



Středoškolská technika 2022

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

VODÍK A JEHO VYUŽITÍ V DOPRAVĚ

Pavel Žáček

Gymnázium Lovosice
Sady pionýrů 600/6, Lovosice



**Univerzitní centrum VŠCHT Litvínov - FS ČVUT - ORLEN Unipetrol
a Nadace ORLEN Unipetrol**

STUDENTSKÁ VĚDECKÁ KONFERENCE

2022/23



Pavel Žáček

4.A, Gymnázium Lovosice

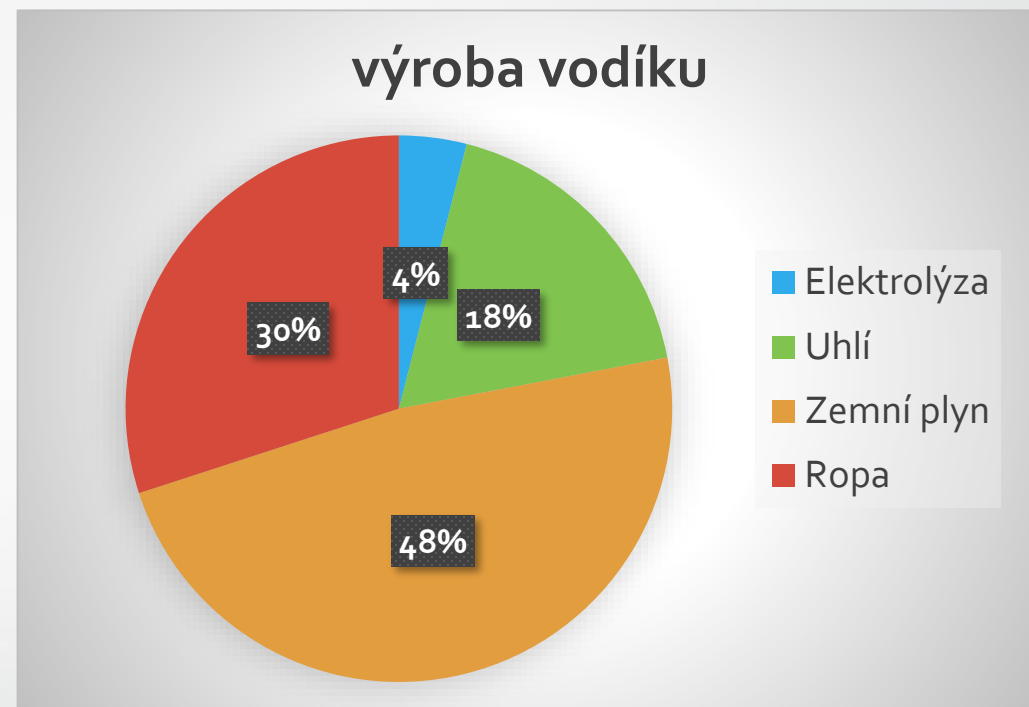
Vodík a jeho využití v dopravě

Obsah

- Vlastnosti vodíku
 - Základní informace
 - Výroba
- Skladování vodíku
 - Stlačený vodík
 - Kapalný vodík
- Palivové články
 - Princip
 - Typy palivových článků
- Využití vodíku v dopravě
 - Palivový článek
 - Spalovací motor
- Srovnání účinností automobilů
- Skylon
- SABRE
- Praktická část
 - Příprava vodíku v laboratoři
 - Spalovací motor na vodík
- Shrnutí na závěr

Vlastnosti vodíku

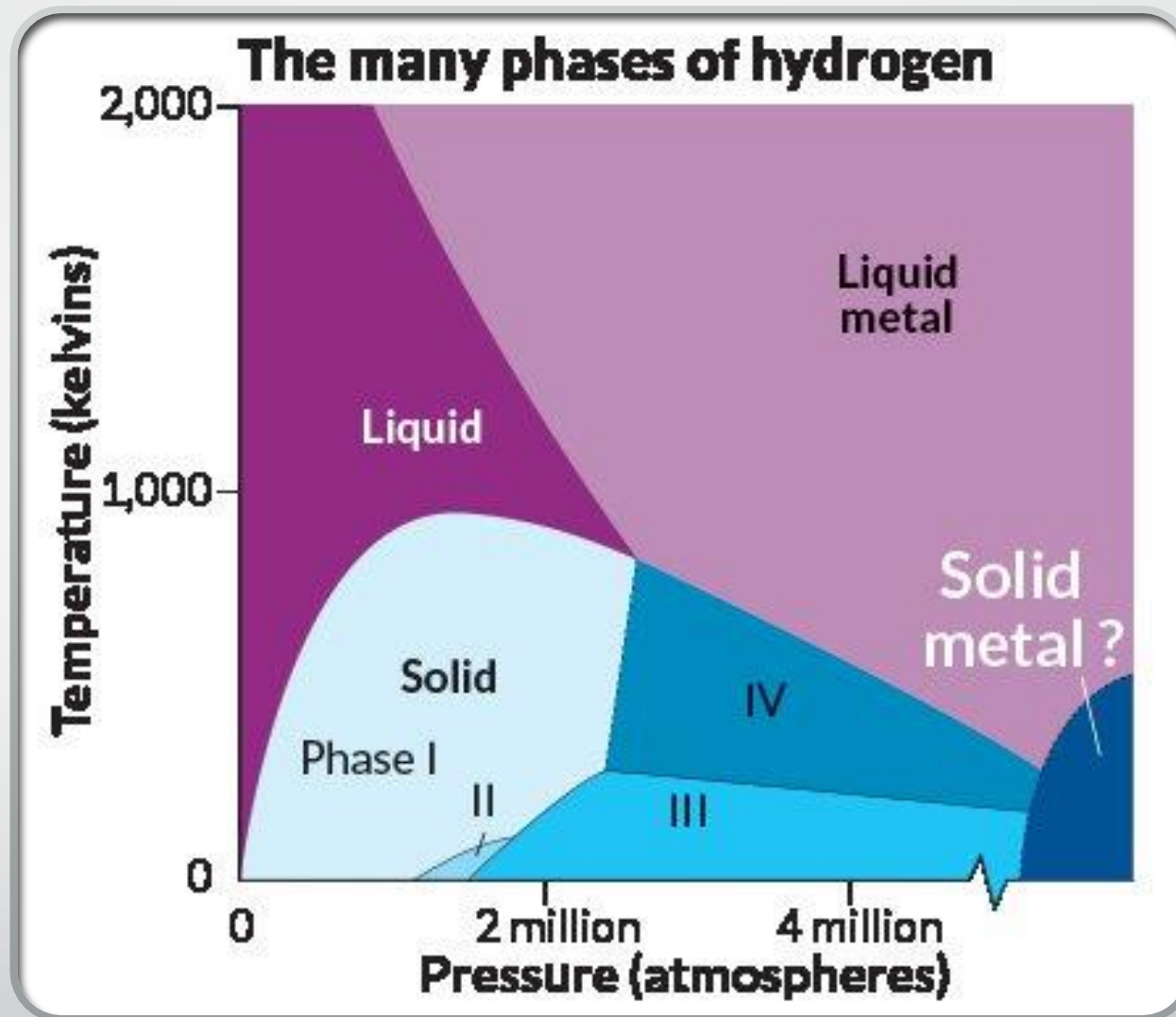
- Nejjednodušší a nejhojnější prvek
- Objeven v 18. století Angličanem H. Cavendishem
- Bezbarvý lehký plyn, bez zápachu, namodralý plamen
- Biogenní prvek
- Tvoří molekuly H_2 nebo sloučeniny s ostatními prvky
- Součástí vody
- **Nejvyžívanější způsoby výroby výroba:**
 - Parní reforming zemního plynu - nejlevnější a nejvyžívanější technologie
 - Elektrolýza - velmi čistý vodík a kyslík z vody



Obr. 1 - Rozdělení světové produkce vodíku

Skladování vodíku

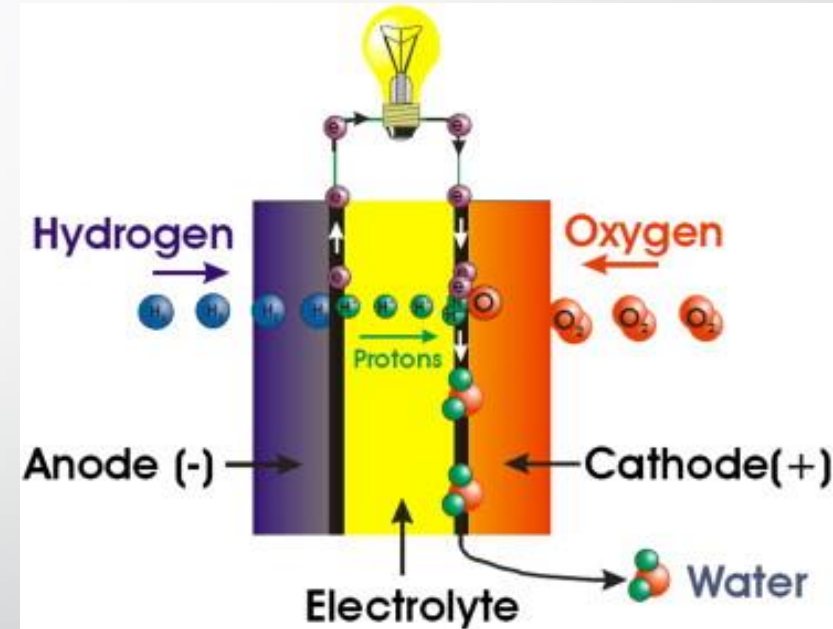
- **Stlačený vodík** – nádoby z odolných a neprodyšných materiálů
- **Kapalný vodík** - kryogenní nádoby
- **Hydridy** - sloučeniny s kovem
- **Pevný vodík** – prozatím pouze v kosmu



Obr. 2 - Závislost skupenství vodíku na teplotě a tlaku

Palivové články

- Chemická energie → elektrická energie
- $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$
- Typy palivových článků
 - Membránové (PEMFC/PEM) – nejpoužívanější
 - Alkalické (AFC) – původně vytvořeny do kosmických technologií
 - Přímé ethanolové DMFC
 - Kyselé PAFC
 - S tavenými karbonáty MCFC
 - S pevnými oxidy SOFC



Obr. 3 - princip funkce palivového článku

Využití vodíku v dopravě

- **Palivový článek**
 - Alternativa k bateriím
 - Delší dojezd
 - Krátká doba plnění nádrže
- **Spalovací motor**
 - Výhodné pro těžkou techniku
 - Nebezpečí vzniku sloučenin dusíku (NO_x)



- **Hyperion XP-1 (Obr. 4)**
 - Vozidlo má propagační účely
 - Palivové články – tankování 3-5 min
 - Dojezd cca 1600 km
 - Hmotnost okolo 1 tuny
 - Max. rychlost 350 km/h

Srovnání účinností automobilů

- **Benzín**
 - Stavby a nákladní doprava
 - Emise
- **Vodík**
 - Střední rychlosti
 - Nutnost infrastruktury
- **Akumulátory**
 - Města
 - Energetická nepřipravenost

| | Benzin/nafta | vodík | akumulátor |
|----------------------------------|--------------|-------|------------|
| Městský provoz (nízké rychlosti) | ✗ | ✓ | ✓ |
| Vysoké rychlosti | ✓ | ☐ | ✗ |
| Dojezd | ✓ | ☐ | ✗ |
| Tankování/nabíjení | ✓ | ✓ | ✗ |
| Hmotnost | ☐ | ✓ | ✗ |
| Zelená energie | ✗ | ☐ | ☐ |
| Rekuperace | ✗ | ✓ | ✓ |

- ✗ Neefektivní
- ☐ Málo efektivní
- ☐ Středně efektivní
- ✓ Velmi efektivní

Vesmírné technologie

Skylon (letadlo)

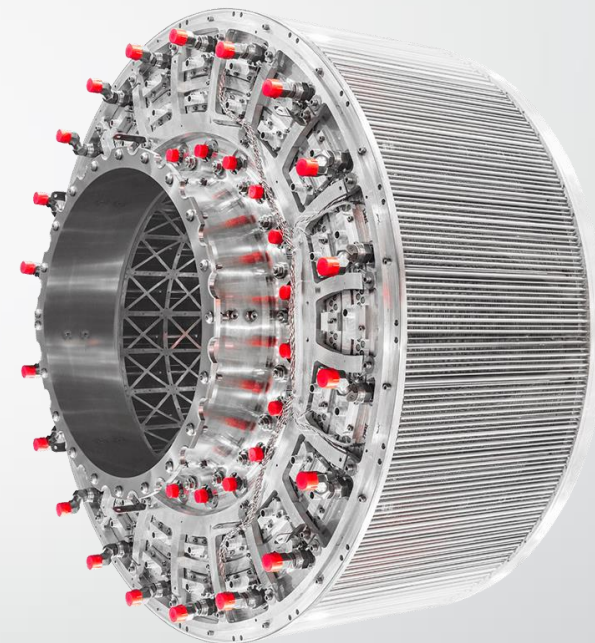
- Dosažení orbity bez dalších přídavných motorů
- SABRE – pohon využívající 3 prvky (H, O, He)
- Do 25 km využití kyslíku z atmosféry (až Mach 5)
- Poté raketový režim → využití kapalného kyslíku (až Mach 25)
- Klíčové chlazení - nutné zkapalnění vzduchu pro funkci pohonu
- Obrovská úspora v raketovém průmyslu (možnost znovuvyužití)



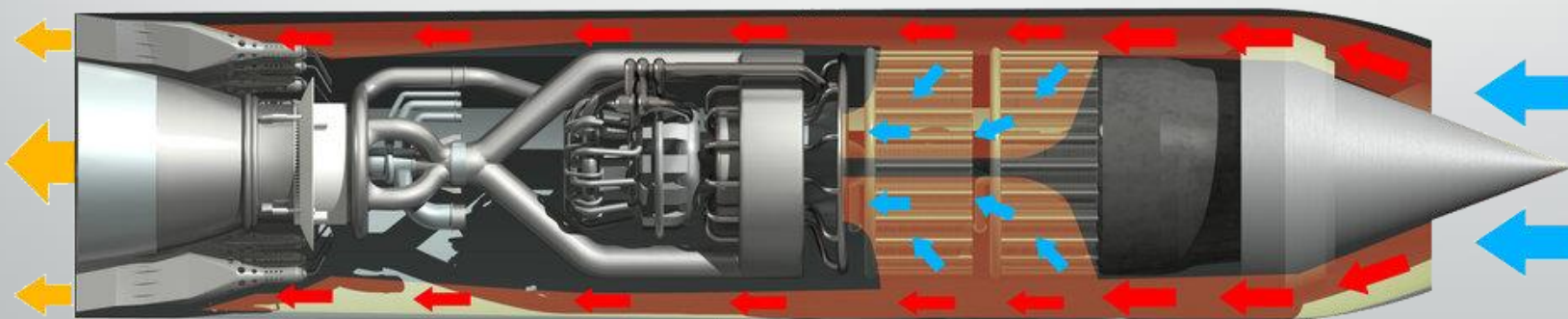
Obr. 5 - Model letadla Skylon

Průlom v letecké dopravě - SABRE

- 300 míst
- 4x kratší čas cesty
- Jedinečný chladicí systém
- Raketový pohon bez nádrže na kyslík
- Prakticky nulová uhlíková stopa (zelený vodík)



Obr. 6 - Heliový chladič



Obr. 7 - Motor SABRE – průtok vzduchu

Laboratorní příprava vodíku

| Reakce | Zápis reakce |
|--|---|
| Rozpouštění neušlechtilých kovů v neoxidující kyselině | $\text{Zn} + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2$ |
| Elektrolýza vody | $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ |
| Reakce amfoterních kovů s hydroxidy | $2\text{Al} + 2\text{NaOH} + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{H}_2 + 2 \text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ |
| Výroba hydroxidů | $2\text{Na} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{NaOH} + \text{H}_2$ |
| Reakcí kovů alkalických zemin s vodou | $\text{Ba} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \text{Ba}(\text{OH})_2$ |
| Rozklad vodní páry fosforem | $2\text{P} + 8\text{H}_2\text{O} \rightarrow 5\text{H}_2 + 2\text{H}_3\text{PO}_4$ |
| Reakcí hydridů alkalických zemin s vodou | $\text{CaH}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2$ |

Praktická část

- Cíle přípravy v laboratoři:
 - Porovnání metod přípravy vodíku:
 - Finanční stránka
 - Potřeba laboratorního vybavení
 - Časová náročnost
 - Obtížnost přípravy
 - Zisk vodíku (efektivita)
 - Cíle měření s upraveným motorem:
 - Funkčnost
 - Výkon motor

| <u>Reakce</u> | <u>Zápis reakce</u> | <u>Potřebné suroviny pro přípravu 1l H₂</u> | <u>Teoretický zisk vodíku</u> |
|---|--|--|-------------------------------|
| Rozpuštění neúšlechtilých kovů v neoxidující kyselině | $\text{Zn} + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2$ | 2,9 g(Zn) 3,75 g(HCl) | 1,44 % |
| Elektrolýza vody | $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ | 0,8g H ₂ O | 11,1 % |
| Reakce amfoterních kovů s hydroxidy | $2\text{Al} + 2\text{NaOH} + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{H}_2 + 2\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ | 0,8g Al 1,2g NaOH 1,6 g H ₂ O | 2,5 % |
| Výroba hydroxidů | $2\text{Na} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{H}_2$ | 2,05g Na 1,6 g H ₂ O | 2,4 % |
| Reakcí kovů alkalických zemin s vodou | $\text{Ba} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \text{Ba}(\text{OH})_2$ | 6,15g Ba 1,6 g H ₂ O | 1,15 % |

Rozpouštění neúšlechtilých kovů v neoxidující kyselině

| | |
|---|---|
| Reakce | $\text{Zn} + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2$ |
| Potřebné suroviny pro přípravu 1l H₂ | 2,9 g Zn 3,75 g HCl |
| Využité suroviny pro přípravu H₂ (odpovídá 793 ml) | 2,3 g Zn (0,6 se nepotřebovalo) 12,1 ml HCl (31% roztok) |
| Procentuální obsah vodíku v eduktech | 1,44 % |
| Získaný H₂: | 750 ml |
| Účinnost reakce: | 94,6% |
| Obtížnost přípravy | Suroviny, případně uložení produktů |
| Potřeba laboratorního vybavení | Nádoba snášející rychlé a exotermní reakce |
| Časová náročnost | Velmi malá (cca 2 min) |
| Finanční stránka | 2,9g Zn ~ 13,2Kč 12,1ml HCl ~ 1,25Kč |



Elektorlýza vody

| | |
|--|--|
| Reakce | $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ |
| Potřebné suroviny pro přípravu 1l H_2 | 0,8g H_2O |
| Procentuální obsah vodíku v eduktech | 11,1 % |
| Získaný H_2: | 750 ml |
| Účinnost reakce: | xxx |
| Obtížnost přípravy | Zapojení aparatury |
| Potřeba laboratorního vybavení | Aparatura na elektrolýzu |
| Časová náročnost | Vysoká (140 min/l (H_2)) |
| Finanční stránka | 2,9g (Zn) ~ 13,195Kč 12,1ml (HCl) ~ 1,25Kč |



Upravený motor

- Ing. Adam Giurg, Ph.D. (Manažer vodíkových projektů)
 - Skladování a vlastnosti vodíku
- Mgr. Martin Trautman & Bc. Jan Dümont
 - Konstrukční problémy motoru
 - Přívod paliva (tlak, vstřikování)
 - Přetěsnění ventilů
 - Mazání
- Mgr. Martin Trautman (osobní zkušenosti)
 - dva nepovedené projekty s montáží turba do motoru (podobné konstrukční problémy)
 - Časová náročnost ve stovkách hodin

Shrnutí na závěr

- Vodík má úžasné vlastnosti ať už jako plyný, kapalný nebo dokonce pevný, který se, bohužel, doslova vypaří před očima. Nachází využití v mnoha oborech a je přítomný všude kolem nás, například ve vodě.
- Jeho výroba je náročná a valná většina vodíku je stále produkována ze zemního plynu. Já osobně bych využil potenciálů míst jako je Island, kde už vznikla jedna z největších výroben tohoto plynu, a tím získával obrovské množství zeleného vodíku. Věřím, že využíváním obnovitelných zdrojů, popřípadě jádra porazíme energetickou krizi spolu s globálním oteplováním.
- Představen byl i supersport, který za pomoci technologie z NASA vyřešil problém se skladováním vodíku, který má tendence unikat a nebo degradovat nádoby, ve kterých je uskladněn.
- Prošli jsme si též typy automobilových pohonů a jejich ideálním využitím pro umocnění jejich potenciálu. Ani letecká doprava neunikla vodíkovým inovacím a věřím, že v blízké budoucnosti se rychlá letadla stanou neodmyslitelnou součástí našeho pobytu na Zemi.

Zdroje:

- [1] J. Kleczek, „Povídání o vodíku I.“ 14. únor 2003. [Online]. Available: <https://www.tzb-info.cz/1367-povidani-o-vodiku-i>.
- [2] [Online]. Available: <https://www.hytep.cz/>.
- [3] J. B. West, „Henry Cavendish (1731–1810): hydrogen, carbon dioxide, water, and weighing the world,” 2014. [Online]. Available: <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/ajplung.00067.2014>.
- [4] [Online]. Available: <https://www.airproducts.cz/>.
- [5] M. Kolmanová, „Vysokoteplotní elektrolyza: „čistá“ výroba vodíku s možností zpětné konverze,” 2016. [Online]. Available: https://www.technickydenik.cz/rubriky/veda-vyzkum-inovace/vysokoteplotni-elektrolyza-cista-vyroba-vodiku-s-moznosti-zpetne-konverze_35526.html.
- [6] M. Pešták, „VODÍK - ENERGIE BUDOUCNOSTI,” Liberec, 2014.
- [7] M. Bukvička, „Osobní automobil s motorem na zkapalněný vodík,” Liberec, 2007.
- [8] J. R. Petr Kulhánek, „Kovový vodík ve vesmíru je možná spíše kapalina než pevná látka,” 2014. [Online]. Available: <https://www.scienceworld.cz/neziva-priroda/kovovy-vodik-ve-vesmiru-je-mozna-spise-kapalina-nez-pevna-latka-671/>.
- [9] P. D. Ing. Luděk Janík, „https://www.idnes.cz/,” 2008. [Online]. Available: https://www.idnes.cz/technet/technika/jak-se-vyrabi-palivo-budoucnosti-vodik-pro-auta-i-elektroniku.A080127_234744_tec_technika_vse.
- [10] M. T. K. Z. Etienne Rivard, „MDPI,” 2019. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1944/12/12/1973/html>.
- [11] „Palivové články,” [Online]. Available: https://ufmi.ft.utb.cz/texty/ENV_fyzika/EF_15.pdf.
- [12] L. PETERKA, „vut.cz,” 2008. [Online]. Available: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=6121.
- [13] „DEVINN,” 2019. [Online]. Available: <https://www.devinn.cz/blog/vyuziti-vodikuj/>.
- [14] TOYOTA, „Vodík,” [Online]. Available: <https://www.toyota.cz/new-cars/mirai/vodik>.
- [15] T. Dutil, „Může běžný benzinový motor běžet na vodík? Zkusit to můžete...,” 2019. [Online]. Available: <https://www.auto.cz/muze-bezny-benzinovy-motor-bezet-na-vodik-zkusit-to-muzete-126822>.
- [16] M. Frei, „Spalovací motor na vodík: Slepá ulička, nebo pomocník pro těžkou práci?,” 2021. [Online]. Available: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/spalovaci-motor-na-vodik-slepa-ulicka-nebo-pomocnik/r-92465ca8278011ec94d2ac1f6b220ee8/>.
- [17] [Online]. Available: <https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained>.
- [18] K. Krajník, „Jsou vozidla se spalovacím motorem čistší než elektromobily?,” 2019. [Online]. Available: <https://www.hybrid.cz/jsou-vozidla-se-spalovacim-motorem-cistsi-nez-elektromobily/>.
- [19] D. Valášek, „Srovnání energetické ztráty elektromobilů a běžných aut,” 2018. [Online]. Available: <https://www.garaz.cz/clanek/srovnani-energeticke-ztraty-elektromobilu-a-beznych-aut-21000070>.
- [20] K. Zvoník, „Kosmický letoun budoucnosti Skylon: Nový motor výrazně usnadní cesty do vesmíru,” 2020. [Online]. Available: <https://www.stoplusjednicka.cz/kosmicky-letoun-budoucnosti-skylon-novy-motor-vyrazne-usnadni-cesty-do-vesmiru>.
- [21] K. Zvoník, „Skylon je realitě o krok blíž,” 2019. [Online]. Available: <https://kosmonautix.cz/2019/03/skylon-je-realite-o-krok-bliz/>.
- [22] K. Zvoník, „Milník motoru pro kosmické letadlo,” 2019. [Online]. Available: <https://kosmonautix.cz/2019/10/milnik-motoru-pro-kosmicke-letadlo/>.
- [23] K. Zvoník, „Reaction Engines dokončují další technologie motoru SABRE,” 2021. [Online]. Available: <https://kosmonautix.cz/2021/03/reaction-engines-dokoncuji-dalsi-technologie-motoru-sabre/>.
- Model letadla Skylon, zdroj: <https://en.topwar.ru/31685-skylon.html>
- <https://core.ac.uk/download/pdf/17305542.pdf>
- <https://www.svethardware.cz/jediny-potencialni-vzorek-kovoveho-vodiku-na-zemi-zmizel/43991>
- <https://www.hzshop.cz/index.php?p=pem>
- https://cs.wikipedia.org/wiki/Vod%C3%ADk#Tvorba_v_p%C5%99%C3%ADrod%C4%9B_a_pr%C5%AFmyslov%C3%A1_v%C3%BDroba
- https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/ESA_greenlight_for_UK_s_air-breathing_rocket_engine
- <https://reactionengines.co.uk/advanced-propulsion/sabre/precooler/>
- <http://www.prvky.com/a.html#priprava>
- <https://www.hyperion.inc/>

Univerzitní centrum VŠCHT Litvínov - FS ČVUT - ORLEN Unipetrol a Nadace ORLEN Unipetrol



VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE



FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE



ORLEN
Unipetrol
NADACE



ORLEN Unipetrol



ORLEN UniCRE