Regionální vodíkové vlaky na českých železnicích
Techno-ekonomická analýza a plánované výsledky

09. 11. 2021, Lukáš Polák

Iceland Liechtenstein Norway grants

KAPPA Programme

T A Č R

SINTEF

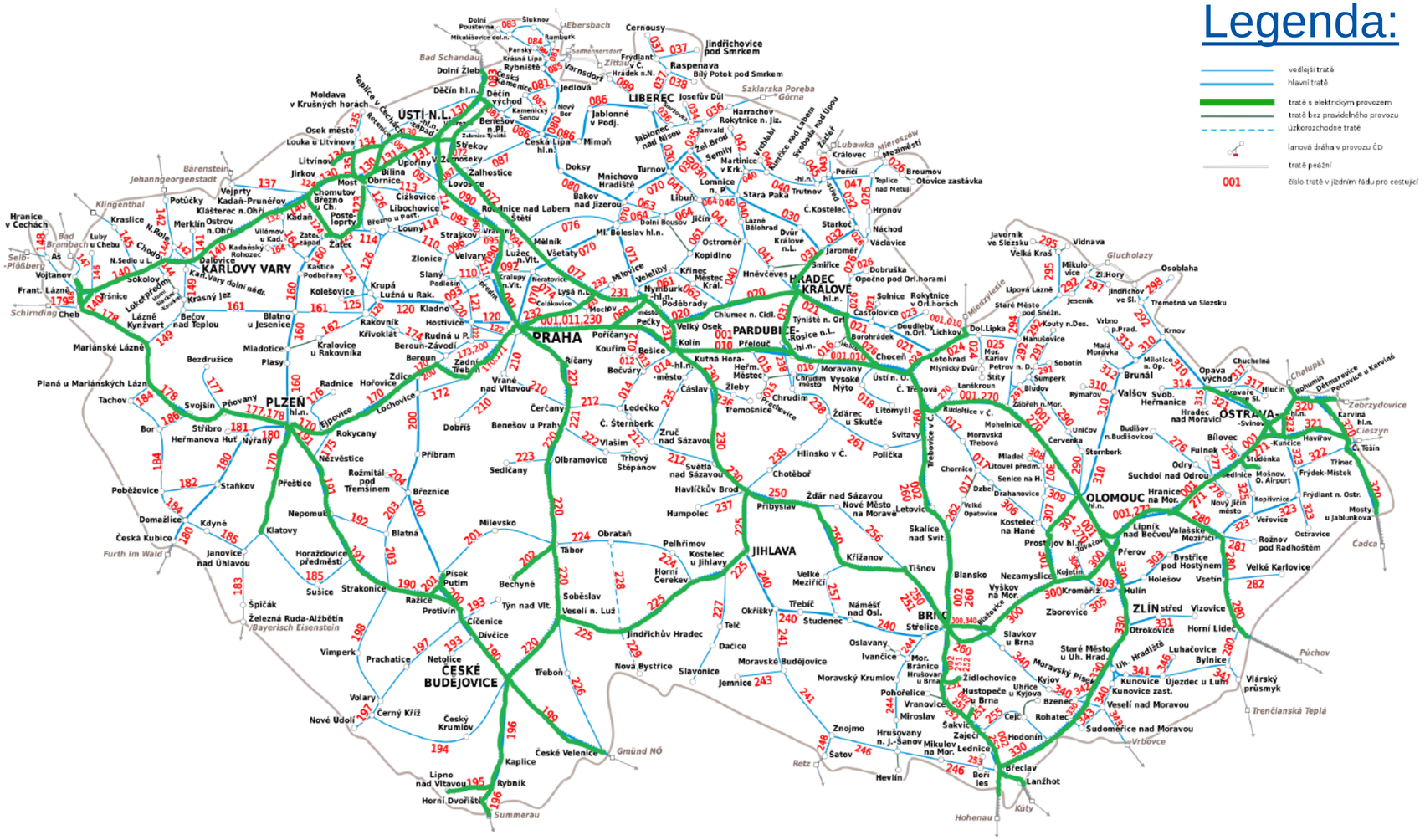
Obsah prezentace

- Kontext
- Technologie
- Použitá metoda
- Příklad
- Další aktivity

Kontext

- **Většina světových železnic není elektrifikována**
- **Konvenční kapalná paliva (nafta) jsou méně a méně akceptovatelná**
- **Elektrický provoz je levnější**
- **Infrastruktura pro elektrický provoz je drahá**
- **Různé stupně elektrizace**
  - Svět 25 %
  - Severní Amerika 1 %
  - Evropa 62 %
  - Švýcarsko 99 %
  - Česká Republika 35 %

Železniční síť České republiky



Legenda:

- vedlejší tratě
- hlavní tratě
- tratě s elektrickým provozem
- tratě bez pravidelného provozu
- úzkorozchodné tratě
- lanová dráha v provozu ČD
- tratě pěšíní
- 001 číslo tratě v jízdním řádu pro cestující

Tradiční technologie pohonu

- **Motory s vnitřním spalování**
  - Hlavní provozní náklad: vlastní palivo (nafta)
  - …a údržba motoru
  - Lze snadno nahradit *bio*naftou
  - Možné úpravy pro spalování ZP či bioplynu
  - Nulové náklady na infrastrukturu
  - Celkové náklady přímo úměrné provozu

- **Elektrifikace (trakční vedení)**
  - Hlavní náklady na infrastrukturu:
    - Vlastní vedení
    - Napájecí stanice
    - Úpravy tunelů a mostů
  - Výrazně nižší náklady na energii
  - Náklady přímo úměrné délce trati

Vodík a baterie (základní fakta)

- **Baterie (Li-Ion)**
  - Energie skladována v lithiových iontech
  - Vysoká účinnost nabíjení (>90 %)
  - Nižší účinnost při rychlém nabíjení (80-90 %)
  - Vysoké skladovací náklady (~5 000 Kč/kWh)
  - Nízká hustota energie (~0,1 kWh/kg)
  - Množství jednotlivých článků či packů baterií

- **Vodík**
  - Energie skladováno v molekulách H_2
  - Přeměna vodíku na elektřinu v PČ
  - Nižší účinnost (~54 %)
  - Nižší skladovací náklady (~300 Kč/kWh)
  - Vyšší energetická hustota (33 kWh/kg)
  - …společně s nádržemi (~1 kWh/kg)

Nové pohony pro v železnici

- **Náklady:**
  - Nízké náklady na energii (elektřinu)
  - Nízké náklady na údržbu
  - Vysoké investiční náklady na baterie
  - Investiční náklady na výrobu a skladování H2

- **Bezpečnost**
  - Baterie: nekontrolované přehřátí
  - Vodík: úniky v tunelech
  - Stále vyšší stupeň bezpečnosti než u nafty

- **Hybridní pohony**
  - Baterie + Vodík
    - Menší palivový článek
    - Běžně baterie dražší
    - Nevhodné řešení
  - Trakční vedení + Baterie/Vodík
    - Lze prodloužit dojezd
    - Možnost průběžného dobíjení bat.
    - Možné řešení pouze pokud již existuje trakční vedení

Použité metody

1. Simulace pro vybrané tratě/linky

- Výškový profil linky (Ústí nad Labem-Liberec)
- Rychlostní limity, tažná síla vozidla, řazení vlaku
- Výpočet energetického profilu linky

2. Techno-ekonomická analýza

- Provozní data dané linky (výkony, počty vlaků)
- Cena nafty, elektrické energie, údržby…
- Cena a životnost všech investic
- Porovnání všech alternativ pomocí TCO (total cost of ownership)

3. Zahrnutí neekonomický faktorů

- Dostupnost technologie a předpisů
- Požadavky právního prostředí
- Flexibilita a robustnost řešení

Srovnávací kritéria pro různé alternativy

- **Alternativy:**
  - Trakční vedení, Bionafta, Bioplyn, Baterie, Vodík, Baterie+Vodík, Rychlonabíjení, Parciální trakční vedení
- **Srovnatelné roční náklady (EAC)**
  - Rovnoměrné rozložení investičních nákladů za životnost
  - Připočítané provozní náklady
- **Poměr přínosů a nákladů (BCR)**
  - Referenční řešení: nafta (stávající řešení)
  - >1 = dobrá investice
- **Doba návratnosti (PBP)**
  - Pouze částečná odpověď
- **Počáteční investice (UFI)**
  - Důležité pro rozhodnutí

Previous results for Trondheim–Bodø

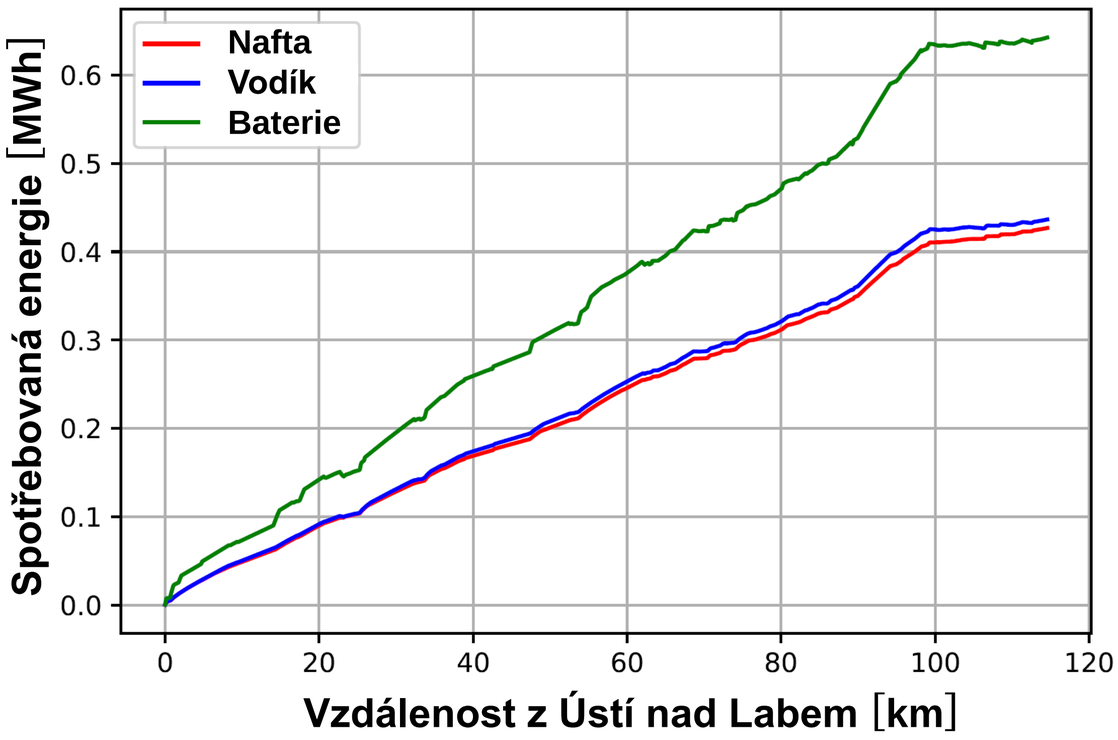
Technology	BCR –	PBP years	UFI M€
Catenary	0.22	–	990
Biodiesel	0.93	–	0
Biogas	0.79	–	18
Battery	1.33	3.5	40
Hydrogen	1.41	3.3	33
Battery+H_2	1.38	6.1	45
Fast charging	1.23	2.3	31
Partial catenary	0.66	–	275

Příklad: Linka Ústí nad Labem-Liberec

- **Osobní přeprava, použity tři typy vlaků pro simulaci:**
  - naftová souprava (NSB93)
  - vodíkový souprava (Coradia iLint)
  - bateriová souprava (Cityjet ECO)
- **Celková délka linky 115 km (Ústí n/L-Liberec)**
- **Počátečních 22 km (do Dečína) pod trakčním vedením**

Příklad: Linka Ústí nad Labem-Liberec

- **Prvotní data (výškový profil)**
- **Zjednodušený algoritmus**
- **Bateriový vlak o 3 vagónech**
  - vyšší spotřeba energie
  - kapacita baterií 0,528 MWh



Další postup v rámci projektu RegioHyt

- **Referenční scénáře – implementace modelů pro naftové vlaky**
- **Sběr vstupní dat pro techno-ekonomickou analýzu**
  - Nafta
  - Elektrická energie
  - Trakční vedení
  - …
- **Simulace pro další vybrané linky**

Iceland Liechtenstein Norway grants

KAPPA Programme

T A Č R

Děkuji za pozornost, Lukáš Polák

ÚJV Řež, a. s.
Hlavní 130, Řež
250 68 Husinec, Czech Republic

e-mail: lukas.polak@ujv.cz
www.ujv.cz

Skupina ÚJV
LIDÉ | INOVACE | TECHNOLOGIE