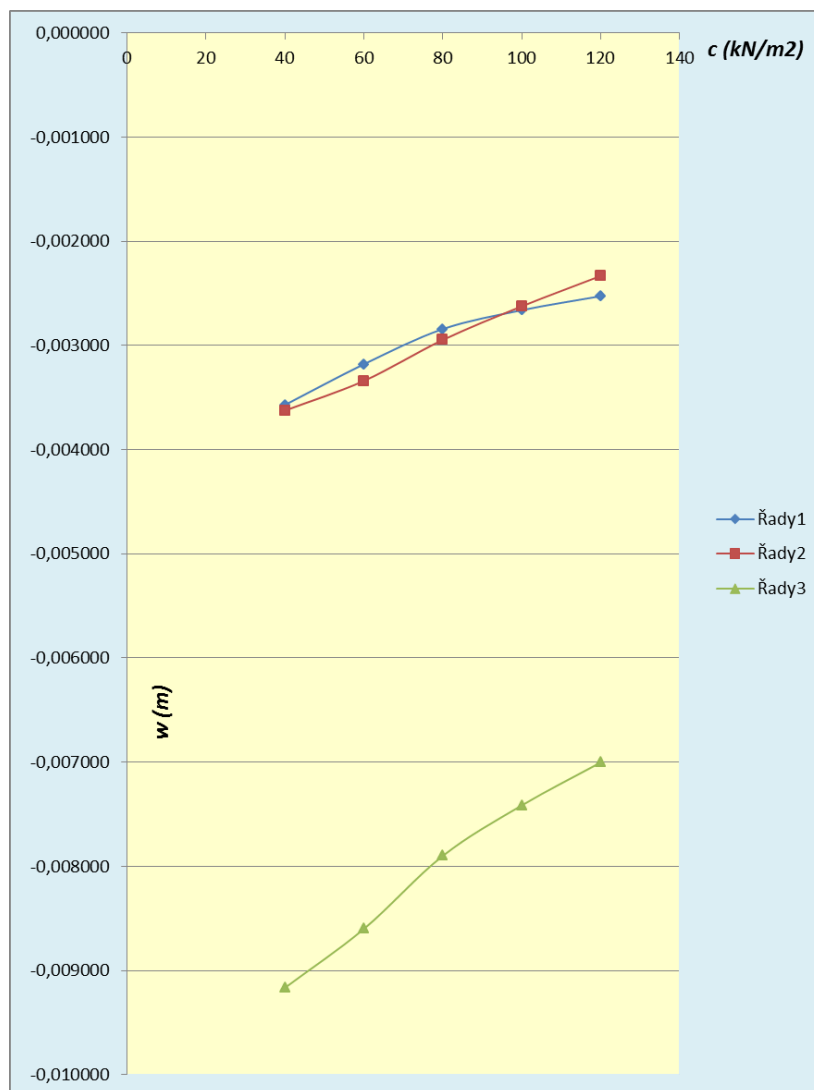
2) Variace w podle soudržnosti c . Derivace w podle c

Postup výpočtu i jeho výsledky budeme prezentovat pomocí tabulek a grafů. V tab.12 a tab.13 uvedeme deformace, vypočtené v místech měřičských bodů v základním a variovaných výpočtech. Tyto tabulky převedeme na grafy (obr.27, obr.28), vystihující funkční závislost w na c .

Pomocí těchto grafů, které dávají představu o tom, jak se funkce $f(c)$ v okolí bodu c_0 chová, a se znalostí či předpokladem o tom, bude-li c_0 při zpětné analýze zvětšováno či zmenšováno, vypočteme v tab.14 numerické derivace $\partial w/\partial c$. (Připomínáme, že vyznat se v tab.14 znamená, seznámit se s Přílohou.)

Tabulka 12

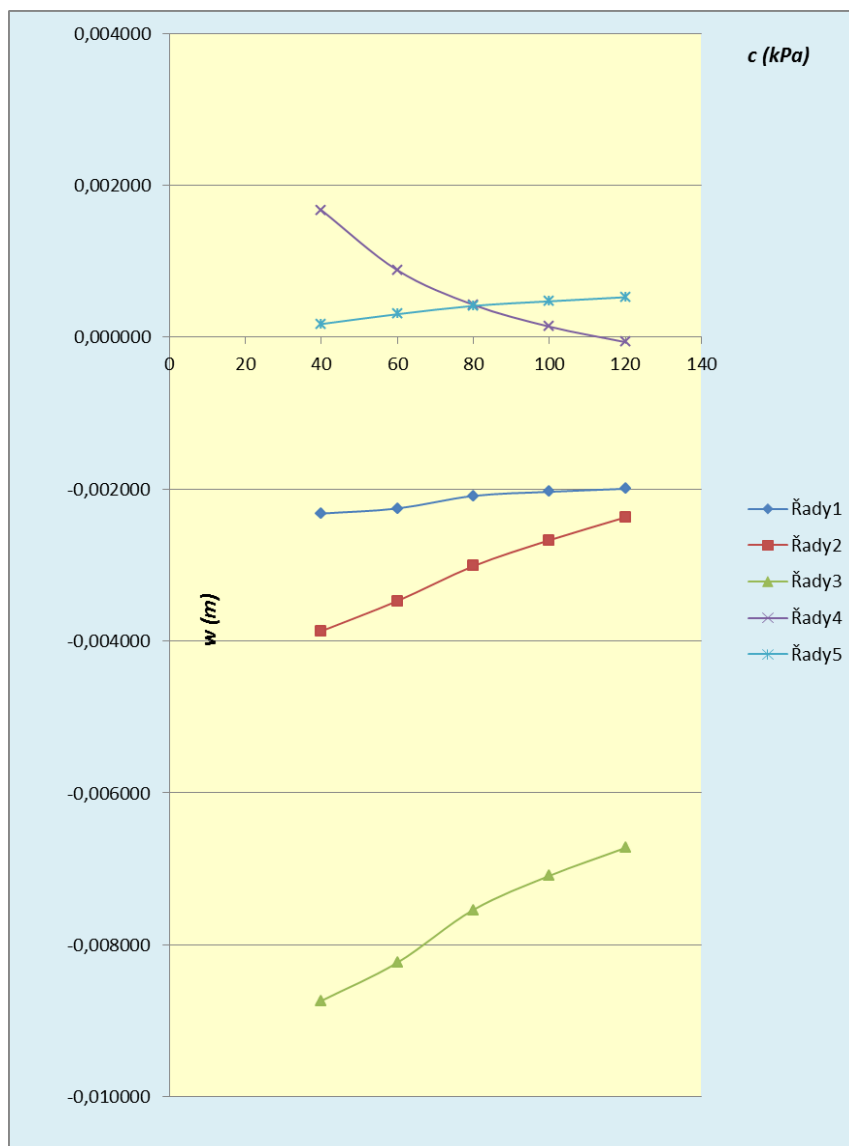
Deformace v měřičských bodech po třetí fázi výrubu, na levé straně tunelu				
c (kN/m ²)	$w(x),b2,f3$ (m)	$w(y),b2,f3$ (m)	$w(y),b1,f3$ (m)	
40	-0,003571	-0,003625	-0,009165	
60	-0,003180	-0,003340	-0,008600	
80	-0,002843	-0,002947	-0,007899	
100	-0,002662	-0,002625	-0,007415	
120	-0,002527	-0,002333	-0,007003	



Obr.27: Průběh deformací z tab.12

Tabulka 13

Deformace v měřičských bodech po sedmé fázi výrubu, na levé straně tunelu					
c (kN/m ²)	w(x),b2,f7 (m)	w(y),b2,f7 (m)	w(y),b1,f7 (m)	w(x),b4,f7 (m)	w(y),b4,f7 (m)
40	-0,002321	-0,003869	-0,008736	0,001674	0,000174
60	-0,002254	-0,003472	-0,008233	0,000883	0,000304
80	-0,002089	-0,003013	-0,007538	0,000427	0,000413
100	-0,002035	-0,002672	-0,007090	0,00014	0,000473
120	-0,001995	-0,002371	-0,006723	-0,000064	0,000527



Obr.28: Průběh deformací z tab.13

Tabulka 14: Numerické derivace funkce $w = f(c)$ v měřičských bodech

c (kN/m ²)	w(y),b1,f3 (m)				c (kN/m ²)	w(x),b2,f3 (m)
40					40	
60	-0,0086				60	-0,00318
80	-0,007899				80	-0,002843
100					100	
120					120	
0,00003505	-0,010703				0,00001685	-0,004191

c (kN/m ²)	w(y),b2,f3 (m)				c (kN/m ²)	w(y),b1,f7 (m)
40					40	
60	-0,00334				60	-0,008233
80	-0,002947				80	-0,007538
100					100	
120					120	
0,00001965	-0,004519				0,00003475	-0,010318
c (kN/m ²)	w(x),b2,f7 (m)				c (kN/m ²)	w(y),b2,f7 (m)
40					40	
60	-0,002254				60	-0,003472
80	-0,002089				80	-0,003013
100					100	
120					120	
0,00000825	-0,00274900				0,00002295	-0,004849
c (kN/m ²)	w(x),b4,f7 (m)				c (kN/m ²)	w(y),b4,f7 (m)
40					40	
60	0,000883				60	0,000304
80	0,000427				80	0,000413
100					100	
120					120	
-0,0000228	0,002251				0,00000545	-0,000023

Numerické deformace $\partial w/\partial c$ posléze sestavíme do tab.15.

Tabulka 15

	$\partial w/\partial c$
w(y),b1,f3	0,00003505
w(x),b2,f3	0,00001685
w(y),b2,f3	0,00001965
w(y),b1,f7	0,00003475
w(x),b2,f7	0,00000825
w(y),b2,f7	0,00002295
w(x),b4,f7	-0,0000228
w(y),b4,f7	0,00000545

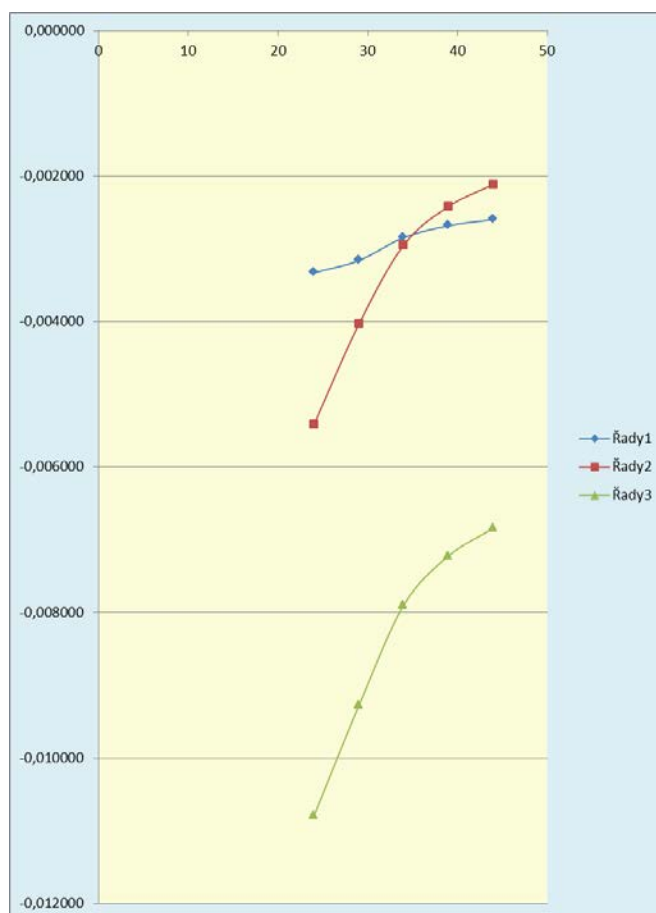
3) Variace w podle úhlu vnitřního tření φ . Derivace w podle φ .

Postup výpočtu i jeho výsledky budeme prezentovat pomocí tabulek a grafů. V tab.16 a tab.17 uvedeme deformace, vypočtené v místech měřičských bodů v základním a variovaných výpočtech. Tyto tabulky převedeme na grafy (obr.29, obr.30), vystihující funkční závislost w na φ .

Pomocí těchto grafů, které dávají představu o tom, jak se funkce $f(\varphi)$ v okolí bodu φ_o chová, a se znalostí či předpokladem o tom, bude-li φ_o při zpětné analýze zvětšováno či zmenšováno, vypočteme v tab.18 numerické derivace $\partial w/\partial \varphi$. (Připomínáme, že vyznat se v tab.18 znamená, seznámit se s Přílohou.)

Tabulka 16

Deformace v měřičských bodech po třetí fázi výrubu, na levé straně tunelu			
φ (°)	$w(x), b2, f3$ (m)	$w(y), b2, f3$ (m)	$w(y), b1, f3$ (m)
24	-0,003328	-0,005411	-0,010794
29	-0,003160	-0,004036	-0,009280
34	-0,002843	-0,002947	-0,007899
39	-0,002682	-0,002417	-0,007222
44	-0,002597	-0,002113	-0,006841

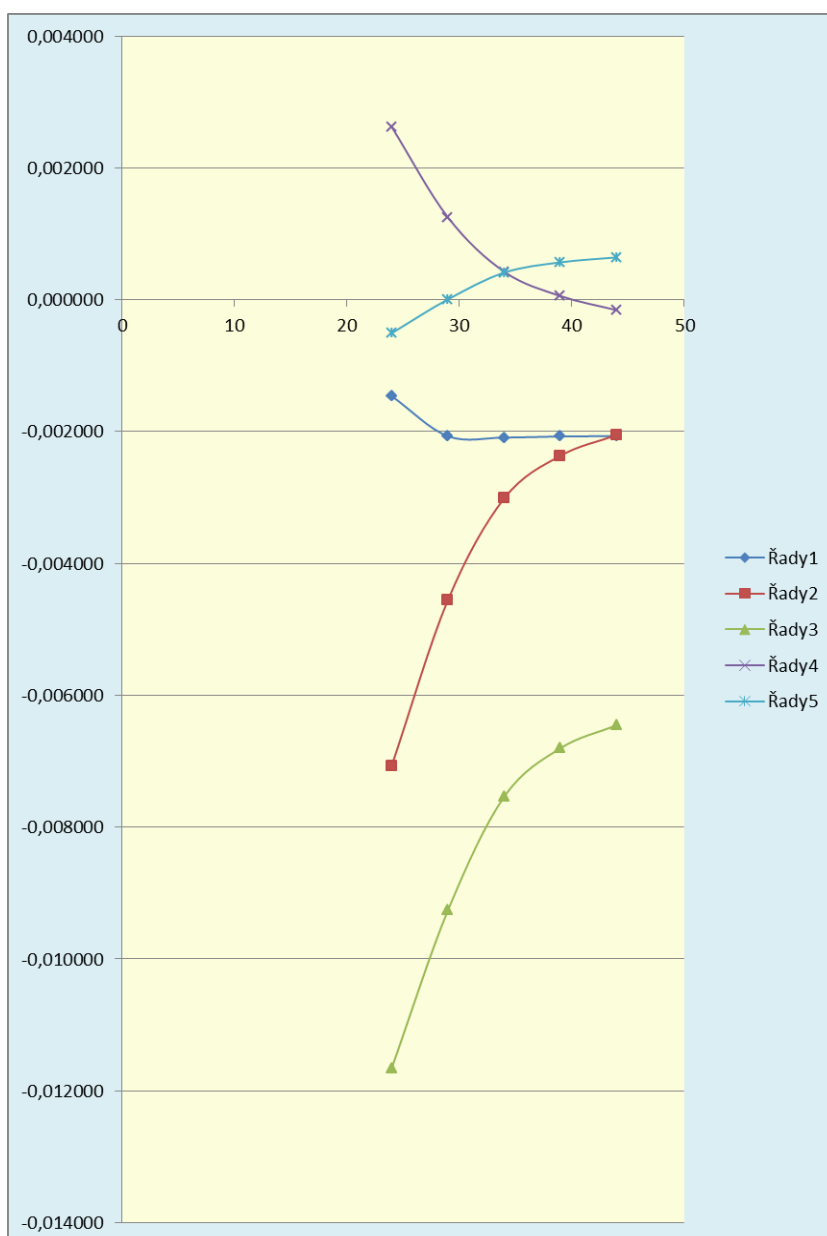


Obr.29

Tabulka 17

Deformace v měřičských bodech po sedmé fázi výrubu, na levé straně tunelu

φ ($^{\circ}$)	$w(x), b2, f7$ (m)	$w(y), b2, f7$ (m)	$w(y), b1, f7$ (m)	$w(x), b4, f7$ (m)	$w(y), b4, f7$ (m)
24	-0,001460	-0,007066	-0,011653	0,002623	-0,000505
29	-0,002069	-0,004554	-0,009261	0,00125	0,000007
34	-0,002089	-0,003013	-0,007538	0,000427	0,000413
39	-0,002072	-0,002365	-0,006802	0,000058	0,000569
44	-0,002069	-0,002051	-0,006452	-0,000156	0,000644



Obr.30

Tabulka 18

φ (°)	w(x),b2,f3 (m)				φ (°)	w(y),b2,f3 (m)
24					24	
29	-0,00316				29	-0,004036
34	-0,002843				34	-0,002947
39					39	
44					44	
0,000634	-0,0049986				0,0002178	-0,0103522
φ (°)	w(y),b1,f3 (m)				φ (°)	w(x),b2,f7 (m)
24					24	
29	-0,00928				29	-0,002069
34	-0,007899				34	-0,002089
39					39	
44					44	
0,0002762	-0,0172898				-0,0000400	-0,00195300
φ (°)	w(y),b2,f7 (m)				φ (°)	w(y),b1,f7 (m)
24					24	
29	-0,004554				29	-0,009261
34	-0,003013				34	-0,007538
39					39	
44					44	
0,0003082	-0,0134918				0,0003446	-0,0192544
φ (°)	w(x),b4,f7 (m)				φ (°)	w(y),b4,f7 (m)
24					24	
29	0,00125				29	0,000007
34	0,000427				34	0,000413
39					39	
44					44	
-0,0001646	0,0060234				0,0000812	-0,0023478

Numerické deformace $\partial w/\partial \varphi$ posléze sestavíme do tab.19.

Tabulka 19

	$\partial w/\partial \varphi$
w(y),b1,f3	0,0002762
w(x),b2,f3	0,0000634
w(y),b2,f3	0,0002178
w(y),b1,f7	0,0003446
w(x),b2,f7	-0,00000400
w(y),b2,f7	0,0003082
w(x),b4,f7	-0,0001646
w(y),b4,f7	0,0000812

4) Variace w podle K . Derivace w podle K .

Z porovnání hodnot vypočtených v základním výpočtu s hodnotami in situ (tab.6) zjišťujeme, že boční tlak K ze základního výpočtu bude ve variovaných výpočtech zapotřebí výrazně zvětšit. Numerické derivace bude nutno vztáhnout k deformacím w pro tyto, bodu K_0 , výrazně vzdálené, hodnoty K .

To činí z variací w podle K úlohu poněkud odlišnou od ostatních variací, jak je patrné z „Tabulky 7: Seznam variovaných parametrů.“

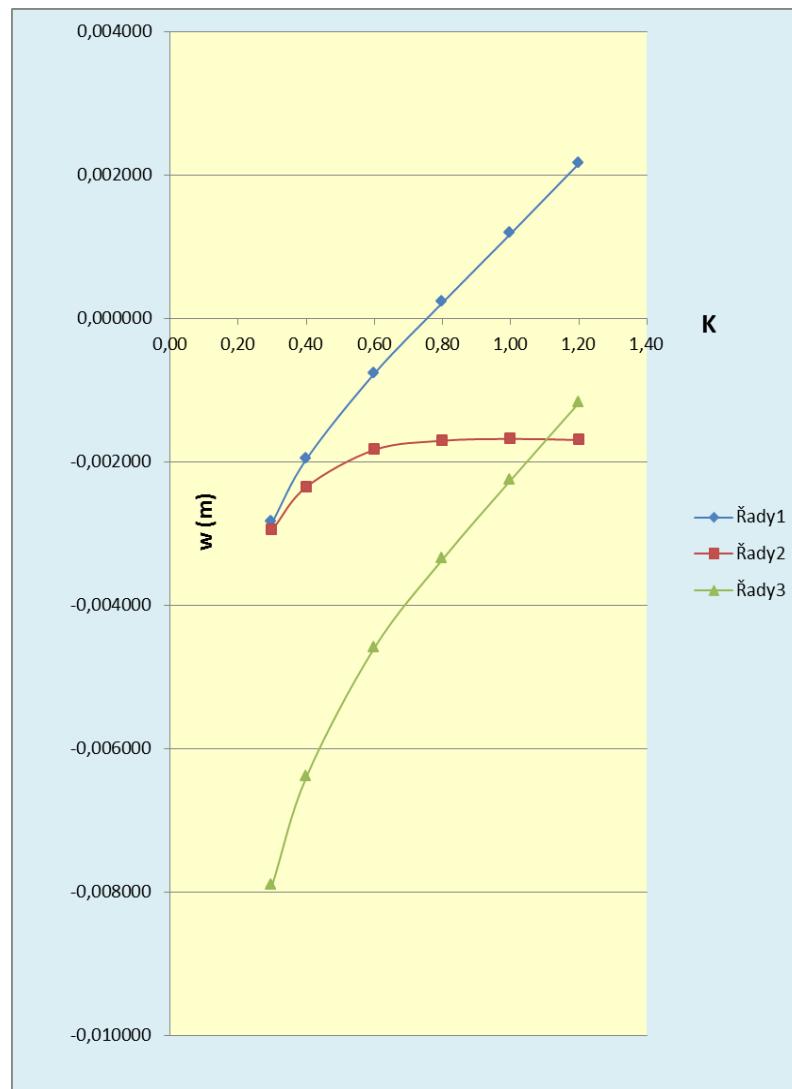
Postup výpočtu i jeho výsledky budeme, tak jako dříve, prezentovat pomocí tabulek a grafů. V tab.20 a tab.21 uvedeme deformace, vypočtené v místech měřičských bodů v základním a variovaných výpočtech. Tyto tabulky převedeme na grafy (obr.31, obr.32), vystihující funkční závislost w na K .

Pomocí těchto grafů, které dávají představu o tom, jak se funkce $f(K)$ chová v pravém okolí bodu K_0 , vypočteme v tab.22 numerické derivace $\partial w/\partial K$. (Připomínáme, že vyznat se v tab.22 znamená, seznámit se s Přílohou.) Tab.22 doplníme tab.23, která názorně ukazuje, kam jsou numerické derivace $\partial w/\partial K$ zaměřeny.

V tab.23 znázorňují modré křivky průběhy funkce $w = f(K)$ pro osm identifikačních kódů. Červená přímka je sečnou, námi stanovenou tak, aby se k modré křivce přibližovala v oblasti vysokých K .

Tabulka 20

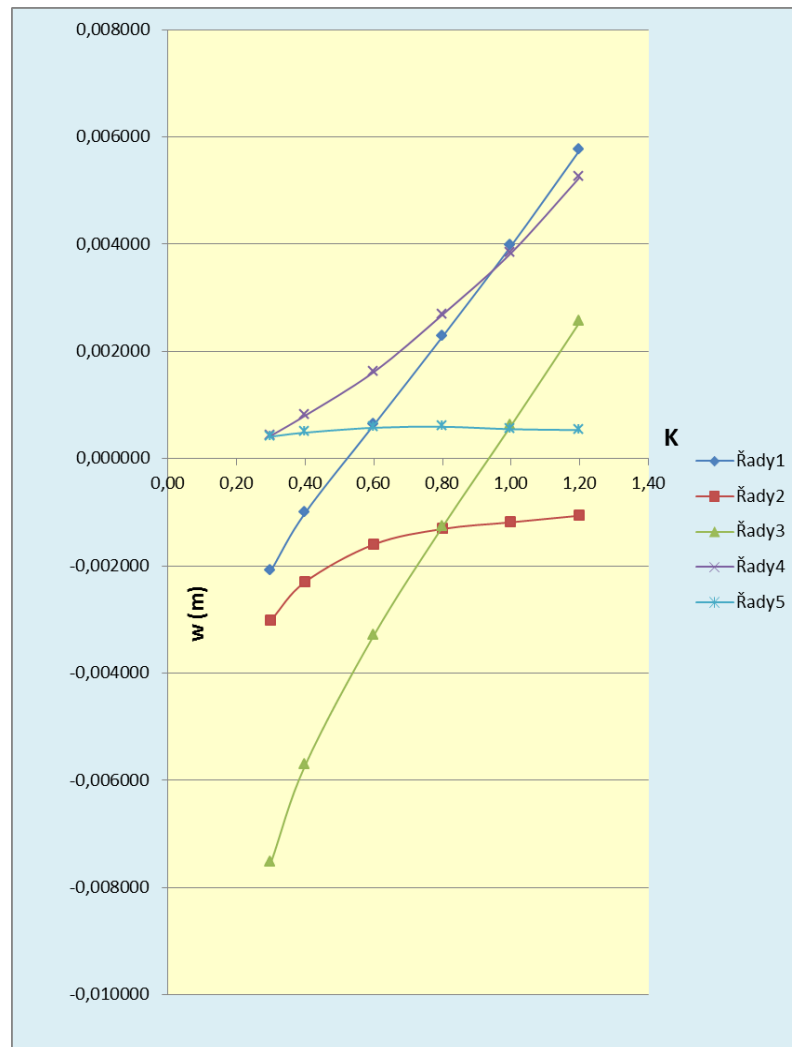
Deformace v měřičských bodech po třetí fázi výrubu, na levé straně tunelu			
K (-)	$w(x), b2, f3$ (m)	$w(y), b2, f3$ (m)	$w(y), b1, f3$ (m)
0,30	-0,002843	-0,002947	-0,007899
0,40	-0,001963	-0,002350	-0,006395
0,60	-0,000767	-0,001832	-0,004591
0,80	0,000221	-0,001705	-0,003359
1,00	0,001182	-0,001679	-0,002254
1,20	0,002157	-0,001695	-0,001118



Obr.31

Tabulka 21

Deformace v měřičských bodech po sedmé fázi výrubu, na levé straně tunelu					
K (-)	$w(x),b2,f7$ (m)	$w(y),b2,f7$ (m)	$w(y),b1,f7$ (m)	$w(x),b4,f7$ (m)	$w(y),b4,f7$ (m)
0,30	-0,002089	-0,003013	-0,007538	0,000427	0,000413
0,40	-0,001010	-0,002297	-0,005717	0,000804	0,000486
0,60	0,000631	-0,001598	-0,003294	0,001617	0,000577
0,80	0,002277	-0,001310	-0,001270	0,002687	0,000596
1,00	0,003971	-0,001185	0,000619	0,003838	0,000550
1,20	0,005759	-0,001062	0,002552	0,005251	0,000535

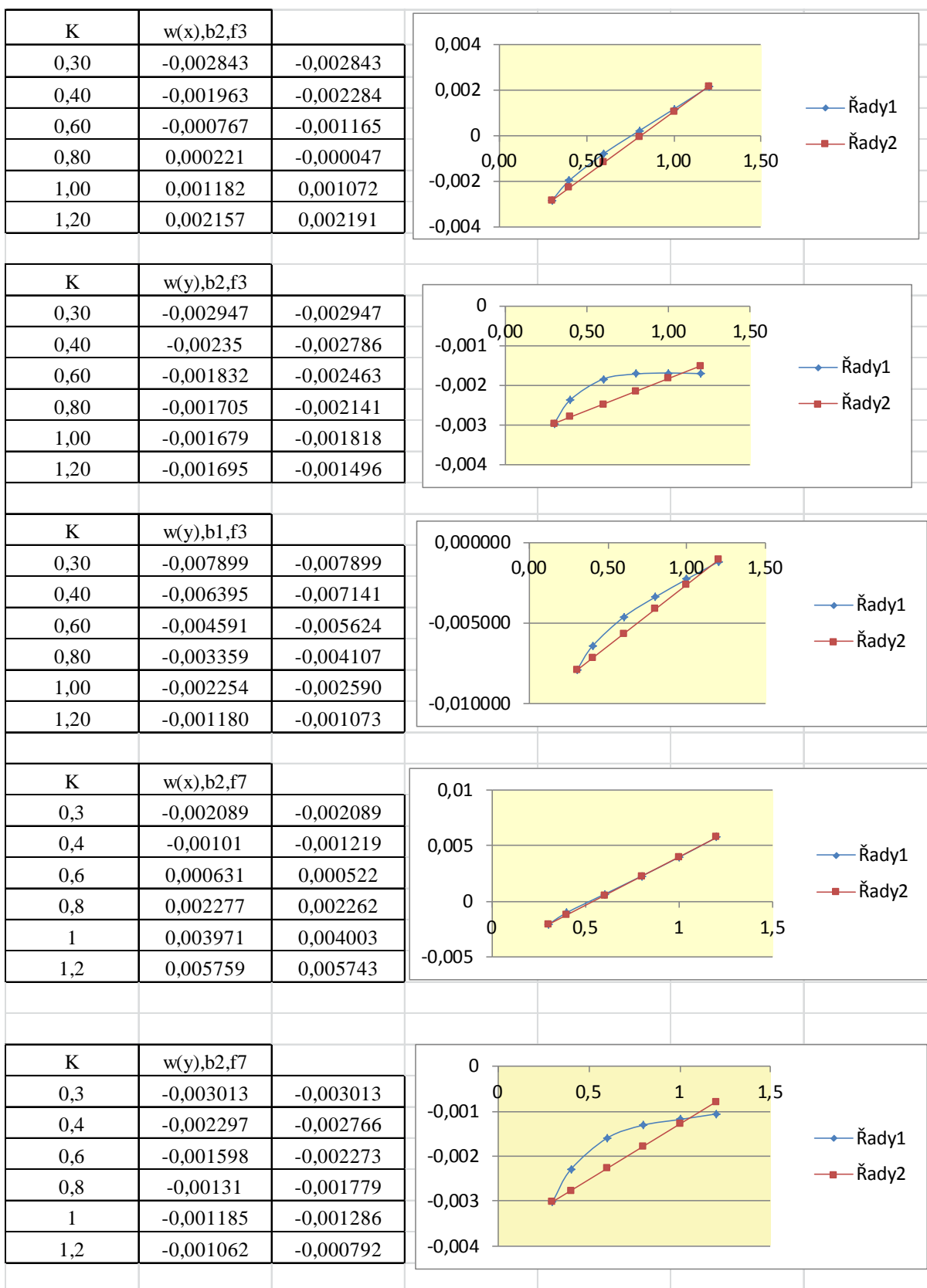


Obr.32

Tabulka 22

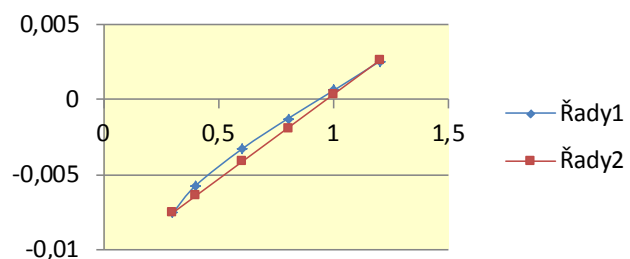
K	w(x),b2,f3				K	w(y),b2,f3
(-)	(m)				(-)	(m)
0,30	-0,002843				0,4	-0,00235
0,80	0,000221				0,6	-0,001832
1,00	0,001182				0,80	-0,001705
1,20	0,002157				0,00161250	-0,00292983
0,00559279	-0,00443480					
K	w(y),b1,f3				K	w(x),b2,f7
(-)	(m)				(-)	(m)
0,30	-0,007899				0,3	-0,002089
0,80	-0,003359				0,8	0,002277
1,00	-0,002254				1	0,003971
1,20	-0,00118				1,2	0,005759
0,00758436	-0,00993009				0,00870246	-0,00470003
K	w(y),b2,f7				K	w(y),b1,f7
(-)	(m)				(-)	(m)
0,4	-0,002297				0,3	-0,007538
0,6	-0,001598				0,8	-0,00127
0,8	-0,00131				1	0,000619
0,0024675	-0,0032155				1,2	0,002552
					0,01129503	-0,01072765
K	w(x),b4,f7				K	w(y),b4,f7
(-)	(m)				(-)	(m)
0,6	0,001617				0,4	0,000486
1	0,003838				0,8	0,000596
0,00555250	-0,00171450				0,00027500	0,00037600

Tabulka 23

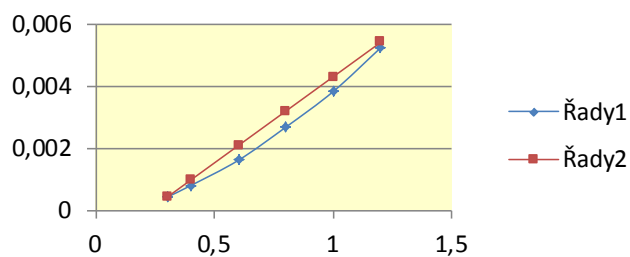


Tabulka 23 - pokračování

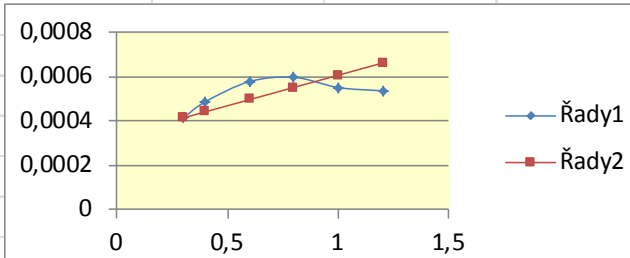
K	w(y),b1,f7	
0,3	-0,007538	-0,007538
0,4	-0,005717	-0,006408
0,6	-0,003294	-0,004149
0,8	-0,00127	-0,001890
1	0,000619	0,000369
1,2	0,002552	0,002628



K	w(x),b4,f7	
0,3	0,000427	0,000427
0,4	0,000804	0,000982
0,6	0,001617	0,002093
0,8	0,002687	0,003203
1	0,003838	0,004314
1,2	0,005251	0,005424



K	w(y),b4,f7	
0,3	0,000413	0,000413
0,4	0,000486	0,000441
0,6	0,000577	0,000496
0,8	0,000596	0,000551
1	0,00055	0,000606
1,2	0,000535	0,000661



Numerické deformace $\partial w/\partial K$ posléze sestavíme do tab.24

Tabulka 24

	$\partial w/\partial K$
w(y),b1,f3	0,00559279
w(x),b2,f3	0,00161250
w(y),b2,f3	0,00758436
w(y),b1,f7	0,00870246
w(x),b2,f7	0,00246750
w(y),b2,f7	0,01129503
w(x),b4,f7	0,00555250
w(y),b4,f7	0,00027500

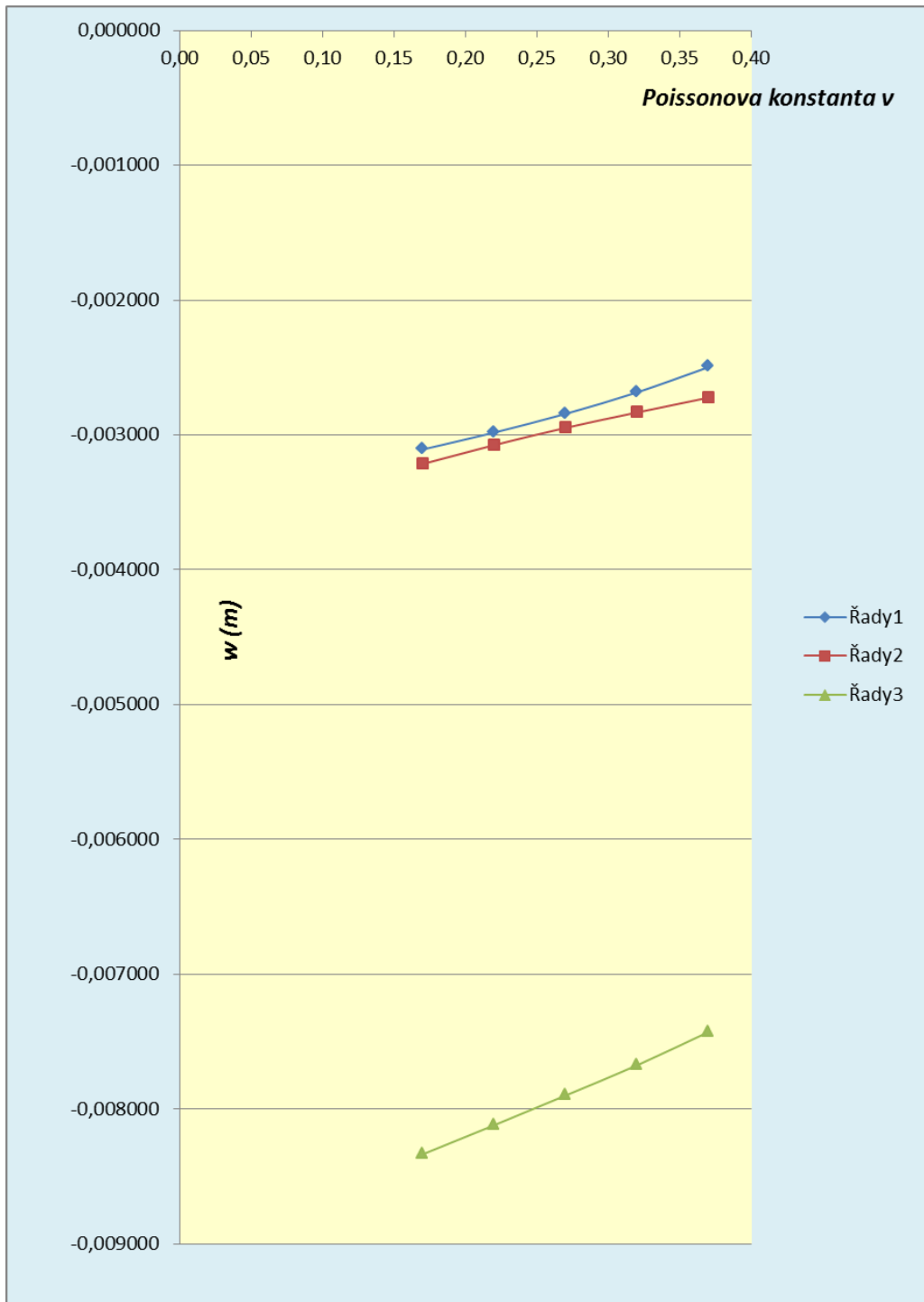
5) Variace w podle Poissonovy konstanty ν . Derivace w podle ν .

Postup výpočtu i jeho výsledky budeme prezentovat pomocí tabulek a grafů. V tab.25 a tab.26 uvedeme deformace, vypočtené v místech měřičských bodů v základním a variovaných výpočtech. Tyto tabulky převedeme na grafy (obr.33, obr.34), vystihující funkční závislost w na ν .

Pomocí těchto grafů, které dávají představu o tom, jak se funkce $f(\nu)$ v okolí bodu ν_0 chová, a se znalostí či předpokladem o tom, bude-li ν_0 při zpětné analýze zvětšováno či zmenšováno, vypočteme v tab.27 numerické derivace $\partial w/\partial \nu$. (Připomínáme, že vyznat se v tab.27 znamená, seznámit se s Přílohou.)

Tabulka 25

Deformace v měřičských bodech po třetí fázi výrubu, na levé straně tunelu				
	ν (-)	$w(x),b2,f3$ (m)	$w(y),b2,f3$ (m)	$w(y),b1,f3$ (m)
	0,17	-0,003107	-0,003215	-0,008335
	0,22	-0,002982	-0,003075	-0,008119
	0,27	-0,002843	-0,002947	-0,007899
	0,32	-0,002684	-0,002833	-0,007675
	0,37	-0,002497	-0,002723	-0,007428

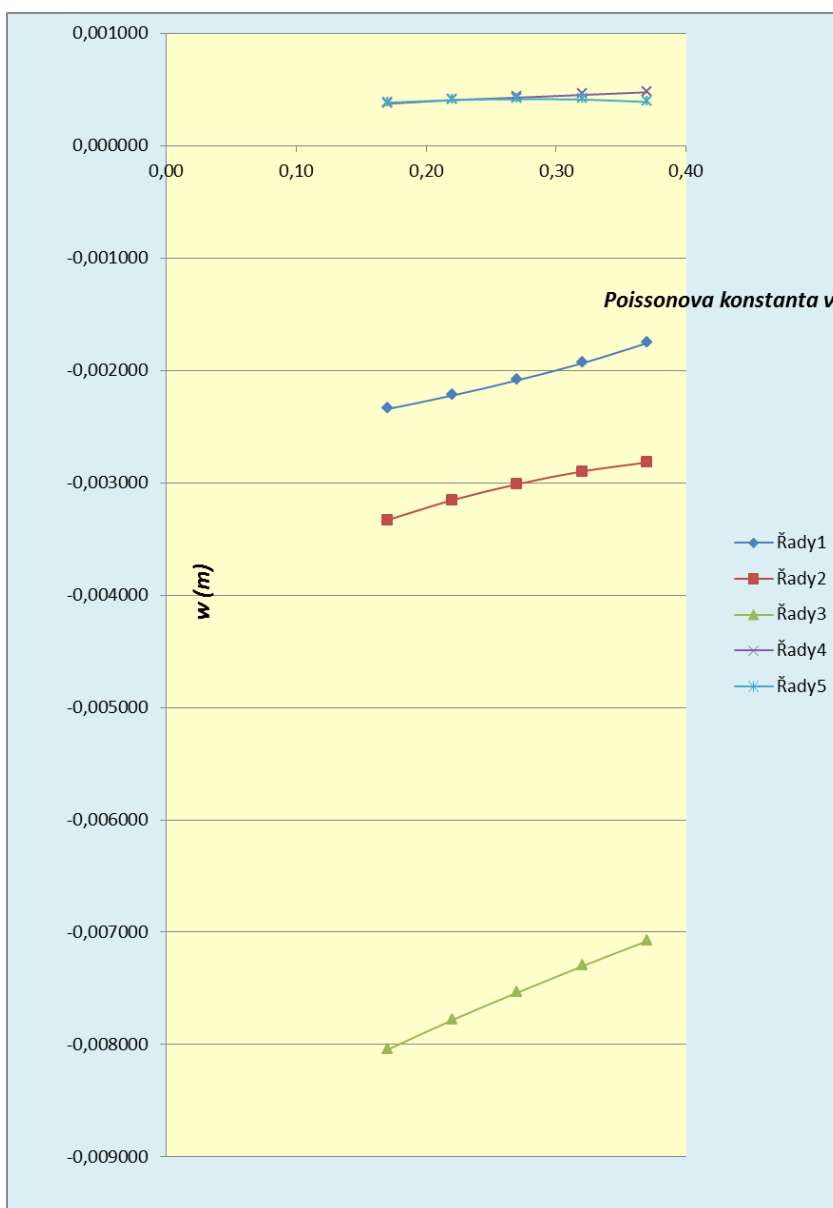


Obr.33

Tabulka 26

Deformace v měřičských bodech po sedmé fázi výrubu, na levé straně tunelu

ν (-)	$w(x), b2, f7$ (m)	$w(y), b2, f7$ (m)	$w(y), b1, f7$ (m)	$w(x), b4, f7$ (m)	$w(y), b4, f7$ (m)
0,17	-0,002345	-0,003333	-0,008046	0,000372	0,000382
0,22	-0,002224	-0,003155	-0,007782	0,000405	0,000405
0,27	-0,002089	-0,003013	-0,007538	0,000427	0,000413
0,32	-0,001937	-0,002899	-0,007303	0,000451	0,000410
0,37	-0,001758	-0,002819	-0,007078	0,000475	0,000388



Obr.34

Tabulka 27

v	w(x),b2,f3			v	w(y),b2,f3
(-)	(m)			(-)	(m)
0,17	-0,003107			0,17	-0,003215
0,22	-0,002982			0,22	-0,003075
0,27	-0,002843			0,27	-0,002947
0,32	-0,002684			0,32	-0,002833
0,37	-0,002497			0,37	-0,002723
0,00298000	-0,00364093			0,00242000	-0,00360507
v	w(y),b1,f3			v	w(x),b2,f7
(-)	(m)			(-)	(m)
0,17	-0,008335			0,17	-0,002345
0,22	-0,008119			0,22	-0,002224
0,27	-0,007899			0,27	-0,002089
0,32	-0,007675			0,32	-0,001937
0,37	-0,007428			0,37	-0,001758
0,00444000	-0,00909647			0,00287000	-0,00285823
v	w(y),b2,f7			v	w(y),b1,f7
(-)	(m)			(-)	(m)
0,17	-0,003333			0,17	-0,008046
0,22	-0,003155			0,22	-0,007782
0,27	-0,003013			0,27	-0,007538
0,32	-0,002899			0,32	-0,007303
0,37	-0,002819			0,37	-0,007078
0,00256000	-0,00371353			0,00479000	-0,00883430
v	w(x),b4,f7			v	w(y),b4,f7
(-)	(m)			(-)	(m)
0,17	0,000372			0,17	0,000382
0,22	0,000405			0,22	0,000405
0,27	0,000427			0,27	0,000413
0,32	0,000451			0,32	0,00041
0,37	0,000475			0,37	0,000388
0,00046000	0,00030347			0,00005000	0,00039583

Numerické deformace $\partial w/\partial v$ posléze sestavíme do tab.28.

Tabulka 28

	$\partial w/\partial v$
w(y),b1,f3	0,00444000
w(x),b2,f3	0,00298000
w(y),b2,f3	0,00242000
w(y),b1,f7	0,00479000
w(x),b2,f7	0,00287000
w(y),b2,f7	0,00256000
w(x),b4,f7	0,00046000
w(y),b4,f7	0,00005000

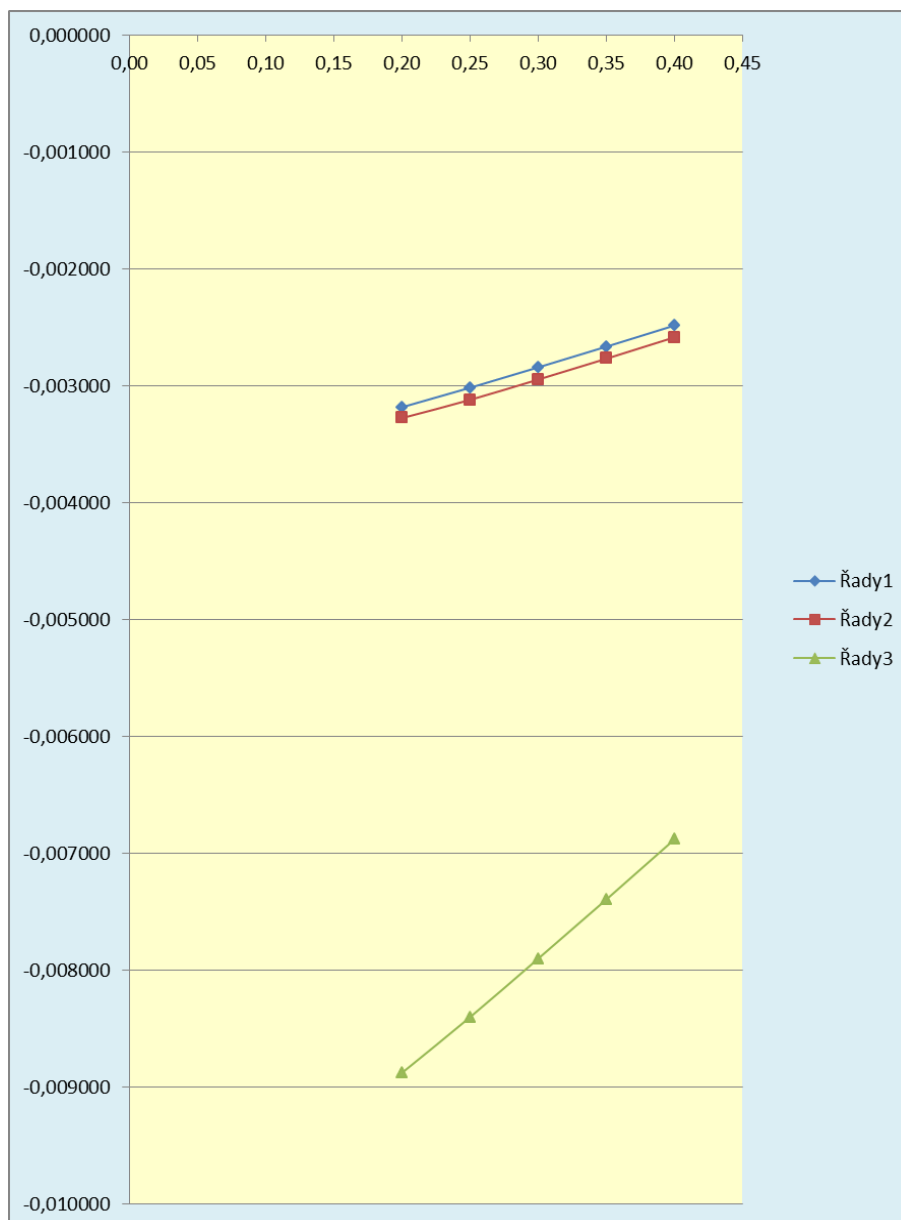
6) Variace w podle vydechnutí P . Derivace w podle P .

Postup výpočtu i jeho výsledky budeme prezentovat pomocí tabulek a grafů. V tab.29 a tab.30 uvedeme deformace, vypočtené v místech měřičských bodů v základním a variovaných výpočtech. Tabulky převedeme na grafy (obr.35, obr.36), vystihující funkční závislost w na P .

Pomocí těchto grafů, které dávají představu o tom, jak se funkce $f(P)$ v okolí bodu P_o chová, a se znalostí či předpokladem o tom, bude-li P_o při zpětné analýze zvětšováno či zmenšováno, vypočteme v tab.31 numerické derivace $\partial w/\partial P$. (Připomínáme, že vyznat se v tab.31 znamená, seznámit se s Přílohou.)

Tabulka 29

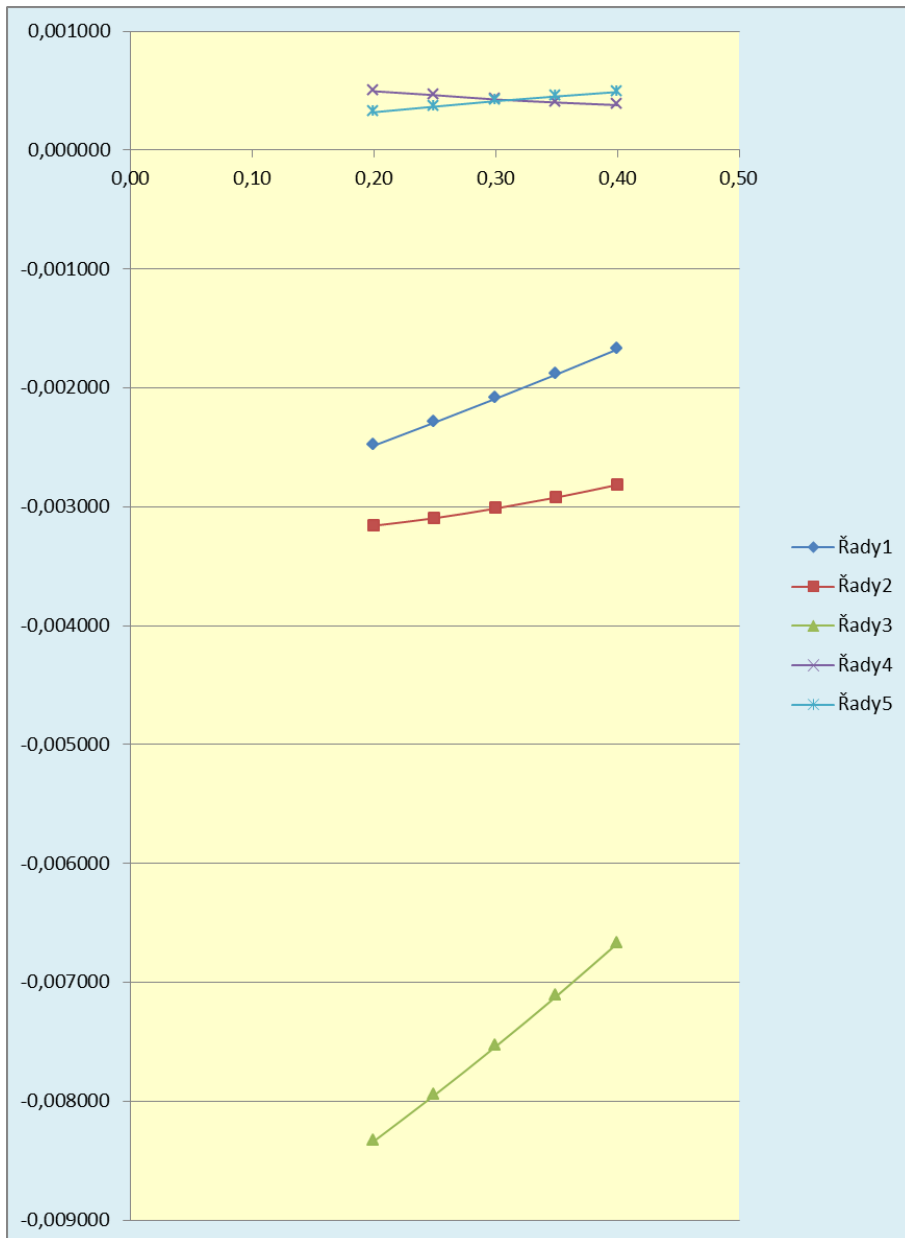
Deformace v měřičských bodech po třetí fázi výrubu, na levé straně tunelu				
	P	$w(x),b2,f3$	$w(y),b2,f3$	$w(y),b1,f3$
	(-)	(m)	(m)	(m)
	0,20	-0,003184	-0,003277	-0,008876
	0,25	-0,003017	-0,003121	-0,008399
	0,30	-0,002843	-0,002947	-0,007899
	0,35	-0,002666	-0,002769	-0,007393
	0,40	-0,002485	-0,002586	-0,006879



Obr.35

Tabulka 30

Deformace v měřičských bodech po sedmé fázi výrubu, na levé straně tunelu					
P (-)	$w(x), b2, f7$ (m)	$w(y), b2, f7$ (m)	$w(y), b1, f7$ (m)	$w(x), b4, f7$ (m)	$w(y), b4, f7$ (m)
0,20	-0,002484	-0,003158	-0,008334	0,000496	0,000320
0,25	-0,002289	-0,003094	-0,007945	0,000463	0,000367
0,30	-0,002089	-0,003013	-0,007538	0,000427	0,000413
0,35	-0,001885	-0,002920	-0,007114	0,000401	0,000453
0,40	-0,001674	-0,002814	-0,006670	0,000379	0,000490



Obr.36

Tabulka 31

P	w(x),b2,f3			P	w(y),b2,f3
(-)	(m)			(-)	(m)
0,20				0,20	
0,25	-0,003017			0,25	-0,003121
0,30	-0,002843			0,30	-0,002947
0,35	-0,002666			0,35	-0,002769
0,40	-0,002485			0,40	-0,002586
0,00354600	-0,00390520			0,00356600	-0,00401470
P	w(y),b1,f3			P	w(x),b2,f7
(-)	(m)			(-)	(m)
0,20				0,20	
0,25	-0,008399			0,25	-0,002289
0,30	-0,007899			0,30	-0,002089
0,35	-0,007393			0,35	-0,001885
0,40	-0,006879			0,40	-0,001674
0,01013200	-0,01093540			0,00409800	-0,00331610
P	w(y),b2,f7			P	w(y),b1,f7
(-)	(m)			(-)	(m)
0,20				0,20	
0,25	-0,003094			0,25	-0,007945
0,30	-0,003013			0,30	-0,007538
0,35	-0,00292			0,35	-0,007114
0,40	-0,002814			0,40	-0,00667
0,00186600	-0,00356670			0,00849800	-0,01007860
P	w(x),b4,f7			P	w(y),b4,f7
(-)	(m)			(-)	(m)
0,20				0,20	
0,25	0,000463			0,25	0,000367
0,30	0,000427			0,30	0,000413
0,35	0,000401			0,35	0,000453
0,40	0,000379			0,40	0,00049
-0,00055600	0,00059820			0,00081800	0,00016490

Numerické deformace $\partial w/\partial P$ posléze sestavíme do tab.32.

Tabulka 32

	$\partial w/\partial P$
w(y),b1,f3	0,01013200
w(x),b2,f3	0,00354600
w(y),b2,f3	0,00356600
w(y),b1,f7	0,00849800
w(x),b2,f7	0,00409800
w(y),b2,f7	0,00186600
w(x),b4,f7	-0,00055600
w(y),b4,f7	0,00081800

• **Když jsou variované výpočty u konce**, máme k dispozici vše, co potřebujeme k sestavení matice základního seznamu. Sestavíme ji tak, že tabulky 11,15,19,24,28,32 uspořádáme do jediné tabulky 33. Poslední sloupec této tabulky je sloupcovou maticí zatížení, neboli levou stranou rovnice (8).

Tabulka 33

MATICE ZÁKLADNÍHO SEZNAMU. SLOUPCOVÁ MATICE ZATÍŽENÍ								
Číslo rovnice		$\partial w/\partial E$	$\partial w/\partial c$	$\partial w/\partial \phi$	$\partial w/\partial K$	$\partial w/\partial v$	$\partial w/\partial P$	In situ-stat. výp.
1	w(y),b1,f3	2,47400E-08	3,50500E-05	2,76200E-04	7,58436E-03	4,44000E-03	1,01320E-02	0,000399
2	w(x),b2,f3	1,18400E-08	1,68500E-05	6,34000E-05	5,59279E-03	2,98000E-03	3,54600E-03	0,004343
3	w(y),b2,f3	1,11400E-08	1,96500E-05	2,17800E-04	1,61250E-03	2,42000E-03	3,56600E-03	-0,000553
4	w(y),b1,f7	2,25400E-08	3,47500E-05	3,44600E-04	1,12950E-02	4,79000E-03	8,49800E-03	-0,002962
5	w(x),b2,f7	8,50000E-09	8,25000E-06	-4,00000E-06	8,70246E-03	2,87000E-03	4,09800E-03	0,009089
6	w(y),b2,f7	1,09400E-08	2,29500E-05	3,08200E-04	2,46750E-03	2,56000E-03	1,86600E-03	-0,001987
7	w(x),b4,f7	-1,94000E-09	-2,28000E-05	-1,64600E-04	5,55250E-03	4,60000E-04	-5,56000E-04	-0,000427
8	w(y),b4,f7	-1,90000E-09	5,45000E-06	8,12000E-05	2,75000E-04	5,00000E-05	8,18000E-04	-0,003913

• **Pomocí matice základního seznamu** můžeme sestavit $K(8,6) = 28$ kombinací soustav rovnic 6×6 , jejichž řešením můžeme stanovit 28 vektorů $dif_i = [difK_{oi}, difE_{oi}, difv_{oi}, difc_{oi}, dif\phi_{oi}, difP_{oi}]$. Kombinace jsou uvedeny v tab.34. My se spokojíme s vyřešením deseti soustav (těch, které v tab.34 leží na žluté barvě). Výsledky obsahuje tabulka 35.

Tabulka 34

SEZNAM KOMBINACÍ ROVNIC ZÁKLADNÍHO SEZNAMU						
Kombinace:	Je tvořena rovnicemi o těchto číslech (viz matici základního seznamu)					
1	1	2	3	4	5	6
2	7	2	3	4	5	6
3	1	7	3	4	5	6
4	1	2	7	4	5	6
5	1	2	3	7	5	6
6	1	2	3	4	7	6
7	1	2	3	4	5	7
8	8	2	3	4	5	6
9	1	8	3	4	5	6
10	1	2	8	4	5	6
11	1	2	3	8	5	6
12	1	2	3	4	8	6
13	1	2	3	4	5	8
14	7	8	3	4	5	6
15	1	7	8	4	5	6
16	1	2	7	8	5	6
17	1	2	3	7	8	6
18	1	2	3	4	7	8
19	7	2	8	4	5	6
20	1	7	3	8	5	6
21	1	2	7	4	8	6
22	1	2	3	7	5	8
23	8	2	3	4	7	6
24	7	2	3	8	5	6
25	1	7	3	4	8	6
26	1	2	7	4	5	8
27	7	2	3	4	5	8
28	1	7	3	4	5	8

Tabulka 35: Výsledky řešení deseti soustav lineárních rovnic

Kombinace:	$difE_{oi}$	$difc_{oi}$	$dif\phi_{oi}$	$difK_{oi}$	$difv_{oi}$	$difP_{oi}$
1	8,50E+06	-5,66E+03	98,7	-1,51	7,589	-6,02
3	4,94E+05	750,29	-98,7	-0,43	4,749	-2,83
4	-3,10E+06	96,48	-19,5	-2,11	13,439	3,50
5	-1,73E+06	486,33	-24,0	0,41	3,82	1,24
8	-2,76E+06	-755,84	-3,4	-0,57	8,41	-0,37
9	-1,90E+05	1,30E+03	-115,6	-0,34	4,51	-2,56
10	-4,77E+05	-1,21E+03	7,2	-1,97	12,12	1,34
11	1,88E+05	-663,22	-1,0	0,05	4,53	-0,12
12	5,15E+05	219,20	-39,8	-0,39	0,97	-1,03
13	-2,23E+05	-686,94	-19,0	-0,96	7,18	1,05
Průměr	1,22E+05	-612,00	-21,00	-0,78	6,73	-0,58

Výsledek					
$E+difE_{průměr}$	$c+difc_{průměr}$	$\phi+dif\phi_{průměr}$	$K+difK_{průměr}$	$v+difv_{průměr}$	$P+difP_{průměr}$
3,97E+05	-532	13	-0,48	7,0	-0,28

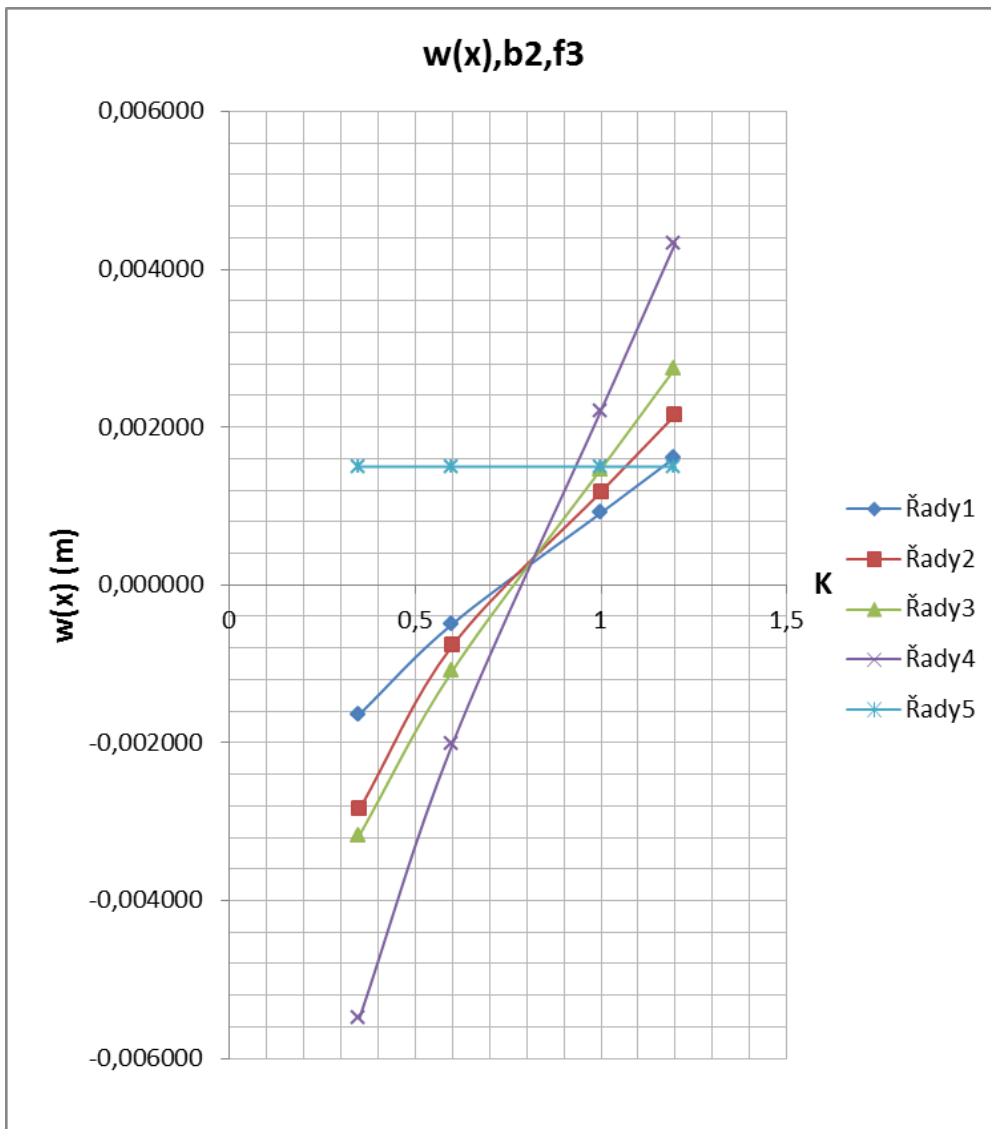
Výsledky jsou absurdní, mimo realitu, a otázka zní proč. Může to být zaviněno deficitem kompatibility výpočetního modelu a stavu in natura. Povšimli jsme si ale také (viz 5.2.2), že existuje výrazný nesoulad mezi vypočtenými a naměřenými vodorovnými deformacemi měřičských bodů v bocích kaloty (v měřičských bodech 2,3). Ty se ve výpočtu posouvají do hory, zatímco podle měření se mají posouvat do výrubu. Zdá se, že geotechnické parametry výpočtu a in natura jsou od sebe příliš vzdáleny a že se tato vzdálenost nedá překonat pomocí derivací, se kterými pracuje metoda přímého výpočtu.

Proto podrobíme základní výpočet výpočtu opravnému, kterým základní výpočet přiblížíme poměrům in situ. V opravném výpočtu bude pozměněn modul pružnosti E a koeficient bočního tlaku K tak, aby vodorovné deformace v měřičském bodě 2 odpovídaly naměřeným hodnotám jak po vyražení kaloty, tak po vyražení opěří. Pozměněné E a K musíme ovšem nejprve stanovit. Provedeme to metodou průsečíků stop vrstevnic. Jak metoda funguje, bylo vysvětleno v kap.4 „Metoda průsečíků stop vrstevnic“. Proto v následujícím odstavci toliko za sebe seřadíme mezivýsledky a konečný výsledek aplikace metody.

• Výpočet pozměněných E a K metodou průřezů stop vrstevnic

Tabulka 36: Závislost $w(x), b_2, f_3$ na modulu pružnosti E a koeficientu bočního tlaku K .

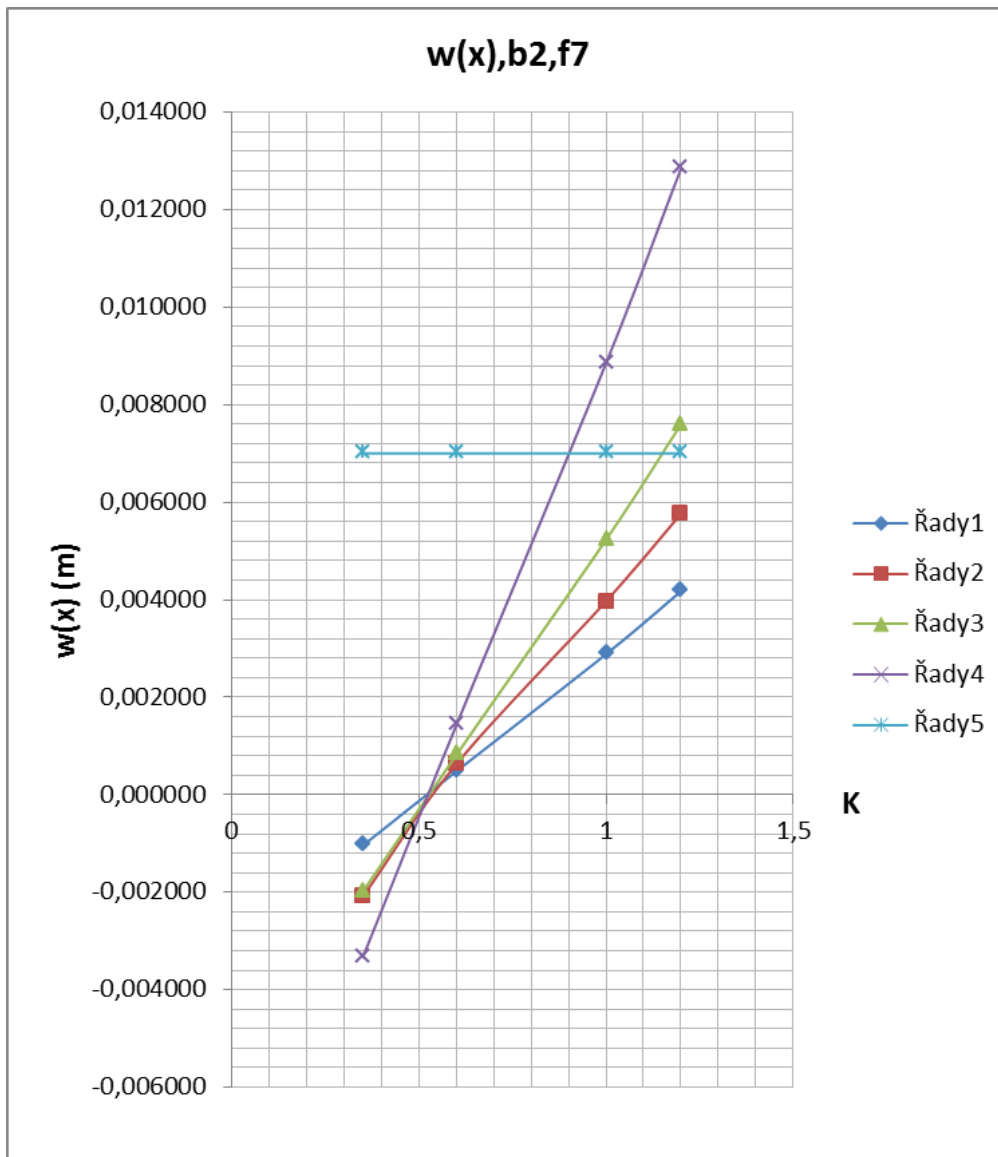
	$E=400$	$E=275$	$E=200$	$E=110$	
K	$w(x), b_2, f_3$	$w(x), b_2, f_3$	$w(x), b_2, f_3$	$w(x), b_2, f_3$	$w(x), b_2, f_3, \text{ in situ}$
0,35	-0,001638	-0,002843	-0,003173	-0,005489	0,0015
0,6	-0,000493	-0,000767	-0,001088	-0,002015	0,0015
1,00	0,000916	0,001182	0,001470	0,002213	0,0015
1,20	0,001620	0,002157	0,002751	0,004335	0,0015



Obr.37: grafické zpracování tab.36

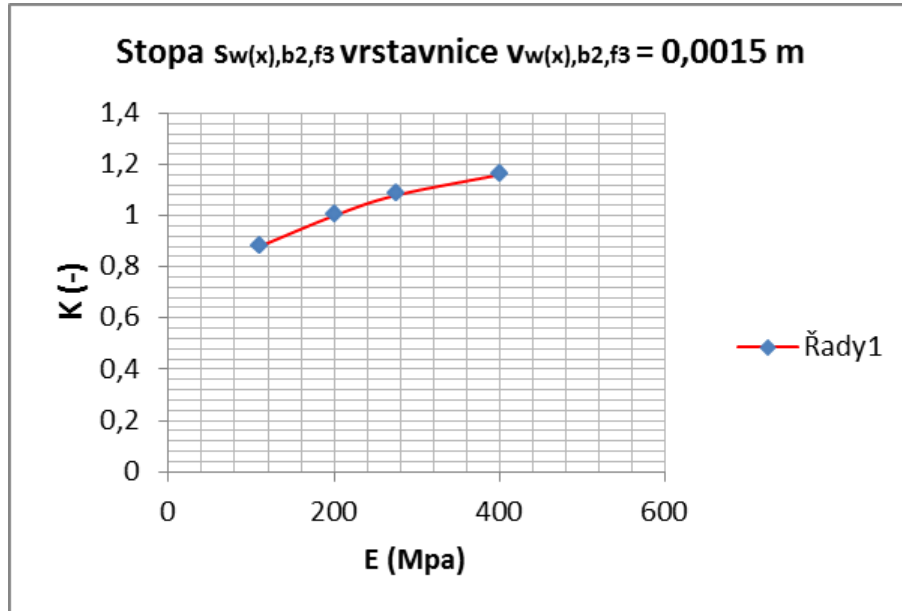
Tabulka 37: Závislost $w(x), b_2, f_7$ na modulu pružnosti E a koeficientu bočního tlaku K .

	E=400	E=275	E=200	E=110	
K	$w(x), b_2, f_7$	$w(x), b_2, f_7$	$w(x), b_2, f_7$	$w(x), b_2, f_7$	$w(x), b_2, f_7, \text{in situ}$
0,35	-0,001040	-0,002089	-0,001983	-0,003329	0,0070
0,60	0,000481	0,000631	0,000820	0,001432	0,0070
1,00	0,002885	0,003971	0,005232	0,008853	0,0070
1,20	0,004171	0,005759	0,007594	0,012837	0,0070



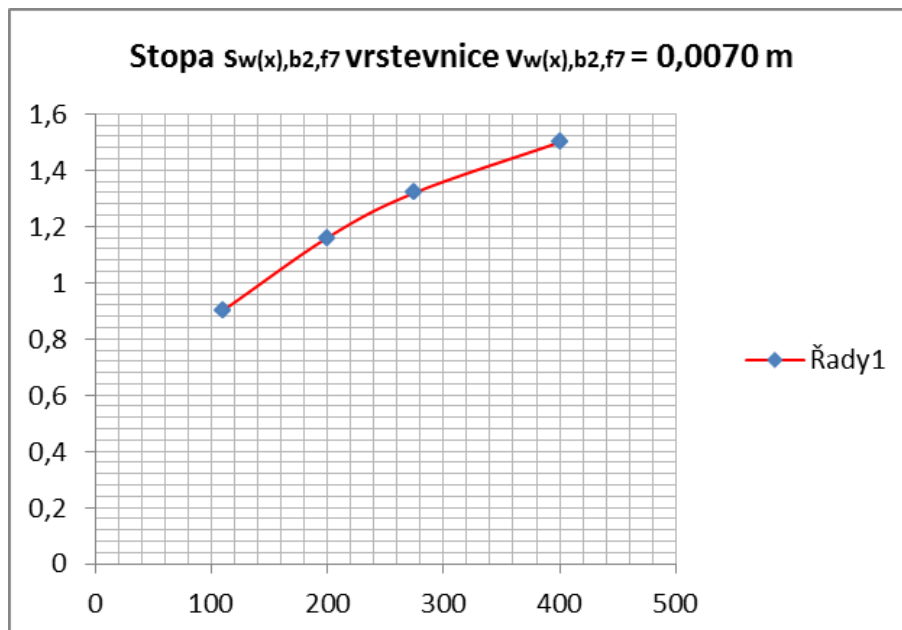
Obr.38: grafické zpracování tab.37

E	K
400	1,16
275	1,08
200	1
110	0,88



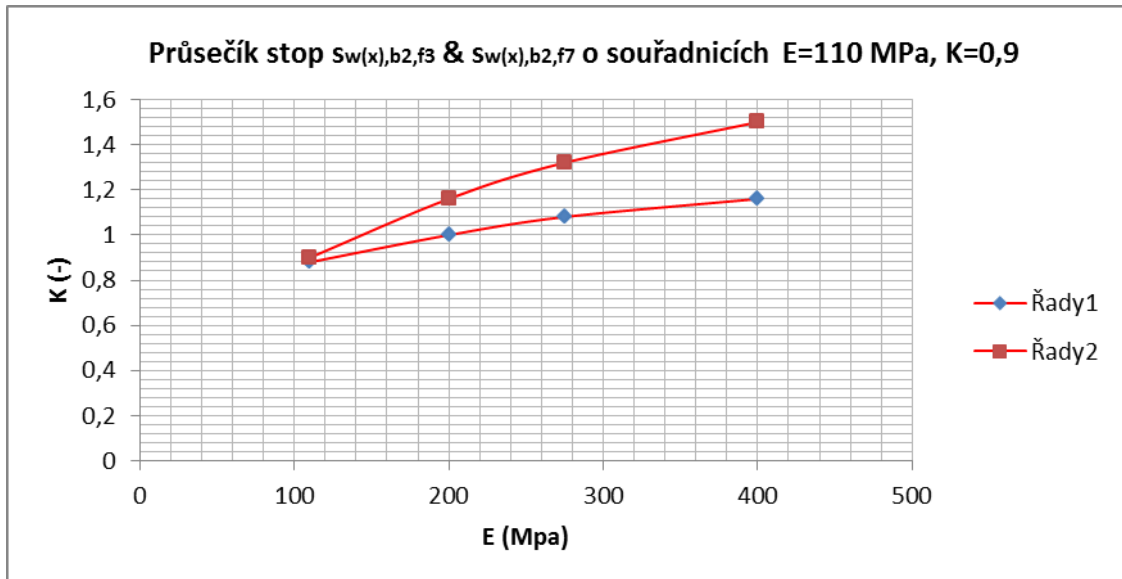
Obr.39

E	K
400	1,5
275	1,32
200	1,16
110	0,9



Obr.40

	w(x),b2,f3	w(x),b2,f7
E	K	K
400	1,16	1,5
275	1,08	1,32
200	1	1,16
110	0,88	0,9



Obr.41: Pozměněné hodnoty E a K leží v průsečíku stop $s_{w(x),b2,f3}$ a $s_{w(x),b2,f7}$.

Pozměněné hodnoty E , K , vyhovující požadavku na shodu vypočtených a naměřených hodnot vodorovných deformací v bocích kaloty (v měřičském bodě 2) jak po vyražení kaloty, tak po vyražení opěří, byly tedy stanoveny takto: $E = 110$ MPa, $K = 0,9$.

• Opravný výpočet

Výpočet, opravný k výpočtu základnímu a jeho výpočtům variovaným, provedeme s geotechnickými parametry podle tabulky 38. Ta se od tabulky 7 liší toliko v řádcích, týkajících se E a K .

Tabulka 38: Seznam variovaných parametrů

	Variace		Základní výpočet	Variace			
E [MPa]		60	110	160	210		
ν [-]	0,17	0,22	0,27	0,32	0,37		
c [kPa]	40	60	80	100	120		
ϕ [°]	24	29	34	39	44		
K [-]	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3		
P [-]	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4		

Opravný výpočet kopíruje postup při výpočtu základním a jeho výpočtů variovaných. Sblížení vodorovných posuvů opravného základního výpočtu a měření in situ je patrné v tab.39 ve žlutých řádcích. Matici opraveného základního seznamu včetně sloupcové matice zatížení nalézáme v tab. 40.

Tabulka 39: opravený základní výpočet

Identifikační kód	W(opr.zákl.výp.)	w(in situ)
w(y),b1,f3	-0,004026	-0,0075
w(x),b2,f3	0,001168	0,0015
w(y),b2,f3	-0,003528	-0,0035
w(y),b1,f7	0,001836	-0,0105
w(x),b2,f7	0,006959	0,007
w(y),b2,f7	-0,002334	-0,005
w(x),b4,f7	0,007539	0
w(y),b4,f7	0,001361	-0,0035

Tabulka 40: Matice opraveného základního seznamu. Sloupcová matice zatížení.

Číslo rovnice	Identifikační kód	$\partial w/\partial E$	$\partial w/\partial c$	$\partial w/\partial \phi$	$\partial w/\partial K$	$\partial w/\partial v$	$\partial w/\partial P$	In situ-stat. výp.
1	w(y),b1,f3	2,07E-08	1,14000E-05	1,14300E-04	1,25175E-02	3,04000E-03	5,38400E-03	0,000399
2	w(x),b2,f3	-6,36E-09	-6,35000E-06	-4,93000E-05	1,04950E-02	6,61000E-03	-1,82400E-03	0,004343
3	w(y),b2,f3	3,246E-08	1,58750E-05	1,48800E-04	5,35000E-04	-2,03000E-03	4,74400E-03	-0,000553
4	w(y),b1,f7	-3,976E-08	2,70000E-06	2,22300E-04	2,12525E-02	-6,09000E-03	4,58600E-03	-0,002962
5	w(x),b2,f7	-7,005E-08	-2,23000E-05	-1,59100E-04	1,88850E-02	5,56000E-03	-1,53800E-03	0,009089
6	w(y),b2,f7	1,985E-08	1,29500E-05	2,43600E-04	1,76000E-03	-9,89000E-03	3,97800E-03	-0,001987
7	w(x),b4,f7	-7,623E-08	-7,04500E-05	-5,52700E-04	1,35725E-02	-5,70000E-04	-8,07400E-03	-0,000427
8	w(y),b4,f7	-1,424E-08	4,35000E-06	1,07600E-04	-5,3250E-04	-4,69000E-03	3,70200E-03	-0,003913

Tabulka 41: Výsledky řešení deseti soustav lineárních rovnic

Kombinace:	$difE_{oi}$	$difc_{oi}$	$dif\phi_{oi}$	$difK_{oi}$	$difv_{oi}$	$difP_{oi}$
1	2,42E+05	-1,88E+04	1484,0	-12,77	20,431	24,83
3	6,51E+05	27090,00	-2486,0	20,76	-34,209	-34,11
4	4,83E+04	24160,00	-2259,0	16,70	-30,894	-25,41
5	5,30E+05	27190,00	-2446,0	20,61	-34,448	-36,81
8	-3,14E+05	-10150,00	947,3	-8,08	13,513	13,12
9	8,00E+04	-1,52E+03	144,9	-1,36	2,209	1,11
10	-4,20E+05	-1,38E+04	1252,0	-11,40	19,143	19,38
11	1,10E+05	-40,24	8,5	-0,21	0,322	-0,72
12	7,77E+04	332,69	-28,8	-0,05	-0,183	-0,81
13	1,03E+05	-59,66	12,8	-0,24	0,341	-0,82
Průměr	1,11E+05	3440,00	-337,00	2,40	-4,38	-4,02

Výsledek					
$E+difE_{průměr}$	$c+difc_{průměr}$	$\phi+dif\phi_{průměr}$	$K+difK_{průměr}$	$v+difv_{průměr}$	$P+difP_{průměr}$
2,21E+05	3520	57	3,30	-4,11	-3,7

Výsledky opravného výpočtu jsou, stejně jako výsledky výpočtu původního, absurdní, zcela neuspokojivé. Nyní však příčinu nutno hledat na jiném místě nežli v předchozím případě základního výpočtu, kde jsme konstatovali, že geotechnické parametry výpočtu a in natura jsou od sebe příliš vzdáleny a že se tato vzdálenost nedá překonat pomocí derivací, se kterými pracuje metoda přímého výpočtu. Toto jsme opravným výpočtem změnili a to, co výsledky výpočtu nabízejí nyní, je důsledek nekompatibility výpočetního modelu a stavu in natura. Nalezneme ji, když srovnáme údaje v modrých rádcích tabulky 39. Zjistíme, že během ražby se ostění ve výpočtu nadzvedává, zatímco podle měření in situ musí poklesávat. To je zásadní nekompatibilita modelu a stavu in natura. Model se chová jinak než příroda (chová se „opačně“). A nedá se to překonat nalezením přijatelných hodnot kvazipravých geotechnických parametrů.

6. Důsledky

V předchozích částech tohoto dokumentu jsme ukázali, že pravé geotechnické parametry postupy zpětné analýzy nalézt nelze. Ukázali jsme, že metoda postupného přiblížení a metoda průsečíků stop vrstevnic vyhledávají nesprávné geotechnické parametry, zatímco metoda přímého výpočtu nalézá kvazipravé geotechnické parametry. V obou případech se nejedná o jeden (tedy jednoznačný) soubor geotechnických parametrů nýbrž o několik souborů (tedy nejednoznačný údaj) geotechnických parametrů. To je situace, která nás opravňuje k zaujetí následujícího stanoviska:

Když pravé geotechnické parametry najít neumíme, tak je nehledejme. Hledejme to, co najít umíme, totiž shodu mezi vypočtenými a naměřenými deformacemi. Tedy to, co ve skutečnosti děláme již nyní, pomocí metody postupného vyhledání. Doprovázíme to ale fiktivní představou i tvrzením, že přitom sblížíme horninové prostředí výpočtu s horninovým prostředím přírody. To se ale, jak jsme v tomto pojednání prokázali, nezakládá na pravdě.

S mnohoznačností zjistitelných geotechnických parametrů se vypořádáváme tak, že jeden údaj adoptujeme, ostatní ignorujeme. O adoptovaném údaji říkáme, že je to ten pravý, ačkoliv není.

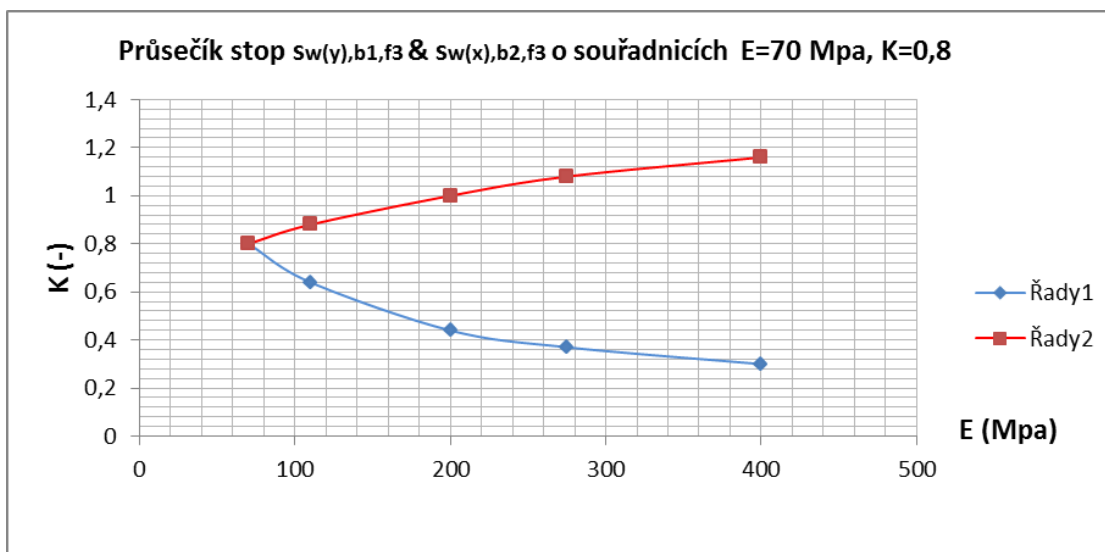
Zavedeme *pojem míry sblížení*. Řekneme, že *míra sblížení je rovna celému číslu q (např. 2), když v jednom ukončeném výpočtu (=po průchodu výpočtu všemi fázemi ražby) dosáhneme v deformacích shody výpočtu s q měřeními in situ.*

U metody postupného vyhledání a metody průsečíků stop vrstevnic bývá míra sblížení 2, u metody přímého výpočtu je míra sblížení 6.

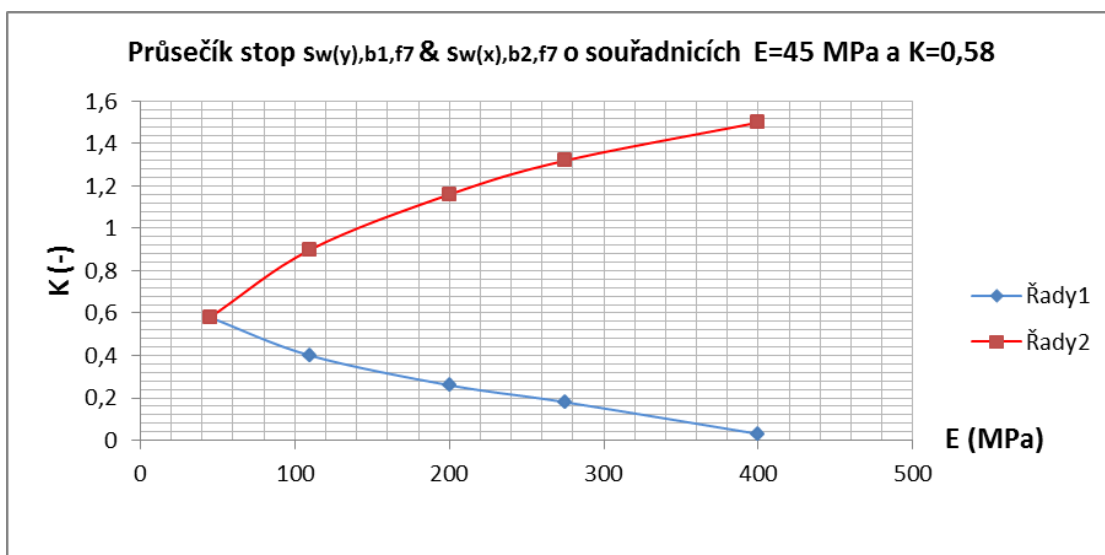
Význam dosažení alespoň částečné deformační shody zdůvodňujeme takto: lze očekávat, že dvě ostění, vykazující shodu v určujících deformačních projevech (např. shodu ve svislém poklesu vrcholu kaloty a vodorovné deformaci pat kaloty v téže fázi ražby), budou rovněž vykazovat podobnost vnitřních sil a tím pádem podobnost únosnosti. O ostění, jehož vypočtené deformace jsou v rozporu s deformacemi naměřenými, to říci nelze.

Metoda postupného vyhledání a metoda průsečíků stop vrstevnic (kterou upřednostňujeme a doporučujeme pro její názornost) je v míře sblížení skoupá (dvě je málo),

zato ale efektivní, protože neklade přísné nároky na kompatibilitu výpočetního modelu a stavu



Obr 42: Když v základním výpočtu z odst.5.2 zaměníme $E=275$ MPa za $E=70$ MPa a $K=0,3$ za $K=0,8$, dosáhneme současné shody mezi vypočtenými a naměřenými hodnotami svislé deformace ve vrcholu kaloty (měřičský bod 1) a vodorovné deformace v boku kaloty (měřičský bod 2) pro fázi ražby 3 (po výrubu kaloty).



Obr 43: Když v základním výpočtu z odst.5.2 zaměníme $E=275$ MPa za $E=40$ MPa a $K=0,3$ za $K=0,58$, dosáhneme současné shody mezi vypočtenými a naměřenými hodnotami svislé deformace ve vrcholu kaloty (měřičský bod 1) a vodorovné deformace v boku kaloty (měřičský bod 2) pro fázi ražby 7 (po výrubu opěří).

in natura. Proto poskytně výsledky i tam, kde je výpočetní model v evidentní nekompatibilitě s přírodou, jako je tomu v odst. 5.2. Prokazují to dva výsledky na obr.42 a 43. Jsou získány pomocí dvou různých výpočtů. Oba jsou ale stejně hodnotné, žádnému nelze dát přednost. Platí vedle sebe oba a oba je zapotřebí podrobit dimenzační analýze.

Tímto způsobem, totiž pomocí více výpočtů, lze vyrovnat deficit metody postupného vyhledání i metody průsečíků stop vrstevnic, spočívající v nízké míře sblížení.

Je ale, alespoň teoreticky, možný jeden postup, který metodě průsečíků stop vrstevnic resp. metodě postupného vyhledání může přiřadit míru sblížení $q = 4$. K vysvětlení využijeme informací z tab.1, obr.23 a obr.42.

Představme si, že ražba probíhá podle obr.23. Nejprve, metodou průsečíků stop vrstevnic, sblížíme deformace vrcholu kaloty a vodorovného posunu paty klenby ve fázi 3 ražby, podle tab.1, neboli pomocí deformačních geotechnických parametrů E , K . Nahradíme tím původní geotechnické parametry základního výpočtu (označení viz 3.2), E_{ZV} , K_{ZV} , ν_{ZV} , c_{ZV} , φ_{ZV} , P_{ZV} parametry E_{MPV} , K_{MPV} , ν_{ZV} , c_{ZV} , φ_{ZV} , P_{ZV} , přičemž (viz obr.42) $E_{MPV}=70 \text{ MPa}$ a $K_{MPV}=0,8$, platnými **pouze do fáze 3**.

Poté, fází 4 počínaje, aplikujeme metodu průsečíků stop vrstevnic na pevnostní geotechnické parametry c , φ , podle tab.42.

Tabulka 42

i \ j	1	2	...	n
1	c_1, φ_1	c_2, φ_1	...	c_n, φ_1
2	c_1, φ_2	c_2, φ_2	...	c_n, φ_2
.
.
.
m	c_1, φ_m	c_2, φ_m	...	c_n, φ_m

Takto stanovíme pro fáze 4-7 nové geotechnické parametry E_{MPV} , K_{MPV} , ν_{ZV} , c_{MPV} , φ_{MPV} , P_{ZV} .

Výpočet, pracující do fáze 3 s parametry E_{MPV} , K_{MPV} , ν_{ZV} , c_{ZV} , φ_{ZV} , P_{ZV} a od fáze 4 do konce s parametry E_{MPV} , K_{MPV} , ν_{ZV} , c_{MPV} , φ_{MPV} , P_{ZV} dosáhne sblížení 4 měření jediným výpočtem, tedy míry sblížení 4. Parametry c_{MPV} , φ_{MPV} však nemohou být jakékoliv. S původními parametry c_{ZV} , φ_{ZV} musí být spojeny vztahem reziduality: $c_{ZV} > c_{MPV}$, $\varphi_{ZV} > \varphi_{MPV}$. V opačném případě je toto řešení nepřijatelné, protože narušuje přírodní zákony.

Míra sblížení metody přímého výpočtu je $q = 6$. Je to silné sblížení. Umožňuje např. současné sblížení poklesu klenby kaloty a vodorovné i svislé deformace pat kaloty ve fázích ražby 3 a 7 (obr.23). Metoda je citlivá na kompatibilitu výpočetního modelu a stavu in natura a proces sblížení může skončit nezdarem.

7. Výjimka z pravidla

Zjištění, která jsme učinily stran nemožnosti stanovit pomocí zpětné analýzy pravé geotechnické parametry, jsou založeny na faktu, že existuje chyba měření a chyba nekompatibility výpočetního modelu a stavu in natura.

Pokud však tyto chyby neexistují, resp. jsou zanedbatelné, jsou naše zjištění neplatná (u metody přímého výpočtu) nebo ne zcela platná (u metody průsečíků stop vrstevnic a metody postupného vyhledání) a stanovení pravých geotechnických parametrů je možné (u metody přímého výpočtu), resp. podmíněně možné (u metody průsečíků stop vrstevnic a metody postupného vyhledání).

Zkoumejme, kdy je možno říci, že jmenované chyby neexistují:

- Chyba měření neexistuje, když odečty na měřičských bodech jsou rovny (t.j. odchylka je tak malá, že nehraje roli) hodnotám in natura, což není pravděpodobné, nebo tehdy, když deformace in situ jsou tak velké, že jejich přesnost v řádu milimetrů nepředstavuje hrubé zkreslení, což leží mimo oblast mělce založených tunelů.

- Chyba z nekompatibility výpočetního modelu a stavu in natura neexistuje/je zanedbatelná, když je algoritmus in computer v odstatečné shodě s algoritmem in natura.

Jsou-li tyto dvě chyby bezpředmětné, je možno metodou přímého výpočtu stanovit pravé geotechnické parametry, jak je ukázáno v tab.2, odst.5.1. Budou zatíženy chybou metody.

U metody průsečíků stop vrstevnic a metody postupného vyhledání samotná nepřítomnost těchto dvou chyb nestačí. V základním výpočtu zde navíc musí být 4 blokové geotechnické parametry v_{ZV} , c_{ZV} , φ_{ZV} , P_{ZV} rovny pravým geotechnickým parametrům, což jest velmi nepravděpodobné.

Nicméně nepravděpodobné neznamená nemožné a nám by prospělo, kdybychom dovedli říci, kdy takový případ nastává. A my to dovedeme: Když k různému možnému sblížení deformací dochází při stejných geotechnických parametrech, jsou to pravé geotechnické parametry.

8. Závěr

Shrňme výsledky.

8.1.Zavedli jsme pojmy:

- pravé geotechnické parametry
- kvazipravé geotechnické parametry
- nepravé geotechnické parametry
- pojem „identifikační kód“
- pojem „míra sblížení“

8.2.Zavedli jsme metodu:

- přímého výpočtu
- průsečíků stop vrstevnic

8.3.Komentovali jsme metodu:

- postupného vyhledání

8.4.Ukázali jsme, že

- žádná z uvedených metod není schopna nalézt – až na výjimku popsanou v kap.7 - pravé geotechnické parametry
- metoda postupného vyhledání spolu s metodou průsečíků stop vrstevnic nalézají nepravé geotechnické parametry
- metoda přímého výpočtu nalézají kvazipravé geotechnické parametry

8.5. Metodu přímého výpočtu a metodu průsečíků stop vrstevnic jsme předvedli na příkladech. U metody přímého výpočtu jsme zdůraznili její citlivost na nekompatibilitu výpočetního modelu a stavu in natura. U metody průsečíků stop vrstevnic a metody postupného vyhledání jsme naopak vyzdvihli jejich toleranci vůči nekompatibilitě.

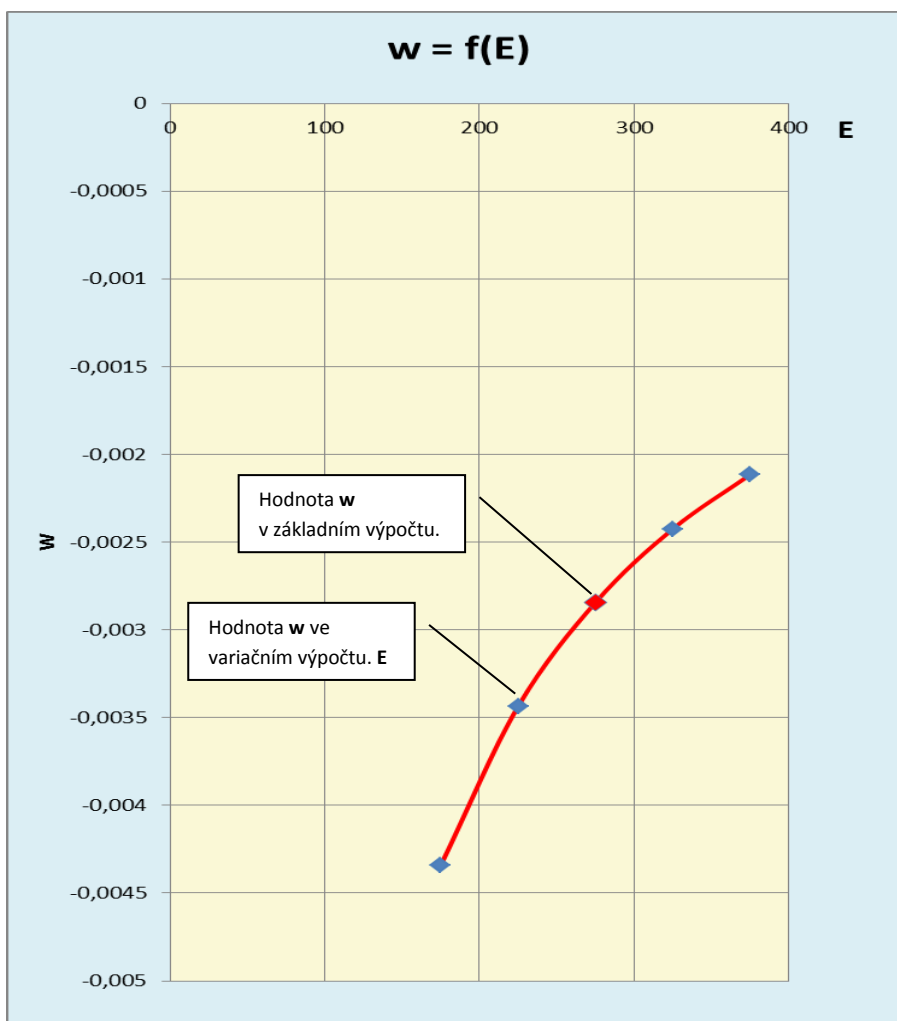
8.6. Odmítli jsme názor na zpětnou analýzu jako na proces, který umožňuje sblížit geotechnické prostředí výpočetního modelu s geotechnickým prostředím in natura a uznali jsme ji jako metodu, umožňující alespoň částečné sblížení deformačních projevů ostění in computer s deformačními projevy in natura.

9. Příloha

Vysvětlíme techniku, kterou použijeme při stanovení numerických derivací neboli prvků matice základního seznamu. Budeme pracovat v Excelu.

Mějme tedy nějakou funkci $w = f(E)$, která je zadána numericky v pěti bodech E_i , jak znázorněno na obr. P1. Prostřední bod ($E = 275$) je vstupem základního výpočtu, zbylé dva body vlevo ($175, 225$) resp. vpravo ($235, 375$) jsou vstupy výpočtů variačních.

E	w
175	-0,00434
225	-0,00344
275	-0,00284
325	-0,00242
375	-0,00212



Obr. P1

V bodě základního výpočtu ($E = 275$) chceme sestrojít numerickou derivaci funkce w . Použijeme k tomu funkci lineární regrese, ke které se na horní liště Excelu proklikáme takto: *Vzorce* → *Další funkce* → *Statistické* → *LINREGRESE*. Jak při použití lineární regrese postupovat zjistíme v nápovědě. Po nastavení všech vyžadovaných údajů je nutno stisknout nejdříve klávesu *F2* a poté současně *Ctrl, Shift, Enter*.

Jak známo, lineární regrese vyjadřuje lineární trend, odpovídající známým datovým bodům, proložením přímkou $y = m \cdot x + b$, vypočtené metodou nejmenších čtverců. Numerická derivace je směrnici m této přímky.

Při pětibodovém zadání funkce w můžeme v bodě E základního výpočtu ($E = 275$) sestrojít těchto osm typů numerických derivací:

- Derivace průměrná dlouhá: vezmeme do regrese všech pět hodnot w_i .
- Derivace průměrná krátká: vezmeme do regrese hodnotu $w = f(E=275)$ a jí postranní hodnoty $w = f(E=225)$, $w = f(E=325)$.
- Derivace vlevo průměrná: vezmeme do regrese hodnotu $w = f(E=275)$ a hodnoty vlevo od ní, tedy $w = f(E=175)$, $w = f(E=225)$.
- Derivace vlevo krátká: vezmeme do regrese hodnotu $w = f(E=275)$ a hodnotu $w = f(E=225)$.
- Derivace vpravo průměrná: vezmeme do regrese hodnotu $w = f(E=275)$ a hodnoty vpravo od ní, tedy $w = f(E=325)$, $w = f(E=375)$.
- Derivace vpravo krátká: vezmeme do regrese hodnotu $w = f(E=275)$ a hodnotu $w = f(E=325)$.
- Derivace vlevo dlouhá: vezmeme do regrese hodnotu $w = f(E=275)$ a hodnotu $w = f(E=175)$.
- Derivace vpravo dlouhá: vezmeme do regrese hodnotu $w = f(E=275)$ a hodnotu $w = f(E=375)$.

V tab. P1 jsou tyto derivace vypočteny pomocí funkce *LINREGRESE*. Jsou to červená čísla. Doprovází je pro nás nezajímavá čísla modrá, která jsou pořadnicemi b z rovnice $y = m \cdot x + b$.

Na obr. P2 jsou souhrnně zakresleny tečny k funkci $w = f(E)$ pro šest prvních typů derivací.

Na obrázcích P3 a P4 jsou tečny k funkci w vyznačeny jednotlivě.

TABULKA P1

NUMERICKÉ DERIVACE VYPOČTENÉ POMOCÍ LINEÁRNÍ REGRESE

Derivace průměrná dlouhá

175	-0,00434
225	-0,00344
275	-0,00284
325	-0,00242
375	-0,00212

0,00001092 **-0,00603**

Derivace průměrná krátká

175	
225	-0,003435
275	-0,002843
325	-0,002424
375	

0,00001011 **-0,0056809**

Derivace vlevo průměrná

175	-0,00434
225	-0,00344
275	-0,00284
325	
375	

0,00001497 **-0,00691**

Derivace vlevo krátká

175	
225	-0,003435
275	-0,002843
325	
375	

0,00001184 **-0,006099**

Derivace vpravo průměrná

175	
225	
275	-0,00284
325	-0,00242
375	-0,00212

0,00000728 **-0,00483**

Derivace vpravo krátká

175	
225	
275	-0,002843
325	-0,002424
375	

0,00000838 **-0,0051475**

Derivace vlevo dlouhá

175	-0,00434
275	-0,00284

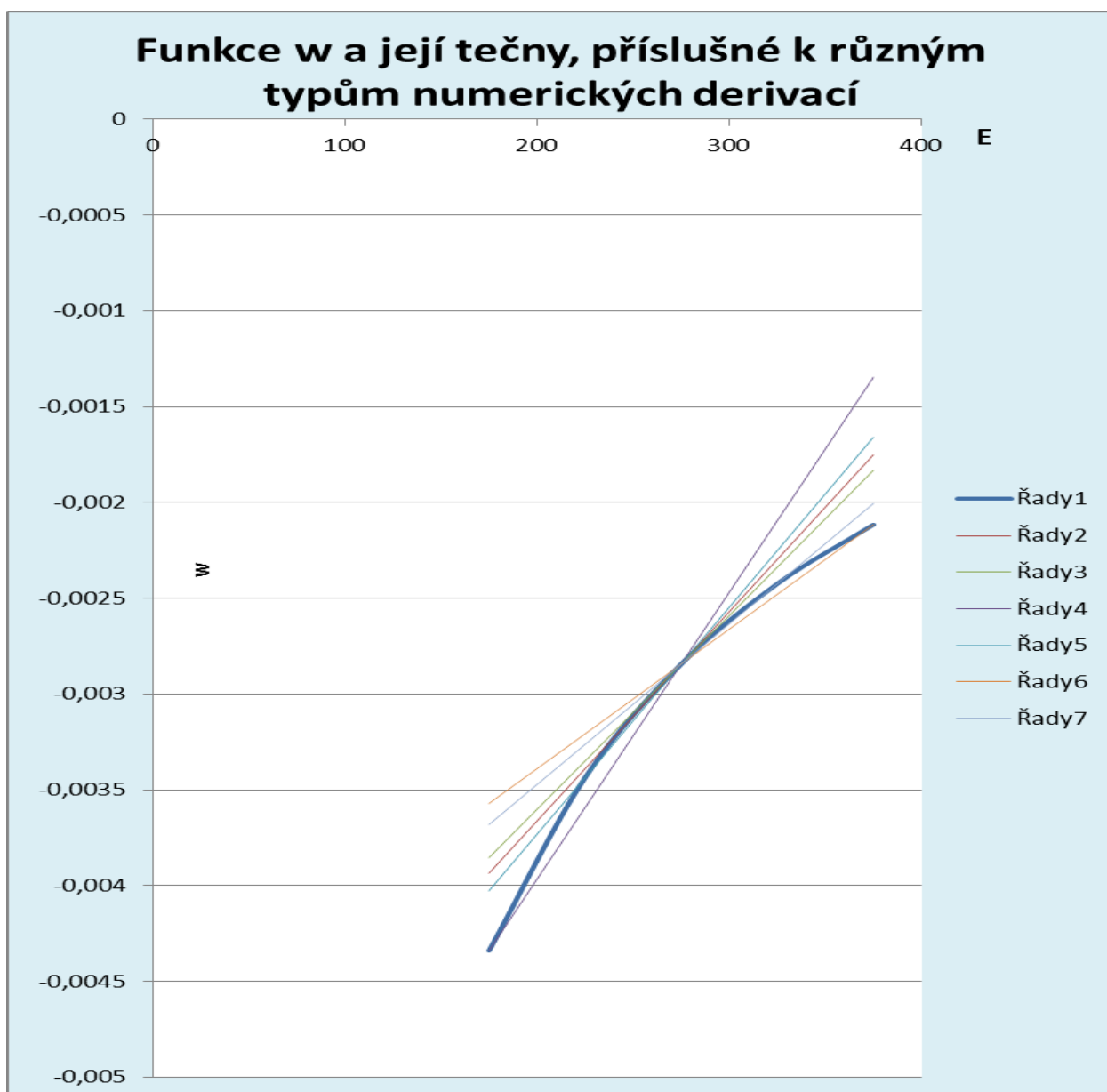
0,00001497 **-0,00696**

Derivace vpravo dlouhá

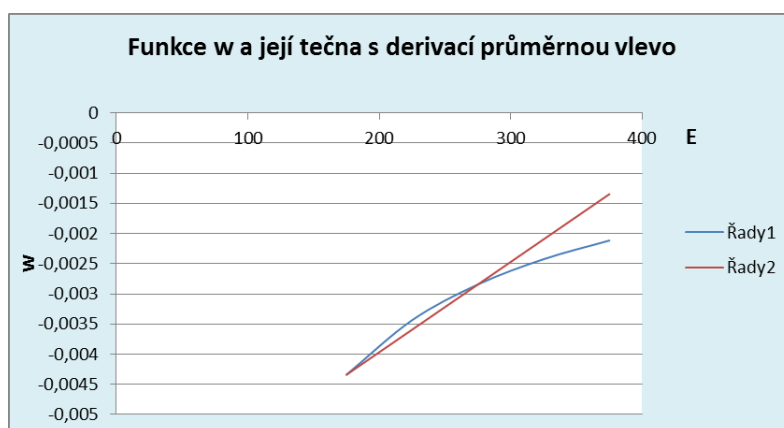
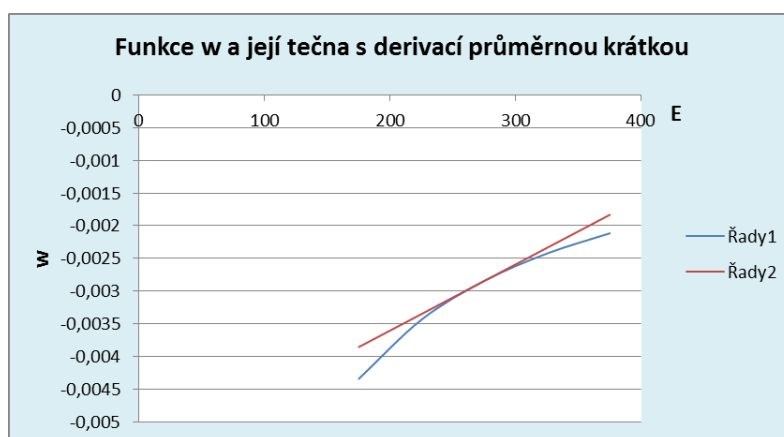
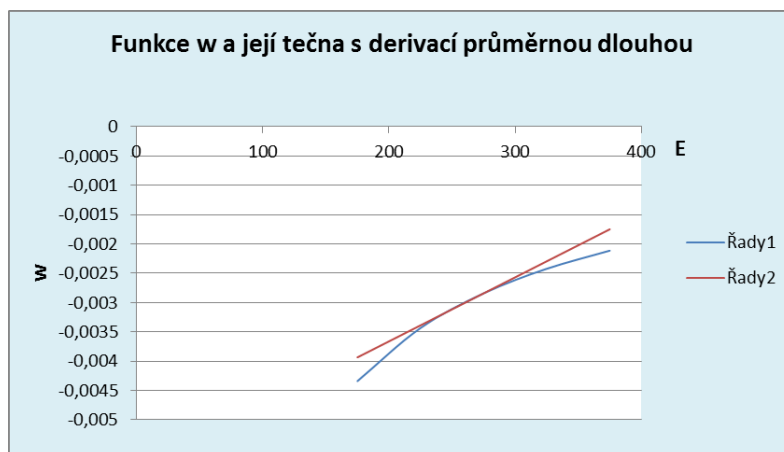
275	-0,002843
375	-0,002115

0,00000728 **-0,004845**

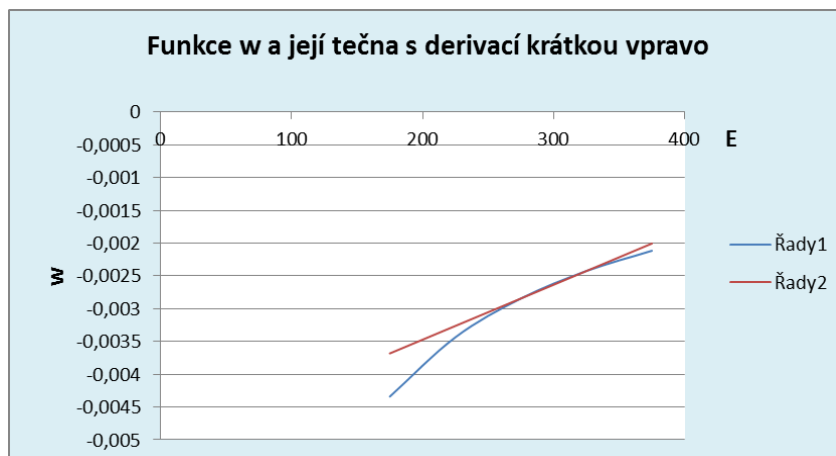
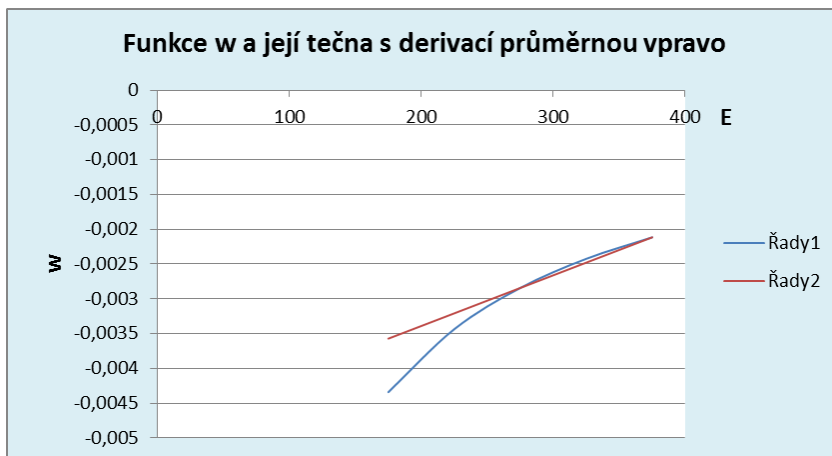
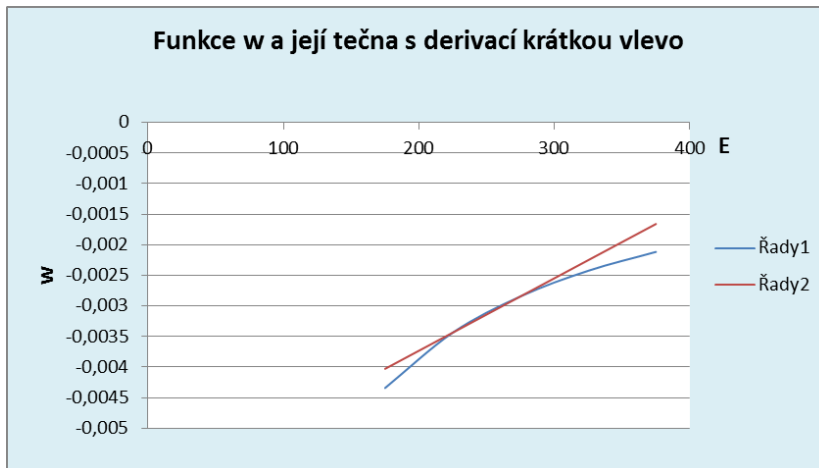
E	w	w	w	w	w	w	w
		Derivace prům. dlouhá	Derivace prům. krátká	Derivace vlevo průměrná	Derivace vlevo krátká	Derivace vpravo průměrná	Derivace vpravo krátká
175	-0,00434	-0,00394	-0,00385	-0,00434	-0,004027	-0,003571	-0,003681
225	-0,00344	-0,00339	-0,00335	-0,003592	-0,003435	-0,003207	-0,003262
275	-0,00284	-0,00284	-0,00284	-0,002843	-0,002843	-0,002843	-0,002843
325	-0,00242	-0,0023	-0,00234	-0,002095	-0,002251	-0,002479	-0,002424
375	-0,00212	-0,00175	-0,00183	-0,001346	-0,001659	-0,002115	-0,002005



Obr. P2



Obr. P3



Obr. P4