

EFICIENTIZAREA MIJLOACELOR ȘI A TEHNOLOGIILOR DE COLECTARE A DEȘEURILOR RECICLABILE SUB ASPECTUL TRANSPORTULUI RUTIER

Eugen ROȘCA, Ștefan BURCIU, Aura RUȘCĂ
Universitatea „Politehnica“ din București

Rezumat. Eficiența oricăror mijloace și tehnologii de transport este astăzi raportată fără echivoc la exigențele dezvoltării durabile. În acest spirit, eficiența trebuie să reflecte consumul de resurse materiale și energetice și, deopotrivă, efectele pozitive și negative locale și globale pentru întreaga perioadă de viață a unui sistem (faza de realizare/construcție și faza de funcționare/exploatare) ca și perioada de scoatere din exploatare (faza de reciclare). Lucrarea analizează într-o manieră critică trei variante de transfer a deșeurilor reciclabile de la punctele de colectare din zona urbană și periurbană a municipiului București către centrele de valorificare. Primele două variante au la bază un sistem ierarhic cu un centru de colectare și sortare în care sunt consolidate expedițiile către cinci centre mai mari de reciclare, specializate în funcție de natura deșeurilor. A treia variantă corespunde unui sistem nestructurat, în care fiecare punct de colectare are relații directe cu toate cele cinci centre de reciclare. În funcție de specificul fiecărei variante sunt alese mijloacele și tehnologiile de colectare și transport a deșeurilor, ierarhizarea variantelor efectuându-se în conformitate cu externalitățile (pozitive/negative) generate.

Cuvinte cheie: logistică inversă, eficiență energetică, emisii ale autovehiculelor

Abstract. The efficiency of the transport vehicles and technologies is correlated with the requirements of the sustainable development. In such a sense, the efficiency should reflect the consumption of material and energy resources and also the local and global externalities during the system's life cycle. The paper analyses three ways for municipal waste transfer to the recycling points. The first two ways are based on a hierarchical structured system with a central collecting point where the expeditions are consolidated and sent to the specific recycling points. The third way uses an unstructured system, where the waste is individually transported from the source to the recycling centres. The systems are analysed according to the externalities associated with the transport technologies.

Keywords: reverse logistics, energetical efficiency, vehicles exhaust emissions

1. INTRODUCERE

Conceptul de logistică inversă a evoluat pe parcursul timpului, de la simplele procese de colectare și reciclare la sistemele integrate de planificare, implementare și control eficient al fluxurilor de materiale, ambalaje și produse finale de la producători, centre de distribuție și consumatori finali către centrele de recuperare, reciclare și eliminare [1,2,3].

În ansamblul sistemelor de logistică inversă, procesele de colectare selectivă și transport reprezintă componente esențiale care își pun amprenta asupra eficienței și eficacității ansamblului sistemului [4,5]. Factorii care determină eficiența proceselor de colectare și transport sunt:

- existența unor puncte de colectare accesibile și amplasate corespunzător;
- colectarea selectivă a deșeurilor la sursă;

- reducerea proceselor de manipulare;
- asigurarea unui număr minim de transferuri;
- informații clare oferite utilizatorilor.

Amplasarea punctelor de colectare reprezintă un factor cheie în sistemul de management al deșeurilor, putând fi luate în considerare o mulțime de criterii de ordin geografic, economic sau facilități acordate de autoritățile publice. Pașii necesari a fi parcurși în determinarea amplasamentului optim al punctelor de colectare și a programului de colectare sunt [6,7]:

- studiul comportamentului consumatorului în alegerea punctului de colectare: puncte de colectare ale fabricanților, distribuitorilor, ale municipalității sau ale altor agenți economici parteneri;
- determinarea mărimii fluxului de deșeuri;
- stabilirea punctelor de colectare și a capacității acestora;
- determinarea numărului de vehicule cu diferite capacități de transport;
- optimizarea rutelor și a orarelor în funcție de accesibilitatea punctelor de colectare.

Numărul punctelor de colectare, amplasarea acestora și zona lor de influență reprezintă puncte critice ale sistemului de colectare al deșeurilor, costurile de transport reducându-se semnificativ odată cu creșterea cantităților de transportat (efecte de scară) și prin folosirea unor mijloace de transport cu eficiență energetică sporită.

2. ORGANIZAREA SISTEMULUI DE COLECTARE, SORTARE ȘI TRANSPORT

Eficiența oricăror mijloace și tehnologii de transport este astăzi raportată fără echivoc la exigențele dezvoltării durabile [8]. În acest spirit, eficiența trebuie să reflecte consumul de resurse materiale și energetice și, deopotrivă, efectele pozitive și negative locale și globale pentru întreaga perioadă de viață a unui sistem (faza de realizare/construcție și faza de funcționare/exploatare) ca și perioada de scoatere din exploatare (faza de reciclare).

2.1. Variante de organizare

Pentru mijloacele și tehnologiile de transfer al deșeurilor reciclabile de la punctele de colectare din zonele urbane și periurbane către centrele de valorificare sunt posibile două variante:

- Varianta A: un sistem structurat ierarhic (fig. 1), cu un centru de sortare a deșeurilor reciclabile colectate de la punctele de colectare, centru în care sunt consolidate expedițiile către următorul nivel ierarhic constituit din 5 centre mai mari de colectare/reciclare, specializate în funcție de natura deșeurilor (ambalaje carton și hârtie; materiale plastice – PET-uri; dispozitive electrice, electronice, electrocasnice – DEEE-uri; fracții DEEE-uri; metale feroase și neferoase).

- Varianta B: Un sistem nestructurat, în care fiecare din cele 30 de puncte de colectare au relații directe cu toate cele 5 centre mai mari, specializate (Figura 2). Desigur, funcționarea în această variantă, este condiționată de capacitatea fiecăruia dintre punctele de colectare de a sorta deșeurile pe cele 5 categorii corespunzătoare celor 5 centre mai mari de colectare/reciclare.

2.2. Criterii de evaluare a eficienței sistemului de colectare și transport

Analiza comparativă întreprinsă vizează numai faza de exploatare. Motivația limitării la această fază se află în lipsa unor diferențieri semnificative între tehnologiile de transport studiate pentru faza de construcție și pentru cea finală – de reciclare.

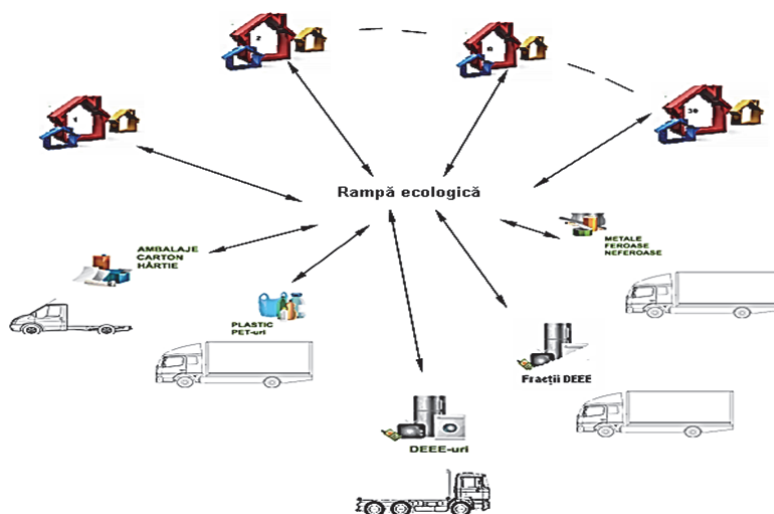


Fig. 1 – Sistem de colectare/sortare structurat ierarhic.

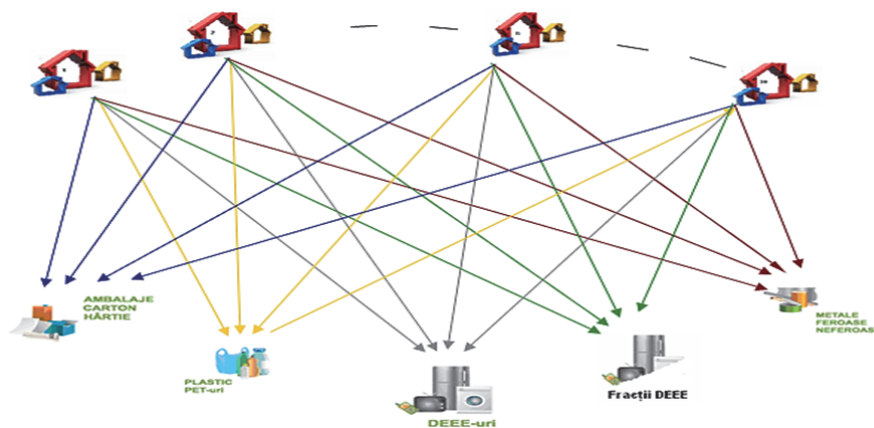


Fig. 2 – Sistem cu selectarea deșeurilor la colectarea primară – nestructurat ierarhic .

Pentru faza de exploatare, relevată în analiza întreprinsă, sunt esențiale pentru comparație următoarele efecte:

- efecte pozitive: răspunsul la nevoia de mobilitate a bunurilor, securitatea, fiabilitatea
- efecte negative: consumul de energie, poluarea aerului (NO_x , SO_2 , PM, ...), efectul de seră (CO_2 , N_2O , CH_4 ...), poluarea apei și a solului, zgomotele și vibrațiile, spațiul ocupat, insecuritatea rutieră, congestia traficului.

Întrucât tehnologiile comparate pentru activitățile de colectare a deșeurilor reciclabile sunt concepute pentru a răspunde aceluiași cerințe (efecte pozitive cvasiidentice), studiul realizat reține pentru analiza comparativă efectele negative antrenate în cele două soluții analizate. Dintre efectele negative mai sus enumerate s-au avut în vedere numai două, adică consumul de energie și efectul de seră. Celelalte nu sunt de natură să evidențieze deosebiri majore între tehnologiile de colectare a deșeurilor reciclabile analizate. Anumite deosebiri pot fi menționate sub aspectul insecurității rutiere și al congestiei antrenate.

Principalele emisii sale autovehiculelor care contribuie la producerea efectului de seră sunt CO₂, N₂O și CH₄. Pentru determinarea acestora se va utiliza metodologia standard elaborată de European Environment Agency [9].

Emisii de CO₂. Emisiile de CO₂ se află în dependență directă față de consumul de combustibil al autovehiculului. Relația generală de calcul pentru emisii de CO₂ este:

$$E_{CO_2} = 44,011 \left(\frac{FC}{12,011 + 1,008 r_{HC}} - \frac{E_{CO}}{28,011} - \frac{E_{VOC}}{13,85} \right) \quad (1)$$

în care: E_{CO_2} este nivelul emisiilor de CO₂ [g/km]; FC – consumul de combustibil; r_{HC} – raportul hidrogen/carbon specific combustibilului; E_{CO} – emisiile de CO datorite arderii incomplete; E_{VOC} – emisiile de hidrocarburi volatile datorate arderii incomplete.

Consumul specific de combustibil se determină în funcție de tipul autovehiculului (autoturism, camionetă, camion etc.), standardul de emisii (PRE ECE, EURO 1-5), capacitatea cilindrică, viteza medie de deplasare, capacitatea de transport și gradul de încărcare.

Emisii de CH₄ și N₂O. Metanul și oxidul azotos au un potențial radiativ mult mai ridicat decât CO₂, indicele relativ de radiație fiind 62 și respectiv 275 pentru o perioadă de 20 de ani. Emisiile de CH₄ și N₂O se multiplică cu indicele relativ de radiație pentru a obține echivalentul de CO₂. Emisiile specifice se stabilesc în funcție de tipul autovehiculului, standardul de emisii, capacitatea cilindrică, capacitatea de transport, caracteristicile infrastructurii.

3. STUDIU DE CAZ

S-au avut în vedere trei soluții de aducere a deșeurilor la rampa ecologică de la 30 de puncte de colectare:

- Varianta A1: utilizarea unui sistem de colectare și transport ierarhic și folosirea ca unități de încărcătură a containerelor abroll redus și a autovehiculului Ford Transit echipat cu sistem adecvat de încărcare/descărcare și transport al acestor containere;
- Varianta A2: utilizarea unui sistem de colectare și transport ierarhic și folosirea ca unități de încărcătură a paletelor lăzi (boxpalete) și a autovehiculului Iveco Eurocargo cu oblon ridicător pentru ridicarea/coborârea boxpaletelor, respectiv a transpaletelor hidraulice pentru deplasarea orizontală a boxpaletelor.
- Varianta B: transferul direct al deșeurilor din punctele de colectare la centrele de prelucrare utilizând un autovehicul Ford Transit.

Datele tehnice ale autovehiculelor utilizate sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1

Emisii specifice de CH₄ și N₂O

Tip autovehicul	Putere [kW]	Capacitate cilindrică [cm ³]	Normă de poluare	Emisii CH ₄ [mg/km]	Emisii N ₂ O [mg/km]
Ford Transit	74	2400	EURO 3	Urban – 3 Rural - 0	9
Iveco Eurocargo	110	3920	EURO 2	Urban – 85 Rural - 23	4
MAN	180	6490	EURO 2	Rural - 23	8

3.1. Evaluarea traficului lunar generat de fiecare dintre stațiile de colectare

Varianta A1

- Colectare de la cele 30 de puncte la rampa ecologică cu autovehiculul Ford Transit (considerat cu coeficient 1 la echivalarea în autovehicule etalon)

- Parcurs total pentru colectare la rampa ecologică în vehicule etalon×km

$$120 \text{ curse} \times 1 \text{ vehicul etalon/vehicul fizic} \times 40 \text{ km vehicul fizic/cursă} = 4800 \text{ vehicule etalon} \times \text{km.}$$

- Transfer de la rampa ecologică la punctele de colectare/reciclare

- Transfer hârtie/carton cu autovehiculul Ford Transit

$$10 \text{ curse} \times 1 \text{ vehicul etalon/vehicul fizic} \times 10 \text{ km vehicul fizic/cursă} = 100 \text{ vehicule etalon} \times \text{km.}$$

- Transfer plastic cu autovehiculul Iveco (considerat cu coeficientul 2 la echivalarea în vehicule etalon)

$$2 \text{ curse} \times 2 \text{ vehicule etalon/vehicul fizic} \times 12 \text{ km vehicul fizic/cursă} = 48 \text{ vehicule etalon} \times \text{km.}$$

- Transfer materiale metalice cu autovehiculul Iveco

$$1 \text{ cursă} \times 2 \text{ vehicule etalon/vehicul fizic} \times 4 \text{ km vehicul fizic/cursă} = 8 \text{ vehicule etalon} \times \text{km.}$$

- Transfer fracții DEEE cu autovehiculul Iveco

$$1 \text{ cursă} \times 2 \text{ vehicule etalon/vehicul fizic} \times 30 \text{ km vehicul fizic/cursă} = 60 \text{ vehicule etalon} \times \text{km.}$$

- Transfer DEEE cu autovehiculul MAN (considerat cu coeficientul de echivalare 2 în autovehicule etalon)

$$3 \text{ curse} \times 2 \text{ vehicule etalon/vehicul fizic} \times 54 \text{ km vehicul fizic/cursă} = 324 \text{ vehicule etalon} \times \text{km.}$$

- Parcursul total de la rampa ecologică la cele cinci puncte de colectare/reciclare

$$100 + 48 + 8 + 60 + 324 = 440 \text{ vehicule etalon} \times \text{km.}$$

- Parcursul lunar total în varianta A1

$$4800 + 440 = 5240 \text{ vehicule etalon} \times \text{km.}$$

Varianta A2

- Colectare de la cele 30 de puncte la rampa ecologică cu autovehiculul Iveco încărcat cu boxpalete

- Parcurs total pentru colectare la rampa ecologică în vehicule etalon×km

$$120 \text{ curse} \times 2 \text{ vehicul etalon/vehicul fizic} \times 40 \text{ km vehicul fizic/cursă} = 9600 \text{ vehicule etalon} \times \text{km.}$$

- Transfer de la rampa ecologică la punctele de colectare/reciclare

$$440 \text{ vehicule etalon} \times \text{km, identic cu cele din varianta A1.}$$

- Parcursul lunar total în varianta A1

$$9600+440=10040 \text{ vehicule etalon} \times \text{km.}$$

Varianta B

- Transferul direct de la cele 30 de puncte de colectare cu autovehiculul Ford Transit la cele cinci puncte de colectare/reciclare

- Parcursul lunar total în varianta B

$$120 \text{ curse} \times 1 \text{ vehicul etalon/vehicul fizic} \times 60 \text{ km vehicul fizic/cursă} =$$

$$= 7200 \text{ vehicule etalon} \times \text{km.}$$

Reiese că sub aspectul traficului generat, în raport cu care se poate estima congestia și lipsa de siguranță a circulației rutiere, varianta A1 este cea recomandată. În raport cu varianta A1, varianta A2 înseamnă un trafic cu circa 90% mai mare, iar în varianta B, un trafic cu circa 12% mai mare.

3.2. Determinarea nivelului emisiilor de gaze cu efect de seră și a eficienței energetice

Emisiile echivalente de CO₂ sunt determinate în funcție de parametrii de circulație și de caracteristicile tehnice ale vehiculelor (tabelul 2).

Tabelul 2

Consumul specific de combustibil și valori ale emisiilor pentru vehiculele utilizate

Caracteristici	Parametri de calcul	Parametri de calcul				
		a	b	c	d	e
Iveco Eurocargo						
Consum specific de combustibil [g/km]						
gol	$e+a \cdot \exp(-b \cdot v)+c \cdot \exp(-d \cdot v)$	0,707093	-0,0448	169,397	0,0796	72,6177
incarcat 100%	$y=1/(c \cdot v^2+b \cdot v+a)$	0,003899	0,000229	-2,1E-06		
Raport hidrogen:carbon	2					
Emisii CO [g/km]						
gol	$1/(c \cdot v^2+b \cdot v+a)$	0,282514	0,059624	-0,00042		
incarcat 100%	$1/(c \cdot v^2+b \cdot v+a)$	0,241129	0,049804	-0,00035		
Emisii VOC [g/km]						
gol	$e+a \cdot \exp(-b \cdot v)+c \cdot \exp(-d \cdot v)$	0,414155	0,038038	0,44014	0,1855	0,0765
incarcat 100%	$e+a \cdot \exp(-b \cdot v)+c \cdot \exp(-d \cdot v)$	0,388635	0,039126	0,40557	0,1512	0,0798
Ford Transit						
Consum specific de combustibil [g/km]	$c \cdot v^2+b \cdot v+a$	137,42	-2,506	0,0198		
Raport hidrogen:carbon	2					
Emisii CO [g/km]	$c \cdot v^2+b \cdot v+a$	1,076	-0.026	$2,23 \cdot 10^{-4}$		
Emisii VOC [g/km]	$c \cdot v^2+b \cdot v+a$	0,2162	$-2,84 \cdot 10^{-3}$	$1,75 \cdot 10^{-5}$		

Tabelul 2 (continuare)

Caracteristici	Parametri de calcul	a	b	c	d	e
	MAN					
Consum specific de combustibil [g/km]						
gol	$1/(c*v^2+b*v+a)$	0,001815	0,000236	$-2*10^{-6}$		
incarcata 100%	$1/(c*v^2+b*v+a)$	0,002052	0,000147	$-1,1*10^{-6}$		
Raport hidrogen:carbon	2					
Emisii CO [g/km]						
gol	$e+a*exp(-bv)+c*exp(-dv)$	2,472764	0,065895	2,76986	0,2811	0,5881
incarcata 100%	$1/(c*v^2+b*v+a)$	0.136364	0.028946	-0.00018		
Emisii VOC [g/km]						
gol	$e+a*exp(-bv)+c*exp(-dv)$	0.585419	0.038256	0.930444	0.1248	0.1249
incarcata 100%	$a+b/(1+exp(-c))+d*ln(v)+ev$	0.116944	1.3027	3.429955	1.4137	0.0092

În cazul variantelor A1 și A2, emisiile specifice de gaze cu efect de seră și eficiența energetică a celor două soluții de transport a deșeurilor de la punctele de colectare la rampa ecologică sunt redată în figurile 3 și 4.

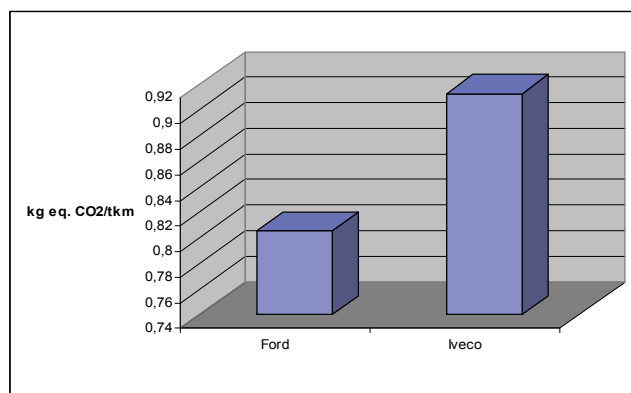
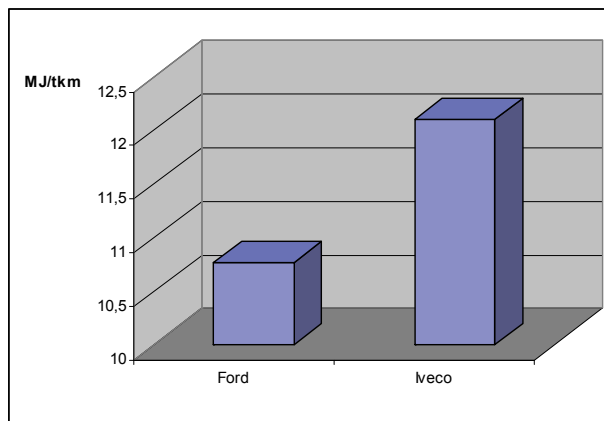


Fig. 3 – Emisii eq. CO₂ raportate la prestație (variante A1 și A2).

Fig. 4 – Eficiența energetică a prestației (variante A1 și A2).



Comune variantelor A1 și A2 sunt emisiile datorate transportului de la rampa ecologică la centrele de prelucrare/valorificare (fig. 5).

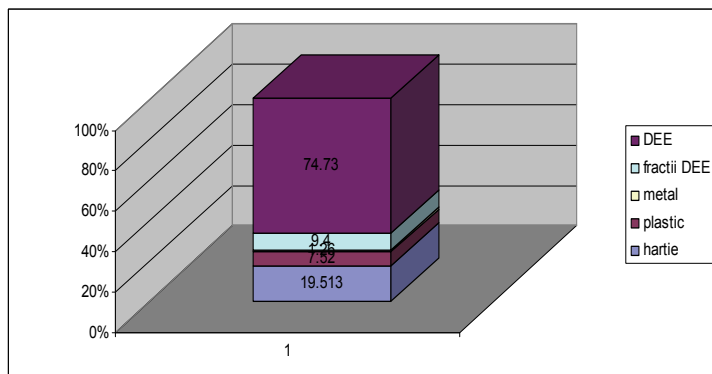
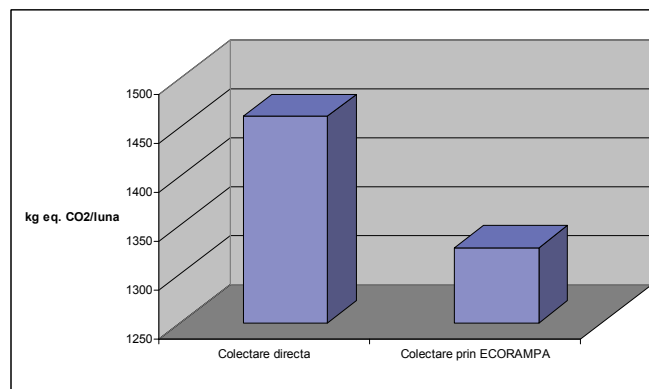


Fig. 5 – Emisii de gaze cu efect de seră – transportul deșeurilor la centrele de reciclare.

În cazul colectării deșeurilor la rampa ecologică, sortării și expedierii ulterioare, nivelul total al emisiilor gazelor cu efect de seră este de 1327 kg/lună, reprezentând 90,82% din emisiile corespunzătoare transportului direct între punctele de colectare și centrele de reciclare (fig. 6).

Fig. 6 – Emisii eq. CO₂ pentru sistemul de colectare direct și cel indirect.



În cazul colectării deșeurilor la ECORAMPA, sortării și expedierii ulterioare, eficiența energetică a transportului este superioară, consumul specific de energie reprezentând 79,1% din consumul specific transportului direct între punctele de colectare și centrele de reciclare (fig. 7).

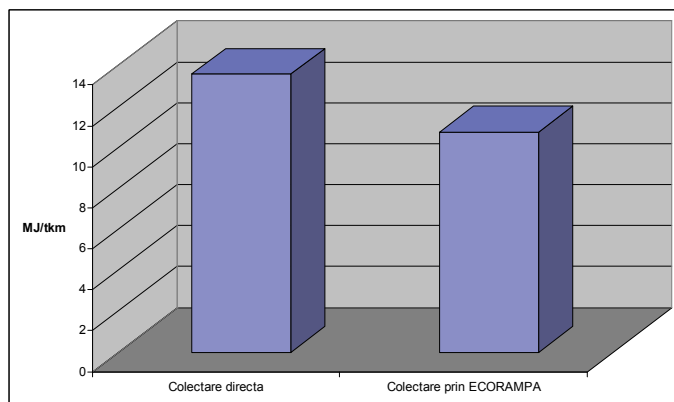


Fig. 7 – Eficiența energetică pentru sistemul de colectare direct și cel indirect.

Dincolo de avantajele variantei A, corespunzătoare sistemului structurat ierarhic cu rampa ecologică drept centru de sortare și consolidare a transferurilor către centrele mari de colectare/reciclare trebuie să menționăm că varianta B, așa cum în parte am mai amintit, este condiționată de:

- existența la fiecare dintre cele 30 de puncte primare de colectare a unui spațiu corespunzător pentru 6 containere abroll;
- capacitatea fiecăruia dintre cele 30 de puncte primare de colectare de a realiza selecția adecvată a deșeurilor;
- existența unui parc de containere abroll de circa 5 ori mai mare.

Rezultatele prezentate în acest articol au fost obținute cu sprijinul Ministerului Muncii, Familiei și Protecției Sociale prin Programul Operational Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013, Contract nr. POSDRU/89/1.5/S/62557.

Bibliografie

1. UNEP, *E-waste - Volume II: E-waste Management Manual, United Nations Environment Programme*, 2009.
2. Rogers, D. S. and Tibben-Lembke, R. S., *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices*, University of Nevada, Reno, Reverse Logistics Executive Council, 1999.
3. De Brito, M. P., *Managing Reverse Logistics or Reversing Logistics Management*, The Erasmus Research Institute of Management (ERIM) PhD series, N.35, Erasmus University of Rotterdam, 2003.
4. Raicu Ș., Costescu D., Roșca E., Popa M., *Optimal planning of selective waste collection*, în Sustainable Development and Planning V (Eds: A. Brebbia, E. Beriatos), Wessex Institute of Technology, 2011.
5. J. Oliveira, J. Telhada, L. Dias and M. Figueiredo, *Improving the efficiency of the Portuguese WEEE collection system by using a web-based GIS application*, X Congreso Galego de Estatística e Investigación de Operacións Pontevedra, 2011.
6. Hishier R., *Does WEEE recycling make sense from an environmental perspective? The environmental impacts of the Swiss take-back and recycling systems for waste electrical and electronic equipment (WEEE)*, Environmental Impact Assessment Review, 25, 2005, 525-539.
7. Raicu, Ș., Popa, M., Roșca, E., Dragu, V., *Reverse logistics and space allocation for recovery management in new urban settlements*, în Theoretical and empirical researches in urban management (TERUM), 3(12)/2009, 37-48.
8. OECD, *Guidelines towards Environmentally Sustainable transport*, 2002.
9. European Environmental Agency (EEA), *Emissions Inventory Guide*, EEC, 2009.