



N. Bolf*

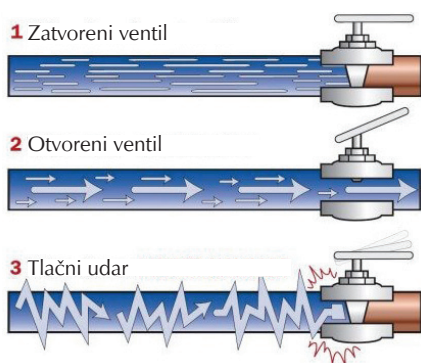
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
Sveučilišta u Zagrebu
Savska c. 16/5a, 10 000 Zagreb

Tlačni udari

Tlačni udar (hidraulički udar, *engl. water hammer, fluid hammer, hydraulic shock*) nastaje naglim zaustavljanjem i pokretanjem tekućine, odnosno naglom promjenom smjera toka. Posljedice tlačnog udara su nestabilnost sustava i moguće oštećenja opreme, posebno mjernih osjetila. Tlačni udar javlja se praktički u svim tlačnim sustavima obično pri brzom zatvaranju ventila te prekidu rada pumpi pri čemu se tlačni val propagira duž cjevovoda.

Tlačne udare susrećemo svakodnevno u kućanstvu. Iz perilica posuđa i rublja čuju se zvukovi jer se unutar njih neprestano otvaraju i zatvaraju mali elektromagnetski ventili proizvodeći pulsirajuću buku. Ključno je pri tome da se protok pokreće ili zaustavlja brzo. Ukoliko se ventil, npr. pri tuširanju, zatvara sporo, tlačni udar neće nastupiti.

Standardni industrijski ventili, pumpe i regulatori protoka mogu uzrokovati tlačne udare. Tlačni val koji nastaje može uzrokovati velike probleme, od buke i vibracija do kolapsa cjevovoda. Kapljevine izazivaju posebno velike tlačne udare jer su nekompresibilne, ali i kod plinova tlačni udar može biti dovoljno velik da ošteti mjerno osjetilo.



Slika 1 – Pojava tlačnog udara¹

Tlačni udar javlja se iznenada i traje reda veličine milisekunda. Impulsni udar javlja se stoga što se "kompozicija" kapljevine zaustavlja tako da njezin kraj udara u početak te uzrokuje udarne valove duž cjevovoda. Ta pojava slična je vlaku koji udara u zid – iako je prvi vagon udario i zaustavlja se, stražnji vagoni nastavljaju se gibati prema naprijed. S obzirom da se najčešće radi o toku nekompresibilne kapljevine udarni valovi putuju natrag kroz cijev odakle su i krenuli.

Tlačni udar odvija se pod prevladavajućim utjecajem sila inercije i sila elastičnosti. Brzine širenja promjene tlaka u cjevovodu vrlo su velike (za čelične cjevovode reda veličine 1000 m s^{-1}). Prirast tlaka uslijed efekta tlačnog udara može doseći do nekoliko dese-

taka bara. Obično ga prate vibracije cijevi i buka. Trajanje oscilacije tlaka u pravilu je vrlo kratko. Veličina tlačnog udara ovisi o protoku, duljini cjevovoda, elastičnim svojstvima, dimenzijama cjevovoda i načinu manipuliranja s ventilima.²

Pojavu hidrauličkog udara prvi su proučavali N. Žukovski (1899.) i L. Allievi (1925). Pri trenutnom potpunom zatvaranju prirast tlaka na ventilu doseći će vrijednost:³

$$\Delta p = \rho a \Delta v$$

pri čemu su: Δp – prirast tlaka na ventilu (Pa), ρ – gustoća tekućine (kg m^{-3}), a – brzina zvuka u tekućini (m s^{-1}) i Δv – promjena brzine tekućine (m s^{-1}). Impuls sile se stvara shodno 3. Newtonovom zakonu gibanja i jednadžbi kontinuiteta, koji se primjenjuju za usporjenje fluida.⁴

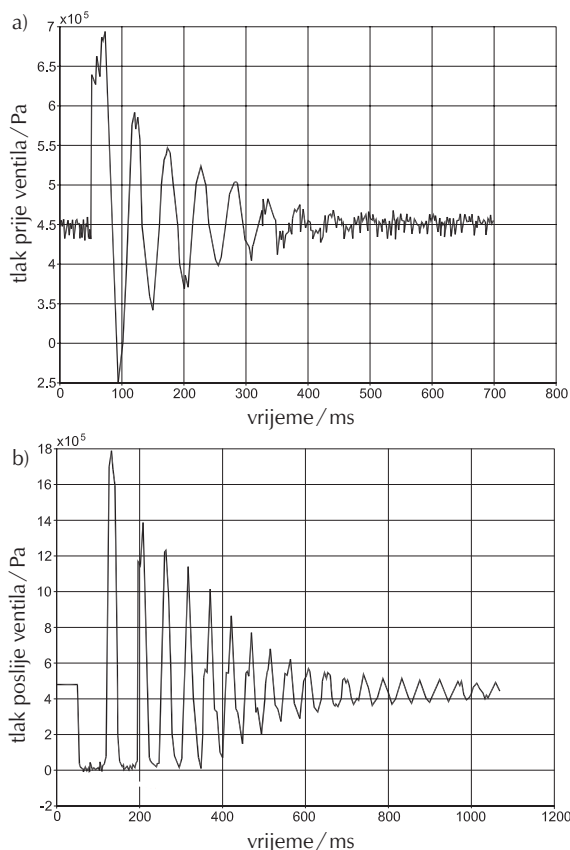
Razlozi pojave tlačnih udara

Tlačni udar može se pojaviti zbog pogrešnog izbora ventila, neprikladnog smještaja ventila i, ponekad, zbog lošeg održavanja. Nepovratni ventili također su podložni toj pojavi jer se oslanjaju na povratni tok i povratni tlak kako bi se disk pomaknuo natrag u sjedište pri zatvaranju ventila. Ako je povratni tok snažan, disk će udariti velikom silom. Rezultirajući šok može oštetiti disk tako da više neće biti u potpunom kontaktu sa sjedištem. To dovodi do propuštanja koje, u najboljem slučaju, smanjuje djelotvornost sustava, a u najgorem uzrokuje ozbiljnu štetu na komponentama u sustavu cjevovoda.

Najčešći uzrok tlačnog udara je prebrzo zatvaranje ventila. Tijekom udara trenutno raste tlak tekućine u cjevovodu zbog naglog zaustavljanja. Moment tekućine koja putuje u smjeru naprijed pokušava održati pomicanje tekućine u istom smjeru. Tekućina se zatim želi vratiti u svoje normalno stanje, slično razvučenoj opruzi koja se otpusti. To uzrokuje da tekućina putuje nazad kroz cijev. Tekućina u povratnom toku zatim nailazi na zatvoreni ventil, često s velikom silom. Tada se javlja glasan prasak, a može ih biti i više.

Drugi najčešći uzrok tlačnih udara je iznenadno iskapčanje pumpe. Višestruke pumpe koje tlače u zajednički sustav, kao kod rashladnih tornjeva, moraju se postupno zatvarati ili imati instaliran tzv. *in-line silent check* ventil neposredno iza pumpe. Takav tip nepovratnih ventila veoma je djelotvoran u reduciranju tlačnih udara.

* Prof. dr. sc. Nenad Bolf
e-pošta: bolf@fkit.hr



Slika 2 – Tlačna prijelazna pojava nakon zatvaranja ventila: a) prije ventila, b) iza ventila⁵

Problem za mjerna osjetila

Za razumijevanje problema koje uzrokuje tlačni udar mjernim osjetilima potrebno je poznavati načelo rada osjetila. Većina osjetila tlaka kao primarni osjetilni element ima krutu membranu. Ta membrana se savija proporcionalno tlaku, a njezina se defleksija pretvara u mjerni signal. Ključna komponenta je membrana. Ona se pomiče u iznosima reda veličine za tisućinke centimetra. Kod jakog udara vala tekućine membrana se može saviti više od njezine elastične granice, čime se uzrokuje trajna promjena karakteristike mjernog pretvornika ili kvar.

Tu pojavu spriječiti će tlačni prigušivači (engl. *snubber*) koji bi trebali biti instalirani u svakom sustavu pod tlakom. Tlačni prigušivači oblika su uskih grla koja sprječavaju oštećenje skupih mjernih osjetila. Biraju se ovisno o mediju (npr. plinovi, kapljevine, viskozne kapljevine itd.). Prigušivači propuštaju samo određeni dio tekućine u jedinici vremena tako da onemogućavaju udar vala u membranu.

Učinke tlačnog udara moguće je smanjiti akumulatorima, ekspanzijskim posudama, spremnicima, odzračnim ventilima i sl.

Tipična pitanja pri ugradnji prigušivača za mjerne senzore

Hoće li prigušivač utjecati na vrijeme odziva pretvornika tlaka?

U većini slučajeva, pretvornik je povezan s regulatorom koji djeluje svakih 2 do 3 sekunde, tako da utjecaja neće biti.

Koji su simptomi da je osjetilo oštećeno ili uništeno tlačnim udarom?

Većina osjetila dat će viši izlaz od normalnog na donjoj granici mjernog područja (tzv. *zero shift* – pomak nule). To se javlja stoga što se dijafragma ne može vratiti u početni položaj. U težim slučajevima ne javlja se izlazni signal ili se ne mijenja s porastom tlaka.

Može li se popraviti osjetilo koje ima velik pomak nule uzrokovan tlačnim udarom?

Većina osjetila ne može se popraviti. Osnovni dio osjetila je dijafragma. Kod izrade osjetila najprije se stavlja dijafragma, a sve ostale komponente odabiru se prema zahtjevanim specifikacijama. Kad se dijafragma savija više od svoje elastične granice, ne može se vratiti nazad u početni oblik ili se zamijeniti. Ako dijafragma ima blagi pomak nule, manji od 10 %, vjerojatno će još uvijek zadržati linearnost i može se upotrebljavati. Prije ponovne instalacije potrebno je ugraditi prigušivač.

Može li prigušivač zaustaviti nadtlak?

Prigušivač zaustavlja samo nagle promjene, odnosno pikove koji traju nekoliko milisekundi. Stalni prevelik tlak prigušivač ne može zaustaviti, pa će se osjetilo vjerojatno oštetiti.

Kako se prigušivač ugrađuje u tlačni sustav?

Prigušivač se učvrsti na prednju stranu pretvornika i zatim se navije na cjevovod. Prigušivač je smješten između cijevi pod tlakom i pretvornika tlaka.

Posljedice

Posljedice tlačnog udara mogu biti od blažih do ozbiljnih. Uobičajeni znak je glasan zvuk koji dolazi iz cijevi. To je zvuk udarnog vala koji udara u zatvoreni ventil, spoj ili drugu blokadu. Ta ponekad zaglušujuća buka može biti neugodna posebno ako se u blizini nalaze ljudi. U većini slučajeva tlačni udar se smatra opasnošću za sigurnost postrojenja jer ekstremni tlak može izbaciti brtvila i uzrokovati puknuće cijevi, a osobe u blizini mogu se ozbiljno ozlijediti.

Učestale pojave tlačnih udara ozbiljno oštećuju cjevovode, spojeve, brtve, a posebno mjerne uređaje (mjerila protoka i tlaka). Vršne vrijednosti tlaka mogu biti veće od radnog tlaka u sustavu 5 do 10 puta i tako nariniti veliko naprezanje u sustavu. Posljedica su propuštanje na spojevima, pucanje stjenka cijevi i deformacija nosača cjevovoda. Popravak ili zamjena oštećenih dijelova cjevovoda i opreme skupi su, posebno ako se desi propuštanje opasnih tvari u neposrednu okolinu.

Literatura

1. <https://www.rhfs.com/pulse/water-hammer-pulsation>.
2. https://hr.wikipedia.org/wiki/Vodni_udar.
3. K. Melvyn, Practical Hydraulics, Taylor & Francis, 2008.
4. S. Bruce, E. Larock, R. W. Jeppson, G. Z. Watters, Hydraulics of Pipeline Systems, CRC Press, 2000.
5. <http://files.danfoss.com/technicalinfo/dila/04/ICBPB20L102.pdf>.