

# THE INVESTMENT RISK IN SEWAGE TREATMENT PLANTS USING THE ELECTRE III METHOD

## RISCUL DE INVESTIȚII ÎN STAȚIILE DE EPURARE A APELOR REZIDUALE UTILIZÂND METODA ELECTRE III

Marian TVETSTANSCHI\*, Dan ROBESCU

University "Politehnica" of Bucharest, Faculty of Power Engineering, Department of Hydraulic, Environmental Engineering Hydraulic Machinery, Romania, e-mail: mariantvetstanschi@yahoo.com

### THE INVESTMENT RISK IN SEWAGE TREATMENT PLANTS USING THE ELECTRE III METHOD

**ABSTRACT.** The purpose of this paper is to analyze the main wastewater treatment plants (WWTP) of Romania and to rank them in terms of operating performance (efficiency and economy) in 2011. Six municipal wastewater treatment plants in Romania were taken into account: Constanța Sud WWTP, Mangalia WWTP, Arad WWTP, Cluj-Napoca WWTP, Constanța Nord WWTP and Cernavodă WWTP. The multiple criteria selected were the volume of water treated ( $m^3$ ), operating expenses (lei), electric energy consumption (kWh), specific costs (lei/ $m^3$ ) which were used to rank WWTPs using the ELECTRE III method. It was found that top ranked WWTPs in terms of performance are those where significant investments were made for retechnologization and upgrade.

**KEY WORDS:** treatment plants, ranking, investment risk, ELECTRE III

### RISCUL DE INVESTIȚII ÎN STAȚIILE DE EPURARE A APELOR REZIDUALE UTILIZÂND METODA ELECTRE III

**REZUMAT.** Scopul lucrării constă în analiza principalelor stații de epurare (SE) din România și realizarea unui clasament al acestora din punctul de vedere al performanței de operare (eficienței energetice și economice) la nivelul anului 2011. S-au luat în discuție șase stații de epurare municipale din România: SE Constanța Sud, SE Mangalia, SE Arad, SE Cluj-Napoca, SE Constanța Nord și SE Cernavodă. S-au selectat drept criterii multiple volumul de apă tratată ( $m^3$ ), cheltuielile de operare (lei), energia electrică consumată (kWh), costurile specifice (lei/ $m^3$ ) care s-au folosit la realizarea clasamentului SE cu ajutorul metodei ELECTRE III. S-a constatat că SE clasate pe primele locuri ca performanță sunt cele la care s-au realizat investiții de retehnologizare și modernizare importante.

**CUVINTE CHEIE:** stații de epurare, clasament, risc de investiții, ELECTRE III

### LE RISQUE D'INVESTISSEMENT DANS LES STATIONS DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES EN UTILISANT LA MÉTHODE ELECTRE III

**RÉSUMÉ.** Le but de cet article est d'analyser les principales stations de traitement des eaux usées (STEP) en Roumanie et d'en réaliser un classement en termes de performance opérationnelle (efficience et économie) en 2011. On a analysé six usines municipales de traitement des eaux usées en Roumanie: STEP Constanța Sud, STEP Mangalia, STEP Arad, STEP Cluj-Napoca, STEP Constanța Nord et STEP Cernavodă. On a choisi comme multiples critères le volume d'eau traitée ( $m^3$ ), les dépenses d'exploitation (lei), la consommation d'énergie (kWh), les coûts spécifiques (lei/ $m^3$ ) qui ont été utilisés pour réaliser le classement à l'aide de la méthode ELECTRE III. On a trouvé que les STEP classées en haut en tant que la performance sont ceux qui ont investi significativement dans la rénovation et la modernisation.

**MOTS CLÉS:** stations de traitement, classement, risques d'investissement, ELECTRE III

## INTRODUCTION

Most urban treatment plants (WWTP) in Romania are inefficient and require significant investments in retechnologization and upgrading in order to improve their performance.

Upgrading of treatment plants is an immediate consequence of achieving environmental targets in line with the EU Accession Treaty, Chapter 22, Environment [1], Directive 91/271/CEE [2] regarding urban wastewater treatment, modified and complemented by Directive 98/15/EC [3], fully transposed into Romanian legislation through GD 188/28.02.2002 [4] for approval of norms regarding the conditions of discharging wastewater into the water environment, and with National Plan of Wastewater Management

## INTRODUCERE

Marea majoritate a stațiilor de epurare orășenești (SE) din România sunt ineficiente și necesită importante investiții în retehnologizare și modernizare în vederea îmbunătățirii performanțelor.

Modernizarea stațiilor de epurare este o consecință imediată a îndeplinirii obiectivelor de mediu armonizate cu tratatul de aderare la UE, capitolul 22, Mediu [1], Directiva 91/271/CEE [2] privind epurarea apelor uzate urbane, modificată și completată prin Directiva 98/15/EC [3], care a fost transpusă în întregime în legislația românească prin HG 188/28.02.2002 [4] pentru aprobarea unor norme privind condițiile de descărcare în mediul acvatic a apelor uzate, și cu Planul național de gestionare a

\* Correspondence to: Marian TVETSTANSCHI, University "Politehnica" of Bucharest, Faculty of Power Engineering, Department of Hydraulic, Environmental Engineering Hydraulic Machinery, Romania, e-mail: mariantvetstanschi@yahoo.com

[5], the Regional Plan, including the County Plan of Wastewater Management.

Drinking water supply and wastewater collection and treatment in cities of Romania are important priorities undertaken in the Treaty of Accession. Implementation of Directive 91/271 EEC on urban wastewater treatment is a complex and expensive issue, assessed, according to the Plan of Implementation of the Directive (2004), to 9.5 billion euro for investments, of which 5.7 billion euro for wastewater treatment and 3.8 billion euro for sewerage systems.

According to the Romanian report on Strategic Evaluation on Environment and Risk Prevention, developed by ECOLAS&GHK for the European Commission regarding water supply/wastewater treatment and investment needs for the period 2007-2013, Romania ranks second after Poland.

The factors that have led to the need to access funds for upgrade, retechnology and expansion of wastewater treatment plants (WWTPs) are the following:

1. Modest performance of treatment plants built in 1960-1975 generated by:

- advanced wear of mechanical and electrical equipment;
- low yields from mechanical-biological treatment plants and sludge stabilization;
- insufficient capacity and improper final disposal of sludge.

2. Large urban development in the coastal area;

3. The need to implement all EU directives on the quality of treated wastewater and sludge generated as a result of treatment;

4. Complying with international conventions on environmental protection (Black Sea Convention and the Danube Pollution Reduction Program).

Romania has benefited and still benefits from important EU financial instruments that provide the financial support necessary for completion of investment in the infrastructure of sewerage and wastewater treatment, namely:

- three main pre-accession instruments: PHARE, ISPA and SAPARD. Pre-accession funds continued for projects financed until 2010.

apelor uzate [5], Planul regional, inclusiv Planul județean de gestionare a apelor uzate.

Asigurarea alimentării cu apă potabilă și a colectării-epurării apelor uzate în aglomerările umane din România reprezintă priorități importante asumate și prin prevederile Tratatului de Aderare. Implementarea Directivei 91/271 CEE privind epurarea apelor uzate urbane reprezintă o problemă complexă și foarte costisitoare, fiind evaluată conform Planului de implementare al Directivei (2004) la 9,5 miliarde euro pentru investiții, din care 5,7 miliarde euro pentru stațiile de epurare și 3,8 miliarde euro pentru sistemele de canalizare.

În conformitate cu raportul de țară privind România asupra Evaluării Strategice a Mediului și Prevenirea Riscurilor, elaborat de ECOLAS&GHK pentru Comisia Europeană, în ceea ce privește alimentarea cu apă/epurarea apelor uzate și necesitățile de investiții pentru perioada 2007-2013, România se află pe locul doi, după Polonia.

Factorii care au condus la necesitatea accesării de fonduri pentru modernizarea, retehnologizarea și extinderea stațiilor de epurare (SE) sunt:

1. Performanțele modeste ale stațiilor de epurare construite în anii 1960-1975 generate de:

- uzura avansată a echipamentelor mecanice și electrice;
- randamente scăzute la instalațiile de tratare mecano-biologică și stabilizare nămoluri;
- capacitate insuficientă și improprie de depozitare finală a nămolurilor.

2. Dezvoltarea urbanistică de ampoloare în zona litorală;

3. Necesitatea implementării tuturor directivelor UE privind calitatea apelor uzate epurate și a nămolurilor generate prin epurare;

4. Respectarea convențiilor internaționale privind protecția mediului (Convenția Mării Negre și Programul de reducere a poluării fluviului Dunărea).

România a beneficiat și beneficiază de importante instrumente financiare ale Uniunii Europene care îi permit asigurarea susținerii financiare necesare pentru realizarea lucrărilor de investiții în infrastructura din domeniul canalizării și epurării apelor uzate, și anume:

- trei instrumente principale de pre-adereare: PHARE, ISPA și SAPARD. Fondurile de pre-adereare au continuat pentru proiectele finanțate până în anul 2010.

- the Sectoral Operational Programme Environment (SOP ENV) [6] is the document which sets out the strategy for the allocation of European funds to develop the environmental sector in Romania, between 2007 and 2013. The overall objective of SOP ENV is to protect and improve the environment quality and living standards in Romania, while contributing to compliance with environmental acquis. For Priority Axis 1 "Extension and modernization of water and wastewater systems", total funding is 3.27 billion euro, of which 2.78 billion euro is provided through the cohesion funds, and the rest through national contribution [7].

The current state of research about the risk of investment in treatment plants stands out in several articles whose main objective is to decrease energy consumption and reduce investment costs. To reduce investment costs, the optimization of costs and modernization are necessary [8].

The objective of this study is to provide a ranking of municipal wastewater treatment plants in terms of energy and economic efficiency in 2011.

Six wastewater treatment plants (WWTP) were analyzed, and in order to study the energy performance, the ELECTRE III method was used.

## EXPERIMENTAL

### Municipal Treatment Plants (WWTP)

#### *Constanța Nord WWTP [9]*

Constanța Nord WWTP has a capacity of 1920 l/second, sized for 255,000 PE (population equivalent) and provides wastewater treatment for the northern area of the city and for Mamaia resort. The plant is equipped with the latest technology, with extended aeration, including biological removal of nitrogen and phosphorus, aerobic stabilization and sludge dewatering.

Moreover, it solves the problem of uncontrolled discharges into the Black Sea, untreated wastewater, and effective treatment is performed to the standards set by the EU.

- Programul Operațional Sectorial de Mediu (POS Mediu) [6] este documentul care stabilește strategia de alocare a fondurilor europene în vederea dezvoltării sectorului de mediu în România, în perioada 2007-2013. Obiectivul global al POS Mediu îl constituie protecția și îmbunătățirea calității mediului și a standardelor de viață în România, contribuind în același timp la conformarea cu acquis-ul comunitar de mediu. Pentru Axa priorității 1 "Extinderea și modernizarea sistemelor de apă și apă uzată" finanțarea totală este de 3,27 miliarde Euro, din care 2,78 miliarde Euro asigurate prin fondurile de coeziune, restul prin contribuție națională [7].

Stadiul actual al cercetării privind riscul de investiții în stațiile de epurare este subliniat în mai multe articole al căror obiectiv major este reducerea consumului de energie și a costurilor de investiții. Pentru a reduce costul de investiții sunt necesare optimizarea costurilor și modernizarea [8].

Obiectivul acestui studiu constă în realizarea unui clasament al unor stații de epurare municipale din punctul de vedere al eficienței energetice și economice la nivelul anului 2011.

S-au analizat șase stații de epurare (SE), iar pentru studierea performanțelor energetice s-a folosit metoda ELECTRE III.

## PARTEA EXPERIMENTALĂ

### Stații de epurare municipale (SE)

#### *SE Constanța Nord [9]*

Stația de Epurare Constanța Nord are o capacitate de 1920 l/secundă, dimensionată pentru 255.000 PE (populație echivalentă) și va asigura tratarea apelor uzate pentru zona de nord a orașului și stațiunea Mamaia. Stația este prevăzută cu ultima tehnologie în domeniul, cu aerare prelungită, inclusiv îndepărțarea biologică a azotului și fosforului, stabilizarea aerobă și deshidratarea nămolului.

Totodată, se rezolvă și problema descărcărilor necontrolate în Marea Neagră, a apelor uzate neepurate și se realizează tratarea eficientă a acestora la standardele prevăzute de UE.

***Constanța Sud WWTP [9]***

The plant services nearly three quarters of the population equivalent of Constanța and takes 60% of the waste water circulated through the city network. Daily, 100 tons of dewatered sludge resulting from the treatment process leave the plant. Upgrading works will ensure removal of extremely dangerous compounds, nitrogen and phosphorus, from the treated water that reaches the Black Sea, sludge fermentation process will be reduced to eliminate odor and a biogas generator unit will be built. To reduce maintenance costs, three wind turbines will be installed and a generating unit that will work with biogas from the fermentation process will be built. Thus, it will provide even more energy than is actually required for plant operation, and the surplus will be transferred, free-of-charge, to the electricity network of the city [9]. The work is expected to be completed in late 2013. A total of over 15.7 million lei will be invested, without VAT. The investment contract is part of the "Rehabilitation and modernization of water supply and sewage in the Constanța-Ialomița region" project, as part of SOP Environment.

***Mangalia WWTP [9]***

The new investment will service a population of 45,000 inhabitants during the winter, and more than 100,000 people during the summer season.

Contracts for execution of works "Wastewater Discharge Pipeline in the Black Sea from Mangalia City Treatment Plant" will have a major impact on the environment. It regards bathing water quality, its purity, raising the dolphin flag on the beach, which means that tourism will develop significantly. The discharge pipeline in Mangalia will be operated by the Mangalia wastewater treatment plant, which is operational and transports purified water at a distance of 3 km and a half at sea. Investment in Mangalia WWTP amounts up to 4 million euro.

***Cernavodă WWTP [9]***

It will continue to ensure all technological processes necessary, with subsequent construction of

***SE Constanța Sud [9]***

Stația deservește aproape trei sferturi din numărul de locuitori echivalenți ai municipiului Constanța și preia 60% din apă uzată vehiculată prin rețeaua orașului. Zilnic, de aici sunt transportate 100 de tone de nămol deshidratat, rezultat din procesul de epurare. Prin lucrările de modernizare, vor fi eliminați din apă epurată care ajunge în Marea Neagră compușii extrem de periculoși, azotul și fosforul, se va reduce procesul de fermentare a nămolului, pentru a dispărea mirosul neplăcut și se va construi un grup generator pe bază de biogaz. Pentru a reduce costurile de menenanță, se vor instala trei turbine eoliene și se va construi un grup generator care va funcționa cu biogazul rezultat în urma procesului de fermentare. În acest fel, se va asigura chiar mai multă energie decât cea necesară în prezent pentru funcționarea stației, urmând ca surplusul să fie vărsat, gratuit, în rețeaua de energie electrică a orașului [9]. Lucrările se estimează că se vor încheia la finele anului 2013. În total, vor fi investite peste 15,7 milioane de lei, fără TVA. Contractul de investiții face parte din Proiectul „Reabilitarea și modernizarea sistemului de alimentare cu apă și de canalizare din regiunea Constanța-Ialomița”, fiind componentă a Programului Operațional Sectorial de Mediu.

***SE Mangalia [9]***

Noua investiție va deservi pe timpul iernii o populație de 45.000 locuitori, iar pe timpul sezonului estival, peste 100.000 de locuitori.

Contractele de execuție a lucrărilor „Conducta de descărcare în Marea Neagră aferentă Stației de Epurare Mangalia” vor avea un impact major asupra mediului. Este vorba despre calitatea apei de îmbăiere, despre puritatea ei, punând pe plajă steagul cu delfin, ceea ce înseamnă că turismul va avea o dezvoltare deosebită. La conducta de descărcare în mare de la Mangalia va opera Stația de epurare de la Mangalia, care este în funcțiune și duce apă epurată la 3 km și jumătate în largul mării. Investiția de la Stația de Epurare Mangalia are valoarea de 4 milioane de euro.

***SE Cernavodă [9]***

Se va asigura în continuare întregul flux tehnologic necesar, continuându-se cu construcția stației de

the treatment plant in two stages, plus the sludge treatment plant, having capacity for a maximum flow of 200 liters/second, ending with the system of discharging treated water in the discharge channel of cooling water from CNE Cernavodă. According to data from the project, the plant will be designed for a daily flow of wastewater of 17,280 cubic meters/day, of which 60% will be allocated to the population, in relation to its daily consumption, generated by 34,230 inhabitants. The construction was sized for these values taking into account the prospects of population growth until 2020. Not only does the investment meet the needs of the population and the ecosystem, but it will also improve infrastructure by establishing a centralized wastewater collection system through the sewage network, leading to protection of groundwater through the abolition of discharges to the ground surface.

#### *Arad WWTP [10, 11]*

For the "Rehabilitation of wastewater treatment facilities to protect the Mureş river, located in Arad, Arad County" project 18 million euros were allocated, of which 13.5 million euros (75% of funding) is a grant from the European Union (allocated from the ISPA fund) and 4.5 million euros (25% of funding) is an EBRD loan made by CAA Arad and guaranteed by Arad County Council.

Construction works were conducted in 2004-2008. The main objective of the rehabilitation project was to render the treatment process effective so that the wastewater treatment plant effluent would be within the limits set by Romanian and the European Community standards, as well as those stipulated in the cross-border agreement. At the end of this project, Arad had a modern and clean treatment plant, with advanced technology for water treatment which will have a positive impact on the city and the environment. The quality of the discharged water has increased significantly, providing intensification in the use of the Mureş river area as a place of recreation (camping, fishing, swimming) and local tourism development.

epurare în două trepte, plus cea de tratare a nămolurilor, capacitatea pentru un debit maxim de 200 litri/secundă, finalizându-se cu sistemul de evacuare a apelor epurate în canalul de descărcare a apelor de răcire de la CNE Cernavodă. Potrivit datelor din proiect, stația va fi dimensionată pentru un debit zilnic al apei uzate de 17.280 mc/zi, din care 60% va fi alocat populației, raportat la un consum zilnic al acesteia, generat de 34.230 de locuitori. Dimensionarea construcției pentru aceste valori s-a făcut luându-se în calcul perspectivele privind creșterea numărului de locuitori până la nivelul anului 2020. Investiția nu numai că vine în întâmpinarea necesităților populației și ecosistemului, dar va îmbunătăți și infrastructura prin realizarea unui sistem centralizat de colectare a apelor uzate prin rețeaua de canalizare, ducând la protejarea apelor subterane prin desființarea descărcărilor la nivelul suprafeței solului.

#### *SE Arad [10, 11]*

Pentru proiectul "Reabilitarea Facilităților de tratare a apelor uzate pentru protejarea râului Mureș, localizat în Arad, județul Arad" au fost alocate 18 milioane de Euro din care 13,5 milioane Euro (75% din finanțare) reprezintă un împrumut nerambursabil de la Uniunea Europeană (alocat din fondul ISPA), iar 4,5 milioane Euro (25% din finanțare) este împrumut BERD făcut de CAA Arad și garantat de Consiliul Județean Arad.

Lucrările de construcții s-au desfășurat în perioada 2004-2008. Obiectivul principal al proiectului de reabilitare a fost eficientizarea procesului de tratare astfel încât efluentul Stației de Epurare să se încadreze în limitele prevăzute de standardele românești, cele ale Comunității Europene și cele prevăzute în acordul transfrontalier. La finalul acestui proiect, Aradul are o Stație de Epurare modernă, curată, cu o tehnologie avansată de tratare a apei care va avea un impact pozitiv asupra orașului și asupra mediului. Calitatea apei deversate a crescut semnificativ, asigurând intensificarea folosirii zonei râului Mureș ca loc de agrement (camping, pescuit, înot) și pentru dezvoltarea turismului local.

***Cluj-Napoca WWTP [12]***

The wastewater treatment plant in Cluj district Someșeni was modernized by means of the "Rehabilitation and expansion of the Cluj-Napoca treatment plant" contract, undertaken by the project co-financed by the Cohesion Fund of the European Union within the Sectoral Operational Programme (SOP) Environment.

The Cluj-Napoca treatment plant (Someșeni) services the city of Cluj-Napoca and upstream villages Florești, Gilău, Baciu and Săvădisla, about 360,000 permanent inhabitants or, where applicable, 440,000 people, if you take into account students and pupils from other localities. After the modernization, the Cluj plant can process no less than 111,000 cubic meters of wastewater per day. In order to control excess flow, four stormwater basins of 7,300 cubic meters were arranged. As a novelty, the Cluj treatment plant has a modern tertiary wastewater treatment stage, for biological and chemical elimination of phosphorus and nitrogen. Also, the treatment plant is a major producer of green energy; about half of electricity and heat for its operation is produced from biogas derived from sewage sludge.

Upgrading the wastewater treatment plant from Cluj-Napoca is part of major investment project "Expansion and rehabilitation of water and wastewater systems from Cluj/Sălaj", co-financed by the European Union, totaling 196.9 million euros, carried out by SOMEŞ Water Company between 2009 and 2013. Non-reimbursable EU contribution amounts to 74%, that of the Romanian Government to 11.3%, that of local authorities in the project area to 1.9% and the remaining 12.8% are obtained by SOMEŞ Water Company through a bank loan. Contract for "Rehabilitation and expansion of the Cluj-Napoca WWTP" amounts to over 147.95 million lei, without VAT.

***SE Cluj-Napoca [12]***

Stația de Epurare din cartierul clujean Someșeni a fost modernizată prin contractul "Reabilitarea și extinderea stației de epurare Cluj-Napoca", contract derulat prin Proiectul co-finanțat din Fondul de Coeziune al Uniunii Europene în cadrul Programului Operațional Sectorial (POS) Mediu.

Stația de Epurare Cluj-Napoca (Someșeni) deservește municipiul Cluj-Napoca și comunele din amonte Florești, Gilău, Baciu și Săvădisla, cca 360.000 de locuitori stabili sau, după caz, 440.000 de locuitori, dacă sunt luați în calcul studenții și elevii din alte localități. În urma lucrărilor de modernizare, stația din Cluj poate să proceseze nu mai puțin de 111.000 de metri cubi de apă menajeră pe zi. Pentru controlul debitului în exces au fost amenajate patru bazine de colectare a apei pluviale de 7.300 metri cubi. Ca o noutate, stația de epurare Cluj are o modernă treaptă terțiară de epurare a apelor uzate, destinată eliminării fosforului și azotului pe cale biologică și chimică. De asemenea, Stația de Epurare este și un important producător de energie verde, cca jumătate din necesarul de energie electrică și termică pentru funcționarea ei fiind produs din biogazul rezultat din nămolul de epurare.

Modernizarea Stației de Epurare Cluj-Napoca face parte din proiectul major de investiții "Extinderea și reabilitarea sistemelor de apă și apă uzată din județele Cluj / Sălaj" co-finanțat de Uniunea Europeană, în valoare totală de 196,9 milioane euro derulat prin Compania de Apă SOMEŞ în perioada 2009-2013. Contribuția nerambursabilă a Uniunii Europene se cifrează la 74%, cea a Guvernului României la 11,3%, a autorităților locale din aria proiectului la 1,9%, restul de 12,8% fiind obținut de Compania de Apă SOMEŞ prin credit bancar. Contractul pentru "Reabilitarea și extinderea stației de epurare Cluj-Napoca" se ridică la peste 147,95 milioane lei, fără TVA.

Table 1: Existing treatment technologies in plants after upgrading

Tabelul 1: Tehnologii de epurare existente la stațiile de epurare după modernizare

| Treatment plant<br><i>Stația de epurare</i> | Equivalent population<br><i>Locuitori echivalenți</i> | Installed capacity, l/s<br><i>Capacitate instalată, l/s</i> | Current treatment technology<br><i>Tehnologia actuală de epurare</i>  | Treatment technology implemented through POSM program<br><i>Tehnologia de epurare implementată prin programul POSM</i>   |
|---|---|---|---|--|
| Constanța Sud [13]                          | 461.000   | 3.200   | Conventional mechanical-biological treatment, anaerobic sludge stabilization, sludge dewatering and storage<br>Plant upgraded through M.U.D.P. II<br><i>Epurare convențională mecano-biologică, stabilizarea anaerobă a nămolului, deshidratare și depozitare nămol</i><br><i>Stație modernizată prin M.U.D.P. II</i>   | Advanced biological treatment (nitrification, denitrification, phosphorus chemical disposal), UV disinfection, cogeneration<br><i>Epurare biologică avansată (nitrificare, denitificare, eliminare chimică fosfor), dezinfecție cu UV, cogenerare</i>  |
| Constanța Nord [13]                         | 255.000   | 1.920   | Mechanical treatment stage, advanced biological treatment (nitrification-denitrification and biological dephosphorization) aerobic sludge stabilization, dewatering, storage<br>Plant upgraded through I.S.P.A.<br><i>Treapta mecanică, epurare biologică avansată (nitrificare-denitificare și defosforizarea biologică) stabilizare aerobă nămol, deshidratare, depozitare</i><br><i>Stație modernizată prin I.S.P.A.</i>           | Installation for control and reduction of odor around objects that emit odor, including sludge removal step<br><i>Instalații de control și reducerea mirosului în zona obiectelor ce degajă miros, inclusiv mutarea treptei nămolului</i>  |
| Mangalia [13]                               | 62.450  | 900   | Conventional mechanical-biological treatment, anaerobic sludge stabilization, sludge dewatering and storage<br>Plant rehabilitated through LSIF<br><i>Epurare convențională mecano-biologică, stabilizarea anaerobă a nămolului, deshidratare și depozitare nămol</i><br><i>Stație reabilitată prin LSIF</i>  | Advanced biological treatment (nitrification, denitrification, phosphorus chemical disposal), UV disinfection, effluent discharge line at 2,000 m offshore and -14 m level<br><i>Epurare biologică avansată (nitrificare, denitificare, eliminare chimică fosfor), dezinfecție cu UV, conductă de descărcare efluent în mare la 2000 m în larg și cota -14 m</i> |
| Cernavodă [13]                              | 26.260  | 260   | Mechanical treatment stage, advanced biological treatment (nitrification-denitrification and biological dephosphorization), aerobic sludge stabilization, dewatering<br>Treatment plant put into operation in 2009-2010<br><i>Treapta mecanică, epurare biologică avansată (nitrificare-denitificare și defosforizarea biologică) stabilizare aerobă nămol, deshidratare</i><br><i>Stație de epurare pusă în funcție în 2009-2010</i> | Stormwater retention basin<br><i>Bazin retenție ape pluviale</i>   |

Table 1: Continued  
Tabelul 1: Continuare

| Treatment plant<br><i>Stația de epurare</i> | Equivalent population<br><i>Locuitori echivalenți</i> | Installed capacity, l/s<br><i>Capacitate instalată, l/s</i> | Current treatment technology<br><i>Tehnologia actuală de epurare</i>   | Treatment technology implemented through POSM program<br><i>Tehnologia de epurare implementată prin programul POSM</i> |
|---|---|---|--|--|
| Arad [10, 11]                               | -   | 976   | Mechanical treatment stage, biological treatment, sludge treatment and dewatering<br>Plant upgraded through I.S.P.A.<br><i>Treapta de tratare mecanică, tratarea biologică, tratarea și deshidratarea nămolului</i>  | -  |
| Duș [12]                                    | 360.000 - 440.000                                     | -   | Fat separation, separation of sand and other materials, aeration, secondary settling. Tertiary stage was also introduced<br>Treatment plant put into operation in 2013<br><i>Separare de grăsimi, separarea de nisip și materiale glosiere, aerarea, decantare secundară. S-a introdus și treapta terțiară</i><br><i>Stație de epurare pusă în funcție în 2013</i> | -  |

### ELECTRE III Method

The ELECTRE method, in its various forms, was designed by Bernard Roy [14] in response to the deficiencies of decision making [15, 16]. ELECTRE III is used when it is possible to quantify the relative importance of the criteria [17]. Another feature of ELECTRE method that sets it apart from other methods is the use of multiple criteria [18-23].

The algorithm [14] of the method involves the following steps:

- Step 1: Editing the reference project

Editing the specifications of the owner and a short description of the problem.

- Step 2: The definition of the criteria

The software allows only five criteria in the analysis. Descriptive data associated to the defined criteria should be introduced:

- the code of each criterion;
- the value of each criterion;
- the direction of each criterion: ascending/descending.

### Metoda ELECTRE III

Metoda ELECTRE, în diferitele sale forme, a fost concepută de Bernard Roy [14] ca răspuns la deficiențele existente de luarea deciziilor [15, 16]. Metoda ELECTRE III este utilizată atunci când este posibilă cuantificarea importanței relative a criteriilor [17]. O altă caracteristică a Metodei ELECTRE care o distinge de restul metodelor este utilizarea mai multor criterii [18-23].

Algoritmul [14] metodei presupune parcurgerea următorilor pași:

- Pasul 1: Editarea proiectului de referință  
Editarea caietului de sarcini al proprietarului și o scurtă descriere a problemei.
- Pasul 2: Definirea criteriilor de analiză  
Software-ul permite doar 5 criterii în analiză. Trebuie introduse date descriptive asociate criteriilor definite:
  - codul fiecărui criteriu;
  - valoarea fiecărui criteriu;
  - direcția fiecărui criteriu: crescătoare/descrescătoare.

The value of the criterion is a value which expresses the relative importance of a criterion which satisfies the other criteria. ELECTRE normalizes values so that all add up to 1.

- Step 3: Defining alternatives

The set of variants is defined.

- Step 4: Evaluation of alternatives: the table of performances

Once the criteria and variants are defined, the software is run in order to introduce the data regarding the performances of the variants and criteria. A table of performances is necessary, in which alternatives are evaluated one by one, respecting each criterion. A measurement scale is chosen that describes the particulars of each variant associated with each criterion. The available data from the general table of performance built can be used, to see each feature of each variant.

- Step 5: Defining thresholds

The threshold is a limit which is chosen to determine the point where each element changes class. Thresholds are used to consider hesitation. The ELECTRE III method uses three types of thresholds:

- the preference threshold, denoted by p, defines the point where an element is strictly preferable in a relationship with the other element;

- the indifference threshold, denoted by q, which defines an interval in which 2 elements are considered equal;

- the veto threshold, denoted by v, is a limit to the credibility of the relationship between the 2 elements is refused.

The thresholds must be determined using the following formula:

$$T_j = \alpha * g_j(a) + \beta \quad (1)$$

where:

- $T_j$  is indifference, preference or the veto threshold associated of j criterion;

- $g_j(a)$  is the performance of the variant associated with j criterion;

- $\alpha$  is a coefficient from 0 to 1. It can also be considered a percentage of version performance that the decision maker has accepted;

- $\beta$  is a coefficient that can be interpreted as the amount that the decision maker would earn if he

Valoarea criteriului este o valoare ce exprimă importanța relativă a unui criteriu care respectă celelalte criterii. ELECTRE normalizează valorile, astfel încât toate să însumeze valoarea 1.

- Pasul 3: Definirea alternativelor

Se definește setul de variante.

- Pasul 4: Evaluarea variantelor: tabelul performanțelor

După definirea criteriilor și variantelor se rulează programul pentru a introduce datele referitoare la performanțele variantelor și criteriilor. Este necesară introducerea unui tabel al performanțelor în care variantele sunt evaluate una câte una, respectând fiecare criteriu. Se alege o scară de măsură care să descrie datele particulare ale fiecărei variante cu fiecare criteriu asociat. Se pot folosi datele disponibile din tabelul general de performanță construit pentru a vedea și reaminti caracteristicile fiecărei variante.

- Pasul 5: Definirea pragurilor

Pragul este o limită care este aleasă pentru a stabili punctul de la care fiecare element își schimbă clasa. Pragurile sunt folosite pentru a lua în considerare ezitările. Metoda ELECTRE III are trei tipuri de praguri pe care le folosește:

- pragul de preferință, notat cu p, definește punctul de la care un element este strict preferat într-o relație cu alt element;

- pragul de indiferență, notat cu q, care definește un interval în care 2 elemente sunt considerate egale;

- pragul de veto, notat cu v, este o limită la care credibilitatea relației dintre 2 elemente este refuzată.

Pragurile trebuie stabilite cu ajutorul următoarei formule:

unde:

- $T_j$  reprezintă indiferență, preferință sau pragul de veto asociat criteriului j;

- $g_j(a)$  reprezintă performanța variantei a cu criteriul asociat j;

- $\alpha$  este un coeficient de la 0 la 1. Poate fi considerat și procentaj al performanței variantei pe care decidentul a acceptat-o;

- $\beta$  este un coeficient care poate fi interpretat ca suma pe care decidentul ar câștiga-o dacă ar

tolerates instead the change of the percentage. It is expressed in the same measurement units as a performance scale.

To determine thresholds, the decision maker must determine the parameters  $a$  and  $b$  according to his perceptions about the limits of preference and indifference.

- Step 6: Calculation

We consider:

- $w_j$  the value associated with each  $g_j$  criterion;
- $g_j(a_i)$  the performance of variant  $a_i$  which satisfies the  $g_j$  criterion;
- $q_j$  indifference threshold;
- $p_j$  preference threshold.

The following index of the concordances  $c(a,b)$  is calculated for each rewarded action of the decision maker:

$$\text{where: } W = \sum_{j=1}^n w_j$$

$$c(a,b) = (1/W) \sum_{j=1}^n w_j c_j(a,b) \quad (2)$$

unde:

$$c_j(a,b) = \begin{cases} 1 & \text{dacă } g_j(a) + q_j(g_j(a)) \geq g_j(b) \\ 0 & \text{dacă } g_j(a) + p_j(g_j(a)) \leq g_j(b) \end{cases} \quad (3)$$

Then, the discrepancy index is calculated using the following relationship:

$$D_j(a,b) = \begin{cases} 0 & \text{dacă } g_j(b) \leq g_j(a) + p_j(g_j(a)) \\ 1 & \text{dacă } g_j(b) \geq g_j(a) + v_j(g_j(a)) \end{cases} \quad (4)$$

where  $v_j$  is the veto threshold, which means that any credibility between  $a$  and  $b$  is refused if:

$$g_j(a) \geq g_j(b) + v_j(g_j(b)).$$

tolera în schimb modificarea procentajului. Este exprimat în aceeași unitate de măsură ca scală de performanță.

Pentru a stabili pragurile, decidentul trebuie să stabilească valorile parametrilor  $a$  și  $b$  în concordanță cu percepțiile lui privind limitele preferinței și indiferenței.

- Pasul 6: Calculul

Considerăm:

- $w_j$  valoarea asociată fiecărui criteriu  $g_j$ ;
- $g_j(a_i)$  performanța variantei  $a_i$  care respectă criteriul  $g_j$ ;
- $q_j$  pragul de indiferență;
- $p_j$  pragul de preferință.

Următorul index al concordanțelor  $c(a,b)$  este calculat pentru fiecare acțiune răsplătită a decidentului:

Apoi, indexul de discordanță este calculat cu relația următoare:

unde  $v_j$  este pragul de veto, care înseamnă că orice credibilitate în intervalul  $a$  și  $b$  este refuzat dacă:

$$g_j(a) \geq g_j(b) + v_j(g_j(b)).$$

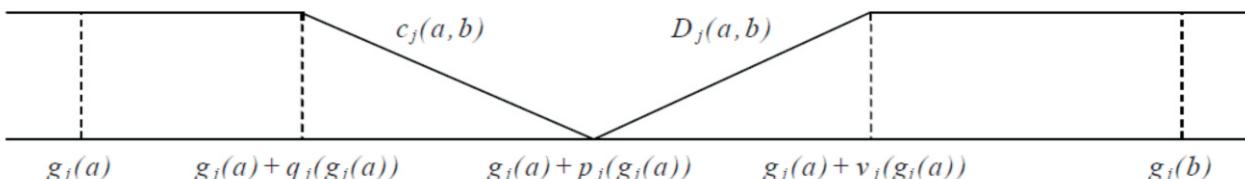


Figure 1. Ascending distillation  
Figura 1. Distilare ascendentă

Then, the degree of the distance interval (outranking) for any pair of variables  $(a, b)$  is calculated as follows:

Apoi, gradul de depărtare de interval (outranking) pentru orice pereche de variante  $(a, b)$  este calculat astfel:

$$S(a,b) = \begin{cases} c(a,b) & \text{dacă } D_j(a,b) \leq c(a,b), \forall j \\ c(a,b) * \prod_{j \in J(a,b)} (1 - D_j(a,b)) / (1 - c(a,b)) & \text{în caz contrar} \end{cases} \quad (5)$$

where  $J(a,b)$  is the set of criteria for which  $D_j(a,b) > c(a,b)$ .

Variants are ranked by distillation procedures. Thus, a  $\lambda = \max S(a,b)$  value is determined by considering each pair of variables  $(a,b)$ . Then, only the pairs of variables that are sufficiently close to  $\lambda$  are believed to be accurate enough to be used in the thresholds  $s(\lambda)$ . Then the threshold of  $Q(a)$  can be calculated, which is the number of actions that are outside the range of  $a$ , minus the number of actions outside  $a$ . The set of actions with the highest  $Q(a)$  threshold will be called the first distillate,  $D_1$ . If  $D_1$  contains only the action, the distillation procedure starts from  $A/D_1$ , otherwise the same procedure is applied to  $D_1$ . If the second distillation obtained,  $D_2$ , is unique, the procedure is repeated again in  $D_1/D_2$  (except when  $D_2$  is equal to zero); otherwise it is applied to  $D_2$  and so on until  $D_1$  is used complete to start with  $A/D_1$ . This procedure, called descending distillation chain produces a first ranking. A second classification is achieved through an ascending distillation chain, where actions which have the lowest grades are chosen first. These first two rankings are then compared to each other. If there are closed intervals, the decision maker considers an average ranking. If they are very different, a further study is required.

- Step 7: The results obtained using ELECTRE III [24].

ELECTRE III shows the results for the descending chain, the ascending chain and the final ranking. Then it generates a graph of classification.

## RESULTS AND DISCUSSIONS

ELECTRE III software is used for small-size classifications, but yields very good results. In this paper it was used to rank the main wastewater treatment plants (WWTP) in Romania in terms of their performance, namely: Constanța Sud WWTP, Mangalia WWTP, Arad WWTP, Cluj-Napoca WWTP, Constanța Nord WWTP and Cernavodă WWTP.

unde  $J(a,b)$  este setul de criterii pentru care  $D_j(a,b) > c(a,b)$ .

Clasamentul variantelor se realizează prin proceduri de distilare. Astfel, o valoare  $\lambda = \max S(a,b)$  este determinată, considerând fiecare pereche de variante  $(a,b)$ . Apoi, doar perechile de variante care sunt suficient de apropiate de  $\lambda$  sunt considerate corecte de folosit în pragurile  $s(\lambda)$ . Apoi pragul  $Q(a)$  poate fi calculat, care este numărul acțiunilor care sunt în afara intervalului lui  $a$ , minus numărul acțiunilor exterioare lui  $a$ . Setul de acțiuni care au cel mai mare prag  $Q(a)$  va fi numit primul distilat  $D_1$ . Dacă  $D_1$  conține doar acțiunea, procedura de distilare pornește din nou din  $A/D_1$ ; contrar, aceeași procedură este aplicată în  $D_1$ . Dacă a doua distilare  $D_2$  care este obținută este singulară, procedura este reluată din nou în  $D_1/D_2$  (cu excepția când  $D_2$  este nul); altfel este aplicată în  $D_2$  și aşa mai departe până când  $D_1$  este folosit complet până a începe cu  $A/D_1$ . Această procedură, numită lanț de distilare descendentală, produce o primă clasare. O a doua clasare este obținută printr-un lanț de distilare ascendent, în care acțiunile care au cele mai mici calitative sunt reținute primele. Aceste două prime clasamente sunt apoi comparate între ele. Dacă sunt intervale închise, decidentul consideră un clasament median. Dacă sunt foarte diferite, este necesar un studiu mai profundat.

- Pasul 7: Rezultatele obținute cu metoda ELECTRE III [24].

ELECTRE III prezintă rezultatele pentru lanț descendental, lanțul ascendent și clasamentul final. Apoi, se generează un grafic al clasificării obținute.

## RESULTATE ȘI DISCUȚII

Software-ul ELECTRE III este folosit pentru clasificări de mici dimensiuni, dar cu rezultate foarte bune. În cadrul acestei lucrări a fost folosit pentru clasificarea principalelor stații de epurare din România din punctul de vedere al performanțelor acestora, și anume: SE Constanța Sud, SE Mangalia, SE Arad, SE Cluj-Napoca, SE Constanța Nord și SE Cernavodă.

Input data for ELECTRE III software were processed from the county wastewater reports [9-12] for 2011, taking into account key indicators (multiple criteria): volume of treated water ( $m^3$ ), operating expenses (lei), electricity consumption (KWh), specific cost (lei/ $m^3$ ), according to Table 2.

Table 2: Main indicators selected as multiple criteria  
Tabelul 2: Indicatori principali selectați drept criterii multiple

| Variant / Wastewater treatment plant<br><i>Varianta / Stația de epurare</i> | Cr01<br>Volume of treated water, $m^3$<br><i>Volum de apă tratată, m<sup>3</sup></i> | Cr02<br>Operating expenses, lei<br><i>Cheltuieli de operare, lei</i> | Cr03<br>Amount of electricity consumed, KWh<br><i>Cantitatea de energie electrică consumată, KWh</i> | Cr03<br>Specific cost, lei/ $m^3$<br><i>Cost specific, lei/<math>m^3</math></i> | Cr03<br>Specific cost, KWh/ $m^3$<br><i>Cost specific, KWh/<math>m^3</math></i> |
|---|--|--|--|---|---|
| A001<br>Constanța Sud   | 24.499.152   | 3.901.375  | 4.361.520  | 0.1592  | 0.178   |
| A002<br>Mangalia  | 4.575.849  | 1.107.276  | 1.003.853  | 0.2720  | 0.219   |
| A003<br>Arad  | 321.673  | 777.962  | 784.576  | 0.782   | 0.788   |
| A004<br>Cluj-Napoca   | 748.556  | 486.723  | 987.672  | 0.654   | 0.561   |
| A005<br>Constanța Nord  | 17.062.863   | 2.997.590  | 3.846.857  | 0.1757  | 0.226   |
| A006<br>Cernavodă   | 961.403  | 569.017  | 441.322  | 0.5919  | 0.459   |

The evaluation of treatment plants involves comparison criteria, marked CR01 to CR05, associated with subjective features, and each station was considered a variant, marked A001 to A006.

After applying the calculation process, the software provides detailed information that can be found in Figure 2.

Datele de intrare în software-ul ELECTRE III au fost preluate din rapoartele județene de epurare a apelor [9-12] pentru anul 2011, luându-se în considerare principali indicatori (criterii multiple): volum de apă tratată ( $m^3$ ), cheltuieli de operare (lei), energia electrică consumată (KWh), cost specific (lei/ $m^3$ ), conform Tabelului 2.

Evaluarea stațiilor de epurare presupune criterii de comparare notate de la Cr01 la Cr05, având asociate caracteristici subiective, iar fiecare stație a fost considerată o variantă, notată de la A001 la A006.

În urma aplicării procesului de calcul, software-ul oferă următoarele informații detaliate, care se regăsesc în Figura 2.

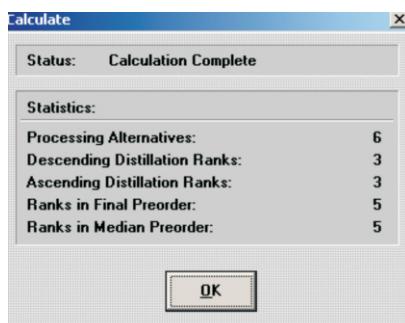


Figure 2. Calculation statistics  
Figura 2. Statisticile calculului

It is noted that the distillation is carried out in three stages in both phases, descending and ascending, and that the ranking was obtained throughout the five stages.

In the next step the matrix of concordances is calculated, presented in Table 3.

Table 3: Matrix of concordances  
Tabelul 3: Matricea concordanțelor

| Variant<br>Varianta | A001 | A002 | A003 | A004 | A005 | A006 |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|
| A001                | 1    | 0.87 | 0.72 | 0.79 | 0.89 | 0.88 |
| A002                | 1    | 1    | 0.82 | 0.89 | 1    | 1    |
| A003                | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    |
| A004                | 1    | 1    | 1    | 1    | 0.99 | 1    |
| A005                | 1    | 1    | 0.81 | 0.88 | 1    | 1    |
| A006                | 1    | 1    | 0.85 | 0.92 | 1    | 1    |

The concordance values are easy to interpret. Once the values of the criteria have been subjectively established and similar values, the concordance can be expressed as a percentage of the criterion for which an alternative is better than another. For example, a value of 0.80 to C(A1,A2) means that for 4 out of 5 criteria, alternative 1 was as good as alternative 4. Only for criterion 1, alternative 2 was superior to alternative 1.

By means of the distillation process, we obtained rankings that take into account the criteria set out at the beginning of the analysis. The ascending distillation (Figure 3) was achieved from the lowest qualified alternatives, following calculation, up to the alternative with the best results, namely, alternative 1 represented by Constanța Sud wastewater treatment plant.

Se observă că procesul de distilare se realizează în 3 etape în ambele faze, descrescătoare și crescătoare și că s-a obținut preclasamentul tot în 5 etape.

La pasul următor se calculează matricea concordanțelor, prezentată în Tabelul 3.

Valorile concordanțelor sunt ușor de interpretat. Odată ce valorile criteriilor au fost stabilite subiectiv și valori apropiate, valoarea concordanței poate fi exprimată ca procent al criteriului pentru care o alternativă este mai bună decât alta. De exemplu, valoarea de 0.80 corespunzătoare C(A1, A2) înseamnă că pentru 4 din 5 criterii, alternativa 1 a fost la fel de bună ca alternativa 4. Numai pentru criteriul 1, alternativa 2 a fost superioară alternatiei 1.

Cu ajutorul procesului de distilare, s-au obținut clasamente care țin cont de criteriile stabilite la începutul analizei. Distilarea ascendentă (Figura 3) s-a realizat de la alternativele cel mai slab calificate în urma calculului până la alternativa cu rezultatele cele mai bune, adică varianta 1 reprezentată de stația de epurare Constanța Sud.

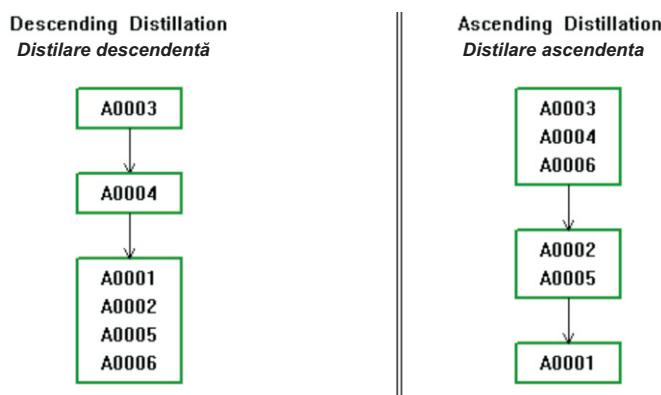


Figure 3. Preliminary ranking provided by the distillation process

Figura 3. Clasamentul preliminar oferit de procesul de distilare

Variants in the same box are ranked as occupying the same place, which means they are equally good. Based on this order, the final ranking is generated, presented in Figure 4.

Variantele din același chenar sunt clasate pe același loc, adică sunt la fel de bune. Pe baza acestor ordonări, se generează clasamentul final, prezentat în Figura 4.

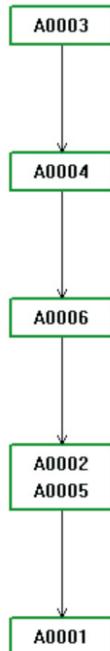


Figure 4. The final ranking of variants (treatment plants)  
Figura 4. Clasamentul final al variantelor (stațiile de epurare)

It is noted that alternatives 2 and 5 are ranked on the same level, because the software is sensitive to changes in the thresholds and values.

From the graph generated by the software results the final classification of treatment plants, presented in Table 4.

Se observă că alternativele 2 și 5 sunt clasate pe același nivel din cauză că software-ul este sensibil la modificările pragurilor și valorilor.

Din graficul generat de software rezultă clasamentul final al stațiilor de epurare prezentat în Tabelul 4.

Table 4: Final ranking of the treatment plants  
Tabelul 4: Clasamentul final al stațiilor de epurare

| Ranking<br><i>Clasament</i>             | Variant<br><i>Varianta</i> | Treatment plant<br><i>Stația de epurare</i> |
|---|----------------------------|---|
| 1 <sup>st</sup> Place<br><i>Locul 1</i> | A001                       | Constanța Sud                               |
| 2 <sup>nd</sup> Place<br><i>Locul 2</i> | A005<br>A002               | Constanța Nord<br>Mangalia                  |
| 3 <sup>rd</sup> Place<br><i>Locul 3</i> | A006                       | Cernavodă                                   |
| 4 <sup>th</sup> Place<br><i>Locul 4</i> | A004                       | Cluj-Napoca                                 |
| 5 <sup>th</sup> Place<br><i>Locul 5</i> | A003                       | Arad  |

Constanța Sud treatment plant ranked first, because it has the largest quantity of treated water with minimal energy consumed, followed by Constanța Nord and Mangalia, Cernavodă, Cluj and Arad.

Constanța Sud and Constanta Nord treatment plants, belonging to the RAJA group [9], rank first, also due to major investments in retechnologization.

## CONCLUSIONS

The purpose of this paper is to analyze the main wastewater treatment plants (WWTP) in Romania and to rank them in terms of operating performance (energy and economic efficiency) in 2011, using the ELECTRE III method. The multiple criteria selected were the volume of water treated ( $m^3$ ), operating expenses (lei), electric energy consumption (KWh), specific costs (lei/ $m^3$ ) which were used to rank WWTPs using the ELECTRE III method. The sensitivity limit or robustness of analysis occurred because the ranking process is considerably more sensitive to changes in performance than to changes in values and thresholds.

In the ranking obtained by applying the ELECTRE III method, Constanța Sud and Constanța Nord treatment plants, belonging to the RAJA group, ranked first due to major investments in retechnologization.

## REFERENCES

1. [http://ec.europa.eu/enlargement/archives/enlargement\\_process/future\\_prospects/negotiations/eu10\\_bulgaria\\_romania/chapters/chap\\_22\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enlargement/archives/enlargement_process/future_prospects/negotiations/eu10_bulgaria_romania/chapters/chap_22_en.htm)
2. Directive 91/271/CEE/1991
3. Directive 98/15/EC/1998
4. HG 188 / 28.02.2002
5. <http://www.rowater.ro/SCAR/Planul%20de%20management.aspx>
6. [http://www.fonduri-ue.ro/res/filepicker\\_users/cd25a597fd-62/Doc\\_prog/prog\\_op/4\\_POS\\_Mediu/POS%20Mediu.pdf](http://www.fonduri-ue.ro/res/filepicker_users/cd25a597fd-62/Doc_prog/prog_op/4_POS_Mediu/POS%20Mediu.pdf)
7. <http://www.rowater.ro/TEST/Brosura-ape-uzate-pentru-public-2012.pdf>
8. Rivas, A., Irizar, I., Ayesa, E., Model-based optimisation of Wastewater Treatment Plants Design, *Environ Modell Softw*, **2008**, 23, 435-450.
9. <http://www.rajac.ro/>

Po locul 1 s-a clasat stația de epurare Constanța Sud, deoarece are cea mai mare cantitate de apă tratată, cu un consum minim de energie electrică, urmată de Constanța Nord și Mangalia, Cernavodă, Cluj și Arad.

Stațiile de tratare SE Constanța Sud și SE Constanța Nord care aparțin grupului RAJA [9] sunt pe primele locuri, fapt datorat și investițiilor majore făcute pentru retehnologizarea acestora.

## CONCLUZII

Scopul lucrării este analiza principalelor stații de epurare (SE) din România și realizarea unui clasament al acestora în anul 2011 din punctul de vedere al performanței de operare (eficienței energetice și economice), folosind metoda ELECTRE III. S-au selectat drept criterii multiple volumul de apă tratată ( $m^3$ ), cheltuielile de operare (lei), energia electrică consumată (KWh), costurile specifice (lei/ $m^3$ ) care s-au folosit la realizarea clasamentului lor cu ajutorul metodei ELECTRE III. Limita de sensibilitate sau robustețea analizei problemei a apărut deoarece procesul de clasificare este considerabil mai sensibil la schimbări asupra performanței decât în modificările valorilor și pragurilor.

În clasamentul obținut prin aplicarea metodei ELECTRE III, stațiile de epurare SE Constanța Sud și SE Constanța Nord, care aparțin grupului RAJA sunt pe primele locuri, fapt datorat investițiilor majore în retehnologizarea acestora.

10. <http://www.caarad.ro/uploads/files/apearad%20corectat%20.pdf>
11. [www.apaarad.ro](http://www.apaarad.ro)
12. <http://www.cjcluj.ro/conferinta-presa-finalizare-lucrari-statie-epurare-cluj-napoca/>
13. <http://www.biotehnologia.ro/documente/dec2011/Raja%20Constanta.pdf>
14. Figueira, J., Mousseau, V., Roy, B., ELECTRE methods, in J. Figueira, S. Greco, and M. Ehrgott (eds.), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, 133-162, Springer Verlag, Boston, Dordrecht, London, **2005**.
15. Buchanan, J.T., Henig, E.J., Henig, M.I., Objectivity and subjectivity in the decision making process, *Ann Oper Res*, **1998**, 80, 333-345.
16. Roy, B., Decision science or decision-aid science?, *Eur J Oper Res*, **1993**, 66, 184-203.
17. Buchanan, J., Shepard, P., Vanderpooten, D., Project Ranking Using ELECTRE III, *J Multi-criteria Decis Anal*, **1999**, 7-19.
18. Hokkanen, J., Salminen, P., ELECTRE III and IV decision aids in an environmental problem, *J Multi-criteria Decis Anal*, **1997**, 6, 215-226.
19. Rogers, M., Bruen, M., Choosing realistic values of indifference, preference and veto thresholds for use with environmental criteria within ELECTRE, *Eur J Oper Res*, **1998a**, 107, 542-551.
20. Rogers, M., Bruen, M., A new system for weighting environmental criteria for use within ELECTRE III, *Eur J Oper Res*, **1998b**, 107, 552-563.
21. Roy, B., Classement et choix en présence de critères multiples (la méthode ELECTRE), *RIRO*, **1968**, 8, 57-75.
22. Roy, B., The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods, in C.A. Bana e Costa (ed.), *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*, **1990**, Springer-Verlag, 155-183.
23. Roy, B., Multicriteria Methodology for Decision Aiding, **1996**, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.
24. Roy, B., The outranking approach and the foundation of ELECTRE methods, *Theory and Decision*, **1991**, 31, 49-73.