

## TLAKOVÝ RÁZ V HYDRAULICKÉM SYSTÉMU BAZÉNŮ

### ÚVOD

Všechny systémy, který obsahují kapalinu protékající potrubím, mohou zaznamenat tlakové pulsace při změně průtoku. Tento jev je způsoben tím, že změny kinetické energie kapaliny se přemění do změn tlaků. Ty se pak šíří ve formě vln v kapalině.

Tyto tlakové vlny mohou způsobit nenapravitelná poškození instalací. Z tohoto důvodu je jejich studie důležitá pro možnost jejich kontroly. Mnohdy přetlaky, které vznikají v systému nejsou samy nebezpečné. Nebezpečné jsou až odrazové vlny, které se odrážejí v různých bodech systému, způsobují kolísání tlaků a mohou rezonovat. Toto je běžný problém vodních elektráren nebo instalací, které mají nevhodné ventily, čerpadla, potrubí, atd.

### PŘÍČINY, KTERÉ VEDOU KE VZNIKU TLAKOVÝCH VLN

Je mnoho příčin, které vedou ke vzniku tlakových vln v okruhu (nazývané též tlakový ráz), ale nejběžnější jsou následující:

- uzavírání a otevírání ventilů
- odstavení nebo najetí čerpadel a turbin
- napouštění nebo vypouštění potrubí
- výběr čerpadla
- kolísání tlaku v systému
- změna zátěže v centrále
- chemické reakce a tepelné změny
- mechanické vibrace systému nebo jejich komponentů
- průtočně dynamické vibrace

### ŠÍŘENÍ A ODRÁŽENÍ VLN – KLASIFIKACE

Jakákoliv odchylka vzniklá v kterémkoliv bodě média se šíří všemi směry. Rychlost šíření je závislá na fyzikálních vlastnostech kapaliny a na parametrech potrubí. Jestliže jsou odchylky malého rozsahu, jsou tyto jevy velmi podobné těm, které jsou známy v akustice.

Jestliže jsou vlny velkého rozsahu, nelineární důsledky jsou značné a jednoduché předpoklady klasické akustiky nejsou aplikovatelné. Indukovanou rychlost částic kapaliny ve vlně nelze již považovat za nulovou a výpočty jsou velmi komplikované.

Obsah plynu ve vodě stejně jako elasticita potrubí snižují rychlost šíření.

Tlakové vlny je možné klasifikovat následovně:

- kompresní vlny (když tlak vlny je vyšší než tlak média)
- expanzní vlny (když tlak vlny je nižší než tlak média)

Je důležité vědět jak se odráží vlny v potrubí, neboť je to jev, který nás zajímá. V případě uzavřeného konce potrubí se vlny šíří se stejnými charakteristikami, t.zn. kompresní vlna je šířena jednou kompresní vlnou a expanzní vlna je šířena expanzní vlnou. V případě otevřeného konce mají vlny různé charakteristiky.

Proces šíření vln v případě uzavřeného konce potrubí je podobný s jevem interakce mezi dvěma vlnami stejných charakteristik.

Když vznikne interakce dvou stejných vln - kompresní (expanzní), pak se tlak zvyšuje nebo snižuje podle jejich typu a indukovaná rychlost je nulová.

Když dojde k interakce kompresní vlny s expanzní vlnou, tlak se kompenzuje a naopak indukovaná rychlost se zvyšuje.

## DŮSLEDKY TLAKOVÝCH RÁZU

Kontrola pulsací tlaků vzniklých tlakovými rázy je velmi důležitá v hydraulických okruzích. Důsledky na materiál a na zařízení mohou být nevratné. Přetlaky mohou způsobit poškození prvků systému (obvykle prasknutí filtrů nebo potrubí), únavu materiálu, kavitace, poškození materiálů a celou řadu dalších technických problémů.

Kontrola je důležitá u všech hydraulických instalací.

## VYPOČET TLAKOVÉHO RÁZU

Pro výpočet změn tlaků, které probíhají v potrubí při tlakovém rázu je možné normálně použít některý z následujících způsobů.

- numerické metody na základě charakteristik – dílčí diferenciální rovnice
- grafické metody - nejvíce se používaly v padesátých a šedesátých letech. Jsou zastaralé a užitečné jen ve velmi jednoduchých případech
- Nomogramy

Normálně je zvykem používat program výpočtu s metodou charakteristik v počítači. Prostřednictvím těchto metod je možné číselně začlenit základní rovnice průtokové mechaniky, které řídí kapalinu protékající potrubím. To umožňuje výpočet rychlostí a tlaků, které jsou trvale v potrubí.

## KONTROLA TLAKOVÉHO RÁZU

Potlačení a kontrola těchto tlakových pulsací je tak důležitá, jako jejich předvídání. Existuje několik způsobů, které se používají dle toho, jaké jsou charakteristiky systému.

Snížení tlakového rázu je možné:

- omezením jeho vzniku:
  - prodloužením doby otevírání a zavírání ventilů
  - zvýšením setrvačnosti čerpacího zařízení či turbíny
  - vyloučením průtokových - dynamických vibrací a možných rezonancí
- snížením rozsahu přetlaků pomocí prvků jako jsou:
  - vyrovnávací sloupce (komíny)
  - nádrže vzduchu
  - akumulární jímky
  - ventily přívodu vzduchu
  - výtlačné ventily
  - systém by-passu
  - napájecí nádrže
  - tlakové ventily

Všeobecně se dá říci, že **nejlepším způsobem je omezit pulsace ihned ve svém počátku, tedy správně kalkulovat příslušné rychlosti kapalin v potrubí [m/s] a dimenzovat jejich průměry [DN] (viz tabulky na konci „Základní výpočet bazénu“), zajistit pomalé otevírání a zavírání ventilů a velkou setrvačnost při odstavování a najíždění čerpacích agregátů.**

Hlavní charakteristiky procesů omezení jsou:

- **zavírání ventilů:** doba pro zavření ventilů je jedním důležitým parametrem při vytváření tlakového rázu. Jestliže doba zavírání je menší nebo stejná jako doba kritická, tlakové vlny mohou být obrovské. V praxi to znamená, že doba zavření musí být mnohem delší než kritická doba. Jestliže potřebná doba pro zavření ventilu je příliš dlouhá, může se provést zavření se dvěma nebo více rychlostmi, první fáze je rychlá a druhá fáze je pomalá.
- **zvýšení setrvačnosti čerpadla:** používaná metoda pro snížení tlakového rázu, který vzniká zastavením čerpadla, spočívá v prodloužení doby doběhu při odstavování čerpadla a odpojení napájení motoru. Toho se docílí zvýšením setrvačnosti. Existuje praktické omezení pomocí zapojeného setrvačnicku. Tato metoda je omezena na případy, kdy potrubí není dlouhé a motor čerpadla dokáže překonat vyšší setrvačnost během jeho uvádění do chodu.

V případě již zrealizovaných nebo špatně vyprojektovaných instalací není možné dodatečně zabránit vytvoření tlakových rázů. Pouze existuje možnost instalovat potlačující prvky. Jejich charakteristiky jsou následující:

- **vyrovnávací sloupce** (komíny): jejich použití je limitováno případem, kdy je potrubí vyoseno. Jejich aplikace je typická u hydraulických systémů s turbinami. Vyrovnávací sloupce přemění pulsace velké intenzity a frekvence tlakového rázu na pulsace malé intenzity a frekvence. Existuje nebezpečí rezonance a proto se zhotovují s různými frekvencemi plnění a vypouštění (diferenční sloupce). Musí mít dostatečnou výšku, aby nedocházelo k přetečení tekutiny v horní části a musí mít dostatečný průřez, aby byl stabilní. Pro pozitivní utlumení rázu musí být průřez sloupce větší než hodnota známá jako kritická plocha Thoma.
- **vzduchové nádrže**: velmi běžný případ použití vzduchových nádrží je pro potlačení tlakového rázu z důvodu vypnutí čerpadla. Za tímto účelem se instalují na výstupu z čerpacího agregátu. Je nutno se ubezpečit, že nebudou vznikat negativní tlaky ve vysokých bodech potrubí. Všeobecně jsou instalovány s otvory, aby docházelo k rozptýlení energie a tak k rychlému odstranění rázu. Je výhodné provést větší omezení pro kapalinu, která vtéká do nádrže než pro kapalinu, která odtéká. Proto jsou zde systémy, které nutí kapalinu procházet různými stupni na výstupu a jinými stupni na vstupu do nádrže.
- **akumulační jímký**: Akumulátory jsou podobné nádržím s tím rozdílem, že plyn (inertní plyn, hlavně dusík) je uvnitř pružné membrány. Jejich použití je omezeno hlavně na olejové hydraulické okruhy nebo okruhy s čerpadly pozitivního posunu (instalace bazénů k nim patří). Do určité míry je to nejpoužívanější způsob u těchto druhů instalací, aby se potlačil tlakový ráz. Akumulátory se hlavně instalují v blízkosti čerpadel ihned za zpětným ventilem. Po odstavení čerpadla akumulátor vytlačuje vodu směrem k hlavnímu potrubí a tím snižuje negativní vlnu. Když se vrací tlaková pozitivní vlna tak absorbuje vodu z potrubí a tím snižuje přetlak. Proces se opakuje až se energie rozptýlí třením.
- **ventily přívodu vzduchu**: se používají, když tlak v potrubí docílí velmi nízkých hodnot s nebezpečím kavitace a vytváření parních sloupců a následně vzniká tlakový ráz. Zavedení vzduchu do potrubí zvýší negativní tlak a redukuje maximální a minimální tlaky uvnitř. Ventily musí být dobře vyprojektovány, aby vstup vzduchu byl dostatečně rychlý. Běžně je zapojen ventil pro čištění vzduchu, aby vzduch, který vstoupil do potrubí mohl být vytlačen. Tyto systémy nejsou vhodné pro potrubí s pitnou vodou, ve kterých je nutno zabránit tomu, aby tlak tekutiny v potrubí neklesl pod atmosférický tlak a tak zabránit kontaminaci. Také nejsou vhodné pro hydrokarbidy, neboť může vzniknout výbušná směs se vzduchem.
- **výtlačné ventily**: výtlačné ventily mohou být alternativou k předchozím metodám. Musí se charakterizovat rychlým otevřením a pomalým zavřením. Mohou být poháněny pružinami nebo řízeny hydraulicky, vlastním tlakem okruhu, dálkovým ovládním, či poháněny signálem zachycovačů tlaků umístěných v jiných místech okruhu, předtím než se dostaví tlakový ráz.
- **by-pass**: je dobrým řešením pro snížení tlakových rázů. Může být instalován v různých místech okruhu. Jeho běžná funkce je snížení negativního tlaku, který vzniká při odstavení čerpadla. Jeho funkce je podobná napájecí nádrži.
- **napájecí nádrže**: tato potlačovací metoda se používá, když není možný vstup vzduchu do okruhu. Obvykle se umísťuje před čerpadla a ve vysokých místech okruhu.
- **tlakové ventily**: jsou to prvky, které se umísťují normálně před čerpadla. Instalují se, aby zabránily značným vírům, které mohou i otočit směr točení čerpadel. V případě, že tento jev vznikne, víry mohou způsobit až zastavení průtoku a následně přechodový tlakový ráz.