



ЗРГИМ

XVI^{TO} СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:
Технологија на подземна и површинска експлоатација на
минерални сировини

ПОДЕКС – ПОВЕКС '25

Охрид
03 – 05. 10. 2025 год.

ПРИМЕНА НА ПОВЕКЕКРИТЕРИУМСКО ОДЛУЧУВАЊЕ ЗА ИЗБОР НА ОПТИМАЛНА РУТА ЗА ТРАНСПОРТ НА КОМУНАЛЕН ОТПАД

Стојанче Мијалковски¹, Димитар Белиќ¹

¹Факултет за природни и технички науки, Универзитет „Гоце Делчев“,
Штип, Северна Македонија

Абстракт: Еден од најважните аспекти во процесот за нормално функционирање на едно општество е управувањето со комуналниот отпад, односно изборот на локација на депонија и изборот на оптимална рута за транспорт на комуналниот отпад до депонијата. При изборот на оптимална рута за транспорт е потребно да се земат во предвид голем број на влијателни параметри, бидејќи во тој случај ќе се добие најсоодветната рута за транспорт. Примената на методите за повеќекритериумско одлучување се од голема важност за решавање на сложени и капитални проблеми, бидејќи овозможуваат разгледување на голем број влијателни параметри.

Во овој труд ќе бидат споменати неколку методи за повеќекритериумско одлучување, кои се имаат користено за избор на оптимална рута за транспорт, а потоа може да се изврши споредување на добиените резултати за да се одреди просечното рангирање на транспортните руту.

Клучни зборови: избор на транспортна рута, комунален отпад, методи за повеќекритериумско одлучување.

APPLICATION OF MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING FOR SELECTING THE OPTIMAL ROUTE FOR MUNICIPAL WASTE TRANSPORTATION

Stojance Mijalkovski¹, Dimitar Belik¹

¹Faculty of Natural and Technical Sciences, University “Goce Delcev”, Stip, North Macedonia

Abstract: One of the most important aspects in the process of normal functioning of society is municipal waste management, i.e. the selection of a landfill location and the selection of the optimal route for transporting municipal waste to the landfill. When choosing the optimal transport route, it is necessary to take into account a large number of influential parameters, because in this case the most suitable transport route will be obtained. The application of multi-criteria decision-making methods is of great importance for solving complex and capital problems, as they allow for the consideration of a large number of influential parameters.

This paper will mention several multi-criteria decision-making methods that have been used to select the optimal transport route, and then the results obtained can be compared to determine the average rank of transport routes.

Keywords: transport route selection, municipal waste, multi-criteria decision-making methods.

1. ВОВЕД

Инженерството за заштита на животната средина е област во која се среќаваме со многу сложени проблеми, кои честопати е потребно да се решаваат за многу краток временски период. Еден од најсложените проблеми е избор на локација на депонија и избор на оптимална рута за транспорт на комуналниот отпад до депонијата. Сложеноста на ова прашање потекнува од самиот факт дека избраната локација на депонијата и рутата за транспорт на отпадот имаат директно влијание врз финансиското работење на комуналното претпријатие.

Кога се врши избор на оптимална транспортна рута, потребно е да бидат земени во предвид голем број на влијателни параметри, кои можат да бидат квантитативни или квалитативни. Квантитативните параметри можат да бидат измерени или пресметани со примена на соодветни формули, додека пак квалитативните параметри неможат да се измерат и се дефинираат со описни оценки, па за да можат да бидат користени за понатамошни пресметувања потребно е да се трансформираат во нумерички вредности.

2. ПОВЕКЕКРИТЕРИУМСКО ОДЛУЧУВАЊЕ

Во денешно време се разработени голем број на методи за повеќекритериумско одлучување, односно оптимизациони методи и други квантитативни математички методи на операционите истражувања, кои можат да се применат во процесите на одлучување при планирање и проектирање во животната

средина [1, 2, 3]. Од оваа група на методи, според нивната примена, би можело да се издвојат следните групи на методи за моделирање:

- Модели на еднокритериумска оптимизација (на пример: линеарно програмирање, нелинеарно програмирање, динамичко програмирање итн.);
- Модели на повеќекритериумска оптимизација (на пример: метода ELECTRA, метода PROMETHEE, метода ANP, ANP – PROMETHEE интегрирана методологија, метода TOPSIS, метода VIKOR, метода EDAS, метода WPM и други);
- Математичко-моделски оптимизациони пристапи развиени за решавање на специјални случаи при планирање и проектирање во животната средина.

Математичко-моделските оптимизациони пристапи развиени за конкретни случаи при планирање и проектирање во животната средина, во основа се релативно добри решенија, бидејќи истите се дефинирани за моделирање на реален идентифициран проблем. Оваа методологија е многу ефикасна, но и изразито сложена. Сложеноста се состои од големиот обем на подготвителни работи за дефинирање и разработка на математичкиот модел, кој може да се примени за решавање на одреден вид на проблем со релативно добра адаптивност за примена во слични случаи.

Повеќекритериумската оптимизација за разлика од еднокритериумската, користи поголем број на критериуми (критериумски функции). Еднокритериумската оптимизација користи само еден критериум во оптимизацијата, со што значително се намалува и реалноста на решавањето на самиот проблем. Зголемувањето број на критериуми во моделите на повеќекритериумската оптимизација значат не само реализирање на моделирањето, туку и пред се зголемување на веродостојноста во добиените резултати. Процесот на оптимизација е во директна субјективна врска со доносителот на одлуката, односно експертот [4].

Големиот број на критериуми освен тоа што има свои предности, секако има и свои недостатоци. Недостатоците се предизвикани од големиот број на критериуми, од начинот на нивното дефинирање, дефинирањето на нивните влијанија, односно тежини во самиот модел, што од своја страна го прави овој процес на математичко моделирање комплексен. Дури и во денешни услови на развој на математиката како наука, не постои ниту една метода која би се карактеризирала со општост и моќност во решавањето на моделот [5, 6].

Историски гледано, развојот на методите за повеќекритериумската оптимизација започнал со решавање на проблеми чекор по чекор, односно се развивале методи за конкретни проблеми. Со понатамошно истражување дошло до нивно обопштување и развивање во општи - формализирани методи за решавање на група или класи на проблеми [5, 6].

Методите на повеќекритериумската оптимизација можат да се класифицираат во две поголеми групи, и тоа:

- Методи на повеќекритериумско одлучување или попознато како повеќекритериумска анализа;
- Методи на повеќекритериумско одлучување.

Иако методите на повеќекритериумската оптимизација се доста сложени, сепак истите имаат некои заеднички карактеристики како што се:

- Голем број на критериуми (ги креира доносителот на одлуката);
- Постојење на конфликтност помеѓу критериумите;
- Секој критериум има своја единица мерка и тежина (ретки се случаевите кога овој услов не е исполнет);
- Субјективност во оптимизацијата (влијанието на доносителот на одлуката);
- Решенијата на овие видови на проблеми се:
 - Проектирање на најдобри акции (алтернативи);
 - Избор на најдобра акција од множество на претходно дефинирани конечни акции.

3. НАЈЧЕСТО ПРИМЕНУВАНИ МЕТОДИ ЗА ПОВЕЌЕКРИТЕРИУМСКО ОДЛУЧУВАЊЕ

Во овој дел ќе бидат споменати најчесто применуваните методи за повеќекритериумско одлучување, кои се применуваат за решавање на различни проблеми од областа на заштитата на животната средина, како што е проблемот со избор на локација на депонија, оптимален избор на рута за транспорт на комунален отпад и др. [7, 8, 9].

3.1. Метода ELECTRA

Методата ELECTRE била развиена во шеесетите години [10, 11], бидејќи во тој период постоеле мал број на методи за повеќекритериумско одлучување. Од воведувањето на оваа метода до денес се развиени осум методи во рамките на семејството ELECTRE, а тоа се следниве: ELECTRE I, IS, Iv, II, III, IV, III-H and Tri. Сите методи од фамилијата на ELECTRE се развиени на ист фундаментален концепт, но се разликуваат во своите фази, односно секоја метода има специфична функција во поглед на видот на проблемот [9].

3.2. Метода АНП

Методата АНП била развиена од Saaty во 1980 год. [12], при што оваа метода дава можност за систематски процес за вклучување на факторите, како што се искуството или знаењето, логиката, емоциите и чувството на оптимизација во методологијата за донесување на одлуки. Оваа метода го поедноставува комплексниот проблем со помош на повеќе критериуми во хиерархиската структура [13]. Структурата на претставување на комплексниот проблем се врши во повеќе нивоа, каде првото ниво ја претставува целта, која е проследена со поднивоа, критериуми и подкритериуми, па се до последното ниво на алтернативите. Со помош на овој пристап, комплексниот проблем може да биде деконструиран во делови, а потоа да биде подреден во форма на хиерархија, така што проблемот ќе изгледа подобро структуриран и систематизиран. Оваа метода се состои од четири главни фази, кои е потребно редоследно да се извршуваат.

Методата АНП е генерализација на методата АНП и се занимава со зависностите [14]. Оваа метода овозможува моделирање на интеракциите, зависностите и повратните информации помеѓу различни критериуми и подкритериуми во форма на внатрешни и надворешни зависности или во форма на повратни информации од алтернативи на критериуми [9].

3.3. Метода PROMETHEE

Методата PROMETHEE била предложена од страна на Brans [15] (Brans, 1982), која служи за надминување на конечниот сет на алтернативи кои треба да бидат рангирани и избрани. Оригиналната метода била дополнета и проширена од страна на Brans и Vincke [16]. Конечниот сет на предодредени алтернативи се оценуваат според повеќе критериуми. Секој независен критериум е пондериран и треба да се избере соодветна функција за претпочитање. Функцијата за претпочитање ја опишува разликата помеѓу евалуациите на алтернативата за друга во преферентен степен [17]. Од воведувањето на оваа метода до денес се развиени шест методи во рамките на семејството PROMETHEE, а тоа се следниве: PROMETHEE I, II, PROSA (продолжение на методот PROMETHEE II), III, IV, V и VI. Секоја метода од семејството на PROMETHEE методата има специфична улога во однос на видот на проблемот кој се решава. Оваа метода користи шест генерализирани критериуми за прикажување на преференциите на доносителот на одлуките за конкретните критериуми. Врз основа на теоријата, равенките за методата и врз основа на наша проценка се усвојуваат типовите на генерализираните критериуми за конкретниот случај [9].

3.4. Метода TOPSIS

Методата TOPSIS била предложена и развиена од страна на Hwang and Yoon [18], а подоцна била проширена и усовршена од страна на Chen [19]. Според оваа метода најдобро рангирана алтернатива е онаа која што е најмногу оддалечена од негативното идеално решение (NIS), а во исто време е најблиску до позитивното идеално решение (PIS). Негативното идеално решение (NIS), претставува хипотетичка алтернатива која го максимизира критериумот за трошоци (CC), а во исто време го минимизира критериумот за бенифит (BC). Позитивното идеално решение (PIS) е спротивно од негативното идеално решение (NIS). Според оваа метода пресметувањата се одвиваат во неколку чекори, а најдобра алтернатива е онаа која има најголема оддалеченост од NIS и најмала Еуклидна (Euclidean) оддалеченост од PIS [20], односно методата TOPSIS истовремено ја зема во предвид оддалеченоста до NIS и до PIS. Оптимално или идеално решение е она решение кое е најдалеку од NIS, а најблиску до PIS [9].

3.5. Методата VIKOR

Методата VIKOR била предложена од страна на Opricovic во 1998 година, при што конечната одлука се донесува како компромисно решение со избор на една алтернатива од група на расположиви алтернативи и врз основа на повеќе критериуми [21]. Воведен е индекс за рангирање со повеќе критериуми врз основа на одредена мерка за блискост до идеалното решение, односно растојание до целта [22]. Според оваа метода, рангирањето на алтернативите се врши во неколку чекори и спрема три скаларни величини, кои независно се оценуваат според критериумите [9].

3.6. АНП-PROMETHEE интегрирана метода

Macharis и други истражувачи во 2004 година вршеле анализирање на добрите и лошите страни на методите АНП и PROMETHEE, при што направиле компаративна анализа за следниве елементи: структурирање на проблемот, основните вредности на одлучувањето, одредување на тежините,

третман на недоследностите, управување со проблемот за промена на рангот, извлекување на евалуацијата, поддршка на групни одлуки, можност за визуелизација на проблемот и достапност на софтверски пакети. Врз основа на оваа компаративна анализа се дошло до заклучок дека голем број на поволни карактеристики на методата АНП би можеле да ја подобрат методата PROMETHEE, при структурирање на проблемот со одлучањето и одредувањето на тежините. Тежините на критериумите што се добиени со помош на методата АНП имаат поголемо ниво на конзистентност, корелација, кохерентност и точност во однос на тежините кои се дефинирани врз основа на интуиција или знаење на специјалистот за одредена област, што обично се користи кај методата PROMETHEE [23, 24]. Според оваа комбинирана метода за одлучување, најпрвин се врши пресметка за тежините на критериумите според АНП методата, а понатамошната пресметка се врши со PROMETHEE II методата [9].

3.7. Методата EDAS

Методата EDAS ја предложил Mehdi Keshavarz Ghorabaee во 2016год. [25], а дополнително ја развил Aggarwal во 2018год [26]. Оваа метода претставува евалуација заснована на растојанието од просечното решение или на скратено само EDAS. Растојанието се пресметува во позитивна и негативна насока во однос на просечното решение, поединечно и соодветно за избраните корисни или некорисни критериуми [25]. Кај оваа метода највисоките вредности на позитивното растојание од просечното решение и најмалите вредности на негативното решение го даваат најдоброто решение од просечното решение [26]. Резултатот што е добиен од просечното решение ги нормализира податоците, со што се минимизира можноста за отстапување од најдоброто решение [9].

4. ЗАКЛУЧОК

Секоја сериозна компанија кога врши избор на локација или врши оптимален избор на транспортна рута, мора да се земат во предвид колку што е можно повеќе влијателни параметри. Одлуката за избор на оптимална рута за транспорт на комунален отпад е многу сложен процес, врз кој имаат влијание многу параметри, кои имаат различна тежина. Некои од овие влијателни параметри се квалитативни и многу тешко можат да се измерат, па поради тоа описно се оценуваат и потоа се врши нивна трансформација во бројчени вредности.

Менаџерскиот тим на компанијата има најголемо влијание при изборот на оптималната рута за транспорт на комуналниот отпад. Кога се донесува конечната одлука за избор на оптималната транспортна рута, задолжително се вклучуваат претставници од производството, инженерството, логистиката, финансискиот сектор и планирањето (доколку таков сектор постои во компанијата).

Примената на методите за повеќекритериумско одлучување овозможуваат избор на најсоодветна алтернатива од множество на предложени алтернативи, кои што се споредуваат според повеќе влијателни критериуми. Изборот на оптимална транспортна рута може да се врши со примена на повеќе методи за повеќекритериумско одлучување, како што се: АНП, ELECTRE, PROMETHEE, TOPSIS, VIKOR, EDAS, АНП-PROMETHEE и други. Откако ќе се изврши рангирање на алтернативите според различните методи за повеќекритериумско одлучување, потоа се врши споредување на добиените резултати и на тој начин се избира оптималната транспортна рута, што е од многу голема важност за решавање на ова многу сложено и одговорно прашање.

Нареден чекор во истражувањето на оваа проблематика може да биде и примена на различни FUZZY методи за повеќекритериумско одлучување, а потоа споредување на нивните добиени резултати.

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Десподов З.: *Одредување на оптимални параметри на лентестите транспортери за нивна примена во рудниците за метални минерални сировини со подземна експлоатација во Р. Македонија*, Докторска дисертација (непубликувана), Рударско-геолошки факултет, Штип, 2002;
- [2] Мијалковски С.: *Придонес во утврдувањето на методологија за избор на метода за откопување во рудниците за подземна експлоатација на метални минерални сировини*, Магистерски труд (непубликуван), Факултет за природни и технички науки, Штип, 2009;
- [3] Панов З.: *Повеќекритериумски математичко-моделски пристапи при планирање и проектирање на површинските копови*, Докторска дисертација (непубликувана), Рударско-геолошки факултет, Штип, 2001;
- [4] Панов Зоран: *Одлучување во рударството*, Факултет за природни и технички науки, Штип, 2016.
- [5] Мијалковски С., Десподов З., Мираковски Д., Хаџи-Николова М., Донева Н., Гоцевски Б.: *Избор на рударска откопна метода со примена на АНП-PROMETHEE интегрираната методологија*, ПОДЕКС-ПОВЕКС'12, Штип, 2012.

- [6] Мијалковски С., Донева Б., Каранакова Стефановска Р., Зенделска А., Митев Т.: *Примена на повеќекритериумската оптимизација за решавање на проблеми во рударството*, ПОДЕКС'09, Македонска Каменица, 2009.
- [7] Mijalkovski S., Peltecki D., Despodov Z., Mirakovski D., Adjiski V., Doneva N.: *Methodology for underground mining method selection*, Mining science, 28 (1), pp. 201-216, 2021.
- [8] Mijalkovski S., Efe F.O., Zeqiri K. Chapter 3: *Application of Multi-Criteria Decision-Making Methods for the Underground Mining Method Selection*, In: Handbook of Research on Sustainable Consumption and Production for Greener Economies, IGI GLOBAL, Pennsylvania, pp. 42-57, 2023.
- [9] Mijalkovski S., Zeqiri K., Mirakovski D., Mijalkovska D.: *Selecting a mining warehouse location*, Mining science, 31 (1), pp. 231-247, 2024.
- [10] Benayoun, R., Roy, B., Sussman, N.: *ELECTRE: Une méthode pour guider le choix en présence de points de vue multiples*, Report, SEMA-METRA International, Direction Scientifique, 1966.
- [11] Roy, B.: *Classement et choix en présence de points de vue multiples (La méthode ELECTRE)*, Revue Française D Informatique de Recherche Operationnelle, Année 2, No.8, pp. 57–75, 1968.
- [12] Saaty, T.: *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York, 1980.
- [13] Saaty, T.L., Vargas, L.G.: *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*, International series in operations research & management science, Springer Science+Business Media, LLC, Vol.34, 2001.
- [14] Saaty, T.L.: *The Analytic Network Process*, Iranian Journal of Operations Research, Vol.1, No.1, pp. 1–27, 2008.
- [15] Brans, J.: *L'ingénierie de la décision; Elaboration d'instruments d'aide à la décision. La méthode PROMETHEE*, Québec, Canada: Presses de l'Université Laval, pp. 183-214, 1982.
- [16] Brans, J.P., Vincke, P.: *A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making)*, Management Science, 31 (6), pp. 647–656, 1985.
- [17] Brans, J., Vincke, P., Mareschal, B.: *How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method*, European Journal of Operational Research, 24 (2), pp. 228–238, 1986.
- [18] Hwang, C.L., Yoon, K.: *Multiple Attribute Decision Making, Methods and Applications A State-of-the-Art Survey*. Part of the *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems* book series. Vol. 186. Springer, Berlin, Heidelberg, 1981.
- [19] Chen, C.T.: *Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment*, Fuzzy Sets and Systems, 114 (1), pp. 01-09, 2000.
- [20] Parida, P.K.: *A general view of TOPSIS method involving multi-attribute decision making problems*, International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE), 9 (2), pp. 3205-3214, 2019.
- [21] Opricovic, S., Tzeng, G.H.: *Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS*, European Journal of Operational Research, 156 (2), pp. 445-455, 2004.
- [22] Gao, Z., Liang, R.Y., Xuan, T.: *VIKOR method for ranking concrete bridge repair projects with target-based criteria*, Results in Engineering, 3 (1), pp. 1-9, 2019.
- [23] Bogdanovic, D., Nikolic, D., Ilic, I.: *Mining method selection by integrated AHP and PROMETHEE method*, Annals of the Brazilian Academy of Sciences, 84 (1), pp. 219–233, 2012.
- [24] Turcksin, L., Bernardini, A., Macharis, C.: *A combined AHP-PROMETHEE approach for selecting the most appropriate policy scenario to stimulate a clean vehicle fleet*, Procedia-Social and Behavioral Sciences, Vol.20, pp. 954-965, 2011.
- [25] Ghorabae, M.K., Zavadskas, E.K., Amiri, M., Turskis, Z.: *Extended EDAS method for multi-criteria decision-making: An application to supplier selection*, International journal of computers communications & control, 11(3), pp. 358-371, 2016.
- [26] Aggarwal A., Choudhary C., Mehrotra D.: *Evaluation of smartphones in Indian market using EDAS*, International Conference on Computational Intelligence and Data Science (ICCIDS 2018), ScienceDirect, 132, pp. 236–243, 2018.