

APLIKACE KOMBINATORICKÝCH AUKCÍ NA ALOKACI VEŘEJNÝCH PODPOR V OBLASTI ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ: EKONOMICKÝ LABORATORNÍ EXPERIMENT

Petr Fiala, Petr Šauer, VŠE v Praze*

1. Úvod

Aukce jsou důležité tržní mechanismy pro alokaci výrobků a služeb. Řada moderních trhů je organizována jako aukce. Teorie aukcí dosáhla značného zájmu jak z ekonomického hlediska, tak i z hlediska využití Internetu. Aukce je soutěžní mechanismus pro rozdělení omezených zdrojů kupujícím, který je založen na předem definovaných pravidlech. Tato pravidla definují proces nabídek, způsob určení vítězů a finální dohodu. Popularita aukcí vede k rostoucímu zájmu o komplexní modely transakcí.

V poslední době vzbudily zájem teoretiků i praxe tzv. kombinatorické aukce, které se týkají obchodování s kombinacemi položek, což umožňuje přesnější vyjádření preferencí ekonomických subjektů a snížení společenských nákladů. Kombinatorické aukce je možno modelovat pomocí úloh celočíselného programování. Jde o poměrně složité procesy, ale jsou navrženy postupy, které umožňují výpočet řešení. Výsledky takových modelových propočtů mohou sloužit k praktickým úvahám o řešeních různých úloh v hospodářské praxi (za předpokladu dostupnosti potřebných údajů) i jako základ ekonomických laboratorních experimentů.

Ekonomické laboratorní experimenty jsou velmi užitečné jakožto aktivní forma výuky. Využití však též stále častěji nacházejí v ekonomickém výzkumu, především k ověřování hypotéz o možnostech a podmínkách fungování různých institucí. Instituce zde chápeme jako soubor formálních i neformálních pravidel chování subjektů, včetně pravidel využívání nástrojů vládních politik. Více k pojetí institucí a jejich vlivu na výkonnost ekonomik viz například Vymětal a Žák (2005). Zasazení role institucí v podobném pojetí do diskursu ekonomie životního prostředí potom diskutuje Kotíková (2006).

Experimentovaná situace může být vytvořena čistě k ověření určité dedukované teorie, a být tak i zcela vzdálená od konkrétních institucionálních uspořádání v praxi. Může též představovat situaci velmi blízkou praxi. Takový ekonomický laboratorní experiment potom slouží k ověření možnosti a efektivnosti fungování pozměněných praktických institucionálních uspořádání.

* Článek je jedním z výsledků teoreticky orientovaného projektu GAČR grantem č. P402/10/0197 Grantové agentury České republiky „Revenue management- modely a analýzy“ a aplikačně orientovaného projektu VaV SP/4i1/169/08: Vytvoření podmínek pro efektivnější využívání ekonomických nástrojů.

Ekonomické laboratorní experimenty mají však i svá úskalí. V jednom experimentu lze simulovat jen velmi malou část reality. Chování subjektů v experimentu nemusí plně odpovídat realitě. Samotná povaha sociálně-ekonomických systémů vyžaduje do experimentů zahrnovat i obtížně kvantifikovatelné měkké faktory (Potužáková a Mildeová 2011). Nicméně experimenty je možno postupně upravovat – ať již hodnotově-nákladový model v pozadí, tak pravidla chování – a tak se o realitě stále více dozvídat a to s relativně nízkými náklady, než by představovala cesta pokusu a omylu bezprostředně uskutečněná v praxi (více viz například Douglas and Charles, 1993 a Easter et al., 1998).

Autoři chtěli mj. ověřit, zda jimi dříve vyvinutý, experimentálně ověřený a publikovaný model vyjednávání mezi autoritou a znečišťovateli při asymetrii informace (Šauer et al., 1998a, Sauer et al., 2003) může být rozvinut o možnost vytváření společných projektů a následné vyjednávání v koaliciích. Jiné možné přístupy k vyjednávání mezi subjekty v oblasti ochrany životního prostředí lze přehledně nalézt například v Carraro et al. (2007).

Tento příspěvek přináší výsledky experimentálního ověření jedné z možných aplikací modelu kombinatorických aukcí na příkladu veřejných podpor poskytovaných na projekty snižování znečištění životního prostředí. Veřejné podpory patří k ekonomickým nástrojům politiky životního prostředí s teoretickým potenciálem vést k tzv. nákladově efektivním řešením environmentálních problémů. Předpokládá se existence více projektů vedoucích k takovýmto řešením. Více projektů může znamenat, že (i) každý znečišťovatel má jeden projekt, k dosažení cíle však není třeba realizovat projekty všechny, (ii) jednotliví znečišťovatelé mají individuálně více projektů, které mohou uspořádat dle nákladové efektivnosti (například mají možnost instalovat různě účinné odlučovače s různě vysokými náklady), (iii) znečišťovatelé mají vedle individuálních projektů možnost realizovat projekty společně s jinými znečišťovateli. To znamená, že mají možnost realizovat tzv. koaliční projekty.

Pro náš experiment jsme zvolili třetí možnost, tj. případ, kdy všichni znečišťovatelé musí (v určené míře) snížit své znečišťování. Mohou to však učinit společnými projekty s jinými znečišťovateli, pokud je to pro ně (vzájemně) výhodné. Můžeme si například představit situaci, kdy v určitém území musí všichni znečišťovatelé snížit emise do ovzduší. Mohou to udělat (individuálně) cestou přechodu na ušlechtlejší palivo (zpravidla s vyššími náklady než kdyby pokračovali ve vytápění uhlím). Mohou však alternativně zvolit cestu vybudování společných (koaličních) teplárenských zařízení. Jiným příkladem může být situace, kdy obce nad určitý počet obyvatel musí vybudovat čistírny odpadních vod, a kdy v některých situacích může být výhodné vybudovat pro některé obce čistírny společně.

Zdroje pro veřejné podpory mohou být vytvořeny buď z běžných či ekologických daní (následuje problém alokace zdrojů ze státního rozpočtu) či z poplatků za znehodnocování životního prostředí (řešení problému alokace z fondů životního prostředí). K problematice veřejných výdajů na ochranu životního prostředí viz například Hájek (2003).

Ve druhé části článku seznamuje stručně s obecným modelem kombinatorických aukcí jakožto teoretickým zarámováním uváděného experimentu. Ve třetí části

je potom uveden design ekonomického laboratorního experimentu provedeného na Vysoké škole ekonomické a ve čtvrté části potom jsou uvedeny jeho výsledky.

2. Kombinatorické aukce – obecný model

Aukce je tržní mechanismus pro rozdělení zdrojů kupujícím, založený na předem definovaných pravidlech. Tato pravidla definují proces nabídek, způsob určení vítěze a finální dohodu. Aukce poskytuje mechanismus pro vyjednávání mezi kupujícími a prodávajícími. Popularita aukcí a požadavky e-byznysu vedou k rostoucímu zájmu o komplexní modely transakcí. V příspěvku uvažujeme tzv. kombinatorické aukce, kde účastníci mohou dávat návrhy nejen na jednotlivé položky, ale i na kombinace položek. Výhodou kombinatorických aukcí je možnost úplnějšího vyjádření preferencí nabízejících. To je zejména důležité v případech, kdy jsou položky komplementy. Organizátor aukce má také výhody z kombinatorických aukcí. Umožnění úplnějšího vyjádření preferencí často vede ke zlepšení ekonomické efektivity a větší celkové hodnotě aukce. Kombinatorické aukce jsou používány v řadě konkrétních aplikací, od prodeje licencí pro provozování bezdrátových komunikací, prodej různých kombinací dopravních tras, až třeba pro nákup kombinací výrobních faktorů jednotlivých firem. Přes řadu svých výhod, skýtají kombinatorické aukce řadu otázek a příležitostí pro výzkum (viz Cramton et al., 2006; Rothkopf et al., 1998).

Obecná formulace problému určení vítězů

V literatuře získal značnou pozornost zejména tzv. problém určení vítězů. Problém je formulován následovně: při dané množině nabídek v kombinatorické aukci nalézt rozdělení položek kupujícím tak, aby byl maximalizován příjem prodávajícího. Tento problém je typickým problémem v oblasti kombinatorických aukcí. Byla analyzována složitost tohoto problému a navržena řada různých přístupů pro jeho řešení.

Řada typů kombinatorických aukcí může být formulována jako úlohy matematického programování. Z různých typů kombinatorických aukcí uvedeme aukci nedělitelných položek s jedním prodávajícím a několika kupujícími. Předpokládejme, že prodávající nabízí množinu M o m položkách, $j = 1, 2, \dots, m$, n potenciálním kupujícím. Položky jsou k dispozici vždy jen v jediném kuse. Nabídka kupujícího i , $i = 1, 2, \dots, n$, je definována jako

$$B_i = \{S, v_i(S)\},$$

kde

$S \subseteq M$, je kombinace položek,

$v_i(S)$ je cena, kterou je kupující i ochoten zaplatit za kombinaci položek S .

Cílem je maximalizovat příjem prodávajícího vzhledem k daným nabídkám kupujících. Omezení stanovují, že žádná položka nemůže být přiřazena více kupujícím a žádný kupující nezíská více než jednu kombinaci položek.

Pro formulaci problému jsou zavedeny bivalentní proměnné: $x_i(S)$ je bivalentní proměnná, specifikující přiřazení kombinace S kupujícímu i ($x_i(S) = 1$). Problém určení vítěze pak může být formulován následovně

$$\sum_{i=1}^n \sum_{S \subseteq M} v_i(S) x_i(S) \rightarrow \max$$

při omezeních

$$\sum_{S \subseteq M} x_i(S) \leq 1, \forall i, i = 1, 2, \dots, n,$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{S \subseteq M} x_i(S) \leq 1, \forall j \in M, \quad (1)$$

$$x_i(S) \in \{0, 1\}, \forall S \subseteq M, \forall i, i = 1, 2, \dots, n.$$

Kriteriální funkce vyjadřuje celkový příjem prodávajícího. První sada omezení zajišťuje, že žádný kupující nedostane více než jednu kombinaci položek. Druhá sada omezení zajišťuje, že nemohou být přiřazeny vzájemně se překrývající množiny položek.

Ilustrační příklad

Pro ilustraci pojmů uveďme jednoduchý příklad kombinatorické aukce se 3 nabízenými položkami (A, B, C), které jeden prodávající nabízí dvěma 2 kupujícím. V aukci se potom nabízí 7 možných kombinací položek (A, B, C, AB, AC, BC, ABC), za které jsou kupující ochotni zaplatit částky uvedené v Tabulce 1.

Tabulka 1

Částky nabízené kupujícími za kombinaci položek

Kombinace	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
Kupující 1	30	40	50	80	90	100*	120
Kupující 2	50*	40	30	90	90	80	130

Každý ze dvou kupujících dostane nejvýše jednu kombinaci položek. Každá položka se vyskytuje v jednom exempláři a není ji tedy možno prodat vícekrát, vybrané vyhrávající kombinace nemohou obsahovat společné položky. Cílem je vybrat takové kombinace, které by zajistily maximální příjem prodávajícího.

V tomto velmi jednoduchém příkladu je snadné nalézt optimální řešení porovnáním možných rozdělení položek kupujícím. Optimální řešení je v Tabulce 1 označeno symbolem „*“. Představuje prodej kombinace BC kupujícímu 1 a prodej položky A kupujícímu 2. Prodávající tak bude mít maximální příjem o velikosti 150 jednotek.

Z tabulky 1 je zřejmé, že žádná jiná možnost prodeje položek nenabízí větší příjem prodávajícímu.

Složitost problému

Základní otázkou při navrhování kombinatorických aukcí je složitost problému určení vítězů. Existuje několik typů této složitosti:

- výpočetní složitost,
- hodnotící složitost,
- strategická složitost,
- komunikační složitost.

Výpočetní složitost zahrnuje zejména otázku počtu operací při výpočtu výsledku při informacích o nabídkách kupujících. Toto je vysoce důležitá otázka, protože problém určení vítězů patří mezi NP-úplné problémy. Problém určení vítězů je možno převést na problém váženého pokrytí množiny. Tento problém je problémem nalezení disjunktní množiny vážených podmnožin s největší celkovou váhou. Problém váženého pokrytí množiny je klasický NP-úplný problém.

Hodnotící složitost se týká zejména otázky náročnosti poskytované preferenční informace. Odhadnout každou možnou kombinaci vyžaduje exponenciální prostor a tudíž i exponenciální čas. Kupující potřebují obecně určit hodnocení $2^m - 1$ možných kombinací.

Strategická složitost se zabývá takovými otázkami jako: Které z $2^m - 1$ kombinací nabízet? Jaká je nejlepší strategie pro nabídky? Musí kupující modelovat chování dalších kupujících a řešit problém optimální strategie?

Komunikační složitost klade zejména otázku rozsahu komunikace, požadované mezi kupujícími a prodávajícím pro dosažení rovnovážné ceny. Problém komunikační složitosti může být řešen pomocí návrhu vhodných jazyků nabízení, které poskytují výrazové, ale stručné prostředky pro formulování nabídky.

Řešení modelu

Algoritmy řešení modelu navržené pro řešení problému určení vítězů při znalosti informací je možno rozdělit do dvou skupin:

- optimalizační algoritmy,
- aproximační algoritmy.

Optimalizační přístupy řešení problému určení vítězů vyžadují algoritmy, které generují dobré dolní a horní meze pro kritériální hodnotící funkci. Obecně je možno meze určit

řešením relaxace problému určení vítězů. Pro problém určení vítězů se používají dvě standardní relaxace: Lagrangeova relaxace a LP relaxace. Při Lagrangeově relaxaci je obvykle požadována 0-1 přípustnost, ale podmínky jsou přesunovány do kritériální funkce jako penalizační část. Při LP relaxaci jsou uvolněny jen podmínky celočíselnosti, účelová funkce zůstává původní. Optimalizační metody se dělí do tří skupin: metody větvení a mezí, metody sečných nadrovin a hybridní metody větvení a řezů. Techniky celočíselného programování je možno použít pro řešení problému určení vítězů v kombinatorických aukcích s menším počtem položek.

Existuje souvislost mezi aukcemi s více položkami a teorií duality. Vickreyova aukce může být brána jako efektivní cenová rovnováha, která odpovídá optimálnímu řešení určité úlohy lineárního programování a její duální úlohy. Simplexový algoritmus může být považován za statický přístup k určení výsledku Vickreyovy aukce a primárně-duální algoritmus může být považován za decentralizovaný dynamický přístup k určení cenové rovnováhy. Primárně-duální algoritmus obvykle udržuje duální přípustnost řešení a snaží se určit primární řešení, které je přípustné a splňuje podmínky komplementarity. Jestliže je takové řešení nalezeno, algoritmus končí. Jinak je duální řešení upraveno směrem k dosažení optimality a algoritmus pokračuje další iterací.

Základní práce (Bikhchandani a Ostroy, 2002; de Vries a Vohra, 2003) ukazují silný vztah mezi iteračními aukcemi a primárně-duálním algoritmem lineárního programování. Primárně-duální algoritmus může být interpretován jako aukce a hodnoty duálních proměnných jako ceny položek. Algoritmus prosazuje přípustné rozdělení a ceny a končí, jestliže jsou nalezeny rovnovážné ceny a efektivní alokace položek.

Pro problém aukce je možno formulovat LP relaxaci a její duál. Je navržen formát aukcí, založených na primárně-duálním algoritmu. Obecné schéma má následující kroky:

1. Výběr počátečních cen.
2. Zveřejnění průběžných cen a sbírání nabídek.
3. Výpočet průběžného duálního řešení a interpretace duálních proměnných jako cen. Pokus o určení přípustné alokace jako celočíselného primárního řešení, které splňuje pravidlo pro ukončení. Pokud takové řešení existuje, algoritmus končí a řešení je bráno jako finální alokace položek. Jinak jsou ceny aktualizovány a přejde se na krok 2.

Pro oblast kombinatorických aukcí byl navržen programový systém CRAB (CombinatoRial Auction Body Software System), který umožňuje generovat, řešit a testovat problémy kombinatorických aukcí (viz Fiala et al., 2010). Systém řeší problémy pomocí Balasovy metody nebo pomocí primárně duálního algoritmu.

3. Ekonomický laboratorní experiment

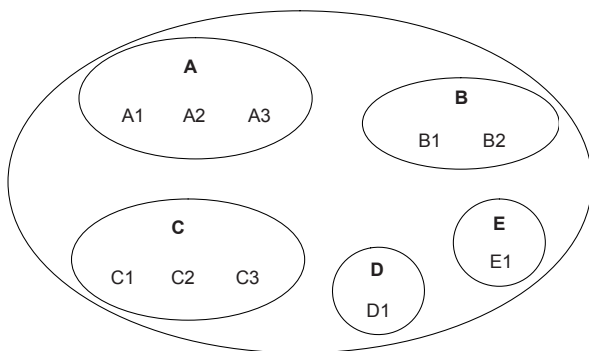
Model kombinatorických aukcí formulovaný v předchozím textu byl využit na příkladu veřejných podpor poskytovaných na projekty snižování znečištění životního prostředí. Konkrétně šlo o jeho využití při výpočtu prvního nejlepšího řešení úlohy při znalosti informací, které jsou v praxi zpravidla rozptýleny mezi aktéry (ekonomické subjekty). Výsledky tohoto propočtu potom sloužily k porovnání s výsledky dosaženými v opakovaném provádění navrženého experimentu.

Popis situace

Pro ekonomický laboratorní experiment bylo navrženo modelové území, kde se nachází 10 znečišťovatelů v 5 skupinách označených A, B, C, D a E. Toto označení mj. ukazuje, kde má (ekonomický) smysl připravovat koaliční projekty (viz obrázek 1). Jak je řečeno výše, teoreticky je totiž možno vytvořit $2^n - 1$ koalic, což by pro náš případ $n = 10$ znečišťovatelů znamenalo 1023 koalic. Znamenalo by to vysokou výpočetní, hodnotící, strategickou i komunikační složitost. V praxi však nemá smysl se věnovat projektům, které se expertům v oboru (ať již v soukromém či veřejném sektoru) vzhledem k vysokým nákladům projektů a vyjednávání jeví jako zcela zřejmě ekonomicky neefektivní. Tak například si sice umíme technicky představit projekt společné čistírny odpadních vod pro Prahu a Brno, z ekonomického hlediska však takováto koalice nemá opodstatnění.

Obrázek 1

Umístění znečišťovatelů v území



Pro experiment bylo rozpracováno 10 individuálních projektů (A1, A2, A3; B1, B2; C1, C2, C3; D1 a E1) a 9 koaličních projektů (A1-A2, A1-A3, A2-A3, A1-A2-A3; B1-B2; C1-C2, C1-C3, C2-C3, C1-C2-C3), celkem tedy 19 projektů. Pro každý z projektů byly stanoveny následující parametry:

- snížení emisí při realizaci projektů dE_i , $i = 1, 2, \dots, 19$,
- minimální podpory P_{\min_i} , $i = 1, 2, \dots, 19$, potřebné z externího zdroje, aby se projekty pro dané subjekty staly efektivními.

Snížení emisí bylo pro laboratorní experiment zvoleno jako nejjednodušší a srozumitelné vyjádření environmentálního přínosu. Tyto přínosy by mohly být jiným způsobem vyjádřeny v podobě snížení imisí na vhodnou jednotku elementu životního prostředí, v podobě naturálních dopadů na životní prostředí (například snížení rizika onemocnění obyvatel určitých území) či v peněžním vyjádření. K peněžnímu vyjádření efektů ze zlepšení kvality životního prostředí existuje bohatá literatura. Pro čtenáře časopisů *Politické ekonomie* a *Prague Economic Papers* připomeňme například články Hoyos a Mariel (2010), Vojáček a Pecáková (2010), Melichar et al. (2010), Šauer et al. (1998b). Na rozdíl od nákladově efektivního řešení, ke kterému směřuje obsah tohoto článku, peněžní vyjadřování environmentálních přínosů by teoreticky mohlo směřovat k nalézání ekonomicky efektivních řešení environmentálních problémů. Toto oceňování má však řadu úskalí již v samotném uchopení kategorie lidských (ekonomických) preferencí. Blíže viz Vojáček (2011).

Stanovení výše minimálních podpor vychází z konceptu tzv. čistých nákladů na zamezení. K tomuto konceptu blíže viz Šauer et al. (1998a). Přehled individuálních a koaličních projektů zahrnutých do experimentu včetně jejich parametrů je uveden v Tabulce 2.

Tabulka 2

Znečišťovatelé a jejich projekty zahrnuté do experimentu

Projekt číslo	Znečišťovatel a projekt	Snížení emisí dE_i	Minimální podpora $Pmin_i$
1.	A1	90	30
2.	A2	40	30
3.	A3	100	50
4.	A1-A2	130	35
5.	A1-A3	190	70
6.	A2-A3	140	60
7.	A1-A2-A3	230	60
8.	B1	30	20
9.	B2	40	60
10.	B1-B2	70	50
11.	C1	50	20
12.	C2	40	40
13.	C3	80	60
14.	C1-C2	90	50
15.	C1-C3	130	70
16.	C2-C3	120	70
17.	C1-C2-C3	170	100
18.	D1	70	60
19.	E1	60	10

Environmentální cíl v experimentu byl stanoven tak, že všichni znečišťovatelé sníží znečištění přesně o objem dE_i uváděný v tabulce 2. Mohou tak přitom učinit cestou individuálních či koaličních projektů. V experimentální kombinatorické aukci se potom pokusí získat veřejnou podporu ve výši P_{min_i} nebo vyšší. V praxi by mohlo jít například o situaci, kdy subjekty A, B, ..., E jsou znečišťovatelé, kteří musejí vystavět čistírny odpadních vod. Mohou tak učinit buď individuálně či realizovat společné projekty a snížit tím náklady. Zdroj pro poskytování veřejných podpor nebylo nutno v případě našeho laboratorního experimentu konkretizovat.

Design experimentu

Jako subjektů ekonomického laboratorního experimentu bylo využito desetičlenných skupin studentů magisterského předmětu Ekonomie a politika životního prostředí vyučovaného na Národohospodářské fakultě Vysoké školy ekonomické v Praze ve školním roce 2009/2010 a předmětu Teorie rozhodování vyučovaného na Fakultě informatiky a statistiky stejné vysoké školy. Studenti hráli roli manažerů znečišťujících subjektů usilujících o získání maximální podpory v aukci při nabízení daného (technologicky možného) snížení znečištění. Roli subjektu (autority) nabízející podpory v aukcích hráli učitelé obou předmětů.

Subjekty hrající roli znečišťovatelů dostaly následující materiály (materiál, který dostal znečišťovatel [A1] je uveden v příloze):

- a) list s textem stručně vysvětlujícím podstatu experimentu, s údaji o snížení znečištění a potřebné minimální podpoře pro svůj individuální projekt a obdobné údaje pro všechny koaliční projekty, jichž se mohou zúčastnit; subjekty tedy neměly tyto informace o jiných projektech, jež byly zahrnuty do experimentu;
- b) pro komunikaci s autoritou dostaly subjekty dále tabulku pro vyplnění své nabídky v aukci obsahující položku nabízeného snížení znečištění a výši požadované podpory na daný projekt. Tyto tabulky dostaly subjekty (pouze) pro každý individuální projekt a každou koalici, do které mohou vstoupit.

Subjekt hrající roli autority, nabízející podpory v aukci, měl k dispozici situační obrázek (viz obrázek 1), text vysvětlující experimentální případ (stejný jako subjekty hrající roli znečišťovatelů) a pravidla průběhu experimentu pro dodržení stejných podmínek ve všech skupinách.

Pravidla jednání subjektů a průběh experimentu

Subjekt hrající roli autority s pomocí obrázku, který překreslil na flip chart nebo tabuli, seznámil subjekty se situací, rozdal jim materiály, vysvětlil pravidla jednání subjektů v experimentu, v případě dotazu pravidla zopakoval a vyzval k vyjednávání v koalicích a vyplnění svých individuálních a/nebo koaličních nabídek. Tyto své nabídky subjekty předaly zpět k vyhodnocení. Ještě před touto výzvou subjekt hrající roli autority krátce rekapituloval teoreticko-metodologický základ experimentálního případu.

4. Výsledky experimentu

Dříve než byly vyhodnoceny výsledky provedených experimentů, bylo vypočítáno optimální (nejlepší možné) řešení, jehož zjištění předpokládá znalost preferencí subjektů. K tomuto výpočtu bylo využito modelu kombinatorických aukcí prezentovaného v předchozí kapitole.¹

Tabulka 3 umožňuje porovnání výsledků dosažených v jednotlivých experimentech s nejlepším možným (vypočteným) výsledkem.

Tabulka 3

Porovnání experimentálních výsledků a vypočteného řešení

Projekt číslo	Znečišťovatel /projekt	Optimální řešení	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
1.	A1	30	60*	30	40	40	60	40	45*	34
2.	A2	30	35*	-	40	50	70	33	40	35
3.	A3	50	60*	50	60	80	51*	70	70	60
4.	A1-A2	35	100	60	40	60	70*	60	70	59
5.	A1-A3	70	155	-	80	90	90	100	120	90
6.	A2-A3	60	130	-	150	100	90	85	80*	80
7.	A1-A2-A3	60*	195	75*	75*	120*	240	110*	150	100*
8.	B1	20	50	45	100	40*	30	30	49	30
9.	B2	60	65	80	115	70*	70	60	70	90
10.	B1-B2	50*	90*	50*	110*	120	80*	70*	90*	70*
11.	C1	20*	25	28	40*	28*	100	20*	40*	40
12.	C2	40	60*	44	55	45	100	60	60	50*
13.	C3	60	81	70	70	90	80*	62	80	100
14.	C1-C2	50	112	-	100	69	150*	70	115	110
15.	C1-C3	70	95*	-	85	85	170	89	140	130*
16.	C2-C3	70*	144	-	85*	89*	150	85*	125*	150
17.	C1-C2-C3	100	170	140*	135	130	300	120	180	200
18.	D1	60*	75*	70*	100*	60*	80*	60*	70*	100*
19.	E1	10*	45*	13*	60*	10*	10*	25*	50*	60*
	Celková podpora	270	520	348	470	417	521	370	500	510

* označení podporovaného projektu v daném experimentu

- označení projektu, pro který nebyl podán požadavek na podporu

Z tabulky 2 je patrné, že, pokud jde o projekty, které dostanou podporu, ve 2 případech došlo k plné shodě s výsledkem výpočtu na teoretickém modelu. V dalších případech došlo k určitým odchylkám od optimální struktury koalic, avšak ne k zásadním.

¹ Model byl řešen pomocí softwaru CRAB, vytvořenému v projektu GAČR 402/07/0166

Jestliže pro v experimentech získané struktury řešení sečteme minimální podpory, dostaneme pro každé jednotlivé opakování experimentu celkovou minimální podporu P_{min} . Tato celková minimální podpora se potom u jednotlivých opakování experimentu příliš neliší od optimální hodnoty 270, získané výpočtem na teoretickém modelu (viz tabulka 4).

Tabulka 4

Celkové minimální podpory u experimentů

Experiment	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
P_{min}	340	280	270	310	315	270	300	290

Rozdíly mezi celkovou požadovanou podporou a celkovou minimální podporou představuje surplus získaný subjekty ve vyjednávání. Tento surplus lze snižovat vícekolovým vyjednávacím procesem, viz ekonomický laboratorní experiment uskutečněný a publikovaný autory tohoto článku již dříve (Šauer et al., 2003). V experimentu publikovaném v tomto článku jde tedy o další krok a to o experimentování s možností vytváření koalic.

5. Závěr

Experimenty prokázaly velmi dobrou využitelnost výpočetního modelu kombinatorických aukcí pro přípravu ekonomických laboratorních experimentů v oblasti koaličního vyjednávání při rozptýlenosti ekonomické informace mezi subjekty. Věříme, že uplatnění může najít nejen v oblasti podpor na ochranu životního prostředí, které byly předmětem našeho experimentu.

Pokud by šlo o jeho praktické využití pro (přímé) nalezení efektivních řešení tam, kde existují možnosti koaličních řešení, záleží na dostupnosti pravdivých informací. U veřejného sektoru si lze představit, že experti mají relativně kvalitní informace o nákladech na příslušné projekty. I zde však existuje možnost záměrných zkreslení. U soukromého sektoru však výše ochoty alokovat vlastní zdroje je ryze subjektivním rozhodnutím. Laboratorní experimenty pak mohou s podporou uvedeného modelu dobře testovat určité hypotézy.

Pokud jde o další výzkum, předpokládáme vytvoření komplexnější a nějakému skutečně praktickému případu blízké případové studie, kde by koaliční vyjednávání bylo testováno i v několika kolech tohoto vyjednávání. Jak již bylo uvedeno výše, snížení veřejných podpor při jejich vícekolovém vyjednávání se nám již teoreticky podařilo prokázat při jiných experimentech. Věříme, že propojení vícekolového, dosud pouze individuálního, vyjednávání s koaličním vyjednáváním povede k novým zajímavým poznatkům.

Literatura

- BIKHCHANDANI, S.; OSTROY, J. M. 2002. The package assignment model. *Journal of Economic Theory*. 2002, Vol. 107, No. 2, pp. 377–406.
- CARRARO, C.; MARCHIORI, C.; SGOBBI, A. 2007. Negotiating on water: insights from non-cooperative bargaining theory. *Environment and Development Economics*. 2007, Vol. 12, pp. 329–349.
- CRAMTON, P.; SHOHAM, Y.; STEINBERG, R. (eds.). 2006. *Combinatorial Auctions*. Cambridge: MIT Press, 2006. 672 s. ISBN 0-262-03342-9.
- DE VRIES, S.; VOHRA, R. V. 2003. Combinatorial auctions: A survey. *INFORMS Journal of Computing*. 2003, Vol. 15, No. 1, pp. 284–309.
- DOUGLAS, D. D.; CHARLES, A. H. 1993. *Experimental Economics*. New Jersey: Princeton University Press, 1993. 572 s. ISBN 0-691-04317-5.
- EASTER, K. W.; DINAR, A.; ROSEGRANT, M. W. 1998. Water Markets: Transaction costs and institutional options. In EASTER, K. W.; ROSEGRANT, M. V.; DINAR, A. (eds.) *Markets for water potential and performance*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998. ISBN-0-7923-8256-0.
- FIALA, P.; KALČEVOVÁ, J.; VRANÝ, J. 2010. CRAB – Combinatorial Auction Body Software System. *Journal of Software Engineering and Applications*. 2010, Vol. 3, No. 7, pp. 718–722.
- HÁJEK, M. 2003. Struktura výdajů z veřejných rozpočtů na ochranu životního prostředí v ČR. *Finance a úvěr*, vol. 53, s. 60–74.
- HOYOS, D.; MARIEL, P. 2010. Contingent Valuation: Past, Present and Future. *Prague economic papers*. 2010, Vol. 19, No. 4, pp. 329–343.
- KOTÍKOVÁ, E. 2006: Ochrana životního prostředí v ekonomické teorii. *Politická ekonomie*. 2006, Vol. 54, No. 2, pp. 261–273.
- MELICHAR, J.; ŠČASNÝ, M.; URBAN, J. 2010. Hodnocení smrtelných rizik na trhu práce: studie hedonické mzdy v českých zemích. *Politická ekonomie*. 2010, Vol. 58, No. 5, pp. 657–674.
- POTUŽÁKOVÁ, Z.; MILDEOVÁ, S. 2011. Systémový přístup ke konceptu flexicurity. *Politická ekonomie*, 2011, Vol. 59, No. 2, pp. 224–241
- ROTHKOPF, M.; PEKEČ, A.; HARSTAD, R. 1998. Computationally Manageable Combinational Auctions. *Management Science*. 1998, Vol. 44, No. 8, s. 1131–1147.
- SAUER, P.; DVORAK, A.; LISA, A.; FIALA, P. 2003. A Procedure for Negotiating Pollution Reduction under Information Asymmetry. *Environmental and Resource Economics*. 2003, Vol. 24, No. 2, pp. 103–119.
- ŠAUER, P.; DVOŘÁK, A.; FIALA, P. 1998a. Vyjednávání mezi autoritou a znečišťovateli – model pro podporu rozhodování v ekologické politice. *Politická ekonomie*. 1998, Vol. 46, No. 6, pp. 772–787.
- ŠAUER, P.; DVOŘÁK, A.; MILDEOVÁ, S.; MOKRIŠOVÁ, J. 1998b. Vyjádření užítku přírodního statku metodou podmíněného hodnocení: případ snížení rizika záplav. *Politická ekonomie*. 1998, Vol. 46, No. 3.
- VOJÁČEK, O.; PECÁKOVÁ, I. 2010. Comparison of Discrete Choice Models for Economic Environmental Research. *Prague Economic Papers*. 2010, Vol. 19, No. 1, pp. 35–53.
- VOJÁČEK, O. 2011. K pojetí preferencí v ekonomickém myšlení. *Politická ekonomie*, 2011, Vol. 59, No. 3, pp. 345–358.
- VYMĚTAL, P.; ŽÁK, M. 2005. Instituce a výkonnost. *Politická ekonomie*. 2005, Vol. 53, No. 4, pp. 545–566.

PŘÍLOHA

Materiály pro subjekt hrající roli znečišťovatele A1 v laboratorním experimentu

Firma – znečišťovatel [A1]

Situace: v regionu, ve kterém se nachází vaše firma, existuje 10 zdrojů znečišťování životního prostředí. Toto znečištění je třeba snížit z důvodu naplnění mezinárodního závazku. Každý ze znečišťovatelů má několik možných projektů, jak ke snížení znečištění v daném regionu přispět. Jednou z možností je individuální projekt. Dalšími možnostmi jsou společné projekty s okolními firmami, tzv. projekty koaliční. Teoreticky je možné uvažovat všechny koalice, kterých by bylo $2^{10}-1$ (tj. počet všech možných kombinací). V praxi ale nemá význam vzhledem k vysokým nákladům připravovat projekty, které se jeví na první pohled zcela neefektivní.

Každý projekt (ať již individuální či koaliční) nabízí určité snížení emisí (dE_i) a vyžaduje určitou minimální výši externí finanční podpory (P_{min_i}). O tyto finanční podpory firmy i jejich koalice žádají autoritu. Žádání o podpory probíhá v jednom kole. V žádostech se uvádí: a) nabízené snížení emisí (dE_i ze zadání) a b) požadovaná výši podpory; tato výše vychází z vaší strategie ve vyjednávání, nesmí však být požadováno méně, než je minimální výše podpory (P_{min_i} ze zadání).

Úloha: Jste v roli manažera firmy [A1], která spolupůsobí znečištění životního prostředí v uvedeném regionu.

Vaše specifické údaje jsou následující:

	dE_i	P_{min_i}
Individuální projekt		
A1	90	30
Reálné koalice s vaší účastí		
A1+A2	130	35
A1+A3	190	70
A1+A2+A3	230	60

Žádost o veřejnou podporu (pro každý projekt zvláštní tabulka):

Znečišťovatel – KOALICE []

Experiment č.

Nabídka snížení znečištění (ze zadání)	Požadovaná podpora

APPLICATION OF COMBINATORIAL AUCTIONS ON ALLOCATION OF PUBLIC FINANCIAL SUPPORT IN THE AREA OF ENVIRONMENTAL PROTECTION: ECONOMIC LABORATORY EXPERIMENT

Petr Fiala, Petr Šauer, University of Economics, Prague, nám. W. Churchilla 4, CZ – 130 67 Praha 3 (pfiala@vse.cz, sauer@vse.cz).

Abstract

This paper presents results of repeated economic lab experiments. They were designed to test a model of combinatorial auctions on the case of providing financial support (capital investment subsidies) to polluters. Combinatorial auctions are those auctions in which bidders can place bids on combinations of items. The advantage of combinatorial auctions is that the bidder can more fully express his preferences. This is particularly important when items are complements. In the experiment presented in the paper, the polluters have two options: (i) to invest individually or (ii) create coalitions, i.e. to prepare and realize common capital investment projects. The common model of combinatorial auctions is described first in the paper. The design of the laboratory experiment is presented in the next section and the results are shown in the last section.

Keywords

combinatorial auctions, environmental policy, economic laboratory experiments, environmental subsidies

JEL Classification

C61, C91, C92, D44, H29