Plnicí standardy vodíkové stanice z pohledu bezpečnosti

XII. konference Doprava, zdraví a životní prostředí, Lednice, 22.–23. září 2026

Roman Smutný, Bronislav Vahalík, Vojtěch Přikryl

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

T A
Č R

Program **Národní centra kompetence**

Tato prezentace je založena na výsledcích dosažených v rámci dílčího projektu **DP008: Ekosystém plnění vodíku rychlostí přesahující 60 g H2/s**, který je součástí **Národního centra vodíkové mobility**

Tento projekt je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu Národního centra kompetence
www.tacr.cz

Proč je rychlost plnění téma

- Vodík má být tankovatelný srovnatelně rychle jako kapalná paliva, na rozdíl od dobíjení baterie.
- U osobních vozidel jde o komfort, u nákladní dopravy a MHD o ekonomiku provozu.
- Řidič nákladního vozidla má zákonem omezenou pracovní dobu, každá minuta u stojanu snižuje produktivitu.
- Rychlé plnění ale není technicky samozřejmé, naráží na fyzikální překážku.

Na co rychlé plnění naráží

- Kompresní teplo je hlavní příčinou, vzniká prací konanou na plyn, který už v nádrži je.
- Jouleův-Thomsonův jev působí při škrcení v armaturách a plnicí spojce.
- Vodík se na rozdíl od většiny plynů při škrcení neochlazuje, ale zahřívá, protože má záporný Jouleův-Thomsonův koeficient.
- Oba mechanismy působí současně a jejich intenzita roste s rychlostí plnění.

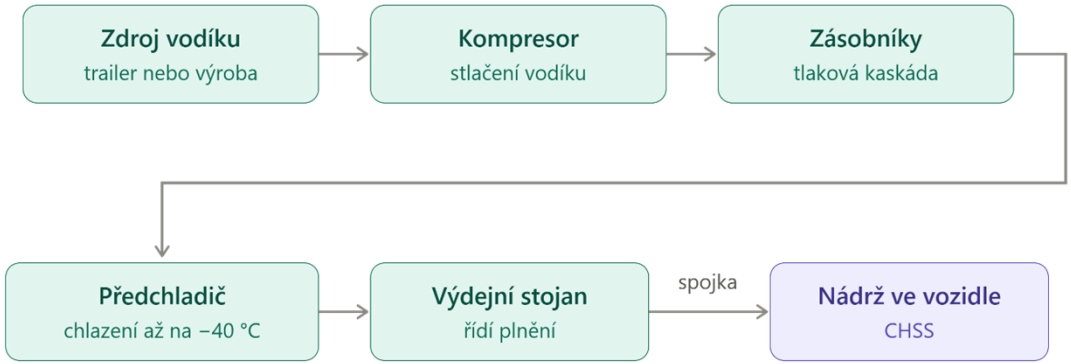
Plnicí stanice

Zdroj vodíku, kompresor, kaskáda vysokotlakých zásobníků, předchladič, výdejní stojan a spojka.

Předchlazení až na −40 °C je pro rychlé plnění klíčové.

Bezpečnostní prvky: detekce úniku, pojistné ventily, nouzové odpojení, bezpečnostní vzdálenosti.

Požadavky na stanice řeší ISO 19880-1, plnicí protokoly SAE.



Soubor norem SAE pro vodíkové plnění

Norma	Rozsah	Status
J2579	palivový systém ve vozidle (CHSS)	Standard
J2601	osobní vozidla, do 60 g/s	Standard
J2601-2	těžká vozidla, nad 10 kg	Stabilizovaná
J2601-3	průmyslové vozíky H25/H35	TIR
J2601-4	plnění bez předchlazení	TIR
J2601-5	těžká vozidla, 60 až 300 g/s	TIR
J2799	komunikace vozidlo–stanice (IrDA)	Standard

Co musí protokol ohlídat

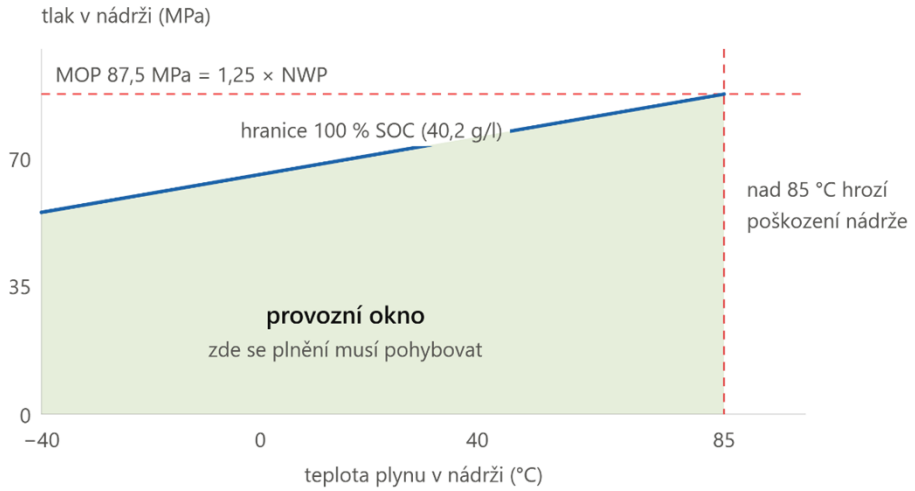
Teplota plynu v CHSS nesmí překročit 85 °C, a to v žádném okamžiku plnění.

Tlak nesmí překročit MOP, tedy 1,25 × NWP; při překročení stanice plnění ukončí.

Vyšší hranice MAWP, tedy 1,38 × NWP, už odpovídá zásahu pojistek.

Stav naplnění nesmí přesáhnout 100 %, cílem je 95 až 100 %.

Hmotnostní průtok nesmí překročit limit daného protokolu.



SAE J2601: vstupy plnicího protokolu

- Teplotní kategorie stanice podle teploty vydávaného vodíku: T40, T30 a T20.
- Kategorie CHSS podle objemu nádrže: A až C (H70 má i D), od 49,7 l až po 248,6 l.
- Počáteční tlak v nádrži a teplota okolí.
- Řízenou veličinou je APRR, tedy průměrná rychlost nárůstu tlaku.

Dvě metody řízení plnění

Tabulková metoda

Parametry plnění jsou předem vypočtené v tabulkách normy.

Vstupy: kategorie stanice, kategorie CHSS, počáteční tlak, teplota okolí.

Plnění probíhá konstantní rychlostí nárůstu tlaku.

MC Formula

Cílový tlak i rychlost nárůstu se počítají průběžně, každou sekundu.

Vychází z termodynamického modelu nádrže jako jednoho tělesa.

Nepotřebuje rezervu na nejnepříznivější případ, plní blíže k limitu.

Obě metody lze provozovat s komunikací i bez ní. Liší se cílový tlak na konci plnění, a tím dosažený stav naplnění.

Tlakový koridor

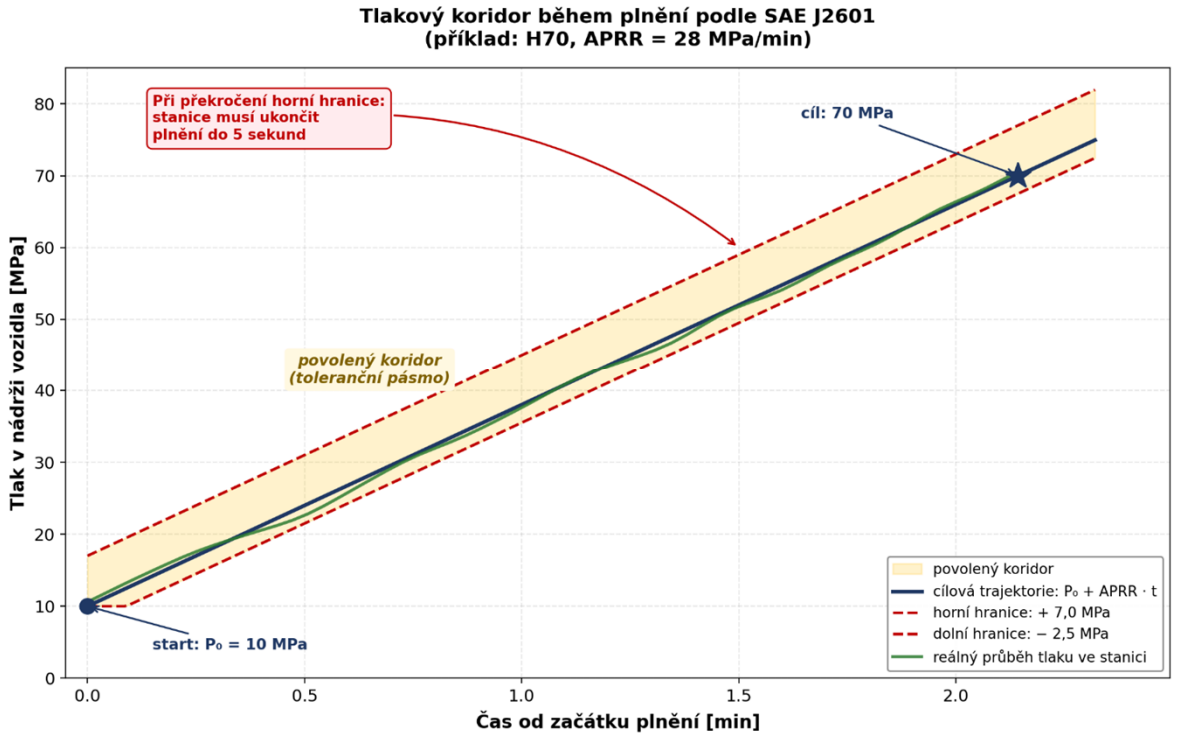
Cílová trajektorie tlaku vychází z počátečního tlaku a APRR.

Toleranční pásmo je +7,0 a −2,5 MPa.

Při překročení horní meze se stanice musí do 5 sekund vrátit, nebo plnění ukončit.

Při poklesu pod dolní mez má na návrat 15 sekund.

Plánovaná pauza se do doby plnění nezapočítává.



SAE J2601-5 pro těžká vozidla

- Obsahuje dva protokoly: Category D HF a dynamický MCF-HF-G.
- Průtokové třídy FM60, FM90, FM120 a FM300; nejvyšší průtok 300 g/s je pětinásobkem J2601.
- Třída H35 pokrývá 248,6 až 7 500 litrů, třída H70 248,6 až 5 000 litrů.
- Přidává teplejší kategorie pro depa bez hlubokého předchlazení; plnění je pomalejší, bezpečnostní limity zůstávají stejné.
- Vydána jako Technical Information Report, aktuální revize z února 2025.

Nové bezpečnostní mechanismy v J2601-5

- FTI rozlišuje aktivní plnění a plánovanou pauzu, například při přepínání zásobníků.
- Minimální hmotnostní průtok od 1,25 do 10 g/s podle objemu nádrže; při poklesu na déle než 10 sekund stanice plnění ukončí.

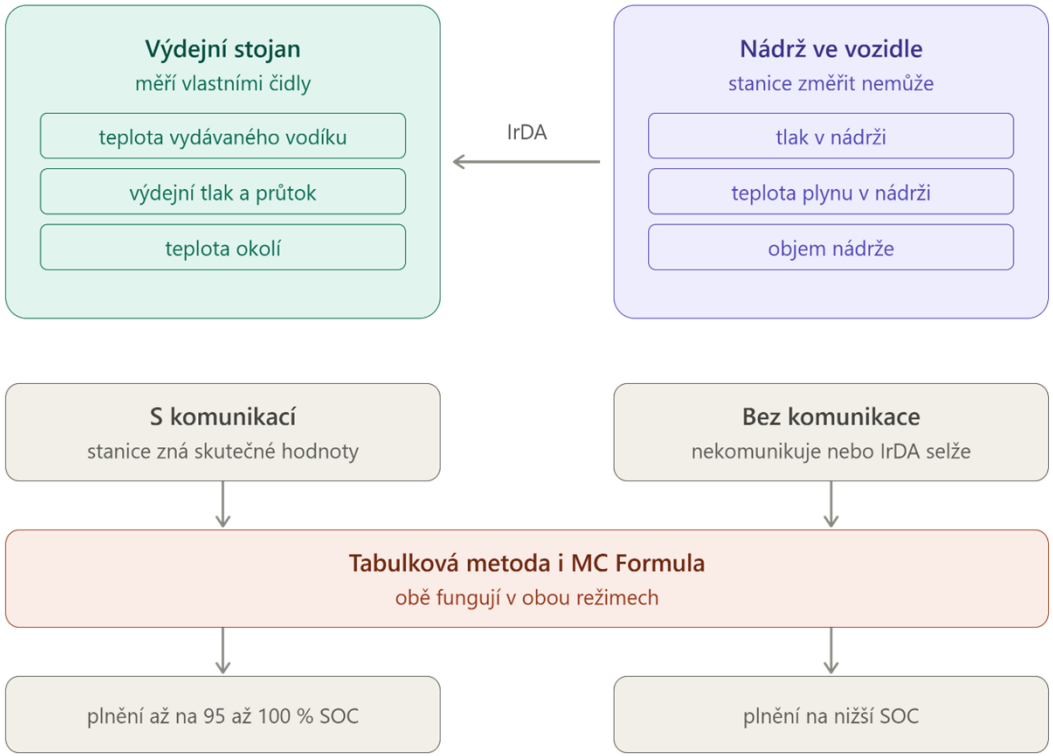
Role komunikace

Přenos podle SAE J2799 je jednosměrný, z vozidla do stanice.

Vozidlo hlásí tlak a teplotu plynu v nádrži, objem CHSS, tlakovou třídu a plnicí povel.

IrDA není klasifikována podle ASIL ani SIL, odpovědnost zůstává na stanici.

Při ztrátě komunikace stanice plnění ukončí do 5 sekund, nebo pokračuje nekomunikačně.



Co když …

- Tlak vybočí z koridoru: návrat do 5 sekund, jinak ukončení plnění; při poklesu pod dolní mez 15 sekund.
- Ztratí se komunikace s vozidlem: ukončení do 5 sekund, nebo pokračování v nekomunikačním režimu na nižší SOC.
- Vozidlo vyšle povel Abort: stanice plnění ukončí do 5 sekund, i když ostatní data nedorazila.
- Průtok klesne pod minimum: po 10 sekundách stanice plnění ukončí.
- Tlak dosáhne MAWP: zasahují mechanické pojistky nezávisle na řídicí elektronice.

Závěr

- Bezpečnost rychlého plnění nezajišťuje jeden prvek, ale vrstvy: limity nádrže, plnicí protokol, tlakový koridor, komunikace a mechanické pojistky.
- SAE J2601 zavedla základní principy, SAE J2601-5 je rozšiřuje na těžká vozidla a průtoky do 300 g/s.
- Komunikace podle SAE J2799 není podmínkou funkčnosti protokolů, ale podmínkou jejich plného výkonu.
- Plnicí protokoly zajišťují kompatibilitu vozidel a stanic.

CENTRUM DOPRAVNÍHO VÝZKUMU

Děkuji za pozornost

Roman Smutný

roman.smutny@cdv.gov.cz

telefon: +420 541 641 711
Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.
Líšeňská 33a, 636 00 Brno
cdv.gov.cz

Příspěvek vznikl v rámci projektu TN02000007 Národní centrum vodíkové mobility, financovaného Technologickou agenturou ČR v Programu Národních center kompetence.