

Článek

Infrastruktura pro nabíjení elektrokol na pracovišti - měli by ji zaměstnavatelé poskytovat?

David Kohlrautz *  a Tobias Kuhnimhof

Institut plánování měst a dopravy, RWTH Aachen University, 52074 Aachen, Německo;
kuhnimhof@isb.rwth-aachen.de

* Korespondence: kohlrautz@isb.rwth-aachen.de; Tel.: +49-241-80-26212

Abstrakt: Vybudování nabíjecí infrastruktury pro elektrokola doma nebo na jiných místech je nezbytné pro podporu motoru během jízdy. Tento článek se zaměřuje na nabíjecí zařízení na pracovištích a studijních místech. Analyzuje preference četnosti nabíjení 281 osob dojíždějících na elektrocole, které pracují nebo studují na univerzitě RWTH Aachen, a to na základě dat z průzkumu s 1091 možnostmi volby hypotetického bezplatného nabíjení, jakož i stejných podmínek pro hypotetické placené nabíjení. K odhadu faktorů ovlivňujících frekvenci nabíjení používáme smíšený logitový model se zaměřením na dojížděcí vzdálenost, prodejní hodnotu elektrokola, věk majitele, status studenta a skupinu zaměstnání. U čtyř dojíždějících na elektrocole lze očekávat jedno nabíjení denně, pokud je k dispozici bezplatné nabíjení. V případě placeného nabíjení připadá jedna nabíjecí událost na 12 uživatelů elektrokol. Velikost snížení způsobeného poplatkem za nabíjení závisí na příslušnosti ke skupině a pravděpodobně i na příjmu. Dojížděcí vzdálenost má statisticky významný vliv na četnost nabíjení pouze v případě, že je nabíjení zdarma, což vyvolává otázku, zda je nabíjení v práci nezbytné pro pokrytí řetězců cest, které zahrnují zastávky v práci. Majitelé dražších elektrokol nabíjejí méně často, pravděpodobně kvůli vyšší kapacitě baterií, zatímco vliv věku je neprůkazný. Poskytnutí nabíjecí infrastruktury pro zaměstnance a hosty by však mohlo být využito jako nízkonákladové opatření na podporu cyklistiky mezi dojíždějícími.

Klíčová slova: dojíždění do zaměstnání; dojíždění na kole; dojíždění do zaměstnání; dojíždění na kole;

dojíždění na kole; dojíždění na kole; dojíždění na kole; dojíždění na kole



Citace: Kohlrautz, D.; Kuhnimhof, T. Infrastruktura pro nabíjení elektrokol na pracovišti - měli by ji zaměstnavatelé poskytovat?.

Sustainability **2023**, *15*, 10540.

<https://doi.org/10.3390/su151310540>

Akademický redaktor: Elz'bieta Macioszek

Přijato: 2. června 2023

Revize: 28. června 2023

Přijato: 30. června 2023

Zveřejněno: 4. července 2023



Autorská práva: © 2023 autoři. Držitel licence MDPL, Basilej, Švýcarsko. Tento článek je článkem s otevřeným přístupem šířeným za podmínek licence Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Úvod

1.1. Pozadí

Průměrná délka cest na elektrocolech je delší než u běžných jízdních kol. Proto jsou považována za zařízení prodlužující dojezdovou vzdálenost, která by měla zvýšit podíl cyklistické dopravy, zejména pro dojíždění do zaměstnání, a tím i udržitelnost dopravy [1,2]. "Dojezd" běžného jízdního kola se obvykle odvíjí od zdatnosti jezdce a rozdílu v době jízdy ve srovnání s jinými druhy dopravy, protože se nespolehnají na skladování energie. Naproti tomu elektrokola mají vyčerpatelné baterie. Co však jejich omezený dojezd vypovídá o potřebě budovat nabíjecí infrastrukturu? Měly by například společnosti poskytovat nabíjecí infrastrukturu, aby podpořily dojíždění do práce na kole?

Když se baterie elektrokola vybité, mohou jezdci k překonání zbývajících vzdáleností do cíle nebo k nejbližší dobíjecí stanici využít lidskou sílu. Elektrokola jsou však těžší než běžná jízdní kola. Kromě toho, že obsahuje elektromotor, tvoří baterie 30 % hmotnosti elektrokola [3]. V důsledku toho je používání elektrokola bez asistence motoru velmi namáhavé. Využitelnost elektrokol proto závisí na dostupnosti energie z baterií, a tedy i na dostupnosti nabíjecí infrastruktury.

Spotřeba energie u elektrokol je velmi závislá na stylu jízdy, protože většina z nich umožňuje různé úrovně asistence šlapání. Některá umožňují i negativní asistenci, kdy šlapání dobíjí baterii a zvyšuje teoretický dojezd až k fyzickým limitům jezdce. Proto není možné stanovit přesný dojezd pro elektrokola [4].

Současné baterie mají kapacitu 250 až 500 Wh a některé baterie mají kapacitu ještě vyšší. Často se uvádí dojezd mezi 25 a 100 km [3-5]. Ačkoli se kapacita baterií a dojezd v posledních letech zvýšily, částečně proto, že lithiové baterie nahradily těžké olovené baterie, problémem zůstává místo nabíjení a infrastruktura.

Obecně platí, že většina majitelů elektrokol nabíjí svá kola pravidelně doma. Nabíjecí infrastruktura je obvykle potřeba jinde pouze při delších cestách nebo při cestách, které přesahují dojezd elektrokola. Mezi takové cesty může patřit i pobyt v práci. Je však otázkou, zda zaměstnanci, kteří dojíždějí na delší vzdálenosti, potřebují k dojíždění na elektrokole nabíjecí infrastrukturu v práci. Nicméně pravidelné dobíjení v práci by bylo řešením pro osoby, které nemají doma žádné možnosti dobíjení nebo jsou pro ně nepohodlné.

1.2. Přístup

Tento článek analyzuje, jak často chtějí studenti a zaměstnanci, kteří dojíždějí na elektrokole, nabíjet elektrokola v místě svého pracoviště nebo studia. Zaměřujeme se na poptávku po nabíjení ze strany dojíždějících a nezohledňujeme nabíjení firemních flotil, systémů sdílení apod.

Analýzujeme vliv následujících faktorů na frekvenci nabíjení:

- Dojížděcí vzdálenost;
- Hodnota elektrokola při dalším prodeji;
- Věk majitele;
- Bezplatné a placené nabíjení;
- Status studenta nebo skupina zaměstnání.

Pro účely analýzy jsme provedli průzkum mezi studenty a zaměstnanci RWTH Aachen University, jedné z největších univerzit v Německu (45 000 studentů a 8 000 zaměstnanců). Ptali jsme se osob dojíždějících na elektrokole na jejich potenciální frekvenci nabíjení během běžného pracovního nebo studijního týdne na univerzitě při využití bezplatného i placeného nabíjení. K odhadu faktorů, které ovlivňují jejich preferovanou frekvenci nabíjení, jsme použili deskriptivní analýzu a smíšené logit modely. Cílem této analýzy je odpovědět na otázku týkající se rozsahu nabíjecí infrastruktury, kterou by měly univerzity nebo zaměstnavatelé poskytovat. Naším cílem je také formulovat doporučení ohledně toho, zda by mělo být poskytováno bezplatné, nebo placené nabíjení elektrokol.

1.3. Přehled literatury

V Německu se roční prodej elektrokol mezi lety 2011 a 2021 znásobil z 0,3 na 2 miliony [6], což zvyšuje význam této oblasti. Předchozí studie se zaměřovaly především na následující oblasti:

- Používání elektrokol, jejich (potenciální) vliv na mobilitu a jejich dopady na životní prostředí a zdraví [1,2,7-9];
- Bezpečnost elektrokol v silničním provozu [10-12];
- Systémy sdílení elektrokol a jejich (nabíjecí) stanice [13,14];
- Technické metody nabíjení [15,16].

Studie ukázaly, že elektrokola přispívají k udržitelnější mobilitě tím, že zvyšují podíl cyklistické dopravy [1,2]. Majitelé elektrokol jsou starší než majitelé běžných jízdních kol a důležitým důvodem pro koupi elektrokola jsou zdravotní potíže [1,9]. Fyzická aktivita zaměstnanců, kteří k dojíždění do práce používají elektrokola, je podobná jako u těch, kteří používají konvenční kola, což vede k menšímu počtu dnů pracovní neschopnosti [8,17]. Zaparkovaná jízdní kola zabírají mnohem méně místa než zaparkovaná auta [18]. Kromě faktoru image jsou to důvody, které lákají podniky, aby podporovaly dojíždění na konvenčním nebo elektrokole.

Ačkoli by poskytování infrastruktury pro nabíjení elektrokol mohlo podpořit jejich používání [7], výzkum se dosud nezaměřil na problematiku nabíjecích míst a potřebné nabíjecí infrastruktury mimo systémy sdílení. V důsledku toho je množství dostupné odborné literatury týkající se nabíjení elektrokol, zejména na pracovištích nebo při studiu, omezené [19].

V [4] uživatelé elektrokol uvedli, že mají "dojezdovou úzkost", což je obava z vybití baterie během jízdy, a že by se cítili pohodlněji při delších cestách, kdyby bylo k dispozici více nabíjecích stanic. Studie také zjistila, že účastníci nabíjeli svá elektrokola v práci, když dojížděli do práce až 20 km v každém směru.

Elektrokola lze nabíjet ve speciálních nabíjecích stanicích nebo v běžných zásuvkách. Kromě kapacity baterie se u jednotlivých typů elektrokol liší i její uchycení. Existují pevné a odnímatelné baterie pro elektrokola. Zatímco nabíjecí infrastruktura pro elektrokola s pevnými bateriemi musí být vybudována v místě parkování, odnímatelné baterie lze nabíjet jinde [19]. Ačkoli jsou obvykle k dispozici běžné elektrické zásuvky, nabíjecí zařízení není standardizováno. V důsledku toho musí mít uživatelé elektrokol u sebe příslušné vybavení, pokud je během řetězové cesty vyžadováno nabíjení [20].

Studie ukázaly, že nabídka denní finanční pobídky pro dojíždění do práce na kole (až do výše

£5/5,7 EUR) je účinná při zvyšování počtu cyklistů [21]. Ve srovnání s tím se energetické náklady na proces nabíjení jeví jako nízké. Vzhledem k tomu, že cena nabíjecí akce je obvykle podstatně nižší než 1 EUR, je ve srovnání s nabíjením bateriového elektromobilu triviální [4]. Bezplatné nabíjení by proto mohlo být pro zaměstnavatele nákladově efektivním opatřením, které by zaměstnance motivovalo k dojíždění na elektrokole.

Souhrnně lze říci, že chybí literatura o chování osob dojíždějících na elektrokolech a o četnosti, s jakou svá elektrokola nabíjejí. Chybí také vědecké zdroje týkající se potřebné nabíjecí infrastruktury, kterou by měli zaměstnavatelé svým zaměstnancům a hostům poskytnout. Z tohoto důvodu jsme analyzovali frekvenci nabíjení ve vztahu k bezplatnému a placenému nabíjení.

2. Materiály a metody

2.1. Sběr dat

Provedli jsme průzkum mezi zaměstnanci a studenty RWTH na téma parkování jízdních kol. RWTH se rozkládá v západní části Cách. Město leží v údolní kotlině v blízkosti belgických a nizozemských hranic. V blízkosti města se nachází pohoří Vysoké Feny, Eifel a Ardeny. Mnohé cesty do RWTH jsou poměrně kopcovité, což činí z elektrokol atraktivní způsob dopravy.

V červenci 2022 jsme studenty a zaměstnance vyzvali e-mailem k účasti na našem průzkumu a obdrželi jsme údaje od 1583 studentů a 1377 zaměstnanců. Posledně jmenovaná skupina zahrnovala profesory, vědecké pracovníky (většinou doktorandy) a neakademické administrativní a technické pracovníky. V době sběru dat byla sice většina omezení podle COVID-19 uvolněna, ale na univerzitě stále platila politika vstřícná k homeworkingu ovlivněná COVID.

Pro tuto analýzu jsme brali v úvahu pouze osoby, které dojížděly na elektrokole alespoň jednou týdně, a vyloučili jsme osoby s chybějícími hodnotami. Výsledkem je 281 respondentů v našem vzorku. Většina z nich používá standardní elektrokola (s podporou šlapání do rychlosti 25 km/h, tj. z právního hlediska považovaná za jízdní kolo), jak je uvedeno v tabulce 1. Menší část této skupiny používala s-pedelecs (šlapací do 45 km/h, tj. právně klasifikované jako mopedy) nebo nákladní pedelecs.

Tabulka 1. Přehled vzorků.

	Studenti	Profesoři	Vědeckí pracovníci	Administrativní a technický personál
Standardní elektrokola	19%	7%	27%	43%
S-pedelecs	0%	0%	0%	1%
Nákladní pedeleky	0%	0%	1%	2%

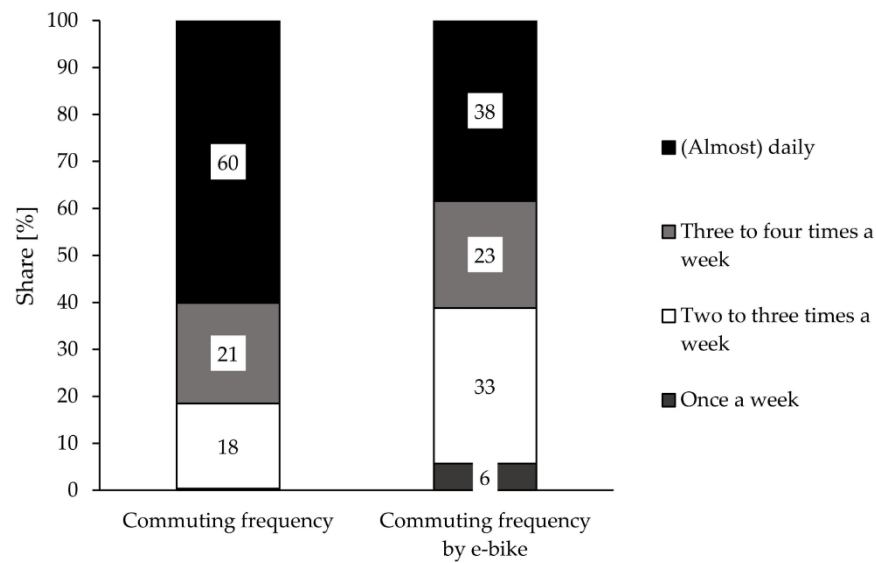
Přestože studenti tvoří nejpočetnější skupinu členů univerzit, v našem vzorku dojíždějících na elektrokole byli v menšině. K tomuto výsledku došlo proto, že podíl uživatelů elektrokol ve srovnání s uživateli běžných kol se mezi skupinami v našem průzkumu výrazně liší: V případě studentů se jedná o 4 %, zatímco u vědeckých pracovníků je to 12 %, u profesorů 31 % a u administrativních a technických pracovníků

Tabulka 2. Věkové rozložení vzorku.

<20	20-29	30-39	40-49	50-59	≥60
1%	24%	20%	20%	25%	11%

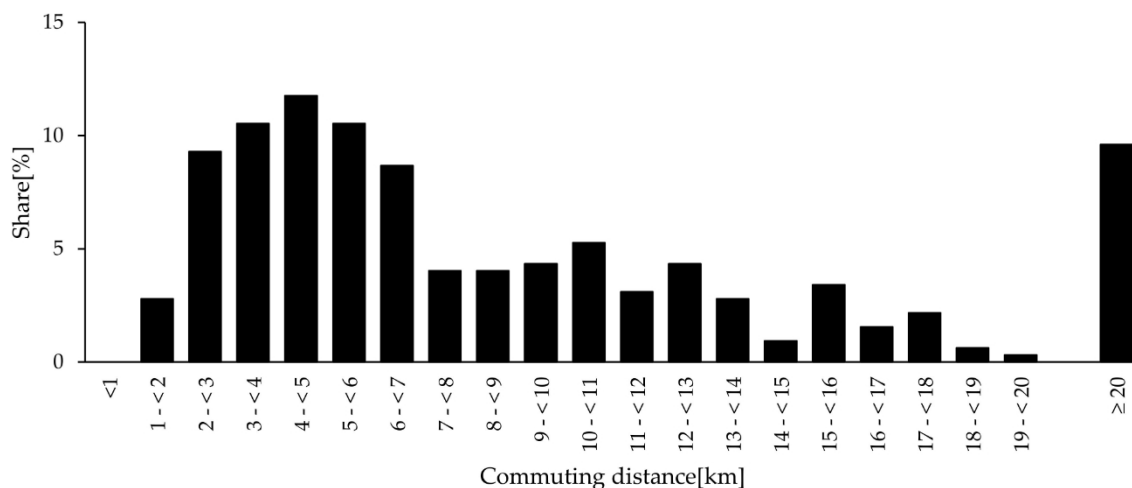
2.2. Chování při dojíždění do zaměstnání ve vzorku

Než jsme se zaměřili na chování při nabíjení, podívali jsme se na četnost dojíždění obecně a konkrétně na dojíždění na elektrokole v našem vzorku. Jak ukazuje obrázek 1, 40 % respondentů dojíždí denně nebo téměř denně na elektrokole. Nicméně 31 % našeho vzorku mělo vyšší frekvenci dojíždění obecně než pouze na elektrokole, což svědčí o multimodalitě.



Obrázek 1. Frekvence dojíždění osob dojíždějících na elektrokole ($n = 281$).

Obrázek 2 ukazuje vzdálenost mezi domovem nebo obvyklým bydlištěm a univerzitou, kterou sami uvádějí. Medián vzdálenosti byl 6 km (průměr 8 km) a přibližně 10 % našeho vzorku dojíždí do práce více než 20 km. Předpokládali jsme, že infrastruktura pro dobíjení na pracovišti je pro tyto dojíždějící relevantnější, protože je u nich větší pravděpodobnost, že se jim během dojíždění vybije baterie. Celkově toto rozložení naznačuje, že většina dojíždějících s možností domácího nabíjení se při pravidelném dojíždění nespolehala na nabíjecí infrastrukturu na pracovišti, protože jejich elektrokola měla dostatečnou kapacitu baterie.



Obrázek 2. Dojížděková vzdálenost respondentů v jednom směru ($n = 281$).

2.3. Frekvence nabíjení ve vzorku a odhad modelu

Požádali jsme účastníky, aby uvedli, kolik dní v běžném pracovním nebo studijním týdnu by své elektrokolo na RWTH nabíjeli v závislosti na tom, zda je nabíjení zpoplatněno. Každý respondent dostal obě otázky v náhodném pořadí. V několika případech účastníci uvedli, že své e-kolo nabíjejí o něco častěji, než že ho používají k dojíždění do práce. V těchto případech jsme četnost nabíjení omezili na maximální počet dojíždění na elektrokole.

Hodnoty frekvence nabíjení jsme analyzovali pomocí popisné a vícerozměrné statistiky. Abychom vytvořili binomický smíšený logitový model, převedli jsme počet dní v týdnu s nabíjením nebo bez něj na volby, přičemž každá událost odpovídala jednomu dni. Počet voleb na účastníka se tedy rovnal počtu dnů v týdnu, kdy každý účastník jezdil do práce na kole. Pro výpočet počtu událostí nabíjení na den v týdnu jsme odpovědi účastníků rovněž převedli na denní pravděpodobnost nabíjení pomocí faktorů uvedených v tabulce 3.

Tabulka 3. Faktory pro převod odpovědí účastníků na hodnoty denní frekvence nabíjení.

Odpověď účastníka	Nabíjení Frekvence	
	za týden	Na všední den
(Téměř) denně	5	1
Třikrát až čtyřikrát týdně	4	0.8
Dvakrát až třikrát týdně	3	0.6
Jednou týdně	1	0.2

Výsledkem bylo vytvoření souboru dat s 1091 pozorováními pro bezplatné a placené zpoplatnění. Vzhledem k tomu, že na jednoho účastníka připadá více pozorování, zvolili jsme smíšený logitový model, který zahrnoval náhodný koeficient odrážející individuální preference a který používal následující funkci užítku:

$$U_{itq} = \beta_q X_{itq} + \eta_{iq} + \varepsilon_{iq} \quad (1)$$

Užitek U každé alternativy je výsledkem násobení koeficientů a parametrů (X_{itq} , β_q které závisí na alternativě (i), situaci (t) a jednotlivci (q). Byl zde také chybový člen a náhodný koeficient (η_{iq} , který umožňoval korelaci mezi volbami jednotlivých jedinců, protože nebyly nezávislé:

$$\eta_{iq} = \mu(\beta) + \sigma(\beta) - \xi_{iq} \quad (2)$$

Náhodný koeficient se skládal z $\mu(\beta)$ pro průměr a $\sigma(\beta)$ pro směrodatnou odchylku. ξ_{iq} byl normálně symetricky rozdělen kolem nuly. Zvolili jsme výběry typu Modified Latin Hypercube Sampling a použili jsme $n = 500$.

Nakonec je pravděpodobnost každé alternativy $p(i, t)$ dána takto:

$$p(i, t) = \frac{e^{U_{itq}}}{\sum_i U_{itq}} \quad (3)$$

Další informace o smíšeném logitovém modelování naleznete v [22,23].

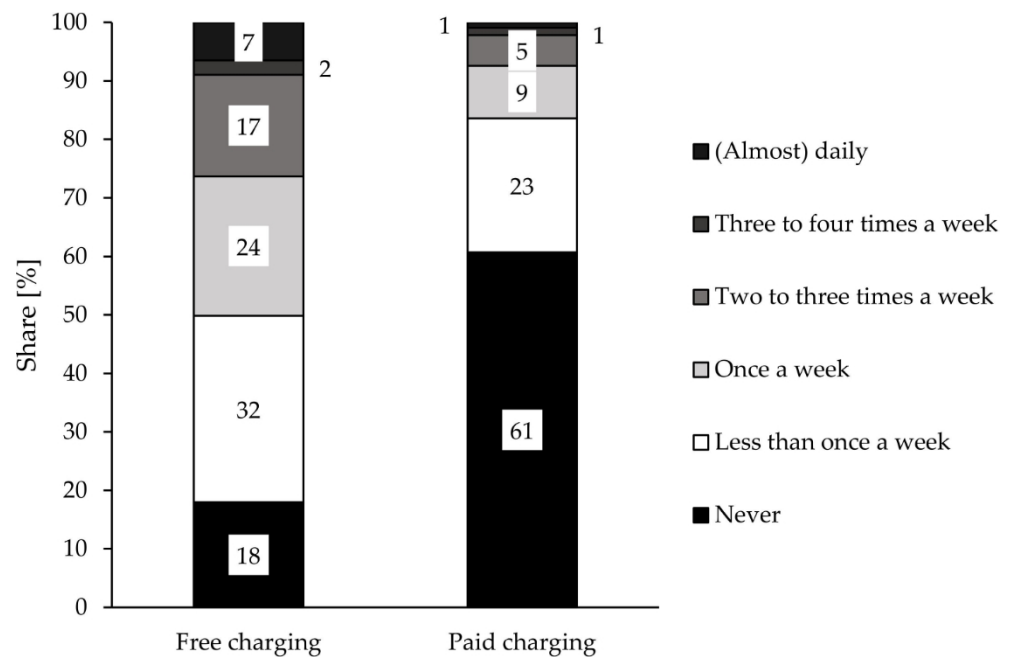
Pro výpočty jsme použili balíček Apollo v programu R [24]. Pro odhad standardních chyb a p -hodnot jsme provedli bootstrapping a z našeho souboru dat jsme vybrali 100 vzorků. Pro interpretaci jsme jako mezní hodnotu zvolili p -hodnotu 0,1, protože náš soubor dat je relativně malý.

3. Výsledky

3.1. Popisná analýza frekvence nabíjení

Ačkoli v literatuře nejsou k dispozici odhady četnosti nabíjení u zaměstnanců, zjistili jsme, že téměř 18 % respondentů by nikdy nenabíjelo své elektrokolo na pracovišti nebo při studiu, jak ukazuje obrázek 3. Pravděpodobným důvodem tohoto rozhodnutí je potřeba

nosit s sebou do práce nabíjecí zařízení nebo nechat nabíječku trvale v cíli cesty, pokud není k dispozici interoperabilní nabíjecí stanice. Pokud jde o placené nabíjení, procento respondentů, kteří by nikdy nenabíjeli na svém pracovišti nebo při studiu, je více než třikrát vyšší než procento těch, kteří by tak činili, pokud by nabíjení bylo zdarma. Zatímco polovina respondentů by nabíjela alespoň jednou týdně, pokud by bylo nabíjení zdarma, pouze 16 % by tak učinilo, pokud by za nabíjení museli platit. Podíl respondentů, kteří by nabíjeli alespoň dvakrát týdně, klesá z 26 na 7 %, pokud by za nabíjení museli platit.



Obrázek 3. Týdenní frekvence nabíjení u bezplatného a placeného nabíjení ($n = 281$).

Převedením týdenní četnosti nabíjení na denní četnost můžeme odhadnout průměrnou a mediánovou četnost nabíjení na jednoho dojíždějícího elektrokola za pracovní den, jak je uvedeno v tabulce 4. V případě, že je k dispozici bezplatné nabíjení, lze očekávat jedno nabíjení denně pro čtyři osoby dojíždějící na elektrokole. V případě placeného nabíjení připadá jedna nabíjecí událost na 12 uživatelů elektrokol. Směrodatná odchylka pro bezplatné nabíjení je však 0,32, zatímco v případě placeného nabíjení není tato hodnota o mnoho nižší a činí 0,2. Počet nabíjecích událostí by tedy mohl výrazněji kolísat v případě placeného nabíjení.

Tabulka 4. Denní frekvence nabíjení pro bezplatné a placené nabíjení.

	Nabíjení zdarma	Placené nabíjení
Průměr	0.27	0.08
Medián	0.2	0
SD σ	0.32	0.2

3.2. Vícerozměrná analýza frekvence nabíjení

Pro analýzu četnosti bezplatného a placeného nabíjení jsme odhadli kombinovaný smíšený logit model s použitím koeficientů uvedených v tabulce 5. Referenční osobou byl vědecký pracovník s ženským nebo nebinárním pohlavím. Fixovali jsme $\mu_{(\beta)}$ pro "žádné nabíjení" na nulu a odhadli jsme $\sigma_{(\beta)}$, které se vztahuje jak na bezplatné, tak na placené nabíjení. Všechny ostatní odhady se vztahují k bezplatnému nebo placenému zpoplatnění. Tabulka ukazuje výrazně záporný koeficient pro bezplatné zpoplatnění ve srovnání s referenční kategorií bez zpoplatnění. Tento výsledek je v souladu se zjištěním, že i v případě bezplatného nabíjení by dojíždějící na elektrokole obecně nabíjeli jen zřídka. V případě placeného nabíjení je koeficient ještě zápornější, což znamená, že dojíždějící na elektrokole by se v tomto případě nabíjení v práci do značné míry vyhýbali.

Tabulka 5. Koeficienty smíšeného logit modelu.

Odkaz: Vědecký pracovník		Nabíjení			p-Value	Est.	zdarmaPlacené nabíjení			p-Value
		Est.	Std. err.	t-Ratio			std. err.	t-Ratio	p-Value	
Žádné nabíjení	$\mu(\beta)$					Opra na 0				
	$\sigma(\beta)$	2.607	0.298	8.756	$<2 \times 10^{-10}$	veno	(viz vlevo)			
Nabíjení	$\mu(\beta)$	-1.545	0.562	-2.748	0.006	***	-4.130	0.701	-5.895	$<2 \times 10^{-10}$
	$\sigma(\beta)$	-1.057	0.753	-1.405	0.160	**	-1.073	0.803	-1.337	0.181
Dojíždění [km ²]	β	0.004	0.002	1.959	0.050	.	0.001	0.003	0.224	0.823
Hodnota kola E při dalším prodeji	β	-1.214	0.452	-2.684	0.007	**	-1.132	0.666	-1.701	0.089
Věk ≥ 50 let podle e-bike	β	-1.025	0.482	-2.129	0.033	*	0.548	0.596	0.919	0.358
Denní dojíždění	β	0.340	0.459	0.741	0.459	.	0.980	0.587	1.668	0.095
Muži	β	0.711	0.468	1.519	0.129	.	0.158	0.560	0.283	0.777
Studenti	β	0.197	0.670	0.294	0.769	.	-1.467	0.816	-1.797	0.072
Profesoři a technický personál	β	0.424	0.591	0.718	0.473	.	-1.009	0.790	-1.277	0.202
Administrativní personál	β	0.916	0.949	0.965	0.334	.	1.224	1.195	1.024	0.306

Kódy významnosti: 0 "****" 0,001 "****" 0,01 "****" 0,05 " " 0,1 " " 1.

Očekávali jsme, že potřeba dobíjení se bude neúměrně zvyšovat v závislosti na dojížděcí vzdálenosti. Proto jsme jako proměnnou použili čtverec dojížděkové vzdálenosti. S rostoucí vzdáleností roste pravděpodobnost využití bezplatného nabíjení (p-hodnota 0,05). U placeného nabíjení je nárůst mnohem menší a statisticky nevýznamný. Odhadli jsme také model, kde dojezdová vzdálenost nebyla kvadrátem, a získali jsme podobný výsledek. Použití postupné linearizace pro vliv dojížděkové vzdálenosti vedlo pouze k nevýznamným koeficientům.

Nekonzistentně platí, že věk nad 50 let významně snižuje frekvenci bezplatného nabíjení a nevýznamně zvyšuje frekvenci placeného nabíjení. Podle očekávání hodnota elektrokola při dalším prodeji nad 2000 EUR snižuje četnost bezplatného i placeného nabíjení, pravděpodobně v důsledku menší potřeby nabíjení kvůli vyšší kapacitě baterie. Příslušný vliv proměnných "každodenní dojíždění na elektrokole", "muži", "studenti" a skupina zaměstnání na četnost nabíjení je statisticky nevýznamný nebo velmi slabý. Nicméně denní dojíždění na elektrokole zvyšuje a status studenta snižuje četnost placeného nabíjení. Druhý výsledek pravděpodobně souvisí s příjmy respondentů.

4. Diskuse

Tento článek analyzuje potenciální četnost nabíjení elektrokol dojíždějících do práce nebo studujících na univerzitě RWTH Aachen. Výpočty založené na průzkumu mobility provedeném na univerzitě odhadují, že na RWTH dojíždí na elektrokole především přibližně 1000 osob. Vzhledem k tomu, že členové univerzity obdrželi jedinou e-mailovou výzvu k účasti na tomto průzkumu, považujeme míru odezvy za přijatelnou.

Univerzita je jako příklad srovnatelná s ostatními zaměstnavateli, protože náš model považuje "studenty" za samostatný a statisticky nevýznamný faktor pro bezplatné účtování. Přestože jsme analyzovali pouze členy jedné univerzity, věkové rozložení a podíl studentů v našem vzorku se výrazně neliší od jiných studií, které analyzovaly používání elektrokol obecně, s výjimkou absence důchodců [1,8]. Proto se domníváme, že výsledky lze zobecnit na podniky a další místa, kde je nabíjení elektrokol relevantní, pokud jsou místní podmínky (typy elektrokol a kapacity baterií, dostupnost domácího nabíjení, podíl využití elektrokol, rozložení vzdáleností cest a délka parkování) podobné.

Obecně výsledky ukazují, že většina uživatelů dojíždějících na elektrokole nepotřebuje každodenní nabíjení na univerzitě. Zatímco ve scénáři bezplatného nabíjení připadá statisticky na každého čtvrtého dojíždějího elektrokola jedno nabíjení denně, ve scénáři placeného nabíjení připadá na každého dvanáctého dojíždějího elektrokola pouze jedno nabíjení. Směrodatné odchylky jsou však u obou scénářů vysoké. Navíc je nepravděpodobné, že by

aby si cyklisté vybírali dny nabíjení tak, aby co nejvíce využívali nabíjecí infrastrukturu. Místo toho by chtěli nabíjet, kdykoli by to potřebovali. Proto je při zajišťování nabíjecí infrastruktury pro zaměstnance lepší instalovat několik dalších zásuvek, než kolik se jich vypočítá jako nezbytných. Kromě toho je nutné znát (budoucí) podíl zaměstnanců, kteří dojíždějí na elektrokole, a jejich cíl na pracovišti, aby bylo možné umístit nabíjecí zařízení tam, kde jsou užitečná. Lze předpokládat, že podíl osob pracujících z domova se bude nadále snižovat s tím, jak se budou normalizovat způsoby dojíždění, až bude pandemie COVID-19 minulostí. Tento trend zvýší četnost dojíždění do zaměstnání, a tedy i četnost dobíjení.

Náš model také ukazuje, že frekvence nabíjení se výrazně snižuje, pokud uživatelé musí za nabíjení platit. Vzhledem k tomu, že náklady zaměstnavatelů na zajištění nabíjecích zařízení a elektřiny jsou relativně nízké, mohlo by být bezplatné nabíjení užitečným opatřením na podporu cyklistiky [7]. Můžeme například předpokládat, že se nelze vyhnout úzkému místu v poskytování nabíjecí infrastruktury. V takové situaci by placené nabíjení mohlo být řešením, které by snížilo četnost nabíjení, protože uživatelé elektrokol bez silné potřeby nabíjení by se nabíjení vyhýbali. Tento přístup by zvýšil praktickou dostupnost nabíjecí infrastruktury. Je třeba poznamenat, že potenciální příjmy z poplatku za nabíjení nemusí ve většině případů ekonomicky ospravedlnit nezbytný proces účtování.

Zatímco [4] zjistil, že u elektrocyklistů existuje úzkost z dojezdu a dojíždějící nabíjejí v práci, pokud je dojezdová vzdálenost do 20 mil v každém směru, v našem modelu byl vliv dojezdové vzdálenosti na frekvenci nabíjení statisticky významný pouze pro bezplatné nabíjení. Tento významný vliv může být způsoben obecně větší potřebou nabíjení s rostoucím počtem ujetých kilometrů na kole, nikoliv snahou vyhnout se vybití baterie během určitého řetězce cest. V opačném případě bychom očekávali, že vliv vzdálenosti na četnost využívání placeného nabíjení bude rovněž významný. Důvodem tohoto výsledku by mohl být malý podíl uživatelů elektrokol, kteří dojíždějí do zaměstnání na vzdálenosti, jejichž délka řetězce výletů se blíží dojezdu baterií jejich elektrokol. V jiných zeměpisných oblastech, kde je podíl uživatelů elektrokol s dlouhými dojížděnkami vyšší, může být vliv dojížděnkové vzdálenosti na četnost dobíjení silnější.

Pokud jde o hodnotu elektrokol při dalším prodeji, získané výsledky odpovídají očekávání. U bezplatného i placeného nabíjení snižuje prodejní hodnota nad 2000 EUR četnost nabíjení. Předpokládáme, že tento výsledek je způsoben vyšší kapacitou baterií elektrokol s vyšší hodnotou. S budoucími technologickými inovacemi, a tedy větší kapacitou baterií, se četnost nabíjení ještě sníží.

Protože předchozí výzkum ukázal, že zdravotní potíže jsou důležitým důvodem pro koupi elektrokola [9], očekávali bychom, že starší respondenti budou motorovou podporu využívat intenzivněji, a proto budou potřebovat častěji nabíjet. V našich výsledcích se četnost bezplatného nabíjení snížila u osob starších 50 let, zatímco vliv na placené nabíjení byl statisticky nevýznamný a v opačném směru; vliv věku je tedy nejasný. Jedním z možných vysvětlení je, že náš vzorek se skládá převážně z pracujících osob, které jsou pravděpodobně dostatečně fit, aby nepotřebovaly nadměrnou podporu motoru, a proto nepotřebují nabíjet častěji než ostatní. Pokud by vzorek zahrnoval i důchodce, výsledky by mohly být jiné. Tato skupina je však při posuzování nabíjení prováděného na pracovištích nebo studijních místech převážně mimo záběr.

Analýza současného chování při nabíjení by poskytla další informace o zvycích a preferencích uživatelů elektrokol. Bohužel jsme neměli žádné informace o současném chování účastníků při nabíjení, protože RWTH oficiálně neposkytuje nabíjecí infrastrukturu pro své zaměstnance a studenty. Tento problém vede k nejasnostem ohledně aktuální dostupnosti nabíjecí infrastruktury. Poskytování nabíjecí infrastruktury by vyvolalo řadu administrativních a daňových problémů, protože elektřina používaná k nabíjení elektrokol zaměstnanců je ze zákona považována za zdanitelné naturální plnění. Předpokládáme, že jezdci, kteří v současné době potřebují nabít své elektrokolo, si ho přinesou, nebo jen baterii, pokud je odnímatelná, do kanceláře a nabijete si ho tam bez úředního povolení a ve

porušení požárně bezpečnostních předpisů. Očekáváme, že toto chování bude pokračovat i v budoucnu, pokud bude nabíjecí infrastruktura nedostatečná nebo příliš drahá. Tato šedá zóna ztěžuje analýzu současných nabíjecích zvyklostí. Nicméně výzkum by měl potvrdit naše výsledky vyhodnocením současného nebo budoucího chování při nabíjení.

Naše výsledky vycházejí z dotazníků vyplněných zaměstnanci a studenty RWTH, kteří vlastní elektrokolo a používají ho k dojíždění. Potenciální noví uživatelé dojíždějící na elektrokole, jejichž řetězce cest jsou příliš dlouhé na to, aby je bylo možné nabíjet pouze doma, nejsou v našem vzorku pravděpodobně zastoupeni. U takto dlouhých vzdáleností je však doba jízdy autem nebo veřejnou dopravou mnohem kratší než u elektrokol. V důsledku toho je nepravděpodobné, že by elektrokola byla konkurenceschopná pro uskutečnění takových řetězců cest a budou využívána pouze ve výjimečných případech. V důsledku toho by měl být dojezd elektrokol dostatečný pro většinu dojížděkových vzdáleností. Přestože s-pedeleky tvořily v našem vzorku zanedbatelný podíl, jejich budoucí rozšíření by mohlo zvýšit vzdálenosti, na které zaměstnanci dojíždějí na elektrokolech, a tím i potřebu nabíjení. Poskytnutí nabíjecích zařízení v práci by navíc mohlo podpořit i dojíždějící, kteří nemají doma žádné nebo nevyhovující nabíjecí zařízení, např. pokud není k dispozici zdroj energie v místě parkování elektrokola. Celkově je jejich poskytnutí vstřícným gestem zaměstnavatelů, kterým vyjadřují podporu zaměstnancům dojíždějícím na kole.

5. Závěry

S rostoucím prodejem a používáním elektrokol nabývá otázka jejich nabíjení na významu. Z pohledu zaměstnavatele by podpora používání elektrokol poskytnutím nabíjecí infrastruktury mohla podpořit dojíždění na elektrokolech, a tím snížit potřebu parkovacích míst a zlepšit zdraví zaměstnanců. Ačkoli není nutné zajistit nabíjecí místo pro každého dojíždějícího na elektrokole, počet nabíjecích míst by měl převyšovat počet uživatelů elektrokol, kteří jsou ochotni nabíjet, protože by nemělo být nutné, aby někdo odpojil své elektrokolo během pracovního dne, aby mohl nabít jiné elektrokolo.

Celkově lze z našich výsledků vyvodit následující závěry:

- Četnost nabíjení v místě práce nebo studia závisí na dojezdové vzdálenosti pro bezplatné nabíjení. U placeného nabíjení však tento vliv nebyl statisticky významný. Zajištění nabíjecí infrastruktury v místě práce nebo studia tedy pravděpodobně není nutné, aby se zabránilo vybití baterie na cestě domů pro osoby, které pravidelně nabíjejí své elektrokolo doma.
- Dražší elektrokola se v práci nabíjejí méně často, pravděpodobně kvůli vyšší kapacitě baterie.
- Vliv věku je nejasný, pravděpodobně proto, že v našem vzorku souvisejícím s prací jsou nejstarší účastníci ještě příliš zdatní na to, aby mohli používat motorickou podporu ve výrazně větší míře než mladší účastníci.
- Frekvence nabíjení je u placeného nabíjení mnohem nižší než u bezplatného nabíjení. Placené nabíjení lze zavést, pokud není možné zajistit dostatečnou nabíjecí infrastrukturu.
- Ochota uživatelů elektrokol platit za nabíjení závisí na jejich statusu studenta nebo zaměstnance a pravděpodobně i na jejich příjmu. Proto je užitečné zvážit potenciální uživatele před rozhodnutím o zavedení poplatku za nabíjení.

Podle německých zákonů, stejně jako podle zákonů v jiných zemích, je teoreticky zdanitelné i bezplatné nabíjení elektrokol. Tento zákon však bude v praxi pravděpodobně ignorován jak zaměstnavateli, tak zaměstnanci; proto je nutná legislativní reforma, aby se předešlo nadměrnému úsilí při dokumentaci a soudním sporům o malé částky a aby se zaměstnavatelům usnadnilo poskytování nabíjecí infrastruktury.

Kromě této studie by bylo zajímavé analyzovat údaje o nabíjení v reálném světě od zaměstnanců, jakož i různé cenové režimy, úrovně cen a způsoby platby, aby se zlepšilo naše chápání nabíjení elektrokol. Kromě toho by budoucí studie měla zahrnovat možnost zaměstnanců nabíjet doma a na jiných místech.