

## **Porovnanie výpočtových modelov pre technológie NRTM a ADECO - RS**

Jana Chabroňová<sup>1</sup>

### **Abstrakt**

Na Slovensku sa pri súčasnej výstavbe tunelov používajú dve technológie razenia NRTM a ADECO – RS. Pri razení tunela dochádza v horninovom prostredí k porušeniu primárneho rovnovážneho stavu napätosti v priestore čelby výrubu sprevádzané priestorovým preskupovaním napätia, čím sa v horninovom masíve vytvára nový rovnovážny stav. Zmeny napätosti sú spojené s deformáciou líca výrubu, resp. primárneho ostenia a celej oblasti v okolí výrubu. Skúsenosti z praxe a výsledky priestorových matematických modelov ukazujú, že časť deformácií horninového masívu prebehne ešte pred čelom, časť pred osadením primárneho ostenia. Táto časť deformácie, ak nie je riadená pomocou technologických opatrení, prebieha samovoľne. Obidve technológie viac-menej reagujú na skutočné geotechnické podmienky a spôsob zaistenia stability výrubu môžu operatívne modifikovať. Uvedené metódy sa líšia v názoroch na správanie sa horninového prostredia počas výrubu a spôsobu jeho stabilizácie. Výsledkom je úplne iný prístup k tunelovej technike a výpočtu primárneho a sekundárneho ostenia.

Cieľom príspevku je porovnanie použitia jednotlivých zabezpečovacích prvkov metód vo výpočtových modeloch.

### **Kľúčové slová**

technológia\_NRTM, technológia\_ADECO–RS 2, výpočtový\_model 3, použitie\_zabezpečovacích\_prvkov 4

### **Abstract**

There are used two methods of excavation for construction of current tunnels NATM and ADECO – RS in Slovakia. The primary equilibrium stress state of rock massif is disturbing under the excavation tunnel in tunnel face. The transformation of strain goes with regrouping stresses which generates a new equilibrium stress state of rock massif. Modification of stress state is associated with the deformation of the tunnel face or primary lining and whole area around the excavation. The part of deformation of rock massif take place before the excavation tunnel face and carried out the primary lining as shows practical experiences and results of spatial mathematical models. If this part of deformation is not controlled by technological support, the deformation proceeds spontaneously. The both of these technologies respond to actual geotechnical conditions and the excavation stability can be operatively modified. These methods of tunnelling are different in point of view on behaviour of rock massif during the excavation and stabilization form. So there are different approach to technology of tunnelling and calculation of tunnel lining.

The aim of this paper is comparison of using each support elements of tunnelling technologies in calculation models.

### **Key words**

technology\_NATM, technology\_ADECO–RS 2, calculation\_model 3, using\_support\_element 4

---

<sup>1</sup> STU / Stavebná fakulta v Bratislave, Katedra geotechniky, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, e-mail: [jana.chabronova@stuba.sk](mailto:jana.chabronova@stuba.sk)

## **1 Úvod**

Jednou zo základných úloh pri návrhu tunelov, výbere technológii razenia a vlastného razenia je udržať deformáciu výrubu ostenia projektom predpísaných hraniciach. NRTM obmedzuje nepriaznivé deformácie optimálnym zapojením horninového masívu do prenosu zaťaženia pomocou kotevného systému, členením výrubu a ďalšími prvkami zabezpečenia ako mikropilótové dáždniky, ihlovanie, zlepšovanie vlastností horninového masívu injektážou a iné.

Prof. Lunardi zaviedol na razenie tunelov v poloskalných horninách tzv. metódu ADECO-RS. Nežiaduce deformácie sú eliminované ochranou jadra v predstihu realizovanými opatreniami. Základnými zabezpečovacími prvkami sú tuhé primárne ostenie vystužené valcovými oceľovými výstuhami, vystuženie čela (jadra) sklolaminátovými kotvami, razenie na plný profil a betonáž sekundárneho ostenia s minimálnym odstupom od primárneho ostenia.

## **2 Princípy technológie NRTM**

Princíp technológie NRTM vychádza z razenia tunelov s vysokým nadložím, kde bolo hlavnou snahou dosiahnuť optimálnych výsledkov z hľadiska bezpečnosti práce, efektivity realizácie a technicko-ekonomických ukazovateľov. Základný princíp je zachovanie a mobilizácia prirodzenej únosnosti horninového prostredia okolo tunela. Ďalšou dôležitou zásadou je potreba minimalizovať nadmerné deformácie horninového prostredia pomocou primárneho nosného systému, ktorý je skôr pružný než tuhý. Umiestnený je na kontakte s horninou, aby sa s ňou mohol deformovať. Výrub je členený na čiastočné výrubu, aby nedochádzalo k degradácii horninového masívu, len ak je to nevyhnutne nutné, hlavne s ohľadom na zaistenie jeho stability. Pozitívny vplyv na obmedzenie deformácií nadložia má okrem horizontálneho aj vertikálne členenie výrubu. Primárne ostenie tvorí striekaný betón vystužený spravidla priehradovou oblúkovou výstužou a sieťovinou. Dôležitú úlohu hrá prekotvenie horninového prstenca v okolí výrubu, ktoré sa významnou mierou podieľa na celkovej únosnosti systému ostenie – hornina. Primárne ostenie slúži na okamžité zabezpečenie stability výrubu tak, aby jeho deformácia pod vplyvom horninového tlaku umožňovala aj deformáciu časti horninového masívu a tým zmenu napätostného stavu v okolí výrubu. Toto ostenie je navrhované ako poddajné, aby bolo schopné prenášať bez veľkého poškodenia deformácie horninového prostredia.

Stabilita čela výrubu je zaisťovaná len v prípade potreby a to čelovým priťažovacím klinom, nástrekom betónu alebo kotvením. Tuhosť primárneho ostenia je navrhovaná v súlade s princípom Fenner – Pacherovej krivky, aby pomocou prístupnej deformácie bol optimálne zapojený horninový masív do prenosu zaťaženia. Definitívne ostenie sa betónuje spravidla po ustálení deformácie alebo v čase, keď rýchlosť deformácie neprekračuje cca 2 mm/mesiac. V nestabilnom prostredí sú realizované ďalšie opatrenia, najmä na zvýšenie stability čelby a líca výrubu. Jedná sa napr. o ihlovanie obvodu výrubu alebo predháňané pažiny pri razení v nesúdržných zeminách.

## **3 Metóda razenia ADECO – RS**

Metóda ADECO-RS (skratka Analysis of COntrolled DEformation in Rocks and Soils) vychádza z predpokladu, že existuje priamy vzťah medzi deformáciou čelby (extrúzia), veľkosťou deformácie prebiehajúcou pred čelom výrubu (prekonvergencie) a veľkosťou deformácie výrubu a primárneho ostenia po prechode čelby (konvergencie). Metóda definuje pojem „jadro“ ako celok v profile tunela, ktorý sa nachádza pred čelbou tunela. Ochrana jadra zamedzuje pred nežiaducimi deformáciami použitím opatrení realizovaných v predstihu a následne obmedzuje veľkosť deformácie v oblasti za čelbou. K základným prvkom metódy patrí zvýšenie tuhosti jadra v predstihu pred vlastným razením, použitím tuhého primárneho

ostenia vystuženého napr. valcovanými oceľovými výstuhami v tuhých rámoch, razenie tunela na plný profil a betonáž tuhého, definitívneho ostenia v technologicky minimálnom odstupe od čelby s rýchlym uzavretím spodnej klenby. Jadro tunela je štandardne vystužované dlhými sklolaminátovými kotvami dĺžky minimálne odpovedajúcej priemeru tunelu, v prípade nestabilného prostredia je zlepšované pomocou tryskovej injektáže alebo v predstihu chránené realizovaním primárneho ostenia pomocou metódy obvodového vrubu resp. realizácia mikropilótových dáždnikov. Šmykové parametre prostredia sú vylepšované pomocou radiálneho kotvenia obvodu výrubu. Princíp metódy nazýva prof. Lunardi „spriemyslenie tunelovania“, kde sa všetky opatrenia realizované behom výstavby obmedzujú len na sledovanie jadra v reakcii na razenie a odpovedajúcim spôsobom je zaist'ovaná jeho tuhosť a stabilita. Metóda definuje tri geotechnické kategórie v závislosti od správania sa jadra pri výstavbe, na základe ktorých je zvolený ďalší technologický postup zabezpečenia:

- kategória A: čelba je stabilná, prostredie sa správa ako skalná hornina;
- kategória B: čelba je krátkodobo stabilná, typ správania je ako u súdržných materiálov;
- kategória C: čelba je nestabilná, typ správania je ako nesúdržných materiálov.

Cieľom metódy je zachovať, pokiaľ je to možné, pôvodný stav blížiaci sa primárnej napätosti horninového masívu a zaistiť tak odpovedajúce parametre horninového masívu ako stavebného materiálu tunela. Realizované opatrenia majú za cieľ eliminovať negatívne vplyvy razenia na vlastnosti horninového masívu a zvlášť na jadro pred čelbou. Jedná sa o konvenčnú tunelovacu metódu využívajúcu obdobné prvky na zaistenie stability výrubu ako NRTM, prístup k zaisteniu stability výrubu je úplne rozdielny. Postupy razenia vyžadujú použitie podstatne tuhšieho primárneho aj definitívneho ostenia a vzhľadom na posun na Fenner-Pacherovej krivke smerom k menším prípustným deformáciám dochádza k nárastu zaťaženia a tým aj rozmerov ako primárneho tak definitívneho ostenia. Metóda je menej citlivá na zmenu geotechnických podmienok, lebo sprievodné opatrenia sú štandardne realizované s predstihom na dĺžku odpovedajúcu priemeru tunela.

#### **4 Vstupné parametre geotechnických výpočtov**

V horninovom masíve otvorením výrubu sa začínajú zmeny v napätosti, ktoré sú spojené s deformáciou líca výrubu, resp. primárneho ostenia a celej oblasti v okolí výrubu. Veľkosť týchto zmien závisí od kvality horninového prostredia a technologických opatrení, ktoré obmedzujú časť deformácie, a tým aj zmeny v napätosti horninového masívu. NRTM je technológia, pri ktorej na zamedzenie nežiaducej deformácie sa využívajú hlavne svorníky vo výrube. Tieto svorníky reagujú na zníženie konvergencií. ADECO-RS používa tuhšie primárne ostenie, ktoré sa skladá zo striekaného betónu vystuženého valcovanými oceľovými výstuhami, kotvy sa používajú v jadre a slúžia na zabránenie extrúzií. Každá z týchto technológií razenia má svoje špecifiká, ktoré je nutné zahrnúť do geotechnických výpočtov.

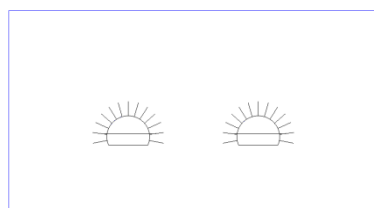
Výpočty boli realizované pre horninové prostredie a prvky primárneho ostenia, ktorých vstupné parametre sa nachádzajú v tabuľke 1. Výpočty boli realizované pre dvojrúrový tunel s priečnym rezom zobrazeným na obr. 1. Každá technológia využíva iné zabezpečovacie prvky, ktoré boli zahrnuté v modelovaní jednotlivých prípadov. Pri NRTM do výpočtov vstupovali striekaný betón a svorníky vo výrube. Pri metóde ADECO-RS boli použité v jadre tunela sklolaminátové kotvy a jeho zlepšenie, primárne a sekundárne ostenie. Vstupné parametre pre horninové prostredie boli použité pre obidve metódy rovnaké.

Deformácie a vnútorné sily boli hodnotené v priereze 10 m od vstupu. Výpočty boli realizované pre rôzny modul pružnosti, ktorého hodnoty sú v rozmedzí od 3 000 MPa – 10 000 MPa. Vo výpočtoch sú zahrnuté aj technologické postupy jednotlivých metód. Výpočty boli realizované v programe MIDAS GTS.

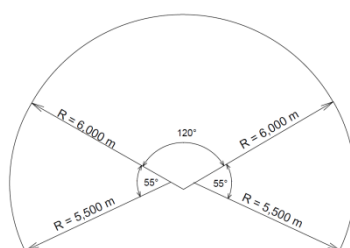
Tab. 1 Vstupné parametre geotechnických výpočtov

Materiál	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	E [MPa]	$\nu$ [-]	$\phi$ [°]	c [kPa]	Materialový model
Horninové prostredie	27,0	3 000	0,30	50	30	Mohr-Coulomb
Primárne ostenie slabý C25/30	25,0	10 000	0,20	–	–	lineárne pružný
Primárne ostenie C25/30	25,0	20 700	0,20	–	–	lineárne pružný
Sekundárne ostenie C25/30	25,0	31 000	0,40	–	–	lineárne pružný
Zlepšenie jadra tunela	27,0	50 000	0,35	50	60	Mohr-Coulomb
Svorníky	78,5	210 000	0,30			lineárne pružný
Sklolaminátové kotvy	20,0	50 000	0,25			lineárne pružný

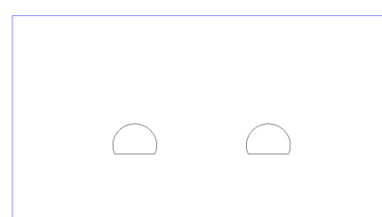
a)



b)



c)



Obr. 1 Zjednodušený priečny rez použitý v geotechnických výpočtoch a) metóda NRTM, b) priečny rez výrubu, c) metóda ADECO-RS

#### 4.1 Výsledky geotechnických výpočtov pre metódu NRTM

Technologický postup metódy NRTM bol modelovaný nasledujúcimi fázami:

1. Výpočet primárnej (geostatickej) napätosti horninového masívu.
2. Výrub kaloty ľavej tunelovej rúry (LTR).
3. Aktivácia primárneho ostenia s mladým striekaným betónom (slabý) a svorníkov v oblasti kaloty ľavej tunelovej rúry (LTR).
4. Aktivácia primárneho ostenia s vytvrdnutým striekaným betónom v oblasti kaloty LTR na 100 %.
5. Výrub stupňa LTR.
6. Aktivácia primárneho ostenia s mladým striekaným betónom (slabý) a svorníkov v oblasti stupňa ľavej tunelovej rúry (LTR).
7. Aktivácia primárneho ostenia s vytvrdnutým striekaného betónom v oblasti stupňa LTR na 100 %.

Výpočet pravej tunelovej rúry (PTR) bol realizovaný v rovnakých výpočtových fázach, iba bol posunutý o 4 fázy neskôr voči výpočtu LTR.

Na obmedzenie deformácií pri technológii NRTM sa používa kotvenie, ktoré je jedným zo základných prvkov primárneho ostenia, preto výpočty boli uskutočnené pre rôzny počet

kotiev v kalote. Porovnanie maximálnej deformácie s deformáciou v čele výrubu vo vrchole klenby v závislosti od počtu kotiev a modulu pružnosti horninového prostredia sa nachádzajú v tabuľke č. 2

Tab. 2 Porovnanie maximálnej deformácii a čela výrubu vo vrchole klenby v závislosti od počtu kotiev a modulu pružnosti horninového masívu

E	kotvy 3			kotvy 5			kotvy 7		
	max def.	def. čelba		max def.	def. čelba		max def.	def. čelba	
[MPa]	[mm]	[mm]	[%]	[mm]	[mm]	[%]	[mm]	[mm]	[%]
3000	2,299	1,062	46,19	2,275	0,54	23,74	2,687	1,057	39,34
4000	1,745	0,8	45,85	1,73	0,401	23,18	1,39	0,513	36,91
5000	1,407	0,642	45,63	1,396	0,319	22,85	1,121	0,408	36,40
7000	0,715	0,324	45,31	0,712	0,158	22,19	0,808	0,294	36,39
10000	1,014	0,461	45,46	1,008	0,226	22,42	0,57	0,202	35,44

Posúdenie maximálnych vnútorných síl v závislosti od modulu pružnosti horninového masívu a počtu kotiev sa nachádzajú v tabuľke 3; 4 a 5.

Tab. 3 Posúdenie maximálnych vnútorných síl v závislosti od modulu pružnosti horninového masívu pre počet kotiev v kalote 3

E	Počet kotiev v kalote 3							
	N <sub>max</sub>	M	využitie tlak	využitie ťah	M <sub>max</sub>	N	využitie tlak	využitie ťah
[MPa]	[kN/m]	[kNm/m]	[%]	[%]	[kNm/m]	[kN/m]	[%]	[%]
3000	339,2	0,10	6,9	64,6	2,21	15,3	9,2	9,9
4000	261,9	0,06	5,3	50,0	1,99	179,3	107,6	23,0
5000	213,4	0,04	4,3	40,8	1,67	146,1	87,7	18,5
7000	111,2	0,01	2,2	21,3	0,92	75,6	45,4	9,2
10000	156	0,02	3,1	29,9	1,26	107,1	64,3	13,3

#### 4.2 Výsledky z geotechnických výpočtov pre metódu ADECO – RS

Postup razenie metódy ADECO-RS bol modelovaný nasledujúcimi fázami:

1. Výpočet primárnej (geostatickej) napätosti horninového masívu.
2. Aktivácia jadra.
3. Výrub ľavej tunelovej rúry (LTR).
4. Aktivácia primárneho ostenia zo striekaného betónu a oceľových výstuží v ľavej tunelovej rúry (LTR).
5. Aktivácia sekundárneho ostenia LTR.

Výpočet pravej tunelovej rúry (PTR) realizovaný v rovnakých fázach bol posunutý o 4 fázy neskôr voči výpočtu LTR. Technológia ADECO-RS zvyšuje tuhosť primárneho ostenia oceľovými výstuhami, preto výpočty boli realizované pre rôzne rozmery týchto výstuh. Porovnanie maximálnej deformácie s deformáciou v čele výrubu vo vrchole klenby v závislosti od oceľových výstuh a modulu pružnosti horninového prostredia sa nachádzajú v tabuľke č. 6.

Tab. 4 Posúdenie maximálnych vnútorných síl v závislosti od modulu pružnosti horninového masívu pre počet kotiev v kalote 5

E	Počet kotiev v kalote 5							
	N <sub>max</sub>	M	využitie tlak	využitie ťah	M <sub>max</sub>	N	využitie tlak	využitie ťah
[MPa]	[kN/m]	[kNm/m]	[%]	[%]	[kNm/m]	[kN/m]	[%]	[%]
3000	293,4	0,96	5,3	62,0	2,27	5,5	3,3	12,0
4000	226,2	0,74	4,1	47,7	1,76	3,9	2,4	9,4
5000	184,2	0,60	3,3	38,9	1,43	1,1	0,7	8,0
7000	95,6	0,31	1,7	20,1	0,76	1,9	1,2	4,0
10000	134,3	0,43	2,4	28,3	1,06	0,8	0,5	6,0

Tab. 5 Posúdenie maximálnych vnútorných síl v závislosti od modulu pružnosti horninového masívu pre počet kotiev v kalote 7

E	Počet kotiev v kalote 7							
	N <sub>max</sub>	M	využitie tlak	využitie ťah	M <sub>max</sub>	N	využitie tlak	využitie ťah
[MPa]	[kN/m]	[kNm/m]	[%]	[%]	[kNm/m]	[kN/m]	[%]	[%]
3000	328,2	2,37	5,1	76,8	7,46	274,4	164,8	9,7
4000	184,3	1,22	3,0	42,5	4,12	148,3	89,1	4,8
5000	151,2	0,96	2,5	34,6	3,37	116,4	69,9	2,9
7000	110,2	0,66	1,8	25,0	2,42	89,0	53,4	3,1
10000	78,62	0,41	1,3	17,5	1,63	60,0	36,0	2,1

Tab. 6 Porovnanie maximálnej deformácii a čela výrubu vo vrchole klenby v závislosti od použitých oblúkových výstuží v primárnom ostení a modulu pružnosti horninového masívu

E	Veľkosť oceľovej výstuže								
	16			20			22		
	max def.	def. čelba		max def.	def. čelba		max def.	def. čelba	
[MPa]	[mm]	[mm]	[%]	[mm]	[mm]	[%]	[mm]	[mm]	[%]
3000	2,338	1,042	44,57	2,344	1,079	46,03	2,337	0,354	15,15
4000	1,853	0,805	43,44	1,857	0,833	44,86	1,853	0,291	15,70
5000	0,037	0,014	37,84	1,539	0,679	44,12	1,537	0,25	16,27
7000	0,02	0,007	35,00	0,827	0,355	42,93	0,826	0,151	18,28
10000	0,028	0,01	35,71	1,147	0,496	43,24	1,145	0,196	17,12

Posúdenie maximálnych vnútorných síl v závislosti od modulu pružnosti horninového masívu a použitých oceľových výstuží sa nachádzajú v tab. 7; 8 a 9.

### 4.3 Zhodnotenie výsledkov

Deformácie pri rovnakých moduloch pružnosti, určené vo výpočtoch pre prvky primárneho ostenia použité pre metódu NRTM a ADECO-RS boli v podstate rovnaké, rozdiely boli iba pri použití 7 kotiev v kalote (obr. 2). Najmenšie deformácie vychádzali pri module pružnosti  $E = 7\,000$  MPa. Na rozdiel od deformácií priečne sily vo výpočtoch pre metódu ADECO-RS vychádzali násobne väčšie (tab. 7; 8; 9).

Tab. 7 Posúdenie maximálnych vnútorných síl v závislosti od modulu pružnosti horninového masívu pre oblúkovú výstuhu 16

E	Veľkosť ocelevej výstuže 16							
	$N_{\max}$	M	využitie tlak	využitie ťah	$M_{\max}$	N	využitie tlak	využitie ťah
[MPa]	[kN/m]	[kNm/m]	[%]	[%]	[kNm/m]	[kN/m]	[%]	[%]
3000	1885,0	0,16	26,4	120,7	4,69	487,9	6,8	28,3
4000	1519,0	0,30	21,3	97,2	3,76	655,9	9,2	39,6
5000	1270,0	0,35	17,8	81,2	3,40	600,4	8,4	36,3
7000	686,0	0,37	9,6	43,7	1,91	345,9	4,8	21,0
10000	952,8	0,39	13,4	60,8	2,61	464,6	6,5	28,1

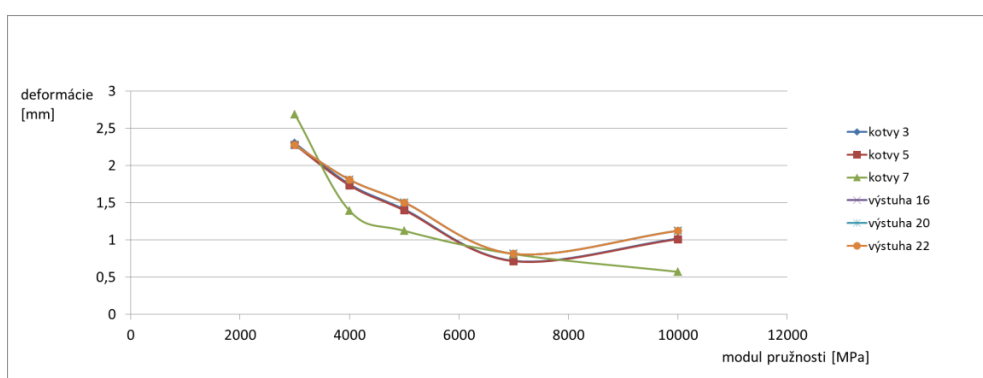
Tab. 8 Posúdenie maximálnych vnútorných síl v závislosti od modulu pružnosti horninového masívu pre oblúkovú výstuhu 20

E	Veľkosť ocelevej výstuže 20							
	$N_{\max}$	M	využitie tlak	využitie ťah	$M_{\max}$	N	využitie tlak	využitie ťah
[MPa]	[kN/m]	[kNm/m]	[%]	[%]	[kNm/m]	[kN/m]	[%]	[%]
3000	1894,0	0,22	25,8	121,3	4,89	504,9	6,9	29,2
4000	1524,0	0,34	20,7	97,5	3,92	699,8	9,5	42,4
5000	1274,0	0,39	17,3	81,4	3,37	599,7	8,2	36,3
7000	687,6	0,39	9,4	43,8	1,92	347,9	4,7	21,1
10000	955,4	0,41	13,0	61,0	2,61	465,7	6,3	28,2

Posúdenie jednotlivých kombinácií maximálnych priečných síl a momentov pre technológiu ADECO-RS nevyhoveli prierezy pre horninové prostredie s modulom pružnosti  $E = 3\,000$  MPa resp.  $E = 4\,000$  MPa. Pri výpočtoch pre metódu NRTM nevyhoveli prierez použitím 3 kotiev v kalote pre horninový masív s modulom pružnosti  $E = 3\,000$  MPa resp. 7 kotiev v kalote s modulom pružnosti  $E = 4\,000$  MPa.

Tab. 9 Posúdenie maximálnych vnútorných síl v závislosti od modulu pružnosti horninového masívu pre oblúkovú výstužu 22

E	Veľkosť oceľovej výstuže 22							
	N <sub>max</sub>	M	využitie tlak	využitie ťah	M <sub>max</sub>	N	využitie tlak	využitie ťah
[MPa]	[kN/m]	[kNm/m]	[%]	[%]	[kNm/m]	[kN/m]	[%]	[%]
3000	1887,0	0,17	25,3	120,9	4,69	844,9	11,3	51,2
4000	1519,0	0,30	20,3	97,2	3,97	702,2	9,4	42,5
5000	1270,0	0,35	17,0	81,2	3,40	600,3	8,0	36,3
7000	685,9	0,37	9,2	43,7	1,91	345,9	4,6	21,0
10000	950,6	0,38	12,7	60,2	2,61	464,5	6,2	28,1



Obr. 2 Priebeh deformácie vo vrchole klenby v závislosti od modulu pružnosti horninového prostredia pre rozdielne zabezpečovacie prvky použité v primárnom ostení

## 5 Záver

Každá technológia razenia či už NRTM alebo ADECO-RS má svoje výhody a nevýhody. Porovnaním vnútorných síl vzhľadom na veľkosť deformácií, výpočty ukázali, že pri rovnakých deformáciách sa vyskytnú väčšie hodnoty vnútorných síl pri metóde ADECO-RS. Tento jav vyplynul z nedostatočnej tuhosti jadra, ktoré je dôležitým prvkom zabezpečenia tejto metódy. Z výpočtov vyplynulo, že tuhosť primárneho ostenia ovplyvneného oceľovými výstuhami, že nemá výrazný vplyv na veľkosť deformácií ostenia. Správny technologický postup tejto technológie použitý v danom horninovom prostredí môže ušetriť čas pri výstavbe tunela.

## Literatúra

- [1] Babušik, P – Mařík, L.: Porovnání metod NRTM a ADECO-RS na příkladu Italského tunelu Monte Cuneo, In: Tunel: Časopis České tunelářské asociace a Slovenskej tunelárskej asociácie ITA/AITES Roč. 24, č. 1/2009. s. 43–50. ISSN 1211-0728.
- [2] Ebermann, T. – Veselý, V. – Aldorf, J. – Hrubešová, E.: Význam vodorovného kotvení čelby pro zlepšení deformačních vlastností ražbou ovlivněného horninového masívu a snížení zatížení ostění In: Tunel: Časopis České tunelářské asociace a Slovenskej tunelárskej asociácie ITA/AITES Roč. 24, č. 1/2009. s. 32–42. ISSN 1211-0728.