

Výskum rozpojovania hornín diskami

Vítazoslav Krúpa¹

Research of rock disintegration with disc cutters

Paper presents results of research carried out at the Institute of Geotechnics Slovak Academy of Sciences.

Key words: disc cutters, tunnel boring machines, monitoring, optimization

Úvod

Problematika rozpojovania hornín sa na Ústave geotechniky SAV v Košiciach študuje od r.1968. V r.1972 bol vybudovaný výskumný stand pre rotačné malopriemerové vŕtanie s normalizovanými vŕtacími nástrojmi do priemeru 75 mm. Experimentálny a následne modelový výskum dokázal, že z hľadiska optimalizácie rozpojovania hornín sú veľmi dôležité dve teoreticky odvodené veličiny, tzv. merná objemová práca rozpojovania w a merná okamžitá rýchlosť vŕtania n .

Merná objemová práca rozpojovania definuje množstvo energie spotrebovanej na jednotku rozpojeného objemu horniny. Bolo experimentálne a neskôr aj teoreticky dokázané, že parametre režimu vŕtania (prítlak a otáčky), ktoré sú argumentami minima mernej objemovej práce rozpojovania, definujú režim práce nástroja s minimálnou intenzitou jeho opotrebovania. Tento režim teda teoreticky zaisťuje maximálnu životnosť vŕtacieho nástroja. Merná okamžitá rýchlosť vŕtania, resp. pracovná schopnosť rozpojovacieho nástroja, bola definovaná ako podiel okamžitej rýchlosti vŕtania a mernej objemovej práce rozpojovania. Táto veličina bola teoreticky odvodená z nákladovej rovnice vŕtania a stanovuje hodnotu rýchlosti rozpojovania horniny na jednotku implicitne určenej hodnoty intenzity opotrebovania nástroja pomocou merateľnej mernej objemovej práce rozpojovania. Parametre režimu vŕtania (prítlak a otáčky), ktoré sú argumentom maxima veličiny n , definujú režim práce nástroja s minimálnymi nákladmi na bežný meter vrtnu.

Uvedené dve veličiny sa stali základom pre budovanie optimalizačných zariadení procesov vŕtania a neskôr aj razenia, s použitím princípov extrémálnej optimalizácie.

Rozpojovanie hornín diskami

Problematika rozpojovania hornín diskami plnoprofilových raziacich strojov sa ako samostatný vedecký problém začala na ústave systematicky študovať od r.1983. Bolo to v čase, keď raziaci stroj Wirth TB-II-330 H (ten istý, čo razí v súčasnosti tunel Branisko), razil Novú odvodňovaciu štôľňu - NOŠ vo Voznici. Ústav geotechniky SAV Košice (vtedy Banický ústav SAV) realizoval pri razení NOŠ zber vstupných a výstupných veličín procesu razenia, pri ktorom bol použitý merač mernej objemovej práce rozpojovania a tiež merač mernej okamžitej rýchlosti rozpojovania. Obdobné merania sa neskôr uskutočnili aj na komínovacej súprave Bepadriil P-1 a raziacom stroji RS 24-27H. Výsledky potvrdili charakterovú zhodu funkčných priebehov výstupných veličín procesu razenia s procesom vŕtania, ale pri inom rozsahu hodnôt sledovaných veličín. Skúsenosti z týchto meraní sa stali základom pre vývoj monitorovacích sústav pre plnoprofilové raziace stroje, ktoré sa zdokonaľovali tak, ako sa zdokonaľovala výpočtová technika, schopná spracovávať rozsiahle súbory monitorovaných dát. V druhej polovici 80-tych rokov sme vyvinuli monitorovaciu sústavu na báze 8-bitového počítačového systému DIAMO-L pre raziaci stroj RS 37-40 H, podieľali sme sa na vývoji monitorovacieho systému DAP-128 pre raziaci stroj Demag TVM 55H a v r.1989 bol vyvinutý obdobný systém na báze počítačov PC pre raziaci stroj RS 37-40H. Súčasne sa v spolupráci s Banskými stavbami, š.p. Prievidza dobudoval veľkopriemerový univerzálny rozpojovací stand pre testovanie valivých dlát a diskov.

¹ Ing. Vítazoslav Krúpa, CSc., Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 043 53 Košice
(Recenzenti: Doc.Ing. Ján Pinka, CSc. a RNDr. Ján Bejda, CSc. Revidovaná verzia doručená 22.10.1997)

Zmena pomerov v bývalej ČSFR a niekoľkoročné zastavenie využívania plnoprofilových raziacich strojov nepriaznivo ovplyvnilo, ale nezastavilo rozvíjanie tejto problematiky na ústave. Zastavili sa experimentálne práce v laboratóriu a v podmienkach in situ, ale pokračovalo sa v teoretickom štúdiu mechanizmu rozpojovania hornín diskami. Ako podklad pre teoretické práce sa využili získané údaje z razení v 80-tych rokoch. Teoreticky sa skúmalo niekoľko tématických okruhov, ktoré boli a sú riešené postupne v grantových projektoch G115/91 „Matematické a experimentálne modely mechanizmu rozpojovania a porušovania horninového masívu“, G1367/94 „Modelovanie neštandardných procesov v rozpojovaní hornín“ a G4035/97 „Výskum faktorov determinujúcich deteriorizáciu diskov raziacich strojov pri razení tunelov v pevných horninových formáciách“.

Zameranie výskumných tém

Téma 1: Výskum silových a energetických veličín pri rozpojovaní hornín diskom

V rámci tejto témy boli odvodené matematické rovnice kinematiky odvažovania disku po hornine pri jeho zatlačení do hĺbky h . Analýza kinematiky ukázala, že každý elementárny bod obvodu funkčnej plochy disku je zatláčaný do horniny takmer kolmo, čo umožnilo určiť veľkosť kontaktnej dráhy bodu s horninou pre plnoprofilové a výložníkové raziace stroje. Tieto veličiny boli použité pre prognózovanie intenzity opotrebovania diskov.

Okrem toho bola spracovaná metodika vyhodnocovania normálových, tangenciálnych a bočných síl, pôsobiacich na disk pri rozpojovaní horniny, metodika určovania tlakov pôsobiacich na kontaktnej ploche disku s horninou a bol vypracovaný spôsob určenia veľkosti spotrebovanej energie na elementárny akt vyštípenutia horniny. Tieto veličiny sa používajú pre určenie efektívnosti činnosti disku pri zmenách vlastností rozpojovanej horniny.

Téma 2: Faktory simultánneho pôsobenia diskov na diskovej hlave raziaceho stroja

Diskovú hlavu raziaceho stroja je možné charakterizovať ako nástroj s viacnásobným obnoviteľným ostrím, ktorého efektívnosť je závislá od vytvorenia podmienok pre simultánnu prácu diskov. Konštrukčným parametrom diskovej hlavy je vzdialenosť koncentrických dráh diskov. Je známe, že pre rôzne druhy hornín je optimálna vzdialenosť rozpojovacích dráh rôzna. Tento konštrukčný nedostatok plnoprofilových raziacich strojov je možné kompenzovať optimalizáciou režimu razení. Pre tento účel bola vypracovaná metóda teoretického výpočtu veľkosti vyštepovaných úlomkov, ktorá vychádza z porovnania hodnôt monitorovanej mernej objemovej práce rozpojovania a jej teoretického ekvivalentu, určeného z práce síl, pôsobiacich na jeden disk pri elementárnom akte vyštípenutia horniny.

Téma 3: Výskum faktorov ovplyvňujúcich opotrebovanie a poruchovosť diskov

Opotrebovanie diskov, ktorého vonkajším prejavom je zmena geometrie funkčnej plochy, ovplyvňuje silové aj energetické veličiny procesu rozpojovania horniny. Výskum dokázal, že dominantnými faktormi procesu opotrebovania sú pri danej konštrukcii diskovej hlavy raziaceho stroja vlastnosti rozpojovaných hornín a použitý režim razení. Celkovým ukazovateľom, ktorý koreluje s intenzitou opotrebovania je merná objemová práca rozpojovania. Celkové opotrebovanie závisí od množstva energie prenesenej na horninu. Pritom s rastom polomeru dráhy disku energia rozpojovania rastie. Ďalšími, doplnkovými faktormi opotrebovania, sú podmienky rozpojovania. Ak disk pôsobí na kvázi „voľnú plochu“ (produkčné disky pri objemovom rozpojovaní horniny), klesajú sily a energia potrebná na rozpojovanie, čo znižuje opotrebovanie. Najviac opotrebovávanými diskami diskovej hlavy sú obrysovové, resp. kalibračné disky, ktoré pracujú na väčšom polomere a zároveň pri zvýšených silách a energiách rozpojovania. Zvýšené silové zaťaženie týchto diskov zvyšuje tiež nebezpečenstvo ich poškodenia inými mechanizmami, ako je opotrebovanie.

Téma 4: Vývoj metódy hodnotenia stavu diskovej hlavy raziaceho stroja

Analýza realizovaných výmien diskov pri razení NOŠ strojov Wirth ukázala, že pre zníženie nákladov na razenie z dôvodu nutných výmien diskov, je potrebné poznať aj stav diskovej hlavy raziaceho stroja. Tento je závislý od momentálneho stavu jednotlivých diskov osadených na hlave. Pritom disková hlava raziaceho stroja pracuje prevažne s diskami, ktoré majú „odpracovanú“ rôznu dobu prevádzky, preniesli odlišné množstvo energie, a preto majú aj inú hustotu latentných poškodení funkčnej plochy a inú pravdepodobnosť náhleho zlyhania. Pre tento účel bola vypracovaná metóda a hodnotenia stavu diskovej hlavy, ktorá poskytuje informáciu o momentálnom osadení hlavy a predikuje tzv. kritický stav diskovej hlavy, kedy je ekonomicky výhodnejšie radikálne obnovenie osadenia hlavy novými diskami, t.j. kompletná výmena. Charakteristickým prejavom práce diskovej

hlavy na hranici kritického stavu je zvýšená intenzita poškodzovania nových diskov. Boli identifikované tiež príčiny tohoto fenoménu.

Téma 5: Vývoj kritérií optimalizácie pre plnoprofilové raziace stroje

Výsledky riešení tém 1-4 boli použité pri analýze nami zostavenej rovnice nákladovosti razenia, ktorá obsahuje okrem ekonomických parametrov aj vstupné a výstupné veličiny procesu razenia. Z rozboru vychádza, že najdôležitejším optimalizačným kritériom razenia je zabezpečenie optimálnej životnosti diskov diskovej hlavy raziaceho stroja. Z hľadiska využitia princípov extrémnej optimalizácie to prakticky znamená, že optimálny režim razenia je teoreticky definovaný minimom mernej objemovej práce rozpojovania.

Téma 6: Vývoj a zdokonaľovanie monitorovacích a optimalizačných sústav pre raziace stroje

Praktickou realizáciou výsledkov základného výskumu rozpojovania hornín diskami je monitorovacia počítačová sústava procesu razenia, postavená na báze počítača PC104, rozšírená o subsystém w-optimalizátora raziaceho stroja (WORS), ktorá je inštalovaná na raziacom stroji Wirth TB-II-330H. WORS je koncipovaný ako podporný systém rozhodovania pre osádku raziaceho stroja. Jeho výstupom na obrazovke počítača je hodnota odporúčaného optimálneho prítlaku. Jeho vstupom sú matematicky spracované výsledky údajov, získaných monitorovacím subsystémom systému. Praktické výsledky, získané pri razení tunela Branisko sú v súčasnosti podrobne analyzované, s cieľom doplniť algoritmus optimalizácie o niektoré parametre konkrétneho raziaceho stroja a zistené parametre dynamiky procesu rozpojovania meniacich sa hornín na čelbe.

Téma 7: Vplyv vlastností horniny a horninového masívu na silové a energetické veličiny pri razení

Viaceré teórie rozpojovania definujú vzťah medzi mernou objemovou prácou rozpojovania a pevnostnými vlastnosťami horniny. Bolo zistené, že merná objemová práca rozpojovania podlieha rovnakým zákonitostiam ako pevnostné vlastnosti hornín, ktoré sa definujú tzv. rozmerovým efektom. Pritom tento „rozmerový efekt“ sa prejavuje aj pri vyhodnocovaní energetickej bilancie rozpojovania hornín diskami pri rôznych režimoch razenia, a preto fyzikálny vzťah medzi pevnosťou horniny a mernou objemovou prácou rozpojovania je zrejмый len pri vylúčení vplyvov režimu razenia. Bolo zistené, že v tomto prípade medzi nimi platí lineárny vzťah, potvrdený štatisticky. Bola potvrdená tiež závislosť medzi skleroskopickou tvrdosťou horniny meranou Schmidovým kladivkom a mernou objemovou prácou rozpojovania diskovej hlavy raziaceho stroja.

Téma 8: Identifikácia a predikcia porúch horninového masívu z monitorovaných veličín procesu razenia

Reálnym výstupom teoretických štúdií vzťahov medzi vstupnými a výstupnými veličinami procesu razenia je poznatok, že z monitorovaných veličín je možné relatívne jednoducho identifikovať poruchy horninového masívu. Výrazné poruchy masívu ovplyvňujú aj zónu hornín okolo poruchy, čo umožňuje s určitým predstihom poruchu predikovať. Vplyv porušených hornín na monitorované veličiny (zistiť, či ide o zmenu typu horniny alebo jej porušenosti) je nutné ďalej študovať v súčinnosti s priamymi metódami geologického výskumu.

Téma 9: Vývoj kontinuálnej metódy určovania vlastností horninového prostredia pri mechanizovanom razení

Pri riešení tejto témy bola teoreticky zvládnutá metóda eliminácie vplyvu režimu razenia na silové a energetické veličiny procesu rozpojovania hornín a metodika stanovovania kvázi priemernej pevnosti hornín na čelbe razeného diela. Vyvinuté programové prostriedky boli otestované na údajoch, získaných z razenia tunela Branisko. Spresnenie tejto metódy pre použitie v praxi, pri mechanizovanom razení tunelov alebo inžinierskych podzemných diel, realizovaných diskovými rozpojovacími nástrojmi, je podmienené ešte porovnaním výsledkov s výsledkami priamych metód geologického prieskumu.

Téma 10: Vývoj expertného systému pre raziace stroje

Pri riešení grantovej úlohy G1367/94 sa aplikoval pre účely výberu optimálneho vŕtacieho nástroja fuzzy expertný systém, ktorý vyvinuli na VUT Brno. Údaje, získané pri razení tunela Branisko, chceme využiť pri zostavení obdobného systému pre tunelovanie, s cieľom, poskytnúť praxi nový nástroj pre podporu rozhodovania.

Záver

V hrubých rysoch načrtnuté riešené výskumné témy v problematike rozpojovania hornín diskami môžu byť aplikované na plnoprofilové raziace stroje, na stroje koncepcie CMM (Continuous Mining Machine) a tiež na stroje výložníkového typu, ktorých predstaviteľom je stroj Mobile Miner.