

# **Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**

17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava - Poruba

## **Hornicko-geologická fakulta**

Institut hornického inženýrství a bezpečnosti

Výzkum mechanických vlastností žul mrákotínského typu při použití různých druhů trhavin k produkci výrobků hrubé a ušlechtilé kamenické výroby

Research of mechanical quality granites of mrákotínský type while using different kinds of demolitions to performance products of coarse and noble earthenware production

### **Disertační práce**

<b>Autor:</b>	Ing. Martin Štrejbar
<b>Školitel:</b>	doc. Ing. Milan Mikoláš, Ph.D.
<b>Studijní program:</b>	Hornictví
<b>Obor:</b>	Hornictví

Ostrava 2010

## **Abstrakt**

Cílem dizertační práce je výzkum a vyhodnocení mechanických vlastností žul mrákotínského typu při použití různých druhů trhavin k produkci výrobků hrubé a ušlechtilé kamenické výroby a řešení otázky možných alternativ použití trhavin a konstrukcí náloží při těžbě bloků horniny a při sekundárních trhacích pracích, používaných k přípravě suroviny určené ke zpracování na produkty hrubé a ušlechtilé kamenické výroby.

Zkoumány byly mechanické vlastnosti horninových vzorků, zejména pak tlaková pevnost a přetváření horniny do meze pevnosti. U zkušebních tělísek byla provedena zkouška v prostém tlaku a stanovení přetvárné charakteristiky horniny do meze pevnosti.

Na základě výsledků měření byla stanovena optimální volba trhaviny, konstrukce nálože a ideální poměr hmotnosti náložky trhaviny k ploše lomu vzniklé po rozpojení bloku.

## **Klíčová slova**

Mrákotínská žula, mechanické vlastnosti, trhaviny, hrubá a ušlechtilá kamenická výroba.

## **Abstract**

Content of dissertation is research and evaluation of mechanical quality Mrákotín granite type while using different kinds of demolitions to performance produce coarse and noble earthenware production and solving problem possible alternatives of using demolitions and construction charges at mining rock blocks and at secondary blasting operations used to disposition of raw materials determined to fabrication into produces coarse and noble earthenware production.

Investigated were the mechanical properties of rock samples, especially compressive strength and deformation of rocks breaking strength. The test particles were tested in unconfined compression and fixing deformational characteristics of rock in tensile strength.

Based on the results of the measurements was determined the optimal choice of explosive sort, design of the explosive charge and ideal ratio of weight blasting cartridges to surface fracture formed by disconnection the block.

## **Key words**

Mrákotín granite, mechanical properties, explosives, coarse and noble-minded stone production.

Prohlašuji, že jsem celou disertační práci vypracoval samostatně, podle pokynů školitele, s použitím uvedené literatury, v souladu se směrnicí děkana č. 01/2010 disertační práce a autoreferát a v souladu se Studijním a zkušebním řádem pro studium v doktorských studijních programech Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava.

V souladu s §47a zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů souhlasím s publikováním textu své práce na webové stránce HGF VŠB-TU Ostrava.

V Ostravě 25. května 2010

Ing. Martin Štrejbar



## **Motivace**

Předmětem výzkumu je určení mechanických vlastností žul mrákotínského typu, jehož cílem je zjištění optimální volby trhaviny a konstrukce nálože při těžbě mrákotínské žuly, konkrétně v podmínkách kamenolomu Horní Dvorce. Účelem výzkumu je maximalizace pevnostních a kvalitativních parametrů výsledných výrobků z palety produktů firmy Lom Horní Dvorce, s.r.o..

Poděkování patří firmě Lom Horní Dvorce, s.r.o. za vstřícný přístup a pomoc při provádění trhacích prací, odběru vzorků a za poskytnutí podkladů, dále školiteli doc. Ing. Milanu Mikolášovi, Ph.D. a Ing. Jindřichu Šancerovi, Ph.D. za odborné rady, konzultace a diskuse k dané problematice. V neposlední řadě bych rád vyjádřil poděkování Vysoké škole báňské - Technické univerzitě Ostrava za finanční podporu formou interního grantu Interní grantové soutěže HGF pro rok 2009.

## Obsah

1	Úvod.....	11
2	Úložně-geologické a hydrogeologické poměry lokality, zásoby na ložisku a jeho životnost .....	13
2.1	Základní informace a lokalizace kamenolomu Horní Dvorce .....	13
2.2	Geologická stavba ložiska a jeho blízkého okolí .....	14
2.3	Hydrogeologické poměry lokality .....	17
2.4	Přehled provedeného geologického průzkumu .....	18
2.5	Současný stav zásob ložiska (rok 2010) .....	19
2.6	Plánované změny zásob ložiska nerostu, přírůstky a úbytky zásob .....	20
2.7	Množství zásob vázaných v ochranných pilířích.....	21
2.8	Plánovaný další průzkum ložiska a jeho životnost .....	21
3	Technologie těžby a dopravy, strojní zařízení.....	22
3.1	Přípravné práce .....	22
3.2	Dobývací práce .....	22
3.3	Vrtací práce k přípravě trhacích prací.....	25
3.4	Stávající způsob provádění trhacích prací na kamenolomu Horní Dvorce.....	25
3.5	Mechanizace, elektrifikace, doprava a zajištění provozu materiálem .....	26
3.6	Stávající výrobní sortiment a jeho uplatnění.....	28
3.6.1	Silniční stavební program.....	29
3.6.2	Hrubá kamenická výroba pro stavby technického typu .....	30
3.6.3	Hrubá kamenická výroba pro ostatní stavby .....	31
3.6.4	Žulové bloky pro další zpracování.....	32
4	Specifikace výzkumu mechanických vlastností žul mrákotínského typu .....	33
4.1	Zkoušky mechanických vlastností horniny .....	33

4.1.1	Pevnostní vlastnosti horniny.....	35
4.1.2	Přetvárné vlastnosti horniny .....	39
4.2	Trhaviny a typy konstrukcí náloží .....	42
4.3	Odběr vzorků, trhací práce a výsledky dříve provedených zkoušek .....	47
4.3.1	Trhací práce, odběr vzorků a dílčích vzorků .....	47
4.3.2	Výsledky dříve provedených zkoušek .....	52
4.3.3	Zkoušky prováděné v současnosti .....	53
5	Výsledky zkoušek výzkumu, analýza hodnot .....	54
5.1	Průběh výzkumu .....	54
5.2	Výsledky výzkumu, hodnoty.....	55
5.3	Zhodnocení získaných dat.....	69
6	Závěr .....	80

### **Seznam obrázků:**

Obrázek 1: Kalcův kopec - pohled od obce Palupín.	13
Obrázek 2: Odstíny žuly vyskytující se na lomu Horní Dvorce.	15
Obrázek 3: Systémy puklin a drcená pásma.	16
Obrázek 4: Těžební prostor lomu.	23
Obrázek 5: Prostor pro zpracování suroviny a nakládku produktů.	28
Obrázek 6: Ukázky silničního stavebního programu.	29
Obrázek 7: Vstupní areál Zoologické zahrady v Jihlavě.	30
Obrázek 8: Ukázky hrubé kamenické výroby pro stavby technického typu.	31
Obrázek 9: Ukázky hrubé kamenické výroby pro stavby technického typu.	31
Obrázek 10: Ukázky hrubé kamenické výroby pro ostatní stavby, žulové bloky.	31
Obrázek 11: Příprava tlakové zkoušky na testovacím zařízení MTS 816 Rock test systém.	34
Obrázek 12: Zjišťování pevnosti v prostém tahu.	36
Obrázek 13: Rozložení napětími tlakové zkoušce.	37
Obrázek 14: Přetváření tlakově namáhaného tělíska s normálním třením na stykových plochách.	37
Obrázek 15: Graf pro stanovení modulu přetvárnosti.	41
Obrázek 16: Graf pro stanovení Poissonova čísla.	42
Obrázek 17: Vesuvit THH.	43
Obrázek 18: Vesuvit TN.	44
Obrázek 19: Černý prach z delaborace.	45
Obrázek 20: Perunit 28E.	46
Obrázek 21: Bloky horniny připravené k rozpojení.	47
Obrázek 22: Rozpojení bloku č.10 - dělená nálož ČPD.	48
Obrázek 23: Rozpojení bloku č.15 Perunitem 28E - nedělená nálož se 100% nadhodnocením.	48
Obrázek 24: Vzorky odebrané z rozpojeného bloku horniny.	49
Obrázek 25: Dělenou náloží Vesuvitu TN rozpojený blok č. 2 s označením místa odběru vzorků.	50
Obrázek 26: Odvrtávání vzorků ve ZLVCH VŠB - TU Ostrava.	51
Obrázek 27: Vrtná jádra určená k přípravě zkušebních tělísek.	51
Obrázek 28: Blok č. 1 rozpojený pomocí pérových klínů.	52
Obrázek 29: Zkušební tělísko 2_5 zhotovené z bloku horniny odebraného vzorku.	55

### **Seznam tabulek:**

Tabulka 1: Rozdělení zásob ložiska na základě geologického průzkumu z roku 1996.	19
Tabulka 2: Současný stav bilančních a nebilančních zásob ložiska.	20
Tabulka 3: Současný stav volných a vázaných zásob ložiska.	20
Tabulka 4: Přehled vybraných parametrů použitých trhavin.	46
Tabulka 5: Výsledky zkoušek provedených v roce 2006.	52
Tabulka 6: Přehled provedených trhacích prací a jejich parametrů.	56
Tabulka 7: Celkový přehled vzorků, zkušebních tělísek a naměřených hodnot - rozpojení - pérové klíny.	57
Tabulka 8: Celkový přehled vzorků, zkušebních tělísek a naměřených hodnot - rozpojení - Vesuvit TN.	58
Tabulka 9: Celkový přehled vzorků, zkušebních tělísek a naměřených hodnot - rozpojení - Vesuvit THH.	59
Tabulka 10: Celkový přehled vzorků, zkušebních tělísek a naměřených hodnot - rozpojení - ČPD.	60
Tabulka 11: Celkový přehled vzorků, zkušebních tělísek a naměřených hodnot - rozpojení - Perunit 28E.	61
Tabulka 12: Přehled průměrných hodnot pro jednotlivá zkušební tělíska, vzorky, bloky, trhaviny - bez použití trhaviny.	61
Tabulka 13: Přehled průměrných hodnot pro jednotlivá zkušební tělíska, vzorky, bloky, trhaviny - Vesuvit TN.	62
Tabulka 14: Přehled průměrných hodnot pro jednotlivá zkušební tělíska, vzorky, bloky, trhaviny - Vesuvit THH.	63
Tabulka 15: Přehled průměrných hodnot pro jednotlivá zkušební tělíska, vzorky, bloky, trhaviny - ČPD.	64
Tabulka 16: Přehled průměrných hodnot pro jednotlivá zkušební tělíska, vzorky, bloky, trhaviny - Periunit 28E.	65
Tabulka 17: Celkový přehled průměrných pevností v tlaku pro jednotlivé trhaviny a konstrukce jejich náloží.	66
Tabulka 18: Tabulka vypočtených hodnot přetvárných vlastností zkoušené horniny.	67
Tabulka 19: Tabulka průměrných vypočtených hodnot přetvárných vlastností zkoušené horniny.	68

**Seznam grafů:**

Graf 1: Srovnání charakteristik dvou vybraných vzorků.....	69
Graf 2: Přehled celkových zjištěných pevností v tlaku.....	70
Graf 3: Srovnání konstrukcí náloží. ....	72
Graf 4: Srovnání předymenzovaných náloží.....	73
Graf 5: Srovnání pevností vzorků ve vztahu vzdálenosti od náložky trhaviny. ....	74
Graf 6: Srovnání pevností všech vzorků.....	75
Graf 7: Srovnání pevností všech bloků.....	76
Graf 8: Srovnání modulů přetvárnosti.....	77
Graf 9: Srovnání modulů pružnosti.....	78
Graf 10: Srovnání Poissonových čísel.....	78

**Seznam symbolů, zkratek a značek:**

ČPD	Černý prach z delaborace
VŠB-TU Ostrava	Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava
ZLVCH	Zkušební laboratoř výzkumného centra hornin
DNT	Dinitrotoluen
TNT	Trinitrotoluen

## 1 ÚVOD

Hlavním cílem mé dizertační práce je provedení výzkumu mechanických vlastností žul mrákotínského typu při použití různých druhů trhavin k produkci výrobků hrubé a ušlechtilé kamenické výroby.

Díličními cíli jsou:

- Zjištění míry vlivu konkrétních druhů trhavin, především černých trhacích prachů a návrh nejvhodnější trhaviny pro používání v daných podmínkách
- zjištění vlivu konstrukce nálože a návrh vhodného typu konstrukce nálože
- zjištění vlivu předdimenzovaných náloží střelmistrem na mechanické vlastnosti granitu mrákotínského typu při těžbě bloků horniny a při sekundárních trhacích pracích používaných k přípravě suroviny určené ke zpracování na produkty hrubé a ušlechtilé kamenické výroby
- zjištění ideálního poměru hmotnosti náložky trhaviny k ploše lomu vzniklé po rozpojení bloku.

Pro výzkum mechanických vlastností žul mrákotínského typu při použití různých druhů trhavin k produkci výrobků hrubé a ušlechtilé kamenické výroby jsem jako zástupce mrákotínských žul zvolil dvojslídý granit mrákotínského typu těžený v kamenolomu Horní Dvorce, který se nachází ve vzdálenosti 10 km od známého mrákotínského kamenolomu.

Vzorky odebrané po jednotlivých odstřelech byly zkoušeny ve Zkušební laboratoři výzkumného centra hornin Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava. Zkoumány byly mechanické vlastnosti zkušebních tělísek zhotovených z horninových vzorků, zejména pak tlaková pevnost a přetváření horniny do meze pevnosti. U každého zkušebního tělíska byla provedena zkouška v prostém (jednoosém) tlaku a u vybraných zkušebních tělísek stanovení přetvárné charakteristiky horniny do meze pevnosti.



Martin Štrejbar : Výzkum mechanických vlastností žul mrákotínského typu při použití různých druhů trhavin k produkci výrobků hrubé a ušlechtilé kamenické výroby

Všechny naměřené hodnoty byly navzájem porovnány, na základě čehož byla stanovena ideální trhavina z hlediska jejího vlivu na mechanické vlastnosti horniny, vhodná konstrukce nálože, vliv předimenzování nálože na horninu a ideální poměr hmotnosti náložky trhaviny k ploše lomu vzniklé po rozpojení bloku.

## 2 ÚLOŽNĚ-GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY LOKALITY, ZÁSObY NA LOŽISKU A JEHO ŽIVOTNOST

### 2.1 Základní informace a lokalizace kamenolomu Horní Dvorce

Kamenolom Horní Dvorce firmy Lom Horní Dvorce, s.r.o., těžící žulu od roku 1993, se nachází v severozápadní části katastrálního území obce Horní Dvorce. Administrativně náleží do okresu Jindřichův Hradec.

Lokalita se nachází cca 400 m severozápadně od obce Horní Dvorce ve vrcholové části Kalcova kopce (obrázek 1) s vrcholovou kótou 663,7 m n.m..



*Obrázek 1: Kalcův kopec - pohled od obce Palupín.*

Podle geomorfologického členění leží kamenolom v Javořické vrchovině, která patří do podsoustavy Českomoravská vrchovina.

Geologickou stavbu širšího okolí lokality tvoří horniny moldanubického plutonu a jeho obalu. Hlavním horninovým typem je zde drobně až středně zrnitý dvojslídý granit (mrákotínský typ). Hornina se nachází pod pokryvem, který je zde zastoupen písčito-jílovitými hlínami, hlinitými písky a hlinito-kamenitými sutěmi.

Z hydrogeologického hlediska jsou horniny krystalinika komplexem, kde se projevuje dvojí oběh podzemní vody. Mělčí (podpovrchový) je vázán na průlinové a průlinovo-puklinové propustné horniny zvětralinového pláště krystalinických hornin a na kvartérní pokryv. Hlubší oběh podzemní vody je v horninách krystalinika vázán na tektonické linie, které horninovým komplexem prostupují. Zatímco mělčí oběh podzemní vody je silně rozkolísán v přímé závislosti na množství infiltrovaných atmosférických srážek, hlubší oběh v tektonicky narušených oblastech je relativně stálý s menšími výkyvy. „Podle výsledků dříve realizovaných hydrogeologických průzkumů jsou horniny zvětralinového pláště slabě propustné s koeficientem filtrace, jenž se pohybuje v závislosti na obsahu jílovité složky, v řádech  $10^{-7}$  až  $10^{-5}$  m.s<sup>-1</sup>. Hlubší puklinový oběh, který je dán tektonickou stavbou území, je vázán na zóny tektonických poruch značného délkového, popřípadě i hloubkového dosahu.“ (1)

Hladina podzemní vody v zájmovém území leží konformně s terénem, nejhluběji je zakleslá ve vrcholových částech kopců, nejbliže k terénu se nachází na úpatí svahů.

## **2.2 Geologická stavba ložiska a jeho blízkého okolí**

Prostorově a geneticky je ložisko Horní Dvorce součástí velkého masivu granitoidních hornin, který se nazývá centrální moldanubický pluton. Samo ložisko je lokalizováno na západním okraji tohoto plutonu a je budováno výhradně dvojslídou žulou, která je převážně středně až hrubozrná. Textura horniny je všesměrná, struktura porfyrická.



*Obrázek 2: Odstíny žuly vyskytující se na lomu Horní Dvorce.*

V okolí Horních Dvorců se výrazně mění zrnitost, která se nápadně snižuje a mizí vyrostlice. Vyskytují se zde dvě základní facie, a to šedohnědá až žlutavá žula a šedá žula s nádechem do modra (obrázek 2). Žlutavé až hnědavé zabarvení je způsobeno vlivem hypergenních činitelů. Tato facie směrem do hloubky mizí a přechází v hypergenními činiteli nepostíženou šedou žulu s nádechem do modra. Obě tyto facie jsou drobně až střednězrné.

Na ložisku se setkáváme s plochami diskontinuity, které na sebe v případě lokality Horní Dvorce nejsou zcela kolmé. Tyto plochy diskontinuity vymezují v masivu tzv. přirozená zrna.

Prostorová orientace ploch diskontinuity (2) :

- I. systém  $100 - 140^\circ / 80 - 90^\circ$ , až protiklonné  $220 - 240^\circ$
- II. systém  $110 - 120^\circ / 40 - 70^\circ$
- III. systém  $130 - 140^\circ / 25 - 35^\circ$

*Poznámka: Jedná se o orientace spádových přímek ploch.*

Četnost ploch nespojitostí prvních dvou systémů je velmi silně proměnlivá, a to i na poměrně malých vzdálenostech. Lze konstatovat, že kolísá v rozmezí 0,5 - 4,0 m. V některých případech se setkáváme s výrazným vzrůstem četnosti jednoho směru trhlin - tzv. drcených pásem (obrázek 3). Tato pásma jsou zřejmá v pravé části obrázku. Hornina v těchto pásmech je prakticky nepoužitelná pro jakýkoliv typ kamenické výroby. Plochy nespojitostí třetího systému jsou nevýrazné a jejich četnost je podstatně nižší, než četnost prvních dvou systémů.



*Obrázek 3: Systémy puklin a drcená pásma.*

Prvky tzv. velké tektoniky jsou zastoupeny klasickými tektonickými poruchami. V zájmové oblasti, ani v jejím okolí, se nenalézají žádná významná tektonická linie regionálního významu. Nejvýznamnější tektonickou linií je porucha, nalézající se západně od stávajícího lomu, a to v jeho bezprostřední blízkosti. Tato porucha má nadložiskový význam a její směr je v generelu SSV – JJZ. Jinak se na ložisku setkáváme s poruchami vysloveně regionálního významu.

#### „Charakteristický profil ložiska:“ (2)

- 0,00 - 0,30 m - kulturní vrstva
- 0,30 - 1,20 m - aluviální a deluviální sedimenty
- 1,20 - 4,00 m - hypergenními činiteli velmi silně postižená a pro kamenickou výrobu nepoužitelná žula
- 4,00 - x,xx m - žula použitelná pro kamenickou výrobu

### **2.3 Hydrogeologické poměry lokality**

Hydrologie ložiska Horní Dvorce je velmi jednoduchá. Při vedení exploatační činnosti nebyly dosud zastiženy žádné podzemní prameny. Povrchové vody, mající původ ve srážkové činnosti, se prakticky zcela vsakují. Pouze při extrémní srážkové činnosti se na dně lomu dočasně vytvoří relativně malá vodní plocha. Proto je nutno čerpat důlní vody pouze velmi zřídka.

Průlinově propustné horniny zvětralinového pláště moldanubického plutonu společně s porušeným povrchem krystalinických hornin vytvářejí zónu, kde se formují mělké podzemní vody. Podle dostupné hydrogeologické dokumentace lze říci, že koeficient filtrace se v těchto horninách pohybuje v řádu  $10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$ .



Podzemní voda leží konformně s terénem a pohybuje se ve směru spádnice po úbočích kopců k jejich úpatí. Aby bylo možné zjistit směr proudění podzemní vody ve vrcholové části Kalcova kopce, a tím i oblast teoretického ohrožení činností v lomu situovaného v katastrálním území Horní Dvorce, byla firmou GEOtest Brno, a.s. provedena analýza, která umožnila rozčlenit terén v okolí lomu do dílčích povodí. Tím byla vymezena oblast, ve které mohou být teoreticky ohroženy podzemní vody činností lomu. Dle názoru firmy GEOtest Brno, a.s., je jedinou oblastí, která může být takto ohrožena, prostor mezi lomem a západním okrajem obce Horní Dvorce. Zde se nacházejí dva vodní zdroje (studny), oba slouží k zásobování obce Horní Dvorce pitnou vodou.

## **2.4 Přehled provedeného geologického průzkumu**

V roce 1996 byl proveden přepočít zásob na ložisku Horní Dvorce, ke kterému bylo přistoupeno vzhledem k tomu, že původní výpočet byl naprosto nedostatečný a nebral v úvahu výsledky zjištěné při vedení exploatačních prací v zájmové oblasti.

Přepočít byl proveden na základě geologického průzkumu, který vycházel z:

- výsledků průzkumu provedeného těžbou
- výsledků vrtného průzkumu v zájmové oblasti (jednalo se o bezjádrové vrty)

*Poznámka: Zásoby byly spočteny pouze pro pozemky, které jsou určeny k těžbě.*

Výsledky geologického průzkumu z roku 1996 (2) jsou uvedeny v následující tabulce (tabulka 1):

Tabulka 1: Rozdělení zásob ložiska na základě geologického průzkumu z roku 1996.

Celkový objem bloku	405 087 m <sup>3</sup>
Odtěženo	18 300 m <sup>3</sup>
Současný objem bloku	386 787 m <sup>3</sup>
Objem skrývkového materiálu	35 004 m <sup>3</sup>
Celkové zásoby	351 783 m <sup>3</sup>
Zásoby bilanční	263 837 m <sup>3</sup>
- zásoby bilanční volné	163 644 m <sup>3</sup>
- zásoby bilanční vázané	100 193 m <sup>3</sup>
Zásoby nebilanční	87 946 m <sup>3</sup>
- zásoby nebilanční volné	54 546 m <sup>3</sup>
- zásoby nebilanční vázané	33 400 m <sup>3</sup>
Zásoby volné celkem	218 190 m <sup>3</sup>
Zásoby vázané celkem	133 593 m <sup>3</sup>

Výše uvedený výpočet byl limitován následujícími podmínkami:

- výpočet byl proveden pro interval povrch až kóta 620 m n.m. s tím, že zásoby žuly pokračují dále do hloubky
- zásoby byly počítány pouze pod pozemky určenými k těžbě
- při výpočtu zásob se počítalo s ponecháním bermy 10 m okolo celého pozemku, kde bude těžba prováděna a se sesvahováním pod úhlem 75°

## 2.5 Současný stav zásob ložiska (rok 2010)

Zásoby na ložisku Horní Dvorce jsou rozděleny dle podmínek využitelnosti na zásoby bilanční a nebilanční, volné a vázané, vázané dočasně a trvale. Přehled o současném stavu zásob na ložisku shrnuje následující tabulka (tabulka 2).



Tabulka 2: Současný stav bilančních a nebilančních zásob ložiska.

Zásoby bilanční celkem	197 737 m <sup>3</sup>
- zásoby bilanční volné	97 544 m <sup>3</sup>
- zásoby bilanční vázané	100 193 m <sup>3</sup>
- dočasně	100 193 m <sup>3</sup>
- trvale	0 m <sup>3</sup>
Zásoby nebilanční celkem	87 946 m <sup>3</sup>
- zásoby nebilanční volné	54 546 m <sup>3</sup>
- zásoby nebilanční vázané	33 400 m <sup>3</sup>
- dočasně	0 m <sup>3</sup>
- trvale	33 400 m <sup>3</sup>

Veškeré zásoby ložiska nejsou v současné době těžitelné. Celkové zásoby jsou rozděleny na zásoby volné a zásoby vázané dočasně a trvale (tabulka 3).

Tabulka 3: Současný stav volných a vázaných zásob ložiska.

Zásoby volné celkem	152 090 m <sup>3</sup>
Zásoby vázané celkem	133 593 m <sup>3</sup>
- dočasně vázané zásoby	100 193 m <sup>3</sup>
- trvale vázané zásoby	33 400 m <sup>3</sup>

Pod pojmem trvale vázané zásoby se rozumí zásoby vázané v bermě a zásoby vázané sevahováním. Pod pojmem dočasně vázané zásoby se rozumí zásoby vázané technickým zázemím lomu.

Současný stav zásob bilančních a nebilančních a zásob volných a vázaných jsem provedl výpočtem na základě geologického průzkumu z roku 1996 a dokumentů, vykazujících celkovou roční těžbu za jednotlivé roky v období let 1996 až 2009, zapůjčených firmou Lom Horní Dvorce, s.r.o..

## 2.6 Plánované změny zásob ložiska nerostu, přírůstky a úbytky zásob

S přírůstky zásob se nepočítá. Před zahájením vlastních dobývacích prací je nutno na části pozemků dokončit skrývkové práce. Celkové úbytky zásob za rok se předpokládají do 10 000 m<sup>3</sup> suroviny. Dle dlouhodobé zkušenosti lze konstatovat, že výrubnost

Martin Štrejbar : Výzkum mechanických vlastností žul mrákotínského typu při použití různých druhů travin k produkci výrobků hrubé a ušlechtilé kamenické výroby

se pohybuje kolem 65 %, ztráty při následném zpracování a zušlechťování vydobyté suroviny pak kolem dalších 25 %.

## **2.7 Množství zásob vázaných v ochranných pilířích**

Trvale vázané zásoby se budou nalézat po vydobytí celého ložiska pouze v tzv. bermě a v na ní navazujícím sesvahování. Jedná se celkem o 33 400 m<sup>3</sup> suroviny. O možnosti uvolnění alespoň části těchto zásob lze uvažovat po přikoupení dalších pozemků.

## **2.8 Plánovaný další průzkum ložiska a jeho životnost**

Otevřenost zásob je pro exploataci dostatečná. V současné době se na ložisku neplánuje další klasický vyhledávací geologický průzkum. Bude prováděn pouze tzv. průzkum vlastní těžbou a dle jeho výsledků bude upravován rozvoj dobývací fronty.

Životnost ložiska je za stávajících podmínek odhadována přibližně na 20 let - tzn. přibližně do roku 2030.

### **3 TECHNOLOGIE TĚŽBY A DOPRAVY, STROJNÍ ZAŘÍZENÍ**

#### **3.1 Přípravné práce**

Přípravné práce jsou prováděny bezprostředně před vedením vlastních dobývacích prací. V podstatě se jedná o tvorbu volných ploch horninového masívu, a to tak, aby bylo možno realizovat těžbu suroviny pro potřeby klasické hrubé kamenické výroby.

Tvorba volných ploch, t.j. vlastní přípravné práce pro exploataci, je na ložisku realizována prostřednictvím tzv. prostřelování ulice pomocí skalních trhavin. Při vedení exploatačních prací je v maximální míře využívána tektonická stavba horninového masívu, a to tak, aby umělá tvorba dalších stupňů volnosti byla minimální.

Stávající blokovitost horniny se pohybuje od 0,4 do 2,0 m<sup>3</sup>. Bloky jsou dle velikosti a kvality materiálu tříděny a použity ke zpracování na produkty hrubé kamenické výroby přímo na kamenolomu nebo nabízeny jiným firmám ke zpracování na produkty ušlechtilé kamenické výroby.

#### **3.2 Dobývací práce**

Dobývání je prováděno ve třech etážích, jejichž výška nepřesahuje 10 metrů (obrázek 4).



*Obrázek 4: Těžební prostor lomu.*

#### Rozdělení etáží:

- I. etáž je založena na kótě 647,5 - 658 m n.m., a to dle vývoje tektonické stavby horninového masívu.
- II. etáž v současné době na ní probíhá exploatace, její nadmořská výška je 647,5 m n.m.
- III. etáž je založena na kótě 638 m n.m., což je kóta stávajícího dna lomu.

V rámci každé etáže jsou, na základě tektonické stavby horninového masívu, vymezeny dílčí bloky, které jsou postupně dobývány shora dolů, a to podle přirozené blokovitosti a odlučnosti. Šířka porubní fronty není omezena. Postup stěn etáží a postup exploatačních prací v rámci etáží je v generelu od jihu k severu. Tento generelní směr však v jednotlivých konkrétních případech není přísně dodržován, neboť detailní směr postupu je limitován lokální tektonickou stavbou horninového masívu.

Výška jednotlivých pracovních stupňů v rámci etáží je dána tektonickou stavbou masívu, jejich minimální délka je 2 m, hloubka minimálně 1,5 m. Dobývací práce jsou

Martin Štrejbar : Výzkum mechanických vlastností žul mrákotínského typu při použití různých druhů trhavin k produkci výrobků hrubé a ušlechtilé kamenické výroby

v současné době prováděny na dvou samostatných pracovištích, v rámci jedné nebo dvou etází.

Vlastní dobývací práce jsou prováděny především pomocí trhacích prací malého rozsahu za použití trhavin s posuvným účinkem. Používán je především Vesuvit TN, dále pak Vesuvit THH a Černý prach z delaborace za použití elektrického roznětu elektrickým palníkem. Pouze výjimečně je používán Perunit 28E, důlní skalní trhavina s tříštivým účinkem, k přípravným pracím.

#### Parametry těžebních a skrývkových řezů

Vzhledem k minimální mocnosti skrývky, není nutné na ložisku detailně řešit problematiku skrývkových řezů. Vlastní skrývkové práce probíhají prakticky ve třech řezech. V prvním je odstraněna kulturní vrstva, která je samostatně deponována pro účely následné rekultivace. V druhém jsou pak odstraněny ostatní aluviální a deluviální sedimenty. Ve třetím je pak provedena tzv. tvrdá skrývka.

Úklon stěn jednotlivých stupňů a celých etází je určován lokální tektonickou stavbou, avšak musí být dodržována zásada, že i když je úklon některých stupňů negativní, nesmí být negativní úklon stěny etáže jako celku. Z provedených technologických zkoušek a výsledků pozorování okolního horninového masívu vyplývá, že v průběhu exploatace je možno ponechávat v rámci jednotlivých etází zcela svislé stěny.

Při vedení dobývacích prací je počítáno s dvěma až třemi pracovišti a dvěma až pěti pracovníky pro každé z nich. V současné době jsou při vedení dobývacích prací zřízena dvě pracoviště. Na každém z těchto pracovišť pracují dva až tři pracovníci.

### 3.3 Vrtací práce k přípravě trhacích prací

Při provádění vrtacích prací k přípravě vývrtů pro odstřely je na kamenolomu Horní Dvorce používáno pouze ručních pneumatických vrtacích kladiv VK 15 s náhradními pouzdry z pneumatického vrtacího kladiva VK 22 k uchycení šestihranné vrtací tyče OK 22. Na tuto vrtací tyč je pak nasazena vrtací korunka o průměru 36 mm. Ke směřování účinku náloží se používá směřovací korunka o průměru 45 mm. Použití rozměrných vrtacích souprav není v podmínkách tohoto kamenolomu reálné.

Vrtací práce jsou na kamenolomu prováděny průběžně, těsně před prováděním trhacích prací a to několikrát denně.

### 3.4 Stávající způsob provádění trhacích prací na kamenolomu Horní Dvorce

#### Provádění trhacích prací na kamenolomu Horní Dvorce

- klasickými trhacími pracemi s použitím trhavin jak s posuvným, tak i tříštivým účinkem. Trhaviny s posuvným účinkem (zejména Vesuvit TN, Vesuvit THH, Černý prach z delaborace), které jsou používány pro získávání suroviny pro kamenické účely. Tyto trhaviny jsou používány při trhacích pracích primárních i sekundárních, kdy dochází k vylamování bloků horniny o velikosti 0,3 - cca 2,0 m<sup>3</sup>, které jsou následně zpracovávány na produkty hrubé, případně ušlechtilé, kamenické výroby. Trhaviny s tříštivým účinkem (klasické skalní trhaviny) jsou používány převážně při provádění skrývkových prací. Při vlastní těžbě pak jen zcela výjimečně, a to při tzv. prostřelování ulice.
- cevamitem, při vylamování bloků horniny, v některých případech i jako alternativa sekundárních trhacích prací prováděných pomocí trhavin s posuvným účinkem.
- pomocí klínů (obyčejných i pérových)

Trhací práce jsou na kamenolomu prováděny několikrát v průběhu osmihodinové směny, průměrně však přibližně 30 krát. Na jednotku výroby (průměrný blok o velikosti 0,5 m<sup>3</sup>) je použito cca 100 g trhaviny (černého trhacího prachu). Měsíčně je tedy při trhacích pracích spotřebováno cca 65 kg černého trhacího prachu a pro přípravné práce cca 25kg Perunitu 28E. Celková roční spotřeba trhaviny je průměrně 900 kg (650 kg ČTP + 250 kg Perunitu 28E), což odpovídá celkovým ročním nákladům na trhaviny 75 000,- Kč.

### **3.5 Mechanizace, elektrifikace, doprava a zajištění provozu materiálem**

#### Strojní zařízení pro realizaci exploatační činnosti v lomu Horní Dvorce: (3)

##### a) Výroba stlačeného vzduchu

V současné době je v provozu elektrický šroubový kompresor Atlas Copco GA-45, jako náhrada za zastaralý a poruchový kompresor typu DVK2 280. Základní rozvod stlačeného vzduchu je veden ocelovým potrubím o průměru 100 a 50 mm, rozvod na jednotlivá pracoviště v lomu a na jednotlivá pracoviště zpracování suroviny pak pomocí gumových hadic o průměru 20 a 25 mm.

##### b) Elektrifikace

Lokalita lomu Horní Dvorce je elektrifikována. Je zde přípojka vysokého napětí 22 kV, které je transformováno na hodnotu nízkého napětí 380 V.

##### c) Zvedací a nakládací mechanismy

Jako zvedací mechanismy slouží jeřáby. Pro vlastní těžbu je v současné době používán plazový jeřáb RDK 300 s housenicovým podvozkem. Manipulaci s materiálem v místě vlastního zpracování, překládání a nakládání výrobků obstarávají jeřáby RDK 280, RDK 300, jeden jeřáb typu DIER a kolový nakladač UNO 180. K nakládání odpadového

Martin Štrejbar : Výzkum mechanických vlastností žul mrákotínského typu při použití různých druhů travin k produkci výrobků hrubé a ušlechtilé kamenické výroby

materiálu, skrývky a zakládání odvalu a budování a údržbu komunikací v areálu kamenolomu slouží lopatová rýpadla typu DH 103 a DH 113.

d) Automobilová doprava

Surovina je dopravována z lomu na místo zpracování pomocí dvou nákladních automobilů typu TATRA T-148.

e) Zařízení pro zpracování a zušlechťování vydobyté suroviny

Při hrubé kamenické výrobě jsou používána klínovací kladiva K9-2. V případě rozšíření sortimentu dojde k nasazení hydraulických klínů a štokovacích ramen. Polotovary jsou finalizovány na konečné výrobky (dlažební kostky) třemi štípačkami kamene typu PORSFELD, PACON a VZUP Kamenná.

f) Pomocná a opravárenská zařízení

V technickém zázemí lomu jsou používána tyto zařízení:

- autogenní souprava
- elektrická svářečka typu TRIODIN
- elektrická bruska stabilní a přenosná
- elektrická rozbrušovačka
- elektrická vrtačka stabilní a přenosná
- polní výheň
- rámová strojní pila na kov



g) Zajištění provozu materiálem

Základní materiál denní potřeby a spotřeby je umístěn ve skladu. Ostatní materiál je zajišťován operativně.

Prostor vybavený technologiemi ke zpracování suroviny (obrázek 5) je zásobován vytěženým materiálem, průběžně za použití kolové dopravy, z těžební jámy patrné z obrázku č. 5 vpravo.



*Obrázek 5: Prostor pro zpracování suroviny a nakládku produktů.*

### **3.6 Stávající výrobní sortiment a jeho uplatnění**

„Stávající výrobní sortiment je tvořen výrobky hrubé kamenické výroby. Surovinou je žula „mrákotínského typu“ v barvě šedé, žlutavé a žlutošedé (melírové). Výrobní program je rozdělen do několika skupin. Jedná se především o silniční stavební program, hrubou kamenickou výrobu pro stavby technického typu, hrubou kamenickou výrobu pro ostatní stavby a těžbu žulových bloků, určených k dalšímu zpracování.“ (4)

### 3.6.1 Silniční stavební program

Silniční stavební program je tvořen dlažebními kostkami těchto druhů a velikostí:

- dlažební kostka velká 15/17 cm (obrázek 6)
- dlažební kostka drobná 8/10 cm (obrázek 6)
- dlažební kostka drobná 7/9 cm (obrázek 6)
- dlažební kostka mozaiková 4/6 cm (obrázek 6)
- dlažební kostka atypická (obrázek 6)



Obrázek 6: Ukázky silničního stavebního programu.

„Dalšími výrobky silničního stavebního programu jsou lámané silniční krajníky KS 3, používané ke zpevnění krajů vozovek a nástupišť. Tento sortiment nachází své uplatnění zejména při rekonstrukcích, dláždění ploch náměstí a ostatních veřejných prostranství, při stavbě a budování pozemních komunikací.“ (4)

„Jako doplněk k silničnímu stavebnímu programu jsou v nabídce firmy i odseky od kostek. Jedná se víceméně o odpad, vznikající při štípání dlažby, ale i přesto je možné z těchto odseků vytvořit plochu s nižšími požadavky na její maximální zatížení. Jedná se nejčastěji o vjezdy do zahrad či garáží rodinných domků, a to dokonce s velmi působivým efektem. Příkladem takovéto plochy může být zádlažba vstupního areálu Zoologické zahrady v Jihlavě.“ (4), (obrázek 7).



Obrázek 7: Vstupní areál Zoologické zahrady v Jihlavě.

### 3.6.2 Hrubá kamenická výroba pro stavby technického typu

„Tato část prodejního artiklu firmy Lom Horní Dvorce, s.r.o. zahrnuje především lomový kámen soklový, lomový kámen netříděný, lomový kámen tříděný (používá se jako štetový základový kámen), lomový kámen záhozový (o velikostech od několika centimetrů až po 200 kg a více), lomový kámen pro kyklopské zdivo, žulové šlapáky.“ (4), (obrázek 8, obrázek 9).

„Kromě uvedených druhů lomového kamene se pro stavby technického typu dodávají lámané krajníky, velká dlažební kostka, haklíky apod. Jejich rozměr bývá obvykle atypický a závisí na přání zákazníka.

Tyto výrobky nacházejí své uplatnění jako materiál ke zpevnění břehů a hrází, jako soklové zdivo, opěrné a obkládací zdivo svahů, při zpevnění zemních svahů (přikopy, koryta, rygoly), obkladový materiál pro vodní, železniční a silniční stavby, apod.“ (4)





Obrázek 8: Ukázky hrubé kamenické výroby pro stavby technického typu.



Obrázek 9: Ukázky hrubé kamenické výroby pro stavby technického typu.

### 3.6.3 Hrubá kamenická výroba pro ostatní stavby

„Jedná se zejména o masivní stavební prvky a prvky zahradní architektury, jako jsou např. schodišťové stupně, prahy, žulové zahradní šlapáky (i velkých rozměrů), haklíky, měřičské značky apod..“ (4), (obrázek 10).



Obrázek 10: Ukázky hrubé kamenické výroby pro ostatní stavby, žulové bloky.

### 3.6.4 Žulové bloky pro další zpracování

„Žulové bloky (obrázek 10) jsou těženy, co se velikosti týče, dle možností nakládacích a přepravních zařízení kamenolomu. Velikost těchto kamenných bloků je též výrazně limitována druhotně-tektonickou stavbou masivu. Kubatura žulových bloků se nejčastěji pohybuje v rozmezí 1,8 - 2,8 m<sup>3</sup>. Bloky jsou tříděny dle barvy (žlutá, modrá, melírová) a nabízeny zákazníkům z řady firem, které je zpracovávají na výrobky ušlechtilé kamenické výroby, jako jsou řezané dlažební desky s lící stranou řezanou, bosírovanou, tryskanou, broušenou nebo leštěnou, různotvaré řezané obklady stěn exteriérů i interiérů budov, dále pak fontány, chrliče, květináče, lavičky, ozdobné, užitkové a upomínkové předměty, pomníky, rámy, desky apod.“ (4)

## 4 SPECIFIKACE VÝZKUMU MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ ŽUL MRÁKOTÍNSKÉHO TYPU

### 4.1 Zkoušky mechanických vlastností horniny

„Pod pojmem mechanické vlastnosti hornin vyjadřujeme většinou vlastnosti pevnostní, přetvárné, reologické, energetické apod. Na mechanické vlastnosti hornin působí mnoho činitelů - jsou to např. rychlost zatěžování, rychlost přetváření, výchozí napěťový a přetvárný stav, existence různých nespojitostí v hornině, jejich četnost a orientace (pórovitost, trhlinovitost, vrstevnatost apod.), vlhkost, teplota, čas, druh a směr namáhání a další. Toto jsou činitelé, ovlivňující mechanické chování hornin objektivně, z vnitřních příčin. Komplexně nedovedeme zatím všechny tyto vlivy kvantitativně vyjádřit, ale pokoušíme se pouze vyjadřovat některé jednotlivé závislosti. Situace je o to horší, že při zkoumání jednotlivých závislostí působí vnější podmínky, za kterých stanovování těchto závislostí probíhá, které rovněž a někdy podstatně ovlivňují zjištěné parametry hornin.“ (3)

„U mechanických vlastností hraje rovněž velkou roli výběr horninového tělíška. Toto tělíško u laboratorních zkoušek představuje jen velmi malý element horského masivu a nemůže zahrnovat větší plochy nespojitostí, protože na nich dochází k rozpadu horniny při odběru vzorku a zhotovování zkušebního tělíška. Z tohoto důvodu se někdy provádí velkoobjemové zkoušky in situ, které mohou dát lepší představu o vlastnostech horského masivu. Mechanické vlastnosti můžeme zjišťovat při různých režimech zatěžování - dynamicky, kvazistaticky, nebo dlouhodobě.“ (3)

„Kvazistatické namáhání je často označováno jako statické. Jedná se o zatěžování s určitým smluvně stanoveným časovým přírůstkem napětí nebo přetvoření. Je to nejčastější způsob laboratorního měření, kdy získáváme navzájem srovnatelné parametry hornin.“ (3)

Martin Štrejbar : Výzkum mechanických vlastností žul mrákotínského typu při použití různých druhů trhavin k produkci výrobků hrubé a ušlechtilé kamenické výroby

„Dynamické namáhání je možné simulovat rázem, nebo cyklickým namáháním napodobujícím situaci při šíření seizmických vln horským masivem.“ (3)

„Při dlouhodobém zatěžování se jedná o zjišťování reologických vlastností hornin.“ (3)

Při výzkumu mechanických vlastností žul mrákotínského typu, ve vztahu k použitým druhům trhavin a konstrukcím náloží, jsem použil nejčastější způsob laboratorního měření, tedy způsob kvazistatického zatěžování vzorku. Při kvazistatickém zatěžování vzorku dochází k zatěžování s určitým časovým přírůstkem napětí nebo přetvoření. Ve Zkušební laboratoři výzkumného centra hornin VŠB-TU Ostrava byly zkoušeny pevnostní a přetvárné vlastnosti horninových vzorků, (resp. zkušebních tělísek) na testovacím zařízení typu MTS 816 Rock test systém (obrázek 11).



Obrázek 11: Příprava tlakové zkoušky na testovacím zařízení MTS 816 Rock test systém.

#### **4.1.1 Pevnostní vlastnosti horniny**

Pevnostní vlastnosti hornin lze zjišťovat při namáhání tahem, tlakem, ohybem a tečným namáháním. Ke zjištění tahových nebo tlakových pevností se používá různých druhů zkoušek.

##### **Tahové pevnosti**

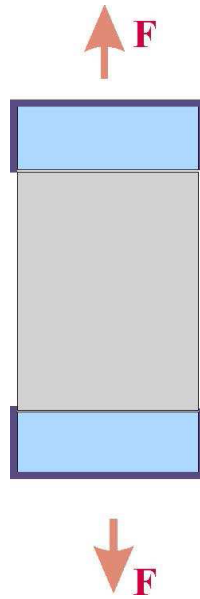
„Při zjišťování tahových pevností musíme u každé metody rozlišovat, zda obdržíme minimální pevnost, nebo zda se jedná o konkrétní pevnost v předurčeném místě namáhání.“ (3)

K tahovému namáhání dochází při použití těchto zkušebních metod:

- prostý tah,
- tah pomocí odstředivky,
- metoda souosých roubíků,
- příčný tah,
- bodové zatížení na polním lise,
- tahová pevnost zjišťována in situ,
- ohybové namáhání, které je kombinací tahového a tlakového namáhání.

„Při zjišťování pevnosti v prostém tahu (obrázek 12) dojde k vytvoření tahové trhliny v místě nejmenší odolnosti zkušebního tělíska na jeho volné části mezi objímkami. Získáváme tím nejmenší tahovou pevnost. Vzhledem k problémům s uchycováním objímek na zkušební tělísko tak, aby nebyly ovlivněny napěťové poměry, a z toho vyplývající složitosti přípravy každého zkušebního tělíska se této zkoušky používá málo. Je to však jediná vhodná metoda pro určování přetvárných vlastností při tahovém namáhání.“ (3)

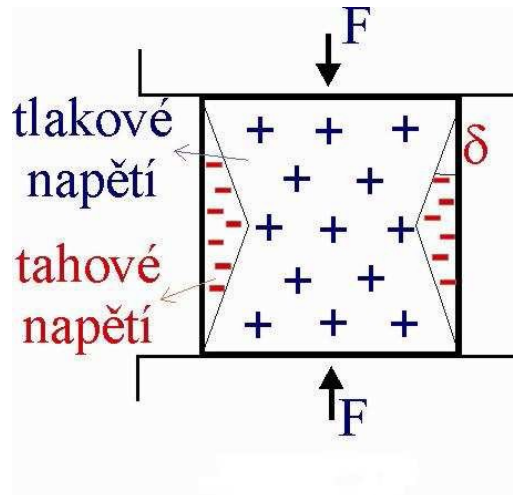




Obrázek 12: Zjišťování pevnosti v prostém tahu.

### **Tlakové pevnosti**

„Při tlakovém namáhání rozlišujeme podle stavu napjatosti jednoosé nebo objemové namáhání. Z hlediska způsobu zjišťování tlakové pevnosti rozlišujeme její přímé nebo nepřímé určování. Při přímém působení tlaku obdržíme různé výsledky vlivem tření na stykových plochách se zatěžujícím mechanismem. Proto rozlišujeme pevnostní charakteristiku s normálním třením a s podstatně sníženým třením na těchto stykových plochách. Nejrozšířenější metodou zjišťování tlakové pevnosti je zkouška v prostém (jednoosém) tlaku na pravidelných zkušebních tělískách. Při normálním tření na stykových plochách dochází k rozdělení napětí ve zkušebním tělísku (obrázek 13).“ (3)

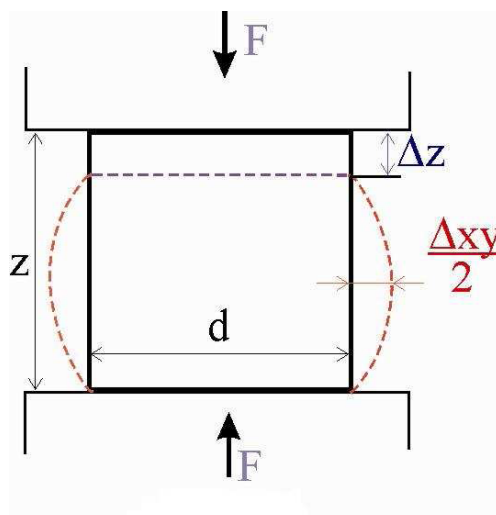


Obrázek 13: Rozložení napětí tlakové zkoušky.

Výslednou tlakovou pevnost stanovíme z maximální síly a počátečního průřezu zkušebního tělíska pomocí následujícího vzorce, viz vzorec (1):

$$\sigma_{Pd} = \frac{F_{max}}{S} \quad (1)$$

Následující obrázek (obrázek 14) znázorňuje přetváření tlakově namáhaného tělíska s normálním třením na stykových plochách.



Obrázek 14: Přetváření tlakově namáhaného tělíska s normálním třením na stykových plochách.

### **Pevnosti při tečném namáhání skalních hornin**

„Při tomto namáhání je důležité rozlišovat namáhání, kdy ve vyšetřované ploše působí pouze tečné napětí a normálové napětí je nulové od namáhání, kdy v dané ploše působí zároveň tečné i normálové napětí.“ (3)

Pro zjišťování pevnosti hornin při tečném namáhání se používá těchto zkušebních metod:

- razníková zkouška,
- krutová zkouška,
- zkouška na šikmých matricích,
- případně velkoobjemová zkouška in situ.

Pro účely výzkumu pevnostních vlastností mrákotínských žul byly vzorky zkoušeny na stanovení tlakové pevnosti zkouškou v prostém (jednoosém) tlaku na pravidelných zkušebních tělískách.

#### 4.1.2 Přetvárné vlastnosti horniny

„Při stanovování přetvárných vlastností hornin vycházíme z měření přetváření horninového zkušebního tělíska. U hornin zjišťujeme tuto charakteristiku převážně při tlakovém namáhání. Zjišťujeme přetváření horniny v podélném směru, příčném směru a z těchto hodnot můžeme odvodit i objemovou změnu.“ (3)

Podélné přetváření můžeme snímat různými způsoby:

- jako změnu vzdálenosti tlačných ploch čelistí lisu,
- změnu dvou fixovaných bodů na povrchu zkušebního tělíska,
- jako relativní deformaci snímanou tenzometry přilepenými na zkušební tělísko.

„Každá z těchto možností má svoje výhody a nevýhody. Při snímání přetváření jako změny vzdálenosti tlačných ploch čelistí lisu může dojít ke zkreslení vlivem dotlačování kontaktu mezi zkušebním tělískem a čelistmi lisu. Proto u tohoto způsobu měření nesmíme brát v úvahu průběh přetvárného diagramu na počátku zatěžování. Při snímání podélného přetváření zkušebního tělíska pouze na jeho povrchu může docházet k tomu, že přetvoření povrchu neodpovídá celkovému přetvoření zkušebního tělíska. V tomto případě by naměřené hodnoty přetvárných vlastností neodpovídaly skutečnosti.“ (3)

Osové přetváření zkušebního tělíska můžeme zaznamenávat:

- písemně pro určité výše působící síly (při snímání přetváření číselníkovými úchylkoměry),
- graficky souřadnicovým zapisovačem v závislosti na působící síle,
- do paměti počítače.

„Lépe než závislost osového přetvoření na působící síle nám chování hornin při zatěžování vyjádří závislost objemového přetvoření. Dosud se stanovují přetvárné charakteristiky, které charakterizují horninu hlavně do meze pevnosti. Z hlediska rozrušování hornin je rovněž důležitá přetvárná charakteristika za meze pevnosti horniny.“ (3)

### **Přetváření horniny do meze pevnosti**

„Při sledování podélného přetváření horniny můžeme stanovit podélný modul přetvárnosti (pružnosti) hornin. Přetváření pevných látek vlivem působící síly můžeme rozdělit na pružné (elastické) a nepružné (plastické). Homogenní pevné látky se většinou přetvářejí při nižších působících napětích pružně a až od určitého napětí se začínají přetvářet také plasticky. Horniny vlivem nesourodé stavby se přetvářejí při zatěžování většinou i při nižších napětích částečně nepružně. Chceme-li zjistit velikost pružného přetváření horninového tělíska, musíme po docílení určitého napětí toto tělísko odlehčovat. Při odlehčování se projeví pouze pružné přetváření  $\varepsilon_p$  a po úplném odlehčení horninové tělísko se nevrátí do původních rozměrů vlivem nepružných deformací  $\varepsilon_n$  (obrázek 15). Z tohoto důvodu rozlišujeme u hornin modul přetvárnosti a modul pružnosti. Modulem přetvárnosti rozumíme poměr mezi přírůstkem napětí a přetvoření v přímkové části zatěžující větve přetvárného diagramu.“ (3)

Modul přetvárnosti stanovíme ze vztahu, viz vzorec (2):

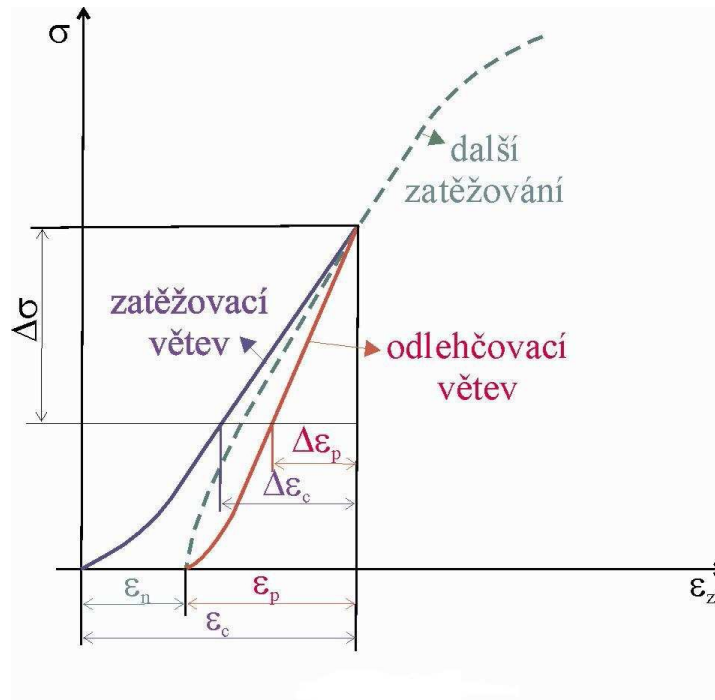
$$E_p = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_c} \quad (2)$$

Modulem pružnosti v tlaku rozumíme rovněž poměr mezi přírůstkem napětí a odpovídajícím přírůstkem přetvoření, v tomto případě v přímkové části odlehčující větve přetvárného diagramu. (3)

Modul pružnosti je dán vztahem, viz vzorec (3):

$$E_{tl} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_p} \quad (3)$$

„Tyto moduly jsou většinou stanovovány při jednoosé tlakové zkoušce se smluvní rychlostí zatěžování  $1 \pm 0,5 \text{ MPa}\cdot\text{s}^{-1}$ , proto jsou rovněž označovány jako statické moduly (přesněji kvazistatické).“ (3)



Obrázek 15: Graf pro stanovení modulu přetvárnosti.

„Závislost mezi podélným a příčným přetvořením udává Poissonovo číslo  $\mu$ . Stanovíme jej z přímkových průběhů těchto přetvoření v oblastech, kde ještě nedošlo k narušení horniny působícím napětím.“ (3) Z přetvárných diagramů (obrázek 16) jej stanovíme ze vztahu, viz vzorec (4, 5, 6):

$$\mu = \frac{\Delta\varepsilon_{xy}}{\Delta\varepsilon_z} \quad (4)$$

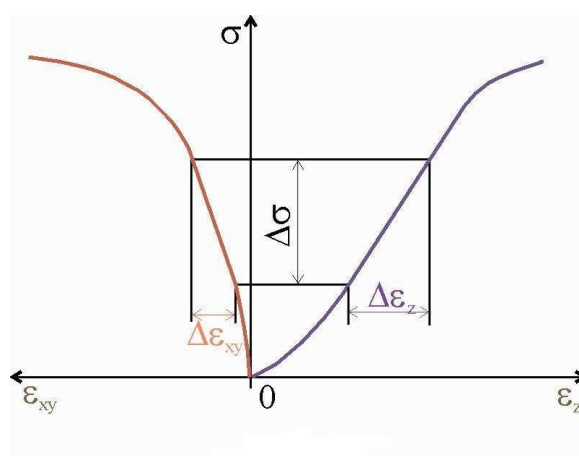
$$\Delta\varepsilon_z = \frac{\Delta z}{z} \quad (5)$$

$$\Delta\varepsilon_{xy} = \frac{x_1+x_2+x_3+x_4}{2} \quad (6)$$

Převrácená hodnota Poissonova čísla udává Poissonovu konstantu  $m$ , viz vzorec (7):

$$m = \frac{1}{\mu} \quad (7)$$

„Takto stanovené Poissonovo číslo (Poissonova konstanta) označujeme obdobně jako u podélných modulů jako statické (přesněji kvazistatické). Poměrně přesně můžeme určit Poissonovo číslo z boční tlačivosti hornin.“ (3)



Obrázek 16: Graf pro stanovení Poissonova čísla.

V případě výzkumu mechanických vlastností žul mrákotínského typu byly zjišťovány přetvárné vlastnosti horniny pouze sledováním přetváření horniny do meze pevnosti nikoliv pak přetváření horniny za mezí pevnosti. Pro vybraná zkušební tělíska byl stanoven modul přetvárnosti a modul pružnosti. Dopočítáno pak bylo Poissonovo číslo udávající závislost mezi podélným a příčným přetvořením.

## 4.2 Trhaviny a typy konstrukcí náloží

K výzkumu byly použity především trhaviny s posuvným účinkem - černé trhací prachy, konkrétně Vesuvit THH, Vesuvit TN, Černý prach z delaborace, dále pak pro srovnání trhavina s tříštivým účinkem zastoupená Perunitem 28E. Ze tří druhů černých

Martin Štrejbar : Výzkum mechanických vlastností žul mrákotínského typu při použití různých druhů trhavin k produkci výrobků hrubé a ušlechtilé kamenické výroby

trhacích prachů, které jsem při výzkumu použil má Vesuvit THH nejvyšší zrnitost, Vesuvit TN výrazně nižší než Vesuvit THH a Černý prach z delaborace nejnižší zrnitost.

### **VESUVIT THH**

Černý trhací prach Vesuvit THH (obrázek 17) je směs dusičnanu draselného, síry a dřevěného uhlí. Je to sypká hrubozrnná látka šedočerné barvy s pololesklým povrchem (grafit). Vesuvit THH se používá jako výmetná slož a tuhá pohonná hmota (TPH) raket. Lze jej použít i k trhacím pracím s posuvným účinkem. Vesuvit THH je nevodovzdorný a je možno jej používat pouze v suchém prostředí za podmínek stanovených v návodu k používání.



*Obrázek 17: Vesuvit THH.*

### **VESUVIT TN**

Černý trhací prach Vesuvit TN (obrázek 18) je směs dusičnanu draselného, síry a dřevěného uhlí. Stejně jako Vesuvit THH to je sypká zrnitá látka šedočerné barvy s pololesklým povrchem (grafit), ale na rozdíl od Vesuvit THH má podstatně nižší zrnitost. Vesuvit TN se používá pro šetrné rozpojování neroztříštěných kusů ušlechtilých hornin



(bloková těžba) nebo při trhacích pracích v lehce rozpojitelých horninách. Vesuvit TN je též nevodovzdorný a smí se používat pouze v suchém prostředí za podmínek stanovených v jeho návodu k používání. Nabíjí se do vývrtů nebo spár pomocí náložek v papírovém obalu. K roznětu lze použít elektrický palník, zápalnici nebo rozněcovadlo s iniciační schopností, jakou má standardní zážehová rozbuška číslo 8.



*Obrázek 18: Vesuvit TN.*

### **ČERNÝ PRACH Z DELABORACE**

Černý prach z delaborace (obrázek 19) je drobnozrnný černý trhací prach podobných parametrů jako Vesuvit THH a Vesuvit TN a je získáván díky projektu delaborace a ekologické likvidace munice pro ministerstvo obrany ČR. Sortiment delaborované munice je široký a to od ráže 7,62 mm až po ráži 152 mm. Dále jsou nelaborovány protitankové miny, letecké pumy, protitankové řízené střely, signální, akustické a zadýmovací prostředky atd. K delaboraci dělostřelecké munice, která obsahuje směsné trhaviny, se používá technologie vytryskávání vodním paprskem.



*Obrázek 19: Černý prach z delaborace.*

### **PERUNIT 28E**

Perunit 28E (obrázek 20), důlní skalní trhavina klasického dynamitového typu o průměru náložky 28 mm, z jejíž konstrukce vyplývá vysoký obsah energie, velká hustota a vysoké hodnoty detonační rychlosti. Používána je na podzemních pracovištích v nevýbušném prostředí a na povrchových pracovištích, kde charakter rozpojovaného materiálu vyžaduje použití výkonné trhavin. Velkopřůměrové náložky jsou vhodné k počínání dalších trhavin. Používá se i k trhacím pracím v mokru a pod vodou. Tato tradiční trhavina byla v roce 2007 opět inovována a neobsahuje již zdravotně nebezpečné DNT a TNT.



Obrázek 20: Perunit 28E.

V níže uvedené tabulce (tabulka 4) shrnuji základní parametry použitých trhavin, vyjma Černého prachu z delaborace z důvodu nedostupnosti informací o této specifické trhavině. S největší pravděpodobností má tato trhavina velmi podobné parametry jako Vesuvit TN, pouze velikost zrna je nižší a to cca 0,50 – 1,5 mm.

Tabulka 4: Přehled vybraných parametrů použitých trhavin.

Parametr	Jednotka	VESUVIT THH	VESUVIT TN	PERUNIT 28E
Výbuchové teplo	$\text{kJ.kg}^{-1}$	3050-3070	3050-3070	min. 4100
Měrný objem zplodin	$\text{dm}^3.\text{kg}^{-1}$	280-300	280-300	858
Výbuchová teplota	$^{\circ}\text{C}$	2100-2400	2250	min. 3000
Velikost zrna	mm	2,24-7,1	0,63-2,0	-
Detonační rychlost	$\text{m.s}^{-1}$	340	340	6000

Při vedení výzkumu jsem volil konstrukci náloží výše uvedených trhavin jako dělenou, nedělenou, nedělenou s cca 50 % předdimenzováním a s cca 100 % předdimenzováním nálože pro zjištění míry vlivu zkušeností a správného odhadu potřebného množství trhaviny střelmistrem.



### 4.3 Odběr vzorků, trhací práce a výsledky dříve provedených zkoušek

#### 4.3.1 Trhací práce, odběr vzorků a dílčích vzorků

Trhací práce byly prováděny střelmistrem v prostoru lomu, stav bloku rozpojované horniny byl náležitě fotograficky dokumentován před (obrázek 21), v případě možnosti během (obrázek 22, obrázek 23) a po provedení trhacích prací.



*Obrázek 21: Bloky horniny připravené k rozpojení.*



*Obrázek 22: Rozpojení bloku č.10 - dělená nálož ČPD.*



*Obrázek 23: Rozpojení bloku č.15 Perunitem 28E - nedělená nálož se 100% nadhodnocením.*

Dva vzorky (o rozměru cca 25 x 18 x 10 cm), z každého rozpojeného nadměrného kusu (bloku) byly následně odebrány lamačem (obrázek 24) a dopraveny do Zkušební laboratoře výzkumného centra hornin na VŠB-TU Ostrava. První vzorek byl



Martin Štrejbar : Výzkum mechanických vlastností žul mrákotínského typu při použití různých druhů trhavin k produkci výrobků hrubé a ušlechtilé kamenické výroby

vždy odebrán přímo od plochy odlomu a druhý ve vzdálenosti 20 cm od této plochy. Tímto bylo možno při vyhodnocování výsledků výzkumu sledovat vliv trhaviny na horninu ve vztahu ke vzdálenosti nálože.



*Obrázek 24: Vzorky odebrané z rozpojeného bloku horniny.*

Konstrukce náloží byla pro každý typ trhaviny koncipována jako dělená (obrázek 25), nedělená, nedělená s 50 % nadhodnocením trhaviny a nedělená se 100 % nadhodnocením trhaviny. Tímto bylo možno provést analýzu vlivu konstrukce a nadhodnocení velikosti nálože trhaviny.



*Obrázek 25: Dělenou náloží Vesuvitu TN rozpojený blok č. 2 s označením místa odběru vzorků.*

Ve Zkušební laboratoři výzkumného centra hornin VŠB-TU Ostrava bylo z každého vzorku odebráno šest dílčích vzorků (obrázek 26, obrázek 27) o tvaru a velikosti dle příslušné normy. Tyto pak byly zkoušeny ke stanovení výše uvedených mechanických vlastností horniny.



Martin Štrejbar : Výzkum mechanických vlastností žul mrákotínského typu při použití různých druhů travin k produkci výrobků hrubé a ušlechtilé kamenické výroby



Obrázek 26: Odvrtávání vzorků ve ZLVCH VŠB - TU Ostrava.



Obrázek 27: Vrtná jádra určená k přípravě zkušebních tělísek.

Celkem bylo za účelem výzkumu rozpojeno 15 bloků (obrázek 25), jeden z nich byl rozpojen pomocí pérových klínů (obrázek 28), zbylých 14 pak pomocí trhacích prací. Z rozpojených bloků tak bylo odebráno 30 vzorků (obrázek 24), z nichž bylo posléze



Martin Štrejbar : Výzkum mechanických vlastností žul mrákotínského typu při použití různých druhů travin k produkci výrobků hrubé a ušlechtilé kamenické výroby

odebráno celkem 180 dílčích vzorků (zkušebních tělísek) určených pro zkoušení na testovacím zařízení.



Obrázek 28: Blok č. 1 rozpojený pomocí pérových klinů.

#### 4.3.2 Výsledky dříve provedených zkoušek

V roce 2006 byly firmou Zkušebna kamene a kameniva, s.r.o. z Hořic provedeny pro potřeby firmy Lom Horní Dvorce, s.r.o. zkoušky kamene s výsledky, jejichž výsledky stručně shrnuje tabulka (tabulka 5).

Tabulka 5: Výsledky zkoušek provedených v roce 2006.

Vlastnost	Deklarovaná hodnota
Petrografický popis	Biotitický granit
Objemová hmotnost	min. 2650 kg.m <sup>-3</sup>
Pevnost v tlaku suchého vzorku	min. 150 MPa
Pevnost v tlaku zmrazeného vzorku	min. 130 MPa
Nasákavost vodou za atmosférického tlaku	max. 0,5 % hm.

### 4.3.3 Zkoušky prováděné v současnosti

Zkoušky kamene jsou v současné době prováděny dle normy ČSN EN 1342 (Dlažební kostky z přírodního kamene pro venkovní dlažbu – Požadavky a zkušební metody) a ČSN EN 1343 (Obrubníky z přírodního kamene pro venkovní dlažbu – Požadavky a zkušební metody). Podle těchto norem je výrobcem nebo jeho zástupcem, na základě protokolu o zkoušce, vypracováno prohlášení o shodě výrobku. Příslušné zkoušky musí být provedeny před zahájením prodeje nově vyvinutého druhu výrobku a kdykoliv se vyskytne významná změna v surovině nebo způsobu výroby, která by mohla změnit vlastnosti konečného výrobku.

Výzkumem byla potvrzena hodnota průměrné pevnosti v tlaku zkušebních tělísek zhotovených ze vzorků odebraných po odstřelu černými trhacími prachy o velikosti 165,61 MPa. Tato hodnota se výrazně liší od hodnoty deklarované Zkušebnou kamene a kameniva, s.r.o.. Hodnota zjištěné průměrné objemové hmotnosti o velikosti 2602 kg.m<sup>-3</sup> se od hodnoty zjištěné Zkušebnou kamene a kameniva, s.r.o. (tabulka 5) výrazně neliší.

## 5 VÝSLEDKY ZKOUŠEK VÝZKUMU, ANALÝZA HODNOT

### 5.1 Průběh výzkumu

V kamenolomu Horní Dvorce byly provedeny trhací práce a rozpojení vhodných žulových bloků. Všechny bloky byly odebrány ze stejné etáže a stupně z důvodu kolísání kvality těžené suroviny vlivem hloubky uložení. Tímto jsem se snažil eliminovat vliv značné různorodosti materiálu, který se zde vyskytuje ve dvou odstínech, šedohnědé až žlutavé a šedé s nádechem do modra. Trhací práce probíhaly na kamenolomu v průběhu června až srpna 2009, stejně tak i odběr vzorků z rozpojených bloků. Následně byly tyto vzorky dopraveny do Zkušební laboratoře výzkumného centra hornin Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava. Zde bylo ze vzorků zhotoveno celkem 180 zkušebních tělísek (obrázek 29), které pak byly v průběhu ledna až března 2010 zkoušeny na testovacím zařízení typu MTS 816 Rock test systém. Zkušební tělíska byly zkoušeny na pevnost v prostém (jednoosém) tlaku, zároveň byly snímány a formou počítačového výstupu ukládány hodnoty pro odečtení maximální tlakové síly a hodnoty podélného a příčného přetvoření pro stanovení modulu přetvárnosti a modulu pružnosti. Dopočtena byla závislost mezi podélným a příčným přetvořením. Dalšími výstupy měření jsou přetvárné diagramy pro stanovení modulu přetvárnosti a modulu pružnosti pro vybraná zkušební tělíska. Rychlost zatěžování zkušebních tělísek byla pro potřeby výzkumu stanovena na  $1925 \text{ N}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Hodnoty podélného přetvoření zkušebního tělíska jsou zatíženy chybou vlivem tuhosti lisu, proto byla tyto hodnoty provedena korektura zahrnující tuhost lisu, která má hodnotu  $2,6 \text{ MN}\cdot\text{mm}^{-1}$ .

Výsledky výzkumu, viz níže, vyplývají z porovnání naměřených a vypočtených hodnot a na jejich základě určení ideální trhaviny, jejího množství a ideální konstrukce nálože.



Obrázek 29: Zkušební tělísko 2\_5 zhotovené z bloku horniny odebraného vzorku.

## 5.2 Výsledky výzkumu, hodnoty

Po analýze dat uložených v datových souborech po jednotlivých měřeních všech tělísek jsem zhotovil tabulky shrnující základní naměřené a dopočtené hodnoty. Jeden ze 180 datových souborů, konkrétně datový výstup měření vzorku 12\_5, včetně výpočtové tabulky hodnot modulu pružnosti, přetvárnosti a Poissonova čísla uvádím v příloze (příloha A).

Následující tabulka (tabulka 6) uvádí přehled provedených trhacích prací, hmotnosti jednotlivých náložek, rozměry bloků, jejich objemy a plochy lomových ploch rozpojených bloků. Hmotnosti jednotlivých náloží byly voleny s ohledem na velikost bloku a zároveň na hodnotu nadhodnocení náložě.

Po výpočtu poměru hmotnosti trhaviny a plochy lomu rozpojeného bloku u nedělené konstrukce náložě s 0 % nadhodnocením náložky trhaviny a použitím černých trhacích prachů, kde byla snaha střelmistra o co možná nejnižší hmotnost náložky potřebnou k rozpojení bloku, jsem zjistil minimální hodnotu tohoto poměru  $32,09 \text{ g.m}^{-2}$

a maximální hodnotu  $83,95 \text{ g.m}^{-2}$ . V každém z případů přitom došlo k řádnému rozpojení bloku, proto navrhuji jako ideální poměr hmotnosti nálože a plochy lomu rozpojeného bloku v rozmezí  $0,30$  až  $0,50 \text{ g.m}^{-2}$ . Tato hodnota je důležitá pro ekonomičnost vedení trhacích prací, nicméně v praxi je velice obtížně udržitelná, neboť záleží na přesném odhadu a zkušenostech střelce.

Tabulka 6: Přehled provedených trhacích prací a jejich parametrů.

trhavina	blok	nálož	hmotnost trhaviny	rozměr bloku	objem bloku	plocha lomu
	č.	konstrukce	g	cm	$\text{m}^3$	$\text{m}^2$
Pérové klíny	1	nedělená	0	115 x 75 x 100	0,863	0,750
Vesuvit TN	2	dělená	47 + 36	210 x 95 x 165	3,292	1,568
	3	nedělená	35	140 x 55 x 100	0,770	0,550
	4	nedělená + 50%	50	80 x 100 x 105	0,840	1,050
	5	nedělená + 100%	75	300 x 100 x 150	4,500	1,500
Vesuvit THH	6	dělená	36+35	160 x 80 x 135	1,728	1,080
	7	nedělená	30	140 x 110 x 85	1,309	0,935
	8	nedělená + 50%	46	200 x 110 x 85	1,870	0,935
	9	nedělená + 100%	100	260 x 80 x 135	2,808	1,080
Černý prach z delaborace	10	dělená	35+35	180 x 90 x 150	2,430	1,350
	11	nedělená	34	210 x 45 x 90	0,851	0,405
	12	nedělená + 50%	50	130 x 45 x 90	0,527	0,405
	13	nedělená + 100%	70	80 x 90 x 135	0,972	1,215
Perunit 28E	14	nedělená	20	80 x 55 x 55	0,242	0,303
	15	nedělená + 100%	35	160 x 100 x 75	1,200	0,750

Kompletní soubor údajů o všech zkušebních tělíscích včetně jejich pevností podle jednotlivých druhů trhavin, kterými byly bloky rozpojovány, uvádí následující tabulky (tabulka 7, tabulka 8, tabulka 9, tabulka 10, tabulka 11).

Martin Štrejbar : Výzkum mechanických vlastností žul mrákotínského typu při použití různých druhů trhavin k produkci výrobků hrubé a ušlechtilé kamenické výroby

Tabulka 7: Celkový přehled vzorků, zkušebních tělísek a naměřených hodnot - rozpojení - pérové klíny.

blok	trhavina	nálož	vz.	zkuš. těl.	průměr	výška	váha	obj. hm.	$F_{max}$	pevnost
č.		konstrukce	č.	č.	mm	mm	g	( $kg.m^{-3}$ )	kN	Mpa
1	-	-	1	1 1	48,74	51,93	253,08	2,6120	358,541	192,17
				1 2	49,60	51,98	261,71	2,6057	340,686	176,32
				1 3	48,35	51,41	244,76	2,5930	351,241	191,30
				1 4	49,25	51,96	257,83	2,6047	372,395	195,48
				1 5	48,36	51,71	247,39	2,6046	279,671	152,26
				1 6	49,61	52,05	262,48	2,6088	322,972	167,08
			2	2 1	49,31	51,55	255,91	2,5996	307,405	160,97
				2 2	49,57	51,62	258,69	2,5968	294,020	152,35
				2 3	49,47	51,74	259,06	2,6050	325,464	169,33
				2 4	49,45	51,42	257,39	2,6064	347,000	180,68
				2 5	49,54	51,85	260,62	2,6077	401,255	208,17
				2 6	49,56	52,23	262,00	2,6003	344,467	178,56

Tabulka 8: Celkový přehled vzorků, zkušebních tělísek a naměřených hodnot - rozpojení - Vesuvit TN.

blok	trhavina	nálož	vz.	zkuš. těl.	průměr	výška	váha	obj. hm.	F <sub>max</sub>	pevnost				
č.		konstrukce	č.	č.	mm	mm	g	(kg.m <sup>-3</sup> )	kN	Mpa				
2	V TN	dělená	3	3 1	48,38	51,89	248,10	2,6009	300,805	163,63				
				3 2	48,36	51,39	245,75	2,6035	356,161	193,90				
				3 3	48,39	52,08	249,40	2,6039	264,027	143,56				
				3 4	48,38	52,13	249,64	2,6050	297,057	161,59				
				3 5	48,34	52,01	248,44	2,6027	265,377	144,60				
				3 6	48,39	51,83	248,24	2,6043	307,026	166,95				
			4	4 1	48,73	52,25	253,43	2,6007	293,332	157,28				
				4 2	48,90	51,70	250,90	2,5841	297,336	158,32				
				4 3	48,63	52,16	251,91	2,6002	355,109	191,19				
				4 4	48,66	52,42	253,89	2,6044	305,661	164,36				
				4 5	48,65	52,23	252,89	2,6047	229,605	123,52				
				4 6	48,33	51,86	247,65	2,6030	272,957	148,79				
				3	V TN	nedělená	5	5 1	49,62	51,37	256,14	2,5785	352,123	182,09
								5 2	49,62	51,78	256,65	2,5632	346,151	179,00
5 3	49,55	50,77	254,20					2,5965	317,716	164,76				
5 4	49,53	51,96	260,83					2,6053	320,905	166,55				
5 5	49,48	51,70	258,86					2,6039	274,910	142,97				
5 6	49,60	51,92	260,55					2,5972	248,806	128,77				
6	6 1	48,00	51,52				242,52	2,6014	259,288	143,29				
	6 2	48,15	51,63				243,05	2,5853	270,233	148,41				
	6 3	48,17	51,44				242,54	2,5873	263,362	144,51				
	6 4	48,05	51,72				244,22	2,6040	256,063	141,21				
	6 5	48,06	51,14				241,38	2,6019	278,514	153,53				
	6 6	48,05	51,55				243,18	2,6015	261,081	143,98				
	4	V TN	nedělená + 50%				7	7 1	49,52	51,64	259,01	2,6042	272,728	141,60
								7 2	49,54	52,28	261,28	2,5928	344,531	178,74
7 3				49,52	51,53	258,33		2,6029	292,068	151,65				
7 4				49,50	51,38	257,85		2,6078	337,541	175,40				
7 5				49,45	51,58	258,23		2,6068	294,770	153,48				
7 6				49,42	51,69	258,74		2,6095	302,625	157,76				
8				8 1	49,60	52,26	262,42	2,5988	333,917	172,82				
				8 2	49,50	52,12	258,16	2,5739	330,123	171,54				
				8 3	49,51	51,83	259,27	2,5983	375,818	195,21				
				8 4	49,50	51,88	259,98	2,6040	258,334	134,24				
				8 5	49,50	51,38	257,86	2,6079	284,880	148,03				
				8 6	49,44	51,78	259,24	2,6079	328,232	170,98				
				5	V TN	nedělená + 100%	9	9 1	49,60	52,05	261,41	2,5993	278,073	143,91
								9 2	49,53	52,24	262,46	2,6076	345,941	179,55
9 3	48,14	52,10	246,72					2,6017	330,670	181,67				
9 4	49,58	52,26	262,38					2,6005	363,109	188,08				
9 5	49,56	51,93	261,10					2,6064	240,438	124,64				
9 6	49,56	51,95	260,43					2,5987	261,650	135,63				
10	10 1	49,60	51,63				260,14	2,6077	373,906	193,51				
	10 2	49,61	51,55				259,68	2,6060	340,822	176,32				
	10 3	49,61	51,74				260,53	2,6050	306,617	158,62				
	10 4	49,62	52,13				262,66	2,6056	295,467	152,79				
	10 5	49,60	52,01				262,32	2,6103	282,267	146,09				
	10 6	49,61	51,32				258,64	2,6072	307,218	158,93				



Tabulka 9: Celkový přehled vzorků, zkušebních tělísek a naměřených hodnot - rozpojení - Vesuvit THH.

blok	trhavina	nálož	vz.	zkuš. těl.	průměr	výška	váha	obj. hm.	F <sub>max</sub>	pevnost
č.		konstrukce	č.	č.	mm	mm	g	(kg.m <sup>-3</sup> )	kN	Mpa
6	V THH	dělená	11	11 1	49,21	52,09	257,43	2,5984	328,032	172,47
				11 2	49,25	51,83	256,53	2,5981	232,439	122,01
				11 3	49,43	52,15	258,71	2,5852	309,898	161,49
				11 4	49,17	51,57	254,42	2,5981	294,628	155,16
				11 5	49,31	52,18	259,93	2,6085	282,222	147,79
				11 6	49,18	52,05	257,09	2,6001	298,036	156,89
			12	12 1	49,20	52,07	257,53	2,6015	324,395	170,63
				12 2	49,17	52,16	257,67	2,6016	359,047	189,09
				12 3	49,09	51,74	254,09	2,5947	369,182	195,06
				12 4	49,19	52,02	257,37	2,6034	365,084	192,11
				12 5	48,97	52,01	255,39	2,6072	294,717	156,48
				12 6	48,95	52,04	255,00	2,6038	284,617	151,24
7	V THH	nedělená	13	13 1	48,40	51,36	245,65	2,5996	318,492	173,11
				13 2	48,39	51,74	247,50	2,6010	303,417	164,98
				13 3	49,64	51,97	260,60	2,5910	285,251	147,39
				13 4	48,35	51,18	244,05	2,5971	337,538	183,84
				13 5	49,65	51,51	260,01	2,6072	269,225	139,05
				13 6	48,38	50,98	244,02	2,6038	323,608	176,03
			14	14 1	49,54	52,22	261,91	2,6020	384,068	199,25
				14 2	49,60	52,08	261,68	2,6004	414,809	214,68
				14 3	49,57	51,89	260,94	2,6057	381,015	197,43
				14 4	49,54	52,05	261,19	2,6034	377,058	195,62
				14 5	49,43	51,68	258,73	2,6089	283,080	147,52
				14 6	49,44	51,05	255,34	2,6054	247,966	129,16
8	V THH	nedělená + 50%	15	15 1	48,44	51,20	244,78	2,5942	296,883	161,10
				15 2	48,43	51,81	246,90	2,5870	291,046	157,99
				15 3	48,44	52,40	251,38	2,6032	214,605	116,45
				15 4	48,31	51,70	247,91	2,6160	382,092	208,45
				15 5	48,42	52,48	251,94	2,6071	321,955	174,85
				15 6	48,40	52,71	252,74	2,6062	328,036	178,30
			16	16 1	49,19	51,90	254,81	2,5835	223,898	117,82
				16 2	49,64	51,45	259,21	2,6032	311,524	160,97
				16 3	49,26	51,89	258,07	2,6096	221,771	116,37
				16 4	49,47	51,74	259,93	2,6137	328,271	170,79
				16 5	49,09	51,60	254,47	2,6056	247,137	130,58
				16 6	49,16	51,60	254,93	2,6029	341,805	180,08
9	V THH	nedělená + 100%	17	17 1	49,24	52,25	259,34	2,6065	310,358	162,98
				17 2	49,33	51,94	258,23	2,6013	230,173	120,43
				17 3	49,26	52,00	257,69	2,6003	385,953	202,51
				17 4	49,21	51,71	256,31	2,6061	369,098	194,06
				17 5	49,29	51,80	257,58	2,6060	366,190	191,91
				17 6	49,28	51,94	258,59	2,6102	373,324	195,73
			18	18 1	48,00	52,54	247,53	2,6035	296,425	163,81
				18 2	48,09	50,79	240,48	2,6068	269,466	148,36
				18 3	48,11	52,80	250,41	2,6089	319,533	175,77
				18 4	47,91	52,44	246,12	2,6034	371,103	205,85
				18 5	48,00	52,31	246,55	2,6046	301,581	166,66
				18 6	48,20	52,72	250,68	2,6059	358,631	196,55



Tabulka 10: Celkový přehled vzorků, zkušebních tělísek a naměřených hodnot - rozpojení – ČPD.

blok	trhavina	nálož	vz.	zkuš. těl.	průměr	výška	váha	obj. hm.	F <sub>max</sub>	pevnost
č.		konstrukce	č.	č.	mm	mm	g	(kg.m <sup>-3</sup> )	kN	Mpa
10	ČPD	dělená	19	19 1	49,55	51,68	259,61	2,6051	296,764	153,90
				19 2	49,59	51,59	259,49	2,6042	296,473	153,50
				19 3	49,56	51,65	259,57	2,6051	280,825	145,57
				19 4	49,54	51,42	258,09	2,6040	385,721	200,11
				19 5	49,56	51,46	258,75	2,6065	350,262	181,57
				19 6	49,53	51,77	260,02	2,6068	309,436	160,60
			20	20 1	49,58	51,89	261,14	2,6067	346,122	179,28
				20 2	49,60	51,77	260,53	2,6045	354,169	183,30
				20 3	49,56	52,15	262,33	2,6076	372,028	192,85
				20 4	49,57	51,80	260,56	2,6065	376,632	195,16
				20 5	49,55	51,87	261,11	2,6105	318,263	165,05
				20 6	49,52	51,89	260,77	2,6093	295,887	153,63
11	ČPD	nedělená	21	21 1	49,45	51,43	257,80	2,6100	365,845	190,49
				21 2	49,47	50,71	254,16	2,6076	392,201	204,05
				21 3	49,48	50,92	255,05	2,6049	331,791	172,55
				21 4	49,44	51,61	258,35	2,6075	323,990	168,77
				21 5	49,44	51,51	257,97	2,6087	325,954	169,79
				21 6	49,44	51,57	258,38	2,6098	296,706	154,55
			22	22 1	49,51	51,33	257,70	2,6078	325,816	169,24
				22 2	49,54	51,21	257,87	2,6124	335,000	173,80
				22 3	49,51	51,25	257,50	2,6098	334,507	173,75
				22 4	49,53	51,82	260,66	2,6107	367,174	190,57
				22 5	49,47	51,73	259,18	2,6067	288,145	149,91
				22 6	49,51	51,20	257,08	2,6081	321,158	166,82
12	ČPD	nedělená + 50%	23	23 1	48,45	52,11	249,54	2,5974	286,035	155,15
				23 2	48,40	50,46	241,95	2,6061	338,776	184,13
				23 3	48,39	51,83	248,70	2,6091	346,883	188,62
				23 4	48,39	51,94	248,96	2,6063	369,592	200,97
				23 5	48,41	51,74	247,99	2,6040	323,956	176,01
				23 6	48,40	50,08	240,24	2,6074	273,638	148,73
			24	24 1	49,37	51,38	256,32	2,6060	349,143	182,38
				24 2	49,30	51,25	255,20	2,6086	219,243	114,85
				24 3	49,56	51,74	259,74	2,6023	345,529	179,12
				24 4	49,45	51,65	258,39	2,6049	326,934	170,23
				24 5	49,42	51,93	259,63	2,6064	275,059	143,39
				24 6	49,45	51,38	257,00	2,6045	284,867	148,33
13	ČPD	nedělená + 100%	25	25 1	49,07	51,91	256,29	2,6107	385,442	203,82
				25 2	49,50	51,75	259,00	2,6007	313,302	162,80
				25 3	49,45	52,27	261,18	2,6017	291,346	151,70
				25 4	49,13	52,01	257,38	2,6104	390,589	206,03
				25 5	49,11	52,26	257,78	2,6041	313,448	165,48
				25 6	49,13	52,29	257,96	2,6023	353,146	186,28
			26	26 1	49,36	51,86	258,59	2,6058	297,939	155,70
				26 2	49,44	51,32	256,80	2,6065	229,162	119,37
				26 3	49,60	51,45	258,90	2,6043	372,060	192,56
				26 4	49,35	51,11	255,22	2,6106	359,774	188,09
				26 5	49,30	51,11	254,66	2,6102	272,238	142,62
				26 6	49,30	50,64	251,89	2,6058	282,769	148,13

Tabulka 11: Celkový přehled vzorků, zkušebních tělísek a naměřených hodnot - rozpojení - Perunit 28E.

blok	trhavina	nálož	vz.	zkuš. těl.	průměr	výška	váha	obj. hm.	F <sub>max</sub>	pevnost			
č.		konstrukce	č.	č.	mm	mm	g	(kg.m <sup>-3</sup> )	kN	Mpa			
14	P 28E	nedělená	27	27 1	49,47	51,72	256,87	2,5839	272,940	142,00			
				27 2	49,44	51,95	257,60	2,5829	281,526	146,65			
				27 3	49,39	51,87	256,86	2,5847	295,269	154,12			
				27 4	49,40	51,39	254,18	2,5806	288,589	150,57			
				27 5	49,40	51,56	255,46	2,5850	255,732	133,43			
				27 6	49,41	51,67	255,67	2,5806	248,178	129,43			
			28	28 1	49,39	51,73	256,29	2,5860	268,737	140,27			
				28 2	49,35	51,94	257,31	2,5899	264,462	138,26			
				28 3	49,41	51,78	257,16	2,5901	290,703	151,61			
				28 4	49,40	51,76	256,28	2,5833	296,348	154,62			
				28 5	49,38	51,97	257,39	2,5861	252,506	131,85			
				28 6	49,43	51,87	257,75	2,5895	232,456	121,13			
			15	P 28E	nedělená + 100%	29	29 1	48,13	52,03	246,35	2,6024	297,382	163,45
							29 2	48,17	51,82	245,01	2,5944	252,200	138,39
29 3	48,18	52,36					247,87	2,5966	229,678	125,98			
29 4	48,20	51,38					243,13	2,5933	298,867	163,79			
29 5	48,09	51,72					244,72	2,6050	266,841	146,91			
29 6	48,14	51,98					245,82	2,5982	197,605	108,57			
30	30 1	48,12				51,57	243,91	2,6007	274,070	150,70			
	30 2	49,35				51,77	257,70	2,6024	291,976	152,65			
	30 3	48,29				51,62	245,77	2,5996	331,052	180,76			
	30 4	49,35				51,65	256,82	2,5995	323,084	168,91			
	30 5	49,39				51,47	256,23	2,5984	250,138	130,56			
	30 6	48,06				51,83	244,25	2,5977	193,548	106,69			

Kompletní soubor hodnot pevností v tlaku pro zkušební tělíska a přehled jejich průměrných hodnot pro jednotlivé vorky, bloky a trhaviny, uvádí následující tabulky (tabulka 12, tabulka 13, tabulka 14, tabulka 15, tabulka 16).

Tabulka 12: Přehled průměrných hodnot pro jednotlivá zkušební tělíska, vzorky, bloky, trhaviny - bez použití trhaviny.

odstřel	vzorek	zkuš. těl.	pevnost	průměrná pev.	průměrná pev.	průměrná pev.
č.	č.	č.	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
1	1	1 1	192,17	179,10	177,06	177,06
		1 2	176,32			
		1 3	191,30			
		1 4	195,48			
		1 5	152,26			
		1 6	167,08			
	2	2 1	160,97	175,01		
		2 2	152,35			
		2 3	169,33			
		2 4	180,68			
		2 5	208,17			
		2 6	178,56			

Tabulka 13: Přehled průměrných hodnot pro jednotlivá zkušební tělíska, vzorky, bloky, trhaviny - Vesuvit TN.

odstřel	vzorek	zkuš. těl.	pevnost	průměrná pev.	průměrná pev.	průměrná pev.	
č.	č.	č.	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	
2	3	3 1	163,63	162,37	159,81	159,34	
		3 2	193,90				
		3 3	143,56				
		3 4	161,59				
		3 5	144,60				
		3 6	166,95				
	4	4	4 1	157,28			157,24
			4 2	158,32			
			4 3	191,19			
			4 4	164,36			
			4 5	123,52			
			4 6	148,79			
3	5	5 1	182,09	160,69			
		5 2	179,00				
		5 3	164,76				
		5 4	166,55				
		5 5	142,97				
		5 6	128,77				
	6	6	6 1	143,29	145,82		
			6 2	148,41			
			6 3	144,51			
			6 4	141,21			
			6 5	153,53			
			6 6	143,98			
4	7	7 1	141,60	159,77			
		7 2	178,74				
		7 3	151,65				
		7 4	175,40				
		7 5	153,48				
		7 6	157,76				
	8	8	8 1	172,82	165,47		
			8 2	171,54			
			8 3	195,21			
			8 4	134,24			
			8 5	148,03			
			8 6	170,98			
5	9	9 1	143,91	158,91			
		9 2	179,55				
		9 3	181,67				
		9 4	188,08				
		9 5	124,64				
		9 6	135,63				
	10	10	10 1	193,51	164,38		
			10 2	176,32			
			10 3	158,62			
			10 4	152,79			
			10 5	146,09			
			10 6	158,93			

Tabulka 14: Přehled průměrných hodnot pro jednotlivá zkušební tělíska, vzorky, bloky, trhaviny - Vesuvit THH.

odstřel	vzorek	zkuš. těl.	pevnost	průměrná pev.	průměrná pev.	průměrná pev.
č.	č.	č.	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
6	11	11 1	172,47	152,64	164,20	167,43
		11 2	122,01			
		11 3	161,49			
		11 4	155,16			
		11 5	147,79			
		11 6	156,89			
	12	12 1	170,63	175,77		
		12 2	189,09			
		12 3	195,06			
		12 4	192,11			
		12 5	156,48			
		12 6	151,24			
7	13	13 1	173,11	164,07		
		13 2	164,98			
		13 3	147,39			
		13 4	183,84			
		13 5	139,05			
		13 6	176,03			
	14	14 1	199,25	180,61		
		14 2	214,68			
		14 3	197,43			
		14 4	195,62			
		14 5	147,52			
		14 6	129,16			
8	15	15 1	161,10	166,19		
		15 2	157,99			
		15 3	116,45			
		15 4	208,45			
		15 5	174,85			
		15 6	178,30			
	16	16 1	117,82	146,10		
		16 2	160,97			
		16 3	116,37			
		16 4	170,79			
		16 5	130,58			
		16 6	180,08			
9	17	17 1	162,98	177,94		
		17 2	120,43			
		17 3	202,51			
		17 4	194,06			
		17 5	191,91			
		17 6	195,73			
	18	18 1	163,81	176,17		
		18 2	148,36			
		18 3	175,77			
		18 4	205,85			
		18 5	166,66			
		18 6	196,55			

Tabulka 15: Přehled průměrných hodnot pro jednotlivá zkušební tělíska, vzorky, bloky, trhaviny - ČPD.

odstřel	vzorek	zkuš. těl.	pevnost	průměrná pev.	průměrná pev.	průměrná pev.
č.	č.	č.	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
10	19	19 1	153,90	165,88	172,04	170,07
		19 2	153,50			
		19 3	145,57			
		19 4	200,11			
		19 5	181,57			
		19 6	160,60			
	20	20 1	179,28	178,21		
		20 2	183,30			
		20 3	192,85			
		20 4	195,16			
		20 5	165,05			
		20 6	153,63			
11	21	21 1	190,49	176,70		
		21 2	204,05			
		21 3	172,55			
		21 4	168,77			
		21 5	169,79			
		21 6	154,55			
	22	22 1	169,24	170,68		
		22 2	173,80			
		22 3	173,75			
		22 4	190,57			
		22 5	149,91			
		22 6	166,82			
12	23	23 1	155,15	175,60		
		23 2	184,13			
		23 3	188,62			
		23 4	200,97			
		23 5	176,01			
		23 6	148,73			
	24	24 1	182,38	156,38		
		24 2	114,85			
		24 3	179,12			
		24 4	170,23			
		24 5	143,39			
		24 6	148,33			
13	25	25 1	203,82	179,35		
		25 2	162,80			
		25 3	151,70			
		25 4	206,03			
		25 5	165,48			
		25 6	186,28			
	26	26 1	155,70	157,74		
		26 2	119,37			
		26 3	192,56			
		26 4	188,09			
		26 5	142,62			
		26 6	148,13			

Tabulka 16: Přehled průměrných hodnot pro jednotlivá zkušební tělíska, vzorky, bloky, trhaviny - Periunit 28E.

odstřel	vzorek	zkuš. těl.	pevnost	průměrná pev.	průměrná pev.	průměrná pev.
č.	č.	č.	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
14	27	27 1	142,00	142,70	141,16	142,97
		27 2	146,65			
		27 3	154,12			
		27 4	150,57			
		27 5	133,43			
		27 6	129,43			
	28	28 1	140,27	139,62		
		28 2	138,26			
		28 3	151,61			
		28 4	154,62			
		28 5	131,85			
		28 6	121,13			
15	29	29 1	163,45	141,18		
		29 2	138,39			
		29 3	125,98			
		29 4	163,79			
		29 5	146,91			
		29 6	108,57			
	30	30 1	150,70	148,38		
		30 2	152,65			
		30 3	180,76			
		30 4	168,91			
		30 5	130,56			
		30 6	106,69			

Celkový přehled průměrných pevností v tlaku pro jednotlivé vzorky, bloky a trhaviny s přehledem o použitých trhavinách a konstrukcích jejich náloží uvádí následující tabulka (tabulka 17).

Tabulka 17: Celkový přehled průměrných pevností v tlaku pro jednotlivé trhaviny a konstrukce jejich náloží.

odstřel	nálož	trhavina	vzorek	průměrná pevnost	prům. pevnost	prům. pevnost
č.	konstrukce		č.	Mpa	Mpa	Mpa
1	-	-	1	179,10	177,06	177,06
			2	175,01		
2	dělená	Vesuvit TN	3	162,37	159,81	159,34
			4	157,24		
3	nedělená	Vesuvit TN	5	160,69	153,26	
			6	145,82		
4	nedělená + 50%	Vesuvit TN	7	159,77	162,62	
			8	165,47		
5	nedělená + 100%	Vesuvit TN	9	158,91	161,65	
			10	164,38		
6	dělená	Vesuvit THH	11	152,64	164,20	
			12	175,77		
7	nedělená	Vesuvit THH	13	164,07	172,34	
			14	180,61		
8	nedělená + 50%	Vesuvit THH	15	166,19	156,14	
			16	146,10		
9	nedělená + 100%	Vesuvit THH	17	177,94	177,05	
			18	176,17		
10	dělená	ČPD	19	165,88	172,04	
			20	178,21		
11	nedělená	ČPD	21	176,70	173,69	
			22	170,68		
12	nedělená + 50%	ČPD	23	175,60	165,99	
			24	156,38		
13	nedělená + 100%	ČPD	25	179,35	168,55	
			26	157,74		
14	nedělená	Perunit 28E	27	142,70	141,16	
			28	139,62		
15	nedělená + 100%	Perunit 28E	29	141,18	144,78	
			30	148,38		

Vypočtené hodnoty přetvárných vlastností zkoušené horniny, jimiž jsou modul přetvárnosti, modul pružnosti a Poissonovo číslo, pro vybraná zkušební tělíska (páté a šesté zkušební tělísko ze šesti od každého vzorku) uvádí tabulka níže (tabulka 18). V této tabulce chybí hodnota Poissonova čísla u zkušebního tělíska 18\_5 z důvodu technické závady při snímání a ukládání dat, která vznikla v průběhu měření.

Přehled průměrných vypočtených hodnot přetvárných vlastností zkoušené horniny, pro jednotlivé bloky a trhaviny uvádí tabulka níže (tabulka 19).

Tabulka 18: Tabulka vypočtených hodnot přetvárných vlastností zkoušené horniny.

odstřel	trhavina	nálož	vzorek	zkuš. tělísko	modul přetv.	modul pruž.	Poiss. číslo
č.		konstrukce	č.	č.	GPa	GPa	
1	-	-	1	1 5	12,46	14,52	0,15
				1 6	13,73	15,27	0,16
			2	2 5	13,24	15,05	0,16
				2 6	11,84	14,28	0,16
2	V TN	dělená	3	3 5	13,81	17,80	0,09
				3 6	11,49	11,84	0,25
			4	4 5	14,05	17,49	0,25
				4 6	14,47	15,33	0,27
3	V TN	nedělená	5	5 5	11,37	13,25	0,15
				5 6	10,82	11,25	0,15
			6	6 5	11,27	13,36	0,20
				6 6	11,72	13,12	0,16
4	V TN	nedělená + 50%	7	7 5	14,11	16,08	0,15
				7 6	13,64	15,61	0,21
			8	8 5	12,61	14,93	0,19
				8 6	11,40	11,90	0,12
5	V TN	nedělená + 100%	9	9 5	10,97	12,50	0,15
				9 6	10,87	12,93	0,14
			10	10 5	13,18	15,83	0,19
				10 6	12,23	13,80	0,15
6	V THH	dělená	11	11 5	11,50	14,48	0,14
				11 6	13,30	15,04	0,12
			12	12 5	12,52	14,73	0,15
				12 6	12,58	13,08	0,12
7	V THH	nedělená	13	13 5	11,75	14,36	0,15
				13 6	11,94	13,73	0,14
			14	14 5	13,78	15,24	0,14
				14 6	13,54	15,09	0,16
8	V THH	nedělená + 50%	15	15 5	9,94	12,73	0,11
				15 6	12,84	13,95	0,15
			16	16 5	12,49	14,19	0,14
				16 6	13,01	14,53	0,16
9	V THH	nedělená + 100%	17	17 5	15,48	18,91	0,26
				17 6	13,30	15,64	0,18
			18	18 5	13,72	17,26	-
				18 6	13,48	15,97	0,15
10	ČPD	dělená	19	19 5	12,73	14,05	0,14
				19 6	15,11	17,81	0,17
			20	20 5	12,78	14,39	0,21
				20 6	15,88	17,70	0,19
11	ČPD	nedělená	21	21 5	13,03	14,21	0,17
				21 6	15,03	17,96	0,20
			22	22 5	11,32	14,08	0,17
				22 6	15,56	17,74	0,16
12	ČPD	nedělená + 50%	23	23 5	12,50	14,15	0,15
				23 6	12,36	14,14	0,22
			24	24 5	11,06	12,85	0,14
				24 6	17,13	18,13	0,21
13	ČPD	nedělená + 100%	25	25 5	14,52	15,91	0,14
				25 6	15,09	17,70	0,18
			26	26 5	12,04	13,76	0,20
				26 6	13,46	17,12	0,20
14	P 28E	nedělená	27	27 5	8,55	10,97	0,26
				27 6	7,06	9,33	0,20
			28	28 5	10,73	16,06	0,37
				28 6	10,87	13,83	0,33
15	P 28E	nedělená + 100%	29	29 5	12,90	17,10	0,38
				29 6	11,08	13,67	0,37
			30	30 5	13,01	15,37	0,29
				30 6	13,04	16,20	0,30



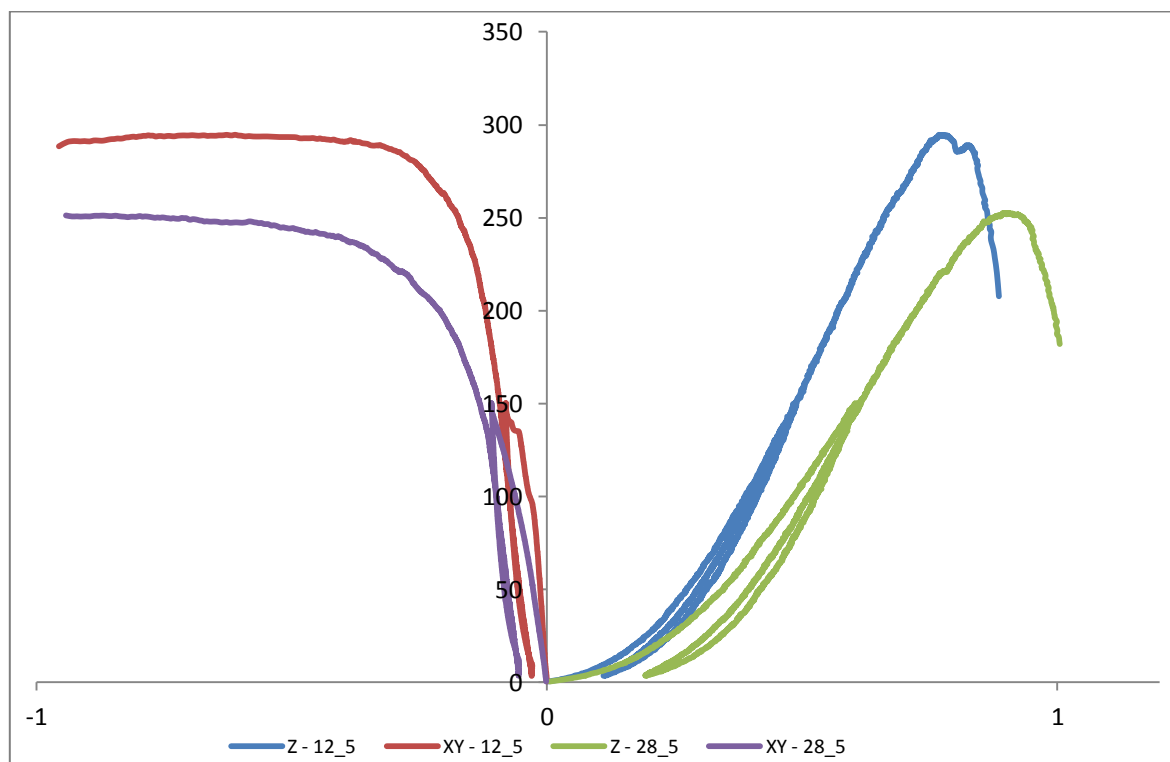
Tabulka 19: Tabulka průměrných vypočtených hodnot přetvárných vlastností zkoušené horniny.

odstřel	trhavina	nálož	vz.	zk. těl.	Ø m.př.	Ø m.pr.	Ø Poiss.	Ø m.př.	Ø m.pr.	Ø Poiss.
č.		konstr.	č.	č.	GPa	GPa		GPa	GPa	
1	-	-	1	1 5	12,82	14,78	0,15	12,82	14,78	0,15
				1 6						
			2	2 5						
2 6										
2	V TN	dělená	3	3 5	13,45	15,61	0,21	12,37	14,19	0,18
				3 6						
			4	4 5						
4 6										
3	V TN	nedělená	5	5 5	11,29	12,75	0,17	12,37	14,19	0,18
				5 6						
			6	6 5						
6 6										
4	V TN	nedělená + 50%	7	7 5	12,94	14,63	0,17	12,37	14,19	0,18
				7 6						
			8	8 5						
8 6										
5	V TN	nedělená + 100%	9	9 5	11,81	13,76	0,16	12,37	14,19	0,18
				9 6						
			10	10 5						
10 6										
6	V THH	dělená	11	11 5	12,47	14,33	0,13	12,82	14,93	0,15
				11 6						
			12	12 5						
12 6										
7	V THH	nedělená	13	13 5	12,75	14,61	0,15	12,82	14,93	0,15
				13 6						
			14	14 5						
14 6										
8	V THH	nedělená + 50%	15	15 5	12,07	13,85	0,14	12,82	14,93	0,15
				15 6						
			16	16 5						
				16 6						
9	V THH	nedělená + 100%	17	17 5	14,00	16,95	0,20	12,82	14,93	0,15
				17 6						
			18	18 5						
				18 6						
10	ČPD	dělená	19	19 5	14,13	15,99	0,18	13,73	15,73	0,18
				19 6						
			20	20 5						
				20 6						
11	ČPD	nedělená	21	21 5	13,74	16,00	0,17	13,73	15,73	0,18
				21 6						
			22	22 5						
				22 6						
12	ČPD	nedělená + 50%	23	23 5	13,26	14,81	0,18	13,73	15,73	0,18
				23 6						
			24	24 5						
				24 6						
13	ČPD	nedělená + 100%	25	25 5	13,78	16,12	0,18	13,73	15,73	0,18
				25 6						
			26	26 5						
				26 6						
14	P 28E	nedělená	27	27 5	9,30	12,55	0,29	10,90	14,07	0,31
				27 6						
			28	28 5						
				28 6						
15	P 28E	nedělená + 100%	29	29 5	12,51	15,59	0,33	10,90	14,07	0,31
				29 6						
			30	30 5						
				30 6						

### 5.3 Zhodnocení získaných dat

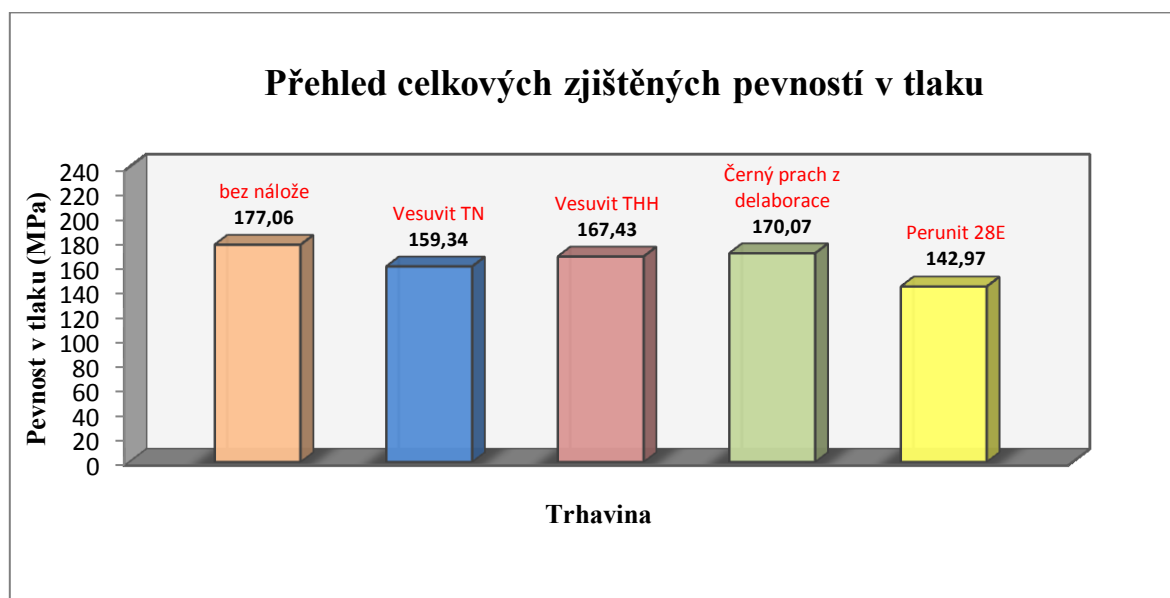
Získaná data jsem převedl též do podoby grafické, kde je možné snadněji získat přehled získaných výsledků výzkumu. Na základě grafické podoby výsledných hodnot výzkumu jsem došel k níže uvedeným závěrům.

V prvním grafu (graf 1) lze sledovat veliký rozdíl v závislosti příčného (xy) a podélného (z) přetvoření (osa x, mm) na síle vyvolané testovacím zařízením (osa y, kN) dvou zkušebních tělísek. Zkušební tělísko 12\_5 je odebráno ze vzorku po odstřelu Vesuvitem TN (trhavina s posuvným účinkem) a druhé zkušební tělísko 28\_5 je odebráno ze vzorku po odstřelu Perunitem 28E (trhavina s tříštivým účinkem). Z grafu je zcela zřejmý rozdíl ve výše uvedených závislostech jednotlivých zkušebních tělísek. Výrazně lepší charakteristiky dosahuje zkušební tělísko 12\_5.



Graf 1: Srovnání charakteristik dvou vybraných vzorků.

V níže uvedeném grafu (graf 2) znázorňuji přehled o celkových zjištěných pevnostech v tlaku pro rozpojení bloků bez nálože (pérovými klíny), černými trhacími prachy (Vesuvit TN, THH, ČPD) a brizantní trhavinou Perunit 28E.

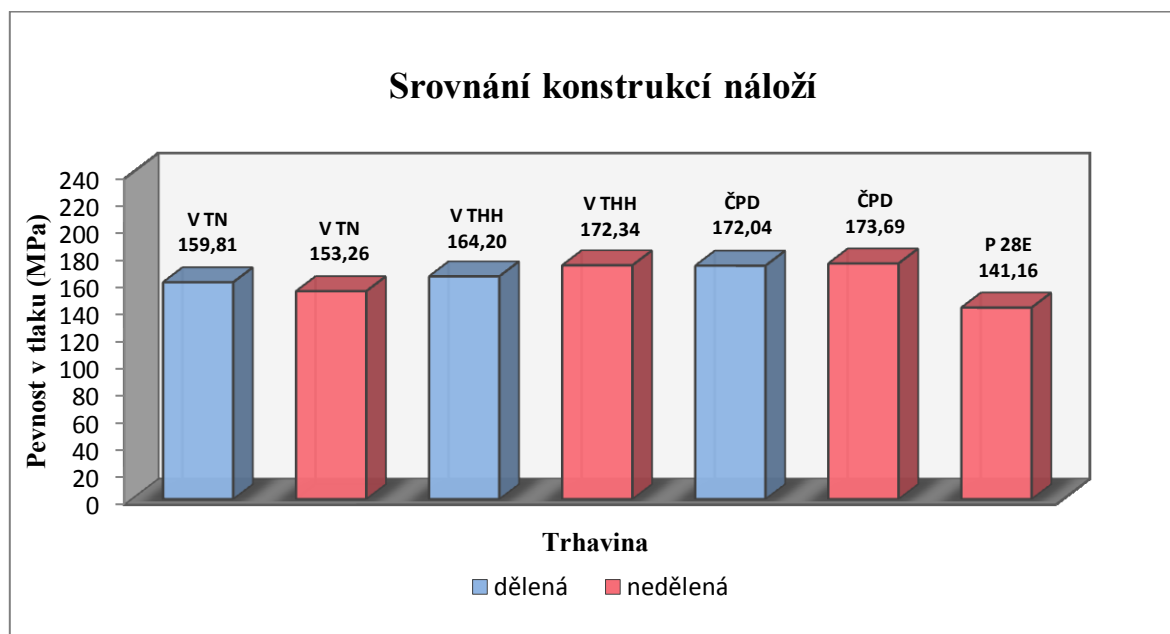


Graf 2: Přehled celkových zjištěných pevností v tlaku.

Z grafu lze vyčíst, že nejvyšší pevnost v tlaku vykazovaly zkušební tělíska zhotovená ze vzorků bloků rozpojených bez nálože (pérovými klíny). Z tohoto hlediska se takovýto způsob rozpojení nadměrných bloků horniny jeví jako ideální, ve skutečnosti je ale z důvodů namáhavé fyzické práce a časové náročnosti takového operace používáno k rozpojení nadměrných bloků i k vylamování bloků z horninového masivu černých trhacích prachů. Ze tří druhů černých trhacích prachů, které jsem při výzkumu použil, dosáhl nejvyšší průměrné hodnoty pevnosti v tlaku Černý prach z delaborace. Ve srovnání s Vesuvitem TN byla hodnota průměrné pevnosti dokonce vyšší více než o 10 MPa. Perunit 28E je dle výsledků měření a dle očekávání krajně nevhodný k těžbě a sekundárnímu rozpojování nadměrných bloků určených pro zpracování na produkty hrubé a ušlechtilé kamenické výroby, neboť průměrná pevnost zkušebních tělísek horniny rozpojené Perunitem 28E je o více než 16 MPa nižší než průměrná pevnost zkušebních tělísek Vesuvitu TN, který dosahuje nejhorších výsledků ze všech použitých černých trhacích prachů.

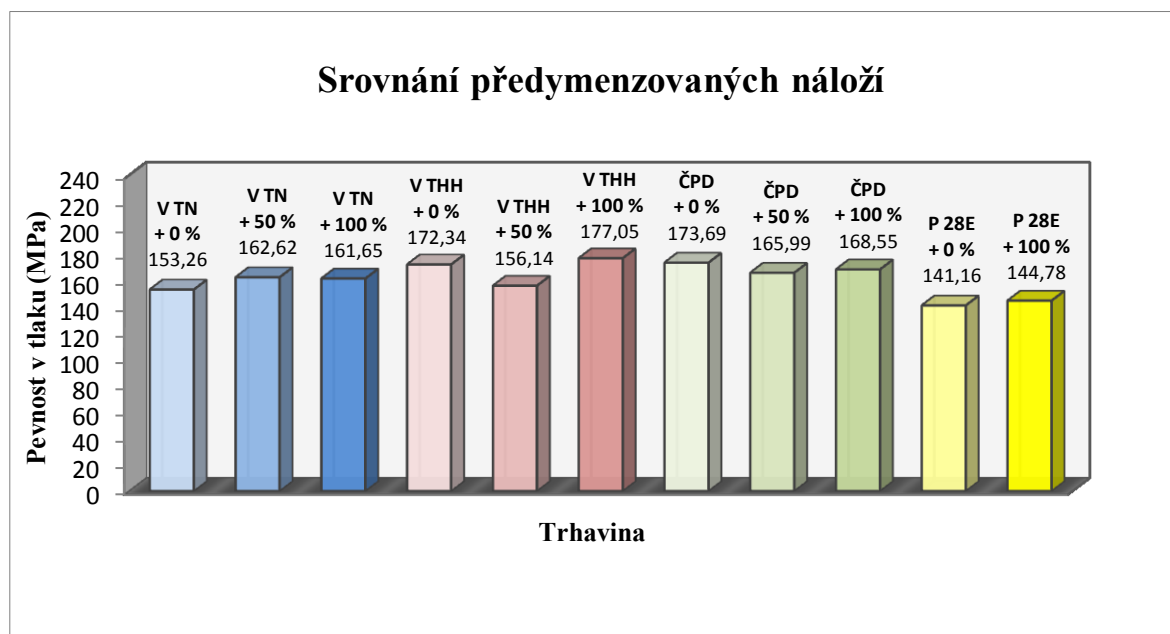
Jedním z dílčích cílů mé dizertační práce je srovnání výsledných pevností zkušebních tělísek odebraných ze vzorků po odstřelu jednotlivými konstrukcemi náloží, především náložemi dělenými a nedělenými. Dělené nálože jsou na kamenolomu Horní Dvorce používány pouze výjimečně při rozpojování nadměrně vysokých žulových bloků.

Při použití dělené nálože jsem volil místo odběru vzorků z bloku záměrně v polovině vzdálenosti mezi jednotlivými náložkami (obrázek 20), aby bylo možno provést analýzu vlivu náložky trhaviny na její bezprostřední okolí. Předpoklad dosažení vyšších pevností v talku u náloží dělených se ukázal být neoprávněný, neboť vyšších průměrné pevnosti dosáhlo použití dělené nálože pouze u Vesuvitu TN (graf 3). Pevnost celková u černých trhacích prachů pro dělené nálože činí 165,35 MPa a pro nedělené nálože 166,43 MPa. Rozdíl tak činí pouhých 1,08 MPa, ale ve prospěch nálože nedělené. Vysvětlení nacházím v rozpojování větších bloků při rozpojování dělenými náložemi než při rozpojování nedělenými náložemi a tím i použitím přibližně dvojnásobných hmotností celkových náloží oproti náložím neděleným. I přesto se domnívám, že zavedení hromadného používání dělených náloží, o hmotnostech odpovídajícím hmotnostem náloží neděleným, by nemělo na diskutované lokalitě významný efekt jak z hlediska pevnostních vlastností rozpojené horniny, tak i z hlediska časových ztrát vzniklých složitějším způsobem přípravy odstřelu a z hlediska ekonomického, neboť namísto jednoho elektrického palníku by bylo u dělených náloží nutno použít palníků dvou.



Graf 3: Srovnání konstrukcí náloží.

Dalším z dílčích cílů mé dizertační práce byla analýza vlivu předimenzování nálože střelmistrem na těženu horninu. Toto srovnání jsem do výzkumu zahrnul na žádost majitelů firmy, neboť pracovníci z řad lamačů, zpracovávající vytěžené bloky na produkty hrubé kamenické výroby, si často stěžují na kvalitu a obtížnou zpracovatelnost suroviny a připisují toto nesprávné volbě hmotnosti náložky střelmistrem. Proto jsem provedl u černých trhacích prachů odstřely s minimální hmotností náložky a s přibližně 50 % a 100% nadhodnocením hmotnosti trhavinové náložky a u Perunitu 28E s minimální hmotností náložky a 100 % nadhodnocením (graf 4).



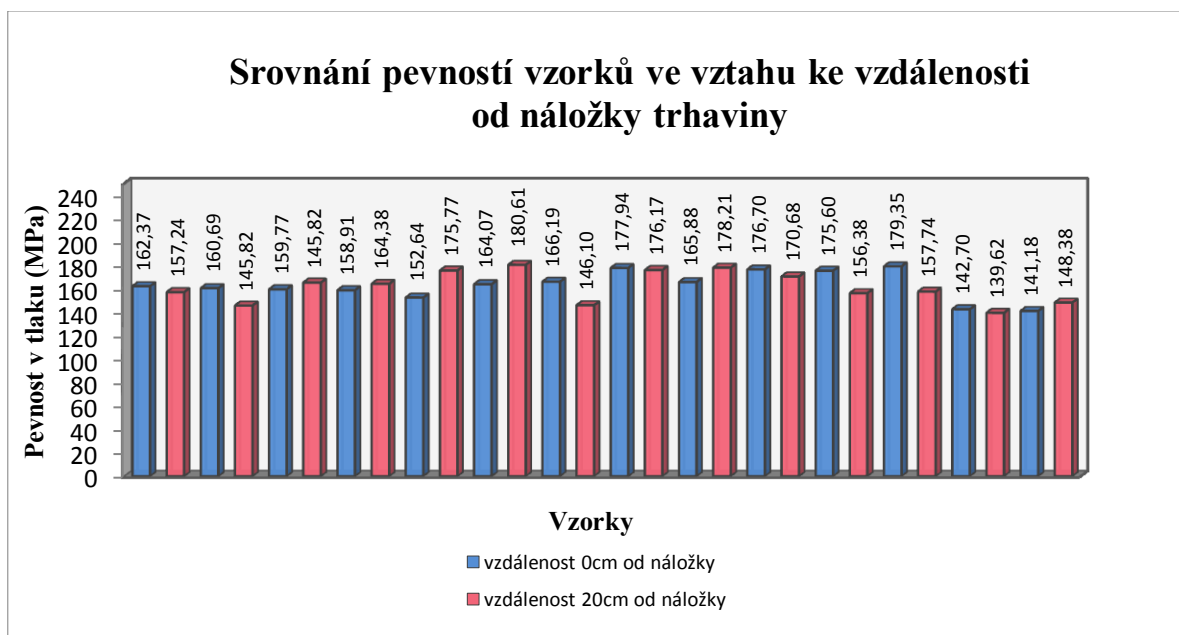
Graf 4: Srovnání předymenzovaných náloží.

Srovnání průměrných hodnot pro jednotlivé trhaviny a hodnoty nadhodnocení vyobrazuje graf (graf 4). Z tohoto srovnání lze vyčíst, že u černých trhacích prachů i u Perunitu 28E nemá ani v jednom z případů 100 % nadhodnocení náložky nejnižší průměrnou pevnost, naopak u Perunitu 28E a u Vesuvitu THH je tato hodnota dokonce nejvyšší. Hodnoty pro různá nadhodnocení jsou u jednotlivých trhavin na podobné úrovni, pouze u Vesuvitu THH výrazněji klesá při 50% nadhodnocení. Z tohoto lze i podle předpokladu usoudit, že větší, i dvojnásobné, množství trhaviny nemá zásadní vliv na pevnostní vlastnosti těžené suroviny. Obavy lamačů se tedy ukazují být liché a dle mého názoru pak záleží spíše na přirozené kvalitě těžené suroviny, závislé na jejím uložení v rámci celého masivu.

Následující srovnání je věnováno srovnání pevností vzorků ve vztahu ke vzdálenosti od náložky trhaviny. Po výbuchu je hornina v blízkosti náložky s kruhovým poloměrem, ve vývrtnu též s kruhovým poloměrem, drcena a silně stlačována. V bezprostředním okolí vrtu se nachází relativně krátká zóna drcení, neboli zóna tangenciálních trhlin o poloměru dvoj až pětinašobku poloměru náložky trhaviny. Následuje pak zóna radiálních trhlin a zóna pružných deformací, za níž pak ve vzdálenosti přibližně dvousetnásobku poloměru náložky přejde napěťová vlna plynule v akustickou vlnu seismickou.

Při vedení výzkumu jsem plánoval ověření existence drcených pásem, proto jsem z každého rozpojeného bloku odebral jeden vzorek přímo od náložky trhavy a druhý cca 20 cm od náložky trhavy. Při průměru náložky 32 mm by měl mít okruh drceného pásma poloměr 64 až 160 mm, což znamená, že většina zkušebních tělísek odebraných ze vzorku pocházejícího přímo od náložky trhavy byla zasažena zónou tangenciálních trhlin pouze z malé části obzvláště za použití slabých trhavin s deflagračním účinkem (černých trhacích prachů).

Ze srovnání pevností vzorků ve vztahu ke vzdálenosti od náložky trhavy ale vyplývá (graf 5), že zkušební tělíska zhotovená ze vzorků z bezprostřední blízkosti náložky trhavy mají v případě černých trhacích prachů průměrnou pevnost 163,14 MPa a tělíska zhotovená ze vzorků 20 cm od plochy odlomu, tudíž i náložky trhavy, dosahují průměrné pevnosti proti předpokladu nižší, a to 161,61 MPa. Vliv trhavy na horninu v bezprostředním okolí vývrtnu tedy nebyl prokázán.

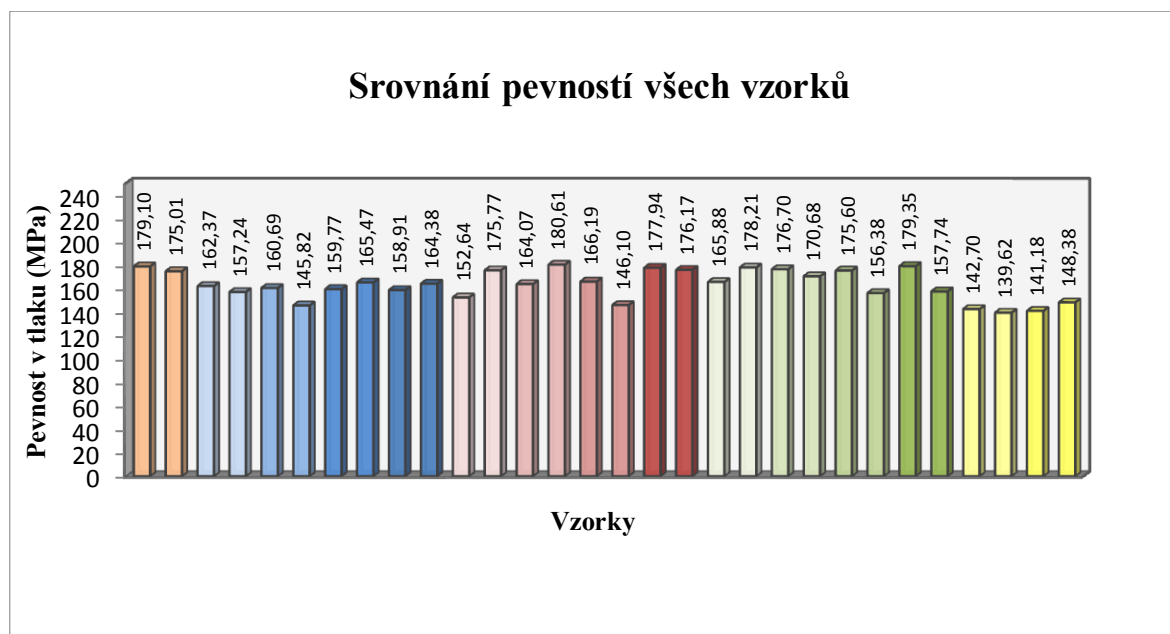


Graf 5: Srovnání pevností vzorků ve vztahu vzdálenosti od náložky trhavy.

Následující graf (graf 6) znázorňuje srovnání jednotlivých průměrných pevností všech třiceti vzorků. Každý ze sloupců tak představuje hodnotu tvořenou průměrem ze šesti zkušebních tělísek. Nejvyšší pevnost vykazuje vzorek č. 14 z bloku rozpojeného

Martin Štrejbar : Výzkum mechanických vlastností žul mrákotínského typu při použití různých druhů trhavin k produkci výrobků hrubé a ušlechtilé kamenické výroby

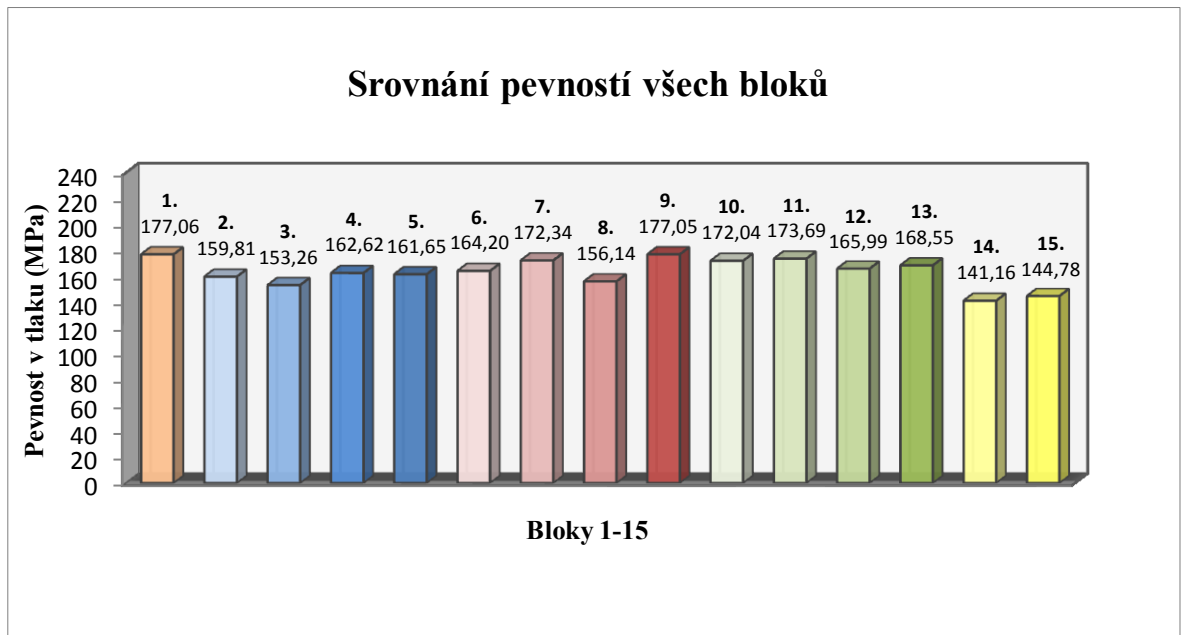
Vesuvitem THH (180,61 MPa), nejnižší pak vzorek č. 28 z bloku rozpojeného Perunitem 28E (139,62 MPa).



Graf 6: Srovnání pevností všech vzorků.

Srovnání pevností všech patnácti rozpojených bloků ukazuje graf níže (graf 7). Každý ze sloupců tak představuje hodnotu tvořenou průměrem ze dvou vzorků, tedy dvanácti zkušebních tělísek. Nejvyšší pevnost vykazuje blok č. 1 rozpojený pérovými klíny (177,06 MPa), nejnižší pak blok č. 14 rozpojený Perunitem 28E (141,16 MPa).

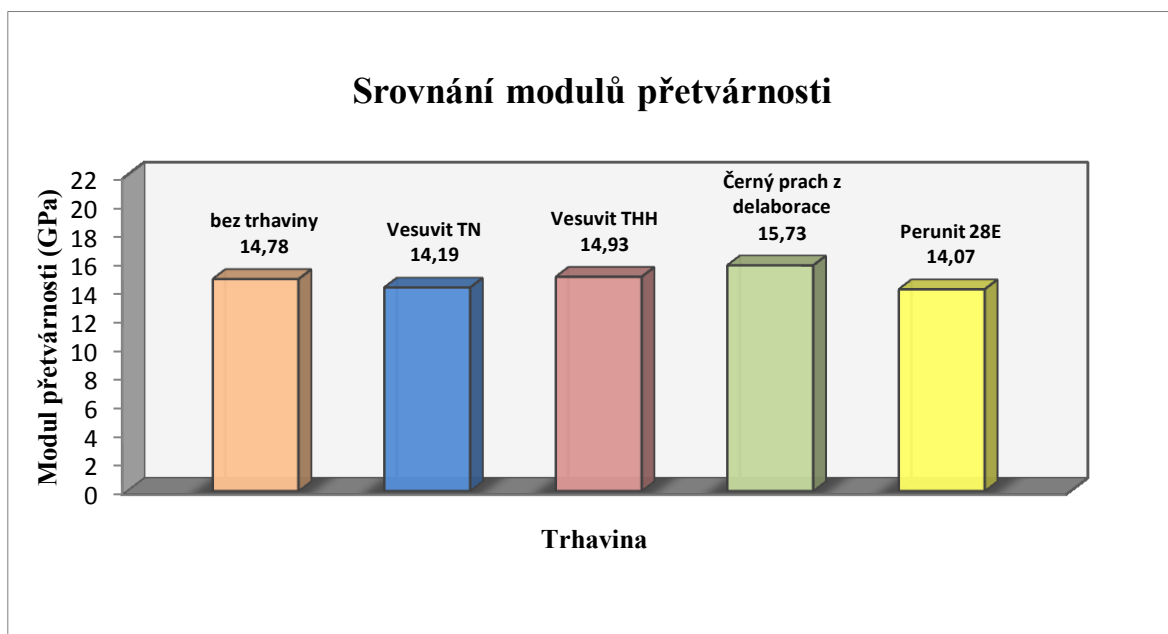




Graf 7: Srovnání pevností všech bloků.

Srovnání průměrných hodnot modulů přetvárnosti uvádí graf níže (graf 8). Modulem přetvárnosti rozumíme poměr mezi přírůstkem napětí a přetvoření v přímkové části zatěžující větve přetvárného diagramu, jež se stanoví dle vztahu, viz vzorec (2).

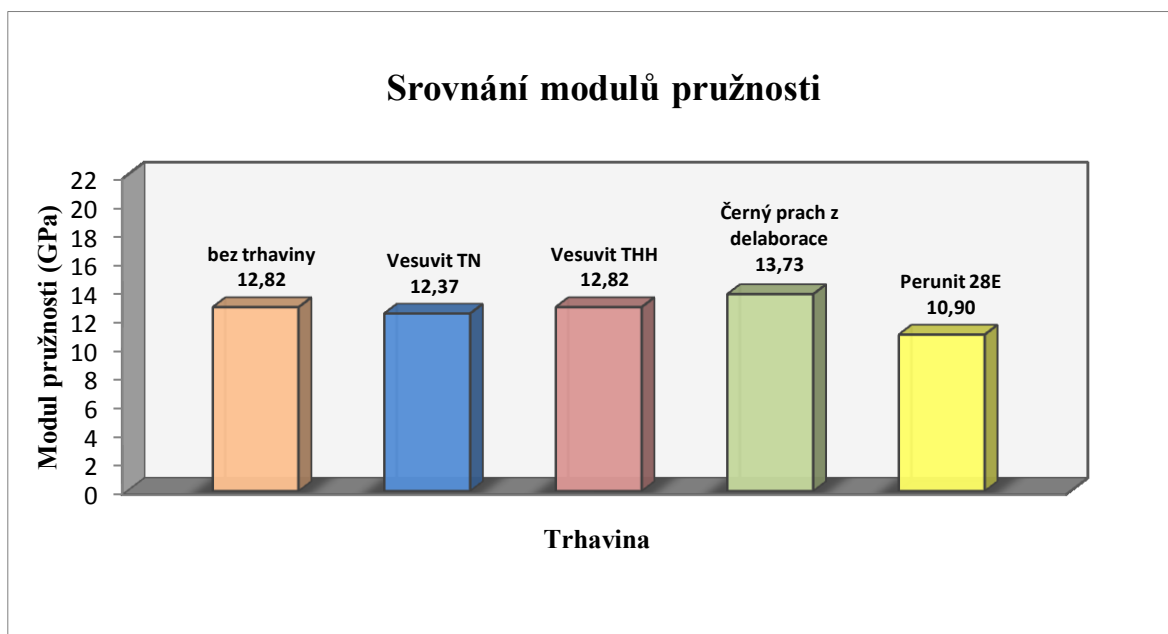
Nejvyšších hodnot modulů přetvárnosti dosáhly zkušební tělíska pocházející z bloků rozpojených Černým prachem z delaborace, což znamená, že na určitou hodnotu podélného přetvoření bylo potřeba, u zkušebních tělísek ze vzorků po odstřelech touto trhavinou, vyvinout největší tlakovou sílu. Jejich průměrná hodnota byla 15,73 GPa.



Graf 8: Srovnání modulů přetvárnosti.

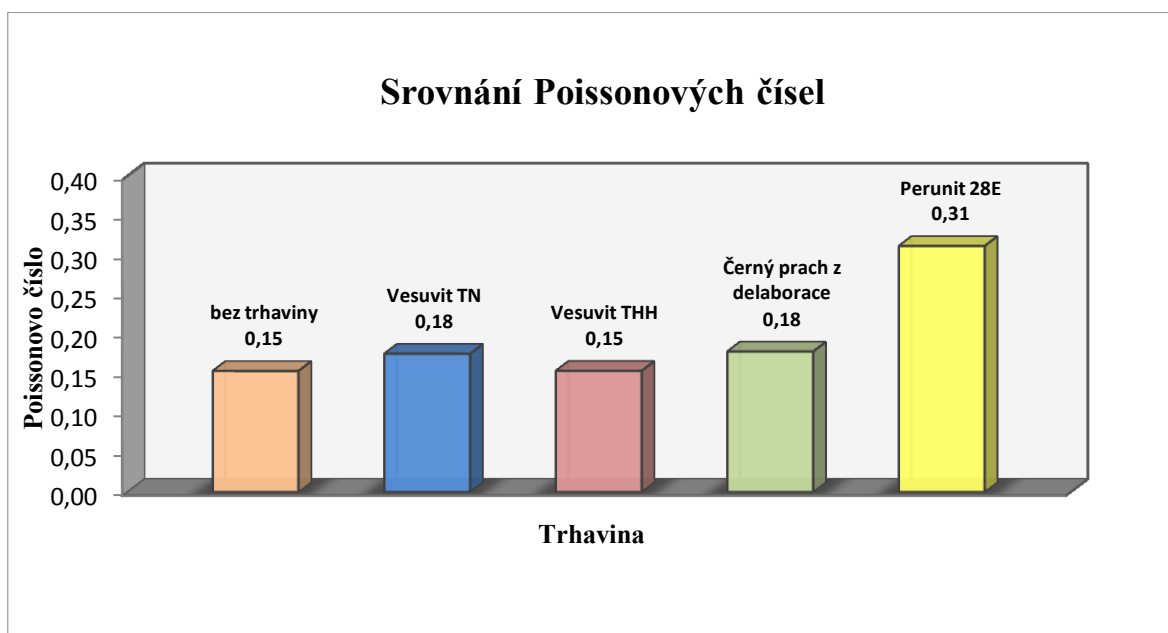
Srovnání průměrných hodnot modulů pružnosti znázorňuje graf č. 9 (graf 9). Modulem pružnosti rozumíme poměr mezi přírůstkem napětí a přetvoření v přímkové části odlehčující větve přetvárného diagramu, jež se stanoví dle vztahu, viz vzorec (3).

Nejvyšších hodnot modulů pružnosti dosáhly opět zkušební tělíska pocházející z bloků rozpojených Černým prachem z delaborace. Z tohoto plyne, že pro určitý úbytek tlakové síly tyto vzorky vykazovaly nejnižší hodnotu snížení podélného přetvoření. Jejich průměrná hodnota byla 13,73 GPa.



Graf 9: Srovnání modulů pružnosti.

Srovnáním průměrných hodnot Poissonových čísel (graf 10), udávajících závislost mezi podélným a příčným přetvořením, bylo možné zjistit, které vzorky vykazovaly tento poměr nejvyšší.



Graf 10: Srovnání Poissonových čísel.

Zřetelně nejvyšší poměr vykazují zkušební tělíska ze vzorků odebraných po odstřelech Perunitem 28E, což může znamenat, že tato zkušební tělíska mohla obsahovat systém mikrotrhlin, který zapříčinil odlišný poměr podélného a příčného přetvoření. Jejich průměrná hodnota je velmi vysoká a má hodnotu 0,31. Je též pravděpodobné, že tato tělíska byla zasažena výše zmiňovaným drceným pásmem, čemuž odpovídá i celková pevnost tlaku pro Perunit 28E, která byla ze všech trhavin nejnižší.

## 6 ZÁVĚR

Hlavní cíl této práce, stanovit plán následného provedení výzkumu mechanických vlastností žul mrákotínského typu při použití různých druhů trhavin k produkci výrobků hrubé a ušlechtilé kamenické výroby byl splněn. Samotné provedení výzkumu mechanických vlastností žul mrákotínského typu při použití různých druhů trhavin k produkci výrobků hrubé a ušlechtilé kamenické výroby a zhodnocení jeho výsledků bylo cílem mé dizertační práce. Pro potřeby výzkumu mechanických vlastností žul mrákotínského typu bylo na provozovně kamenolomu Horní Dvorce provedeno 15 odstřelů za pomoci různých druhů trhavin a různých konstrukcí náloží. Odebráno bylo 30 vzorků a z nich pak 180 dílčích vzorků (zkušebních tělísek) určených ke zkoušení na testovacím zařízení. Výstupem je množství hodnot a grafů (příloha A, příloha B), ze kterých byla porovnáním stanovena ideální trhavina pro použití v popsáných podmínkách, ideální konstrukce nálože při těžbě žul mrákotínského typu pro hrubou a ušlechtilou kamenickou výrobu. Analyzován byl vliv předimenzování nálože na pevnostní vlastnosti zkoušené horniny.

Dílčí cíle této práce, jimiž jsou: návrh nejvhodnější trhaviny, konstrukce nálože a zhodnocení vlivu předimenzování nálože střelmistrem na mechanické vlastnosti granitu mrákotínského typu při těžbě bloků horniny a při sekundárních trhacích pracích používaných k přípravě suroviny určené ke zpracování na produkty hrubé a ušlechtilé kamenické výroby i zjištění ideálního poměru hmotnosti náložky trhaviny k ploše lomu vzniklé po rozpojení bloku, byly splněny.

Dle výsledků výzkumu je ideální trhavinou k použití v daných podmínkách Černý prach z delaborace. Jako alternativu lze označit Vesuvit THH. Méně vhodný je Vesuvit TN a krajně nevhodnou trhavinou je dle předpokladu, při výzkumu použitý zástupce trhavin s tříštivým účinkem, Perunit 28E. Černý prach z delaborace lze doporučit i z ekonomického hlediska, neboť je o 8 % levnější než Vesuvit THH a o 16 % než Vesuvit TN. Používáním pouze Černého prachu z delaborace by bylo možné snížit náklady na trhaviny o 6 %.

Konstrukci náloží doporučuji nadále používat jako nedělenou s minimální možnou hmotností náložky, především z důvodů ekonomických, neboť výrazný vliv konstrukce náložky ani hmotnosti náložky trhaviny nebyl z výsledků výzkumu prokázán.

Po výpočtu poměru hmotnosti trhaviny a plochy lomu rozpojeného bloku u nedělené konstrukce náložky s 0 % nadhodnocením náložky trhaviny a použitím černých trhacích prachů, kde byla snaha střelmistra o co možná nejnižší hmotnost náložky potřebnou k rozpojení bloku, jsem zjistil minimální hodnotu tohoto poměru  $32,09 \text{ g.m}^{-2}$  a maximální hodnotu  $83,95 \text{ g.m}^{-2}$ . Proto navrhuji jako ideální poměr hmotnosti náložky a plochy lomu rozpojeného bloku v rozmezí  $0,30$  až  $0,50 \text{ g.m}^{-2}$ . Tato hodnota je důležitá pro ekonomičnost vedení trhacích prací, nicméně v praxi je velice obtížně udržitelná, neboť záleží na přesném odhadu a zkušenostech střelmistra.

**Soupis bibliografických citací:**

- [1] Hydrogeologický posudek, GEOtest Brno, a.s., Brno, září 1996.
- [2] Plán využívání ložiska Horní Dvorce, Třešť, září 1996.
- [3] PETROŠ, Vladimír; ŠANCER, Jindřich. Mechanika hornin a zemin. - 1. vyd.. - Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009 - 88 s. : il. ISBN 978-80-248-1962-4 (brož.).
- [4] ŠTREJBAR, Martin; MIKOLÁŠ, Milan; VARYŠ, Zdeněk. Lom Horní Dvorce - Těžba a sortiment výrobků žuly mrákotínského typu. *Keramický zpravodaj*. 2010, roč. 26, č. 2/6, s. 10-14. ISSN 1210-2520.

Martin Štrejbar : Výzkum mechanických vlastností žul mrákotínského typu při použití různých druhů trhavin k produkci výrobků hrubé a ušlechtilé kamenické výroby

### **Bibliografie:**

ČSN ISO 1342 Dlažební kostky z přírodního kamene pro venkovní dlažbu – Požadavky a zkušební metody. Český normalizační institut Praha, 2003. 32 str.

ČSN EN 1343 Obrubníky z přírodního kamene pro venkovní dlažbu – Požadavky a zkušební metody. Český normalizační institut Praha, 2003. 24 str.

DOJČÁR, Ondrej. Dobývanie a spracovanie kameňa. - 1. vyd.. - Bratislava : Alfa, 1984 - 216 s. : il.

HORKÝ, Jiří. Trhací práce a rozpojování hornin : učební texty VŠB. - 3. vyd.. - Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1987 - 219 s. : il.

KOŘÍNEK, Robert. Trhací práce v lomech. - 1. vyd.. - Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1988 - 196 s. : il.

KRYL, Václav; [et al.]. Povrchové dobývání ložisek. - 1. vyd.. - Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1997 - 266 s. : il. ISBN 80-7078-396-6.

Technologické postupy a pokyny, Kamenná, březen 1993.

Prezentace firmy Lom Horní Dvorce, s.r.o.. [online] Aktuální k datu 10. 5. 2010 [cit. 2010-05-10] Dostupné z WWW: <<http://www.lomhornidvorce.wz.cz/>>.



Martin Štrejbar : Výzkum mechanických vlastností žul mrákotínského typu při použití různých druhů travin  
k produkci výrobků hrubé a ušlechtilé kamenické výroby

**Seznam příloh:**

Příloha A: Datový výstup měření zkušebního tělíska 12\_5 a výpočtová tabulka hodnot.

Příloha B: Datové výstupy měření všech 180 zkušebních tělísek. (CD-ROM)