T A
Č R

Program **Národní centra kompetence**

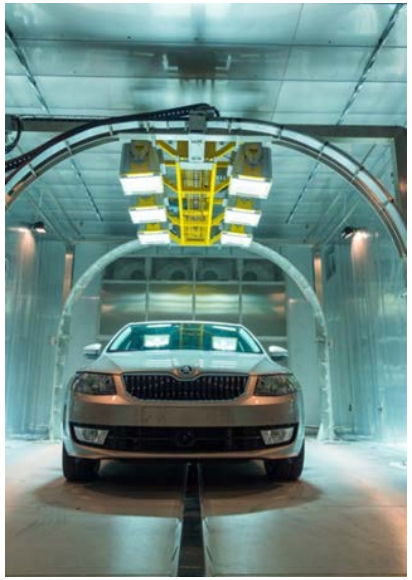
Tento projekt je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu Národního centra kompetence

www.tacr.cz

DP006: PROVOS (PROvozní aspekty VOdíkových plnicích Stanic)



Zapojení partneři:



VUT v Brně Fakulta strojního inženýrství



APT



Centrum dopravního výzkumu

DP006: PROVOS

Pracovní balíčky:

WP1: Bezpečnost provozu plnicích vodíkových stanic

WP2: Změny stavu vodíku ve vodíkových plnicích stanicích

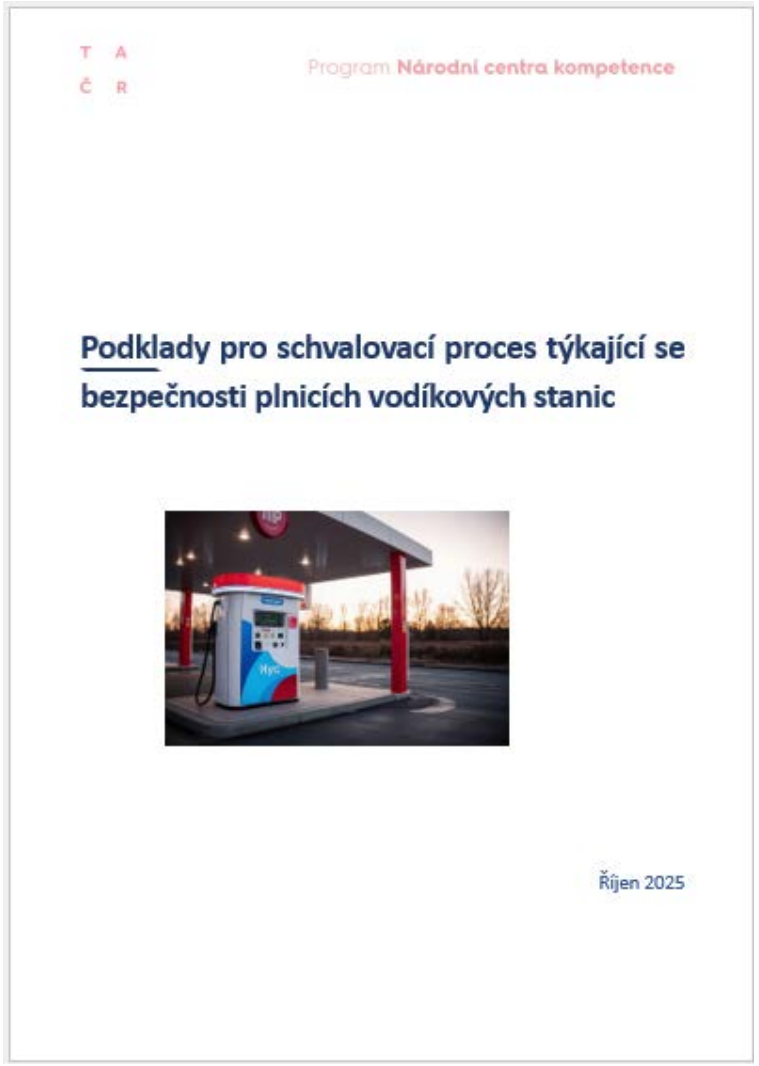
WP3: Chování materiálů při dlouhodobém kontaktu s vodíkem

Celková doba řešení – od 9/2023 do 12/2026 (40 měsíců)

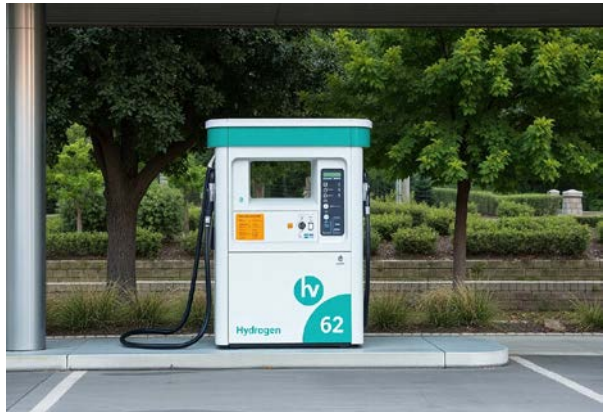
Plánované výsledky dílčího projektu

Výsledek (Id. číslo)	Název	Typ	Termín
TN02000007/006-V01	Podklady pro schvalovací proces týkající se bezpečnosti plnicích vodíkových stanic.	O	12/2025
TN02000007/006-V02	Software pro predikci množství uniklého vodíku v čase	R	6/2026
TN02000007/006-V03	Komplexní 1D výpočetní model plnicí vodíkové stanice pro optimalizaci a ověřování koncepce a konstrukce.	O	6/2025
TN02000007/006-V04	Ověřovací provoz modelu plnicí stanice jako digitálního dvojčete skutečné plnicí stanice	O	6/2026
TN02000007/006-V05	Podklady pro volbu vhodného materiálu těsnění a 3D tištěných komponent	O	12/2025
TN02000007/006-V06	Funkční vzorek 3D tištěné vodíkové armatury	Gfunk	12/2026
TN02000007/006-V07	Počítačový model zařízení pro testování komponent pro rychlé plnění vozidel vodíkem	O	6/2025

WP1 Podklady pro schvalovací proces týkající se bezpečnosti



- Zapracována recenze HZS.
- Rozsah materiálu 53 stran.
- Vykázáno do RIV.

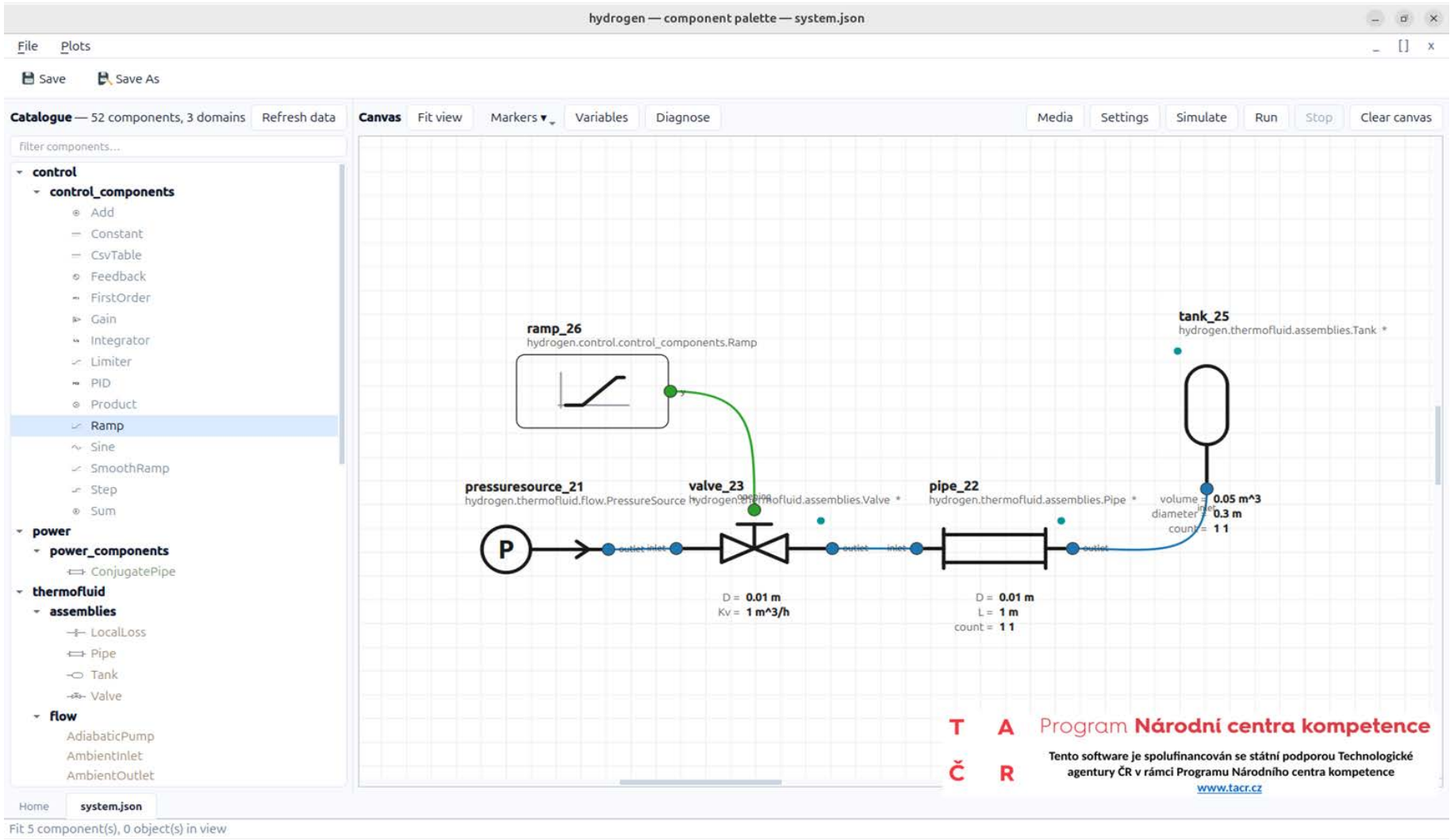


PODKLADY PRO SCHVALOVACÍ PROCES TÝKAJÍCÍ SE BEZPEČNOSTI PLNICÍCH VODÍKOVÝCH STANIC (2025)

VÝSKYT VÝSLEDKU

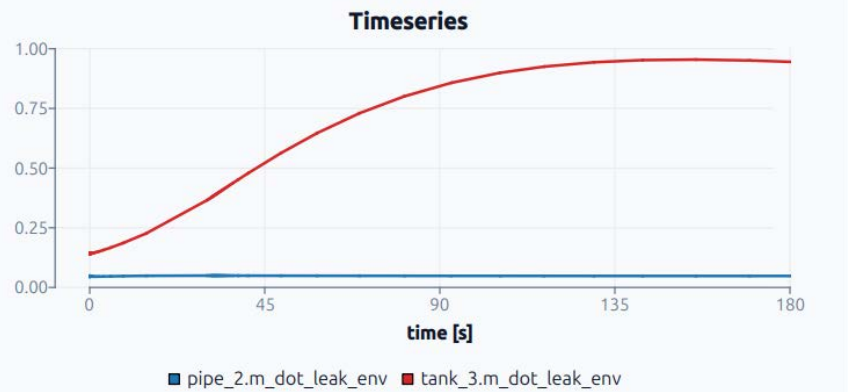
Identifikační kód	RIV/00216305:26210/26:0199570
Název v původním jazyce	Podklady pro schvalovací proces týkající se bezpečnosti plnicích vodíkových stanic
Název v anglickém jazyce	Documents for the approval process concerning the safety of hydrogen filling stations.
Druh	O - Ostatní výsledky, které nelze zařadit do žádného z definovaných druhů výsledků
Jazyk	cze - čeština
Vědní obor	20301 - Mechanical engineering
Rok uplatnění	2025

WP1: Software pro predikci množství uniklého vodíku v čase

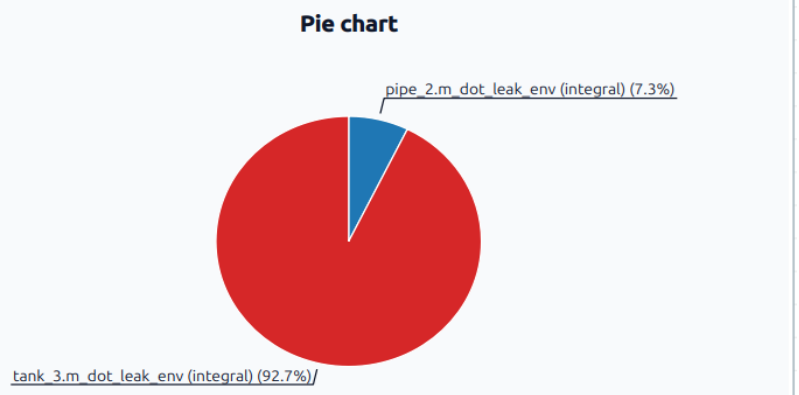


WP1: Software pro predikci množství uniklého vodíku v čase

Timeseries · timeseries



Pie chart · pie



Variables · table

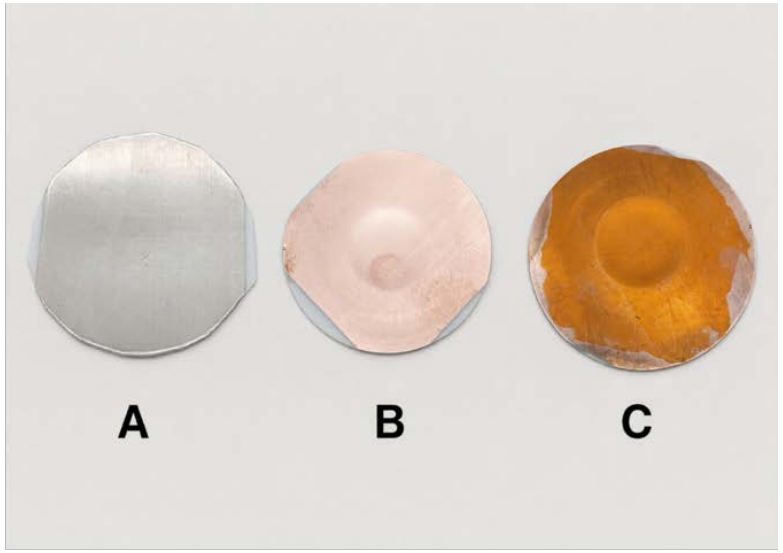
▲ ▼ × drag rows to a plot

	Variable	Value	Unit	Description
1	time	180	s	simulation time
2	progress	100	%	run progress
3	step	75		solver step index
4	step size	10.38	s	last time step size (dt)
5	wall time	16.14	s	run wall-clock time
6	pipe_2.m_dot_leak_env (integral)	7.3920e-16	kg	integral of pipe_2.m_dot_leak_env
7	tank_3.m_dot_leak_env (integral)	9.3991e-15	kg	integral of tank_3.m_dot_leak_env
8	test_leak_sum	7.3920e-16	kg/s	formula integral(abs(sum(g1))) over g1=/ pipe_2.env_[0-9]*.m_dot/
9	pipe_2.m_dot_leak_env	4.0751e-18	kg/s	
10	tank_3.m_dot_leak_env	6.8544e-17	kg/s	
11	pid_19.y	5.8828e-05	kg/s	

WP1: Experimentální testování pronikání vodíku







A-100 nm NiCr
B-200 nm Cu
C-200 nm Cu zoxidované peroxidem

Bariérové skóre = −log10(Papp)

Uhlíková fólie	7,31
PTFE + NiCr	10,32
PTFE + Cu	10,37
PTFE ref.	10,44
EPDM	11,07
HOCHDRUCK	13,23
Fe	15,85
Mosaz	16,85

WP2: Komplexní 1D výpočetní model plnicí vodíkové stanice…



- **Rozsah materiálu 31 stran.**
- **Vykázáno do RIV.**

KOMPLEXNÍ 1D VÝPOČETNÍ MODEL PLNÍCÍ VODÍKOVÉ STANICE PRO OPTIMALIZACI A OVĚŘOVÁNÍ KONCEPCE A KONSTRUKCE (2025)

ZPĚT NA VÝSLEDKY HLEDÁNÍ

VÝSKYT VÝSLEDKU

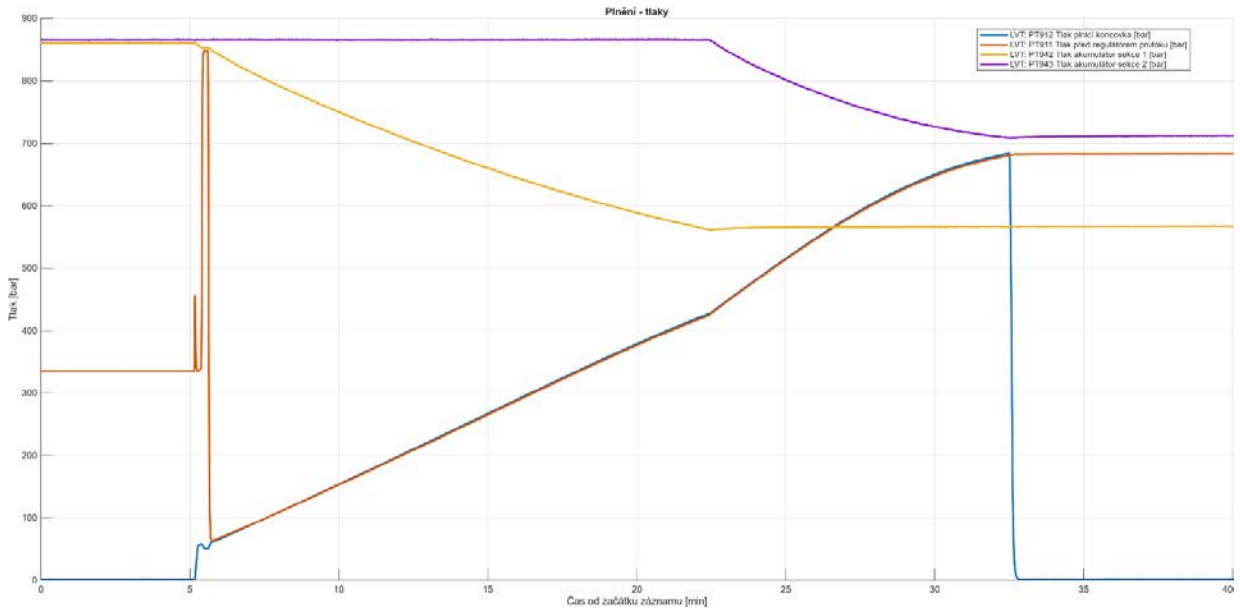
Identifikační kód	RIV/00216305:26210/26:0198837
Název v původním jazyce	Komplexní 1D výpočetní model plnící vodíkové stanice pro optimalizaci a ověřování koncepce a konstrukce
Název v anglickém jazyce	Comprehensive 1D computational model of a hydrogen refueling station for concept optimization and design validation
Druh	O - Ostatní výsledky, které nelze zařadit do žádného z definovaných druhů výsledků
Jazyk	cze - čeština
Vědní obor	20303 - Thermodynamics
Rok uplatnění	2025

WP2: Ověřovací provoz modelu plnicí stanice jako digitálního dvojčete



- Vytvořen model plnicí stanice.
- Validace na plnicí stanici VŠB.
- Rozsah materiálu 49 stran.
- Probíhá vykázání do RIV.





WP2: Ověřovací provoz modelu plnicí stanice jako digitálního dvojčete

hydrogen

MDPI

Article

Multilevel Experimental Validation of a Component-Resolved 0D/1D Model of the Storage and Dispensing Path of a Full-Scale 70 MPa Hydrogen Refueling Station

Michael Böhm [1], Pavel Charvát [2], René Pyszko [3] and Josef Štětina [4]

[1,*] Brno University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automotive Engineering; Michael.Bohm@vutbr.cz
[2] Brno University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Energy Institute; qmcharvat@vutbr.cz
[3] Brno University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automotive Engineering; pyszko@fme.vutbr.cz
[4] Brno University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automotive Engineering; Josef.Stetina@vutbr.cz

Abstract

Physics-based models of 70 MPa hydrogen refueling stations can be very useful for virtual engineering and digital-twin applications, but an agreement with a controlled dispenser pressure can mask upstream model errors. A component-resolved 0D/1D GT-SUITE model of a station storage and dispensing path was reconstructed from the piping and instrumentation diagram, manufacturer data, and NIST REFPROP hydrogen properties. Two banks of nine 35 L vessels, manifolds, a control valve, cascade logic, and an equivalent receiver were represented. The measured vehicle-side pressure trajectory (history) was replayed as operational demand; validation therefore targeted non-prescribed bank pressures, Coriolis mass flow, vessel-wall temperature change, bank switching, and termination of refueling process. One record was reserved for development, followed by an independent complete fill and a sequential high-pressure top-up. In the complete fill, storage-pressure root-mean-square errors were 11.07 and 6.55 bar, switch-pressure error was 1.5 bar, and transferred-mass difference was +5.1%. The top-up yielded an 8.00 bar root-mean-square pressure error and a -1.0% mass difference. Across both validation records, aggregate transferred-mass difference was +4.7%, while wall-temperature-change discrepancies remained within 0.5 °C. The results support the model as a case-validated virtual-engineering plant model; broader digital-twin deployment requires additional operating cases and online synchronization.

Keywords: hydrogen refueling station; 70 MPa; GT-SUITE; REFPROP; cascade storage; Coriolis mass flow; model validation; digital twin

Academic Editor: Firstname Last-name

Received: date
Revised: date
Accepted: date
Published: date

Copyright © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

1. Introduction

Hydrogen refueling stations (HRSs) form the transient interface between high-pressure hydrogen infrastructure and fuel-cell electric vehicles. During a 70 MPa fill, the stationary-storage pressure decreases as the receiver pressure rises; hydraulic resistances redistribute the available pressure ratio, while inflow enthalpy and compression alter the thermal state of the system [1–3]. The process is therefore a coupled hydraulic, thermodynamic, and control problem. Cascade-bank selection, active valve regulation, and safety-

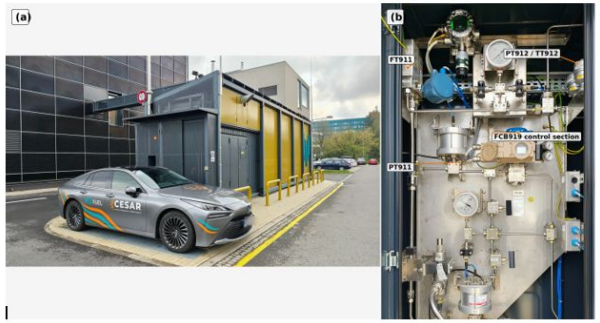


Figure 1. Experimental facility used for model development and validation: (a) full-scale 70 MPa hydrogen refueling station and the fuel-cell vehicle used during the campaigns; (b) dispenser-side process panel with the principal pressure, temperature, flow-measurement, and control locations. Photographs by the authors; the vehicle registration plate has been anonymized.

Each storage bank contains nine parallel 35 L steel pressure vessels, giving a water volume of 315 L per bank. The PT942 and PT943 pressure sensors measure the hydrogen pressures of banks 1 and 2, respectively. The TT942 and TT943 temperature sensors measure the external wall-surface temperature of one instrumented vessel in the corresponding bank; they are not gas-temperature probes. The PT911 pressure sensor is located upstream of the active dispenser restriction, the FT911 is a Rheonik RHM 02 Coriolis mass-flow sensor in the delivered-hydrogen path, and the PT912 pressure sensor is located at the vehicle-side connection. Analog and binary channels were recorded with the frequency of 1 Hz. All pressures reported in the manuscript are absolute. The measurement channels and their roles are summarized in Table 2.

Table 2. Measurement channels and their use in the validation.

Channel	Quantity / location	Role in this study	Sampling	Metrological status
PT942, PT943	Storage-bank pressures	Primary non-prescribed pressure-response validation	1 Hz	Principal pressure-sensor accuracy approximately ±1 bar
PT912	Vehicle-side connection pressure	Operational pressure-ramp demand and tracking metric; not an independent plant prediction	1 Hz	Principal pressure-sensor accuracy approximately ±1 bar
FT911	Delivered hydrogen mass flow; Rheonik RHM 02 Coriolis sensor	Non-prescribed integrated-transfer metric and event-support signal	1 Hz	Manufacturer nominal accuracy 0.1% of rate; configuration-specific certificate and complete signal-chain uncertainty unavailable [27]

Table 6. Storage-vessel wall-temperature-change assessment.

Case	Bank	Measured ΔT [°C]	Calculated wall ΔT [°C]	|ΔT error| [°C]
Development, 13 April	Bank 1	-1.2	-1.4	0.2
Development, 13 April	Bank 2	-0.1	-0.3	0.2
Complete fill, 21 April	Bank 1	-2.4	-1.9	0.5
Complete fill, 21 April	Bank 2	-0.9	-0.9	0.0
High-pressure top-up, 21 April	Bank 1	-0.3	-0.2	0.1

Temperature changes are evaluated over the same experimentally defined active-bank intervals in the measured surface-temperature and calculated vessel-wall traces. At the available 0.1 °C measurement resolution, the mean absolute discrepancy in ΔT across the five intervals is approximately 0.2 °C and the maximum is approximately 0.5 °C. These values are used only as a secondary consistency metric because formal TT942/TT943 uncertainty and dynamic-response data are unavailable.

3.5. Consolidated Multilevel Performance

Tables 7 and 8 consolidate the pressure, operating-event, and integrated-transfer metrics for the validation records.

Table 7. Pressure-validation metrics.

Case / channel	Validation role	MAE [bar]	RMSE [bar]	Bias [bar]	RMSE / mean [%]
Complete fill / PT912	Demand tracking	0.57	1.55	+0.27	0.42
Complete fill / PT942	Non-prescribed response	10.50	11.07	+9.66	1.60
Complete fill / PT943	Non-prescribed response	6.33	6.55	-6.32	0.85
Top-up / PT912	Demand tracking	2.74	3.66	-2.73	0.53
Top-up / PT942	Non-prescribed response	7.75	8.00	-7.70	0.94

PT912 is the experimentally replayed pressure-ramp demand and is reported as a tracking quantity. PT942 and PT943 are non-prescribed station responses.

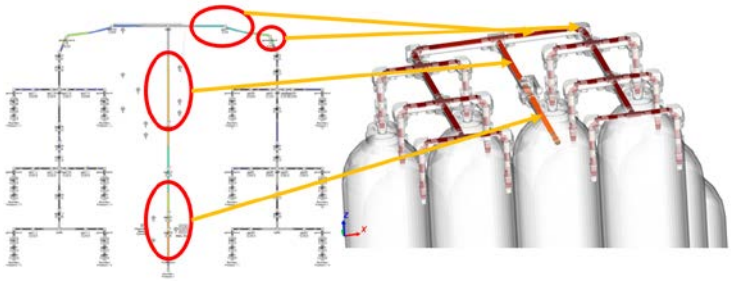
Table 8. Operational-event and integrated-transfer validation.

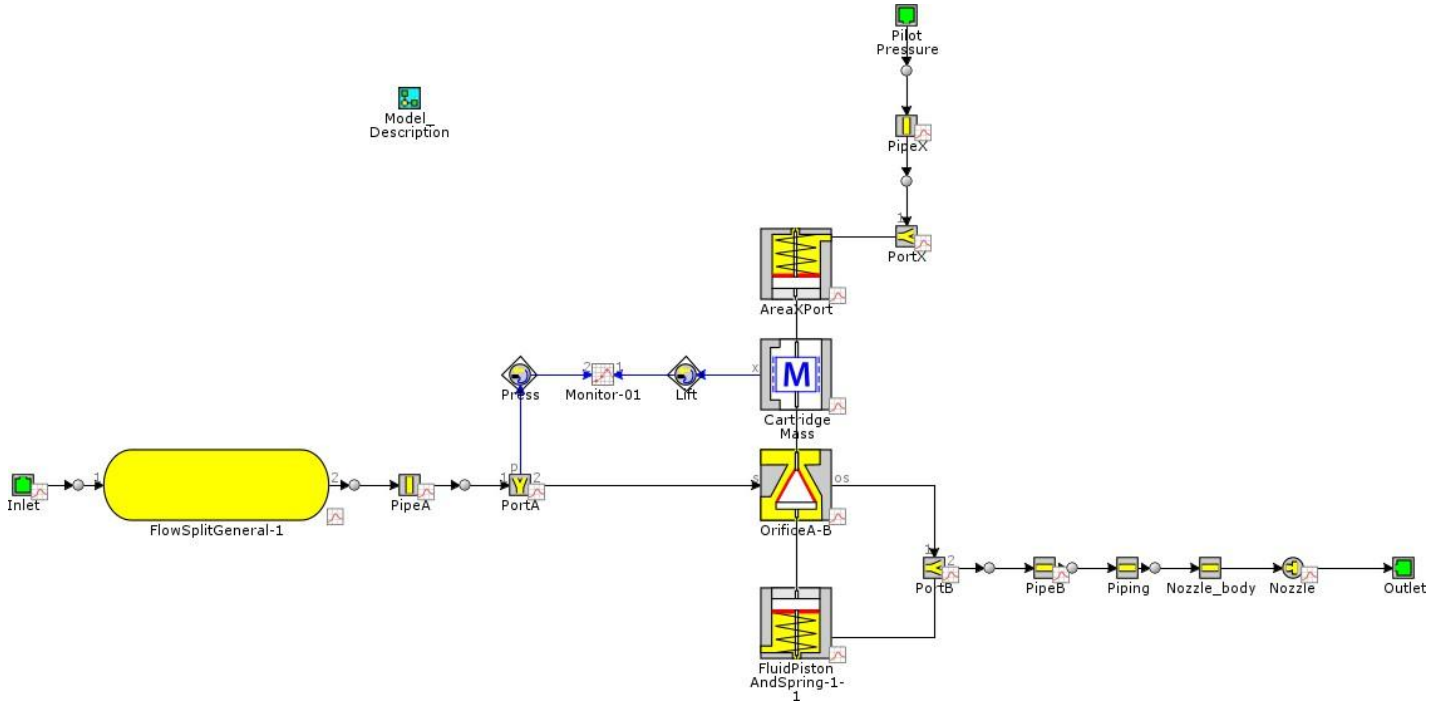
Metric	Complete fill	High-pressure top-up
Experimental status	Primary independent validation	Sequential secondary validation
Bank operation	Banks 1 and 2 reproduced	Bank 1 only reproduced
Switch-time error	+29 s	Not applicable
PT942 error at switch	+1.5 bar	Not applicable
End-of-fill difference	-1 sample at 1 Hz	+1 sample at 1 Hz
Measured / simulated FT911 integral	4.649 / 4.886 kg	0.3365 / 0.3330 kg
Relative model-to-signal difference	+5.1%	-1.0%
Final active-bank pressure error	-8.6 bar	-6.5 bar

WP2: Počítačový model zařízení pro testování komponent…



- Rozsah materiálu 21 stran.
- Probíhá vykázání do RIV.



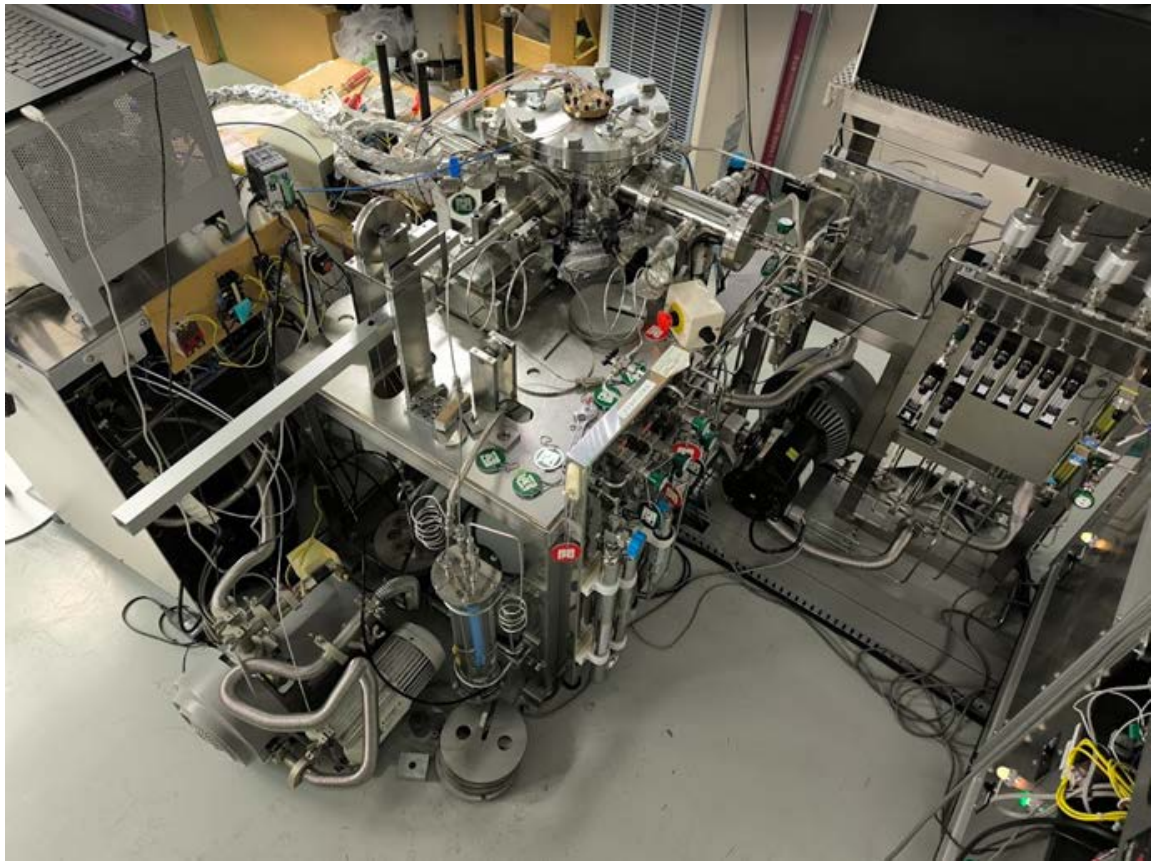


WP3: Problematika těsnění

- Analýza problematiky chování těsnění v prostředí vodíku.
- Návrh experimentů pro kvantifikaci kluzného tření a opotřebení použitých těsnění.
- Realizace experimentů pro kvantifikaci kluzného tření a opotřebení použitých těsnění.

Kyushu University
International Research Center for Hydrogen Energy

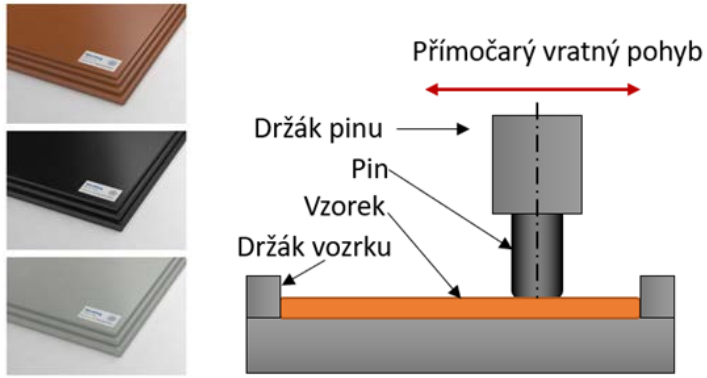




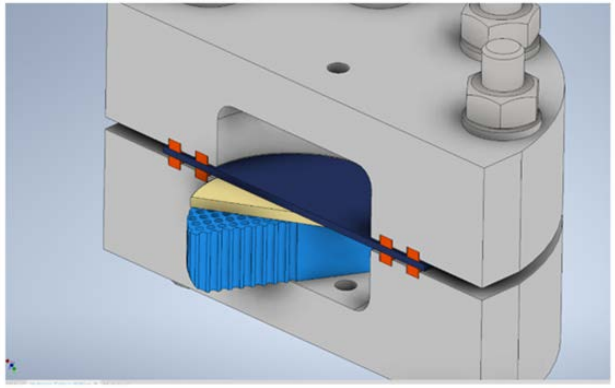
WP3: Problematika těsnění

- **Tření a opotřebení polymerů, které se využívají jako těsnění**

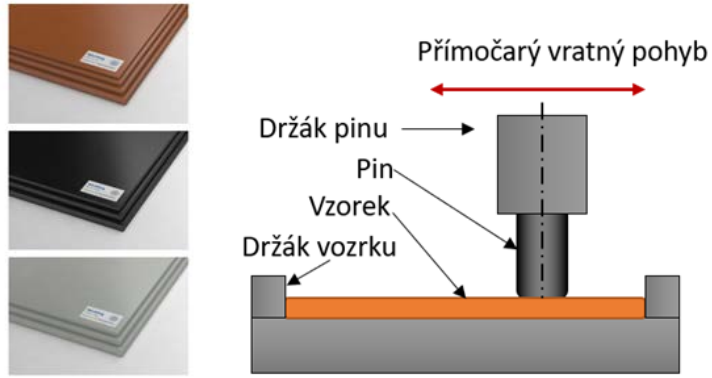
1 Třecí test před vystavení vodíku.



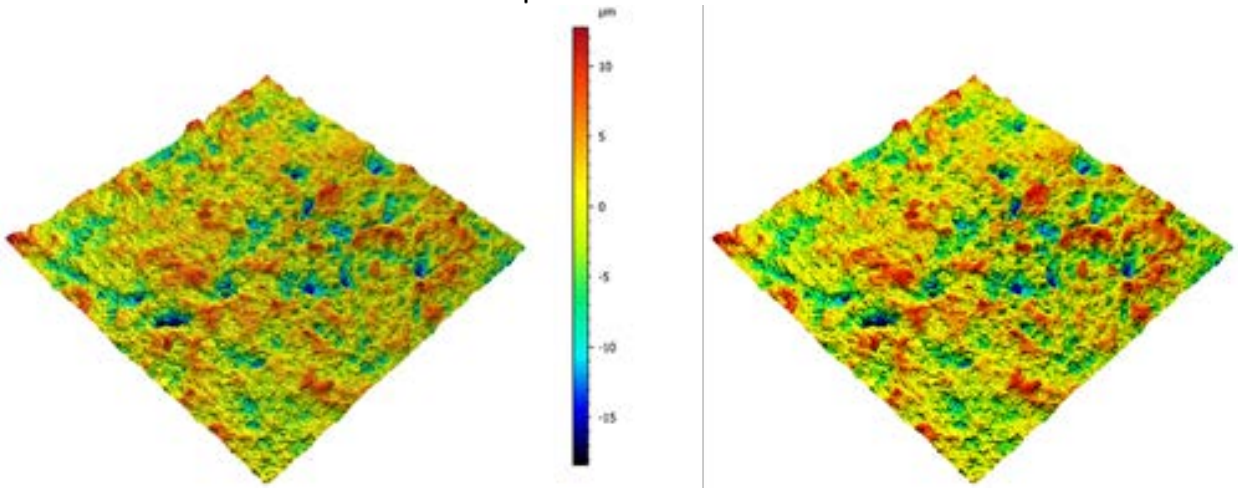
2 Vystavení vodíku. Test propustnosti.

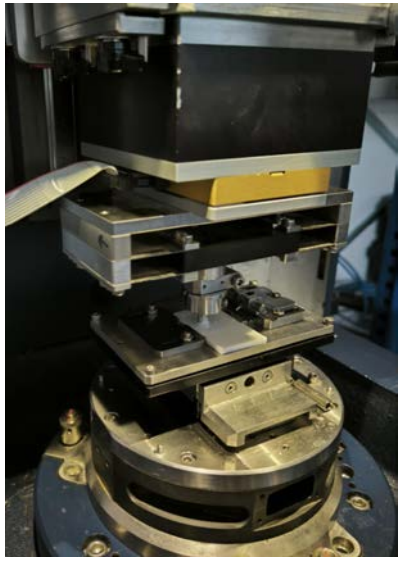


3 Třecí test po vystavení vodíku.

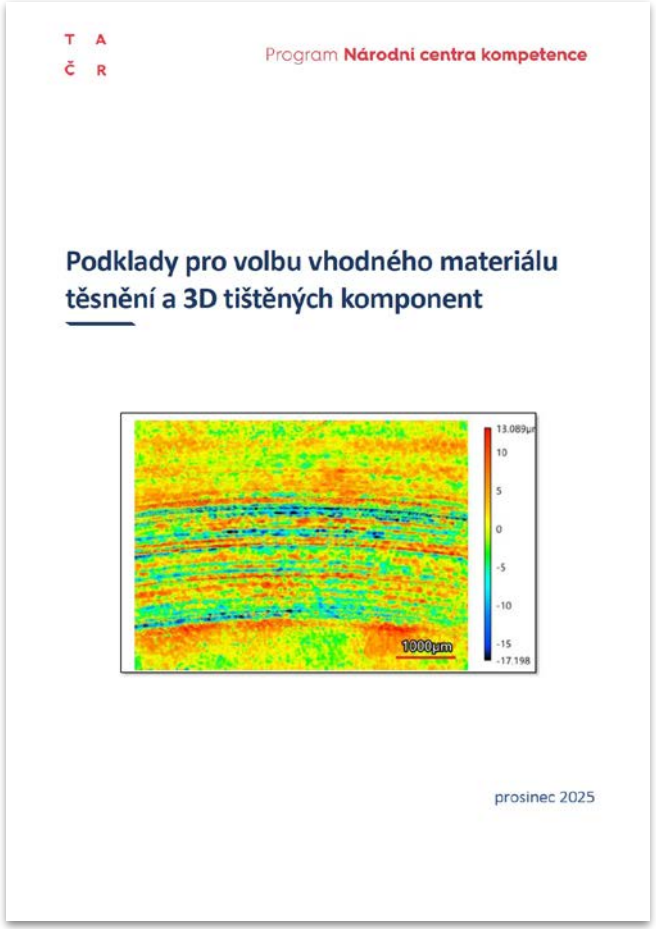


Porovnání opotřebení





WP3 Podklady pro volbu vhodného materiálu těsnění a 3D tištěných komponent



- **Podklady finalizovány.**
- **Rozsah materiálu 21 stran.**
- **Vykázáno do RIV.**

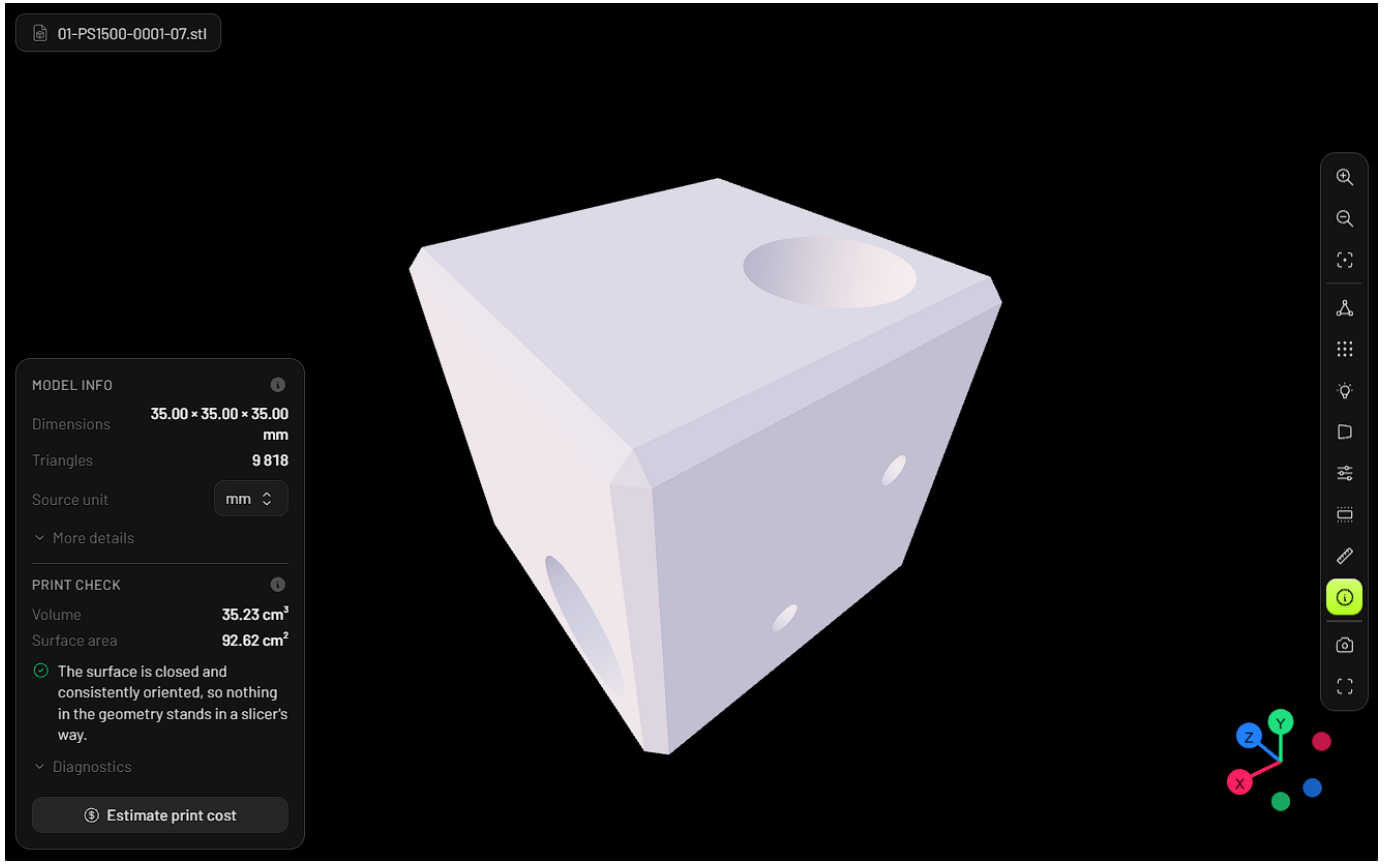
PODKLADY PRO STANOVENÍ VHODNÉHO MATERIÁLU TĚSNĚNÍ A 3D TIŠTĚNÝCH KOMPONENT (2025)

VÝSKYT VÝSLEDKU

Identifikační kód	RIV/00216305:26210/26:0199958
Název v původním jazyce	Podklady pro stanovení vhodného materiálu těsnění a 3D tištěných komponent
Název v anglickém jazyce	Documentation for determining suitable gasket material and 3D printed components
Druh	O - Ostatní výsledky, které nelze zařadit do žádného z definovaných druhů výsledků
Jazyk	cze - čeština
Vědní obor	20301 - Mechanical engineering
Rok uplatnění	2025

WP3: Funkční vzorek 3D tištěné vodíkové armatury



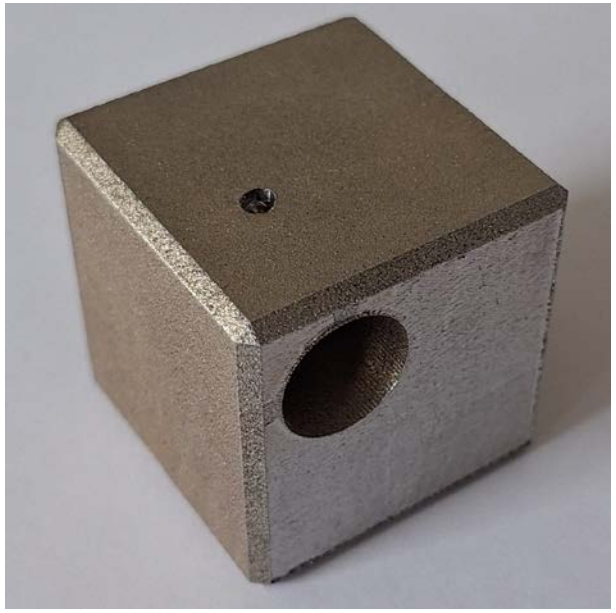


WP3: Funkční vzorek 3D tištěné vodíkové armatury

Nerezová ocel (1.4404)







Prostor pro dotazy