

# JEŽKOVÁNÍ – MODERNÍ NÁSTROJ K ÚDRŽBĚ A DIAGNOSTICE PLYNOVODŮ

Tomáš Hlincík<sup>a</sup>, Ondřej Prokeš<sup>b</sup>, Daniel Tenkrát<sup>b</sup>

<sup>a</sup>VŠCHT Praha, FTOP, Ústav plynárenství, koksochemie a ochrany ovzduší, Technická 5, 166 28 Praha 6  
e-mail: tomas.hlincik@vscht.cz

<sup>b</sup>NET4GAS, s.r.o., Na Hřebenech II 1718/8, 140 21 Praha 4

*Příspěvek přináší základní fakta a skutečnosti ohledně procesu ježkování. V článku jsou uvedeny základní metody a postupy při využití ježků v průmyslové praxi, především při údržbě plynovodů. Původní použití „ježků“ se v současné době změnilo a ježky jsou nyní využívány jako moderní nástroje sloužící k údržbě sítí. Zároveň však dodnes jsou uchovány dvě základní a původní funkce ježkování – čištění vnitřních prostor potrubí od nečistot, kondenzátů a nánosů a detekci úbytku materiálu potrubí v důsledku korozivní procesů.*

*Klíčová slova: ježek, čištění, údržba, plynovody, korozní úbytek*

Došlo 20. 2. 2012, přijato 2. 4. 2012

## 1. Úvod

Ježky (Pigs) jsou zařízení v první řadě používané k údržbě plynovodů (popř. produktovodů). Jejich prvotním účelem je tedy udržovat plynovody čisté a průchodné. V poslední době se také ježky používají k vnitřní inspekci, kde je jejich úkolem určit narušení stěny (např. v důsledku korozivních dějů) nebo určit přesnou polohu uloženého plynovodu (v zemi nebo na dně oceánů a moří, apod.).

„Pig“ je ve světě široce používaný termín pro zařízení, která se vkládají do potrubí za účelem čištění a diagnostiky. V České republice se obvykle používá označení „ježek“ nebo „prasátko“. Termín „PIG“ pochází z USA a je to zkratka pro „Pipeline Industry Gauge“.

První použití bylo pravděpodobně při zpracování surové ropy v USA nebo při čištění průmyslových vod. Tyto první „ježky“ byly vyrobeny ze zabalené slámy a ostatního drátu. Také se používaly svazky hadrů nebo kůží. Při prvních pokusech vybudovat mechanického ježka nebylo uvažováno nad možným poškozením potrubního systému. První mechanické ježky se skládaly ze škrabek z tvrdé oceli, ocelových koleček, kožených lopatek a nesly označení „GoDevil“. V některých státech jsou stále příležitostně používány [1].

Dnes existuje přes 350 typů ježků a mnoho dalších speciálních typů, které se používají v průmyslové praxi. Volba správného a optimálního ježka je silně závislá na mnoha, často zdánlivě nedůležitých, faktorech.

## 2. Typy ježků

Jak již bylo uvedeno v úvodu, existuje několik stovek typů ježků. Daný typ ježka se vždy volí podle jeho použití. Pro plynovody jsou používány ježky pro odstranění nánosů, kondenzátů, kapalných usazenin, apod.

Ježky se potom dělí do tří základních skupin podle jejich použití:

- ježky na čištění potrubí (Cleaning pigs) - pro odstraňování tuhých látek nebo pevných nečistot,
- ježky na těsnění potrubí (Sealing pigs) - pro odstraňování naakumulovaných kapalin, separace různých tekutin, jako ucpávky, odvodňování, atd.,
- inteligentní ježky (Intelligent pig nebo ILI tool) – pro in-line inspekci, pro zjištění informací o potrubní linii nebo jejím obsahu.

Ježky na čištění se často nazývají „škrabky“. Ježky na těsnění se nazývají „dávkače“ nebo vytírací ježky. „Čistící ježky“ jsou používány pro odstraňování přírodních materiálů, které se dostanou do potrubí např. při opravách nebo výstavbě potrubních linií. Patří sem různé množství sedimentů, úsad a jiných látek, které snižují průtočný profil a tím redukuje výkon produktovodu. Obdobné použití je u těsnících ježků.

Typické použití ježků v praxi je:

- odstraňování kondenzátů/kapalin z plynových linií.
- separace různých tekutin v liniích,
- linie naplněné po předchozím testování tlaku,
- odvodňování po tlakové zkoušce,
- uvedení do provozu (separace metanolu a dusíku),
- vnitřní nátěry in-situ,
- odstraňování produktů po odstávce plynovodu.

Ježky jsou dodávány ve čtyřech rozdílných formách:

1. Vřetenové (trnové) (Mandrel pigs) - skládají se z několika dílčích částí, které umožňují výměnu za jiné.
2. Pěnové (Foam pigs) - jsou lisováním polyuretanu do různých konfigurací, např. s trny, s drátěnými štetinami, apod.

3. Odlité (Solid cast pigs) - jsou lisovány v jednom kuse, obvykle z polyuretanu. Tyto ježky se vyrábějí hlavně v menších velikostech.

4. Kulovité (Spheres) – obvykle bývají naplněny vodou/glykolem. Tyto ježky mohou být nafouknuty do velikosti průměru potrubí [1].

### 2.1. Ježky na čištění (Mandrel cleaning pigs)

Ježky na čištění potrubí jsou vyráběny z několika částí (talířů), které jsou namontovány na tělo (osu) tak, že umožňují snadnou výměnu. Talíř tvoří hlavní součást, umožňuje pohyb v potrubí, nebo obsahuje čisticí elementy, které zajišťují seškrabování nebo otěr stěny potrubí. Čisticí elementy mohou být namontované na pružinách. Jednotlivé části ježka jsou často oddělovány mezikusy.

Obecně mají ježky o velikosti od 150 mm a větší připevněny čisticí prvky na pružinách, aby byl zajištěn dostatečný kontakt se stěnou potrubí.



Obr. 1 Ježek na čištění potrubí s kartáči [2]

Ježky menší než 150 mm obvykle mají čisticí prvky kotoučové. Nemají umístěné prostředky pro kompenzaci opotřebování.

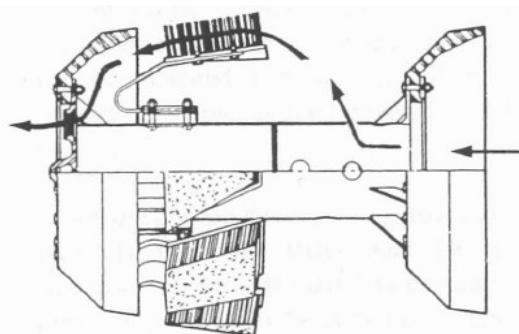
Někdy se používají univerzální ježky navrhované pro čištění různých typů potrubí. Jsou rozděleny do dvou částí. Každá část má jiný průměr. Navzájem jsou spojeny pružinou, viz obrázek 2.



Obr. 2 Univerzální ježek na čištění [2]

### 2.2. Ježky na těsnění potrubí (Mandrel sealing pigs)

Ježky na těsnění potrubí jsou podobné ježkům na čištění, ale jsou bez čisticích prvků. Mnoho faktorů, které ovlivňují čisticí ježky, působí také na těsnící ježky. U nich je velice důležitý rozestup jednotlivých těsnění. Ježky na čištění potřebují k pohybu dostatečný diferenciální tlak. Dále dochází v bodě kontaktu s potrubím k malým únikům plynu nebo výrobcem vytvořeným by-pasům (viz obrázek 3), které pohybu také pomáhají. Oproti tomu ježky na těsnění využívají pouze efektu těsnění a to určuje jak typ, tak rozestup těsnících elementů.

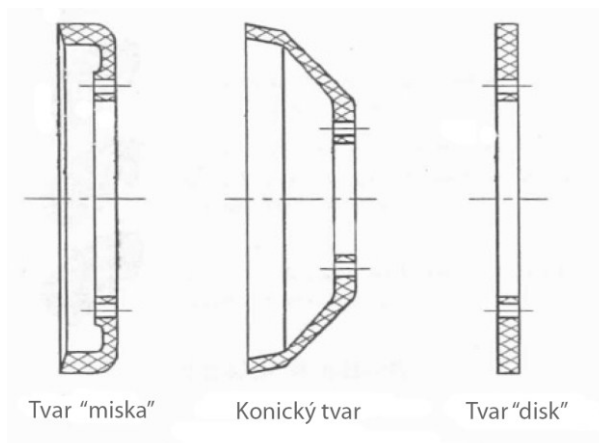


Obr. 3 Únik plynu by-pasem u ježka na čištění [1]

Ježky na těsnění mohou nést několik typů těsnění (talířů), které rozdělujeme do tří základních typů:

1. „Miska“ – těsnění bylo používáno jako první. Tento typ byl odvozen od těsnění, které bylo používáno u hydraulického pístu.
2. „Konické“ – těsnění používané u prvních inteligentních ježků (ILI).
3. „Disk“ – těsnění používané u obousměrných ježků.

Pro plynovod s malými ohyby se používají krátké ježky, utěsnění mohou být umístěna blízko u sebe. Delší ježky mohou mít těsnění umístěna v rovnoměrných vzdálenostech nebo mohou mít těsnění umístěna na každém konci blíže u sebe.



Tvar "miska"

Konický tvar

Tvar "disk"

Obr. 4 Typy utěsnění [1]



Obr. 5 Těsnící ježek [3]

### 2.3. Pěnové ježky (Foam pigs)

Tento typ je v zahraničí označován také „Polly-pigs“. Tyto ježky se vyznačují nízkou pořizovací cenou, nulovou údržbou a při jejich použití je minimální možnost uvíznutí v plynovodu. Vyrábí se z plastických hmot (zvláště z polyuretanu), které mají vysokou odolnost proti mechanickým a chemickým vlivům. Materiál těchto ježků má hustotu od  $32 \text{ kg/m}^3$  do  $128 \text{ kg/m}^3$  (čím vyšší je hustota, tím větší je životnost ježka).

Ježky používané jako těsnící ježky mají tenký polyuretanový povrch. Mají cylindrický tvar, aby byl zajištěn kontakt se stěnou potrubím po celé jejich délce.

Ježky používané jako čistící mají povrch spirálovitý nebo jsou na povrchu umístěny pásy. Povrch mají pokrytý abrazivním materiálem jako je síťka nebo karbid křemíku.

Výhody pěnových ježků:

- nízká pořizovací cena,
- velmi flexibilní, při průchodu potrubím,
- jednoduché vložení do potrubí, není potřeba mít zařízení na záchyt ježků,
- při zaseknutí v potrubí je snadno nahrazen.

*Nevýhody:*

- nižší efektivnost při čištění oproti ostatním typům ježků
- nízká životnost oproti jiným ježkům.



Obr. 6 Pěnové ježky [2]

### 2.4. Odlité ježky (Solid cast pigs)

Tento typ ježků je obvykle vyráběn z polyuretanu. Byly dlouhou dobu používány jako těsnící ježky.

Nicméně poslední dobou se velkou měrou začínají používat i jako čistící ježky. Nevýhodou je ovšem vysoká cena jednotlivých částí. Přesto je jedním z neefektivnějších ježků. Je často vyráběn v malých velikostech. Používá se hlavně na potrubí menších průměrů, které není dlouhé.



Obr. 7 Odlévaný ježek [1]



Obr. 8 Odlitý ježek s čistícím prvkem [1]

### 2.5. Sférické ježky (Spheres)

Sférické ježky jsou obvykle používány jako těsnící. Při použití tohoto typu ježků musí být potrubní linie naprosto průchozí bez jakýchkoliv překážek.

Mohou snadno procházet velmi krátkými ohyby v potrubí a zároveň mohou být používány s jinými ježky. Další jejich výhodou je, že při různých průměrech potrubní linie se může kulovitý ježek nafouknout nebo vyfouknout do ideálního tvaru. Jejich tvar je ideální pro použití v automatických systémech a velmi často se používají při odstraňování kondenzátů z potrubí.



Obr. 9 Sférické ježky [1]



Vyrábí se většinou z polyuretanu, protože má vyšší odolnost proti abrazi a pevnost než jiné elastomery. Má výbornou odolnost proti uhlovodíkům. Vyrábějí se ale i z neoprenu nebo nitrilové gumy. Tyto materiály mají však nižší chemickou odolnost a abrazivnost.

Sférické ježky větších velikostí jsou plněny obvykle vodou nebo směsí glykolů. Dále jsou vybaveny systémem ventilů. V případě změny průměru potrubí je možno část tekutiny odpustit nebo připustit plyn.

### 3. Inteligentní ježky (inspekce in-line)

Intelligentní ježky představují kvalitativně jiné použití ježků, nežli jsme dosud uváděli. Výše uvedené ježky byly vždy používány s cílovým zaměřením na vnitřní prostor plynovodu nebo produktovodu, ať již se jedná o provozní úkony nebo běžnou údržbu. Oproti tomu inteligentní ježky jsou využívány za účelem získání informací o vlastním technickém stavu plynovodu nebo produktovodu. Poté hovoříme o inspekci plynovodů.

Inspekce potrubí in-line (přímé) se provádí pomocí „intelligentních ježků“ někdy souhrnně označovaných jako ILI (in-line-inspection) tools. Ty poskytují důležité informace o potrubní linii a o potrubí samotném. Dokážou jak měřit, tak zaznamenávat různé veličiny do vnitřního systému, přičemž zároveň pomocí lokátoru jsou schopny určit konkrétní místa anomálií. Informace z inteligentních ježků jsou pak dále analyzovány a vyhodnocovány.

Dva hlavní požadavky na inteligentní ježky jsou:

- měření „ztrácení kovu“ - zahrnuje nejčastěji korozní úbytek,
- měření geometrie.

Dále jsou i využívány pro [4]:

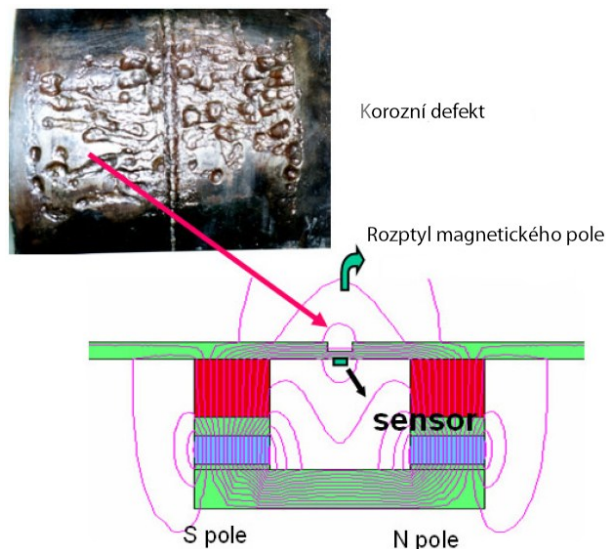
- detekci trhlin,
- mapování nebo monitoring profilu,
- detekci úniků,
- měření ohybů, oblouků v potrubní linii,
- inspekci videokamerou,
- vzorkování produktu,
- měření nárůstu nánosů.

#### 3.1. Základní používané technologie

##### 3.1.1 Rozptyl magnetického pole

Jedná se o tzv. MFL (Magnetic flux leakage) ježky využívající magnetické nedestruktivní testování ocelových trub. Při měření rozptylu magnetického pole je používán magnet podobný „koňské podkově“ a dále magnetický senzor s Hallovým efektem, který je umístěn mezi póly magnetu. Pokud chceme měřit magnetický rozptyl ve všech 3 rovinách, je nutno použít třech vhodně orientovaných detektorů (vysokorozlišovací MFL). V případě, že magnetické pole proudí přes senzor, znamená to narušení materiálu (viz obrázek 10). Jednoduchá zařízení MFL jsou opatřena dvěma magnety prstencového tvaru s oddělenými prostory. Magnety mají opačné póly k indukovaní magnetického pole.

Senzor detekuje jakýkoliv rozptyl magnetického pole, které může značit úbytek materiálu v potrubní stěně. Maximální rychlost při měření pomocí MFL je obvykle 4 m/s. Vysokorozlišovací MFL je schopna sbírat data každé 2 mm podél osy potrubí.



Obr. 10 Princip MFL [5]

Ačkoli jsou MFL ježky primárně určeny pro detekci korozních úbytků materiálu, mohou být detekovány další vady materiálu, jako např. vruby a záhyby. MFL je však nevhodné k identifikaci trhlin ve stěně potrubí. Rovněž pro přesnou lokaci defektu (vnitřní nebo vnější povrch) je potřeba využít další metody (ART - viz kap. 3.1.2 - nebo Foucaultovy proudy).

##### 3.1.2 Ultrazvuk (UT)

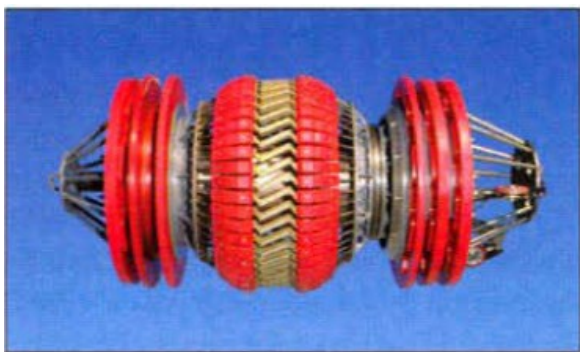
Princip ultrazvukové metody je založen na vysílání vysokofrekvenční zvukové vlny směrem ke stěně trubky a následný záznam ozvěn. Pokud je zvuková vlna vyslána ke stěně potrubí v kolmém směru, může docházet k různým odrazům. Dva nejdůležitější odrazy jsou od vnitřní stěny potrubí a od vnější strany potrubí.



Obr. 11 Ježek používaný při MFL [1]

Další odrazy zvukových vln jsou způsobeny výskytem vady materiálu na vnitřní straně potrubí. Samotný význam měření ultrazvukové ozvěny je velmi jednoduchý. Čas mezi ozvěnou od vnitřní stěny potrubí a vnější strany potrubí je přímo úměrný vzdálenosti mezi vnitřní a vnější stěnou potrubí, tedy tloušťce stěny. Pokud se zmenší stěna potrubí, dojde ke snížení časového intervalu. Na základě měření časového intervalu můžeme přesně určit hloubku koroze (ztrátu materiálu) na vnitřní nebo vnější straně potrubí.

Výhodou použití ultrazvukové metody oproti metodě MFL je v prvé řadě možnost přímého vyhodnocení tloušťky stěny. Nevýhodou je vyšší nepřesnost měření, protože chyby měření jsou vyjádřeny v jednotkách délky, ne v procentech. Metoda MFL v porovnání s metodou ultrazvuku má výhodu v kvalitě přijímaného signálu a možnosti rozeznat druhy koroze [8].



Obr. 12 Ultrazvukový oboustranný ježek [6]

#### ART (Acoustic Resonance Technology)

Je ultrazvukovou metodou, která se v posledních letech začíná objevovat u inteligentních ježků. ART využívá efekt rozeznání materiálu na jeho rezonančních frekvencích a ze znalosti rychlosti šíření zvuku v daném materiálu je možné použitím vhodných detektorů a vyhodnocovacích metod (např. rychlou Fourierovou transformací) stanovit tloušťku materiálu. [9]

Hlavní výhody ART oproti klasickému ultrazvuku jsou:

- použití nižších frekvencí,
- efektivní fungování v plynném prostředí, nepotřebuje kapalně prostředí pro šíření vln (vhodné pro plynovody),
- možnost využití pro vícevrstvé materiály (včetně izolace),
- možnost procházet povrchovými nátěry a ochrannými povlaky,
- identifikace vnitřního i vnějšího úbytku materiálu,
- identifikace trhlin a vměstků v materiálu.

#### 3.1.3 Elektromechanická technologie

Změna vnitřního průměru se měří pomocí kontaktu, např. koleček, kluzných lyží, apod., po stěně potrubí. Tyto součásti jsou nasazeny na vnitřní stranu jednoho z

talířů. Jakákoliv změna průměru způsobuje vychýlení. Tento pohyb se mechanicky přenáší na středovou tyč ježka, kde dochází k převodu na elektronický signál.



Obr. 13 Elektromechanický ježek na měření geometrie potrubí [7]

#### 3.1.4 Foucaultovy proudy

Foucaultovy proudy, nebo také metoda vířivých proudů, je další z nedestruktivních testovacích metod, kterou využívají speciální typy ježků. Metoda využívá vhodně orientované cívky buzené střídavým proudem, které pomocí svého magnetického pole vyvolají vznik proudu v testovaném materiálu. Tento pak vyvolá magnetické pole působící proti poli, které je vyvolalo. Použití této metody je ideální, v závislosti na typu použitého snímání (absolutní, diferenční nebo reflexní), pro měření geometrie potrubní linie, detekci povrchových i podpovrchových trhlin či koroze, a to i pod nevodivými vrstvami (izolace, nátěr).



Obr. 14 Inteligentní ježek využívající Foucaultův proud [8]

## 4. Závěr

Ježkování patří k nedílné součásti údržby v moderních potrubních soustavách. Dnešní technologie používané inteligentními ježky umožňují zjistit kompletní diagnostiku celé potrubní linie bez přerušení provozu. Z těchto zjištěných údajů lze provádět případné úpravy a opravy na potrubí. Při kontrole potrubních linií umístěných na dně moří není jiná možnost než použití ježka při kontrole a údržbě.

## Literatura

1. Cordell J., Vazant H.: All about pigging, On-Stream Systems Limited and Hershel Vazant & Associates, 1995.
2. Pipeline cleaning pig product. T.D. Williamson. <http://www.tdwilliamson.com/EN/PRODUCTS/PIGGINGPRODUCTS/Pages/Home.aspx> (staženo: 6. únor, 2012).
3. Madrel pigs. Girard Industries. <http://www.girardindustries.com/products.cfm?cat=10> (staženo: 6. únor, 2012).
4. Tiratsoo J.: Pipeline, pigging & integrity technology (third edition), Scientific Surveys Ltd and Clarion Technical Publishers, 2003.
5. MFL Principle. Kogas. <http://www.kogas.re.kr/eng> (staženo: 12. listopad, 2008).
6. Kol. autorů. Trends in pipeline pigging. *Pipeline and Gas Technology* 2005, 4-5, s. 40–45.
7. Pigging. California Department of Forestry and Fire Protection. <http://osfm.fire.ca.gov/pipeline/pdf/conference/inlineninspection.pdf> (staženo: 6. únor, 2012).
8. *Improvements in Pigging Technology*, 17th Colloquium, Prague, Safety and Reliability of Pipelines; Ehrhardt, J., 2008.
9. Bubenik, T.; et al. Introduction to Smart Pigging in Natural Gas Pipelines; Gas Research Institute, 2000. [http://www.cycla.com/opsiswc/docs/s8/p0054/IMPGas\\_GRI000247.pdf](http://www.cycla.com/opsiswc/docs/s8/p0054/IMPGas_GRI000247.pdf) (staženo: 9. leden, 2012).

## Summary

<sup>a</sup>Tomáš Hlinčík, <sup>b</sup>Ondřej Prokeš,  
<sup>b</sup>Daniel Tenkrat

<sup>a</sup>*Institute of Chemical Technology, Prague, Faculty of Environmental Technology, Department of Gas, Coke, and Air Protection*

<sup>b</sup>*NET4GAS, Ltd.*

### ***Pigging – modern tool for the pipeline maintenance and diagnostic***

The article sumps up the basic facts and information about the process of pigging. Thereinafter the fundamental methods and processes of using the pigs in the praxis, firstly for the maintenance of pipeline, are presented in this paper. The originally using of pigs has been changed and nowadays pigs are used as a modern tool for the service of steel pipeline nets. Two fundamental and authentic functionality of pigging are still kept – cleaning the internal parts of pipeline from solid and fluid impurities and detection the decrease of pipe thickness according to the corrosion