



**DR. HŐS CSABA**  
egyetemi tanár  
**BME Gépészmérnöki**  
**Kar, Hidrodinamikai**  
**Rendszerek Tanszék**  
hos.csaba@gpk.bme.hu

## VISSZA AZ ISKOLAPADBA

# Kavitáció, szívóképesség, NPSH

Ebben a rövid cikkben összefoglaljuk a szivattyúk szívóképességével és a kavitációs roncsolás elleni védekezéssel kapcsolatos legfontosabb alapismereteket.

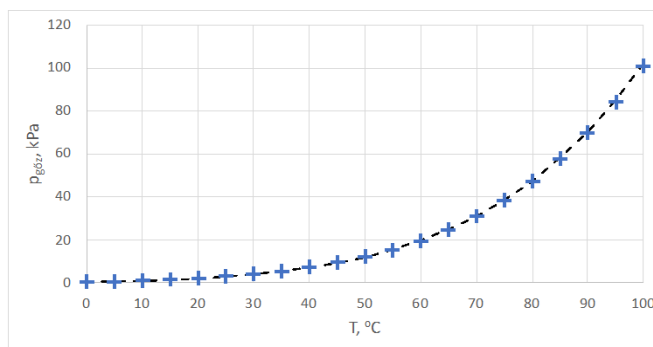
## KAVITÁCIÓ

Kavitáció alatt azt a jelenséget értjük, amikor a folyadék (statikus) nyomása a telített gőznyomás alá csökken, ami a folyadékban kis, gőzzel teli üregek kialakulásához vezet (latin „cavus” = üres). Az áramló közeg a gőzbuborékokat magával sodorja és nagyobb nyomású helyeken ezek hevesen összeomlanak (gőztartamuk kondenzálódik). Amennyiben ez az összeomlás szilárd felület közelében történik, a felület roncsolódhat, ezért szivattyúinkban igyekszünk elkerülni a kavitáció kialakulását.

A jelenség megértéséhez mindenképp a folyadék (víz) telített gőznyomására van szükségünk. Az 1. ábrán a hőmérséklet függvényében mutatjuk be az egyes hőmérsékletekhez tartozó gőznyomást, a szaggatott vonal pedig a

$$p_{g\ddot{o}z} \text{ (kPa)} = 0,61078 \exp\left(\frac{17,27 T(^{\circ}\text{C})}{T(^{\circ}\text{C}) + 237,3}\right)$$

közelítést ábrázolja (a nyomást abszolút értékben kapjuk!). (Az „exp” a természetes alapú logaritmusfüggvény, pl. Excel-ben a „kitevő” eljárás adja meg.) A diagramon jól látható, hogy a légköri nyomáson (100 kPa) a jól ismert 100°C-os értékről indulva a hőmérséklet csökkenésével csökken a telített gőznyomás is, szobahőmérsékleten (15°C) elérve az 1,7 kPa-os (abszolút) nyomást.



Mielőtt továbblépünk, megemlítjük még, hogy a kavitáció és a forrás jelensége között a fizikai alapmechanizmus tekintetében nincsen különbség, inkább szóhasználati eltérés van közöttük. Forrás esetében jellemzően adott nyomáson a hőmérséklet növekedése okozza a halmazállapotváltást (a fenti ábrán vízszintesen mozgunk), míg kavitáció esetében állandó hőmérsékleten a nyomás növekedése okozza a halmazállapot változást (függőlegesen mozgunk).

A következő kérdésünk, hogy egyáltalán releváns kérdés-e vizes rendszerekben a kavitáció? Képzeljük el a következő esetet: légköri nyomású medencéből vízszintes csővezetéken keresztül juttatjuk el a szívócsonkhoz a 15°C-os vizet. Mivel a telített gőznyomás 1,7 kPa, a megengedhető nyomásesés 1 bar-1,7 kPa = 98,3 kPa = 10 vom. Ezt a nyomásvesztést egy régi (nagy ellenállású) lábszeleppel, indokolatlanul hosszú vagy szűk szívóvezetékkel, vagy félig zárva felejtett gömbcsappal könnyen elérhetjük.

A kavitációs üzemiállapot következményei

## A KAVITÁCIÓS ÜZEMÁLLAPOT KÖVETKEZMÉNYEI

A kavitáció kialakulásának káros következményei vannak, nem csupán a szivattyúra, hanem a teljes rendszerre.

A kavitáció során a gőzbuborékok összeomlása lökéshullámokat

és nagy sebességű folyadéksugarat hoz létre, amelyek erodálhatják a szivattyú alkatrészeit, különösen a járókerék lapátjait (belépőél környéke) és a szivattyúházat. Kismértékű kavitációnak hosszan ellenállhat a szivattyú (akár megfelelő méretezés esetén is jelen lehet a szivattyúban kismértékű kavitáció), ám amennyiben hangos, „csörömpölő” hangot hallunk, erős kavitációra gyanakodhatunk és a szivattyúnk biztosan jelentős károsodást fog szenvedni rövid időn belül.

A kavitáció a szivattyú hidraulikai teljesítményének csökkenését okozza, mindenképp alacsonyabb szállítómagasságot. (A gyártók magát az NPSH<sub>r</sub> értéket is úgy szokták meghatározni, amelynél a szállítómagasság 3%-ot csökken a normál értékhez képest.) A járókerékben kialakuló „gőzfelhő” blokkolja az áramlást, melynek hatásaként a szivattyú hidraulikai paraméterei romlanak.

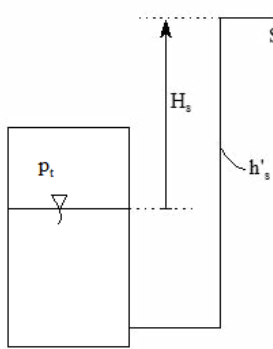
A gőzbuborékok gyors képződése és összeomlása rezgéseket és zajt okoz, ami hozzájárul a mechanikai kopáshoz és növelheti a szivattyúalkatrészek ill. a kapcsolódó csővezeték fáradásos meghibásodásának kockázatát. Természetesen a megnövekedett zaj további problémákhoz vezethet.

A kavitáció okozta károsodás és a szivattyú csökkent hatásfoka gyakran megnövekedett energiafogyasztáshoz vezet, mivel lecsökkent hidraulikai paramétereket (térfogatáram, nyomáskülönbség) kompenzálni szükséges.

## NET POSITIVE SUCTION HEAD, NPSH

Szivattyúk esetében a kavitáció a szívócsonk közelében lehet probléma; jellemzően a járókerék belépőlének külső részén figyelhetünk kavitációs roncsolást. (A kilépő oldalon a magas nyomás miatt már „messze vagyunk” a tenziógörbétől.) Gyakorlati szempontból azonban nehézkes a szivattyú „belsejét” szerepeltetni a méretezés, ellenőrzési módszerben, mivel a szükséges adatok (belépőél geometria, ház kialakítása) gyakran csak a gyártónál

állnak rendelkezésre. A szivattyút beépítő szakember jellemzően csak a szívócsövet méretezi, ezért praktikus a szivattyú szívócsonkjára az a pont, ahol elvégezzük az ellenőrzést.



Tekintsük az alábbi ábrát, melyen egy szivattyú szívóoldalát ábrázoltuk: a tartályban  $p_t$  nyomás uralkodik (nyitott tartály esetén ez 1 bar), a szivattyú  $H_s$  magasságban van a víztükörhöz képest, a szívócső ellenállása  $h'_s$ . A szívócső az „s” pontban csatlakozik a szivattyúhoz, ebben a pont-

ban fogjuk kiszámítani a nyomást. Ehhez írjunk fel egy veszteséges Bernoulli egyenletet a víztükörrel induló áramvonal mentén a szivattyú szívócsonkjáig!

$$p_t = p_s + \frac{\rho}{2} v_s^2 + \rho g H_s + \rho g h'_s.$$

A gyakorlatban nehéz pontosan meghatározni, hogy milyen szívócsonkbeli nyomás esetén jelentkezik a kavitáció a járókerékben, ezért bölcs dolog a r szívócsonknál a gőznyomáshoz képest némi „nyomástartalékot” képezni: a szívóoldali össznyomást tehát bontsuk fel két részre: a gőznyomásra és a felette maradó NSPH „nettó” tartalékra (Net Positive Suction Head, vom):

$$p_s + \frac{\rho}{2} v_s^2 = p_g + \rho g NPSH_a.$$

Az „a” index az angol „available” = elérhető rövidítése, ti. a csővezetékben a szívócsonknál ennyi nyomástartalék érhető el a telített gőznyomás „felett”. A méretezés az NPSH értékre történik a következő módon. Adott szívócső kialakításra kiszámítjuk az  $NPSH_a$  értékét:

$$NPSH_a(vom) = \frac{p_t - p_g(T, ^\circ C)}{\rho g} - H_s - h'_s$$

majd ezt összevetjük a szivattyú gyártó által (jellemzően a jelleggörbével együtt) megadott  $NPSH_r$  („required” = szükséges) értékkel. Az üzem akkor lesz kavitációmentes, ha teljesül a

$$NPSH_a > NPSH_r$$

feltétel.

### GYAKORLATI MEGFONTOLÁSOK

1. A  $H_s$  magasság előjeles mennyiség és akkor pozitív, ha a szívócsonk a szívómedence víztükör felett van, hozzáfolyás esetén negatív.
2. A szívóvezeték ellenállásának helyes becslése kiemelten fontos. Amennyiben számottevő hosszúságú egyenes csőszakaszt tartalmaz, járjunk el gondosan a csősúrlódási tényező megválasztásakor! Ne feledjük azt sem, hogy  $h'_s$  a szívócső átmérőjének ötödik (!) hatványával fordítottan arányos, tehát pl. 20% átmérőcsökkenés  $1/0,8^5=3$ -szoros ellenállás-növekedést okoz és hasonlóan, 20% átmérőnövekedés  $1/1,2^5=0,4$ , tehát kevesebb, mint a felére csökkenti a szívócső  $h'_s$  ellenállását.
3. Az NPSH értékek (mind  $NPSH_a$ , mind  $NPSH_r$ ) térfogatáram-függők: növekvő térfogatáramokhoz növekvő  $NPSH_r$  érték tartozik (katalógus adat) és csökkenő  $NPSH_a$  érték. Ezért amennyiben a szivattyú munkapontja jelentősen változik, újra ellenőrizni szükséges a megfelelőséget.
4. A telített gőznyomás függ a közeg hőmérsékletétől, ez pl. forróvízes rendszereknél fontos lehet. A 20 °C és az 50 °C-os víz telített gőznyomása között 10 kPa=1 vom különbség van!
5. A telített gőznyomás függ a tengerszint feletti magaságtól, pl. 3000 m magasságban 100 kPa helyett már csak 70 kPa a légköri nyomás, ezzel (nyitott tartály esetében) korrigálni szükséges a  $p_t$  tagot.
6. A kavitációt nem a folyadék gáztartalma okozza! Tökéletesen gázmentes folyadék esetében is jelentkezni fog a kavitáció, hiszen a kavitációs buborékokat az elpárolgott folyadék alkotja. Természetesen a folyadék gáztartalma is káros, amely pl. a szivattyú járását hangossá, egyenetlenné teszi, de a kavitáció ettől független jelenség.

7. A kavitáció jelensége nem szorítkozik pusztán a szivattyúkra. Gyakori, hogy szabályozószelvek bizonyos üzemi állapotokban (kis szelepnitások esetében) kavitációs állapotba kerülnek. Hasonlóan az örvényszivattyúkhoz, dugattyús gépek esetében is fennáll a kavitáció veszélye, azonban az ilyen gépek esetében követendő ellenőrzési módszer bemutatása túlmutat jelen cikk céljain.

