

## RESPONSE OF THIN CYLINDRICAL WATER FILLED TANK TO THE IMPACT OF PIPE ELEMENT

J. Křiváková\*

**Summary:** *The paper deals with the FEM modeling of the impact response of thin-walled cylindrical tank, which is partially or fully filled with water, to the transversal bump of the part of piping system. Special attention is paid to the interaction of the liquid and the wall of the tank. The numerical solution is fulfilled by the COSMOS/M computational system.*

### 1. Úvod

V rámci výzkumného záměru Technologie a prostředky výzkumu byla řešena některá havarijní zatížení pevných skořepinových nádrží naplněných částečně nebo zcela kapalinou vyvolaná nárazem částí potrubních systémů. Rázový děj byl řešen nelineární dynamickou analýzou MKP modelu programovým systémem COSMOS/M. Materiálové vlastnosti nádrže a kolidujícího potrubí byly zadány prostřednictvím plastických materiálových křivek  $\sigma - \varepsilon$  získaných experimentálně pro použité druhy materiálů. Materiálové vlastnosti kapaliny byly zavedeny ve formě bilineárního uživatelského modelu.

### 2. MKP model rázového děje

Tenkostěnné ocelové nádrže ve tvaru válcových skořepin byly pro výpočet programovým souborem COSMOS/M modelovány čtyřuzlovými skořepinovými prvky SHELL 4T typu QUAD 4. Spojení nádrže s pevným podložím bylo realizováno vazbami omezujícími všechny posuvy a pootočení na uzlech dna a obvodu nádrže. Hmotnost a tuhost nádrže byla do výpočtového modelu zahrnuta materiálovými charakteristikami. Tloušťka stěn nádrže a víka byla uvažována 4 mm. Pružně plastické vlastnosti nádrže byly zadávány pomocí plastické materiálové křivky  $\sigma - \varepsilon$  získané experimentálně pro uvažovaný druh materiálu.

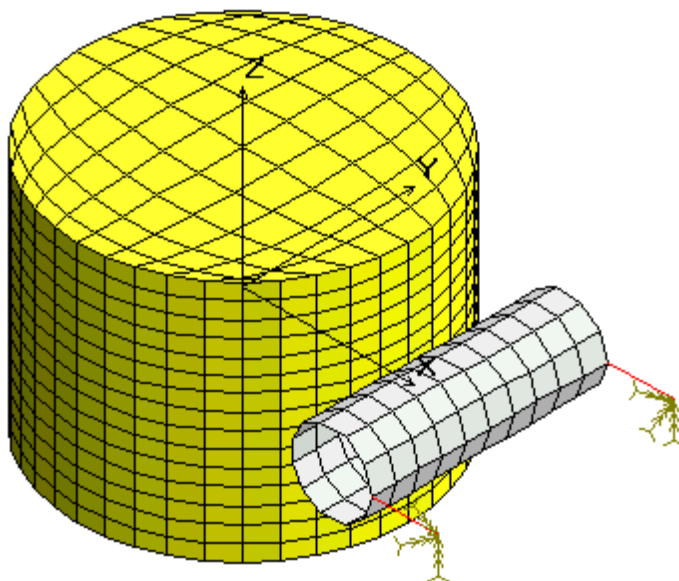
Kolidující části potrubních systémů o průměrech 1200 a 600 mm a tloušťkách 4 a 8 mm byly modelovány rovněž skořepinovými prvky SHELL 4T typu QUAD 4. Jejich materiálové vlastnosti byly zadávány buď bilineárním Huber-vonMises materiálovým modelem s modulem pružnosti  $E_X = 2,0.E11$  Pa, mezi kluzu  $SIGYLD = \sigma_k = 2,0.E8$  Pa, a tečným modulem  $E_{TAN} = 1,003.E9$  Pa, nebo plastickou materiálovou křivkou  $\sigma - \varepsilon$  obdobně jako pro nádrž. Posuvné vedení kolidující části potrubí ve směru globální osy x bylo realizováno vazbami koncových uzlů modelové části potrubí a pomocí slabých pružin typu SPRING připojeno k pevnému rámu.

Náraz na nádrž byl realizován zavedením počáteční rychlosti  $v_{0x}$  (variantně měněné) na

všechny uzly dopadající části potrubí. Byl uvažován kolmý příčný ráz ve středu nádrže.

V okolí místa nárazu byly definovány dorazové povrchy na nádrži i na části potrubí a vytvořeny automatické dorazové prvky GAP typu uzel – povrch.

Kapalinová náplň byla modelována pomocí osmiuzlových prvků typu SOLID, její materiálové vlastnosti byly zadány uživatelským bilineárním materiálovým modelem. Pro sledování vzájemných účinků kapalinové náplně a stěn nádrže při nárazu byly v horních vrstvách prvků typu SOLID a na hladině definovány různé pomocné vazební prvky, buď typu TRUSS, nebo dorazové prvky GAP typu uzel – povrch, příp. typu uzel – uzel.



Obr.1: Výpočtový model

Pro vlastní nelineární dynamickou analýzu je nezbytné časově závislé zatížení. Bylo realizováno pomocnou silou  $F_x(t)$  zavedenou do vazebních uzlů mezi trubkou a pružinami jednoduchou časovou křivkou, kdy během jednoho časového kroku narostla pomocná síla z nuly na jmenovitou hodnotu. Pro výpočet byl použit základní časový krok  $\Delta t = 0,0001\text{s}$  s automatickou úpravou v průběhu řešení. Koncový výpočtový čas byl volen  $t_k = 0,2\text{ s}$ , který umožnil sledovat celý průběh kolize, tj. náraz potrubí včetně odrazu od nádrže a reakce vodní náplně.

Ze získaných výsledků výpočtu byly vyhodnoceny zejména časové průběhy deformací stěny nádrže i potrubí v okolí místa nárazu a rozložení napětí Von Mises v uzlech nádrže.

### 3. Odezva nádrže naplněné kapalinou

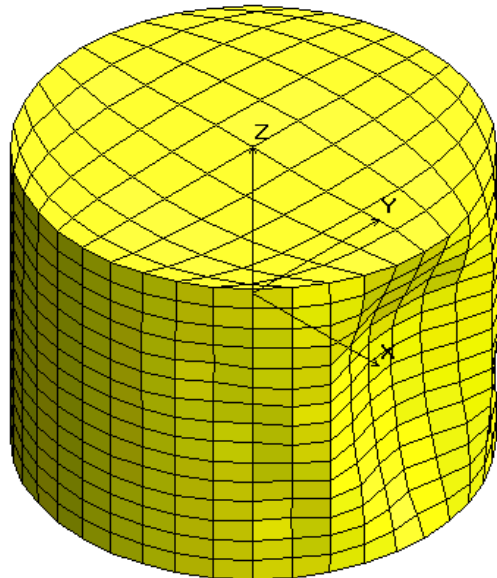
Pro modelování dotyku mezi kapalinovou náplní a stěnou nádrže bylo variantně použito prvků GAP všech typů umožněných programem a prvků typu TRUSS. Jako nejvhodnější se jeví použití automaticky generovaných prvků GAP typu povrch – povrch. Jejich užití však vyžaduje bezpodmínečné ztotožnění dorazových povrchů na kapalině s povrchy prvků SOLID, jinak nepracují. Proto je způsob vytváření modelu velmi důležitý. Ručně definované

prvky GAP typu uzel – povrch z tohoto hlediska nejsou problematické, modelování je však velmi pracné.

Vytvoření výpočtového modelu je pro úspěšnost výpočtu velmi důležité, nejen s ohledem na dorazové prvky, ale i z hlediska sledování chování kapalinové nádrže. Volba tvaru a rozměrů prvků, jejich počet podstatně ovlivňuje dobu trvání výpočtu. Byly vytvořeny modely s větším počtem prvků, ale neukázaly se výhodné.

Důležitým faktorem ovlivňujícím výpočet je rovněž volba časového kroku. Při nárůstu velkých plastických deformací je vhodné užití automatické regulace časových kroků, což program umožňuje.

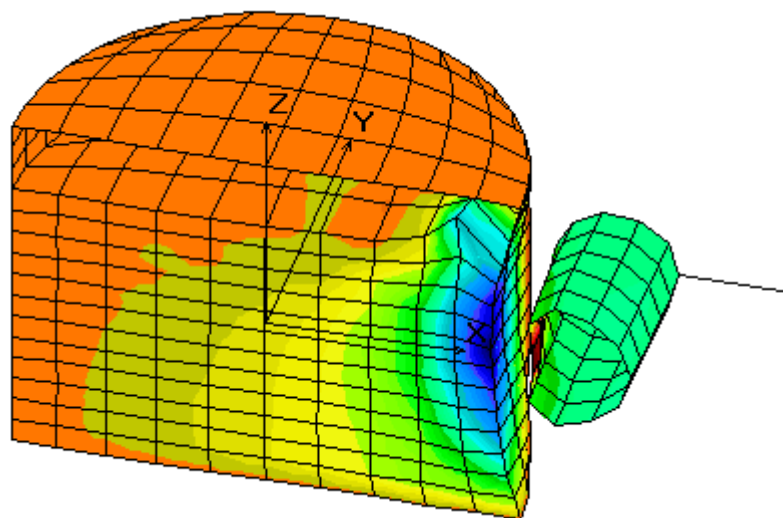
Pro srovnání vhodnosti použitého materiálového modelu kapaliny byl řešen i případ zcela naplněné nádrže, u něhož lze sledovat přenos tlakové vlny od nárazu potrubí na stěnu až na víko nádrže.



Obr.2: Trvalá deformace nádrže naplněné do 2/3 výšky vodou.

#### 4. Závěr

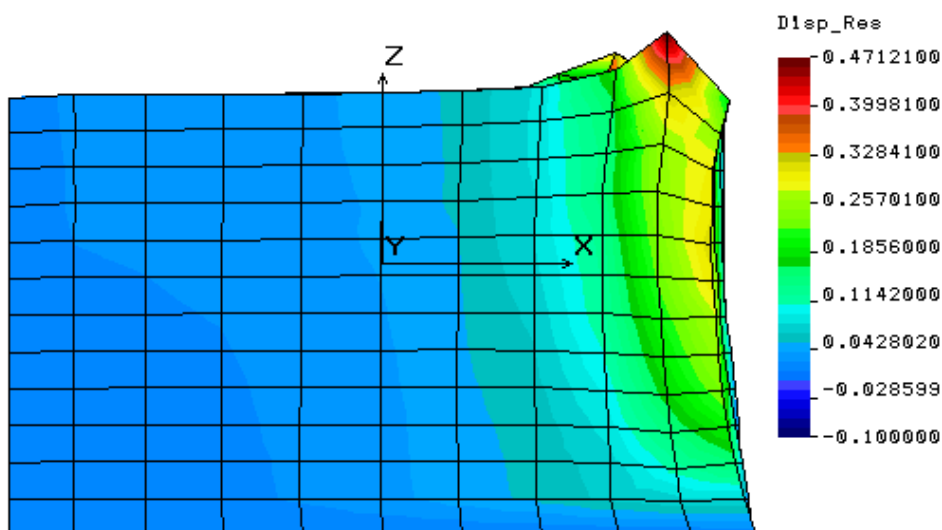
Počítačová simulace rázové odezvy tenkostěnné ocelové nádrže na náraz jiného tělesa pomocí programového souboru COSMOS/M prokázala vhodnost použitých MKP modelů a tzv. rychlého řešiče dynamických nelineárních problémů. Výpočtový model je však vhodné vytvářet tak, aby obsahoval pokud možno malý počet prvků, a to i dorazových. Při nárůstu velkých plastických deformací dochází ke zdrobňování časových kroků a k prodlužování výpočtového času. Složité modely vedou k velkému prodlužování výpočtového času a jsou náročné na paměťové vybavení počítače.



Obr.3: Deformace nádrže naplněné kapalinou do 2/3 výšky po odrazu narážející trubky, je zobrazena polovina modelu oddělená svislým řezem.

Výsledky několika variant vzájemného působení nádrže a vodní náplně uvnitř se jeví jako realistické, třebaže je nebylo možné ověřit jinak, než pouze vzájemným srovnáním. Bylo by žádoucí prověřit získané výsledky prostřednictvím jiných programových souborů jako např. LS DYNA, CRASH, apod., neboť jejich experimentální ověření je nereálné.

DISP Step:90 =0.107813



Obr.5: Deformace vodní náplně v okamžiku odskoku trubky.