REAKCE POPTÁVKY DOMÁCNOSTÍ PO ENERGII NA ZVYŠOVÁNÍ ENERGETICKÉ ÚČINNOSTI: TEORIE A JEJÍ DŮSLEDKY PRO KONSTRUKCI EMPIRICKY OVĚŘITELNÝCH MODELŮ

Stela Rubínová, Univerzita Karlova v Praze, Centrum pro otázky životního prostředí,
Institut mezinárodních a rozvojových studií (IHEID), Ženeva*

1. Motivace

Poptávka po energii roste s ekonomickým rozmachem společnosti a oddělení těchto dvou trendů od sebe – tedy idea ekonomického rozvoje bez zvyšování energetické náročnosti, se stala jedním z důležitých vědeckých, ale i politických témat. Zájem se soustředí nejen na výrobní procesy, ale i na poptávku domácností. Energetická spotřeba domácností tvoří zhruba 22 % celkové spotřeby energie v České republice¹ a podobně tomu je i v dalších evropských státech. Jakákoli snaha o snížení energetické závislosti země a negativních dopadů spalování fosilních paliv tedy musí být zaměřena také na domácnosti. Jednou z hlavních nadějí se pak stal pokrok ve snižování energetické náročnosti služeb, které domácnosti využívají.² Již od konce sedmdesátých let se vlády snaží regulovat energetickou náročnost spotřebičů a propagovat využívání těch účinnějších.

Brzy se však rozběhla diskuze, zda efektivita politik založených na podpoře energeticky úsporných zařízení a spotřebičů nebude podkopána cenově podmíněnou reakcí spotřebitelů. Energeticky efektivněji produkovaná služba se stává levnější, protože spotřebitel ušetří na nákladech na energii a ekonomická teorie pak naznačuje, že spotřebitel by měl upravit svou spotřebu ve prospěch této služby, a tím omezit potenciální úsporu energií.

V roce 1980 Daniel Khazzoom reagoval na vlnu povinných energetických standardů stanovených americkou vládou studií, ve které zdůrazňoval, že předpokládané úspory nejsou realistické, pokud neberou v úvahu právě spotřebitelskou reakci. Míra, do jaké chování spotřebitele „ukrojí“ z potenciálních technologických úspor energie, pak závisí

* Článek vznikl díky projektu 2D06029 „Analýza distribučních a sociálních dopadů sektorových politik“ financovaného MŠMT z programu Národního Programu Výzkumu II. Autorka si dovoluje poděkovat Milanu Ščasnému z COŽP UK za komentáře k dílčím problémům.

1 http://www.czso.cz/csu/tz.nsf/i/energo_2004. Podle IEA/OECD: Energy Balances of OECD Countries byla konečná spotřeba residenčního sektoru například v roce 2008 5,8 Mtoe, 14,7 TWh elektrické energie a 40 PJ tepla. Spotřeba energií celkem činila 27,0 Mtoe, elektřiny 58 TWh nebo 86 PJ tepla.

2 Službami zde myslíme ty, které jsou poskytovány přístroji využívajícími energii. Například vytápění domácnosti, jízda autem, ohřev vody, praní prádla, apod.

na elasticitě poptávky po dané službě vzhledem k její ceně. V odborné literatuře tento fenomén dostal označení „rebound“ efekt, což by se dalo přeložit jako efekt „vzepětí“.

Přestože diskuze na dané téma probíhá již od počátku 80. let, ani dnes se vědci neshodnou na důležitosti tohoto jevu. Přitom odpověď na otázku, zda zlevnění služby díky energetickým úsporám povede k její výrazně větší spotřebě, je klíčová pro volbu opatření zaměřených na snížení poptávky po energii. Pokud by reakce byla významná, efektivita opatření směřujících ke zvyšování účinnosti by byla oslabena ve prospěch jiných, například daňových opatření. Kvantifikace „rebound“ efektu je však ztěžována mnohými faktory. Nejdůležitějším je nedostatek kvalitních mikroekonomických dat a z něj částečně vyplívající obtížnost srovnání výsledků jednotlivých studií kvůli výrazným metodologickým rozdílům. Ambicí této práce je představit komplexní teoretický rámec pro odhadování poptávky po energetických službách, vycházející z neoklasické teorie spotřebitelské volby. Speciální důraz je kladen na různé aspekty ovlivňující rozhodování domácností, jejichž analýza napomáhá konstrukci vhodných modelů pro empirické odhady. Ve druhé kapitole uvedeme základní pojmy a koncepty spojené s poptávkou domácností po energii. Ve třetí kapitole se zaměříme na přímý „rebound“ efekt a odvození jeho alternativních definic v podobě elasticit poptávky po energetických službách. Následně budeme diskutovat uvolnění použitých předpokladů a jeho důsledek pro použití jednotlivých definic. Ve čtvrté kapitole pak představíme alternativní modely poptávky po energetických službách, které je možné použít k empirickým odhadům elasticit. Budeme také diskutovat výsledky existujících empirických studií a jejich vliv na efekty energetických politik.

2. Poptávka po energetických službách

Specifikem poptávky po energii je, že pro její pochopení se musíme zaměřit na poptávku po službách, které energie pomáhá poskytovat. Spotřebitelé totiž nepoptávají energii kvůli jí samé, ale právě jako vstup k výrobě těchto služeb. Veškeré faktory, které ovlivňují poptávku po těchto službách, budou pak nepřímou ovlivňovat i poptávku po energii. Služby, jejímž hlavním výrobním vstupem je energie, budeme v této práci nazývat **energetické služby (ES)**. Příkladem může být vytápění domu, osobní přeprava, osvětlení, praní prádla apod.

Základní součástí energetické služby je tzv. **užitná práce (S)** (Sorrel a Dimitropoulos, 2008), která je kvantifikovatelná. Jedná se tak například o vozidlo-kilometry v osobní přepravě či nastavení termostatu u vytápění domu. Zvláště v případě osobní dopravy a domácích spotřebičů lze pro její hlubší pochopení poptávku po užitné práci rozložit na **počet přístrojů (NO)**, **míru jejich užívání (UTIL)** a **kapacitu (KAP)**. Vozidlo-kilometry jsou pak součinem počtu aut a jejich užívání, užitná práce spojená s osvětlením bytu je součinem počtu světelných zdrojů a jejich příkonu (kapacity) apod.

Další součástí energetické služby jsou její **kvalitativní znaky (A)**, zpravidla dané vlastnostmi zařízení, jež tuto službu zajišťují. V závislosti na typu služby jimi může být rychlost, spolehlivost, komfort či velikost. Vzhledem k tomu, že domác-

nosti mohou vlastnit několik zařízení poskytujících danou energetickou službu (např. několik osobních vozidel, svítidel či televizorů), budeme mluvit o vlastnostech celého *portfolia* spotřebičů. Dá se předpokládat, že čím lepší jsou kvalitativní znaky energetické služby, tím vyšší je užitek z její spotřeby a tedy i poptávka po její užité práci.

Každé energetické zařízení se také vyznačuje určitou **energetickou účinností** (ε), která určuje nákladovou efektivitu využití energie (paliva či elektřiny). Zvýšení energetické účinnosti může být dáno buďto zvýšením účinnosti daného přístroje na jednotku služby, kterou poskytuje (např. lepší technologie kotle na vytápění domu) anebo s ním spojeného zařízení (např. vyšší standardy pro zateplení domácnosti). Energetická účinnost je běžně definovaná (např. Sorrel a Dimitropoulos, 2008; Frondel, et al., 2008) jako:

$$\varepsilon \stackrel{\text{def}}{=} \frac{S}{E} > 0 \quad (1)$$

Zvýšení energetické účinnosti tak znamená, že pro dané množství užité práce je potřeba méně energie.

K základnímu pochopení poptávky domácností po energetických službách lze využít Beckerův model produkční funkce domácnosti (Becker, 1965). V tomto modelu domácnost kombinuje **energii (E)**, **čas (T)**, **kapitál³ (K)** a **ostatní zboží a služby (O)** nutné k obsluze a údržbě kapitálu, aby uspokojil svou poptávku po užité práci dané energetické služby. Užité práce je výstupem určité exogenně dané produkční funkce, která reprezentuje současnou dostupnou technologii, a tedy i energetickou účinnost. Například osobní přeprava, ze které domácnost čerpá užitek, je produkována kombinací paliva, osobního automobilu, nákladů na jeho údržbu a času, který věnujeme řízení.

Celkové náklady na produkci energetické služby jsou součtem **energetických nákladů (P_S)**, **poměrné části kapitálových nákladů (P_K)**, **ostatních provozních nákladů (P_O)** a **nákladů na čas** zpravidla reprezentovaných mzdou (w). Energetické náklady, definované jako součin energie (E) a její ceny (P_E) použité na výrobu jednotky užité práce (S):

$$P_S \stackrel{\text{def}}{=} \frac{E \cdot P_E}{S} \quad (2)$$

mohou být s využitím definice energetické účinnosti (1) vyjádřeny jako

$$P_S = \frac{P_E}{\varepsilon} \quad (3)$$

Důležitost jednotlivých položek v celkových nákladech se liší pro různé energetické služby. Například větší spotřeba osobní přepravy vyžaduje kromě více paliva také více času na řízení a více údržby, takže ceny těchto vstupů budou hrát relativně velkou roli.

3 Ve smyslu statků dlouhodobé spotřeby – tedy portfolia přístrojů, jež přeměňují energii na danou službu a s nimi spojených zařízení.

Naopak v případě vytápění domácností bude cena energie nejspíše hlavní položkou nákladů.

Problém rozhodování domácnosti je pak charakterizován *vázanou maximalizací užítku čerpaného z energetických služeb*, jejíž omezení jsou dána produkční funkcí energetické služby a rozpočtem domácnosti. Řešením tohoto problému jsou optimální poptávané množství vstupů k produkci užité práce, a tedy i poptávka po energii, v závislosti na cenách vstupů a příjmu domácnosti.

Přestože předpoklady neoklasické analýzy spotřebitelského chování jsou velmi silné,⁴ tento model je užitečný pro studium poptávky po energii, protože vystihuje její zásadní rys – *užitek je čerpán z energetických služeb a ne přímo z energetických komodit*. Tím, že připisuje domácnosti i roli výrobce, také počítá s časem jako důležitým vstupem do výroby těchto služeb. Možný trade-off mezi časem a energií pak poskytuje důležité vhledy do mechanismu, jež určuje poptávku po energii.⁵

Stejným způsobem, jakým poptávka po dané energetické službě určuje s ní spojenou poptávku po energii, určuje také poptávku po kapitálu, který jí poskytuje. *Poptávka po přístrojích produkujících energetické služby tedy pramení z poptávky po dané službě*. Na druhou stranu, užitek ze spotřeby této služby, a tedy i poptávka po její užité práci bude ovlivněn jejími kvalitativními znaky, které jsou určeny vlastnostmi portfolia přístrojů. Vztah mezi poptávkou po dané službě a kapitálem je tedy oboustranný. Dubin a McFadden navrhli model, který modeluje tento vzájemný vztah a který bude diskutován v kapitole 4.

3. Definice „rebound“ efektu

Uvažujme situaci, ve které se zvýší energetická účinnost, ale spotřeba a cena ostatních vstupů stejně jako kvalitativní znaky energetických služeb se nezmění. Pokud by se poptávka po užité práci také nezměnila, spotřeba energie by klesla proporcionálně ke změně účinnosti. Takovýmto úsporám budeme říkat potenciální či technologické úspory. Zvýšená účinnost však sníží energetické, a tedy i celkové náklady užité práce, což za jinak stejných podmínek povede ke zvýšení poptávky po ní a potenciální pokles spotřeby energie tak bude do jisté míry potlačen. Procento potenciálních úspor energie plynoucích ze zvýšené účinnosti, které je ztraceno díky změně spotřeby energetické služby se nazývá **přímý „rebound“ efekt (RE)**.

Komplexní ohodnocení vlivu zlepšování energetické účinnosti pak zahrnuje také **sekundární efekty** na spotřebu ostatního zboží a služeb způsobené změnou reálného příjmu a dále také vliv na stranu nabídky. Dohromady s přímým efektem tvoří tyto mechanismy základ agregátních efektů vyplývajících z teorie obecné rovnováhy.

Khazzoom (1987, 1989) a Brookes (1990, 2000) argumentovali, že pokusy o snížení energetické spotřeby zvyšováním energetické účinnosti na mikroekonomické

4 Racionální spotřebitel s tranzitivními, reflexivními, kompletními a nenasycenými preferencemi, který se rozhoduje za jistoty a s úplnými informacemi a jehož náklady na dosažení optima jsou zanedbatelné.

5 Tomuto problému se věnuje např. Binswanger (2001).

úrovni vede ke zvýšené spotřebě na agregátní úrovni. Základem jejich argumentace byl takzvaný Jevonsův paradox⁶ – technologický pokrok, který zvyšuje účinnost, s jakou jsou využívány energetické zdroje, vede spíše ke zvýšení míry spotřeby těchto zdrojů než k jejímu snížení. Ekonom Harry Saunders v roce 1992 popsal dva mechanismy, které vedou k Jevonsovu paradoxu: nárůst energetické účinnosti relativně zlevňuje energii oproti jiným vstupům a dále zvyšuje ekonomický růst, který podněcuje vyšší spotřebu energie. Jinými slovy se jedná o substituční a důchodový efekt na agregátní úrovni, které působí stejným směrem. Proti tomuto táboru ekonomů se postavil například energetický fyzik Armory B. Lovins v roce 1988 nebo Lee Schipper a M. J. Grubb v roce 2000, kteří tvrdí, že „rebound“ efekt je v podstatě zanedbatelný.

Vzhledem k tomu, že studium „rebound“ efektu na mikroekonomické a agregátní úrovni je metodologicky velice odlišné, v následujícím textu se zaměříme jen na základní prvky chování poptávky domácností po energii a různé přístupy k odhadům jejich parametrů. Důvodem je i fakt, že v této oblasti leží většina empirického výzkumu, který může využívat přímých odhadů pomocí ekonometrické analýzy bez nutnosti zaobírat se efekty obecné rovnováhy.

3.1 Základní definice přímého RE

Označme S_1 spotřebu užité práce před zlepšením energetické účinnosti a S_2 spotřebu užité práce poté. Dále označme $E(S_1)$ spotřebu energie, která odpovídá spotřebě S_1 a $E(S_1)^*$ spotřebu energie, která této spotřebě odpovídá při zavedení lepší účinnosti. Předpokládejme, že $E(S_1) > E(S_1)^*$ a obecně $E(S_X) > E(S_Y)$, pokud $S_X > S_Y$ pro všechna S_X a S_Y .

Nyní můžeme definovat potenciální úspory energie z technologického zlepšení jako

$$POT = \frac{E(S_1) - E(S_1)^*}{E(S_1)} \cdot 100\% \text{ a skutečné úspory jako } ACT = \frac{E(S_1) - E(S_2)^*}{E(S_1)} \cdot 100\%. \quad (4)$$

Nejobecnější definicí přímého „rebound“ efektu je pak procentuální rozdíl mezi potenciálními a skutečnými úsporami (Berkhout, et al., 2000):

$$\text{Definice 0} \quad RE = \frac{POT - ACT}{POT} \cdot 100\% = \frac{E(S_2)^* - E(S_1)^*}{E(S_1) - E(S_1)^*} \cdot 100\%.$$

Výběr S_2 bude záležet na citlivosti poptávky po užité práci na změnu energetické účinnosti za jinak stejných podmínek. Jinými slovy, „rebound“ efekt je určen **elasticitou poptávky po užité práci vzhledem k energetické účinnosti**.

6 William Stanley Jevons ve své knize z roku 1865 „The Coal Question“ říká, že "se jedná o zmatení pojmů, když předpokládáme, že hospodárné využití paliv je ekvivalentem k jejich snížené spotřebě. Právý opak je pravdou." (Citováno v Brookes, 2000; překlad z angličtiny autorka).

Definice 1 $\eta_{\varepsilon}(S) = \frac{\partial S}{\partial \varepsilon} \cdot \frac{\varepsilon}{S}$

Definujeme-li elasticitu poptávky po energii vzhledem k energetické účinnosti jako $\eta_{\varepsilon}(E) = \frac{\partial S}{\partial \varepsilon} \cdot \frac{\varepsilon}{S}$, dopad přímého „rebound“ efektu na poptávku po energii může být s použitím vztahu $\varepsilon = S/E$ odvozen následovně:

$$\eta_{\varepsilon}(E) = \frac{\partial E}{\partial \varepsilon} \cdot \frac{\varepsilon}{E} = \frac{\partial \left(\frac{S}{\varepsilon} \right)}{\partial \varepsilon} \cdot \frac{\varepsilon}{\left(\frac{S}{\varepsilon} \right)} = \left(\frac{\partial S}{\partial \varepsilon} \cdot \frac{1}{\varepsilon} - \frac{S}{\varepsilon^2} \right) \frac{\varepsilon^2}{S} = \frac{\partial S}{\partial \varepsilon} \cdot \frac{\varepsilon}{E} - 1 \quad (5)$$

Vztah 1 $\eta_{\varepsilon}(E) = \eta_{\varepsilon}(S) - 1$

Uskutečněné úspory budou tedy stejné jako potenciální pouze pokud je $\eta_{\varepsilon}(S)$ rovna nule. Pokud je poptávka po užitné práci neelastická ($0 < \eta_{\varepsilon}(S) < 1$), zlepšení energetické účinnosti sníží poptávku po energii, i když ne o tolik, kolik by naznačovaly inženýrské predikce. Teoreticky může nastat i případ elastické poptávky po užitné práci, což by znamenalo, že poptávka po energii se vlivem technologických zlepšení naopak zvýší.

Časová dimenze

Prizpůsobení poptávky po užitné práci bude nejprve pramenit ze změny intenzity užívání existujících energetických zařízení, protože v krátkém období je vybavení kapitálem fixní. V delším období však může dojít i k prizpůsobení kapitálové zásoby a změny v poptávce tak mohou dále pramenit ze změny počtu (popř. i vlastností) portfolia spotřebičů. Dá se tedy očekávat, že prizpůsobení změnám energetické účinnosti není okamžité a je třeba uvažovat důsledky v dlouhodobém horizontu.

Omezení poptávky po užitné práci a tedy potenciálu RE

Většina energetických služeb má horní mez míry spotřeby dostatečně malou na to, aby byla reálná a předpoklad nenasyčenosti spotřebitele by mohl být porušen. Například ve chvíli, kdy si domácnost může dovolit vytopit byt na 25°C, je velmi nepravděpodobné, že by poptávala více tepla, i kdyby se jeho náklady blížily k nule.

Poptávka po užitné práci může být také omezena náklady příležitosti času. Zajisté je omezena doba, kterou můžeme denně věnovat řízení či vaření. Je pravděpodobné, že čím větší jsou náklady příležitosti času (dané hlavně výší příjmu z práce), tím nižší je potenciál RE. Na druhou stranu tento jev může vést k substituci mezi různými typy energetických služeb ve směru od časově náročnějších a méně energeticky náročných. Příkladem může být příklon k cestování letadlem místo automobilem.

Kombinace těchto dvou zmíněných omezení vede k závěru, že přímý „rebound“ efekt může být podstatnější mezi nízkopříjmovými skupinami, protože tyto jsou dále od nasycení spotřebou jednotlivých služeb (Sorrel and Dimitropoulos, 2008) a mají nižší náklady příležitosti času (aproximované mzdou). S růstem příjmu se náklady času stávají důležitějšími vzhledem k energetickým nákladům a poptávka po užité práci se tak stává méně citlivou na změnu energetických nákladů (Greene, 1992).

V určitých případech energetických služeb mohou být omezením poptávky i náklady příležitosti místa. Domácnost je jistě omezena místem co do počtu elektrických spotřebičů – lednice i svítidla se musí někam vejít. Na rozdíl od předešlých omezení však toto bude klesat s rostoucím příjmem, protože bohatší domácnosti si mohou dovolit větší prostory k bydlení.

3.2 Nepřímé definice RE

Předpokládejme, že *cena energie* (P_E) *nezávisí na energetické účinnosti* (ϵ), a tedy $\frac{\partial P_E}{\partial \epsilon} = 0$. Dále předpokládejme, že změna energetické účinnosti ovlivňuje poptávku

po užité práci pouze skrz změnu jejích energetických nákladů (P_S), ze vztahu $P_S = P_E/\epsilon$ pak plyne symetrie mezi reakcemi na změnu energetické účinnosti a změnu ceny energie. *Procentní zvýšení ϵ má tedy stejný účinek na P_S jako procentní zvýšení P_E .*

Pokud příjem domácnosti, kvalitativní znaky a náklady na všechny ostatní vstupy energetické služby zůstávají stejné,⁷ poptávka po užité práci (S) může být zapsána jako funkce energetických nákladů a tedy cen energie a energetické účinnosti:

$$S = s(P_S) = s\left(\frac{P_E}{\epsilon}\right) \quad (6)$$

Za těchto předpokladů může být elasticita poptávky po užité práci vzhledem k energetické účinnosti vyjádřena pomocí elasticity vzhledem k energetickým nákladům na danou službu:

$$\begin{aligned} \eta_\epsilon(S) &= \frac{\partial S}{\partial \epsilon} \cdot \frac{\epsilon}{S} = \frac{\partial S(P_S)}{\partial \epsilon} \cdot \frac{\epsilon}{S(P_S)} = \frac{\partial S(P_S)}{\partial P_S} \cdot \frac{\partial P_S}{\partial \epsilon} \cdot \frac{\epsilon}{S(P_S)} = \frac{\partial S(P_S)}{\partial P_S} \cdot \frac{\partial(\frac{P_E}{\epsilon})}{\partial \epsilon} \cdot \frac{\epsilon}{S(P_S)} = \\ &= \frac{\partial S(P_S)}{\partial P_S} \cdot \frac{P_E}{\epsilon^2} \cdot \frac{\epsilon}{S(P_S)} = \frac{\partial S(P_S)}{\partial P_S} \cdot \frac{P_S}{\epsilon} \cdot \frac{\epsilon}{S(P_S)} = -\eta_{P_S}(S) \end{aligned} \quad (7)$$

7 Tento předpoklad vyžaduje, aby kvalitativní znaky a ostatní náklady energetické služby byly nezávislé na energetické účinnosti. Avšak pokud je vyšší účinnost osobní přepravy dosažena například ježděním menším autem (tedy ne technologickou změnou), kvalitativní znaky jako bezpečnost či komfort se mohou snížit stejně jako kapitálové náklady. Je také pravděpodobné, že energetická zařízení s účinnější technologií vyžadují vyšší kapitálové náklady. V těchto případech by energetická účinnost neovlivňovala poptávku po užité práci jen skrz její energetické náklady. Uvolnění tohoto předpokladu bude diskutováno později.

Přímý „rebound“ efekt tak bude určen **elasticitou poptávky po užité práci vzhledem k energetickým nákladům** definovanou jako:

Definice 2
$$\eta_{P_s}(S) = \frac{\partial S}{\partial P_s} \cdot \frac{P_s}{S}$$

Dopad na poptávku po energii spojenou s danou energetickou službou může být vyjádřen stejně jako ve Vztahu 1 nahrazením $\eta_e(S)$ elasticitou vzhledem k energetickým nákladům:

Vztah 2
$$\eta_e(E) = -\eta_{P_s}(S) - 1$$

Změna spotřeby užité práce vyvolaná změnou energetických nákladů může být rozložena na substituční a důchodový efekt:

$$\eta_{P_s}(S) = \eta_{P_s}^C(S) - \eta_Y(S) \cdot \frac{P_s S}{Y}, \quad (8)$$

kde Y je celkový příjem domácnosti $\eta_{P_s}^C(S)$ je kompenzovaná (Hicksovská) vlastní cenová elasticita, která reprezentuje vlastní substituční efekt a $\eta_Y(S)$ je důchodová elasticita, která, násobená podílem energetických nákladů na celkových výdajích, reprezentuje důchodový efekt.

Substituční efekt je vždy záporný, protože pokles ceny způsobí při kompenzovaném reálném příjmu vzrůst poptávky, jeho velikost pak závisí na dostupnosti substitutů pro danou energetickou službu. Důchodový efekt bude mít znaménko podle toho, zda je daná energetická služba normálním či podřadným statkem. Pokud se jedná o normální statek, poptávka poroste s důchodem a substituční a důchodový efekt bude působit ve stejném směru. Velikost důchodového efektu pak záleží na důležitosti energetických nákladů na danou službu v celkových výdajích domácnosti.

Empirické studie chování domácností naznačují, že poptávka po službách, které využívají energii, je cenově neelastická a energie tvoří jen malou část celkových nákladů na tyto služby (Sorrel a Dimitropoulos, 2007). Lovins (1988) dále argumentuje, že existuje kritická mez příjmu, za kterou se energeticky náročné aktivity stávají podřadným statkem a důchodový efekt by tak působil v opačném směru než substituční. Nicméně žádné empirické studie neukazují, že by většina domácností v rozvinutých ekonomikách již překročila tuto mez (Binswanger, 2001). Binswanger naopak naznačuje, že preference se mohou s rostoucím příjmem přesunout ve prospěch méně časově náročných aktivit, které bývají zároveň více energeticky náročné (například létání místo jízdy autem).

Alternativní definici „rebound“ efektu získáme, pokud dále předpokládáme *energetickou účinnost konstantní*. Elasticita poptávky po užité práci vzhledem k energetickým nákladům na danou službu pak může být vyjádřena pomocí **vlastní cenové elasticity poptávky po energii**, což je definice, kterou původně využil Khazzoom:⁸

⁸ Khazzoom (1980) citován v Sorrel a Dimitropoulos (2008)

$$\eta_{P_S}(S) = \frac{\partial S}{\partial P_S} \cdot \frac{P_S}{S} = \frac{\partial(E \cdot \frac{P_E}{\varepsilon})}{\partial\left(\frac{P_E}{\varepsilon}\right)} \cdot \frac{P_E}{E} \cdot \frac{\varepsilon}{E} = \frac{\partial E}{\frac{1}{\varepsilon} \partial P_E} \cdot \frac{\varepsilon}{E} = \frac{\partial E}{\partial P_E} \cdot \frac{P_E}{E} = \eta_{P_E}(E). \quad (9)$$

Definice 3 $\eta_{P_E}(E) = \frac{\partial E}{\partial P_E} \cdot \frac{P_E}{E}$

Vliv na poptávku po energii bude tedy vyjádřen analogicky k předchozím definicím jako:

Vztah 3 $\eta_\varepsilon(E) = -\eta_{P_E}(E) - 1$

Empirický výzkum ukazuje, že vlastní cenová elasticita poptávky po energii se velmi liší pro různé energetické komodity, konečná využití, státy a úrovně agregace. Berkhout et al. (2000) zdůrazňuje, že tato elasticita roste s růstem cen a Haas a Shipper (1998) ve své studii ukázali, že bývá vyšší v obdobích s rostoucími cenami energie. Důvod pro tento jev může být, že vysoké ceny energie vyvolají technologická zlepšení energetické účinnosti, která poté nejsou zvrácena a/nebo požadavky na určitou úroveň účinnosti se stanou součástí regulačních opatření. Reakce na pokles cen tak není stejná jako na jejich růst a empirické odhady „rebound“ efektu založené na datech z období rostoucích cen energie by pak přeceňovaly skutečnost, protože správnou proxy pro zlepšování energetické účinnosti by byl pokles cen energie.

Aproximace „rebound“ efektu vlastní cenovou elasticitou poptávky po energii je praktická, pokud chybí přesná data o spotřebě užité práce. Na druhou stranu Definice 3 dává smysl, jen pokud pozorujeme poptávku po energii spojenou pouze s danou službou, což zejména u elektrických spotřebičů je velmi složité. Je také třeba poznamenat, že pokud je porušen předpoklad konstantní energetické účinnosti a zároveň její změny nejsou brány v potaz, odhady „rebound“ efektu na základě Definice 3 budou vychýlené (Sorrel a Dimitropoulos, 2007). Mnoho autorů (např. Greening, et al., 2000; Berkhout, et al., 2000; Sorrel, et al., 2008) využilo již existujících studií poptávky po energii k aproximaci „rebound“ efektu na základě Definice 3. Nicméně, jak uvidíme ještě dále, tyto odhady mohou být brány nanejvýš jako jeho horní mez.

3.3 Důsledky uvolnění některých předpokladů pro platnost jednotlivých definic

Korelace mezi energetickou účinností a ostatními vstupy

Lepší účinnost energetických zařízení může mít několik příčin. Může být dosažena díky technologickému vylepšení ale také díky substituci mezi energií a ostatními vstupy nebo substituci mezi energií a kvalitativními znaky služby. Příkladem druhé příčiny může být pomalejší jízda autem, při které se sice spotřebuje méně benzínu, ale je potřeba více času. Pokud je menší spotřeba auta dosaženo řízením menšího auta, kvalitativní znaky jízdy se mohou zhoršit.

Při odvozování Definice 2 a 3 jsme předpokládali, že jiné než energetické náklady mohou zůstat konstantní, když se mění energetická účinnost. Ve skutečnosti je pravděpodobné, že *účinnější energetická zařízení budou spojena s vyššími kapitálovými náklady*, jako například lepší zateplení domu či účinnější motor automobilu. Uvolnění tohoto předpokladu vede k následující definici „rebound“ efektu (např. Sorrel a Dimitropoulos, 2007; Frondel, et al., 2008):

Předpokládejme, že kapitálové náklady energetické služby závisí na účinnosti $P_K(\varepsilon)$ a tedy

$$S = s \left[\frac{P_E}{\varepsilon}, P_K(\varepsilon) \right], \quad (10)$$

pak platí:

$$\begin{aligned} \eta_\varepsilon(S) = & \frac{\partial S[P_S, P_K(\varepsilon)]}{\partial \varepsilon} \cdot \frac{\varepsilon}{S} = \frac{\partial S[P_S, P_K(\varepsilon)]}{P_S} \cdot \frac{\partial P_S}{\partial \varepsilon} \cdot \frac{\varepsilon}{S(P_S)} + \frac{\partial S[P_S, P_K(\varepsilon)]}{\partial P_K} \cdot \frac{\partial P_K(\varepsilon)}{\partial \varepsilon} \cdot \frac{\varepsilon}{S(P_S)} = \\ & -\eta_{P_S}(S) + \frac{\partial S}{\partial P_K} \cdot \frac{P_K}{S} \cdot \frac{\partial P_K}{\partial \varepsilon} \cdot \frac{\varepsilon}{P_K} = \eta_{P_S}(S) + \eta_{P_K}(S)\eta_\varepsilon(P_K). \end{aligned} \quad (11)$$

Definice 4 $\eta_\varepsilon(S) = -\eta_{P_S}(S) + \eta_{P_K}(S)\eta_\varepsilon(P_K)$

V porovnání s Definicí 2 zde přibyl jeden člen – násobek elasticity poptávky po užitné práci vzhledem ke kapitálovým nákladům $\eta_{P_K}(S)$ a elasticity kapitálových nákladů vzhledem k energetické účinnosti $\eta_\varepsilon(P_K)$. Je pravděpodobné, že $\eta_{P_K}(S)$ je záporná, protože v delším období vyšší kapitálové náklady sníží poptávku po energetických přístrojích, popř. jejich kapacitu⁹. Předpokládáme-li, že účinnější spotřebiče vyžadují vyšší kapitálové náklady pak $\eta_\varepsilon(P_K)$ je kladná a celý nový člen je záporný. „Rebound“ efekt bude tedy nižší než absolutní hodnota elasticity poptávky po užitné práci vzhledem k energetickým nákladům a studie, které odhadují RE převážně z variace cen energií (jak tomu bývá při použití Definice 2), budou produkovat odhady vychýlené nahoru.¹⁰ Tento závěr bude platný samozřejmě jen za předpokladu, že spotřebitel čelí celým nákladům nákupního rozhodnutí. V případě dotací pro energeticky účinnější spotřebiče tomu tak nebude, a pokud by byly dokonce levnější než ty neúčinné, RE efekt by byl naopak umocněn.

Korelace mezi energetickou účinností a kvalitativními znaky dané služby

Khazzoom (citován v Sorrel a Dimitropoulos, 2008) se vyhnul předchozímu problému tím, že předpokládal jeho neexistenci. Jako příklad uvádí případ malých automo-

⁹ Při totožných kvalitativních znacích koupí racionální spotřebitel nový (účinnější) přístroj, jen pokud diskontovaný tok budoucích spotřebitelských přebytků z vyšší spotřeby užitné práce převyšuje současnou hodnotu dodatečných kapitálových nákladů (Sorrel a Dimitropoulos, 2007).

¹⁰ Lze předpokládat, že ceny energie jsou na rozdíl od energetické účinnosti nezávislé na kapitálových nákladech a jsou tedy pro ni nepřesnou proxy.

bilů, které jsou méně energeticky náročné a zároveň mají nižší kapitálové náklady. Nicméně v tomto případě je vyšší účinnost substituována za nižší kvalitativní znaky (komfort, bezpečnost), které mohou vést k nižšímu užítku ze spotřeby dané služby a tedy snížit i potenciální efekt. Jinými slovy, zlepšení účinnosti bez dodatečných kapitálových nákladů je pravděpodobně dosaženo na úkor kvalitativních znaků dané služby, což implikuje zápornou korelaci mezi ε a A . *Každý kvalitativní znak tak může mít nenulovou elasticitu vzhledem k energetickým nákladům užité práce (P_S) a dlouhodobá reakce na snížení těchto nákladů bude záležet na ochotě spotřebitele zaměňovat mezi užitnou prací a kvalitativními znaky.*

Závislost energetické účinnosti na ceně energie

Khazzoom se ve své studii „rebound“ efektu zaměřil na povinné energetické standardy pro domácí spotřebiče, což znamená, že změny energetické účinnosti byly v rovnici poptávky po užité práci dány exogenně. V jiných případech je však několik důvodů, proč účinnost může být endogenní.

Energetická účinnost je částečně endogenní, protože se dá předpokládat, že je ovlivněna současnými a historickými cenami energie (Greene, et al., 1999; Small a Van Dender, 2006). Rostoucí ceny energie mohou v krátkodobém horizontu ovlivnit míru používání existujícího vybavení a v delším horizontu vést k nákupu účinnějších energetických zařízení.

Proto můžeme předpokládat, že energetická účinnost je funkcí cen energie $\varepsilon(P_E)$, což znamená:

$S = s \left(\frac{P_E}{\varepsilon(P_E)} \right)$ a stejným postupem jako výše můžeme odvodit pátou definici RE¹¹.

Definice 5 $\eta_{\varepsilon}(E) = -1 - \left[\frac{\eta_{P_E}(E) + \eta_{P_E}(\varepsilon)}{1 - \eta_{P_E}(\varepsilon)} \right]$

Tato definice ukazuje, že místo přímého odhadování $\eta_{P_S}(S)$ v Definici 2 je možné odhadovat vlastní cenovou elasticitu poptávky po energii spojené s danou službou $\eta_{P_E}(E)$ a elasticitu účinnosti vzhledem k cenám energie $\eta_{P_E}(\varepsilon)$. Odráží se zde také předpoklad, že pouze pokud je účinnost nezávislá na cenách energie, bude $\eta_{P_S}(S)$ rovna $\eta_{P_E}(E)$ ¹² Jak jsme nastínili výše, dá se očekávat, že elasticita účinnosti vzhledem k cenám energie je kladná, z čehož můžeme odvodit, že $|\eta_{P_E}(E)| \geq |\eta_{P_S}(S)|$. Definice 3 bude tedy přeceňovat RE vzhledem k Definici 2 a jak jsme již zmínili, *vlastní cenová elasticita poptávky po energii může sloužit jen jako horní mez pro kvantifikaci RE.*

¹¹ Pro úplný postup při odvození viz. Sorrel a Dimitropoulos, 2007, str. 96

¹² Přeskupením Vztahu 2 dostáváme $\eta_{P_S} = \eta_{P_E}(E) - 1$ a dosazením Definice 5 máme

$$\eta_{P_S}(S) = \left[\frac{\eta_{P_E}(E) + \eta_{P_E}(\varepsilon)}{1 - \eta_{P_E}(\varepsilon)} \right]$$

4. Obecné modely poptávky po užitné práci

Z teorie poptávky po energetických službách načrtnuté v kapitole 2 vyplývá, že v modelu poptávky po užitné práci by měly jako vysvětlující proměnné figurovat náklady na vstupy k její výrobě, vlastnosti portfolia daných spotřebičů a dále pak vlastnosti domácnosti včetně jejího příjmu.

Uvažujme tedy model poptávky po užitné práci v následujícím obecném tvaru:

$$S_i = s(i, P_s^i, Y - P_i, A_i, X, e_i, \mu), \quad (12)$$

kde S_i znamená poptávku po užitné práci poskytované portfoliem spotřebičů i , i je proměnná označující výběr portfolia i , Y je roční příjem domácnosti, P_s^i jsou energetické náklady užitné práce, A_i je vektor pozorovaných vlastností portfolia i (počet, stáří, typ paliva, apod.),¹³ X je vektor pozorovaných vlastností domácnosti, e_i jsou nepozorované vlastnosti portfolia i a μ jsou nepozorované vlastnosti domácnosti. P_i je cena portfolia i , což je součet ročních kapitálových nákladů P_K^i a ročních provozních nákladů $(P_s^i + P_o^i) \cdot S_i^E$, kde P_o^i jsou náklady na ostatní zboží a služby nutné k provozu a údržbě a S_i^E je očekávaná míra používání portfolia i .

Koeficient u energetických nákladů užitné práce P_s^i v tomto modelu reprezentuje přímý „rebound“ efekt podle Definice 2.

Abychom mohli považovat energetickou účinnost v modelu poptávky po užitné práci jako čistě exogenní, museli bychom předpokládat, že není předmětem volby spotřebitele, tj. je určena regulačními standardy či technologií na straně výroby. Ve chvíli, kdy si domácnost může vybrat úroveň účinnosti svých spotřebičů, je realistické předpokládat, že tato volba bude závislá na očekávané úrovni poptávky po dané službě a účinnost se tak stává endogenní danému modelu. Tento fakt by znamenal pozitivní korelaci mezi účinností a užitnou prací nad rámec „rebound“ efektu (Sorrel a Dimitropoulos, 2007). Znovu můžeme použít příklad z osobní přepravy – při koupi nového auta, bude domácnost jistě zohledňovat budoucí frekvenci jeho používání a vzdálenost k dojíždění. Čím více najetých kilometrů očekává, tím větší důraz bude klást na spotřebu auta. Na druhou stranu, větší důraz může být kladen také na kvalitativní znaky jako komfort, a tedy výběr větších vozidel, jež mívají i vyšší spotřebu. Možná je tedy i negativní korelace mezi účinností a spotřebou a celkový efekt by byl nejasný. V každém případě však můžeme očekávat, že *energetická účinnost je také funkcí očekávané poptávky po užitné práci*, což komplikuje kauzální vztah mezi těmito dvěma veličinami a vede k cykličnosti logiky použité k odvození Definice 2 – S závisí na P_s , která závisí na ε , která ovšem závisí na S . V tomto případě je ovšem stejný problém i s Definicí 1 a ukazuje se, že odhadování přímého RE na základě modelů, které uvažují kauzalitu jen v jednom směru, může vést k vychýleným odhadům. Pokud převažuje pozitivní korelace mezi ε a S , budou tyto odhady nadhodnoceny.

13 Účinnost je zahrnuta v proměnné P_s .

V empirickém modelu mohou být vlastnosti portfolia spotřebičů dále zdrojem problému endogenních proměnných, protože některé *nepozorované faktory mohou ovlivňovat jak poptávku po užité práci tak tyto vlastnosti*. Například faktory, které zvyšují užitek domácnosti z klimatizace (např. špatné větrání bytu) mohou zvýšit i pravděpodobnost jejího zakoupení a intenzitu jejího užívání (Dubin a McFadden, 1984). Dalším příkladem může být přístup domácnosti k životnímu prostředí.

Dalším problémem může být, že model založený na jedné rovnici vysvětlující spotřebu užité práce, bude odhadován na datech domácností, které již vlastní přístroje poskytující danou službu. Vzhledem k tomu, že vlastnictví těchto přístrojů může být sotva považováno za náhodné v dané populaci a může být korelováno s jejich použitím nebo ovlivněno stejnými nepozorovanými faktory, volba vlastnit daný přístroj je této rovnici endogenní (viz. řešení problému zkreslení odhadů z důvodu samovýběru, tzv. „sample selection bias“).

Z předešlých odstavců vyplývá, že poptávka po energetických přístrojích a intenzita jejich používání jsou sice rozdílné ale vzájemně propojené volby. Důsledkem je, že *modely vysvětlující spotřebu užité práce jen jako intenzitu používání portfolia spotřebičů mohou vést k vychýleným a nekonzistentním odhadům „rebound“ efektu*, protože vlastnosti spojené s daným portfoliem (i , P_i , A_i) mohou být endogenní danému modelu. Někteří autoři tak navrhli systémy simultánních rovnic, které explicitně vyjadřují strukturu problému rozhodování domácnosti o spotřebě energetických služeb.

4.1 Model 1 – Diskrétně-spojitý model

Dubin a McFadden (1984) rozvinuli pro energetické služby model navržený Heckmanem¹⁴, který je založen na systému simultánních rovnic vyjadřujících spojitou i diskrétní volbu. Diskrétní volba pořízení portfolia energetických přístrojů s danými vlastnostmi je analyzována jako propojená a současná s rozhodnutím jak moc tyto přístroje využívat. Zatímco Dubin a McFadden či Nesbakken (2001) aplikovali tento model na poptávku po vytápění domácnosti, Goldberg (1996) a West (2004) jej využily pro analýzu poptávky po cestování osobním automobilem.

Model výběru portfolia spotřebičů je odvozen z podmíněné nepřímé užitkové funkce. Spotřebitelský užitek je totiž čerpán z toku služeb, které poskytuje vlastnictví daného portfolia a je tedy nejlépe charakterizován jako nepřímý. Spotřebitel se tak musí například rozhodovat mezi velikostí kapitálových a provozních nákladů spotřebičů¹⁵, kde pro daný optimalizační problém bude zásadní jejich očekávaná míra používání, budoucí očekávané ceny energie a současná finanční rozhodnutí (Hausman, 1979). Pokud spotřebitel vybírá z N vzájemně se vylučujících a úplných portfolií spotřebičů označených $i = 1, \dots, N$, jeho podmíněný nepřímý užitek z portfolia i lze vyjádřit jako

14 Heckman (1978)

15 Pokud, jak bylo zmíněno v kapitole 3.3 mají účinnější spotřebiče vyšší kapitálové náklady.

$$V_i = v(i, P_S^i, Y - P_i, A_i, X, \epsilon_i, \mu) . \quad (13)$$

Pravděpodobnost výběru portfolia i (tedy diskrétní volba) je pak popsána modelem náhodného užítku (McFadden, 1978)

$$\Pi_i = \text{Prob} [v(i, P_S^i, Y - P_i, A_i, X, \epsilon_i, \mu) > v(j, P_S^j, Y - P_j, A_j, X, \epsilon_j, \mu), \text{ pro } j \neq i]. \quad (14)$$

A aplikací Royovy identity na funkci nepřímého užítku dostaneme poptávku po užitné práci podmíněnou výběrem portfolia spotřebičů (spojitá volba), která bude odpovídat rovnici (14):

$$S_i = \frac{-\partial v(i, P_S^i, Y - P_i, A_i, X, \epsilon_i, \mu) / \partial P_S}{\partial v(i, P_S^i, Y - P_i, A_i, X, \epsilon_i, \mu) / \partial Y} = s(i, P_S^i, Y - P_i, A_i, X, \epsilon_i, \mu) \quad (15)$$

Pro empirickou implementaci modelu navrhli Dubin a McFadden konkrétní funkci v , která je početně příznivá a má nezbytné a dostačující vlastnosti nepřímé užitkové funkce¹⁶:

$$V_i = (\alpha_0^i + \frac{\alpha_1}{\beta} + \alpha_1 P_S^i + \beta(Y - P_i) + A_i' \gamma + X' \delta_i) \cdot e^{-\beta P_S^i} + \epsilon_i, \quad (16)$$

kde α , β , γ a δ označují parametry modelu.

Tato nepřímá funkce pak vede ke konkrétnímu modelu pravděpodobnosti výběru portfolia i ve tvaru

$$\Pi_i = \text{Prob} (\xi_j - \xi_i < W_i - W_j \text{ for } j \neq i),$$

$$\text{kde } W_i = (\alpha_0^i + \frac{\alpha_1}{\beta} + \alpha_1 P_S^i + \beta(Y - P_i) + A_i' \gamma + X' \delta_i) \cdot e^{-\beta P_S^i}, \text{ a } \xi_i = \mu \cdot e^{-\beta P_S^i} + \epsilon_i. \quad (17)$$

Aplikací Royovy identity dostáváme rovnici míry užívání daného portfolia lineární v důchodu Y

$$S_i = \alpha_0^i + \alpha_1 P_S^i + \beta(Y - P_i) + A_i' \gamma + X' \delta_i + \mu^{17}, \quad (18)$$

kde α_1 reprezentuje *krátkodobý* „rebound“ efekt, protože je již podmíněný výběrem portfolia spotřebičů.

4.2 Model 2 – Simultánní rovnice

Další přístup přímo identifikuje možné endogenní proměnné v rovnici poptávky po užitné práci a zavádí tradiční systém simultánních rovnic (např. Small a Van Dender, 2006). Jako endogenní jsou většinou identifikovány počet energetických zařízení (NO) a jejich účinnost (ϵ) a daný systém pak obecně vypadá následovně:

16 Metody odvození specifikace diskrétně-spojitéch poptávkových modelů viz Dubin a McFadden (1984).

17 Všimněme si, že díky specifickému tvaru nepřímé užitkové funkce vypadly při aplikaci Royovy identity nepozorované vlastnosti portfolia i (ϵ_i) a již se neobjevují v této rovnici.

$$S = s(\text{NO}, \varepsilon, P_E, \mathbf{A}, \mathbf{X}_1, \mu_1) \quad (19a)$$

$$\text{NO} = no(P_K, \text{očekávaná } S, \varepsilon, P_E, \mathbf{X}_2, \mu_2) \quad (19b)$$

$$\varepsilon = f(P_E, \text{očekávaná } S, R_E, \mathbf{A}, \mathbf{X}_3, \mu_3), \quad (19c)$$

kde P_E je cena energie, $\mathbf{A}$ je vektor vlastností portfolia, R_E jsou regulační standardy účinnosti nových spotřebičů, $\mathbf{X}_i, i=1,2,3$ je vektor vysvětlujících exogenních proměnných odpovídající jednotlivým rovnicím a μ_i jsou nepozorované vlastnosti domácnosti odpovídající jednotlivým rovnicím.

V tomto modelu je opět míra používání daného portfolia podmíněná jeho vlastnostmi, ale tentokrát je to jen počet a účinnost, které i zpětně ovlivňují míru používání. Například přísnější regulační standardy přímo zvyšují účinnost v rovnici (19c), která přímo zvyšuje poptávku po užitné práci skrz nižší energetické náklady v (19a) a nepřímo skrz větší počet energetických zařízení v (19b). Tento vzrůst poptávky po užitné práci pak znovu stimuluje vyšší energetickou účinnost v (19c). Výsledná rovnovážná účinnost a poptávka po užitné práci tak bude vyšší než v modelech s jednou rovnicí. Krátkodobý „rebound“ efekt bude určen koeficientem u ε v (19a) a dlouhodobý „rebound“ efekt pak koeficientem u ε , když substituujeme (19c) do (19a).

Greene, et al. (1999) navrhli model pro dopravu osobním automobilem, ve kterém je endogenní i cena paliva, protože předpokládají, že závisí na poptávce po užitné práci i účinnosti. Autoři totiž uvažují, že cena paliva se liší podle jeho kvality, značky, místa tankování, apod., mezi kterými si spotřebitel může vybírat, a tudíž si vybírá i jeho cenu. Dále také řidiči, kteří jezdí delší trasy, mají větší výběr pump a mohou tedy najít levnější benzín.

4.3 Model 3 – Model s více rovnicemi

Některé studie vycházejí pouze z dekompozice rovnice poptávky po energii dané $E = S/\varepsilon = \text{NOUTIL}/\varepsilon$, ve které je poptávka po užitné práci rozložena na součin počtu přístrojů (NO) a průměrné míry používání každého z nich (UTIL). Každý komponent je pak modelován zvlášť, což na rozdíl od modelů s jednou rovnicí umožňuje identifikaci nejen velikosti cenového a příjmového efektu, ale také jejich mechanismů. Obecný model o několika rovnicích pak vypadá obdobně jako Model 2:

$$\text{UTIL} = \text{util}(\text{NO}, \varepsilon, P_E, \mathbf{X}_1, \mu_1) \quad (20a)$$

$$\text{NO} = no(P_E, \varepsilon, \mathbf{X}_2, \mu_2) \quad (20b)$$

$$\varepsilon = f(P_E, R_E, \mathbf{X}_3, \mu_3), \quad (20c)$$

kde jednotlivé proměnné mají stejný význam jako výše.

Tento model také explicitně připouští endogenitu počtu přístrojů a účinnosti v rovnici míry jejich používání, a to díky nepozorovaným faktorům, které mohou

ovlivňovat všechny tři rovnice. I v tomto modelu může být rozlišen krátkodobý a dlouhodobý efekt, protože účinnost ovlivňuje jak počet přístrojů, tak jejich užívání.

Je třeba poznamenat, že při empirické aplikaci mohou být modely 2 a 3 využity jen pokud jsou vysvětlované proměnné spojené, na druhou stranu model 1 zachycuje jen endogenitu diskretních vlastností portfolia spotřebičů. V tomto modelu tak energetickou účinnost, která je spojitá, nelze modelovat jako endogenní. Tento problém však může být teoreticky vyřešen, pokud předpokládáme, že účinnost je dána diskretními vlastnostmi přístroje, které jsou modelovány. Například když je portfolio automobilů charakterizováno počtem, věkem, typem paliva a motoru a třídou automobilu, pak se účinnosti takto určených portfolií budou lišit zanedbatelně. Přestože model, který by kombinoval obojí – tedy modeloval jako endogenní jak spojitě tak diskretní proměnné – je myslitelný, zatím se v literatuře neobjevil.

4.4 Výsledky empirických studií

Empirické odhady přímého „rebound“ efektu jsou nejbohatší v oblasti osobní dopravy a větší počet prací se zabýval také poptávkou po vytápění domácností. Vzhledem k obtížnosti získání dat, odhady pro jiné energetické služby téměř neexistují¹⁸. Naprostá většina odhadů je založena na amerických datech, ojediněle se vyskytly studie z Německa, Norska, Rakouska či Kanady¹⁹. Jednotlivé studie se velice liší jak v charakteru použitých dat, tak ve výběru modelů k odhadnutí „rebound“ efektu. Zároveň však nabízejí empirické ověření některých výše nastíněných teoretických předpokladů.

Studie,²⁰ které testovaly předpoklad symetrie reakce na energetickou účinnost a ceny energie nutný pro odvození nepřímé definice 2, ho nezamítly a aproximace „rebound“ efektu elasticitou poptávky po užitné práci vzhledem k jejím energetickým nákladům může být ekvivalentní jeho přímé definici. Na druhou stranu se ukazuje, že definice 3, tedy vlastní cenová elasticita poptávky po energii přináší výrazně jiné výsledky a není tedy vhodnou aproximací.

Použití modelu o jedné rovnici přináší vyšší odhady „rebound“ efektu než modely s několika rovnicemi odhadnuté vhodnými metodami.²¹ Toto pozorování naznačuje, že opomenutí endogenity některých vlastností kapitálu vskutku může vést k vychýleným odhadům.

Vezmeme-li v úvahu výsledky studií, které jsou založeny na odhadech podle definic 1 a 2 a které alespoň do jisté míry zohledňují komplexitu daného problému,

18 Výjimkou je Hausman (1979) a Dubin et al. (1986), kteří se věnují poptávce po klimatizaci, dále pak Guertin (2001), který se zabývá malými spotřebiči a osvětlením a Davis (2007), který využil spotřebitelskou anketu o poptávce po praní prádla.

19 K orientaci v empirické literatuře jsme využili přehledové studie Greening, et al. (2000), Sorrel, et al. (2009) a Van den Bergh (2011)

20 Greene, et al. (1999), Frondel, et al. (2008), Frondel a Vance (2009).

21 Goldberg (1996), West (2004), Frondel a Vance (2009).

v osobní dopravě se „rebound“ efekt pohybuje mezi 10 % a 30 % a ve vytápění domácností kolem 20 %. Reakce v dlouhodobém horizontu je podstatně vyšší než v krátkodobém, což naznačuje, že změny v energetické účinnosti mohou mít také velký vliv na počet používaných zařízení. Studie, které se zabývaly vlivem příjmu,²² zjistily klesající „rebound“ efekt s rostoucím příjmem. Tento fakt znamená vyšší nebezpečí vedlejších důsledků zvyšování energetické účinnosti v rozvojových zemích, kde jsou příjmy i nasycenost energetickými službami velmi nízké. Plyne z toho také nutná opatrnost při porovnávání výsledků z různých zemí a časových období, pro která je důchod na hlavu rozdílný.

Na závěr je třeba zdůraznit, že přímý „rebound“ efekt je jen jednou částí ekonomické a behaviorální reakce, kterou vyvolají změny energetické účinnosti. Studie věnující se efektům na straně výroby a v rámci obecné rovnováhy naznačují, že započtením nepřímých a agregátních efektů se důležitost této reakce zvyšuje.

5. Shrnutí

Zvyšování energetické účinnosti spotřebičů může vyvolat změny ve spotřebě domácností a mít tak inženýrsky nezamýšlené důsledky na poptávku po energii. Původní koncept chování domácností v reakci na změnu energetické účinnosti, který byl založen na modelu s jednou službou, exogenně danou energetickou účinností a energetickými náklady jako jedinými náklady na spotřebu, se ukazuje jako příliš zjednodušený a vývoj literatury se tedy zaměřil zejména na jeho obohacení. Teoreticky, pokud jsou do modelu zahrnuty také náklady na pořízení spotřebiče, náklady na čas a další náklady vyvolané vyšší spotřebou, důležitost „rebound“ efektu se sníží. Stejně tak může být pozitivní reakce poptávky na vyšší účinnost spotřebičů přeceněna, pokud v modelu není zahrnuta možná obousměrná kauzalita mezi vlastnostmi portfolia spotřebičů a poptávkou po užitné práci.

Teorie poptávky po energetických službách tak ukazuje, že podmínkou dosažení konzistentních a nevychýlených odhadů „rebound“ efektu je dostupnost poměrně detailních dat o spotřebitelském chování domácností. Zároveň v určitých případech naznačuje směr, kterým mohou být odhady studií, spoléhajících jen na omezené informace, vychýlené.

Existence „rebound“ efektu ovlivňuje dopady různých politik zaměřených na omezení poptávky po energii. Povinné standardy pro účinnost domácích spotřebičů vyvolají přímý „rebound“ efekt, který bude limitován, pokud se tyto standardy promítnou do vyšších kapitálových nákladů, které vyváží efekt snížených provozních nákladů. Pokud by účinné spotřebiče byly dotovány, spotřebitelská reakce by nebyla bržděna vyššími kapitálovými náklady a potenciál pro zvýšení spotřeby energetických služeb by byl výrazně větší.

Existující studie naznačují, že přímá změna ve spotřebitelském chování by neměla zvrátit významné procento potenciálních úspor v oblasti vytápění domácností,

22 Např. Small a Van Dender (2006), West (2004).

avšak v osobní dopravě již může hrát důležitou roli. Ačkoli vyhodnocení důležitosti „rebound“ efektu je klíčové pro rozhodování o efektivních politikách energetické udržitelnosti, rigorózní empirické studie tohoto aspektu spotřebitelského chování v Evropě jsou poměrně vzácné. Tento problém nepochybně souvisí s limitovanou dostupností potřebných dat, na kterou narážíme i v České republice. Například k odhadu poptávky po osobní přepravě jsou potřeba data, jež obsahují vzdálenost najetou vozidlem za dané období, popř. data, jež ji umožní spočítat (spotřeba benzínu za dané období a spotřeba paliva na kilometr). Dále zejména údaje o příjmu domácnosti, počtu jejích členů, počtu vozidel, které vlastní a lokalitě, ve které žije. A konečně vlastnosti daného vozidla, zejména spotřeba paliva na kilometr, stáří a kapitálové náklady, popř. charakteristiky, jež je umožní aproximovat.

Literatura

- BECKER, G. S. 1965. A Theory of the Allocation of Time. *The Economic Journal*. 1965, No. 75, pp. 493–517.
- BERKHOUT, P. H. G.; MUSKENS, J. C.; VELTHUISEN, J. W. 2000. Defining the Rebound Effect. *Energy Policy*. 2000, Vol. 6–7, No. 28, pp. 425–432.
- BINSWANGER, M. 2001. Technological Progress and Sustainable Development: What about the Rebound Effect? *Ecological Economics*. 2001, Vol. 1, No. 36, pp. 119–132.
- BROOKES, L. G. 1990. The Greenhouse Effect: The Fallacies in the Energy Efficiency Solution. *Energy Policy*. 1990, Vol. 2, No. 18, pp. 199–201.
- BROOKES, L. G. 2000. Energy Efficiency Fallacies Revisited. *Energy Policy*. 2000, No. 28, pp. 355–366.
- DUBIN, J. A.; MCFADDEN, D. L. 1984. An Econometric Analysis of Residential Electric Appliance Holdings and Consumption. *Econometrica*. 1984, Vol. 2, No. 52, pp. 345–362.
- FRONDEL, M.; PETERS, J.; VANCE, C. 2008. Identifying the Rebound: Evidence from a German Household Panel. *The Energy Journal*. 2008, Vol. 4, No. 29, pp. 154–163.
- FRONDEL, M.; VANCE, C. 2009. Do High Oil Prices Matter? Evidence on the Mobility Behavior of German Households. *Environmental and Resource Economics*. 2009, Vol. 1, No. 43, pp. 81–94.
- GOLDBERG, P. K. 1996. The Effect of the Corporate Average Fuel Efficiency Standards. National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA. 1996. [NBER Working Paper No. 5673] Dostupné na <http://www.nber.org/papers/w5673>.
- GREENE, D. L. 1992. Vehicle Use and Fuel Economy: How Big Is the „Rebound“ Effect? *The Energy Journal*. 1992, Vol. 1, No. 13, pp. 117–143.
- GREENE, D. L.; KAHN, J. R.; GIBSON, R. C. 1999. Fuel Economy Rebound Effect for U.S. Household Vehicles. *The Energy Journal*. 1999, Vol. 3, No. 20, pp. 1–31.
- GREENING, L. A.; GREENE, D. L.; DIFIGLIO, C. 2000. Energy efficiency and consumption – the rebound effect – a survey. *Energy Policy*. 2000, Vol. 6–7, No. 28, pp. 389–401.
- HAAS, R.; SHIPPER, L. 1998. Residential Energy Demand in OECD-Countries and the Role of Irreversible Efficiency Improvements. *Energy Economics*. 1998, Vol. 4, No. 20, pp. 421–442.
- HAUSMAN, J. A. 1979. Individual Discount Rates and the Purchase and Utilization of Energy-Using Durables. *The Bell Journal of Economics*. 1979, Vol. 1, No. 10, pp. 33–54.
- HECKMAN, J. J. 1978. Dummy Endogenous Variables in a Simultaneous Equation System. *Econometrica*. 1978, Vol. 6, No. 46, pp. 931–960.
- KHAZZOOM, J. D. 1980. Economic Implications of Mandated Economic Standards for Household Appliances. *The Energy Journal*. 1980, Vol. 4, No. 1, pp. 21–40.

- KHAZZOOM, J. D. 1987. Energy Savings Resulting from Adoption of More Efficient Appliances. *The Energy Journal*. 1987, Vol. 4, No. 8, pp. 85–89.
- KHAZZOOM, J. D. 1989. Energy Savings from More Efficient Appliances – A Rejoinder. *The Energy Journal*. 1989, Vol. 1, No. 10, pp. 157–166.
- McFADDEN, D. 1978. Modelling the Choice of Residential Location. In KARLQVIST, A., LUNDQVIST, L., SNICKARS, F. A WEIBULL, J. (eds) *Spatial Interaction Theory and Residential Location*. Amsterdam: North-Holland, 1978.
- NESBAKKEN, R. 2001. Energy Consumption for Space Heating: A Discrete-Continuous Approach. *Scandinavian Journal of Economics*. 2001, Vol. 1, No. 103, pp. 165–184.
- SMALL, K. A.; VAN DENDER, K. 2006. Fuel Efficiency and Motor Vehicle Travel: The Declining Rebound Effect. [UC Irvine Economics Working Paper No. 05-06-03.] Department of Economics, University of California, Irvine. 2006. Dostupné na <http://www.economics.uci.edu/docs/2005-06/Small-03.pdf>.
- SORREL, S.; DIMITROPOULOS, J. 2007. UKERC Review of Evidence for the Direct Rebound Effect. Technical report 2: Econometric studies. [Working paper UKERC/WP/TPA/2007/010.] The Sussex Energy Group for the Technology and Policy Assessment function of the UK Energy Research Centre, 2007. Dostupné na <http://www.ukerc.ac.uk/support/tiki-index.php?page=ReboundEffect>.
- SORREL, S.; DIMITROPOULOS, J. 2008. The Rebound Effect: Microeconomic Definitions, Limitations and Extensions. *Ecological Economics*. 2008, No. 65, pp. 636–649.
- SORREL, S.; DIMITROPOULOS, J.; SOMMERVILLE, M. 2009. Empirical Estimates of the Direct Rebound Effect: A Review. *Energy Policy*. 2009, No. 37, pp. 1356–1371.
- VAN DEN BERGH, J. C. J. M. 2011. Energy Conservation More Effective With Rebound Policy. *Environmental and Resource Economics*. 2011, No. 48, pp. 43–58.
- WEST, S. E. 2004. Distributional Effects of Alternative Vehicle Pollution Control Policies. *Journal of Public Economics*. 2004, No. 88, pp. 735–757.

REACTION OF HOUSEHOLD ENERGY DEMAND TO IMPROVEMENTS IN ENERGY EFFICIENCY: THEORY AND ITS IMPLICATIONS FOR THE CONSTRUCTION OF EMPIRICALLY TESTED MODELS

Stela Rubínová, Charles University in Prague, Charles University Environment Centre and The Graduate Institute of International and Development Studies, Geneva Rue de Lausanne 132, P.O. Box 136, CH – 1211 Geneva 21 (stela.rubin@gmail.com).

Abstract

Energy efficiency improvements have become a major hope for decoupling the energy demand from economic growth and for achieving environmental goals. Nevertheless, the effectiveness of policies based on promoting energy efficiency may be undermined by behavioral responses. A more efficiently produced energy service becomes cheaper and economic theory then suggests that consumers should demand more of it, which will cause a loss of the potential technological saving. The phenomenon is called the rebound effect and it has become a focus of energy economists since early 80s. However, even today there is no clear consensus on its importance.

Quantification of the rebound effect is mainly hampered by poor data availability and the comparison of results is not straightforward due to methodological differences. Our study concentrates right on the economic theory of the demand for energy services, definitions and their applicability to empirical estimation. It summarizes the state of knowledge and elaborates on plausible models for empirical quantification of the rebound effect which should bear consistent results.

Keywords

rebound effect, energy efficiency, energy demand, household demand

JEL Classification

Q41, Q01, P48, D11