

Zahtevnejša mehanska analiza preboja cevovoda v stavbo

Pino Koc*

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Slovenija

V inženirski praksi se ne tako redko pojavi problem povečanja obratovalnih obremenitev obstoječega cevovodnega sistema. S tem povečanjem se povečuje nevarnost porušitve cevovoda in prav lahko se zgodi, da z računskimi metodami, ki so bile uporabljene v originalnem izračunu, ne moremo več dokazati ustreznosti obstoječega cevovoda za nove, povečane obremenitve. Zaradi tega bi bila potrebna nadgradnja cevovoda v obliki dodajanja podpor, ojačevanja ali zamenjave delov cevovoda, itd. V nekaterih primerih pa se je možno fizičnemu spreminjanju cevovoda izogniti z naprednimi računskimi metodami, s katerimi je moč dokazati ustreznost cevovoda na povečane obremenitve.

V prispevku je prikazan primer analiz pri povečanju potresnih obremenitev na zakopan jeklen cevovod v Nuklearni elektrarni Krško. Najbolj kritično mesto je vstop cevovoda (preboj) v betonsko stavbo, saj na tem mestu pride pri potresu do velikih razlik v premikih stavbe in okoliške zemljine, v kateri je zakopan cevovod. To povzroči velike lokalne deformacije tankostenskega cevovoda ($D/t = 64$), ki se izkazujejo v obliki ovalizacije prereza cevovoda ter v lokalnem vbočenju stene cevovoda. Tovrstni načini deformacij in posledično tudi pripadajoča napetostna stanja še niso uvrščeni v izračune v ASME B&PV standardu, ki je obvezen standard v NEK-u. Namen naše raziskave je ugotoviti ali je možno na kakršen koli računski način in ob upoštevanju smernic in zahtev iz ASME standarda, dokazati ustreznost analiziranega cevovoda na mestu preboja skozi betonski zid tudi v primeru povečanih potresnih obremenitev.

Mehanske analize cevovoda in penetracije so izdelane z metodo končnih elementov. Najprej je bil izdelan model cevovoda (globalni) iz linijskih končnih elementov, ki pa ne omogočajo analizo vbočenja stene. Zato je izdelan še lokalni model dela cevovoda na mestu preboja, pri katerem z lupinskimi končnimi elementi zasledujemo vse načine deformiranja stene cevovoda. Globalni in lokalni model sta medsebojno povezana, saj premiki točk osi cevovoda na mestu preboja, dobljeni z globalnim modelom, služijo kot vhodni podatek za lokalni model. Obratno pa z lokalnim modelom izračunane lateralne togosti cevovoda na mestih podprtja in tesnenja cevovoda služijo kot vhodni podatek v globalnem modelu.

Vbočenje stene nastane na preboju na mestu tesnila med betonsko steno in cevovodom. Tesnilo omogoča omejene premike cevovoda glede na steno stavbe, ni pa sposobno prevzeti vsa relativna gibanja cevovoda pri velikem potresu. Tesnilo vsebuje poleg polimernih tesnilnih elementov še jeklene dele, ki v primeru večjih premikov cevovoda nasedejo na steno cevovoda in v steni povzročijo niz vboklin. Te vbokline pomenijo nevarnost za nastanek nedopustnih razpok v cevovodu. Kot podpora pri ugotavljanju nevarnosti niza vboklin nam služijo rezultati študij drugih avtorjev. Naš primer je poseben v tem, da so vdrtine v nizu in ne ena sama, kot v omenjenih študijah.

Formalno dokazovanje ustreznosti cevovoda na povečane obremenitve je izvedeno s kontrolo napetostnega stanja. Težava je v tem, da izračunano napetostno stanje v steni cevi na mestu lokalnega vbočenja presega dopustno stanje napetosti iz ASME standarda. Kot rešitev smo uporabili teste sploščevanja obročev, izrezanih iz cevi (flattening test). V teh testih je bil izrezan po en preizkušane-obroč iz vsake cevi, ki je bila namenjena vgradnji v cevovod. Preizkušanecec je bil med dvema togima ploščama sploščen do zahtevane razdalje; pri tem noben del obroča ni smel kazati znake porušitve, t.j. razpoke. Izvedli smo numerično simulacijo testa sploščevanja in ugotovili napetostno stanje v obroču, ki je v nadaljevanju analiz služilo kot maksimalno dopustno napetostno stanje. Ker je napetostno stanje na mestu lokalnega vbočenja bolj blago od stanja pri testu sploščevanja, sklepamo, da do nastanka razpok pri lokalnem vbočenju ne bo prišlo in s tem kvalificiramo cevovod za povečane potresne obremenitve.

Praktična vrednost prispevka je v prikazu rešitve problema, kjer klasične analize odpovejo in je z nekoliko drugačnimi analizami moč dokazati ustreznost cevovoda brez fizičnega posega vanj.

Ključne besede: cev, preboj, vboklina, potres, ASME B&PV, NEK