

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Aplikovaná geologie



Kateřina Krutilová

Vliv složení a mikrostruktury vulkanických hornin na jejich technologické vlastnosti

Influence of composition and fabric of volcanic rocks on their technological properties

Disertační práce

Školitel: Prof. Mgr. Richard Příkryl, Dr.

Praha, 2015

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 30. 06. 2015

Kateřina Krutilová

Poděkování patří zejména mému školiteli Prof. Mgr. Richardu Přikrylovi, Dr., za podnětné připomínky, trpělivost a pomoc při vedení disertační práce i během celého studia. Dále bych ráda poděkovala Ing. Miroslavu Hörbemu st. za odborné konzultace, které mi byly velkým přínosem. Za pomoc při provádění zkoušek a odběru vzorků bych ráda poděkovala svým kolegům ze Zkušebny kamene a kameniva, s.r.o. Hořice. Nesmím opomenout poděkovat svým přátelům, kteří mě slovem dokázali povzbudit a posunout znovu do práce. Zvláštní dík patří celé mojí rodině za podporu, odborné rady a pomoc během mého studia.

ABSTRAKT

Vzhledem k pestré geologické stavbě se v České republice pro výrobu drceného kamene využívá široká škála všech genetických typů hornin. Nejpoužívanější skupinou jsou výlevné magmatické horniny, které tvoří zhruba 34 % z celkové produkce (Starý et al. 2010). Tyto horniny jsou využívány pro všechny hlavní typy stavebních konstrukcí včetně pozemních komunikací.

Experimentální materiál drceného kamene, použitý pro tuto práci, byl odebrán ze čtyřiceti činných lomů v České republice. Zkoumané vulkanické horniny pocházejí z neoproterozoických a paleozoických komplexů Barrandienu, permokarbonu podkrkonošské pánve, permokarbonu vnitrosudetské pánve, ordoviku železnohorské oblasti, z hlavních vulkanických center Českého masivu v severozápadních Čechách (České středohoří a Doupovské hory), neovulkanických oblastí České křídové pánve a neovulkanické oblasti Východních a Západních Sudet.

Petrografický výzkum byl proveden formou standardních petrografických rozborů horninových výbrusů a chemické analýzy, s jejichž pomocí byly horniny zařazeny v příslušných klasifikačních systémech. Kromě toho byl celý soubor vulkanických hornin rozdělen do pěti petrograficko-technologických skupin vymezených jako: (1) ryolity / porfyry, (2) fonolity, (3) bazalty *s.l.*, (4) spility a (5) melafyry / diabasy.

U každé ze studovaných hornin byly podrobněji zkoumány její fyzikální a technologické vlastnosti. Z fyzikálních vlastností se stanovily základní indexové parametry (objemová hmotnost, otevřená pórovitost a nasákavost). Nejrozsáhlejší byla skupina technologických zkoušek, během nichž se stanovila mechanická odolnost (odolnost proti drcení metodou Los Angeles, odolnost proti drcení rázem, hodnota ohladitelnosti PSV a odolnost proti obrusu pneumatikami s hroty). Dále byly posuzovány geometrické vlastnosti pomocí tvarového indexu kameniva jednak podle normového, ale i modifikovaného, postupu a tvarové parametry s využitím počítačové analýzy obrazu. Experimentální studium se rovněž zaměřilo na zjištění stupně zdrobnění jako ukazatele drtitelnosti hornin v kombinaci se závislostí na predikci tvorby tvarově vhodných zrn kameniva.

Průměrné hodnoty objemové hmotnosti zrn kameniva se pohybují od 2,406 g/cm³ u horniny fonolitu do 3,216 g/cm³ u sodalitického nefelinitu. Průměrné hodnoty nasákavosti hornin se pohybují v rozmezí 1,9 % hmotnosti - 0,2 % hmotnosti. Průměrné zjištěné hodnoty otevřené pórovitosti se pohybují v rozmezí 4,70 % objemu - 0,52 % objemu. Hodnoty odolnosti proti drcení metodou Los Angeles se pohybují v rozsahu od minimální hodnoty u spilitu (LA = 8,4) do maximální hodnoty pro bazaltický andezit (LA = 29,2). Průměrné hodnoty odolnosti proti drcení rázem se pohybují v rozsahu od minimální hodnoty u olivinického nefelinitu (SZ = 8,9) do maximální hodnoty bazaltického andezitu (SZ = 25,1). Hodnoty odolnosti proti obrusu pneumatikami s hroty se pohybují v rozsahu od minimální hodnoty analcimického nefelinitu (A_N = 6,4) do hodnoty maximální hodnoty bazaltického andezitu (A_N = 43,3). Stupeň zdrobnění D_r vykazuje hodnoty od 3,33 u fonolitu do 6,16 u bazaltického andezitu. Zkoumané vulkanické horniny vykazují široký rozsah hodnot odolnosti proti ohlazování (PSV) se zastoupením v rozsahu 46 až 60.

Mechanická odolnost (stupeň zdrobnění, drtitelnost v rázu, odolnost proti drcení metodou Los Angeles, odolnost proti obrusu pneumatikami s hroty) vykazuje různý stupeň vzájemné závislosti. Nejvyšší míra závislosti byla zjištěna mezi drtitelností v rázu a odolností proti drcení metodou Los Angeles a mezi odolností proti obrusu pneumatikami s hroty a odolností proti drcení metodou Los Angeles. Velmi nízký stupeň závislosti byl zjištěn mezi drtitelností v rázu a odolností proti ohlazování (PSV), mezi stupněm zdrobnění a odolností proti obrusu pneumatikami s hroty, mezi odolností proti drcení metodou Los Angeles a odolností proti ohlazování (PSV), mezi stupněm zdrobnění a drtitelností v rázu nebo mezi odolností proti ohlazování (PSV) a stupněm zdrobnění. Značný rozptyl vykazuje i drtitelnost v rázu a odolnost proti obrusu pneumatikami s hroty nebo stupeň zdrobnění spolu s odolností proti drcení metodou Los Angeles. Při analýze mezi jednotlivými parametry

závislostí byl použit celý soubor dat jak pro všechny typy studovaných vulkanitů, tak odděleně pro jednotlivé petrograficko-technologické skupiny. Z výsledků vyplynulo, že tyto vztahy pro různé petrograficko-technologické typy hornin vykazují nejen různou těsnost, ale v některých případech i odlišné trendy.

V části studia věnované experimentálnímu drcení a následné velikostní a tvarové analýze zrn produktů se potvrdilo, že v oblasti velikosti výstupní štěrbiny vznikají zrna s vhodným tvarovým indexem u všech typů vulkanických hornin a to i pro užití pouze jednoho stupně drcení. Nebyla zjištěna přímá závislost tvaru zrn na stupni zdrobnění hornin.

SUMMARY

Because of a very variable geological composition of the Czech Republic, there is a various scale of all genetic types of rocks that are used for the production of crushed stone.-The most often used group of rocks are effusive magmatic rocks, which represent about 34 % of crushed stone marketed (Starý et al. 2010). These rocks are used for all kinds of construction purposes including roads.

The experimental material of crushed stone used in this thesis was sampled from 40 active quarries in the Czech Republic. The studied volcanic rocks originated from Neoproterozoic and Paleozoic complexes of Barrandien, Carboniferous and Permian of Krkonose Piedmont Basin, Carboniferous and Permian of Intrasudetic basin, area of ordovician Železné Hory, from the main volcanic center of Bohemian Massif in the north-west Bohemia (České středohoří Mts. and Doupov Mts.), Neovolcanic area of Czech Cretaceous basin and area of Neovolcanic East and West Sudeten.

Petrographic study was carried out in a form of standard petrographic analysis of thin sections and chemical analysis, which helped inclusion of rocks to a classified systems. The whole suite of volcanic rocks was separated to five petrographic-technologic subgroups defined as: (1) rhyolites / porphyres, (2) phonolites, (3) basalts *s.l.*, (4) spilites and (5) melaphyres / diabases.

Every single rock has been studied in detail for its physical and technological properties. Concerning the physical properties basic index parameters were tested (apparent density, open porosity and water absorption). The most extensive was a group of technological tests, during which mechanical resistance was determined (Los Angeles attrition test, Impact Test value, Polished Stone Value PSV and Nordic abrasion test by Studded tyres). Geometric properties with a shape index of aggregates in according to a standard and modified procedure and with use of image analysis shape parameters were evaluated too. Experimental study have been also aimed to investigate a reduction ratio as indicator of rocks crushability in combination with dependence correlation to the prediction of production cubic grains of aggregates.

Average values of apparent density of aggregates are from 2,406 g/cm³ in phonolite to 3,216 g/cm³ in sodalitic nephelinite. Average values of rocks water absorption are in the range of 1,9 - 0,2 % of Mass. Average values of open porosity are in the range of 4,70 - 0,52 % of Volume. Values of Los Angeles attrition test are from minimal value in spilite (LA = 8,4) to a maximum value in basaltic andesite (LA = 29,2). Average value of the Impact Test are from a minimum value (SZ = 8,9) in basaltic andesite and olivinic analcinite to a maximum value of olivinic nephelinite (SZ = 25,1). Values of the Nordic abrasion test are from the value (A_N = 6,4) in analcimic nephelinite to a maximum value of basaltic andesite (A_N = 43,3). Reduction ratio D_r values from 3,33 in phonolite to 6,16 in basaltic andesite. The studied volcanic rocks exhibit wide range of skid resistance expressed as Polished Stone Value (PSV) in the range from 46 to 60 with normal distribution.

Mechanical resistance (reduction ratio, Impact Test, Los Angeles attrition, Nordic abrasion Test) shows us a different degree of correlations. The best correlation was found between the Impact Test and Los Angeles attrition test and between the Nordic abrasion test and Los Angeles attrition test. A very low degree of correlation was found between the Impact Test and Polished Stone Value, between reduction ratio and the Nordic abrasion test, between Los Angeles attrition test and Polished Stone Value, between the Impact Test and the Impact Test and between Polished Stone Value and reduction ratio. The Impact Test, the Nordic abrasion test and reduction ratio with Los Angeles attrition test show considerable variability too. Complete data set was used for all types of studied volcanic rocks during analysis between every single parameters of correlations, and withal separated for each of petrographic-technologic group. These results indicate, that correlations give us not only a different tightness, but also different trends in some cases.

In the part of study, aimed to an experimental crushing and forthcoming size and shape analysis of grains was confirmed, that crushing of all petrographic-technologic rock types produced grains with a

cubic shape index in a zone of size setting (even with using only one degree of crushing). A direct correlation of grains shape with a reduction ratio of rocks was not identified.

OBSAH

1. ÚVOD	1
1.1. Obecně	1
1.2. Cíle a náplň práce	1
2. KAMENIVO	4
2.1. Základní charakteristika	4
2.2. Kamenivo v České republice	6
2.3. Těžba a výroba drceného kameniva	8
2.3.1. Těžba	8
2.3.2. Výroba kameniva	8
2.3.3. Drcení	11
2.3.4. Třídění	12
2.4. Vlastnosti kameniva	13
2.4.1. Historie zkoušení kameniva v ČR a Evropě	13
2.4.2. Přehled zkoušených vlastností kameniva	14
2.4.3. Všeobecné vlastnosti kameniva	14
2.4.4. Geometrické vlastnosti kameniva	15
2.4.5. Fyzikální, mechanické a technologické vlastnosti kameniva	16
2.4.6. Odolnost kameniva vůči zvětrávání a podobným vlivům	20
2.4.7. Chemické vlastnosti kameniva	22
2.5. Požadavky na kvalitu kameniva	23
2.5.1. Obecně	23
2.5.2. Kamenivo do betonu	23
2.5.3. Kamenivo pro asfaltové směsi	24
2.5.4. Kamenivo pro nestmelené a stmelené směsi	25
2.5.5. Kamenivo pro kolejové lože	25
2.5.6. Kamenivo pro malty	25
2.5.7. Pórovité kamenivo	26
2.5.8. Kámen pro vodní stavby	26
2.6. Vulkanické horniny a jejich vlastnosti	26
3. EXPERIMENTÁLNÍ MATERIÁL	28
3.1. Odběr a příprava zkušebních vzorků	28
3.2. Studované horniny	31
3.2.1. Horniny ze skupiny ryolit / porfyr	31
3.2.2. Horniny ze skupiny fonolitu	31
3.2.3. Horniny skupiny bazalt <i>s.l.</i>	32
3.2.4. Horniny ze skupiny melafyr	36
4. METODIKA	40
4.1. Petrografický rozbor	40
4.1.1. Petrografický popis a klasifikace vulkanických hornin	40
4.1.2. Silikátová analýza	41
4.2. Fyzikální vlastnosti kameniva	42
4.2.1. Objemová hmotnost	42
4.2.2. Nasákavost	43
4.2.3. Otevřená pórovitost	43
4.3. Experimentální metody drcení	43
4.3.1. Stupeň zdrobnění	43
4.3.2. Redukční poměr	44
4.4. Tvar zrn	45
4.4.1. Obecně	45
4.4.2. Tvarový index a jeho modifikace	46
4.4.3. Počítačová analýza obrazu	46
4.5. Technologické zkoušky mechanické odolnosti	47
4.5.1. Los Angeles	47

4.5.2. Drtitelnost v rázu	48
4.5.3. Ohladitelnost kameniva pomocí PSV	49
4.5.4. Odolnost proti obrusu pneumatikami s hroty	51
5. VÝSLEDKY	53
5.1. Petrografické studium vulkanických hornin pro výrobu drceného kamene a jejich klasifikace	53
5.2. Fyzikální vlastnosti kameniva.....	61
5.2.1. Objemová hmotnost.....	61
5.2.2. Nasákavost.....	62
5.2.3. Otevřená pórovitost	63
5.3. Experimentální drcení.....	65
5.3.1. Stupeň zdrobnění.....	65
5.3.2. Redukční poměr.....	67
5.3.3. Tvarový faktor zrn.....	68
5.3.4. Tvarový index a jeho modifikace	71
5.4. Technologické zkoušky mechanické odolnosti.....	73
5.4.1. Otluková zkouška Los Angeles	73
5.4.2. Drtitelnost v rázu	74
5.4.3. Odolnost proti obrusu pneumatikami s hroty - Nordická zkouška	76
5.4.4. Ohladitelnost PSV	78
6. DISKUSE.....	80
6.1. Petrografické vlastnosti.....	80
6.2. Experimentální metody drcení.....	81
6.2.1. Stupeň zdrobnění.....	81
6.2.2. Redukční poměr.....	83
6.3. Tvar zrn kameniva	86
6.3.1. Obecně.....	86
6.3.2. Tvarový faktor zrn.....	87
6.3.3. Tvarový index a jeho modifikace	89
6.4. Technologické zkoušky	91
6.4.1. Ohladitelnost PSV	91
6.4.2. Odolnost proti obrusu pneumatikami s hroty - Nordická zkouška	94
6.4.3. Vyhodnocení vztahu mezi ohladitelností, obrusem a dalšími parametry	95
6.5. Zkoušky mechanické odolnosti.....	97
6.5.1. Los Angeles	97
6.5.2. Drtitelnost v rázu	100
6.6. Vztah mezi fyzikálními a technologickými vlastnostmi	102
7. ZÁVĚR	105
LITERATURA.....	107

Přílohy	Počet stran
Příloha 1. Fotografie vzorků z jednotlivých lokalit.....	20
Příloha 2. Objemová hmotnost kameniva.....	1
Příloha 3. Nasákavost za atmosférického tlaku.....	1
Příloha 4. Otevřená pórovitost.....	1
Příloha 5. Křivky zrnitosti zavážky a produktu drtiče.....	5
Příloha 6. Zinggův diagram: Produkt experimentálního drcení frakce 11/16.....	4
Příloha 7. Tvarový index <i>SI</i>.....	1
Příloha 8. Odolnost proti drcení Los Angeles.....	1
Příloha 9. Stanovení odolnosti proti drcení.....	1
Příloha 10. Stanovení hodnoty ohladitelnosti PSV.....	1
Příloha 11. Odolnost proti obrusu pneumatikami s hroty - Nordická zkouška.....	1

Seznam obrázků

- Obr. 2.1. Mezinárodní obchod s kamenivem evropských států.
- Obr. 2.2. Vývoj těžby kameniva.
- Obr. 2.3. Přístroje pro zkoušení technologických charakteristik kameniva.
- Obr. 2.4. Stabilní technologická linka a její mobilní ekvivalent.
- Obr. 2.5. Mechanismy porušení zrn při zkoušce odolnosti proti drcení metodou Los Angeles.
- Obr. 2.6. Příklad kulovitěho rozpadu bazaltů.
- Obr. 2.7. „Sunburns“ vzorek čediče po zkoušce varem.
- Obr. 2.8. Vrtná jádra profilem bazaltového masivu.
- Obr. 3.1. Lokalizace odběrových míst.
- Obr. 3.2. Příklad vzhledu těžebních prostorů a odběrových míst hornin ze skupiny ryolit / porfyr.
- Obr. 3.3. Příklad vzhledu těžebních prostorů a odběrových míst hornin ze skupiny fonolitu.
- Obr. 3.4. Příklad vzhledu těžebních prostorů a odběrových míst hornin ze skupiny bazaltů *s.l.*.
- Obr. 3.5. Příklad vzhledu těžebních prostorů a odběrových míst hornin ze skupiny bazaltů *s.l.*.
- Obr. 3.6. Příklad vzhledu těžebních prostorů a odběrových míst hornin ze skupiny bazaltů *s.l.*.
- Obr. 3.7. Příklad vzhledu těžebních prostorů a odběrových míst hornin ze skupiny melafyr / diabas.
- Obr. 4.1. Klasifikace IUGS pro vulkanické horniny.
- Obr. 4.2. Klasifikační diagram TAS pro vulkanické horniny.
- Obr. 4.3. Pyknometr se vzorkem.
- Obr. 4.4. Schéma laboratorní výroby kameniva pro stanovení stupně zdrobnění D_r a redukčních poměrů R_{80} a R_{50} .
- Obr. 4.5. Diagram znázorňující základní tvary částic kameniva.
- Obr. 4.6. Schéma postupu počítačové analýzy obrazu částic kameniva.
- Obr. 4.7. Buben zařízení Los Angeles se vzorkem a koulemi po zkoušce.
- Obr. 4.8. Přístroj na zkoušku drtitelnosti v rázu.
- Obr. 4.9. Zařízení pro stanovení ohladitelnosti.
- Obr. 4.10. Zařízení pro zkoušení obrusnosti pneumatikami s hroty.
- Obr. 4.11. Kamenivo po zkoušce obrusnosti pneumatikami s hroty.
- Obr. 5.1. Pozice studovaných vulkanických hornin v TAS diagramu.
- Obr. 5.2. Rozsah hodnot objemové hmotnosti kameniva.
- Obr. 5.3. Rozsah hodnot nasákavosti kameniva za atmosférického tlaku.
- Obr. 5.4. Rozsah hodnot otevřené pórovitosti kameniva.
- Obr. 5.5. Rozsah hodnot stupně zdrobnění D_r .
- Obr. 5.6. Rozsah hodnot redukčního poměru R_{80} a R_{50} .

- Obr. 5.7. Rozsah hodnot tvarového indexu SI studovaných hornin před zkouškou odolnosti proti drcení rázem
- Obr. 5.8. Rozsah hodnot součinitele Los Angeles LA.
- Obr. 5.9. Rozsah průměrných hodnot odolnosti proti drcení SZ.
- Obr. 5.10. Rozsah hodnot procentuálního množství zůstatku zkušební vzorku na síti velikosti 8 mm po zkoušce odolnosti drcení rázem.
- Obr. 5.11. Rozsah průměrných hodnot odolnosti proti obrusu pneumatikami s hroty A_N
- Obr. 5.12. Rozsah průměrných hodnot odolnosti proti ohlazování PSV.
- Obr. 6.1. Závislost tvarové hodnoty na stupni zdrobnění D_r .
- Obr. 6.2. Množství zrn zaváženého kameniva.
- Obr. 6.3. Závislost tvarové hodnoty na stupni zdrobnění D_r .
- Obr. 6.4. Hmotnostní podíly zrnitostních frakcí produktu drcení.
- Obr. 6.5. Grafické znázornění odečtu redukčního poměru z křivky zrnitosti zavázky a produktu.
- Obr. 6.6. Stupeň závislosti stupně zdrobnění a redukčního poměru R_{80} a R_{50} .
- Obr. 6.7. Porovnání hodnoty stupně zdrobnění a redukčního poměru.
- Obr. 6.8. Rozsah hodnot tvarového faktoru F studovaných hornin.
- Obr. 6.9. Rozsah hodnot tvarových faktorů.
- Obr. 6.10. Poměr tvaru zrn délka/tloušťka 1:3 na produktu drcení frakce 11/16.
- Obr. 6.11. Výsledky procentuálního množství kubických zrn.
- Obr. 6.12. Porovnání závislosti mezi dvěma metodami určení tvarově nevhodných zrn.
- Obr. 6.13. Četnost hodnot ohladitelnosti PSV.
- Obr. 6.14a -6.14l. Mikrostavba hornin.
- Obr. 6.15. Četnost hodnot obrusu A_N .
- Obr. 6.16. Vztah mezi součinitelem Los Angeles LA a objemovou hmotností.
- Obr. 6.17. Závislost tvaru zrn na odolnost proti drcení rázem.
- Obr. 6.18. Závislost tvaru zrn na zdrobnění zavázky po zkoušce drtitelnosti v rázu.

Seznam tabulek

Tab. 2.1. Možné způsoby rozdělení kameniva

Tab. 2.2. Základní statistické údaje o počtu ložisek, zásobách a těžbě výhradních ložisek stavebního kamene za poslední dekádu v České republice.

Tab. 3.1 Abecední přehled lokalit, začlenění do horninových skupin a geologické členění odebraných vzorků.

Tab. 3.2. Údaje o ložiscích hornin ze skupiny ryolit / porfyr.

Tab. 3.3. Údaje o ložiscích hornin ze skupiny fonolitů.

Tab. 3.4. Údaje o ložiscích hornin ze skupiny bazaltů *s.l.*.

Tab. 3.5. Údaje o ložiscích hornin ze skupiny melafyru.

Tab. 3.6. Údaje o ložiscích hornin ze skupiny spilitu.

Tab. 5.2. Výsledky průměrných hodnot fyzikálních vlastností kameniva.

Tab. 5.3. Vypočítané hodnoty stupně zdrobnění D_r , hodnoty R_{80} a R_{50} odečtené z křivky zrnitosti zavážky a produktu drtiče.

Tab. 5.4. Výsledky tvarového faktoru F .

Tab. 5.5. Tvarová klasifikace zrn vypočtená na základě norské klasifikace kameniva do betonu.

Tab. 5.6. Počet tvarově odlišných zrn z celkového počtu 150 zrn odečtených ze Zinggova diagramu.

Tab. 5.7. Hodnoty tvarového indexu SI .

Tab. 5.8. Výsledky stanovení drtitelnosti v rázu SZ , součinitele Los Angeles LA a zkouškou obrusnosti pneumatikami s hroty A_N .

Tab. 5.9. Průměrné hodnoty PSV ohladitelnosti kameniva a A_N odolnosti proti obrusu pneumatikami s hroty – Nordické zkoušky.

Tab. 6.1. Názvosloví vulkanických hornin.

Tab. 6.2. Zařazení zkoumaných vulkanických hornin do tzv. petrograficko-technologických skupin.

Tab. 6.3. Korelační koeficienty pro jednotlivé fyzikální, technologické a mechanické vlastnosti.

1. ÚVOD

1.1. Obecně

Stavebnictví je významnou součástí průmyslových aktivit lidstva a přispívá k rozvoji moderní civilizace prostřednictvím budování potřebné infrastruktury (Horvath 2004). Stavebnictví je nedomyslitelně závislé na využívání řady přírodních materiálů zejména anorganického původu (Prentice 1990, McNally 1998). Vedle zemin pro cihlářskou výrobu a surovin pro výrobu anorganických stavebních pojiv jsou nejvýznamnější a nejvíce těženou surovinou přírodní materiály (horniny všech genetických typů, ale též nezapomenuté úlomkovité sedimenty), obecně označované jako kamenivo. Výskyt hornin, využitelných jako možný zdroj kameniva, je závislý na genetických faktorech, nikolivěk na místech, kde jsou zrovna zapotřebí (Langer 2002, Langer & Tucker 2003).

Navzdory zásadnímu významu kameniva ve stavebních hmotách, a to jak z hlediska objemu (Drew et al. 2004), tak zejména vlastností, patří kamenivo k surovinám s nejnižší jednotkovou cenou (Bates 1969, Poulin et al. 1994) a z tohoto důvodu je často zanedbáván význam proměnlivých funkčních vlastností z jednotlivých typů hornin (van Loon 2002) nebo produkčními oblastmi (Bliss et al. 2003).

Přitom právě proměnlivost různých vlastností jednotlivých typů hornin, známá např. z oblasti studia jejich fyzikálních vlastností, se bude nutně odrážet i v jejich chování jako stavebního materiálu. Na rozdíl od studia fyzikálních vlastností se však zkoušení kameniva soustředí zejména na ověřování tzv. technologických vlastností, které se stanovují pomocí různých empiricky nastavených zkušebních postupů, jejichž korelace s fyzikálními či petrografickými vlastnostmi je často velice obtížná, ne-li nemožná.

Studium vzájemných vlivů technologických, fyzikálních a petrografických vlastností hornin, používaných pro výrobu kameniva má o to větší význam v zemích s velmi pestrá geologickou stavbou, k nimž patří i Česká republika (Chlupáč et al. 2002). Ze široké škály všech genetických typů hornin vhodných pro využití ve stavebnictví (Rybařík 1983, Habarta 1992) se zde při výrobě drceného kamene nejvíce využívají výlevné magmatické horniny, jejichž podíl dosahuje zhruba 34 % z celkové produkce (Starý et al. 2010). Významnému zastoupení tohoto genetického typu hornin v tuzemském stavebnictví však v žádném případě neodpovídá úroveň současných znalostí o vzájemném vlivu výše uvedených vlastností.

1.2. Cíle a náplň práce

Rozsah zkoušených vlastností u těžených typů hornin nejde v naprosté většině případů nad rámec předepsaného typu, rozsahu a počtu prováděných zkoušek a v žádném případě se nezabývá provázaností jednotlivých parametrů technologických zkoušek, případně jejich vztahem k vlastnostem fyzikálními nebo k petrografickým parametrům. S ohledem na fakt, že technologické parametry, vycházející z empiricky odvozených způsobů namáhání kameniva v určitém typu použití, nelze přímo vztáhnout k jednotlivým základním fyzikálním vlastnostem, bývá často obtížné určit příčinné souvislosti mezi technologickými parametry a fyzikálními vlastnostmi. Obdobně je tomu tak i s petrografickými parametry, které reflektují jak genetické, tak postgenetické faktory, obtížně se však vztahují k technologickým vlastnostem. Vzájemná provázanost petrografických, fyzikálních a technologických vlastností je však zásadní pro správné porozumění chování kameniva při konkrétním použití a ovlivňuje životnost stavební konstrukce, bezpečnost jejího využívání a v neposlední řadě má i ekonomické dopady (četnost oprav či výměn). Základním cílem této práce je tedy porozumění vzájemné provázanosti mezi výše jmenovanými vlastnostmi kameniva.

S ohledem na výše konstatované znalostní nedostatky v provázanosti jednotlivých typů vlastností hornin využívaných jako surovina pro výrobu drceného kamene se tato práce zaměřila na komplexní

výzkum vzájemných vztahů mezi petrografickými, fyzikálními a technologickými vlastnostmi výlevných magmatických hornin. Pro objasnění těchto vztahů bylo nutné:

- vybrat vhodný studijní materiál, v němž by byla zastoupena jedna genetická skupina hornin s dobře definovatelnou variabilitou jednotlivých členů;
- zvolit vhodný experimentální program, umožňující naplnění základní pracovní teze.

Studijní materiál byl odebrán ze čtyřiceti činných lomů v České republice, situovaných v různých geologických jednotkách: v oblasti neoproterozoika a paleozoika Barrandienu, permokarbonu podkrkonošské pánve, permokarbonu vnitrosudetské pánve, ordoviku železnohorského paleozoika, vulkanických center Českého masivu v severozápadních Čechách (České středohoří a Doupovské hory), neovulkanických oblastí české křídové pánve a neovulkanické oblasti Východních a Západních Sudet. Kromě standardního popisu se petrografický výzkum zaměřil na možnost vymezení petrograficko-technologických skupin, definovaných složením, stářím, apod. V rámci těchto skupin byl sledován vliv vybraných petrografických parametrů na proměnlivost fyzikálních a technologických vlastností.

Experimentální program zahrnul dva okruhy zkoušených vlastností: fyzikálních a technologických v širším slova smyslu. Z fyzikálních vlastností byly zkoušeny základní (indexové) fyzikální vlastnosti: objemová hmotnost, nasákavost a pórovitost. Znalost některých těchto vlastností, zejména objemové hmotnosti, je nezbytná nejen pro základní zařazení kameniva mezi pórovité, hutné či těžké (viz dále), ale též je nezbytná pro provádění dalších zkoušek. Z analogie ke vztahu indexových a mechanických vlastností hornin byla též očekávána jistá míra závislosti mezi vlastnostmi fyzikálními a technologickými.

Druhý okruh zkoušených vlastností se soustředil na provedení série tzv. technologických zkoušek. Zde se jedná jednak o zkoušky mechanické odolnosti (v praxi často označovány jako zkoušky mechanické, ale nelze je zaměňovat se stanovením přetvárných a pevnostních charakteristik), mezi něž patří odolnost proti drčení metodou Los Angeles (dříve označována jako otluková zkouška) a odolnost vůči působícímu dynamickému rázu. Výsledky každé z těchto zkoušek nachází uplatnění v různých typech aplikací kameniva, zatímco stanovení odolnosti vůči namáhání dynamickým rázem je vyžadováno hlavně u kameniva pro kolejová lože, odolnost vůči drčení metodou Los Angeles má širší aplikovatelnost včetně kameniva pro silniční stavby.

Do série zkoušek mechanické odolnosti patří také tzv. odolnost proti obrusu pneumatikami s hroty, která je povinně vyžadována v severských zemích, ale v České republice ani ve většině evropských zemí se neprovádí. Protože princip této zkoušky je velmi podobný stanovení odolnosti proti drčení metodou Los Angeles, ale liší se některými detaily: jinou náložkou, jinými mlecími koulemi a provedením ve vodou nasáklém stavu, bylo žádoucí zjistit vzájemný vztah hodnot, získaných těmito dvěma metodami. Rovněž dosud nebylo prozkoumáno, zda se obě tato stanovení řídí stejnými petrografickými či fyzikálními mechanismy. V neposlední řadě bylo též žádoucí zjistit, v jakém vztahu je hodnota odolnosti proti obrusu pneumatikami s hroty vůči dalšímu významnému technologickému parametru – odolnosti proti ohlazování, vyjádřené jako tzv. Polished Stone Value (PSV). Tato vlastnost má zásadní vliv na protismykové vlastnosti povrchu vozovky. V literatuře existuje řada zobecňujících tvrzení o vlivu některých petrografických parametrů na protismykové vlastnosti hornin, ale z řady dříve provedených zkoušek v ZKK Hořice je zřejmé, že tyto předpoklady nemusí vždy platit. Protože u hojně využívaných výlevných magmatických hornin nebyla dosud prozkoumána závislost mezi petrografickými parametry a ohladitelností, část práce se zaměřila právě na tento aspekt. S ohledem na velmi malý počet prací věnujících se odolnosti proti obrusu pneumatikami s hroty, byla získaná experimentální data využita i k porovnání vztahu tohoto parametru k ostatním technologickým a fyzikálním vlastnostem.

K významným technologickým vlastnostem kameniva patří také velikost a tvar částic. Při výrobě drceného kamene se většinou používá víceúrovňové drcení, aby se dosáhlo optimálního tvaru ve vyšších stupních drcení. Část této práce se zaměřila na experimentální ověření možnosti výroby tvarově vyhovujícího drceného kamene při jednostupňovém drcení. Během tohoto dílčího cíle byla ověřována možnost stanovení trojrozměrného tvaru částic kameniva pomocí počítačové analýzy obrazu. Na souboru dat byly poté zkoušeny různé přístupy výpočtu stupně zdrobnění, tj. redukce velikosti částic původní zavažky.

Řešené téma bylo finančně podpořeno výzkumným projektem „Vytvoření databáze pro oceňování vlastností hornin používaných pro výrobu drceného kamene“ (50213/ENV/06 1855/660/06), poskytnutým Ministerstvem životního prostředí ČR (hlavní řešitel prof. R. Příkryl).

2. KAMENIVO

2.1. Základní charakteristika

Kamenivo je sypaný přírodní nebo umělý materiál používaný jako stěžejní složka při výrobě betonu, hlavní stavební materiál k stavbě a údržbě železnic a silnic; dále tvoří důležitou složku při výrobě malt a omítek, teracových dlaždic a litých podlah či dalších stavebních hmot. Kamenivo je nejen základní surovinou moderního stavebnictví (McNally 1998, Bobrowsky 1998, Primel & Tourenq 2000, van Loon 2002, Lorenz & Gwosdz 2003, Alexander & Mindess 2005), ale též nejvíce využívaným typem nerostných surovin (Anonym 2009).

Kamenivo se podle svého původu dělí na přírodní, umělé a recyklované kamenivo (Tab. 2.1, McNally 1998, Lorenz & Gwosdz 2003). **Přírodní kamenivo** se získává zdrobňováním kusového přírodního stavebního kamene nebo těžebním nesoudržných klastických sedimentů, které vznikly přirozeným rozpadem pevných hornin a označují se jako písky a štěrkopísky, resp. jako přírodní těžené kamenivo.

Při zohlednění fyzikálních vlastností, zejména objemové hmotnosti, se vymezuje kamenivo pórovité, hutné a těžké (Lorenz & Gwosdz 2003, Tab. 2.1). Pórovité kamenivo s objemovou hmotností do 2000 kg/m³ se používá při výrobě lehkých malt, betonů s tepelně izolačními vlastnostmi, omítkových směsí apod. Většina hornin patří svou objemovou hmotností 2000-3000 kg/m³ do kategorie hutného kameniva. Právě těmito horninami se zabývá tato práce. Těžké kamenivo má objemovou hmotnost větší než 3000 kg/m³ a používá se pro speciální konstrukce z těžkých betonů, které slouží např. jako ochrana před radioaktivním nebo rentgenovým zářením. Nejvhodnějšími druhy těžkého kameniva jsou železné rudy, baryt nebo syntetický korund (Lorenz & Gwosdz 2003, Svoboda et al. 2007).

Tab. 2.1. Možné způsoby rozdělení kameniva zpracováno dle údajů uváděných McNallym 1998 a Lorenzem & Gwosdzem (2003).

Vlastnost	Rozdělení kameniva		Příklad
Původ	přírodní	těžené	těžené kamenivo (písky, štěrky, štěrkopísky)
		drcené	drcený kámen (horniny)
	umělé	průmyslově vyráběné	keramzit (liapor), vermikulit, perlit
		odpady průmyslových výrob	strusky, popílky
		recyklované stavební hmoty	betonový recyklát, asfaltový recyklát
Objemová hmotnost	pórovité (do 2000 kg/m ³)		liapor (keramzit), expandit, perlit, apod.
	hutné (2000 – 3000 kg/m ³)		většina hornin
	těžké nad 3000 kg/m ³		některé bazické a ultrabazické horniny s Fe-Mg silikáty, železná ruda, baryt, magnetit ad.
Velikost zrn	jemné 0 až 0,125 mm		moučka, filer
	drobné 0 až 4 mm		frakce 0/2, 0/4
	hrubé 4 až 90 mm		4/8, 8/16, 32/63
	směs kameniva 0 až 90 mm		0/16, 0/22, 0/32, 0/90
Frakce d/D	úzká		2/4, 4/8, 8/16, 16/32
	široká		4/11, 4/32, 8/32

Umělé kamenivo se získává tvářením vhodných surovin, drcením odpadních produktů některých průmyslových výrob nebo přepracováním stavebních hmot (Tab. 2.1). V současné době je jako hutné umělé kamenivo nejvyužívanější vysokopecní struska, vzniklá jako odpadní produkt v metalurgii železa a ocelářská struska jako odpadní produkt při výrobě oceli. Z výsledků řady některých studií vyplývá, že vlastnosti umělého kameniva, vznikajícího např. jako odpadní produkt průmyslových výrob (např. ocelářské strusky) některými svými vlastnostmi předčí přírodní

kamenivo (Maslehuddin et al. 2003, Manso et al. 2004). V České republice je hojně využívaným pórovitým umělým kamenivem keramzit, vyráběný z třetihorních cyprisových jílu při vysokých teplotách v rotačních pecích. Používá se k výrobě lehkých malt a betonových výrobků s tepelně i zvukově izolačními účinky. Dále sem patří amorfní vulkanická skla schopná expandace po zahřátí (tzv. perlit), která se přidávají do lehkých malt a omítek, stropních tvárnic a izolací, nebo různé výrobky z popílků.

Využívání tzv. druhotných surovin, k nimž se řadí recyklované kamenivo a umělé kamenivo (Bossink & Brouwers 1996, Mroueh et al. 2001, Mroueh & Wahlström 2002, Azni et al. 2005, Oikonomou 2005), patří k základním úkolům nejen průmyslově a technologicky vyspělých států (Fatta et al. 2003, Klang et al. 2003, Roth & Eklund 2003, Kartam et al. 2004). Využití recyklovaného kameniva v budoucnu výrazně poroste, protože stavebnictví se významnou měrou podílí na světové produkci odpadů (např. v zemích EU je to přibližně 450 mil. tun ročně) (Oikonomou 2005). Největší podíl zde tvoří tzv. **recyklované kamenivo**, tj. kamenivo anorganického původu, které bylo již dříve použito ve stavební konstrukci (Etxeberria et al. 2007, Rao et al. 2007). Vyrábí se z inertního neboli stavebního demoličního odpadu (Tränkler et al. 1996). I u umělého kameniva vzniklého recyklací stavebních sutí je velmi důležité znát vlastnosti kameniva přírodního, které v něm bylo použito jako plnivo, protože ve výsledku významně ovlivňuje vlastnosti recyklátu (Corinaldesi 2010, Zega et al. 2010).

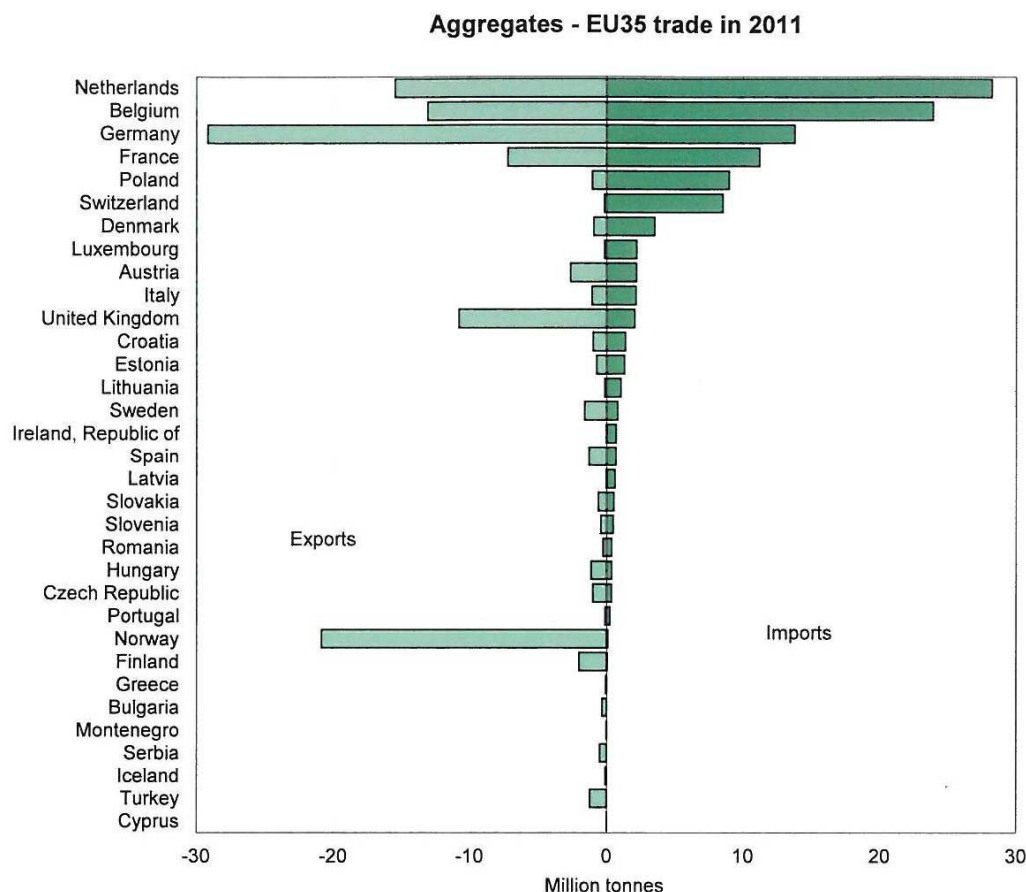
V České republice se druhotné suroviny používají v dopravním stavitelství jako násypový materiál do zemních konstrukcí nebo konstrukčních vrstev pozemních komunikací. Konkrétní využití je vázáno na umístění průmyslových provozů nebo procesů, během nichž tyto materiály vznikají. Mezi druhotné suroviny patří recyklované materiály z betonu, z vozovek nebo ze zdiva; dále uhelná hlušinová sypanina, vysokopecní struska, ocelářská struska, tzv. studený odval, popílek a další.

Světová výroba stavebního kamene je většinou vykazována společně se šterkopísky pod pojmem „aggregates“ (kamenivo) a ve vyspělých zemích, kde probíhá stavba infrastruktury, dokonce převyšuje obchod s drahými kovy. Největšími producenty kameniva v Evropě jsou Německo, Francie a Španělsko, jejichž vedoucí pozice se rok od roku mění. Průmysl těžby a výroby šterku, písku a drceného kameniva jsou spolu se stavebním průmyslem nejintenzivnější zdrojový sektor po celé Evropě a podle Eurostatu představují asi 40 % přímých materiálových vstupů do evropské ekonomiky (Starý et al. 2009).

Světová produkce kameniva dosahuje ~ 25 mld. tun (Anonym 2009) a činí tak kolem 50 % všech vydobytých nerostných surovin (Přikryl, nepubl. data). Hodnota této těžby přesáhla 150 miliard US\$. U vyspělých zemí, kde je dobře vybudovaná infrastruktura lze pozorovat pokles spotřeby kameniva (např. USA, Japonsko nebo západní Evropa) oproti zemím jako je Indie, Čína, Mexiko, Rusko, Írán a Polsko, které se snaží dobudovat chybějící infrastrukturu.

Drcený kámen a přírodní těžené kamenivo, souhrnně nazývané pojmem kamenivo, je vysoce objemové a nízkohodnotové zboží, jehož cena je extrémně závislá na nákladech dopravy. Z důvodu vysokých ekonomických nákladů kameniva po pozemních komunikacích a železniční dopravy není kamenivo běžnou komoditou v mezinárodním obchodu a je závislé pouze na lokální distribuci. Ekonomicky nejvýhodnější variantou přepravy na větší vzdálenosti je lodní doprava, která je oproti pozemní přepravě až padesátinásobně nižší (Obr. 2.1).

Ceny stavebního kamene na světovém trhu se netvoří na mezinárodním trhu a zahraniční obchod probíhá vesměs mezi sousedními zeměmi. Ceny kameniva se v Evropě mohou lišit o několik procent od průměrné ceny i v rámci jedné země vzhledem k regionální absenci nebo nedostatku určitých ložisek.



Obr. 2.1. Mezinárodní obchod s kamenivem evropských států (převzato z <http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/europe/home.html>).

2.2. Kamenivo v České republice

Geologická stavba České republiky je velice rozmanitá a nabízí širokou škálu všech genetických typů hornin, které jsou používány jako průmyslově využitelná ložiska stavebního kamene ve stavebnictví po celé republice. Hlavním zdrojem suroviny pro výrobu drceného kameniva v ČR jsou ložiska magmatických hornin (46 % z celkové výroby, viz Starý et al. 2010), z nichž nejrozšířenější jsou ložiska výlevných hornin. Ložiska paleovulkanitů se vyskytují prakticky jen v Barrandienu, podkrkonošské pánvi a vnitrosudetské depresi. Z ložisek neovulkanitů mají výrazný význam bazické horniny (zejména bazaltové, které se podílejí na celkové produkci drceného kameniva v ČR zhruba 25 %), soustředěné především v Českém středohoří a v Doupovských horách, méně také v oblasti české křídové pánve, východních a západních Sudet a na Železnobrodsku. Hlubinné vyvřeliny se těží na mnoha místech středočeského plutonu, centrálního moldanubického plutonu, železnohorského plutonu, brněnského masivu a ostatních plutonických těles přičemž ložiska žilných hornin mají jen malý význam.

Další významnou skupinou hornin, která se podílí na produkci drceného kamene cca 27 % z celkové výroby, jsou ložiska zpevněných klastických sedimentů, zejména kulmských drob Nízkého Jeseníku a Dražanské vrchoviny. Významné postavení mají také ložiska metamorfovaných hornin, a to hlavně regionálně metamorfovaných, které tvoří 25 % produkce drceného kamene v ČR. Jedná se hlavně o krystalické břidlice z krystalických komplexů Českého masivu, dále technologicky velmi vhodné ortoruly, granulity, hadce, krystalické vápence aj. a méně vhodné pararuly, kvarcity a svory. Kontaktně přeměněné horniny, jako jsou rohovce a břidlice, mají menší význam a vyskytují se na kontaktu středočeského a nasavrckého plutonu s proterozoickými a paleozoickými sedimenty.

Výrazně menší podíl představují chemogenní a organogenní horniny typu vápenců z barrandienského staršího paleozoika a moravskoslezského devonu a proterozoických silicitů na Plzeňsku (3 % z celkové výroby) (Starý et al. 2010).

Informace o surovinových zdrojích nerostných surovin České republiky jsou dostupné v České geologické službě, jejíž archivní složka Geofond zajišťuje trvalé uchovávání archivních jednotek nepublikované písemné i grafické geologické dokumentace a výsledků geologických prací. V České republice je k 31.12.2013 evidováno 319 výhradních a 219 nevýhradních ložisek stavebního kamene a z nich se je v současné době těžených 169 výhradních (Tab. 2.2) a 40 nevýhradních ložisek. Celková produkce drceného a těženého kameniva se v České republice pohybuje ~ 22 mil. m³ (tedy ~ 49 mil. t) ročně. Souhrnné přehledy o dříve a nyní využívaných ložiscích též poskytují kapitoly v přehledných kompendiích, věnovaných nerudným surovinám (Rybařík 1983, Habarta 1992).

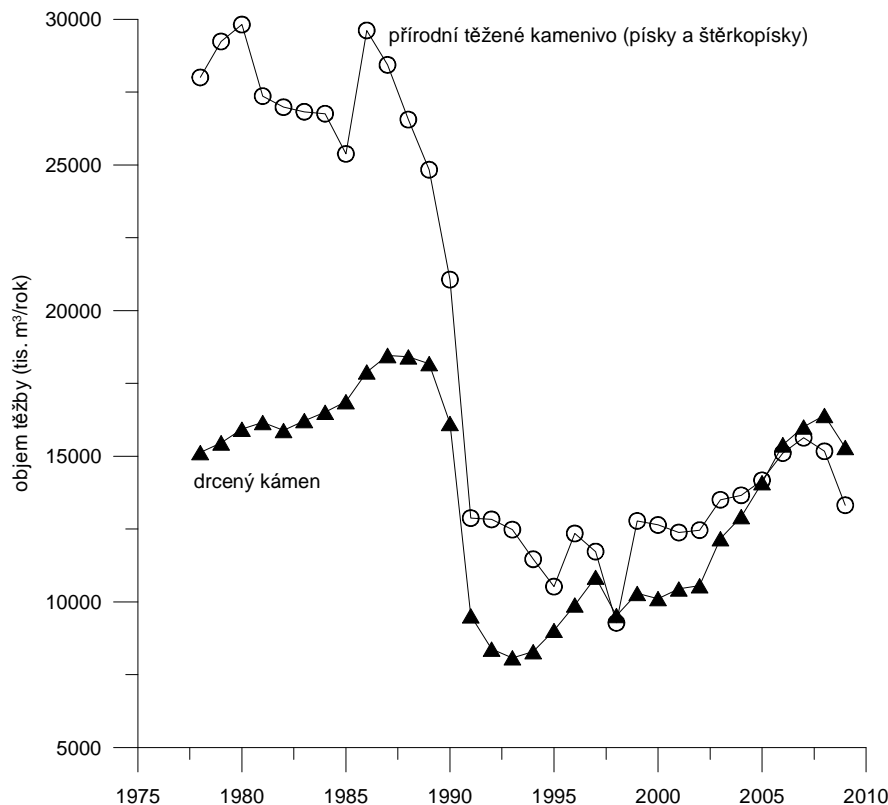
Poměr mezi vyrobeným těženým kamenivem a drceným kamenem je v současné době na úrovni většiny vyspělých zemí což znamená, že výroba drceného kamene mírně převyšuje nad produkcí přírodního těženého kameniva (Obr. 2.1). Z posledních dvou dekád je zřetelný rostoucí trend spotřeby a postupné snižování poměru mezi drceným kamenem a přírodním těženým kamenivem. Největší propad v těžbě byl na přelomu 80. a 90. let 20. století a byl způsoben změnou politického systému a přechodem z centrálně řízeného modelu hospodářství na tržní ekonomiku (Obr. 2.2). Krize ve stavebnictví v roce 2008 až 2009, která vznikla patrně z důvodu celosvětových ekonomických potíží, způsobila snižování těžby kameniva, který přetrvává až do současnosti (Obr. 2.2).

Tab. 2.2. Základní statistické údaje o počtu ložisek, zásobách a těžbě výhradních ložisek stavebního kamene za poslední dekádu v České republice. Schválené prognózní zdroje jsou v tomto časovém rozmezí $P_1 = 78\,950$ tis. m³, $P_2 = 399\,314,39$ tis. m³, v roce 2013 došlo ke snížení P_1 na 61 357 tis. m³ a zvýšení P_2 na 408 807, P_3 nejsou stanoveny. Stav k 31.12.2014 (podle Starý et al. 2008, 2013, 2014).

Rok	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Počet ložisek celkem	324	319	319	319	319	317	318	320	319	319
z toho těžených	168	169	170	169	165	166	164	165	170	169
Zásoby celkem, tis. m ³	2281082	2315902	2254873	2266643	2290511	2346363	2392813	2392105	2391958	2383849
bilanční prozkoumané	1142528	1166229	1130527	1129149	1138025	1153009	1156294	1157255	1155910	1089703
bilanční vyhledané	983239	1014798	996531	1005144	1017433	1043741	1089355	1090044	1091875	1149727
nebilanční	155315	134875	127815	132350	135053	149613	147164	144806	144173	144419
Těžba výhr. lož., tis. m ³	11966	12822	14093	14655	14799	13947	12350	12299	10950	11420
Těžba nevýhr. lož., tis. m ³	960	1270	1300	1350	1600	1350	1450	1300	1100	969

I přes pokles primární těžby v posledních pěti letech, bude domácí spotřeba v následujícím desetiletí růst, mimo jiné zvláště z důvodu dostavby dálniční sítě a opravy silnic nižších tříd. V roce 2015 je naplánována velká rekonstrukce hlavních železničních tratí.

Ceny drceného kameniva kolísají na základě kvality horniny, zrnitostních frakcí a samozřejmě podle dostupnosti suroviny v určitém regionu. Podle regionálního členění dosahují vyšší ceny drceného kameniva v krajích Libereckém, Jihočeském a Plzeňském, oproti nízkým cenám v kraji Moravskoslezském, Olomouckém nebo Karlovarském (Starý et al. 2010).



Obr. 2.2. Vývoj těžby kameniva (drcený kámen a přírodní těžené kamenivo) na území dnešní České republiky od r. 1978 až do roku 2010 (údaje převzaty z Bilancí zásob před r. 1993 a ze surovinových přehledů ČR po roce 1993).

2.3. Těžba a výroba drceného kameniva

2.3.1. Těžba

Základní fyzikálně mechanické vlastnosti hornin ovlivňují nejen volbu používaných strojů, ale i kusovitost rubaniny. V České republice jsou pro výrobu drceného kameniva těženy ložiska výlučně povrchově. Zatímco štěrkopísek se rozpojován většinou přímo nakládacím zařízením, soudržné horniny vyžadují rozpojování pomocí odstřelů, u nichž je třeba dbát, aby během nich nedocházelo k nadměrné kusovitosti. U těženého kameniva závisí technologie těžby na přítomnosti podzemní vody, která určuje, zda půjde o tzv. suchou těžbu (tedy nad hladinou podzemní vody), nebo tzv. těžbu mokrou (tj. pod hladinou podzemní vody). Způsob úpravy těženého kameniva dále závisí na zrnitosti suroviny v ložisku a charakteru znečištění. Výrobní linka proto musí respektovat charakter ložiska. U drceného kameniva se oddělení skalní horniny od lomové stěny provádí primárními trhacími pracemi, v současné době konkrétně nejčastěji clonovým odstřelem, jímž po rozpojení vznikne tzv. rozval. Větší kusy, které je nutné dále zmenšit, se rozpojují sekundárními trhacími pracemi pomocí hydraulických kladiv nebo příložných náloží. Rubanina se po rozpojení pomocí nakladače a nákladních automobilů přemísťuje k technologické lince na výrobu kameniva. Těžba hornin má velký dopad na životní prostředí, proto je součástí plánu otvírky a postupu dobývání (POPD) i plán rekultivace po ukončení těžby.

2.3.2. Výroba kameniva

Dějiny drcení a třídění hornin sahají hluboko do historie lidstva, jež velmi dávno začalo používat různá pomocná zařízení ke zdobňování rudy k výrobě kovů nebo kamene ke stavebním účelům.

Postupně tato zařízení dostávala stále více charakter strojů, které s pomocí přiváděné energie odstraňovaly těžkou ruční práci. Prvními drtiči byly před více než 400 lety stoupy, a později různé mlecí soupravy, které byly poháněny větrem, vodou nebo silou zvířat (Holec 1959). Využití této energie však bylo velmi omezené, proto dalším velkým zvratem byl vynález parního stroje, který byl pro zpracování kamene přelomový. Další velký posun nastal před 157 lety, když Američan Blake vynalezl dvojvzpěrný čelistový drtič (Holec 1959). V rozvoji strojů ke zdrobňování byla v minulém století v popředí Amerika, kde probíhal rychlý hospodářský rozvoj a z ní se praktické zkušenosti začaly přejímat do Evropy. Zejména v Německu a Francii se problematikou teorie drcení a třídění zabývalo mnoho výzkumných pracovníků. V současné době se vychází z mnoha empirických zákonů a teorií drcení a třídění kamene, které nebyly dosud překonány, avšak vždy je třeba mít na paměti, že horniny jsou přírodní materiály, podléhající přirozeným změnám a odchylnám.

Při projektování technologických linek je určující veličinou ložisko užitkové suroviny. Úprava suroviny probíhá v technologických linkách, které představují účelové spojení vhodných strojů v závislosti na hornině (Mitchell et al. 2008). Důležitými vstupními informacemi jsou proto parametry jako pracovní index W_i , index abraze A_i , vytváření kubických zrn a velikost kusů rubaniny.

Hodnota pracovního indexu W_i je potřebná k různým výpočtům jako je zjištění potřebné elektrické energie ke zdrobňování nebo jakou zrnitost zavážky je možné použít, je-li třeba získat produkt o určité velikosti při známém výkonu drtiče (Jankovic et al. 2010, Olatunji & Durojaiye 2010). Při zkoušce se jedná o simulaci obecné činnosti drtiče a W_i je ukazatelem dynamické pevnosti horniny. Autorem zkoušky je J. F. Bond a probíhá tak, že na zrno kameniva 50 až 75 mm působí ve směru jeho nejkratší osy synchronizovaný protisměrný ráz postupně do té doby, než zrno praskne (Obr. 2.3.). Zkouší se 25 zrn charakteristických pro rozval, nejlépe zrna s oválným tvarem a nenarušená. Z výpočtu W_i se vypouští 4 extrémní hodnoty a vychází se z empirického vzorce:

$$W_i = 47,6 \cdot \frac{\sum w \cdot c^{-1}}{\alpha n} \quad (2.1),$$

kde w je empirická rázová energie – tabulková hodnota, α je měrná hmotnost, c je vzdálenost kladiv.



Obr. 2.3. Přístroje pro zkoušení technologických charakteristik kameniva: Bondův padostroj (snímek vlevo) a Bondův přístroj pro zkoušení abraze (snímek vpravo).

Abrazivita je schopnost zkoušeného kameniva způsobit pohybem zrn otěr (abrazi) pracovních komponent v úpravě kameniva se kterými přijde do styku (Guimaraes et al. 2007, Jensen et al. 2010). Podstatou zkoušky, používané při zkoušení drceného kameniva, je zjištění úbytku hmotnosti kovové lišty při otěru kamenivem. Přístroj (Obr. 2.4) tvoří otáčející se buben, v jehož středu se protisměrně otáčejí hřídel s vyššími otáčkami, ve kterém je uchycena zkušební lišta o předepsané tvrdosti. Zkušební vzorek tvoří kamenivo vysušené do ustálené hmotnosti o zrnitosti 11,2 až 22,4 mm, ve složení 50 % frakce 11,2 až 16,0 mm a 50 % frakce 16,0 až 22,4 mm o celkovém množství 1600 g. Navážka rozdělená na 4 díly, se po čtvrt hodině přisypává do bubnu. Výpočet abrazivity kameniva se stanovuje z rozdílu hmotností zkušební kovové lišty před zkouškou a po zkoušce, což udává index abraze A_i .

Další neopomenutelnou a důležitou veličinou, která ovlivňuje rozsah technologické linky, je také požadovaný sortiment kameniva, požadovaná kvalita a množství produktu vyrobeného v t/hod.

Technologické linky na výrobu těžného a drceného kameniva lze rozdělit na linky se suchým provozem, linky s mokrým provozem a s kombinovaným provozem, případně tzv. speciální (např. pro slévarenské a sklářské písky). Z hlediska drtících stupňů se dále dělí na linky jednostupňové, dvojestupňové, třístupňové a vícešupňové. Z hlediska přemístitelnosti jsou to linky stabilní (Obr. 2.4), mobilní nebo semimobilní, neboli montované. Mobilní linky (Obr. 2.4) mají vylehčenou konstrukci a mohou přejíždět z jednoho provozu na druhý, což zvyšuje jejich využitelnost, protože mohou být využívány několika provozy. Nevýhodou je jejich jednoduchost, která nabízí pouze omezený sortiment s menší kvalitou produktu.



Obr. 2.4. Stabilní technologická linka (snímek vlevo) a její mobilní ekvivalent (snímek vpravo).

Zdrobňování je druh mechanického rozpojování, kterým se zmenšují zrna působením tlaku, úderu nebo jejich kombinací. Existují tři základní teorie zdrobňování (Wills 2006, Jankovic et al. 2010):

- Teorie Rittingerova, která říká, že energie na zdrobnění je přímo úměrná ploše nově vytvořeného povrchu zrn a vypočítá se ze vztahu:

$$E = C \cdot \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D} \right) \quad (2.2),$$

kde E je energie na zdrobnění, C je konstanta, d je nový průměr zrn, D je původní průměr zrn.

- Teorie Kickova tvrdí, že energie na zdrobnění je úměrná logaritmu poměru střední velikosti zrna zavažky a střední velikosti zrna produktu a vypočítává se ze vztahu:

$$E = K \cdot \log\left(\frac{S_z}{S_p}\right) \quad (2.3),$$

kde E je energie na zdrobnění, K je konstanta, S_z je střední velikost zrna zavázky, S_p je střední velikost zrna produktu.

- Teorie Bondova, pro stanovení spotřeby elektrické energie na tunu výrobku při tlakovém drcení říká, že energie na zdrobnění je přímo úměrná celkové délce nově vzniklých trhlin v materiálu a vypočte se ze vztahu:

$$E = 11,1 \cdot W_i \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{d_{p80}}} - \frac{1}{\sqrt{d_{z80}}} \right) \quad (2.4),$$

kde E je energie na zdrobnění, W_i je index práce, d_{p80} je velikost čtvercového otvoru síta, kterým projde 80 % produktu, d_{z80} je velikost čtvercového otvoru síta, kterým projde 80 % zavázky.

Proces drcení neboli zdrobnování se vyjadřuje stupněm zdrobnění (D_r) a je hodnotou, která vyjadřuje, v jakém poměru zdrobní drtič podávaný materiál (Holec 1959, Weiss 1985, Duthoit 2000, Guimaraes et al. 2006). Je to vlastně podíl váženého aritmetického průměru velikosti zrn zavázky a zrn produktu. Zjednodušené vyjádření stupně drcení se odečítá z grafického zobrazení křivek zrnitosti zavázky a produktu. Je to poměr hmotnostních podílů v úrovni 80 % (Taggart 1945, McNally 1998).

2.3.3. Drcení

Drcení je základní úkon při úpravě kameniva, protože po odstřelu skalního masivu je nutné zmenšit rubaninu na požadovanou velikost (Unland & Szczelina 2004). Pro výrobu širokého sortimentu kvalitního kameniva je třeba k docílení co nejlepšího výsledku (jak z ekonomického hlediska tak následných vlastností produktu) tento úkon provést ve více fázích. Technologická linka pak pracuje v tzv. technologických uzlech a v České republice je to obvykle ve třech stupních.

Různé horniny kladou při drcení jiný odpor vůči drcení, tudíž drtící zařízení dosahuje jiného výkonu. Výkon jakéhokoliv zdrobnovacího stroje, a tvar zrn výsledného produktu, je ovlivněn základními charakteristikami, jako je rozpojitelnost (drtitelnost) horniny, vstupní fragmentace kamene a žádaný průběh křivky zrnitosti produktu, neboli stupeň zdrobnění (Duthoit 2000, Weiss 1985). Tvar zrn má vliv na řadu technologických vlastností a na chování kameniva v konstrukcích a přítomnost tvarově protažených či zploštělých částic vede k nárůstu měrného povrchu, má vliv na provázání nebo hutnění kameniva, na mezerovitost a propustnost (Smith & Collis, eds. 2001). Ve stavebnictví se většinou požaduje, aby tvar zrn vyráběného kameniva byl blízký kouli nebo krychli (Ramsay 1965). To znamená, že se vyžaduje, aby se tři hlavní rozměry, na sebe kolmé, od sebe co nejméně lišily. Zatímco pevnost v tlaku, nebo pevnost v tahu, je vnitřní vlastností horniny, efektivní pevnost částic kameniva ovlivňuje jejich tvar. Tvar částic kameniva ovlivňuje tření, odolnost vůči drcení, pevnost v betonu či asfaltových směsích. Tvarově protažené částice vykazují menší míru mechanické odolnosti v různých typech zkoušek, což je dáno nižší odolností vůči tahovému, resp. ohybovému namáhání (Lees 1964, Ramsay et al. 1974). Dalším důležitým faktorem je co nejnižší produkce jemné frakce 0/4, pro níž má současné stavebnictví minimální využití (Bohloli & Hovén 2007).

Hlavním úkolem uzlu primárního drcení je rozdrtit nadměrné kusy zavázky rubaniny na velmi hrubé kamenivo rovnoměrné zrnitosti vhodné k dalšímu zpracování. Při volbě velikosti primárního drtiče je rozhodující kusovitost zpracovávané rubaniny a teprve druhotně výkonnost. Nejčastěji jsou

voleny drtiče čelist'ové (McNally 1998, Wills 2006). Pro horniny pevnosti v tlaku do 300 MPa vyhovuje jednovzpěrný, nad 300 MPa je třeba zvolit drtič dvojevzpěrný. Pro vysokou výkonnost (nad 700 t/h) se používají kuželové drtiče (např. vápenky, cementárny). Pro neabrazivní horniny do pevnosti v tlaku do 170 MPa lze použít drtiče dynamické a to zejména kladivové nebo odrazové (McNally 1998). Velikost primárního drtiče se navrhuje tak, aby kratší rozměr vstupního otvoru byl o 20 – 25 % větší než šířka největšího zrna a provozně není příliš vhodné zavážet velkými kusy, protože hrozí riziko jeho ucpání. Tvar vstupního otvoru by měl být co nejvíce podobný čtverci, protože pohlcování balvanů je závislé na menším rozměru vstupního otvoru do drtiče. Doporučuje se stupeň drcení $D_r = 2-3$.

Uzel sekundárního drcení má pracovat tak, aby docházelo k maximálnímu zdrobnění primárně rozdrčeného kameniva na rovnoměrnou zrnitost (a to bez ohledu na tvar, pokud má technologická linka tři stupně zdrobňování). Pro výrobu orientovanou hlavně na šterkové frakce nad 22 mm, se spíše používají čelist'ové drtiče, jejichž produkt je bohatý na šterky a chudý na drtě. Pro výrobu orientovanou hlavně na drtě frakce do 22 mm, jsou vhodnější kuželové drtiče, v jejichž produktu naopak převažuje podíl drtí nad šterky. Nejvhodnější jsou ostroúhlé kuželové drtiče s velkým vstupním otvorem a dlouhou drtící komorou, dále kuželové drtiče tupoúhlé a menší typy čelist'ových drtičů (Wills 2006). Pro uhličitánové a málo abrazivní horniny je možné použít drtiče kladivové nebo odrazové. Doporučuje se stupeň drcení $D_r = 3-5$.

Uzel terciárního drcení navazuje na primární třídění, ve kterém jsou vytříděny hrubé šterkové frakce určené k expedici (popřípadě pro další výrobu drtí). Terciální drcení slouží k výrobě kvalitního sortimentu kameniva zrnitosti do 16 nebo 22 mm. Úkol terciální drtírny je vyrobit kamenivo s co největším podílem kubických zrn. Významný vliv na vznik drcení má drcení s plnou drtící komorou (dochází při tom k tzv. interpartikulárnímu drcení). Zploštělá a jehlicovitá zrna se při tomto způsobu drcení lámou na menší zrna často i s kubickým tvarem (samozřejmě je zde závislost také na přirozených vlastnostech horniny) (Wills 2006). Při zpracování uhličitánových hornin lze použít dynamické drtiče, ve kterých se vyrobí kamenivo s velmi dobrou tvarovou hodnotou, ale i vysoký podíl prachu. Pro korekci tvaru se dá při úpravě tvrdých silikátových hornin použít odrazových drtičů (malý počet otáček zabraňuje vyššímu zdrobnění), což je ovšem velmi nákladné, kvůli opotřebení součástek. Jako drtiče třetího stupně nejčastěji používáme kuželové drtiče tupoúhlé nebo ostroúhlé (případně dynamické). Vhodná je zavážka kameniva velikosti pod 32 mm. Je snaha drtit s nízkým stupněm drcení, protože tím vzniká nízký podíl jemných částic a lepší tvar, proto se doporučuje stupeň drcení $D_r = 2-3$.

2.3.4. Třídění

Tříděním sypkých hmot se rozumí mechanický, hydraulický nebo pneumatický proces, při kterém jsou jednotlivá zrna od sebe oddělována podle velikosti (Wills 2006). Velikost zrna je z technologického hlediska charakterizována průměrem nejmenšího kruhového otvoru, kterým zrno ještě propadne. U hranolovitěho zrna tomu odpovídá jeho nejmenší stěnová úhlopříčka u nepravidelných tvarů střední rozměr (šířka). Nejdokonalejší oddělení zrn podle velikosti je na sítích s kruhovými otvory (protože nemůže propadnout žádné zrno větší než průměr otvoru). Při třídění na průmyslových třídících se nedosáhne nikdy absolutního třídícího pochodu (nepropadnou veškerá zrna menší než je průměr síťových otvorů). Ze zrn o něco málo menších než světlost síťových otvorů část propadne do podsítného materiálu, ale zbytek zůstane v materiálu nadsítném. Šířka oblasti, ve které se zrna vyskytují zároveň v obou oddělených podílech, vyjadřuje nepřímou ostrost třídění – čím širší je tato oblast, tím méně ostré je třídění. Ostrost třídění je pojem pro kvalitu rozřídění materiálu podle velikosti na stanovené hranici. Mezi základní faktory ovlivňující ostrost třídění patří vliv materiálu a třídícího zařízení.

Stejně jako při zdrobňování suroviny pracují drtiče v určitých stupních (uzlech), které mají odlišné úkoly, stejně tak i u třídění lze rozeznat několik odlišných typů. Přípravné třídění je úprava nebo příprava rubaniny před vpuštěním do primárního drtiče, kdy dochází k vyloučení velkých balvanů z rubaniny, které by primární drtič nepohltil a odstranění hlušiny. Používá se nejčastěji před primárním drtičem, kde plní zároveň i funkci podavače (např. válečkové rošty, pohyblivé rošty). Dalším typem třídění je tzv. primární třídění neboli předtřídění. Používá se, pokud je potřeba produkt drtiče rozdělit tak, aby mohl být ekonomicky zdrobňován dalšími procesy, například zajištění závážky do sekundárního drtiče, která nesmí obsahovat větší kusy než je schopen pojmout. Předběžným tříděním se z produktu zdrobňovacích strojů vyloučí některé nežádoucí podíly (velmi jemné, prachové, přepad apod.). Závěrečným tříděním se kamenivo rozděluje na zrna takové velikosti a ostrosti třídění, aby jednotlivá zrnění vyhovovala svým nadsítným a podsítným podílem technickým předpisům na použití. Pomocné třídění slouží k ulehčení sítu závěrečného třídění jako je zachycení největšího mechanického náporu a nasazuje se při příliš nepříznivém kvocientu prostupu (třídění širokých zrnění).

2.4. Vlastnosti kameniva

2.4.1. Historie zkoušení kameniva v ČR a Evropě

Dlouhou tradici zkoušení kameniva v České republice dokumentuje vývoj řady zkušebních metod v předválečném Československu, kdy se prováděla např. zkouška otluku podle Špačka. V soupisech lomů ČSR z 30. až 50. let 20. století jsou uvedeny některé z výsledků zkoušek, získaných na tehdy těžných. Metodika zkoušení se v průběhu let měnila a dříve publikované výsledky, tedy nelze porovnávat s výsledky zkoušek získanými pomocí současných evropských norem.

Na předválečné zkušebnictví navázalo poválečné zkušebnictví, používající systém československých státních norem (ČSN), které začaly být od druhé poloviny 90. let 20. století doplňovány a nahrazovány evropskými zkušebními normami. Po přistoupení České republiky k systému evropské normalizace, v rámci Evropské komise pro normalizaci (CEN, Comité Européen de Normalisation), a vstupu do EU byly do národní soustavy norem zavedeny evropské harmonizované normy na výrobky (hEN), zpracované podle mandátu uděleného Evropskou komisí (EK) v souladu se směrnicí EU o stavebních výrobcích (89/106/EHS). Harmonizované normy stanovují charakteristiky relevantní pro daný výrobek a zkušební metody, podle kterých má být úroveň určených charakteristik stanovena. Evropské harmonizované normy a evropské zkušební normy jsou platné ve všech členských státech EU. Výsledky zkoušek předmětných charakteristik provedené podle těchto norem jsou základním vstupem pro výrokovou certifikaci, podle v současné době platného nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011. Na základě zkoušky typu výrobku a posouzení stálosti vlastností výrobku vypracuje výrobce prohlášení o vlastnostech, požadované při uvedení výrobku na trh.

Shoda s těmito ustanoveními vytváří předpoklad, že kamenivo, na které se tyto evropské harmonizované normy vztahují, je vhodné k jeho určenému použití. Národní dodatky evropských norem a obchodní technické podmínky mohou pouze omezeně upravit požadavky na vlastnosti dodávaného kameniva, avšak tyto požadavky mohou být stanoveny pouze u vlastností stanovených podle evropských zkušebních norem. Využití národních zvyklostí je tak velmi omezené.

Kamenivo, jako výrobek vzniklý drcením přírodních hornin, je na základě evropských norem posuzován komplexně podle dosažených hodnot zkoušených charakteristik a jeho vlastnosti ovlivňuje jak geneze příslušné horniny, její složení nebo přeměny, zvětrávání, tektonické porušení, ale také podmínky těžby a zpracování suroviny.

2.4.2. Přehled zkoušených vlastností kameniva

Vlastnosti kameniva se posuzují řadou parametrů, které jsou sdruženy v evropských normách do několika tématických skupin a hodnotí:

- všeobecné vlastnosti kameniva;
- geometrické vlastnosti;
- fyzikální vlastnosti, mechanickou stálost a příbuzné vlastnosti;
- odolnost kameniva vůči zvětrávání a podobným vlivům;
- chemické vlastnosti kameniva.

2.4.3. Všeobecné vlastnosti kameniva

Do všeobecných vlastností kameniva spadá skupina norem, zabývajících se metodou odběru a další manipulací se vzorky, názvoslovím, popisem běžných zkušebních zařízení a definicí opakovatelnosti a reprodukovatelnosti zkoušek.

Vzorek kameniva ke zkouškám by měl být charakteristický, tzn. reprezentativní z konkrétní výroby kameniva, případně jako surovina z ložiska. Pro odběr vzorků jsou proto potřeba definované postupy. Odběr vzorku je řízen možnostmi různého způsobu a provedení odběrů, jehož provedení se liší např. z kuželové skládky, z dopravníkového pásu, zásobníku apod. a plánem odběru vzorků (Smith & Collis, eds., 2001). V plánu je nutné zohlednit druh kameniva, účel odběru, výčet vlastností ke zkoušce a je nutné zaznamenat údaje z odběru jako identifikace míst odběru (např. etáž), přibližnou hmotnost vzorků, počet dílčích vzorků, metody odběru vzorků, jejich značení a balení.

Před samotným zkoušením je pro homogenizaci a přípravu dílčího laboratorního vzorku velmi důležité zmenšení odebraného reprezentativního vzorku. Lze to provést několika způsoby, například kvartováním vzorku, pomocí žlábkového děliče, rotačního děliče nebo prostým dělením lopatou (McNally 1998, Smith & Collis, eds., 2001).

Petrografické vlastnosti hornin jsou u kameniva důležitý parametr, na jehož základě lze u kameniva klasifikovat vhodnost pro dané stavební použití (Hartley 1974, Pomonis et al. 2007, Keikha & Keykha 2013). V České republice se v minulosti používal ke klasifikaci hornin kvantitativně mineralogický systém v úpravě podle B. Hejtmana. Jednalo se o klasifikační tabulku magmatických hornin, kde ke každému typu plutonické horniny byl v tabulce přiřazen také její žilný a vulkanický ekvivalent (Hejtman 1956, 1957). Dnes je celosvětově uznávaný klasifikační systém magmatických hornin IUGS (International Union of Geological Science) z konce 80. let (Le Maitre, ed. 1989). Systém IUGS zahrnuje kvantitativně mineralogickou klasifikaci, která vychází z modální analýzy a je vypracovaná zvlášť pro plutonity a zvlášť pro vulkanity a navíc také chemickou klasifikaci, která je určena pouze pro vulkanity. Vzhledem k přirozené variabilitě hornin se tento systém v rámci jednotlivých skupin ještě rozšířil o další termíny, které byly začleněny do celého systému IUGS a proto tato upravená klasifikace obsahuje i rozsáhlý slovník komentovaných termínů (Le Maitre et al. 1989, 2002). Pojmenování podle IUGS je zapracováno i do evropských zkušebních norem na přírodní kámen i kamenivo a v současné době je hojně využíván.

Na měřicí zařízení, činidla a další zařízení používaná při zkoušení kameniva, způsob, četnost a postup při kalibraci etalonů a zkušebního zařízení, a náplň a intervaly kontrol zkušebního zařízení stanovuje požadavky norma ČSN EN 932-5. Zkušební zařízení používaná při zkoušení kameniva nejsou, z pohledu zákona č. 505/190 S. o metrologii, ve znění pozdějších předpisů, stanovenými měřidly.

S ohledem na to, že zkušební nebo dílčí navážky kameniva ke zkoušení nejsou obvykle stejné, norma ČSN EN 932-6 definuje pro odběry vzorků a zkoušení kameniva termíny opakovatelnost a reprodukovatelnost, jejich směrodatné odchylky, podmínky a stanovuje jejich hodnoty.

Všeobecné vlastnosti kameniva jsou řešeny v následujících normách:

ČSN EN 932-1, Zkoušení všeobecných vlastností kameniva – Část 1: Metody odběru vzorků;

ČSN EN 932-2, Zkoušení všeobecných vlastností kameniva – Část 2: Metody zmenšování vzorků;

ČSN EN 932-3, Zkoušení všeobecných vlastností kameniva – Část 3: Postup a názvosloví pro jednoduchý petrografický popis;

ČSN EN 932-5, Zkoušení všeobecných vlastností kameniva – Část 5: Běžné zkušební zařízení a kalibrace;

ČSN EN 932-6, Zkoušení všeobecných vlastností kameniva – Část 6: Definice opakovatelnosti a reprodukovatelnosti.

2.4.4. Geometrické vlastnosti kameniva

Do skupiny geometrických vlastností se řadí zkoušky, posuzující zrnitost výrobku a tvar zrn, a v případě drceného kameniva se jedná o vlastnosti, které jsou do značné míry ovlivněné technologií výroby a do určité meze se dají technologií výroby ovlivnit.

Velikost zrn a jejich tvar jsou základní parametry, které určují obecnou kvalitu kameniva (Turk & Dearman 1988). Velikost zrn se zjišťuje pomocí zkoušky zrnitosti měřením na sadě zkušebních sít a slouží k vyhodnocení vyřídění příslušné frakce kameniva.

Drcený kámen obsahuje na základě seřízení zdobňovacího stroje zrna různé velikosti a převážně ostrohranná. Velikost zrn těžného kameniva závisí na druhu akumulace a zralosti sedimentu, tvarově však bývají zpravidla zaoblená.

Tvar zrn kameniva, jako trojrozměrného (prostorového) objektu, popisují prostorové parametry jednotlivých zrn kameniva. Tvar zrna se zjednodušeně vyjadřuje délkou tří hlavních, na sebe kolmých os (x = nejdelší, y = střední a z = nejkratší). Pro většinu stavebních účelů je třeba, aby byl tvar zrn kameniva co nejvíce blízký kouli nebo krychli, aby se osy od sebe lišily co nejméně. Kamenivo, které tuto podmínku splňuje, se označuje jako kamenivo kubické (Ramsay 1965), mající vysokou tvarovou hodnotu.

Tvar úlomků drceného kameniva je ovlivněn vnitřní stavbou horniny a způsobem procesu drcení (Bouquety et al. 2007). Zatímco horniny s izotropní a kvaziizotropní vnitřní stavbou budou mít většinu úlomků blízkou ideálnímu tvaru, horniny vykazující anizotropii budou mít tvar úlomků více zploštělý nebo protažený.

Tvar zrn má vliv na řadu technologických vlastností a závisí na něm následné chování kameniva v konstrukcích. Výskyt tvarově protažených a zploštělých zrn vede k nárůstu měrného povrchu, ovlivňuje provázání a hutnění kameniva, mezerovitost a propustnost (Smith & Collis, eds. 2001). Dále tvar částic ovlivňuje tření, pevnost v betonu, asfaltových směsí a další parametry. Tvarově protažené částice jsou méně mechanicky odolné v různých typech zkoušek, což je dáno nižší odolností vůči tahovému, resp. ohybovému namáhání (Lees 1964, Lees & Kennedy 1975, Ramsay et al. 1974). Při výrobě kameniva ovlivňuje tvar zrn třídící proces, nejsnáze se třídí zrna s kulovitým tvarem – propadají snadno jak síty s kruhovými otvory, tak i čtvercovými. Podlouhlá, šupinovitá nebo jehlicovitá zrna se staví do postupové pozice obtížně a převážná většina jich zůstává v nadsítném materiálu, což je nežádoucí.

Obsah jemných částic v kamenivu (částice $\leq 0,063$ mm) je jednou ze sledovaných vlastností jak u drobného, tak i hrubého kameniva. Jemné částice jsou důležitou složkou betonových směsí, kde spolu s cementem tvoří jemnou složku směsi. Při nedostatku jemných částic z kameniva se musí zvyšovat podíl cementu, což je nákladné a vede ke zhoršeným vlastnostem ztvrdlého betonu. Proto se chybějící jemné částice do směsi dodávají formou plniv nebo stabilizátorů. Velké množství jemných částic z kameniva však také není žádoucí, protože negativně ovlivňuje citlivost směsi k namrzání a objemovým změnám. Obsah jemných částic v drobném kamenivu se požaduje max. do 3 %. Pro kvalitu betonu je ale důležité, aby jemné částice neobsahovaly bobtnavé jílové minerály. Kvalita jemných částic se ověřuje, pokud je jejich množství vyšší než 3 % a posuzuje podle ČSN EN 933-8 Zkouškou ekvivalentu písku. Obsah jemných částic v hrubém kamenivu je omezen do 1 % hm., protože jemné částice ulpívající na zrnech brání dobrému spojení zrna se směsí. Obsah jemných částic v drobném kamenivu do asfaltových směsí může být podstatně vyšší než do betonu a může činit až 10 % hm. a u kameniva vápencového nebo dolomitového původu to může být dokonce až 16 % hm.

Geometrické vlastnosti kameniva se stanovují pomocí následujících zkušebních postupů:

ČSN EN 933-1, Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor;

ČSN EN 933-2, Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 3: Stanovení zrnitosti – Zkušební síta, jmenovité velikosti otvorů;

ČSN EN 933-3, Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 3: Stanovení tvaru zrn – Index plochosti;

ČSN EN 933-4, Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 4: Stanovení tvaru zrn – Tvarový index;

ČSN EN 933-5, Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 5: Stanovení podílu drcených zrn v hrubém kamenivu;

ČSN EN 933-6, Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 6: Posouzení povrchových charakteristik – Tekutost kameniva;

ČSN EN 933-7, Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 7: Stanovení obsahu schránek živočichů – podíl schránek živočichů v hrubém kamenivu;

ČSN EN 933-8, Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 8: Posouzení jemných částic – Zkouška ekvivalentu písku;

ČSN EN 933-9, Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 9: Posouzení jemných částic – Zkouška methylenovou modří;

ČSN EN 933-10, Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 10: Posouzení jemných částic – Zrnitost fileru (prosévání proudem vzduchu).

2.4.5. Fyzikální, mechanické a technologické vlastnosti kameniva

Fyzikální vlastnosti blíže popisují a charakterizují okamžitý stav, ve kterém se hornina právě nachází (např. vlhkost), nebo vyjadřují trvale její hmotu, která je neměnná. Jednou ze základních fyzikálních vlastností hornin je hustota (u kameniva označovaná termínem měrná hmotnost), definovaná jako podíl hmotnosti a objemu pevné fáze horniny (Schön 2004). Hustota hornin je přímo závislá na přítomných minerálech, protože vlastně představuje vážený průměr hustot jednotlivých minerálů podle jejich objemového zastoupení. Nejnížší hustoty vulkanických hornin mají obecně leukokratní horniny jako ryolity, trachyty a fonolity. Nejvyššími hodnotami ($3,06-3,16$ g/cm³) se vyznačují u neoidních

alkalických olivinitických čedičů, melilitických čedičů a foiditů způsobené vysokým obsahem titanaugitu, olivínu a titanomagnetitu (Ibrmajer & Suk 1989).

Další důležitou vlastností je objemová hmotnost, což je hmotnost objemové jednotky kamene s dutinami i póry, takže se v ní kromě nerostného složení odráží i vliv pórovitosti. Stanovuje se pomocí vážení kameniva pyknometricky nebo pro kamenivo větší než 32 mm hydrostaticky, metodou drátěných košů.

U vulkanitů bude tedy značný rozdíl mezi světlými diferenciáty a bazickými členy a rozdíly budou i při podobném nerostném složení.

Pro technickou praxi má zásadní význam rozlišovat pórovitost podle vzájemného propojení pórů na pórovitost otevřenou a celkovou (Prentice 1990). Otevřenou pórovitost tvoří póry, které jsou navzájem propojené. Otevřená pórovitost vyjadřuje poměr objemu otevřených pórů ke zdánlivému objemu tělesa. Hodnota se počítá z hmotností zkušební tělesa vysušeného, nasyceného a ponořeného do vody a uvádí se v procentech hmotnosti. Otevřená pórovitost přímo ovlivňuje míru nasákavosti přírodního kamene nebo propustnost (Schön 2004). Póry od ostatních izolované se označují jako zavřené. Součet otevřených a uzavřených pórů potom dává celkovou pórovitost horniny. Hodnota celkové pórovitosti se zpravidla neměří přímo, ale počítá se z hodnot měrné a objemové hmotnosti (Schön 2004, Charamza 1974). U hornin s velmi nízkou pórovitostí (většina vyvřelých hornin, metamorfované horniny) bývají rozdíly hodnot objemové a měrné hmotnosti velmi malé (McNally 1998). U vulkanitů je pórovitost velmi variabilní. Rychle utuhlé, kompaktní až sklovité a volatilních složek zbavené lávy mají pórovitost blízkou nule, kdežto u pyroklastik nebo tufů je velmi vysoká. Závisí to na obsahu plynu v magmatu a na autometamorfních a metasomatických přeměnách.

Hydrofyzikální vlastnosti souvisí s přítomností vody v horninách, konkrétně v jejich pórovém prostoru. Mezi základní hydrofyzikální vlastnosti patří vlhkost, nasákavost a propustnost.

Vlhkost přírodního kamene může být jednak přirozená, související s přítomností vody v pórovém prostředí horniny vzhledem k jejímu uložení v horninovém masívu nebo umělá. Druhý typ vlhkosti souvisí se zpracováním kamene např. vrtáním nebo řezáním a použitím vodního výplachu.

Při úpravě drceného kameniva se vlhký materiál obtížněji třídí, protože dochází k zalepování sít. Vlhká zrna se shlukují a zmenšují otvory sít, vlhký materiál se špatně třídí zejména na sítích s drobnými otvory, na sítích s otvory menšími než 3 mm a málo účinné vibraci se mohou ucpávat a zamezit prostupnosti tříděného materiálu.

Nasákavost vyjadřuje maximální množství vody, které je pórový prostor přírodního kamene schopen přijmout po ponoření do vody za daných podmínek (např. do ustálené hmotnosti, za sníženého nebo zvýšeného tlaku, nebo po určitou dobu). Hodnota nasákavosti je většinou přímo úměrná otevřené pórovitosti horniny a může také posloužit jako velmi dobrý ukazatel stavu horniny, např. v posuzování zvětrávacích procesů, které na horninu působily (Winkler 1997) a také lze kamenivo s nízkou nasákavostí menší než 0,5 % hm. považovat za mrazuvzdorné.

Další důležitou vlastností u sypkých materiálů je sypná hmotnost volně sypaného kameniva, které je volně sypáno do kalibrované odměrné nádoby a vyjadřuje se jako hmotnost na jednotku objemu v Mg/m³. Sypná hmotnost volně sypaného kameniva se vypočte ze vztahu:

$$\rho_s = m_2 - \frac{m_1}{V} \quad (2.5),$$

kde m_1 je hmotnost prázdné nádoby v kg, m_2 je hmotnost nádoby se zkušební navázkou v kg a V je objem nádoby v litrech.

Při zhutňování kameniva je třeba znát hodnotu setřesené hmotnosti, která se stanoví a vypočítává stejně jako sypná hmotnost, ale kamenivo je před vážením ve zkušební nádobě setřásáno pomocí

vibračního stolku. Zjišťuje se také mezerovitost kameniva, ať už volně sypaného nebo setřeseného, která se vypočítá z objemu mezer mezi zrny v nádobě ze vztahu:

$$v = \rho_b - \frac{\rho_s}{\rho_b} \cdot 100 \quad (2.6),$$

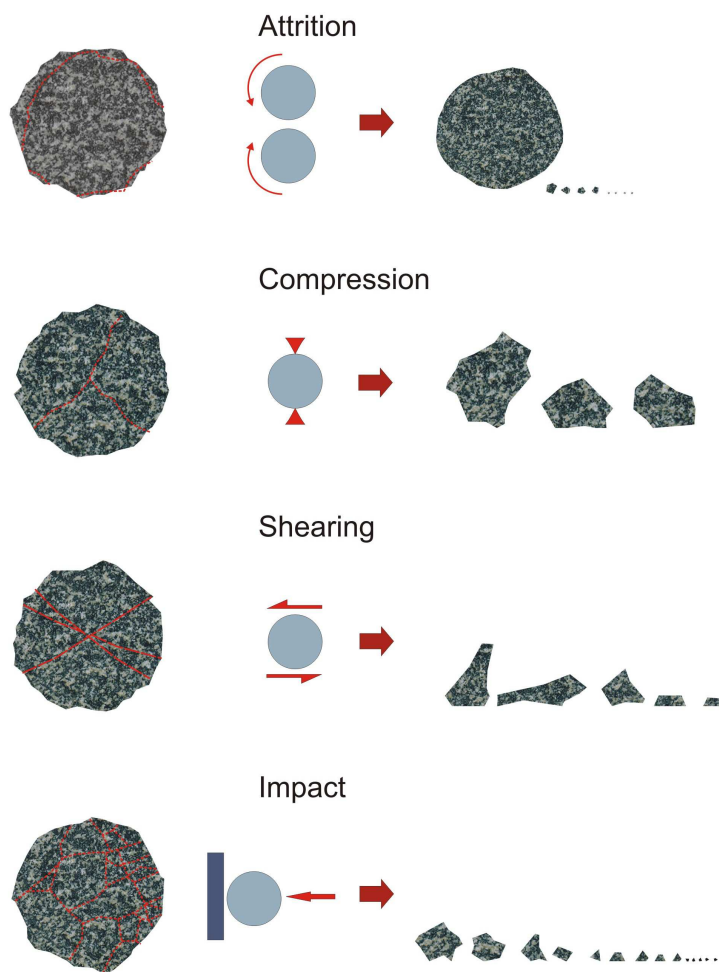
kde v je mezerovitost, ρ_s je sypaná hmotnost v Mg/m^3 , ρ_b je objemová hmotnost zrn kameniva v Mg/m^3 .

Mechanické vlastnosti hornin vyjadřují chování horniny vůči působení vnějších sil (Goodman 1989) a jsou ovlivněny jednak genezí horniny a dále podmínkami zkoušky. Z první skupiny parametrů hraje velkou roli mineralogické složení a elastické vlastnosti horninotvorných minerálů (Babuška 1981), vnitřní stavba horniny, která ovlivňuje anizotropní chování (Kwaśniewski 1993, Ramamurthy 1993), přítomnost trhlin, pórů a dalších poruch, velikost zrn (Příkryl 2001) nebo stupeň navětrání (Dobereiner et al. 1993).

V technické praxi se zpravidla určují pouze pevnostní parametry (Hawkes & Mellor 1970, Pells 1993). Zkouška probíhá jednoosým zatěžováním v tlaku na krychlích nebo vrtných jádrech se štíhlostním poměrem výšky ku šířce 1:1, případně stanovením ohybové pevnosti na zkušebních trámci. V oblasti mechaniky hornin je velmi rozšířenou zkouškou tahová pevnost měřená pomocí brazilských disků (Brown 1981, Goodman 1989). Tahová pevnost hornin je vždy nižší než tlaková v rozsahu cca 5-20 % (např. McNally 1998).

Pevnost v prostém tlaku se pro drcené kamenivo provádí zpravidla v etapách průzkumu horninového masivu zejména kvůli zjištění rozpojitelnosti horniny a spolu s dalšími speciálními zkouškami (jako index práce a index abraze) k vhodné volbě zdobňovacích strojů v technologické lince. V některých studiích se však objevují snahy vztáhnout vůči sobě výsledky technologických zkoušek a zkoušek mechanických vlastností (stanovených dle předepsaných postupů např. Mezinárodní společnosti pro mechaniku hornin) (Ballivy & Dayre 1984, Kasim & Shakoor 1996, Shakoor & Brown 1996, Zarif & Tuğrul 2003, Kahraman & Fener 2007, Ugur et al. 2010, Ozcelik 2011) nebo nepřímo odvozených mechanických vlastností např. z indexu bodové pevnosti nebo odrazové tvrdosti stanovené Schmidovým kladivem (Kazi & Al-Mansour 1980, Al-Harhi 2001, Kahraman & Gunaydin 2007).

Důležitým ukazatelem mechanické odolnosti proti drcení u kameniva jsou vlastnosti jako je otlukovost a drtitelnost v rázu. Metodou Los Angeles se stanovuje odolnost kameniva vůči působícímu silovému namáhání (Obr. 2.5), tj. otluku, otěru a obrusu jak mezi zrny kameniva navzájem, tak mezi zrny kameniva a mlecími koulemi nebo stěnami zkušebního zařízení – otlukového bubnu a je pokládána za jednu ze základních metod stanovení mechanické odolnosti kameniva (McNally 1998). Zkouška se provádí podle české technické normy ČSN EN 1097-2, Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 2: Metody pro stanovení odolnosti proti drcení, kapitola 4 a 5 a příslušné přílohy. U kameniva pro kolejová lože je vyžadována zkouška odolnosti drtitelnosti v rázu (ČSN EN 1097-2), která simuluje odolnost kameniva vůči působícímu dynamickému rázu.



Obr. 2.5. Mechanismy porušení zrn při zkoušce odolnosti proti drcení metodou Los Angeles (upraveno podle McNallyho 1998).

Jednou z diskutabilních vlastností kameniva je ohladitelnost (Polished Stone Value, PSV), která má zásadní vliv na protismykové vlastnosti povrchu vozovky. Má se za to, že kamenivo s vyšší ohladitelností poskytuje vysoký součinitel tření a zároveň je schopné odolávat velkému dopravnímu zatížení (Smith & Collis, eds. 2001). Velký význam má ohladitelnost kameniva také při bezpečnostních protismykových úpravách povrchů vozovek, jejichž základní funkcí je zkrácení brzdné dráhy vozidel.

Zkouška na pomezí mezi mechanickou stálostí a ohladitelností – zkouška odolnosti proti obrusu pneumatikami s hroty neboli Nordická zkouška simuluje obrusné činnosti pneumatik s hroty na hrubé kamenivo, používané do obrusných vrstev vozovek a je ukazatelem celkové mechanické odolnosti kameniva ve stavu úplného nasycení vodou. Tato zkouška je běžná v severských státech Evropy, ale není v České republice požadována a proto nejsou známy hodnoty místních hornin a chybí srovnání s ostatními mechanickými vlastnostmi.

Do skupiny fyzikálních, mechanických a technologických zkoušek patří následující postupy:

ČSN EN 1097-1, Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 1: Stanovení odolnosti proti otěru (mikro-Deval);

ČSN EN 1097-2, Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 2: Metody pro stanovení odolnosti proti drcení;

ČSN EN 1097-3, Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 3: Stanovení sypné hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného kameniva;

ČSN EN 1097-4, Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 4: Stanovení mezerovitosti suchého zhutněného fileru;

ČSN EN 1097-5, Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 5: Stanovení vlhkosti sušením v sušárně;

ČSN EN 1097-6, Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti;

ČSN EN 1097-7, Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 7: Stanovení měrné hmotnosti fileru – Pyknometrická zkouška;

ČSN EN 1097-8, Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 8: Stanovení hodnoty ohladitelnosti;

ČSN EN 1097-9, Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 9: Metoda pro stanovení odolnosti proti obrusu pneumatikami s hroty – Nordická zkouška;

ČSN EN 1097-10, Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 10: Stanovení výšky vzlínivosti vody.

2.4.6. Odolnost kameniva vůči zvětrávání a podobným vlivům

K významným zkouškám kvality kameniva patří též stanovení odolnosti vůči zvětrávání (Dearman 1974, 1975, Shakoor et al. 1982, Dearman et al. 1984, Goswami 1984, Hammond 1984, Kong 1984, Ůndül & Tuğrul 2012), ať již to jsou určité klimatické vlivy (mráz) nebo faktory prostředí (soli). U některých hornin (např. bazických) je též důležité sledovat mineralogické změny (např. tvorbu smektitů), které mohou významně snížit kvalitu kameniva (Irfan & Dearman 1978, Houston & Smith 1997, Kleyn et al. 2009, Rigopoulos et al. 2010).

Zkouška odolnosti proti zmrazování a rozmrazování hornin simuluje zátěž, které je kamenivo vystaveno během zimních měsíců, kdy se cyklicky střídá teplota pod bodem mrazu s oteplením. To vyvolává mrznutí a tání vody v pórovém prostoru, což vzhledem k tomu, že při změně skupenství vody roste objem o 10 %, vyvolává síly, které mohou narušit strukturu horniny (Winkler 1997). Nejvíce náchylné jsou horniny, které byly nasáklé vodou před působením mrazu a nasycení pórového prostoru je víc než 50 % (Winkler 1997) nebo dokonce dosáhne kritického nasycení pórového prostoru, pak dochází k porušení horniny. U kameniva se provádí zkouška odolnosti proti teplotě a zvětrávání tak, že je zkušební navážka kameniva po nasáknutí vodou vystavena 10 cyklům zmrazování na teplotu $-17,5^{\circ}\text{C}$ a rozmrazování ve vodní lázni na teplotu 20°C . Po zatěžovacích cyklech se kamenivo přezkoumává, zda nastaly změny jako výskyt trhlin, hmotnostní úbytek apod.

Další vlastností odolnosti kameniva vůči zvětrávání jsou zkoušky síranem hořečnatým a sodným. Roztoky solí, které se dostanou do pórového prostoru horniny, krystalizují. Růst krystalů způsobuje tlaky, které přesahují tahovou pevnost horniny (Goodman 1989) a tím dochází k jejímu porušení. Podstata zkoušky spočívá v tom, že je kamenivo frakce 10/14 vystaveno pěti cyklům ponoření do nasyceného roztoku síranu sodného nebo hořečnatého s následným vysušením v sušárně při teplotě 110°C . Kamenivo je tím vystaveno rozrušujícím účinkům působení opakované krystalizace a rehydratace síranu uvnitř pórového prostoru horniny, které se po cyklech zjistí prosetím na síte velikosti 10 mm a zjištění podílu menších zrn z celé navážky.

U vulkanických hornin hraje v potencionální kvalitě výrobků velkou roli stavba horniny. Bazaltové horniny, které mají sloupcovitou odlučnost, jsou v určitých partiích ložiska náchylné ke zvětrávání za

vzniku velkého zahlinění horniny. Oproti tomu tzv. kuličkový rozpad (něm. „Sonnenbrand“, angl. sunburn) čedičů (Obr. 2.6 a 2.7), který způsobuje jeho rozpadavost, je nežádoucí jev, jehož vznik dosud není plně objasněn (Kühnel et al. 1994, Zagoždžon 2003). Zkouška, která se provádí pouze u bazaltových hornin a předurčuje odolnost bazaltů vůči kuličkovému rozpadu, který se projevuje tvorbou šebobílych hvězdicovitých skvrn (angl. sunburn) (Obr. 2.7), propojených vlasovými trhlinami. Zkouška se provádí tak, že se zkušební vzorek vaří ve vodě po dobu 36 hodin, poté se sledují vizuální změny (v případě nařezané kontrolní desky), a dále se sleduje úbytek hmotnosti a nárůst hodnoty součinitele Los Angeles nebo drtitelnosti v rázu.



Obr. 2.6. Příklad kulovitého rozpadu bazaltů na lokalitě Dobkovičky (snímek vlevo) a Krásný Les (snímek vpravo).



Obr. 2.7. „Sunburns“ vzorek čediče po zkoušce varem.

Do skupiny zkoušek odolnosti kameniva vůči zvětrávání a podobným vlivům patří následující postupy:

ČSN EN 1367-1, Zkoušení odolnosti kameniva vůči zvětrávání – Část 1: Stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování;

ČSN EN 1367-2, Zkoušení odolnosti kameniva vůči zvětrávání – Část 2: Zkouška síranem hořečnatým;

ČSN EN 1367-3, Zkoušení odolnosti kameniva vůči zvětrávání – Část 3: Zkouška varem pro „rozpadavý čedič“;

ČSN EN 1367-4, Zkoušení odolnosti kameniva vůči zvětrávání – Část 4: Stanovení smršťování;

ČSN EN 1367-6, Zkoušení odolnosti kameniva vůči zvětrávání – Část 5: Stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování za přítomnosti soli (NaCl).

2.4.7. Chemické vlastnosti kameniva

Při zkoušení chemických vlastností kameniva se nezjišťuje chemismus, tak jak je chápán v geovědách, ale stanovuje se obsah chloridových solí rozpustných ve vodě, obsah vodou rozpustných síranů, obsah síranů rozpustných v kyselině, obsah celkové síry, obsah vyluhovatelných látek atd.

U kameniva zejména pro použití do betonu je sledována odolnost proti alkalicko-křemičité reakci. Náchylnost se posuzuje národními předpisy pomocí zkoušek rozpínání cementových malt, obsahujících zkoušené kamenivo. Jednotlivé skupiny hornin jsou na základě náchylnosti k alkalicko-křemičité reakci rozděleny do tří základních skupin. Za problematické je považováno kamenivo s obsahem křemene pocházejícím z křemence a horniny s deformovaným krystalickým křemenem, u kterého je úhel undulozního zhášení větší než 25°. Maximální povolený obsah takového křemene v hornině je do 30 hm. %. Typy hornin jako vápence a dolomity mohou být nebezpečné uhličitánovou reakcí (rozpadem), proto se zkouší na uhličitánovou rozpínavost. Téměř vždy jsou vzhledem k náchylnosti k alkalicko-křemičité reakci problematické nepevněné sedimenty (např. štěrkopísky).

Z dalších vlastností kameniva do betonu je požadován obsah volně rozpustných chloridů $\leq 0,02 - 0,1$ % (stanoveno dle EN 1744-1). Chloridové ionty jsou škodlivé hlavně v železobetonu, ve kterém jeho migrace do bezprostředního okolí výztuže podstatně urychluje její elektrochemickou korozi, ve větších koncentracích může migrace chloridů s následnými krystalizačními tlaky poškodit i samotný beton (Svoboda et al. 2007).

Postup pro stanovení celkové síry v kamenivu je popsán v ČSN EN 1744-1 a výrobová norma ČSN EN 12620 omezuje množství celkové síry pro kamenivo do betonu do ≤ 1 hm. % a pro vzduchem chlazené vysokopecní strusky do 2 hm. %.

Pro beton představují sírany nebezpečí v tom, že jejich účinkem dochází v zatvrdlém betonu k pomalému růstu krystalů, které způsobují trhliny, a proto je přípustné množství obsahu síranů $\leq 0,2$ resp. 0,8 (stanoveno jako rozpustné v kyselině podle ČSN EN 1744-1). Pro použití kameniva do betonu se klade zvláštní pozornost na přítomnost nestabilních forem siričků železa (např. FeS_2), při přítomnosti sulfidu do $\leq 0,1$ %, vzhledem k jeho snadné oxidaci na síran (Svoboda et al. 2007).

U kameniva používaného do asfaltových technologií se sleduje přílnavost pojiva (asfaltu) ke kamenivu, kde se za nejvhodnější typy považují bazické horniny. Přílnavost asfaltu ke kamenivu se snižuje s klesající alkalitou v přibližně následujícím pořadí: vápence \rightarrow dolomity \rightarrow čediče \rightarrow gabra \rightarrow droby \rightarrow znělce \rightarrow diority \rightarrow žuly \rightarrow ryolity \rightarrow porfyry a porfyryty.

Na kamenivo do ostatních technologií nejsou stanoveny žádné podmínky na chemické vlastnosti s výjimkou recyklovaného kameniva, u kterého je orgánem životního prostředí požadována vyluhovatelnost.

Chemické vlastnosti kameniva se posuzují souborem následujících zkoušek, které jsou z části použitelné pro všechny typy kameniva, ale některé pouze pro určité petrografické typy hornin nebo jen pro drcené či těžené kamenivo:

ČSN EN 1744-1, Zkoušení chemických vlastností kameniva – Část 1: Chemický rozbor;

ČSN EN 1744-3, Zkoušení chemických vlastností kameniva – Část 3: Příprava výluhů loužením kameniva;

ČSN EN 1744-4, Zkoušení chemických vlastností kameniva – Část 4: Stanovení citlivosti na vodu filerů pro asfaltové směsi;

ČSN EN 1744-5, Zkoušení chemických vlastností kameniva – Část 5: Stanovení chloridových solí rozpustných v kyselině;

ČSN EN 1744-6, Zkoušení chemických vlastností kameniva – Část 6: Stanovení vlivu výluhu z recyklovaného kameniva na počátek tuhnutí cementu.

2.5. Požadavky na kvalitu kameniva

2.5.1. Obecně

Přestože jsou pro kamenivo používány shodné zkušební metody, každé jeho specifické použití klade odlišné požadavky. Z toho vyplývá, že kamenivo vyrobené ze stejného zdroje nemusí vyhovovat pro všechna možná použití kameniva. Na základě typu použití se kamenivo posuzuje pomocí následujících norem:

ČSN EN 12620 Kamenivo do betonu;

ČSN EN 13043 Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch;

ČSN EN 13139 Kamenivo pro malty;

ČSN EN 13242 Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickým pojivem pro inženýrské stavby a pozemní komunikace;

ČSN EN 13450 Kamenivo pro kolejové lože;

ČSN EN 13383-1 Kámen pro vodní stavby – Část 1: Specifikace;

ČSN EN 13055-1 Pórovité kamenivo – Část 1: Pórovité kamenivo do betonu, malty a injektážní malty;

ČSN EN 13055-2 Pórovité kamenivo – Část 2: Pórovité kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové úpravy a pro stmelené a nestmelené aplikace s vyloučením betonu, malty a injektážní malty.

Výše uvedené normy určují sledované vlastnosti kameniva získaného úpravou přírodního, umělého nebo recyklovaného materiálu pro dané použití kameniva, stanovují zkušební metody sledovaných vlastností, kategorie těchto vlastností a požadavky na řízení výroby při jeho výrobě. Výrobce, který zamýšlí kamenivo uvést na trh, musí provozovat specifikované řízení výroby, musí zajistit provedení zkoušky typu kameniva a zpracovat Prohlášení o vlastnostech (DoP), ve kterém deklaruje úroveň sledovaných vlastností kameniva uváděného na trh pro dané použití.

Jak už bylo uvedeno, požadavky na kamenivo pro použití podle výše uvedených norem se odlišují. Stručný komentář k požadavkům na jednotlivá základní použití kameniva je uveden v následujících odstavcích.

2.5.2. Kamenivo do betonu

Kamenivo podle ČSN EN 12620 se používá pro přípravu betonu pro pozemní stavby, silnice a jiné inženýrské stavby. Základní výběr kameniva do betonů se řídí zejména jeho náchylností k alkalicko-

křemičité reakci, nasákavostí, odolností proti zmrazování a v některých případech též tvarem zrn a mechanickou pevností.

Do betonu se přednostně používají horniny se standardními hodnotami objemové hmotnosti (v rozmezí 2500-2800 kg/m³), jako jsou magmatické hlubinné horniny, případně výlevné horniny (např. diabasy, fonolity nebo spility). Použitelné jsou také další výlevné, metamorfované a sedimentární horniny, ovšem drcený kámen ze sedimentárních vápenců se v České republice do betonu nepoužívá. Kamenivo z hornin jako jsou rohovce, křemence, buližníky, prachovce, jílovce, arkózy, dolomity, fylity, svory jsou do betonu nevhodné. U některých z posledně jmenovaných hornin může být problém s náchylností k alkalicko-křemičité reakci. Nežádoucí je také kamenivo obsahující pyrit nebo pyrhotin, kde hrozí riziko vyššího obsahu síry (např. u některých břidlic), která se účastní tvorby sekundárních síranů apod. Požadavky na kamenivo do konstrukčních betonů už nestanovuje EN 206 Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda, ale budou stanoveny v národní doplňkové normě, která je v současné době v připomínkovém řízení.

Požadavky na kamenivo do betonu pro cementobetonové kryty pozemních komunikací stanovuje ČSN 73 6123-1 Stavba vozovek – Cementobetonové kryty – Část 1: Provádění a kontrola shody. Pro toto použití se u kameniva požaduje kromě nízké náchylnosti k alkalicko-křemičité reakci také vyšší hodnota ohladitelnosti. Pro cementobetonové kryty dálnic a silnic I. třídy se požaduje kamenivo s ohladitelností PSV ≥ 50 . Pro horní vrstvu cementobetonového krytu s obnaženým kamenivem se požaduje dokonce PSV ≥ 53 . Tímto požadavkem se vylučuje mnoho petrografických typů, včetně hojně rozšířených čedičů, naopak dobře vyhovují droby, které jsou však vesměs náchylné k alkalicko-křemičité reakci. Důležitou vlastností pro horní obrusné vrstvy je také tvar zrn hrubého kameniva. Anisometrická zrna, resp. jejich zvýšený podíl v použité frakci, mohou mít nepříznivé dopady zejména v horní, obrusné vrstvě. Tvarově protáhlé částice se zpravidla orientují přednostně jedním směrem a vytváří se tak předem určené plochy nespojitosti. Ztuhlý beton potom má v různých směrech různé mechanické vlastnosti (tj. analogie k přednostní tvarové orientaci zrn v horninách a jejich vliv na mechanické vlastnosti). Další důležitou vlastností pro obrusné vrstvy je také odolnost proti drcení, nasákavost a obsah lehkých znečišťujících částic. Nevhodné je kamenivo obsahující humusovité látky.

2.5.3. Kamenivo pro asfaltové směsi

Kamenivo podle ČSN EN 13043 se používá v asfaltových směsích a povrchových vrstvách vozovek pozemních komunikací. Při tomto použití se kamenivo obaluje asfaltem a takto vytvořená směs se pokládá v konstrukčních vrstvách vozovek a to i včetně obrusných vrstev. Požadavky na kamenivo stanovují evropské normy řady EN 13108-1 až 8 Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály. Zkoušky typu stanovuje EN 13108-20 a požadavky na řízení výroby stanovuje EN 13108-21. Národní požadavky na kamenivo jsou dosud uvedeny v národních přílohách výrobních norem řady EN 13108. Nejvyšší požadavky na vlastnosti kameniva jsou kladeny na kamenivo určené k výrobě asfaltového betonu pro obrusné vrstvy pozemních komunikací. Pro kryty dálnic a silnic I. třídy se požaduje kamenivo s ohladitelností (PSV ≥ 50). Pro úseky se zvýšenými požadavky na protismykové vlastnosti obrusné vrstvy se požaduje kamenivo s ohladitelností (PSV ≥ 53) a v odůvodněných případech (nehodové úseky) se doporučuje ohladitelnost (PSV ≥ 56).

V ČR nejlépe vyhovují do obrusných vrstev kulmské droby s hodnotou ohladitelnosti PSV v rozmezí 53 – 64, které však mají mnohdy menší mechanickou odolnost (odolnost proti drcení LA), což je většinou způsobeno proplásky břidlic v těžených souvrstvích, případně použitím suroviny z navětralých partií.

Dále se požaduje, aby mělo kamenivo dobrou přilnavost k asfaltu, protože jinak se musí do směsi přidávat aditiva. Přilnavostí k asfaltu velmi dobře vyhovují krystalické vápence a dolomity, které však mají nízkou ohladitelnost (PSV = 40 – 48). Velmi dobrou přilnavost mají také čediče, které však mají

rovněž nižší hodnotu ohladitelnosti (PSV = 48 – 51). Lokálně se využívají také fonolity s příznivou přílnavostí, které však mají nízké hodnoty ohladitelnosti (PSV = 38 – 40). Do asfaltových směsí nejsou příliš vhodné také sedimentární horniny (např. pískovce, arkózy, prachovce nebo břidlice). Vzhledem k tomu, že ani jeden typ hornin není plně vyhovující, používají se kompromisně ostatní magmatické horniny, jejichž přílnavost k asfaltu je horší, ale mají lepší hodnoty ohladitelnosti (PSV 47-57).

2.5.4. Kamenivo pro nestmelené a stmelené směsi

Kamenivo podle ČSN EN 13242 se používá k výrobě nestmelených a stmelených směsí pro inženýrské stavby a pozemní komunikace. S ohledem na potřebu velkých objemů směsí, se tímto způsobem se spotřebovává největší podíl vyrobeného kameniva, zejména s ohledem na nižší požadavky na kvalitu vlastností kameniva.

Nestmelené směsi slouží k provádění a údržbě pozemních komunikací a jiných dopravních ploch. Zejména se jedná o použití těchto směsí v podkladních vrstvách. Požadavky na kamenivo jsou stanoveny pro jednotlivé technologie v Národní příloze ČSN EN 13285. Tyto požadavky, oproti výše uvedeným způsobům použití, nejsou vysoké. U drobného kameniva je povolen vysoký obsah jemných částic, ale dbá se na kvalitu těchto částic, aby byla zajištěna neplastičnost vrstev. U hrubého kameniva jsou požadavky na úroveň jednotlivých vlastností nízké. Pozornost zasluhuje jen omezení použití čedičů, u kterých byla zjištěna rozpadavost (Sonnenbrand). U hotových směsí se požaduje hlavně plynulá křivka zrnitosti s dodržením stanovených propadů maximální a minimální obsah jemných částic s ohledem na požadavek dobré zhutnitelnosti a kalifornského poměru únosnosti (CBR).

Stmelené směsi jsou směsi kameniva o určité zrnitosti, stmelené pomocí hydraulických pojiv, které za přítomnosti vody tuhnou a tvrdnou a vytváří stabilní trvanlivou směs. Používají se obdobně jako nestmelené směsi v konstrukčních vrstvách. Požadavky na jednotlivé směsi jsou stanoveny v evropských normách řady ČSN EN 14227-1 až 5. Jako pojivo se ve stmelených směsích používá cement, struska, popílky a hydraulické silniční pojivo. Požadavky na vlastnosti kameniva, uvedené v ČSN 73 6124-1 Stavba vozovek – Vrstvy ze směsí stmelených hydraulickými pojivy – Část 1: Provádění a kontrola shody, jsou celkově nízké a liší se podle druhu směsi a požadované třídy pevnosti hotové směsi. Požadavky na kamenivo jsou stanoveny dále také v řadě národních norem ČSN 73 6127-1 až 4 Stavba vozovek – Prolévané vrstvy.

2.5.5. Kamenivo pro kolejové lože

Kamenivo podle ČSN EN 13450 se používá v konstrukci železničního svršku železničních drah. Pro tento účel se v České republice používá kamenivo frakce 32/63. Požadavky na jednotlivé vlastnosti kameniva, jsou podle způsobu použití, specifikované v Příloze 1 OTP Kamenivo pro kolejové lože železničních drah vydaného Správou železniční dopravní cesty. Nejvyšší požadavky jsou stanoveny na kamenivo ke stavbě železničního koridoru s uvažovanou rychlostí souprav vyšší než 160 km/hod. Například se požaduje odolnost proti drcení LA_{RB} 16, odolnost proti drcení v rázu SZ_{RB} 14, index plochosti FI_{15} , nasákavost do 0,5 % hm a pro čediče ztráta hmotnosti po vaření ≤ 1 % hm. Úroveň vlastností požadovaných pro třídu BI, BII a C jsou odstupňovány.

2.5.6. Kamenivo pro malty

Kamenivo podle ČSN EN 13139 se používá k výrobě malt pro zdění, podlahy, omítky a další druhy malt. Použití kameniva k tomuto účelu je omezeno hlavně velikostí zrn. Používají se zejména frakce 0/1, 0/2, 0/4, 0/8, 4/8, případně 2/8 a filer. Pro jednotlivá použití jsou stanoveny kategorie pro obsah

jemných částic, sleduje se hlavně kvalita jemných částic, obsah humusovitých částic, lehkých znečišťujících částic a obsah síry. Požadavky na kamenivo jsou stanoveny v ČSN EN 982-1 a 982-2.

2.5.7. Pórovité kamenivo

Pórovité kamenivo, označované též jako lehké kamenivo má uplatnění zejména při výrobě lehkých malt a betonů s tepelně izolačními účinky, kde se používá kamenivo jak přírodní, tak uměle vyrobené. Mezi přírodní pórovité kamenivo spadají některé horniny vulkanického původu (tufy a tufity) a pórové sedimenty (křemelina, spongilit). Mezi pórovité kamenivo z průmyslových odpadů se řadí například struska, škvára, popílek a recyklované cihelné zdivo. Třetí skupinou jsou pórovitá kameniva z přírodních zdrojů, vyráběná žháním granulí jílových nebo písčito-hlinitých hornin, které při žhání expandují jako např. keramzit, expandit, siopor nebo vermikulit (Svoboda et al. 2007).

2.5.8. Kámen pro vodní stavby

Výrobky podle ČSN EN 13383-1 se používají jako kámen do hydrotechnických staveb, vodohospodářských staveb, dopravních staveb a staveb obdobného charakteru. Podle velikosti se rozlišuje hrubé zrnění, lehké zrnění a těžké zrnění výrobku. Slouží hlavně k úpravě a zpevňování koryt vodních toků, nádrží, výrobě hrází, stavbě opěrných zdí, propustků, výrobě gabionů ap. Požadavky na kámen pro jednotlivé druhy konstrukcí staveb jsou stanoveny v Národní příloze normy. Pro uvedená použití jsou vhodné horniny o objemové hmotnosti vyšší než 2300 kg/m³. Pro použití v náročném prostředí se nevyžaduje vysoká pevnost, ale hlavně odolnost proti zvětrávání.

2.6. Vulkanické horniny a jejich vlastnosti

Vulkanické horniny vznikají při sopečné činnosti vyléváním magmatu na zemský povrch a jeho utuhnutím. Geologické tvary těles se tvoří v závislosti na viskozitě lávy. Zatímco z velmi tekuté lávy vznikají proudy a lávové příkrovy, z viskózního magmatu vznikají vytlačené kupy. Při sopečných erupcích se často střídají efuzivní a explozivní režimy, při kterých vzniká sopečný popel a pumy, stmelěním popele vznikají sopečné tufy (Blatt et al. 2006, Philpotts & Ague 2009). Z toho vyplývá, že v rámci ložiska může mít hornina ve svém profilu velmi odlišný vzhled, vlastnosti a také kvalitu (Obr. 2.8).



Obr. 2.8. Vrtná jádra profilem bazaltového masivu.

Důležitým parametrem vulkanických hornin je jejich stavba pozorovatelná jak makroskopicky (makrostavba) tak mikroskopicky (mikrostavba). Charakteristickými rysy makrostavby je textura horniny, která je u vulkanických hornin velmi výrazná a typická. Vyroستlice bývají často prouděním magmatu usměrněny, při tuhnutí se vlivem uvolňování množství plynů vytváří velmi porézní textura, která je často vyplněna sekundárními minerály (mandlovcovitá textura), nebo dochází ke sklovitému utužení horniny a vzniká tak vulkanické sklo. Dále se makroskopicky zjišťuje druh a velikost vyrostlic, znaky zvětrávání a přeměn, trhliny, dutiny, makroskopicky viditelná pórovitost a další parametry.

U mikrostavby se posuzuje zejména mineralogické složení, velikost jednotlivých komponent a vztah základní hmoty a vyrostlic. Výlevné horniny se vyznačují typickými strukturami, které v naprosté většině obsahují dvě generace krystalů. Jednak starší generaci porfyrických vyrostlic, které vykristalovaly ještě před efuzí a druhou v základní hmotě, která vznikla rychlým utužením po výlevu, kde při velmi rychlém ochlazení často vzniká i sklo (Bard 1986, Blatt et al. 2006). Některé struktury jsou u určitých typů hornin typické, jako třeba intersertální nebo hyalopilitická u melafyrů, nebo porfyrická s holokrystalickou základní hmotou u fonolitů či porfyrická s pilotaxickou strukturou základní hmoty u bazaltů (Fediuk & Fediuková 1970, Mackenzie 1982, Mackenzie & Adams 1995).

Zbarvení vulkanických hornin závisí hlavně na obsahu tmavých minerálů, proto kyselé horniny (fonolity, trachyty, ryolity aj), mají spíše světlejší barvy oproti horninám bazičtějším (tefrity, andezity) a bazické horniny (bazalty, nefelinity) jsou většinou černé. Barva také závisí na přítomnosti a oxidačním stupni železa, které je součástí hematitu, chloritu nebo amfíbolech (Dudek et al. 1984).

3. EXPERIMENTÁLNÍ MATERIÁL

3.1. Odběr a příprava zkušebních vzorků

Vzorky experimentálního materiálu byly odebrány ze 40 činných lomů v České republice, v nichž se vyrábí drcený kámen (Obr. 3.1, Tab. 3.1). Zkoumané paleovulkanické horniny pocházejí z oblastí neoproterozoika a paleozoika Barrandienu, permokarbonu podkrkonošské pánve, permokarbonu vnitrosudetské deprese a ordoviku železnohorského paleozoika. Forma, ve které se horniny vyskytují, je v podobě submarinních nebo suchozemských příkrovů a také jako hypabysální žíly a pně. Neovulkanické horniny Českého masivu lze na základě hlavních vulkanických center vymezit do těchto oblastí:

- České středohoří,
- Doupovské hory,
- ostatní neovulkanity.

Vulkanické centrum České středohoří je situované mezi Ústím nad Labem a Děčínem v okolí obce Roztoky. Vulkanická aktivita začala v Českém středohoří již na konci eocénu, což je o něco dříve než v Doupovských horách. V rané fázi probíhaly zejména výlevy čedičových láv bohatých na olivín, později vznikaly lávy bezolivinických čedičů. Lávové proudy, rozlévající se v plochem terénu s mokřadním charakterem a četnými jezery, tvořily tělesa o mocných tloušťkách dosahujících až desítek metrů. Bazaltový vulkanismus byl doprovázen významnou aktivitou fonolitových magmat, jež utuhly pod povrchem ve formě lakolitů (Cajz et al. 2004, Ulrych et al. 2011).

Vulkanický komplex Doupovských hor je soubor efuzivních a vulkanoklastických hornin (Vondrovic et al. 2011) a zaujímá plochy o přibližném průměru 30 – 40 km s maximální mocností až 500 m (Cajz et al. 2005). Vznik hlavního štítového vulkánu souvisel s aktivitou středoevropského riftového systému (Rajchl et al. 2009) a hlavní etapa tvorby probíhala zejména v oligocénu, s aktivitou okrajových center v miocénu (Vondrovic et al. 2011).

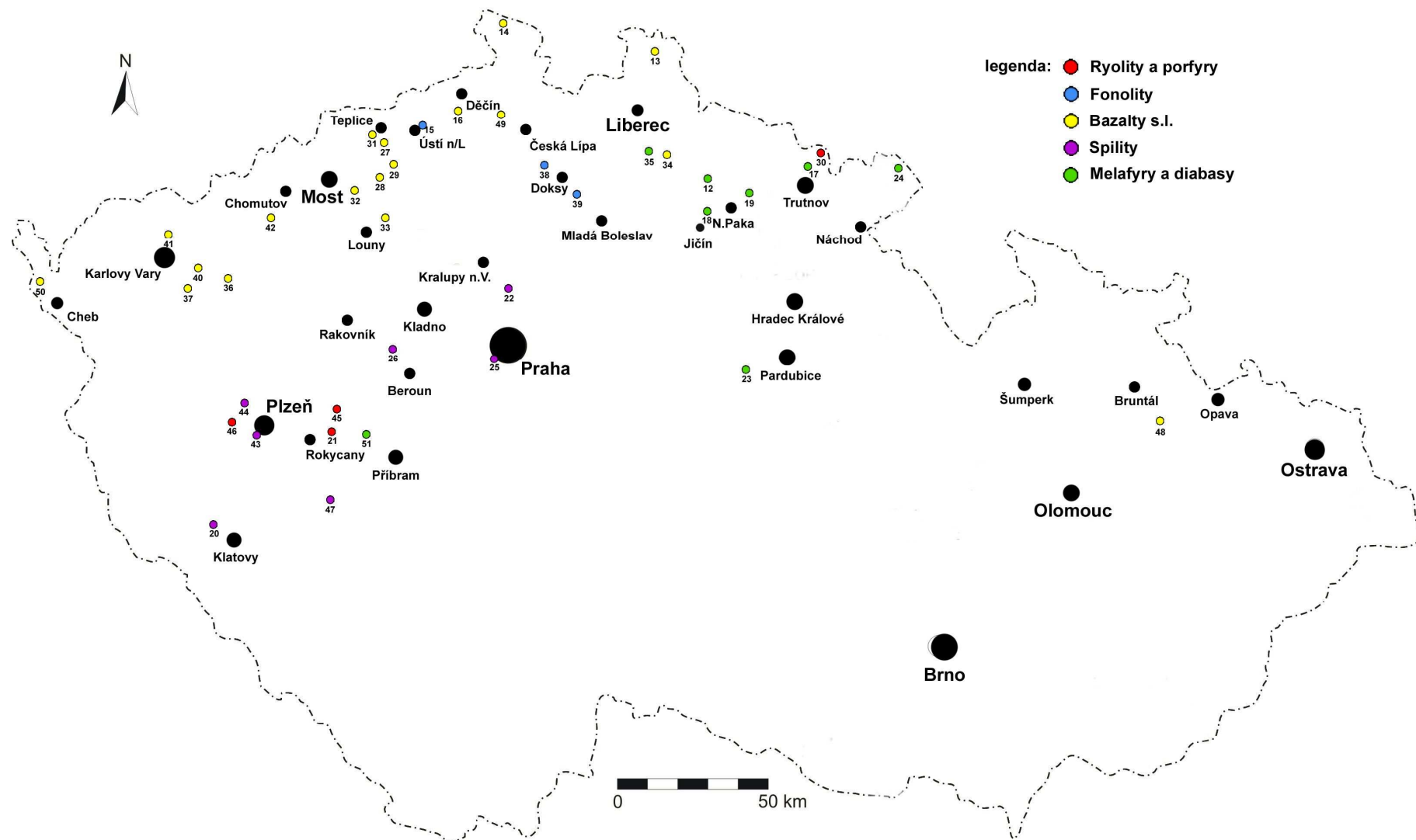
Mezi ostatní neovulkanické horniny patří vulkanity severní Moravy a Slezska, soustředěné v Nížkém Jeseníku, zejména v okolí Bruntálu (př. Velký a Malý Roudný), dále horniny v západosudetské oblasti (Frýdlantský výběžek) a neovulkanické horniny České křídové tabule.

Odběr vzorků na lokalitách probíhal v několika etapách v letech 2007 až 2010. Ke zkoušce stupně zdrobnění byla odebrána frakce kameniva 32/63, která je ve většině případů produktem sekundárního drcení a pocházela ze skládek aktuální výroby. Dále byly odebrány i další frakce z výroby jako 8/11, 8/16 a 16/22, které byly třeba k přípravě zkušebních navážek na fyzikální, technologické zkoušky mechanické odolnosti a na silikátovou analýzu. Na petrografické studium byly odebrány menší kusové vzorky, charakteristické pro odebrané kamenivo ke zhotovení standardního petrografického výbrusu.

V rámci projektu „Vytvoření databáze pro oceňování vlastností hornin používaných pro výrobu drceného kamene“ (50213/ENV/660/06) byly odebrány ze všech lokalit také bloky o velikosti 30x25x25 cm. Ve výběru horninového typu byl kladen důraz jednak na reprezentativnost materiálu a dále na aktuálně těžený materiál. Ze stejných horninových bloků, které sloužily k přípravě zkušebních těles byl použit materiál na vysokotlakou rtuťovou porozimetrii pro podrobnou kvantifikaci pórového prostoru. Dále byly poskytnuty vzorky z odebraného materiálu ke zkoušce náchylnosti kameniva k alkalické reakci podle ASTM C1260-94 a experimentální koláčkovou zkoušku (angl. gel-pat test). Tyto parametry byly studovány dalšími spolupracovníky v rámci výzkumných a disertačních prací a nejsou v této práci uváděny.

Tab. 3.1 Abecední přehled lokalit, začlenění do horninových skupin a geologické členění odebraných vzorků. Označení paleovulkanických hornin (P), neovulkanických hornin (N), CZ je číslo lokality v projektu.

CZ	Lokalita	Horninová skupina	Stáří	Oblast
17	Babí	melafyr/diabas	P	Vnitrosudetská deprese
35	Bezděčín	melafyr/diabas	P	Podkrkonošská pánev
48	Bílčice	bazalt	N	Východosudetská oblast
14	Císařský	bazalt	N	České středohoří
22	Čenkov	spilit	P	Barrandien
37	Číhaná	bazalt	N	Doupovské hory
41	Děpoltovice	bazalt	N	Doupovské hory
28	Dobkovičky	bazalt	N	České středohoří
27	Dolánky	bazalt	N	České středohoří
18	Doubravice	melafyr/diabas	P	Podkrkonošská pánev
40	Horní Tašovice	bazalt	N	Doupovské hory
38	Chlum	fonolit	N	České středohoří
33	Chraberce	bazalt	N	České středohoří
23	Chrtínky	melafyr/diabas	P	Železné hory
12	Košálův	melafyr/diabas	P	Podkrkonošská pánev
30	Královec	ryolit/porfyr	P	Vnitrosudetská deprese
13	Krásný Les	bazalt	N	Západosudetská oblast
50	Libá	bazalt	N	Doupovské hory
29	Libochovany	bazalt	N	České středohoří
43	Litice u Plzně	spilit	P	Barrandien
15	Mariánská Skála	fonolit	N	České středohoří
32	Měrunice	bazalt	N	České středohoří
47	Mítov	spilit	P	Barrandien
36	Mokrá	bazalt	N	Doupovské hory
46	Pňovany	ryolit/porfyr	P	Barrandien
24	Rožmitál	melafyr/diabas	P	Vnitrosudetská deprese
34	Smrčí	bazalt	N	Česká křídová pánev
19	Studeneč	melafyr/diabas	P	Podkrkonošská pánev
26	Sýkořice	spilit	P	Barrandien
39	Tachov	fonolit	N	České středohoří
16	Těchlovice	bazalt	N	České středohoří
21	Těškov	ryolit/porfyr	P	Barrandien
20	Trnčí	spilit	P	Barrandien
45	Třebnuška	ryolit/porfyr	P	Barrandien
42	Úhošťany	bazalt	N	Doupovské hory
31	Všechlapy	bazalt	N	České středohoří
44	Zahrádka	spilit	P	Barrandien
51	Zaječov	melafyr/diabas	P	Barrandien
25	Zbraslav	spilit	P	Barrandien
49	Žandov	bazalt	N	České středohoří



Obr. 3.1. Lokalizace odběrových míst. 12 - Košťálov, 13 - Krásný Les, 14 - Císařský, 15 - Mariánská Skála, 16 - Těchlovice, 17 - Babí, 18 - Doubravice, 19 - Studenec, 20 - Trnčí, 21 - Těškov, 22 - Čenkov, 23 - Chrtníky, 24 - Rožmitál, 25 - Zbraslav, 26 - Sýkořice, 27 - Dolánky, 28 - Dobkovičky, 29 - Libochovany, 30 - Královec, 31 - Všechlapy, 32 - Měřunice, 33 - Chraberce, 34 - Smrčí, 35 - Bezděčín, 36 - Mokrá, 37 - Číhaná, 38 - Chlum, 39 - Tachov, 40 - Horní Tašovice, 41 - Děpoltovice, 42 - Úhošťany, 43 - Litice, 44 - Zahrádka, 45 - Třebnuška, 46 - Pňovany, 47 - Mítov, 48 - Bílčice, 49 - Žandov, 50 - Libá, 51 - Zaječov.

3.2. Studované horniny

3.2.1. Horniny ze skupiny ryolit / porfyr

Horniny ze skupiny ryolitů a porfyrů reprezentují paleovulkanické horniny (Obr. 3.2, Tab. 3.2). Kamenolom **Královec** leží poblíž Trutnova ve vnitrosudetské depresi. V tomto lomu se těží těleso křemenného porfyru, porfyrových tufů a tufových aglomerátů permského stáří, známé jako tzv. „křenovské porfyry“. Dalším reprezentantem jsou svrchnokambrické paleovulkanity – ryolity z kamenolomu **Těškov**, který je situován v křivoklátsko-rokycanském pásmu vázaném na mladší suchozemské výlevy. Další zkoumanou lokalitou je kamenolom **Třebnuška**. Na tomto ložisku jsou těženy svrchnokambrické ryolity křivoklátsko-rokycanského pásma, vázané na mladší suchozemské výlevy, místy s hojnými tufy. Horninový masív je značně rozpukán a místy vyplněn mocnými žilami amfibolických lamprofyrů. Posledním z této skupiny je kamenolom **Pňovany**, který se nalézá v Barrandienu západočeského svrchního proterozoika u Plzně a těží se zde intruzivní, mocné žíly křemenného (žulového) porfyru.



Obr. 3.2. Příklad vzhledu těžebních prostorů a odběrových míst hornin ze skupiny ryolit / porfyr: lom Třebnuška (vlevo) a Pňovany (vpravo).

Tab. 3.2. Údaje o ložiscích hornin ze skupiny ryolit / porfyr. Vysvětlivky: CZ je číselné označení lokality, číslo DP odpovídá dobývacímu prostoru evidovanému u báňského úřadu pro vyhrazená ložiska, příp. evidenční číslo nevýhradního ložiska, Et. udává počet etáží. Ve sloupci Výroba: O je omezený počet vyráběných frakcí do počtu tří, Š je široký sortiment vyráběných frakcí, u 0/32 značí výrobu šterkodrtě pro konstrukční vrstvy tělesa železničního spodku a u 32/63 výrobu kameniva pro kolejové lože železničního svršku.

CZ	Provozovna	Dobývací prostor	Číslo DP	Těžební organizace	Okres	Et.	Výroba
30	Královec	Královec	70816	EUROVIA Kamenolomy, a.s.	Trutnov	3	O
46	Pňovany	Úlice Úlice I.	70695 71036	EUROVIA Kamenolomy, a.s.	Plzeň – sever	2	Š 0/32, 32/63
21	Těškov	Těškov	70814	EUROVIA Kamenolomy, a.s.	Rokycany	2	Š 0/32, 32/63
45	Třebnuška	Třebnuška	70851	EUROVIA Kamenolomy, a.s.	Rokycany	2	Š 0/32, 32/63

3.2.2. Horniny ze skupiny fonolitu

Do skupiny fonolitu (Obr. 3.3) patří neovulkanické horniny Ústeckého kraje ze třech zkoumaných lokalit. První z nich, kamenolom **Chlum** známý také pod názvem Maršovický vrch, se nalézá v okrese Česká Lípa mezi Doksy a Českou Lípou. Těží se zde fonolit, který ve spodním oligocénu pronikl do

komplexu metamorfovaných hornin a je tektonicky narušený z období svrchního miocénu (Coubal a Klein 1992). Dalším je kamenolom **Mariánská skála** v Ústí nad Labem. Těží se zde lakolitová intruze sodaliticko-natrolitického trachytu. Původní lakolit prořízl napříč tok Labe a sestává z činného lomu Mariánské skály na jednom břehu řeky a na druhém z Kamenného vrchu. Cajz (1996) tento neobvyklý jev vysvětluje původně nesymetrickým tělesem, který je doložen průběhem deskovité odlučnosti. Jedná se také o významnou lokalitu výskytu primárního natrolitu v základní hmotě. V okrese Česká Lípa jihozápadně od Doks se u obce Tachov nalézá poslední zkoumaný fonolitový kamenolom **Tachov** (Tachovský vrch) a těží se zde těleso hauynického fonolitu oligoceního stáří.



Obr. 3.3. Příklad vzhledu těžebních prostorů a odběrových míst hornin ze skupiny fonolitu: lom Tachov (vlevo) a Mariánská Skála (vpravo).

Tab. 3.3. Údaje o ložiscích hornin ze skupiny fonolitů. Vysvětlivky: CZ je číselné označení lokality, číslo DP odpovídá dobývacímu prostoru evidovanému u báňského úřadu pro vyhrazená ložiska, příp. evidenční číslo nevýhradního ložiska, Et. udává počet etáží. Ve sloupci Výroba: O je omezený počet vyráběných frakcí do počtu tří, Š je široký sortiment vyráběných frakcí, u 0/32 značí výrobu štěrkodrtě pro konstrukční vrstvy tělesa železničního spodku a u 32/63 výrobu kameniva pro kolejové lože železničního svršku.

CZ	Provozovna	Dobývací prostor	Číslo DP	Těžební organizace	Okres	Et.	Výroba
38	Chlum	Chlum I.	70981	EUROVIA Kamenolomy, a.s.	Česká Lípa	4	O
15	Mariánská Skála	Stříbrníky	70311	DOBET, spol. s r.o.	Ústí nad Labem	5	Š 0/32, 32/63
39	Tachov	Tachov Tachov I Tachov II	70145 70967 71004	EUROVIA Kamenolomy, a.s.	Česká Lípa	4	O 32/63

3.2.3. Horniny skupiny bazalt *s.l.*

Bazalty *s.l.* (Tab. 3.4) tvoří velmi obsáhlou a různorodou skupinu hornin, jednak z pohledu typů hornin, ale i v rámci geologických jednotek. Významné zastoupení mají horniny z oblasti Českého středohoří (Obr. 3.4), kam ze studovaných lokalit spadá kamenolom **Císařský** u Šluknova v okrese Děčín. Stáří těžných lávových proudů nefelinického bazanitu spadá do svrchního eocénu až spodního miocénu (Shrbený 1995). V dalším kamenolomu **Dobkovičky** v Ústeckém kraji poblíž obce Velemín se těží lávové proudy olivinických bazaltů, přesněji nefelinicko – analcimických bazanitů. Výlev složený patrně ze dvou příkrovů (Godány et al. 2014) je řazen do svrchního eocénu až spodního miocénu (Shrbený 1995). V některých výlevech severovýchodní části lomu lze nalézt až 25 cm velkých uzavřenin spinelových peridotitů (tzv. olivínové koule) (Cajz et al. 1996). Mezi obcemi

Hostomice a Žalany v okrese Teplice leží kamenolom **Dolánky**, kde se těží lávové proudy nefelinického bazanitu, jejichž stáří spadá do svrchního eocénu až spodního miocénu (Shrbený 1995). V kamenolomu **Chraberce** (okres Louny blízko obce Raná u Loun) se těží lávové proudy nefelinicko-analcimického bazanitu, jejichž stáří spadá do svrchního eocénu až spodního miocénu (Shrbený 1995). Dalším je kamenolom **Libochovany** (okres Litoměřice), v němž se těží jedolitě těleso lávového proudu nefelinického čediče. Stáří těženého výlevu spadá do spodno-oligocenní fáze vulkanické aktivity, které vzhledem k nízké viskozitě lávy a bažinatého až jezerního prostředí utuhlo v jedolitě těleso o konstantní kvalitě (Godány et al. 2014). V minulosti byla hornina z tohoto lomu využívána i k petrurgickým účelům, zejména k výrobě čedičového vlákna ve sklárně v Duchcově (Kužvart et al. 1983). V kamenolomu **Měrunice** (okres Teplice) se těží olivinický nefelinit. Zdejší bazaltová intruze vyplňuje trychtýřovitý kráter freatomagmatické erupce (Godány et al. 2014). Kamenolom **Všechlapy** u obce Zabušany poskytuje olivinický nefelinit oligocenního stáří. Posledním zástupcem zkoumaných vulkanických hornin Českého středohoří je kamenolom **Žandov**, který se nachází v okrese Česká Lípa, v němž se těží lávové proudy nefelinického bazanitu, které mají typickou sloupcovitou odlučnost, ale některé výlevy jsou i s kulovitým rozpadem. Stáří výlevů spadá do období svrchní eocén až spodní miocén (Shrbený 1995).



Obr. 3.4. Příklad vzhledu těžebních prostorů a odběrových míst hornin ze skupiny bazaltů s./, těžených v oblasti Českého středohoří: lom Císařský (vlevo nahoře), lom Chraberce (vpravo nahoře), lom Libochovany (vlevo dole), lom Žandov (vpravo dole).

Do oblasti Doupovských hor (Obr. 3.5) spadá celkem šest lokalit ze zkoumaných vulkanických hornin. První z nich, kamenolom **Číhaná** se nalézá v okrese Karlovy Vary mezi obcemi Horní Slavkov a Bočov. Těží se zde lávový proud bazanitu s výraznou sloupcovitou odlučností, který tvoří nejspíše

lávovou výplň maaru. Ulrych et al. (2003) udávají stáří bazanitu na 16,5 mil. let (miocén). V kamenolomu **Děpoltovice** u obce Nová Role se těží lávové proudy analcimického a sodalitického nefelinitu až olivinického analcimitu, oligocenního stáří. Na ložisku lze pozorovat jak typ horniny s kuličkovým rozpadem, tak i se sloupcovitou odlučností. Na Karlovarsku leží kamenolom **Horní Tašovice** u obce Bochov, kde se těží lávové proudy nefelinitu oligocenního stáří a kamenolom **Mokrá**, kde se těží lávové příkrovy analcimického nefelinitu s dobře vyvinutou sloupcovou odlučností, jejichž stáří spadá podle Ulrycha et al. (2003) na 20,4 mil. let, což odpovídá nejspodnějšímu miocénu.

V Ústeckém kraji u obce Kadaň se nachází kamenolom **Úhošťany**, známý také jako Blzeňský vrch, kde se těží lávové proudy bazanitů oligocenního stáří, datovaného na 23-30 mil. let (Sakala et al. 2010). Poslední studovanou lokalitou Doupovských hor je kamenolom **Libá** (okres Cheb), která je nejzápadnějším vulkanickým tělesem oherského riftu. Těží se zde lávové proudy olivinického nefelinitu oligocenního stáří.



Obr. 3.5. Příklad vzhledu těžebních prostorů a odběrových míst hornin ze skupiny bazaltů s./., těžených v oblasti Doupovských hor: lom Děpoltovice (vlevo) a lom Úhošťany (vpravo).

V oblasti České křídové pánve se v blízkosti Semil leží kamenolom **Smrčí** (Obr. 3.6), který je součástí lužicko-labské vulkanické zóny na východ od lužické poruchy a představuje severnější část podkozákovského lávového výlevu paleogenního až neogenního stáří (Godány et al. 2014). Těží se zde olivinické bazaltové horniny miocenního stáří, které jsou ve spodní části výlevu hrubě sloupcovité. Zajímavostí jsou hojně se vyskytující typické olivínové xenolity velkých rozměrů.

Kamenolom **Krásný Les** ve Frýdlantském výběžku Jizerských hor u obce Krásný Les reprezentuje vulkanické horniny v západosudetské oblasti. Těží se zde lávové proudy olivinických čedičů až analcimitů, jejichž stáří spadá do období svrchního eocénu až spodního miocénu (Shrbený 1995).

V Nížkém Jeseníku oblasti Východních Sudet se nachází kamenolom **Bílčice** (Obr. 3.6), který je součástí lávového proudu Chříbského lesa stratovulkánu Velký Roudný a je situován u obce Bílčice. Na základě radiometrických interpretací spadá vulkanická činnost do pliocénu (3,4 mil. let) až raného pleistocénu (1,2 mil. let). Na ložisku bylo dokumentováno několik typů bazaltů, od kompaktních nevýrazně porfyrických po horniny s kuličkovým rozpadem. Petrologicky patří tyto horniny dvou lávových proudů mezi alkalické olivinické bazalty a nefelinické bazanity a makroskopicky jsou od sebe velmi obtížně rozlišitelné (Godány et al. 2014).



Obr. 3.6. Příklad vzhledu těžebních prostorů a odběrových míst hornin ze skupiny bazaltů s./, těžených v mimo hlavní vulkanická centra neogenních vulkanitů: lom Smrčí (vlevo) a lom Bílčice (vpravo).

Tab. 3.4. Údaje o ložiscích hornin ze skupiny bazaltů s./ Vysvětlivky: CZ je číselné označení lokality, číslo DP odpovídá dobývacímu prostoru evidovanému u báňského úřadu pro vyhrazená ložiska, příp. evidenční číslo nevýhradního ložiska, Et. udává počet etází. Ve sloupci Výroba: O je omezený počet vyráběných frakcí do počtu tří, Š je široký sortiment vyráběných frakcí, u 0/32 značí výrobu štěrku pro konstrukční vrstvy tělesa železničního spodku a u 32/63 výrobu kameniva pro kolejové lože železničního svršku.

CZ	Provozovna	Dobývací prostor	Číslo DP	Těžební organizace	Okres	Et.	Výroba
48	Bílčice	Bílčice	70432	KAMENOLOMY ČR, s.r.o.	Bruntál	3	Š
14	Císařský	Císařský	70511	COLAS CZ, a.s.	Děčín	5	Š 0/32, 32/63
37	Číhaná	Číhaná	70637	KAMENOLOMY ČR, s.r.o.	Karlovy Vary	2	Š 0/32, 32/63
41	Děpoltovice	Děpoltovice	70250	EUROVIA Kamenolomy, a.s.	Karlovy Vary	3	Š 0/32
28	Dobkovičky	Dobkovičky	70336	KÁMEN Zbraslav, a.s.	Litoměřice	3	Š
27	Dolánky	Dolánky	70264	EUROVIA Kamenolomy, a.s.	Teplice	2	O
40	Horní Tašovice	Horní Tašovice	70939	EUROVIA Kamenolomy, a.s.	Karlovy Vary	2	Š 0/32, 32/63
33	Chraberce	Chraberce	70266	EUROVIA Kamenolomy, a.s.	Louny	2	Š 32/63
13	Krásný Les	Krásný Les Krásný Les u Frydlantu (N)	70144 3060601	DOBET, spol. s r.o.	Liberec	2	Š
50	Libá	Libá I. Libá II.	70797 71028	BASALT CZ, s.r.o.	Cheb	3	Š 0/32, 32/63
29	Libochovany	Libochovany I. Libochovany II. Libochovany III.	70092 70701 70894	EUROVIA Kamenolomy, a.s.	Litoměřice	3	Š 0/32
32	Měrunice	Měrunice Měrunice I	70819 71063	Basalt, s.r.o.	Teplice	3	Š 0/32, 32/63
36	Mokrá	Mokrá I.	70498	KAMENOLOMY ČR, s.r.o.	Karlovy Vary	2	Š 0/32, 32/63
34	Smrčí	Smrčí	70750	CEMEX Sand, k.s.	Semily	2	Š
16	Těchlovice	Přední Lhota Přední Lhota I.	70996 70704	ČNES, dopravní stavby, a.s.	Děčín	2	Š
42	Úhošťany	Úhošťany	70980	CEMEX Sand, k.s.	Chomutov	3	Š
31	Všechlapy	Všechlapy	70265	BASALT CZ, s.r.o.	Teplice	3	Š 0/32, 32/63
49	Žandov	Žandov	70829	CEMEX Sand, k.s.	Česká Lípa	3	O

3.2.4. Horniny ze skupiny melafyr

Horniny ze skupiny melafyru z oblasti podkrkonošské pánve a vnitrosudetské deprese (Pešek et al. 2001) situované v severní polovině Českého masivu patří v karbonu a permu k oblastem s největší vulkanickou aktivitou (Ulrych et al. 2006). Ze zkoumaných lokalit (Obr. 3.7) sem patří kamenolom **Bezděčín**, který leží u Frýdštejnu v okrese Jablonec nad Nisou. Těží se zde spodnopermský melafyrový (bazaltický andezitový) lávový proud. Hornina je masivní a ve svrchní části tělesa silně mandlovcovitá s minimem pyroklastického materiálu.



Obr. 3.7. Příklad vzhledu těžebních prostorů a odběrových míst hornin ze skupiny melafyr / diabas: lom Bezděčín (vlevo nahoře), lom Rožmitál (vpravo nahoře), lom Košťálov (vlevo dole), lom Chrtínky (vpravo dole).

Kamenolom **Doubravice** leží nedaleko obce Železnice na Jičínsku. Těží se zde permské (autun) lávové proudy melafyru (bazaltického andezitu). Ložisko je součástí kozákovského tělesa při rozhraní vrchlabského souvrství (Schováňková 1989). Jedná se o oblíbenou mineralogickou lokalitou s výskytem chalcedonu a jeho odrůd, které vyplňují mandlovcovité dutiny a také pro tuto oblast typické hnědožluté mechové jaspisy. Strukturně i texturně podobnou horninu lze nalézt i v kamenolomu **Studeneč**, který leží mezi obcemi Studeneč a Horka u Staré Paky. Těží se zde permské lávové proudy melafyru (bazaltického andezitu) s hojnými mandlovcovitými lávami. Jedná se o bohatou mineralogickou lokalitu s nálezy kalcitu, křišťálu a ametystu, které v celém lomu vyplňují mandlovcovité dutiny a také pro tuto oblast typické hnědožluté mechové jaspisy a mineralizace Cu-Ag-Hg (Vavřín & Frýda 1996). U Trutnova ve vnitrosudetské depresi žacléřského souvrství leží

kamenolom **Babí**, kde se těží těleso lávového příkrovu melafyru (trachyandezitu). Příkrov, ležící konkordantně v podloží tufitických brekcií, pískovců s tufitickou příměsí a hrubozrnných rulových slepenců (facie křenovských rulových slepenců), je karbonského stáří. V okrese Semily se v kamenolomu **Košťálov** těží subvulkanické těleso (ložní žíla) vesměs masivního melafyru (bazaltického andezitu - doleritu) permského stáří. Mineralogicky je tato lokalita zajímavá nálezy pektolitů. Od ostatních „melafyrů“ podkrkonošské pánve se vzhledem ke svému žilnému původu odlišuje hrubší ofitickou strukturou a nepřítomností mandlovcovité stavby typické pro tuto oblast. Na jednotlivých etážích vykazuje hornina odlišnou kvalitu, zejména vzhledem ke střídání vyvěřelin se sedimenty vrchlabského souvrství.

Další lokalitou z této skupiny je kamenolom **Zaječov**, který leží u obce Zaječov v okrese Beroun. Těží se zde hornina obecně nazvaná jako diabas. Vulkanický komplex je ale složený z několika vrstev různých druhů hornin jako jsou polštářové lávy trachydacitu, bazaltické trachyandezity až trachyandezity proložené polohami vulkanogenních sedimentů od jemnozrnných konglomerátů přes pískovce až po prachovce (Machalová et al. 2009). Stáří výlevů spadá do období svrchního kambria až spodního ordoviku. V Pardubickém kraji se v kamenolomu **Chrtníky** u obce Choltice těží ordovický diabas. V nejvyšší části lomu lze pozorovat odkryv transgrese křídly přes paleozoický podklad, který tvoří výplně příbojových křídových sedimentů.

Tab. 3.5. Údaje o ložiscích hornin ze skupiny melafyru. Vysvětlivky: CZ je číselné označení lokality, číslo DP odpovídá dobývacímu prostoru evidovanému u báňského úřadu pro vyhrazená ložiska, příp. evidenční číslo nevýhradního ložiska, Et. udává počet etáží. Ve sloupci Výroba: O je omezený počet vyráběných frakcí do počtu tří, Š je široký sortiment vyráběných frakcí, u 0/32 značí výrobu šterkodrtě pro konstrukční vrstvy tělesa železničního spodku a u 32/63 výrobu kameniva pro kolejové lože železničního svršku.

CZ	Provozovna	Dobývací prostor	Číslo DP	Těžební organizace	Okres	Et.	Výroba
17	Babí	Babí (N)	5233600	Lom Babí, a.s.	Trutnov	3	Š
35	Bezděčín	Bezděčín I	70955	EUROVIA Kamenolomy, a.s.	Jablonec n. Nisou	2	O
18	Doubřavice	Cidlina – Doubřavice (N)	5232100	Stavoka Kosice, a.s.	Jičín	2	O
23	Chrtníky	Chrtníky	70287	EUROVIA Kamenolomy, a.s.	Pardubice	3	Š
12	Košťálov	Košťálov I. Košťálov II.	70060 70889	EUROVIA Kamenolomy, a.s.	Semily	5	Š 32/63
24	Rožmitál	Rožmitál	70791	ZD Šonov u Broumova	Náchod	4	O
29	Studenec	Studenec u Horek (N)	5230700	ZETKA Strážník, a.s.	Semily	2	O
51	Zaječov	Zaječov	70838	KAMENOLOMY ČR, s.r.o.	Beroun	2	O

3.2.5. Horniny ze skupiny spilitu

Do skupiny hornin spilitů patří celkem 7 lokalit, které jsou soustředěné v oblasti Barrandienu. V současné době se zejména u těchto hornin, u kterých je většinou běžnou a hojnou součástí minerál aktinolit, řeší problematika spojená s výskytem škodlivých respirabilních azbestových vláken, která mohou způsobit rakovinoutravná onemocnění plic a hrudníku. Jedná se o problematiku, která byla medializovaná a laická veřejnost, bohužel i některé státní instituce, které nemají dostatek informací, považují veškeré horniny, které obsahují amfibolové minerály za nebezpečné a snaží se zabránit těžbě takovýchto nerostů. Kromě odborných geologicko – petrologických článků uvádějících tuto skutečnost na pravou míru byla vydaná odborná informace České geologické služby pro odbor geologie MŽP ČR (Mašek et al. 2013). Pro výrobce drceného kameniva je k jejich těžební činnosti podstatné vědět, že v České republice nejsou žádné národní právní nebo správní předpisy, které by omezovaly použití kameniva s „azbestovými minerály“. V ČR v tomto směru platí převzaté evropské právní předpisy, zejména směrnice 76/769/EHS, která byla převzata do hlavy VIII a přílohy XVII nařízení Evropského

parlamentu Rady (ES) č. 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek (REACH). V nařízení REACH je mimo určeného omezení použití a vyjmenování nebezpečných látek stanovena omezující podmínka, která zakazuje uvádět na trh výrobky s azbestovými vlákny, pokud byly do výrobku záměrně přidány, z čehož vyplývá, že pro kamenivo toto omezení neplatí.

Zkoumané horniny ze skupiny spilitů (Tab. 3.6) se vyskytují v oblasti Barrandienu v okolí Prahy, kam spadají celkem tři lokality. Jedná se o kamenolom **Čenkov**, který leží u obce Odolena Voda u Prahy, v němž se těží mocné lávové příkrovy spilitů. Ložisko spadá do spilitové série barrandienského proterozoika tzv. hlavního domažlicko-kralupského centrálního pruhu. Dále kamenolom **Sýkořice**, v některých zdrojích označovaný názvem Zbečno, se nalézá u obce Zbečno u Křivokláta v okrese Rakovník (Obr. 3.8). Těžená hornina je částí mohutného, až 1 km mocného spilitového výlevu, omezeného levým břehem Berounky na SZ a mocnou vložkou neproduktivních tufitických břidlic až drob na JV. Spadá do spilitové série barrandienského proterozoika tzv. hlavního centrálního pruhu domažlicko-kralupského (Godány et al. 2014). Těží se zde různé texturní typy spilitů s žilkami karbonátů. Dalším významnou lokalitou skupiny spilitů je kamenolom **Zbraslav**, ležící přímo v Praze – Zbraslavi (Obr. 3.8). Horniny tohoto ložiska spadají do spilitové série barrandienského proterozoika kralupsko-zbraslavské skupiny, tzv. zbraslavského pruhu. Horninový komplex je tvořen metamorfovanými peliticko-psamitickými horninami, psefitickými pyroklastikami, tufy a tufity s vložkami efuziv bazického až kyselého rázu (Godány et al. 2014). Vzhledem k tomuto pestrému složení komplexu, jehož těžbu není možné příliš selektivně rozdělit, jsou výrobky rozděleny do dvou skupin a prodávány pod označením „spilit“ a „horninová směs“.



Obr. 3.8. Příklad vzhledu těžebních prostorů a odběrových míst hornin ze skupiny spilitů: lom Sýkořice (vlevo nahoře), lom Zbraslav (vpravo nahoře), lom Zahradka (vlevo dole), lom Trnčí (vpravo dole).

Dalším velkým centrem výskytu spilitových hornin je oblast Barrandienu v okolí Plzně. Jedním z největších lomů v západních Čechách je kamenolom **Trnčí**, který se nachází u obce Chudenice u Švihova v Klatovském okrese (Obr. 3.8). Ložisko spadá do spilitové série barrandienského proterozoika tzv. hlavního centrálního pruhu domažlicko-kralupského (Godány et al. 2014). Další významnou lokalitou je velkolom **Litice** (Dubová hora), kde se těží výlevy spilitů, přičemž v rámci komplexu se vyskytuje několik horninových typů od spilitu, brekciovitého spilitu až po zelené břidlice, které nelze jednoznačně plošně vymezit. Ložisko spadá do spilitové série barrandienského proterozoika tzv. hlavního domažlicko-kralupského centrálního pruhu. V kamenolomu **Mítov**, (okres Plzeň – jih) u obce Nové Mitrovce se těží mohutná, až 40-50 m mocná efuze homogenního spilitu (Godány et al. 2014), který je navětralý pouze ojediněle. Ložisko spadá do spilitové série barrandienského proterozoika tzv. jižního klatovsko-dobříšského pruhu. V okrese Plzeň – sever se těží mohutné těleso spilitu v kamenolomu **Zahrádka** u obce Líšňany (Obr. 3.8). Ložisko spadá do západočeské části svrchního proterozoika spilitové série tzv. stříbrsko-plasského pruhu.

Tab. 3.6. Údaje o ložiscích hornin ze skupiny spilitu. Vysvětlivky: CZ je číselné označení lokality, číslo DP odpovídá dobývacímu prostoru evidovanému u báňského úřadu pro vyhrazená ložiska, příp. evidenční číslo nevýhradního ložiska, Et. udává počet etáží. Ve sloupci Výroba: O je omezený počet vyráběných frakcí do počtu tří, Š je široký sortiment vyráběných frakcí, u 0/32 značí výrobu šterkodrtě pro konstrukční vrstvy tělesa železničního spodku a u 32/63 výrobu kameniva pro kolejové lože železničního svršku.

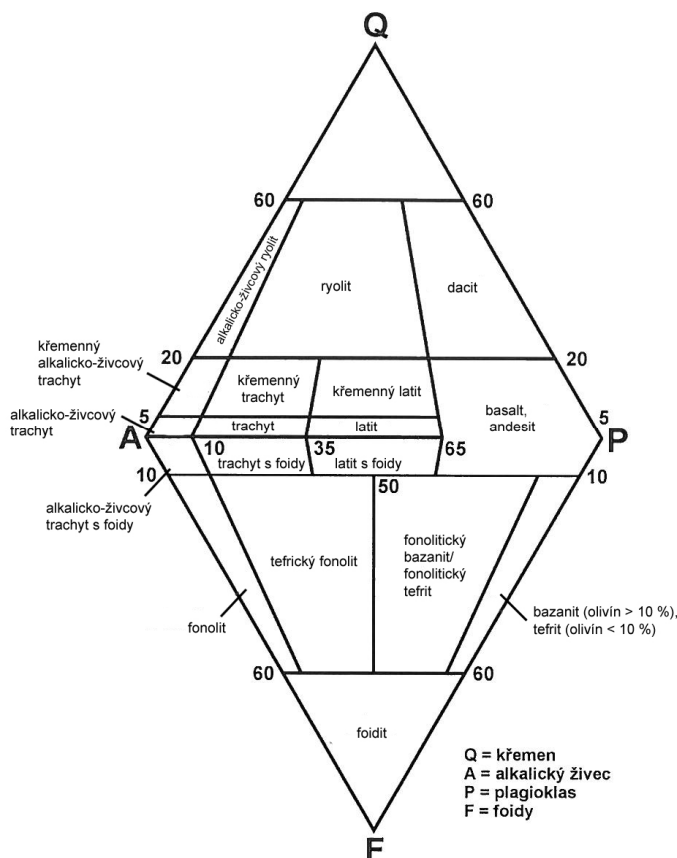
CZ	Provozovna	Dobývací prostor	Číslo DP	Těžební organizace	Okres	Et.	Výroba
22	Čenkov	Čenkov	70191	COLAS CZ, a.s.	Praha – východ	3	Š 0/32, 32/63
43	Litice	Litice	70718	EUROVIA Kamenolomy, a.s.	Plzeň	4	Š 0/32, 32/63
47	Mítov	Mítov	70243	CEMEX Sand, k.s.	Plzeň – jih	4	Š
26	Sýkořice	Sýkořice (Zbečno)	70076	KÁMEN Zbraslav, a.s.	Rakovník	5	Š
20	Trnčí	Trnčí	70929	Bögl & Krýsl, k.s.	Klatovy	3	Š 0/32
44	Zahrádka	Zahrádka	70906	BERGER Bohemia, a.s.	Plzeň – sever	3	Š 0/32, 32/63
25	Zbraslav	Záběhlice (Zbraslav)	70231	KÁMEN Zbraslav, a.s.	Praha	4	Š 0/32, 32/63

4. METODIKA

4.1. Petrografický rozbor

4.1.1. Petrografický popis a klasifikace vulkanických hornin

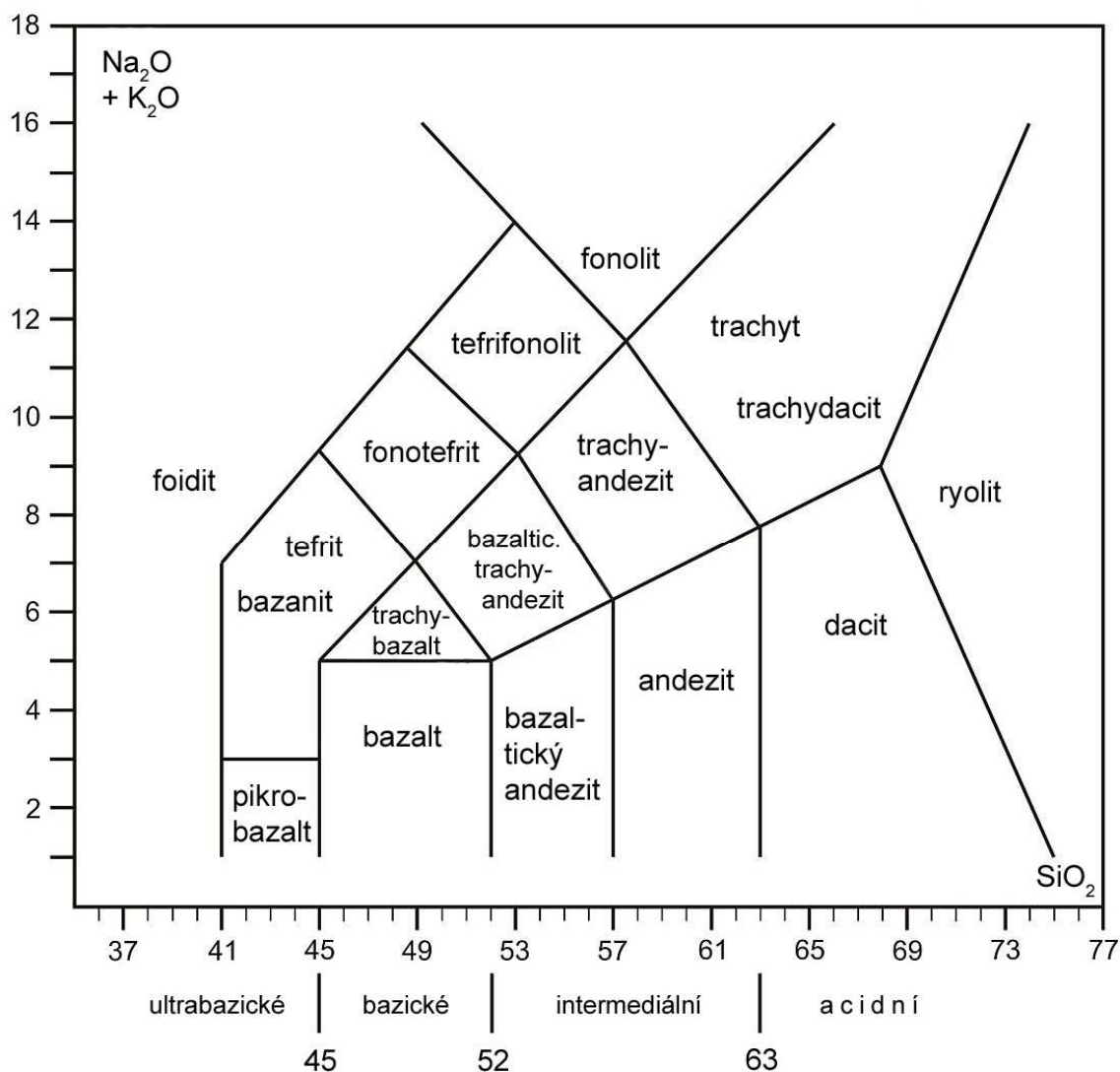
Petrografický rozbor byl proveden podle standardních postupů, doporučených v petrografii (např. Dudek et al. 1962). Reprezentativní vzorek horniny z každé lokality byl nejprve popsán makroskopicky a následně byly zhotoveny výbrusy nezbytné k provedení petrografického popisu. Výbrusy byly zkoumány v polarizačním mikroskopu Leica DM EP v procházejícím i polarizovaném světle. Mikroskopické pozorování se soustředilo na poměr, druh a velikost vyrostlic vůči základní hmotě. Pro pojmenování zkoumaných vulkanických hornin byl použit mezinárodní systém IUGS (Obr. 4.1) (Le Maitre, ed. 1989, Blatt et al. 2006). Bylo také přihlédnuto k tradičnímu pojmenování na základě geologického stáří a horniny byly popsány jednak podrobně v rámci petrografického popisu (Hejtman & Konta 1959, Fediuk & Fediuková 1970, Mackenzie et al. 1982, Mackenzie & Adams 1995, Gregerová et al. 2002) a také rozděleny do užších skupin na melafyry, bazalty, spility, znělce, porfyry, ryolity a diabasy (Dudek et al. 1984, Hejtman 1956, 1957). Na mikroskopu Leica stereo zoom S6D byly z výbrusů pořízeny fotografie vzhledu textur hornin a vyrostlic minerálů k jejich zvětšenému makroskopickému zkoumání (Dudek et al. 1957, Fediuk & Fediuková 1970, Mackenzie et al. 1982).



Obr. 4.1. Klasifikace IUGS pro vulkanické horniny. Upraveno podle Blatta et al. (2006).

4.1.2. Silikátová analýza

V širším slova smyslu bylo součástí petrografického rozboru také provedení silikátové analýzy, neboť její výsledky byly použity pro zařazení studovaných hornin v příslušných klasifikačních schématech (Le Maitre, ed. 1989). Pro silikátovou analýzu byly použity dílčí vzorky, namleté na analytickou jemnost. Chemické složení studovaných materiálů bylo provedeno standardní silikátovou analýzou (Kirschenbaum 1983) v Laboratořích geologických ústavů PřF UK (RNDr. O. Šebek, Ing. V. Vonasková a L. Jitková). Chemicky vázaná H_2O^+ a CO_2 byly stanoveny vážkově po žhání při $1000^\circ C$. Po rozkladu sintrací byl stanoven vážkově SiO_2 a zároveň byl získán zásobní roztok, ze kterého se stanovilo TiO_2 spektrofotometricky a Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO komplexometrickou titrací. Kyselým rozkladem byl získán zásobní roztok pro stanovení Na_2O , K_2O , Fe_2O_3 , CaO , MgO , MnO metodou FAAS (plamenová atomová absorpční spektrometrie) a P_2O_5 bylo stanoveno spektrofotometricky. FeO bylo stanoveno ze samostatného rozkladu kyselinami potenciometrickou titrací. Výsledky byly provedeny s přesností 0,1 hm. % a slouží k vynesení do klasifikačního diagramu TAS (Le Bas et al. 1986, Obr. 4.2).



Obr. 4.2. Klasifikační diagram TAS pro vulkanické horniny. Upraveno podle Le Base et al. (1986).

4.2. Fyzikální vlastnosti kameniva

4.2.1. Objemová hmotnost

Objemová hmotnost ρ_a je významnou základní fyzikální vlastností kameniva, která je mimo jiné potřebná k výpočtům některých technologických zkoušek. Objemová hmotnost se stanovovala pyknometrickou metodou (Obr. 4.3) na kamenivu 11/16 a spolu s nasákavostí se prováděla podle postupu ČSN EN 1097-6. Zkušební navážka se nechala nasáknout vodou v pyknometru a zvážil se vzorek s pyknometrem a vodou. Po té se stanovila hmotnost nasáklé navážky, povrchově osušené a nakonec se stanovila hmotnost kameniva vysušeného v sušárně. Objemová hmotnost zrn ρ_a v g/cm^3 se vypočítala ze vztahu:

$$\rho_a = \rho_w \cdot \frac{M_1}{M_4} - (M_2 - M_3) \quad (4.1)$$

kde je: ρ_w hustota vody, M_1 hmotnost vodou nasyceného a povrchově osušeného kameniva, M_2 hmotnost pyknometru s vodou a s navážkou nasycenou vodou, M_3 hmotnost pyknometru naplněného pouze vodou, M_4 hmotnost v sušárně vysušené zkušební navážky na vzduchu.

Hodnota objemové hmotnosti byla použita pro stanovení množství navážky pro zkoušku stanovení odolnosti proti drcení podle ČSN EN 1097-2.



Obr. 4.3. Pyknometr se vzorkem.

4.2.2. Nasákavost

Nasákavost horniny za atmosférického tlaku (WA_{24}) se vypočítala jako rozdíl hmotností suchého a 24 hodin do vody ponořeného vzorku podle rovnice:

$$WA_{24} = \frac{M_1 - M_4}{M_4} \cdot 100 \quad (4.2),$$

kde M_1 je hmotnost vodou nasáklého a povrchově osušeného kameniva na vzduchu v gramech a M_4 je hmotnost v sušárně vysušené zkušební navážky na vzduchu v gramech. Nasákavost je vyjádřena v hm. %.

4.2.3. Otevřená pórovitost

Otevřená pórovitost (ϕ_e) kameniva v procentech se vypočítala z naměřených hodnot při stanovení objemové hmotnosti a nasákavosti ze vztahu:

$$\phi_e = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_h} \cdot 100 \quad (4.3),$$

kde m_s je hmotnost vzorku nasáklého vodou na vzduchu, m_d je hmotnost vzorku vysušeného a m_h je hmotnost vzorku nasáklého pod vodou. Pórovitost je vyjádřen v obj. %.

4.3. Experimentální metody drcení

4.3.1. Stupeň zdobnění

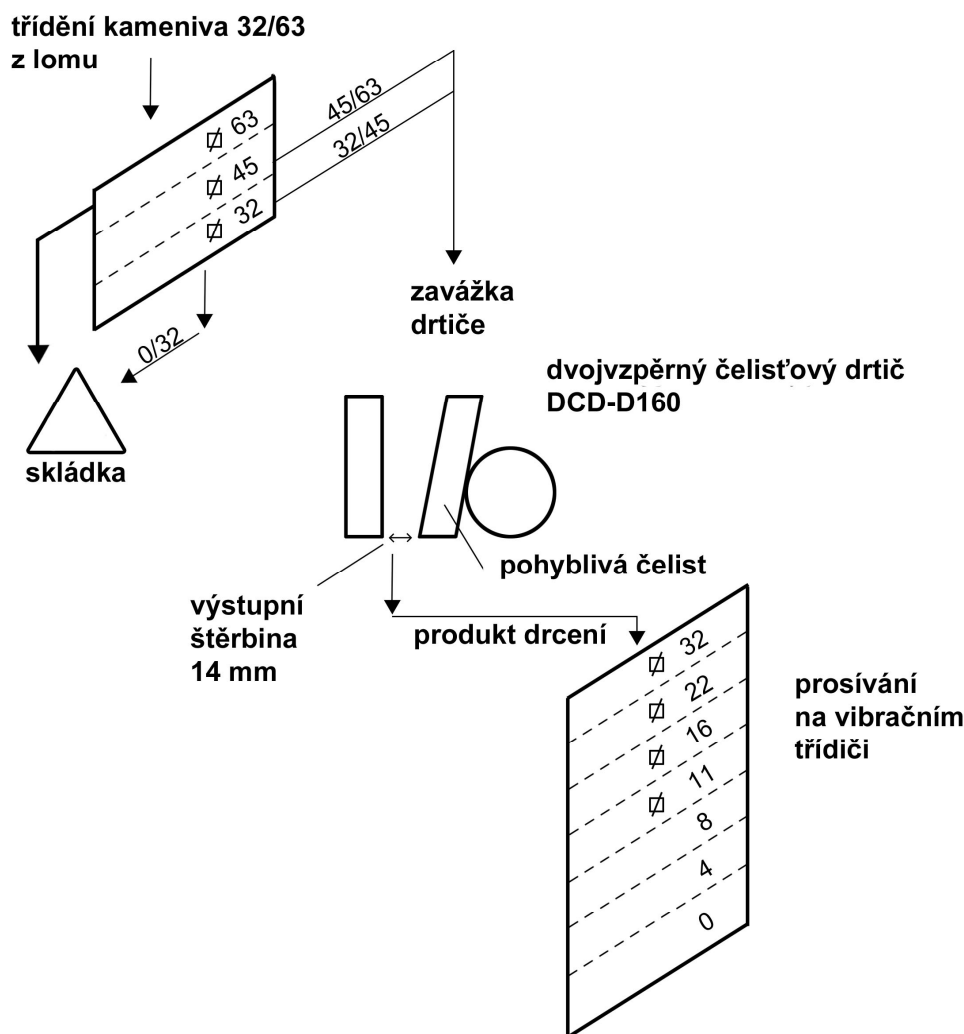
Experimentální drcení se provádělo na laboratorním dvojvzperném čelistovém drtiči DCD-D160. Drtič měl výstupní štěrbinu seřízenou na 14 mm při maximálním sevření čelistí, zdvih 10 mm, vstupní štěrbinu o rozměrech 105×150 mm, 120 otáček za minutu. Tyto parametry byly dodrženy při všech experimentálních drceních.

Zkouška probíhala tak, že frakce 32/63 z výroby se vytřídila na sítích se čtvercovými otvory 63, 45 a 32 mm, přičemž se zaznamenala hmotnost podílů 45/63 a 32/45. Zavážka úzké frakce 32/63, zbavená nadsítného a podsítného, poté vstupovala plynule do drtiče. Produkt drcení se vytřídil na čtvercových sítích o velikostech 32, 22, 16, 11, 8 a 4 mm a zaznamenaly se hmotnosti jednotlivých zrnění. Takto získané podklady (Obr. 4.4) sloužily k výpočtu stupně zdobnění D_r a vynesení křivek zrnitosti, ze kterých se graficky odečetl redukční poměr R_{80} a R_{50} .

Stupeň zdobnění D_r , v literatuře označovaný též jako stupeň drcení, je numerickým vyjádřením, v jakém poměru použitý drtič zdobnil materiál (Čep & Špírková 1997). Parametr se používá pro stanovení účinnosti drcení a vhodnosti použitého typu drtiče. V této práci byl parametr studován též v souvislosti s možným vztahem k petrografickému charakteru zkoumaných hornin. Stupeň zdobnění je vlastně poměr mezi velikostí zrn zavážených do zdobňovacího stroje a velikostí zrn, která ze zdobňovacího stroje odcházejí. Vzhledem k tomu, že do zdobňovacího stroje přicházejí zřídka stejně velká vstupující zrna zavážky a nevycházejí stejná zrna produkovaná, musí se tento poměr vztáhnout ke střední hodnotě velikosti vstupujících a odcházejících zrn (Holec 1959):

$$D_r = \frac{d_z}{d_p} = \frac{\sum (d_{z50} \cdot m_z)}{\sum m_z} \cdot \frac{\sum m_p}{\sum (d_{p50} \cdot m_p)} \quad (4.4),$$

kde d_z je vážený aritmetický průměr velikosti zrn zavážky d_p je vážený aritmetický průměr velikosti zrn produktu, d_{z50} je střední velikost zrn zavážky v milimetrech, d_{p50} je střední velikost zrn produktu v milimetrech, m_z je hmotnost zavážky v gramech a m_p je hmotnost produktu v gramech.



Obr. 4.4. Schéma laboratorní výroby kameniva pro stanovení stupně zdrobnění D_r a redukčních poměrů R_{80} a R_{50} .

4.3.2. Redukční poměr

Rychlejší přehled o zdrobňovacím procesu poskytuje jednodušší metoda zvaná redukční poměr R_{80} , která vychází z grafického znázornění křivek zrnitosti zavážky a produktu. Zdrobňovací proces nelze posuzovat podle poměru největších zrn zavážky k největším zrnům produktu, protože by byl zkreslený a mohl by nastat i případ, kdy by $R=1$, což by nevyjadřovalo skutečný proces ve zdrobňovacím stroji (Holec 1959). Z tohoto důvodu byl zaveden 80% redukční poměr hmotnostních podílů, který se vypočte ze vztahu (Taggart 1945, Eloranta 1995, Čep a Špírková 1997):

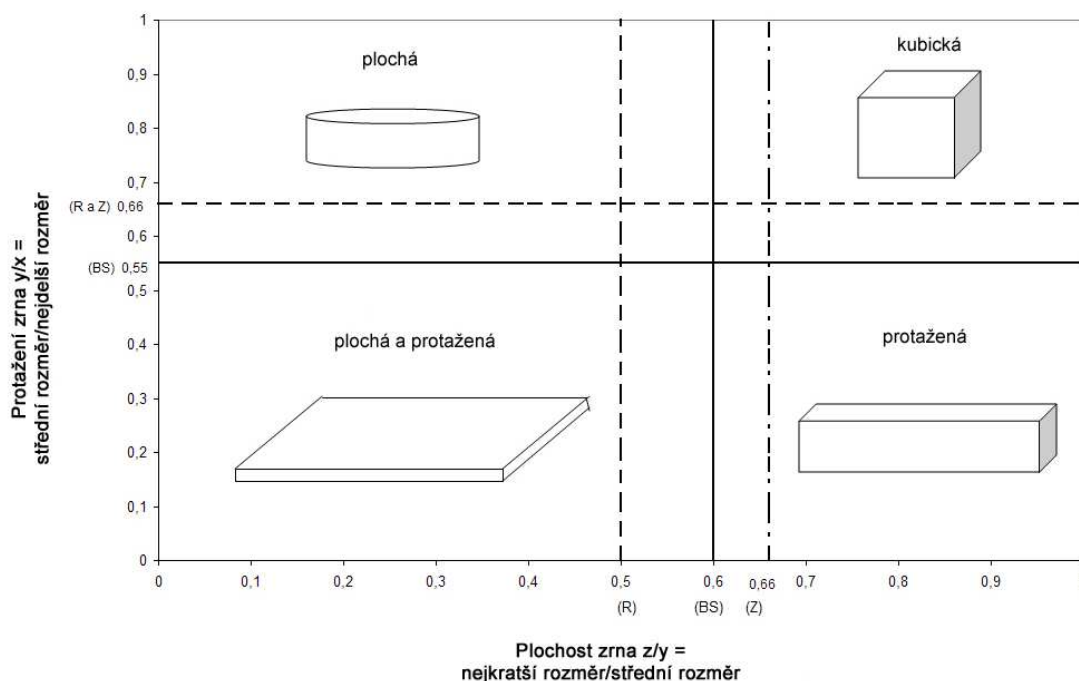
$$R_{80} = \frac{d_{z80}}{d_{p80}} \quad (4.5)$$

kde d_z je velikost částic zavažky na 80 % hmotnosti a d_p je velikost částic produktu na 80 % hmotnosti. Obě hodnoty se odečítají na kumulativní křivce zrnitosti. Redukční poměr R_{80} byl doplněn o druhý, nově zavedený parametr redukčního poměru R_{50} , který byl vypočten stejným způsobem (viz rovnice 4.5), avšak při odečtu velikosti částic na 50% hmotnosti.

4.4. Tvar zrn

4.4.1. Obecně

Tvar a velikost zrn kameniva jsou základními parametry, které určují kvalitu kameniva. Pro vyjádření tvaru zrn kameniva existuje několik metod měření a způsobů vyjádření výsledků (např. Zingg 1935, Rosslein 1941, Lees 1964, Uthus 2007), proto je výběr správné metody zásadní. Podle současné platné evropské standardizace se tvar kameniva vyjadřuje pomocí indexu plochosti (EN 933-3) a tvarového indexu (EN 933-4), kde se vyjadřuje zastoupení nevhodných (nekubických) zrn v hmotnostních procentech. Pro výzkumné účely této práce tyto postupy poskytují málo relevantních dat, proto byl vyvinut vlastní experimentální postup pomocí obrazové analýzy. Tvar kameniva popisují prostorové parametry zrn, které jsou trojrozměrnými objekty. Jejich tvar je vyjádřen délkou tří os navzájem na sebe kolmých (nejdelší = x, střední = y, z = nejkratší). Zjištěný tvar zrn kameniva se nejčastěji vynášejí jako vztah mezi plochostí (poměr z/y) a protažením (poměr y/x) (Ganapati a Adishesu 2013) (Obr. 4.5).



Obr. 4.5. Diagram znázorňující základní tvary částic kameniva. Hranice: BS – British Standards, R – Rosslein (1941), Z – Zingg (1935). Kde x je nejdelší rozměr, y je střední rozměr a z je nejkratší rozměr zrna.

Lees (1964) definoval čtyři kategorie charakterizující tvar zrn, založené na vzájemných poměrech délek zrn os kameniva. Plochost je poměr nejkratší délky (tloušťka) zrna a střední délky zrna (šířka) a ze známé hodnoty plochosti a protažení zrn lze vypočítat tvarový faktor F ze vztahu:

$$F = \frac{P}{q} \quad (4.6),$$

kde p je plochost zrna a q je protažení zrna.

Oválná a kubická zrna mají tvarový faktor F rovný 1. Pokud je tvarový faktor menší než 1, zrna jsou více protáhlá a tenká a při hodnotě tvarového faktoru větší než 1 se jedná o zrna zploštělá a protáhlá (Uthus et al. 2005).

Norská klasifikace rozlišuje tři odlišné skupiny tvaru zrn: kubická, plochá a protáhlá s kombinací posouzení, zda se jedná o zrna oválná/suboválná nebo angulární/subangulární. Toto měření se podle norské metodiky provádí pomocí posuvného měřítka a vizuálního posouzení. V této práci byla tato metoda modifikována tak, že se vzhledem k posuzování drcených zrn, která nevykazují vzhledem ke způsobu zpracování zaoblení, uvažovala pouze s angulárními zrny. Na základě měření počítačové analýzy obrazu byla klasifikována zrna plochá, která vykazovala poměr šířky ku tloušťce větší než 2, zrna protažená, která měla poměr délky ku šířce větší než 2,5 a nakonec zrna kubická, která neměla zploštění větší než 2 a zároveň protažení větší než 2,5 (Uthus et al. 2005).

4.4.2. Tvarový index a jeho modifikace

Podle evropské normy EN 933-4 se posuzuje délka L a tloušťka E každého zrna pomocí dvoučelistového posuvného měřítka. Od vzorku se oddělí zrna nekubického tvaru, která mají rozměrový podíl $L/E > 3$, a zváží se jejich hmotnost. Tvarový index SI vyjádřený v procentech se vypočítá podle vztahu:

$$SI = \frac{M_2}{M_1} \cdot 100 \quad (4.7),$$

kde M_1 je hmotnost zkušební navážky v gramech a M_2 je hmotnost nekubických zrn v gramech.

Vzhledem k tomu, že díky obrazové analýze byly známy přesné velikosti všech zkoumaných zrn, byla tato zkouška modifikována tak, že se u všech 150 zrn vypočítal poměr SI z naměřených hodnot v programu Sigmascan Pro. U vybraných vzorků byla provedena na porovnání i zkouška podle EN 933-4, která ale nedává obraz o tom, jak kolísají poměry L/E , pouze nám řekne, kolik procent zrn je nekubického tvaru.

4.4.3. Počítačová analýza obrazu

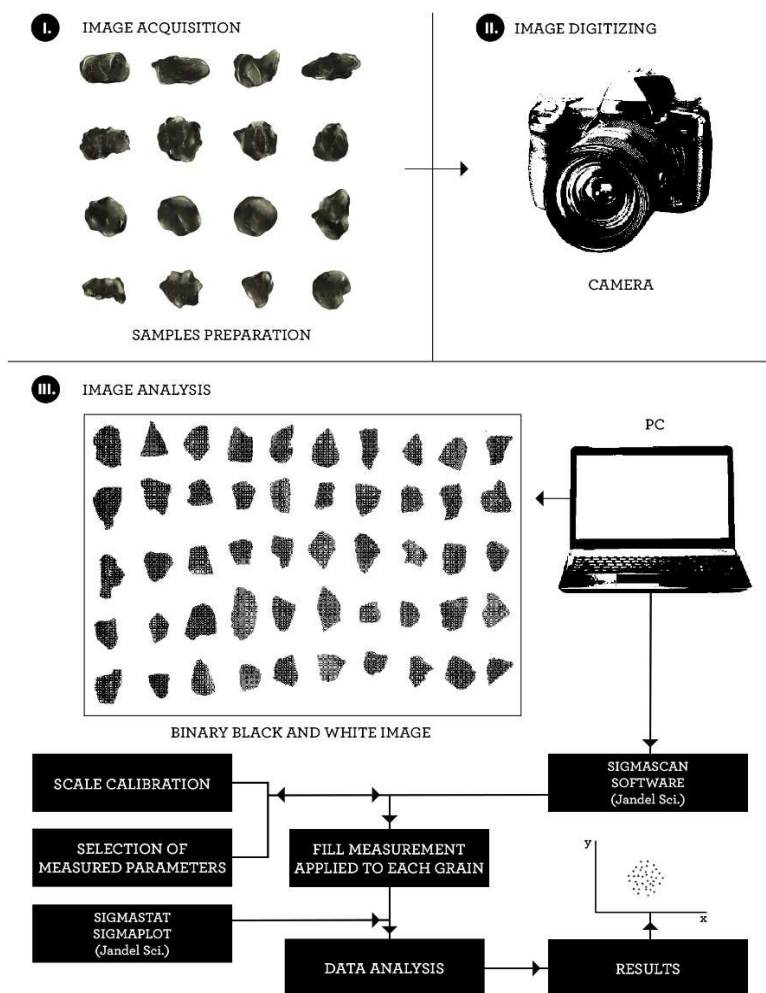
Počítačová analýza obrazu kameniva prováděná v software SIGMASCAN Pro (JandelScientific, USA) se zaměřila na zjištění hlavních parametrů použitých v této práci a to na délku dlouhé a krátké osy (Přikryl 2006) a tvarový faktor (angl. shape factor, form factor) SF (Přikryl 2006, Kuo et al. 1998), který je definován vztahem:

$$SF = \frac{4 \cdot \pi \cdot A_i}{L_p^2} \quad (4.8),$$

kde A_i je plocha průřezu zrna, reprezentovaná počtem pixelů uvnitř měřeného objektu a L_p je obvod zrna, který představuje délku všech krajních pixelů uvnitř objektu.

Z odebraného vzorku frakce kameniva z výroby byl vybrán dílčí reprezentativní vzorek obsahující min. 150 zrn kameniva. Vybraná zrna byla systematicky narovnána na podložku nejprve orientovaná v poloze x-y (dlouhá osa směřující svisle a střední osa vodorovně) a po vyfotografování bylo každé zrno otočeno o 90° tak, aby bylo možné pořídít fotografii v poloze x-z (vodorovná orientace nejkratší

osy). U každého zrna bylo známo pořadí, aby k sobě byly vzájemně přiřaditelné polohy x-y a x-z. Všechny fotografie byly vyhodnoceny pomocí počítačové analýzy obrazu a pro každé zrn bylo stanovena délka nejdelší, střední a krátké osy. Stejný postup (Obr. 4.6) byl proveden při provedení tvaru zrn u jedné z frakcí produktu laboratorního drcení.



Obr. 4.6. Schéma postupu počítačové analýzy obrazu částic kameniva.

4.5. Technologické zkoušky mechanické odolnosti

4.5.1. Los Angeles

Metodou se stanovuje odolnost kameniva vůči působícímu silovému namáhání a je pokládána za jednu ze základních metod stanovení mechanické odolnosti kameniva (McNally 1998).

Celkový vzorek frakce kameniva 10/14 hmotnosti 15 kg, u něž musí být propad sítím 12,5 mm 60-70 % nebo propad sítím 11,2 30-40 %, se rozdělil na 2 frakce 10/11,2 a 11,2/14, propral se a po vysušení se připravila zkušební navážka 5 kg podle ČSN EN 1097-2. Navážka se umístila spolu s 11 ocelovými koulemi (průměru 45-49 mm a hmotnosti 400-445 g, celková hmotnost koulí 4690-4860 g) do otlukového bubnu (Obr. 4.7) a vystavila se celkovému počtu 500 otáček (rychlost 31-33 otáček za minutu). Po skončení zkoušky se materiál vyjmul a vytřídil, přičemž se stanovil zůstatek na síti 1,6 mm. Součinitel odolnosti proti drcení metodou Los Angeles se vypočetl pomocí vztahu:

$$LA = \frac{5000 - m}{50} \quad (4.9),$$

kde m je hmotnost zůstatku na síti 1,6 mm.

Výše popsany zkušební postup je modifikací platných amerických zkušebních norem ASTM C131 - 06 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine a ASTM C535 - 09 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. První uvedená norma je určena pro zkoušení kameniva se zrny menšími než 37,5 mm a druhá norma je pro zkoušení kameniva se zrny většími než 19 mm. Podle norem ASTM lze zkoušet různé frakce, podobně jako tomu bylo u dnes již zrušené normy ČSN, nahrazené evropskou normou, která připouští zkoušení pouze frakce kameniva 10/14 a pro kolejové lože 31,5/50. Mírně odlišný je rovněž způsob vyhodnocení, protože hranice třídění je 1,7 mm, nikoliv 1,6 mm, jak je tomu u evropských norem. Z tohoto je patrné, že výsledky součinitele odolnosti proti drčení metodou Los Angeles získané podle amerických nebo evropských postupů nelze věrohodně porovnávat. Mimo EU provádí zkoušky odolnosti proti drčení metodou Los Angeles většina zemí podle předpisů ASTM.



Obr. 4.7. Buben zařízení Los Angeles se vzorkem a koulemi po zkoušce.

4.5.2. Drtitelnost v rázu

Metodou se stanovuje odolnost kameniva vůči působícímu dynamickému rázu s největší aplikovatelností na kamenivo pro kolejová lože, kde se provádí na frakci 31,50 až 40. Zkouška se provádí podle české technické normy ČSN EN 1097-2, Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 2: Metody pro stanovení odolnosti proti drčení, kapitola 6 a příslušné přílohy této normy.

Vzhledem k tomu, že na některých lokalitách se nevyrábí kamenivo pro kolejová lože frakce 32/63, ze které by se dala připravit navážka ke zkoušce, bylo třeba přistoupit ke druhé variantě zkoušení na frakci 8/12,5.

Celkový vzorek frakce kameniva 8/12,5, sestávající se z 50 % 8/10, 25 % 10/11,2 a 25 % 11/2/12,5, jehož množství závisí na objemové hmotnosti zrn, se rozdělil na 3 dílčí navážky. Každá z nich se podrobila deseti úderům beranu z výšky 370 mm ve zkušebním padostroji vykonávající sílu rázu odpovídající 830 ± 60 kN (Obr. 4.8). Výsledná míra podrcení se poté vyhodnotila síťovým rozborem

na sadě 5 zkušebních sít (0,2 mm, 0,63 mm, 2 mm, 5 mm a 8 mm). Hodnota odolnosti proti drcení rázem (též drtitelnost rázem) SZ se vypočítá ze součtu procentuálně vyjádřených hmotností propadů na příslušných zkušebních sítích pomocí vztahu:

$$SZ = \frac{\frac{m_{p8}}{\sum m_p} \cdot 100 + \frac{m_{p5}}{\sum m_p} \cdot 100 + \frac{m_{p2}}{\sum m_p} \cdot 100 + \frac{m_{p0,63}}{\sum m_p} \cdot 100 + \frac{m_{p0,2}}{\sum m_p} \cdot 100}{5} \quad (4.10),$$

kde m_p je celková hmotnost zkušebního vzorku a m_{px} je zůstatek na síti po zkoušce.

Tento zkušební postup je modifikací starší britské normy BS812:1990, Part 112 Method for determination of aggregate impact value, která využívala stejné zrnění navážky, ale odlišné síto pro vyjádření úbytku. Propad na síti 2,36 mm se vztáhnul vůči původní hmotnosti a v procentním vyjádření poskytl hodnotu AIV.



Obr. 4.8. Příklad přístroje na zkoušku drtitelnosti v rázu.

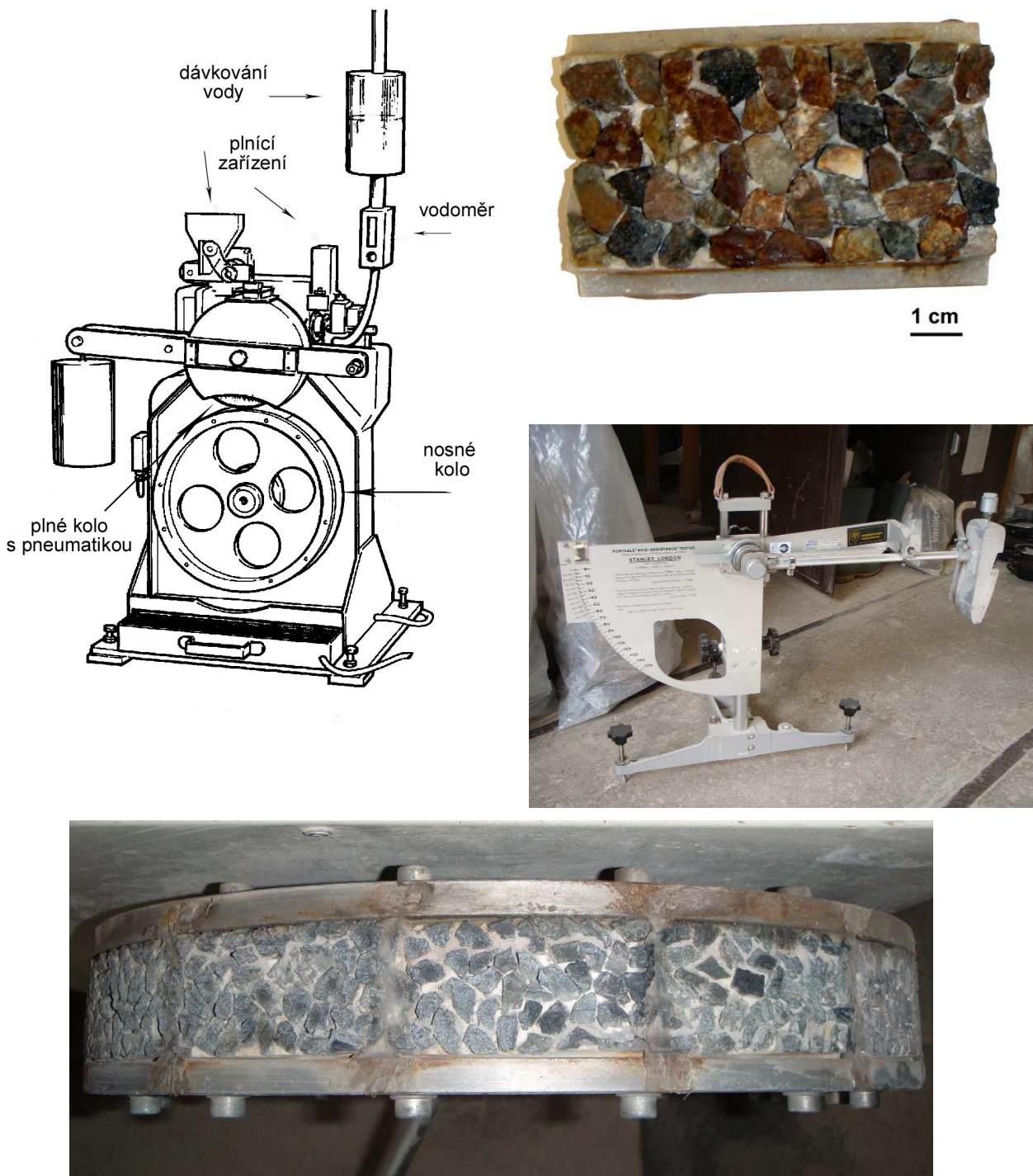
4.5.3. Ohladitelnost kameniva pomocí PSV

Zkouška odolnosti proti ohlazování povrchu vozovky působením kol aut stanovuje odolnost kameniva k ohlazení obrusné vrstvy vozovky pomocí přístroje na zrychlené ohlazování (Obr. 4.9). Zkouška simuluje působení pneumatik a příměsi abrazivních částic. Zkušební postup probíhal v souladu s postupem uvedeným v platné evropské normě ČSN EN 1097-8 Část 8: Stanovení hodnoty ohladitelnosti. Zkušební tělesa vyrobená slepením kameniva frakce 8/11 a pojiva (Obr. 4.9) se uchycená po obvodu nosného kola zkušebního zařízení (Obr. 4.9) roztočí na určitou dobu při konstantní rychlosti otáček za současného přitlačování pogumovaného kola a rovnoměrného přidávání vody a zrnitého smirku v určitém množství a zrnitosti. Po ohlazování zkušebních těles se provede zkouška třením pomocí zkušební kyvadla (Obr. 4.9). Měří se jak zkušební tělesa ze zkoušeného

kameniva, tak i zkušební těleso ze srovnávacího kameniva. Výsledkem je vypočítaná hodnota PSV zaokrouhlená na celé číslo ze vztahu:

$$PSV = S + 52,5 - C \quad (4.11),$$

kde S je průměrná hodnota čtyř zkušebních těles kameniva a C průměrná hodnota čtyř zkušebních těles PSV srovnávacího kameniva.



Obr. 4.9. Zařízení pro stanovení ohladitelnosti: přístroj na ohlazování kameniva (vlevo nahoře), zkušební těleso (vpravo nahoře), zkušební kyvadlo (vpravo uprostřed), zkušební tělesa upevněná v nosném kole (dole).

4.5.4. Odolnost proti obrusu pneumatikami s hroty

Metodou se stanovuje odolnost kameniva proti působícímu silovému namáhání, otluku, otěru a obrusu jak mezi zrny kameniva navzájem, tak mezi zrny kameniva a mlecími koulemi nebo stěnami zkušebního zařízení (bubnu) ve vodním prostředí (Obr. 4.10). Tato zkouška je požadována v severských zemích (Norsko, Švédsko, Finsko, Island), kde se během zimního období používají pneumatiky s hroty, které u málo odolných hornin způsobují nerovnosti povrchu vozovek. Zkouška je určena pro simulaci obrusné činnosti pneumatik s hroty na hrubé kamenivo, používané do obrusných vrstev vozovek a rovněž ukazuje celkovou mechanickou odolnost kameniva ve stavu úplného nasycení vodou. V České republice a většině evropských zemí není tato zkouška vyžadována, proto se běžně neprovádí.



Obr. 4.10. Zařízení pro zkoušení obrusnosti pneumatikami s hroty.

Zkouška byla prováděna podle postupu uvedeného v evropské normě EN 1097-9, Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 9: Stanovení odolnosti proti obrusu pneumatikami s hroty – Nordická zkouška.

Laboratorní vzorek zrn kameniva o velikosti 11,2/16, u kterého se požaduje propad sítím 14 mm 65 %, musí mít dostatečnou hmotnost, aby postačoval k přípravě 4 dílčích navážek. Vzorek se propere a po vysušení se připraví zkušební navážka o hmotnosti M_1 podle vztahu:

$$M_1 = 1000 \cdot \frac{\rho_b}{2,65} \pm 5 \quad (4.12),$$

kde M_1 je počáteční hmotnost vysušené hmotnosti dílčí navážky v gramech a ρ_b je objemová hmotnost v g/cm^3 .

Dílčí navážka se vloží do válce spolu s ocelovými kuličkami o průměru 15 mm, o celkové hmotnosti 7 kg a přidají se 2 l vody. Zkušební válec, vybavený 3 zarážkami, se nechá otáčet rychlostí 90 ± 3 otáčky za minutu s celkovým počtem 5400 otáček. Po skončení zkoušky se materiál proseje (a promyje proudem vody) na sítích 14, 8 a 2 mm; zůstatky (Obr. 4.11) na těchto sítích se poté vysuší a zváží. Tzv. nordická hodnota obrusu (A_N) se vypočte pomocí vztahu:

$$A_N = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \cdot 100 \quad (4.13),$$

kde M_1 je počáteční hmotnost vysušené dílčí navážky a M_2 je hmotnost součtu vysušených zrn kameniva na sítích 14, 8 a 2 mm zjištěná po obrušování.



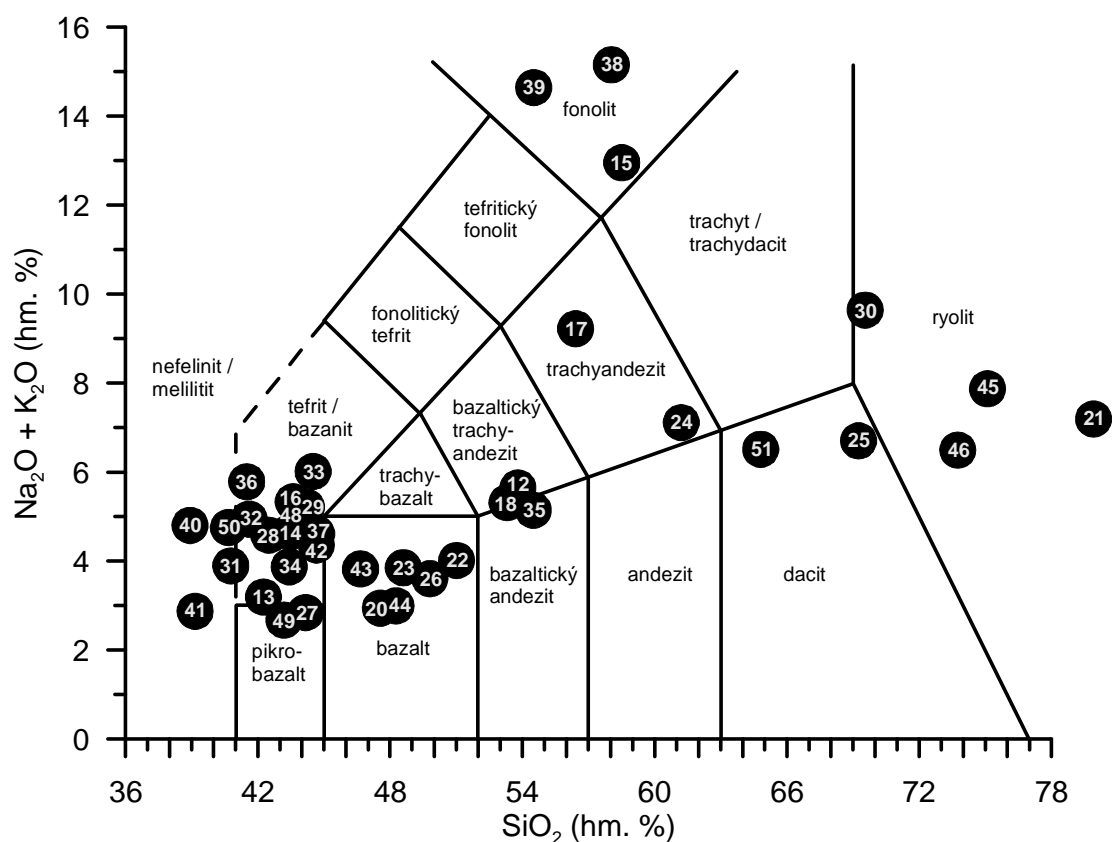
Obr. 4.11. Kamenivo po zkoušce obrusnosti pneumatikami s hroty.

5. VÝSLEDKY

5.1. Petrografické studium vulkanických hornin pro výrobu drceného kamene a jejich klasifikace

Výsledkem petrografického studia vulkanických hornin používaných pro výrobu drceného kamene je jejich začlenění v příslušném klasifikačním schématu jak na základě mineralogického složení (Tab. 5.1), tak pomocí zjištěného chemismu (Obr. 5.1). Kromě toho byly při makroskopickém a mikroskopickém studiu detailně popsány další potřebné údaje jako např. zastoupení jednotlivých horninotvorných složek, druh a velikost vyrostlic a texturní parametry zkoumaných hornin. Charakteristický vzhled hornin byl zdokumentován fotograficky (viz Příloha 1).

Třebaže jsou tyto údaje velmi cenné při detailní interpretaci technologických zkoušek (viz zejména kapitola 6 Diskuse), členění hornin do příliš velkého počtu typů (např. dle pozice v TAS diagramu) může způsobit potíže vzhledem k nízkému počtu členů v jednotlivých podskupinách nebo smícháním hornin s makroskopicky i mikroskopicky jasně odlišnými charakteristikami nebo rozdílným stářím a tudíž i postgenetickým vývojem (např. terciární bazalty vs. proterozoické spility). Z tohoto důvodu byly v základním rozčlenění zachovány, resp. modifikovány dříve používané názvy s následujícími členy: (1) skupina ryolitů / porfyrů, (2) skupina fonolitů, (3) skupina bazaltů *s.l.*, (4) skupina melafyrů a (5) skupina spilitů. I když jsou v tomto členění použity názvy, které moderní mezinárodní klasifikace (Le Maitre ed. 1989) řadí do kategorie „nedoporučeno používat“, v tomto případě je lze považovat spíše za petrograficko-technologické termíny, jejichž užití má v aplikovaně zaměřené práci svůj význam.



Obr. 5.1. Pozice studovaných vulkanických hornin v TAS diagramu (Le Bas et al. 1986, Le Maitre, ed. 1989) na základě provedených silikátových analýz. Čísla v diagramu odpovídají číselnému označení CZ pro jednotlivé lokality.

Tab. 5.1A. Petrografický popis hornin skupiny ryolit / porfyr. Fotografie kusového vzorku a mikrofotografie v procházejícím a polarizovaném světle (P1.1 až P1.4) jsou uvedeny v Příloze 1.

CZ	Lokalita	Barva	Velikost složek (mm)		Složení	Vyrůstlice		Textura / Stavba	Další znaky	Petrografické zařazení	
			25-75%	Matrix		Minerál	Vel. (mm)			IUGS	zař dle TAS
30	Královec	šedorůžová až nařialovělá	0,2-0,6	0,05	K-živce (32), plagioklas - oligoklas (29), křemen (30), ruda – limonit (8), akc. biotit, apatit, zirkon (1)	živce	1	Textura makroskopicky všesměrná. Struktura drobně porfyrická s felzitickou základní hmotou	Značně nepravidelně rozpukaný (cca 1 mm tloušťka), výplň křemen. Silné prostoupení železitým pigmentem.	ryolit	ryolit
46	Pňovany	modravě šedá s bílo rezavými skvrnami, místy rezavé povlaky	0,2-0,7	0,05	křemen (40), plagioklas - oligoklas(35), K-živce (15), biotit (6), akc. ruda, apatit, zirkon (4)	křemen, živce, biotit	3-5	Textura makroskopicky všesměrná. Struktura porfyrická (místy až nevaditická) s felzitickou základní hmotou.	Limonitové povlaky na puklinách, uvnitř hornina čerstvá. Živce postiženy sericitizací, biotit silně alterovaný.	granitový porfyr	ryolit
21	Těškov	světle šedo zeleno narůžovělá	0,2-0,5	0,02	křemen (46), K- živce (30), plagioklas – albit (19), biotit (4), akc. ruda, apatit, zirkon (1)	křemen, živce, biotit	2-4	Textura makroskopicky všesměrná. Struktura porfyrická (místy až nevaditická) s felzitickou základní hmotou.	Na puklinách rezavé limonitové povlaky, magmatická koroze křemene, zákaly živců i základní hmoty, biotit alterovaný.	ryolit	ryolit
45	Třebnuška	světle hnědá až béžová se světlými bílo růžovými skvrnami	0,1-0,6	0,01	křemen (35), K- živce (40), plagioklas – oligoklas (18), titanit (4), akc. ruda, apatit, zirkon (3)	křemen, živce, titanit	1-2	Textura makroskopicky všesměrná. Struktura porfyrická, nevaditická s felzitickou základní hmotou.	Na puklinách rezavé limonitové povlaky, magmatická koroze křemene, zákaly živců i základní hmoty, titanit psudomorfózy po biotitu.	ryolit	ryolit

Tab. 5.1B. Petrografický popis hornin skupiny fonolit. Fotografie kusového vzorku a mikrofotografie v procházejícím a polarizovaném světle (P1.5 až P1.7) jsou uvedeny v Příloze 1.

CZ	Lokalita	Barva	Velikost složek (mm)		Složení	Vyrůstlice		Textura / Stavba	Další znaky	Petrografické zařazení	
			25-75% kv	Matrix		Minerál	Vel. (mm)			IUGS	zař dle TAS
38	Chlum	světle šedá s nádechem do zelena	0,1-0,3	0,05-0,2	živec – sanidin (50), nefelin (20), pyroxen – egirin (15), sodalit (14), akc. titanit, kalcit (1)	sanidin, pyroxen, sodalit	0,5-2	Textura makroskopicky všesměrná, mikroskopicky mírně usměrněná. Struktura velmi drobně porfyrická s trachytickou základní hmotou.	Nepravidelné ojedinelé pukliny s bělavými povlaky (zeolity), sodalit místy alterován – zákaly středů.	sodalitický fonolit	fonolit
15	Mariánská Skála	světle šedá s nádechem do zelena	0,2-0,3	0,02-0,1	živec – sanidin (65), natrolit (15), pyroxen – egirinaugit (10), sodalit (5), akc. ruda, kalcit, titanit, apatit (5)	sanidin, pyroxen, sodalit	0,4-2	Textura makroskopicky všesměrná, mikroskopicky fluidální. Struktura velmi řídká a drobně porfyrická s trachytickou základní hmotou.	Totální alterace sodalitu, na puklinách kalcitové povlaky a žilky. Jehličkovitý natrolit v základní hmotě.	sodaliticko-natrolitický fonolit	fonolit
39	Tachov	středně šedá	0,2-0,4	0,05-0,2	živec - sanidin (63), hauyn (15), pyroxen – egirin (11), analcim (4), melanit (2), kalcit (2), rudní minerál (1), akc. titanit, apatit (2)	hauyen, pyroxen	0,4-2,5	Textura makroskopicky všesměrná, mikroskopicky fluidální. Struktura drobně porfyrická s prizmaticky zrnitou základní hmotou.	Hauyn tmavé lemy, často postižen rozkladem. Melanit drobná zna v základní hmotě. Kalcit sekundární, produkt přeměny hauyenu.	hauynický fonolit s melanitem	fonolit

Tab. 5.1C. Petrografický popis hornin skupiny bazalt s.l.. Fotografie kusového vzorku a mikrofotografie v procházejícím a polarizovaném světle (P1.8 až P1.25) jsou uvedeny v Příloze 1.

CZ	Lokalita	Barva	Velikost složek (mm)		Složení	Vyrůstlice		Textura / Stavba	Další znaky	Petrografické zařazení	
			25-75% kv	Matrix		Minerál	Vel. (mm)			IUGS	zař dle TAS
48	Bílčice	středně šedá	0,2-0,3	0,05-0,1	klinopyroxen (45), plagioklas – labradorit (35), olivín (10), ruda – magnetit (9), akc. apatit (1)	olivín pyroxen	0,6-4	Textura makroskopicky všesměrná. Struktura drobně porfyrická s pilotaxickou strukturou základní hmoty.	Olivín je bez známek serpentinizace, pyroxen bez alterací a limonitizace také není pozorována.	bazanit (olivínický bazalt)	tefrit - bazanit
14	Čísařský	černošedá	0,1-0,2	0,02-0,1	klinopyroxen (47), plagioklas - labradorit (25), olivín (9), nefelin (8), ruda – magnetit (10), akc. apatit (1)	olivín, pyroxen, plagioklas	0,8 - 3	Textura makroskopicky všesměrná. Struktura porfyrická s afanitickou strukturou základní hmoty.	Olivín je vesměs serpentinizován a jen jako vyrůstlice. Na ojedinělých puklinách limonitové a kalcitové povlaky.	nefelinický bazanit	tefrit - bazanit
37	Číhaná	tmavě šedá až černošedá	0,2-0,4	0,05-0,1	klinopyroxen (47), olivín (18), plagioklas - labradorit (15), nefelin (11), ruda – magnetit (8), akc. apatit (1)	olivín, pyroxen	0,8-1,6	Textura makroskopicky všesměrná. Struktura drobně porfyrická s mikrokrytalickou strukturou základní hmoty.	Olivín mírně serpentinizován a výskyt jen jako vyrůstlice. Na puklinách limonitové povlaky.	nefelinický tefrit	tefrit - bazanit
41	Děpoltovice	tmavě šedá až černošedá	0,3-0,5	0,1-0,2	klinopyroxen (64), sodalit (15), nefelin (10), ruda - magnetit (10), akc. apatit (1)	pyroxen	1,2-4	Textura makroskopicky všesměrná. Struktura drobně porfyrická s mikrokrytalickou strukturou základní hmoty.	Pyroxen je bez známek alterace. Na okrajích rudního minerálu se často projevuje limonitová alterace.	sodalitický nefelinit	nefelinit - melilit
28	Dobkovičky	černo šedá	0,1-0,15	0,05-0,1	klinopyroxen (44), plagioklas - labradorit (25), olivín (10), nefelin (9), ruda – magnetit (11), akc. apatit (1)	pyroxen olivín	0,8-3	Textura makroskopicky všesměrná. Struktura řídké porfyrická s hemikrytalickou strukturou základní hmoty.	Olivín je vesměs serpentinizován a jen jako vyrůstlice. Na ojedinělých puklinách limonitové a kalcitové povlaky.	nefelinický bazanit	tefrit - bazanit
27	Dolánky	černo šedá	0,2-0,8	0,02-0,1	klinopyroxen (50), plagioklas - labradorit (19), olivín (10), nefelin (16), ruda – magnetit (4), akc. apatit (1)	pyroxen	1-3,5	Textura makroskopicky všesměrná. Struktura drobně porfyrická s hemikrytalickou strukturou základní hmoty.	Na ojedinělých puklinách limonitové, kalcitové, ale zejména zeolitové povlaky – též výplň dutinek.	nefelinický bazanit	pikrobazalt

40	Horní Tašovice	tmavě šedá až černošedá	0,4-0,6	0,05-0,08	pyroxen – augit (65), nefelin (23), ruda – magnetit (11), akc. – apatit (1)	pyroxen	0,4-1	Textura makroskopicky všesměrná. Struktura velmi drobně porfyrická s hemikrystalickou strukturou základní hmoty.	Je možné pozorovat lehké fluidální uspořádání. Na puklinách limonitové povlaky.	nefelinit	nefelinit - melilitit
33	Chraberce	tmavě šedá až černošedá	0,4-0,6	0,05-0,08	klinopyroxen (40), plagioklas - labradorit (32), olivín (10), nefelin (9), ruda – magnetit (8), akc. apatit (1)	olivín, pyroxen	0,4-2	Textura makroskopicky všesměrná, náznak fluidálnosti. Struktura drobně porfyrická s hemikrystalickou strukturou základní hmoty.	Olivín dílčí serpentinizace a výskyt jen jako vyrostlice. Na puklinách limonitové a kalcitové povlaky.	nefelinický bazanit	tefrit - bazanit
13	Krásný Les	modravě černo šedá	0,8-1,2	0,05-0,1	klinopyroxen (45), analcim (32), olivín (15), ruda – magnetit (8)	olivín pyroxen	1-3	Textura makroskopicky všesměrná. Struktura porfyrická až nevaditická s hemikrystalickou strukturou základní hmoty.	Olivín je zcela iddingsitizován a vystupuje pouze v podobě vyrostlic. Na puklinách povlaky limonitu.	olivinický analcimit	pikrobazalt
50	Libá	tmavě šedá až černo šedá	0,1-0,6	0,05 – 0,1	klinopyroxen (51), nefelin (28), magnetit (11), olivín (10)	pyroxen olivín	0,8-3	Textura makroskopicky všesměrná. Struktura drobně porfyrická s hemikrystalickou strukturou základní hmoty.	Olivín částečně serpentinizovaný a výskyt jen jako vyrostlice. Na puklinách limonitové a kalcitové povlaky.	olivinický nefelinit	nefelinit - melilitit
29	Libochovany	tmavošedá až černošedá	0,1-0,2	0,05-0,1	klinopyroxen (40), plagioklas - labradorit (32), olivín (10), nefelin (9), ruda – magnetit (8), akc. apatit (1)	olivín, pyroxen, plagioklas	1-6	Textura makroskopicky všesměrná. Struktura řídké porfyrická s hemikrystalickou strukturou základní hmoty.	Olivín je vesměs serpentinizován a jen jako vyrostlice. Na puklinách limonitové a kalcitové výplně, povlaky a skvrny.	nefelinický bazanit	tefrit - bazanit
32	Měřunice	tmavě šedá	0,1-0,2	0,05-0,1	pyroxen – augit (42), nefelin (30), olivín (16), ruda – magnetit (9), kalcit (2), akc. apatit (1)	olivín, pyroxen	0,5-1,5	Textura makroskopicky všesměrná. Struktura velmi drobně porfyrická s hemikrystalickou strukturou základní hmoty.	Olivín je mírně serpentinizován, a jen jako vyrostlice. Na puklinách kalcitové povlaky.	olivinický nefelinit	tefrit - bazanit

36	Mokrá	tmavě šedá až černošedá	0,2-0,3	0,05-0,1	klinopyroxen (60), nefelin (20), ruda – magnetit (9), analcim (7), zeolit (3), akc. apatit (1)	pyroxen	0,5-3	Textura makroskopicky všesměrná. Struktura drobně porfyrická s mikrokrytalickou až hemikrytalickou strukturou základní hmoty.	Ojedinelé pukliny s povlakem nažloutlého zeolitu a limonitu.	analcimický nefelinit	tefrit - bazanit
34	Smrčí	tmavě šedá	0,1-0,2	0,05-0,1	klinopyroxen (55), olivín (20), plagioklas - labradorit (10), ruda – magnetit (9), sklo (5), akc. apatit (1)	olivín pyroxen	0,6-4	Textura makroskopicky všesměrná. Struktura drobně porfyrická s mikrokrytalickou až hemikrytalickou strukturou základní hmoty.	Olivín je velmi hojný a často v hornině vytváří kulovité shluky až 5 cm. Nerovné pukliny mají bělavé a žlutavé povlaky.	bazanit (olivínický bazalt)	tefrit - bazanit
16	Těchlovice	tmavě šedá	0,1-0,4	0,05-0,1	klinopyroxen (45), nefelin (30), olivín (10), ruda – magnetit (12), kalcit (2), akc. apatit (1)	olivín, nefelín, pyroxen	1,2-4	Textura makroskopicky všesměrná. Struktura porfyrická až nevaditická s hemikrytalickou strukturou základní hmoty.	Olivín je serpentizován, místy úplně a jen jako vyrostlice. Na puklinách kalcitové povlaky.	olivínický nefelinit	tefrit - bazanit
42	Úhoštany	černošedá	0,2-0,4	0,02-0,1	klinopyroxen (52), sklo (22), olivín (4), nefelin (11), ruda – magnetit (10), akc. apatit (1)	pyroxen olivín	5-9	Textura makroskopicky všesměrná. Struktura bohatě porfyrická s hemikrytalickou strukturou základní hmoty.	Olivín téměř bez serpentizace, výskyt jen jako vyrostlice. Na puklinách limonitové povlaky.	nefelínický sklovitý bazanit	tefrit - bazanit
31	Všeclapy	černo šedá	0,4-0,8	0,05-0,1	klinopyroxen (58), nefelin (21), olivín (14), ruda – magnetit (6), akc. apatit (1)	olivín pyroxen	0,8-2	Textura makroskopicky všesměrná. Struktura velmi porfyrická s hemikrytalickou strukturou základní hmoty.	Olivín nejen jako vyrostlice, ale i v základní hmotě, je patrná serpentizace. Mírné povlaky limonitu.	olivínický nefelinit	nefelinit - melilitit
49	Žandov	černošedá	0,8-1,2	0,05-0,1	klinopyroxen – augit (45), plagioklas - labradorit (20), olivín (10), nefelin (8), ruda – magnetit (11), sklo (5), akc. apatit (1)	olivín, pyroxen	1,6-6	Textura makroskopicky všesměrná. Struktura drobně porfyrická s hemikrytalickou až pilotaxickou strukturou základní hmoty.	Olivín částečně serpentizovaný a výskyt jen jako vyrostlice. Na puklinách limonitové a kalcitové povlaky.	nefelínický bazanit	pikrobazalt

Tab. 5.1D. Petrografický popis hornin skupiny spilit. Fotografie kusového vzorku a mikrofotografie v procházejícím a polarizovaném světle (P1.26 až P1.32) jsou uvedeny v Příloze 1.

CZ	Lokalita	Barva	Velikost složek (mm)		Složení	Vyrůstlice		Textura / Stavba	Další znaky	Petrografické zařazení	
			25-75% kv	Matrix		Minerál	Vel. (mm)			IUGS	zař dle TAS
22	Čenkov	nazelenale tmavě šedá	0,1-0,3	0,02-0,3	plagioklas – albit (32), aktinolit (36), chlorit (16), epidot (7), kalcit (6), ruda - ilmenit (3)	plagioklas, epidot	0,5-2	Textura makroskopicky všesměrná až mírně břidličnatá. Struktura porfyrická se základní hmotou mikrofibroblastickou.	Drobné hojné pukliny vyplněné kalcitem. Saussuritizace plagioklasu, ilmenit leukoxenitizován	spilit metabazalt	bazalt
43	Litice u Plzně	nazelenale tmavě šedá	0,2-0,4	0,02-0,3	plagioklas – albit (38), epidot (23), aktinolit (13), chlorit (11), leukoxen (8), kalcit (4), rudní minerál (3)	epidot plagioklas	0,5-2	Textura makroskopicky všesměrná až břidličnatá Struktura apoporfyrická se spilitickou až variolitickou strukturou základní hmoty.	Živec tvoří sférolitické shlukování, Kalcit vytváří impregnace a trhlínové výplně.	spilit metabazalt blížící se zelené břidlici	bazalt
47	Mítov	nazelenale světle šedá	0,4-0,8	0,1-0,6	plagioklas – albit (38), pyroxen - augit (30), chlorit (13), amfibol - aktinolit (12), ruda (5), ilmenit + leukoxen (2)	plagioklas, pyroxen	2 - 3	Textura makroskopicky všesměrná. Struktura apofitická, velmi řídké porfyrická.	Kalcit, limonit a křemen vyplňují sekundární žilky.	spilit metabazalt	-
26	Sýkořice	nazelenale tmavě šedá	0,2-0,4	0,02-0,3	plagioklas – albit (43), pyroxen (36), chlorit (14), leukoxen (4), ruda – pyrit (3)	pyroxen, pyrit	0,5-2	Textura makroskopicky všesměrná, brekciovitá Struktura apointersertální.	Výplň žilek tvoří směs křemene, albitu, chloritu a pyroxenu. Na puklinách povlaky kalcitu. Px alterovaný.	brekciovitý spilit metabazalt	bazalt
20	Trnčí	nazelenale světle šedá	0,1-0,2	0,01-0,2	živec – albit (35), amfibol – aktinolit (28), chlorit (13), epidot (10), leukoxen (5), kalcit (4), křemen (3), ruda – pyrhotin (2)	amfibol	0,5-1,5	Textura makroskopicky všesměrná až mírně břidličnatá a brekciovitá. Struktura se základní hmotou mikrofibroblastickou.	Živec saussuritizován, shlukování do sférolitických útvarů. Žilky vyplněné chloritem, křemenem a kalcitem.	spilit metabazalt	bazalt
44	Zahrádka	nazelenale tmavě šedá	0,2-0,4	0,02-0,3	plagioklas – albit (45), amfibol - aktinolit (25), epidot (13), chlorit (9), kalcit (6), rudní minerál - pyrit (2)	plagioklas	0,5-1	Textura makroskopicky všesměrná, místy brekciovitá. Struktura afanitická až variolitická.	Výplň žilek tvoří epidot a kalcit. Podružný kalcit tvoří kromě výplně žilek i sférolity. Pyroxen alterovaný.	spilit metabazalt	bazalt
25	Zbraslav	nazelenale tmavě šedá	0,1-0,4	0,02-0,3	plagioklas – albit (54), pyroxen (9), chlorit (25), křemen (6), leukoxen - ilmenit, pyrit (4), kalcit (1), akc. apatit (1)	plagioklas	0,5-1,5	Textura makroskopicky všesměrná, místy páskovaná. Struktura ofitická až spilitická.	Pukliny s tenkými povlaky kalcitu. Plagioklas saussiritizován.	Spilit (metabazalt) až albitizovaný dacit	dacit

Tab. 5.1E. Petrografický popis hornin skupiny melafyr / diabas. Fotografie kusového vzorku a mikrofotografie v procházejícím a polarizovaném světle (P1.33 až P1.40) jsou uvedeny v Příloze 1.

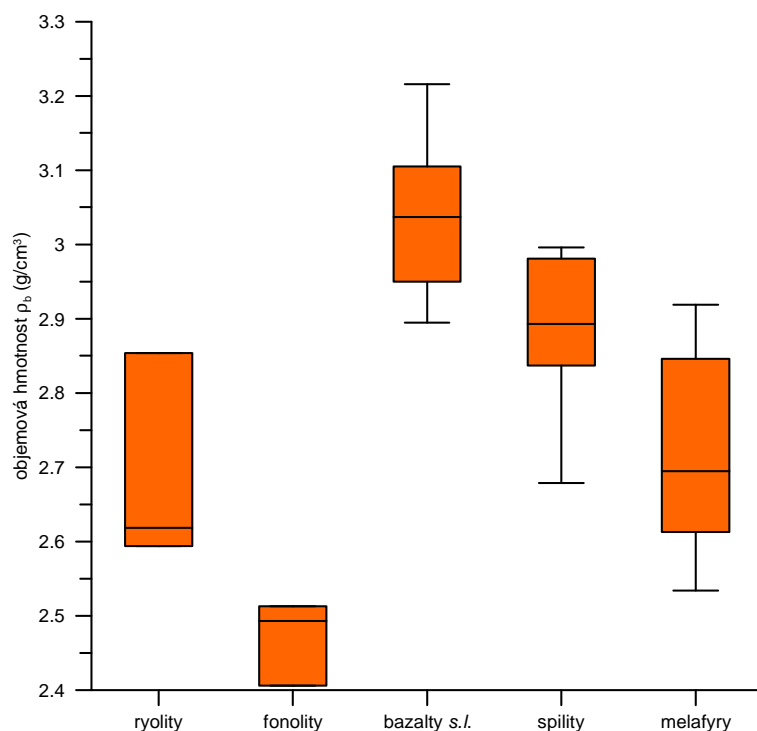
CZ	Lokalita	Barva	Velikost složek (mm)		Složení	Vyrůstlice		Textura / Stavba	Další znaky	Petrografické zařazení	
			25-75% kv	Matrix		Minerál	Vel. (mm)			IUGS	zař dle TAS
17	Babí	tmavě šedá místy pokrytá červenohnědými povlaky	0,05-0,3	0,02-0,08	plagioklas – labradorit + draselný živec (53), pyroxen (17), chlorit (12), ruda (10), kalcit (5), křemen (2), akc. (1)	křemen živce pyroxen	0,3-1,5	Textura makroskopicky všesměrná. Struktura velmi drobně porfyrická, ofitická s trachytickou základní hmotou.	Mikroskopicky náznakově fluidální. Křemen ojediněle vyrůstlice, kalcit tvoří povlaky, hojně limonitové povlaky.	trachy- andezit	trachy- andezit
35	Bezděčín	tmavě nafialověle červeno hnědá se zelenými povlaky	0,4-0,6	0,1-0,2	plagioklas (49), pyroxen (26), ruda (11), kalcit (5), vulk sklo (3), křemen (2), olivín (3), akc. apatit (1)	mandle plagioklas	1,6-6	Textura makroskopicky amygdaloidní. Struktura ofitická až intersertální.	Četné dutiny sekundárně vyplněné kalcitem, chloritem a křemenem. Žilky vyplněné kalcitem. Olivín alterován na serpentín a z částí na kalcit.	bazaltický andezit	bazaltický trachy- andezit
18	Doubravice	červeno hnědá	0,4-0,6	0,1-0,2	plagioklas (43), chlorit (20), klinopyroxen (27), kalcit (5), železitý pigment (3), rudní minerál (2)	mandle plagioklas	0,8-3	Textura makroskopicky všesměrná až amygdaloidní. Struktura intersertální až ofitická.	četné dutiny sekundárně vyplněné kalcitem, chloritem a křemenem Výrazná Fe pigmentace a chloritizace.	bazaltický andezit	bazaltický trachy- andezit
23	Chrtníky	tmavě šedozeleňá	0,8-1,6	0,8-1,6	plagioklas (45), pyroxen (39), chlorit (8), ruda - pyrhotin (5), epidot (3)	plagioklas, pyroxen, pyrhotin	1,6-3	Textura makroskopicky všesměrná. Struktura hrubě poikilofitická.	Saussuritizace živců silná, chloritizace a uralitizace pyroxenu. Místy pukliny vyplněné povlaky kalcitu.	dolerit - diabas	bazalt
12	Košťálov	černošedá	0,2-1,8	0,2-1,8	plagioklas – labradorit (48), pyroxen: cpx (32) + opx (4), chlorit (12), ruda ilmenit (7), akc. apatit (1)	plagioklas pyroxen	0,5-3,5	Textura makroskopicky všesměrná. Struktura poikilofitická.	Na puklinách chloritové povlaky, mafity (opx) výrazně chloritizované.	bazaltický andezit	bazaltický trachy- andezit
24	Rožmitál	červeno hnědá	0,3-0,7	0,1-0,2	plagioklas – andezin (60), pyroxen (24), ruda (14), akc. apatit (1)	plagioklas	0,5-2	Textura makroskopicky všesměrná. Struktura drobně porfyrická s trachytickou zákl.hm.	Ruda se vyskytuje zejména v podobě železitého pigmentu.	bazaltický trachy- andezit	trachy- andezit
19	Studenec	červeno hnědá	0,4-0,6	0,1-0,2	plagioklas (55), chlorit (20), klinopyroxen (13), kalcit (5), želez. pigment (5), rudní minerál (2)	mandle plagioklas	0,8-1,5	Textura makroskopicky všesměrná až amygdaloidní. Struktura intersertální.	Četné dutiny sekundárně vyplněné kalcitem, chloritem a křemenem. Výrazná Fe pigmentace a chloritizace.	bazaltický andezit	-
51	Zaječov	nafialově červeno hnědá	0,1-0,3	0,02-0,08	plagioklas (35), pyroxen (16), rudní minerál (10), sklo (8), křemen (16), chlorit (15)	mandle velmi malých rozměrů	0,4-0,6	Textura makroskopicky všesměrná, místy amygdaloidní. Struktura apointersertální ofitická.	Žilky vyplněné křemenem, silná alterace živce a chloritizace pyroxenů. Velmi drobné mandle vyplňuje chlorit a křemen.	diabas	dacit

5.2. Fyzikální vlastnosti kameniva

5.2.1. Objemová hmotnost

Objemová hmotnost zrn kameniva byla u všech vulkanických hornin stanovena jako aritmetický průměr naměřených hodnot vzorku ze čtyř stanovení (podrobný přehled viz Příloha 2). Průměrné hodnoty objemové hmotnosti zrn kameniva se pohybují v rozsahu od maximální hodnoty u sodalitického nefelinitu z Děpoltovic $3,216 \text{ g/cm}^3$ do minimální hodnoty $2,406 \text{ g/cm}^3$ u fonolitu z Mariánské skály (Tab. 5.2). Obecně nejvyšších hodnot objemové hmotnosti dosahují horniny skupiny bazaltu a nejnižší hodnoty vykazují horniny ze skupiny fonolitu (Obr. 5.2).

Ve skupině ryolit / porfyr dosahuje nejvyšší hodnoty granitový porfyr a ostatní tři ryolity mají hodnotu objemové hmotnosti v podstatě stejnou. Vůči ostatním horninovým skupinám mají po fonolitech, u kterých jsou objemové hmotnosti taktéž velmi podobné, hodnoty druhé nejnižší. Skupina bazaltů dosahuje nejvyšších hodnot objemové hmotnosti, přičemž nejnižší hodnota nefelinického bazaltu činí $2,895 \text{ g/cm}^3$ a oproti ostatním horninovým skupinám patří mezi ty nejvyšší. Stejně hodnoty nebo mírně vyšší než nejnižší hodnoty u bazaltů vykazují spilitové horniny, které podle chemického složení spadají mezi bazalty. Výjimkou je pouze objemová hmotnost $2,679 \text{ g/cm}^3$, která náleží lokalitě Zbraslav, která spadá podle chemického složení do dacitů. Nejrůznorodější skupinu tvoří melafyrové a diabasové horniny, které mají rozptýl hodnot objemové hmotnosti od $2,534 \text{ g/cm}^3$ bazaltického andezitu do $2,919 \text{ g/cm}^3$, která náleží doleritu.

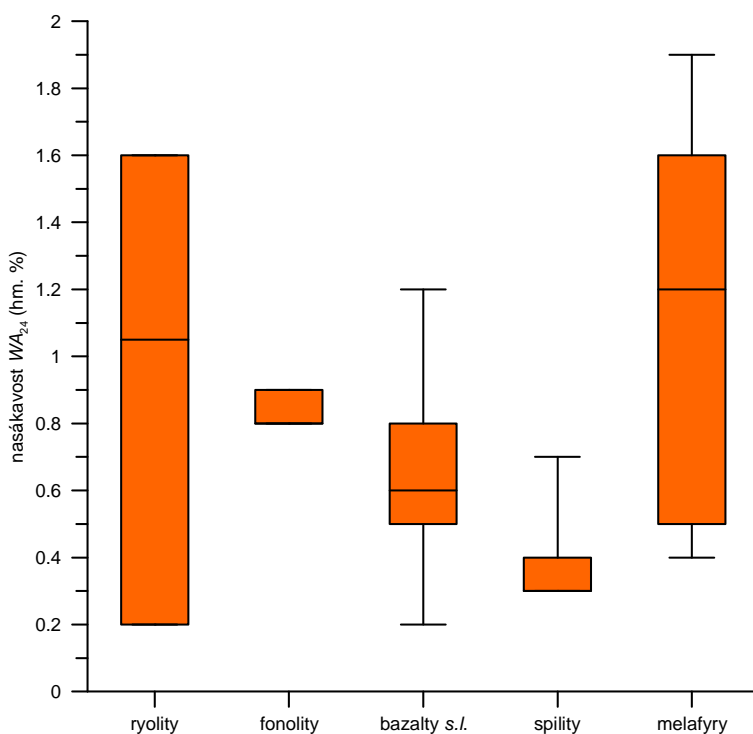


Obr. 5.2. Rozsah hodnot objemové hmotnosti kameniva pro jednotlivé petrograficko-technologické skupiny studovaných vulkanických hornin.

5.2.2. Nasákavost

Nasákavost horniny za atmosférického tlaku byla u všech vulkanických hornin stanovena jako aritmetický průměr naměřených hodnot vzorku ze čtyř stanovení (podrobný přehled viz Příloha 3). Průměrné hodnoty nasákavostí hornin za atmosférického tlaku se pohybují v rozsahu od maximální hodnoty u bazaltického andezitu z Bezděčína 1,9 hm. % do minimální hodnoty 0,2 hm. % u olivinického nefelinitu z Libé a granitového porfyru z Pňovan (Tab. 5.2). Obecně nejvyšších hodnot nasákavosti za atmosférického tlaku dosahují horniny ze skupiny melafyrů a nejnižší hodnoty vykazují horniny ze skupiny spilitu (Obr. 5.3).

Ve skupině ryolit / porfyr dosahuje nejvyšší hodnoty nasákavosti ryolit s nejnižší objemovou hmotností a nejnižší hodnoty granitový porfyr. U skupiny bazaltů jsou hodnoty nasákavosti průměrně kolem 0,6 hm. %, přičemž nejnižší hodnota 0,2 % u olivinického nefelinitu je ojedinělá. Fonolity se vzhledem k nasákavosti od sebe navzájem nijak neliší stejně jako u objemové hmotnosti. Nejnižší hodnoty nasákavosti, které nepřesahují 0,4 hm. % vykazují spilitové horniny, které podle chemického složení spadají mezi bazalty až na výjimku 0,7 hm. % u lokality Zbraslav, která spadá podle chemického složení mezi dacity. Nejvyšší hodnoty byly zjištěny u hornin ze skupiny melafyr / diabas, které mají rozptyl hodnot nasákavosti od 1,9 hm. % u bazaltického andezitu do 0,4 hm. % u diabasu.

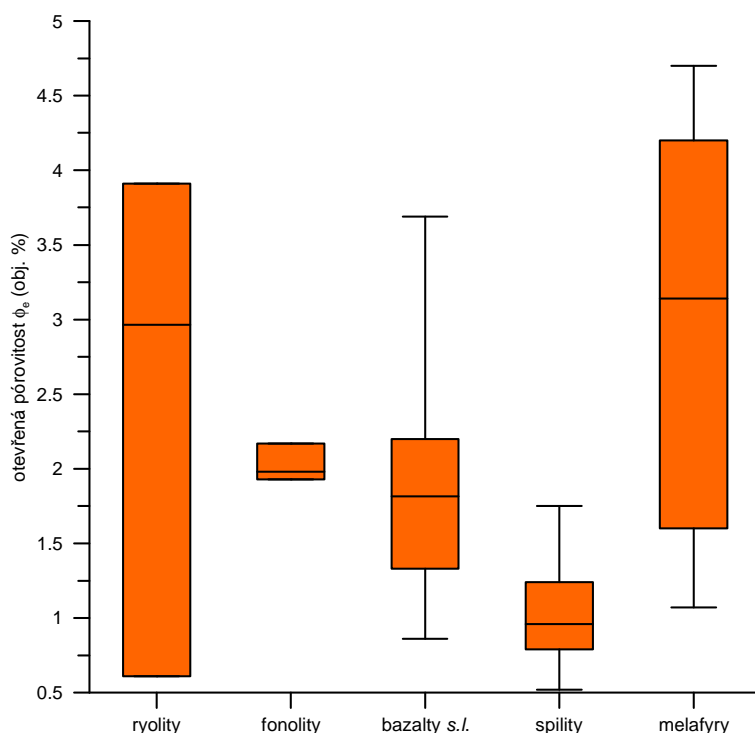


Obr. 5.3. Rozsah hodnot nasákavosti kameniva za atmosférického tlaku pro jednotlivé petrograficko-technologické skupiny studovaných vulkanických hornin.

5.2.3. Otevřená pórovitost

Otevřená pórovitost kameniva byla u všech vulkanických hornin stanovena jako aritmetický průměr ze čtyř hodnot vypočítaných z údajů vážení pro objemovou hmotnost zrn kameniva a nasákavost za atmosférického tlaku (podrobný přehled viz Příloha 4). Průměrné hodnoty otevřené pórovitosti se pohybují v rozsahu od maximální u bazaltického andezitu z Bezděčína 4,70 obj. % do minimální hodnoty 0,52 obj. % u spilitu z Trnčí (Tab. 5.2). Obecně nejvyšších hodnot otevřené pórovitosti dosahují horniny skupiny melafyru i část ryolitů, nejnižší hodnoty vykazují horniny ze skupiny spilitu, fonolitu a větší části bazaltů (Obr. 5.4).

Ve skupině ryolit / porfyr dosahuje nejvyšší hodnoty otevřené pórovitosti, stejně jako u nasákavosti, ryolit s nejnižší objemovou hmotností a nejnižší hodnoty 0,61 % granitový porfyr, což je vůbec druhá nejnižší hodnota u všech zkoumaných hornin. U skupiny bazaltů jsou hodnoty otevřené pórovitosti ve velkém rozptylu od 0,86 % až do 3,69 a nelze jednoznačně vymezit, zda mají vyšší hodnoty nefelinity nebo bazanity. Otevřená pórovitost se u fonolitů od sebe navzájem nijak neliší a hodnoty jsou v porovnání s ostatními horninami průměrné. Obecně nejnižší hodnoty otevřené pórovitosti, které nepřesahují 1,24 % vykazují spilitové horniny, které podle chemického složení spadají mezi bazalty až na výjimku 1,75 % u lokality Zbraslav, která spadá podle chemického složení mezi dacity. Nejvyšší hodnoty otevřené pórovitosti byly zjištěny u melafyrů, které přesahují hodnotu 2,28 % a dvě lokality dosahují vůbec nejvyšších hodnot z celého naměřeného souboru. Oproti tomu diabasy ze společné skupiny melafyr / diabas mají hodnoty otevřené pórovitosti v porovnání s ostatními horninami blízkí se spíše nejnižším hodnotám.



Obr. 5.4. Rozsah hodnot otevřené pórovitosti kameniva pro jednotlivé petrograficko-technologické skupiny studovaných vulkanických hornin.

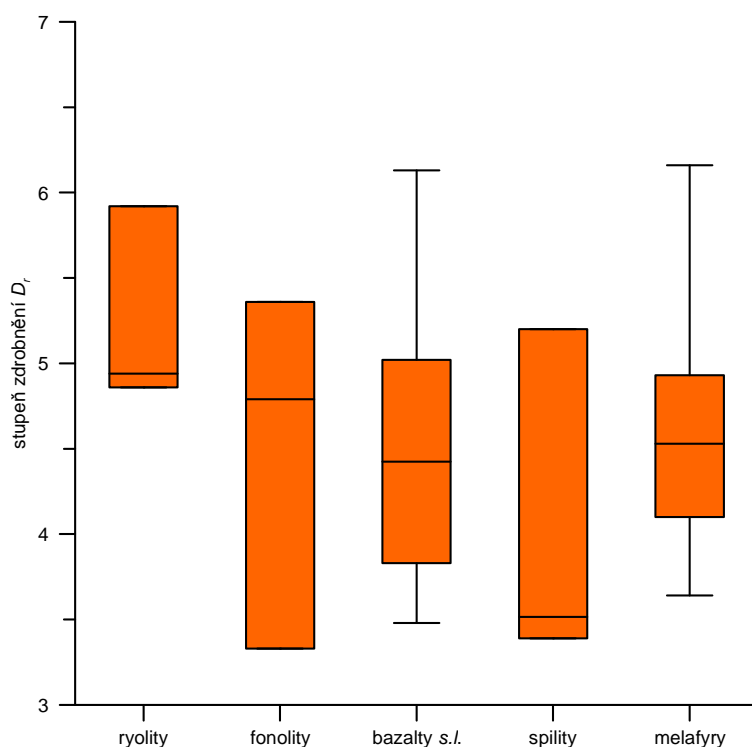
Tab. 5.2. Výsledky průměrných hodnot fyzikálních vlastností kameniva. Vysvětlivky: CZ = označení lokality a číslo vzorku, ρ_a = objemová hmotnost stanovená pyknometrickou metodou, WA_{24} = nasákavost za atmosférického tlaku, ϕ_e = otevřená pórovitost.

CZ	Lokalita	Petrografický název	ρ_b (g/cm ³)	WA_{24} (hm. %)	ϕ_e (obj. %)
Ryolity a porfyry					
30	Královec	ryolit	2,594	1,6	3,91
21	Těškov	ryolit	2,615	1,2	3,53
45	Třebnuška	ryolit	2,622	0,9	2,40
46	Pňovany	granitový porfyr	2,854	0,2	0,61
Fonolity					
38	Chlum	sodalitický fonolit	2,493	0,9	2,17
15	Mariánská Skála	sodaliticko - natrolitický fonolit	2,406	0,8	1,98
39	Tachov	hauynický fonolit s melanitem	2,513	0,8	1,93
Bazalty s.l.					
48	Bílčice	bazanit	3,036	0,5	1,65
14	Císařský	nefelinický bazanit	3,026	0,4	1,33
37	Číhaná	nefelinický tefrit	3,038	0,4	1,26
41	Děpoltovice	sodalitický nefelinit	3,216	0,9	2,34
28	Dobkovičky	nefelinický bazanit	3,040	0,7	2,00
27	Dolánky	nefelinický bazanit	2,895	0,5	1,43
40	Horní Tašovice	nefelinit	3,182	0,9	2,45
33	Chraberce	nefelinický bazanit	2,950	0,3	1,19
13	Krásný Les	olivinický analcimit	3,147	1,2	3,69
50	Libá	olivinický nefelinit	3,107	0,2	0,86
29	Libochovany	nefelinický bazanit	2,981	0,5	1,52
32	Měrunice	olivinický nefelinit	3,079	0,5	1,73
36	Mokrá	analcimický nefelinit	3,031	0,6	2,11
34	Smrčí	bazanit	3,075	0,9	2,20
16	Těchlovice	olivinický nefelinit	2,942	0,6	1,90
42	Úhošťany	nefelinický sklovitý bazanit	2,923	0,7	1,90
31	Všechlapy	olivinický nefelinit	3,105	0,6	1,22
49	Žandov	nefelinický bazanit	2,926	0,8	2,39
Spility					
22	Čenkov	spilit, metabazalt	2,948	0,3	0,79
43	Litice u Plzně	spilit, metabazalt až zelená břidlice	2,893	0,3	0,96
47	Mítov	spilit, metabazalt	2,837	0,4	1,24
26	Sýkořice	brekciovitý spilit, metabazalt	2,880	0,4	1,03
20	Trnčí	spilit, metabazalt	2,996	0,3	0,52
44	Zahrádka	spilit, metabazalt	2,981	0,3	0,90
25	Zbraslav	spilit, albitizovaný dacit	2,679	0,7	1,75
Melafyry a diabasy					
17	Babí	trachyandezit	2,681	1,6	4,20
35	Bezděčín	bazaltický andezit	2,534	1,9	4,70
18	Doubravice	bazaltický andezit	2,613	1,4	3,90
12	Košťálov	bazaltický andezit	2,846	0,8	2,28
24	Rožmitál	bazaltický trachyandezit	2,695	1,2	3,14
23	Chrtníky	dolerit – diabas	2,919	0,5	1,60
51	Zaječov	diabas	2,737	0,4	1,07

5.3. Experimentální drcení

5.3.1. Stupeň zdrobnění

Stupeň zdrobnění vulkanických hornin byl vypočítán jako podíl váženého aritmetického průměru velikosti zrn zavázky a váženého aritmetického průměru velikosti zrn produktu. Hodnoty stupně zdrobnění (D_r) se pohybují v rozsahu od maximální hodnoty u bazaltického andezitu z Bezděčína 6,16 do minimální hodnoty 3,33 u fonolitu z Chlumu (Tab. 5.3). Při srovnání stupně zdrobnění D_r hlavních petrografických typů je patrné blízké rozpětí hodnot (Obr. 5.5). Proto lze konstatovat, že stupeň zdrobnění není závislý pouze na petrografickém typu.



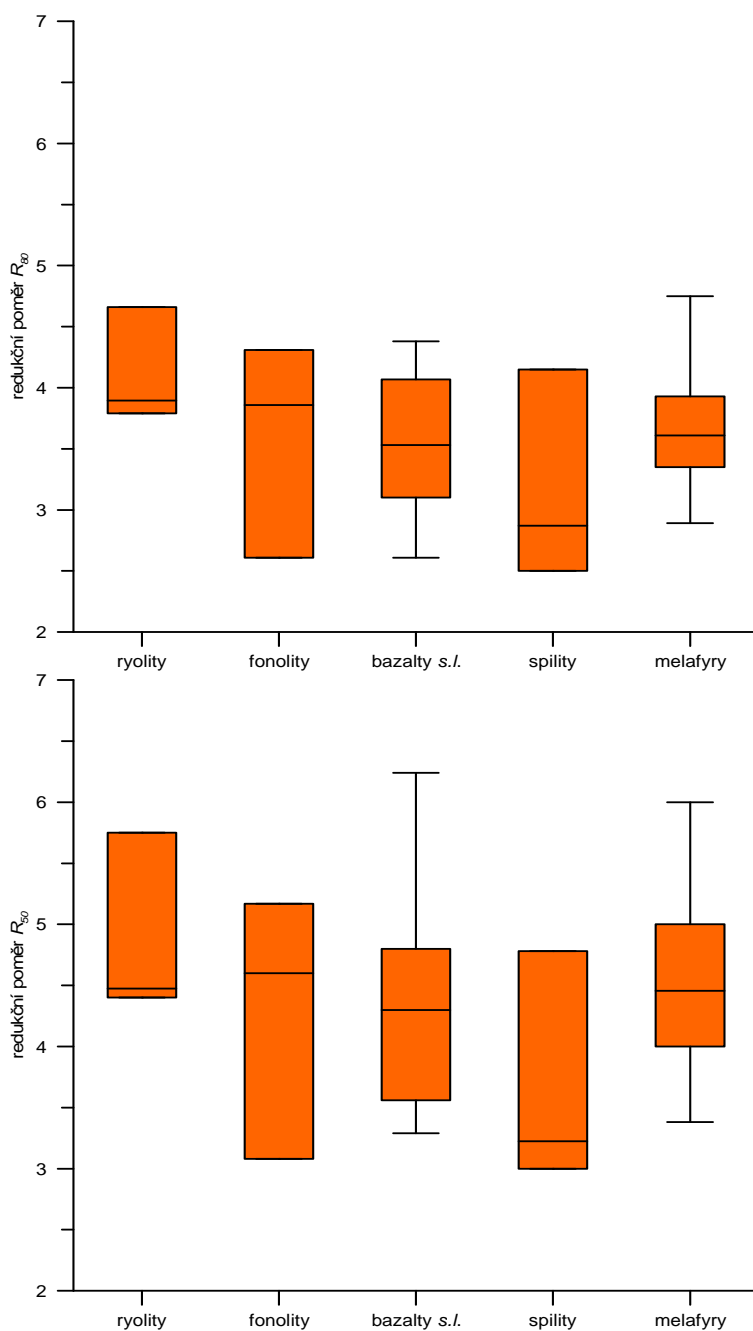
Obr. 5.5. Rozsah hodnot stupně zdrobnění D_r pro jednotlivé petrograficko-technologické skupiny studovaných vulkanických hornin.

Tab. 5.3. Vypočítané hodnoty stupně zdrobnění D_r , hodnoty R_{80} a R_{50} odečtené z křivky zrnitosti zavázky a produktu drtiče. Vysvětlivky: CZ = označení lokality a číslo vzorku, S_z = vážený aritmetický průměr velikosti zrn zavázky, S_p = vážený aritmetický průměr velikosti zrn produktu, D_r = stupeň zdrobnění, d_{z80} = hodnota zavázky odečtená v 80 % křivky zrnitosti, d_{p80} = hodnota produktu odečtená v 80 % křivky zrnitosti, R_{80} = redukční poměr v 80 %, d_{z50} = hodnota zavázky odečtená v 50 % křivky zrnitosti, d_{p50} = hodnota produktu odečtená v 50 % křivky zrnitosti, R_{50} = redukční poměr v 50 % křivky zrnitosti.

CZ	Lokalita	S_z	S_p	D_r	d_{z80}	d_{p80}	R_{80}	d_{z50}	d_{p50}	R_{50}
Ryolity a porfyry										
30	Královec	46,7	7,9	5,92	56,0	12,0	4,66	46,0	8,0	5,75
46	Pňovany	45,5	9,4	4,86	55,0	14,0	3,93	44,0	10,0	4,40
21	Těškov	44,4	9,0	4,94	53,0	14,0	3,79	42,0	9,5	4,42
45	Třebnuška	45,2	9,2	4,94	54,0	14,0	3,86	43,0	9,5	4,53
Fonolity										
38	Chlum	42,5	12,7	3,33	47,0	18,0	2,61	40,0	13,0	3,08
15	Mariánská Skála	46,5	9,7	4,79	56,0	14,5	3,86	46,0	10,0	4,60
39	Tachov	47,0	8,8	5,36	56,0	13,0	4,31	46,5	9,0	5,17
Bazalty s.l.										
37	Číhaná	48,4	9,6	5,02	58,0	14,0	4,14	49,0	10,0	4,90
14	Císařský	43,3	11,3	3,83	49,0	16,0	3,10	40,5	11,5	3,52
41	Děpoltovice	48,2	11,0	4,39	57,5	16,0	3,59	49,0	11,0	4,45
28	Dobkovičky	43,2	11,5	3,77	49,0	18,0	2,72	40,5	12,0	3,38
27	Dolánky	51,4	8,4	6,13	59,0	14,5	4,07	53,0	8,5	6,24
40	Horní Tašovice	47,3	11,4	4,15	57,0	16,5	3,45	47,0	12,0	3,92
33	Chraberce	47,6	10,5	4,55	57,0	15,0	3,80	48,0	11,0	4,36
23	Chrtníky	50,9	10,3	4,93	59,0	15,0	3,93	52,5	10,5	5,00
13	Krásný Les	46,5	9,6	4,84	56,0	14,0	4,00	46,0	10,0	4,60
50	Libá	47,6	13,2	3,61	57,0	19,0	3,00	48,0	13,5	3,56
29	Libochovany	42,6	12,2	3,48	47,0	18,0	2,61	39,5	12,0	3,29
32	Měrunice	44,5	9,7	4,61	53,0	14,0	3,79	42,0	10,0	4,20
36	Mokrá	42,6	10,4	4,09	47,0	15,0	3,13	40,0	11,0	3,64
34	Smrčí	47,7	9,0	5,29	57,0	13,0	4,38	45,0	9,0	5,00
16	Těchlovice	47,9	9,4	5,11	57,0	14,0	4,07	48,0	10,0	4,80
42	Úhošťany	51,0	11,4	4,46	59,0	17,0	3,47	52,5	12,0	4,38
31	Všeclapy	51,7	12,1	4,29	59,0	18,0	3,28	53,0	12,5	4,24
Spility										
22	Čenkov	45,6	12,8	3,55	55,0	18,5	2,90	44,0	13,0	3,38
43	Litice u Plzně	44,9	12,9	3,48	54,0	19,0	2,84	43,0	14,0	3,07
44	Zahrádka	45,2	8,7	5,20	54,0	13,0	4,15	43,0	9,0	4,78
25	Zbraslav	41,4	12,2	3,39	45,0	18,0	2,50	39,0	13,0	3,00
Melafyry a diabasy										
35	Bezděčín	47,9	7,8	6,16	57,0	12,0	4,75	48,0	8,0	6,00
18	Doubravice	50,5	10,8	4,69	59,0	16,0	3,69	52,0	11,0	4,73
12	Košťálov	47,8	11,7	4,10	57,0	17,0	3,35	48,0	12,0	4,00
24	Rožmitál	46,8	10,7	4,37	56,5	16,0	3,53	46,0	11,0	4,18
51	Zaječov	45,6	12,5	3,63	55,0	19,0	2,89	44,0	13,0	3,38

5.3.2. Redukční poměr

Hodnoty redukčního poměru byly vyhodnoceny vynesáním křivek zrnitosti závážky a produktu drtiče do grafu (Příloha 5), ze kterých byly graficky odečteny hodnoty R_{80} a R_{50} (Tab. 5.3). Hodnoty redukčního poměru R_{80} se pohybují v rozsahu od maximální hodnoty u bazaltického andezitu z Bezděčína 4,75 do minimální hodnoty 2,61 u fonolitu z Chlumu. Hodnoty redukčního poměru R_{50} se pohybují v rozsahu od maximální hodnoty u nefelinického bazanitu 2,24 z Dolánek do minimální hodnoty 3,0 u spilitu ze Zbraslavi. Podobně jako u předchozího parametru (D_r) lze konstatovat, že hodnoty redukčního poměru nejsou závislé pouze na konkrétním petrografickém typu (Obr. 5.6).



Obr. 5.6. Rozsah hodnot redukčního poměru R_{80} (A) a R_{50} (B) pro jednotlivé petrograficko-technologické skupiny studovaných vulkanických hornin.

5.3.3. Tvarový faktor zrn

Po zjištění délky třech hlavních os (x, y, z) jednotlivých zrn (celkem 150 pro každý vzorek) kameniva frakce 11/16 produktu experimentálního drcení byla zjištěná data zpracována podle jednotlivých metodik různých autorů.

Tvarový faktor F, vypočítaný ze 150 zrn zkoumaného kameniva, který je vyjádřením poměru mezi plochostí zrna a jeho protažením, byl vypočten podle Uthuse et al. (2005) (Tab. 5.4). Ideální hodnota tvarového faktoru F je rovna 1, vypočítané hodnoty jsou v rozptylu od minimální hodnoty F 0,29 u spilitu ze Zbraslavi do maximální hodnoty 1,00 u bazaltu z Číhané, diabasů z Chrtníků, melafyru z Doubravice, fonolitu z Mariánské Skály a spilitu ze Zahrádky. Horniny s maximální hodnotou F mají rozptyl průměrných hodnot od F 0,71 do 0,74 a minimální hodnoty od F 0,37 do 0,45.

Tab. 5.4. Výsledky tvarového faktoru F.

CZ	Lokalita	Tvarový faktor F		
		min	arit. průměr	max
Ryolity a porfyry				
46	Přovany	0,35	0,67	0,98
30	Královec	0,43	0,73	0,98
21	Těškov	0,37	0,70	0,95
45	Třebnuška	0,34	0,72	0,99
Fonolity				
38	Chlum	0,35	0,68	0,97
15	Mariánská Skála	0,43	0,73	1,00
39	Tachov	0,45	0,73	0,96
Bazalty s.l.				
14	Císařský	0,37	0,70	0,97
37	Číhaná	0,43	0,74	1,00
27	Dolánky	0,46	0,74	0,98
33	Chraberce	0,39	0,73	0,96
13	Krásný Les	0,39	0,71	0,99
50	Libá	0,41	0,71	0,97
29	Libochovany	0,35	0,71	0,97
32	Měrunice	0,36	0,73	0,99
36	Mokrá	0,45	0,71	0,99
34	Smrčí	0,34	0,72	0,99
16	Těchlovice	0,36	0,70	0,98
31	Všechlapy	0,39	0,71	0,99
Spility				
44	Zahrádka	0,45	0,73	1,00
25	Zbraslav	0,29	0,71	0,98
Melafyry a diabasy				
35	Bezděčín	0,48	0,73	0,99
23	Chrtníky	0,37	0,71	1,00
18	Doubravice	0,49	0,75	1,00
51	Zaječov	0,44	0,73	0,99

Vymezení plochých, protáhlých a kubických zrn bylo provedeno podle norské klasifikace kameniva do betonu (Uthus 2007, Uthus et al. 2005, 2007), vypočítané na 150 zrnech zkoumaného kameniva (Tab. 5.5).

Nejvíce plochých zrn (21 %) bylo zjištěno u bazaltů z Císařského a Všechlapů a nejméně (3 %) u diabasu ze Zaječova. Nejvíce protažených zrn (42 %) bylo zjištěno u bazaltu z Císařského a nejméně (9 %) u diabasu ze Zaječova. Nejvíce kubických zrn (89 %) bylo zjištěno u melafyru z Doubravice a diabasu ze Zaječova a nejméně (56 %) u bazaltu z Císařského.

Tab. 5.5. Tvarová klasifikace zrn vypočtená na základě norské klasifikace kameniva do betonu (metodika viz Uthus et al. 2005).

CZ	Lokalita	plochá		protažená		kubická	
		počet	%	počet	%	počet	%
Ryolity a porfyry							
30	Královec	11	7	24	16	125	83
46	Pňovany	21	14	49	33	98	65
21	Těškov	22	15	47	31	97	65
45	Třebnuška	20	13	33	22	110	73
Fonolity							
38	Chlum	16	11	44	29	103	69
15	Mariánská Skála	19	13	36	24	111	74
39	Tachov	19	13	32	21	113	75
Bazalty s.l.							
14	Císařský	32	21	63	42	84	56
37	Číhaná	26	17	44	29	105	70
27	Dolánky	17	11	28	19	118	79
33	Chraberce	21	14	37	25	107	71
13	Krásný Les	13	9	30	20	118	79
50	Libá	7	5	25	17	123	82
29	Libochovany	18	12	35	23	111	74
32	Měrunice	23	15	44	29	104	69
36	Mokrá	30	20	49	33	98	65
34	Smrčí	17	11	32	21	115	77
16	Těchlovice	14	9	30	20	117	78
31	Všechlapy	32	21	41	27	106	71
Spility							
44	Zahrádka	16	11	38	25	109	73
25	Zbraslav	23	15	48	32	100	67
Melafyry a diabasy							
35	Bezděčín	11	7	29	19	120	80
18	Doubravice	8	5	17	11	133	89
23	Chrtníky	19	13	44	29	106	71
51	Zaječov	5	3	14	9	134	89

Podle parametrů Zingga byla vymezena plochá, protáhlá, protáhlá i zároveň zploštělá a kubická zrna, vypočtená ze 150 zrn zkoumaného kameniva (Tab. 5.6). Data byla zároveň vynesena do Zinggova diagramu (Příloha 6).

Nejvíce plochých zrn (11 %) bylo zjištěno u bazaltu z Číhané a nejméně (17 %) u melafyru z Doubravice. Nejvíce protažených zrn (30 %) bylo zjištěno u ryolitu z Těškova a nejméně (15 %) u

bazaltu z Číhané. Nejvíce plochých a zároveň protažených zrn (17 %) bylo zjištěno granitového porfyru z Pňovan a nejméně (2 %) u diabasu ze Zaječova. Nejvíce kubických zrn (87 %) bylo zjištěno u melafyru z Doubravice a nejméně (36 %) u granitového porfyru z Pňovan.

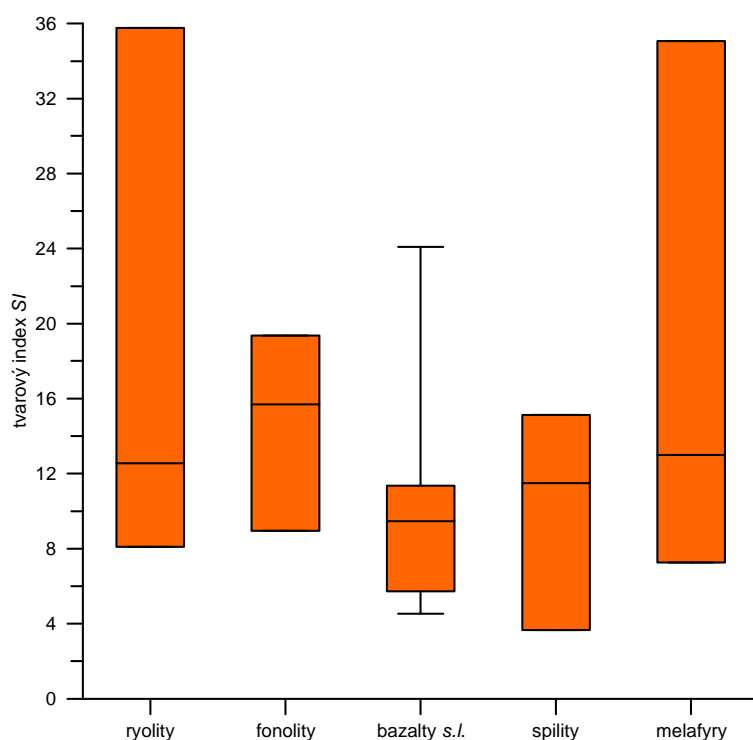
Tab. 5.6. Počet tvarově odlišných zrn z celkového počtu 150 zrn odečtených ze Zinggova diagramu.

CZ	Lokalita	Kubická zrna		Plochá zrna		Protažená zrna		Plochá a protažená	
		počet	%	počet	%	počet	%	počet	%
Ryolity a porfyry									
30	Královec	69	46	36	24	37	25	8	5
46	Pňovany	36	24	46	31	43	29	25	17
21	Těškov	45	30	41	27	45	30	19	13
45	Třebnuška	48	32	54	36	36	24	12	8
Fonolity									
38	Chlum	53	35	38	25	39	26	20	13
15	Mariánská Skála	74	49	39	26	25	17	12	8
39	Tachov	80	53	32	21	25	17	13	9
Bazalty s.l.									
14	Císařský	42	28	51	34	33	22	24	16
37	Číhaná	46	31	61	41	22	15	21	14
27	Dolánky	72	48	40	27	30	20	8	5
33	Chraberce	63	42	47	31	29	19	11	7
13	Krásný Les	60	40	40	27	37	25	13	9
50	Libá	65	43	33	22	37	25	15	10
29	Libochovany	51	34	44	29	41	27	14	9
32	Měrunice	67	45	43	29	25	17	15	10
36	Mokrá	57	38	44	29	34	23	15	10
34	Smrčí	71	47	42	28	24	16	13	9
16	Těchlovice	50	33	41	27	42	28	17	11
31	Všechlapy	53	35	42	28	40	27	15	10
Spility									
44	Zahrádka	52	35	60	40	25	17	13	9
25	Zbraslav	45	30	54	36	30	20	21	14
Melafyry a diabasy									
35	Bezděčín	55	37	53	35	29	19	13	9
18	Doubravice	87	58	25	17	26	17	12	8
23	Chrtníky	66	44	30	20	32	21	22	15
51	Zaječov	69	46	36	24	42	28	3	2

5.3.4. Tvarový index a jeho modifikace

Pro horniny, u nichž byla zkoušena drtitelnost rázem SZ, byl stanoven podíl zrn nekubického tvaru, majících poměr délka:tloušťka > 3 . Stanovení proběhlo na kamenivu z výroby (vytříděných navážkách na frakci 8/12,5), které byly připraveny pro zkoušku odolnosti drtitelnosti rázem.

Průměrné hodnoty tvarového indexu *SI*, jejichž tři stanovení jsou uvedena v Příloze 7, se pohybují v rozsahu od maximální hodnoty u ryolitu z Těškova *SI* 35,8 hm. % do minimální hodnoty *SI* hm. 3,7 % u spilitu ze Sýkořic. Nejnižší hodnoty obecně vykazují horniny ze skupiny bazaltu (Obr. 5.7, Tab. 5.7). Ve skupině ryolit / porfyr a také fonolit byly až na jednu vysokou hodnotu zjištěny dobré tvarové indexy. U hornin ze skupiny bazalt je široký rozptyl hodnot od 4,5 hm. % až do 24,1 hm. %. Nejlepších hodnot tvarového indexu dosahují horniny ze skupiny spilitu.



Obr. 5.7. Rozsah hodnot tvarového indexu *SI* studovaných hornin před zkouškou odolnosti proti drcení rázem pro jednotlivé petrograficko-technologické skupiny studovaných vulkanických hornin.

Na základě přesných údajů z obrazové analýzy o rozměrech jednotlivých zrn ve vzorku byla metoda podle evropské normy ČSN EN 933-4 modifikována tak, že se u všech 150 zrn frakce 11/16, které byly produktem experimentálního drcení, vypočítal poměr nekubických zrn délka:tloušťka > 3 z hodnot, naměřených v programu Sigmascan Pro (Tab 5.7). Počet tzv. nevhodných zrn s poměrem délka:tloušťka větším než tři se pohybuje od maximálního počtu 35 u nefelinického bazanitu z Císařského do minimálního počtu 2 kusů u diabasu ze Zaječova.

Tab. 5.7. Hodnoty tvarového indexu SI: SI ze SZ = procentuální zastoupení tvarově nevhodných zrn z váhového množství stanovené dle ČSN EN 933-4. SI po drcení = procentuální zastoupení tvarově nevhodných zrn z celkových 150 kusů experimentálně vypočítané na základě rozměrů obrazové analýzy.

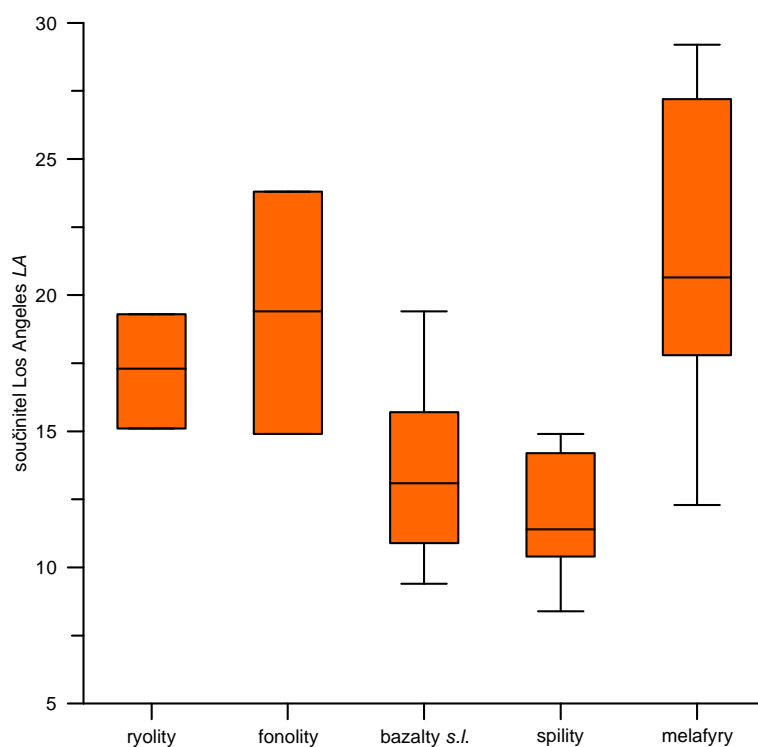
CZ	Lokalita	SI ze SZ hm. %	SI po drcení	
			počet	%
Ryolity a porfyry				
30	Královec	8,1	11	7
46	Přovany	14,8	23	15
21	Těškov	35,8	17	11
45	Třebnuška	10,3	17	11
Fonolity				
38	Chlum	9,0	16	11
15	Mariánská Skála	15,7	15	10
39	Tachov	19,4	11	7
Bazalty s.l.				
48	Bílčice	6,8	-	-
14	Císařský	9,8	35	23
37	Číhaná	5,6	23	15
41	Děpoltovice	10,3	-	-
28	Dobkovičky	10,6	-	-
27	Dolánky	11,1	12	8
40	Horní Tašovice	4,5	-	-
33	Chraberce	5,7	15	10
13	Krásný Les	24,1	17	11
50	Libá	-	11	7
29	Libochovany	6,1	13	9
32	Měrunice	11,4	14	9
36	Mokrá	8,8	20	13
34	Smrčí	9,1	14	9
16	Těchlovice	19,6	15	10
42	Úhošťany	17,7	-	-
31	Všechlapy	4,7	22	15
Spility				
43	Litice u Plzně	15,1	-	-
26	Sýkořice	3,7	-	-
44	Zahrádka	8,6	15	10
25	Zbraslav	14,4	23	15
Melafyry				
35	Bezděčín	-	7	5
18	Doubravice	-	4	3
12	Košťálov	7,3	-	-
24	Rožmitál	35,1	-	-
23	Chrtníky	9,1	16	11
51	Zaječov	16,9	2	1

5.4. Technologické zkoušky mechanické odolnosti

5.4.1. Otluková zkouška Los Angeles

Výsledky stanovení otlukovou zkouškou Los Angeles byly u studovaných vulkanických hornin vyjádřeny jako aritmetický průměr naměřených hodnot vzorku ze dvou stanovení (podrobný přehled viz Příloha 8). Průměrné hodnoty součinitele Los Angeles LA se pohybují v rozsahu od maximální hodnoty u bazaltického andezitu z Bezděčína (LA = 29,2) do minimální hodnoty (LA = 8,4) u spilitu z Čenkova. Obecně nejvyšších hodnot součinitele Los Angeles dosahují horniny skupiny melafyru a fonolitu, nejnižší hodnoty byly naměřeny u hornin ze skupiny spilitu (Obr. 5.8, Tab. 5.8).

Ve skupině ryolit / porfyr dosahuje nejvyšší hodnoty součinitele Los Angeles 19,3 ryolit z Těškova a ostatní horniny ze stejné skupiny se se svými hodnotami nijak extrémně neliší. U hornin ze skupiny fonolitů vykazuje výrazně vyšší hodnotu součinitele Los Angeles 23,8 hauynický fonolit s melanitem z Tachova, kterou lze dokonce řadit mezi třetí nejvyšší. Skupina bazaltů dosahuje poměrně vyrovnaných hodnot součinitele Los Angeles v rozmezí od LA 9,4 do maximální hodnoty LA 19,4. Obecně nejnižší hodnoty součinitele Los Angeles vykazují všechny spilitové horniny, z jejichž skupiny jsou nápadně vyšší pouze hodnoty z Litic a Zahrádky. Vůbec nejvyšší hodnoty byly zjištěny u hornin ze skupiny melafyru, zejména u hornin s mandlovcovitou texturou, výrazně nejnižší hodnotu v této skupině vykazuje hruběji zrnitý diabas (dolerit).



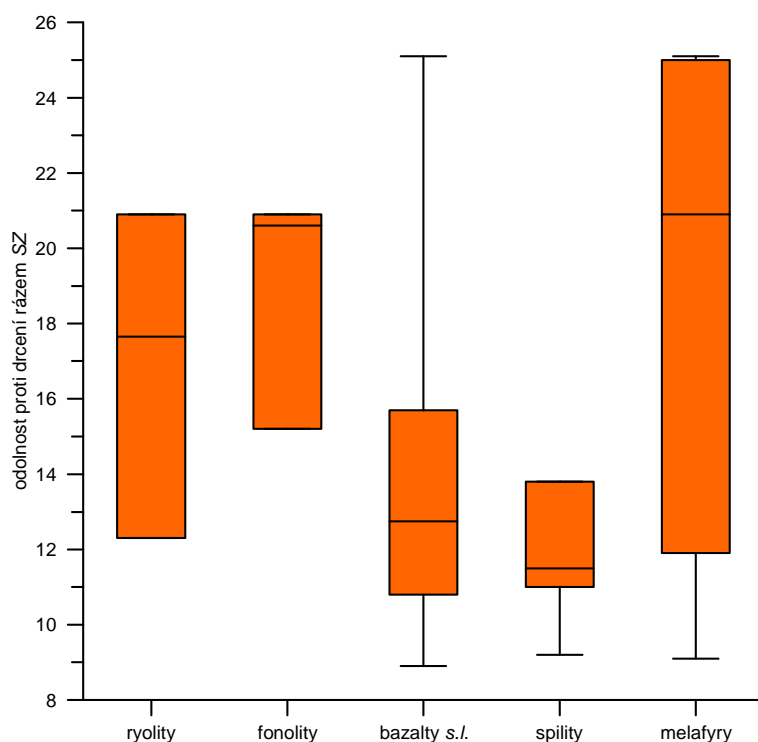
Obr. 5.8. Rozsah hodnot součinitele Los Angeles LA (odolnost vůči otluku metodou Los Angeles) pro jednotlivé petrograficko-technologické skupiny studovaných vulkanických hornin.

5.4.2. Drtitelnost v rázu

Drtitelnost v rázu je další z technologických zkoušek stanovení mechanické stability částic kameniva. Byla stanovena na frakci 8/12,5 jako aritmetický průměr naměřených hodnot vzorku ze třech stanovení (podrobný přehled viz Příloha 9).

Průměrné hodnoty drtitelnosti v rázu se pohybují v rozsahu od minimální hodnoty u olivinického nefelinitu ze Všechlap (SZ = 8,9 hm. %) do maximální hodnoty SZ = 25,1 hm % u bazaltického andezitu z Doubravice a také u olivinického analcimitu z Krásného lesa (Obr. 5.9). Nejnižší hodnoty vykazují horniny ze skupiny spilitu a část bazaltů a nejvyšší hodnoty jsou zastoupené ze všech ostatních skupin.

Ve skupině ryolit / porfyr dosahuje nejvyšší hodnoty drtitelnosti v rázu 20,9 hm. % ryolit z Těškova, přičemž ostatní horniny se svými hodnotami nijak extrémně neliší. U hornin ze skupiny fonolitů vykazuje výrazně vyšší hodnotu drtitelnosti v rázu hauynický fonolit s melanitem z Tachova. Skupina bazaltů vykazuje mezi naměřenými hodnotami největší rozdíly, hodnota drtitelnosti v rázu kolísá od SZ 8,8 % do SZ 25,1 %. Obecně nejnižší hodnoty součinitele Los Angeles vykazují všechny spilitové horniny, které se ani od sebe nijak výrazně neodlišují. Maximální hodnoty byly zjištěny u hornin ze skupiny melafyru, zejména u hornin s mandlovcovitou texturou a nejnižší hodnotu vykazuje hruběji zrnitý diabas (dolerit) z Chrtníků a hruběji zrnitý melafyr s ofitickou texturou z Košťálova.

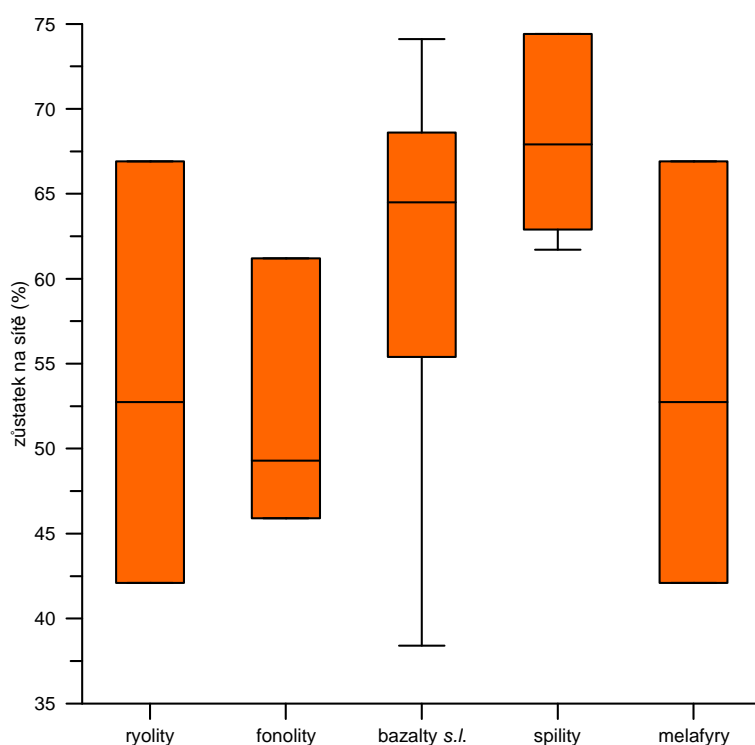


Obr. 5.9. Rozsah průměrných hodnot odolnosti proti drcení SZ stanovených metodou drtitelnosti rázem pro jednotlivé petrograficko-technologické skupiny studovaných vulkanických hornin.

Nad rámec standardního vyhodnocení odolnosti proti drcení rázem podle příslušné normy byl stanoven procentuální hmotnostní zůstatek původní frakce 8/12,5. Hodnota procentuálního množství zůstatku na síť velikosti 8 mm po zkoušce se získala jako aritmetický průměr ze tří stanovení zkušebních navážek (podrobný přehled viz Příloha 10).

Průměrné hodnoty % hmotnosti zůstatku na síť 8 mm se pohybují v rozsahu od maximální hodnoty u doleritu (diabas) z Chrtníků 76,3 hm. % do minimálního množství 28,5 hm. % u bazaltického andezitu z Doubravice. Obecně největší zastoupení kameniva většího než 8 mm bylo zjištěno u hornin skupiny bazaltu a spilitu a nejnižší množství bylo zjištěno u některých hornin ze skupiny melafyru (Obr. 5.10).

Ve skupině ryolit / porfyr zůstalo po zkoušce držitelnosti rázem z původní frakce 8/12,5 na síť 8 mm nejvíce u granitového porfyru a nejméně u ryolitu z Těškova, přičemž ostatní horniny se svými hodnotami nijak extrémně neliší. U hornin ze skupiny fonolitů vykazuje výrazně nižší hmotnostní zůstatek na síť 8 mm hauynický fonolit s melanitem z Tachova. Bazalty vykazují velkou variabilitu mezi zjištěnými zůstatky na síť 8 mm pohybující se od 38,4 hm. % až do 74,1 hm. %, s tím, že více jak polovina výsledků překračuje hodnotu 60 hm. %. Horninová skupina spilit vykazuje u všech hornin vyvážené hodnoty zůstatků na síť 8 mm, které neklesají pod 60 %. Největší úbytky původní frakce 8/12,5 byly zjištěny u skupiny melafyrů, zejména těch s mandlovcovitou texturou, vzorek s Košťálova s ofitickou texturou dosahuje hodnoty přes 70 hm. % což ho řadí mezi první pěti nejlepšími výsledky.

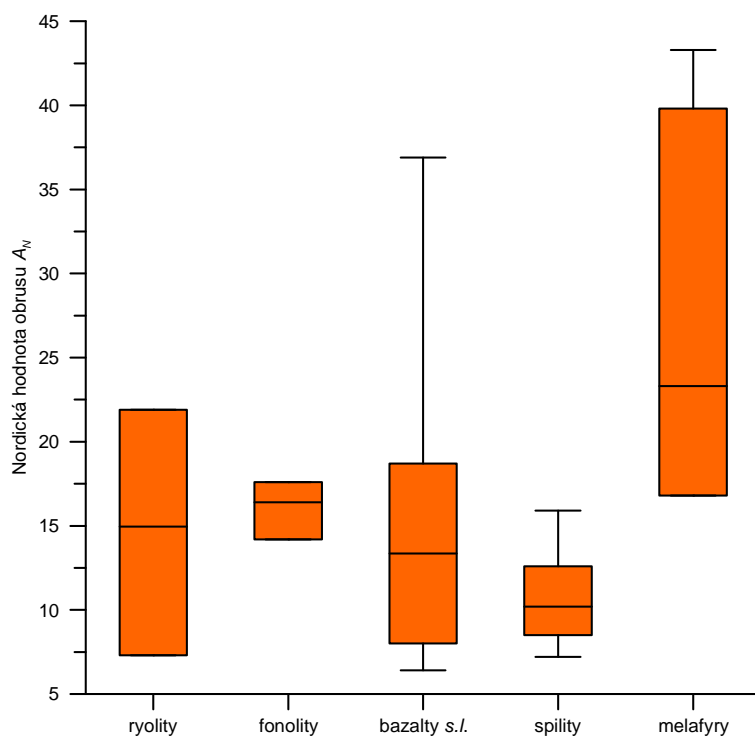


Obr. 5.10. Rozsah hodnot procentuálního množství zůstatku zkušební vzorku na síť velikosti 8 mm po zkoušce odolnosti drcení rázem pro jednotlivé petrograficko-technologické skupiny studovaných vulkanických hornin.

5.4.3. Odolnost proti obrusu pneumatikami s hroty - Nordická zkouška

Hodnota nordického obrusu A_N byla u všech vulkanických hornin stanovena jako aritmetický průměr ze dvou dílčích naměřených hodnot (podrobný přehled viz Příloha 11). Průměrné hodnoty nordického obrusu pneumatikami s hroty se pohybují v rozsahu od maximální hodnoty u bazaltického andezitu z Bezděčína ($A_N = 43,3$) do minimální hodnoty $A_N = 6,4$ u analcimického nefelinitu z Mokré (Obr. 5.11, Tab. 5.8). Obecně nejvyšších hodnot nordického obrusu dosahují horniny skupiny melafyru a nejnižší hodnoty byly zjištěny u hornin ze skupiny spilitu a částečně bazaltu.

Ve skupině ryolit / porfyr dosahuje nejvyšší hodnoty nordického obrusu ($A_N = 21,9$) ryolit z Těškova, a nejnižší ($A_N = 7,3$) ryolit z Třebnušky. Horniny ze skupiny fonolitů se svými hodnotami nijak extrémně neliší. Skupina bazaltů vykazuje mezi naměřenými hodnotami největší rozdíly, hodnota nordického obrusu kolísá od $A_N 6,4$ což je nejnižší hodnota ze všech naměřených do $A_N 36,9$. Obecně nejnižší hodnoty obrusnosti pneumatikami s hroty vykazují všechny spilitové horniny, které se ani od sebe nijak výrazně neodlišují až na hodnotu nordického obrusu 15,9 u lokality Zahradka. Maximální hodnoty byly zjištěny u hornin ze skupiny melafyru, zejména u hornin s mandlovcovitou texturou a výrazně nižší hodnotu vykazuje hruběji zrnitý diabas (dolerit) z Chrtníků a hruběji zrnitý melafyr s ofitickou texturou z Košťálova.



Obr. 5.11. Rozsah průměrných hodnot odolnosti proti obrusu pneumatikami s hroty A_N pro jednotlivé petrograficko-technologické skupiny studovaných vulkanických hornin.

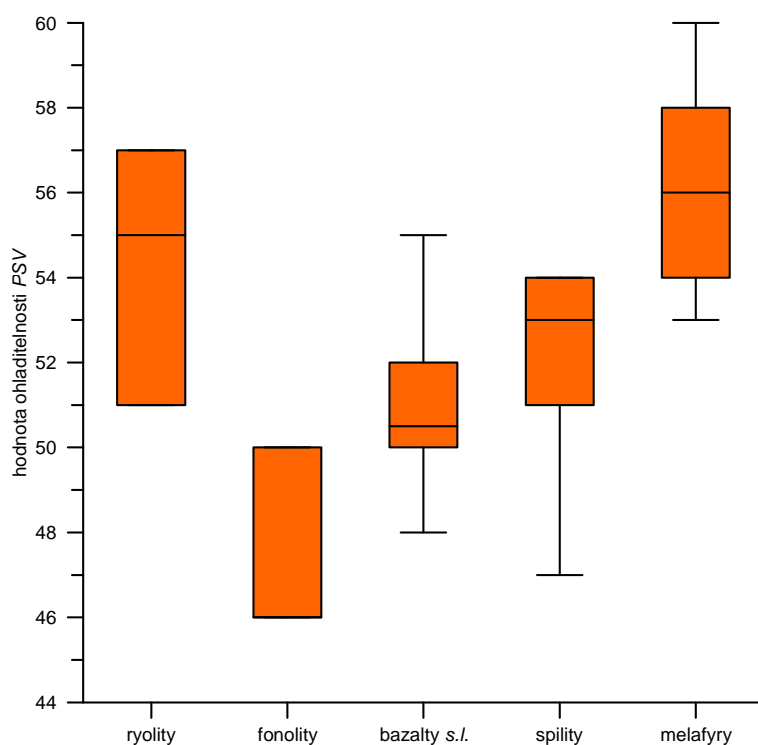
Tab. 5.8. Výsledky stanovení drtitelnosti v rázu SZ, součinitele Los Angeles LA a zkouškou obrusnosti pneumatikami s hroty A_N (vše vyjádřeno jako průměrné hodnoty z příslušného počtu stanovení).

CZ	Lokalita	Hodnota drtitelnosti v rázu SZ hm. %	Součinitel Los Angeles LA	Hodnota nordického obrusu A_N
Ryolity a porfyry				
30	Královec	18,3	17,6	16,7
46	Pňovany	12,3	15,1	13,2
21	Těškov	20,9	19,3	21,9
45	Třebnuška	17,0	17,0	7,3
Fonolity				
38	Chlum	15,2	14,9	17,6
15	Mariánská Skála	20,6	19,4	14,2
39	Tachov	20,9	23,8	16,4
Bazalty s.l.				
48	Bílčice	13,2	12,7	12,3
14	Císařský	10,3	9,4	7,6
37	Číhaná	11,5	12,1	15,6
41	Děpoltovice	13,3	13,9	29,8
28	Dobkovičky	15,7	nest.	11,1
27	Dolánky	23,3	15,7	18,7
40	Horní Tašovice	10,0	13,1	8,0
33	Chraberce	10,7	10,9	6,6
13	Krásný Les	25,1	14,5	14,4
50	Libá	16,7	11,8	9,3
29	Libochovany	12,3	10,4	19,7
32	Měrunice	10,8	10,9	8,4
36	Mokrá	11,1	10,5	6,4
34	Smrčí	17,5	19,4	18,4
16	Těchlovice	15,6	16,9	36,9
42	Úhošťany	14,5	15,0	14,9
31	Všechlapy	8,9	18,7	8,3
49	Žandov	12,2	13,2	nest.
Spility				
22	Čenkov	12,3	8,4	7,2
43	Litice u Plzně	11,5	14,9	12,6
47	Mítov	nest.	10,4	8,5
26	Sýkořice	11	11,1	10,2
20	Trnčí	nest.	13,4	11,2
44	Zahrádka	9,2	14,2	15,9
25	Zbraslav	13,8	11,4	9,0
Melafyry a diabasy				
17	Babí	15,1	19,3	nest.
35	Bezděčín	25,0	29,2	43,3
18	Doubravice	25,1	27,2	39,8
23	Chrtníky	9,1	12,3	16,8
12	Košťálov	11,9	17,8	20,1
24	Rožmitál	20,9	22,4	24,7
19	Studeneč	nest.	22,0	nest.
51	Zaječov	21,2	19,1	27,9

5.4.4. Ohladitelnost PSV

Hodnota ohladitelnosti kameniva PSV byla u všech vulkanických hornin stanovena jako aritmetický průměr ze dvou dílčích naměřených hodnot (podrobný přehled viz Příloha 12). Průměrné hodnoty stanovení hodnoty ohladitelnosti PSV se pohybují v rozsahu od maximální hodnoty u bazaltického andezitu z Bezděčína (PSV = 60) do minimální hodnoty PSV = 46 u fonolitu z Mariánské skály a Chlumu (Obr. 5.12, Tab. 5.9).

Ve skupině ryolit / porfyr dosahuje nejvyšší hodnoty PSV ryolit z Královce, ale ostatní horniny se svými hodnotami nijak extrémně neliší. U hornin ze skupiny fonolitů vykazuje výrazně vyšší hodnotu PSV hauynický fonolit s melanitem z Tachova. Skupina bazaltů vykazuje mezi naměřenými hodnotami největší rozdíly, hodnota PSV kolísá od PSV 48 do PSV 54. Obecně nejnižší hodnoty součinitele PSV vykazují horniny ze skupiny fonolit následované bazaltovými horninami. Maximální hodnoty byly zjištěny u hornin ze skupiny melafyru, zejména u hornin s mandlovcovitou texturou a nejnižší hodnotu vykazuje diabas ze Zaječova, která je ale vyšší než například průměrná hodnota u bazaltů nebo maximální hodnota u fonolitů.



Obr. 5.12. Rozsah průměrných hodnot odolnosti proti ohlazování PSV pro jednotlivé petrograficko-technologické skupiny studovaných vulkanických hornin.

Tab. 5.9. Průměrné hodnoty PSV ohladitelnosti kameniva a A_N odolnosti proti obrusu pneumatikami s hroty – Nordické zkoušky.

CZ	Lokalita	PSV	A_N
Ryolity a porfyry			
30	Královec	57	16,7
46	Přovany	51	13,2
21	Těškov	55	21,9
45	Třebnuška	55	7,3
Fonolity			
38	Chlum	46	17,6
15	Mariánská Skála	46	14,2
39	Tachov	50	16,4
Bazalty s.l.			
48	Bílčice	52	12,3
14	Císařský	48	7,6
37	Číhaná	48	15,6
41	Děpoltovice	55	29,8
28	Dobkovičky	53	11,1
27	Dolánky	52	18,7
40	Horní Tašovice	50	8,0
33	Chraberce	50	6,6
13	Krásný Les	51	14,4
50	Libá	49	9,3
29	Libochovany	49	19,7
32	Měrunice	51	8,4
36	Mokrá	50	6,4
34	Smrčí	54	18,4
16	Těchlovice	50	36,9
42	Úhošťany	51	14,9
31	Všechlapy	50	8,3
49	Žandov	52	-
Spility			
22	Čenkov	47	7,2
43	Litice u Plzně	54	12,6
47	Mítov	53	8,5
26	Sýkořice	52	10,2
20	Trnčí	51	11,2
44	Zahrádka	54	15,9
25	Zbraslav	53	9,0
Melafyry a diabasy			
17	Babí	54	-
35	Bezděčín	60	43,3
18	Doubravice	55	39,8
23	Chrtníky	58	16,8
12	Košťálov	56	20,1
24	Rožmitál	57	24,7
51	Zaječov	53	27,9

6. DISKUSE

6.1. Petrografické vlastnosti

Vzhledem k množství různých druhů vulkanických hornin využívaných v České republice pro výrobu drceného kamene, jejichž vlastnosti se od sebe výrazně liší, nebylo možné posuzovat celý soubor studovaných hornin pouze jako jeden celek, byť se primárně jedná o geneticky relativně jednodlitou skupinu hornin. Zásadní otázkou ovšem byla volba kritéria, podle něž by se vytvořily dílčí skupiny.

Při použití klasifikace na základě chemismu se do skupiny bazických hornin označovaných jako bazalty *s.l.* dostanou nejen výlevné horniny mající bazaltové složení chemické i mineralogické a také vnitřní stavbu bazaltů, ale též horniny, které prodělaly určité přeměny a tradičně jsou označovány jako spility. Chemicky sice podmínku splňují, ale mineralogickým složením (vznik minerální asociace albit-křemen-chlorit +- epidot, kalcit a rudní minerály) a svojí vnitřní stavbou jsou tyto horniny odlišné v důsledku nízkotlakých a nízkoteplotních metamorfních (metasomatických) přeměn.

Dalším příkladem nejednoznačného vymezení může být diabas, což je označení používané ve střední Evropě pro lehce metamorfované bazalty, které se podobají horninám označovaných ve většině zemí jako dolerit, které představují hruběji zrnité bazalty s ofitickou strukturou. Další úvahy k zařazení do užší skupiny hornin pokračoval u foiditů, tefritů a bazanitů. U těchto hornin je hranice velmi problematická, protože vulkanity odpovídající svým modálním složením foiditům (např. nefelinitům) spadají poměrně často v TAS diagramu do pole tefritu a bazanitu místo mezi foidity.

I přes to, že v současné době jsou pro některé autory (Le Maitre, ed. 1989) termíny jako melafyr, spilit nebo diabas nepřijatelné, v této práci se osvědčilo rozdělení vulkanických hornin podle dříve používané nomenklatury na základě stáří a dalších znaků (Dudek et al. 1984, Tab. 6.1). Umožnilo sloučit do skupin horniny s obdobným mineralogickým i chemickým složením, blízkou vnitřní stavbou a shodným geologickým stářím (Tab. 6.2). Jak bude ukázáno dále, toto rozdělení mělo význam i pro porozumění často značně odlišného chování během jednotlivých technologických zkoušek.

Tab. 6.1. Názvosloví vulkanických hornin dříve používané v ČR (podle Dudka et al. 1984) a současná klasifikace podle IUGS.

Dříve používaný název v ČR	Terminologie podle IUGS
bezkřemenný porfyr	trachyt (předtercierní)
diabas	bazalt (prekambrium – starší paleozoikum, pro intruzivní horniny)
melafyr	paleozoický bazalt, latit, bazaltický andezit
křemenný porfyr	předtercierní ryolit
křemenný porfyrít	předtercierní dacit
porfyrít	předtercierní andezit
spilit	prekambrický bazalt dnes pouze pro bazalt postižený spilitizací

Tab. 6.2. Zařazení zkoumaných vulkanických hornin do tzv. petrograficko-technologických skupin, v rámci nichž byl proveden rozbor vzájemných vztahů zkoumaných vlastností.

Horninová skupina	Horniny podle chemismu (TAS)
bazalt <i>s.l.</i>	foidity, tefrity, pikrity, bazanity
diabas / melafyr	bazaltické andezity, trachyandezity, dacit
porfyr / ryolit	ryolity
spilit	bazalty, dacit
fonolit	fonolity

Vliv mineralogického složení nebo vnitřní stavby hornin na jejich vybrané fyzikální vlastnosti byl v minulosti řešen řadou experimentálních studií (např. Robertson 1955, Donath 1961, Douglass & Voight 1969, Hawkins & McConnell 1992, Dobereiner et al. 1993, Cardu 1996, Přikryl 2001, Wong et al. 2006, Diamantis et al. 2014). Četné jsou též studie, zabývající se vlivem petrografických nebo petrofyzikálních faktorů na technologické vlastnosti hornin (Sabine et al. 1954, Goswami 1984, Akpodokje & Hudec 1992, Brattli 1992, 1994, Dukino et al. 1995, Cardu et al. 1996, Tuğrul & Gürpınar 1997, Tuğrul & Zarif 1999, Åkesson et al. 2003, Plinninger et al. 2003, Korkanç & Tuğrul 2004, Maroto & Del Rio 2004, Räisänen 2004, Rao & Prased 2004, Persson & Göransson 2005, Al-Oraimi et al. 2006, Nwaiwu et al. 2006, Koukis et al. 2007, Lindqvist et al. 2007, Rigopoulos et al. 2010, 2012, 2013, 2014). Petrografické vlastnosti hornin na výrobu drceného kamene mohou mít nejen přímý vliv na jejich technologické vlastnosti, ale též na další aspekty spojené s jejich využíváním včetně případných zdravotních rizik – např. kvůli zvýšené prašnosti při obrousování v silničním kamenivu (Fukuzaki et al. 1986, Räisänen et al. 2003, 2005).

Vzhledem k množství různorodých hornin, počtu lokalit a odlišných typů technologických zkoušek jsou tyto petrologické vlastnosti propojeny vždy v kapitolách s jednotlivými konkrétními zkouškami a nejsou posuzovány odděleně.

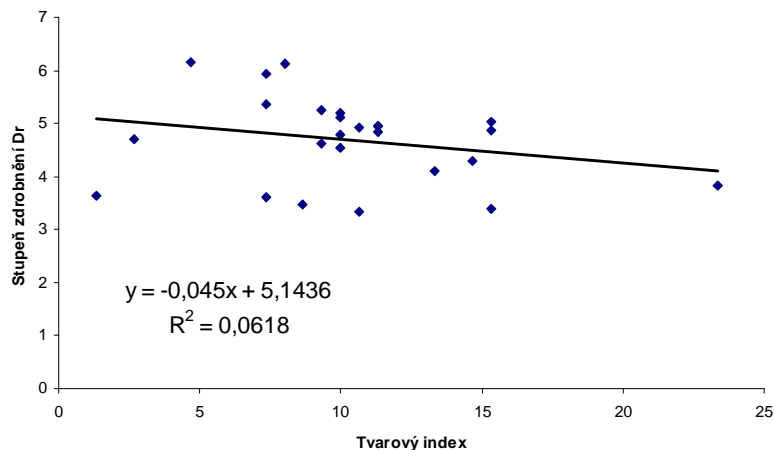
Od mineralogických korelací v podobě procentuálního zastoupení jednotlivých komponent bylo upuštěno, vzhledem k tomu, že u vulkanických hornin závisí jak na velikosti a uspořádání minerálů, ale také na texturním uspořádání, což se v souboru těchto dat liší velmi podstatně a těžko se porovnává. Různí autoři porovnávají např. hodnotu Los Angeles a jiné mechanické a technologické vlastnosti s obsahem živců, křemene, slíd apod. (Miskovsky 2004, Miskovsky et al. 2004, Räisänen & Mertamo 2004, Persson & Göransson 2005, Loorents et al. 2007, Pomonis et al. 2007, Kondelchuk & Miskovsky 2009, Loorents & Kondelchuk 2009, Novikov & Miskovsky 2009, Keikha & Keykha 2013, Rigopoulos et al. 2013). Jedná se však většinou o granitické horniny, kde se nemusí uvažovat i s vlivem základní hmoty, jako například u klastických sedimentů nebo vulkanických hornin, která se nedá vyčíslit tak snadno jako u hrubozrnných hornin. Problematické je například v jemnozrnné základní hmotě určit množství a velikost jednotlivých komponent a naopak u vyrostlic porovnat různé typy hornin v závislosti na jejich velikosti a povaze, protože zde hraje velkou roli také alterace minerálů (jako např. u vyrostlic olivínu je častá iddingsitizace), která lze jen těžko vyčíslit.

6.2. Experimentální metody drcení

6.2.1. Stupeň zdrobnění

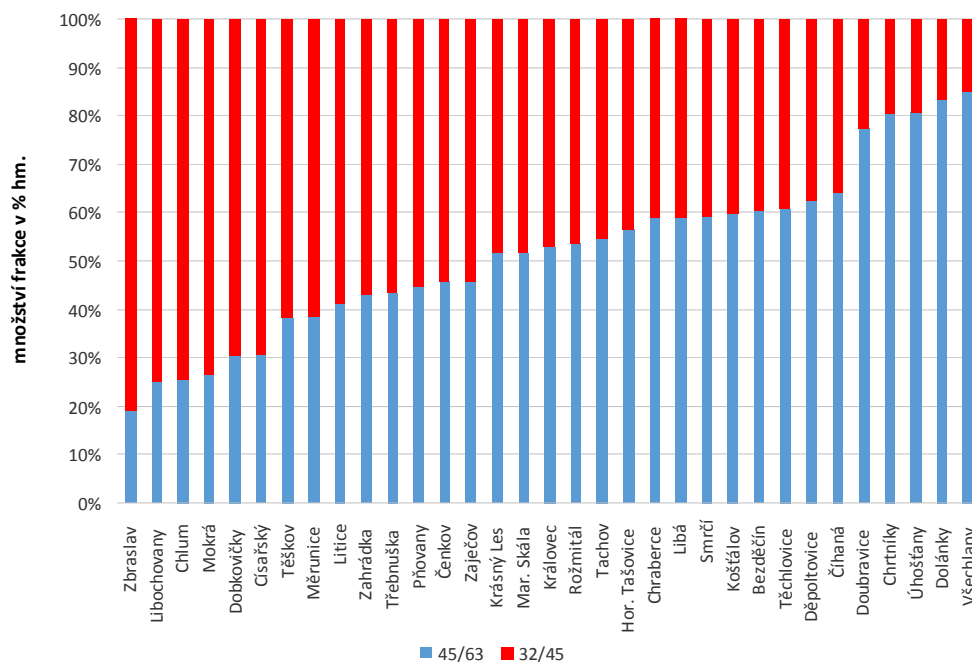
Optimální stupeň zdrobnění se u čelistových drtičů uvádí v rozmezí D_r (3-5) (Eloranta 2005), protože s vyšším stupněm zdrobnění roste riziko horšího tvarového indexu a vyššího podílu drobného kameniva. Zkoumané vulkanické horniny mají rozptyl hodnot D_r od 3,33 do 6,16.

Při drcení kameniva pouze na jednom stupni drcení je velkým nedostatkem, že nelze regulovat výslednou křivku zrnitosti. Proto se konečný produkt zpravidla získává zdrobňováním na několika na sebe navazujících stupních. Protože rubanina má velikosti v decimetrech a výsledný produkt v milimetrech, je přirozené zmenšovat jej postupně. V této práci se naopak přistoupilo k experimentálnímu drcení vzorků pouze na jednom stupni drcení, protože byl očekáván velký kontrast mezi tvarovou hodnotou zrn různých typů bazaltových hornin u vyrobené frakce v oblasti výstupní štěrbin. Vzájemná závislost mezi stupněm zdrobnění a tvarovou hodnotou zrn se však v tomto experimentu nepotvrdila (Obr. 6.1).



Obr. 6.1. Závislost tvarové hodnoty na stupni zdrobnění D_r .

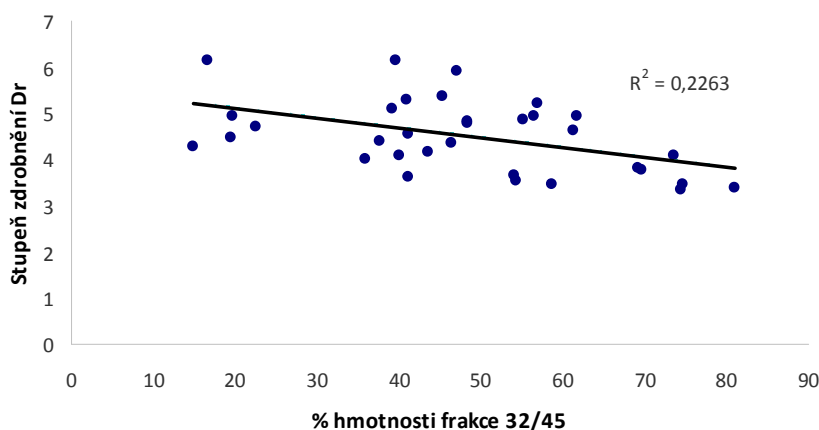
Vzhledem k tomu, že experimentální zjištění stupně zdrobnění bylo ve velkém uceleném projektu pouze okrajové, vzorky se odebíraly v rámci časového období dvou let, bylo množství odebrané frakce 32/63 z výroby limitované. Zastoupení frakce 32/45 a 45/63 zavážené do drtiče bylo značně nerovnoměrné (Obr. 6.2).



Obr. 6.2. Množství zrn zaváženého kameniva.

Bouquety et al. (2007) tvrdí, že různorodá proporce zavázky do drtiče nemá významný vliv na tvar kameniva. Podle Holce (1959) je výpočet poměru stupně zdrobnění D_r vztáhnutý ke střední hodnotě velikosti zrn zavázky a střední velikosti zrn produktu vzhledem k tomu, že do zdrobňovacího stroje přichází zřídka kdy stejně velká vstupující zrna zavázky. Na první pohled se zdálo, že různý velikostní poměr v zavázce stupeň zdrobnění D_r ovlivnil, avšak už po vynesení do grafu závislosti (Obr. 6.3) hodnoty D_r a velikostního zastoupení se ukázalo, že tyto dva parametry spolu příliš nekorelují u frakce 32/45 ani u 45/63.

Nejvyšší hodnoty stupně zdrobnění byly naměřeny u petrograficko-technologické skupiny melafyrů a to bez závislosti na poměru zastoupení frakce 32/45 a 45/63 (Obr. 6.3). U petrograficko-technologické skupiny bazaltů a spilitů lze pozorovat jedny z nejnižších hodnot D_r , i když většinou mají nižší hodnoty spility, což je zřejmě u některých bazaltů způsobeno vyšší přítomností křehkého olivínu. Nedá se ovšem vyloučit, že u spilitů může mít na nízké hodnoty D_r vliv nižší zastoupení hrubší frakce. Zůstává otázkou, jaký stupeň zdrobnění by se naměřil, kdyby bývala byla závážka u všech lokalit homogenní. U některých výsledků je patrné, že na ně má nejednotná závážka vliv, ale u jiných je tento jev potlačen, protože to závisí na více faktorech.

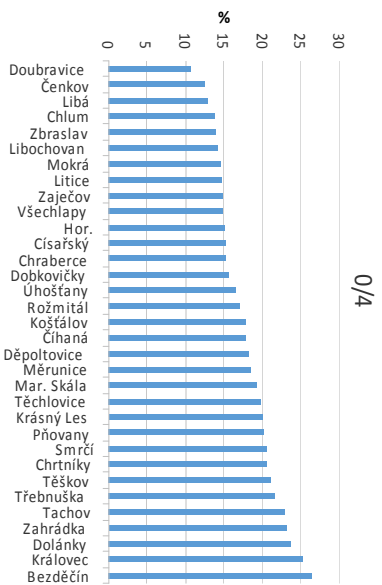


Obr. 6.3. Závislost tvarové hodnoty na stupni zdrobnění D_r .

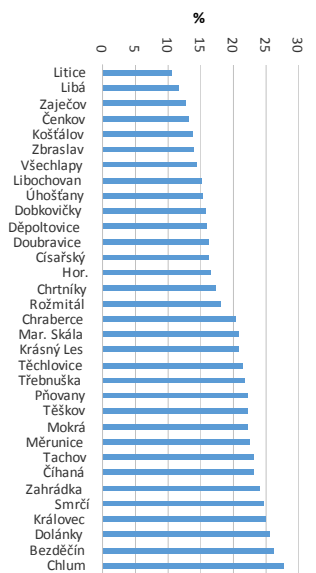
Po vynesení zastoupení jednotlivých frakcí z produkce drcení je na první pohled patrné, že u všech lokalit je nejvyváženěji zastoupená frakce 11/16, která je nejbližší oblasti velikosti výstupní štěrbinu drtiče. U lokalit s nejvyšším stupněm zdrobnění Bezděčín a Královec lze pozorovat extrémně nízké zastoupení frakcí nad 16 mm a nejvyšší zastoupení frakcí pod 11 mm (Obr. 6.4), avšak nedá se zároveň říci, že by se s růstem stupně zdrobnění drtiče zhoršovala tvarová hodnota (Eloranta 1995, Mitchell et al. 2008). Lze tedy konstatovat, že se vzrůstajícím D_r se nezhoršuje tvarová hodnota zrn a zároveň jsou tyto dva parametry v tomto případě na sobě nezávislé. Z výsledků je ale patrné, že s růstem stupně zdrobnění se zvyšuje podíl drobného kameniva (frakce 0/4), což potvrzuje tvrzení Mitchella et al. (2008).

6.2.2. Redukční poměr

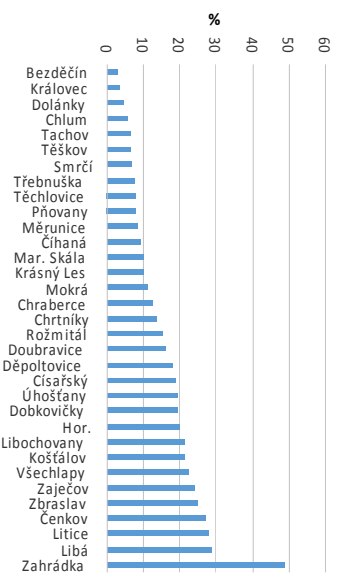
Zrychlená metoda zjištění stupně zdrobnění, redukční poměr R_{80} (Taggart 1945, Holec 1959), u které byla drcena pouze úzká frakce 32/63, se v této práci nezdá být příliš přesná a ani vhodná. V době širokého využití výpočetní techniky již dávno není pravda, že by početní metoda stupně zdrobnění byla příliš pracná, přičemž když je výpočet doplněn ještě o křivky zrnitosti, je k dispozici také rychlý přehled o zastoupení všech frakcí. Křivka zrnitosti závážky se vynáší pouze ze tří bodů, což způsobuje to, že odečet z křivky zrnitosti závážky je s větší odchylkou a téměř v žádném případě se neshoduje s vypočítaným stupněm zdrobnění (Příloha 5). Obr. 6.5 uvádí příklad odečtu hodnoty $R_z = 55$ a $R_p = 18$ z křivek zrnitosti závážky a produktu, z čehož vychází výsledek R_{80} rovný 3,1. Vypočítaný stupeň zdrobnění D_r je 3,6 a hodnoty $S_z = 45,6$ a $S_p = 12,8$.



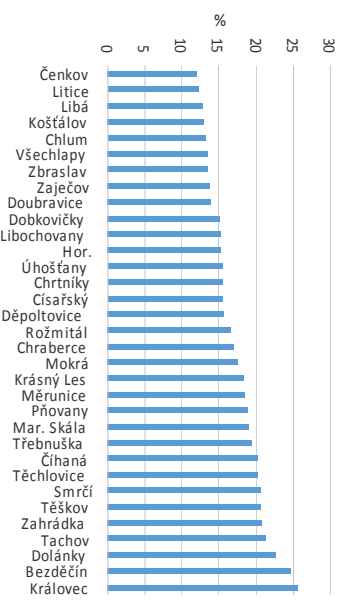
8/11



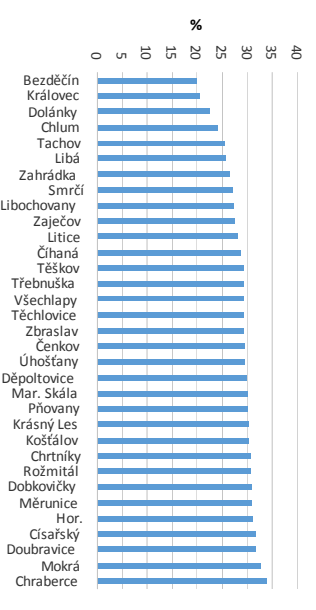
16/22



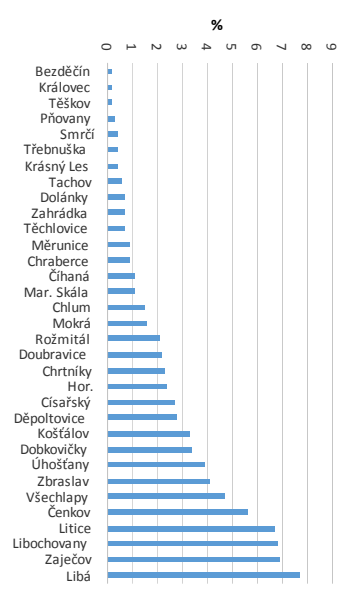
4/8



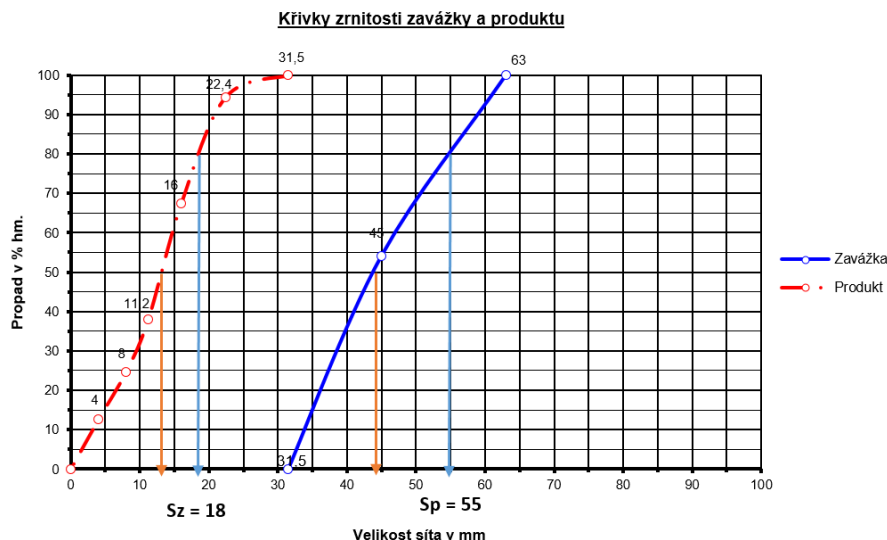
11/16



22/32

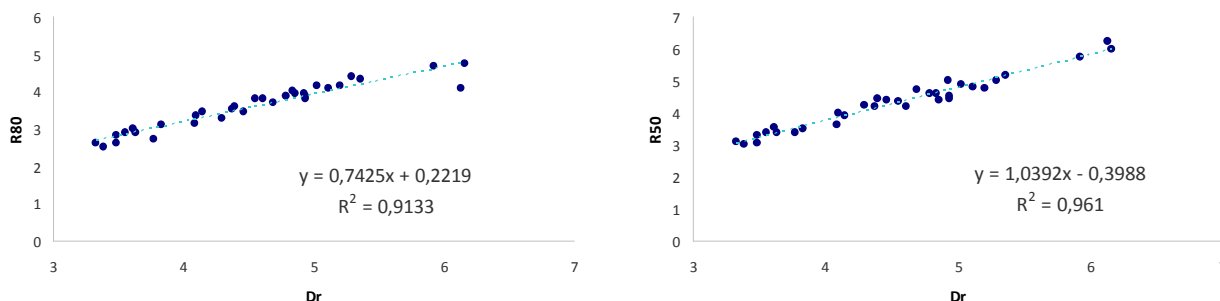


Obr. 6.4. Hmotnostní podíly zrnitostních frakcí produktu dřevní.



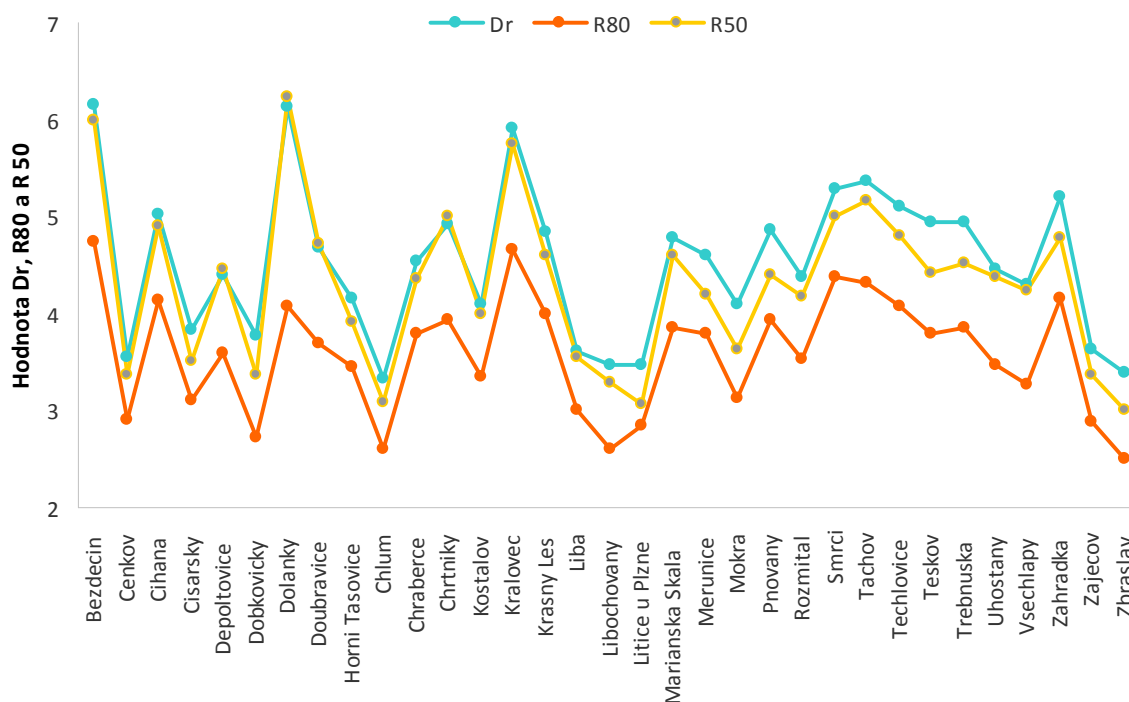
Obr. 6.5. Grafické znázornění odečtu redukčního poměru z křivky zrnitosti zavázky a produktu.

Ze základní publikace o drcení kamene (Taggart 1945), se vžil poměr R_{80} a od roku 1945 je tato kniha citována a přejímá se postup odečtu hodnoty v 80% křivky zrnitosti. Z mnohaletých zkušeností na výzkumech vrťů a geologických průzkumů různých druhů hornin z celého světa (Hörbe, nepublikovaná data) vyplynulo, že mnohem reprezentativnější je odečtení v rozmezí 50-60% křivky zrnitosti. V této práci se potvrdilo, že hranice hodnoty z 50 % se blíží hodnotě D_r více, než ty z 80% (Obr. 6.6).



Obr. 6.6. Stupeň závislosti stupně zdrobnění a redukčního poměru R_{80} a R_{50} .

Na uvedeném příkladu z vybrané lokality (Obr. 6.5) je vidět, že odečet v 50 % zrnitostní křivky dává $R_z = 44,8$ a $R_p = 13$ takže $R_{50} = 3,45$. I přesto, že tato hodnota se velmi blíží D_r , zůstává početní metoda mnohem výhodnější. Na Obr. 6.7 je zřejmé, že metoda odečtu v 50% křivky zrnitosti se velmi blíží vypočítanému stupni zdrobnění a oproti tomu hodnota odečtu v 80 % je mnohem nižší.



Obr. 6.7. Porovnání hodnoty stupně zdrobnění a redukčního poměru.

6.3. Tvar zrn kameniva

6.3.1. Obecně

Pro vyjádření trojrozměrného tvaru zrna existuje několik různých metod, jako například vizuální srovnávací metoda, měření, trojrozměrné metody (3-D) pomocí počítačové analýzy obrazu nebo počítačová RTG tomografie (Janoo 1998, Persson 1998, Brzezicki & Kasperkiewicz 1999, Wang 1999, Garboczi 2002, Chandan et al. 2004, Fernlund 2005a,b,c, Erdogan et al. 2006, Uthus 2007.). Počítačová analýza obrazu je moderní, praktickou a rychlou metodu k vyhodnocení a kvantifikaci jak tvaru, tak zrnitosti částic kameniva (Barksdale et al. 1991, Li et al. 1993, Kuo et al. 1996, 1998, Fernlund 1998, Kuo & Freeman 1998, Mora et al. 1998, Kwan et al. 1999, Masad et al. 2000, 2005, Mora & Kwan 2000, Rao et al. 2002, Al-Rousan et al. 2007, Uthus et al. 2005, 2007, Burno et al. 2012). Ačkoliv není tento postup požadován pro běžné zkoušení, poskytuje spolehlivé výsledky a aplikovatelnost ve výzkumných projektech.

Drcené kamenivo lze definovat pomocí tří vlastností vyjadřujících tvar: tvar, ostrohrannost a povrchová textura (Ganapati & Adishesu 2013). Vzhledem k tomu, že zrno kameniva je trojrozměrným prostorovým objektem, nebyl problém pomocí nejkratší, střední a nejdelší osy vyjádřit jeho tvar. Údaje o rozměrech všech tří os 150 zrn kameniva, získané pomocí obrazové analýzy, otevřely prostor pro různé možnosti výpočtů, i když v některých případech modifikované. Proto bylo možné provést vyhodnocení jak 3D analýzy zrn (Smith & Collis 2001, Chen et al. 2005, Příkryl 2006) i modifikovaně vyjádřit hodnoty, které se získávají měřením pomocí posuvného měřítka (Uthus et al. 2005). V této práci jsou zkombinovány jak metody, které neuvažují s trojrozměrným vyjádřením zrna, tak i metody podle různých autorů založené zejména na obrazové analýze zkoumaných zrn kameniva.

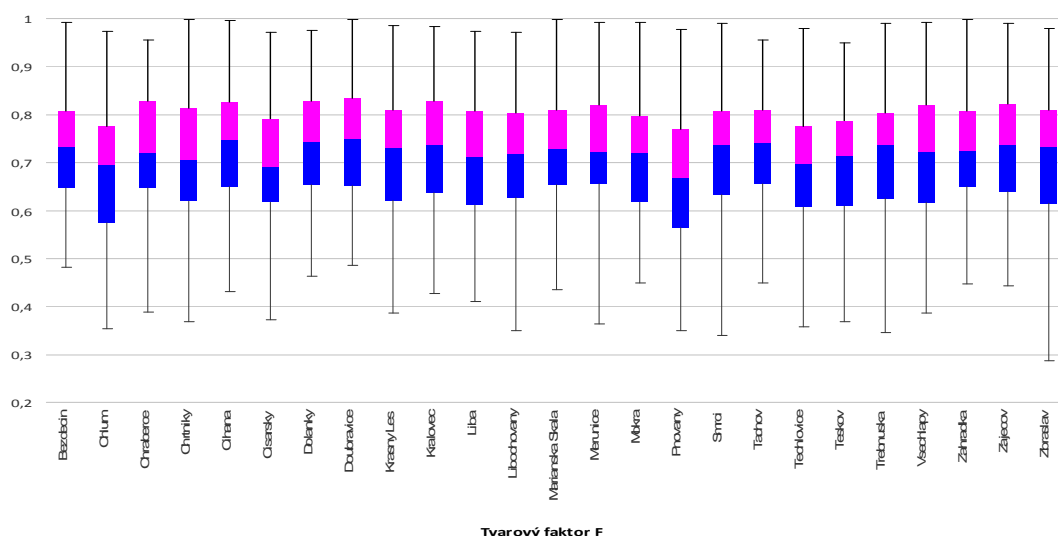
Charakteristické tvarové znaky kameniva jako rozměr, tvar, textura povrchu a angularita, definovaná počtem drcených hran na povrchu zrna (Uthus et al. 2007), mají vliv např. na provedení a následné vlastnosti asfaltových směsí (Ganapati & Adishesu 2013). Při použití kameniva do betonu je tvar zrn

důležitý jako vstupní informace pro zpracování betonové směsi, potřebného množství vody a následné pevnosti betonu. Pro použití kameniva jak do betonu, asfaltových směsí i železničního šterku je důležité, aby obsahovalo co nejméně zploštělých a protáhlých zrn, tzv. nevhodných neboli nekubických.

Tvar zrn se proto u kameniva vyjadřuje nejčastěji obsahem nekubických zrn. Jaké zrno tedy lze považovat za tvarově vhodné pro různá použití? Většina autorů se shoduje v definici kubického zrna, které se svým ideálním tvarem co nejvíce přibližuje krychli, resp. kouli (Smith & Collis 2001, Chen et al. 2005, Příkryl 2006). Kubická zrna jsou žádoucí pro zvýšení vnitřního tření, zlepšují odpor a jsou mechanicky odolnější. Oproti tomu plochá a protažená zrna mají menší soudržnost a jsou snadněji rozpoužitelná (Chen et al. 2005, Xirouchakis 2012).

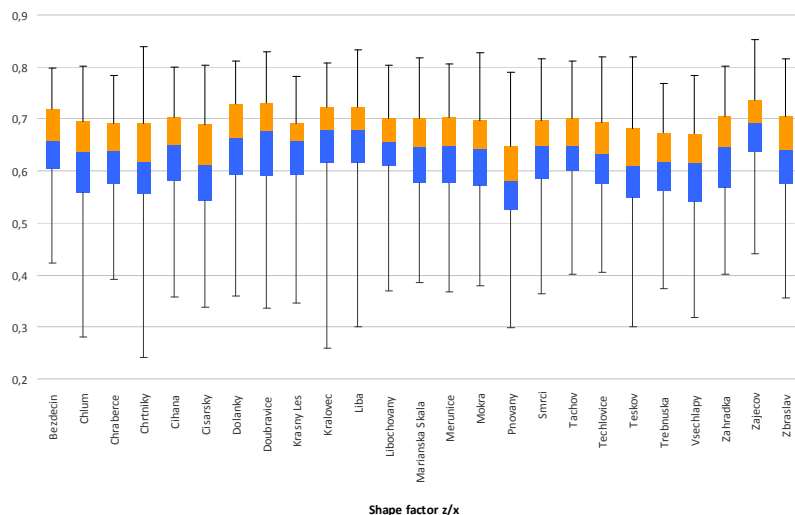
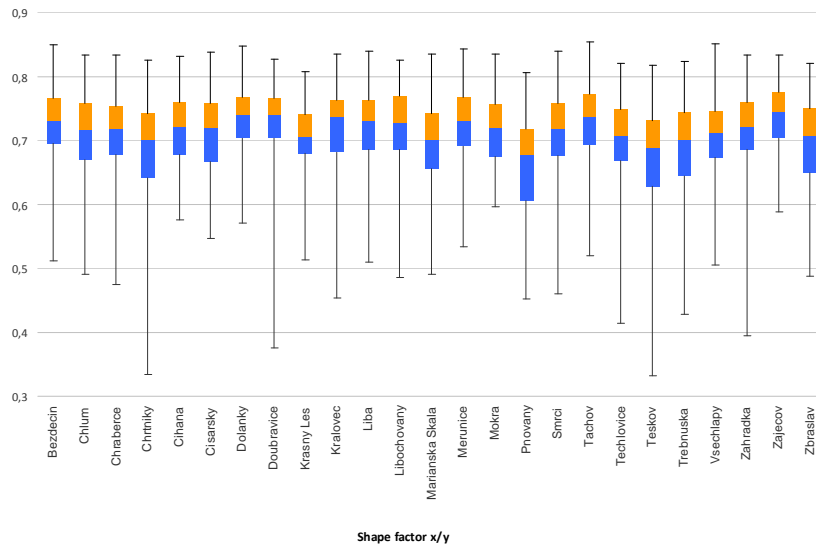
6.3.2. Tvarový faktor zrn

Vyjádřením tvarového faktoru se zabývalo mnoho autorů, ale metody výpočtu se částečně provádí rozdílně (Janoo 1998, např. Uthus et al. 2005, Příkryl 2006, Arasan et al. 2010). V této práci byl tvarový faktor vypočítán metodikou, kde tvarový faktor F vyjadřuje poměr plochosti k protažení (Janoo 1998, Uthus et al. 2005), který byl statisticky vyhodnocen (Obr. 6.8). Podle klasifikační tabulky kameniva (Lees 1964, Janoo 1998) patří zrna s tvarovým faktorem F od hodnoty 0,67 do 1,5 mezi kubická. Z toho vyplývá, že ze zkoumaných vzorků frakce 11/16 vyrobených experimentálním drcením, by na základě průměrných hodnot z počtu 150 zrn tuto hranici splňovaly všechny lokality. Minimální hodnoty se pohybují až kolem $F = 0,35$ (Obr. 6.8).



Obr. 6.8. Rozsah hodnot tvarového faktoru F studovaných hornin.

Druhá metoda stanovení tvarového faktoru byla provedena pomocí počítačové analýzy obrazu. Jedná se o vyjádření tvarového parametru zakřivení, zjednodušeně vyjádření jak se daný objekt blíží kruhu, přičemž za tvar kruhu lze považovat hodnotu rovnou 1 (Příkryl 2006, Arasan et al. 2010). Jak je vidět z výsledků (Obr. 6.9), u žádné z lokalit nedosahuje tvarový faktor hodnoty 1. Maximální hodnoty tvarového faktoru pro zrna zobrazená s dlouhou a střední osou se blíží 0,85; při zobrazení s dlouhou a nejkratší osou potom 0,83.



Obr. 6.9. Rozsah hodnot tvarových faktorů při zobrazení dlouhé a střední osy (horní graf) a dlouhé a nejkratší osy (spodní graf).

Obecně lze zrna kameniva na základě tvarových parametrů rozdělit na deskovitá, krychlovitá (kubická), tyčovitá a lištovitá (Fookes & Poole 1981, Chen et al. 2005, Ganapati & Adishesu 2013), která představují jednotlivé sektory v Zinngově diagramu (Příloha 6) (Zingg 1935). Výsledky trojrozměrného zobrazení tvaru zrn se podle Uthuse et al. (2005) jeví jako nejlepší charakteristika tvaru zrn.

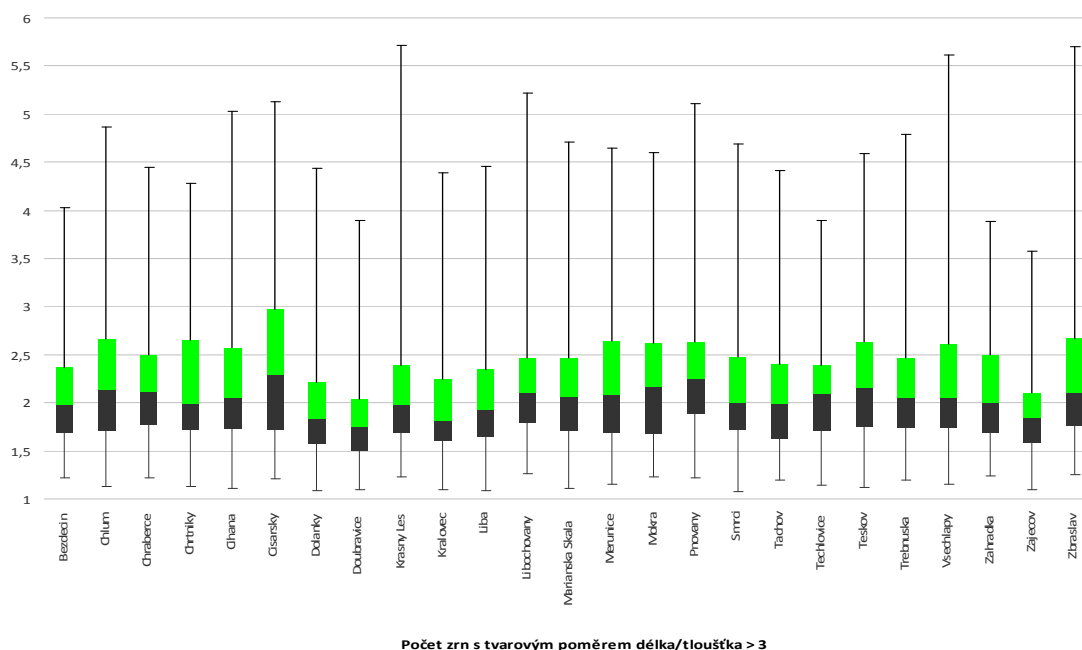
Norská metoda tvarové analýzy klasifikace kameniva pro použití do betonu je podle Uthuse et al. (2005) subjektivní a míra závisí na osobě provádějící zkoušku. Proto je prý dobré, aby stejná osoba prováděla sérii zkoušek kvůli jejich možnému porovnání mezi sebou. V této práci je subjektivní posouzení tvaru zrn vyloučené, protože metoda je modifikována z mechanického posuzování posuvným měřítkem na výpočty na základě známých rozměrů produktu laboratorního drcení frakce 11/16 získaných pomocí obrazové analýzy.

6.3.3. Tvarový index a jeho modifikace

Požadavky na tvarový index kameniva, stanovený podle ČSN EN 933-4, jsou v České republice závislé na účelu jeho použití. Nejprísnější požadavky jsou pro kamenivo do obrusných vrstev s obnaženým kamenivem, jehož hodnota SI musí být do 15 %, zatím co do betonu je nejprísnějších 20 % a pro některé betony dokonce až 40 %. Pro asfaltové směsi jsou požadavky na tvar kameniva pro ložní vrstvy 25 %, podkladní vrstvy 30 % a obrusné vrstvy 25 %. Tyto hodnoty platí pro frakce velikosti $D > 11$.

Tvarový index podle metodiky ČSN EN 933-4 dobře odlišuje zrna s typicky plochými a protaženými zrny, ale nerozděluje drobné rozdíly ve tvaru zrn. Výsledky této metody pouze ukazují velké rozdíly mezi protaženými a kubickými zrny. Tvarový index, stanovený na frakcích kameniva z výroby podle ČSN EN 933-4, který se prováděl před zkouškou drtitelnosti v rázu, je uveden v kap. 6.5.2.

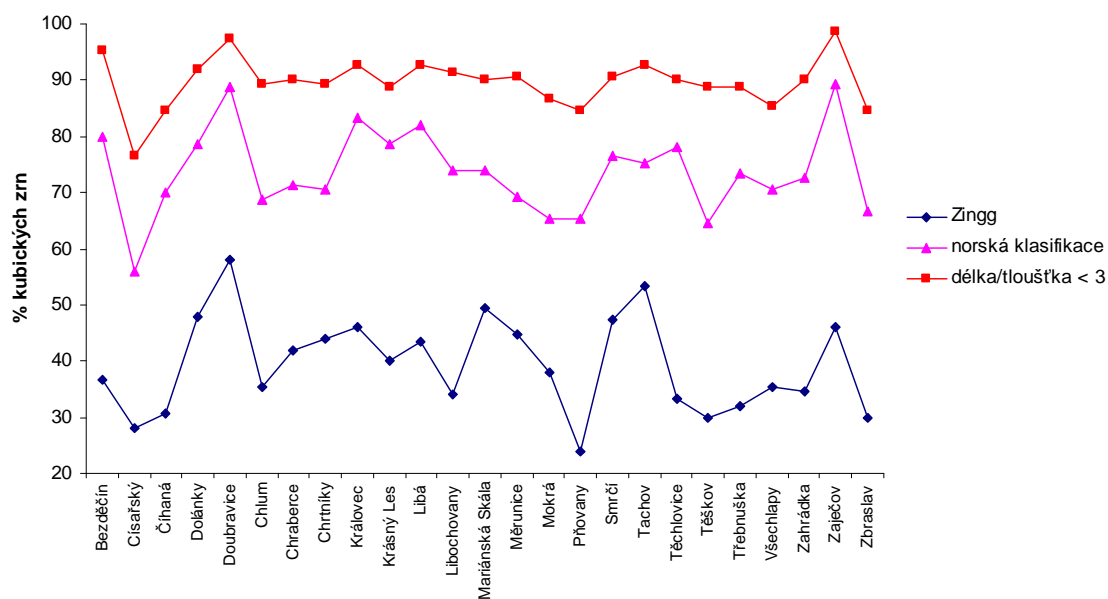
Vzhledem k tomu, že vyjádření nevhodných zrn podle evropské normy je v hmotnostních procentech a v experimentální studii se počítá s procentem zastoupení počtu zrn, je možné říci, které kamenivo by vyhovělo požadavkům. Teoreticky se totiž předpokládá, že tvarový index na základě počtu zrn je mnohem prísnější než ten váhový. Jednoduše to lze vyjádřit na příkladu, kdy vzorek o celkovém počtu 100 zrn a 50 kusů bude mít poměr délka / tloušťka > 3 , početně se bude jednat o 50 % tvarově nevhodných zrn (Obr. 6.10). Váhově bude ale zastoupení nevhodných zrn mnohem menší, protože jejich hmotnost bude i několikanásobně nižší než těch vhodných.



Obr. 6.10. Poměr tvaru zrn délka/tloušťka 1:3 na produktu drcení frakce 11/16.

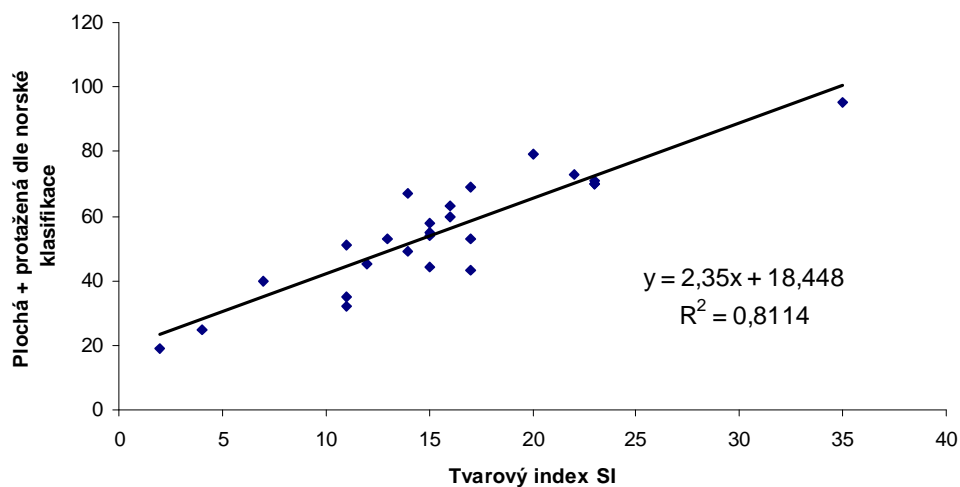
Při vyhodnocení procentuálního zastoupení kubických zrn různými metodami (Obr. 6.11) je patrné, že nejprísnější kritéria na tvar částic klade Zinggův přístup (Zingg 1935); naopak nejmírnější požadavky jsou podle evropské normové metodiky, která je směrodatná pro různá použití kameniva ve stavebnictví. Při vyhodnocení podle Zingga (1935) byla za kubická zrna považována pouze ta, která splnila požadavek, kdy hodnota protažení zrna byla větší než 0,66 a zároveň plochost zrna byla větší než 0,66 (což odpovídá poměru 2 : 3). Naopak norská metoda (viz Uthus 2007, Uthus et al. 2005,

2007) klasifikuje jako kubická zrna taková, která mají plochost do hodnoty 2,0 a zároveň protažení do hodnoty 2,5. Zrna jsou považována kubická, pokud nejsou plochá a zároveň protažená.



Obr. 6.11. Výsledky procentuálního množství kubických zrn, vypočítaných na stejném vzorku podle různých metod.

U experimentální metodiky tvaru zrn je z grafu na Obr. 6.11 zřejmé, že nejpřísnějšímu požadavku do SI 15 % by nevyhověl pouze jeden nefelinický bazanit, na hranici SI 15 % nefelinický tefrit, olivinický nefelinit, granitový porfyr a spilit. Vliv mineralogického složení a texturního uspořádání horniny k predikci tvaru zrn se v tomto experimentu příliš nezdařilo důsledkem toho, že se u všech lokalit podařilo vyrobit tvarově kvalitní frakci 11/16, u které nebyly výrazné rozdíly v rámci jednotlivých horninových skupin. Na druhou stranu se tímto potvrzuje pravidlo, že frakce, jejíž velikost tvoří střední hodnotu štěrbinu drtiče, mívá velmi dobrý tvar. V tomto případě i navzdory typům hornin, které spíše inklinují k tvorbě plochých a protažených zrn či drcení pouze jednostupňově na čelistovém drtiči. Při porovnání množství plochých a protažených zrn, zjištěného pomocí norské metodiky a podle tvarovým indexem SI , je patrný velmi těsný vztah obou parametrů (Obr. 6.12).

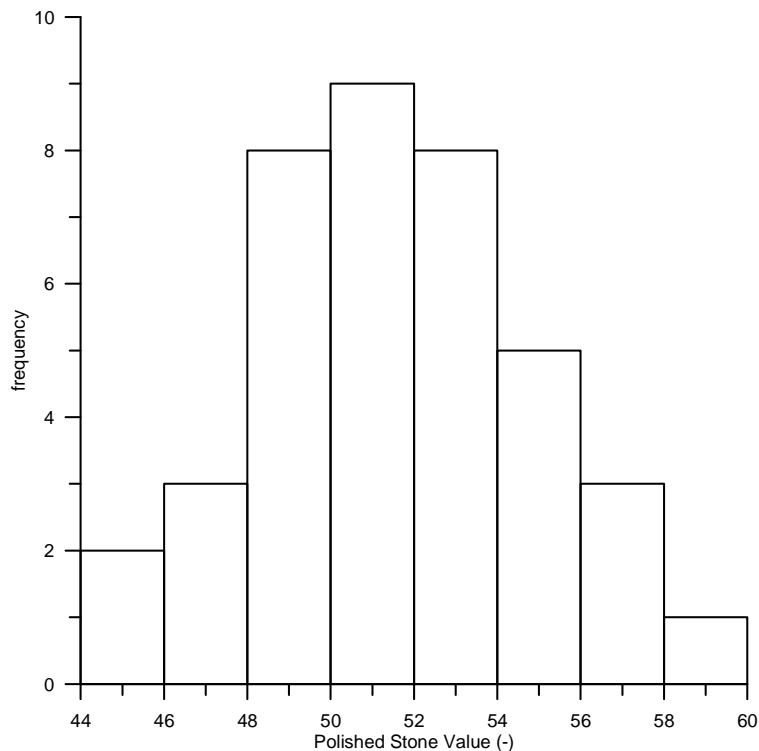


Obr. 6.12. Porovnání závislosti mezi dvěma metodami určení tvarově nevhodných zrn.

6.4. Technologické zkoušky

6.4.1. Ohladitelnost PSV

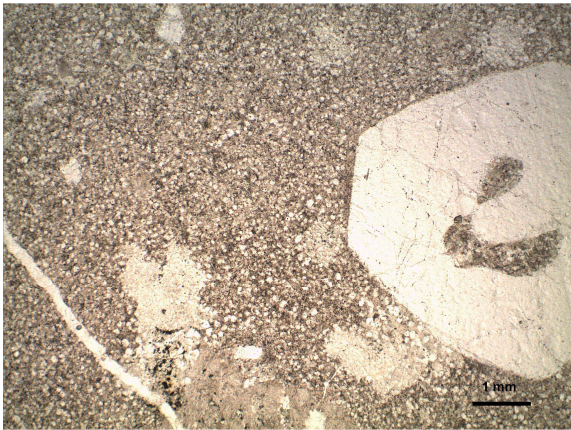
Hodnoty ohladitelnosti PSV studovaných vulkanických hornin se pohybují od 46 do 60. V rámci zkoumaného počtu horninových typů lze však konstatovat, že hodnoty PSV = 46 – 48 a PSV = 56 – 60 jsou spíše okrajové, zatímco hodnoty PSV = 50 – 55 lze považovat za charakteristické (Obr. 6.13.).



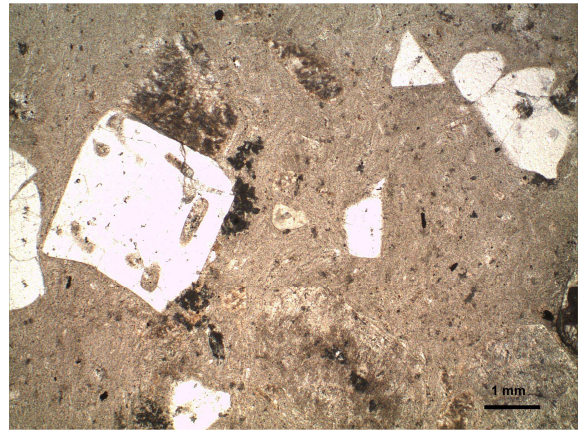
Obr. 6.13. Četnost hodnot ohladitelnosti PSV.

U skupiny hornin porfyr / ryolit, které obsahují vyrostlice křemene a živců roste hodnota PSV (od 51-57) nepřímo úměrně s velikostí křemenných zrn. Svým mineralogickým složením i vnitřní stavbou jsou si velmi podobné, avšak nejvyšší hodnotu PSV (57) vykazuje ryolit, který je nejjemnozrnnější, vyrostlice živců jsou pouze ojedinělé a má drobně porfyrickou felzitickou strukturu základní hmoty. Nejnížší hodnotu PSV (51) má bohatě hrubě porfyrický granitový porfyr s felsitickou strukturou základní hmoty. Toto zjištění je v rozporu s obecně přijímaným tvrzením, že ohladitelnost PSV se zhoršuje, čím je hornina jemnozrnnější a tvrdší (např. Smith a Fager 1991).

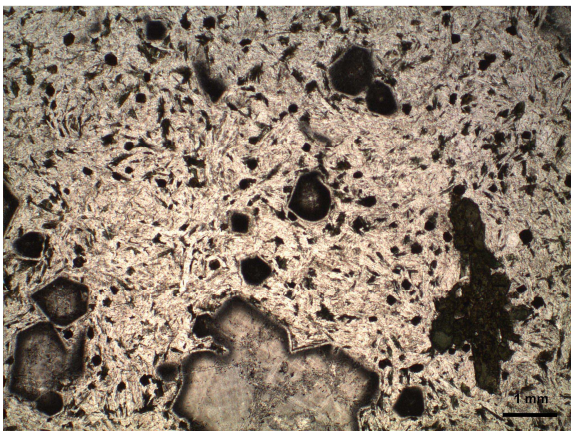
Všechny zkoumané fonolity mají drobně porfyrickou strukturu s trachytickou základní hmotou. Hodnoty ohladitelnosti dvou vzorků jsou PSV 46 a třetí vzorek dosahuje hodnoty PSV 50. Oproti dalším dvěma vzorkům (Obr. 6.14c-e) má vnitřní stavba zřetelný kontrast mezi velikostí vyrostlic a jemnozrnnou základní hmotou a navíc jako jediný ze vzorků obsahuje Ti-granát, který podporuje větší kontrast tvrdostí mezi ostatními složkami.



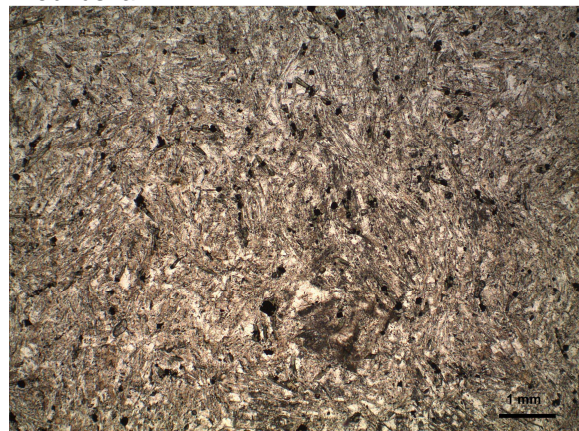
Obr. 6.14a. Mikrostavba ryolitu z lomu Těškov.



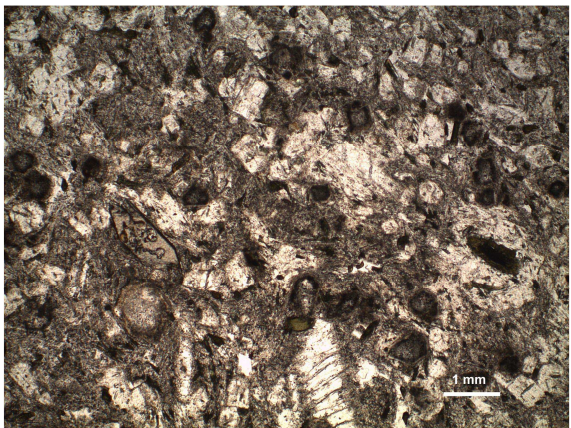
Obr. 6.14b. Mikrostavba ryolitu z lomu Třebnuška.



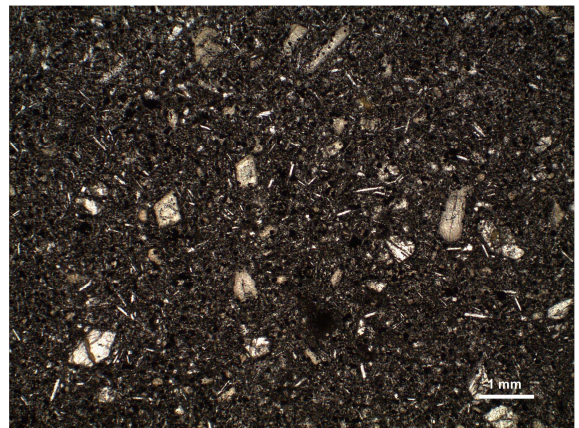
Obr. 6.14c. Mikrostavba fonolitu z lomu Tachov.



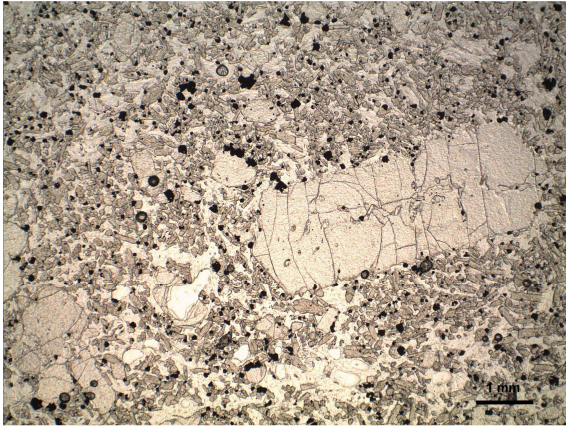
Obr. 6.14d. Mikrostavba fonolitu z lomu Mariánská skála.



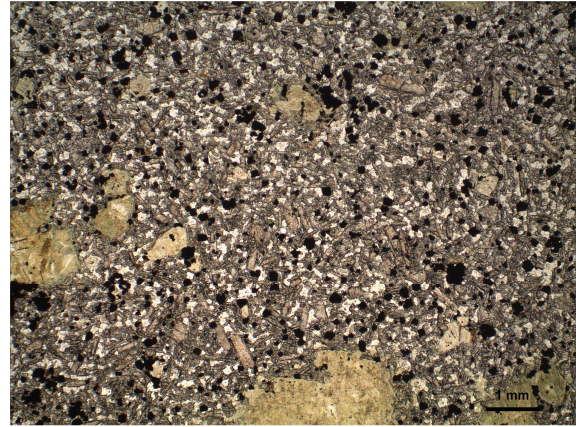
Obr. 6.14e. Mikrostavba fonolitu z lomu Chlum.



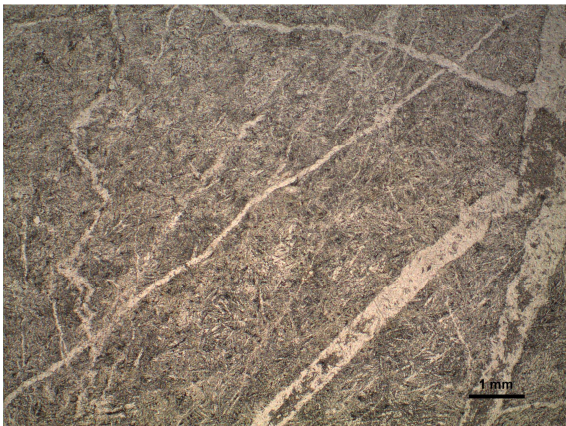
Obr. 6.14f. Mikrostavba bazaltu z lomu Císařský.



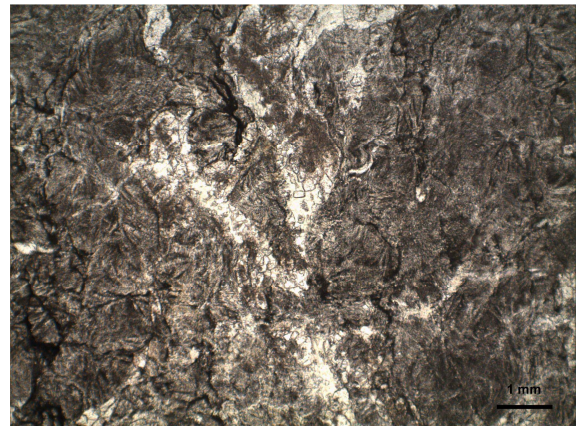
Obr. 6.14g. Mikrostavba bazaltu z lomu Bílčice střed.



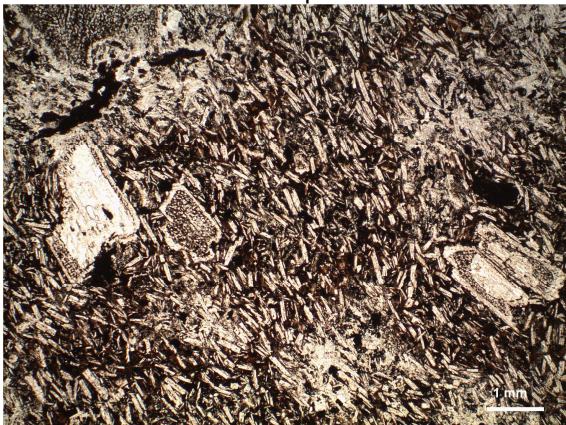
Obr. 6.14h. Mikrostavba bazaltu z lomu Těchlovice.



Obr. 6.14i. Mikrostavba spilitu z lomu Čenkov.



Obr. 6.14j. Mikrostavba spilitu z lomu Zahradka.



Obr. 6.14k. Mikrostavba melafyru z lomu Rožmitál.



Obr. 6.14l. Mikrostavba melafyru z lomu Bezděčín.

Petrograficko-technologická skupina bazaltů *s.l.* je zastoupená sodalitickými a olivinickými nefelinity, olivinickými analcimity, nefelinickými bazanity a tefrity. Horniny jsou velmi jemnozrné s vyrostlicemi o různé velikosti od 0,5 do 9 mm, které tvoří zejména olivín, pyroxen a v některých případech živce nebo foidy. U skupiny bazaltů je velký rozptyl hodnoty ohladitelnosti PSV od 48 do 55. Tři vzorky s výrazně odlišnými hodnotami jsou si z pohledu mineralogického složení podobné, při posouzení vnitřní stavby jsou však odlišné. U těchto vzorků je téměř stejné zastoupení olivínu, pyroxenu a rudy. Nefelinický bazanit (Obr. 6.14f) s porfyrickou afanitickou stavbou základní hmoty obsahuje výrazně více plagioklasu než vzorek olivinického nefelinitu (Obr. 6.14h) a oproti vzorku bazanitu (Obr. 6.14g) obsahuje i nefelin, má nejnižší hodnotu ohladitelnosti PSV 48. Vzorek olivinického nefelinitu (Obr. 6.14h) je drobně porfyrický (až nevaditický) s hemikrystalickou stavbou

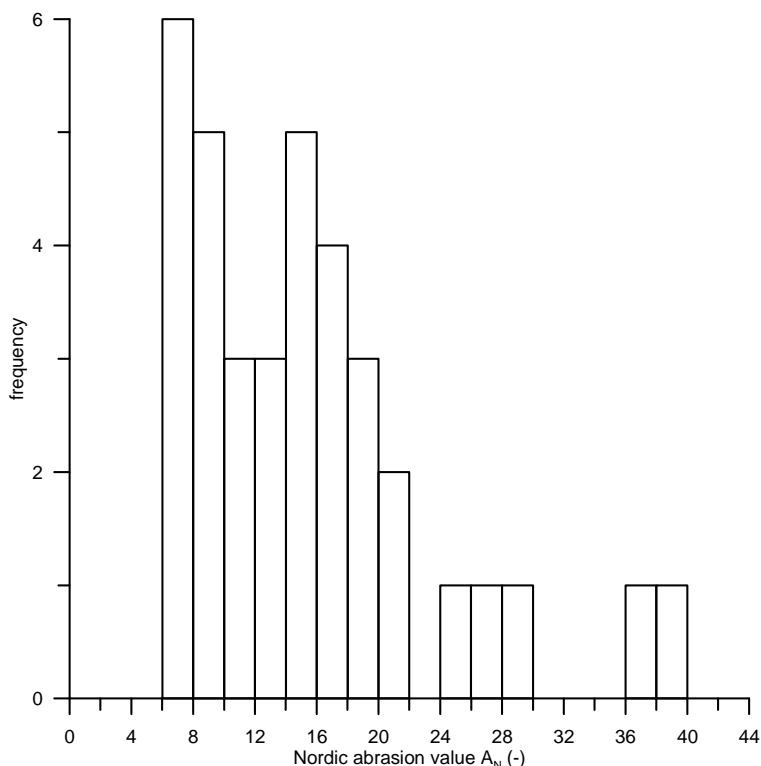
základní hmoty, vláknité zeolity nebyly u tohoto vzorku zjištěny. Oproti srovnávaným dvěma vzorkům je výrazně porfyrický (hojně vyrostlice tvoří nefelin a ojediněle velké pyroxeny) a hodnota ohladitelnosti kameniva se pohybuje kolem průměrné hodnoty hornin ze skupiny bazaltů PSV 50. Bazanit (Obr. 6.14g) drobně porfyrický s pilotaxickou stavbou základní hmoty neobsahuje plagioklas jako vzorek (Obr. 6.14f) a hodnotu PSV = 52 má také vyšší.

Hodnoty ohladitelnosti se u petrograficko-technologické skupiny spilitů pohybují v rozmezí od PSV 47 do 54. V této skupině je interpretace poněkud složitá, protože u některých vzorků lze pozorovat přímou úměru hodnoty PSV a odolnosti vůči obrusu A_N (viz dále), u jiných vzorků je tomu naopak. Je to dáno zejména problematickou vnitřní stavbou (Obr. 6.14i-j), která je velmi jemnozrná, brekciovitá a celkově se jedná o nehomogenní surovinu v rámci zkušební vzorku.

V petrograficko-technologické skupině diabas / melafyr se vyskytují vesměs horniny s odlišnou povahou vyrostlic a základní jemnozrnou hmotou (Obr. 6.14k-l) a zároveň horniny s porušenou vnitřní stavbou vzhledem k reakčním lemům kolem mandlí, žilkování nebo limonitizaci. Tyto horniny mají obecně nejlepší hodnoty ohladitelnosti ze všech vulkanitů a jejich hodnoty se pohybují od PSV 53 do 60, většinou více než PSV 55. Výsledky pro tuto skupinu hornin tedy odpovídají zjištěním z jiných experimentálních prací, které konstatovaly zlepšení odolnosti proti ohlazu (tedy zvýšení hodnoty ohladitelnosti PSV) s rostoucím zastoupením minerálů s kontrastní tvrdostí (Rigopoulos et al. 2012, Fernández et al. 2013).

6.4.2. Odolnost proti obrusu pneumatikami s hroty - Nordická zkouška

Hodnoty nordického obrusu A_N studovaných vulkanických hornin se pohybují od 6,4 do 43,3. V rámci zkoumaného počtu horninových typů lze však konstatovat, že hodnoty $A_N = 24-30$ a $A_N = 36-44$ jsou spíše okrajové, zatímco hodnoty $A_N = 6-10$ a $A_N = 14-18$ lze považovat za charakteristické (Obr. 6.15).



Obr. 6.15. Četnost hodnot obrusu A_N .

U petrograficko-technologické skupiny porfyr / ryolit je třeba porovnání vzorků s extrémně odlišnými hodnotami (A_N 7,3 a 21,9) dvou ryolitů o stejné objemové hmotnosti a stejné ohladitelnosti PSV, přičemž první vzorek je výrazně hrubozrnnější než druhý. Ryolit (Obr. 6.14a) s hruběji porfyrickou felzitickou stavbou základní hmoty, který sice vykazuje vyšší obsah křemene, a v základní hmotě převládají živce nad křemenem, ale obsahuje i biotit, má hodnotu A_N 21,9. Vzorek s drobně porfyrickou felzitickou až nevaditickou stavbou základní hmoty (Obr. 6.14b), obsahující kromě přibližně stejného množství draselného živce i plagioklasu, nižší obsah křemene a je s vyrovnaným poměrem křemene a živců v základní hmotě, má hodnotu A_N 7,3.

U hornin z petrograficko-technologické skupiny fonolitů se hodnoty A_N od sebe liší minimálně a to i napříč tomu, že se liší jak v mineralogickém složení, procentuálním zastoupením jednotlivých komponent, tak i povahou a velikostí vyrostlic. Zatímco u jednoho vzorku tvoří vyrostlice hauyn a pyroxen (Obr. 6.14c), druhý vzorek má drobně porfyrickou stavbu s vyrostlicemi živců, sodalitu a pyroxenu (Obr. 6.14d) a u posledního vzorku (Obr. 6.14e) je taktéž mezi vyrostlicemi kromě živce a pyroxenu i sodalit.

U petrograficko-technologické skupiny bazaltů *s.l.* lze pozorovat velký rozptyl hodnot od A_N 7,6 do 36,9. Tři vzorky s výrazně odlišnými hodnotami (Obr. 6.14f-h) jsou si z pohledu mineralogického složení podobné, při posouzení vnitřní stavby jsou však odlišné. U těchto vzorků je téměř stejné zastoupení olivínu, pyroxenu a rudy. Nefelinický bazanit (Obr. 6.14f) s porfyrickou afanitickou stavbou základní hmoty obsahuje výrazně více plagioklasu než vzorek olivinického nefelinitu (Obr. 6.14h) a oproti vzorku bazanitu (Obr. 6.14g) obsahuje i nefelin, má nejlepší hodnotu A_N 7,6 z celé skupiny bazaltů. Vzorek olivinického nefelinitu (Obr. 6.14h) je drobně porfyrický (až nevaditický) s hemikrystalickou stavbou základní hmoty, vláknité zeolity nebyly u tohoto vzorku zjištěny. Oproti srovnávaným dvěma vzorkům je výrazně porfyrický (hojné vyrostlice tvoří nefelin a ojedinele velké pyroxeny) a hodnoty odolnosti proti obrušování A_N 36,9 jsou třetí nejvyšší ze všech zkoumaných vulkanitů. Drobně porfyrický bazanit (Obr. 6.14g) s pilotaxickou stavbou základní hmoty neobsahuje plagioklas jako vzorek nefelinického bazanitu (Obr. 6.14f) a hodnota odolnosti proti otěru A_N 12,3 je vyšší.

V petrograficko-technologické skupině spilitů je minimální hodnota nordické zkoušky A_N je 7,2 a maximální dosahuje A_N 15,9. Vzorky s těmito extrémními hodnotami mají oba objemovou hmotnost $\rho_b = 2,9 \text{ kg/m}^3$, makroskopicky vypadají velmi podobně jak barvou, tak i velikostí zrn a bílým žilkováním. Mikroskopicky jsou svým složením (plagioklas, aktinolit, chlorit, ruda, epidot \pm křemen, kalcit, leukoxen) i zastoupením jednotlivých složek taktéž srovnatelné. Rozdílné jsou mikroskopicky viditelnou velikostí komponent. Vzorek (Obr. 6.14i) má mikrofibroblastickou strukturu, nižší hodnotu A_N než druhý vzorek s apointersertální strukturou (Obr. 6.14j). Z toho vyplývá, že lepší hodnota dosahuje jemnozrnnější vzorek.

U vzorků z petrograficko-technologické skupiny diabas / melafyr s extrémně odlišnými hodnotami (A_N 24,7 a 43,3) má porfyrický vzorek s trachytickou stavbou základní hmoty (Obr. 6.14k) hodnotu A_N 24,7 a vyšší objemovou hmotnost. Vzorek s ofitickou až intersertální, mandlovcovitou stavbou (Obr. 6.14l), obsahuje v základní hmotě kromě přibližně stejného množství plagioklasu, pyroxenu a rudního minerálu jako druhý porovnávaný vzorek. Avšak ve složení a struktuře se liší hojným obsahem mandlí, má hodnotu A_N 43,3, což je vůbec nejvyšší hodnota ze všech skupin zkoumaných vzorků.

6.4.3. Vyhodnocení vztahu mezi ohladitelností, obrusem a dalšími parametry

Z výsledků předchozích studií je zřejmé, že ohladitelnost je značně ovlivněna mineralogickým složením, tvrdostí přítomných minerálů a horninovou stavbou (Smith & Collis 2011). U skupiny hornin diabas / melafyr lze pozorovat trend, že pokud má hornina odlišnou strukturní skladbu,

ohladitelnost PSV dosahuje vyšších hodnot. Příkladem může být vzorek bazaltického andezitu z Bezděčína (Obr. 6.14) s mandlovcovitou stavbou, která je pro hodnoty ohladitelnosti přínosem a výhodou, protože mandle obklopené povlaky chloritů umístěné v odlišné základní hmotě vytváří kontrastní plochu s odlišnými tvrdostmi, měkčí zrna se snáze vylamují a povrch částic kameniva tak zůstává hrubý, což způsobí při zkoušce kyvadlem velký odpor proti tření. Příznivý vliv kontrastní mineralogické tvrdosti jednotlivých horninotvorných složek byl potvrzen i v některých dřívějších studiích (Fernández et al. 2013). Ta samá hornina však vykazuje jedny z nejméně příznivých hodnot obrusu nordickou zkouškou ($A_N = 43,3$), kde je mandlovcovitá stavba velkou nevýhodou. Při namáhání kameniva, kde působí jak dynamické drcení, vzájemné ohlazování jednotlivých zrn o sebe, navíc ještě při spolupůsobení vody, dochází k velmi markantnímu ohlazení a tím vysokým hodnotám A_N .

Stejný jev lze pozorovat i v případě olivinického nefelinitu z Těchlovic ze skupiny bazaltů, který má výrazné vyrostlice nefelinu a vnitřní stavbou se výrazně odlišuje od ostatních hornin ve své skupině a má hodnoty PSV 50 a $A_N = 36,9$, případně také sodalitický nefelinit z Děpoltovic, který má hodnoty PSV 55 a $A_N = 29,8$.

Petrograficko-technologická skupina porfyr / ryolit vykazuje růst hodnoty ohladitelnosti PSV nepřímou úměrně s velikostí křemenných zrn. Nejvyšší hodnoty jsou u vzorků jemnozrnných, nejnižší hodnotu má vzorek bohatě porfyrický. Při zkoušce obrusem (stanovení A_N) je naopak vzorek s vyšším obsahem křemenných vyrostlic, hrubozrnnou základní hmotou a v ní vyrovnaným podílem křemene a živce několikanásobně odolnější.

U petrograficko-technologické skupiny spilitů hraje největší roli uspořádání jednotlivých komponent a také jejich velikost, protože ve složení a objemové hmotnosti jsou si velmi blízké. Závislost na vnitřní stavbě pro hodnoty ohladitelnosti PSV se ukazuje i u znělce, který má zřetelný kontrast mezi velikostí vyrostlic a jemnozrnnou základní hmotou a navíc jako jediný ze vzorků znělců obsahuje Ti-granát, který ukazuje, že příznivější hodnoty ohladitelnosti mají horniny, obsahující minerály s výrazně kontrastní tvrdostí (Fernández et al. 2013). Hodnoty A_N těchto hornin se od sebe liší minimálně a to i přes rozdílné mineralogické složení i vnitřní stavbu.

Naopak u petrograficko-technologické skupiny bazaltů *s.l.* toto tvrzením neplatí. Povrch vyrostlic olivínu se ohlazuje snáze než pyroxenů, a to i přes to, že olivín má vyšší tvrdost a často bývá idingsitizován nebo serpentinizován, tzn. že i v rámci zrna má rozdílné protismykové vlastnosti, ale zřejmě ne tak dostatečné jako pyroxen s nižší tvrdostí. Je otázkou, jakým způsobem vyčíslit nebo určit která vlastnost minerálu je příznivější pro hodnoty ohladitelnosti. Porovnáním naměřených hodnot ohladitelnosti PSV od roku 2004 (nepublikovaná data v archivu ZKK) bylo pro skupinu bazaltů zjištěno, že horniny s kuličkovým rozpadem tzv. „Sonenbrand“ mají vyšší hodnoty ohladitelnosti PSV (>50) než horniny se sloupcovitou odlučností, které jsou považovány za kvalitnější a mechanicky odolnější.

Korelace mezi objemovou hmotností a ohladitelností (PSV) drceného kamene (Tab. 6.3a) a také závislost mezi objemovou hmotností a Nordickou zkouškou (Tab. 6.3a) vykazují velmi nízký stupeň korelace. Pouze v případě korelace v rámci jednotlivých horninových skupin se závislost může u jedné vlastnosti zvýšit, ale u druhé se již nepotvrzuje.

Podle Erichsena (2009) a Erichsena et al. (2008) se ohlazování kameniva zvyšuje s klesající hodnotou ohladitelnosti PSV, zatímco opotřebení pneumatikami s hroty se zvyšuje s rostoucí hodnotou A_N . Z tohoto tvrzení by mělo platit, že korelace hodnoty ohladitelnosti a Nordické zkoušky obrusu bude nepřímou úměrná, ovšem korelační koeficient zkoumaných vulkanitů je ve velmi nízké závislosti (Tab. 6.3a). Erichsen (2009) uvádí rozptyl minimálních, maximálních a průměrných hodnot A_N a PSV pro různé druhy hornin, ale zde studované horniny těmito mezím neodpovídají, někdy se dokonce výrazně liší.

V České republice určuje požadavek na kamenivo do obrusných vrstev národní příloha NA tab. F.4.1 normy ČSN EN 13108-1:2006, které stanovuje pro toto použití minimální hodnotu ohladitelnosti PSV = 50. Pro úseky vozovek se zvýšenými požadavky na protismykové vlastnosti obrusné vrstvy (pro úseky třídy dopravního zatížení III a vyšší v závislosti na směrovém a výškovém vedení a umístění úseku v trase) se u hrubého kameniva požaduje u ohladitelnosti minimálně hodnota PSV = 53. Ve zdůvodněných případech norma doporučuje pro nehodové úseky hodnotu PSV = 56. V některých evropských zemích (např. Německo, Francie, Velká Británie) mají mnohem přísnější podmínky a úseky vozovek dělí nejen podle třídy vozovky, ale i kategorie, polohy a dokonce v rámci tohoto zařazení se liší podmínky ještě třídou provozu podle počtu projetych aut za den (Burton 2008). V České republice se vznášejí z některých organizací doporučení, že by se tyto požadavky měly zapracovat do národní legislativy. Ze získaných výsledků těžených vulkanitů je ovšem patrné, že pro běžné typy hornin není možné těmto přísnějším požadavkům vyhovět, protože hodnoty vyšší jak PSV = 66 nedosahují ani droby. Možným řešením by bylo využití uměle připravených plniv typu strusek nebo přepáleného bauxitu (Cameron 1972, Dews & Bishop 1972, Stock et al. 1996) nebo vytváření směsí různých materiálů (Senga et al. 2013).

Stupeň variability ohladitelnosti kameniva může být, jak uvádí Woodward et al. (2005) i v rámci jednoho ložiska v extrémních případech od PSV 55 do 65 v závislosti na mineralogických vlastnostech jako rozmístění, velikosti nebo stupně alterace horniny což stanovisko korelací nijak neulehčuje.

Hodnota PSV není jenom hodnotou vlastnosti materiálu, ale je ovlivněna také zkušebními podmínkami, jako například obrusným materiálem používaným pro ohlazování, vlastním počtem a uložením jednotlivých zrn atd. V této studii se u korelací vychází z předpokladu výsledků shodného zkušebního postupu, které provedl tentýž pracovník za stejných podmínek z homogenního vzorku, proto jsou hodnoty PSV s Nordickou zkouškou a petrologickými parametry mezi sebou srovnatelné.

Räisanen a Mertamo (2004) uvádějí rozdíly v hodnotách A_N v závislosti na druhu drtiče a principu drcení, což ovlivňuje tvar zrn produktu. Méně kubická zrna podle nich mají mít nižší hodnoty A_N a budou méně náchylná oteru. Vzorky zkoušené v této práci jsou sice produktem terciálního drcení, ale na jednotlivých lokalitách je technologie úpravnictví odlišná, což může ovlivnit porovnávání naměřených hodnot mezi sebou. Tvarová hodnota by měla pozitivně korelovat s hodnotou A_N , nicméně výsledek je značně ovlivněn typem horniny, jejím složením nebo vnitřní stavba.

6.5. Zkoušky mechanické odolnosti

6.5.1. Los Angeles

V České republice se doposud běžně nepoužívá pro hodnocení kameniva určeného do povrchových vrstev vozovek Nordická zkouška stanovující odolnost kameniva proti obrusu pneumatikami s hroty. Cílem výzkumu bylo zjistit, v jakém vzájemném vztahu je hodnota odolnosti proti obrusu pneumatikami s hroty a hodnota odolnosti proti drcení metodou Los Angeles.

Nejlepších výsledků odolnosti proti drcení metodou Los Angeles ze všech hornin dosahují bazalty a spility. Nejnižší hodnota součinitele Los Angeles ($LA = 8,4$) byla zjištěna u spilitu z Čenkova, nejvyšší hodnotu součinitele Los Angeles ($LA = 29,2$) má bazaltický andezit z Bezděčína a obecně lze tuto skupinu spolu s fonolity označit jako horniny s nevyššími hodnotami součinitele Los Angeles. U Nordické zkoušky vychází, až na ojedinělé vyšší hodnoty ze dvou lokalit, nejlépe opět horniny ze skupiny bazaltu a spilitu s nejnižší hodnotou nordického obrusu $A_N 6,4$ u analcimického nefelinitu. Nejvyšší a zároveň nejhorší hodnota $A_N 43,3$ byla zjištěna u bazaltického andezitu z Bezděčína.

Pro kamenivo do obrusných vrstev vozovek z hutněných asfaltových směsí je pro nejnáročnější použití požadovaná hodnota součinitele Los Angeles $LA = 25$ a ze zkoušených vzorků by tento požadavek nesplnily pouze dva vzorky s hodnotou součinitele Los Angeles $LA = 29,2$ (Bezděčín) a

LA = 27,2 (Doubravice) ze skupiny melafyru. V obou případech se jedná o bazaltické andezity s mandlovcovitou texturou, díky které se při silovém namáhání narušuje celistvost a pevnost horniny, kterému jsou zrna při otloukání v bubnu vystavena, tj. procesu otluku, otěru a obrusu jak mezi zrny kameniva navzájem, tak mezi zrny kameniva a mlecími koulemi nebo stěnami zkušebního zařízení (McNally 1998). Přitom ale tyto vzorky nepřekračují hodnotu součinitele Los Angeles LA 30, což je zároveň nejprísnější požadavek pro použití kameniva do cementobetonových krytů. Pro Nordickou zkoušku, která se běžně používá v severských zemích, není v České republice stanoven žádný požadavek. Místo ní jsou v ČR stanoveny požadavky na hodnotu ohladitelnosti PSV.

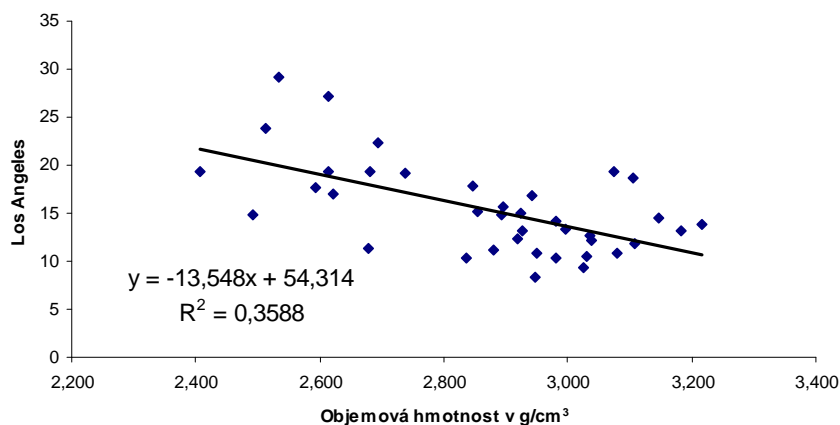
I přes to, že obě zkoušky jsou si principem zatěžování hodně podobné, korelace hodnot součinitele Los Angeles LA a hodnoty odolnosti proti obrusu pneumatikami s hroty celé skupiny vulkanitů vykazuje stupeň spolehlivosti pouze $r = 0,7$ (Tab. 6.3a) (Räisänen 2004). Porovnání hodnot součinitele Los Angeles LA a A_N v jednotlivě oddělených technologicko-petrografických skupinách vykazuje u hornin ze skupiny ryolit / porfyr, spilitu a bazaltu *s.l.* význačný stupeň těsnosti vztahu (Tab. 6.3 b, d, f). U petrograficko-technologické skupiny hornin fonolit hodnota korelačního koeficientu součinitele LA a hodnota odolnosti proti obrusu pneumatikami s hroty naznačuje mírný stupeň těsnosti vztahu (Tab. 6.3c). Vysoký stupeň těsnosti vztahu vykazují horniny z petrograficko-technologické skupiny melafyr / diabas (Tab. 6.3e).

Při podrobném zkoumání závislosti hodnoty součinitele Los Angeles a zkoušky obrusu A_N technologicko-petrografické skupiny bazaltů došlo k zaměření se na hodnoty, které vybočují z lineárního trendu závislosti. Odstraněním extrémně vysokých hodnot A_N z korelačního grafu olivinických nefelinitů z Těchlovic ($A_N = 36,9$) a Děpoltovic ($A_N = 29,8$) a nefelinického bazanitu z Libochovan ($A_N = 18,7$) by se korelační koeficient posunul do význačné těsnosti vztahu ($r = 0,6$). Pokud by se odstranila ještě extrémně nízká hodnota A_N (8,3) u lokality Všechlapy, která má ale zároveň nelineárně vyšší hodnotu LA (18,7), korelační koeficient ($r = 0,8$) by dosahoval vysokého stupně těsnosti vztahu. Nedá se konstatovat, že by měly proti ostatním horninám z této skupiny, markantně odlišné složení, resp. obsah olivínu nebo nefelinu, proto se vzhledem k nízkému opakování zkoušek dá předpokládat, že jde pravděpodobně o nehomogenní vzorek, který narušil lineární závislost.

Další zajímavou skupinou k hlubšímu rozebrání je technologicko-petrografická skupina fonolitů, kde se projevila nejen nízká závislost mezi parametry LA a A_N , ale dokonce závislost nepřímá. Bohužel vzhledem k malému zastoupení členů v této skupině a malým rozdílům mezi naměřenými hodnotami, lze těžko vyvozovat závěry proč tomu tak je, případně zda se nejedná pouze o náhodný jev.

Ozcelík (2011) v závěru své práce tvrdí, že je na základě jisté závislosti možné k predikci hodnoty součinitele Los Angeles LA využít kromě pevnosti v prostém tlaku i objemovou hmotnost, což se při studiu závislosti fyzikálních vlastností celého souboru vulkanických hornin na mechanické vlastnosti v této práci spolehlivě nepotvrdilo (Obr. 6.16), protože se předpokládalo, že těsnost vztahu bude vysoká.

Pro všechny zástupce vulkanických hornin dosahuje korelační koeficient $r = 0,6$ mezi objemovou hmotností a součinitelem Los Angeles význačné těsnosti vztahu, přičemž závislost je nepřímá úměrná, tzn. čím nižší bude hodnota objemové hmotnosti, tím bude vyšší a tím horší hodnota součinitele Los Angeles. Technologicko-petrografické skupiny fonolitu, bazaltu *s.l.* a spilitu vykazují mezi objemovou hmotností a součinitelem Los Angeles velmi nízký stupeň těsnosti vztahu, oproti tomu horniny skupiny ryolit / porfyr vysoký stupeň a pro melafyr / diabas dokonce velmi vysoký stupeň těsnosti vztahu. Z tohoto výsledku vyplývá, že horniny s jemnozrnnou matrix a vyrostlicemi jako jsou bazalty a fonolity je problematické porovnávat, protože na výsledek má vliv mnoho faktorů jak vzhledem k velikosti a povaze fenokrystů, tak i složení matrix, při spojení obou těchto faktorů je pak porovnání prakticky nemožné.



Obr. 6.16. Vztah mezi součinitelem Los Angeles LA a objemovou hmotností.

Kahraman a Toraman (2008) predikují hodnotu součinitele Los Angeles LA na základě hodnoty indexu drtitelnosti a korelace mezi těmito dvěma hodnotami dosahuje vysoké závislosti ($R^2 = 0,80$) (Toraman et al. 2010, Ugur et al. 2010), přičemž pro soubor všech vulkanických hornin studovaných v této práci vyšel stupeň spolehlivosti pouze $R^2 = 0,5$, což ale odpovídá hodnotě korelačního koeficientu $r = 0,71$, tzn. vysokému stupni těsnosti vztahu.

Porovnání hodnot LA a SZ v jednotlivě oddělených horninových skupinách vykazuje u technologicko-petrografické skupiny fonolitu vysoký stupeň těsnosti vztahu (Tab. 6.3 c) a u skupiny ryolit / porfyr a melafyr / diabas dokonce velmi vysoký stupeň těsnosti (Tab. 6.3 b, e).

Pro technologicko-petrografickou skupinu spilitu byla zjištěna význačná těsnost vztahu, ale jako jediná skupina z vulkanických hornin vykazuje nepřímou závislost mezi součinitelem Los Angeles a drtitelností v rázu. V podstatě platí, že čím vyšší (horší) bude hodnota LA, tím bude nižší (lepší) hodnota SZ. Naměřené hodnoty jak LA i SZ nejsou od sebe u jednotlivých lokalit příliš odlišné, složení hornin je víceméně podobné, ale k porovnání mezi sebou je problematická jejich vnitřní stavba. Nelze tedy na základě výsledků spolehlivě předpokládat, že čím více bude odolná dynamické rázové energii, tím méně bude odolná mechanickému principu namáhání, který by se dal nazvat mletí (protože princip otlukového bubnu lze přirovnat např. ke kulovému mlýnu).

Technologicko-petrografická skupina bazaltu *s.l.* vykazuje nejnižší stupeň závislosti hodnot LA a SZ. Odstraněním lokalit, které vybočují lineární závislosti z korelačního grafu (tj. olivinických nefelinitů ze Všechlap a Libé a olivinického analcimitu z Krásného Lesa), se stupeň těsnosti vzájemného vztahu zvýší z hodnoty $r = 0,37$ na vysoký stupeň těsnosti vztahu 0,73. Pokud by došlo ještě k odstranění posledních nelineárních hodnot z lokality Dolánky, dostaneme se na velmi vysoký stupeň těsnosti $r = 0,9$. Dalo by se říci, že většina „problematických hornin“, která se vychyluje od daného lineárního trendu patří mezi olivinické foidity nebo v případě lokality Dolánky mezi nefelinické bazanity. Z toho vyplývá, že určující složkou, která ovlivňuje výsledek hodnot LA a SZ bude olivín, který je v těchto horninách často alterován a vůči mechanickému namáhání reaguje křehce.

Korelace hodnot zkoušky odolnosti proti drcení Los Angeles a hodnoty ohladitelnosti PSV celé skupiny vulkanitů vykazuje pouze mírný stupeň spolehlivosti $r = 0,5$. Při porovnání hodnot LA a PSV v jednotlivě oddělených skupinách na základě zařazení do technologicko-petrografických skupin jsou stupně těsnosti vztahu pro skupiny ryolit / porfyr ($r = 0,7$) a fonolit ($r = 0,9$) vysoké, pro skupinu spilitu ($r = 0,7$) jsou jen význačné. U hornin ze skupiny bazaltu *s.l.* byla zjištěna mírná závislost $r = 0,5$ hodnot zkoušky Los Angeles a hodnoty ohladitelnosti PSV. Ovšem bez hodnot sodalitického nefelinitu z Děpoltovic a olivinického nefelinitu ze Všechlap, které narušují lineární závislost by se

korelační koeficient ve stupnici spolehlivosti posunul do kategorie vysokého stupně spolehlivosti. V případě Děpoltovic hraje roli vyšší hodnota PSV, která je závislá na jeho texturních parametrech a stejně tak nižší hodnota PSV ze Všechlap, kde kromě stavby horniny hraje patrně roli množství a velikost vyrostlic olivínu, které snižují hodnotu ohladitelnosti. U technologicko-petrografické skupiny melafyr / diabas je korelace hodnoty ohladitelnosti PSV a odolnosti proti drcení Los Angeles $r = 0,2$. Pokud bychom ze souboru vyřadili dva nejhrubozrnnější členy s hrubě poikilofitickou strukturou základní hmoty, závislost by byla ve vysokém stupni těsnosti ($r = 0,8$).

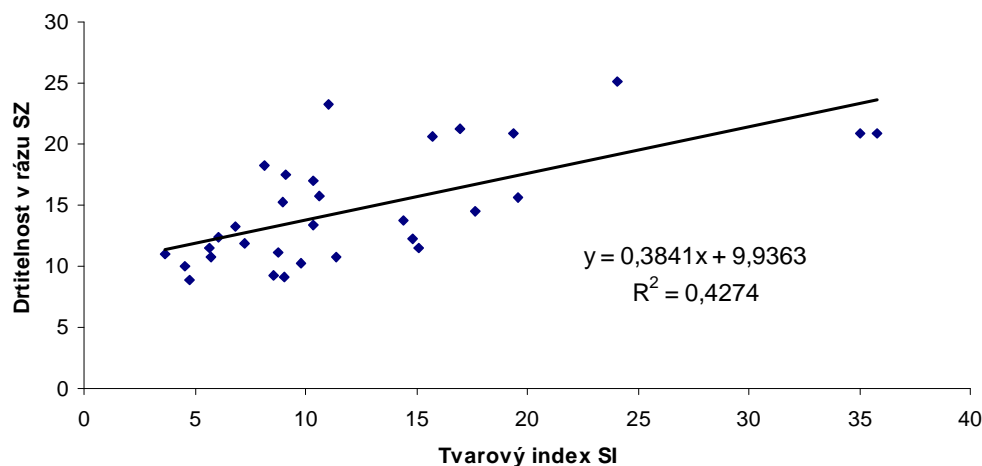
6.5.2. Drtitelnost v rázu

Odolnost proti drcení se v České republice na frakci 8/12,5 nezkouší, jelikož tato hodnota není do výrobků pro stavební účely požadovaná. Výsledky v této práci tedy tvoří zcela nový ucelený soubor dat, protože dosud jsou pro tyto horniny známy hodnoty drtitelnosti v rázu SZ u kameniva pro použití pro kolejová lože (frakce 32/63). U frakce 32/63 je v České republice pro železniční tratě třídy B I požadovaná maximální hodnota SZ = 18 a pro třídu B II do SZ = 20. Pokud bychom velmi teoreticky vztáhli námi naměřené hodnoty SZ u frakce 8/12,5 k těmto požadavkům, lze konstatovat, že do skupiny lokalit se hodnoty SZ nad (SZ = 18) by spadalo 10 ze 37 měřených lokalit a nad (SZ = 20) bylo naměřeno u 9 z 37 lokalit.

Pro všechny zástupce vulkanických hornin dosahuje korelační koeficient $r = 0,5$ mezi objemovou hmotností a hodnotou odolnosti proti drcení rázem SZ význačné těsnosti vztahu, přičemž závislost je nepřímá úměrná, tzn. čím nižší bude hodnota objemové hmotnosti, tím bude vyšší a tím horší hodnota odolnosti proti drcení rázem (Tab. 6.3a). Technologicko-petrografické skupiny ryolit / porfyr, melafyr / diabas a spilit byly vyhodnoceny ve velmi vysokém stupni nepřímé závislosti mezi objemovou hmotností a hodnotou SZ (Tab. 6.3b, e, f) a u skupiny fonolitu a bazaltu *s.l.* naopak velmi nízká (Tab. 6.3c, d).

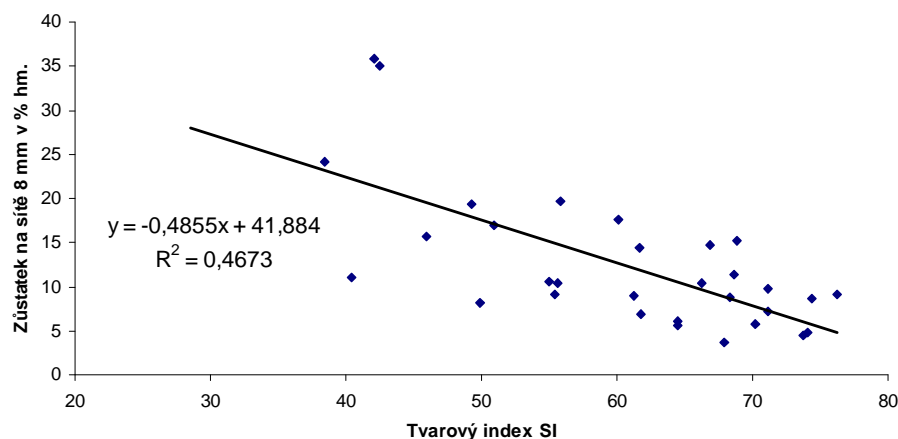
Drtitelnost v rázu a stupeň zdobnění mezi sebou vykazují mírný stupeň závislosti (Tab. 6.3a). Při rozdělení celého souboru vulkanických hornin do jednotlivých petrograficko-technologických skupin je pro skupinu bazaltu *s.l.*, diabas / melafyru a porfyr / ryolitu velmi nízká, zatímco pro horniny ze skupiny spilitu a fonolitu vysoká (Tab. 6.3b-f). U skupiny hornin spilitu lze pozorovat nepřímou úměrný trend závislosti, kde čím je hodnota stupně zdobnění vyšší, tím je odolnost proti drcení v rázu nižší. Jinými slovy čím je kamenivo snadněji zdobněno (vyšší hodnota Dr), tím je hodnota odolnosti drcení v rázu (SZ) nižší, což je specifické pouze pro tuto horninovou skupinu, ostatní vykazují přímou lineární závislost. Jedná se o velmi neobvyklý jev, který může být ovlivněn texturně – strukturálními parametry hornin z této skupiny, které jsou postiženy nízkým stupněm metamorfózy, ale také může jít pouze o špatný výběr vstupního reprezentativního zkušební vzorku. Na základě dříve publikovaných dat pro jiné typy hornin (Fistrič et al. 2002) byl mezi stupněm zdobnění (Dr) a odolností proti drcení rázem (SZ) předpoklad vyšší těsnosti vztahu, než jaký byl ve skutečnosti zjištěn.

Vliv tvaru zrn kameniva na výsledek zkoušky odolnosti proti drcení rázem vykazuje vysoký stupeň závislosti $r = 0,7$ (Obr. 6.17), což souhlasí s tvrzením Bouquetyho et al. (2007) nebo Chena et al. (2005). Zrna s horší tvarovou hodnotou (tj. zejména plochá a protažená) méně odolávají dynamickým úderům během zatěžování při zkoušce a dojde k jejich porušení (zdrobnění). Z toho vyplývají dřívější tvrzení v této práci, že je výhodnější tvar zrn kubický, kdy jsou vzájemné osy zrna přibližně stejně dlouhé.



Obr. 6.17. Závislost tvaru zrn na odolnost proti drcení rázem.

Tento fakt se také potvrzuje ve vzájemném vztahu tvaru zrn zkoušeného kameniva a následném vlivu na zdrobnění vzorku během zkoušky drtitelnosti v rázu, která rovněž vykazuje u celého souboru vulkanických hornin vysoký stupeň těsnosti vztahu $r = 0,7$ (Obr. 6.18).



Obr. 6.18. Závislost tvaru zrn na zdrobnění závázky po zkoušce drtitelnosti v rázu.

Odolnost proti obrusu – Nordická zkouška je s odolností proti drcení v rázu pro celý soubor vulkanických hornin ve vysokém stupni těsnosti ($r = 0,7$).

Při podrobném zkoumání závislosti technologicko-petrografické skupiny bazaltů došlo k zaměření na hodnoty, které vybočují z lineárního trendu závislosti a byla zjištěna stejná situace jako pro hodnoty součinitele Los Angeles a zkoušky obrusu A_N . Odstraněním extrémně vysokých hodnot A_N z korelačního grafu olivinických nefelinitů z Těchlovic a Děpoltovic a nefelinického bazanitu z Libochovan by se korelační koeficient posunul z $r = 0,33$ do vysokého stupně těsnosti vztahu ($r = 0,7$). Pokud by se odstranila ještě extrémně nízká hodnota A_N (8,3) u lokality Libochovany, která má ale zároveň nelineárně vyšší hodnotu LA (18,7), korelační koeficient ($r = 0,8$) by dosahoval vysokého stupně těsnosti vztahu. Oproti ostatním horninám z této skupiny nemají markantně odlišné složení, resp. obsah olivínu nebo nefelinu, proto se vzhledem k nízkému opakování zkoušek dá předpokládat, že jde o nehomogenní vzorek, který narušil lineární závislost u kterého může mít vliv zvětrání horninového vzorku, což ovlivnilo výsledek. Technologicko-petrografická skupina spilitu a fonolitu vykazuje oproti ostatním horninovým skupinám nepřímou lineární závislost, která by se dala vysvětlit

malými rozdíly hodnot mezi jednotlivými lokalitami a u skupiny fonolitů také nízkým počtem porovnávaných členů a tato korelace, ač ve vysokém stupni těsnosti, s nedá tím pádem považovat za příliš důvěryhodnou.

Při porovnání odolnosti proti drcení rázem s hodnotou ohladitelnosti PSV byl zjištěn velmi nízký stupeň závislosti a až na technologicko-petrografickou skupinu ryolit / porfyr, která dosahuje $r = 0,8$ nebyla závislost prokázána. Vzhledem k rozdílnosti principů namáhání u obou zkoušek se ani příliš nedal očekávat výrazný vzájemný vztah.

6.6. Vztah mezi fyzikálními a technologickými vlastnostmi

Ze zkoumaných vulkanických hornin by na základě rozdělení podle objemové hmotnosti (Tab. 2.1) patřila většina lokalit mezi hutné kamenivo, avšak kamenivo ze 12 z celkových 40 lokalit s jejich objemovou hmotností nad $3,0 \text{ g/m}^3$ spadá mezi těžké kamenivo. Jedná se o horniny z petrograficko-technologické skupiny bazaltů *s.l.*. I přes to, že v České republice neplatí omezení nebo zákaz použití těžkého kameniva do betonu, stmelěných a nestmelěných směsí, nebo kolejová lože, je třeba brát tuto hodnotu na zřetel. Těžké kamenivo je vhodné zejména pro výrobu těžkých betonů, který se používá např. v místech, kde je potřeba odstínění rušivého či zdraví nebezpečného elektromagnetického záření.

Fyzikální vlastnosti celého souboru vulkanických hornin dosahují s technologickými vlastnostmi hornin různého stupně závislosti od nízkého až po velmi vysoký stupeň těsnosti (Rigopoulos et al. 2013) (Tab. 6.3a). U nasákavosti za atmosférického tlaku se potvrdila závislost s odolností proti drcení metodou Los Angeles LA, kde hodnota LA roste (tedy se zhoršuje) s rostoucí nasákavostí (Goswami 1984). Dále také závislost mezi objemovou hmotností a součinitelem Los Angeles (Tab. 6.3a), která je nepřímo úměrná, tzn. čím nižší bude hodnota objemové hmotnosti, tím bude vyšší a tím horší hodnota součinitele Los Angeles (Ozcelik 2011). To samé tvrzení, jako u Los Angeles se potvrdilo i v případě závislosti drtitelnosti v rázu na objemové hmotnosti a nasákavosti (Hussin & Poole 2010)

Ucelený soubor dat, zaměřených na zjištění mechanické odolnosti (stupeň zdrobnění, drtitelnost v rázu, odolnost proti drcení metodou Los Angeles, odolnost proti obrusu pneumatikami s hroty), vykazuje různý stupeň vzájemné závislosti (Tab. 6.3a). Nejtěsnější závislost byla zjištěna mezi drtitelností v rázu a odolností proti drcení metodou Los Angeles (Tab. 6.3a), mezi Nordickou zkouškou a odolností proti drcení metodou Los Angeles (Tab. 6.3a) a mezi Nordickou zkouškou a drtitelností v rázu a také mezi stupněm zdrobnění a odolností proti drcení metodou Los Angeles (Tab. 6.3a).

Naopak velmi nízký stupeň závislosti byl zjištěn mezi drtitelností v rázu a ohladitelností (Tab. 6.3a), mezi stupněm zdrobnění a odolností proti obrusu pneumatikami s hroty (Tab. 6.3a). Mírný stupeň závislosti byl zjištěn mezi odolností proti drcení metodou Los Angeles a ohladitelností (Tab. 6.3a), mezi stupněm zdrobnění a drtitelností v rázu (Tab. 6.3a) nebo mezi ohladitelností a stupněm zdrobnění (Tab. 6.3a).

Skupina hornin porfyr / ryolit vykazuje u zkoušek odolnosti proti drcení metodou Los Angeles a drtitelnosti v rázu velmi vysoký stupeň závislosti mezi proměnnými. Význačnou těsnost vztahu také vykazuje hodnota ohladitelnosti PSV s odolností proti drcení metodou Los Angeles nebo drtitelností v rázu a ohladitelností PSV. Naopak velmi nízký stupeň těsnosti vztahu lze sledovat u korelací stupně zdrobnění s odolností proti drcení metodou Los Angeles, drtitelností v rázu a také ohladitelností PSV s odolností proti obrusu pneumatikami s hroty. Překvapivě nízký stupeň závislosti byl také zjištěn mezi odolností proti drcení metodou Los Angeles a odolností proti obrusu pneumatikami s hroty. Odolnost proti obrusu pneumatikami s hroty vykazuje velmi nízký stupeň těsnosti vztahu i s objemovou hmotností a nasákavostí, pro ostatní technologické zkoušky jsou korelace s fyzikálními vlastnostmi ve vysoké až velmi vysoké těsnosti vztahu (Tab. 6.3b).

Petrograficko-technologická skupina fonolitu vykazuje pro jednotlivé technologické vlastnosti význačný až velmi vysoký stupeň závislosti mezi proměnnými. Výjimkou je vztah odolnosti proti drcení metodou Los Angeles s odolností proti obrusu pneumatikami s hroty, která vykazuje pouze mírný stupeň závislosti. Z fyzikálních vlastností vykazuje nejnižší stupeň těsnosti s technologickými zkouškami objemová hmotnost, u nasákavosti a pórovitosti byl zjištěn vysoký až velmi vysoký stupeň těsnosti vztahu (Tab. 6.3c). Fenomémem této skupiny jsou časté nepřímé závislosti mezi proměnnými, které se vzhledem k nízkému počtu členů této skupiny a díky velmi malým rozměrům v naměřených hodnotách, nedají spolehlivě potvrdit nebo vyvrátit.

Horniny petrograficko-technologické skupiny bazaltu *s.l.* vykazují mezi vlastnostmi mírný stupeň těsnosti vztahu až na stupeň zdobnění s odolností proti drcení metodou Los Angeles a také odolností proti obrusu pneumatikami s hroty, kde byla zjištěna význačná těsnost vztahu. Fyzikální vlastnosti jak mezi sebou tak spolu s technologickými zkouškami vykazují nízký až mírný stupeň závislosti až na velmi vysoký vztah mezi nasákavostí za atmosferického tlaku s otevřenou pórovitostí a význačnou těsnost vztahu mezi nasákavostí a ohladitelností PSV (Tab. 6.3d). Protože i při užším rozdělení na bazanity a foidity dosahovaly korelační závislosti nízkých hodnot, předpokládá se, že výsledky jsou patrně ovlivněny značnou variabilitou ve složení i jejich problematickou mikrostavbou. V rámci celého souboru tedy není možné spolehlivě interpretovat závislost jednotlivých vlastností vzhledem k proměnlivé kvalitě horniny danou častým navětráním, alteracemi minerálů, zejména vyrostlic. Pro takto malou četnost opakování zkoušek v rámci jedné lokality je prakticky nemožné u této horninové skupiny najít závislost.

Horniny petrograficko-technologické skupiny spilitu vykazují mezi drtitelností v rázu a odolností proti obrusu pneumatikami s hroty, stupněm zdobnění a odolností proti obrusu pneumatikami s hroty spolu s odolností proti drcení metodou Los Angeles a drtitelností v rázu vysoký stupeň těsnosti vztahu. Význačná těsnost vztahu byla zjištěna u ohladitelnosti PSV spolu s odolností proti drcení i odolností proti obrusu pneumatikami s hroty, dále pro metodou Los Angeles s drtitelností v rázu a ohladitelností PSV. Oproti tomu tato skupina vykazuje pouze mírné hodnoty korelací stupněm zdobnění s odolností proti drcení metodou Los Angeles nebo ohladitelnosti PSV se stupněm zdobnění. U fyzikálních vlastností můžeme pozorovat pro technologické vlastnosti velmi vysoký až vysoký stupeň těsnosti vztahu pro objemovou hmotnost, oproti tomu vesměs nízkou těsnost vztahu pro nasákavost za atmosferického tlaku a otevřenou pórovitost (Tab. 6.f).

Petrograficko-technologická skupina melafyr / diabas je zajímavá tím, že buď mají jednotlivé technologické vlastnosti vysoký stupeň závislosti mezi proměnnými, nebo naopak velmi nízký (Tab. 6.3e). Pravděpodobně je to způsobené vnitřní stavbou hornin, která je často velmi nehomogenní, s mandlovcovitou nebo vesikulární texturou, což značně ovlivňuje výsledky. Velmi vysoký stupeň závislosti mezi proměnnými vykazují odolnost proti drcení metodou Los Angeles s odolností proti obrusu pneumatikami s hroty, drtitelnost v rázu s odolností proti obrusu pneumatikami s hroty. Vysoký stupeň vzájemné závislosti dosahuje odolnost proti obrusu pneumatikami s hroty se stupněm zdobnění. Velmi nízké korelace byly zjištěny pro drtitelnost v rázu se stupněm zdobnění, odolnost proti obrusu pneumatikami s hroty s ohladitelností PSV, ohladitelnost PSV s drtitelností v rázu. Pro objemovou hmotnost byl zjištěn vysoký až velmi vysoký vztah s technologickými vlastnostmi, objemová hmotnost a pórovitost dosahují nízkých až vysokých stupňů těsností vztahu.

Při analýze výše uvedených závislostí byl použit celý soubor dat pro všechny typy studovaných vulkanitů a zároveň i rozdělený do jednotlivých petrograficko-technologických skupin. Na základě předpokladů, že dané vztahy mohou vykazovat odlišný trend pro různé typy hornin (buť geneticky nebo složením velmi blízkých), byla tato domněnka potvrzena. Při standardních zkouškách mechanické odolnosti – tj. při stanovení drtitelnosti v rázu, odolnosti proti drcení metodou Los Angeles apod. – se míra porušení materiálu vyjadřuje numericky jednou hodnotou, která však nemusí plně postihovat poměrně složitý proces příslušné zkoušky a odezvu materiálů.

Tab. 6.3. Korelační koeficienty pro jednotlivé technologické a mechanické vlastnosti. Vysvětlivky: ρ je objemová hmotnost, WA je nasákovavost, ϕ_o je otevřená pórovitost, D_r je stupeň zdrobnění, A_N je odolnost proti obsusu (Nordická zkouška), PSV je odolnost proti ohlazování, SZ – drtitelnost v rázu a LA je součinitel Los Angeles.

Tab. 6.3a. Soubor všech vulkanických hornin.

	ρ	WA	ϕ_o	D_r	A_N	PSV	SZ
LA	-0,60	0,71	0,64	0,15	0,72	0,49	0,71
SZ	-0,53	0,60	0,60	0,42	0,70	0,26	
PSV	-0,20	0,52	0,52	0,41	0,47		
A_N	-0,33	0,57	0,56	0,37			
D_r	-0,22	0,45	0,43				
ϕ_o	-0,41	0,98					
WA	-0,48						

Tab. 6.3b. Skupina hornin ryolit / porfyr.

	ρ	WA	ϕ_o	D_r	A_N	PSV	SZ
LA	-0,82	0,77	0,87	0,20	0,64	0,71	0,99
SZ	-0,89	0,84	0,92	0,28	0,57	0,79	
PSV	-0,96	0,98	0,95	0,71	0,22		
A_N	-0,21	0,42	0,51	0,22			
D_r	-0,82	0,75	0,64				
ϕ_o	-0,93	0,98					
WA	-0,92						

Tab. 6.3c. Skupina hornin fonolit.

	ρ	WA	ϕ_o	D_r	A_N	PSV	SZ
LA	0,17	-0,87	-0,95	0,97	-0,36	0,86	0,89
SZ	-0,30	-1,00	-0,99	0,97	-0,74	0,54	
PSV	0,64	0,50	-0,66	0,71	0,50		
A_N	0,86	0,77	0,63	-0,57			
D_r	-0,07	-0,96	-1,00				
ϕ_o	0,15	0,98					
WA	0,34						

Tab. 6.3d. Skupina hornin bazalt s.l..

	ρ	WA	ϕ_o	D_r	A_N	PSV	SZ
LA	0,04	0,46	0,22	0,57	0,42	0,49	0,37
SZ	-0,08	0,37	0,42	0,52	0,33	0,33	
PSV	0,19	0,56	0,45	0,32	0,35		
A_N	-0,11	0,26	0,21	0,39			
D_r	-0,31	0,20	0,16				
ϕ_o	0,34	0,94					
WA	0,40						

Tab. 6.3e. Skupina hornin spilit.

	ρ	WA	ϕ_o	D_r	A_N	PSV	SZ
LA	0,25	-0,18	-0,01	0,41	0,87	0,73	-0,50
SZ	-0,80	0,72	0,68	-0,89	-0,81	-0,32	
PSV	-0,30	0,20	0,34	0,35	0,64		
A_N	0,43	-0,37	-0,25	0,80			
D_r	0,80	-0,40	-0,37				
ϕ_o	-0,97	0,91					
WA	-0,84						

Tab. 6.3f. Skupina hornin diabas - melafyr.

	ρ	WA	ϕ_o	D_r	A_N	PSV	SZ
LA	-0,91	0,61	0,61	0,50	0,94	0,24	0,92
SZ	-0,87	0,31	0,29	0,26	0,90	0,00	
PSV	0,72	-0,25	-0,18	0,88	0,17		
A_N	-0,99	0,75	0,70	0,56			
D_r	0,16	0,40	0,47				
ϕ_o	-0,68	1,00					
WA	-0,71						

Barevná legenda stupnice Pearsonova korelačního koeficientu r:

Orientační stupnice Pearsonova korelačního koeficientu r (dle Kába 1978)		
	$r < 0,3$	nízký stupeň těsnosti vztahu
	$0,3 \leq r < 0,5$	mírný stupeň těsnosti vztahu
	$0,5 \leq r < 0,7$	význačná těsnost vztahu
	$0,7 \leq r < 0,9$	vysoký stupeň těsnosti vztahu
	$> 0,9$	velmi těsný vztah - velmi vysoký stupeň vázanosti mezi proměnnými

7. ZÁVĚR

Zkoumané vulkanické horniny byly na základě kvantitativního petrografického popisu klasifikovány podle mezinárodní klasifikace IUGS i na základě chemické analýzy podle diagramu TAS. Rozdělení jednotlivých hornin na základě jejich geologického stáří a horninového typu do petrograficko-technologických skupin: (1) skupina ryolitů / porfyrů, (2) skupina fonolitů, (3) skupina bazaltů *s.l.*, (4) skupina melafyrů a (5) skupina spilitů, k porovnávání míry závislosti mezi jednotlivými vlastnostmi se osvědčilo a přineslo informace, které nebyly z celého souboru vulkanických hornin patrné.

Nejnižší hodnota objemové hmotnosti $2,406 \text{ g/cm}^3$ byla zjištěna u fonolitu a nejvyšší hodnota $3,216 \text{ g/cm}^3$ u sodalitického nefelinitu. Obecně nejnižší objemové hmotnosti byly zjištěny u skupiny fonolitu a nejvyšší hodnoty vykazuje skupina bazaltu, i když je v této skupině 1/3 vzorků s hodnotou pod $3,0 \text{ g/cm}^3$, která je srovnatelná s hodnotami hornin ze skupiny spilitu. Ze zkoumaných vulkanických hornin by, na základě rozdělení podle objemové hmotnosti, patřila většina lokalit mezi hutné kamenivo. Kamenivo s objemovou hmotností nad $3,0 \text{ g/m}^3$, které bylo zjištěno u 12 ze 40 lokalit náleží mezi těžké kamenivo. Jedná se o horniny z petrograficko-technologické skupiny bazaltů *s.l.*. Hodnoty nasákavostí hornin za atmosférického tlaku se pohybují v rozsahu od minimální hodnoty nasákavosti (0,2 % hm.) zjištěné u olivinického nefelinitu a granitového porfyru do maximální hodnoty zjištěné u bazaltického andezitu (1,9 % hm.). Hodnoty otevřené pórovitosti se pohybují v rozsahu od minimální hodnoty (0,52 % obj.) u spilitu do maximální hodnoty u bazaltického andezitu (4,70 % obj.).

Potvrdilo se, že v oblasti velikosti výstupní štěrbin vznikají zrna s vhodným tvarovým indexem u všech typů vulkanických hornin a to i při užití režimu pouze jednoho stupně drcení. Protože však byly rozdíly hodnot tvarových indexů mezi lokalitami příliš malé, nedá se spolehlivě interpretovat, jak hodně petrologické vlastnosti ovlivňují tvar zrn. Tímto experimentem se nezjistila přímá závislost tvaru zrn na stupni zdobnění hornin. Jako nejsnadněji drtitelné horniny se projevily horniny z technologicko-petrografické skupiny melafyry / diabas a naproti tomu nejhůře drtitelné byly horniny z technologicko-petrografické skupiny spilitů a bazaltů. Kvůli nehomogenitě použité zavážené frakce zůstává otázkou, jak hodně ovlivňují petrologické vlastnosti hornin stupeň drcení.

Výsledkem zkoušení vulkanických hornin je zjištění, že ze 40 vzorků hornin používaných pro výrobu drceného kameniva by bylo do obrusných vrstev vhodné kamenivo ze 31 lokalit. Hodnoty pro úseky vozovek se zvýšenými požadavky na protismykové vlastnosti obrusné vrstvy (pro úseky třídy dopravního zatížení III a vyšší) splňuje 17 lokalit a pro nehodové úseky by jich bylo vhodných pouze 5. Korelace hodnoty PSV a objemové hmotnosti vykazuje velmi nízké hodnoty až na technologicko-petrografickou skupinu ryolit / porfyr, kde byl zjištěn velmi těsný vztah.

U zkoumaných vzorků byly zjištěny hodnoty odolnosti proti obrusu pneumatikami s hroty - Nordické zkoušky v rozpětí od $A_N 6,4$ do $A_N 43,3$, přičemž až na sedm vzorků s výrazně vyššími hodnotami vykazuje většina vulkanitů opotřeбенí do $A_N 21,9$. Pro Nordickou zkoušku, která je běžně používaná v severských zemích, není v České republice stanoven žádný požadavek. Místo ní jsou v ČR stanoveny požadavky na hodnotu ohladitelnosti PSV. U Nordické zkoušky je pro všechny horniny spojitost s objemovou hmotností velmi nízká až na technologicko-petrografickou skupinu fonolit, kde byl zjištěn vysoký stupeň těsnosti vztahu a také pro melafyr / diabas, kde se projevily velmi vysoký stupeň vázanosti mezi proměnnými.

Průměrné hodnoty drtitelnosti v rázu se pohybují v rozsahu od minimální hodnoty u olivinického nefelinitu ($SZ = 8,9 \text{ % hm.}$) do maximální hodnoty ($SZ = 25,1 \text{ % hm.}$) u bazaltického andezitu a také u olivinického analcimitu. Nejnižší hodnoty vykazují horniny ze skupiny spilitu a část bazaltů a nejvyšší hodnoty byly zjištěny u všech ostatních skupin.

Korelace hodnoty PSV, A_N a petrografického složení se ukázala jako velmi problematická a byly zjištěny velmi nízké stupně závislosti. Rozdělením hornin do úzkých skupin na základě jejich složení

lze pozorovat určité trendy závislé vesměs na velikosti minerálů nebo odlišné tvrdosti jednotlivých komponent. Jednoznačná predikce hodnoty ohladitelnosti PSV nebo obrusu A_N je obtížná, vzhledem k závislosti na propojených faktorech jako je velikost a druh vyrostlic, minerální složení horniny, texturní uspořádání, stupeň navětrání nebo porušení horniny, případně stupeň drcení.

Nejlepších výsledků zkoušky Los Angeles ze všech hornin dosahují horniny z petrograficko-technologické skupiny bazaltů a spilitů. Nejnižší hodnota (LA 8,4) byla zjištěna u spilitu, nejvyšší hodnotu (LA 29,2) má bazaltický andezit. Pro kamenivo do obrusných vrstev vozovek z hutněných asfaltových směsí je pro nejnáročnější použití požadovaná hodnota LA 25 a ze zkoušených vzorků by tento požadavek nesplnily pouze dva vzorky. Přitom ale tyto vzorky nepřekračují hodnotu LA 30, což je zároveň nejpřísnější požadavek pro použití kameniva do cementobetonových krytů.

I přes to, že obě zkoušky jsou si principem zatěžování hodně podobné, korelace hodnot součinitele Los Angeles LA a hodnoty odolnosti proti obrusu pneumatikami s hroty celé skupiny vulkanitů vykazuje stupeň spolehlivosti pouze $r = 0,7$. Při porovnání hodnot součinitele Los Angeles LA a odolnosti proti obrusu A_N v jednotlivě oddělených petrograficko-technologické skupinách dosahuje korelační koeficient r význačný stupeň těsnosti vztahu pro skupiny ryolit / porfyr, spilit a bazalt *s.l.* Mírný stupeň těsnosti vztahu byl zjištěn pro součinitele LA a hodnotu odolnosti proti obrusu pneumatikami s hroty u petrograficko-technologické skupiny fonolit. Vysoký stupeň těsnosti vztahu vykazují horniny z petrograficko-technologické skupiny melafyr / diabas.

Fyzikální vlastnosti celého souboru vulkanických hornin dosahují s technologickými vlastnostmi hornin různého stupně závislosti od nízkého až po velmi vysoký stupeň těsnosti. U nasákavosti za atmosférického tlaku se potvrdila závislost s odolností proti drcení metodou Los Angeles LA, kde hodnota LA roste (tedy se zhoršuje) s rostoucí nasákavostí. Dále také závislost mezi objemovou hmotností a součinitelem Los Angeles, která je nepřímou úměrná, tzn. čím nižší bude hodnota objemové hmotnosti, tím bude vyšší a tím horší hodnota součinitele Los Angeles, toto rovněž platí i v případě závislosti drtitelnosti v rázu na objemové hmotnosti a nasákavosti.

Do výsledků všech metod je nutné zahrnout fakt, že vulkanické horniny tvoří velmi nehomogenní tělesa, která se při těžbě velmi markantně liší v rámci jednotlivých etází a při postupu těžby, proto mohou být naměřené hodnoty z různých partií ložiska odlišné. Mechanická stálost (stupeň zdrobnění, drtitelnost v rázu, odolnost proti drcení metodou Los Angeles, odolnost proti obrusu pneumatikami s hroty Nordická zkouška), vykazuje různý stupeň vzájemné závislosti. Nejvyšší míra závislosti byla zjištěna mezi drtitelností v rázu a odolností proti drcení metodou Los Angeles a mezi odolností proti obrusu pneumatikami s hroty a odolností proti drcení metodou Los Angeles. Velmi nízký stupeň závislosti byl zjištěn mezi drtitelností v rázu a odolností proti ohlazování (PSV), mezi stupněm zdrobnění a odolností proti obrusu pneumatikami s hroty, mezi odolností proti drcení metodou Los Angeles a odolností proti ohlazování (PSV), mezi stupněm zdrobnění a drtitelností v rázu nebo mezi odolností proti ohlazování (PSV) a stupněm zdrobnění. Značný rozptyl vykazuje i drtitelnost v rázu a odolnost proti obrusu pneumatikami s hroty nebo stupeň zdrobnění spolu s odolností proti drcení metodou Los Angeles.

Při analýze mezi jednotlivými parametry závislosti byl použit celý soubor dat pro všechny typy studovaných vulkanitů a zároveň odděleně pro jednotlivé technologicko-petrografické skupiny. Na základě předpokladů, že dané vztahy mohou vykazovat odlišný trend při srovnání pouze určité petrografické kategorie, byla tato domněnka potvrzena. Při standardních zkouškách mechanické odolnosti, např. při stanovení drtitelnosti v rázu, odolnosti proti drcení metodou Los Angeles se míra porušení materiálu vyjadřuje numericky jednou hodnotou, která však nemusí plně postihovat poměrně složitý proces příslušné zkoušky a odezvu materiálů.

LITERATURA

- Åkesson U., Stigh J., Lindqvist J.E., Göransson M., 2003. The influence of foliation on the fragility of granitic rocks, image analysis and quantitative microscopy. *Engineering Geology*, 68(3), 275–288.
- Akpokodje E.G., Hudec P.P., 1992. Quality control tests and acceptance specifications for concretionary laterite gravel aggregates. *Engineering Geology*, 32(4), 255–267.
- Akpokodje E.G., Hudec P.P., 1994. The influence of petrology and fabric on the engineering properties of concretionary laterite gravel aggregates. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 27(1), 39–50.
- Alexander M., & Mindess S., 2005. *Aggregates in concrete*. Taylor & Francis, Oxon, 448 str.
- Al-Harhi A.A., 2001. A field index to determine the strength characteristics of crushed aggregate. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 60(3), 193–200.
- Al-Oraimi S.K., Taha R., Hassan H.F., 2006. The effect of the mineralogy of coarse aggregate on the mechanical properties of high-strength concrete. *Construction and Building Materials*, 20(7), 499–503.
- Al-Rousan T., Masad E., Tutumluer E., Pan T., 2007. Evaluation of image analysis techniques for quantifying aggregate shape characteristics. *Construction and Building Materials*, 21(5), 978–990.
- Anonym, 2009. *World Construction Aggregates to 2013 - Market Research, Market Share, Market Size, Sales, Demand Forecast, Market Leaders, Company Profiles, Industry Trends*. The Freedonia Group, Inc., Cleveland (Ohio, USA), 322 str.
- Arasan S., Hasiloglu A.S., Akbulut S., 2010. Shape properties of natural and crushed aggregate using image analysis. *International Journal of Civil & Structural Engineering*, 1(2), 221–233.
- Azni I., Katayon S., Ratnasamy M., Johari M.M.N.M., 2005. Stabilization and utilization of hospital waste as road and asphalt aggregate. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 7(1), 33–37.
- Babuška, V., 1981. Anisotropy of v_p and v_s in rock-forming minerals. *Journal of Geophysics – Zeitschrift für Geophysik*, 50(1), 1–6.
- Ballivy G., Dayre M., 1984. Correlations entre les propriétés physico-mécaniques des roches et le comportement des granulats manufacturés. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 29(1), 339–342.
- Barksdale R.D., Kemp M.A., Sheffield W.J., Hubbard J.L., 1991. Measurement of aggregate shape, surface area, and roughness. *Transportation Research Record*, 1301, 107–116.
- Bard J.P., 1986. *Microtextures of Igneous and Metamorphic Rocks*. Kluwer Academic, Dordrecht, 268 str.
- Bates R.L., 1969. *Geology of industrial rocks and minerals*. Dower Publications, New York.
- Blatt H., Tracy R. J., Owens B. E., 2006. *Petrology, Igneous, Sedimentary and Metamorphic*. W. H. Freeman and Company, New York, 530 str.
- Bliss J.D., Moyle P.R., Bolm K.S., 2003. Statistical, economic and other tools for assessing natural aggregate. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 62(1), 71–75.
- Bohloli B., Hovén E., 2007. A laboratory and full-scale study on the fragmentation behavior of rocks. *Engineering Geology*, 89(1), 1–8.
- Bobrowsky P.T., ed., 1998. *Aggregate resources, a global perspective*. A.A. Balkema, Rotterdam, 470 str.

- Bossink B.A.G., Brouwers H.J.H., 1996. Construction waste: quantification and source evaluation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 122(1), 55–60.
- Bouquety M.N., Descantes Y., Barcelo L., De Larrard F., Clavaud B., 2007. Experimental study of crushed aggregate shape. *Construction and Building Materials*, 21(4), 865–872.
- Brattli B., 1992. The influence of geological factors on the mechanical properties of basic igneous rocks used as road surface aggregates. *Engineering Geology*, 33(1), 31–44.
- Brattli B., 1994. The influence of cataclasis on abrasion resistance of granitic rocks used as road surface aggregates. *Engineering Geology*, 37(2), 149–159.
- Brown E.T., 1981. *Rock characterization, testing, and monitoring: ISRM suggested methods*. Pergamon Press, Oxford, 211 str.
- Bruno L., Parla G., Celauro C., 2012. Image analysis for detecting aggregate gradation in asphalt mixture from planar images. *Construction and Building Materials*, 28(1), 21–30.
- Brzezicki J.M., Kasperkiewicz J., 1999. Automatic image analysis in evaluation of aggregate shape. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 13(2), 123–128.
- Burton D., 2008. The skid resistance of aggregate blends on in-service pavements. In: *International Conference Managing Road and Runway Surfaces to Improve Safety*, 11-14 May, Cheltenham, UK.
- Cajz V., 1996. *České středohoří – geologická a přírodovědná mapa 1 : 100 000*. Český geologický ústav, Praha.
- Cajz V., Adamovič J., Mrlina J., Mach K., 2004. Vulkanické centrum Českého středohoří, strukturální aspekty vývoje. *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2004*, Česká geologická služba, Praha, str. 26–30.
- Cajz V., Rapprich V., Radoň M., 2005. Vulkanismus v okraji Doupovských hor – vulkanologická studie paleontologické lokality Dětaň. *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2005*, Česká geologická služba, Praha, str. 13–16.
- Cameron I.B., 1972. Wearing-course aggregates in Northern Ireland. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 5(1-2), 81–83.
- Cardu M., Frisa Morandini A., Mancini R., Marini P., 1996. Investigation research to define a standard laboratory test aimed to foresee the cuttability of ornamental stones by diamond tools. *Marmo Macchine*, 26(5), 206–222.
- Corinaldesi V., 2010. Mechanical and elastic behaviour of concretes made of recycled-concrete coarse aggregates. *Construction and Building Materials*, 24(9), 1616–1620.
- Čep H., Špírková R., 1997. *Technologie úpravy kameniva*. Těžební unie Brno, KAMENIVO, Praha, 143 str.
- Dearman W.R., 1974. Weathering classification in the characterisation of rock for engineering purposes in British practice. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 9(1), 33–42.
- Dearman W.R., 1975. Weathering classification in the characterisation of rock: a revision. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 14(1), 123–127.
- Dearman W.R., Irfan Y., Money M.S., Turk N., Hussien T.I., 1984. Quality variations in whin sill aggregates from Northumberland, England. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 29(1), 355–359.

- Dews S.J., Bishop R.J., 1972. Factors affecting the skid-resistance of calcined bauxite. *Journal of Applied Chemistry and Biotechnology*, 22(10), 1117–1124.
- Diamantis K., Gartzos E., Migiros G., 2014. Influence of petrographic characteristics on physico-mechanical properties of ultrabasic rocks from central Greece. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73(4), 1273–1292.
- Dobereiner L., Durville J.L., Restituito J., 1993. Weathering of the Massaic gneiss (Massif Central, France). *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 47(1), 79–96.
- Donath F.A., 1961. Experimental study of shear failure in anisotropic rocks. *Geological Society of America Bulletin*, 72(6), 985–989.
- Douglass P.M., Voight B., 1969. Anisotropy of granites: a reflection of microscopic fabric. *Géotechnique*, 19(3), 376–398.
- Drew L.J., Langer W.H., Sachs J.S., 2002. Environmentalism and natural aggregate mining. *Natural Resources Research*, 11(1), 19–28.
- Dudek A., Fediuk F., Palivcová M., 1962. *Petrografické tabulky*. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 303 str.
- Dudek A., Malkovský M., Suk M., 1984. *Atlas hornin*. Academia, Praha, 312 str.
- Dukino R.D., Swain M.V., Loo C.E., Bristow N., England B.M., 1995. Fracture behavior of three Australian iron ores. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section C: Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, C11–C19.
- Duthoit V., 2000. Crushing and Grinding. In: Primel L., Tourenq C. (eds) *Aggregates*. A.A. Balkema, Rotterdam, str. 228–268.
- Eloranta J., 1995. *Influence of crushing process variables on the product quality of crushed rock*. Ph.D. Thesis, Tampere University of Technology, Publication 168, Finland, 118 str.
- Erdogan S.T., Quiroga P.N., Fowler D.W., Saleh H.A., Livingston R.A., Garboczi E.J., Ketcham P.M., Hagedorn J.G., Satterfield S.G., 2006. Three-dimensional shape analysis of coarse aggregates: New techniques for and preliminary results on several different coarse aggregates and reference rocks. *Cement and Concrete Research*, 36(9), 1619–1627.
- Erichsen E., 2009. Relationship between PSV and in situ friction: a Norwegian case study. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68(3), 339–343.
- Erichsen E., Ulvik A., Wolden K., Neeb P.R., 2008. Aggregates in Norway—properties defining the quality of sand, gravel and hard rock for use as aggregate for building purposes. In: Slagstad T. (ed.) *Geology for Society*. Geological Survey of Norway Special Publication, Vol. 11, str. 37–46.
- Etxeberria M., Mari A.R., Vazquez E., 2007. Recycled aggregate concrete as structural material. *Materials and Structures*, 40(5), 529–541.
- Eze E.O., 1997. Geotechnical assessment of some charnockites from Nigeria as construction materials. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 30(3), 231–236.
- Fatta D., Papadopoulos A., Avramikos E., Sgourou E., Moustakas K., Kourmoussis F., Mnetzis A., Loizidou M., 2003. Generation and management of construction and demolition waste in Greece—an existing challenge. *Resources, Conservation and Recycling*, 40(1), 81–91.
- Fediuk F., Fediuková E., 1970. *Struktury a textury hornin*. Universita Karlova v Praze, Praha, 160 str.

- Fernández A., Alonso M.A., López-Moro F.J., Moro M.C., 2013. Polished Stone Value Test and its relationship with petrographic parameters (hardness contrast and modal composition) and surface micro-roughness in natural and artificial aggregates. *Materiales de Construcción*, 63(311), 377–391.
- Fernlund J.M.R., 1998. The effect of particle form on sieve analysis: a test by image analysis. *Engineering Geology*, 50(1), 111–124.
- Fernlund J.M.R., 2005a. 3-D image analysis size and shape method applied to the evaluation of the Los Angeles test. *Engineering Geology*, 77(1-2), 57–67.
- Fernlund J.M.R., 2005b. Image analysis method for determining 3-D shape of coarse aggregate. *Cement and Concrete Research*, 35(8), 1629–1637.
- Fernlund J.M.R., 2005c. Image analysis method for determining 3-D size distribution of coarse aggregates. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 64(2), 159–166.
- Fernlund J.M., Zimmerman R.W., Kragic D., 2007. Influence of volume/mass on grain-size curves and conversion of image-analysis size to sieve size. *Engineering Geology*, 90(3), 124–137.
- Fookes P.G., 1991. Geomaterials. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 24(1), 3–15.
- Fookes P.G., Poole A.B., 1981. Some preliminary considerations on the selection and durability of rock and concrete materials for breakwaters and coastal protection works. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 14(2), 97–128.
- Fukuzaki N., Yanaka T., Urushiyama Y., 1986. Effects of studded tires on roadside airborne dust pollution in Niigata, Japan. *Atmospheric Environment* (1967), 20(2), 377–386.
- Garboczi E.J., 2002. Three-dimensional mathematical analysis of particle shape using X-ray tomography and spherical harmonics: Application to aggregates used in concrete. *Cement and Concrete Research*, 32(10), 1621–1638.
- Ganapati N., Adishesu, P. S., 2013. Influence of coarse aggregate shape factors on bituminous mixtures. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 1(4), 2013–2024.
- Godány J., Jandová T., Poňavič M., Rýda K., Buda J., Rambousek P., Knésl I., Večeřa J., Pecina V. 2014. *Pasportizace lomů přírodního kameniva ČR*. Česká geologická služba, Praha, 251 str.
- Goodman R.E., 1989. *Introduction to rock mechanics*. 2nd edition, John Wiley & Sons, New York, 562 str.
- Goswami S.C., 1984. Influence of geological factors on soundness and abrasion resistance of road surface aggregates: A case study. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 30(1), 59–61.
- Gregerová M., Fojt B., Vávra V., 2002. *Mikroskopie horninotvorných a technických minerálů*. Moravské zemské muzeum, Brno.
- Guimaraes M.S., Valdes J.R., Palomino A.M., Santamarina J.C., 2007. Aggregate production: fines generation during rock crushing. *International Journal of Mineral Processing* 81(4), 237–247.
- Habarta P., 1992. Stavební kámen. In Kužvart M. (ed.) *Ložiska nerudných surovin ČR II*. Universita Karlova, Praha, str. 421–442.
- Hammond A.A., 1984. Engineering characteristics of mining waste aggregates. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 30(1), 401–404.
- Hartley A., 1974. A review of the geological factors influencing the mechanical properties of road surface aggregates. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 7(1), 69–100.

- Hawkes I., Mellor M., 1970. Uniaxial testing in rock mechanics laboratories. *Engineering Geology*, 4(3), 179–285.
- Hawkins A.B., McConnell B.J., 1992. Sensitivity of sandstone strength and deformability to changes in moisture content. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 25(2), 115–130.
- Hejtman B., 1956. *Všeobecná petrografie vyvřelých hornin*. Nakladatelství ČSAV, Praha, 371 str.
- Hejtman B., 1957. *Systematická petrografie vyvřelých hornin*. Nakladatelství ČSAV, Praha, 363 str.
- Hejtman B., Konta J., 1959. *Horninotvorné minerály*. Nakladatelství ČSAV, Praha, 308 str.
- Holec M., 1959. *Drcení a třídění kamene*. Státní nakladatelství technické literatury, Praha, 337 str.
- Houston E.C., Smith J.V., 1997. Assessment of rock quality variability due to smectitic alteration in basalt using X-ray diffraction analysis. *Engineering Geology*, 46(1), 19–32.
- Horvath A., 2004. Construction materials and the environment. *Annual Review of Environment and Resources*, 29, 181–204.
- Hussin A., Pole C., 2010. The intragranular Textures of Aggregates and its Correlation to the Physical Properties. *Sains Malaysia*, vol. 39, pp. 39–43.
- Chandan C., Sivakumar K., Masad E., Fletcher T., 2004. Application of imaging techniques to geometry analysis of aggregate particles. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 18(1), 75–82.
- Charamza F., 1974. *Výrobky a provozní materiály průmyslu kamene*. SNTL, Praha, 220 str.
- Chen J.S., Chang M.K., Lin K.Y., 2005. Influence of coarse aggregate shape on the strength of asphalt concrete mixtures. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, 1062–1075.
- Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Stránil Z., 2002. *Geologická minulost České republiky*. Academia, Praha, 436 str.
- Ibrmajer J., Suk M., 1989. *Geofyzikální obraz ČSSR. ÚÚG*, Academia, Praha, 354 str.
- Irfan T.Y., Dearman W.R., 1978. The engineering petrography of a weathered granite in Cornwall, England. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 11(3), 233–244.
- Jankovic A., Dundar H., Mehta R., 2010. Relationships between comminution energy and product size for a magnetite ore. *Journal of the Southern African Institute of Mining & Metallurgy*, 110(3), 141–146.
- Janoo V.C., 1998. *Quantification of shape, angularity, and surface texture of base course materials*. Special Report 98-1 US Army Corps of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory, Hanover NH, USA, 22 str.
- Jensen L.R., Friis H., Fundal E., Møller P., Brockhoff P.B., Jespersen M., 2010. Influence of quartz particles on wear in vertical roller mills. Part I: Quartz concentration. *Minerals Engineering*, 23(5), 390–398.
- Kába B., 1978. *Statistika*. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 166 str.
- Kahraman S., Fener M., 2007. Predicting the Los Angeles abrasion loss of rock aggregates from the uniaxial compressive strength. *Materials Letters*, 61(26), 4861–4865.
- Kahraman S., Gunaydin O., 2007. Empirical methods to predict the abrasion resistance of rock aggregates. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 66(4), 449–455.
- Kahraman S., Toraman O.Y., 2008. Predicting Los Angeles abrasion loss of rock aggregates from crushability index. *Bulletin of Materials Science*, 31(2), 173–177.

- Kartam N., Al-Mutairi N., Al-Ghusain I., Al-Humoud J., 2004. Environmental management of construction and demolition waste in Kuwait. *Waste Management*, 24(10), 1049–1059.
- Kasim M., Shakoor A., 1996. An investigation of the relationship between uniaxial compressive strength and degradation for selected rock types. *Engineering Geology*, 44(1-4), 213–227.
- Kazi A., Al-Mansour Z.R., 1980. Empirical relationship between Los Angeles abrasion and Schmidt hammer strength tests with application to aggregates around Jeddah. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 13(1), 45–52.
- Keikha T., Keykha H.A., 2013. Correlation between mineralogical characteristics and engineering properties of granitic rocks. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 18(S), 4055–4065.
- Kirschenbaum H., 1983. *The classical chemical analysis of silicate rocks – the old and the new*. Geological Survey Bulletin 1547, United States Government Printing Office, Washington, 68 str.
- Klang A., Vikman P.Å., Brattebø H., 2003. Sustainable management of demolition waste—an integrated model for the evaluation of environmental, economic and social aspects. *Resources, Conservation and Recycling*, 38(4), 317–334.
- Kleyn E., Bergh A., Botha P., 2009. Practical implications of the relation between the clay mineral content and the Plasticity Index of dolerite road construction material. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 51(1), 2–5.
- Kondelchuk D., Miskovsky K., 2009. Determination of the test methods sensitive to free mica content in aggregate fine fractions. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 18(3), 282–286.
- Kong T.B., 1984. Quarry site selection in Malaysia. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 29(1), 181–185.
- Korkanç M., Tuğrul A., 2004. Evaluation of selected basalts from Niğde, Turkey, as source of concrete aggregate. *Engineering Geology*, 75(3), 291–307.
- Koukis G., Sabatakakis N., Spyropoulos A., 2007. Resistance variation of low-quality aggregates. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 66(4), 457–466.
- Kühnel R.A., Van der Gaast S.J., Brych J., Laan G.J., Kulnig H., 1994. The role of clay minerals in durability of rocks observations on basaltic rocks. *Applied Clay Science*, 9(4), 225–237.
- Kuo C.Y., Freeman R., 1998. Image analysis evaluation of aggregates for asphalt concrete mixtures. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1615, 65–71.
- Kuo C.Y., Fros, J., Lai J., Wang L., 1996. Three-dimensional image analysis of aggregate particles from orthogonal projections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1526), 98–103.
- Kuo C.-Y., Rollings R.S., Lynch L.N., 1998. Morphological study of coarse aggregates using image analysis. *Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE*, 10(3), 135–142.
- Kwan A.K.H., Mora C.F., Chan H.C., 1999. Particle shape analysis of coarse aggregate using digital image processing. *Cement and Concrete Research*, 29(9), 1403–1410.
- Langer W.H., 2002. *Managing and protecting aggregate resources*. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Denver (CO), Open-File Report 02-415, 15 str.
- Langer W.H., Tucker M.L., 2003. *Specification aggregate quarry expansion—a case study demonstrating sustainable management of natural aggregate resources*. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Denver (CO), Open-File Report 03–121, 11 str.

- Lees G., 1964. The measurement of particle shape and its influence in engineering materials. *Journal of British Granite and Whinstone Federation*, 4, 1–22.
- Lees G., Kennedy C.K., 1975. Quality, shape and degradation of aggregates. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 8(3), 193–209.
- Le Bas M.J., Le Maitre R.W., Streckeisen R., Zanettin B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali–silica diagram. *Journal of Petrology*, 27(3), 745–750.
- Le Maitre R.W., ed., 1989. *A classification of igneous rocks and glossary of terms*. Blackwell, Oxford.
- Li L., Chan P., Zollinger D.G., Lytton R.L., 1993. Quantitative analysis of aggregate shape based on fractals. *ACI Materials Journal*, 90(4), 357–365.
- Lindqvist J.E., Åkesson U., Malaga K., 2007. Microstructure and functional properties of rock materials. *Materials Characterization*, 58(11), 1183–1188.
- Loorents K.J., Kondelchuk D., 2009. Trends of enrichment of free mica grains in crushed rock aggregates. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68(1), 89–96.
- Loorents K.J., Johansson E., Arvidsson H., 2007. Free mica grains in crushed rock aggregates. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 66(4), 441–447.
- Lorenz W., 1984. Die Verwendung vulkanischer Gesteine als Baustoffe. *Geologisches Jahrbuch A75*, 379–397.
- Lorenz W., Gwosdz W., 2003. Manual on the geological-technical assessment of mineral construction materials. *Geologisches Jahrbuch SH 15*, 1–498.
- Mackenzie W.S., Adams A.E., 1995. *A Colour Atlas of Rocks and Minerals in Thin Section*. Manson Publishing, London, 192 str.
- Mackenzie W.S., Donaldson C.H., Guilford C., 1982. *Atlas of Igneous Rocks and Their Textures*. LONGMAN Group UK Scientific & Technical, 148 str.
- Machalová J., Rapprich V., Hroch T., 2009. Produkty mělkomořského vulkanismu dokumentované v lomu Zaječov (Barrandien, svrchní kambrium–spodní ordovik). *Zprávy o geologických výzkumech za rok 2008*, Česká Geologická služba, Praha, str. 175–178.
- Maerz N.H., 2004. Technical and computational aspects of the measurement of aggregate shape by digital image analysis. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 18(1), 10–18.
- Manso J.M., Gonzalez J.J., Polanco J.A., 2004. Electric arc furnace slag in concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 16(6), 639–645.
- Maroto G.F., del Río L.M.S., 2004. Los Angeles Test and Polished Stone Value of ophite in Cantabria: a petrophysical interpretation. *Materiales de Construcción*, 54(275), 53–64.
- Masad E., Button J., Papagiannakis T., 2000. Fine-aggregate angularity: automated image analysis approach. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1721, 66–72.
- Masad E., Saadeh S., Al-Rousan T., Garboczi E., Little D., 2005. Computations of particle surface characteristics using optical and X-ray CT images. *Computational Materials Science*, 34(4), 406–424.
- Maslehuddin M., Sharif A.M., Shameem M., Ibrahim M., Barry M.S., 2003. Comparison of properties of steel slag and crushed limestone aggregate concretes. *Construction and Building Materials*, 17(2), 105–112.

Mašek D., Fediuk F., Godány J., Rambousek P., Sidorinová T., Vrána S., 2013. *Mikroskopický azbest, který se dostává do ovzduší těžbou a úpravou kamene v lomech*. Odborná informace České geologické služby pro odbor geologie MŽP ČR, Praha listopad 2013.

McNally G.H., 1998. *Soil and rock construction materials*. E & FN Spon, London.

Miskovsky K., 2004. Enrichment of fine mica originating from rock aggregate production and its influence on the mechanical properties of bituminous mixtures. *Journal of materials Engineering and Performance*, 13(5), 607–611.

Miskovsky K., Duarte M.T., Kou S.Q., Lindqvist P.A., 2004. Influence of the mineralogical composition and textural properties on the quality of coarse aggregates. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 13(2), 144–150.

Mitchell C.J., Mitchell P., Pascoe R.D., 2008. Quarry fines minimisation: can we really have 10 mm aggregate with no fines? In: Walton, Geoffrey, (ed.) *Proceedings of the 14th Extractive industry geology conference*. Griffin House Publishing, str. 37–44.

Mora C.F., Kwan A.K.H., 2000. Sphericity, shape factor, and convexity measurement of coarse aggregate for concrete using digital image processing. *Cement and Concrete Research*, 30(3), 351–358.

Mora C.F., Kwan A.K.H., Chan H.C., 1998. Particle size distribution analysis of coarse aggregate using digital image processing. *Cement and Concrete Research*, 28(6), 921–932.

Mroueh U.M., Wahlström M., 2002. By-products and recycled materials in earth construction in Finland—an assessment of applicability. *Resources, Conservation and Recycling*, 35(1), 117–129.

Mroueh U.M., Eskola P., Laine-Ylijoki J., 2001. Life-cycle impacts of the use of industrial by-products in road and earth construction. *Waste Management*, 21(3), 271–277.

Novikov E., Miskovsky K., 2009. The capillarity of mica-rich base-course aggregates. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 18(4), 420–423.

Nwaiwu C.M.O., Alkali I.B.K., Ahmed U.A., 2006. Properties of ironstone lateritic gravels in relation to gravel road pavement construction. *Geotechnical & Geological Engineering*, 24(2), 283–298.

Oikonomou N.D., 2005. Recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 27(2), 315–318.

Olantuji K.J., Durojaiye A.G., 2010. Determination of Bond index of Birnin-Gwari Iron Ore in Nigeria. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering* 9(7), 635–642.

Ozcelik, Y., 2011. Prediction Los Angeles abrasion of rocks from some physical and mechanical properties. *Scientific Research and Essays* 6(7), 1612–1619.

Pells P.J.N., 1993. Uniaxial strength testing. In: Brown E.T. (ed.) *Comprehensive rock engineering. Principles, practice & projects*. Vol. 1, Pergamon Press, Oxford, str. 67–85.

Persson A.L., 1998. Image analysis of shape and size of fine aggregates. *Engineering Geology*, 50(1), 177–186.

Persson L., Göransson M., 2005. Mechanical quality of bedrock with increasing ductile deformation. *Engineering Geology*, 81(1), 42–53.

Pešek J., Holub V., Jaroš J., Malý L., Martínek K., Pešek J., Prouza V., Spudil J., Tásler R., 2001. *Geology and Deposits of Upper Paleozoic Limnic Basins of the Czech Republic*. Česká geologická služba, Praha.

- Philpotts A., Ague J., 2009. *Principles of igneous and metamorphic petrology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Plinninger R., Käsling H., Thuro K., Spaun G., 2003. Testing conditions and geomechanical properties influencing the CERCHAR abrasiveness index (CAI) value. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 40(2), 259–263.
- Pomonis P., Rigopoulos I., Tsikouras B., Hatzipanagiotou K., 2007. Relationships between petrographic and physico-mechanical properties of basic igneous rocks from the Pindos ophiolitic complex, NW Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 40(2), 947–958.
- Poulin R., Pakalnis R.C., Sinding K., 1994. Aggregate resources: production and environmental constraints. *Environmental Geology*, 23(3), 221–227.
- Prentice J.E., 1990. *Geology of construction materials*. 1st ed., Chapman and Hall, London, 202 str.
- Primel L., Tourenq C., eds. 2000. *Aggregates*. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Příkryl R., 2001. Some microstructural aspects of strength variation in rocks. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* 38(5), 671–682.
- Příkryl R., 2006. Assessment of rock geomechanical quality by quantitative rock fabric coefficients: Limitations and possible source of misinterpretations. *Engineering Geology* 87(3-4), 149–162.
- Rajchl M., Uličný D., Grygar R., Mach K., 2009. Evolution of basin architecture in an incipient continental rift: the Cenozoic Most Basin, Eger Graben (Central Europe). *Basin Research*, 21(3), 269–294.
- Rao G.A., Prasad B.R., 2004. Influence of type of aggregate and surface roughness on the interface fracture properties. *Materials and Structures*, 37(5), 328–334.
- Rao C., Tutumluer E., Kim I.T., 2002. Quantification of coarse aggregate angularity based on image analysis. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1787, 117–124.
- Rao A., Jha K.N., Misra S., 2007. Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, 50(1), 71–81.
- Räisänen M., 2004. Relationships between texture and mechanical properties of hybrid rocks from the Jaala–Iitti complex, southeastern Finland. *Engineering Geology*, 74(3), 197–211.
- Räisänen M., Mertamo M., 2004. An evaluation of the procedure and results of laboratory crushing in quality assessment of rock aggregate raw materials. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 63(1), 33–39.
- Räisänen M., Torppa A., 2005. Quality assessment of a geologically heterogeneous rock quarry in Pirkanmaa county, southern Finland. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 64(4), 409–418.
- Räisänen M., Kupiainen K., Tervahattu H., 2003. The effect of mineralogy, texture and mechanical properties of anti-skid and asphalt aggregates on urban dust. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 62(4), 359–368.
- Räisänen M., Kupiainen K., Tervahattu H., 2005. The effect of mineralogy, texture and mechanical properties of anti-skid and asphalt aggregates on urban dust, stages II and III. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 64(3), 247–256.
- Ramsay D.M., 1965. Factors influencing Aggregate Impact Value in rock aggregate. *Quarry Managers Journal*, 49, 129–134.

- Ramsay D.M., Dhir R.K., Spence J.M., 1974. The role of rock and clast fabric in the physical performance of crushed-rock aggregate. *Engineering Geology*, 8(3), 267–285.
- Rigopoulos I., Tsikouras B., Pomonis P., Hatzipanagiotou K., 2010. The influence of alteration on the engineering properties of dolerites: the examples from the Pindos and Vourinos ophiolites (northern Greece). *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47(1), 69–80.
- Rigopoulos I., Tsikouras B., Pomonis P., Hatzipanagiotou K., 2012. The impact of petrographic characteristics on the engineering properties of ultrabasic rocks from northern and central Greece. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 45(4), 423–433.
- Rigopoulos I., Tsikoura B., Pomonis P., Hatzipanagiotou K., 2013. Determination of the interrelations between the engineering parameters of construction aggregates from ophiolite complexes of Greece using factor analysis. *Construction and Building Materials*, 49, 747–757.
- Rigopoulos I., Tsikouras B., Pomonis P., Hatzipanagiotou K., 2014. Correlations between petrographic and geometrical properties of ophiolitic aggregates from Greece. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73(1), 1–12.
- Robertson E.C., 1955. Experimental study of the strength of rocks. *Geological Society of America Bulletin*, 66(10), 1275–1314.
- Rosslein D., 1941. *Steinbrecheruntersuchungen unter besonderer Berücksichtigung der kornform*. Forsch a.d. Strassenwesen, Band 32, Berlin.
- Roth L., Eklund M., 2003. Environmental evaluation of reuse of by-products as road construction materials in Sweden. *Waste Management*, 23(2), 107–116.
- Rybařík V., 1983. Stavební kámen. In Kužvart M. (ed.) *Ložiska nerudných surovin ČSR*. Universita Karlova, Praha, str. 408–458.
- Sabine P.A., Morey J.E., Shergold F.A., 194. The correlation of the mechanical properties and petrography of a series of quartz-dolerite roadstone. *Journal of Applied Chemistry*, 4(3), 131–137.
- Sakala J., Rapprich V., Peckskay Z., 2010. Fossil angiosperm wood and its host deposits from the periphery of a dominantly effusive ancient volcano (Doupovské hory Volcanic Complex, Oligocene–Lower Miocene, Czech Republic): systematics, volcanology, geochronology and taphonomy. *Bulletin of Geosciences* 85(4), 617–629.
- Senga Y., Dony A., Colin J., Hamlat S., Berthaud Y., 2013. Study of the skid resistance of blends of coarse aggregates with different polish resistances. *Construction and Building Materials*, 48, 901–907.
- Shakoor A., Brown C.L., 1996. Development of a quantitative relationship between unconfined compressive strength and Los Angeles abrasion loss for carbonate rocks. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 53(1), 97–103.
- Shakoor A., West T.R., Scholler C.F., 1982. Physical characteristics of some Indiana argillaceous carbonates regarding their freeze-thaw resistance in concrete. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, 19(4), 371–384.
- Shrbený O., 1995. *Chemical composition of young volcanites of the Czech Republic*. Czech Geological Survey special paper, Czech Geological Survey, Prague, str. 52
- Schön J.H., 2004. *Physical properties of rocks: fundamentals and principles of petrophysics*. Elsevier, Amsterdam, 600 str.
- Schováňková D., 1989. *Petrologie mladopaleozoických vulkanitů podkrkonošské pánve. - Část 5. Permské bazaltandezity*. MS. Archiv Čes. geol. úst., Praha

- Smith M.R., Collis L., eds., 2001. *Aggregates. Sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes*. 3rd ed., Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 17.
- Smith B.J., Fager G.A., 1991. Physical characteristics of polish resistance of selected aggregates. *Transportation Research Record*, 1301, 117–126.
- Starý J., Kavina P., Vaněček M., Sitenský I., Kotková J., Hodková T., 2009. *Surovinové zdroje České republiky. Nerostné suroviny, stav 2008*. Ministerstvo životního prostředí, Česká geologická služba – Geofond, Praha, 473 str.
- Starý J., Kavina P., Vaněček M., Sitenský I., Kotková J., Hodková T., 2010. *Surovinové zdroje České republiky. Nerostné suroviny, stav 2009*. Ministerstvo životního prostředí, Česká geologická služba – Geofond, Praha, 489 str.
- Starý J., Sitenský I., Mašek D., Hodková T., Kavina P., 2013. *Surovinové zdroje České republiky. Nerostné suroviny, stav 2012*. Ministerstvo životního prostředí, Česká geologická služba – Geofond, Praha, 304 str.
- Starý J., Sitenský I., Mašek D., Hodková T., Vaněček M., Novák J., Horáková A., Kavina P., 2014. *Surovinové zdroje České republiky. Nerostné suroviny, stav 2013*. Ministerstvo životního prostředí, Česká geologická služba – Geofond, Praha, 383 str.
- Stock A.F., Ibberson C.M., Taylor I.F., 1996. Skidding characteristics of pavement surfaces incorporating steel slag aggregates. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1545(1), 35–40.
- Svoboda L., Bažantová Z., Myška M., Novák J., Tobolka Z., Vávra R., Vimmrová A., Výborný J., 2007. *Stavební hmoty*. Jaga group, s.r.o., Bratislava, 471 str.
- Taggart A.F., 1945. *Handbook of Mineral Dressing – Ores and industrial minerals*. John Willey & Sons, Inc., New York, 1905 str.
- Tränkler J.O., Walker I., Dohmann M., 1996. Environmental impact of demolition waste—an overview on 10 years of research and experience. *Waste Management*, 16(1), 21–26.
- Tuğrul A., Gürpınar O., 1997. A proposed weathering classification for basalts and their engineering properties (Turkey). *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 55(1), 139–149.
- Tuğrul A., Zarif I.H., 1999. Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey. *Engineering Geology*, 51(4), 303–317.
- Turk N., Dearman W.R., 1988. An investigation into the influence of size on the mechanical properties of aggregates. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 38(1), 143–149.
- Ugur I., Demirdag S., Yavuz H., 2010. Effect of rock properties on the Los Angeles abrasion and impact test characteristics of the aggregates. *Materials Characterization*, 61(1), 90–96.
- Ulrych J., Lloyd F.E., Balogh K., 2003. Age relations and geochemical constraints of Cenozoic alkaline volcanic series in W Bohemia: a review. *Geolines*, 15, 168–180.
- Ulrych J., Pešek J., Štěpánková-Svobodová J., Bosák P., Lloyd F.E., von Seckendorff V., Lang M., Novák J.K., 2006. Permo - Carboniferous volcanism in late Variscan continental basins of the Bohemian Massif (Czech Republic): geochemical characteristic. *Chemie der Erde-Geochemistry*, 66(1), 37–56.
- Ulrych J., Dostal J., Adamovič J., Jelínek E., Špaček P., Hegner E., Balogh K., 2011. Recurrent Cenozoic volcanic activity in the Bohemian Massif (Czech Republic). *Lithos*, 123, 133–144.

- Ündül Ö., Tuğrul A., 2012. The influence of weathering on the engineering properties of dunites. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 45(2), 225–239.
- Unland G., Szczelina P., 2004. Coarse crushing of brittle rocks by compression. *International Journal of Mineral Processing*, 74, S209–S217.
- Uthus L., 2007. *Deformation properties of unbound granular aggregates*. Ph.D. Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 52 str.
- Uthus L., Hoff I., Horvli I., 2005. Evaluation of grain shape characterization methods for unbound aggregates. In: *Proceedings of the 7th International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields*. Trondheim, Norway, 27 – 29 June, 2005.
- Uthus L., Tutumluer E., Horvli I., Hoff I., 2007. Influence of grain shape and surface texture on the deformation properties of unbound aggregates in pavements. *International Journal of Pavements* 6(1), 75–87.
- van Loon A.J., 2002. The complexity of simple geology. *Earth-Science Reviews* 59(1-4), 287–295.
- Vavřín I., Frýda J., 1996. Mineralizace Cu-Ag-Hg v melafyru ze Studence u Jilemnice (Podkrkonoší). *Journal of the Czech Geological Society*, 41/1-2.
- Vondrovic L., Hradecký P., Verner K., Skácelová Z., 2011. Magnetické stavby tefritového lávového proudu na lokalitě Vrbička (Doupovský vulkanický komplex). *Zprávy o geologických výzkumech za rok 2011*, Česká geologická služba, Praha, str. 51–54.
- Wang W., 1999. Image analysis of aggregates. *Computers & Geosciences*, 25(1), 71–81.
- Weiss N.L., 1985. *SME Mineral Processing Handbook*. SME/AIME, New York.
- West G., 1994. Estimating aggregate properties from the unconfined compressive strength of rock. *Quarterly Journal of Engineering Geology* 27(3), 275–276.
- Wills B.A., 2006. *Wills' Mineral Processing Technology*. 7th ed., Butterworth-Heinemann, Oxford, 444 str.
- Winkler E.M., 1997. *Stone in Architecture. Properties, Durability*. 3rd ed, Springer-Verlag, Berlin, 313 str.
- Wong T.F., Wong R.H.C., Chau K.T., Tang C.A., 2006. Microcrack statistics, Weibull distribution and micromechanical modeling of compressive failure in rock. *Mechanics of Materials*, 38(7), 664–681.
- Woodward W.D.H., Woodside A.R., Jellie J.H., 2005. Higher PSV and other aggregate properties. In: *International Surface Friction Conference: roads and runways: improving safety through assessment and design*, 1-4 May 2005, Christchurch, New Zealand.
- Xirouchakis D., 2013. Correlations between mechanical and geometrical parameters in aggregates: a tool for quality assessment and control. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 47(3), 2069–2080.
- Zagożdżon P.P., 2003. Sunburn in the Tertiary basalts of Silesia (SW Poland). *Geolines*, 15, 188–193.
- Zarif I.H., Tuğrul A., 2003. Aggregate properties of Devonian limestones for use in concrete in Istanbul, Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 62(4), 379–388.
- Zega C.J., Villagran-Zaccardi Y.A., Di Maio A.A., 2010. Effect of natural coarse aggregate type on the physical and mechanical properties of recycled coarse aggregates. *Materials and Structures*, 43(1-2), 195–202.

Zingg T., 1935. Beitrag zur schotteranalyse. *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen* 15, 39–140.

Internetové zdroje

<http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/europe/home.html>.