

Modelování a optimalizace vozidel, linek a dopravní infrastruktury města

Zdeněk Peroutka, Jan Příklad, Radim Dudek, Pavel Drábek

► Motivace a cíle

- **Plná elektrifikace MHD** → optimální skladba vozového parku DP a řešení související infrastruktury.
- Přejít autobusové dopravy na vozidla s elektrickým pohonem.
- Klasické e-busy mají významná omezení (rychlónabíjení, atd.).
- Baterie umožňující celodenní provoz? (hmotnost, cena)
- **Vývoj SW nástrojů umožňujících návrh optimálního provozu MHD v libovolném městě.**

► Základní řešené úlohy

- Nalezení optimální konfigurace vozidel pro existující infrastrukturu (operování definovaných linek, min. úpravy infrastruktury, atd.)
- Optimalizace infrastruktury pro existující vozidlový park (úprava/spojování linek, doplnění zatrolejování, atd.)
- Současná optimalizace vozidlového parku i infrastruktury (výsledek = zajištění plně elektrické MHD s min. náklady)



► Specifika plzeňské MHD

- Plzeň má rozsáhlou trolejbusovou síť.
- Řada autobusových linek je vedena podstatnou částí pod trolejovým vedením.
- Možné řešení: kombinace dobíjecích stanic a dobíjení z troleje → hybridní trolejbusy s bateriemi.

► Výhody hybridního řešení

- Hybridní trolejbus nemusí zastavovat kvůli nabíjení.
- Není nutné budovat dobíjecí stanice, u kterých bývá problém s napojením na distribuční síť.
- Elektrický pohon je z hlediska provozních nákladů levnější, i se započtením nákladů na výměny baterií, než dieselový.

► Problémy k řešení

- Na kterých linkách lze tento koncept realizovat?
- Jak upravit infrastrukturu, případně linky s cílem rozšířit operační schopnosti pořízených vozidel?

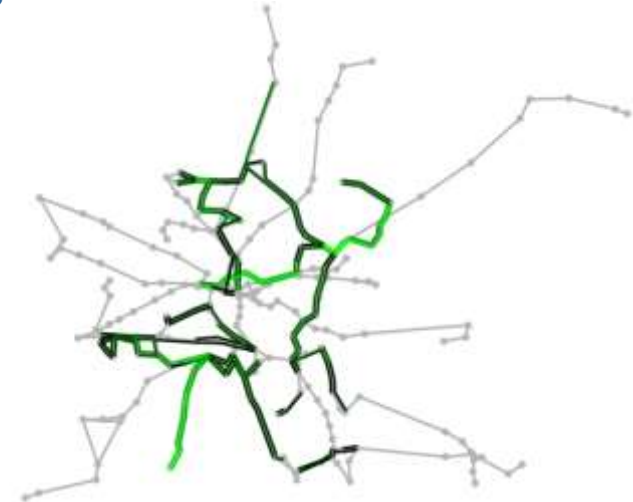


Jaké linky lze provozovat v hybridním režimu?

- ▶ Nutnou podmínkou pro provoz hybridního trolejbusu na lince je **pozitivní energetická bilance**:

přijatá energie při průjezdu linky \geq vydaná energie na lince

- ▶ Potřebujeme odhadnout příjem energie (z trolejí) i spotřebu energie na každém mezizastávkovém úseku trasy.
- ▶ **Problém – max. proud odebíraný z troleje?**

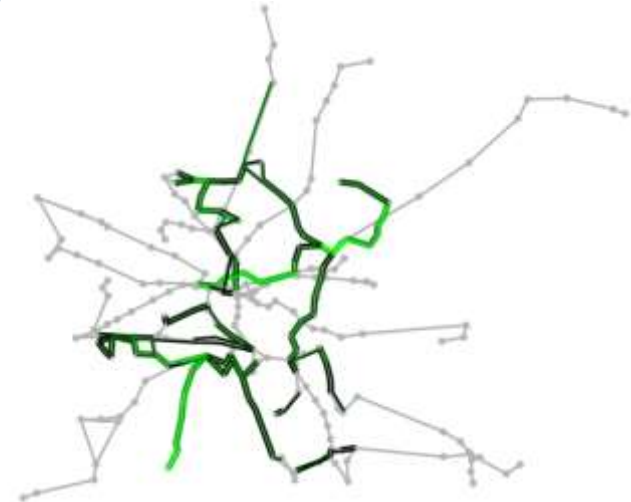


Jaké linky lze provozovat v hybridním režimu?

- ▶ Nutnou podmínkou pro provoz hybridního trolejbusu na lince je **pozitivní energetická bilance**:

přijatá energie při průjezdu linky \geq vydaná energie na lince

- ▶ Potřebujeme odhadnout příjem energie (z trolejí) i spotřebu energie na každém mezizastávkovém úseku trasy.
- ▶ **Kvůli ohřevu styku botky s trolejí** uvažujeme se dvěma proudovými limity:
 - maximální proud z troleje za jízdy (vyšší),
 - maximální proud z troleje při stání (nižší).
- ▶ Power management vozidla podle aktuální rychlosti reguluje odběr z troleje s ohledem na výše uvedené limity.
- ▶ Celkovou spotřebu energie ve vozidle dělíme na dvě části:
 - **spotřebu pohonu** (závisí na délce trasy, výškovém profilu, hmotnosti vozidla, stavu dopravy, návycích řidiče, atd.),
 - **spotřebu ostatních systémů** (klimatizace, topení, osvětlení,...).



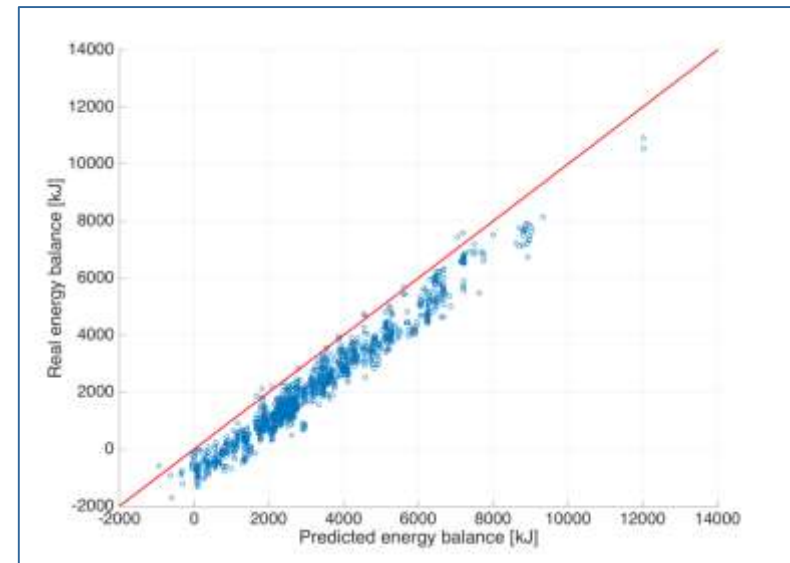
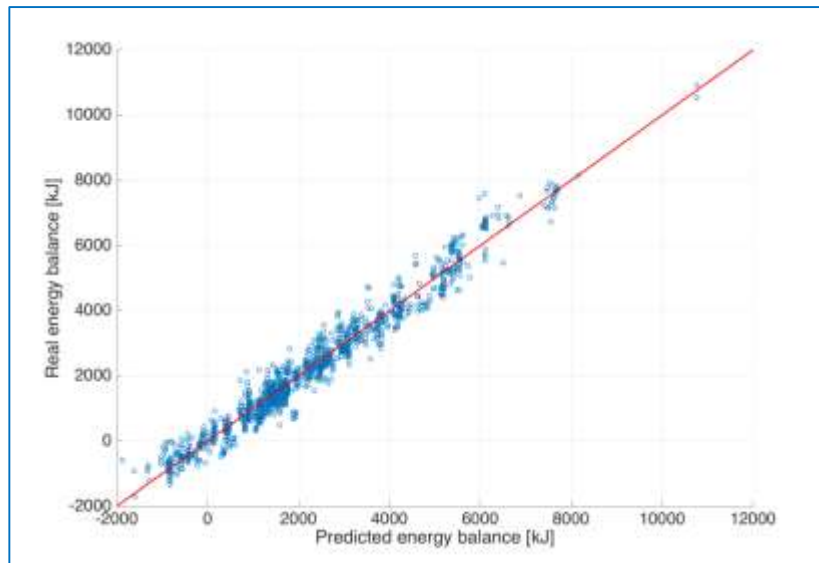
Předpověď spotřeby na základě historických dat

- ▶ Nejlepší odhady výdeje energie v mezizastávkovém úseku poskytuje **lineární model** závislý na

- ▶ vzdálenosti (d),
- ▶ celkovém stoupání (h),
- ▶ celkovém klesání (l).

$$E_{\text{pohon}} = \beta_1 d + \beta_2 h + \beta_3 l + \varepsilon$$

- ▶ Modelujeme pesimistický scénář s vyšší odhadovanou potřebou, 99% spolehlivost odhadu.



Varianty modelu – testované alternativy

- ▶ Ověřovali jsme statistické regresní modely založené na telemetrických datech z testovacího vozidla:
 - ▶ Celkem 37 měřených parametrů (vč. netypických parametrů jako teplota, odometr, nadmořská výška).
 - ▶ Nejlepší výsledky měla lineární regrese, neprokázala se nutnost volit složitější model.
- ▶ Lineární regresní model zanedbává parametry, které mohou dále zlepšit odhad spotřeby, ale které na vozidle obvykle neměříme:
 - ▶ pohotovostní hmotnost vozidla,
 - ▶ osobní preference řidiče,
 - ▶ okolní provoz.
- ▶ Odhad hmotnosti vozidla z průběhu rozjezdu
 - ▶ nepřesné výškové údaje z GPS,
 - ▶ začlenění do modelu zhoršovalo přesnost.
- ▶ Sezónnost
 - ▶ vliv topení + klimatizace,
 - ▶ ukazuje se nezanedbatelný vliv zimního provozu (topení), $t = \{0,1\}$... další možný regresor

$$E_{\text{úsek}} = E_{\text{pohon}} + E_{\text{stacio}} = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 h + \beta_3 l + \beta_4 t + \varepsilon$$

4. Úseky

Vyberte trasu, která nejlépe odpovídá skutečné:
Sady Pětatřicátníků → Rondel

Kliknutím do mapy přidáte průjezdní bod, dalším kliknutím ho přesunete,

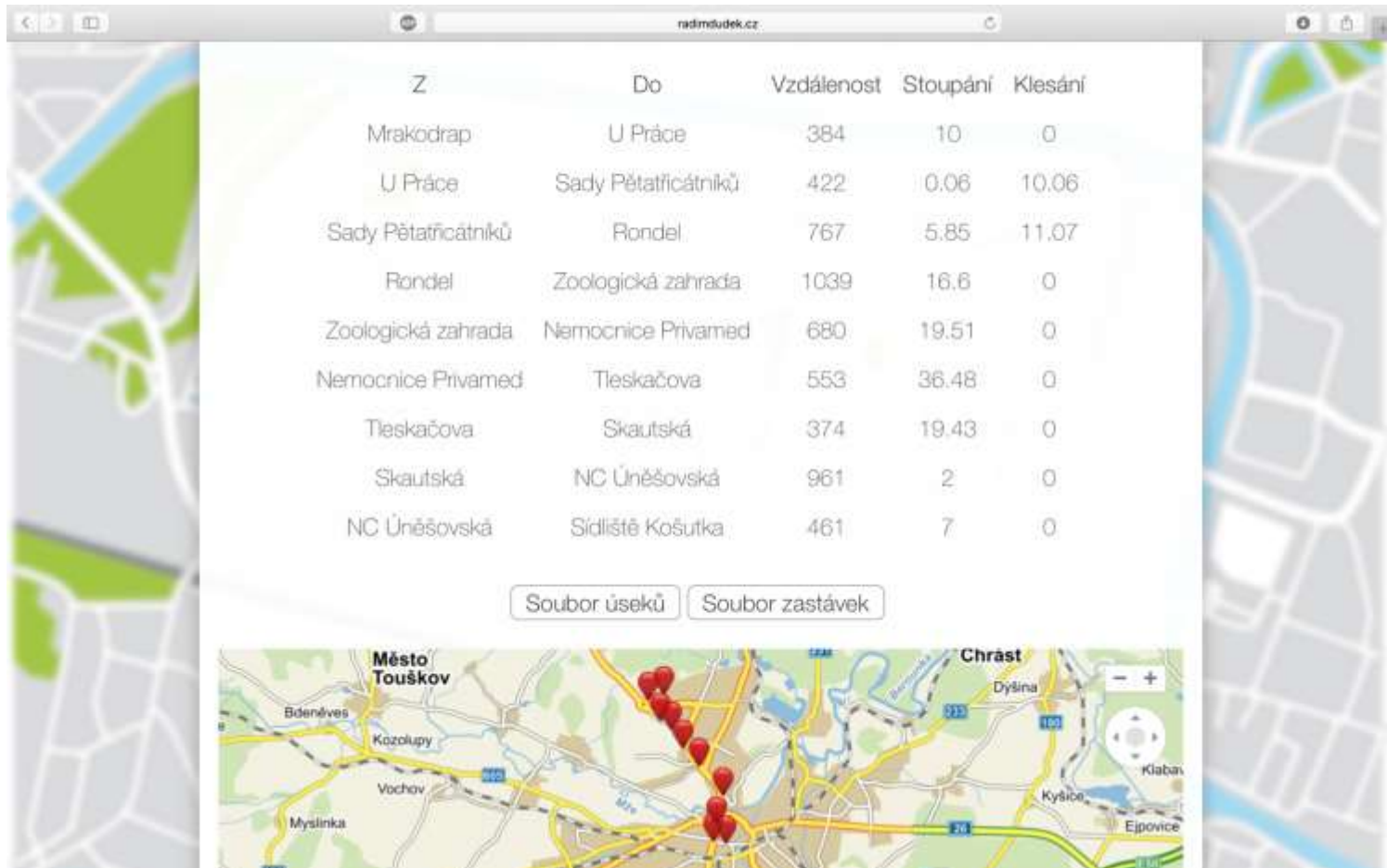


Chodec

Auto


Cyklista

Mapa mezizastávkových úseků



radimeludek.cz

Z	Do	Vzdálenost	Stoupání	Klesání
Mrakodrap	U Práce	384	10	0
U Práce	Sady Pětatřicátníků	422	0.06	10.06
Sady Pětatřicátníků	Rondel	767	5.85	11.07
Rondel	Zoologická zahrada	1039	16.6	0
Zoologická zahrada	Nemocnice Privamed	680	19.51	0
Nemocnice Privamed	Tleskačova	553	36.48	0
Tleskačova	Skautská	374	19.43	0
Skautská	NC Úněšovská	961	2	0
NC Úněšovská	Sídlíště Košutka	461	7	0



Doplnění údajů o zatrolejování a jízdních dobách

22 - Microsoft Excel

Soubor Domů Vložení Rozložení stránky Vzorce Data Revize Zobrazení Team

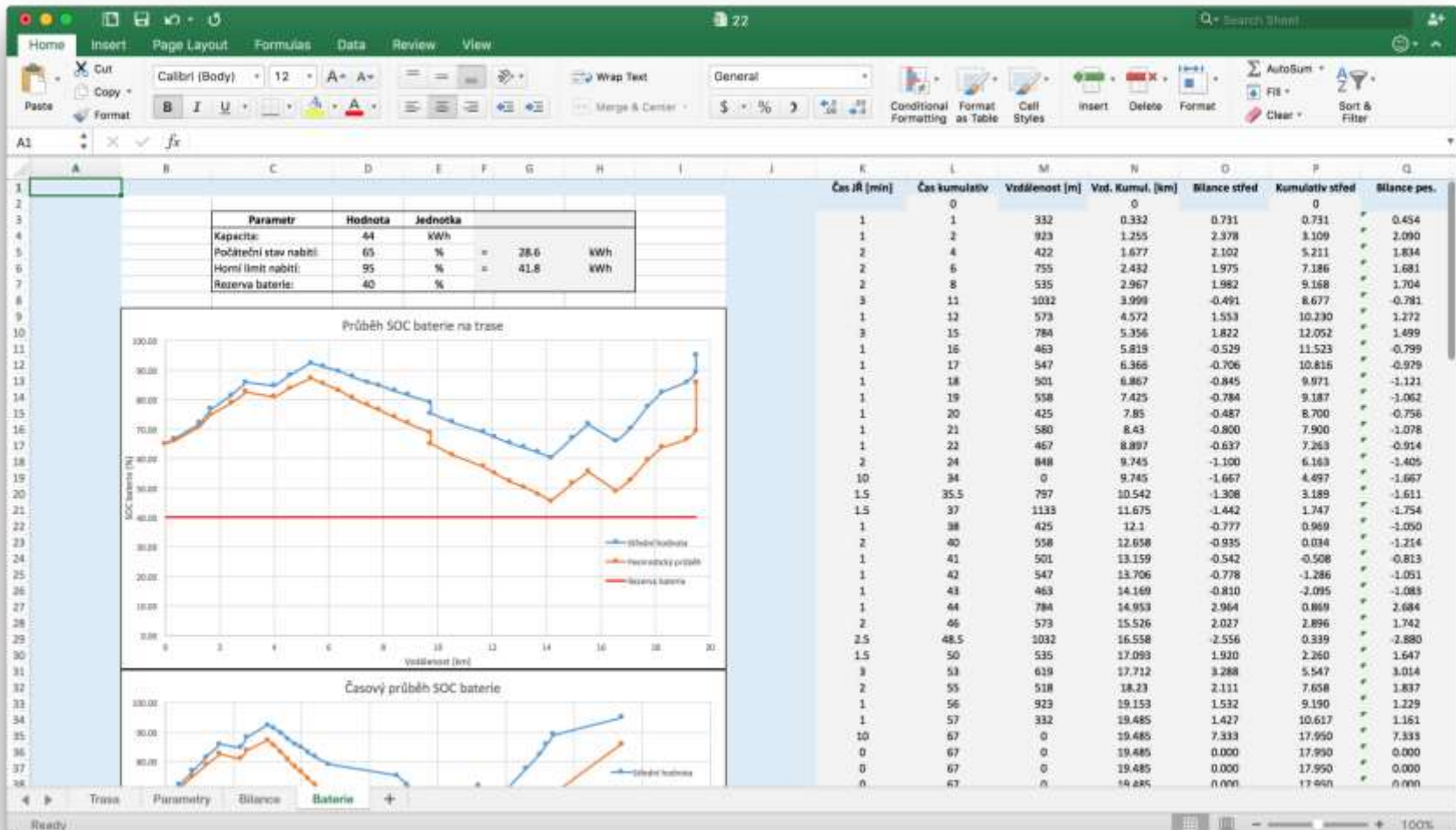
Vložit Calibri 12 Zamovat text Obecný Podmíněné formátování Formátovat jako tabulku Styly Vložit Odstranit Formát Automatické shrnutí Vypnit Vymazat Seřadit a filtrovat Najít a vybrat

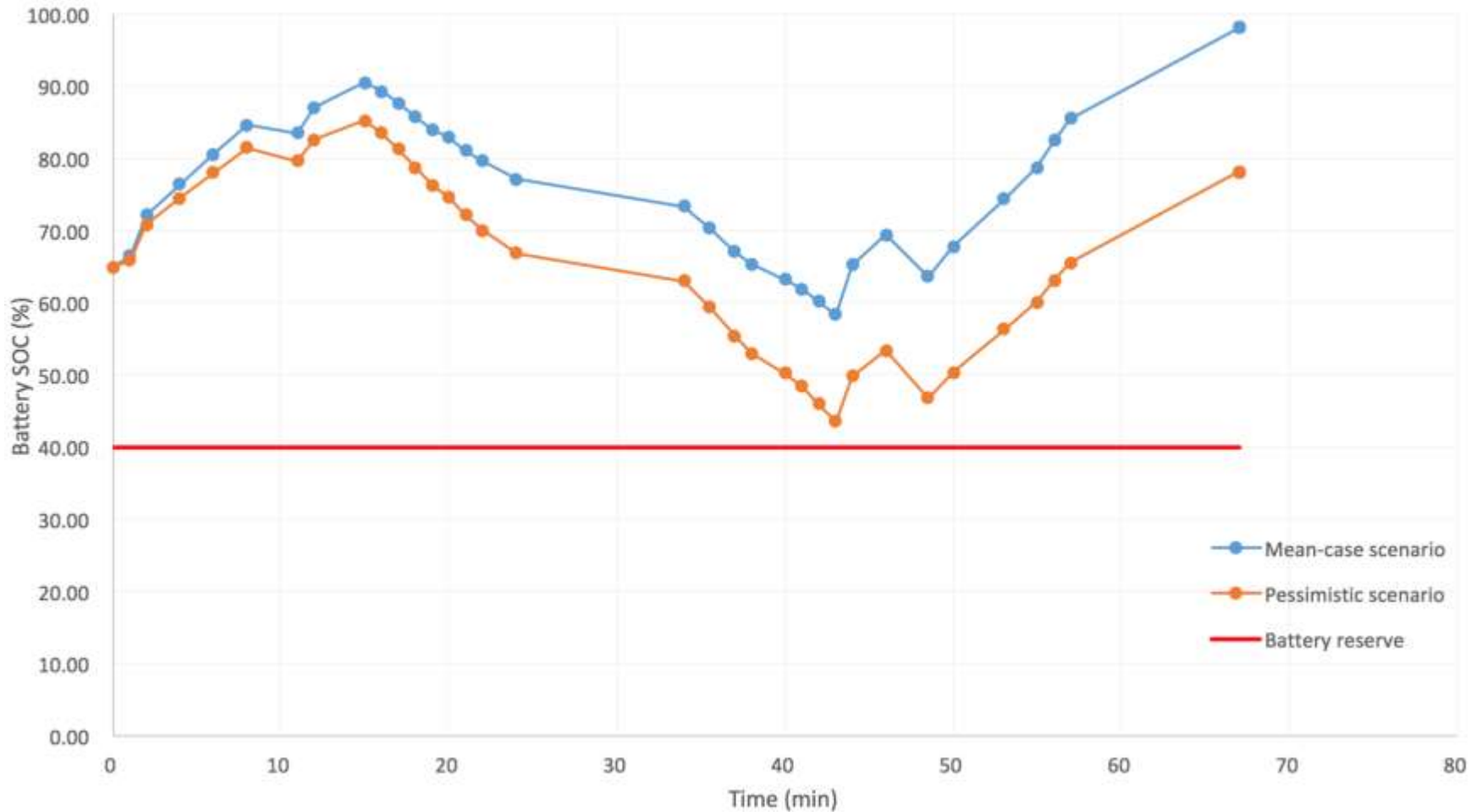
H4

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Parametry z mapy									
2										
3	Z	DO	Vzdálenost [m]	Stoupání [m]	Klesání [m]		Čas JŘ [min]	Trolej [0/1]		E dobíjení [kJ]
4	Koterov	Barvínková	797	20	12		1			
5	Barvínková	K Dráže	1133	8	11		2			
6	K Dráže	Hasičská stanice	425	4	0		1			
7	Hasičská stanice	Pekárna	558	4	3		2			
8	Pekárna	Světovar	501	2	6		1			
9	Světovar	Vozovna Slovany	547	2	0		1			
10	Vozovna Slovany	Slovany	463	5	0		1			
11	Slovany	Vodárna	784	1	38		2	1		282
12	Vodárna	Doudlevice ETZ	573	7	2		2	1		206
13	Doudlevice ETZ	Nemocnice Bory	1031	26	1		2			
14	Nemocnice Bory	Dobrovského	535	1	2		2	1		192
15	Dobrovského	Nám. Českých bratří	619	0	9		3	1		222
16	Nám. Českých bratří	Techmania	518	2	1		2	1		186
17	Techmania	KarloV	923	11	0		1	1		332
18	KarloV	Škoda VIII. brána	332	4	6		1			
19	Škoda VIII. brána	KarloV	332	6	4		1			
20	KarloV	Techmania	923	0	11		1	1		332
21	Techmania	Jižní Předměstí	422	0	2		2	1		151

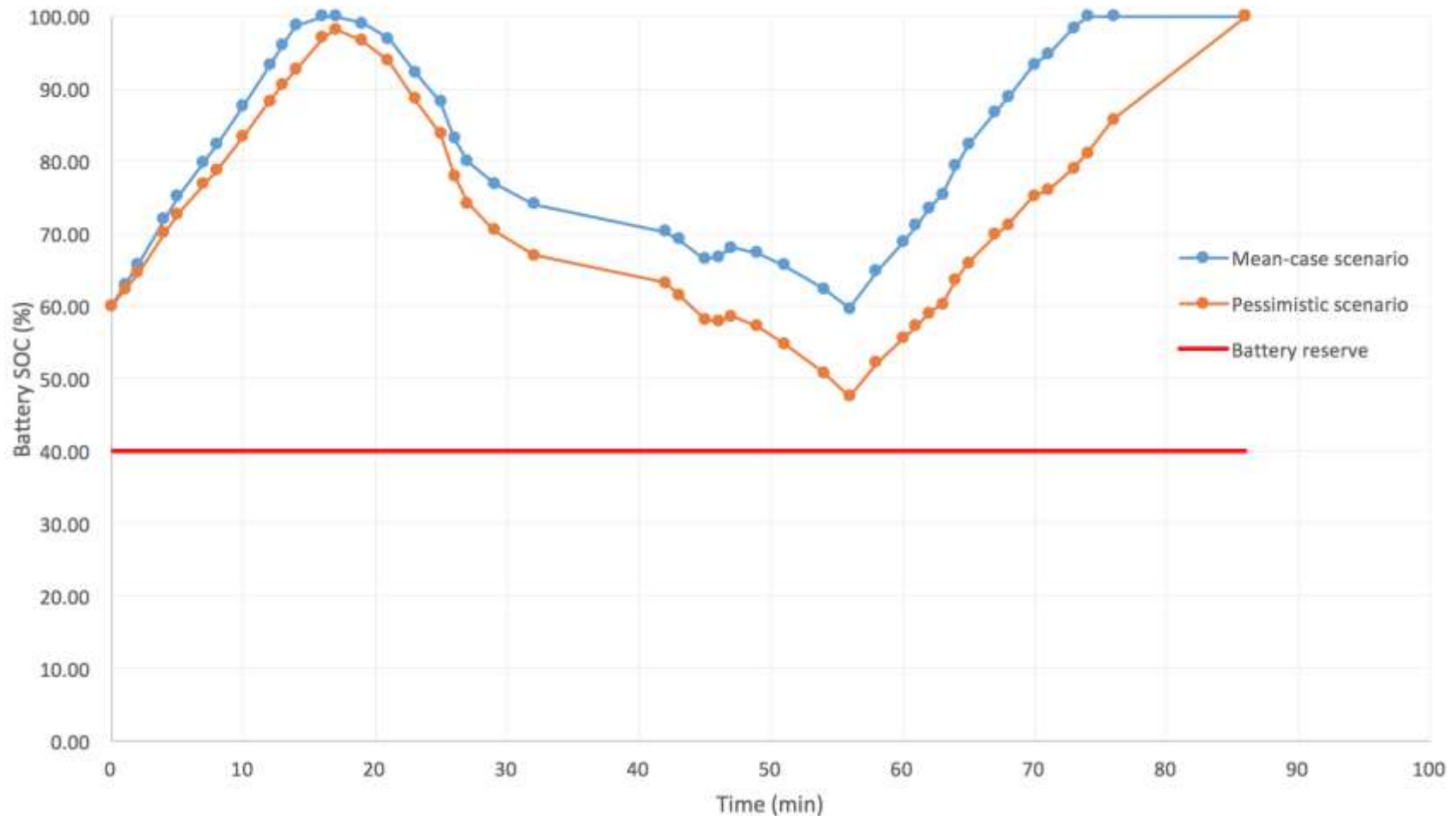
Přípraven

Předpověď energetické bilance pro novou linku





Kombinace 17 (trolejbus) a 27 (autobus)



Problém rozšiřování infrastruktury

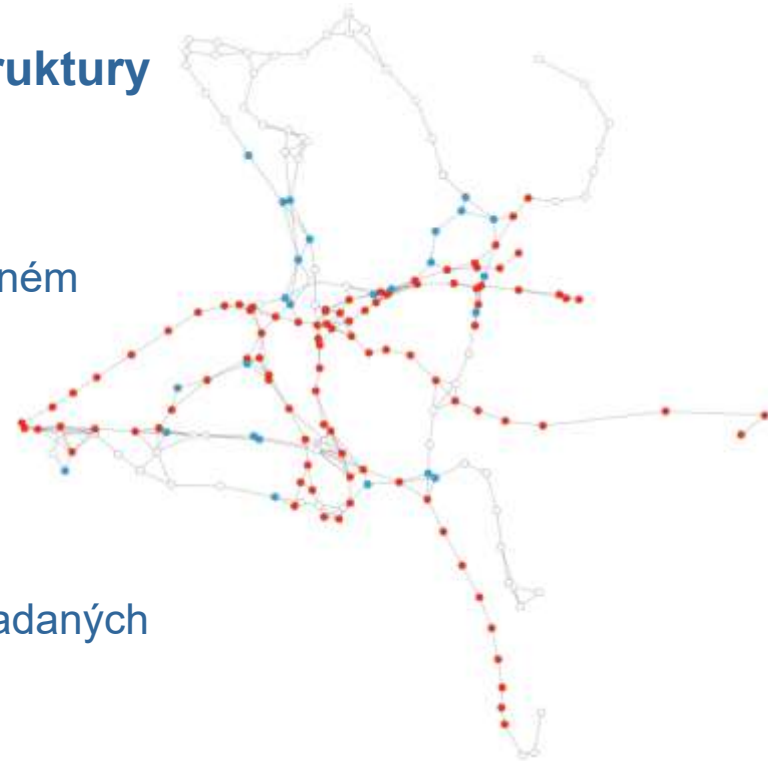
Elektrifikace provozu vyžaduje nová trolejová vedení – kde?

Náhrada autobusů přinese dopady do infrastruktury

- ▶ Na řadě současných autobusových linek PMDP není možné účinně provozovat hybridní trolejbusy.
- ▶ Které úseky by bylo vhodné zatrolejovat při současném požadavku na minimální náklady?

Optimalizace infrastruktury v Plzni - omezující podmínky:

1. Očekávaná energetická bilance e-busu na všech zadaných linkách bude i ve spodním odhadu kladná.
2. Lze pouze souvisle rozšiřovat stávající síť trolejí.
3. Postupovat lze pouze po celých mezizastávkových úsecích.

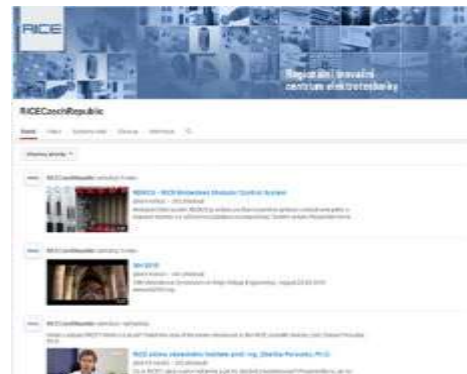
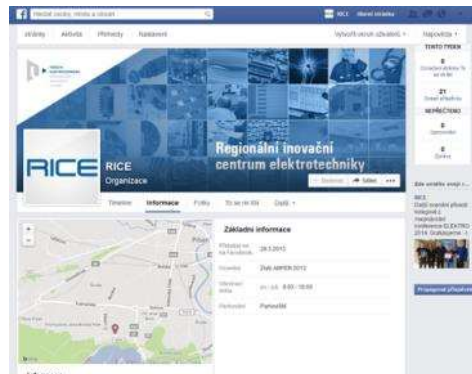


- ▶ Cíl – plně elektrifikovaná MHD.

Plzeň má PŘÍLEŽITOST být vzorem moderní MHD, být v oblasti dopravy SMART CITY.

- ▶ Možnost rozsáhlých optimalizací MHD v libovolném městě.
- ▶ Řešení jak flotily vozidel, tak možnost optimalizace linek i dopravní infrastruktury.
- ▶ Komplexní optimalizace městské dopravy, kde **kritériem optimality jsou minimální náklady** na přechod k plně elektrifikované MHD.
- ▶ **Využitelnost výsledků** – cíloví zákazníci/partneři:
 - **výrobci vozidel** (výroba vozidla na míru),
 - **města/dopravní podniky.**

- ▶ Website:
www.rice.zcu.cz
- ▶ FACEBOOK:
facebook.com/ricepage
- ▶ LINKEDIN:
linkedin.com/company/regional-innovation-centre-for-electrical-engineering-rice-
- ▶ YOUTUBE: **RICECzechRepublic**



Fakulta elektrotechnická
Západočeská univerzita v Plzni

prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
proděkan pro vědu a strategii a ředitel RICE

Adresa: Univerzitní 26
306 14 Plzeň
Česká republika

Tel: +420 377 634 101
Fax: +420 377 634 002

Email: rice@rice.zcu.cz