

3. Uloženie potrubia

Základnými úlohami inžiniera (potrubára) navrhujúceho potrubnú trasu je zabezpečenie dostatočnej hrúbky steny potrubia a návrh správneho spôsobu ukotvenia potrubia. Obidve úlohy sú kľúčové vzhľadom k zaisteniu štruktúrálnej integrity potrubného systému. Dostatočná hrúbka steny potrubia zaručí bezpečný prietok média pri danom tlaku, a správne navrhnuté uloženie zabezpečí že potrubia ostane na svojom mieste.

Uloženie potrubia vo všeobecnosti označujeme všetky potrubné prvky (podpery, závesy, atď.) ktoré sa používajú na zachytenie hmotnosti potrubia. Celková hmotnosť potrubia v sebe zahŕňa, okrem samotnej hmotnosti potrubia³, aj hmotnosť:

- média (pri tlakovej skúške vodou aj hmotnosť vody),
- izolácie a vonkajšieho opláštenia potrubia
- trvalé prídavné sily a momenty
- zaťaženia spôsobené vonkajšími podmienkami (napr. vietor, sneh, atď.)

Okrem tejto hlavnej požiadavky - zachytenie hmotnosti potrubia, musí správne navrhnuté uloženie kompenzovať rozťažnosť potrubia ako aj rôzne druhy dynamického zaťaženia (vodný ráz, vibrácie, seizmické zaťaženie , atď.)

3.1. Základné prvky a terminológia

Pod pojmom uloženie potrubia (ang. pipe restrains), rozumieme široké spektrum komponentov a technických riešení (podpery, závesy, zarážky, osovú vedenia, atď.), ktoré vzhľadom k svojej povahe, zabezpečujú fixáciu (kotvenie) potrubia v danej polohe. Jednotlivé prvky budú bližšie objasnené v nasledujúcej časti. Aby vedeli konštruktéri, potrubári, výpočtári a aj ostatný špecialisti vzájomne komunikovať , je nutné používať spoločnú terminológiu . S tohto dôvodu bude pri jednotlivých prvkoch uvedený aj anglický ekvivalent, ktorý sa celosvetovo používa.

Každý bod potrubného systému je definovaný šiestimi stupňami voľnosti : tri hlavné smery x, y, z a tri smery otáčania M_x, M_y, M_z okolo týchto osí. V prípade , že potrubie nie je ukotvené môže sa voľne pohybovať v smere x, y, z a taktiež sa môže otáčať okolo osí x, y, z . Potrubné prvky obvykle odoberajú jeden alebo viacero stupňov voľnosti. Schopnosť preniesť zaťaženie na konštrukciu závisí od samotnej tuhosti nosnej konštrukcie v danom smere.

Tuhosť (ang. stiffness) je miera odolnosti telesa alebo konštrukcie voči pôsobeniu vonkajších síl. V potrubárskej terminológii hovoríme o tuhosti v jednotlivých smeroch x, y, z . Napríklad v smere x , bude tuhosť definovaná ako:

$$K_x = \frac{F_x}{\Delta x} \quad (3.1)$$

kde:

K_x - tuhosť v smere x [N/mm],

F_x - sila v smere x [N],

Δx - posunutie v smere x [mm].

³ - hmotnosť potrubia teda chápať nielen ako hmotnosť samotného potrubia, ale aj všetkých potrubných prvkov (kolená, T-kusy, príruby atď.) a armatúr s pohonmi.

Čím vyššia číselná hodnota tuhosti, tým bude menšie posunutie v danom smere pri konštantnej pôsobiacej sile. Teoreticky, môžu mať niektoré miesta nekonečne veľkú tuhosť (s praktického hľadiska má vždy tuhosť konečnú hodnotu, aby sa zabránilo problémom pri matematických výpočtoch).

Okrem tuhosti používame aj tzv. rotačnú tuhosť. (ang. rotational stiffness) ktorá je definovaná pre os x ako:

$$K_{r,x} = \frac{M_x}{\theta_x} \quad (3.2)$$

kde:

$K_{r,x}$ - rotačná tuhosť v osi x [Nmm/°],

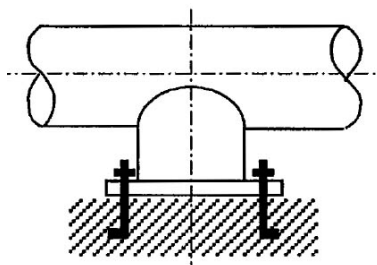
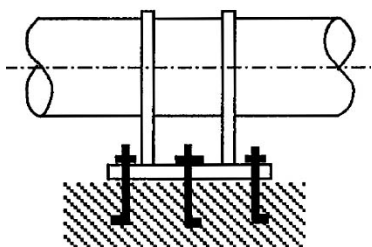
M_x - moment okolo osi x [N],

θ_x - pootočenie v osi x [°].

Z tohto dôvodu je znalosť tuhosti ocelevej konštrukcie, či aparátu (napr. nádrž, kolóna, výmenník tepla) dôležitý parameter ktorý treba poznať.

3.1.1. Pevný bod

Pevný bod (ang. anchor) odoberá všetkých šesť stupňov voľnosti. Je základným prvkom uloženia potrubia. Drvivá väčšina pevnostných výpočtov potrubí sa uskutočňuje za predpokladu, že oba konce potrubného systému sú ukotvené (ukončené pevným bodmi). Na Obr. 3-1 a Obr. 3-2 sú znázornené príklady pevných bodov. Pevný bod neumožňuje žiadne posunutie ani pootočenie potrubia, teda predpokladáme že má nekonečnú tuhosť vo všetkých šiestich stupňoch voľnosti.



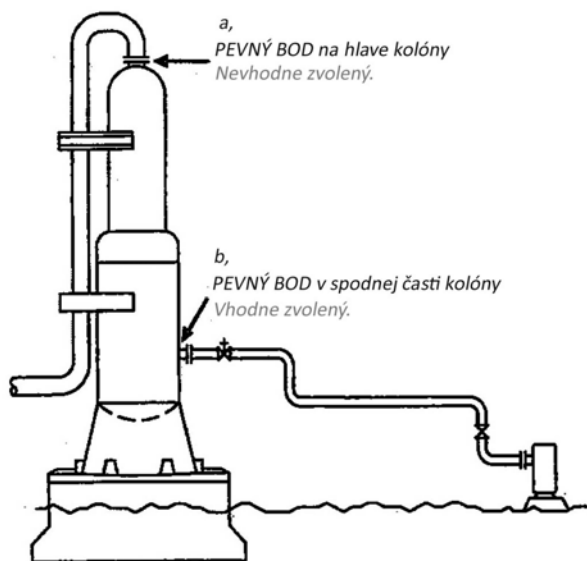
Obr. 3-1. Pevný bod - sedlová podpera. Potrubie je pevne (

Obr. 3-2. Pevný bod - objímka s čapom. Potrubie je

odobratých 6 stupňov voľnosti) s konštrukciou.

pevne (odobratých 6 stupňov voľnosti) s konštrukciou.

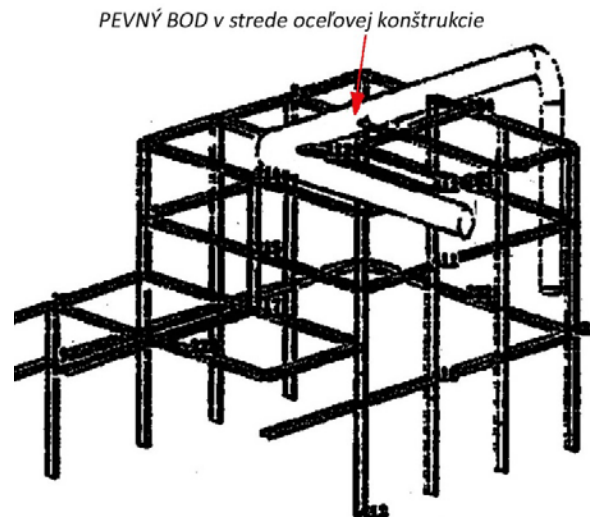
V prípade, že by sme odobrali všetkých 6 stupňov voľnosti pre vybrané miesto potrubia , malo by platiť, že hodnoty posunutí ako aj pootočení sú rovné nule. Prakticky je to však veľmi zriedkavý prípad a preto pri posúdení umiestnenia pevného bodu musíme zohľadniť tuhosť samotnej konštrukcie . Na Obr. 3-3 je znázornená kolóna ku ktorej sú pripojené dve potrubia (a, a b,). Z obrázka je zrejmé že potrubie ktoré sa bude pripájať k spodnej časti kolóny (b,) môžeme považovať za relatívne dobre zvolený pevný bod. Definovanie pevného bodu na hlave kolóny (a,) je naopak veľmi nevhodne zvolené ,vzhľadom k reálnej nízkej tuhosti hlavne v smere horizontálnych osí x a y . Podobný problém nastane ak by sme za pevný bod umiestnili na hornej časti ocelevej konštrukcie znázornenej na Obr. 3-4.



Obr. 3-3. Umiestnenie pevného bodu na kolóne.

a, nevhodne zvolený pevný bod.

b, vhodne zvolený pevný bod, hrdlo je v danom mieste dostatočne tuhé **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**]



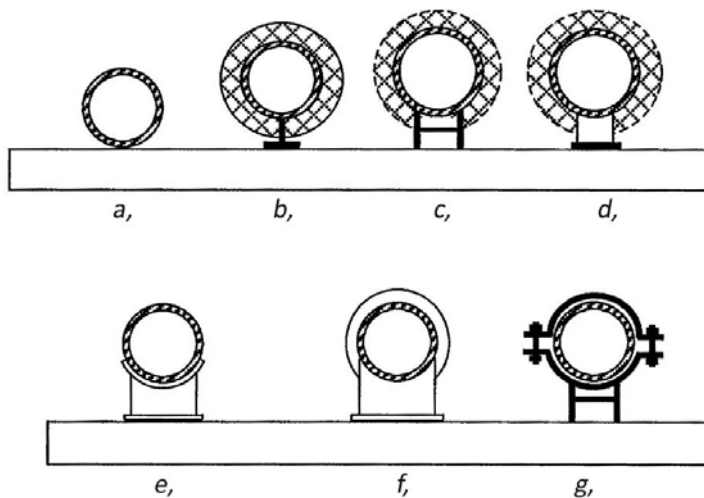
Obr. 3-4. Umiestnenie pevného bodu na hornej časti ocelevej konštrukcie. **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**]

S praktického hľadiska pri modelovaní potrubia sa stretáme s rôznymi úpravami tuhostí hrdiel kvôli zvýšeniu presnosti modelu. Jedná sa predovšetkým k pripojeniu k valcovým aparátom. Najbežnejším spôsobom pre valcové aparáty je výpočet tuhostí podľa WRC 279 - "Local Stresses in Cylindrical Shells due to External Loadings". tento predpis slúži na výpočet lokálneho napätia vo valcovej škrupine od vonkajšieho zaťaženia, ale je ním možné vypočítať aj tuhosť . V prípade že sa jedná o rotačné stroje ako sú čerpadlá a kompresory, pevný bod sa chápe ako rigidný bez možnosti posunutia či pootočení.

Pri koncepcii samotného potrubnej vetvy je vždy možné nájsť dva pevné body, prípadne pevné body s upravenou tuhosťou. (na začiatku a na konci) a medzi nimi musí dochádzať ku kompenzácii tepelnej rozťažnosti buď tvarom samotného potrubia, alebo pridaním kompenzačných prvkov (kompenzátorov).

3.1.2. Podpera

Podpera (ang. support) sú určené na prenášanie hmotnosti a vertikálnych zložiek zaťaženia na nosnú konštrukciu pod potrubím. Podpery dovoľujú pohyb v horizontálnej rovine vo všetkých smeroch (ak nie sú v niektorom smere blokované). Nezaizolované potrubie je možno priamo klásť na oceľovú konštrukciu tak, ako je to znázornené na Obr. 3-5a. V prípade, že je potrubie zaizolované je potrebné na rúru navariť podpornú plochu ktorá bude vychádzať z izolácie (napr. T, I, profil, plech alebo čap) ako je to znázornené na Obr. 3-5b, c, d. V prípade potrubí s väčším priemerom (nad rozmer 600 mm) sa používajú a robustné sedlové podpery Obr. 3-5 e, f. Obr. 3-5 h je znázornená objímka s podporným I profilom.



Obr. 3-5. Podpery.

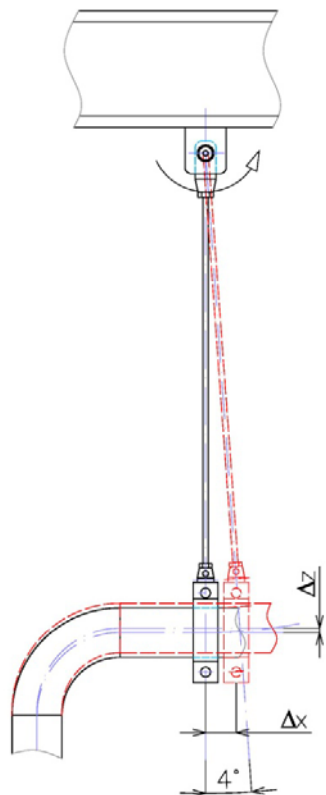
a, rúra voľne položená na konštrukcii b, c, d, úprava výšky osi potrubia pomocou T, I profilu a čapu e, f Sedlové podpery pre potrubia vyšších priemerov g, Objímka s I profilom



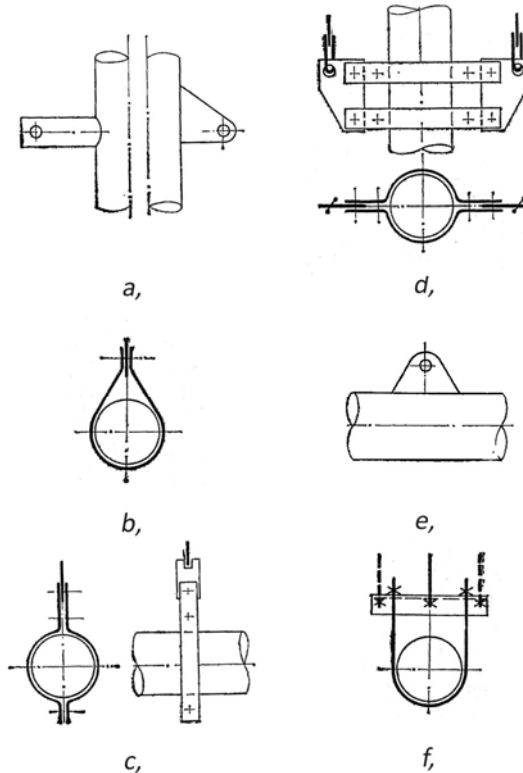
Obr. 3-6. XXX BUDE

3.1.3. Záves

Záves (ang. hanger) je určený na prenášanie hmotnosti a vertikálnych zložiek zaťaženia na nosnú konštrukciu nad potrubím. Podpery dovoľujú pohyb v horizontálnej rovine vo všetkých smeroch, tento pohybe je však limitovaný konštrukčným riešením závesu. (ak nie sú v niektorom smere blokované). Nezaizolované potrubie je možno priamo klásť na oceľovú konštrukciu tak, ako je to znázornené na Obr. 3-5a. V prípade, že je potrubie zaizolované je potrebné na rúru navariť podpornú plochu ktorá bude vychádzať z izolácie (napr. T, I, profil, plech alebo čap) ako je to znázornené na Obr. 3-5b, c, d. V prípade potrubí s väčším priemerom (nad rozmer 600 mm) sa používajú a robustné sedlové podpery Obr. 3-5 e, f. Obr. 3-5 h je znázornená objímka s podporným I profilom.



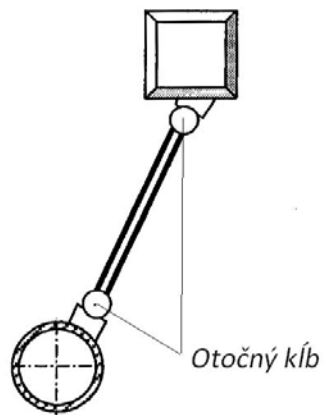
Obr. 3-7. Záves



Obr. 3-8. XXX BUDE

3.1.4. Otočná vzpera

Otočná vzpera (ang. strut alebo sway strut) svojou konštrukciou pripomína záves. Otočná vzpera však dokáže veľmi dobre prenášať (okrem ťahového) aj tlakové namáhanie. Samotná konštrukcia je veľmi jednoduchá. Pozostáva z masívnej stredovej časti vyrobenej najčastejšie z hrubostenej rúry lebo tyče, ktorá je umiestnená medzi otočné kĺby (nemusia byť jednej roviny). Príklad otočnej vzpery je znázornený na Obr. 3-10. Používa sa hlavne v takých prípadoch, kedy neexistuje vhodná oceľová konštrukcia nad hlavnou osou potrubia, ako je to znázornené na Obr. 3-9.



Obr. 3-9. Otočná vzpera

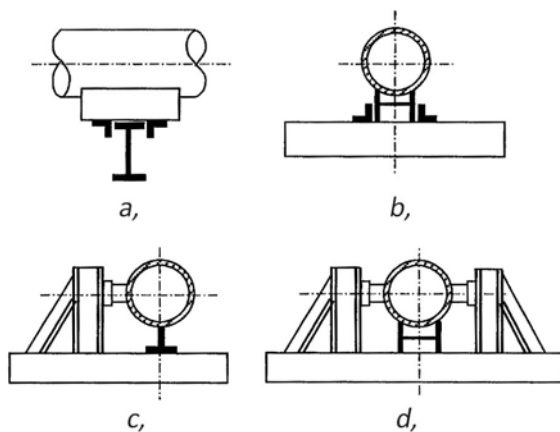


Obr. 3-10. Otočná vzpera. Samotná otočná vzpera (vpravo), komplet spolu s objímkou a otočnými kĺbmi (vľavo)

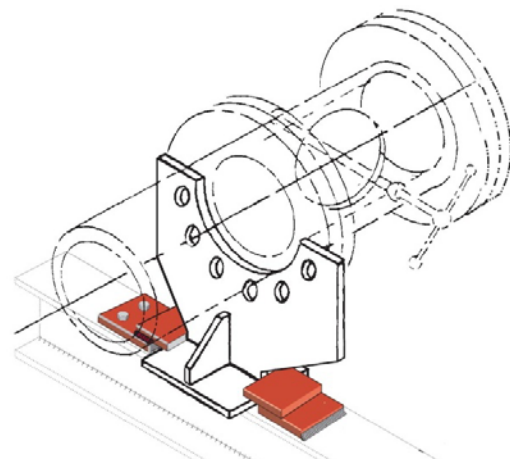
3.1.1. Obmedzenie pohybu

Obmedzenie pohybu⁴ (ang. restraint) predstavuje skupinu prvokov uloženia potrubia, ktoré zabraňuje pohybu rúry. Neslúžia teda priamo na zachytenie hmotnosti potrubia,(na zachytenie hmotnosti potrubia slúžia podpery prípadne závesy.), ale na presné ustavenie rúry ,tak aby nedochádzalo k jej vybočeniu. Do tejto kategórii parí napríklad axiálne vedenie, 1 a 2 smerná stopka, doraz, atď. Na Obr. 3-11 sú znázornené niektoré z bežne používaných obmedzení pohybu. Vo všeobecnosti neexistuje žiadny limit, koľko môže odobrať stupňom voľnosti. Komplexnejšie uloženie potrubia sa teda skladá z podpery (prípadne závesu) a ak je to nutné aj s prvku ktorý zabraňuje pohybu v niektorom smere. Takýto príklad je znázornený na Obr. 3-12 kde je umiestnená prírubová podpera spolu s axiálnym vedením ktoré zabraňuje aj pohybu potrubia smerom nahor. V tomto prípade sa potrubie môže pohybovať len axiálne.

⁴ - Aký iný názov (blokácia pohybu, zábrana, opierka, zamedzenie pohybu , česky - Opěrka potrubí)

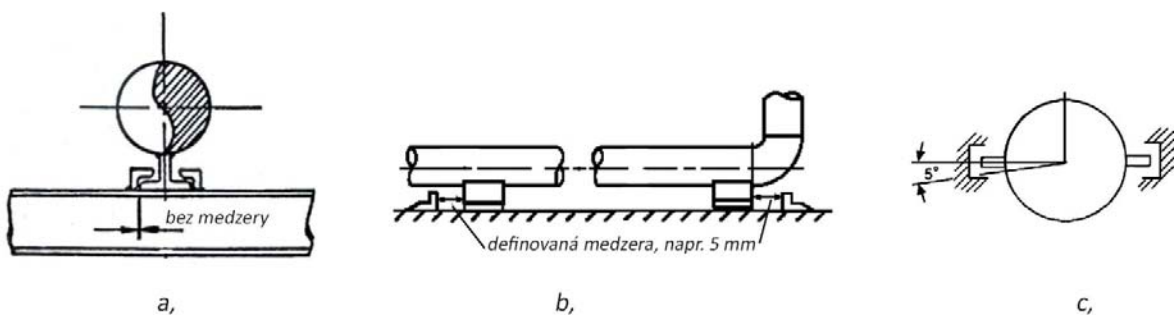


Obr. 3-11. Príklady obmedzenia pohybu. (a, doraz; b, axiálne vedenie; c, 1-smerná stopka; 2-smerná stopka.)



Obr. 3-12. Príklad uloženia potrubia pomocou prírubovej podpery. Axiálne vedenie je znázornené červenou farbou.

Pojmy doraz prípadne stopka (ang. limit stop) považujeme v slovenčine za synonymá. Treba si však uvedomiť, že pri definovaní toho uloženia je nutné určiť nie len smer v ktorom budú pôsobiť, ale aj veľkosť medzery medzi potrubím a dorazom.

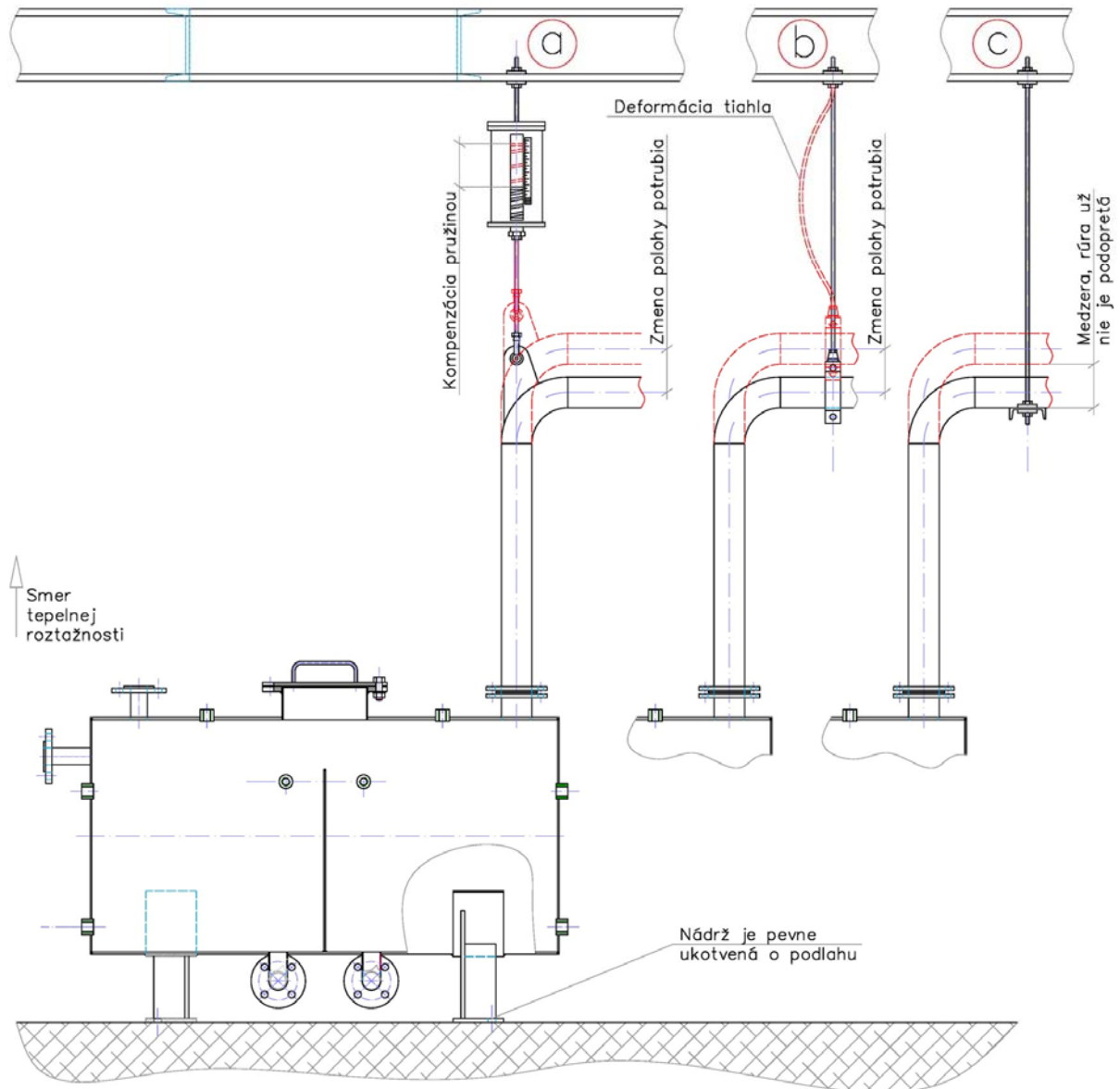


Obr. 3-13. Príklady obmedzenia pohybu. (a, doraz; b, axiálne vedenie; c, 1-smerná stopka; 2-smerná stopka.)

3.2. Kompenzácia tepelnej rozt'ažnosti potrubia

V prípade, že dochádza k výraznejšej zmene teploty strojov, zariadení a samotného potrubia medzi stavom "za studena" (technológia nie je v prevádzke a teplota všetkých častí odpovedá teplote prostredia) a stavom "za tepla" (prevádzkový stav) je nutné zabezpečiť pružné uchytenie potrubia. Pri narastajúcej teplote sa bude potrubie roztáhať a naopak pri klesajúcej teplote sa bude sťahovať. Nutnú kompenzáciu

tepelnej rozťažnosti potrubia je možné objasniť na nasledujúcom Obr. 3-14. (Kvôli prehľadnosti nie je na obrázku znázornená izolácia).



Obr. 3-14. Kompenzácia termálneho pohybu potrubia. a, pomocou pružinového závesu; b, pomocou pevného závesu (tiahla); c, pomocou podpery.

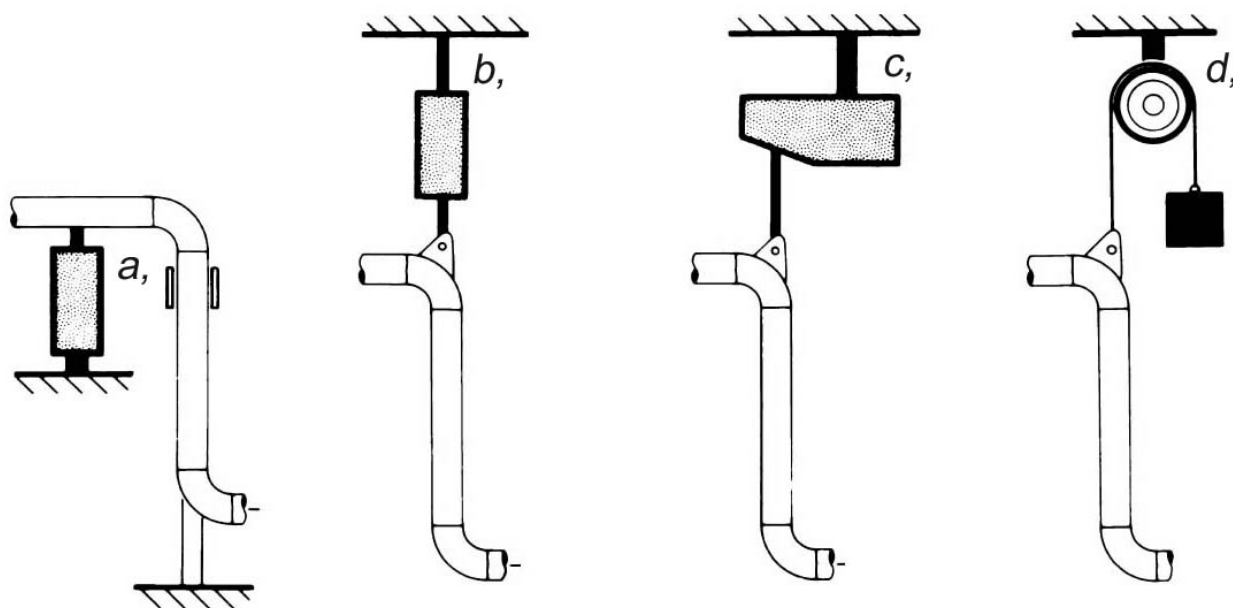
Nádrž je pevne ukotvená o podlahu a v prípade že technológia nepracuje má spolu s potrubím teplotu okolia (stav za studena). Po spustení technológie dochádza k postupnému zvyšovaniu teploty až na úroveň prevádzkových parametrov. V tomto prípade dochádza k jeho ohrevu. Vplyvom tepelnej rozťažnosti dochádza k narastaniu dĺžky ako nádrže, tak aj potrubia. V prvom prípade označenom ako A. je táto dilatácia kompenzovaná pružinou tzk. pružinovým závesom, čo je vo všeobecnosti najpoužívanejší a najlacnejší spôsob. V ostatných prípadoch sa jedná o nesprávne riešenia. V prípade B. je použité tiahlo (tuhý element) ktoré nie je schopný kompenzovať termálny pohyb potrubia. Následne dochádza k jeho

deformácii, prípadne vybočeniu. Najnevhodnejším spôsobom je riešenie C. , ktoré je síce vyhovujúce v stave za studena(rúra je položená na oceľovom nosníku), ale po zohriatí sa rúra posunie vertikálne a už nebude v danom mieste podopretá. Hmotnosť potrubia bude musieť preniesť hrdlo nádrže, čo môže mať za následok jeho poškodenie a následnú haváriu.

Vo všeobecnosti rozlišujeme dva základné spôsoby uchytiť potrubia ktoré tepelne dilatuje:

- pomocou pružiny
- pomocou protizávažia

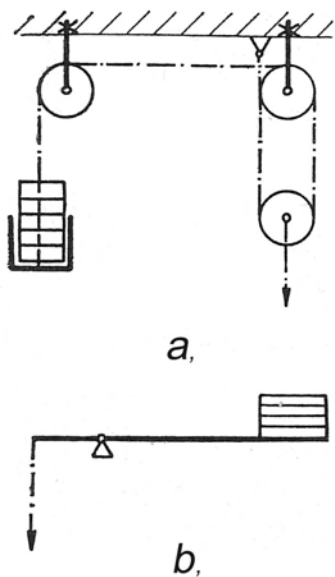
Základné spôsoby kompenzovania termálneho pohybu potrubia sú znázornené na Obr. 3-15. V prípadoch a,b,c, je použitá pružina a v prípade d, je použité protizávažie.



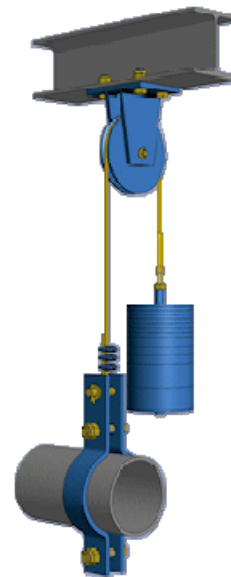
Obr. 3-15. Základné spôsoby kompenzácie termálneho pohybu potrubia.

a, pružinová podpera (variable spring support - VSS); b, pružinový záves (variable spring hanger - VSH); c, pružinový záves s konštantným zaťažením (ang. constant load hanger - CLH); d, kladka s protizávažím (counter weight support - CVS) **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**

I keď riešenia s protizávažím sú jednoduché a použiteľné v širokom rozsahu vertikálnych posunutí v súčasnosti sa už veľmi nepoužívajú. Predovšetkým riešenia závesu s kladkou s protizávažím, ktoré je znázornené na Obr. 3-17, bolo v minulosti často používané na kompenzovanie značných vertikálnych posunov potrubia. Je možné sa s ním stretnúť predovšetkým na starších prevádzkach. Dnes je toto riešenie často nahrádzané pružinovými závesmi s konštantným zaťažením.



Obr. 3-16. kompenzácie termálneho pohybu potrubia protizávažím.
a, kladka (counter weight support); b, páka.



Obr. 3-17. Ukážka závesu s kladkou s protizávažím.

Najbežnejším spôsobom ako kompenzovať pohybujúce sa potrubie je použitie pružiny. Základným parametrom ktorý charakterizuje pružinu je jej tuhosť K [N/mm], prípadne v [lb/in]. Vo všeobecnosti je to konštanta a udáva silu potrebnú na jednotkovú deformáciu pružiny. Zo zvyšujúcou číselnou hodnotou tuhosti pružiny bude teda rásť aj potrebná sila na jej stlačenie. Matematicky ju definujeme ako:

$$K = \frac{F}{\Delta} \quad (3.3)$$

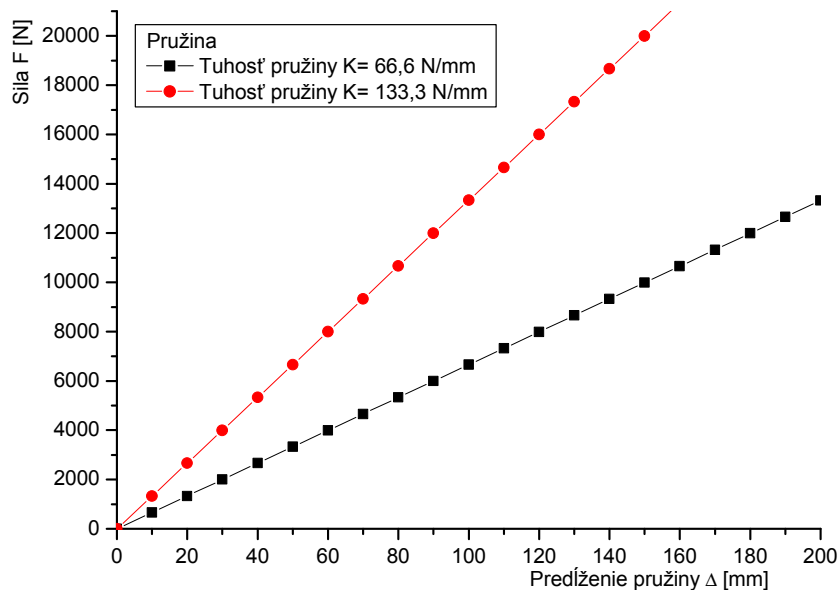
kde:

- K - tuhosť pružiny [N/mm],
- F - sila [N],
- Δ - predĺženie pružiny [mm].

Na Obr. 3-18 je znázornená tlačná helikálna pružina. Najčastejšia interpretácia závislosti deformácie pružiny od sily je lineárna rovnica definovaná vzťahom (3.3) a je znázornená na Obr. 3-19 pre rôzne tuhosti pružín. Reálne správanie pružiny vykazuje odchýlky oproti lineárnemu modelu.

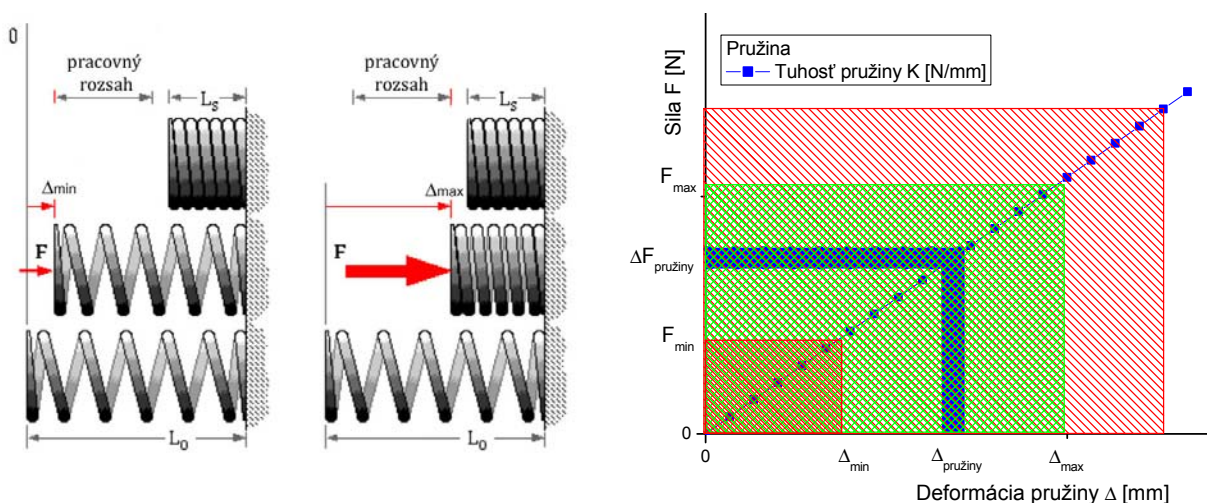


Obr. 3-18. Tlačná helikálna pružina



Obr. 3-19. Charakteristika tlačnej helikálnej pružiny. Parametrom znázornených závislostí sú rozdielne tuhosti pružín.

Na Obr. 3-20 je znázornené správanie tlačnej helikálnej pružiny pri zaťažení silou F . Pružinu môžeme stlačiť zo základnej dĺžky L_0 až po úplné stlačenie pružiny L_5 , kedy dosadá závit na závit. Reálne sa pre pracovné použitie využíva iba časť s tohto rozsahu (medzi L_0 a L_5), ktoré je na obrázku definované ako Δ_{min} až Δ_{max} a označujeme ho ako pracovný rozsah pružiny. Treba však pripomenúť, že s celkového pracovného rozsahu pružiny ktorý je definovaný silou F_{min} až F_{max} a odpovedajúcej deformácii pružiny Δ_{min} až Δ_{max} (na Obr. 3-20 znázornené ako zelené pole) sa pri pružinových závesoch a podperách využívame maximálne 25 %. (na Obr. 3-20 znázornené ako modré pole). Snahou projektanta je vybrať takú pružinu ,aby pracovala približne v strede pracovného rozsahu pružiny. Pri nepresnom návrhu sa posúva $\Delta F_{pružiny}$ pri odpovedajúcej deformácii $\Delta_{pružiny}$ do červených oblastí, ktoré spôsobia nefunkčnosť kompenzačného systému a v najhoršom prípade kolaps celej potrubnej vetvy.



Obr. 3-20. Charakteristika tlačnej helikálnej pružiny so znázornením pracovného rozsahu

Poznáme dve základné skupiny využitia pružín:

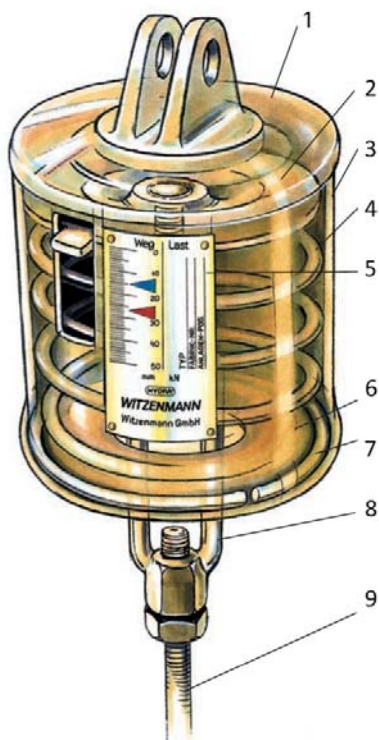
a, *Pružina s premenlivým zaťažením*. (ang. variable effort spring). Pružinová podpera (záves), označovaná tiež ako premenlivá pružinová podpera(záves) z anglického označenia "variable spring support (hanger)"
b, *Pružina s konštantným zaťažením* (ang. constant effort spring). Pružinový záves s konštantným zaťažením z anglického "constant spring hanger".

Pri použití v pružných podperách a závesoch sa používajú tlačné helikálne (špirálové) pružiny vyrobené s kruhového profilu a to buď tvárneným za tepla alebo za studena. Medzi najčastejšie materiály ktoré sa používajú pri výrobe pružín ťahaných za studena je pružinová oceľ (patentovaný drôt) 1.1200 (Ck65) podľa EN 10270-1 SH (DIN 17 223) a nerezová oceľ 1.4310 (X10CrNi188) podľa EN 10270-3.

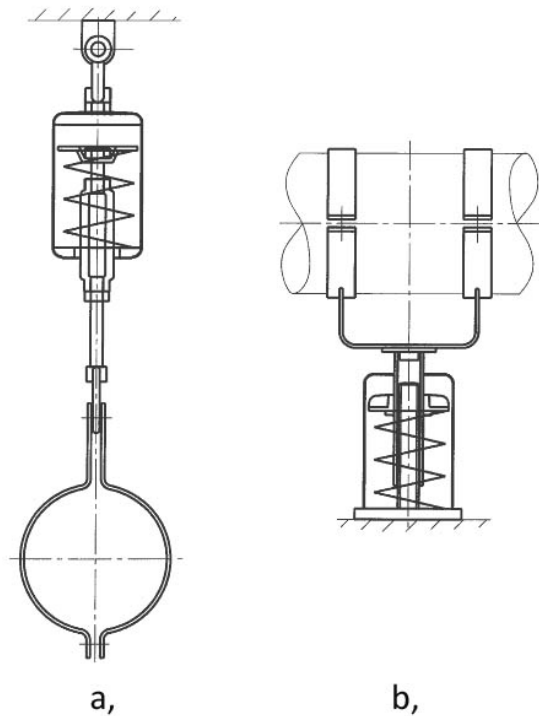
3.2.1. Pružinový záves a pružinová podpera.

Premenlivá pružinová záves (podpera) patrí medzi najbežnejšie spôsoby kompenzácie posunov potrubia. Na rozdiel od pružinového závesu s konštantným zaťažením dovoľuje väčšie návrhové nepresnosti má výrazne nižšiu cenu. Pre projektanta, platí že by ho mal vždy uprednostniť pokiaľ to daná aplikácia dovoľí. Hlavným obmedzením pre pružinový záves je maximálny vertikálny pohyb na úrovni max. 50 -75 mm v závislosti od výrobcu a maximálna premenlivosť zaťaženia do 30%.

Pružinový záves sa je znázornený na Obr. 3-21 a skladá s nasledujúcich častí . 1 – horné veko s kotviacim okom, 2- pružinový plech s horným dorazom, 3- pružinová klieťka, 4- pružina, 5- výrobný štítok s mierkou / červenou farbou sa označuje poloha za tepla, modrou za studena), 6- základový plech, 7- dolný doraz, 8- napínák 9- závitová tyč, prípadne tiahlo. Súčasťou dodávky sú aj aretačné kolík alebo iný spôsob fixovania pružiny.

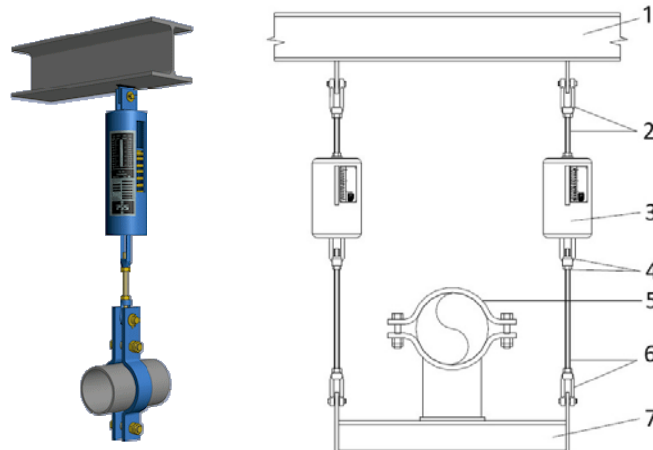


Obr. 3-21. Pružinový záves s premenlivým zaťažením od spol. Witzenmann.[50]



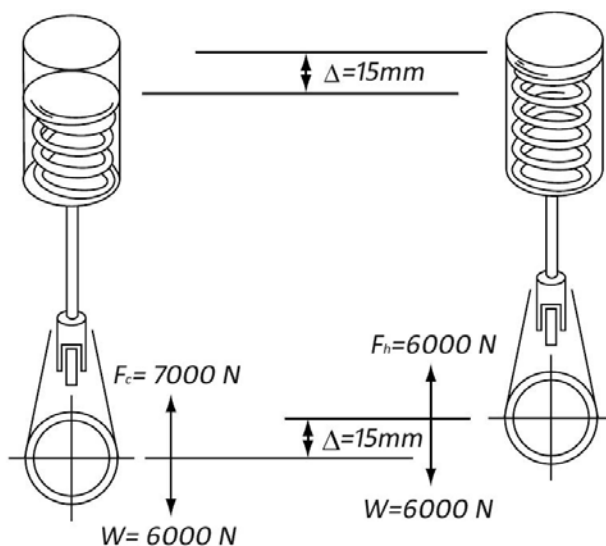
Obr. 3-22. Charakteristika tlačnej helikálnej pružiny. Parametrom znázornených závislostí sú rozdielne tuhosti pružín.

V technickej praxi sa najčastejšie stretáme s riešením s jedným pružinovým závesom Obr. 3-23/vľavo/. V prípade, že je nutné preniesť väčšie zaťaženie, pri rovnakom posunutí je možné použiť riešenie dvoch pružinových závesom spojených kotviacim nosníkom, na ktorom je prichytené potrubie cez objímku Obr. 3-23/vpravo/.



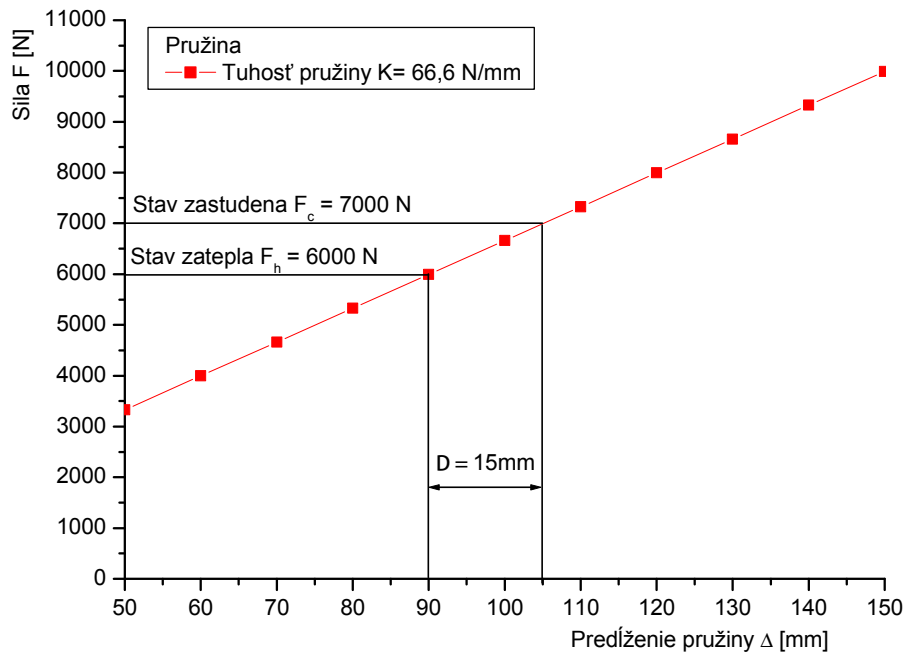
Obr. 3-23. Pružinový záves /vľavo/, dvoj- pružinový záves /vpravo/ kde je 1, oceľová konštrukcia; 2, spojovacia časť; 3, pružinový záves; 4, spojovacia časť; 5, objímka, potrubie a podpera; 6, spojovacia časť; 7, nosník.

Hlavná oblasť použitia pružiny s premenlivým zaťažením (ang. variable spring) je tam, kde je možné tolerovať zmenu prenášaného zaťaženia medzi stavom za studna (potrubie nie je v prevádzke) a za tepla (potrubie je v prevádzke). Na objasnenie bude uvedený nasledovný príklad.



Obr. 3-24. Rozdiel medzi stavom za studna (vľavo) a stavom za tepla (vpravo). Označenie (Δ - vertikálny posun potrubia smerom nahor, W - zaťaženie v danom mieste, F_h - reakcia v stave za studna, F_c - reakcia v stave za tepla.

Z pevnostnej analýzy potrubia bolo zistené, že potrebná sila v mieste umiestnenia pružného závesu je $F_h = 6000 \text{ N}$ a celkové vertikálne posunutie smerom nahor bude $\Delta = 15 \text{ mm}$. Pre tento prípad bola vybraná pružina s tuhosťou $K = 66,6 \text{ N/mm}$. (Spôsob výberu vhodnej pružiny bude uvedený neskôr). Tento príklad dokumentuje Obr. 3-24 a je z neho patrné, že pri stave za studna bude pružina prenášať väčšie zaťaženie o $\Delta F = K \cdot \Delta$ čo sa približne rovná $\sim 1000 \text{ N}$ (pružina bude viac stlačená), čo odpovedá hodnote $F_c = 7000 \text{ N}$. Po dosiahnutí prevádzkových parametrov (potrubie v tomto mieste bude stúpať a malo by dosiahnuť vypočítaných 15 mm) sa pružina odľahčí a bude prenášať iba $F_h = 6000 \text{ N}$. Zmenu zaťaženia môžeme pozorovať aj z charakteristiky pružiny na Obr. 3-25. Rozdiel zaťaženie, ktorý je v tomto prípade 1000 N pri prevádzkovom stave, sa teda musí rozdeliť na medzi ostatné kotviace prvky systému. Ako už bolo uvedené to je aj jedna z nevýhod pružinových závesov a podpier – rozdielne zaťaženie kotviacich prvkov potrubia za prevádzky a počas odstávky.



Obr. 3-25. Charakteristika tlačnej helikálnej pružiny. Rozdiel prenášanej sily pružiny pre stav za studena a za tepla.

Rozdiel medzi zaťažením za studena a za tepla označujeme ako premenlivosť zaťaženia (ang. load variation) a definujeme ho ako :

$$LV = \frac{F_c - F_h}{F_h} = \frac{\Delta \cdot K}{F_h} \cdot 100\% \quad (3.4)$$

kde:

- LV - premenlivosť zaťaženia [%],
- F_c - reakcia v stave za studena [N],
- F_h - reakcia v stave za tepla [N],
- K - tuhosť pružiny [N/mm],
- Δ - predĺženie pružiny [mm].

V technickej praxi poznáme aj tzv. maximálnu premenlivosť zaťaženia (ang. Permissible force variation), ktorá by nemala prekročiť 25 % / niektorí výrobcovia uvádzajú hodnotu až do 30 % /. Jej skutočná hodnota je závislá od reálneho potrubného systému.

Samotný výber pružinového závesu si objasníme na konkrétnom príklade. Pre rovnaké zadanie vyberieme s katalógu výrobu / napr. LISEGA/. Postupujeme nasledovne.

Pre prevádzkové zaťaženie je $F_h = 6000$ N a celkové vertikálne posunutie smerom nahor je $\Delta = 15$ mm a maximálna premenlivosť zaťaženie je 25 %. Podľa vzťahu (3.4) vypočítame hodnotu tuhosti pružiny.

$$K = \frac{PFV \cdot F_h}{\Delta} = \frac{0,25 \cdot 6000}{15} = 100 \text{ N/mm}$$

Na základe maximálnej tuhosti vyberiem s katalógu (Obr. 3-26) najbližšiu nižšiu tuhosť pružiny pre danú konštrukčnú variantu(Lisega, typ 25). V tomto prípade je to $K = 66,6 \text{ N/mm}$. S katalógu potom odčítame, pre posunutie 15mm hodnotou, ktorú prenáša pružina studena $F_c = 7000 \text{ N}$.

travel range ①					type designation														
...	...1..	...2..	...3..	...4..	...5..	21 C2 19	21 D. 19	21 1. 18	21 2. 18	21 3. 18	21 4. 18	21 5. 18	21 6. 18	21 7. 18	21 8. 18	21 9. 18			
...	29 C2 19	29 D. 19	29 1. 18	29 2. 18	29 3. 18	29 4. 18	29 5. 18	29 6. 18	29 7. 18	29 8. 18	29 9. 18			
...	...	...	...	...	...	20 D. 19	20 1. 14	20 2. 14	20 3. 14	20 4. 14	20 5. 14	20 6. 14	20 7. 14	20 8. 14	20 9. 14
spring travel [mm]					load [kN]														
0	0	0	0	0	0.04	0.12	0.41	0.83	1.66	3.33	6.66	13.33	20.00	26.66	33.33				
2.5	5	10	15	20	0.05	0.14	0.45	0.91	1.83	3.66	7.33	14.66	22.00	29.33	36.66				
5.0	10	20	30	40	0.06	0.16	0.50	1.00	2.00	4.00	8.00	16.00	24.00	32.00	40.00				
7.5	15	30	45	60	0.07	0.18	0.54	1.08	2.16	4.33	8.66	17.33	26.00	34.66	43.33				
10.0	20	40	60	80	0.08	0.20	0.58	1.16	2.33	4.66	9.33	18.66	28.00	37.33	46.66				
12.5	25	50	75	100	0.09	0.22	0.62	1.25	2.50	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00				
15.0	30	60	90	120	0.10	0.24	0.66	1.33	2.66	5.33	10.66	21.33	32.00	42.66	53.33				
17.5	35	70	105	140	0.11	0.26	0.70	1.41	2.83	5.66	11.33	22.66	34.00	45.33	56.66				
20.0	40	80	120	160	0.12	0.28	0.75	1.50	3.00	6.00	12.00	24.00	36.00	48.00	60.00				
22.5	45	90	135	180	0.13	0.30	0.79	1.58	3.16	6.33	12.66	25.33	38.00	50.66	63.33				
25.0	50	100	150	200	0.14	0.32	0.83	1.66	3.33	6.66	13.33	26.66	40.00	53.33	66.66				
27.5	55	110	165	220	0.16	0.34	0.87	1.75	3.50	7.00	14.00	28.00	42.00	56.00	70.00				
30.0	60	120	180	240	0.17	0.36	0.91	1.83	3.66	7.33	14.66	29.33	44.00	58.66	73.33				
32.5	65	130	195	260	0.18	0.38	0.95	1.91	3.83	7.66	15.33	30.66	46.00	61.33	76.66				
35.0	70	140	210	280	0.19	0.40	1.00	2.00	4.00	8.00	16.00	32.00	48.00	64.00	80.00				
37.5	75	150	225	300	0.20	0.42	1.04	2.08	4.16	8.33	16.66	33.33	50.00	66.66	83.33				
40.0	80	160	240	320	0.21	0.44	1.08	2.16	4.33	8.66	17.33	34.66	52.00	69.33	86.66				
42.5	85	170	255	340	0.22	0.46	1.12	2.25	4.50	9.00	18.00	36.00	54.00	72.00	90.00				
45.0	90	180	270	360	0.23	0.48	1.16	2.33	4.66	9.33	18.66	37.33	56.00	74.66	93.33				
47.5	95	190	285	380	0.24	0.50	1.20	2.41	4.83	9.66	19.33	38.66	58.00	77.33	96.66				
50.0	100	200	300	400	0.25	0.52	1.25	2.50	5.00	10.00	20.00	40.00	60.00	80.00	100.00				
					spring rate c [N/mm]														
										33.3	66.6	100.0	133.3	166.6					
										11.1	22.2	44.4	88.9	133.3	177.8	222.2			
					2.1	4.1	8.3	16.6	33.3	66.6	133.3	266.6	400.0	533.3	666.6				
					8.3	16.6	33.3	66.6	133.3	266.6	533.3	800.0	1066.6	1333.3					

Obr. 3-26. Katalógy pružinového závesu, Typov 20,21,25,29 od firmy LISEGA. [32]

Pre vybranú pružinu prepočítame hodnotu LV podľa vzťahu (3.4).

$$LV = \frac{\Delta \cdot K}{F_h} = \frac{15.66,6}{6000} = 0,1665 \text{ v } [\%] \text{ } 16,65\%$$

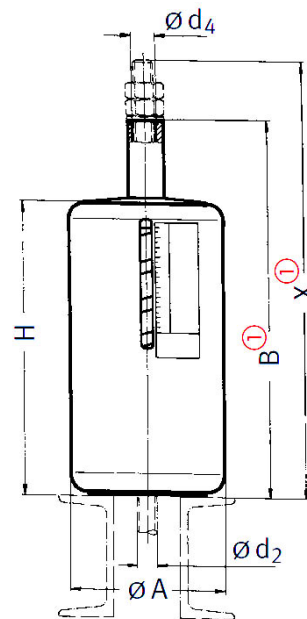
type	$\varnothing A$	B ^①	$\varnothing d_2$	$\varnothing d_4$	H	X_{max} ^①	weight [kg]
25 D2 19	90	350	M10	13	245	380	2.8
25 D3 19	90	675	M10	13	470	705	4.9
25 11 18	90	200	M12	13	145	230	2.1
25 12 18	90	350	M12	13	245	380	3.1
25 13 18	90	675	M12	13	470	705	5.5
25 21 18	115	205	M12	13	150	235	3.5
25 22 18	115	355	M12	13	250	385	5.1
25 23 18	115	665	M12	13	460	695	8.4
25 31 18	115	210	M16	18	155	250	3.7
25 32 18	115	355	M16	18	250	395	5.3
25 33 18	115	675	M16	18	470	715	8.9
25 41 18	155	230	M20	25	180	280	8.0
25 42 18	155	395	M20	25	290	445	11.5
25 43 18	155	730	M20	25	525	780	18.6
25 51 18	180	265	M24	28	215	325	14.5
25 52 18	180	405	M24	28	305	465	18.0

Obr. 3-27. Pružinový záves, Typ 25 – tabuľka rozmerov, katalóg LISEGA. [32]

Na základe zadaných a vypočítaných hodnôt vyberieme s katalógu pre konštrukčný typ 25 pružinový záves s označením 25 4X 18. Pružinový záves s rovnakou pružinou môže mať rozdielne konštrukčné prevedenie (rozdielna vzdialenosť B a X uvedená na Obr. 3-29 a v tabuľke na Obr. 3-27) vzhľadom k potrebnej montážnej vzdialenosti medzi kliečkou a kotviacou konštrukciou.



Obr. 3-28. Pružinový záves, Typ 25, katalóg LISEGA. [32]



Obr. 3-29. Pružinový záves, Typ 25 - geometrické rozmery, katalóg LISEGA. [32]

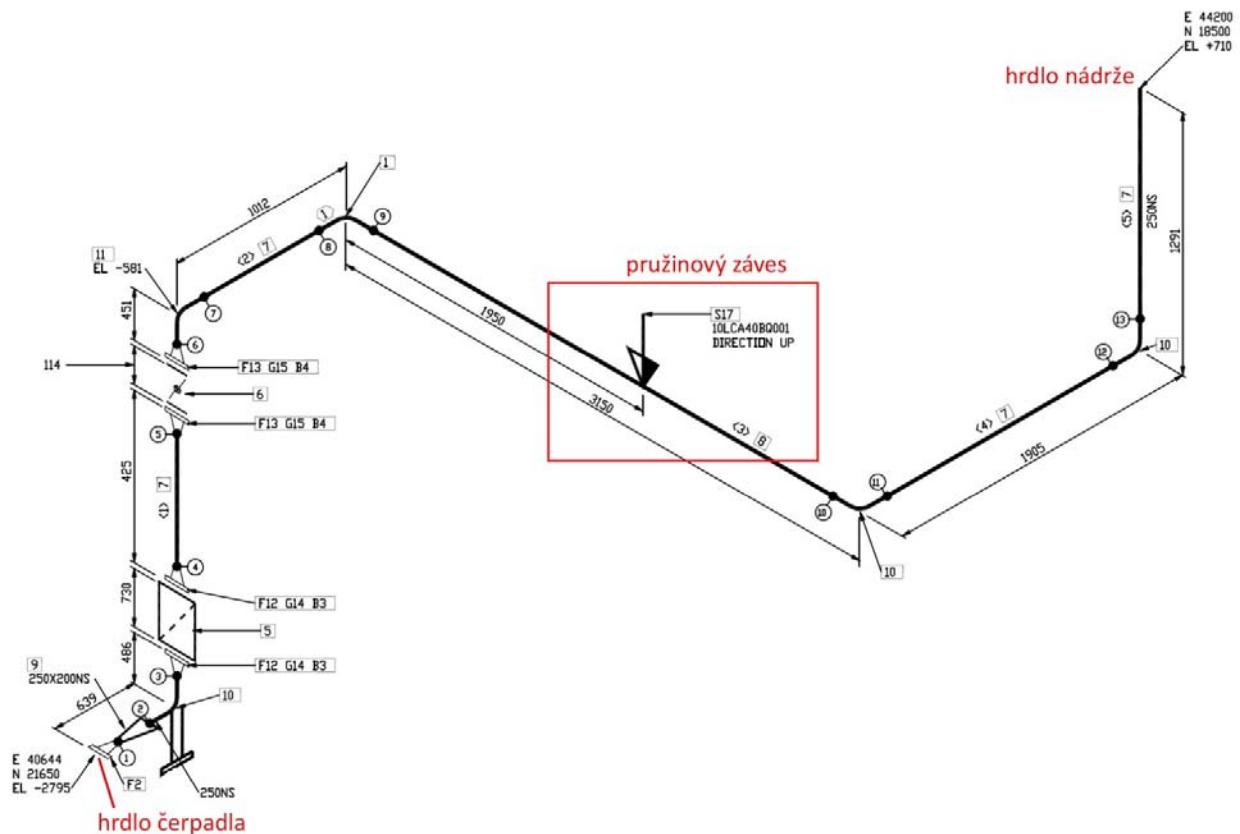
V súčasnosti sa už kompletný výpočet potrubnej trasy s návrhom pružinových podpier a závesov prebieha výučne s použitím sofistikovaných softvérov. Len v ojedinelých prípadoch sa stretne s manuálnym

prepočtom potrubnej trasy, hlavne u starších potrubárov. Pri takomto spôsobe výpočtu, kedy nevieme úplne presne určiť zaťaženie a posunutie v mieste umiestnenie pružinového prvku /záves prípadne podpera/ je praktické vybrať tento prvok pre väčšie posunutie, čím sa dajú čiastočne eliminovať problémy pri neočakávaných stavoch pri prevádzke potrubia.

CAESAR II HANGER REPORT (TABLE DATA FROM DESIGN RUNS)

NODE	NUM RQD	FIG. NO.	SIZE	VERTICAL MOVEMENT	HOT LOAD	THEORETICAL INSTALLED LOAD	ACTUAL INSTALLED LOAD	SPRING RATE	HORIZONTAL MOVEMENT
				(mm)	(N)	(N)	(N)	(N/mm)	(mm)
	<u>30</u>	<u>1</u>	<u>2142</u>	<u>16.193</u>	<u>5342.</u>	<u>6422.</u>	<u>0.</u>	<u>66.7</u>	<u>0.905</u>
	LISEGA								
	** VARIABLE SUPPORT SPRING DESIGNED MID RANGE								
	MINIMUM ALLOWED SINGLE SPRING LOAD (N) 3336.000								
	MAXIMUM ALLOWED SINGLE SPRING LOAD (N) 10008.000								
	RECOMMENDED INSTALLATION CLEARANCE (mm) <u>288.925</u>								

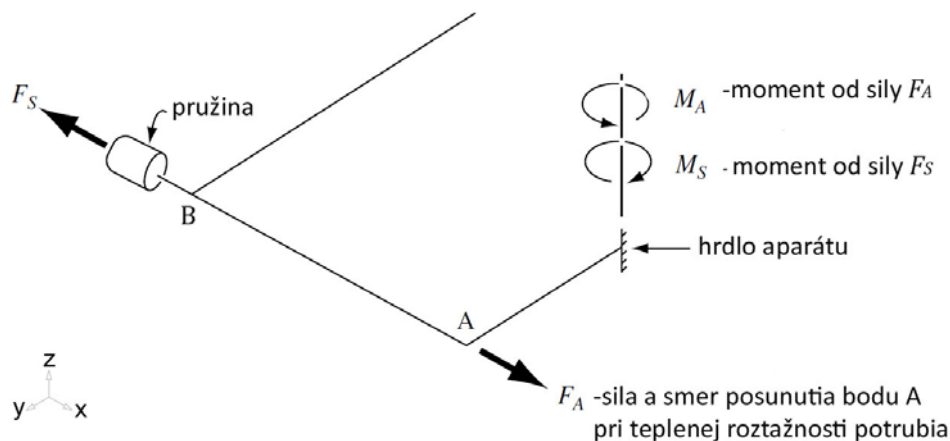
Obr. 3-30. Výstup s programu CAESAR II s uvedeným výberu pružinového závesu v mieste s označením 30. Ako už bolo uvedené v drvinej väčšine prípadov sa stretne už s výpočtom potrubia na počítačoch. Softvér obsahuje katalóg pružinových závesom popredných svetových výrobcov. Algoritmus výpočtových programov je schopný presne určiť zaťaženie a posunutie v mieste umiestnenia pružinového prvku a vybrať z katalógu daného výrobcu adekvátnu pružinu. Ako príklad je na Obr. 3-30 uvedený výstup z programu Intergraph CAESAR II, pre veľmi podobné podmienky ako boli uvedené v príklade na predchádzajúcich stranách. Vypočítané zaťaženie za tepla /HOT LOAD / je 5342 N, za studena /THEORATICAL INSTALLED LOAD/ je 6422N a vertikálny posun potrubia /VERTICAL MOVEMENT/ v smere nahor je 16,1 mm. Na základe týchto dát bola vybraný pružinový záves od spoločnosti LISEGA, s tuhosťou pružiny / SPRING RATE/ 66,7 N/mm - typ 21 / je mierne odlišný od typu 25 v spôsobe kotvenia na oceľovú konštrukciu/.



Obr. 3-31. Príklad použitia pružinového závesu.

Pružinový záves a podpera patrí medzi najčastejších kompenzačných prvokov s ktorým sa stretne. Na Obr. 3-31 je znázornené sacie potrubie odstredivého čerpadla ktoré čerpá horúcu tekutinu pri 200 °C. Vzhľadom k dispozičným možnostiam a nutnej tepelnej kompenzácii potrubia bolo nutné umiestniť v niekde na vzdialenosti 3150 mm pružinový záves. Určenie ideálnej vzdialenosti spočíva v predovšetkým v eliminácii prídavných zaťažení od potrubia na koncové body potrubia, teda na sacie hrdlo čerpadla a na hrdlo nádrže.

Okrem kompenzácie pohybu pri tepelnej rozťažnosti potrubia sa s pružinovým závesom /podperou/ stretne pri eliminácii prídavných zaťažení na hrdlá aparátov. Tento prípad je znázornený na Obr. 3-32 s ktorého je zrejmý kompenzačný účinok pružiny. Bod A sa vplyvom tepelnej rozťažnosti posunie v kladom smere X a tým bude generovať ohybový moment M_A v hrdle aparátu. Proti momentu M_A bude pôsobiť moment M_S , ktorý je vytvorený pôsobením pružiny ukotvenej v mieste B.



Obr. 3-32. Príklad použitia pružinového závesu na kompenzáciu momentu pôsobiaceho na hrdlo aparátu.

Pružinový záves sa dodáva od výrobcu so zafixovanou pružinou pomocou aretačných kolíkov. Ich odstránenie je potrebné vykonať až po hydraulikej tlakovej skúške a po inštalácii kompletného príslušenstva (objímok, strmeňov a pod.) a vykonaní ostatných operácií (izolácia, pripojenie k aparátom a zariadeniam, napojení návazných potrubí a pod.), ktoré by mohli ovplyvniť inštaláciu polohu. Po odistení všetkých pružných uložení potrubnej trasy teda všetkých pružinových závesov a podpier sa musí ukazovateľ zaťaženia – jazýček ustáliť na vyznačenom bode na mierke. (Zväčša sa jedná o modrú prípadne bielu značku a označujeme ho ako zaťaženie za studena). V prípade, že je odchýlka ukazovateľa malá (cca $\pm 15\text{mm}$) pri väčšine pružinových závesom je možnosť doregulovať polohu pomocou regulačnej matice. Ak je odchýlka príliš veľká je nutné prekontrolovať celú potrubnú trasu, a predísť vážnym problémom pri nábehu potrubia pri prevádzkových podmienkach. Po zohriatí potrubia a dosiahnutí pracovnej teploty by sa mal indikátor polohy ustáliť v pracovnej polohe (Zväčša sa jedná o červenú značku a označujeme ho ako zaťaženie za tepla), a to v závislosti od pracovného zdvihu (môže to byť hore aj dole). V prípade že sa pružina pohybuje iným smerom na aký bol navrhnutá, je nevyhnutné zistiť príčinu zmeny posuvu potrubia. Ak došlo ku chybe pri návrhu kotvenia a kompenzácie tepelnej rozťažnosti potrubia, je vysoko pravdepodobné že sa potrubný systém po zohrievaní vyvolá nežiaduce trvalé deformácia na podporných prvok (oceľové konštrukcie) ako aj na samotných kotviaciach prvkoch (tiahla, pevné body atď.). Pri najhoršom scenári môže dôjsť k state integrity a kolapse celej potrubnej trasy.

Obr. 3-33. Príklad použitia pružinového závesu na kompenzáciu momentu pôsobiaceho na hrdlo aparátu.