

THE 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. The numerical solution is fulfilled by the COSMOS/M computational system.*

1. Úvod

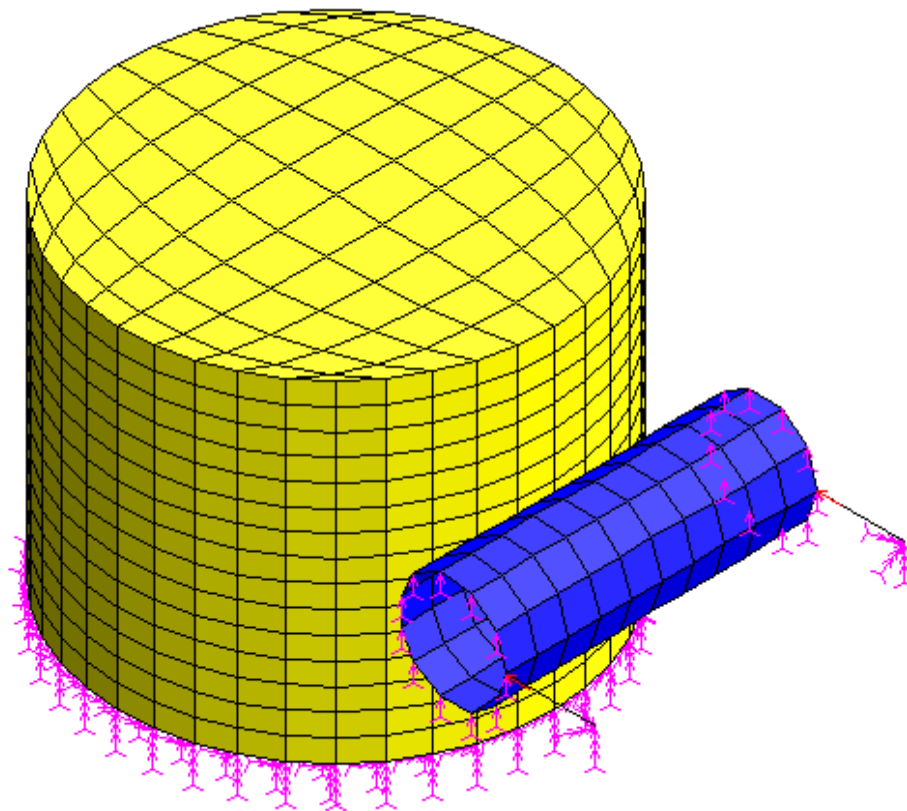
V rámci teoretického posouzení možných havarijních zatížení komponentů JE byla řešena i rázová odezva tenkostěnné válcové nádrže prázdné a částečně nebo zcela naplněné kapalinou na příčný náraz částí potrubního systému. Rázový děj byl řešen programovým souborem COSMOS/M metodou konečných prvků. Modelová skořepinová nádrž vycházela z výkresové dokumentace pro nádrž havarijní zásoby roztoku kyseliny borité.

2. MKP model rázového děje

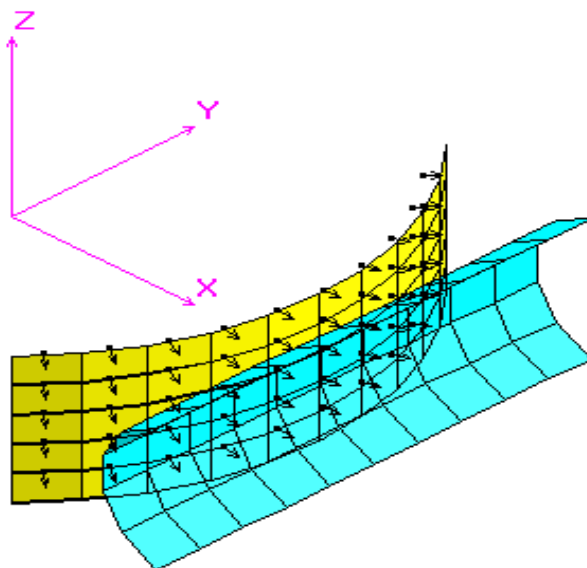
Pro zmíněný programový soubor byla skořepinová nádrž modelována jako válcová skořepina středního průměru 4998 mm tloušťky 4 mm s kruhovým dnem a víkem stejné tloušťky. Byly použity čtyřuzlové skořepinové prvky SHELL 4T typu QUAD 4. Dno a dolní okraj nádrže byly ideálně spojeny s tuhým a nehybným podložím. Hmotnost a tuhost nádrže byla do výpočtového modelu zahrnuta materiálovými charakteristikami.

Narážející část potrubního systému, ocelová trubka průměru 1200 mm tloušťky 8 mm (nebo variantně ϕ 630 x 8 mm) byla modelována rovněž jako válcová skořepina použitím prvků SHELL 4T typu QUAD 4. Dopadající potrubí podle obr. 1 bylo vedeno horizontálně ve směru globální osy X, což zajišťovaly vazby v koncových uzlech modelované části potrubí. Pomocí dvou slabých pomocných pružin bylo potrubí uchyceno k pevnému rámu, aby nedošlo k výpočtové singularitě. Tyto pružiny byly modelovány jako dvojuzlové prvky typu SPRING o tuhostech $k = 10$ N/m (Obr. 1).

Náraz na nádrž byl simulován počáteční rychlostí 20 ms^{-1} všech uzlů trubky při počáteční vzdálenosti 1 mm mezi kolidujícími povrchy. Byl uvažován kolmý příčný vodorovný náraz v polovině výšky nádrže, tj. pro $h = 1\,830 \text{ mm}$ ode dna. V okolí místa nárazu byly na nádrži i na potrubí vytvořeny automatické dorazové prvky GAP typu uzelpovrch (Obr. 2).



Obr. 1: Model nádrže a části potrubí, uložení a zatížení.

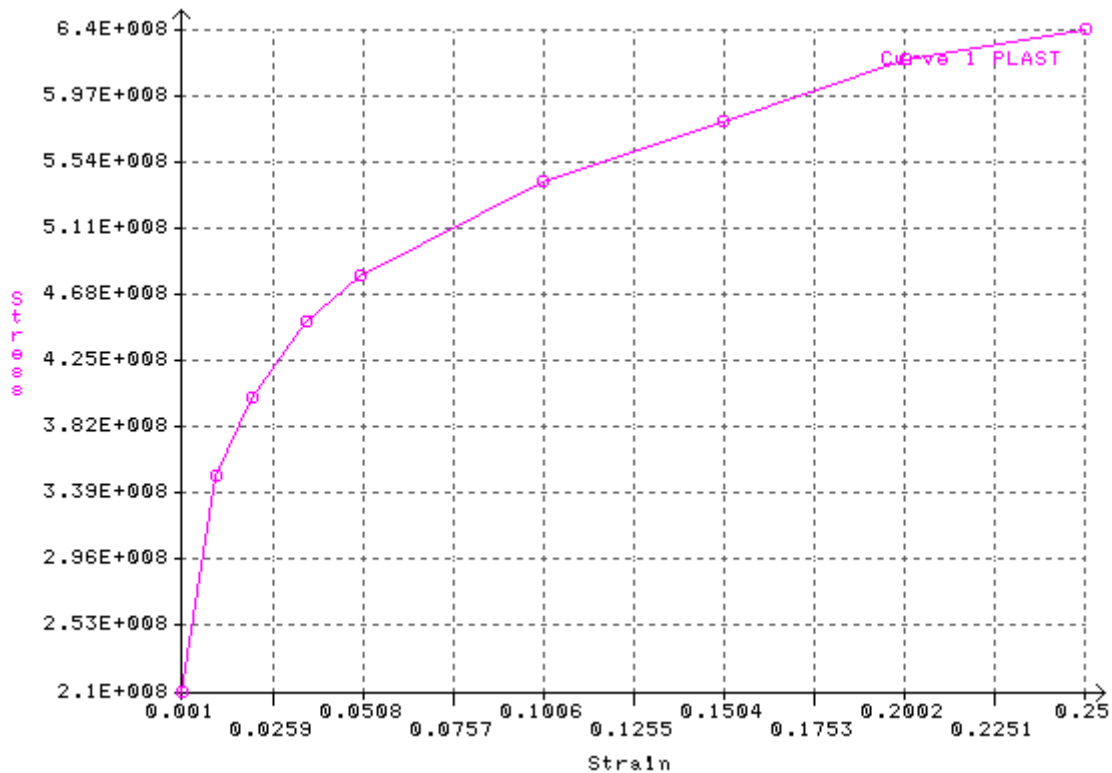


Obr.2: Detail kontaktních ploch ve výpočtovém modelu.

Materiál potrubí i nádrže byl do výpočtu zadán jednak bilineárním Huber-vonMises materiálovým modelem, kde $E_X = 2,0.E11$ Pa, $SIGYLD = \sigma_k = 2,0.E8$ Pa, $\rho = 7,9.10^3$ kgm⁻³, $E_{TAN} = 1,003.E9$ Pa, $t = 0,004$ m. Variantně byla použita i plastická materiálová křivka $\sigma - \varepsilon$ pro tento druh materiálu, uvedená v obr. 3.

Pro nelineární dynamickou analýzu je potřebné časově proměnné zatížení, které bylo zde zavedeno formálně na dopadající trubce ve směru X v obou uzlech připojení pružin jako síly $F_x = -10$ N, přiložené prostřednictvím jednoduché časové křivky náhlého nárůstu z nuly na jmenovitou hodnotu během jediného časového kroku $\Delta t = 0,0001$ s.

Kapalinová náplň byla modelována pomocí osmiuzlových prvků typu SOLID. Byly řešeny dvě varianty, tj.nádrž zcela naplněná a naplněná do výšky 2 196 mm. Hlavním problémem bylo stanovení vhodných parametrů prvků kapalinové náplně. Vzhledem k podobným vlastnostem vody a kyseliny borité byla uvažována voda. Osvědčil se bilineární materiálový model s parametry : $\rho = DENS = 998$ kg.m⁻³, $E_X = 1,0e3$ Pa, $SIGYLD = 10$ Pa, $E_{TAN} = 10$ Pa, $\mu = \text{NUXY} = 0,5$.

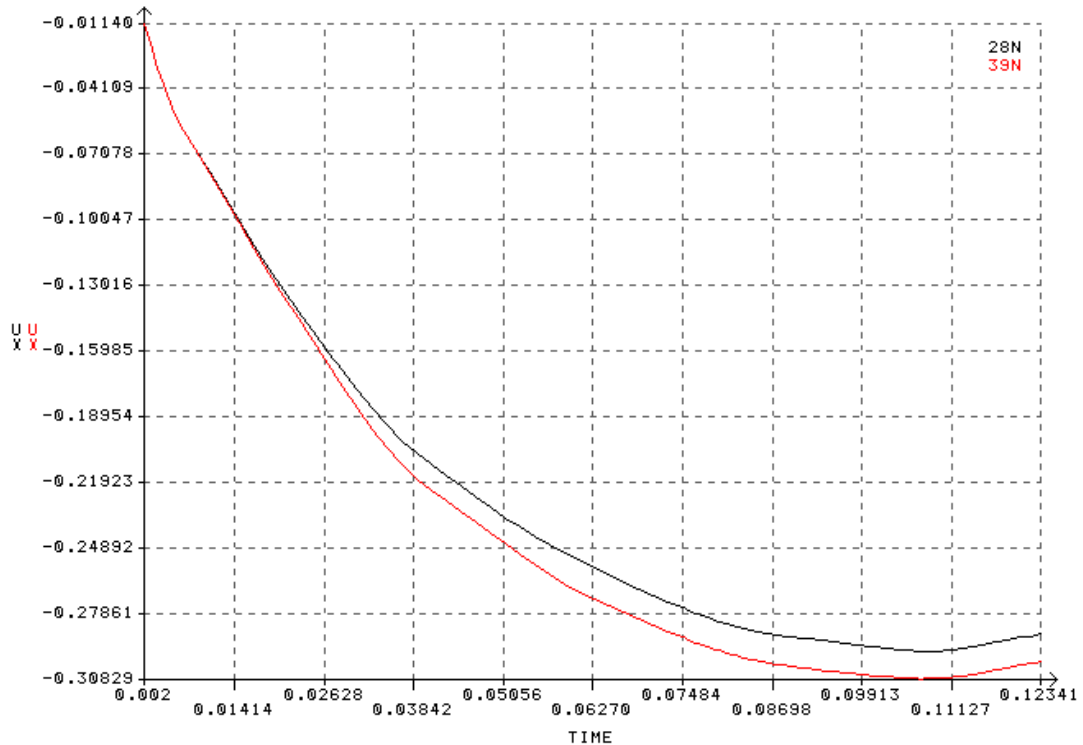


Obr. 3: Plastická materiálová křivka.

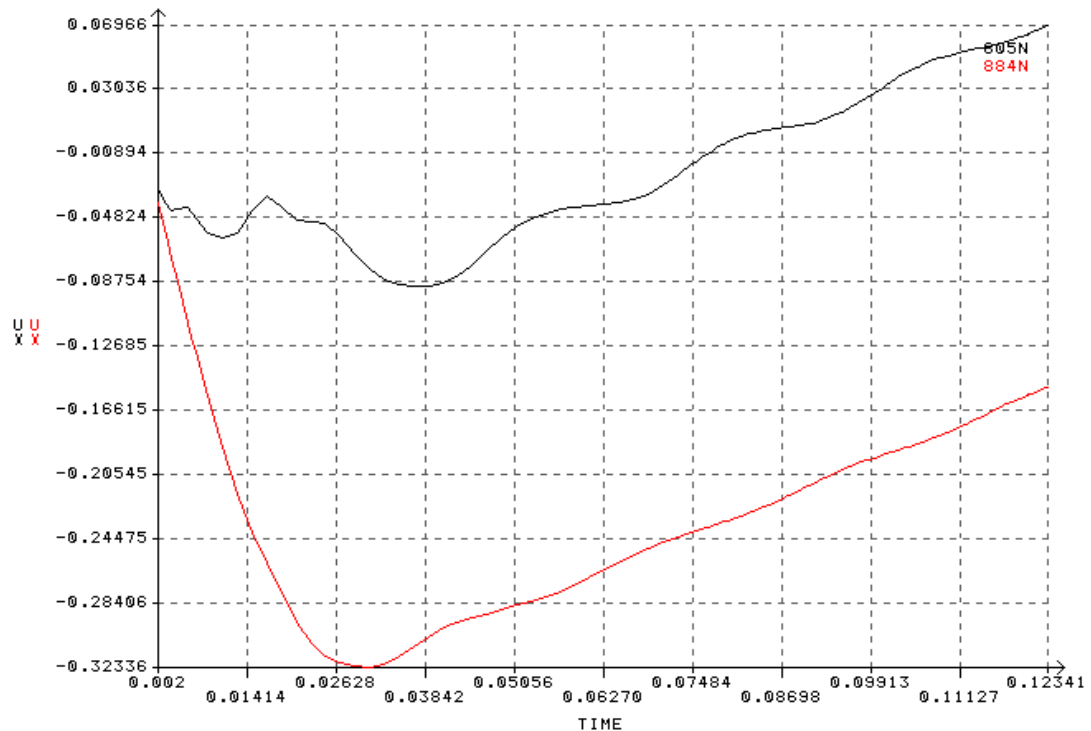
Vlastní výpočet rázové odezvy byl proveden nelineární dynamickou analýzou s automatickým časovým krokem $\Delta t \geq 0,0001$ s, který se ukázal v průběhu výpočtu plastických deformací nádrže jako optimální, aniž bylo dále třeba jej upravovat. Celkem bylo provedeno okolo 330 výpočtových kroků, což odpovídalo koncovému času $t_k = 0,2$ s. Ze získaných výsledků výpočtu byly vyhodnoceny deformace pláště nádrže i dopadající trubky v okolí místa nárazu (viz obr. 4 a 5) a hodnoty napětí Von Mises v uzlech nádrže.

3. Odezva nádrže částečně naplněné vodou

Následující obrázky 6 až 8 prezentují výsledky výpočtu, kde se ukázalo, že největší radiální deformace dopadající trubky nastává časově dříve, než se vyvine maximální deformace nádrže s vodou, jak je zřejmé z časových průběhů přemístění $UX(t)$ v obr. 4 a 5.



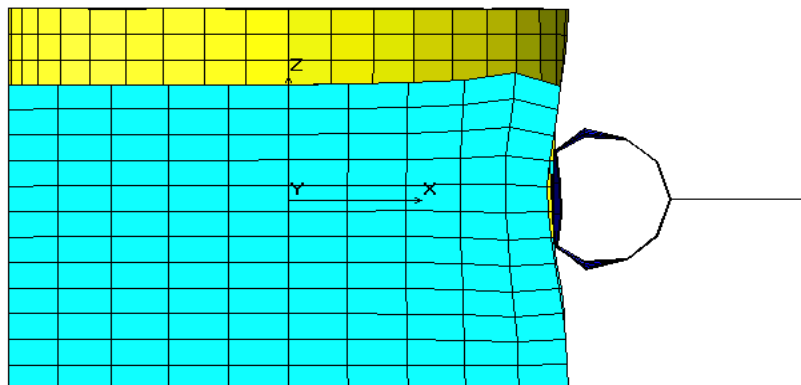
Obr. 4: Průběh radiální deformace $UX(t)$ v uzlech nádrže



Obr. 5: Průběh radiálních deformací $UX(t)$ ve středních uzlech trubky

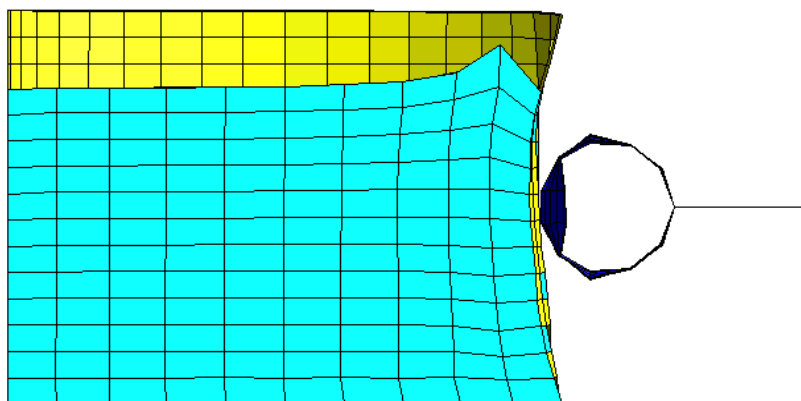
Vývoj a postup deformační vlny v nádrži spolu s vodou zobrazují postupně obr. 6 až 8, kde ovšem je třeba vzít v úvahu zkreslení způsobené jednak poměrně jednoduchým modelem s malým počtem prvků a jednak poměrným zobrazováním dosažených výsledků.

DEF Step:20 =0.03275



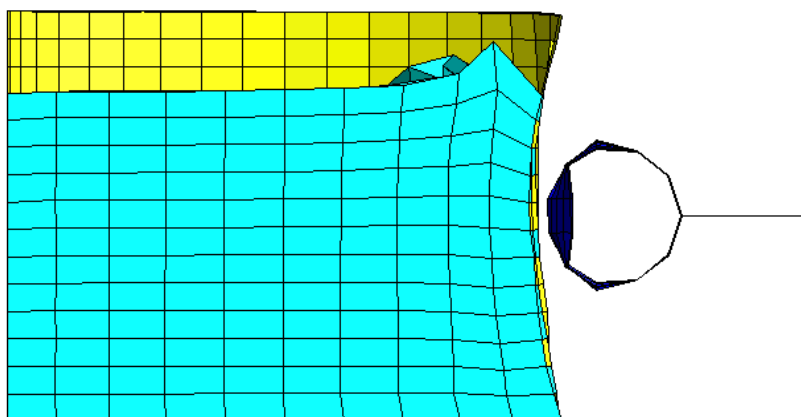
Obr. 6: Deformace vodní náplně – časový krok 20

DEF Step:60 =0.0879375



Obr. 7: Deformace vodní náplně – časový krok 60

DEF Step:115 =0.123413



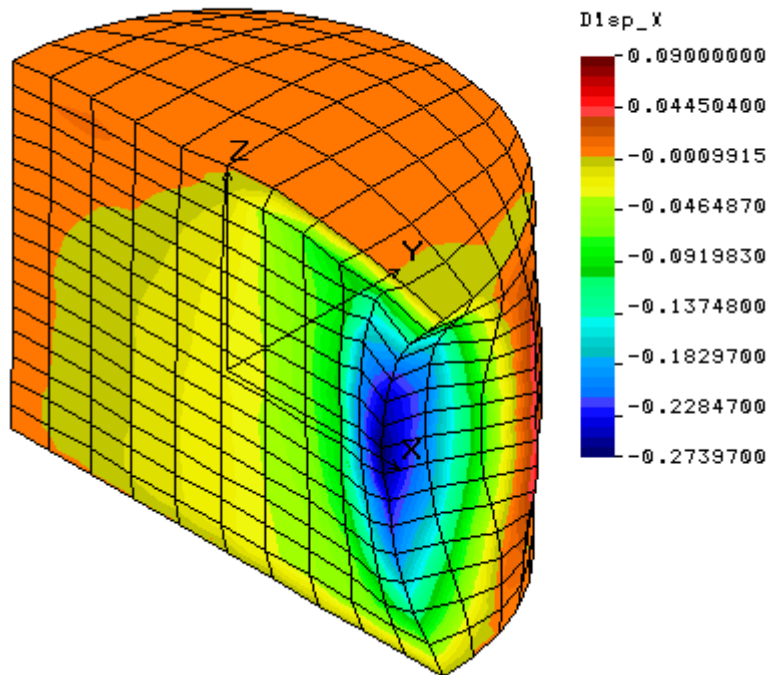
Obr. 8: Deformace vodní náplně – časový krok 115

Dosažené výsledky řešení se jeví jako fyzikálně reálné a odpovídající předpokladům. Celý proces bude ještě dále ověřován na jiných modelech nádrže a dopadajících objektů.

4. Odezva nádrže zcela naplněné vodou

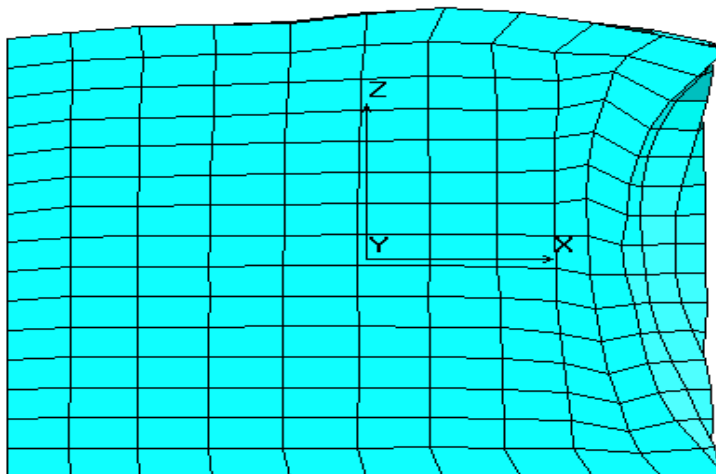
Cílem této výpočtové simulace bylo ověření šíření deformace ze stěny nádrže přes vodní medium na víko nádrže. Opět se ukázalo, že největší radiální deformace dopadající trubky nastává časově dříve, než se vyvine maximální deformace stěny nádrže. U nádrže zcela naplněné vodou došlo k očekávanému vyboulení víka nádrže (viz obr. 9 až 11).

DISP Step:57 =0.10675



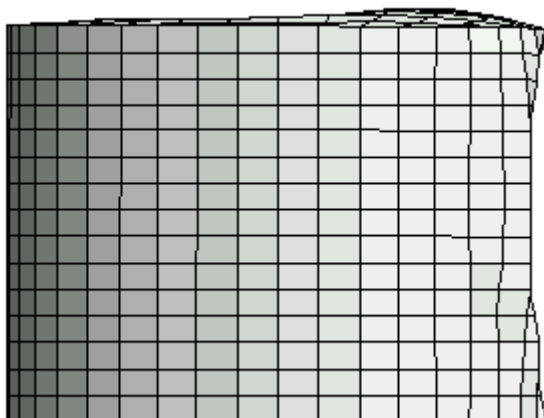
Obr. 9: Rozložení deformace UX ve vodní náplni

DEF Step:57 =0.10675



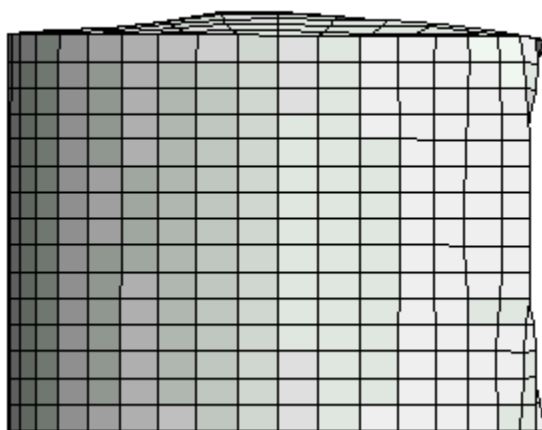
Obr. 11: Průřez deformovanou vodní náplní

Step:40 =0.07275



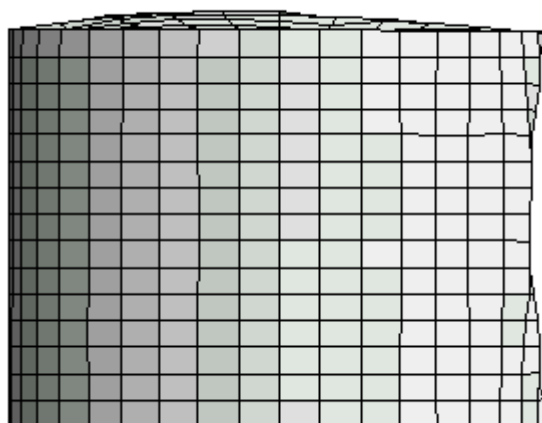
Obr.: 10a

Step:70 =0.13275



Obr.: 10b

Step:90 =0.17275



Obr. 10c: Průběh deformační vlny na nádrži

4. Závěr

Předložené výsledky počítačové simulace pružně plastické odezvy nádrže na náraz úseku potrubí prokázalo vhodnost použitých modelů a programového souboru COSMOS/M, který ovšem ve školní verzi poněkud omezoval počet elementů použitých ve výpočtových modelech. Výpočet několika variant této kolize s vlivem vodní náplně uvnitř nádrže vedl vcelku k reálným výsledkům, které lze vzájemně srovnávat pouze pro různé varianty. Bylo by žádoucí tyto výsledky prověřit nezávislým početním řešením jiným programovým systémem, neboť jejich případné experimentální ověření se nejeví jako reálné.

5. Literatura

Návod k programovému souboru COSMOS/M, *The Advanced Modules 1994*.