

Určovanie stupňa porušenia a kvality letiskových dráh seizmickými metódami

Blažej Pandula¹

Determination of degree of breakage and quality of airport ways by seismic methods

The optimisation and rationalisation of individual activities fully conditions the application of the newest results of science, investigation and development of the civil engineering practice. The seismic methods at present have wider applications in all the stages of the engineering - geological and geotechnical works' survey at the solution of specific problems in the geotechnical practice, as is for example the subsoil's survey of airports' runways and surfaces. In the paper there are given results of the determination of selected subsoil's section of runways with the help of methods of refracted waves and seismic tomography.

Key words: seismic interfaces and velocities, methods of refracted waves, seismic tomography, airport runway.

Úvod

Projektovanie a stavba letísk prešli v posledných desaťročiach vo svete aj u nás rozsiahlym vývojom. Za ten čas sa získalo v tejto oblasti, ako aj z prevádzky leteckej dopravy veľa skúsenosti. Mohutný a sústavné vzrastajúci rozvoj leteckej techniky podmienili výstavbu letísk vybavených najmodernejšou technikou, ktorá umožňuje prevádzku leteckej dopravy takmer v každom počasí pri dodržiavaní maximálnej bezpečnosti. A práve zakladanie a opravy vzletových a pristávacích dráh odčerpávajú nemalo finančných prostriedkov a ľudských zdrojov, vzhľadom na realizáciu požiadavky získania hodnoverných a objektívnych podkladov o charakteristikách a parametroch podložia a jednotlivých vrstiev vzletových a pristávacích dráh (Blaško, 1998).

Súčasný stav na letiskách Slovenskej republiky je charakterizovaný zlou ekonomickou situáciou. Letisko ako samostatná inžinierska dopravná stavba predstavuje tri etapy životnosti stavby. Prvá etapa pomerne krátka, ale rozhodujúca je výstavba letiska. Na kvalite vykonaných prác závisia ďalšie dve etapy a to každodenná a sezónna údržba, ako aj opravy letísk (Mesároš, 1995).

V súčasnosti žiadny rezort nedisponuje dostatočnými finančnými prostriedkami na zabezpečenie potrebnej obnovy prevádzkovaných objektov. Z tohto titulu sa hľadajú možnosti ako zamedziť ich znehodnoteniu. Situácia s priebežným kontrolovaním stavu letiskovej dráhy nie je na veľmi dobrej úrovni. Stav letiskovej dráhy sa v praxi zisťuje len vizuálne a následne sa uskutočnia menšie opravy. Podrobná analýza stavu letiskovej dráhy sa uskutočňuje len pred rozsiahlejšími opravami. Z dráh a plôch sa odoberajú vrtné vzorky. Po ich laboratórnom vyhodnotení sa určuje rozsah oprav. Je to síce presné, avšak dochádza k poškodeniu krytu, preto je letecká prevádzka obmedzená (Blaško, 1995).

Na stanovenie stupňa porušenia a kvality horninového prostredia sa v praxi najviac používajú seizmické metódy. Svojou povahou sú seizmické metódy nedeštruktívne, preto sú zvlášť vhodné na stanovenie stupňa porušenia krytu letiskovej dráhy a kvality jej podložia (Tur, 1997).

Nedávny výskum v oblasti geofyzikálneho prieskumu na Katedre dobývania ložísk a geotechniky F BERG bol zameraný na zvýšenie využívania výpočtovej techniky v tejto oblasti. To viedlo k vypracovaniu novej tomografickej zobrazovacej techniky v spojení so seizmickým prístrojom BISON, ktorý využívame na seizmické merania. Seizmickú tomografiu, v spojení s klasickou seizmickou metódou - metódou lomených vln, sme aplikovali pri overení stavu letiskovej plochy na letisku v Košiciach a Poprade.

Metodika merania

Určovanie stupňa porušenia horninového prostredia sa v praxi najčastejšie uskutočňuje pomocou seizmických alebo seizmoakustických metód. Získavajú sa tak základné informácie o priestorovom rozložení a intenzite porušenia. Pracuje sa prevažne s dvojvrstvovým modelom prostredia, rozrušenou horninou na povrchu a kompaktnou horninou v podloží. Zdrojom seizmických vln sú úderové alebo malé náložové trhavy. Za priaznivých okolností je možné stanoviť hĺbku zóny rozrušenia a rýchlosť šírenia pružného vlnenia v neporušenom prostredí.

Fyzikálny základ použitia seizmických metód je daný závislosťou rýchlosti šírenia seizmických vln na pružnostných vlastnostiach prostredia ako aj zmenami týchto rýchlostí vplyvom napätových pomerov existujúcich v tomto prostredí. Prítom vo všeobecnosti platí, že v mechanicky porušených prostrediach dochádza k výraznému zníženiu rýchlosti šírenia seizmických vln a naopak neporušené prostredie sa vyznačuje veľmi

¹RNDr. Blažej Pandula, CSc., Katedra dobývania ložísk a geotechniky, F BERG TU Košice, Park Komenského 19, 043 84 Košice (Doručené 11.9.1999, revidovaná verzia doručená 15.5.2000)

dobrymi prenosovými vlastnosťami, teda vyššími rýchlosťami. Z toho vyplýva, že už na základe rýchlosti vlnenia a jeho zmien by sme mali vedieť stanoviť stupeň porušenia prostredia, ktorým prešli seizmické vlny. Na tomto princípe je založená seizmická tomografia. Navyše aplikácia tomografických metód nám umožní modelovať pole rýchlostí $v(x,y)$ vnútorných oblastí prežiarených seizmickými vlnami a zároveň vymedziť zóny porušenia v sledovanom prostredí vrátane ich časového vývoja. Seizmické metódy takto majú veľký význam pri svojom praktickom využití z hľadiska posudzovania fyzikálno-mechanických vlastností podložja (Pandula, 1995). Ich výhodou je, že umožňujú zistiť pružnostné vlastnosti podložja letiskovej dráhy z meraní na povrchu tak, že nie sú potrebné deštruktívne zásahy.

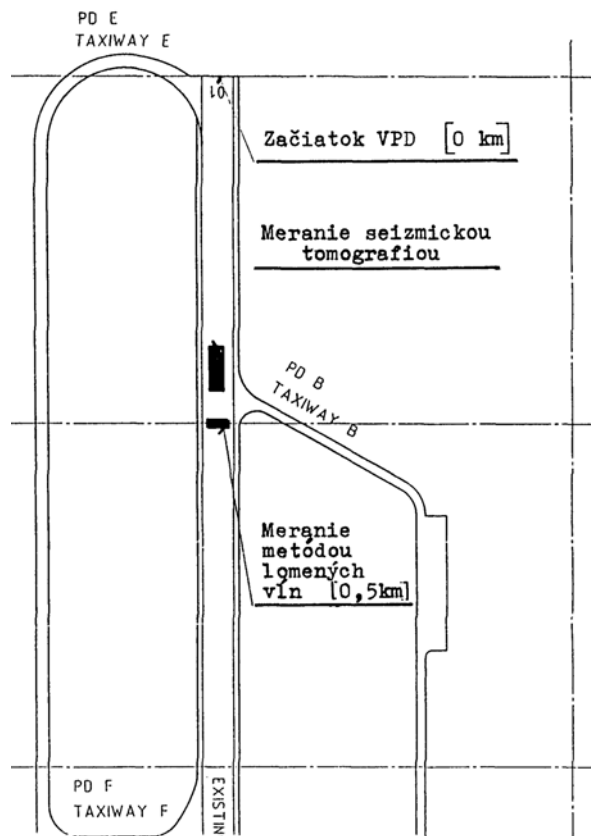
V seizmickom prieskume rozlišujeme dve základné metódy: metódu odrazených vln - reflexná seizmika a metódu lomených vln - refrakčná seizmika. Každá z týchto metód má určité špecifické vlastnosti, ktoré ju predurčujú na riešenie odlišných problémov. Pre účely inžinierskej seizmiky pri prieskume malých hĺbok sa používa metóda lomených vln - refrakčná seizmika a seizmická tomografia, ktorá predstavuje najnovší trend spracovania seizmických vln. Použitie tomografických metód spracovania seizmického signálu umožňuje zostrojiť oveľa podrobnejší obraz rýchlosti šírenia sa pružného vlnenia v sledovanej oblasti, ako pomocou doteraz používaných metód (Pandula, 1995). V prípade použitia metódy lomených vln na letiskových dráhach dochádza k obrátenému poradiu skúmaných vrstiev, ako pri klasickom seizmickom prieskume. Na povrchu sa nachádza vrstva vyšších rýchlostí (betónová plocha) a pod ňou sa nachádzajú vrstvy s oveľa nižšími rýchlosťami (podložie). Vrstva vyšších rýchlostí spôsobuje ťažkosti pri spracovaní seizmického záznamu a preto rýchlosť v tejto vrstve je potrebné stanoviť čo najpresnejšie.

Merania in situ letiska Košice

Na košickom letisku sme uskutočnili dve merania s cieľom stanovenia stavu kvality letiskovej dráhy a jej podložja v najviac exponovanom mieste. Týmto meraním sme zistili približný tvar seizmického rozhrania pozdĺž meraného profilu. Druhým meraním, metódou seizmickej tomografie bola určená kvalita podložja a porušenosť krytu na danom staničení letiskovej dráhy (obr.1). Merania boli uskutočnené pomocou seizmickej aparatúry BISON INSTRUMENTS 1580 (Money, 1977).

Meranie metódou lomených vln

Merania boli uskutočnené na časti letiskovej dráhy na staničení 500 m od začiatku letiskovej dráhy (obr.1). Profil merania bol priečne cez letiskovú dráhu. Pružné vlnenie sme vybudzovali úderom kladiva. Bod úderu bol



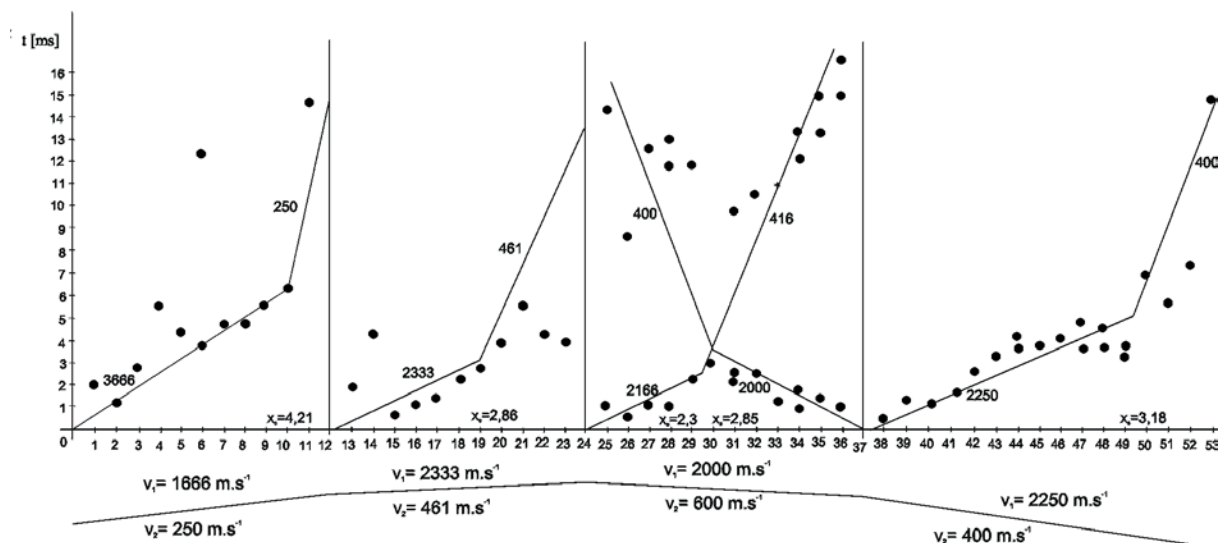
vo vzdialenosti 0,12,24 a 37 m od začiatku meraného profilu. Pre spresnenie merania sme uskutočnili v strede meraného profilu protismerné meranie. Meraný profil bol rozdelený na štyri úseky, vzhľadom na útlm seizmických vln v podloží letiskovej dráhy, ktorý neumožňoval premerať celý profil naraz. Výsledkom nameraných hodnôt sú hodochrony priamych a lomených vln (obr.2), na základe ktorých je možné vypočítať hĺbku seizmického rozhrania. Hodnoty rýchlostí pre jednotlivé vrstvy v_1 a v_2 seizmického profilu boli vypočítané podľa rovnice $v = \Delta s / \Delta t$.

Na základe takto vypočítaných rýchlostí je možné určiť hĺbku seizmického rozhrania (Money, 1977):

$$h_1 = x_1 / 2 \sqrt{(v_1/v_2 - 1) / (v_1/v_2 + 1)},$$

kde: x_1 je bod na osi x , ktorý sa určuje z polohy priesečníka hodochron priamych a lomených vln (obr.2).

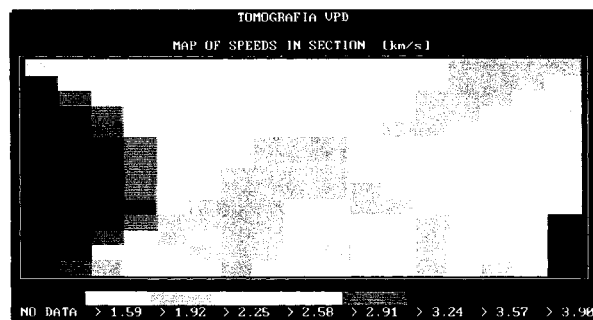
←
Obr.1. Situačný náčrt merania porušenia vzletovej a pristávacej dráhy (VPD) letiska Košice.



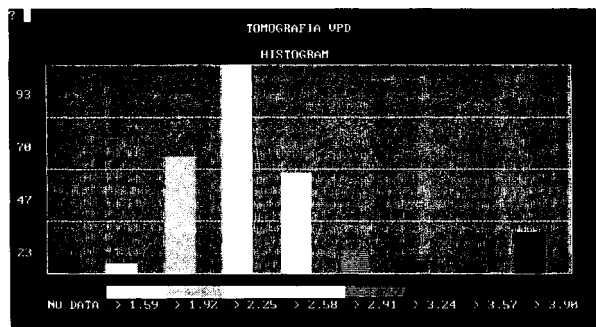
Obr.2. Hodochrony priamych a lomených vln na meranom profile VDP letiska Košice.

Meranie metódou seizmickej tomografie

Pri tomografickom prieskume bola podrobnejšej analýze podrobená tzv. "aktívna oblasť" v prostriedku letiskovej dráhy, ktorá na seba preberá najväčšiu časť statických a dynamických účinkov spôsobovaných prevádzkou letiskovej dráhy (obr.1). Zdrojom seizmického vlnenia bol úder kladivom na 0,3,6,9,12,15 a 18 tom metri jednej strany meraného úseku. Na protiaľhlej strane meraného úseku boli zaznamenávané časy príchodu seizmických vln. Časy príchodu seizmických vln boli zaznamenávané po jednom metri pre každý bod zdroja seizmického vlnenia. Výsledky boli spracované tomografickým algoritmom (Ivančo, 1991), na základe ktorého môžeme modelovať pole rýchlostí $v(x,y)$ vnútorných oblastí prežiarených vlnami a tým vymedziť zóny porušenia v sledovanom horninovom prostredí, ale i geologické rozhrania a iné nehomogenity prostredia. Výstupom je tomografická mapa meraného prostredia (obr.3) a histogram početnosti výskytu seizmických rýchlostí v sledovanej oblasti (obr.4) (Szabó, 1992).



Obr.3. Tomografická mapa seizmických rýchlostí najviac zaťaženej časti VDP letiska Košice.



Obr.4. Histogram početnosti výskytu seizmických rýchlostí v najviac zaťažovanej oblasti VDP letiska Košice.

Merania in situ letiska Poprad

Na vybranom úseku letiskovej dráhy sme uskutočnili meranie pomocou metódy lomených vln, seizmickej tomografie a ultrazvukovej tomografie (obr.5).

Meranie metódou seizmických vln

Pri metóde lomených vln sme premeriavali profil o dĺžke 45 m, naprieč letiskovou dráhou. Meraný profil sme rozdelili na tri časti, po 15 m. Výsledkom nameraných hodnôt boli hodochróny priamych a lomených vln, na základe ktorých boli vypočítané hĺbky seizmického rozhrania, pre jednotlivé merané úseky, podobne ako na letisku Košice (obr.6).

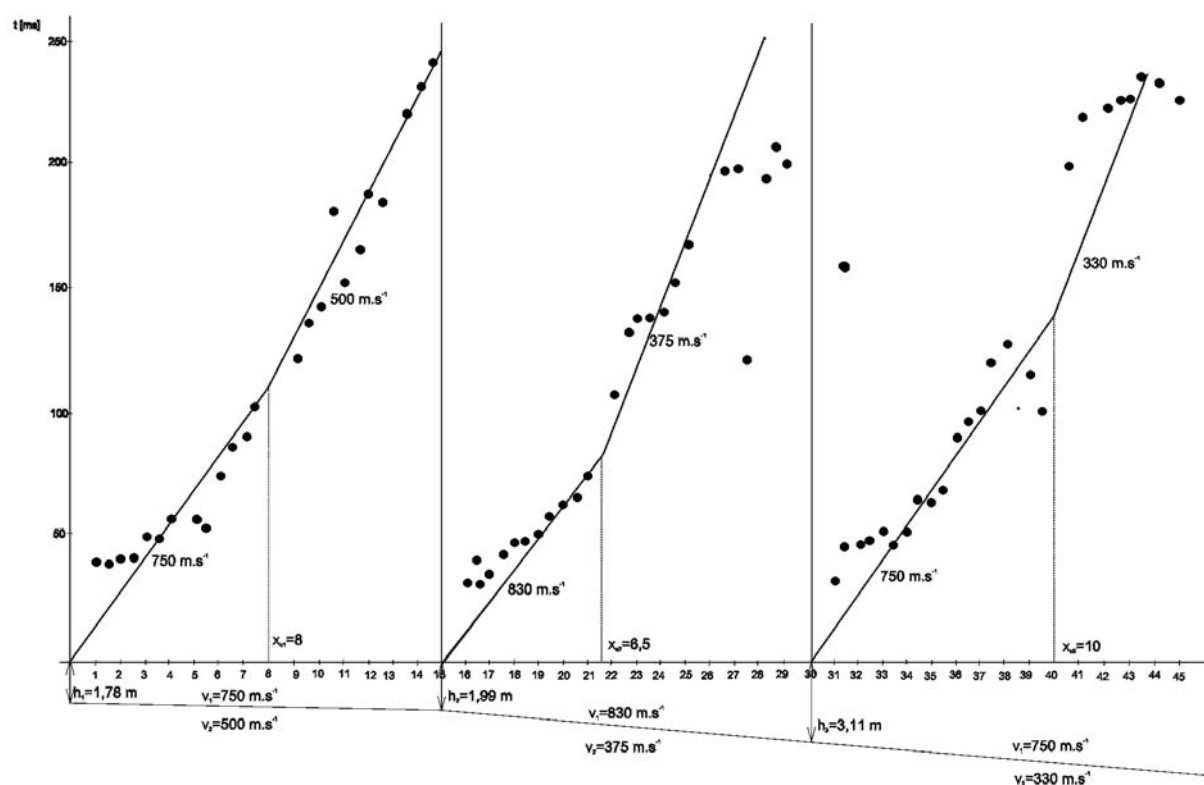
Hodnotenie porušenia pomocou seizmickej tomografie

Merania boli uskutočnené na časti letiskovej dráhy (obr.5). Vybraná bola dotyková zóna VPD o rozmeroch 60 x 45 m. Táto zóna je najviac dynamicky namáhaná. Vlnenie sme vybudzovali výbuchom malých náloží trhaviny (obr.7). Zdroje a snímače vlnenia boli rozmiestnené pozdĺž vzletovej a pristávacej dráhy, podľa meracej schémy tak, aby seizmické vlny čo najlepšie prekryli skúmanú oblasť (obr.8). Miesta výbuchov boli od seba vzdialené 9 m a snímače, umiestnené na protiaľhlej strane dráhy, boli od seba vzdialené 3 m. Namerané hodnoty boli spracované programom SEISTOMO. Výstupom je tomografická mapa seizmických rýchlostí (obr.9).



Obr.5. Meranie na pristávacom úseku VDP letiska Poprad seizmickou aparátúrou Bison Instruments 1580.

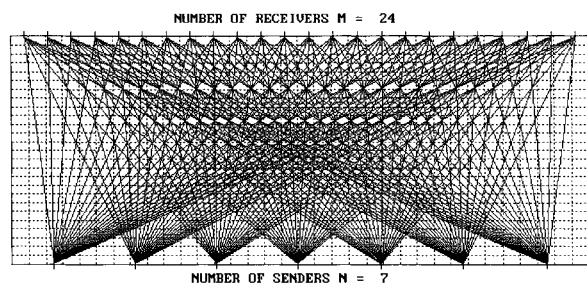
Obr.7. Zdrojom seizmických vln bol výbuch malých náloží trhaviny pozdĺž letiskovej dráhy.



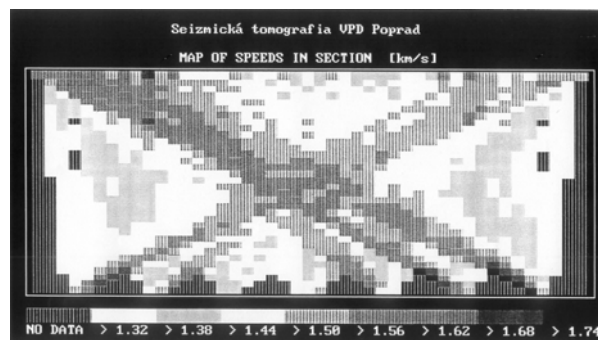
Obr.6. Hodochrony priamych a lomených vln na meranom profile VDP letiska Poprad.

Hodnotenie porušenia metódou ultrazvukovej tomografie

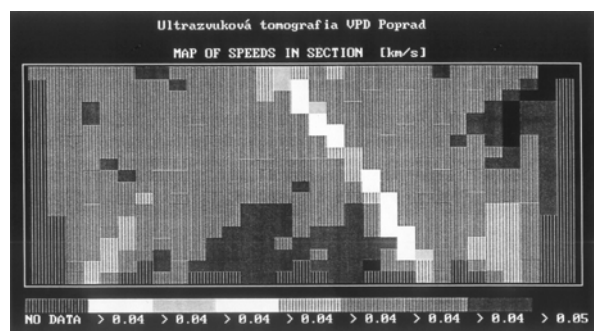
Merania sme uskutočnili pomocou ultrazvukového prístroja MATERIAL TESTER 543 s frekvenciou vysielacej sondy 100 kHz. Na meranom úseku letiskovej dráhy boli vybrané dve platne. Jednalo sa o poškodenú a opravenú platňu. Pomocou ultrazvukovej tomografie sme zistili rýchlosť šírenia ultrazvukových vln v týchto doskách. Namerané hodnoty boli spracované programom SEISTOMO. Výstupom sú tomografické mapy ultrazvukových rýchlostí (obr.10 a 11).



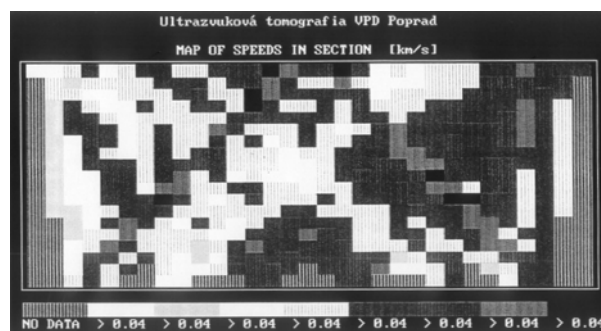
Obr.8. Meracia schéma metódou seizmickej tomografie pristávacej plochy VDP letiska Poprad.



Obr.9. Tomografická mapa seizmických rýchlostí pristávacej plochy VDP letiska Poprad.



Obr.10. Tomografická mapa ultrazvukových rýchlostí poškodenej platne VDP letiska Poprad.



Obr.11. Tomografická mapa ultrazvukových rýchlostí opravenej platne VDP letiska Poprad.

Diskusia k nameraným výsledkom

Metódou lomených vln bolo na letisku Košice určené seizmicke rozhranie s priemernou rýchlosťou 2000 m/s v nadložnej vrstve a seizmicke rozhranie s priemernou rýchlosťou 400 m/s v podložnej vrstve. Vrchná vrstva na meranom úseku siaha do hĺbky od 2,3 m do 5 m. Na základe rýchlostí seizmických vln určených z hodochrón lomených vln 1666 - 2333 m/s (obr.2) môžeme povedať, že skúmané prostredie je veľmi kvalitné z hľadiska únosnosti. Nižšie uložená vrstva s rýchlosťami 250-461 m/s zodpovedá hlinitiopiesočnatému prostrediu s nižšou kvalitou z hľadiska únosnosti (Krišťáková et al., 1992).

Metódou seizmickej tomografie bola určená rýchlosť v kryte letiskovej dráhy v rozmedzí 1590-3890 m/s. Tieto rýchlosti zodpovedajú spevneným horninám, na základe čoho môžeme povedať, že kryt letiskovej dráhy v sledovanom úseku je v dobrom stave (Tur, 1997).

Na základe rýchlostí priamych a lomených vln vypočítaných z hodochrón vo vrchnej vrstve seizmickeho profilu a rýchlostí stanovených pomocou seizmickej tomografie sme mohli stanoviť, že rýchlosti seizmických vln pod pôvodným cementobetónovým krytom na meranom úseku letiskovej dráhy sú 700-800 m/s. Takéto rýchlosti zodpovedajú spevnenému prostrediu z hľadiska únosnosti. Táto spevnená vrstva siaha v sledovanom úseku do hĺbky 2,8 až 5,18 m, čo dokazuje, že podložie letiskovej dráhy je v danom úseku v dobrom stave - je dostatočne únosné.

Na letisku Poprad bolo metódou lomených vln stanovené seizmicke rozhranie v hĺbke 1,77 m, 1,99 m a 3,11 m (obr.6). Priemerná rýchlosť v nadložnej vrstve bola 750 m/s a priemerná rýchlosť v podložnej vrstve 400 m/s. Podložná vrstva s rýchlosťami 330 až 350 m/s odpovedá porušenému prostrediu.

Metóda seizmickej tomografie bola použitá na pozdĺžnom úseku letiska tak, aby bolo možné posúdiť stupeň porušenia na jednotlivých betónových platniach. Namerané rýchlosti 1320 až 1740 m/s poukazujú na veľkú porušenosť betónového krytu letiskovej dráhy.

Metódou ultrazvukovej tomografie bolo možné stanoviť rýchlosti šírenia ultrazvukových vln v jednotlivých betónových platniach. V opravenej betónovej platni boli namerané rýchlosti šírenia ultrazvukových vln 5600 m/s. Tieto rýchlosti zodpovedajú veľmi kvalitnému betónu. V pôvodnej neopravenej platni boli namerané rýchlosti 4 000 m/s.

Záver

Namerané výsledky jednoznačne preukázali vhodnosť zvolených metód pre riešenie danej problematiky. Metódou lomených vln pozdĺž seizmického profilu v meranom úseku letiskovej dráhy boli pomocou hodochrón určené seizmické rozhrania a rýchlosti seizmických vln v obidvoch vrstvách podložja. Seizmickou tomografiou bola podrobne preskúmaná kvalita krytu letiskovej dráhy vo vymedzenej časti letiska Košice.

Zavedenie vhodnej diagnostickej metódy by mohlo pri aplikácii priniesť značné upresnenie geologických údajov bezprostredného podložja letiskovej dráhy i samotného krytu. Navyše keďže ide o metódy nedeštruktívne majú veľký význam pri svojom praktickom uplatnení v prieskume a diagnostike dráhového systému letísk.

Literatúra

- Blaško, F.: Variantné riešenie praktického využitia zvukomerného zariadenia Bison z ekologického hľadiska. *In: Technológia v stavebníctve. Zbor. ref. VLA Košice, Štrbské Pleso, 1995, s.216 - 219.*
- Blaško, F.: Netradičný prístup k určovaniu a vyhodnocovaniu porušenia vzletových a pristávacích dráh seizmickými a seizmoakustickými metódami. *In: Nové trendy v rozvoji letectva. Zbor.ref. z III. medzinárodnej konferencie VLA Košice, 1998, s.50 - 55.*
- Ivančo, J.: Algoritmus postupu určovania skrytej porušenia horninového prostredia tomografickými metódami. *Manuskript, Katedra matematiky UPJŠ Košice, 1991, 7 s.*
- Krišťáková, Z., Sekula, F., Imrich, P. a Pandula, B.: Aplikácia tomografie pri modelovaní stavu podložja letiskovej dráhy v Košiciach. *In:8.banická vedeckotechnická konferencia. Zbor. ref. ÚG SAV Košice, 1992, s.57 - 62.*
- Mesároš, M., Tichánek, S. a Skácel, M.: Ekológia v procese výstavby a udržby letísk. *In:Technológia v stavebníctve. Zbor.ref. VLA Košice, Štrbské pleso 1995, s.212 - 215.*
- Mooney, M.H.: Handbook of Engineering Geophysics. *Bison Instrumens 1977.*
- Pandula, B.: Určovanie porušenia hornín seizmickými a seizmoakustickými metódami a ich aplikácia pri rozpojovaní hornín výbuchom. *Kandidátska dizertačná práca. F BERG TU Košice 1995, 157 s.*
- Szabó, Š.: Grafické programy pre modelovanie horninového prostredia a výbuchu. *Uhlí - Rudy 1/2 1992, s.47 - 50.*
- Tur, G.: Aplikácia seizmických metód pri riešení úloh meraní podložja VPD letiska Košice. *Diplomová práca, VLA Košice 1997, 67 s.*