

Stanovisko autorů „Příručky pro zpracování statických výpočtů ražených tunelů dle EC“ k „Vyjádření k příručce“, vypracovanému Ing. Vl. Johnem, Metrostav a.s.

1. Úvod

Oponenturu pana Ing. Johna probereme po těch částech, které tvoří logický celek (zapíšeme je kurzívou) a odpovíme na ně (odpovědi zaznamenáme normálním písmem).

2. Rozklad

2.1. Návrhové přístupy a γ vody

Jsem názoru, že není vhodné přenásobovat parametry prostředí vstupující do výpočtu koeficienty. Parametry popisující prostředí jsou hodnoty autentické, popisující právě to konkrétní prostředí, ve kterém je dílo plánováno. Přenásobením některých (nebo všech) vstupních parametrů vzniká prostředí odlišné (jiné) od prostředí původního. V tomto směru jsem jednoznačně pro použití hodnot „originálních“. Do kategorie vstupních hodnot zařazuji i γ vody, jedná se o jednu z mála hodnot, která je určena zaručena spolehlivě.

Koeficienty, zohledňujícími možné „nejasnosti“ ovlivňující konstrukci, bych raději aplikoval až na získaný výsledný soubor hodnot (vnitřní síly, deformace).

• Účelem výpočtu pro MSÚ není stanovit účinek E pro autentické neboli většinové prostředí. Účelem je zajistit únosnost konstrukce i tehdy, když „vznikne prostředí odlišné (jiné) od prostředí původního“. Chceme-li lépe poznat autentické poměry, musíme se zaměřit na MSP (viz Příručka, kap.3.2. Jiné cíle statického výpočtu).

Ze tří rovnic, podle kterých lze MSÚ posoudit, a které všechny budou uvedeny v revidované Příručce, totiž rovnic

$$E_d = E(\gamma_F F_{rep}; X_{kr}/\gamma_{kr}; X_{kc}/\gamma_{kc}; Y_m; a_d), \quad (1)$$

$$E_d = \gamma_E E(F_{rep}; X_{kr}/\gamma_{kr}; X_{kc}/\gamma_{kc}; Y_m; a_d), \quad (2)$$

$$E_d = \gamma^E E(F_{rep}; X_{kr}; X_{kc}; Y_m; a_k), \quad (3)$$

doporučuje oponentura výpočet podle rovnice (3). Příručka tomu nebude bránit. Bude ponecháno na inženýrovi, provádějícímu výpočet, zda bude redukovat vstupní parametry, nebo výsledky výpočtu.

Mělo by být ale známo, že rovnice (1) – (3) nejsou navzájem ekvivalentní. Každá rovnice poskytuje jiné hodnoty E.

Rovnice (1), (2) jsou čistým produktem metody mezních stavů. Rovnice (1) je přesným vyjádřením problému, neboť E_d je zde beze zbytku vypočítáno. Rovnice (2) je odvozeným vyjádřením problému, neboť E_d je částečně vypočítáno a poté extrapolováno, což obecně vnáší do stanovení E_d chybu.

Pokud se jedná o oponenturu preferovanou rovnicí (3), je její aplikace nejproblematičtější:

Charakteristické veličiny byly dříve nazývány normovými. Z toho je zřejmé, že rovnice $E(F_{rep}; X_{kr}; X_{kc}; Y_m; a_k)$, tedy základ rovnice (3), stanovuje účinek E při mezním stavu použitelnosti (v bodě c obr.1 Příručky). Tento účinek je nutno extrapolovat do MSÚ (do bodu a obr.1 Příručky). To nejde pomocí součinitele γ_E , který se týká změn ve směru osy množiny zatížení F , ani pomocí součinitele γ_k , který souvisí se změnami ve směru osy geotechnických parametrů. Musí být stanoven nový součinitel, působící v obecném směru. Pracovně jsme jej označili jako γ^E . Tento nový součinitel je různý od dílčích součinitelů γ_E, γ_k jak velikostí (obecně je větší), tak charakterem: není to dílčí součinitel. Vzniká sloučením dílčích součinitelů γ_k, γ_E . Má proto vnitřní strukturu, vyjádřenou vztahem $\gamma^E = \Phi(\gamma_k, \gamma_E)$. Připomíná tím stupeň bezpečnosti, který je rovněž vnitřně strukturován.

Pro γ^E jsme odvodili následující základní formuli (index MSP odkazuje na mezní stav použitelnosti, zbylá indexace jakož i symbolika již byly zavedeny v Příručce):

$$\gamma^E = 1 + \left(\frac{\partial E}{\partial F}\right)_{MSP} * \frac{F_{rep}}{E_{MSP}} * (\gamma_E - 1) + \left(\frac{\partial E}{\partial X}\right)_{MSP} * \frac{X_k}{E_{MSP}} * \frac{\gamma_k - 1}{\gamma_k}$$

Tuto formuli je možno dále upravit a dozvědět se, že

- při lineárních výpočtech je $\gamma^E = \gamma_E$
- při pružně plastických výpočtech se zdá býti přijatelnou veličinou hodnota $\gamma^E = 1,6$.

Ze všech tří možných přístupů jsou výsledky, získané pomocí (3), zatíženy nebezpečím největší chyby ve stanovení E_d .

Dále tu je jeden zásadní důvod, proč preferujeme při posuzování MSÚ rovnici (1) před rovnicí (2) i rovnicí (3): Výpočet podle rovnice (1) poskytne varování v situacích, kdy výpočet podle (2), resp. (3) tak neučiní. Dojde k tomu tehdy, když výpočet podle (2), resp. (3) bude stabilní, zatímco výpočet podle (1) bude nestabilní. Bude-li totiž stabilní účinek E , vypočtený podle (2), resp. (3), extrapolován do E_d , bude E_d vždy stabilní, takže budeme vždy informováni o tom, že MSÚ je stabilní, zatímco výpočet podle (1) bude varovat a říkat opak.

- Objemová tíha vody** nemá výraznější rozptyl a proto je v Příručce fixována na hodnotě 10 kN/m^3 . S ní dílčí součinitel nesouvisí. Týká se změny polohy hladiny podzemní vody, tedy toho, jak se může návrhová výška hladiny lišit od výšky charakteristické (závorka v rovnici (34), která z matematického hlediska není nutná, má čtenáři tuto skutečnost zdůraznit). Součinitel se uplatní při výpočtu podle rovnice (1). Ve dvou druhých případech (rovnice (2) a (3)) je součástí součinitele γ_E , resp. γ^E .

2.2 Pružněplastické chování primárního ostění

Zavádění pružněplastického chování primárního ostění do výpočtu vede zpravidla k reálnějšímu návrhu konstrukce. Dokonce jsem názoru, že v případě výpočtů NRTM ražby je použití pružného primárního ostění nevhodné.

Souhlasíme s tímto názorem. Poukážeme také na to, že v případě sekundárů z prostého betonu je průkaz MSÚ na modelu, ve kterém je sekundár popsán jako pružné prostředí, mnohdy nemožný.

A obzvláště při takto koncipovaném výpočtu (pružněplastické primární ostění) nedoporučuji přenásobovat vstupní parametry koeficienty, ale provést sadu výpočtů. Minimálně výpočet na nejnižší možné hranici vyskytujících se hodnot kvazihomogenního celku, na horní hranici a v mediánu vyskytujících se hodnot. Mohlo by se zdát, že podobného

výsledku by bylo možné dosáhnout i při přenásobení mediánu koeficienty, avšak tento postup dá jiný proporcionální odstup mezi jednotlivými parametry (jiné geotechnické prostředí).

Nejsme si jisti, zda námitce správně rozumíme. Jestliže ano, pak se zde doporučuje:

- a) jednak výpočet podle rovnice (1), resp. (2) (= *minimálně výpočet na nejnižší možné hranici vyskytujících se hodnot*), tedy výpočet na MSÚ,
- b) jednak výpočet podle rovnice (3) s $\gamma^E = 1$ (= *v mediánu vyskytujících se hodnot*), tedy výpočet na MSP,
- c) jednak výpočet podle nové rovnice (= *na horní hranici*)

$$E_d = \gamma_E E(F_{rep}; X_{kr} * \gamma'_{kr}; X_{kc} * \gamma'_{kc}; Y_m; a_d),$$

kde dílčími součiniteli γ'_k ($\neq \gamma_k$) nedělíme, ale násobíme.

Všechny výpočty jsou samozřejmě možné. Ovšem jen výpočet podle a) se týká MSÚ. Vyhoví-li tunelová konstrukce na MSÚ, vyhoví i v MSP či podle nové rovnice, protože: **je-li tunelová konstrukce z betonu předepsaného betonářskou normou (tedy s návrhovými pevnostmi f_{cd} a f_{ctd} a z nich plynoucími návrhovými parametry c_{cd} , ϕ_{cd}) dostatečně únosná ve špatných geologických podmínkách (v podmínkách parametrů X_{kr}/γ_{kr}), je v těchže či lepších geologických podmínkách dostatečně únosná i konstrukce z betonu pevnějšího (tedy např. s charakteristickými pevnostmi f_{ck} a f_{ctk} a z nich plynoucími návrhovými c_{ck} , ϕ_{ck}).**

Proti předchozímu tvrzení se někdy namítá toto: dosadíme-li do výpočtu místo návrhových smykových pevností c_{cd} , ϕ_{cd} pevnosti charakteristické c_{ck} , ϕ_{ck} , obdržíme v ostění větší vnitřní síly. To je pravda. Nesmíme je však porovnávat – a v tom je chyba námitky - s návrhovým odporem R_d (s návrhovým interakčním diagramem), nýbrž s charakteristickým odporem R_k (s interakčním diagramem sestrojeným pro pevnosti f_{ck} ; tento diagram je oproti návrhovému diagramu „nafouklý“, přičemž „koeficient nafouknutí“ – alespoň pro prostý beton – je 1,5).

2.3. Koeficient bočního tlaku

U určení hodnoty bočního tlaku bych doporučil spíše konzultaci se zpracovatelem průzkumu. V nedávné době jsem na tunelu Dobrovského narazil na problém, kdy snaha vypočítat boční tlak pomocí vzorců vedla k nesprávné hodnotě (v porovnání s výsledky průzkumu). Je pravda, že ve velké části prostředí budou vzorce „fungovat“ dobře (byly tak i sestaveny), bohužel v některých případech (např. překonsolidace) mohou dávat výsledky mimo skutečný obor hodnot.

V Příručce bude příslušný text doplněn o konstatování, že v případě bočního tlaku je nezbytné postupovat individuálně v závislosti na postižení zemin a hornin historickými geologickými procesy a jejich reologickými odezvami.

Konzultaci se zpracovatelem průzkumu rádi podporujeme. Bude skvělé, když jejím výsledkem nebude pouze odkaz zpracovatele na námi uváděné vzorce.

2.4. Spolupůsobení primárního a sekundárního ostění

Samostatnou kapitolou je degradace primárního ostění při výpočtu ostění sekundárního. Jsem si vědom, že není možné „jen tak“ započítat primární ostění kdykoli se „to hodí“. Nicméně jedná se o konstrukci betonovou (či železobetonovou), kterou lze jistě

navrhnout tak, aby ji bylo možné považovat za konstrukci trvalou. Vše je jen věcí znalosti přírodních podmínek (např. agresivity) a uzpůsobení návrhu primárního ostění. V takovém případě je však nutné mít nástroj (doslova metodický postup) pro takto navržené sekundární ostění (spolupůsobící s ostěním primárním). Já osobně bych se velmi přimlouval za rozšíření příručky v tomto směru, protože v literatuře není tento problém (z hlediska výpočetního) popsán. Dle mých osobních zkušeností převládá v teoretickém přístupu k tomuto problému mnohem větší „anarchie“, než při volbě vstupních parametrů prostředí.

Oponentura správně uvádí, že k vyřešení tohoto problému „je nutné mít nástroj (doslova metodický postup)“, který „v literatuře není (z hlediska výpočetního) popsán“. Jedná se tedy o něco, co je nové a není dořešené. Pro Příručku to je tím pádem nedostupné, neboť Příručka není ani vědeckým pojednáním, ani učebnicí. Kromě toho sám problém se nalézá mimo oblast, kterou má Příručka pokrýti. Příručka se netýká toho, kterak sestavit model. Navíc podle zkušenosti autorů Příručky je sestavení modelu a provedení výpočtu (tedy stanovení účinku E) menší problém. Větší problém spočívá v prokázání odporu R (= únosnosti), na který příručka není vůbec zaměřena.

2.4. Teplota

Hodnoty teplotního zatížení se na ostění vždy aplikují lineárním průběhem změny po průřezu. Dle provedených měření však tato změna není lineární, ale jedná se o křivku. V případě zavedení nelineárního průběhu teploty je ostění namáháno jinak (méně), než v případě průběhu lineárního. Dávám tedy na zvážení, zda se nezabývat i tímto.

Příručka se tímto problémem zabývá to té míry, do které jí to současné vědomosti dovolují: snížila dílčí součinitel zatížení z hodnoty 1,5 (proměnná zatížení podle EC7) na hodnotu 1,35 (stálá zatížení podle EC7).

Provedená měření vypovídají o nelineárním průběhu teploty v ostění. To ale znamená, že teplotní pole ostění je nestacionární.

Ostění o tloušťce t , vložené mezi dva teoretické zásobníky tepla (prakticky hora o teplotě T_1 na jedné straně, vzduch o teplotě T_2 na straně druhé) musí po nějaké době vykazat stacionární teplotní stav, který se vyznačuje lineárním průběhem teploty po tloušťce t , z hodnoty T_1 na hodnotu T_2 . To je teorie a my nevíme, jak se uplatňuje in situ. Nevíme, co to je „nějaká doba“, nevíme, do jaké míry lze horu a vzduch považovat za teoretické zásobníky tepla a měření je málo. Chybí základní teoretické propočty. Nevíme, může-li stacionární stav nastati a když ne, jaký nestacionár může býti dosažen. Názor, že nejhorší teplotní namáhání ostění nastává při stacionárním rozdělení teploty, nemusí být správný. Jsme schopni dokázat, že na kruhovém ostění, „zatíženém“ bilineárním (tedy nestacionárním) teplotním polem, nabývá moment své extrémní hodnoty tehdy, když lineární změna teploty postihuje dvě třetiny tloušťky ostění (takže na zbývajících třetině je teplota konstantní).

Toto všechno uvádíme proto, abychom vysvětlili, proč se v otázce teplotního namáhání ostění neodvažujeme většího zásahu, než je ten, který jsme provedli, když jsme přešli od dílčího součinitele 1,5 k dílčímu součiniteli 1,35.

V Praze, dne 10.12.2009

Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc.
Ing. Jiří Hořejší
Ing. Aleš Zapletal, DrSc.