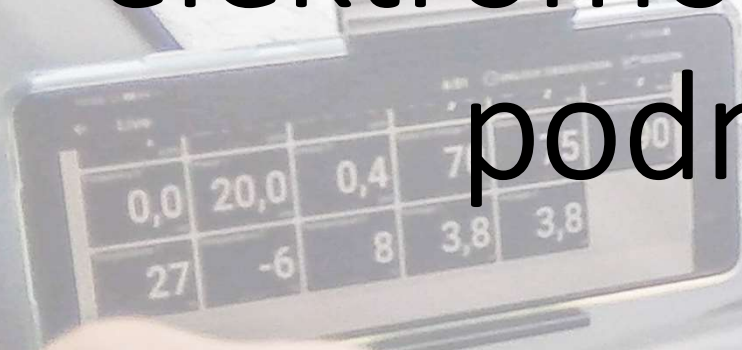


Zkušenosti se spotřebami elektromobilu v zimních podmínkách



Zdeněk Mašek
Univerzita Pardubice

28.3.2023

Úvod



Obsah prezentace

- Spotřeba energie vozidla (kWh/100 km) na různých trasách.
- Množství odebrané a rekuperované energie z/do trakční baterie.
- Porovnání léto/zima.
- Vliv klimatizace/topení na spotřebu/dojezd.
- Vliv hmotnosti vozidla na spotřebu/dojezd.
- Spotřeba palubní 12 V sítě.
- AC nabíjení z wallboxu a DC nabíjení.

Úvod

Vozidla v testu

- Léto
 - Hyundai Kona 64 kWh
- Zima
 - Hyundai Kona 64 kWh
 - Hyundai Ioniq 28 kWh
 - Škoda Citigoe iV 32,3 kWh
 - Tesla Model S 90D 81,8 kWh



	Kona EV	Ioniq EV	Citigoe iV	Tesla S90D
Pohotovostní hmotnost [kg]	1720	1480	1180	2210
Tepelné čerpadlo	ANO	ANO	NE	NE
Aktivní teplotní manag. VN baterie	kapalinový	vzduchový	NE	kapalinový

Úvod

Za jakých podmínek

- Různé trasy
 - Dálnice (2x 39 km)
 - Okresky (2x 72 km a 2x 118 km)
 - Hory (4x 20 km)
 - Město (4x 22 km)
- Různá teplota okolí
 - léto – červen (13 °C až 32 °C)
 - zima – leden, únor (-6 °C až + 9 °C)
- A/C / topení kabiny zapnuto, teplota v kabině nastavena na 22 °C.
- Zapnuté vnější osvětlení vozidla (potkávací světla).
- Ve voze pouze řidič, bez nákladu.
- Vypnutá automatická rekuperace na pádlech, rekup. jen přes brzdový pedál.
- Nabíjení AC i DC.
- Nepodařilo se najít jeden termín pro společné jízdy.

Letní jízdy s Hyundai Kona

Typ trasy	Počet jízd	Ujetých km
dálnice	16	1308
okresky	11	940
hory	5	395
město	7	600
celkem	39	3243

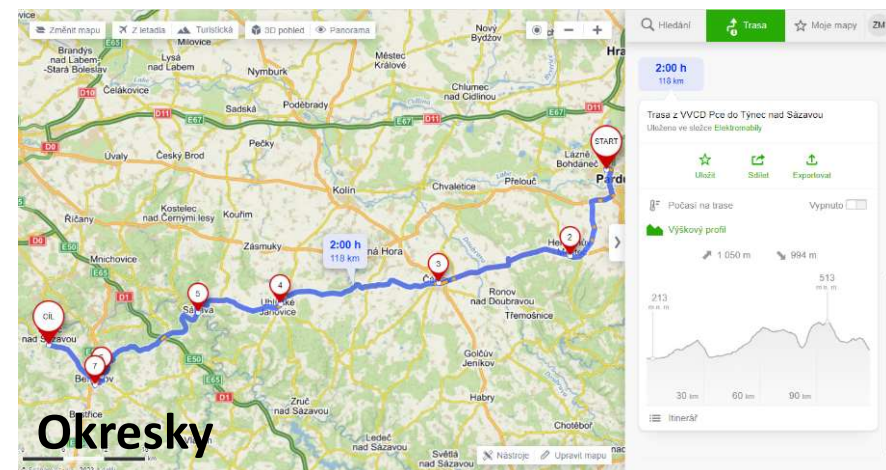
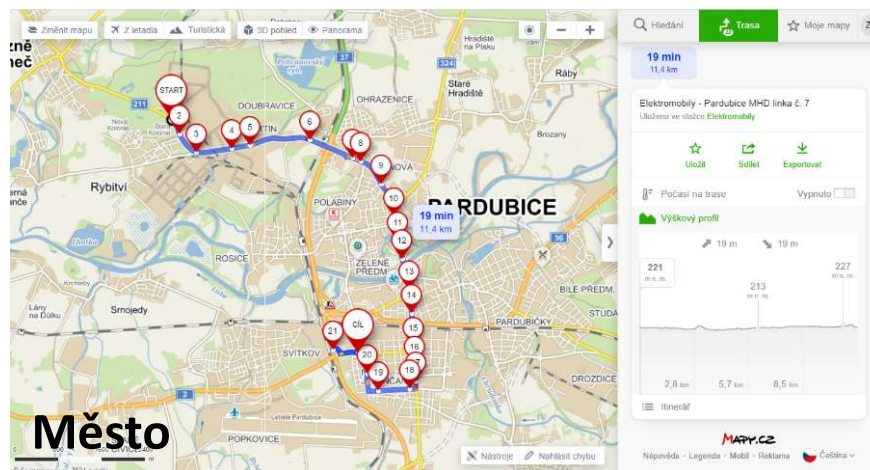
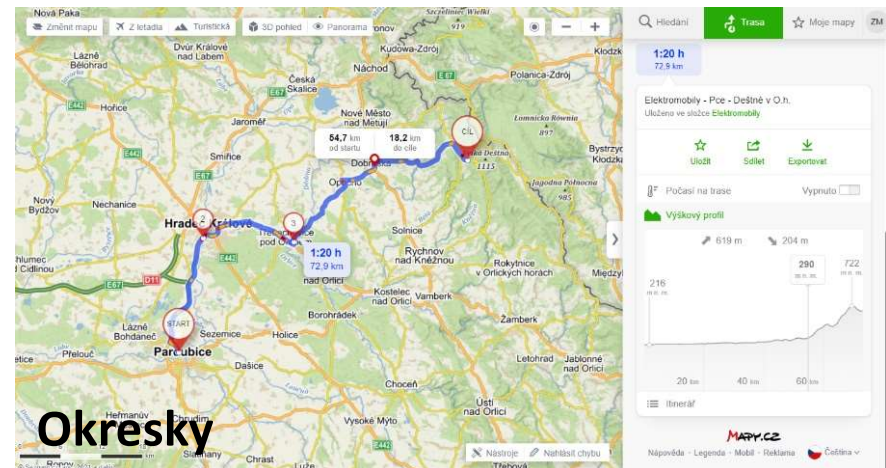
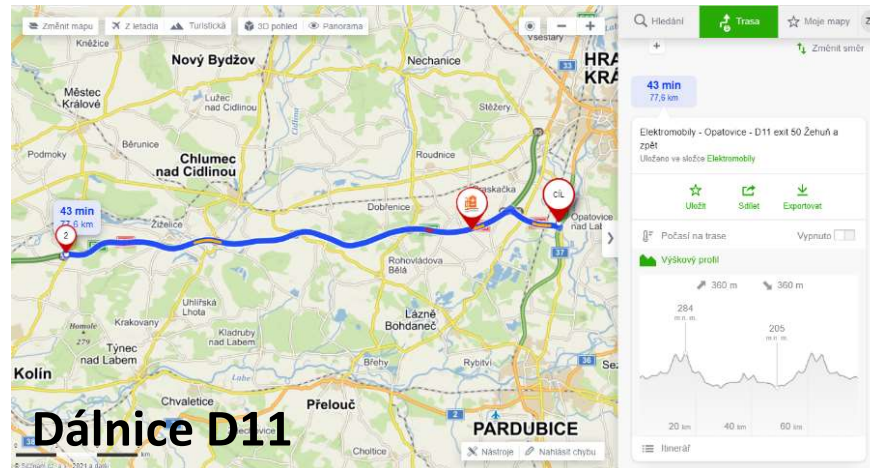
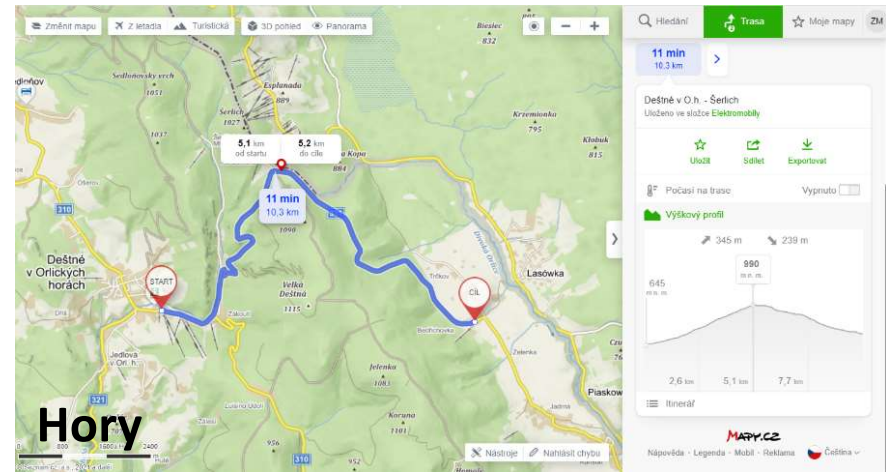
Zimní jízdy s Hyundai Kona

Typ trasy	Počet jízd	Ujetých km
dálnice	7	548
okresky	12	1072
hory	4	304
město	12	1055
celkem	35	2979

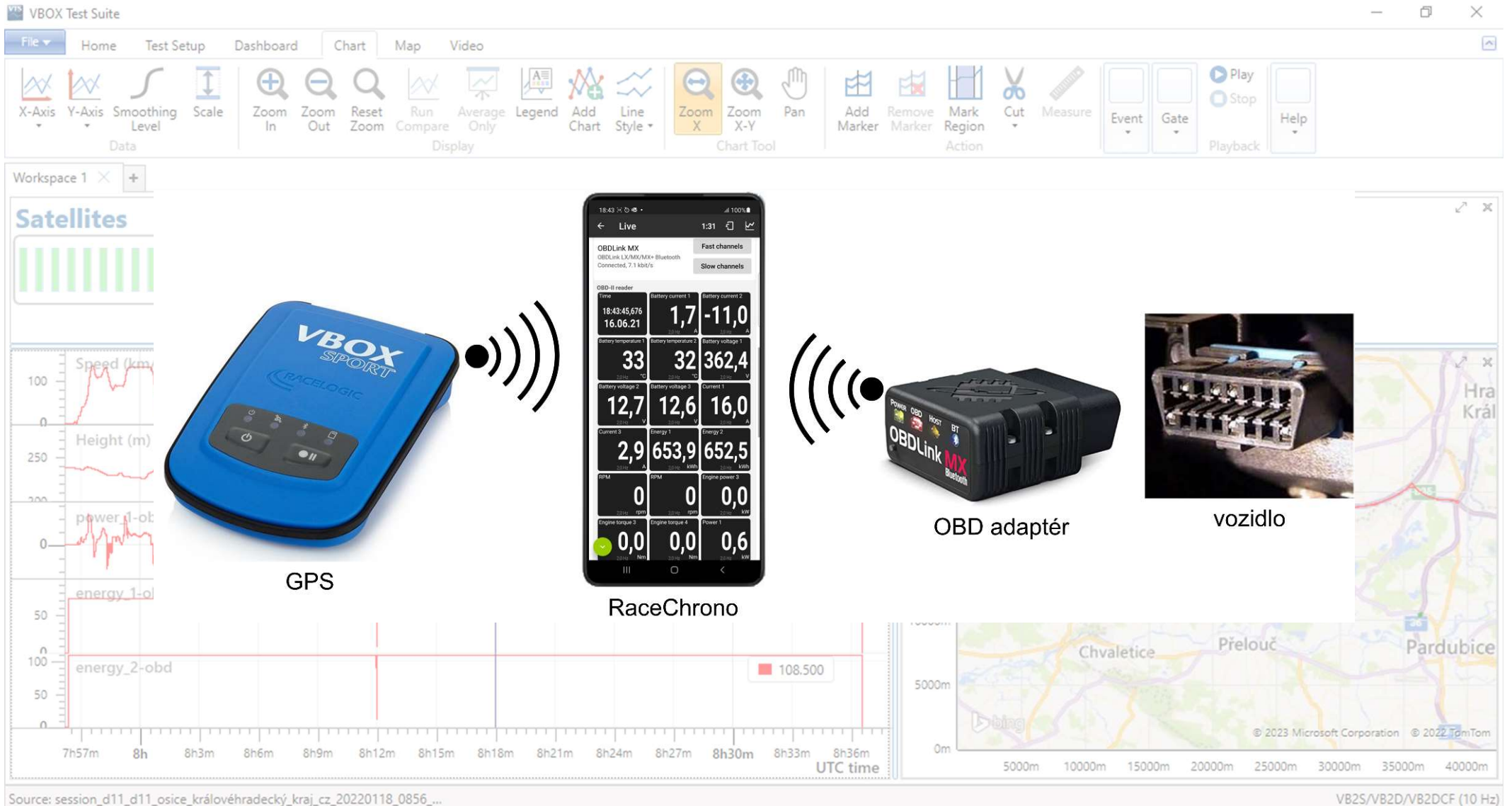


Úvod

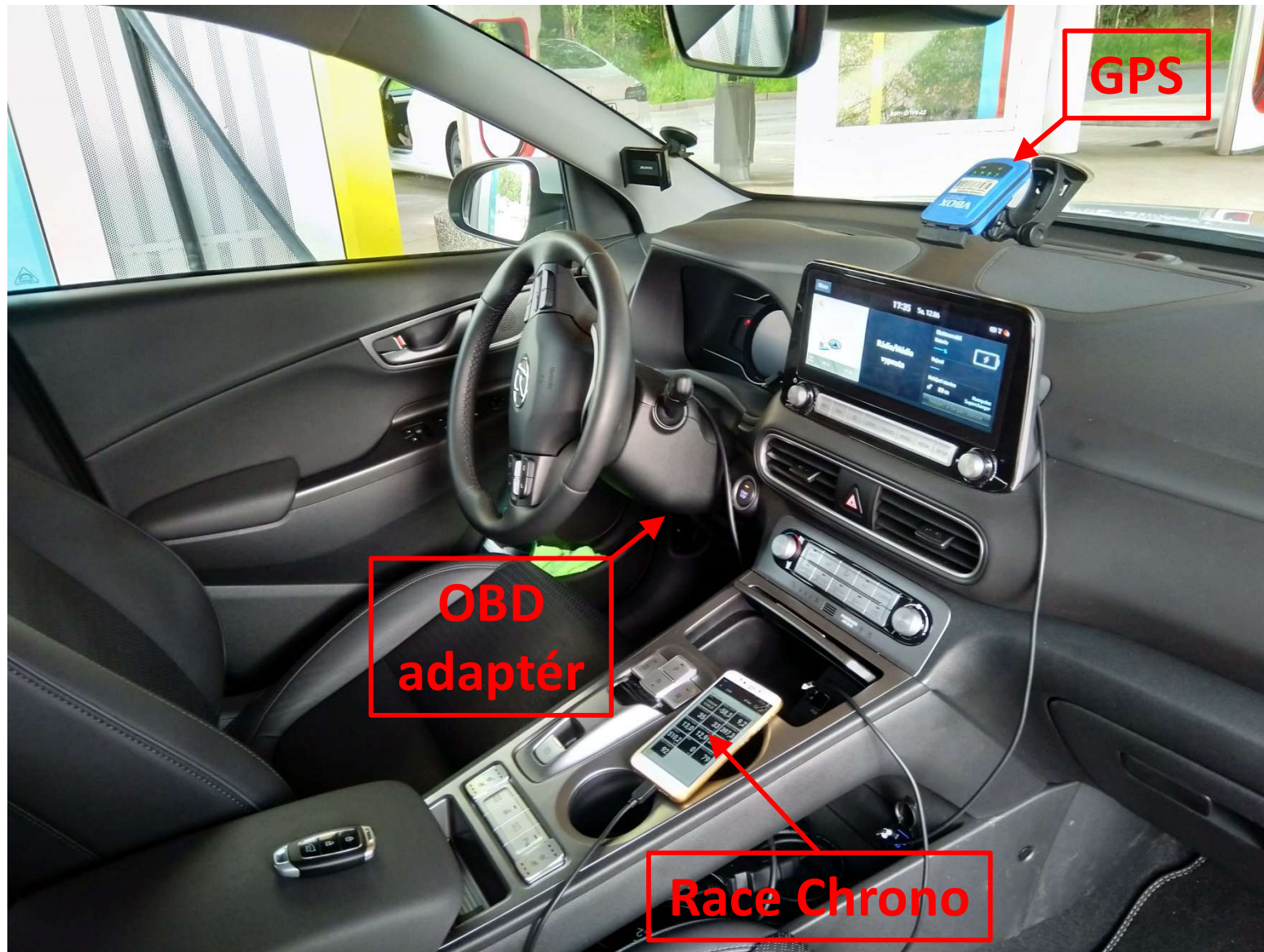
- Testovací trasy



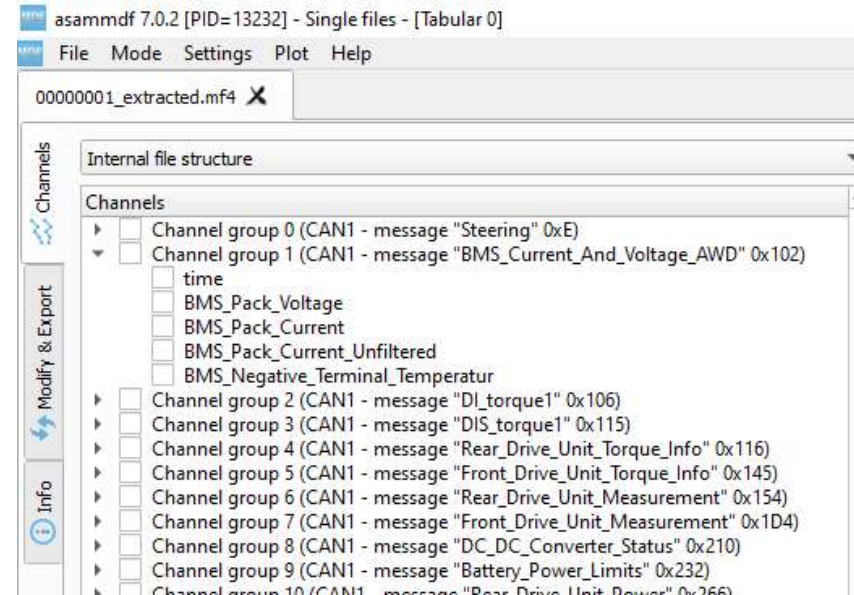
Sběr dat z vozidel Hyundai a Škoda



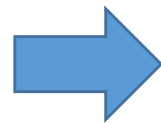
Sběr dat z vozidel Hyundai a Škoda



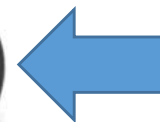
Sběr dat z vozidla Tesla S 90D



CAN BUS adaptér



CAN logger



GPS s výstupem na CAN BUS

Jaká data bylo možné získat

	Kona EV	Ioniq EV	Citigoe iV	Tesla S 90D
SOC VN baterie	OBD	OBD	OBD	CAN BUS
Počítadla energií VN baterie	OBD	OBD	OBD	CAN BUS
Výkon VN baterie	OBD	OBD	OBD	CAN BUS
Výkon 12 V baterie	OBD	X	X	X
Výkon DC-DC měniče 12 V	OBD	OBD	OBD	CAN BUS
Příkon DC-DC měniče 12 V	X	X	OBD	CAN BUS
Příkon kompresoru klimatizace	Foto	Foto	X	X
Příkon PTC výhřevu kabiny			Výpočet	CAN BUS
Příkon PTC výhřevu VN baterie	Foto	Foto	Nemá	CAN BUS
Příkon všech pomocných pohonů napájených z VN baterie	X	X	Výpočet	CAN BUS
Mech. výkon elektromotoru(ů)	OBD	OBD	OBD	OBD
El. výkon elektromotoru(ů)	X	X	OBD	X
Příkon střídače(ů) elektromotoru(ů)	X	X	X	(Výpočet)
Výkon palubní nabíječky	X	X	Výpočet	Výpočet
Příkon palubní nabíječky	Elektroměr	Elektroměr	Elektroměr	Elektroměr
Účinnost DC-DC měniče 12 V	(Výpočet)	(Výpočet)	Výpočet	Výpočet
Účinnost elektromotoru(ů)	X	X	(Výpočet)	X
Účinnost elektropohonu (střídač + el. mot.)	X	X	(Výpočet)	(Výpočet)
Účinnost palubní nabíječky	(Výpočet)	X	Výpočet	Výpočet
Počet vyčítaných veličin z OBD / CAN BUS	39	26	26	301

Jaká data bylo možné získat



KONA EV

IONIQ EV

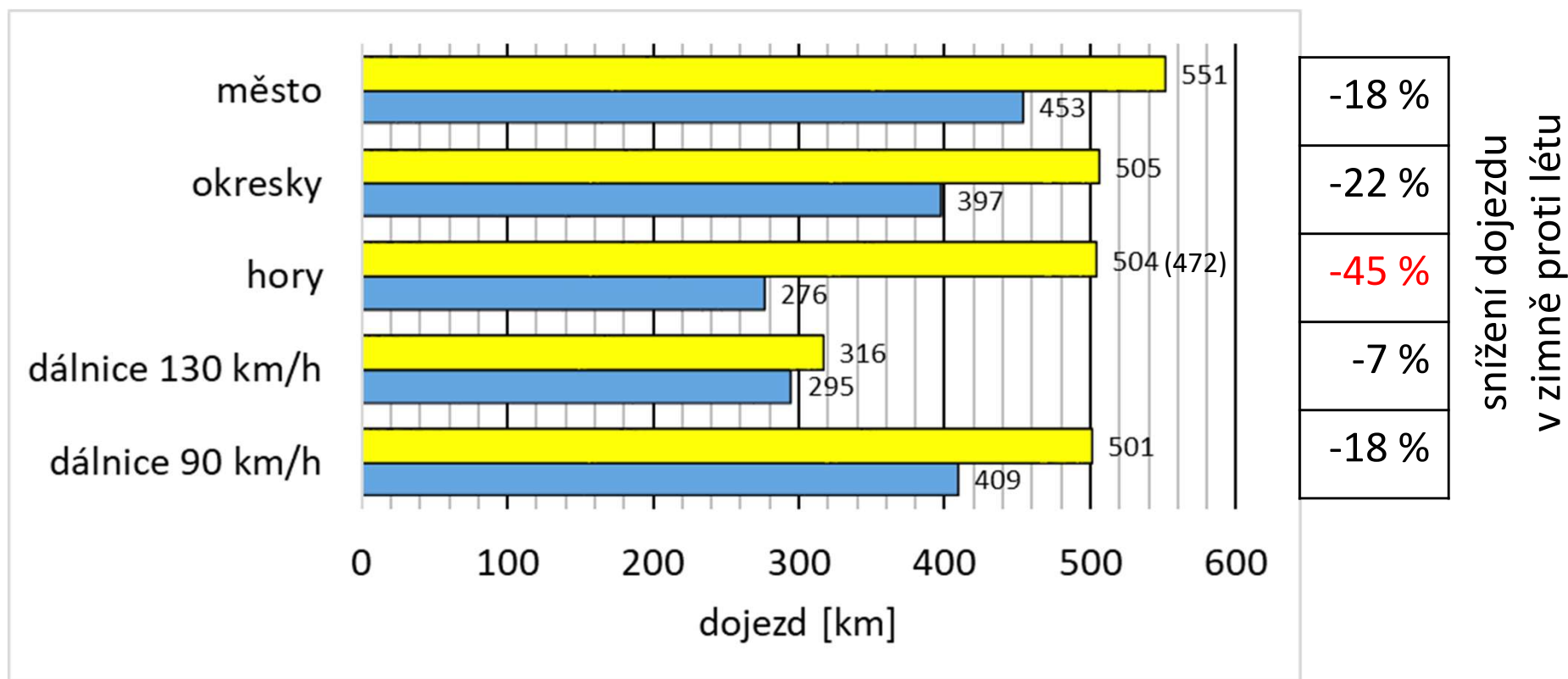
procentní rozložení spotřeb



Průměrný dojezd



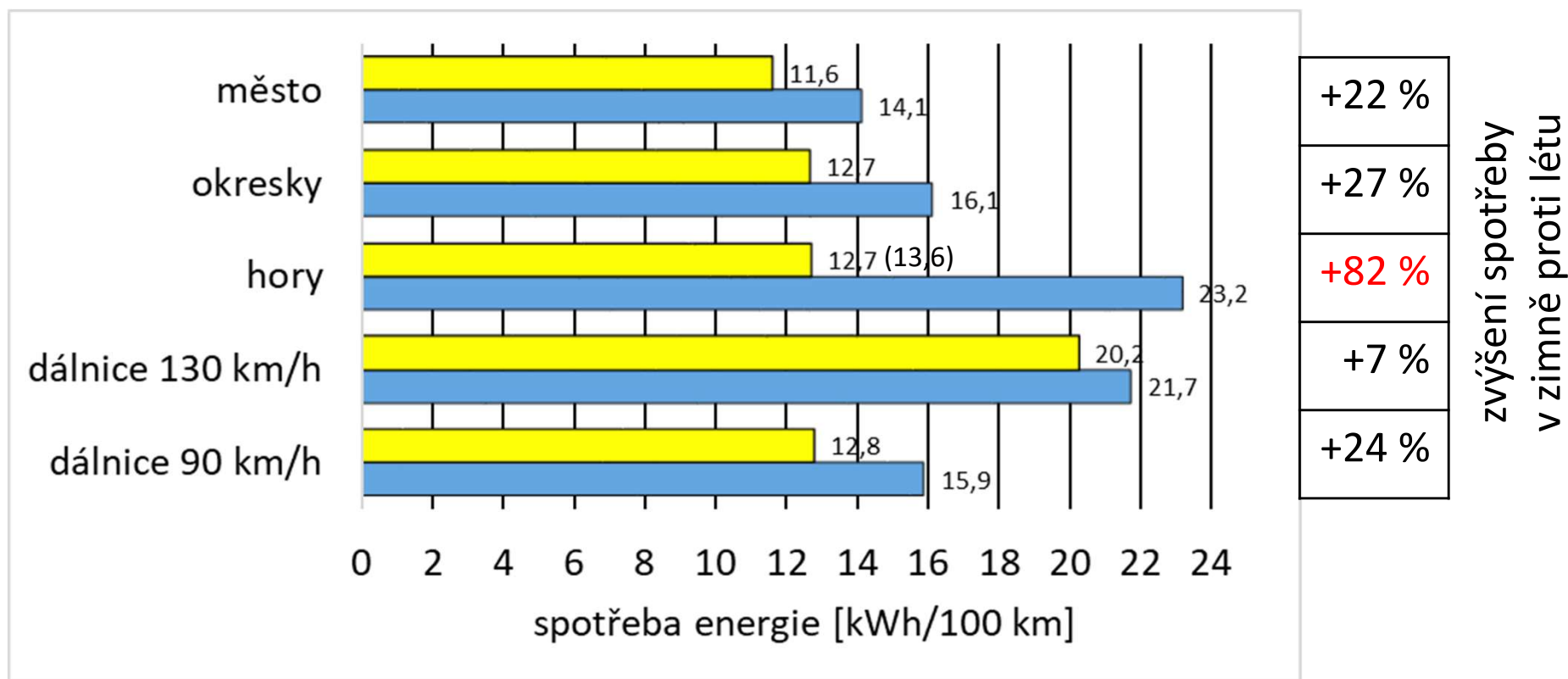
- Průměrné hodnoty počítané ze všech jízd.
- Uvažována využitelná kapacita trakční baterie 64 kWh.
- **Léto** versus **zima**.



Průměrná spotřeba energie



- Průměrné hodnoty počítané ze všech jízd.
- Uvažována využitelná kapacita trakční baterie 64 kWh.
- **Léto** versus **zima**.



Proč má elektromobil v zimě menší dojezd než v létě?



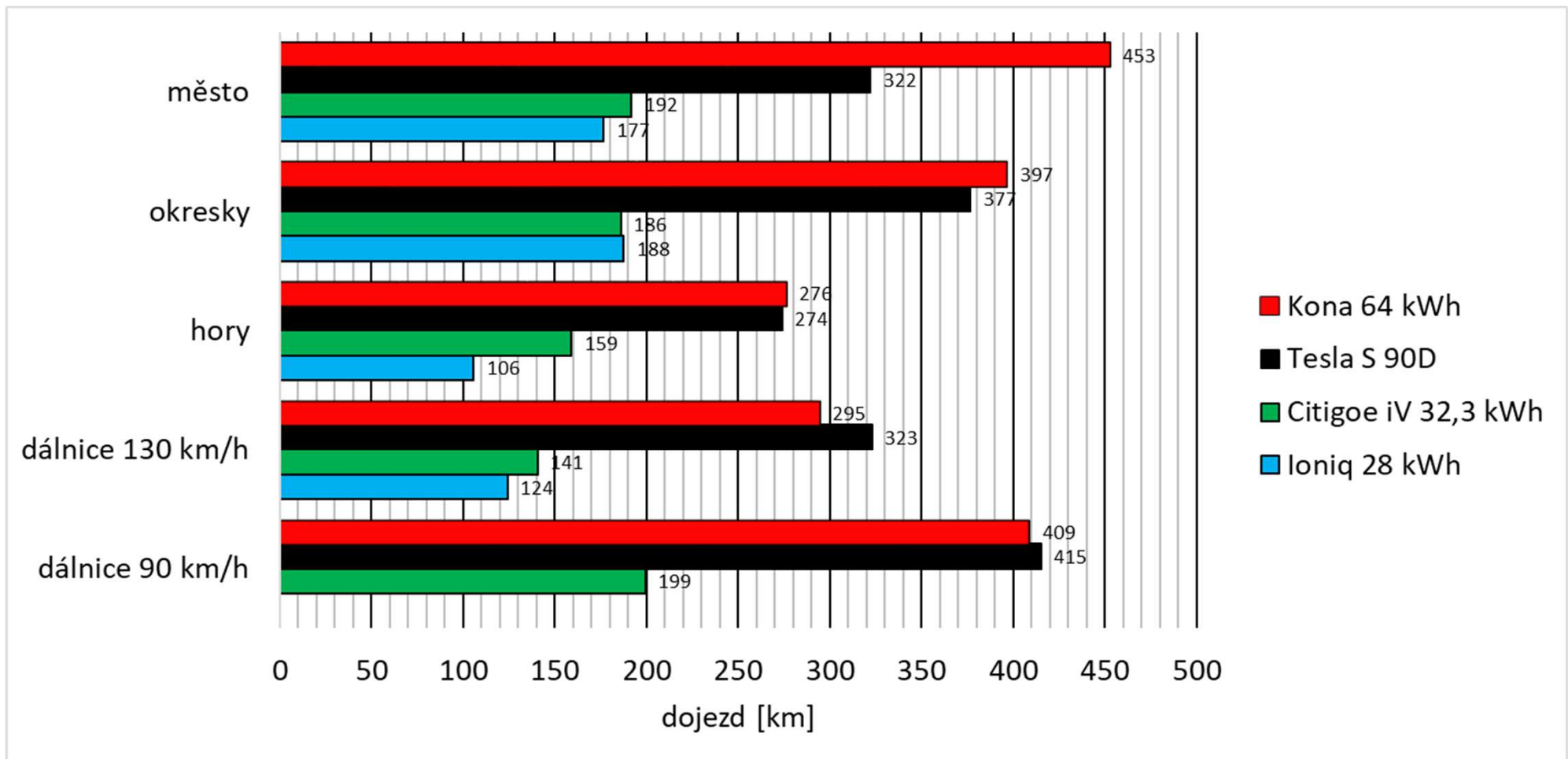
- Vyšší jízdní odpory (vyšší hustota vzduchu, vítr, déšť/sněžení, mlha, zavátá silnice).
- Horší rekuperace (menší rychlost jízdy, prokluz kol, studená baterie, vyšší spotřeba pomocných pohonů).
- Topení v zimě má vyšší spotřebu energie než klimatizace v létě.



Průměrný dojezd (porovnání vozidel)



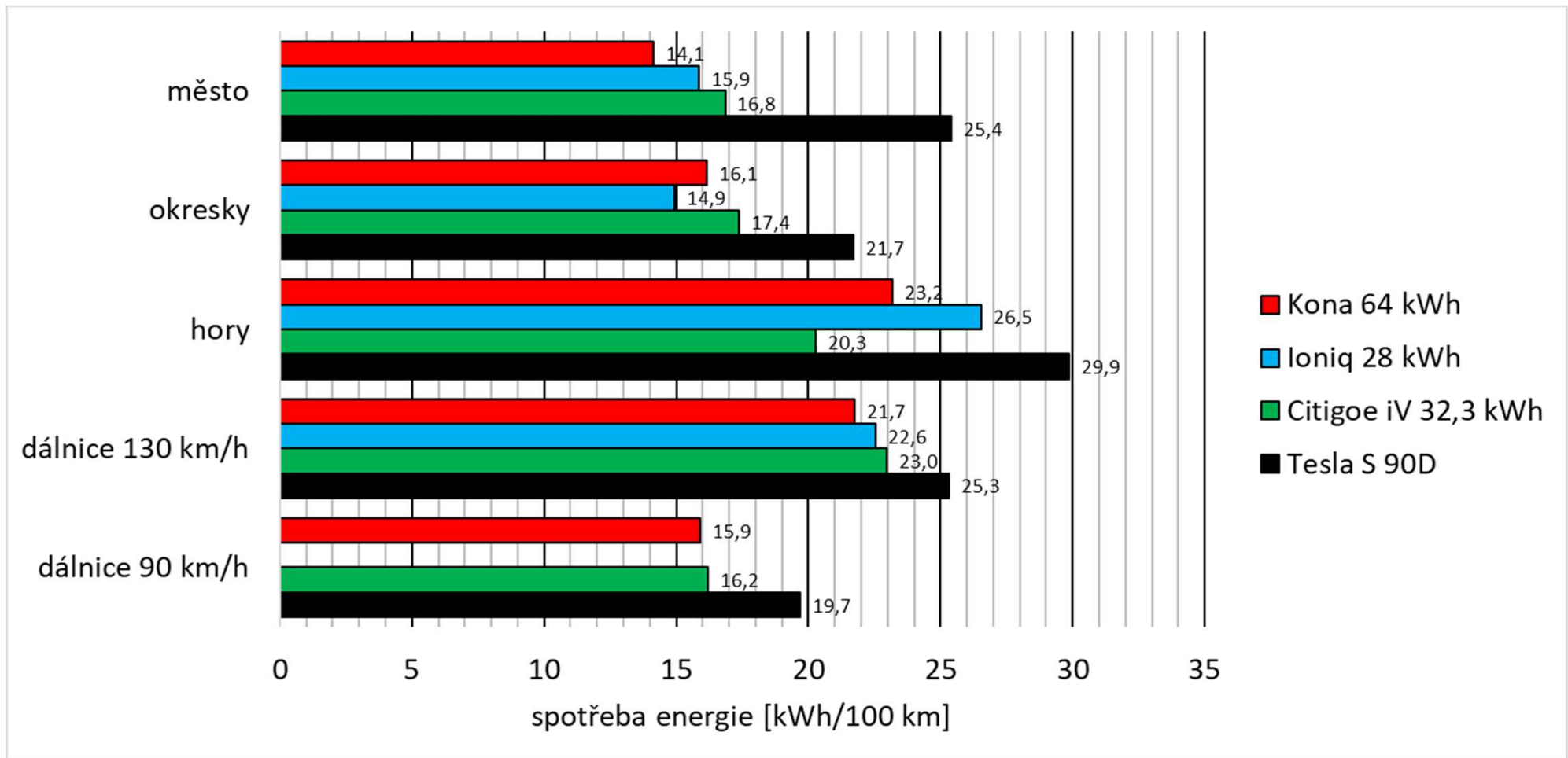
- Zima



Průměrná spotřeba energie (porovnání vozidel)

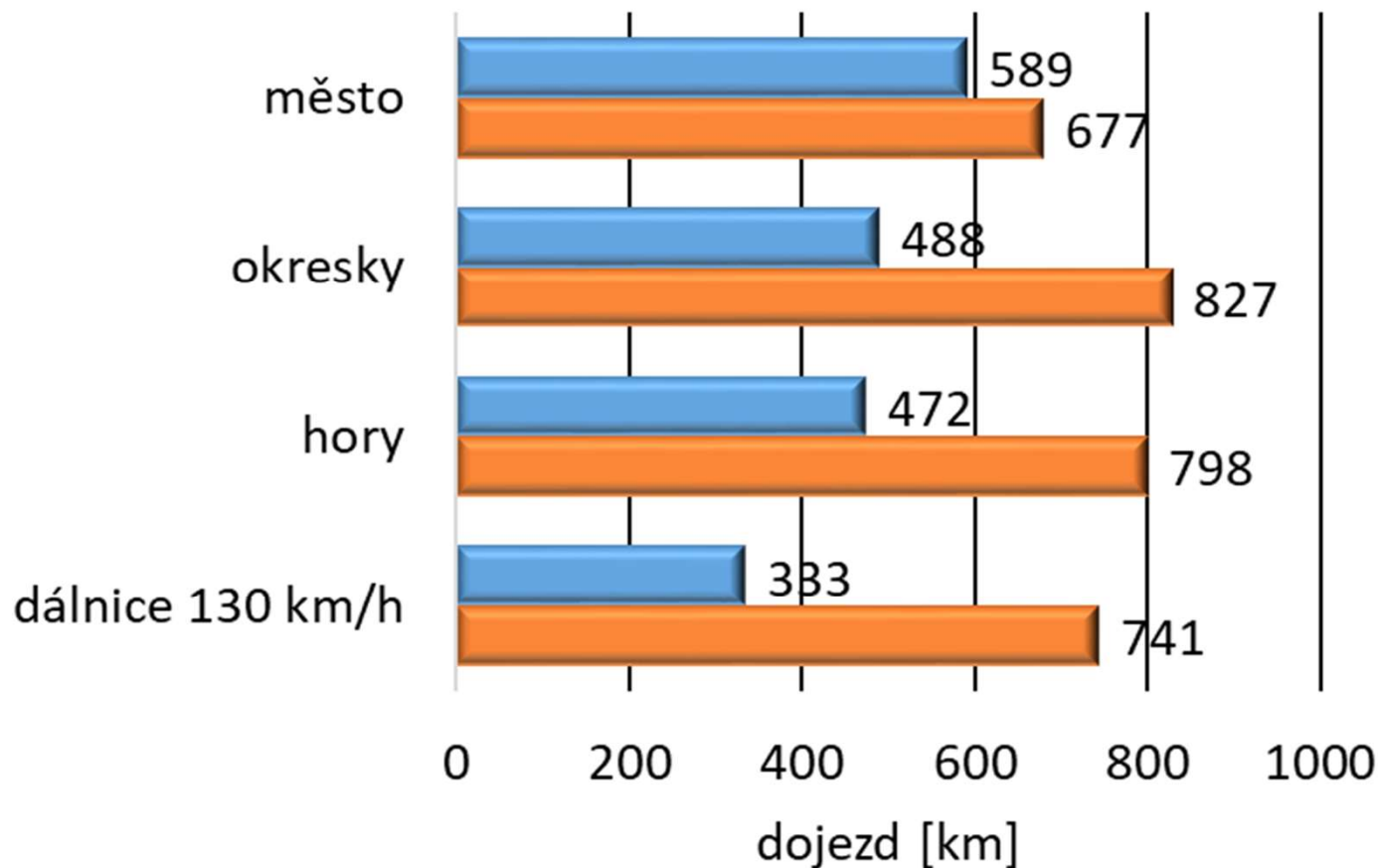


- Zima



Průměrná spotřeba energie a dojezd v létě – BEV vs. ICE

- Porovnání se spalovacím vozidlem **Opel Astra J 1.4T 88 kW benzín.**
- **Léto**



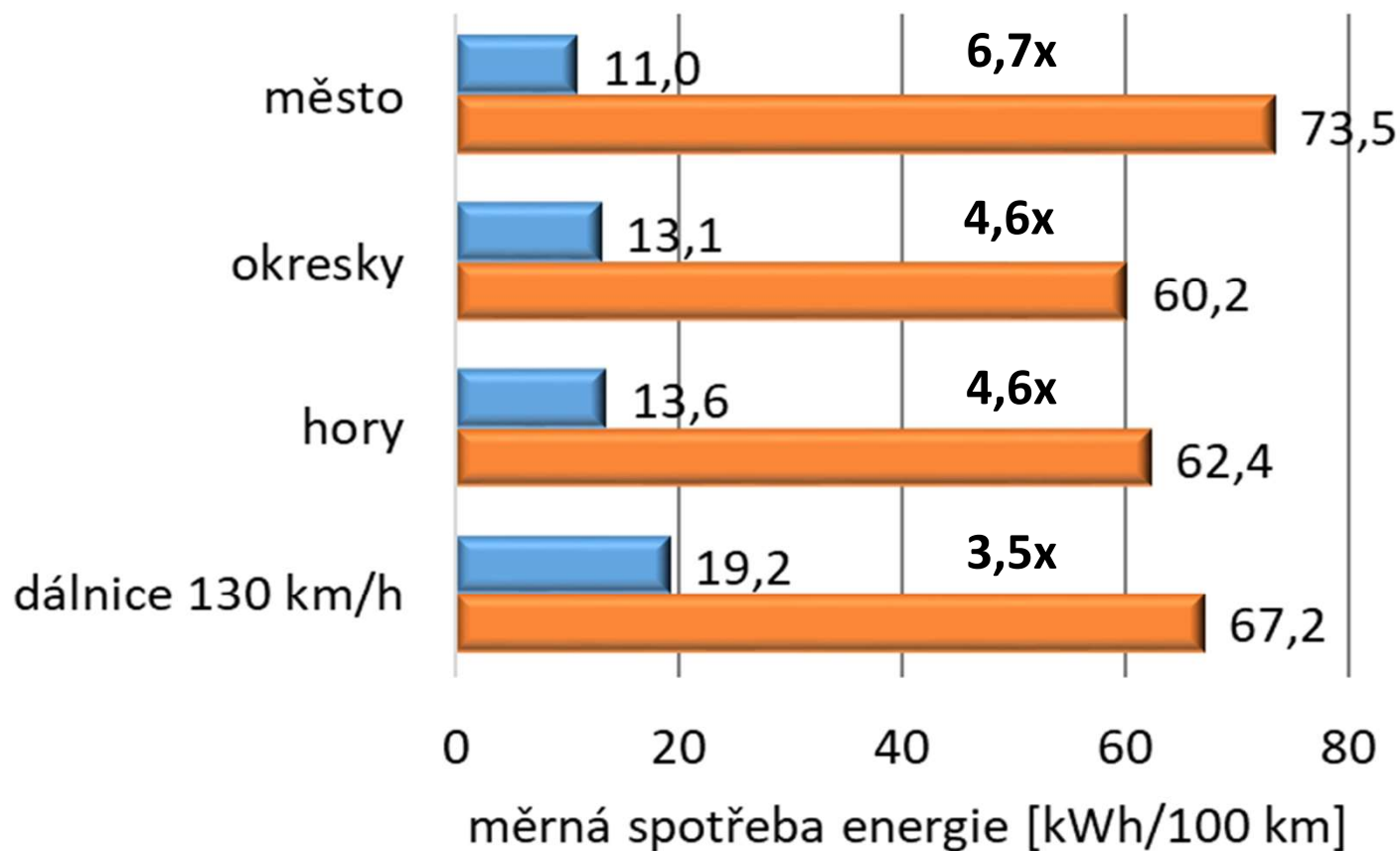
■ BEV Hyundai Kona MY20

■ ICE Opel Astra J benzín



Průměrná spotřeba energie a dojezd v létě – BEV vs. ICE

- Porovnání se spalovacím vozidlem **Opel Astra J 1.4T 88 kW benzín.**
- Výhřevnost benzínu je 8,9 kWh/litr. „Nádrž Kony má 7,2 litru.“



■ BEV Hyundai Kona MY20

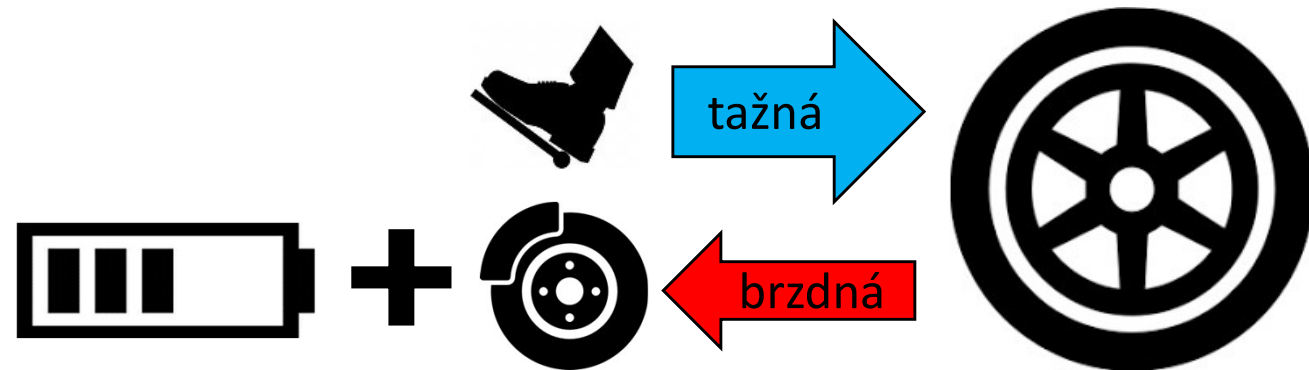
■ ICE Opel Astra J benzín



Rekuperace (letní data)



- Kolik brzdné energie je k dispozici?
- To závisí na tom, jak a kde jezdíme...



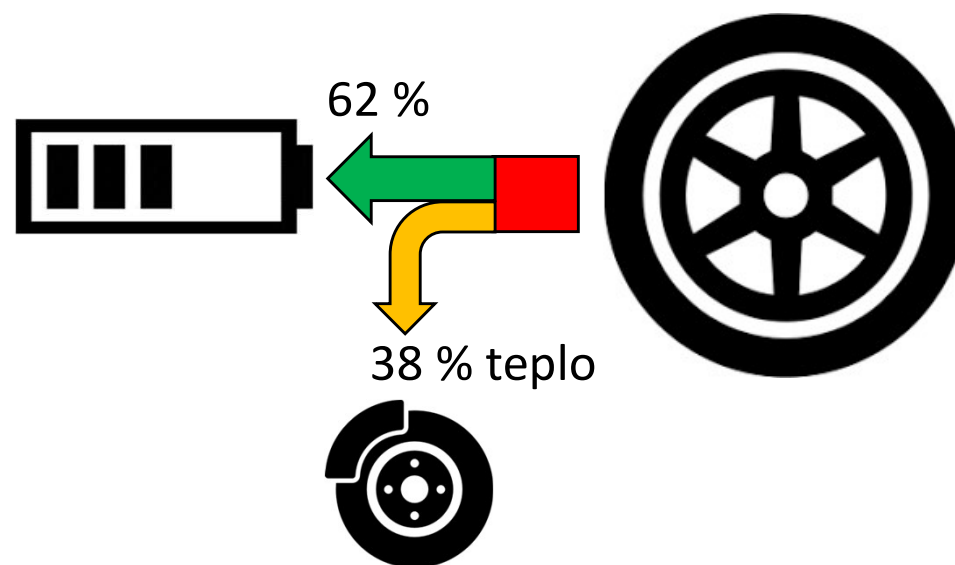
	dálnice 130 km/h	hory	okresky	město
Energie brzdná [kWh/100 km]	2,6	14,3	8,4	8,8
Energie tažná [kWh/100 km]	21,1	20,1	16,2	13,3
Poměr brzdné ku tažné energii [%]	12	71	52	66

velký potenciál pro rekuperaci

Rekuperace (letní data)

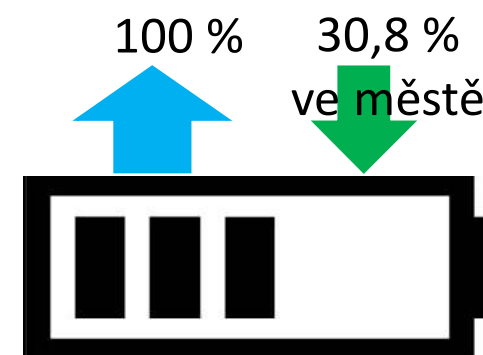


- Jak velká část brzdné energie se vrátí do baterie?
- Průměrně 62 %.



	dálnice 130 km/h	hory	okresky	město
Energie brzdná [kWh/100 km]	2,6	14,3	8,4	8,8
Energie rekuperov. do baterie [kWh/100 km]	1,9	8,8	5,4	4,8
Jaká část brzdné energie se vrátí do baterie [%]	73	63	61	55

Rekuperace (letní data)



- Rekuperace má značný vliv na dojezd.
- Výsledky platí pro vypnutou rekuperaci na pádlech (rekuperace pouze přes brzdový pedál).

	dálnice 130 km/h	hory	okresky	město
podíl rekuperované energie do baterie vůči odebrané z baterie	8,8 %	39,2 %	30,7 %	30,8 %
prům. spotřeba vypočtená (s rekuperací)	19,7 kWh/100km	13,9 kWh/100km	12,8 kWh/100km	11,0 kWh/100km
teoretický dojezd s rekuperací	324 km	462 km	500 km	583 km
teoretický dojezd bez rekuperace	296 km	285 km	351 km	405 km
zvýšení dojezdu díky rekuperaci o	10 %	62 %	43 %	44 %

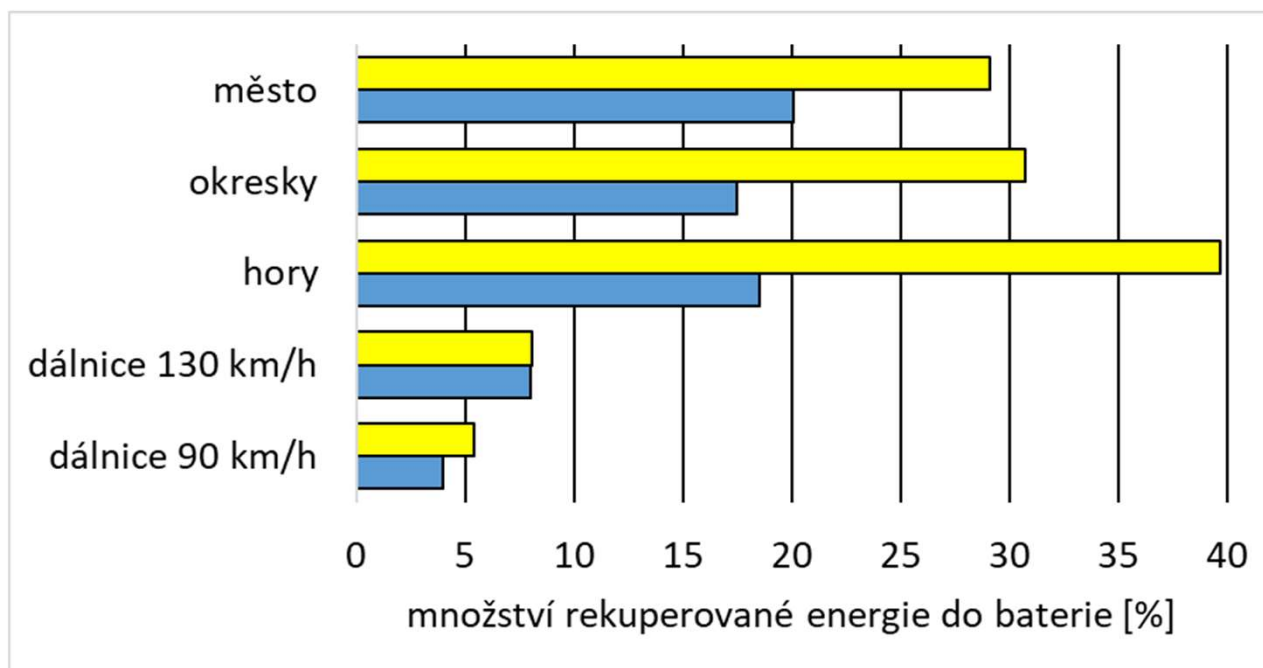
spotřebovaná E = odebraná E – rekuperovaná E

podíl rekuperované energie 50 % ⇒ zvýšení dojezdu o 100 %

Rekuperace (léto vs. zima)



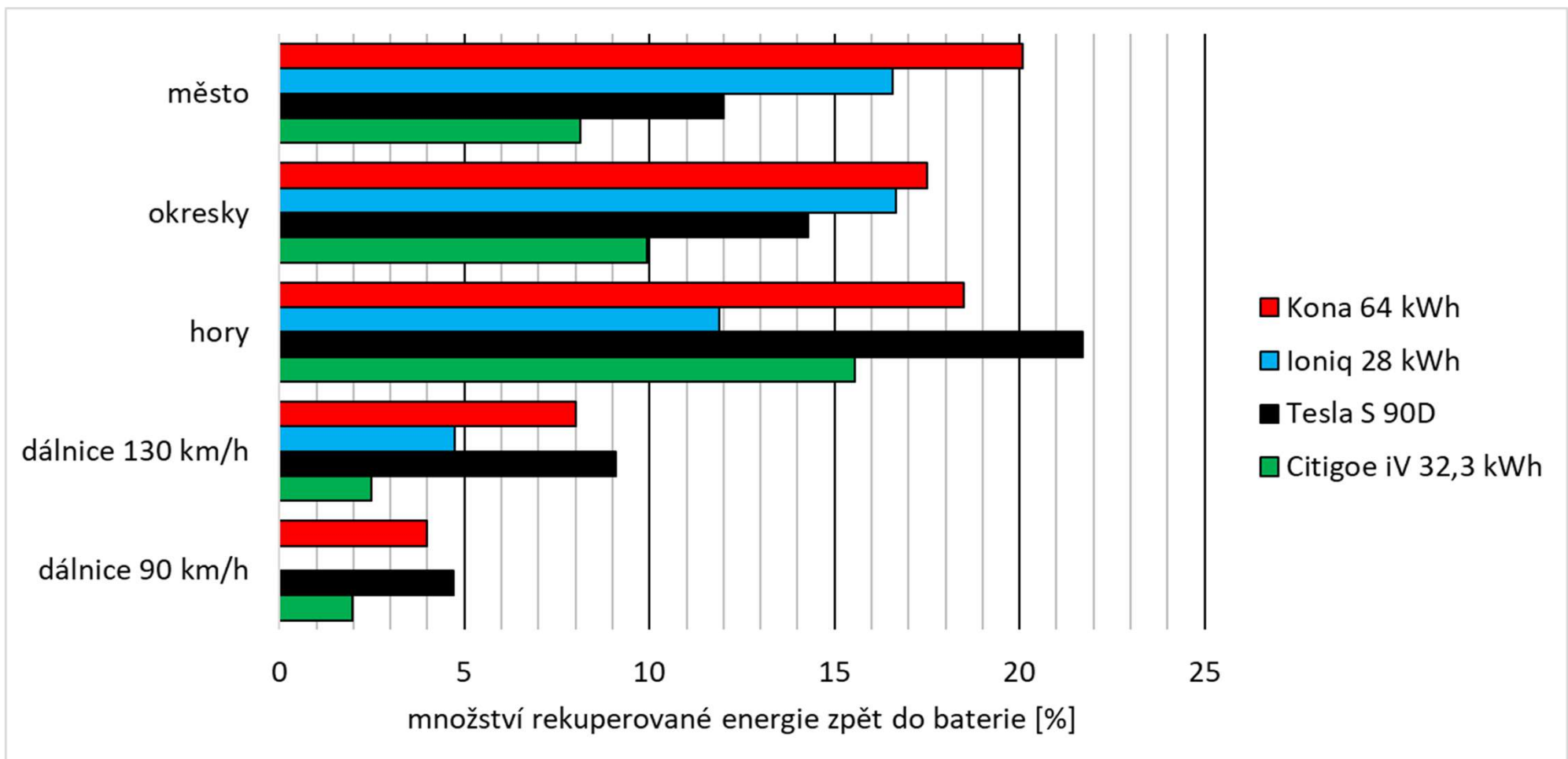
- Výsledky platí pro vypnutou rekuperaci na pádlech (rekuperace pouze přes brzdový pedál).
- **léto** – prům. teplota okolí v jednotlivých jízdách 21 °C až 30 °C
- **zima** – prům. teplota okolí v jednotlivých jízdách -3 °C až +3 °C



Rekuperace v zimě (porovnání vozidel)



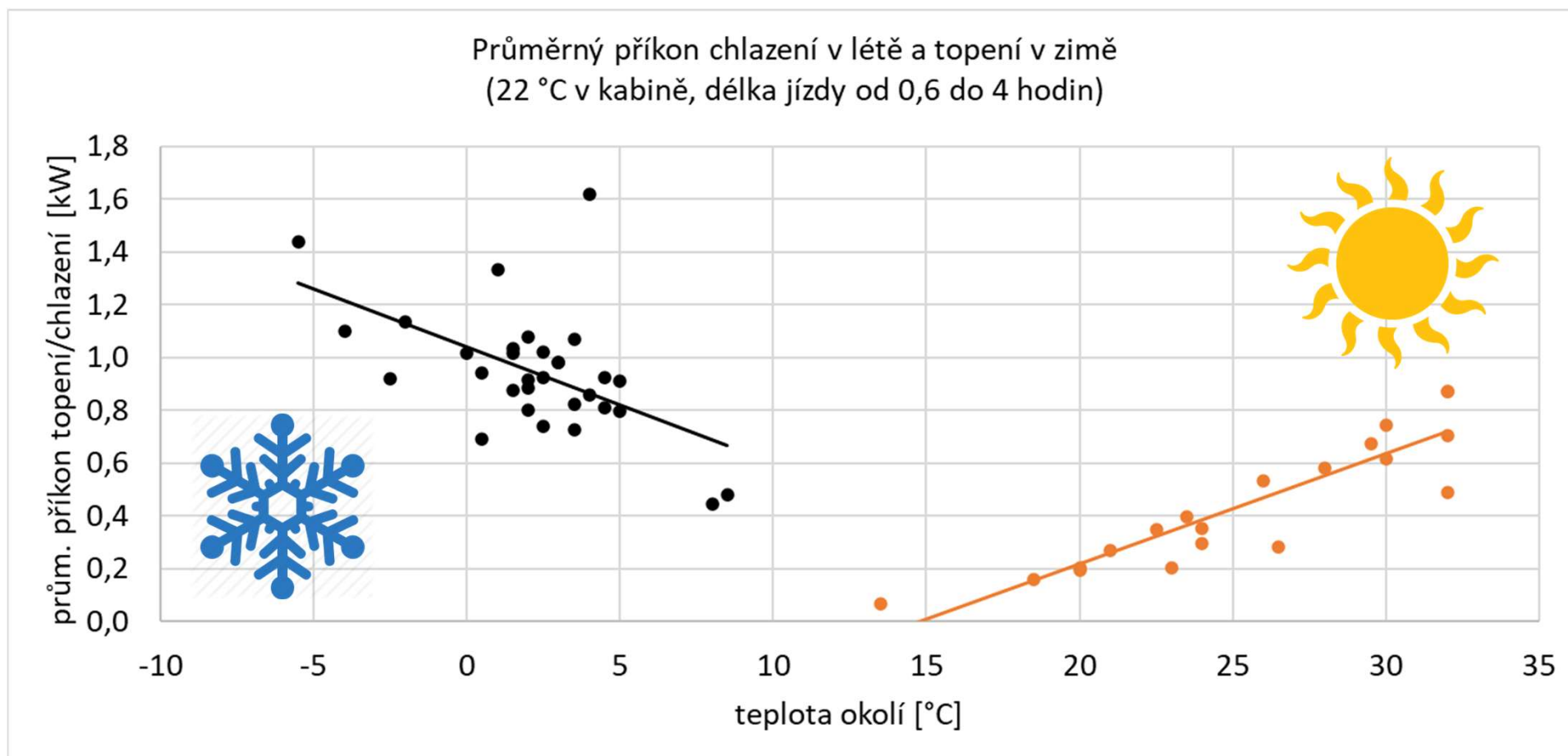
- prům. teplota okolí v jednotlivých jízdách $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$



Příkon klimatizace a topení



- Bez rozdílu délek jízd, bez rozdílu předtemperování kabiny.
- Teplota v kabině nastavena na 22 °C.



Příkon klimatizace a topení



- Průměrné hodnoty z jízd s A/C v létě a topením v zimě.
- Teplota v kabině nastavena na 22 °C.
- Prům. teplota okolí v jednotlivých letních jízdách +21 °C až +30 °C.
- Prům. teplota okolí v jednotlivých zimních jízdách -3 °C až +3 °C.

	klimatizace/topení [kW]		12 V [kW]	
	léto	zima	léto	zima
Dálnice (130 km/h)	0,62	1,03	0,45	0,51
Okresky	0,21	0,92	0,26	0,50
Hory	0,22	1,23	0,36	0,52
Město	0,44	0,94	0,44	0,53
Průměr	0,37	1,03	0,38	0,52

Rozložení spotřeb energie



- **Léto**, teplota v kabině nastavena na 22 °C, topení zapnuto.
- Prům. teplota okolí v jednotlivých letních jízdách +21 °C až +30 °C.
- Průměrné hodnoty ze všech letních jízd se zapnutou A/C.

	Prům. rychlost [km/h]	Pohon [%]	A/C [%]	12 V [%]	Péče o baterii [%]
Dálnice (130 km/h)	110	95	3	2	0
Okresky	48	86	6	8	0
Hory	44	90	4	6	0
Město	23	66	17	17	0

- Čím pomalejší jízda, tím se příkon pomocných spotřebičů více projeví.
- Rozložení spotřeb silně závisí na délce trasy a teplotě kabiny na začátku.

Rozložení spotřeb energie



- **Zima**, teplota v kabině nastavena na 22 °C, topení zapnuto.
- Prům. teplota okolí v jednotlivých zimních jízdách -3 °C až +3 °C.
- Průměrné hodnoty ze všech zimních jízd se zapnutým topením.

	Prům. rychlost [km/h]	Pohon [%]	Topení [%]	12 V [%]	Péče o baterii [%]
Dálnice (130 km/h)	114	94	4	2	0
Okresky	53	83	12	5	0
Hory	35	79	15	6	0
Město	31	68	19	13	0

- Čím pomalejší jízda, tím se příkon pomocných spotřebičů více projeví.
- Rozložení spotřeb silně závisí na délce trasy a teplotě kabiny na začátku.

Rozložení spotřeb energie



- Podíl spotřeby klimatizace na celkové spotřebě energie.
- Po ujetí 86 km ve městě se zapnutou klimatizací (léto).



Vliv klimatizace na dojezd



- **Léto**, teplota v kabině nastavena na 22 °C, A/C zapnuta.

Typ trasy	Vliv	Zkrácení dojezdu o	Poznámka
Dálnice (130 km/h)	malý	5 % (16 km)	Přímé porovnání jízd.
	malý	3 % (9 km)	Odhad z infotainmentu.
Hory	malý	4 % (17 km)	Odhad z infotainmentu.
Okresky	malý	5 % (30 km)	Odhad z infotainmentu.
Město	střední	15 % (101 km)	Přímé porovnání jízd.
	velký	17 % (109 km)	Odhad z infotainmentu.

- Město – pomalá jízda, příkon klimatizace se více projeví.

Typ trasy	Průměrná venkovní teplota [°C]	Spotřeba klimatizace
Město dopoledne	24	1,2 kWh/100km (11 %) 276 W
Město odpoledne	29	2,6 kWh/100km (23 %) 591 W

Vliv topení na dojezd



- **Zima**, teplota v kabině nastavena na 22 °C, topení zapnuto.
- Hyundai Kona má **tepelné čerpadlo** – vytopí kabinu s menší spotřebou energie než el. odporové (PTC) topení.

Typ trasy	Vliv	Zkrácení dojezdu o	Poznámka
Dálnice (130 km/h)	malý	4 % (12 km)	Odhad z infotainmentu.
Hory	střední	16 % (51 km)	Odhad z infotainmentu.
Okresky	střední	11 % (47 km)	Odhad z infotainmentu.
Město	velký	21 % (122 km)	Odhad z infotainmentu.

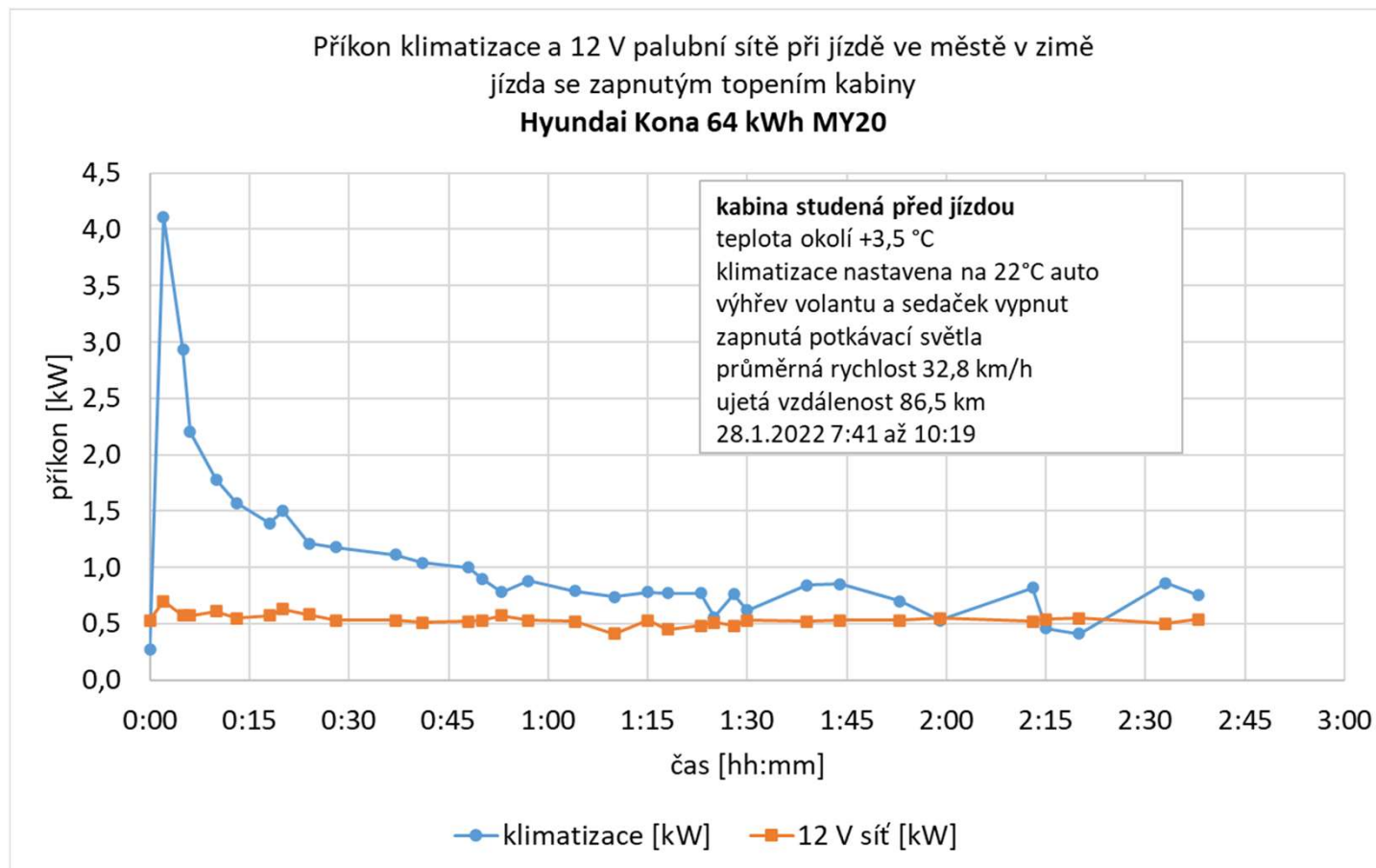
- Hory, město – pomalá jízda, příkon topení se více projeví.

Typ trasy	Průměrná venkovní teplota [°C]	Spotřeba klimatizace
Město dopoledne 2	+2	2,8 kWh/100km (21 %) 885 W
Město dopoledne 4	+8	1,4 kWh/100km (13 %) 445 W

Kolik energie se spotřebuje na vytopení kabiny v zimě?

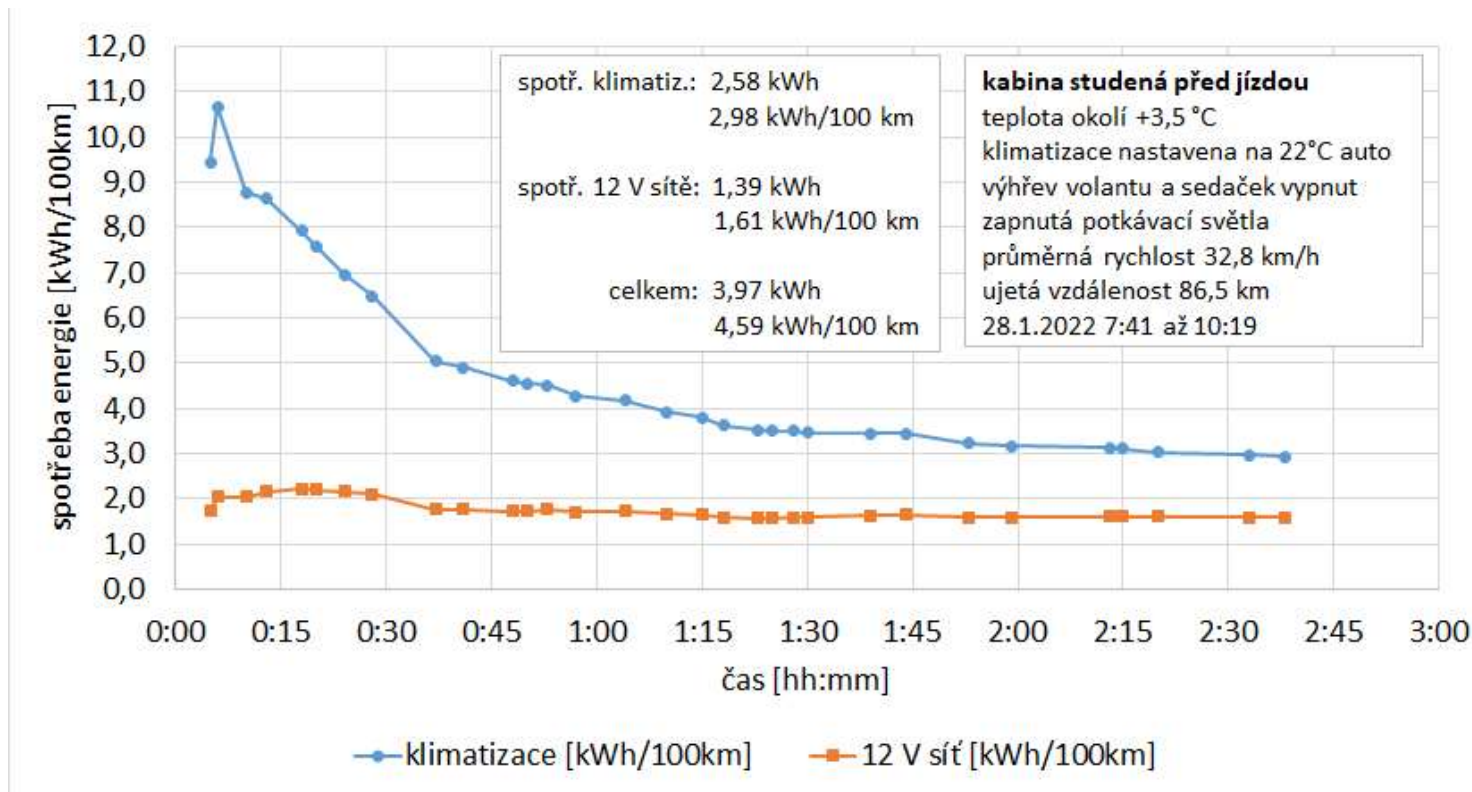


- Teplota okolí 3,5 °C, žádná teplota v kabině nastavena na 22 °C.
- Kabina studená před jízdou (auto stálo přes noc venku).



Kolik energie se spotřebuje na vytopení kabiny v zimě?

- Graf měrné spotřeby energie el. topení + tepel. čerpadla

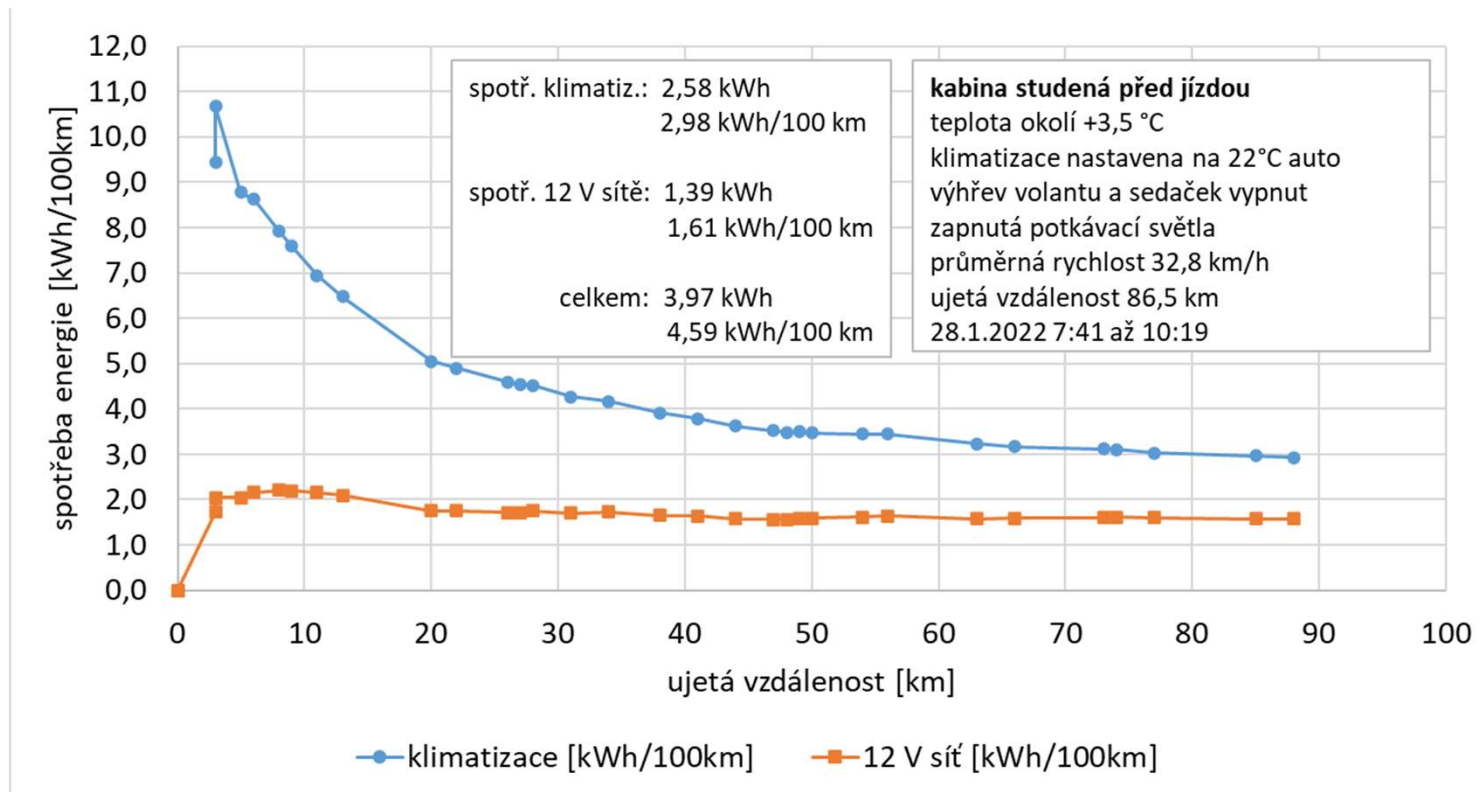


- Na krátké trasy je lepší si zapnout jen **výhřev sedaček**.
- Během prvních 30 minut se tím uspoří cca 1 kWh energie.



Kolik energie se spotřebuje na vytopení kabiny v zimě?

- Graf měrné spotřeby energie el. topení + tepel. čerpadla



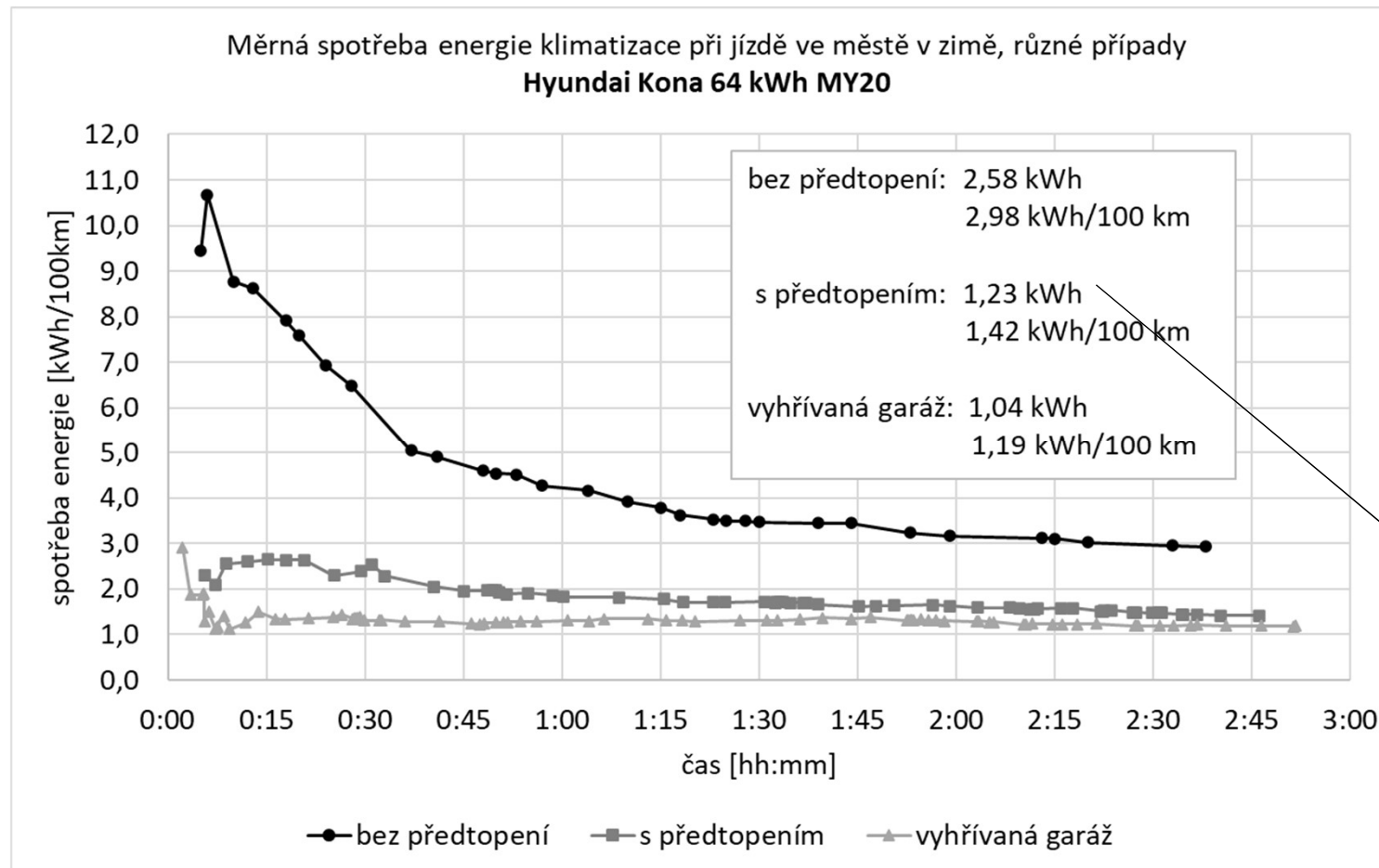
- Na krátké trasy je lepší si zapnout jen **výhřev sedaček**.
- Během prvních 30 minut se tím uspoří cca 1 kWh energie.



Vliv předtopení kabiny



- Předehřev kabiny před plánovaným odjezdem z wallboxu.
- Výhody: komfort + nedochází ke snížení dojezdu vozidla



Teplota okolí
+4 až +8 °C.

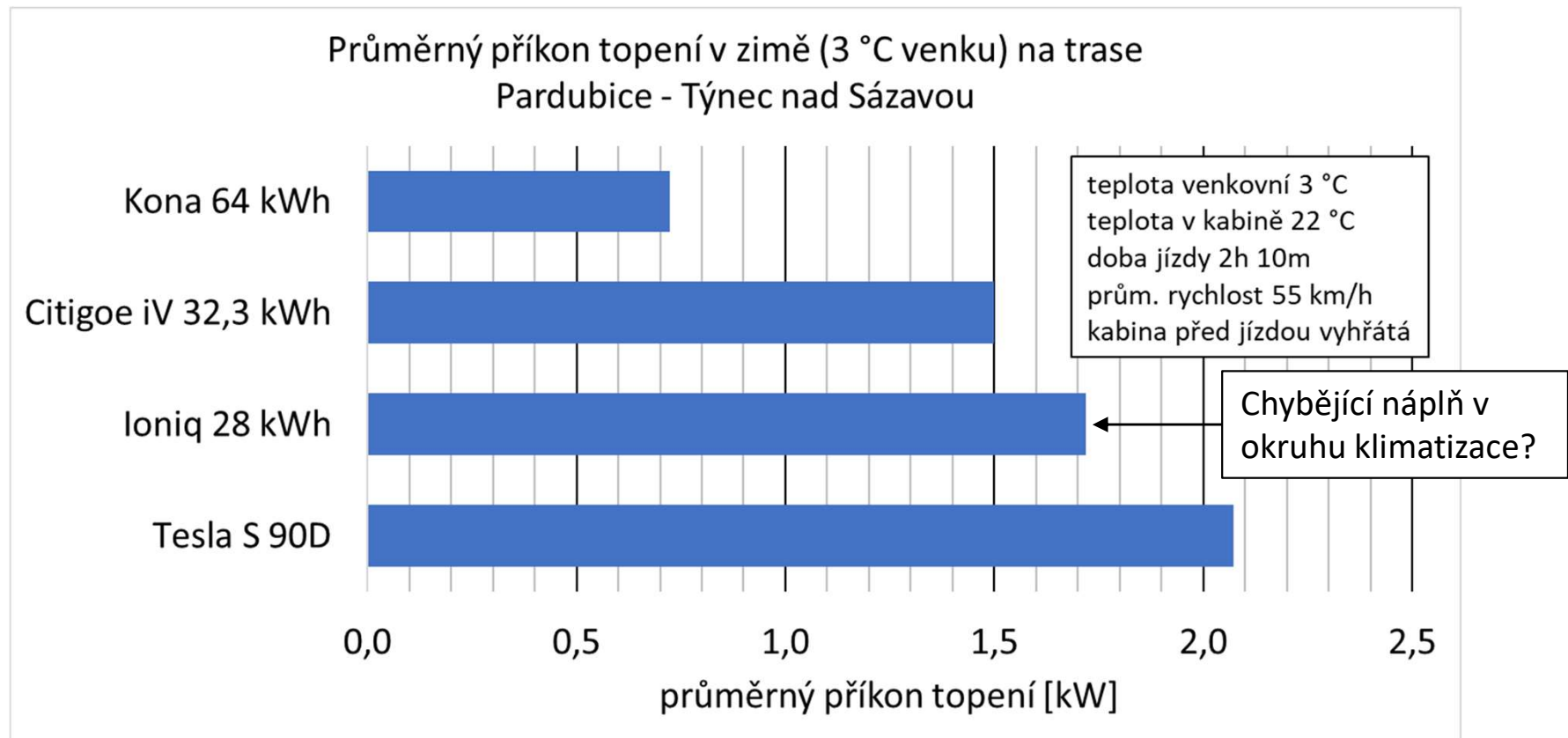
Tři jízdy po
městě
Pardubice.

Předtopení
z wallboxu
ušetřilo
1,35 kWh
z baterie.

Průměrný příkon topení (porovnání vozidel)



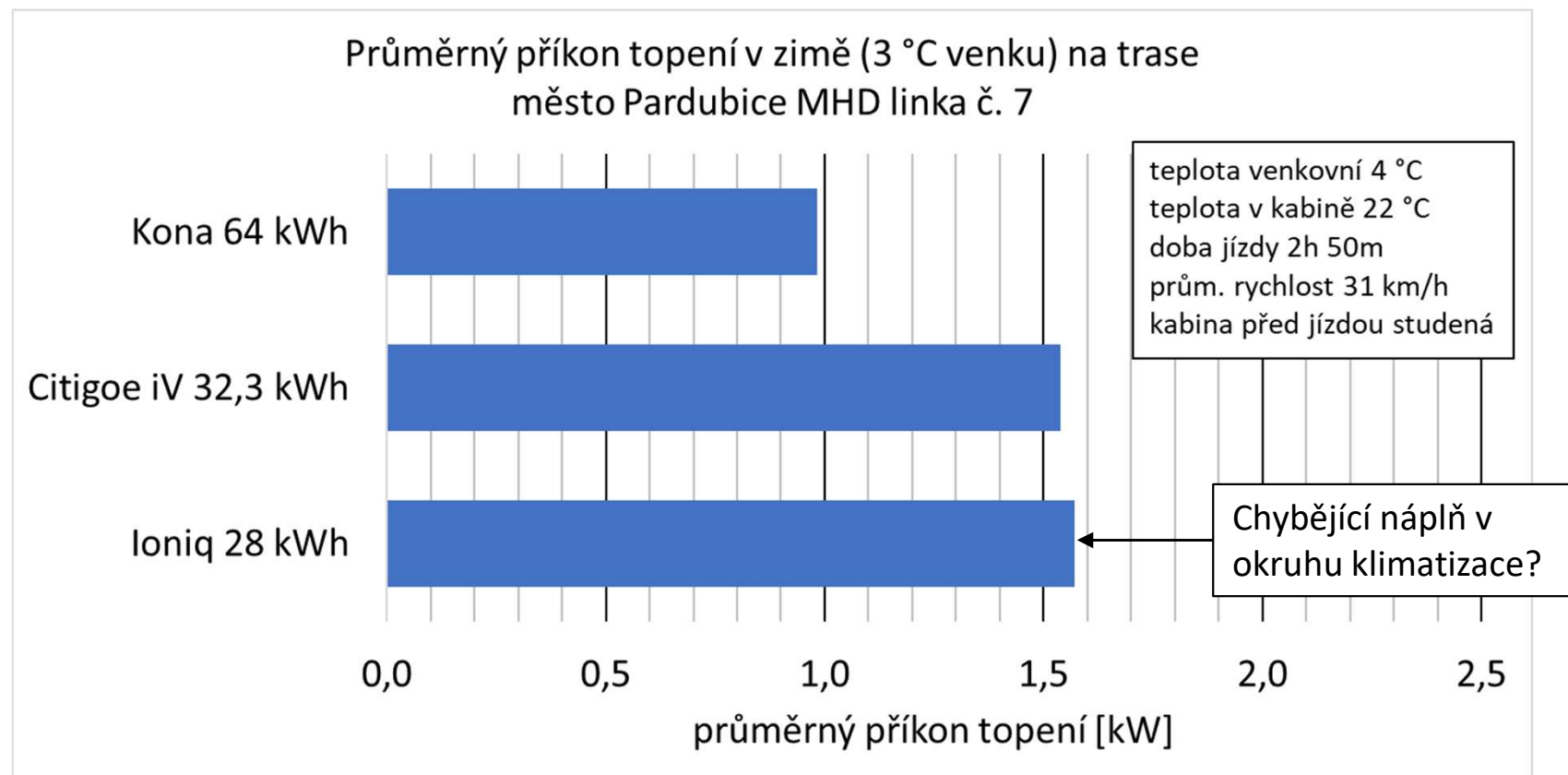
- Kona, Ioniq – PTC + tepelné čerpadlo
- Citigoe iV, Tesla S – PTC
- Vyhřátá kabina před jízdou.



Průměrný příkon topení (porovnání vozidel)



- Kona, Ioniq – PTC + tepelné čerpadlo
- Citigoe iV, Tesla S – PTC
- Studená kabina před jízdou.



Zmrznu v elektromobilu v koloně?



- **NE !**

Byl proveden test s Hyundai Kona electric 64 kWh

- Teplota okolí 0 °C.
- Zaparkovaná Hyundai Kona 64 kWh, topení na 22 °C, rozsvícená obrysová světla, v kabině nikdo neseseděl, nastartováno.
- **Za 8 hodin a 24 minut ubylo z HV baterie 11 % energie (7,3 kWh).**
- **Plně nabitá 64 kWh baterie Hyundai Kona electric by se tímto tempem vybila za 3 dny, 4 hodiny a 22 minut (76,36 hodin).**
- **Benzínovému vozidlu Opel Astra J s nádrží na 55 litrů a volnoběžnou spotřebou 0,6 litru/h by palivo došlo za 91,66 hodin, tedy za 3 dny, 19 hodin a 40 minut.**
- Zajímavost:
 - Teplota v kabině na konci testu byla 25 °C (zbytečně moc teplo).

Spotřeba palubní 12 V sítě



- Porovnání se spalovacím vozidlem **Opel Astra J 1.4T 88 kW benzín**.
- Bez rozlišení podmínek (počáteční SOC 12 V baterie, počet osob, teplota okolí, stav klimatizace, stav asistenčních systémů apod.).
- **Léto.**

	BEV Hyundai Kona 2020	ICE Opel Astra J benzín 2015
	Prům. výkon 12 V DC-DC měniče [W]	Prům. výkon 12 V alternátoru [W]
dálnice	318	414
město	260	376
okresky	241	376
hory	222	?
průměr	260	389



500 W v zimě

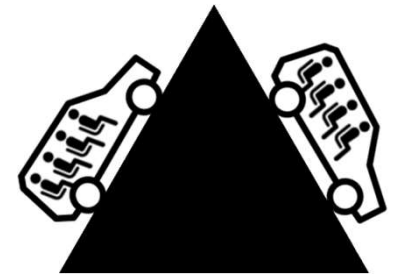
Vliv hmotnosti na spotřebu



- Naložení el. Kony má menší vliv než u podobného spalov. vozidla.
- Data z jízd v Orlických horách v létě.

Varianty:

- Prázdný vůz – jen řidič + prázdný kufr.
- Naložený vůz – řidič + 2 spolucestující + 112 kg náklad v kufru.
- Zvýšení celk. hm. vozidla **o 15 % (272 kg)** z 1810 na 2082 kg.



Závěr:

- Zvýšení spotřeby **o 9,4 %** (50/50 km/h) **a 12,5 %** (50/70 km/h).
- Vzroste odběr E [kWh] z baterie.
- Více E se odrekuperuje [kWh] do baterie, ale procento odrekuperované E zůstává cca stejné (39 %) \Rightarrow spotřebovaná E [kWh] stoupne.

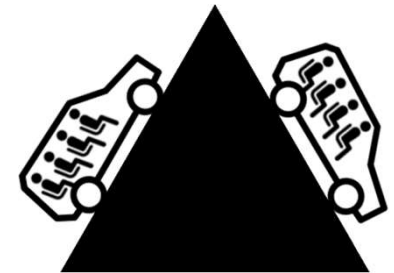
Vliv hmotnosti na spotřebu



- Spalovací vozidlo **Opel Astra J 1.4T 88 kW benzín.**

Varianty:

- *Prázdný vůz – jen řidič + prázdný kufr.*
- *Naložený vůz – řidič + 2 spolucestující + 112 kg náklad v kufru.*
- Zvýšení celk. hm. vozidla **o 18,1 % (272 kg) z 1500 na 1772 kg.**



Závěr:

- Zvýšení spotřeby **o 15,1 %** (50/50 km/h) **a 14,9 %** (50/70 km/h).

7,86 vs. 6,83 lit/100 km

8,12 vs. 7,07 lit/100 km

**Výsledky ze simulací.
Data z reálných jízd chybí.**

Nabíjení Kony



- Určení „reálné“ měrné spotřeby energie [kWh/100 km].



Účinnost nabíjení Kony

zima

$$\eta_{nabíjení} = \frac{E_{jízda}}{E_{nabíjení}}$$



- Porovnání účinnosti AC (10 kW) a DC (do 50 kW) nabíjení.

Typ nabíjení	Průměrná účinnost nabíjení	Účinnost palubní nabíječky	Round-trip účinnost HV baterie	Ztráty vlastní spotřebou vozidla	Teplotní rozsah HV baterie
AC	87,0 %	cca 90,1 %	cca 97,6 %	cca 1,0 %	5 až 30 °C
DC	92,1 %	-	cca 92,7 %	cca 0,3 %	15 až 30 °C

- **AC nabíjení** - navýšení měrné spotřeby v [kWh/100 km] a ceny za ujetý kilometr v průměru o **cca 13 %**.
- **DC nabíjení** - navýšení měrné spotřeby v [kWh/100 km] a ceny za ujetý kilometr v průměru o **cca 7,9 %**.
- Během jízd ani během nabíjení Kona baterii pomocí PTC nevyhřívala.

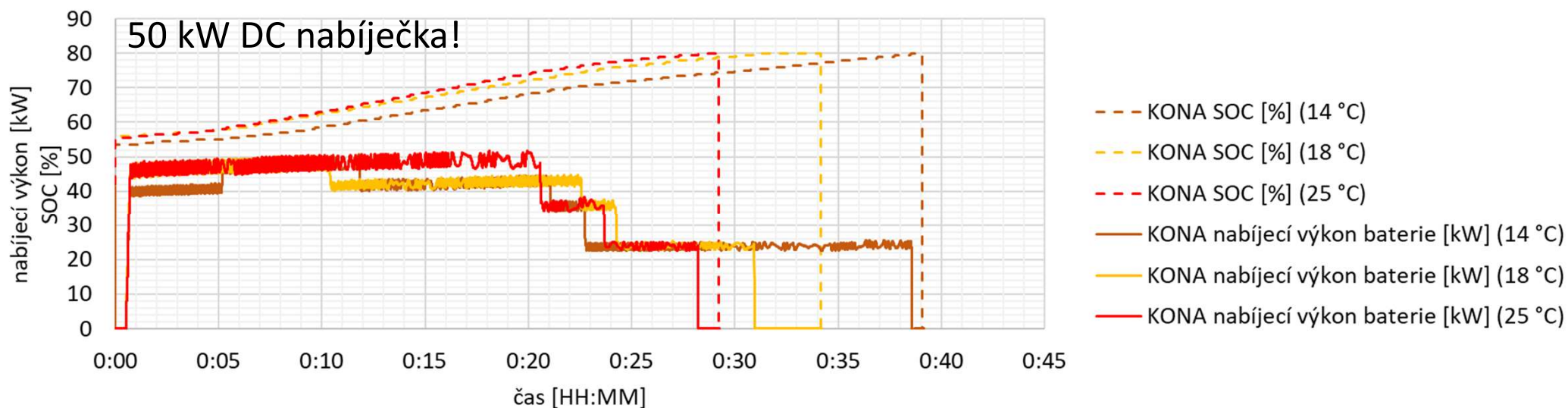
Rychlost DC nabíjení Kony

zima



- U DC nabíjení klesá rychlost a účinnost nabíjení s klesající teplotou baterie.

č. nabíjení	min. teplota baterie na začátku nabíjení [°C]	účinnost nabíjení [%]	doba nabíjení [hh:mm:ss]	rychlost nabíjení [km/h]
1.	14	86	0:38:37	120
2.	18	94	0:30:26	152
3.	25	96	0:27:42	167



Rychlost DC nabíjení (porovnání vozidel)



- Zima
- 50 kW DC nabíječka, nabíjení po jízdě (77 km) na dálnici D11.
- Doba jízdy cca 41 minut (130 km/h).
- Doba nabíjení cca 25 až 45 minut dle vozidla.

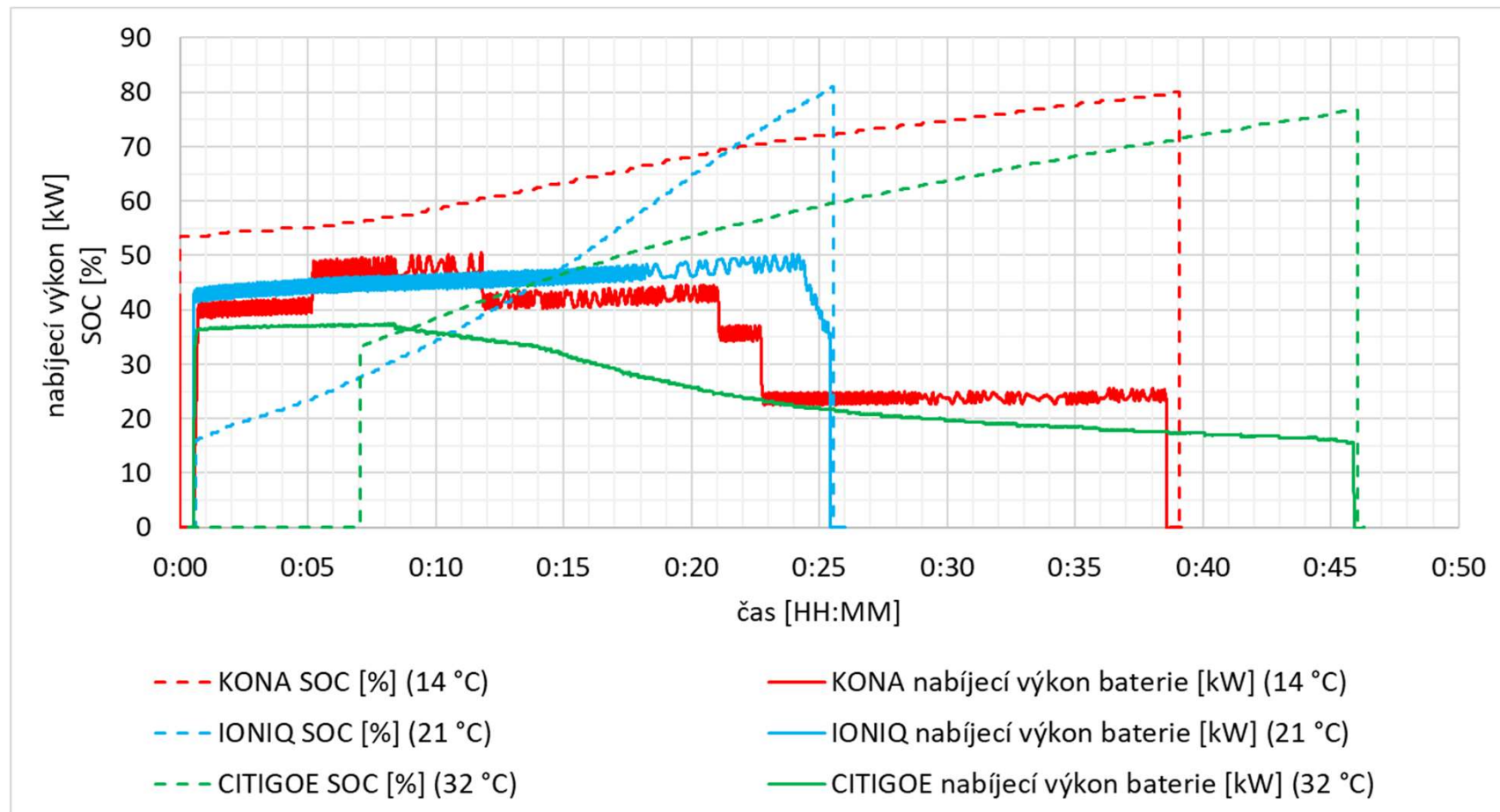
pořadí	vozidlo	min. teplota baterie na začátku nabíjení [°C]	počáteční SOC [%]	koncové SOC [%]	průměrný nabíjecí výkon [kW]	doba nabíjení [hh:mm:ss]	rychlost nabíjení [km/h]
1.	Ioniq 28 kWh	21	16	81	46	0:24:55	186
2.	Tesla S 90D	35	52	80	45	0:27:01	171
3.	Kona 64 kWh	18	56	80	39	0:30:26	152
	Kona 64 kWh	14	53	80	35	0:38:37	120
4.	Citigoe iV 32,3 kWh	32	22	75	26	0:45:24	32

- Rychlost DC nabíjení závisí na SOC a teplotě baterie.
- Tesla vyhřívá baterii při DC nabíjení (4 kW), pokud má teplotu pod 30 °C.
- Kona ani Ioniq v rozsahu teplot v testech baterii nevyhřívaly a Citigoe nemá jak.

Rychlost DC nabíjení (porovnání vozidel)



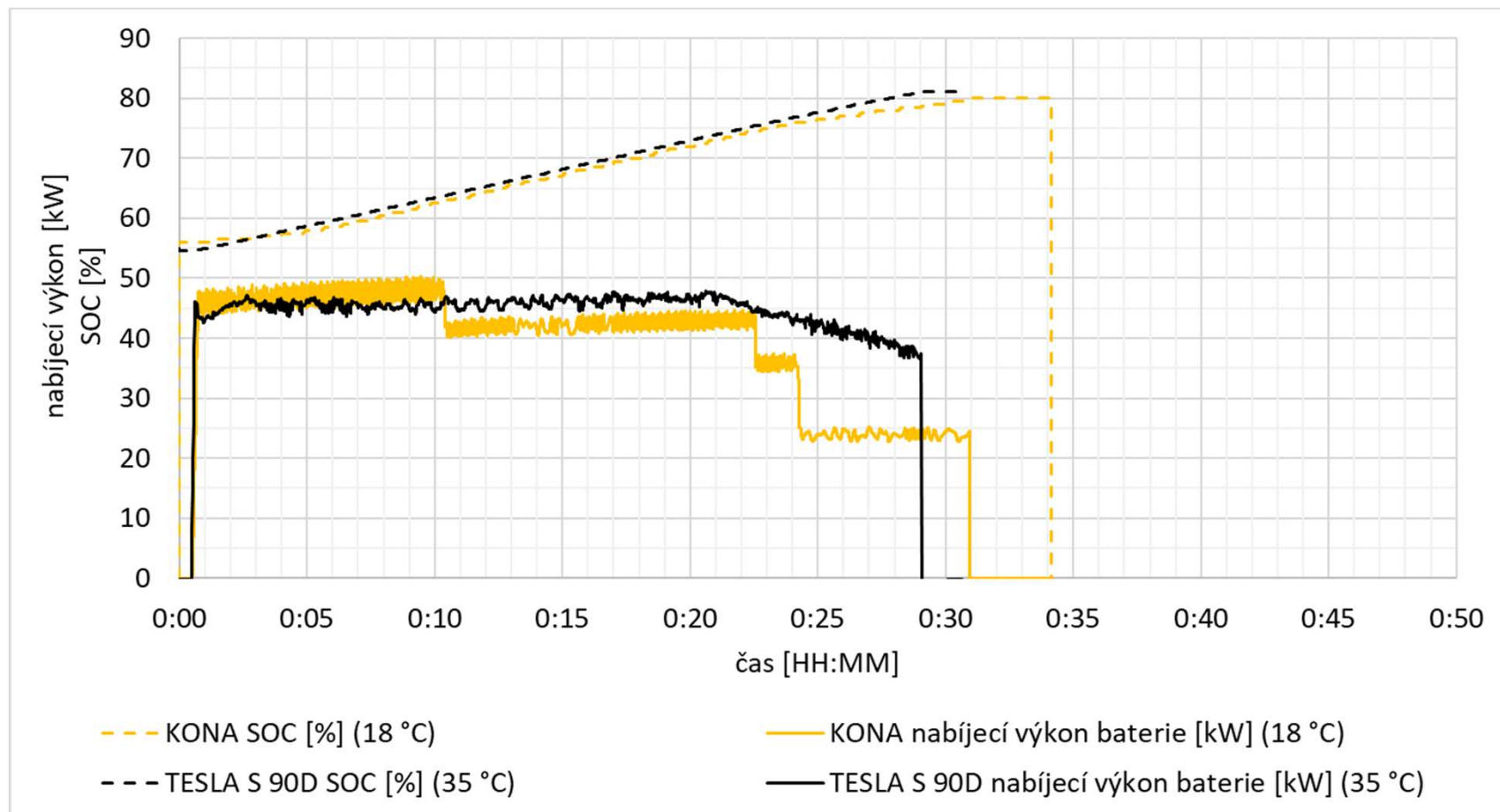
- Zima, Kona vs. Ioniq vs. Citigoe iV
- 50 kW DC nabíječka, nabíjení po jízdě na dálnici D11 (77 km, 130 km/h).



Rychlost DC nabíjení (porovnání vozidel)



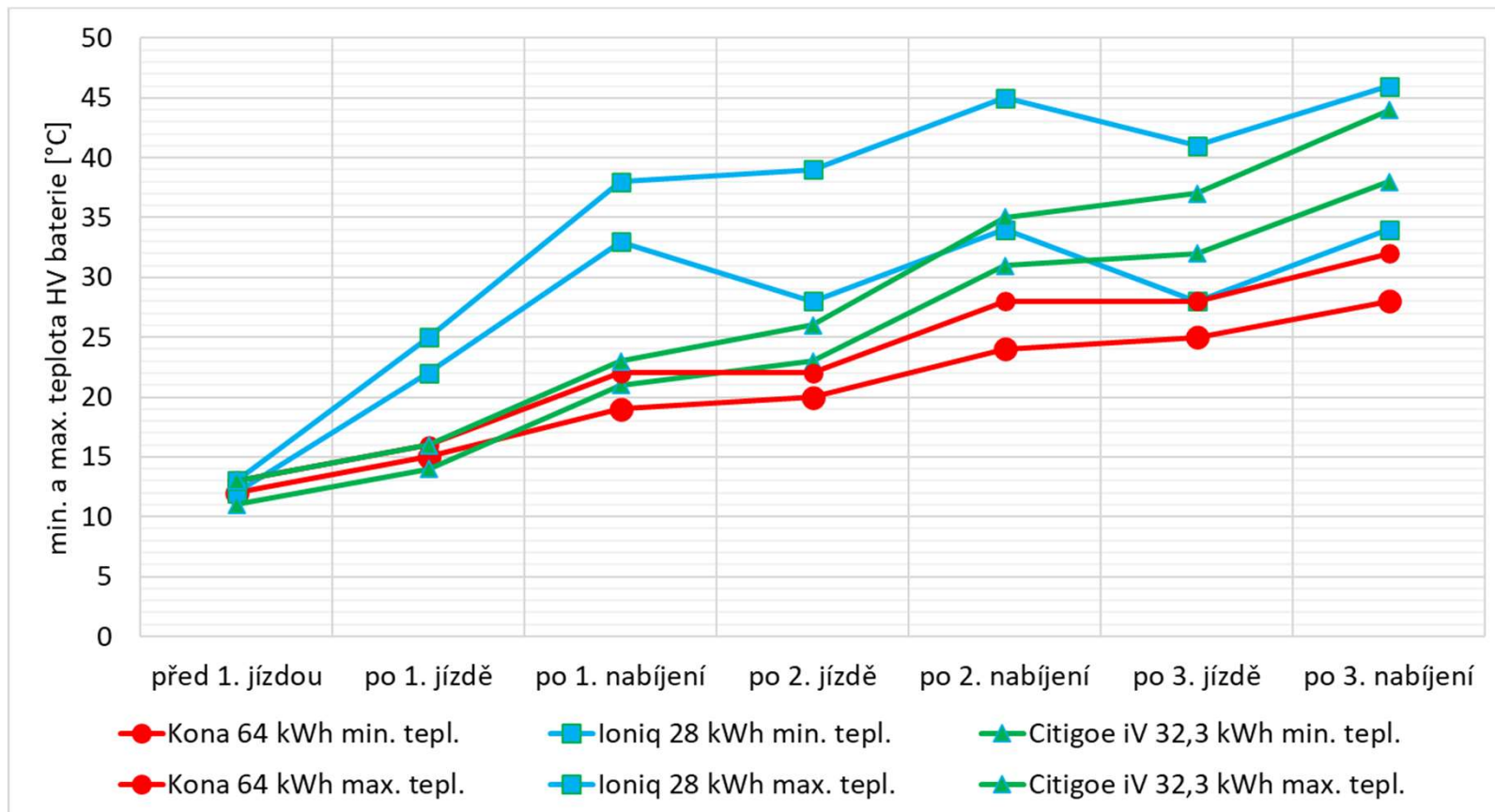
- Zima, Kona vs. Tesla S
- 50 kW DC nabíječka, nabíjení po jízdě na dálnici D11 (77 km, 130 km/h).



Teplota baterie (porovnání vozidel)



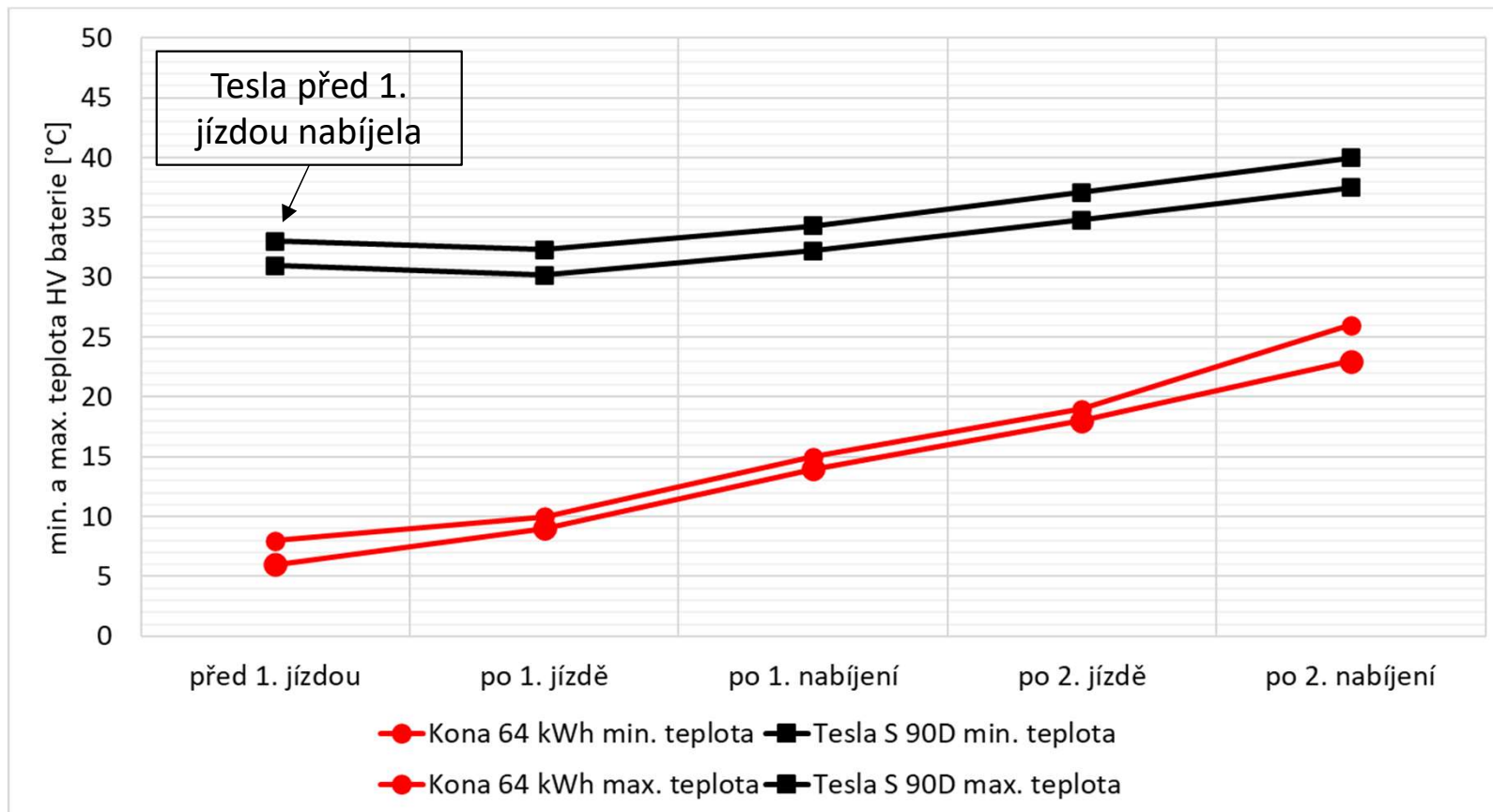
- Zima, Kona vs. Ioniq vs. Citigoe iV
- 3 společné jízdy na dálnici, každá o délce 77,1 km s max. rychlostí 130 km/h, po každé jízdě DC nabíjení na nabíječce 50 kW



Teplota baterie (porovnání vozidel)



- Zima, Kona vs. Tesla S 90D
- 2 společné jízdy na dálnici, každá o délce 77,1 km s max. rychlostí 90 km/h a 130 km/h, po každé jízdě DC nabíjení na nabíječe 50 kW



KONEC

**Děkujeme Hyundai Motor Czech s.r.o.
za zapůjčení vozidla na testování
a děkujeme i všem ostatním účastníkům testování.**