

POSUDEK KŘÍŽENÍ LETIŠTNÍCH DRAH S DEŠŤOVOU STOKOU DN1600.

Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc.

Objednatel požadoval posouzení problém týkající se způsobu realizace křížení letištní vzletové/přistávací dráhy RWY a pojezdové dráhy LWY C s dešťovou stokou DN1600. Posouzeny měly být tři možné technologické postupy výstavby – konvenční ražba Novou rakouskou tunelovací metodou, mikrotuneláž štítem s tlakovou ochranou čela výrubu a otevřený svahovaný či pažený výkop. Rozhodujícími kritérii při posuzování jednotlivých metod byla rychlost výstavby a minimalizace sedání podloží pod přistávací a pojezdovou letištní dráhou.

1. INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ POMĚRY V ZÁJMOVÉ OBLASTI

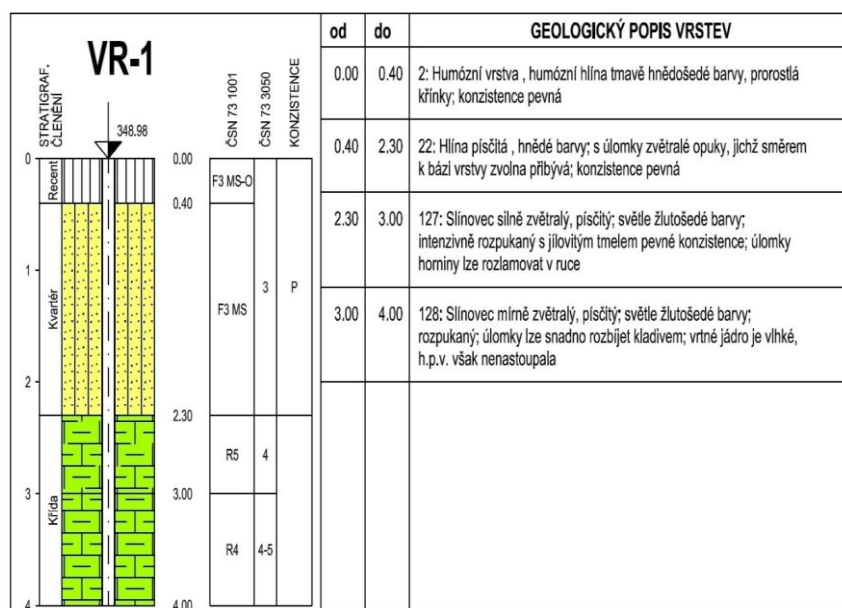
1.1 Geologická stavba

Zájmová oblast se nachází na jižním okraji České křídové tabule, stratigraficky ve svrchním mezozoiku. Z inženýrskogeologické mapy zájmového území bylo zjištěno, že skalní podklad tvoří sedimenty bělohorských vrstev, což petrograficky jsou prachovité až písčité slínovce – opuky, jejich mocnost je 10 a více metrů. Sedimentace opuk probíhala v klidné sedimentaci mělkého křídového moře, proto jejich plochy vrstevnatosti mají převážně horizontální charakter.

Podrobnější geologická stavba byla patrná z průzkumného jádrového vrtu VR-1 hlubokého 4,0 m (obr. 1). Mocnost pokryvů tvořených písčitou hlínou pevné konzistence činí ve vrtu 2,3 m, podložní opuky jsou do hloubky 3,0 m silně zvětřalé, od 3 do 4 m mírně zvětřalé. Podzemní voda nebyla ve vrtu VR-1 zastižena, dle údajů IG se její hladina nachází v hloubce cca 13 m pod úrovní terénu, zhruba na bázi opuk.

1.2 Podstatné fyzikálně-mechanické vlastnosti zastiženého prostředí

Pevnostní třída opuk se v závislosti na stupni zvětřání pohybuje v rozmezí tříd R5 až R3, to znamená s pevnostmi v širokém rozmezí 1,5 až 50 MPa. Vrstevnatost opuk je deskovitá až tlustě lavicovitá, obvyklá přítomnost puklinového systému ortogonálně orientovaného vůči plochám vrstevnatosti vytváří charakteristickou blokovitou odlučnost opukového masivu (obr. 2). Hustota diskontinuit je střední až velká, opuka v nadloží stoky jsou silně zvětřalé, v prostoru stoky slabě zvětřalé až navětřalé. Modul deformace zvětřalých nadložních opuk se pohybuje v rozmezí 100 až 200 MPa.



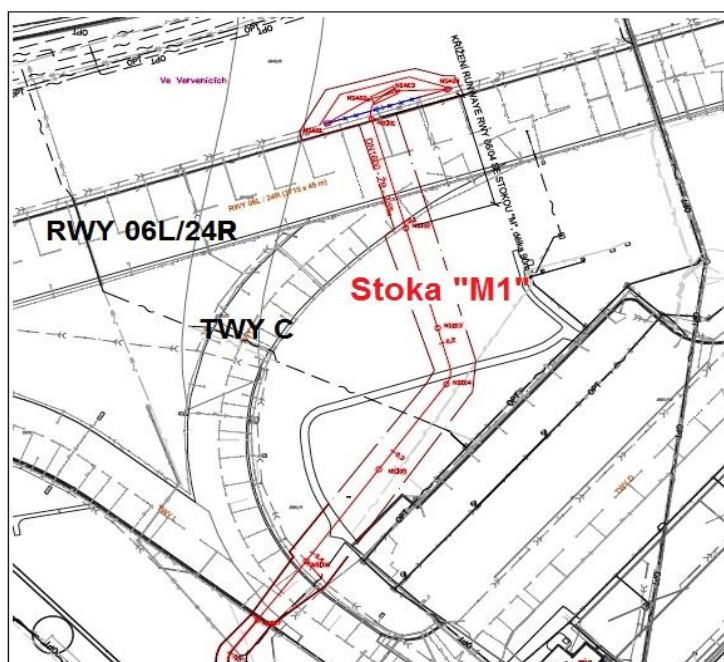
Obr. 1 Průzkumný jádrový vrt VR-1



Obr. 2 Opukový lom situovaný nedaleko od zájmové lokality
(foto Česká geologická služba)

3. STANOVISKO K MOŽNÝM ZPŮSOBŮM REALIZACE DEŠŤOVÉ STOKY V MÍSTĚ KŘÍŽENÍ S RWY a TWY C

Jednotlivé způsoby provedení dešťové stoky DN 1600 v místě křížení (obr. 3) konstrukce vzletové/přistávací dráhy RWY a pojezdové dráhy TWY C byly posuzovány výhradně z technického hlediska se zaměřením na rychlost výstavby a minimalizaci sedání, ekonomické porovnání bylo záležitostí objednatele.



Obr. 3 Situace křížení drah RWY a LWY C s dešťovou stokou DN 1600

3.1 Konvenční tunelování

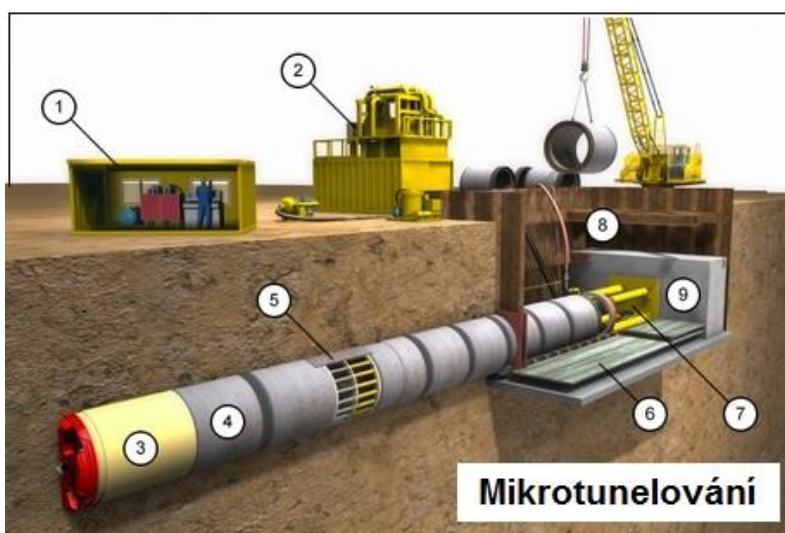
Investorem důrazně požadovaná minimalizace odstávky zejména vzletové/přistávací dráhy RWY předem zpochybňovala variantu konvenční ražby dešťové stoky. Časová náročnost konvenční ražby by byla nepochybně značná, způsobená jak rozpojováním horniny na čelbě, tak zejména postupem vyztužování ražené štoly provizorním a definitivním ostěním. Tunelování by vyžadovalo rozpojování horniny tunelbagem či výložníkovou frézou, v obou případech by, vzhledem ke značné hustotě diskontinuit, v opukovém masivu vznikaly značné geologicky podmíněné nadvýlomy oproti teoretickému výrobnímu profilu.

Velmi nepříznivým aspektem konvenční ražby štoly pod vzletovou/přistávací dráhou RWY by byly deformace, které by tuto ražbu nevyhnutelně provázely. Pravděpodobná velikost ztráty zeminy při ražbě konvenčního typu, která je způsobena deformací vyvolanou změnou primární napjatosti masivu na sekundární napjatost masivu oslabeného výrubem, činí cca 2 až 2,5 % teoretické výrubní plochy. Tato ztráta zeminy se na povrchu území projeví vytvořením poklesové kotliny s proměnnou hloubkou. Její maximální pořadnice S_{max} by se v daném případě pohybovala v desítkách mm, což by pro letištní dráhu RWY bylo zřejmě nepřijatelné.¹

Časová náročnost, komplikovaná výstavba definitivního ostění či instalace zaváženého potrubí, zejména však deformace nadloží stoky vzniklé pod dráhou RWY a LWY C, diskvalifikují konvenční ražbu stoky při srovnání s dvěma dalšími postupy výstavby – mikrotunelováním a výstavbou stoky v otevřené stavební jámě.

3.2 Mikrotunelování

Mikrotunelování je plnoprofilová ražba profilů DN300 až DN4000 dálkově řízeným mechanizovaným štítem (obr. 3), který je protlačován ze startovací jámy prostřednictvím postupně připojovaných úseků navrženého potrubí. Nejkomfortnějším typem stroje pro mikrotunelování je bentonitový štít s tlakovou kontrolou čelby a hydraulickou dopravou rubaniny. Obecně mikrotunelování tohoto typu výrazně minimalizuje deformace nadloží, je proto často používáno v blízkosti konstrukcí citlivých na sedání, pod železničními tratěmi, pozemními komunikacemi i letištními dráhami.



Obr. 3 Schema bentonitového štítu pro mikrotuneláž

1 – řídicí centrum 2 – silo a odkalovací nádrž 3 – bentonitový štít 4 – protlačované potrubí 5 – tlačná mezistanice 6 – řídicí plato 7 – hlavní tlačná stanice 8 – šachta opěrná stěna

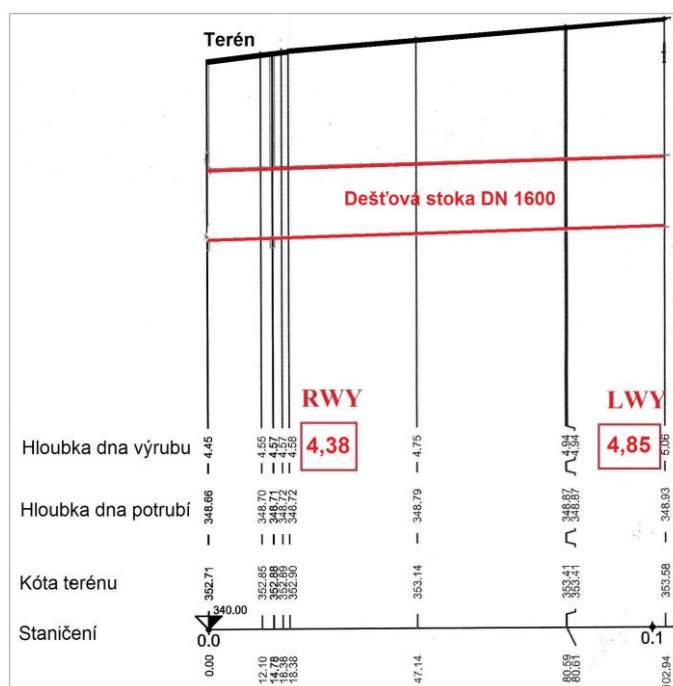
¹ Limitní hodnota přípustné deformace pod dráhou RWY 06/24 nebyla v zadání posudku uvedena. Orientačním výpočtem poklesové kotliny při ztrátě zeminy do 2% byla stanovena její maximální hloubka cca 45 mm.

Mikrotunelování je použitelné do všech typů zemin a hornin, pevnostním podmínkám masivu je nutno přizpůsobit řeznou hlavu a řezné orgány. Součástí mikrotunelovacího stroje je téměř vždy kuželový drtič, který zdrobňuje kameny či balvany v zeminách, případné bloky vzniklé při rozpojování diskontinuitních hornin, na velikost vhodnou pro hydraulickou dopravu.

Stabilita čelby je zajišťována automaticky kontrolovaným tlakem čisté bentonitové suspenze, přiváděné potrubím z vnějších nádrží. Rozpojená zemina či horninová rubanina se dopravuje hydraulicky z odtěžovací komory pomocí výplachu tvořeného bentonitovou suspenzí. Znečištěná suspenze se čerpá na povrch, prochází vibračními sítí, kalovými nádržemi, případně hydrocyklony, a znovu se tlakovým potrubím vrací na čelbu.

Pro úspěšnou mikrotuneláž je výhodné homogenní prostředí zemin či hornin málo proměnlivé pevnostní kategorie. Dle údajů sondy VR-1 lze předpokládat, že v celém rozsahu ražby bude zastížena opuka se střední pevností (třída R3, $\sigma_c = 15$ až 50 MPa). V tomto prostředí by ražba mikrotunelovacím strojem s řeznou hlavou do pevných hornin byla spolehlivě a rychle zvládnutelná. Také rovná trasa a konstantní spád pod RWY a TWY C jsou pro mikrotuneláž velmi vhodné. Jisté riziko mikrotuneláže může vyplývat z výrazné deskovité až tlustě lavicovité odlučnosti opuk dle horizontálních a vertikálních diskontinuit. Bloky desek a lavic, na něž se může při ražbě horninový masiv rozpadat, povedou ke vzniku nadvýlomů a současně mohou způsobit problém se vstupem větších bloků do kuželového drtiče. Tím může být nepříznivě ovlivněna plynulost ražby a způsobeno větší rozvolnění masivu v okolí čelby. Průběžná kontrola stavu na čelbě není při této metodě možná.

Toto riziko je navíc zvýrazněno nízkým nadložím nad výrubem dešťové stoky (obr. 4). Prakticky celé nadloží tunelu bude tvořeno kvartérní hlínou písčitou (MS F3) s velmi nízkým modulem deformace 10 MPa. Dle dodaného podélného řezu (obr. 4) je pod krajem RWY dno potrubí v hloubce 4,18 m, pod krajem TWY C v hloubce 4,65 m. Po odečtení světlosti potrubí, jeho tloušťky a nadvýšení profilu při ražbě, zbývá pod krajem RWY výška rostlého nadloží 1,18 m, pod krajem TWY C 1,77 m. Při započtení mocnosti kvalitní konstrukce RWY 1,1 m a TWY C 0,98 m jsou mocnosti nadloží na kraji RWY 2,28 m a kraji TWY C 2,75 m. V obou případech je to však méně, než je doporučená hodnota výšky nadloží 2 až 3 D (což činí v daném případě 3,2 až 4,8 m), která má zajistit s velkou pravděpodobností ražbu bez poklesů nadloží.



Obr. 4 Výřez z podélného řezu dešťovou stokou (kóty dna výrubu platí pro mikrotunelování)

Možné větší rozvolnění masivu, spolu s velmi nízkým nadložím nedovoluje s naprostou jistotou počítat s nulovou ztrátou zeminy při ražbě, a tudíž s vyloučením určitých poklesů nadloží a deformací RWY a TWY C.

Mikrotunelování s tlakovou kontrolou čelby pomocí bentonitové suspenze a hydraulickým odtěžováním rubaniny je z výše uvedených tří srovnávaných realizačních variant křížení dešťové stoky s letištními dráhami jednoznačně metodou nejrychlejší, s nejmenším objemem těžených hmot a bezpečnou. **V diskontinuálním prostředí opuk s blokovitou odlučností a při nízkém nadloží však existuje obtížně kvantifikovatelné riziko, že může dojít při mikrotunelování ke vzniku výraznější poklesové kotliny, a tím k deformačnímu ovlivnění konstrukce dráhy RWY a TWY C.**

3.3 Svahovaný/pažený výkop

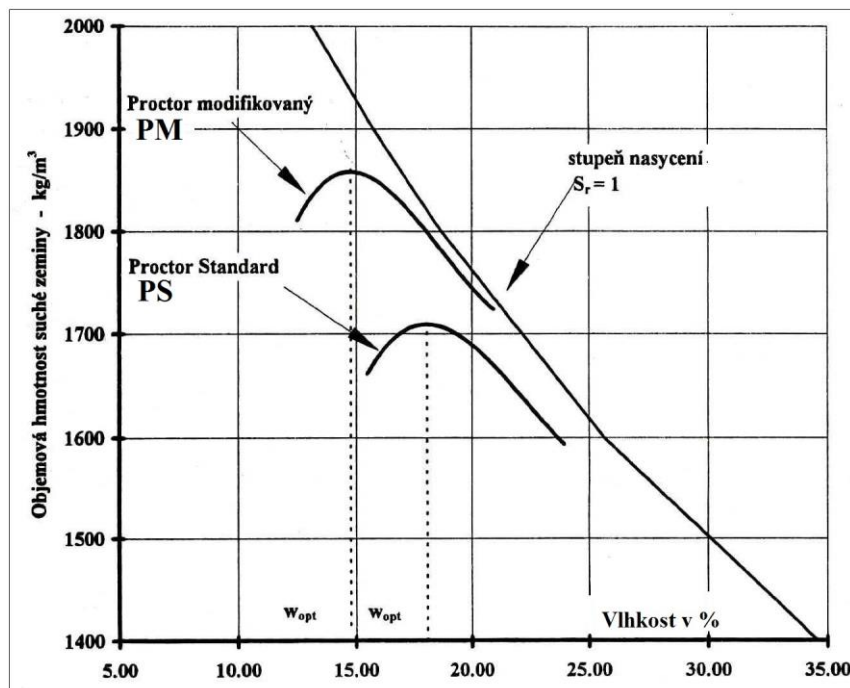
Jedná se o klasický postup ukládání podzemních potrubí. Vzhledem k tomu, že tento postup je ze všech tří posuzovaných variant nejnáročnější na objem těžené a transportované zeminy, je lépe z obou možností volit pažený výkop. Svahovaná jáma v prostředí opuk, i při použití poměrně strmých svahů 3 : 1, zvyšuje objem těžené zeminy o cca 50%, navíc možné opadávání rozpukaných zvětralých opuk by ohrožovalo bezpečnost práce ve výkopu. Svahy by bylo nutno opatřit ochrannými sítěmi či zastříkat betonem.

Zajištění rýhy je v prostředí opuk vhodné provést jednoduchým mikrozáporovým pažením z nosníků HEB osazovaných do vrtů ve vzdálenosti 0,5 až 0,8 m, bez použití pažin mezi mikrozáporami. Dimenze mikrozápor vetknutých do dna jámy, jinak nepodepřených, je nutno doložit statickým výpočtem.

Rozpojování opuk při hloubení výkopu je výhodné provádět pomocí frézy na výložníku, líc výkopu zajišťovat stříkaným betonem. Po provedení výkopu v celém rozsahu křížení se na dno osadí železobetonové potrubí s eutitovou vystýlkou do podkladního betonového lože. Výkop musí být oproti potrubí DN1600 na obě strany rozšířen tak, aby se do rozšíření bez problémů vešla hutnicí vibrační deska (vhodnější než vibrační pěch). Po uložení potrubí na dno je nutno realizovat zpětné vyplnění výkopu dobře hutnitelnou zeminou, např. šterkem hlinitým či hlínou stěrkovitou. Stlačitelnost zásypové zeminy rýhy pro dešťovou stoku v oblasti křížení s RWY a TWY C musí být v průběhu zhutňování zlepšena tak, aby dokončený zásyp nevykázal žádné deformace jak od vlastní tíhy, tak od zatížení obou drah za provozu.

Teorie zhutňování zemin je značně obsáhlá, podrobně rozpracovaná a dostupná v řadě publikací, K nejdůležitějším aspektům zhutňování zemin, a s tím souvisejícího zlepšení jejich stlačitelnosti, smykové pevnosti a propustnosti, lze při použití soudržné zeminy, s ohledem na posuzovaný případ zásypu rýhy pro dešťovou stoku, stručně poznamenat:

- Pro danou zhutňovací energii má zemina největší hutnost, charakterizovanou maximální hodnotou objemovou tíhou vysušené zeminy, při tzv. optimální vlhkosti.
- Pro běžné násypy stačí zeminu hutnit při optimální vlhkosti na objemovou tíhu vysušené zeminy odpovídající hutnicí energii standartní Proctorovy zkoušky (PS).
- Pro značně namáhané zemní konstrukce, což je nepochybně i případ zásypu rýhy pod RWY, je třeba provádět zhutňování s přísnými požadavky na hutnění podkladových vrstev letišť, hrází apod., což znamená zhutňovat zeminu s vyšší hutnicí energií odpovídající modifikované Proctorově zkoušce (PM).
- Při stejné metodě hutnění, ale při vyšší hutnicí energii, lze dosáhnout maximální objemové tíhy při nižší hodnotě optimální vlhkosti (obr. 4). Z grafického vyjádření je zřejmé, že u sušších zemin má význam aplikovat vyšší hutnicí energii pro dosažení lepšího zhutnění, zatímco pro příliš vlhkou zeminu je tato snaha marná.



Obr. 4 Hutní křivky pro různé hutní energie zkoušek PS a PM

Před zahájením vlastního hutnění zásypu je nutno provést s ohledem na význam stavby hutní pokus, kterým se prokáže, v jak mocných vrstvách, při kolika pojezdech válce, případně jakou frekvencí a amplitudou u vibračních válců, se dosáhne požadované míry zhutnění.

V průběhu hutnění zásypu rýhy je nutno bezpodmínečně provádět tzv. přímé laboratorní zkoušky, které určí hodnoty vlhkosti a odpovídající suché objemové tíhy. Výsledky těchto zkoušek ukazují, zda je hutnění prováděno v souladu s požadavky na míru zhutnění dle zkoušky PM. Významná úloha při kontrole postupu hutnění připadá odbornému geotechnickému doзору. Míru zhutnění lze kontrolovat i nepřímou zatěžovací deskou (zjišťuje se modul deformace), penetrační zkouškou nebo geodeticky. Na válcích nové generace lze na displeji přímo odečíst odezvu zeminy na pojezd válce a z ní získat informaci o dostatečném zhutnění.

Pro nesoudržné zeminy se Proctorova zkouška nepoužívá, neboť maximální objemová hmotnost prakticky nezávisí na vlhkosti. Jako míra zhutnění se uplatňuje index relativní ulehlosti I_D , který se při hutnění předepisuje nejčastěji v rozmezí 0,8 až 0,95. Nejlépe se zhutňují nesoudržné zeminy s plynulou křivkou zrnitosti a s použitím vibrační technologie.

Při použití vhodného typu zeminy, a jejím dokonalém zhutnění s dodržáním přísných parametrů zkoušky Proctor modifikovaný, lze předpokládat úspěšnou eliminaci deformace zpětného zásypu rýhy pro dešťovou kanalizaci po obnovení provozu dráhy RWY a TWY C. Dokonalé provedení po vrstvách hutněného zásypu je mimořádně důležité a výrazně závisí na vybavení, zkušenostech a bezchybné činnosti dodavatele zemních prací a průběžné kontrole postupu a kvality hutnění. Stálý geotechnický dozor je nezbytný.

4. ZÁVĚR

Konvenční tunelování je z časových důvodů, prováděcích komplikací a zejména vzhledem k objektivně hrozícímu vzniku poklesové kotliny pod dráhami RWY a TWY C **pro výstavbu dešťové stoky „M1“ nevhodné.**

Mikrotunelování s tlakovou kontrolou čela výrubu bentonitovou suspenzí je metodou speciálně doporučenou pro ražbu v blízkosti zástavby, pod kolejišti, pozemními komunikacemi a letištními

dráhami pro její schopnost minimalizovat a za vhodných podmínek vyloučit deformace nadloží a povrchu území. K realizaci mikrotunelování jsou k dispozici vynikající tunelovací stroje, metoda je technicky dokonale propracovaná, rychlá, do zemin, poloskalních hornin i hornin se střední a vysokou pevností velmi vhodná. **Pro ražbu stoky DN1600 v úsecích deformačně méně exponovaných (travnaté plochy), tj. mimo křížení s RWY a TWY C, lze mikrotunelování jednoznačně doporučit.**

V diskontinuitním opukovém masivu však může docházet k blokovému rozpadu horniny při ražbě, rozvolnění masivu a při velmi nízkém nadloží **v křížení stoky s RWY a TWY C nelze vyloučit riziko vzniku zvětšených deformací rostlého nadloží i vlastních letištních drah.** Pokud by bylo mikrotunelování dešťové stoky „M1“ prováděno v první fázi ražby nikoliv pod RWY a TWY C, ale např. pod více než stometrovým úsekem sousední travnaté plochy, pak při deformačně pozitivních výsledcích v prostředí pouze rostlé zeminy lze použití mikrotuneláže preferovat i pro ražbu pod RWY a TWY C. Jejichž konstrukce mají deformační parametry podstatně lepší, než jsou parametry nadložní hlíny písčité.

Výstavba v otevřené pažené rýze vyžaduje likvidaci určitého úseku RWY i TWY C. Tento postup je časově i z hlediska přesunu hmot hodně náročný, neboť kromě vytěžení a odvozu rozpojené horniny z rýhy bude nutno přivést podstatnou část vhodné zásypové zeminy. Teoretické zásady i praktické požadavky na úspěšné zlepšování vlastností zemin zhutňováním jsou dobře známy, ale jejich praktická aplikace je vždy zásadní měrou ovlivněna schopností dodavatele splnit všechny podmínky nutné pro dokonalou kvalitu hutnění. Při maximálně odpovědném přístupu dodavatele, při dokonalém zhutnění a za trvale důsledného geotechnického dozoru **lze tento postup označit za úspěšně použitelný.**