



9. MEDZINÁRODNÁ BANÍCKA KONFERENCIA 9th INTERNATIONAL MINING CONFERENCE

VYUŽITELNOSŤ HORNÍN V CESTNOM STAVITELSTVE

UTILIZATION OF ROCKS IN ROAD ENGINEERING

Karol Grünnner¹ a Iveta Romancová²

Abstract: Mineral properties influence their usage in the road pavement construction decisinly. Demands for minerals are very different depending on the strain type in the pavement. The mineral type makes it possible to determine the preliminary choice of suitable minerals.

1. Úvod

Prírodné kamenivo je základným stavebným materiálom v cestnom staviteľstve. Vlastnosti, kvalitu a vhodnosť kameniva do cestných konštrukcií určuje pôvod, druh a stav použitej horniny. Použitie kameniva si okrem hľadiska mechanickej pevnosti vyžaduje poznať aj ďalšie dôležité vlastnosti, ako napr. odolnosť voči účinkom klimatických podmienok a odolnosť voči všetkým účinkom premávky - zaťaženie, nárazy, tangenciálne účinky a hlavne vyhladzovacie účinky.

Kamenivo má v konštrukcii vozovky svoj rozhodujúci význam. Jeho úlohou je odolávať všetkým účinkom, ktoré pôsobia na vozovku. Je zrejmé, že najväčšie namáhania sa vyskytujú v obrusnej vrstve vozovky. Kamenivo v tejto vrstve nielenže preberá a roznáša hlavné napätia vo vozovke, ale navyše (oproti iným vrstvám), musí priamo odolávať účinkom premávky (nárazy pneumatík, brzdné sily, obrusovanie, vyhladzovanie, sacie účinky) a tiež účinkom klimatických podmienok (výkyvy teplôt, účinky vody, mrazu, posypových solí, vysokých teplôt). Komplex týchto účinkov, ktoré pôsobia na kamenivo, si vyžaduje rad rozdielnych požiadaviek pri výbere vhodnej horniny. Jednotlivé požiadavky sú však často vo vzájomnom rozpore - napr. požiadavka na vysokú pevnosť a na odolnosť voči účinkom klimatických podmienok je v značnom protiklade s požiadavkou na odolnosť voči vyhladeniu. Aby kamenivo odolávalo všetkým týmto účinkom je potrebné určiť jeho rozhodujúce vlastnosti vzhľadom na predpokladané účinky a stanoviť prijateľné hodnoty týchto vlastností. Pri nesprávnom stanovení prípustných hodnôt požadovaných vlastností, alebo pri nesprávnom výbere vlastností, môže dôjsť k výraznému skráteniu životnosti vozovky, alebo na druhej strane, k zbytočnému plytvaniu prostriedkov na výrobu vysokokvalitného kameniva.

Problém s výberom a používaním kvalitnej suroviny vystupuje v poslednej dobe vypukle do popredia. Na jednej strane je silne obmedzujúcim prvkom súčasný nevyhovujúci stav vo výrobe a úprave kameniva u nás, na druhej strane je to nárast premávky, najmä zvyšujúca sa hmotnosť nákladných vozidiel a z toho vyplývajúce

¹ *Doc.Ing. Karol Grünnner, CSc.*, Cestné vedeckovýskumné laboratórium Katedry dopravných stavieb, Stavebná fakulta STU, Bratislava, Technická 3, 821 04 Bratislava. Tel.: 07/522 16 21. Fax: 07/522 24 51. E-mail: grunner@svf.stuba.sk

² *Ing. Iveta Romancová, CSc.*, Katedra ekonomiky a riadenia stavebníctva, Stavebná fakulta STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava. Tel.: 07/361 537

znižovanie prevádzkovej spôsobilosti vozoviek. Zvýšený výskyt porúch v povrchu vozoviek v poslednom období upozorňuje na to, že sa podcenili podmienky pri výbere vhodnej suroviny.

2. Úloha kameniva v kryte vozovky

Životnosť povrchu, a tým aj prevádzkovú spôsobilosť cestnej vozovky, ovplyvňuje hlavne kvalita použitého kameniva. Vlastnosti kameniva sú závislé najmä na druhu horniny, mineralogickom zložení, stupni zvetrania horniny, spôsobe spracovania suroviny v lome, ale sú tiež ovplyvňované účinkami premávky a klimatických podmienok. Kamenivo svojou materiálnou povahou, fyzikálne-mechanickými vlastnosťami a tvarovosťou takto potom do veľkej miery ovplyvňuje aj celkové vlastnosti krytov vozoviek. Preto sa výberu vhodného kameniva venuje čoraz väčšia pozornosť. Z ekonomických dôvodov sa javí optimálnym riešením použitie prírodného kameniva, ktoré je všeobecne k dispozícii v značnom množstve, upraveného na mieste v stabilných alebo prenosných zariadeniach. Výroba vhodných umelých materiálov je zatiaľ drahá, avšak pri postupnom vyčerpaní zásob kvalitného prírodného kameniva sa otázka hospodárnosti môže vo väčšom meradle prikloniť k výrobe umelého kameniva. Dovtedy sa však musia systematicky sledovať charakteristiky prírodného kameniva, aby sa zabezpečila požadovaná kvalita krytov vozoviek a tiež vylúčilo použitie kameniva s nevhodnými vlastnosťami.

Zo všetkých druhov cestných konštrukcií sú najviac namáhané povrchy vozoviek, ktoré sú priamo vystavené účinkom rôznych zaťažení (mechanických namáhání) a zároveň vplyvom klimatických podmienok. Vplyvom mechanického namáhania sa kamenivo opotrebuje tromi spôsobmi:

- rozpadáva sa, pričom sa vytvárajú menšie častice všetkých rozmerov,
- obrusuje sa trením, pričom vznikajú predovšetkým jemné častice,
- vyhladzujú sa povrch zŕn pod vplyvom trenia.

Tieto tri druhy opotrebenia sú si pomerne blízke, avšak je medzi nimi podstatný rozdiel. Rozpadávanie zŕn je charakterizované skúškou pevnosti, otlkovosti a nepriamo aj stanovením tvarových charakteristík zŕn kameniva, odstraňovanie jemných častíc je charakterizované skúškou obrusnosti a vytváranie hladkého povrchu sa charakterizuje pomocou skúšky vyhladiteľnosti kameniva.

Opotrebovanie v prípade obrusnosti a vyhladiteľnosti kameniva je zdanlivo veľmi podobné, avšak rozdiel je medzi výslednými hodnotami a spôsobmi merania týchto vlastností. Pri vyhladiteľnosti sa určuje stav šmykľavosti, pri opotrebovaní a pri obrusnosti sa stanovuje strata hmotnosti alebo výšky jednotlivých zŕn. Pri otlkovosti sa hodnotia účinky rázov, úderov alebo omieľania na kamenivo.

Kamenivo je na povrchu vozovky vystavené aj namáhaniu od poveternostných vplyvov. Je podrobované účinkom klimatických podmienok, najmä cyklom zmrazovania a rozmrazovania, a pôsobeniu rôznych chemických látok. Klimatické účinky spôsobujú rozrušovanie kameniva v obrusnej vrstve aj v prípade, keď táto nie je zaťažená premávkou.

Naše predpisy obsahujú len málo požiadaviek na hodnotenie odolnosti kameniva voči vplyvu klimatických účinkov. V podstate možno hovoriť len o troch vlastnostiach, ktoré sa u nás používajú pre hodnotenie odolnosti kameniva:

- odolnosť voči mrazu (mrazuvzdornosť),
- trvanlivosť (rozpadavosť),
- nasiakavosť kameniva.

Na charakterizovanie rôznych požiadaviek na kamenivo a stanovenie kritérií pre použitie vhodných surovín je potrebný väčší súbor skúšok. Skúšok na stanovenie vlastností kameniva uvedených v našich STN je pomerne veľa, avšak len málo z nich našlo uplatnenie v širšej miere v cestnej praxi. V Cestnom vedeckovýskumnom laboratóriu (CVVL) sa už takmer 30 rokov venuje systematická pozornosť sledovaniu a posudzovaniu rozhodujúcich vlastností kameniva používaného do cestných vozoviek. Z výsledkov tohoto výskumu sa vykonávala analýza vzájomných vzťahov medzi vlastnosťami, ale sledoval sa aj vplyv petrografie a druhu horniny na dosahované výsledky. Na základe tohoto výskumu sa stanovili rôzne kritériá pre použiteľnosť kameniva v závislosti od druhu cestnej konštrukcie, zaťaženia vozovky, požadovanej životnosti, typu povrchovej úpravy a ďalších špecifických požiadaviek. Pri hodnotení vhodnosti surovín z našich lokalít možno uviesť nasledovné závery, ktoré sú vzťahované na rôzne druhy hornín vyskytujúcich sa na Slovensku, a ktoré sú používané do cestných konštrukcií:

Pri štúdiu a hodnotení vlastností hornín sme vychádzali z toho, že tieto sú výsledkom dlhodobého, často veľmi zložitého a rozdielneho petrogenetického vývoja. Pri hodnotení vlastností hornín a z nich vyrábaného kameniva musíme vychádzať zo súčasného stavu, ktorý je v jednom ložisku veľmi premenlivý, ktorý však zodpovedá určitému štádiu geologického vývoja.

3. Vplyv druhu horniny na dosahované výsledky skúšok vlastností kameniva

Vlastnosti hornín i horninových masívov ovplyvňujú a formujú mnohé faktory, ktoré súvisia s dvoma základnými procesmi:

- a) procesy vzniku hornín (genéza hornín) za rôznych podmienok, ktoré určujú ich východiskový petrografický charakter (minerálne zloženie) a základné priestorové formy horninových telies (štruktúra, textúra, úložné pomery),
- b) procesy ďalšieho pretvárania hornín, ich minerálneho zloženia, štruktúr, textúr a najmä pevnosti štruktúrnych väzieb hornín po ich vzniku, v nasledujúcich štádiách ich petrogenetického vývoja (napr. zvetrávanie, diagenéza, metamorfóza, zmeny prirodzenej napätosti v masívoch v dôsledku pôsobenia nadložia, endogénnych orientovaných síl, atď).

Z uvedeného vyplýva, že každá lokalita výskytu suroviny pre kamenivo sa nachádza v určitom štádiu geologického vývoja a preto nie sú vždy porovnateľné vlastnosti hornín z rôznych lokalít, napriek tomu, že sa jedná o ten istý petrografický typ horniny. Na vzorkách rôznych petrografických typov hornín možno však poukázať na všeobecné zákonitosti, ovplyvňujúce dosahované výsledky pri skúšaní kameniva.

Na zistenie vplyvu pôvodu horniny alebo jej petrografického zloženia, sme dosiahnuté výsledky skúšok kameniva (celkove 37 druhov hornín) rozdelili do petrograficky príbuzných skupín. Rozdelenie bolo tiež robené tak, aby skupiny obsahovali približne rovnaký počet vzoriek:

- 1) Vyvreté horniny:
 - a) skupina žuly - žula, granodiorit, diorit, syenit, amfibolovec, gabro,
 - b) melafýru - melafýr, porfýr, ryolit,
 - c) andezitu - andezit,
 - d) čadiča - čadič, porfýrit, diabáz, dacit, spilit, znelec.
- 2) Usadené horniny:
 - a) skupina pieskovca - pieskovec, arkóza, kremeneč, štrk,
 - b) droby - droba, zlepenec,
 - c) vápenca - vápenec, dolomit.
- 3) Premenené horniny:
 - a) skupina ortoruly - ortorula, migmatit, amfibolit, hadec,
 - b) pararuly - pararula, rohovec, fylit.

Výsledky skúšok na vzorkách kameniva zadelených do takto stanovených skupín sme potom navzájom porovnávali pri jednotlivých vlastnostiach.

Najlepšie priemerné výsledky hodnôt vyhladiteľnosti - f_{OK} poskytujú usadené horniny - pieskovec (0,62), zlepenec (0,58) a droba (0,58). Medzi horniny s dobrými výsledkami sa zaraďujú ryolity (0,55), arkóza, amfibolovec, fylit (0,54), porfýr, melafýr (0,52), syenit, rohovec (0,51), andezit a diabáz (0,50). Všetky uvedené horniny patria medzi základné typy hornín, ktoré poskytujú dobré výsledky pri odolnosti proti vyhladeniu.

Na tieto horniny by sa mala upriamiť pozornosť pri vyhľadávaní vhodných surovín, ale tiež pri ochrane takýchto lokalít pre ich využitie len do obrusných vrstiev vozoviek. Podobne možno posudzovať odolnosť proti vyhladeniu aj v rámci skupiny hornín. Najlepšie výsledky poskytujú skupiny hornín pieskovca a droby (0,58), melafýru (0,53) a andezitu (0,50). Najhoršie výsledky poskytujú horniny hadec (0,41), znelec (0,42), vápenec (0,44), dolomit, čadič (0,45), štrk a gabro (0,46). Pri skupinách hornín najhoršie výsledky poskytuje skupina vápenca (0,44), čadiča (0,46), ortoruly (0,47) a žuly (0,48). Toto sú typy hornín, ktoré by sa nemali používať do obrusných vrstiev. Takéto obmedzenie najhoršie dopadá na čadiče a vápence, ktoré sa pomerne vo veľkej miere používajú pre cestné účely. Najnižšie hodnoty poskytujú horniny skupiny vápenca. V porovnaní s čadičom sa tieto horniny vyhladzujú veľmi rýchlo a tiež sa aj značne obrusujú. Pre tento typ hornín musí platiť absolútny zákaz ich používania na výrobu hrubého kameniva do obrusných vrstiev. Mikrotvrdosť minerálov horniny a stupeň väzby medzi minerálmi horniny sú najdôležitejším faktorom ovplyvňujúcim hodnotu vyhladiteľnosti.

Pri hodnotení odolnosti voči nárazom poskytujú najlepšie priemerné výsledky hodnôt otlkovosti - K_O horniny diabáz (12,7), spilit (14,1), porfýr (16,1), rohovec (16,7), melafýr (17,0), čadič (17,3), znelec (17,4), diorit (18,1), amfibolovec (18,2) a porfýrit (18,3). Najhoršie výsledky otlkovosti poskytujú horniny pieskovec (41,7), syenit (32,6), dolomit (31,3), migmatit (27,4), štrk (27,2), žula (26,8), ryolit (26,0), granodiorit (23,6), ortorula (22,1) a vápenec (21,9). Pri skupinách dávajú najlepšie výsledky otlkovosti horniny skupiny čadiča (16,7), melafýru (20,4), pararuly (20,6), ďalej droby a andezitu (21,3). Najhoršie výsledky dávajú horniny skupiny pieskovca (40,1), žuly a vápenca (23,5). Rozdelenie hodnôt otlkovosti ukázalo, že všetky skupiny hornín, ako aj jednotlivé horniny, majú značné variačné rozpätie hodnôt K_O . Na tomto stave sa výrazným spôsobom podieľajú väzby medzi minerálmi, štruktúra aj textúra hornín.

Pri posudzovaní odolnosti voči obrusovaniu - Q_O možno povedať, že najlepšie výsledky poskytujú vyvreté horniny - spilit, čadič, dacit, melafýr a andezit, alebo sedimentárne horniny - štrk, kremeneč, dolomit. Nevyhovujúce hodnoty poskytujú horniny ryolit, porfýrit, pieskovec, zlepenec a fylit. Medzi najlepšie poskytované hodnoty obrusnosti sa radia horniny ťažený štrk (2,7), drvený ťažený štrk (6,5), čadič (6,4), kremeneč (6,6), andezit (7,0), spilit (7,8), granulit (8,4), dolomit (9,5), granodiorit (9,6). Pri vzájomnom porovnávaní výsledkov hodnôt obrusnosti, otlkovosti a vyhladiteľnosti možno názorne vidieť rozporuplnosť týchto vlastností.

Potvrdilo sa, že horniny poskytujúce najlepšie hodnoty z hľadiska obrusnosti prípadne otlkovosti, poskytujú veľmi nízke hodnoty odolnosti voči vyhladeniu.

Pri posudzovaní vhodného tvaru zrna, ktorý však je tiež ovplyvňovaný spôsobom výroby kameniva, pomocou tvarového indexu - TI sa ukázalo, že najlepšie výsledky sa dosahujú u hornín arkóza (2,25), štrk (2,29), hadec (2,37), dacit (2,39), kremenec (2,50), ryolit (2,52), dolomit (2,53), porfýr (2,54) a znelec (2,55). Tieto horniny pri sledovaní ostatných vlastností väčšinou poskytujú horšie výsledky. Najhoršie tvarové charakteristiky dávajú fylit (3,29), droba (3,16), porfýrit (3,12), gabro (3,11), amfibolit (2,97), migmatit (2,93), ortorula (2,92), spilit (2,87), zlepenec (2,86) a rohovec (2,85). Pri skupinách dávajú najlepšie tvarové charakteristiky horniny skupiny vápenca (2,56), pieskovca (2,60), melafýru (2,67), a najhoršie sú horniny skupiny droby (3,14), ortoruly (2,89), pararuly (2,84) a čadiča (2,81). Pri tomto hodnotení však nebolo možné stanoviť, ktorá zložka (petrografická charakteristika alebo spôsob drvenia) vo väčšej miere ovplyvnila výsledky. Z geologického hľadiska možno potvrdiť len vplyv textúry hornín, ktorá sa výrazne prejavila u metamorfovaných hornín. Pararuly a ortoruly v dôsledku bridličnatej textúry sa zaradili medzi najhoršie horniny aj napriek tomu, že sa nejednalo o horniny s výraznou bridličnatosťou (o tom svedčia aj dobré výsledky pri skúšaní otlkovosti týchto hornín).

Odolnosť voči klimatickým účinkom najvhodnejšie charakterizuje skúška mrazuvzdornosti - $Q_{m,25}$. Najlepšie výsledky poskytujú horniny ťažený štrk (0,72), kremenec (0,80), diabáz (1,05), dacit (1,10), migmatit (1,12), gabro (1,20), ortorula (1,39), granodiorit (1,40), rohovec (1,42), diorit (1,45). Najhoršie výsledky mrazuvzdornosti poskytujú horniny amfibolovec (7,95), dolomit (7,16), čadič (4,36), ryolit (3,94), pieskovec (3,56), znelec (3,20), fylit (2,80), porfýrit (2,60) a porfýr (2,50). Pri skupinách dávajú najlepšie výsledky horniny skupiny ortoruly (1,79), pararuly (1,93), žuly (2,13). Najhoršie výsledky dávajú horniny skupiny vápenca (3,75), čadiča (3,36) a pieskovca. Na základe týchto výsledkov by sa horniny skupiny vápenca, pieskovca a čadiča nemali používať do obrusných vrstiev. Je zaujímavé, že tieto horniny sa ukázali ako nevhodné aj z hľadiska otlkovosti alebo vyhladiteľnosti.

Odolnosť voči zvetrávaniu alebo účinkom chemických (posypových) látok najlepšie charakterizuje skúška na stanovenie rozpadavosti, u nás doteraz nazývaná trvanlivosť - $Q_{t,5}$. Ukázalo sa, že táto charakteristika výrazným spôsobom ovplyvňuje úžitkové vlastnosti používanej suroviny. Potvrdili to aj značne veľké rozdiely medzi výsledkami skúšok v rámci jednej horniny. Napríklad pri andezite je priemerná hodnota trvanlivosti 10,07, pričom minimálna hodnota bola 0,30 a maximálna 59,35. Ukázalo sa, že nepriaznivé hodnoty boli namerané na vzorkách odobratých zo zvetralých partií lomu. Najlepšie hodnoty trvanlivosti poskytovali horniny droba (1,20), dolomit (1,85), granodiorit (2,10), čadič (2,97), granit (4,00). Vyššie hodnoty poskytovali horniny vápenec (10,12), porfýrit (13,15), melafýr (17,20). Veľmi nepriaznivé hodnoty poskytovala hornina ryolit (47,52 - pri minimálnej hodnote 3,25 a maximálnej 99,10). Práve pri tejto hornine sa ukázal veľký rozpor medzi hodnotami trvanlivosti a mrazuvzdornosti. Z hľadiska trvanlivosti boli viaceré ryolity nevhodné, ale z hľadiska mrazuvzdornosti poskytovali ryolity priaznivé výsledky. Výsledky analýzy skúšok charakterizujúcich odolnosť voči klimatickým účinkom jednoznačne potvrdili, že medzi trvanlivosťou, mrazuvzdornosťou, nasiakavosťou a pórovitosťou nie je priamy vzťah, alebo jednoznačná závislosť. Podľa tohoto možno povedať, že na základe výsledkov hodnôt jednej vlastnosti nie je možné usudzovať hodnoty druhej vlastnosti. Možno však povedať, že väčšina sledovaných hornín poskytuje dobrú odolnosť voči klimatickým účinkom.

4. Záver

Pri hodnotení petrografických charakteristík hornín z hľadiska odolnosti voči mechanickým účinkom možno povedať, že sa nenašla ani jedna hornina, ktorá by mala vyrovnané hodnoty všetkých vlastností. Väčšinou sú v protiklade hodnoty vyhladiteľnosti, otlkovosti aj obrusnosti. Navyše, tento protiklad zvyrazňuje aj porovnanie hodnôt odolnosti voči klimatickým účinkom. Možno však celkovo uviesť, že v priemere najlepšie výsledky poskytujú horniny skupiny melafýru, droby (okrem tvarových charakteristík) a najhoršie výsledky poskytujú horniny skupín čadiča a pieskovca. Z jednotlivých hornín v priemere najlepšie výsledky poskytujú andezit, arkóza, diabáz, droba, melafýr, porfýr, rohovec a zlepenec. Najhoršie výsledky poskytujú dolomit, čadič, amfibolovec, hadec, ťažený štrk, vápenec a znelec. Tieto horniny možno prakticky už bez skúšania označiť za nevhodné pre použitie do obrusných vrstiev cestných vozoviek. Ako málo vhodné sa ukázali horniny zo skupiny žuly a ortoruly. Medzi horniny, ktoré poskytujú veľmi dobré výsledky, možno zaradiť aj časť pieskovcov, ktoré poskytujú dobré hodnoty pevnostných charakteristík a odolnosti proti mrazu. Na vyššie uvedené dobré typy hornín by sa mal zamerať geologický prieskum pri vyhľadávaní nových surovín pre kamenivo, používané do namáhaných vrstiev cestných vozoviek.