

# Kavitace

**Kavitace** je dutina (z latinského *cavitas*) v kapalině vzniklá v důsledku prudkých změn tlaku, nebo přeneseně též jev vzniku těchto dutin.

## Druhy kavitací

### Kolabující kavitace

Kavitace rozlišujeme na kavitace "kolabující", nazývané v anglofonní literatuře "inertial cavitation", nebo též "transient cavitation", vznikající jednorázově působícími silami. Pokud tahové síly v kapalině překonají síly kohezní a hydrostatické, poruší se (nejčastěji v místě drobných nehomogenit – **kavitačních zárodků**) spojitost kapaliny a v kapalině vznikají malé dutiny – kavitace. S jistou mírou zjednodušení si tyto kavitace můžeme představit jako „bubliny vakua“. Ve skutečnosti dutina obsahuje páry okolní kapaliny a difúzí přes kavitační stěny pronikají do dutiny plyny původně v okolní kapalině rozpuštěné. Ostatně již na počátku může dutina jistě množství plynu obsahovat, protože mikrobublinky plynu fungují jako vhodné kavitační zárodky na nichž snadno dojde k porušení spojitosti kapaliny.



Kavitace

Kolaps tohoto druhu kavitací je mimořádně dramatický jev. Dokud vnější tahové síly (podtlak) převažují nad silami kohezními a hydrostatickými, kavitační dutina roste. V okamžiku, kdy tahové síly přestanou působit a vyčerpá se setrvačný pohyb kapaliny, růst dutiny se zastaví a následně se kavitace začne hroutit. Urychlována vnějšími silami řítí stěna kavitační bubliny zpět ke středu dutiny. Kolaps je zpravidla nesymetrický (viz Rayleighova-Taylorova nestabilita). Stěna kavitační bubliny se prolomí nejprve na jednom místě a kapalina odtud v podobě úzkého výtrysku směřuje na protilehlou stranu kavitační dutiny. Rychlost s níž tento výtrysk kapaliny dopadá na protilehlou stěnu může být mnohonásobkem rychlosti zvuku. V místě dopadu kavitačního výtrysku dochází k prudkému lokálnímu zvýšení tlaku ( $>100000$  bar) a teploty ( $>3000$  °C). Kapalina v místě dopadu se mění na rozžhavené plazma, které po krátkou dobu vyzařuje v širokém rozsahu vlnových délek včetně rentgenového záření. Dostanou-li se kolabující kavitace do kontaktu s pevnou hmotou (např. lopatkami turbíny) dochází na povrchu pevného materiálu ke vzniku mikroskopických kráterů a při delším působení k erozi materiálu.

### Nekolabující kavitace

Jiným druhem kavitací jsou nekolabující - "stabilní" kavitace, nazývané v angličtině "noninertial cavitation" a v češtině označované též jako "pseudokavitace". Jde o drobné bubliny plynu na které působí akustické pole (nejčastěji ultrazvuk - odtud též "ultrazvukové" kavitace), přičemž intenzita akustického pole obvykle nestačí způsobit celkový kolaps bubliny. Působení periodických změn tlaku v akustickém poli vede oscilaci velikosti bublin. Tato forma kavitací nemá tak dramatický průběh a je využívána např. pro čištění povrchů v tzv. ultrazvukových pračkách.

## Projevy kavitací

Kolaps kavitační bubliny probíhá tak rychle, že jej lze v prvním přiblížení popsat jako adiabatický děj. V bublině stlačené do minimálních rozměrů dochází k prudkému nárůstu tlaku a teploty, což může být doprovázeno řadou fyzikálních i chemických změn. Na konkrétní charakter probíhajících změn má vliv i chemické složení plynu v bublině. Podstatou chemických změn je především vznik a rekombinace volných radikálů. Kolaps bubliny může být provázen i vznikem (sekundárních) rázových vln. Pokud je kavitační bublina na rozhraní pevné látky a kapaliny mohou prudké výstřiky kapaliny proti pevné látce erodovat její povrch. Toto působení je natolik silné, že mu dlouhodobě nejsou schopny odolávat prakticky žádné materiály. Zvláštním projevem podmíněným výhradně kavitací je vznik světelných záblesků, sonoluminiscence, jehož fyzikální podstata je stále předmětem výzkumu.

## Zdroje kavitací

Kavitace může být spuštna i jinými ději, než je šíření harmonického akustického vlnění. Mimo medicínu se tak kavitace nejvýrazněji uplatňuje při rychlém obtékání některých profilů, např. lopatek turbín nebo lodních šroubů. Podobně může být kavitací doprovázeno i šíření rázové vlny (respektive její podtlakové fáze) kapalinou.

Kavitace je jev prahový; to znamená, že se objevuje teprve tehdy, je-li v prostředí dosaženo určitých akustických tlaků, respektive intenzit.

## Využití kavitací

Kavitace zřejmě hraje velkou roli zejména v těch aplikacích, kde je třeba dosáhnout **destrukce tkáně** ať již ohřevem, či jiným poškozením tkáně. V případě destrukce tkáně ultrazvukem se uplatňuje spolupůsobení ohřevu a kavitace. Dokonce překročení kavitačního prahu vede ke zvýšení disipace mechanické energie akustického vlnění.

Nejčastěji se lze s kavitací setkat asi při litotrypsi rázovou vlnou, zde hraje kavitace na rozhraní tekutina – konkrement roli vedlejšího mechanismu drčení.

## Kavitace jako rizikový faktor

Při použití diagnostického ultrazvuku je, alespoň při běžném vyšetření v B-módu, riziko vzniku kavitace nízké, na ultrazvukové vyšetření lze proto pohlížet jako na bezpečné. K posouzení rizika vzniku kavitací při konkrétním nastavení přístroje se používá veličina zvaná *mechanický index* definovaný vztahem:

$$MI = \frac{p}{\sqrt{f}}$$

kde „*p*“ je (odhadovaná) amplituda akustického tlaku v tkáni a „*f*“ je frekvence ultrazvukového vlnění. Převážná většina moderních přístrojů zobrazuje aktuální hodnotu mechanického indexu na obrazovce.

## Odkazy

### Související články

- Litotrypse extrakorporální rázovou vlnou
- Ultrazvuk

### Použitá literatura

- ČÍŽEK, Martin. *Analýza nelineárních dějů v ultrazvukové diagnostice*. Brno : Ústav biomedicínského inženýrství FEKT VUT, 2009, dizertační práce
- MORNSTEIN, Vojtěch. *Ultrazvuková kavitace: Využití, problémy a rizika v biologii a lékařství*. Brno : Biofyzikální ústav LF MU, 1994, habilitační práce

### Externí odkazy

► Video - Kolabující kavitace I (zpomaleno, zvětšeno) (<https://www.youtube.com/watch?v=5lbeA5J0TxU&NR=1>) ►  
Video - Kolabující kavitace II (<https://www.youtube.com/watch?v=FbSurDsdDRs&feature=related>)

- Kavitace (česká wikipedie)
- Cavitation (anglická wikipedie)
- The influence of fluid properties and pulse amplitude on bubble dynamics in the field of a shock wave lithotripter (<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9155/38/11/002/meta>)
- Kapitola v knize "Doppler Ultrasoundin Obstetrics and Gynecology" věnovaná kavitacím v medicíně (<https://www.scribd.com/word/removal/50842601>)
- Příklad využití kavitací v medicíně - Interactions of Inertial Cavitation Bubbles with Stratum Corneum Lipid Bilayers during Low-Frequency Sonophoresis (<https://secure.jbs.elsevierhealth.com/action/getSharedSiteSession?redirect=http%3A%2F%2Fwww.cell.com%2Fbiophysj%2Fabstract%2FS0006-3495%2803%2974770-5&rc=0&code=cell-site>)