



---

## ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

---

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*Διερεύνηση διαχείρισης υδατικών και ενεργειακών αναγκών  
στον ταμιευτήρα Στράτου με χρήση ΑΠΕ*

**Σπυροπούλου Σ. Κλεοπάτρα**

Επιβλέπων: Ευάγγελος Μπαλτάς, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2023



## ***ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ***

Η παρούσα διπλωματική αποτελεί το τελευταίο βήμα προς την ολοκλήρωση των σπουδών μου στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Πριν κλείσει το κεφάλαιο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που ήταν δίπλα μου καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, αλλά και αυτούς που συνέβαλαν στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Ευάγγελο Μπαλά, για τη συνεχή, και καθοριστικής σημασίας για τη διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας, επιστημονική του καθοδήγηση κατά τη διάρκεια εκπόνησης της.

Έπειτα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα Σοφία Σκρουφούτα, η οποία συνέβαλε καθοριστικά στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής και ήταν πάντα δίπλα μου για να με στηρίξει και να με βοηθήσει.

Ακόμα, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους καθηγητές της σχολής, που με καθοδήγησαν όλα αυτά τα χρόνια και που μετέδωσαν τις γνώσεις τους απλόχερα, καθώς και στους καθηγητές που αποτέλεσαν τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής, κ. Νικόλαο Μαμάση και κ. Ανδρέα Ευστρατιάδη.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους και συναδέλφους μου που στάθηκαν δίπλα μου όλα αυτά τα χρόνια και με βοήθησαν να ολοκληρώσω την σχολή μου, κάνοντας τη διαδρομή αυτή ευχάριστη και δημιουργική.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου, Βασιλική και Σωτήρη για τη στήριξή τους από την αρχή μέχρι και το τέλος των σπουδών μου, που ήταν δίπλα μου σε κάθε βήμα.

Κλεοπάτρα Σπυροπούλου

Νοέμβριος 2023



## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η διαχείριση της ενέργειας αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη με βιώσιμο τρόπο, λαμβάνοντας υπόψη τον αντίκτυπο που έχει προς το περιβάλλον. Για το λόγο αυτό, καθίσταται απαραίτητη η εφαρμογή στρατηγικών, σε παγκόσμιο επίπεδο, οι οποίες προωθούν την ενεργειακή αποδοτικότητα, την εξοικονόμηση ενέργειας και την ανάπτυξη της τεχνολογίας, που απευθύνεται στη διαχείριση και παραγωγή ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια, έχει σημειωθεί σημαντικό ενδιαφέρον για πολιτικές που προάγουν τα προαναφερθείσα, περιορίζοντας τη χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας, παράλληλα με τη διεύδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στο δίκτυο παραγωγής, η οποία όμως παραμένει ακόμα σε χαμηλό επίπεδο.

Η δυσκολία στην άμεση διεύδυση των ΑΠΕ στο δίκτυο και στην πλήρης αξιοποίηση του δυναμικού τους, οφείλεται στην αβεβαιότητα και στην αστάθεια που τις χαρακτηρίζουν. Σε μεγάλο βαθμό, η παραγόμενη ενέργεια από ΑΠΕ, επηρεάζεται από τη μεταβλητότητα των καιρικών συνθηκών. Επομένως, η ενέργεια που παράγεται δεν αντικατοπτρίζει την ενεργειακή ζήτηση, αλλά τη δυναμικότητα των καιρικών φαινομένων που πραγματοποιούνται τη δεδομένη στιγμή, όπως είναι ο άνεμος, η διαθέσιμη ηλιοφάνεια, ο κυματισμός της θάλασσας, η υδρολογική δίαιτα ενός ποταμού. Η αστάθεια των ΑΠΕ δύναται να αντιμετωπιστεί με την ανάπτυξη αποθηκευτικών συστημάτων ενέργειας και την εφαρμογή μεθόδων, οι οποίες προβλέπουν και διαχειρίζονται την παραγωγή ενέργειας. Επιπρόσθετα, η τεχνολογική πρόοδος και ο εκσυγχρονισμός των συστημάτων παραγωγής ενέργειας με ΑΠΕ, μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση της αβεβαιότητας, καθιστώντας τις ΑΠΕ όχι μόνο βιώσιμη, αλλά και αξιόπιστη πηγή ενέργειας.

Η τεχνολογία των συστημάτων αντλησιοταμίευσης, αντιπροσωπεύει ένα αποθηκευτικό σύστημα ενέργειας, που συμβάλλει στη βιώσιμη διαχείριση του ύδατος. Η διαδικασία λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος, περιλαμβάνει την άντληση νερού από χαμηλότερα επίπεδα σε υψηλότερα και την αποθήκευσή του, όταν η ζήτηση ενέργειας είναι χαμηλή, ενώ κατά τις ώρες αιχμής περιλαμβάνει την αντίθετη διαδικασία, προκειμένου να παραχθεί ενέργεια. Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η μελέτη ενός τέτοιου συστήματος αντλησιοταμίευσης στον ταμιευτήρα Στράτου.

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει την ευρύτερη έκταση γύρω από το ταμιευτήρα Στράτου. Χαρακτηρίζεται από το πλούσιο υδροδυναμικό της, καθώς βρίσκεται εντός της λεκάνης απορροής του ποταμού Αχελώου. Παράλληλα, η περιοχή είναι συνυφασμένη με τις έντονες βροχοπτώσεις που σημειώνονται καθόλη τη διάρκεια του έτους, καθιστώντας την πρόσφορη για μελλοντική έρευνα και επέκταση των συστημάτων παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Για την προσομοίωση του συστήματος, πραγματοποιείται έρευνα για τη θέση και τα τεχνικά χαρακτηριστικά ενός ταμιευτήρα ανάντη του ταμιευτήρα της Στράτου, μικρότερης δυναμικότητας. Επιπλέον, διερευνάται η τοποθέτηση ενός δικτύου ανεμογεννητριών, ανάντη των δύο ταμιευτήρων, με σκοπό την παραγωγή ενέργειας αποκλειστικά για το σύστημα αυτό.

Η προσομοίωση πραγματοποιείται για διάστημα 40 ετών, με ωριαίο χρονικό βήμα. Ακόμα, πραγματοποιείται προσομοίωση για ένα τυπικό εικοσιτετράωρο του Δεκεμβρίου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, πραγματοποιείται η αξιολόγηση του συστήματος αντλησιοταμίευσης, με βάση την αξιοπιστία και το ποσοστό κάλυψης των αναγκών.



## ***EXTENDED ARTICLE***

Energy management is a vital aspect of long-term economic and social growth, taking into consideration the environmental effect. As a result, it is vital to establish worldwide plans that encourage energy efficiency, energy savings, and the advancement of technologies targeted at energy management and production. In recent years, there has been considerable interest in policies that support the aforementioned, restricting the use of fossil fuels for energy production, as well as the penetration of Renewable Energy Sources (RES) in the production network, which unfortunately remains low.

The ambiguity and volatility that define RES, make direct entry into the network and full application of their capabilities challenging. The fluctuation of weather conditions has a considerable impact on the energy generated by RES. As a result, the energy generated does not represent energy demand, but rather the capacity of the meteorological phenomena occurring at the time, such as wind, available sunlight, sea waves, and a river's hydrological diet. The development of energy storage devices and the deployment of methodologies, that forecast and control energy output can help to solve the volatility of RES. Furthermore, technical advancement and the upgrading of energy production systems using RES can help to reduce uncertainty, making RES not only a sustainable, but also a dependable source of energy.

Pumped storage system technology is an energy storage system that contributes to the sustainable management of water. When energy demand is low, such a system operates by pumping water from lower to higher levels and storing it, but during peak hours, it operates in the reverse direction to create energy. This thesis investigates such a pumping and storage system in the Stratos reservoir.

The study area encompasses the wider region surrounding the Stratos reservoir. It is distinguished by its rich hydrodynamics, due to its location within the Acheloos River drainage area. At the same time, the area is intertwined with the intense rainfall that occurs throughout the year, making it suitable for future hydroelectric power generation system research and development. For the system simulation, research is being conducted on the location and technical characteristics of a reservoir with a smaller capacity upstream of the Stratos reservoir. Furthermore, the installation of a network of wind turbines upstream of the two reservoirs is being considered in order to produce energy solely for this system.

The simulation runs over a 40-year period with an hourly time step. A typical 24-hour day in December is also simulated. The reliability and rate of coverage of the needs of the pumped storage system are evaluated based on the results.

## **STUDY AREA**

The study area encompasses the larger area surrounding the Stratos reservoir. The suggested pumped storage project will cover the energy needs of the Municipality of Agrinio. According to the Hellenic Statistical Authority's 2021 survey, it is the largest municipality in the prefecture of Aitolokarnania, with a permanent population of 101,384 people. It has a total area of 1,246.65 km<sup>2</sup> and is surrounded by the municipalities of Thermo, Nafpaktia, I.P. Messolonghi, Xiromero, and Amfilochia.



Agrinio is also the Municipality's only city, accounting for half of its total population. The city's location is determined in the Municipality's center, between the river Acheloos on its right and the lake Trichonida on its southeast. Finally, it is worth noting that the reservoir's name is derived from the town of Stratos, which is located less than 2 km to the reservoir's left side.

The Stratos hydroelectric station is located 8 km from the Kastraki hydroelectric station and is the third and last dam on the Achelou River. It is in the prefecture of Aitolokarnania, northwest of Agrinio, and specifically next to the village of Stratou. It is a multipurpose dam since it is used for water supply, irrigation, energy production, and flood protection in downstream areas. The dam's construction was completed and it entered commercial operation in May 1989. It is an earthen dam with a central clay core 26 m high, a crown length of 1.9 km, and a base width of 100 m. The earth dam has a total volume of 2.8 hm<sup>3</sup>.

Table 1: Technical and functional characteristics of Stratos reservoir.

Area at normal pool level (km <sup>2</sup> )	Useful capacity (hm <sup>3</sup> )	Minimum pool level (m)	Normal pool level (m)
7.40	13.00	67.00	68.60

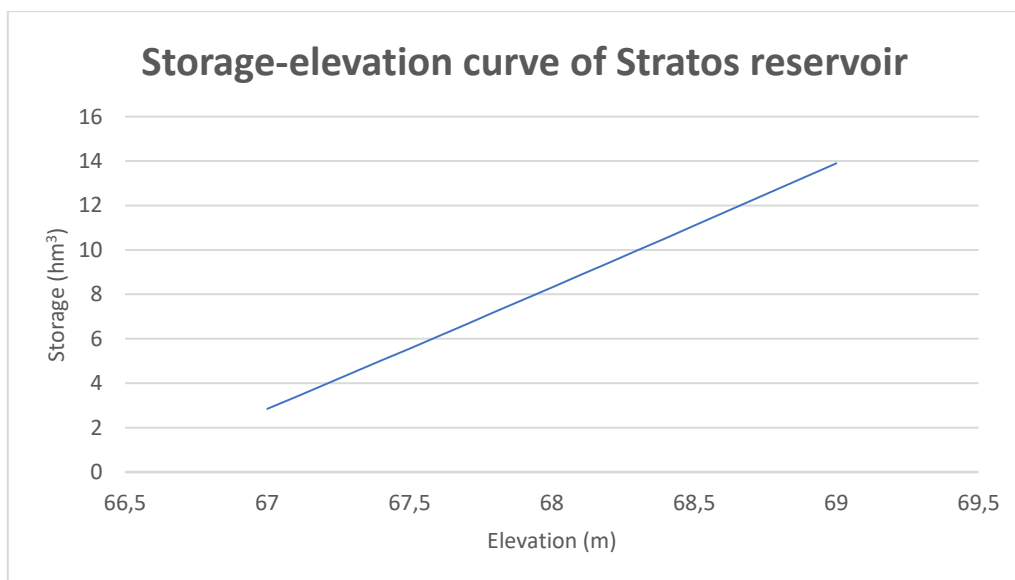


Chart 1: Storage – elevation curve of Stratos reservoir.

## DATA PROCESSING

Following a request to PPC, the Finance Department of the Municipality of Agrinio, and the National Meteorological Service (NMS), historical time series and data were collected. The research portion of this work necessitates the processing of the collected data and historical time series. Given that the study has a lifespan of 40 years, it is necessary to generate synthetic time series of 40 years using existing historical time series, which are however of shorter duration and of varying lengths from one another. Furthermore, the processing of the input data in the simulation model is required in order to include the stochasticity of physical quantities.

The following stochastic models are utilized for generating the synthetic time series:

- AR (2): second order autoregressive process
- ARMA (1,1): first-order autoregressive - first-order moving average process.

The Anderson test is then applied to select the most effective synthetic time series. According to Anderson's test, for a stochastic model to be approved of, the estimated autocovariances for different time lags must follow the normal distribution, with an average of zero and a standard deviation of  $\frac{1}{n}$ . The typical error is equal to  $(\frac{1}{n})^2$ , where  $n$  is the length of the entire simulation (Mimikou, 2006).

The historical precipitation time series is 25 years long, with a daily step, and spans the years 1988 to 2012. It comes from the nearest national meteorological service station, which is located outside of Agrinio. It is 24 meters above sea level, with a latitude of  $38.61^\circ$  and a longitude of  $21.38^\circ$ . The production of synthetic precipitation time series is carried out for a period of 40 years and has the same statistical characteristics as the historical time series. According to the Anderson test, the optimal synthetic time series is obtained with the stochastic ARMA(1,1) model.

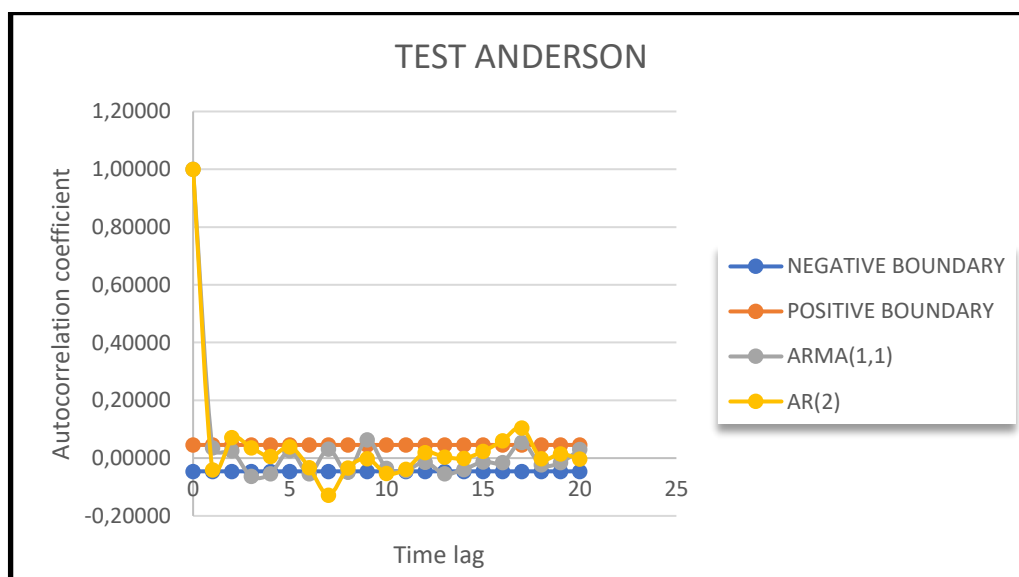


Chart 2: Results of test Anderson.

The temperature historical time series is 25 years long, with a daily step, and spans the years 1988 to 2012. It is derived from the nearest meteorological station of Hellenic National Metrological Service (HNMS), which is located outside of Agrinio, as is the historical precipitation time series. The procedure for creating the synthetic time series is identical to that for precipitation. Using the ARMA(1,1) model, the optimal synthetic time series is derived as before.

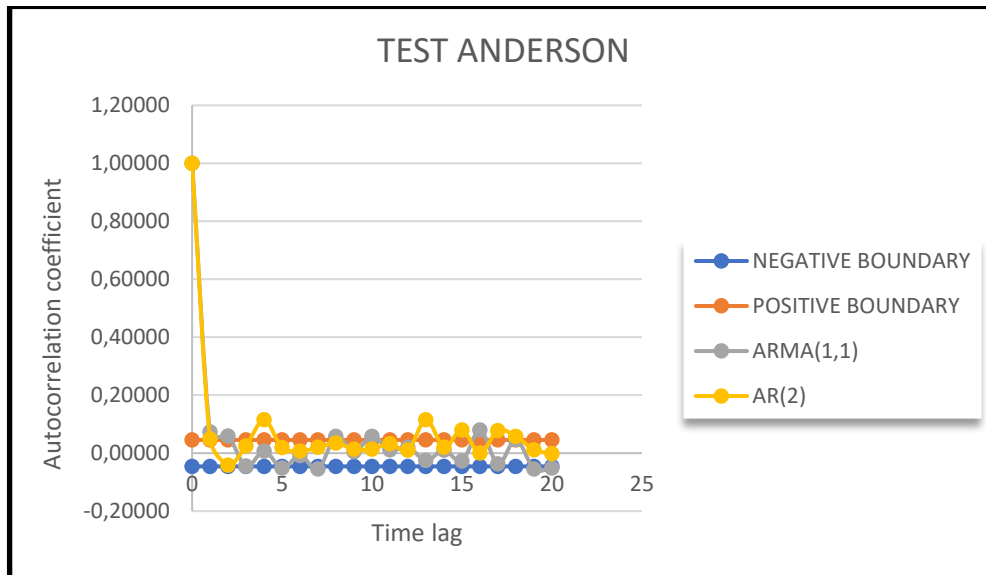


Chart 3: Results of test Anderson.

The historical input data set contains 23 years of values with a monthly time step, spanning the years 1998 to 2020. The procedure for creating the synthetic time series remains the same. The AR model (2) is used to generate an optimal synthetic time series.

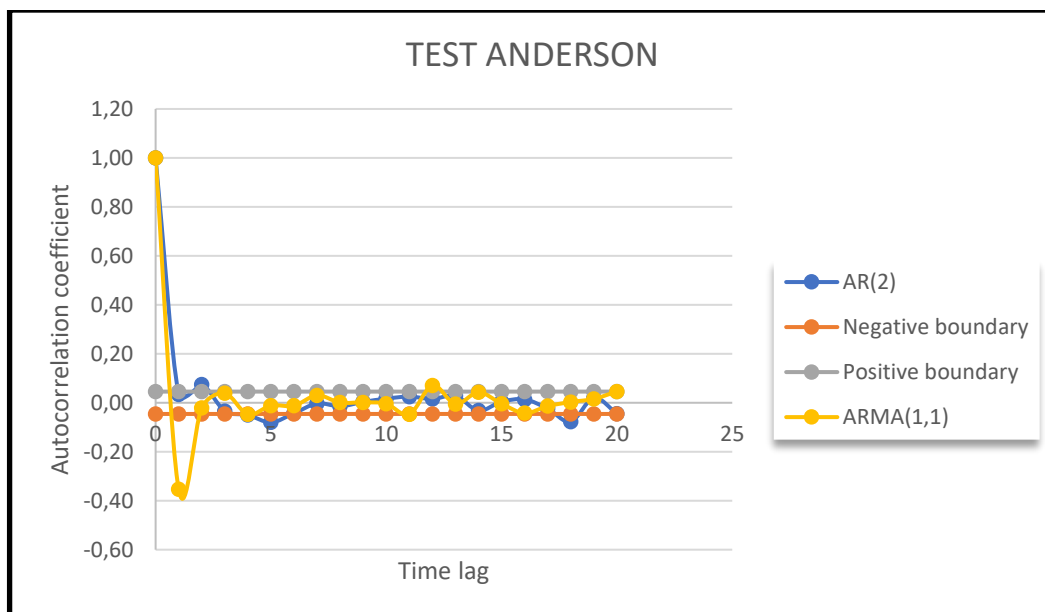


Chart 4: Results of test Anderson.

The historical wind data includes 25 years of values with a three-hour step, spanning the years 1988 to 2012. It is derived from the nearest national meteorological service station, which is located outside of Agrinio, as well as the historical time series of precipitation and temperature. A different methodology than the previous ones is used to create the synthetic time series of the wind. It is based on the Negra et al. (2007) methodology, in which various parameters from a historical time series are calculated. This procedure requires a small number of parameters to be calculated, but they should be generated by a wind speed record that is long enough to ensure a good approximation. Considering wind is the most sensitive input data, the findings produced from the synthetic time series production model must be verified (Skroufota, 2020).

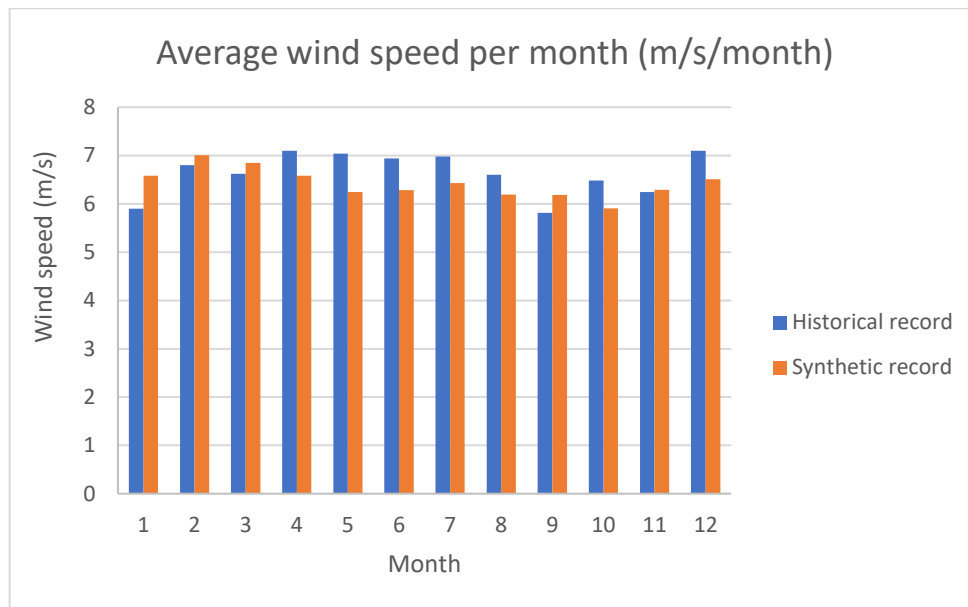


Chart 5: Average wind speed per month (m/s/month).

The data used to predict energy consumption is from PPC SA and spans the years 1998 to 2020. The energy demand is assumed to be constant during the simulation of the pumped storage system with a monthly time step, equal to the average monthly price of the energy consumptions. Furthermore, as previously stated, the study's duration is 40 years, thus after calculating the average hourly energy consumption for one year, this yearly time series is decreased to the predicted population per year. The daily variation of energy needs for a typical day in December, as illustrated in the diagram below, is lowered during the night hours from 21:00-00:00 and raised throughout the morning and lunchtime hours.

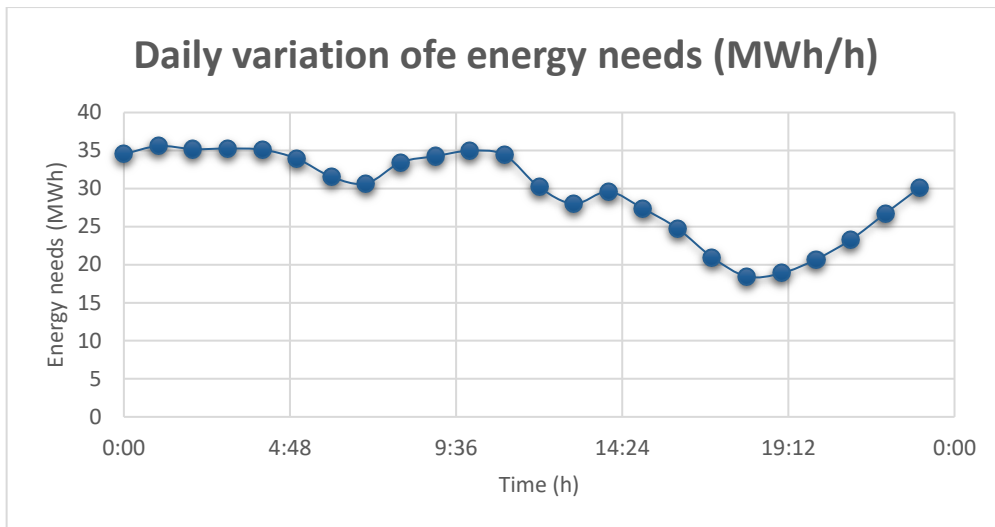


Chart 6: Daily variation of energy needs (MWh/h).

The region's irrigation needs are estimated based on livestock and agricultural water consumption. To calculate livestock water needs, the number of animals reared in the area must be known, as well as some of their basic characteristics such as the type of animals, their age distribution, and the moisture content of the grass in which they graze. The Blaney-Criddle method, which empirically calculates potential evapotranspiration, is used to estimate crop irrigation needs.

The population of the research area is taken into account while assessing the water needs of the study region, which includes both permanent inhabitants and vacationers who visit the area. However, because the project under consideration is predicted to have a lifespan of 40 years, the population and its accompanying water supply needs must be adjusted to the expected population each year (Panagoulia, Dimou, 2000. Chart 7, shows the monthly variation of daily consumption over five years, as calculated considering a geometric increase for the next 40 years.

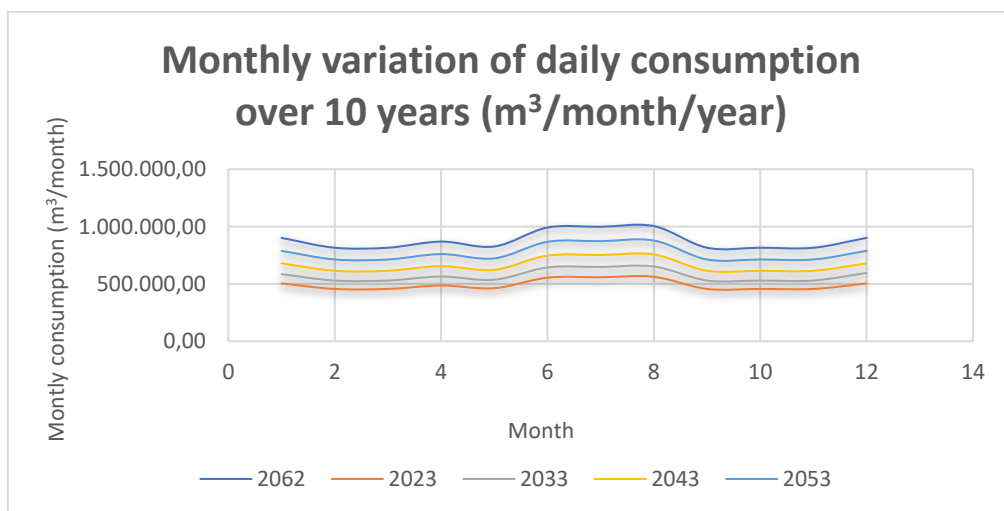


Chart 7: Monthly consumption (m³/month/y).

## METHODOLOGY

The current study's pumped storage system includes the existing Stratos reservoir with a useful capacity of 13 hm<sup>3</sup> and a second, virtual reservoir upstream of the first, the location and technical characteristics of which are being investigated. It also includes a wind turbine system, the location and technical characteristics of which are being researched. For the location of the virtual reservoir, a study of the area is carried out, in order to find the optimal location. The search is focused on natural pits or valleys that could host the virtual reservoir. Also, an important factor in the search is the kilometer distance between the virtual and the already existing Stratos reservoir. Finally, the altitude difference of the two reservoirs is taken into account. For the selection of the location of the wind turbine system, the following are taken into account:

- ensuring the wind potential, required for the proper operation of the wind turbines, with a minimum speed limit of 4 m/s,
- finding ground with a smooth slope for placing the base of the structure,
- securing a location close to the PPC network and the two reservoirs, for better transport of the generated electricity,
- the protection of flora and fauna as much as possible, especially in protected areas
- and finally, the distance from settlements and urban centers, so that there is no visual and acoustic disturbance.

For the location of the reservoir, the map showing the iso-elevations is studied, in order to find a hollow, a short distance upstream of the Stratos reservoir. The maximum and minimum operating levels are selected so as to achieve the necessary altitude difference with the Stratos reservoir. The level-stock relationship for the virtual reservoir has the form  $s = 89.14 (z - z_0)^{2.15}$  (1).

Table 2: Technical and functional characteristics of virtual reservoir.

Useful capacity (hm <sup>3</sup> )	Minimum pool level (m)	Normal pool level (m)
1.40	170	180

The produced hydroelectric energy as a result of such a volume of water falling from a certain height is calculated using the equation:

$$E(\text{kWh}) = \frac{g \cdot n \cdot h(m) \cdot V(m^3)}{3600} \quad (2)$$

Where,

E: energy produced

g: acceleration of gravity

N: degree of efficiency ( $n < 1$ , for hydroelectric projects usually  $n = 0.80 \sim 0.90$ )

h: altitude difference

V: volume of water passing through the turbines

The energy consumed in order to transport such a volume of water to a greater height is calculated using the equation:

$$E(\text{kWh}) = \frac{g \cdot h(m) \cdot V(m^3)}{n \cdot 3600} \quad (3)$$

To estimate the wind energy produced, the synthetic wind time series must be corrected from the altitude of the data source to the altitude of the wind turbines. The relation is used to perform the reduction:

$$u_2 = u_1 \times \frac{\ln\left(\frac{z_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right)} \quad (4)$$

where:

$u_2$ : the corrected wind speed at an altitude of  $z_2 = 700$  m, which corresponds to the altitude of the rotor of the wind turbines, 100 m high.

$u_1$ : the wind speed corresponding to the altitude of the station from which the measurements were taken, equal to  $z_1 = 24$  m.

$z_0$ : the ground speed parameter. In this particular case, this value is estimated to be equal to 0.2, due to the nature of the soil.

The number of wind turbines selected to operate for the pumped storage system is 20 and the model of wind turbines is Enercon E-53. During the operation of the pumped-storage system, 70% of the wind energy generated is used to pump water from the Stratos reservoir to the upstream reservoir, while the remaining 30% is used to power the system itself.

The system is simulated over a period of 40 years, with a daily time step, and the input data are as follows:

- a 40-year synthetic time series of water needs based on estimated population growth with an hourly time step,
- a 40-year synthetic time series of irrigation needs with an hourly time step,
- the synthetic time series of the 40-year energy needs, with an hourly time step, based on estimated population growth,
- the 40-year wind energy produced, with an hourly step, derived from the 40-year synthetic wind time series and the power curve of the chosen wind turbine,
- a 40-year synthetic time series of reservoir inflows with an hourly step,

- the capacity of both the Stratos and virtual reservoirs,
- the maximum and minimum operating levels of each reservoir,
- the stock level relationships for each reservoir,
- the escape pipe height,
- the pumps' and turbines' efficiency.

Using the previous inputs of the simulation model, the following outputs are obtained:

- the produced hydroelectric energy with an hourly time step,
- the energy deficit and surplus, at each time step,
- the volume of water that can be pumped from the Stratos reservoir to the virtual upstream reservoir, in a daily step,
- the evolution of the stock over time for each reservoir,
- the time evolution of the level for each reservoir,
- the possibility of failure, but also the reliability of the system,
- the coverage rate of energy needs.

## **RESULTS**

### *Simulation for 40 year with an hourly step*

During the simulation of the system, the coverage of water and irrigation needs is initially considered. For the period of 40 years, the reliability is estimated to be equal to 99% both for water supply coverage and for irrigation coverage. Regarding the coverage of energy needs, as shown by the simulation of the system, the energy produced as a whole does not have large fluctuations annually. The largest percentage of the total energy is produced by the Stratos reservoir, followed by wind energy and finally the energy produced by the upstream reservoir.



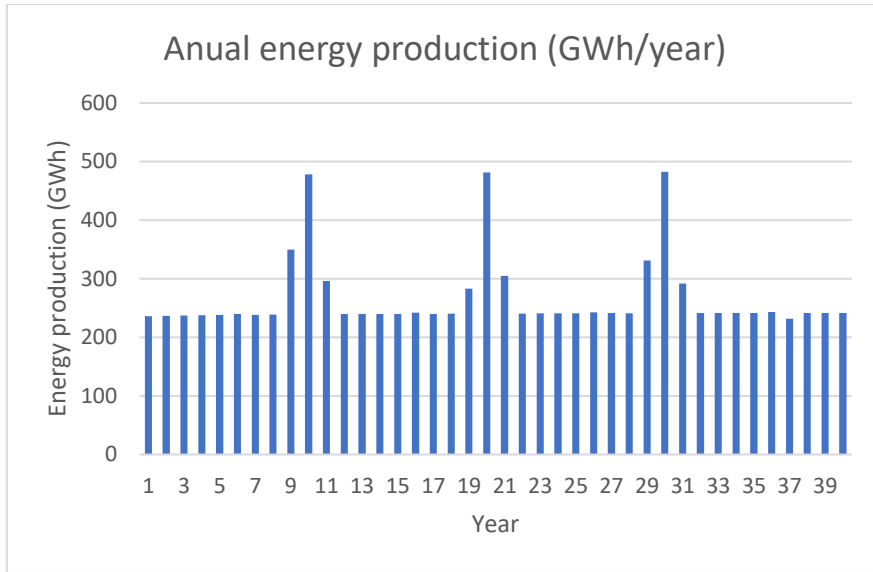


Chart 8: Annual energy production (GWh/year).

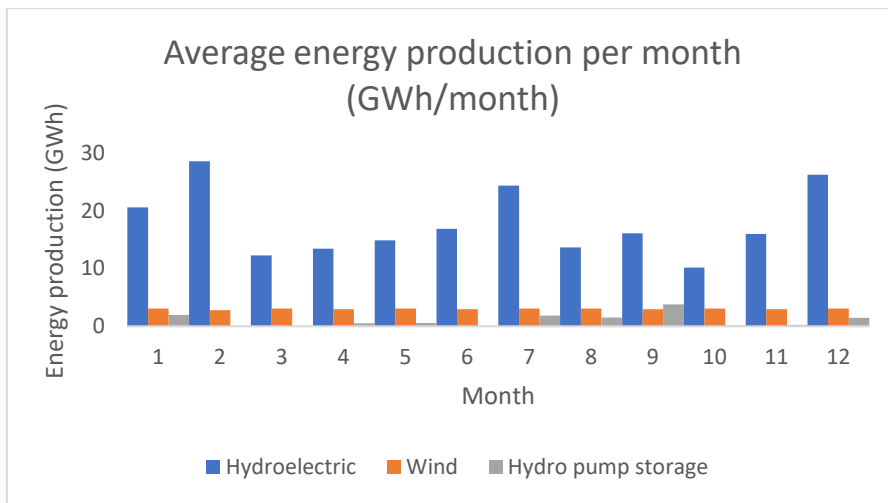


Chart 9: Average energy production per month (GWh/month).

For all energy needs, over a period of 40 years, the average coverage price is equal to 70%. Hydroelectric energy produced by the Stratos reservoir contributes 81% to the coverage, wind energy 17% and finally, 2% of the energy produced by the reservoir upstream of Stratos.

*Result for a typical day of December*

For the month of December, when water and energy demands are high, a typical 24-hour day is simulated. The percentage of meeting the needs for water supply and irrigation is 99.99%. In terms of energy demand coverage from 00:00 to 16:00, the Stratos reservoir covers 59% of the demand and the wind turbines 10%. The coverage of energy needs reaches 99.99% between 16:00 and 00:00, when energy is produced

simultaneously from the Stratos reservoir, the installed wind turbines, and the upstream reservoir. As a result, the operation of the pumping and saving system can meet a large portion of the energy requirements.

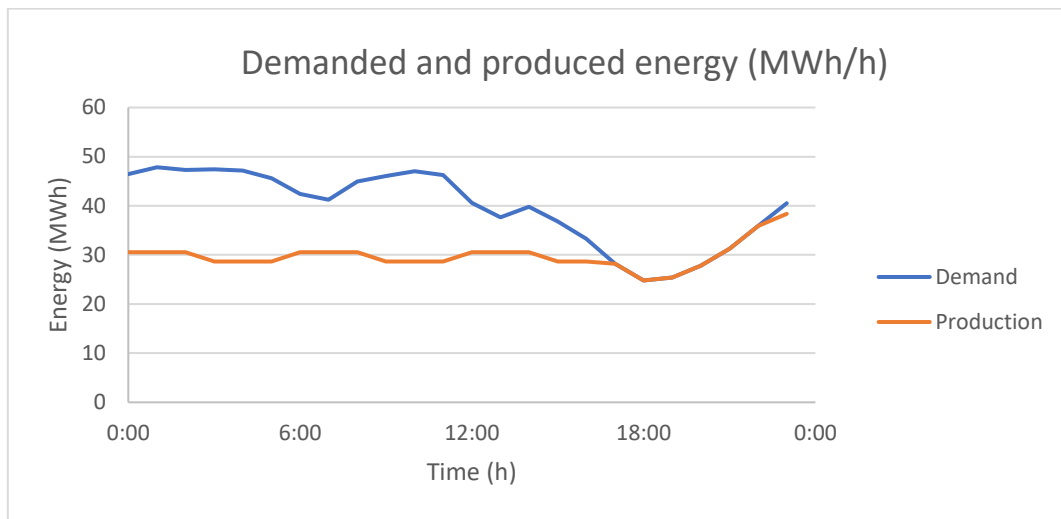


Chart 10: Danded and produced energy (MWh/h).

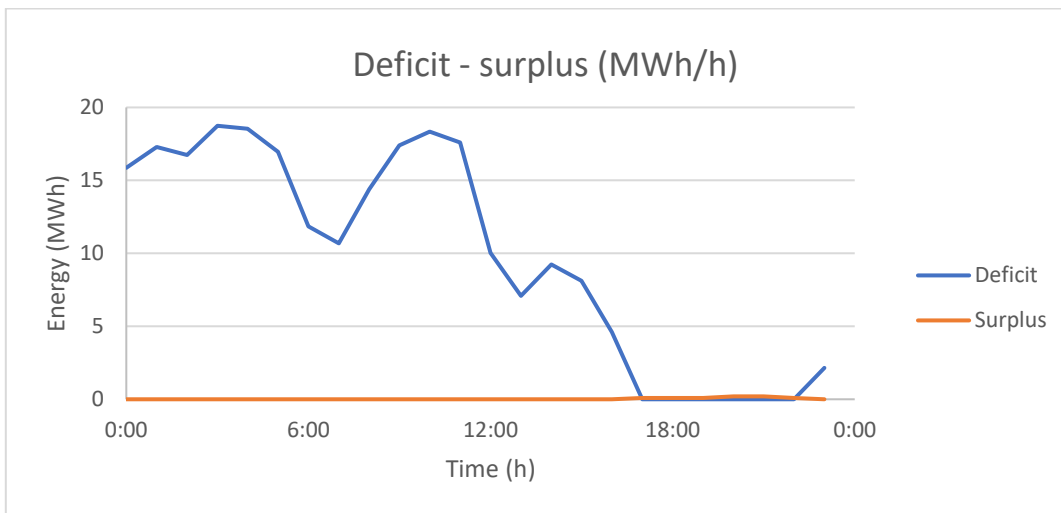


Chart 11: Deficit - Surplus (MWh/h).

## CONCLUSIONS

As a conclusion to this thesis, the main findings and results of the research are summarized. Initially, it is established that the larger area of the Acheloos river basin, due to its large slopes, the presence of significant rainfall, and the river's high drainage capacity, offers great potential for further utilization of the high-water resources and the construction of pumping and saving systems. Furthermore, it is concluded that covering the energy needs solely with Stratos reservoir produced energy is insufficient, as it is heavily dependent on the river's hydrological diet as well as the outflows of the upstream Kastraki reservoir. As a result, the ground is prepared for the development of

a pumping and saving system that will fully utilize both the water potential and wind energy, to provide greater coverage of energy needs.

The following are the main conclusions drawn from the pumped storage system simulation method:

- The water supply needs covered by the Stratos reservoir are expected to increase over a 40-year period, in line with estimated population growth, while irrigation needs are expected to remain relatively stable, given that cultivable land is limited and, for the most part, already exploited.
- The coverage of the needs for water supply and irrigation is quite satisfactory and amounts to 99.99%.
- Similarly, the simulation for a typical 24-hour period in December shows that energy and irrigation needs are covered 99.99% of the time.
- The implementation of the pumping and saving system results in better management of deficits and surpluses, resulting in a higher percentage of energy needs being met.
- The average rate of coverage of the pumped storage system's energy needs is 70%.
- To meet the energy needs, the Stratos reservoir contributes 81%, the wind turbine system 17%, and the virtual reservoir 2%.
- Coverage of water supply and irrigation needs remains at 99.99% for a typical twenty-four hour period in December.
- The Stratos reservoir covers 59% of the demand during a typical December twenty-four hour period, between 00:00 and 16:00, and the wind turbines cover 10%. The coverage of energy needs reaches 99.99% between 16:00 and 00:00, when energy is produced simultaneously from the Stratos reservoir, the installed wind turbines, and the upstream reservoir.

#### *Suggestions for future research*

In the context of this thesis, some future research proposals are presented, either for better management of energy shortages or for further development of the subject under consideration.

- Initially, the pumped storage system under consideration can be installed and studied in a number of existing reservoirs for energy production management.
- The addition of additional renewable energy sources to the system under consideration, such as a photovoltaic park that uses solar energy, is then of great interest.
- In addition, the economic approach of the system under consideration is intriguing in order to calculate the benefit it can provide.
- Research into integrating smart technologies and sensors for planning and controlling the performance of pumped storage systems is still beneficial.

- It is also critical to investigate the use of artificial intelligence in pumped storage systems with the goal of predicting and optimizing performance.
- Finally, the investigation of the environmental effects of pumped storage systems, as well as the development of methods for improvement, is of interest.



# **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	iii
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	v
<b>EXTENDED ARTICLE</b> .....	viii
<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ</b> .....	xxii
<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ</b> .....	xxiv
<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ</b> .....	xxviii
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	1
1.1 Γενική Αναφορά.....	1
1.2 Αντικείμενο μελέτης .....	3
1.3 Διάρθρωση της εργασίας.....	3
<b>2. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΠΕ</b> .....	5
2.1 Ενεργειακή κατάσταση .....	5
2.2 Ενεργειακοί στόχοι .....	5
2.3 Θετικές και αρνητικές πτυχές ΑΠΕ .....	9
2.4 Υβριδικά συστήματα αξιοποίησης ΑΠΕ .....	10
2.5 Αντλησιοταμίευση .....	12
<b>3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ</b> .....	16
3.1 Γενικά στοιχεία .....	16
3.1 Ιστορική Αναδρομή .....	16
3.3 Οικονομία και απασχόληση.....	18
3.4 Γεωγραφικά χαρακτηριστικά.....	18
3.5 Περιοχές NATURA .....	22
3.6 Υδατικό σύστημα Αχελώου.....	25
3.7 Υδροηλεκτρικός σταθμός Στράτου .....	26
3.8 Εξαγωγή σχέσης στάθμης - αποθέματος για τον ταμιευτήρα Στράτου .....	29
<b>4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ</b> .....	31
4.1 Στοχαστικά μοντέλα .....	31
4.2 Παραγωγή συνθετικής χρονοσειράς βροχόπτωσης .....	33
4.3 Παραγωγή συνθετικής χρονοσειράς θερμοκρασίας .....	36
4.4 Παραγωγή συνθετικής χρονοσειράς εισροών στον ταμιευτήρα .....	38

4.5 Παραγωγή συνθετικής χρονοσειράς ανέμου .....	40
4.6 Εκτίμηση Ενεργειακών, Υδρευτικών και Αρδευτικών Αναγκών .....	43
4.6.1 Εκτίμηση Ενεργειακών Αναγκών.....	43
4.6.2 Εκτίμηση Υδρευτικών Αναγκών .....	45
4.6.3 Εκτίμηση Αρδευτικών Αναγκών .....	48
<b>5. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ.....</b>	<b>54</b>
5.1 Περιγραφή του συστήματος αντλησιοταμίευσης .....	54
5.2 Χωροθέτηση εικονικού ταμιευτήρα .....	54
5.3 Εκτίμηση υδροηλεκτρικής ενέργειας.....	56
5.4 Εκτίμηση αιολικής ενέργειας.....	57
5.5 Μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας συστήματος .....	60
<b>6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....</b>	<b>62</b>
6.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης 40 ετών με ωριαίο βήμα .....	62
6.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης τυπικού 24ωρου του Δεκεμβρίου.....	71
<b>7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....</b>	<b>75</b>
7.1 Συμπεράσματα .....	75
7.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα .....	76
<b>8. ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....</b>	<b>77</b>
8.1 Ελληνική βιβλιογραφία.....	77
8.2 Ξενόγλωσση βιβλιογραφία .....	79
8.3 Ιστοσελίδες .....	79

## **ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ**

Διάγραμμα 1.1: Μεταβολή της παγκόσμιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (Πηγή: Εργαστήριο Ήπιων Μορφών Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής) .....	2
Διάγραμμα 2.1: Μεταβολή εγχώριας παραγωγής ενέργειας ανά πηγή (Πηγή: ΥΠΕΝ/Eurostat) .....	5
Διάγραμμα 2.2: Μερίδιο συμμετοχής στην ενεργειακή κατανάλωση (Πηγή: Our World in Data) .....	6
Διάγραμμα 2.3: Παγκόσμια χωρητικότητα συστημάτων αντλησιοταμίευσης (Πηγή: Statista) .....	14
Διάγραμμα 3.1: Σχέση στάθμης – ωφέλιμου αποθέματος ταμιευτήρα Στράτου.....	30
Διάγραμμα 4.1: Αποτελέσματα ελέγχου Anderson .....	34
Διάγραμμα 4.2: Αποτελέσματα ελέγχου Anderson .....	37
Διάγραμμα 4.3: Αποτελέσματα ελέγχου Anderson .....	39
Διάγραμμα 4.4: Μέση ταχύτητα ανέμου ανά μήνα.....	43
Διάγραμμα 4.5: Ημερήσια διακύμανση ενεργειακών αναγκών (m/s/month).....	44
Διάγραμμα 4.6: Μηνιαία διακύμανση ημερήσιας κατανάλωσης 1 <sup>ου</sup> έτους (m <sup>3</sup> /month). 46	
Διάγραμμα 4.7: Μηνιαία διακύμανση μηνιαίας κατανάλωσης ανά 5 έτη (m <sup>3</sup> /month) .47	
Διάγραμμα 4.8: Μηνιαία αρδευτική ζήτηση (m <sup>3</sup> /month).....	53
Διάγραμμα 5.1: Διάγραμμα κατανομής ταχύτητας ανέμου.....	59
Διάγραμμα 5.2: Καμπύλες ισχύος των μοντέλων ανεμογεννήτριας.....	60
Διάγραμμα 6.1: Ετήσια παραγωγή υδρευτικού νερού (hm <sup>3</sup> /y).....	64
Διάγραμμα 6.2: Μέση μηνιαία παραγωγή υδρευτικού νερού (hm <sup>3</sup> /month)....	64
Διάγραμμα 6.3: Ετήσια παραγωγή αρδευτικού νερού (hm <sup>3</sup> /y).....	65
Διάγραμμα 6.4: Μέση μηνιαία παραγωγή αρδευτικού νερού (hm <sup>3</sup> /month)....	65
Διάγραμμα 6.5: Ετήσια παραγωγή ενέργειας (GWh/y)....	66
Διάγραμμα 6.6: Μέση μηνιαία παραγωγή ενέργειας (GWh/month)....	66
Διάγραμμα 6.7: Μέση μηνιαία παραγωγή ενέργειας ανά πηγή (GWh/month)....	67
Διάγραμμα 6.8: Ποσοστό κάλυψης και ελλείματος ενέργειας (%)....	69
Διάγραμμα 6.9: Ποσοστό κάλυψης ενεργειακών αναγκών ανά πηγή (%).....	69
Διάγραμμα 6.10: Όγκος αντλούμενου ύδατος (hm <sup>3</sup> /month). .....	70
Διάγραμμα 6.11: Μέσο απόθεμα ανάντη ταμιευτήρα (hm <sup>3</sup> /month). .....	70
Διάγραμμα 6.12: Μέσο ωφέλιμο απόθεμα ταμιευτήρα Στράτου (hm <sup>3</sup> /month) .....	71
Διάγραμμα 6.13: Χρονική εξέλιξη ζητούμενης και παραγόμενης ενέργειας (MWh/h)....	72
Διάγραμμα 6.14: Χρονική εξέλιξη ελλείματος και πλεονάσματος ενέργειας (MWh/h)..	72
Διάγραμμα 6.15: Χρονική εξέλιξη στάθμης ανάντη ταμιευτήρα (m/h).....	73
Διάγραμμα 6.16: Χρονική εξέλιξη αποθέματος ανάντη ταμιευτήρα (hm <sup>3</sup> /h).....	73
Διάγραμμα 6.17: : Χρονική εξέλιξη αποθέματος ταμιευτήρα Στράτου(hm <sup>3</sup> /h).....	74





## **ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ**

<i>Εικόνα 2.1: Στόχοι ΕΕ για την ενέργεια και το κλίμα (Πηγή: διαΝΕΟσις, 2021)</i> .....	7
<i>Εικόνα 2.2: Εθνικοί ενεργειακοί και περιβαλλοντικοί στόχοι για την περίοδο 2021-2030 (Πηγή: διαΝΕΟσις, 2021).</i> .....	8
<i>Εικόνα 2.3: Διάγραμμα ροής υβριδικού έργου Ικαρίας (Πηγή: Αν. Καθ. Σταύρος Παπαθανασίου, 2013).</i> .....	12
<i>Εικόνα 2.4: Τυπική διατομή συστήματος αντλησιοταμίευσης (Πηγή: Hydro Tasmania, 2018).</i> .....	13
<i>Εικόνα 2.5: Ταμιευτήρες του Nant de Drance (Πηγή: Autoblog, 2022)</i> .....	15
<i>Εικόνα 3.1: Αρχαίο Θέατρο Αρχαίας Στράτου (Πηγή: Ancient theater culture, 2015).</i> ..	17
<i>Εικόνα 3.2: Περιοχή μελέτης μέσω δορυφόρου (Πηγή: Google earth)</i> .....	19
<i>Εικόνα 3.3: Λίμνη Τριχωνίδα (Πηγή: Σπύρος Κοκκαλάκης, 2018).</i> .....	19
<i>Εικόνα 3.4: Λίμνη Λυσιμαχεία (Πηγή: Above View, 2022)</i> .....	20
<i>Εικόνα 3.5: Λίμνη Οζερός (Πηγή: NATURA 2000, 2015).</i> .....	20
<i>Εικόνα 3.6: Λίμνη Αμβρακία (Πηγή: All over Greece, 2020).</i> .....	21
<i>Εικόνα 3.7: Τεχνητή λίμνη Καστρακίου (Πηγή: Star.gr, 2021).</i> .....	21
<i>Εικόνα 3.8: Τεχνητή λίμνη Στράτου (Πηγή: Βασίλης Γαλατάς, 2023).</i> .....	22
<i>Εικόνα 3.9: Περιοχές NATURA 2000 (Πηγή: NATURA 2000).</i> .....	25
<i>Εικόνα 3.10: Υδροηλεκτρικό φράγμα Στράτου (Πηγή: Βασίλης Γαλατάς, 2021)</i> .....	27
<i>Εικόνα 5.1: Χωροθέτηση εικονικού ταμιευτήρα (Πηγή: Ελληνικό κτηματολόγιο)</i> .....	56
<i>Εικόνα 5.2: Προτεινόμενη θέση ανεμογεννητριών ( geo.rae.gr ).</i> .....	57



## **ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ**

Πίνακας 3.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά φράγματος Στράτου.....	26
Πίνακας 3.2: Τύπος στροβίλων και ισχύς.....	28
Πίνακας 3.3: Λειτουργικά χαρακτηριστικά σταθμών.....	28
Πίνακας 3.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά ταμιευτήρα.....	29
Πίνακας 3.5: Αποτελέσματα γραμμικής βελτιστοποίησης.....	30
Πίνακας 4.1: Μέση τιμή και Τυπική Απόκλιση ανά μήνα.....	33
Πίνακας 4.2: Μέση Ημερήσια Βροχόπτωση Ανά Μήνα %.....	35
Πίνακας 4.3: Μέση τιμή και Τυπική Απόκλιση ανά μήνα.....	36
Πίνακας 4.4: Μέση Ημερήσια Θερμοκρασία Ανά Μήνα %.....	38
Πίνακας 4.5: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση ιστορικών εισροών ανά μήνα.....	39
Πίνακας 4.6: Συχνότητα κάθε κλάσης ανά μήνα %.....	42
Πίνακας 4.7: Μέση Ημερήσια ζήτηση 1ου έτους και 40ου έτους.....	44
Πίνακας 4.8: Πληθυσμός της περιοχής μελέτης.....	45
Πίνακας 4.9: Εκτιμώμενη μέση ημερήσια και μηνιαία ζήτηση.....	46
Πίνακας 4.10: Στοιχεία πληθυσμιακής αναγωγής.....	47
Πίνακας 4.11: Είδος ζώων, αριθμός κεφαλών και συνολική κατανάλωση.....	48
Πίνακας 4.12: Μέση αστρονομική διάρκεια ημέρας ανά μήνα και ποσοστό διάρκειας.....	49
Πίνακας 4.13: Είδη και έκταση καλλιεργειών.....	50
Πίνακας 4.14: Στάδια βλάστησης καλλιεργειών.....	50
Πίνακας 4.15: Φυτικοί συντελεστές για κάθε στάδιο βλάστησης.....	51
Πίνακας 4.16: Συντελεστές απόδοσης.....	52
Πίνακας 4.17: Μηνιαίες αρδευτικές καταναλώσεις.....	52
Πίνακας 5.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά ταμιευτήρα.....	55
Πίνακας 5.2: Τυπικές τιμές της παραμέτρου τραχύτητας z0 για διάφορες φυσικές επιφάνειες (Πηγή: Σκουφούτα Σ.,2020).....	58
Πίνακας 5.3: Λειτουργικά χαρακτηριστικά μοντέλων ανεμογεννήτριας.....	59
Πίνακας 6.1: Αστοχία και αξιοπιστία ύδρευσης και άρδευσης.....	62
Πίνακας 6.2: Αστοχία και αξιοπιστία ύδρευσης και άρδευσης.....	63
Πίνακας 6.3: Ποσοστό κάλυψης ενέργειας 1 <sup>ης</sup> 20ετίας (%).....	67
Πίνακας 6.4: Ποσοστό κάλυψης ενέργειας 2 <sup>ης</sup> 20ετίας (%).....	68



# **1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

## **1.1 Γενική Αναφορά**

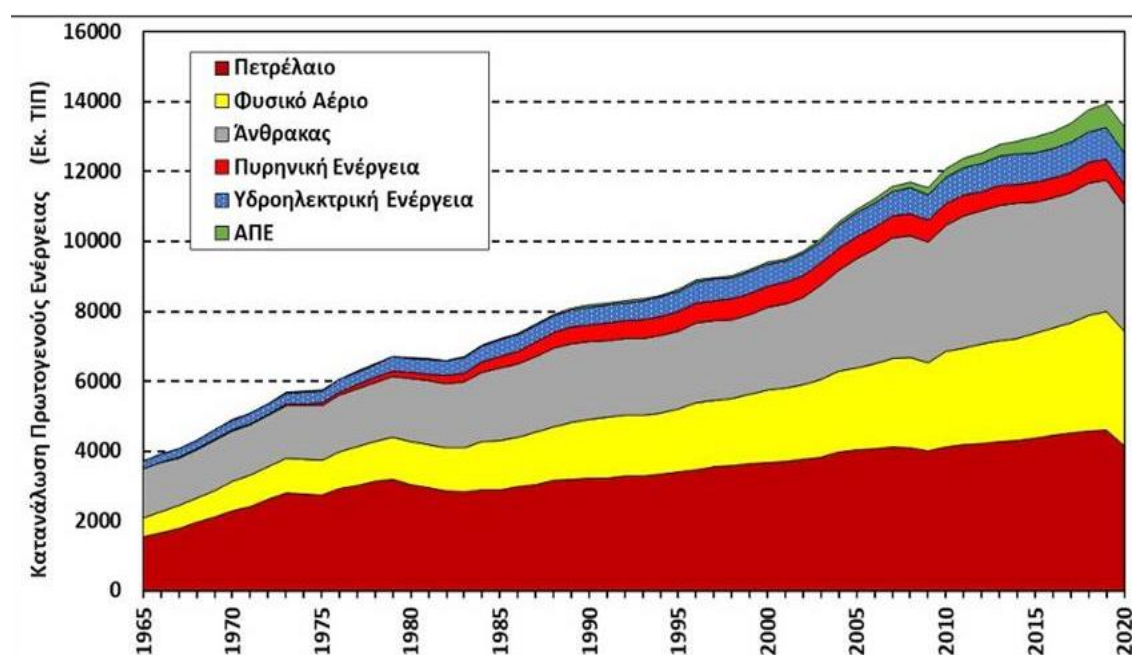
Η ενέργεια είναι απαραίτητη για την κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη των λαών παγκοσμίως και συνδέεται άμεσα με τη βελτιστοποίηση της ποιότητας ζωής. Από την αρχαιότητα έως και σήμερα, αποτελεί βασικό στοιχείο για όλες τις διαδικασίες παραγωγής και καθορίζει πολλές πτυχές της ανθρώπινης δραστηριότητας. Πρωτοεμφανίζεται σαν έννοια στην αρχαία Ελλάδα, τον 4<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ., όπου ο Αριστοτέλης εισάγει τη λέξη «*ένέργεια*» στο έργο του «*Μετά τα Φυσικά*», προσπαθώντας να την περιγράψει ως μία μη υλική ιδιότητα, ικανή να προκαλέσει αλλαγές στην ύλη, έχοντας ως στόχο τη μετάβαση από μία αρχική κατάσταση σε ένα υψηλότερο τέλος, που είναι το «*άριστον*». Η φιλοσοφική έννοια του Αριστοτέλη, αφομοιώθηκε από πολλούς άλλους σημαντικούς Έλληνες φιλόσοφους και παρέμεινε ισχυρή για πολλά χρόνια. Μία πιο σύγχρονη έννοια έδωσε το 1687, ο επιστήμονας Isaac Newton, διατυπώνοντας μία πρώτη μαθηματική περιγραφή της κίνησης, που παρατήρησε κατά την πτώση ενός μήλου εξαιτίας της βαρύτητας, την οποία και συσχέτισε με την ενέργεια. Αρκετά χρόνια αργότερα, στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα, ο Thomas Young εισήγαγε την έννοια της ενέργειας στη φυσική, καθιερώνοντας την κυματική φύση του φωτός. Την ίδια περίοδο, διατυπώθηκε η θεμελιώδης αρχή της διατήρησης της ενέργειας, από αρκετούς ερευνητές με πρωταγωνιστή τον James Prescott Joule. Από τα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα και μετά, ο William Thomson και ο William J. M. Rankine, ξεκίνησαν να χρησιμοποιούν τη λέξη ενέργεια προκειμένου να δηλώσουν κάθε είδους δύναμη σε όλους τους κλάδους της επιστήμης. Εν τέλει, η ευρεία έννοια της ενέργειας, όπως χρησιμοποιείται πλέον σήμερα, διατυπώθηκε από τον Albert Einstein το 1905, ο οποίος καθιέρωσε την ισοδυναμία ενέργειας και μάζας με τη θεωρία της σχετικότητας. Η ενέργεια λοιπόν, με τη σύγχρονη έννοια της ορίζεται ως η ποσότητα του έργου που απαιτείται προκειμένου ένα σύστημα να μεταβεί από μια αρχική κατάσταση σε μια τελική. Ο άνθρωπος σήμερα κατέχει την ικανότητα να την αποθηκεύει και να τη μετασχηματίζει, ανάλογα με τον τρόπο που έχει αποκτηθεί.

Η ενέργεια μπορεί να βρεθεί σε διαφορετικές μορφές, όπως είναι η χημική, θερμική, βαρυτική, μηχανική, πυρηνική και η ηλεκτρική ενέργεια. Από την αρχέγονη εποχή, ο άνθρωπος βασίζονταν στη χρήση της βιομάζας (φυτά, ζώα, ανθρώπινη μυϊκή δύναμη), στην ηλιακή και στην αιολική ενέργεια για να μπορέσει να επιβιώσει. Σήμερα, στις περισσότερες χώρες το ενεργειακό σύστημα, είτε είναι ανεπτυγμένο είτε όχι, στηρίζεται κυρίως στην κατανάλωση των αποθεματικών ορυκτών καυσίμων, στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), καθώς και στην αξιοποίηση της πυρηνικής ενέργειας.

Κατά το μεγαλύτερο ποσοστό τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο, ουράνιο) αποτελούν την κύρια πηγή ενέργειας. Παρόλο που αποτελούν μια πολύ καλή ενεργειακή ύλη, καθώς με την καύση τους παράγουν μεγάλο ποσοστό ενέργειας, προκαλούν έντονα περιβαλλοντικά προβλήματα, επιδρούν αρνητικά στο κλίμα και είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Σε μικρότερο βαθμό συμβάλλουν

οι ΑΠΕ, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται η αιολική, η θερμική, η ηλιακή, η βιοενέργεια, η ενέργεια προερχόμενη από τη βιομάζα, η υδροηλεκτρική ενέργεια, η κυματική ενέργεια και η γεωθερμική. Για πολλούς επιστήμονες και μελετητές αποτελούν το μέλλον της ενέργειας του πλανήτη με βάση τον αειφόρο προσανατολισμό, λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων τους. Τέλος, από τα τέλη του 20<sup>ου</sup> αιώνα η πυρηνική ενέργεια, η οποία παράγεται από το μετασχηματισμό και τη διάσπαση ατομικών πυρήνων χημικών στοιχείων, συντελεί στην παγκόσμια παραγωγή ενέργειας. Διανύει όμως μία μεταβατική περίοδο, καθώς βρίσκεται αντιμέτωπη με το υψηλό κόστος συντήρησης και τις αντιπαραθέσεις που προκύπτουν σε σχέση με την ασφάλεια και τους περιβαλλοντικούς κινδύνους που ενέχουν.

Εν όψει των αυξήσεων της κοινωνικής και οικονομικής ανάπτυξης των ανεπτυγμένων χωρών που διαδραματίζονται τις τελευταίες δεκαετίες και της υιοθέτησης νέων τρόπων ζωής, φαίνεται να υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις, όπως αποδεικνύεται από τις τρέχουσες ενεργειακές καταναλώσεις. Κατά την περίοδο 1965-2020, σημειώνεται εντυπωσιακή αύξηση στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, δηλαδή της ενέργειας των πρώτων υλών όπως αυτές λαμβάνονται από τη φύση (λιγνίτης, πετρέλαιο). Συγκεκριμένα, σε διάστημα 55 ετών η κατανάλωση σχεδόν τετραπλασιάζεται, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 1.1.



Διάγραμμα 1.1: Μεταβολή της παγκόσμιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (Πηγή: Εργαστήριο Ήπιων Μορφών Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, 2021) .

Αν και στο διάστημα 2019-2020 σημειώνεται μια μικρή πτώση, η οποία οφείλεται στην επίδραση της πανδημίας του COVID-19, αναμένεται ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις θα συνεχίσουν να αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου και θα διπλασιαστούν μέχρι το

έτος 2050. Σύμφωνα με παγκόσμιες μελέτες, αναμένεται ότι οι κύριες συμβατικές πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας θα εξαντληθούν λόγω αυτής της συνεχούς αύξησης, είτε θα προκαλέσουν εντονότερα περιβαλλοντικά προβλήματα, ενισχύοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω, οι ΑΠΕ φαίνεται να είναι το μέλλον της στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως, αφού αποτελούν μια διηνεκής πηγή ενέργειας, φιλική προς το περιβάλλον και την υγεία των ανθρώπων, αποδεδειγμένη από την παραγωγή περιβαλλοντικών ρύπων.

## 1.2 Αντικείμενο μελέτης

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη αποθήκευσης της περίσσειας ενέργειας του υδροηλεκτρικού σταθμού στον ταμιευτήρα Στράτου. Η υπό μελέτη περιοχή βρίσκεται στο νομό Αιτωλοακαρνανίας και το φράγμα Στράτου αποτελεί το τρίτο κατά σειρά του ποταμού Αχελώου. Συγκεκριμένα, η μελέτη αφορά σε ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης, που αποτελείται από τον ήδη υπάρχοντα ταμιευτήρα Στράτου και έναν εικονικό ταμιευτήρα ανάντη. Προσομοιάζεται το σύστημα λειτουργίας μεταξύ των δύο ταμιευτήρων και αξιολογείται η απόδοση και η αξιοπιστία του συστήματος, καθώς και οι δυνατότητες που προσφέρει στη βέλτιστη διαχείριση της ενεργειακής παραγωγής. Στόχος είναι τόσο η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας ενός υβριδικού ενεργειακού συστήματος, όσο και η διασφάλιση της σταθερότητας του συστήματος και η κάλυψη των αναγκών, για ενέργεια, ύδρευση και άρδευση. Η παρούσα διπλωματική προτείνει ουσιαστικά, την αντικατάσταση ενός μέρους της συμβατικής παραγωγής ενέργειας με ΑΠΕ.

## 1.3 Διάρθρωση της εργασίας

Στο **1<sup>ο</sup> κεφάλαιο** γίνεται μια γενική αναφορά στην ενέργεια και στα κίνητρα που οδήγησαν στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής, καθώς και ο σκοπός της.

Στο **2<sup>ο</sup> κεφάλαιο** παρουσιάζεται η ενεργειακή πολιτική της Ελλάδας, αναλύονται οι πτυχές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η μέθοδος της αντλησιοταμίευσης.

Στο **3<sup>ο</sup> κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, καθώς και τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα Στράτου.

Στο **4<sup>ο</sup> κεφάλαιο** αναλύεται η μεθοδολογία επεξεργασίας των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση του συστήματος αντλησιοταμίευσης.

Στο **5<sup>ο</sup> κεφάλαιο** παρουσιάζεται η μεθοδολογία προσομοίωσης του συστήματος αντλησιοταμίευσης.



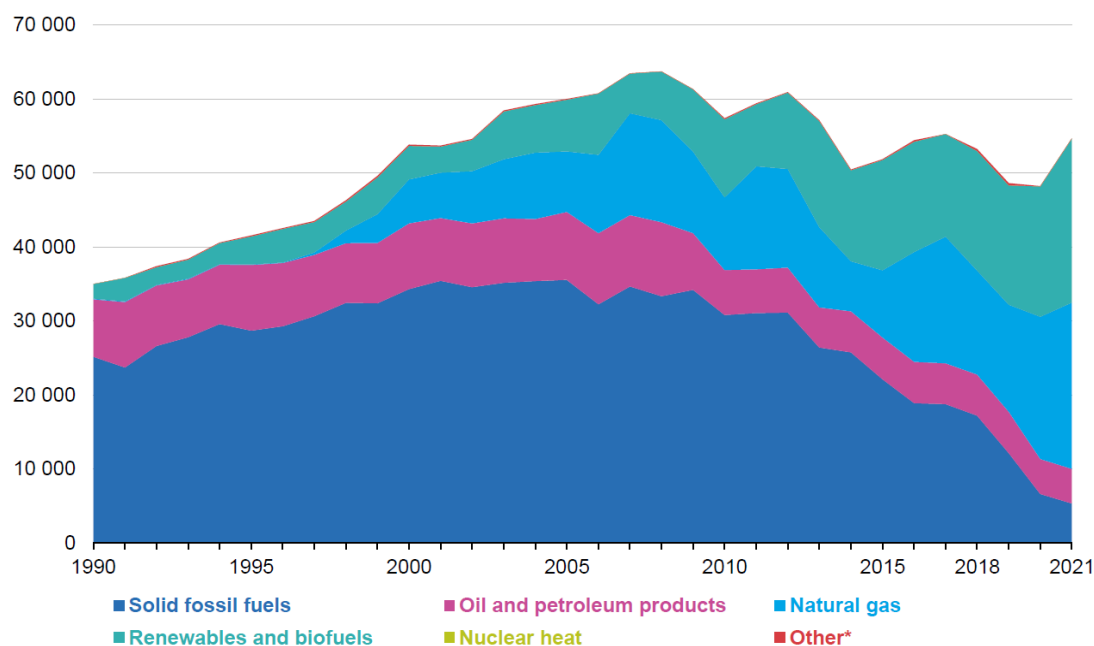
Στο **6<sup>ο</sup> κεφάλαιο** παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την προσομοίωση του συστήματος.

Στο **7<sup>ο</sup> κεφάλαιο** και τελευταίο κεφάλαιο συνοψίζονται τα συμπεράσματα της εργασίας και προτείνονται ιδέες για μελλοντική έρευνα.

## 2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΠΕ

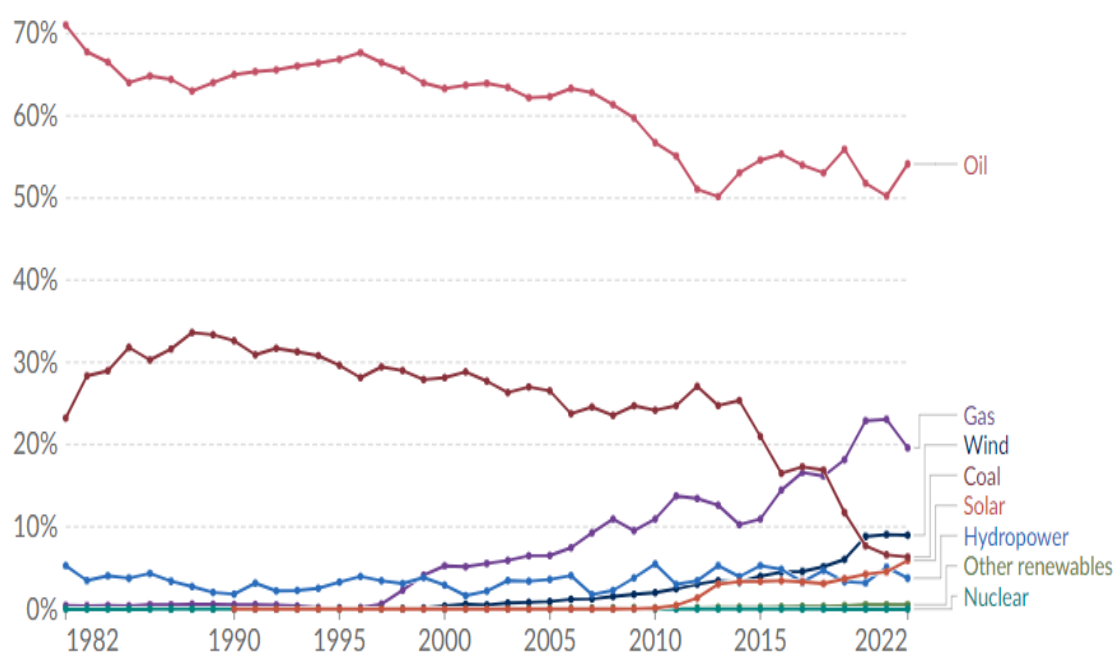
### 2.1 Ενεργειακή κατάσταση

Στην Ελλάδα, αν και παλαιότερα ο βασικός όρος για την ανάπτυξη της οικονομίας και της κοινωνίας θεωρούνταν η διασφάλιση της ενεργειακής τροφοδοσίας με τη χρήση των συμβατικών πηγών ενέργειας, πλέον γίνεται προσπάθεια να ενσωματωθούν πλήρως στο ενεργειακό μίγμα της χώρας οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Από την προηγούμενη δεκαετία με την ψήφιση και τη σταδιακή εφαρμογή του νόμου 2244/1994 πραγματοποιήθηκε η ίδρυση και λειτουργία ιδιωτικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που βασίζεται αποκλειστικά σε ΑΠΕ, μέχρι ενός συγκεκριμένου ορίου ισχύος. Ακόμα με την είσοδο στον 21<sup>ο</sup> αιώνα σημειώθηκαν αυξήσεις στις εγκατεστημένες μονάδες παραγωγής αιολικής ενέργειας και στις μικρές υδροηλεκτρικές μονάδες. Επιπλέον, τα τελευταία δέκα χρόνια έχει παρατηρηθεί σημαντική αύξηση στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις. Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι η σταδιακή απόσυρση των θερμικών και λιγνιτικών μονάδων, οι οποίες αντικαταστάθηκαν από τις ΑΠΕ και οδήγησαν σε μείωση της κατανάλωσης με χρήση συμβατικών πηγών ενέργειας, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 2.1. Σύμφωνα με τα στατιστικά κατά το έτος 2022 τα αιολικά και φωτοβολταϊκά πάρκα και οι μονάδες βιομάζας συμμετείχαν σε ποσοστό 35% στην εγχώρια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ μαζί με τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς έφτασαν το 41%.



Διάγραμμα 2.1: Μεταβολή εγχώριας παραγωγής ενέργειας ανά πηγή (Πηγή: ΥΠΕΝ/Eurostat, 2022).

Πέραν της προαναφερθείσας μείωσης ωστόσο, η χρήση κυρίως εισαγόμενου πετρελαίου για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών παραμένει κυρίαρχη. Αν και οι ΑΠΕ συνεχώς προσφέρουν όλο και περισσότερο στην εγχώρια παραγόμενη ενέργεια, αναδεικνύεται η ανάγκη για περισσότερες ανανεώσιμες πηγές λόγω της ενεργειακής κρίσης και της αυξημένης κατανάλωσης. Η κάλυψη της εγχώριας κατανάλωσης από ΑΠΕ μέχρι και το έτος 2022 παρέμεινε μικρή και δεν υπερέβη το 19.16%. Είναι προφανές ότι η διασφάλιση της ενεργειακής τροφοδοσίας είναι εξαρτημένη ακόμα και σήμερα από συμβατικές πηγές ενέργειας. Οι ενεργειακές ανάγκες της χώρας καλύπτονται κατά κύριο λόγο από εισαγωγές πετρελαίου και φυσικού αερίου, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 2.2. Έτσι, η ενεργειακή αυτάρκεια της χώρας παραμένει μικρή, με αναπόφευκτες οικονομικές, κοινωνικές και πολιτικές συνέπειες.



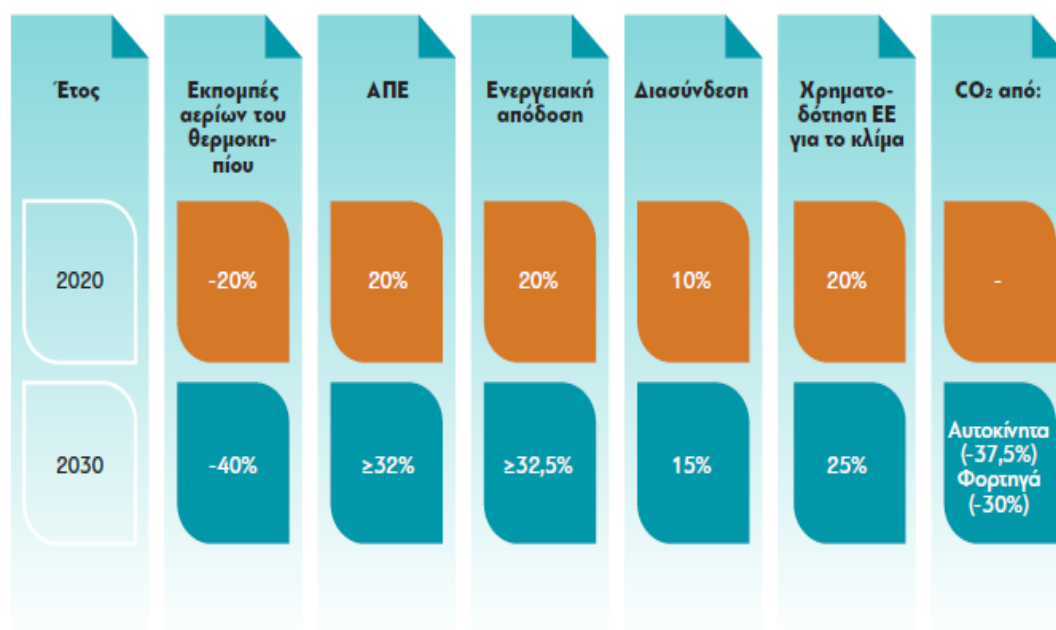
Διάγραμμα 2.2: Μερίδιο συμμετοχής στην ενεργειακή κατανάλωση (Πηγή: Our World in Data).

## 2.2 Ενεργειακοί στόχοι

Για τη βελτίωση της ενεργειακής και περιβαλλοντικής κατάστασης της χώρας είναι σημαντικό αρχικά να υπάρξει ορθολογική χρήση των συμβατικών πηγών ενέργειας και να πραγματοποιηθεί μια καλύτερη διαχείριση και εξοικονόμηση της ενέργειας ιδιαίτερα στους κύριους ενεργοβόρους κλάδους της οικονομίας (βιομηχανία, αγροτικός τομέας, μεταφορές και συγκοινωνίες). Απαιτείται να υιοθετηθούν πρακτικές κυκλικής οικονομίας και να ληφθούν υπόψιν οι επιπτώσεις στην κοινωνία και στην οικονομία του επιχειρούμενου ενεργειακού μετασχηματισμού. Είναι απαραίτητο ακόμα να αξιοποιηθεί όλο το διαθέσιμο δυναμικό της χώρας των ΑΠΕ, σε συνδυασμό με την

ενίσχυση των δικτύων ηλεκτρισμού και των συστημάτων αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας. Σημαντική προϋπόθεση είναι να τεθεί σαν στόχος η εξασφάλιση της επάρκειας της ενεργειακής τροφοδοσίας, παράλληλα με την προστασία του περιβάλλοντος και την αποδέσμευση από ρύπους.

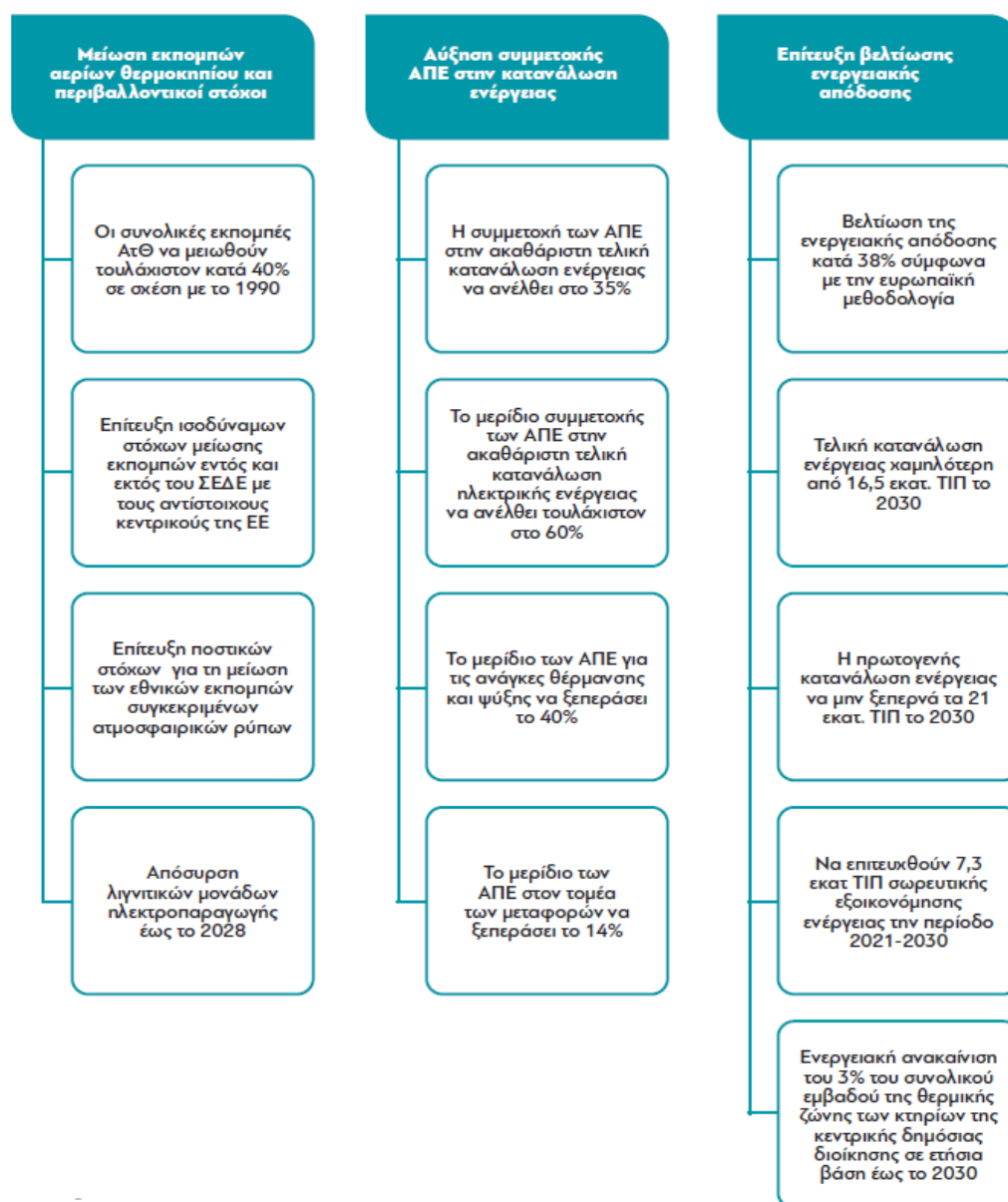
Οι κατευθύνσεις και οι στόχοι της Ελλάδας, όσον αφορά στο μέλλον του ενεργειακού τομέα καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από τις κατευθυντήριες οδηγίες και τις στρατηγικές αποφάσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι οποίες αφορούν στο κλίμα και την ενέργεια. Η Ευρωπαϊκή Ένωση ήδη από την προηγούμενη δεκαετία έχει θέσει στόχους, ώστε να αντιμετωπιστεί η κλιματική αλλαγή και να μεταβούν όλες οι χώρες – μέλη σε μια οικονομία κλιματικά ουδέτερη μέχρι το έτος 2050, μειώνοντας τους ρύπους που είναι υπεύθυνοι για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Στόχος είναι η ευρωπαϊκή οικονομία να συνεισφέρει στον περιορισμό της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη, λιγότερο από 2° C, μέχρι το τέλος του αιώνα. Επιπλέον, η Ευρωπαϊκή Ένωση πρωταγωνιστεί στη στροφή προς την ενεργειακή αποδοτικότητα, τις ΑΠΕ και άλλες τεχνολογίες φιλικές προς το περιβάλλον με χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), για την εξασφάλιση της ενεργειακής τροφοδοσίας με ασφάλεια και την απεξάρτηση από εισαγόμενους ενεργειακούς πόρους (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1: Στόχοι ΕΕ για την ενέργεια και το κλίμα (Πηγή: διαΝΕΟσις, 2021)

Η Ελλάδα λοιπόν, έχει ενσωματώσει τις βασικές κατευθυντήριες πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης στο Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ), το οποίο αποτελεί το βασικό εργαλείο ενεργειακής πολιτικής της χώρας για την περίοδο 2021-2030 (Εικόνα 2.2). Συγκεκριμένα προβλέπεται η μείωση των εκπομπών των αερίων θερμοκηπίου τουλάχιστον κατά 42% μέχρι το έτος 2030, σε σχέση με το επίπεδο των εκπομπών το 1990. Ακόμα, σχεδιάζεται η βελτίωση της ενεργητικής αποδοτικότητας κατά τουλάχιστον 38% μέχρι το έτος 2030, σε σύγκριση με μελέτες

που έγιναν το 2007. Επιπλέον, αναμένεται να μηδενιστεί η χρήση λιγνίτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, έως το 2028. Τέλος, προβλέπεται η αύξηση των ΑΠΕ τουλάχιστον σε 38% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας μέχρι το έτος 2030, καθώς και να αυξηθεί το μερίδιό τους στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο 61-64%.



Εικόνα 2.2: Εθνικοί ενεργειακοί και περιβαλλοντικοί στόχοι για την περίοδο 2021-2030 (Πηγή: διαΝΕΟσις, 2021).

## 2.3 Θετικές και αρνητικές πτυχές ΑΠΕ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν την πιο αναπτυσσόμενη πηγή για την παραγωγή ενέργειας παγκοσμίως. Η στροφή στην ανάπτυξη των ΑΠΕ οφείλεται σε πολυάριθμους παράγοντες. Η αστάθεια στις τιμές των ορυκτών καυσίμων, η ενεργειακή εξάρτηση από ξένες χώρες και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των συμβατικών πηγών ενέργειας συνέβαλλαν στο όλο και αυξανόμενο ενδιαφέρον προς τις ΑΠΕ. Στα παραπάνω έρχονται να προωθήσουν την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών, τα ακόλουθα πλεονεκτήματά τους:

- αποτελούν μορφές ενέργειας που πρακτικά δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ και αυτό είναι και το μεγαλύτερο πλεονέκτημά τους, συγκριτικά με τα ορυκτά καύσιμα.
- είναι ήπιες μορφές ενέργειας, ιδιαίτερα φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο.
- παράγουν μικρά έως μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα, σε αντίθεση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.
- αποτελούν ευέλικτες μορφές ενέργειας, καθώς παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του πληθυσμού και μπορούν να τοποθετηθούν κοντά σε πόλεις αλλά και σε απομακρυσμένες περιοχές. Η κοινωνία έτσι αποδεσμεύεται από μεγάλες μονάδες παραγωγής ενέργειας και από το κόστος της μεταφοράς της.
- ο εξοπλισμός που απαιτούν οι ΑΠΕ είναι σχετικά ανθεκτικός στο χρόνο, κι έτσι το λειτουργικό κόστος παραμένει μικρό και δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της οικονομίας.
- δίνουν τη δυνατότητα σε ατομικό επίπεδο, να επιτυγχάνεται η κάλυψη αναγκών μικρής κλίμακας με την εγκατάσταση μονάδων παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας σε ατομικές ιδιοκτησίες.
- οι επενδύσεις στις ΑΠΕ προσφέρουν θέσεις εργασίας και συμβάλλουν στην ανάπτυξη των τοπικών κοινωνιών.
- επιδοτούνται κατά μεγάλο ποσοστό από τις κυβερνήσεις.
- δημιουργείται ανάπτυξη στην τεχνολογία και δίνεται η δυνατότητα για περαιτέρω έρευνα και αναβάθμιση των συστημάτων, με στόχο την καλύτερη ενεργειακή απόδοση και τη μείωση του κόστους κατασκευής και λειτουργίας.

Πέραν των πλεονεκτημάτων αυτών, οι ΑΠΕ ας συνοδεύονται και από κάποια αρνητικά στοιχεία που αφορούν την αξιοποίηση και την εκμετάλλευσή τους, τα οποία είναι τα εξής:

- το υψηλό κόστος δημιουργίας μονάδων που αξιοποιούν τις ΑΠΕ, λόγω της σύγχρονης τεχνολογίας που απαιτείται είναι μια αρνητική συνιστώσα.
- η παραγόμενη ενέργεια πολλές φορές εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες και δεν είναι διαθέσιμη ανά πάσα στιγμή, όπως για παράδειγμα η αιολική ενέργεια που εξαρτάται από τον άνεμο και απαιτεί συγκεκριμένες συνθήκες για την παραγωγή της.
- προκύπτουν ακόμα, γεωγραφικοί περιορισμοί καθώς οι ΑΠΕ δεν είναι το ίδιο αποδοτικές σε όλα τα γεωγραφικά μήκη και πλάτη και εξαρτώνται από διάφορες περιβαλλοντικές συνιστώσες.

- υπάρχει τέλος, μεγάλη ανάγκη αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, ακριβώς γιατί δεν είναι διαθέσιμη ανάλογα με τις ενεργειακές ανάγκες κάθε χρονική στιγμή.

Προκειμένου να ενσωματωθούν πλήρως στο ενεργειακό μίγμα οι ΑΠΕ και να επιτευχθούν οι στόχοι που έχει θέσει η χώρα, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη οι αρνητικές πτυχές τους και να γίνει προσπάθεια μείωσή τους. Χρειάζεται λοιπόν να ενταθούν οι μελέτες για την κατασκευή και την ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών που θα αντισταθμίζουν το κόστος κατασκευής τους. Ακόμα χρειάζεται να πραγματοποιηθούν μελέτες, που θα βελτιστοποιούν την απόδοσή τους, ώστε να μην στηρίζεται η παραγωγή άμεσα με την τυχαιότητα των καιρικών συνθηκών και των γεωγραφικών περιορισμών. Τέλος, αναγκαία είναι η αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας, ώστε να αξιοποιείται σε πραγματικό χρόνο όταν οι ενεργειακές ζητήσεις είναι μεγάλες.

## 2.4 Υβριδικά συστήματα αξιοποίησης ΑΠΕ

Τα υβριδικά συστήματα συνδυάζουν δύο ή περισσότερες ενεργειακές πηγές, εκ των οποίων η μία τουλάχιστον είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Ο στόχος των υβριδικών συστημάτων είναι να καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες μέσω της σωστής αξιοποίησης των χαρακτηριστικών της κάθε πηγής, ώστε να προκύπτει μια αποδοτικότερη μορφή ενέργειας. Σύμφωνα με το νόμο 3468/2006 ΦΕΚ Α' 129 παράγραφος 25, άρθρο 2<sup>ο</sup>, ορίζεται ως υβριδικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εκείνος που:

- χρησιμοποιεί μία τουλάχιστον ΑΠΕ.
- η συνολική ενέργεια που απορροφάται από το δίκτυο ετησίως δεν υπερβαίνει το 30% της συνολικής ενέργειας, που καταναλώνεται από το σύστημα για την πλήρωση του συστήματος αποθήκευσης του σταθμού αυτού. Καθορίζεται ως ενέργεια που απορροφά ο υβριδικός σταθμός από το δίκτυο, η διαφορά μεταξύ της ενέργειας, όπως αυτή υπολογίζεται κατά την είσοδο της στον σταθμό, με την ενέργεια που αποδίδεται απευθείας στο δίκτυο από τις μονάδες ανανεώσιμων πηγών στο δίκτυο. Παράλληλα, η χρησιμοποιούμενη συμβατική ενέργεια δεν μπορεί να ξεπερνά το 10% της συνολικής παραγόμενης ενέργειας, σε ετήσια βάση από τις μονάδες αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας.
- η μέγιστη ισχύς των μονάδων παραγωγής δεν μπορεί να υπερβαίνει την εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων αποθήκευσης του σταθμού προσαυξημένη κατά 20%.

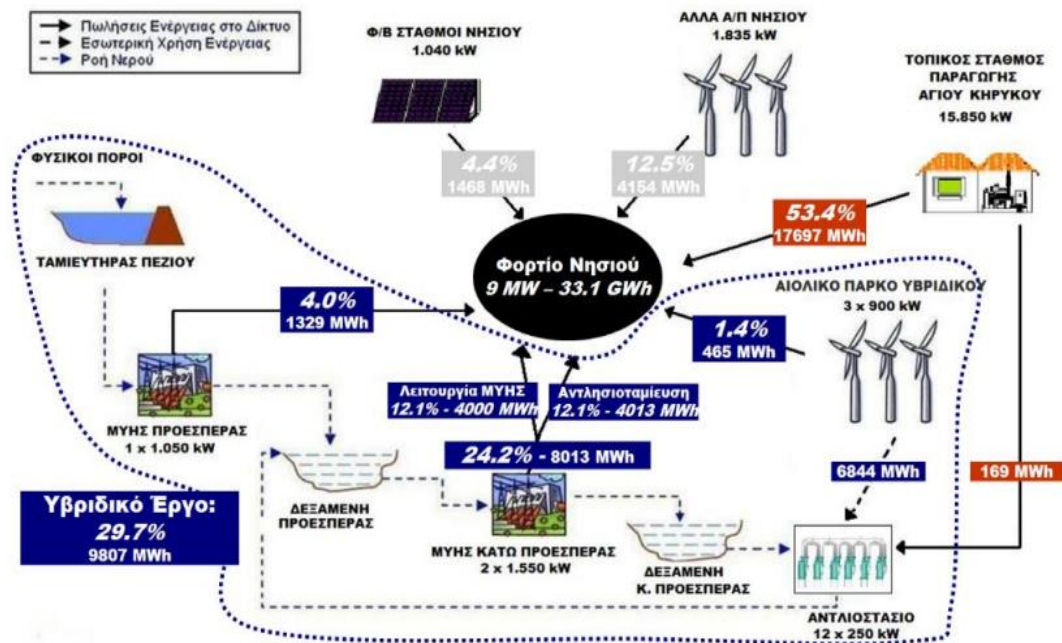
Η ανάπτυξη των υβριδικών συστημάτων οδήγησε στην αντιμετώπιση της αστάθειας και απρόβλεπτης συμπεριφοράς των ΑΠΕ. Συγκεκριμένα, συνέβαλλε στη μείωση της μεταβλητότητας των δύο κύριων ΑΠΕ, της αιολικής και της ηλιακής, οι οποίες εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες και δεν είναι βέβαιο ότι αποδίδουν, όταν η ζήτηση για ενέργεια είναι μεγάλη. Ένα υβριδικό σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει μία συμβατική πηγή ενέργειας σε συνδυασμό με μία τουλάχιστον ΑΠΕ, διατάξεις

αποθήκευσης, συστήματα ελέγχου αλλά και σύστημα που διαχειρίζεται το φόρτο κατανάλωσης. Όσον αφορά τα υβριδικά συστήματα που χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας κάποιο ορυκτό καύσιμο, σημαντικό είναι να αναφερθεί πως λειτουργούν με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση αυτού. Με βάση τα παραπάνω αποτελούν την πλέον κατάλληλη και οικονομική μορφή παραγωγής ενέργειας, ακόμα και σε απομακρυσμένες περιοχές δυσπρόσιτες από το δίκτυο, στις ηπειρωτικές και νησιωτικές περιοχές, όπου η εγκατάσταση του δικτύου διανομής ή η μεταφορά καυσίμου είναι απρόσιτη. Ακόμα μια ιδιαιτερότητα των υβριδικών συστημάτων είναι η δυνατότητα τους να παρέχουν αδιάκοπη ενέργεια, ακόμα και σε περίπτωση διακοπής της παροχής. Τέλος, η ταχύτητα εγκατάστασης των επιμέρους μονάδων, το σχετικά σταθερό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και η χρήση φιλικών προς το περιβάλλον ΑΠΕ συμπληρώνουν τη λίστα των πλεονεκτημάτων τους (Σαραφινός κ.α. ,2009).

Έτσι, τα υβριδικά συστήματα αποτελούν πολύ πιο αξιόπιστα συστήματα παραγωγής ενέργειας, σε σχέση με μία μεμονωμένη συμβατική ή και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Η ενέργεια που παράγεται από τα συστήματα αυτά είναι πλήρως ελεγχόμενη και ομαλή. Είναι συστήματα ευέλικτα και μπορούν είτε να κατασκευαστούν εξ αρχής σαν αυτόνομα συστήματα, είτε να ενσωματωθούν σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις. Είναι σημαντικό λοιπόν, να υπάρξει ευρεία ανάπτυξη των υβριδικών συστημάτων και γρήγορη ενσωμάτωση των συστημάτων αποθήκευσης στο δίκτυο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σημαντική πρόοδος σημειώθηκε στη χώρα το 2022, καθώς θεσπίστηκε ο πρώτος νόμος 4951/2022, που διέπει τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, αλλά έγινε και σαφέστερη η ανάγκη για αποθήκευση της ενέργειας ώστε να αντισταθμιστεί η μεταβλητότητα των ΑΠΕ.

Ένα από τα υβριδικά συστήματα που λειτουργούν στη χώρα είναι αυτό της Ικαρίας, πρώτο του είδους του στην Ευρώπη, το οποίο κατασκευάστηκε από τη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ). Το υβριδικό έργο της Ικαρίας, γνωστό και ως Ναέρας, έχει συνολική ισχύ 6.85 MW, εγκαινιάστηκε στις 5 Ιουνίου του 2019 όπου και συνδέθηκε με το ηλεκτρικό δίκτυο της ΔΕΗ. Αποτελείται από το αιολικό πάρκο της Στραβοκουντούρας με τρεις ανεμογεννήτριες 900 kW η καθεμία, το μικρό υδροηλεκτρικό σταθμό (ΜΗΥΣ) Προεσπέρας με έναν υδροστρόβιλο ισχύος 1.05 MW και το ΜΗΥΣ Κάτω Προεσπέρας με δύο υδροστρόβιλους ισχύος 3.10 MW συνολικά και συνδυάζει την αιολική με την υδραυλική ενέργεια (Εικόνα 2.3). Ο ΜΗΥΣ Προεσπέρας παράγει ενέργεια από την υπερχειλίση του παλαιού φράγματος στο Πέζι και λειτουργεί μόνο κατά τη μη αρδευτική περίοδο (Οκτώβριος-Απρίλιος). Κατά τη διάρκεια του έτους, γίνεται η κυκλοφορία του νερού μεταξύ της άνω και κάτω δεξαμενής και παράγεται υδροηλεκτρική ενέργεια από το ΜΗΥΣ Κάτω Προεσπέρας. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του υβριδικού συστήματος προκύπτει από τη λειτουργία του αντλιοστασίου με ενέργεια παραγόμενη από το αιολικό πάρκο. Η διαδικασία αυτή αποτελεί αποθήκευση ενέργειας (μπαταρία), δεδομένου ότι η αιολική ενέργεια δεν απορροφάται από το έργο, αλλά αποθηκευμένη στο νερό κατά τη μεταφορά του στις δύο δεξαμενές, αποδίδεται τελικά στο ηλεκτρικό δίκτυο με τη μορφή υδροηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενη από το ΜΗΥΣ Κάτω Προεσπέρας. Έτσι, το υβριδικό ενεργειακό έργο της Ικαρίας παράγει συνολική καθαρή ενέργεια της τάξεως των 9.8 GWh/έτος, καλύπτοντας μεγάλο μέρος των ενεργειακών αναγκών του νησιού.



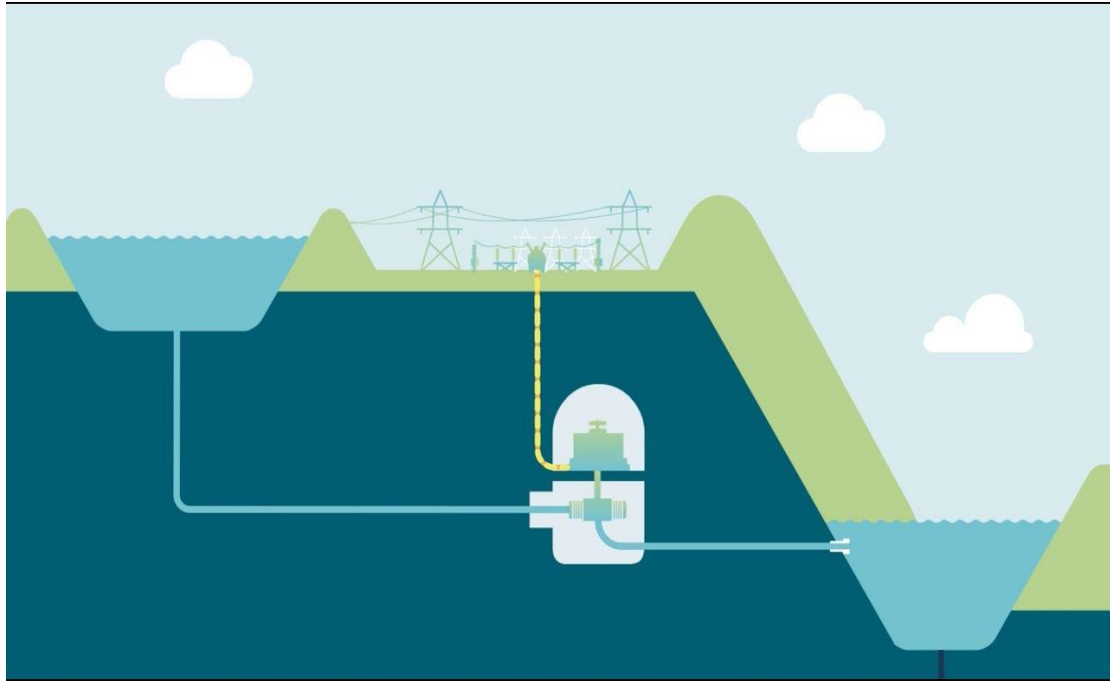


Εικόνα 2.3: Διάγραμμα ροής υβριδικού έργου Ικαρίας (Πηγή: Αν. Καθ. Σταύρος Παπαθανασίου, 2013).

## 2.5 Αντλησιοταμίευση

Η ανάγκη για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται όλο και πιο μεγάλη, παράλληλα με την αύξηση του δυναμικού των αιολικών και ηλιακών συστημάτων παραγωγής ενέργειας. Περίπου τα 2/3 της παγκόσμιας παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ προέρχονται από την αιολική και ηλιακή. Ωστόσο, η παραγόμενη αιολική και ηλιακή ενέργεια, όπως έχει ήδη αναφερθεί χαρακτηρίζεται από μεταβλητότητα και εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες. Δημιουργούνται έτσι προβλήματα στην άμεση παραγωγή και στην ενεργειακή τροφοδότηση του δικτύου με συνεχής ροή. Ως εκ τούτου, η αποθήκευση της ενέργειας αποτελεί το μέλλον για την εξασφάλιση της ενεργειακής απόδοσης και την αξιοποίηση όλου του δυναμικού των ΑΠΕ, ώστε να αξιοποιείται όλη η παραγόμενη ενέργεια καθόλη τη διάρκεια και όχι μόνο κατά την ώρα αιχμής.

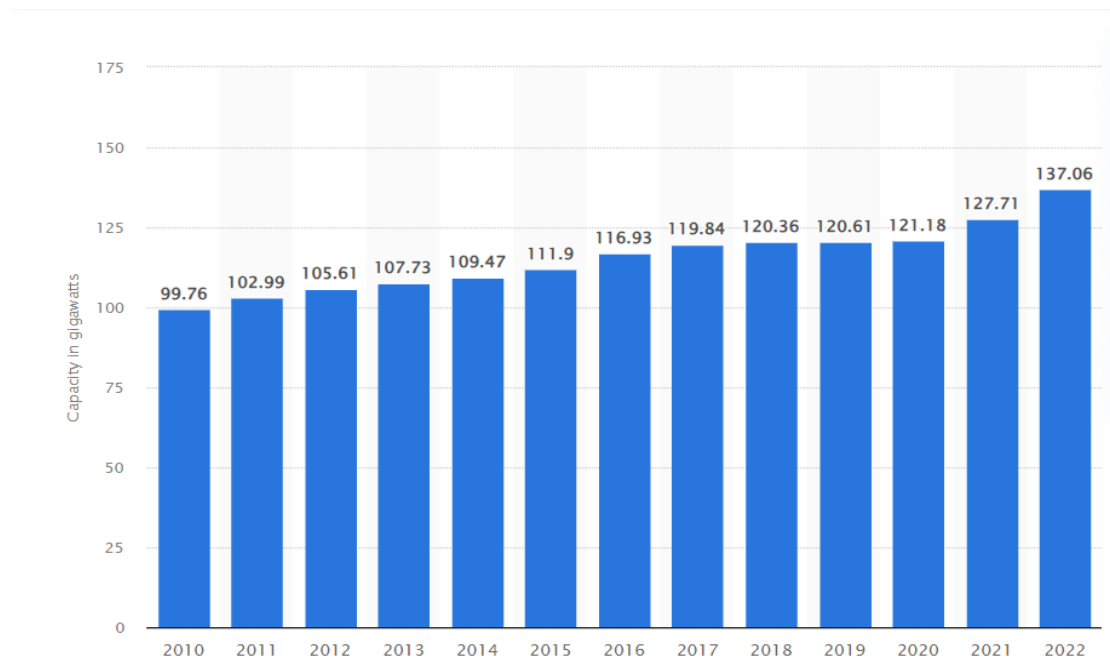
Η αποθήκευση ενέργειας με αντλησιοταμίευση χρησιμοποιεί την περίσσεια ηλεκτρική ενέργεια, κατά τις περιόδους όπου η ζήτηση είναι χαμηλή, προκειμένου να μεταφέρει νερό μέσω υδροστρόβιλων από έναν χαμηλότερο ταμιευτήρα σε έναν υψηλότερο (Εικόνα 2.4). Κατά τις περιόδους υψηλής ζήτησης, το αποθηκευμένο νερό του ανάντη ταμιευτήρα απελευθερώνεται και παράγεται υδροηλεκτρική ενέργεια. Τα τυπικά συστήματα αντλησιοταμίευσης χρησιμοποιούν την αιολική ή ηλιακή ενέργεια συμπληρωματικά, για να πραγματοποιηθεί η μεταφορά του νερού σε μεγαλύτερο υψόμετρο.



Εικόνα 2.4: Τυπική διατομή συστήματος αντλησιοταμίευσης (Πηγή: Hydro Tasmania, 2018).

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της αντλησιοταμίευσης είναι άμεση εκκίνηση και διακοπή λειτουργίας του συστήματος. Η συνολική απόδοση του συστήματος αντλησιοταμίευσης ανέρχεται σε ποσοστό 65-70%, αν και σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να είναι και μικρότερη. Η τεχνική αυτή είναι επί του παρόντος, το οικονομικότερο μέσο αποθήκευσης μεγάλης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά περιορίζεται από γεωλογικά, γεωγραφικά και περιβαλλοντικά κριτήρια. Για να είναι αποδοτική η μέθοδος της αντλησιοταμίευσης απαιτείται μία υψομετρική διαφορά μεταξύ των ταμιευτήρων τουλάχιστον 100 m. Ακόμα, απαραίτητη είναι η ελάχιστη οριζόντια χιλιομετρική απόσταση μεταξύ των δύο ταμιευτήρων, ώστε να περιορίζονται οι απώλειες και το κόστος μεταφοράς του νερού. Τέλος, ο κυριότερος περιορισμός είναι το υψηλό κόστος κατασκευής τεχνητών ταμιευτήρων και η εύρεση του κατάλληλου κοιλώματος που θα τον φιλοξενεί.

Τα σαφή συγκριτικά πλεονεκτήματα οδήγησαν στην ανάπτυξη της τεχνολογίας των συστημάτων αποθήκευσης με τη μέθοδο της αντλησιοταμίευσης παγκοσμίως, ήδη από τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, ωστόσο ο σχεδιασμός και η κατασκευή τους ξεκίνησαν μετά το Β' παγκόσμιο πόλεμο και ιδιαίτερα την περίοδο μεταξύ 1960-1980. Με την είσοδο στον 21<sup>ο</sup> αιώνα, το ενδιαφέρον για την αντλησιοταμίευση ανανεώθηκε, καθώς τα συστήματα αποθήκευσης θεωρούνται πλέον το κλειδί για την ολοκλήρωση της αξιοποίησης όλου του δυναμικού των ΑΠΕ. Σύμφωνα με το διεθνή οργανισμό ΙΗΑ (International Hydropower Association), η παγκόσμια χωρητικότητα αποθηκευμένης ενέργειας με αντλησιοταμίευση αυξήθηκε κατά περισσότερο από 30% σε περίπου μία δεκαετία, από περίπου 100 GW το 2010 σε περίπου 135 GW το 2022, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 2.5.



Διάγραμμα 2.3: Παγκόσμια χωρητικότητα συστημάτων αντλησιοταμίευσης (Πηγή: Statista) .

Η Κίνα αποτελεί τη χώρα με τη μεγαλύτερη χωρητικότητα αποθηκευμένης ενέργειας με αντλησιοταμίευση για το έτος 2022, ισοδύναμη με περίπου 45 GW, ενώ ακολουθούν η Ιαπωνία με σχεδόν 22 GW και οι ΗΠΑ με περίπου 19 GW. Στην Ευρώπη υπάρχουν αρκετά συστήματα τέτοιου τύπου, στα οποία βρίσκεται το ¼ της παγκόσμιας αποθηκευμένης ενέργειας με αντλησιοταμίευση. Συγκεκριμένα, η χωρητικότητα της αποθηκευμένης ενέργειας στην Ευρώπη ξεπέρασε τα 44 GW το 2022. Στην τιμή αυτή συνέβαλλε η κατασκευή ενός τεράστιου έργου αντλησιοταμίευσης στην Ελβετία, που ολοκληρώθηκε τον Ιούλιο του 2022. Η μονάδα παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας του Nant de Drance, βρίσκεται στις ελβετικές Άλπεις και είναι εξοπλισμένη με τουρμπίνες μεγάλης ευελιξίας. Αποτελείται από δύο ταμιευτήρες με υψομετρική διαφορά μεταξύ τους, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.5, και λειτουργεί ως μπαταρία, καθώς χρησιμοποιεί την περίσσεια ενέργεια κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης, ώστε να μεταφέρει το νερό από τον κατάντη στον ανάντη ταμιευτήρα. Αντίστοιχα κατά τις ώρες υψηλής ζήτησης, το νερό στην υψηλότερη δεξαμενή ρέει προς τη χαμηλότερη, περιστρέφει τις τουρμπίνες και παράγεται υδροηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 2.5: Ταμιευτήρες του Nant de Drance (Πηγή: Autoblog, 2022).

Το σύστημα αντλησιοταμίευσης Nant de Drance αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις αυτού του είδους στην Ευρώπη. Πρόκειται να παίξει καθοριστικό ρόλο στην σταθεροποίηση του ηλεκτρικού δικτύου, κατά τη μετάβαση προς τις ΑΠΕ και να συμβάλλει στην απόδοση της ενεργειακής τροφοδοσίας.

## **3 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ**

### **3.1 Γενικά στοιχεία**

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει την ευρύτερη έκταση γύρω από τον ταμιευτήρα Στράτου. Το υπό μελέτη έργο αντλησιοταμίευσης δύναται να εξυπηρετήσει τις ενεργειακές ανάγκες του Δήμου Αγρινίου. Πρόκειται για το μεγαλύτερο δήμο του νομού Αιτωλοακαρνανίας, με μόνιμο πληθυσμό που ανέρχεται στους 101,384 κατοίκους, σύμφωνα με την απογραφή της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής που πραγματοποιήθηκε το 2021. Η έκταση του ανέρχεται στα 1,246.65 km<sup>2</sup> και συνορεύει με τους Δήμους Θέρμου, Ναυπακτίας, Ι.Π. Μεσολογγίου, Ξηρομέρου και Αμφιλοχίας. Η πόλη του Αγρινίου είναι και η μοναδική πόλη του Δήμου και αποτελείται από το 50% του συνολικού πληθυσμού του. Η θέση της πόλης προσδιορίζεται στο κέντρο του Δήμου, ανάμεσα από τον ποταμό Αχελώο, που βρίσκεται στα δεξιά της και από τη λίμνη Τριχωνίδα που κείται στα νοτιοανατολικά της. Τέλος, σημαντικό είναι να αναφερθεί πως το όνομα του ταμιευτήρα προέρχεται από την κωμόπολη της Στράτου, η οποία βρίσκεται στα αριστερά του ταμιευτήρα σε απόσταση μικρότερη των 2 km.

### **3.2 Ιστορική Αναδρομή**

Η ιστορία της περιοχής ξεκινά από τα πρώιμα χρόνια της προϊστορικής περιόδου. Κατά τη μυθολογία, η πόλη του Αγρινίου χτίστηκε από το Βασιλιά Άγριο γύρω στο 1600 π.Χ., ο οποίος ήταν απόγονος του γενάρχη Αιτωλού και του γιού του Πλευρώνα. Ο ποταμός Αχελώος αποτέλεσε το φυσικό σύνορο της πόλης μεταξύ Αιτωλίας και Ακαρνανίας, με την πόλη του Αγρινίου να βρίσκεται τότε στην κυριαρχία των Αιτωλών και τότε των Ακαρνάνων, μέχρι ότου καταστράφηκε το 314 π.Χ.. Οι ανασκαφές που πραγματοποιήθηκαν το 1920, από το Μηλιάδη ανέδειξαν την αρχαία πόλη στο γειτονικό Ζαπάντι, ή όπως ονομάζεται σήμερα Μεγάλη Χώρα. Την εποχή της Τουρκοκρατίας, η πόλη ξαναεμφανίστηκε με το όνομα Βραχώρι και κατοικήθηκε από πολλούς Τούρκους. Έλαβε ενεργό μέρος στην Επανάσταση του 1821 και απελευθερώθηκε προσωρινά στις 11 Ιουνίου του 1821. Ωστόσο, κατακτήθηκε αργότερα ξανά από τον Κιουταχή και τελικά απελευθερώθηκε το 1832, λαμβάνοντας το όνομα Αγρίνιον. Η πόλη άρχισε να αναπτύσσεται με γρήγορους ρυθμούς, ιδιαίτερα μετά τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, καθώς ξεκίνησε η καλλιέργεια και το εμπόριο καπνού. Αργότερα, κατά τη Μικρασιατική καταστροφή, σημειώθηκε μεγάλη μετακίνηση προσφύγων, οι οποίοι και εγκαταστάθηκαν στην περιοχή του Άγιου Κωνσταντίνου.

Η κωμόπολη της Στράτου, από την άλλη, αναπτύχθηκε παράλληλα με την πόλη του Αγρινίου και η ιστορική σημασία της είναι μεγάλη, καθώς υπήρξε μία από τις καλύτερα οχυρωμένες πόλεις της Ακαρνανίας. Ήταν χτισμένη στα σύνορα με την Αιτωλία, σε υπερυψωμένη θέση, δίπλα από τον ποταμό Αχελώο ο οποίος εκείνο το διάστημα ήταν

πλωτός. Ο λόφος της Στράτου φαίνεται να έχει κατοικηθεί από το 1600 π.Χ., ωστόσο απέκτησε γεω-στρατηγική σημασία από τον 4<sup>ο</sup> αιώνα, όπου και υπήρξε πρωτεύουσα του Κοινού των Ακαρνάνων μέχρι και το 2<sup>ο</sup> αιώνα, όταν τη θέση αυτή ανέλαβε το Θυρρείο. Κατά τη διάρκεια του Πελοποννησιακού πολέμου, η πόλη πολιορκήθηκε από τους Σπαρτιάτες, χωρίς ωστόσο να ηττηθεί. Αργότερα όμως το 314 π.Χ., ο Βασιλιάς Κάσσανδρος την κατέκτησε χρησιμοποιώντας την ως οχυρό ενάντια των Αιτωλών, οι οποίοι το 263 π.Χ. την προσάρτησαν στην Αιτωλία. Κατά το 169 π.Χ., η Στράτος μαζί με άλλες πόλεις συμάχησε με τους Ρωμαίους κατά του Βασιλιά Περσέα της Μακεδονίας, και συνεχώς ξεκίνησε η Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία.

Σήμερα, υπάρχουν αρκετοί αρχαιολογικοί χώροι που μαρτυρούν την ιστορία της Στράτου. Ένας από αυτούς είναι ο ναός του Στρατίου Διός, προστάτης των Στρατιών, ο οποίος βρίσκεται βορειοδυτικά του χωριού. Κτίστηκε κατά την περίοδο 321-312 π.Χ. σε δωρικό ρυθμό, εξολοκλήρου από ντόπιο σκληρό ασβεστόλιθο, παρέμεινε όμως ημιτελής λόγω των πολεμικών συγκρούσεων που συνέβησαν.

Επιπλέον, βορειοανατολικά του χωριού, βρίσκεται το αρχαίο θέατρο της Στράτου, το οποίο χρονολογείται στο τέλος του 4<sup>ου</sup> αιώνα. Η χωρητικότητά του υπολογίζεται ότι ήταν 7.000 άτομα και αποτελεί το μεγαλύτερο του νομού Αιτωλοακαρνανίας. Ήταν φτιαγμένο από πέτρα, στο κοίλωμα μιας πλαγιάς και είχε θέα τον ποταμό Αχελώο. Σήμερα, η κατάσταση του αρχαίου θεάτρου δεν είναι σε πολύ καλή κατάσταση και ότι έχει απομείνει από αυτό φαίνεται στην Εικόνα 3.1.



Εικόνα 3.1: Αρχαίο Θέατρο Αρχαίας Στράτου (Πηγή: Ancient theater culture, 2015).

### 3.3 Οικονομία και απασχόληση

Ο αγροτικός τομέας είναι ο βασικότερος κλάδος απασχόλησης της περιοχής και αποτελεί την κύρια πηγή εισοδήματος. Οι ευνοϊκές συνθήκες που επικρατούν, τα εύφορα εδάφη και η ταύτιση της περιοχής με συγκεκριμένα αγροτικά προϊόντα επικροτούν την αγροτική ανάπτυξη. Παραδοσιακά, η καλλιέργεια καπνού ήταν συνυφασμένη με την αγροτική οικονομία της περιοχής από τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Ο καπνός αποτελούσε το τρίτο εγχώριο αγροτικό προϊόν σε πρόσοδο, μετά το λάδι και το βαμβάκι, ενώ οι καλλιεργητές του νομού Αιτωλοακαρνανίας συνολικά κατείχαν το 30% σχεδόν της συνολικής παραγωγής της χώρας. Ωστόσο, η Κοινή Αγροτική Παραγωγή της Ευρωπαϊκής Ένωσης το 2006, με την ενιαία ενίσχυση και τη συνολική αποδέσμευση της, οδήγησε στην απότομη διακοπή της καλλιέργειας του καπνού. Παρόλα αυτά, λόγω της μεγάλης ανάπτυξης της καλλιέργειας αυτής, ιδρύθηκαν εταιρείες επεξεργασίας και εμπορίας καπνού, με τη σημαντικότερη να είναι η Παπαστράτος Α.Β.Ε.Σ. , της οποίας τα κτίρια διατηρούνται μέχρι και σήμερα. Από το 2005 και έπειτα, οι καλλιέργειες στράφηκαν κυρίως στις ζωοτροφές και στα σιτηρά. Οι μισές περίπου εκτάσεις της περιοχής καλλιεργούνται για σιτηρά, χορτονομές και αραβόσιτο. Επιπλέον, βασική καλλιέργεια της περιοχής είναι οι ελαιώνες, η οποία δίνει εισόδημα σε μεγάλο μέρος του πληθυσμού. Τέλος, ένα σημαντικό μέρος των απασχολούμενων ασχολείται με την κτηνοτροφία. Συγκεκριμένα, βάση στοιχείων, ο νομός βρέθηκε πρώτος στην εκτροφή αιγοπροβάτων το 2010, αφού ανέρχονταν στα 1,000,000 περίπου αιγοπρόβατα. Σημαντική ανάπτυξη στην περιοχή τα τελευταία χρόνια φαίνεται να έχει και η βιολογική καλλιέργεια και κτηνοτροφία. Σε δεύτερη θέση έρχεται η απασχόληση στο δευτερογενή τομέα, με την ύπαρξη μονάδων μεταποίησης των αγροτικών και κτηνοτροφικών προϊόντων. Στην περιοχή, έχουν αναπτυχθεί αρκετές μονάδες μεταποίησης χοιρινού κρέατος, συσκευαστήρια και τυποποιητήρια επιτραπέζιας ελιάς, ελαιόλαδου και άλλων γεωργικών προϊόντων, καθώς και μονάδες παραγωγής τυροκομικών προϊόντων και μεταποίησης γάλακτος, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη του πρωτογενούς και δευτερογενούς τομέα.

### 3.4 Γεωγραφικά χαρακτηριστικά

Γεωμορφολογικά η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από πεδινές περιοχές στις οποίες αναπτύσσεται η γεωργία, από περιοχές ημιορεινές και από περιοχές ορεινές στα βορειοανατολικά (Εικόνα 3.2). Στις πεδινές περιοχές, το κλίμα χαρακτηρίζεται από πολύ ζεστά καλοκαίρια με υψηλές θερμοκρασίες, που συνήθως ξεπερνούν τους 40° C και ήπιους χειμώνες. Αντίστοιχα στις περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο, τα καλοκαίρια είναι πιο δροσερά, ενώ το χειμώνα αναπτύσσονται χαμηλές θερμοκρασίες με χιόνια. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από μέτρια σεισμική δραστηριότητα και κατατάσσεται στην

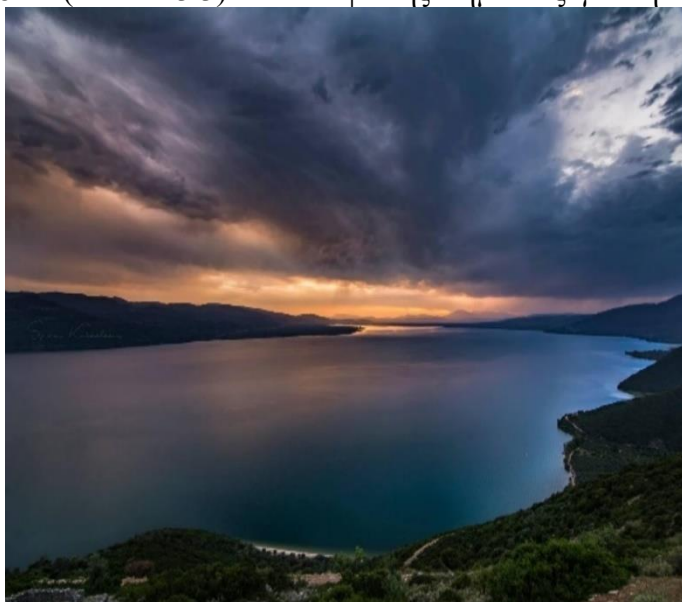
κατηγορία II, σύμφωνα με τις διατάξεις του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (Ε.Α.Κ. 2000).



Εικόνα 3.2: Περιοχή μελέτης μέσω δορυφόρου (Πηγή:Google earth).

Η περιοχή χαρακτηρίζεται από το υγρό στοιχείο, μιας και διαθέτει μεγάλες λίμνες, φυσικές και τεχνητές, καθώς και ποτάμια ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη της οικονομίας και της κοινωνίας. Στις φυσικές λίμνες, περιλαμβάνονται οι εξής:

- Η Τριχωνίδα, η οποία είναι και η μεγαλύτερη της χώρας με επιφάνεια 95.80 km<sup>2</sup> και μέγιστο βάθος 58 m (Εικόνα 3.3). Είναι υψίστης σημασίας για την οικονομία και την κοινωνία της περιοχής, καθώς αρκετοί κάτοικοι βιοπορίζονται από αυτήν είτε μέσω της αλιείας, είτε μέσω του τουρισμού που προσελκύει η φυσική ομορφιά της λίμνης. Σημαντική είναι επιπλέον, η βιοποικιλότητα η οποία αναπτύσσεται σε χλωρίδα και πανίδα, τόσο στη λίμνη, όσο και στις παραλίμνιες περιοχές.



Εικόνα 3.3: Λίμνη Τριχωνίδα (Πηγή: Σπύρος Κοκκαλάκης, 2018).



- Η Λυσιμαχία, που εντοπίζεται πλησίον της Λίμνης Τριχωνίδας και συνδέεται με αυτή μέσω τεχνητών ενωτικών τάφρων. Η επιφάνεια της λίμνης αντιστοιχεί σε 13.20 km<sup>2</sup> και το μέγιστο βάθος της είναι μόλις 9 m (Εικόνα 3.4).



Εικόνα 3.4: Λίμνη Λυσιμαχία (Πηγή: Above View,2022).

- Ο Οζερός, ο οποίος είναι αρκετά μικρότερος από τις άλλες δύο και ανεξάρτητος από αυτές. Έχει έκταση ίση με 10 km<sup>2</sup>, ενώ το βάθος του κυμαίνεται ανάλογα με την εποχή στα 8-10 m (Εικόνα 3.5).



Εικόνα 3.5: Λίμνη Οζερός (Πηγή: NATURA 2000, 2015).

- Η Αμβρακία, η οποία απέχει μόλις ένα χιλιόμετρο από τον Οζερό και βρίσκεται ανάμεσα στην πόλη της Αμφιλοχίας και του Αγρινίου. Έχει μέγιστο μήκος ίσο με 13.8 km, πλάτος 3.8 km και το βάθος της κυμαίνεται γύρω στα 40 m (Εικόνα 3.6). Ωστόσο, υπάρχουν έντονες διακυμάνσεις στην στάθμη του νερού και στην έκταση που καταλαμβάνει ανάλογα με την εποχή. Ανατολικά της Αμβρακίας, εκτείνεται το δεύτερο μεγαλύτερο δρυόδασος με ήμερη βελανιδιά στο νομό Αιτωλοακαρνανίας, στο όρος Θύαμον (Πεταλάς).



Εικόνα 3.6: Λίμνη Αμβρακία (Πηγή: All over Greece, 2020).

Στις τεχνητές λίμνες από την άλλη, συμπεριλαμβάνονται οι εξής:

- Η τεχνητή λίμνη Καστρακίου, η οποία βρίσκεται πάνω στην κοίτη του ποταμού Αχελώου, στην συμβολή του με τον ποταμό Ίναχο. Η έκταση της επιφάνειας της λίμνης είναι περίπου 28 km<sup>2</sup> και ο όγκος νερού αντιστοιχεί σε 950,000,000 m<sup>3</sup> (Εικόνα 3.7). Το φράγμα που συγκρατεί τα νερά της λίμνης έχει ύψος 95 m, μήκος 530 m και το πάχος στη βάση του είναι 380 m. Στη βάση του φράγματος, υπάρχει υδροηλεκτρικός σταθμός της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η), ο οποίος εντάχθηκε στο δίκτυο το Μάιο του 1966, και εξυπηρετεί τις ανάγκες της ευρύτερης περιοχής.



Εικόνα 3.7: Τεχνητή λίμνη Καστρακίου (Πηγή: Star.gr, 2021).

- Η τεχνητή λίμνη Στράτου, η οποία βρίσκεται και αυτή πάνω στην κοίτη του ποταμού Αχελώου σε κοντινή απόσταση από τον ταμιευτήρα Καστρακίου. Η έκταση της επιφάνειας της λίμνης είναι περίπου 7.40 km<sup>2</sup> και ο όγκος νερού αντιστοιχεί σε 80,000,000 m<sup>3</sup> (Εικόνα 3.8). Το φράγμα που συγκρατεί τα νερά της λίμνης έχει ύψος 26 m, μήκος 1,900 m και το πάχος στη βάση του είναι 100 m. Στη βάση του φράγματος υπάρχει υδροηλεκτρικός σταθμός της Δ.Ε.Η. ο οποίος εντάχθηκε στο δίκτυο το Μάιο του 1989, και εξυπηρετεί τις ανάγκες της ευρύτερης περιοχής.



Εικόνα 3.8: Τεχνητή λίμνη Στράτου (Πηγή: Βασίλης Γαλατάς,2023).

Τέλος, οι ποταμοί της περιοχής μελέτης επιγραμματικά είναι οι εξής:

- Ο Αχελώος, που είναι ο σημαντικότερος της περιοχής και δεύτερος μεγαλύτερος σε μήκος στην Ελλάδα. Η λεκάνη απορροής του καλύπτει μία έκταση 5,572 km<sup>2</sup> και η μέση ετήσια απορροή του εκτιμάται ίση με 7,800 hm<sup>3</sup>, ενώ η διαδρομή που διανύει για να εκβάλλει στο Ιόνιο πέλαγος είναι ίση με 220 km.
- Ο Δίμηκος, ο οποίος λειτουργεί ως τάφρος παροχέτευσης των υδάτων της Τριγωνίδας και της Λυσιμαχείας στον Αχελώο και το μήκος του εκτιμάται περίπου ίσο με 10 km.
- Η Ερμίτσα, η οποία πηγάζει από την περιοχή του Παναιτωλικού Όρους και εκβάλλει στη λίμνη της Λυσιμαχείας.
- Ο Ζέρβας, που πηγάζει στην περιοχή του Πεντάκορφου Αιτωλοακαρνανίας και εκβάλλει στον ποταμό Αχελώο, διασχίζοντας αρκετά Παρακαμπύλια χωριά.

### 3.5 Περιοχές NATURA

Στην περιοχή μελέτης, διακρίνονται σημαντικές προστατευόμενες περιοχές του δικτύου NATURA 2000, λόγω της πλούσιας βλάστησης και της ιδιαίτερης πανίδας που συνυπάρχουν. Σκοπός του δικτύου είναι η διατήρηση των οικοτόπων και των ειδών

εντυπωσιακού ενδιαφέροντος, ειδικότερα εκείνων που είναι ευάλωτων, καθώς και η δημιουργία πρόσθετων καταφυγίων για τα είδη και τους οικοτόπους εκτός των ορίων των περιοχών του δικτύου. Προκειμένου να διασφαλιστεί η διατήρηση τους σε όλη την έκταση των προστατευόμενων περιοχών, τα μέλη κράτη υποχρεούνται να διασφαλίζουν τη διαφύλαξη, διατήρηση ή αποκατάσταση της επαρκούς ποικιλίας και έκτασης των οικοτόπων. Συγκεκριμένα, απαιτείται από τα κράτη μέλη να απαγορεύσουν τις εξής ενέργειες:

- θανάτωση ή σύλληψη προστατευόμενων ειδών με οποιοδήποτε τρόπο,
- καταστροφή ή εκταμίευση αυγών ή φωλιών, ή αποκομιδή, συλλογή, κοπή, εκρίζωση, ή καταστροφή προστατευόμενων φυτών,
- βλάβη ή καταστροφή των τόπων αναπαραγωγής ή των τόπων ανάπαυσης,
- όχληση εκ προθέσεως, ιδιαίτερα κατά την περίοδο αναπαραγωγής, την νεογενική περίοδο, τη χειμερία νάρκη και τη μετανάστευση,
- κατοχή, εμπορία και διακίνηση δειγμάτων που έχουν αποκομιστεί από το φυσικό περιβάλλον.

Οι παραπάνω απαγορεύσεις, σύμφωνα με την εθνική νομοθεσία πρέπει να τηρούνται σε όλες τις προστατευόμενες περιοχές (European Commission). Το δίκτυο NATURA 2000 περιλαμβάνει στην περιοχή μελέτης τις εξής περιοχές (Εικόνα 3.9):

#### **Λίμνες Τριγωνίδα και Λυσιμαχεία - (GR2310009)**

Η προστατευόμενη περιοχή των λιμνών ενσωματώθηκε στο δίκτυο NATURA 2000 το 1997 και η έκταση της ανέρχεται στα 143.49 km<sup>2</sup>. Παρά την ανθρώπινη δραστηριότητα, οι λίμνες διατηρούν τη χλωρίδα και την πανίδα τους, καθώς και τη φυσική τους ομορφιά. Στις παραλίμνιες εκτάσεις αναπτύσσονται καλάμιες, οι οποίες προσφέρουν καταφύγιο στην άγρια πανίδα. Ανάμεσα στα φυτά που αναπτύσσονται, ορισμένα είναι είδη υπό εξαφάνιση. Στη νότια πλευρά της λίμνης Τριγωνίδας αναπτύσσεται συγκεκριμένα το υπό εξαφάνιση υδρόβιο είδος *Cladium mariscus*. Σημαντικά ακόμα είναι τα είδη χλωρίδας όπως:

- η Σαλβίνια, η οποία περιλαμβάνεται στη βάση δεδομένων φυτών WCMC σε κατάσταση απειλούμενη και προστατεύεται από την ελληνική νομοθεσία (Προεδρικό Διάταγμα 67/1981),
- η Φτέρη νερού, με ενδιαφέρουσες γεωγραφικές κατανομές.

Ακόμα, σημαντικό ενδιαφέρον από άποψη πανίδας παρουσιάζουν:

- η αγριόγατα *Felis silvestris*, η οποία εμφανίζεται σε μικρή ποσότητα διάσπαρτη σε όλη την Ελλάδα,
- η σαύρα *Lacerta trilineata* και τα φίδια *natrix* που προστατεύονται επίσης από την ελληνική νομοθεσία (Προεδρικό Διάταγμα 67/1981).

Τέλος, η προστατευόμενη περιοχή Τριγωνίδας και Λυσιμαχείας αποτελεί σημαντική περιοχή ανάπαυσης υδρόβιων αποδημητικών πτηνών.

### **Όρος Παναιτωλικό** - (GR2310004)

Η προστατευόμενη περιοχή του όρους Παναιτωλικού ενσωματώθηκε στο δίκτυο NATURA 2000 το 1997 και η έκταση της ανέρχεται στα 191.15 km<sup>2</sup>. Η παρουσία πλατύφυλλων φυλλοβόλων βελανιδιών και κεφαλληνιακών ελάτων δίνουν ιδιαίτερη σημασία στο ορεινό οικοσύστημα του Παναιτωλικού. Τα πλατύφυλλα φυλλοβόλα δάση, αν και είναι υποβαθμισμένα, αποτελούν ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του βουνού, λόγω της συνεχόμενης μείωσης της έκτασης τους στην Κεντρική και Νότια Ελλάδα. Ακόμα το *Anthyllis vulneraria*, ή αλλιώς ο κοινός βίκος των νερών έχει συμπεριληφθεί στα είδη που κινδυνεύουν, λόγω της μικρής εμφάνισης της στη Βαλκανική Χερσόνησο.

### **Λίμνη Οζερός** - (GR2310008)

Η προστατευόμενη περιοχή της λίμνης Οζερού ενσωματώθηκε στο δίκτυο NATURA 2000 το 1997 και η έκταση της ανέρχεται στα 12.96 km<sup>2</sup>. Η γραφική λίμνη του Οζερού διατηρεί ιδιαίτερη χλωρίδα και πανίδα. Στην όχθη της λίμνης, αναπτύσσονται εκτεταμένα καλαμιώνες, που προσφέρουν καταφύγιο στην άγρια πανίδα. Μεγάλο ενδιαφέρον λόγω της μικρής γεωγραφικής εμφάνισης τους παρουσιάζουν η έρπυσα λίππια και το λυκοτρίβολο. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν επίσης, πολλοί από τους υδρόβιους μικροοργανισμούς, καθώς είναι σπάνιοι και σποραδικά κατανομημένοι. Επιπλέον, προστατευόμενη είναι η αγριόγατα *Felis silvestris*, ο βάτραχος *Hyla arborea*, τα φίδια *natrix* και η νυχτερίδα *Pipistrellous*, καθώς αναφέρονται στην ελληνική νομοθεσία (Προεδρικό Διάταγμα 67/1981). Όπως και άλλες λίμνες, ο Οζερός είναι σημαντικός για τα αποδημητικά πουλιά, ενώ παράλληλα έχει αναγνωριστεί ως περιοχή αναπαραγωγής για αρπακτικά πτηνά.

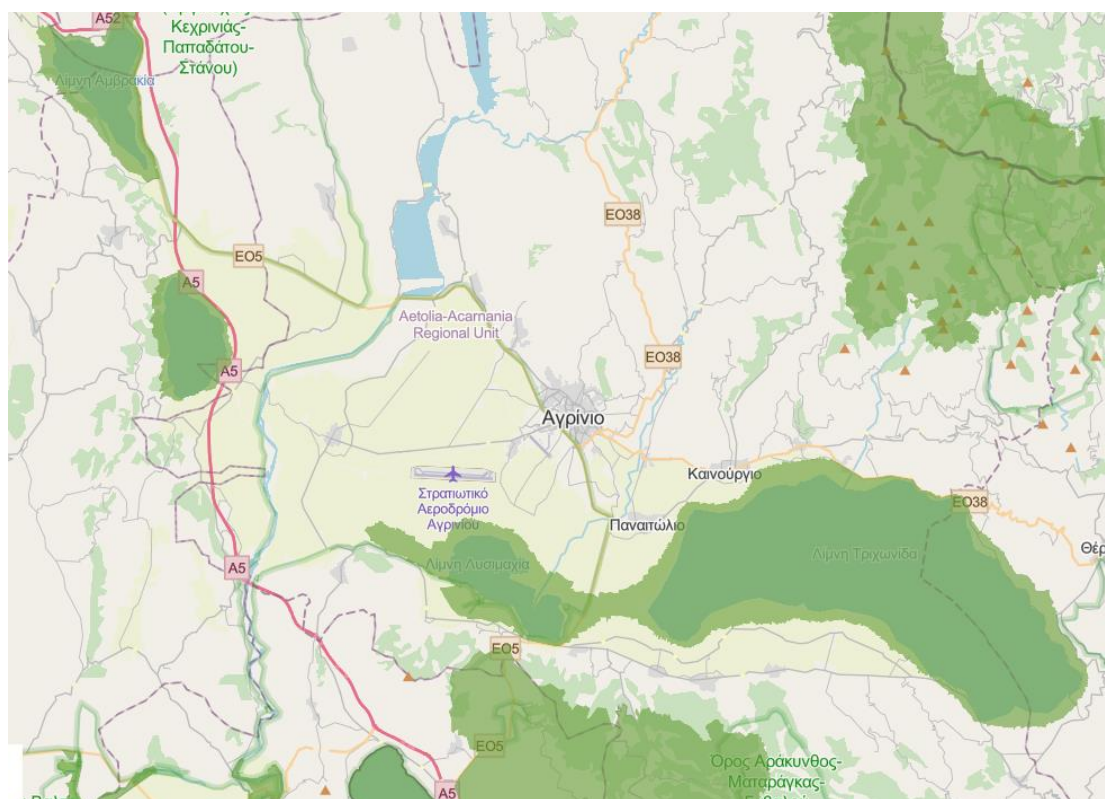
### **Όρος Αρακύνθου και Στενά Κλεισούρας** - (GR2310010)

Η προστατευόμενη περιοχή του Όρους Αρακύνθου και των Στενών Κλεισούρας ενσωματώθηκε στο δίκτυο NATURA 2000 το 1999 και η έκταση της ανέρχεται στα 133.03 km<sup>2</sup>. Η τοποθεσία είναι σημαντική, καθώς αποτελείται από μεγάλους βράχους που συνορεύουν με τους υγροτόπους του Αιτωλικού και Μεσολογίου. Σαν σύνολο προστατεύονται από τη Σύμβαση της Βέρνης και από την ελληνική νομοθεσία (Προεδρικό Διάταγμα 67/1981). Η αξία της προστατευόμενης περιοχής είναι μεγάλη και προστατεύεται από κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα, που θα μπορούσε να επηρεάσει την ιδιόμορφη μορφολογία της.

### **Λίμνη Αμβρακίας** - (GR2310007)

Η προστατευόμενη περιοχή της λίμνης Αμβρακίας ενσωματώθηκε στο δίκτυο NATURA 2000 το 1997 και η έκταση της ανέρχεται στα 2.22 km<sup>2</sup>. Η μικροχλωριδική σύνθεση της λίμνης την καθιστά μοναδική, καθώς έχει υψηλές συγκεντρώσεις θεϊκών ιόντων, λόγω των πετρωμάτων των γύρω βουνών που αποτελούνται από γύψο. Αποτελεί ακόμα, σημαντικό υδροβιότοπο και διαθέτει πλούσια ορνιθοπανίδα και ιδιαίτερη παραλίμνια βλάστηση στη δυτική όχθη κυρίως. Χρησιμοποιείται από πολλά

αποδημητικά πτηνά, μεταξύ των οποίων είναι μεγάλα αρπακτικά πτηνά τα οποία βρίσκονται υπό εξαφάνιση.



Εικόνα 3.9: Περιοχές NATURA 2000 (Πηγή: NATURA 2000).

### 3.6 Υδατικό σύστημα Αχελώου

Ο ποταμός Αχελώος, ή όπως αλλιώς ονομάζεται Ασπροπόταμος, είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος σε μήκος στον ελλαδικό χώρο. Οι πηγές του εμφανίζονται στις οροσειρές της Πίνδου, συγκεκριμένα στο όρος Λάκμος, ενώ οι εκβολές του καταλήγουν στο Ιόνιο πέλαγος, ύστερα από μια διαδρομή 220 km. Η λεκάνη απορροής καλύπτει μια τεράστια έκταση 5,572 km<sup>2</sup>, και με τα νερά του εξυπηρετούνται οι ανάγκες για ύδρευση και άρδευση. Σε όλο το μήκος του εμφανίζεται πλούσια χλωρίδα και πανίδα, με σημαντικότερες την ορνιθοπανίδα και την ιχθυοπανίδα.

Στα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα ο ποταμός ξεκίνησε να αξιοποιείται εντατικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για αυτό το σκοπό κατασκευάστηκαν τα εξής υδροηλεκτρικά έργα:

- το φράγμα των Κρεμαστών, το οποίο κατασκευάστηκε το 1966, δημιουργώντας τη μεγαλύτερη τεχνητή λίμνη στην Ελλάδα,

- το φράγμα του Καστρακίου, το οποίο ολοκληρώθηκε το 1968 και αξιοποιεί τις εκροές του υδροηλεκτρικού σταθμού του φράγματος Κρεμαστών και του ποταμού Ινάχου,
- το φράγμα της Στράτου, τρίτο κατά σειρά, το οποίο κατασκευάστηκε δύο δεκαετίες αργότερα το 1989.
- και τέλος, το φράγμα της Μεσοχώρας, το οποίο ξεκίνησε να κατασκευάζεται το 1985, ωστόσο οι εργασίες κατασκευής του έφτασαν στο τέλος το 2001. Πρόκειται για ένα φράγμα που αποτελεί μέρος της εκτροπής του Αχελώου προς τη Θεσσαλία για την άρδευση 940,000 στρεμμάτων. Η λειτουργία του φράγματος δεν πραγματοποιήθηκε ποτέ μέχρι και σήμερα, λόγω των έντονων αντιδράσεων των κατοίκων της περιοχής, αλλά και των περιβαλλοντικών οργανώσεων και πολιτικών ομάδων που αντιδρούν, υποστηρίζοντας πως η εκτροπή θα έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια χιλιάδων στρεμμάτων δάσους και τη διατάραξη του οικοσυστήματος.

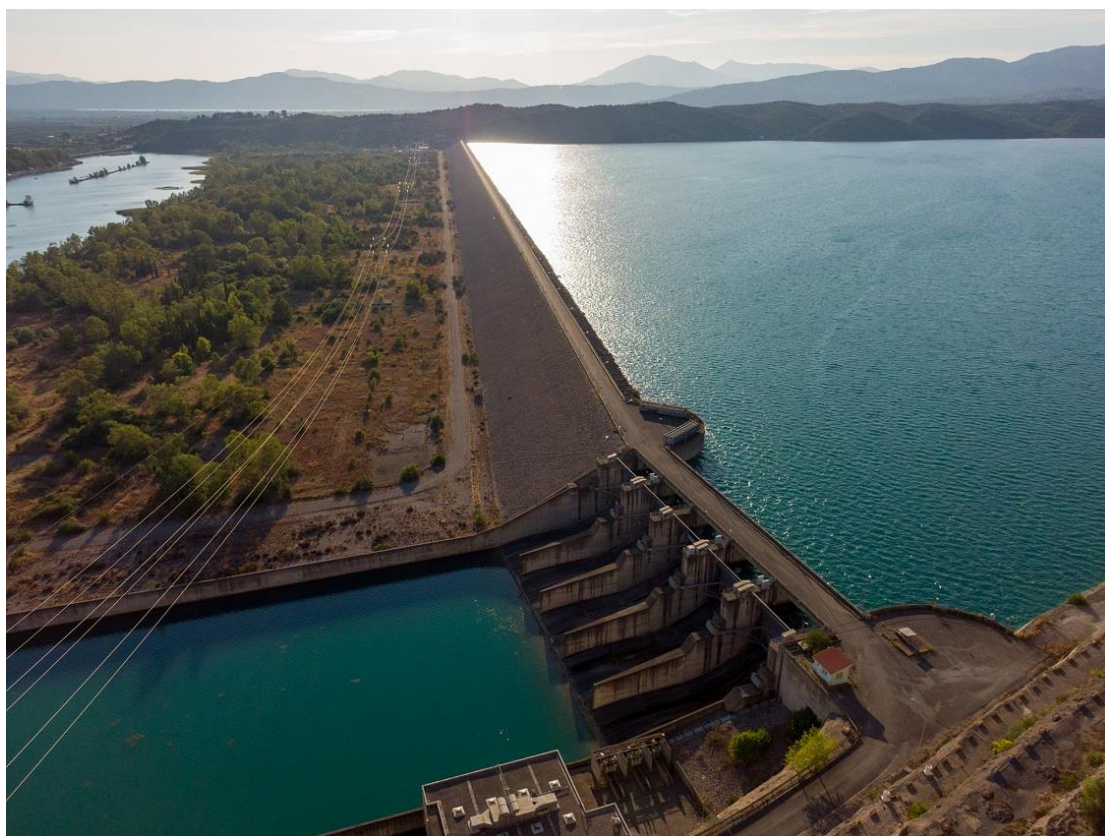
### 3.7 Υδροηλεκτρικός σταθμός Στράτου

Ο υδροηλεκτρικός σταθμός Στράτου αποτελεί το τρίτο και τελευταίο κατά σειρά φράγμα του ποταμού Αχελώου και απέχει 8 km από τον υδροηλεκτρικό σταθμό του Καστρακίου. Βρίσκεται στο νομό Αιτωλοακαρνανίας, βορειοδυτικά της πόλης Αγρινίου και συγκεκριμένα δίπλα στο χωριό της Στράτου, απ' όπου πήρε και το όνομα του. Πρόκειται για φράγμα πολλαπλής σκοπιμότητας, αφού χρησιμοποιείται για ύδρευση, άρδευση, παραγωγή ενέργειας και για προστασία των κατάντη περιοχών από πλημμύρες.

Η κατασκευή του φράγματος πραγματοποιήθηκε και μπήκε σε εμπορική λειτουργία το Μάιο του 1989. Πρόκειται για χωμάτινο φράγμα με κεντρικό αργιλικό πυρήνα ύψους 26 m, μήκους στέψης 1.9 km και πλάτους βάσης του 100 m (Εικόνα 3.10). Ο συνολικός όγκος του χωμάτινου φράγματος ανέρχεται στα 2.8 hm<sup>3</sup>.

Πίνακας 3.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά φράγματος Στράτου.

Ύψος (m)	Μήκος στέψης (m)	Πλάτος βάσης (m)	Όγκος (hm <sup>3</sup> )
26	1,900.00	100	2.8



Εικόνα 3.10: Υδροηλεκτρικό φράγμα Στράτου (Πηγή: Βασίλης Γαλατάς, 2021).

Στο δεξιό αντέρεισμα του φράγματος βρίσκεται ο υδροηλεκτρικός σταθμός Στράτος I, ο οποίος είναι εξοπλισμένος με δύο μονάδες τύπου Francis κατακόρυφου άξονα. Η εγκατεστημένη ισχύς ανέρχεται στα 75 MW για τη κάθε μονάδα, το ωφέλιμο ύψος υδατόπτωσης είναι ίσο με 36.60 m και η ετήσια παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι ίση με 275 GWh (Πίνακας 3.2-3.3). Ο σταθμός παραγωγής είναι υπόγειος. Περιλαμβάνει δύο κεκλιμένες υδροληψίες, δύο σήραγγες προσαγωγής μήκους 74.50 m και διαμέτρου 7.30 m η καθεμία και μία διώρυγα διαφυγής μήκους 7 km, στην οποία οδηγείται το νερό μετά την παραγωγή της υδροηλεκτρικής ενέργειας. Η διώρυγα διαφυγής είναι κατασκευασμένη από επενδυμένο σκυρόδεμα με κλίση πυθμένα 0,02%. Πρόκειται για διώρυγα τραπεζοειδούς διατομής, ύψους 8 m με αναβαθμό πλάτους 4 m στο μέσο του ύψους. Η ανώτατη στάθμη του νερού στην είσοδο της διώρυγας είναι ίση με 32.50 m, ενώ στην έξοδο της διώρυγας η ροή ελέγχεται από οχτώ φατνώματα με επίπεδα ανοιχτά θυροφράγματα. Η κατασκευή των θυροφραγμάτων περιλαμβάνει στην ανωδομή δρόμο πλάτους 3.70 m.

Στο αριστερό αντέρεισμα του φράγματος βρίσκεται ο υδροηλεκτρικός σταθμός Στράτος II, ο οποίος είναι εξοπλισμένος με δύο μονάδες τύπου Tube-S αξονικής ροής οριζόντιου άξονα. Η εγκατεστημένη ισχύς ανέρχεται στα 3.35MW για την κάθε μονάδα με ωφέλιμο ύψος υδατόπτωσης ίσο με 16.80 m και η ετήσια παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι ίση με 160 GWh (Πίνακας 3.2-3.3).

Η κύρια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι ο σταθμός παραγωγής Στράτος I, ενώ ο σταθμός παραγωγής Στράτος II είναι βοηθητικός και η κύρια χρήση



του είναι η άρδευση. Η ετήσια παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας των δύο σταθμών παραγωγής είναι 435 GWh.

Πίνακας 3.2: Τύπος στροβίλων και ισχύς.

Σταθμός παραγωγής	Τύπος στροβίλου	Αριθμός στροβίλων	Ονομαστική ισχύς μονάδας (MW)	Συνολική εγκατεστημένη ισχύς (MW)
Στράτος I	Francis	2	75.00	150.00
Στράτος II	Tube - S	2	3.35	6.70

Πίνακας 3.3: Λειτουργικά χαρακτηριστικά σταθμών.

Σταθμός παραγωγής	Ύψος υδατόπτωσης (m)	Παροχή μονάδων στη μέγιστη στάθμη (m <sup>3</sup> /sec)	Μέση ειδική κατανάλωση νερού κάθε μονάδας (m <sup>3</sup> /KWh)	Ετήσια παραγωγή (GWh)
Στράτος I	36.60	480.00	12.00	275.00
Στράτος II	16.80	46.50	25.00	160.00

Ο υπερχειλιστής του φράγματος βρίσκεται στο αριστερό αντέρεισμα και διαθέτει πέντε ανοιχτά θυροφράγματα με ύψος πτώσης νερού ίσο με 37 m, κεκλιμένη διώρυγα και λεκάνη ηρεμίας. Η μέγιστη παροχетеυτικότητα του υπερχειλιστή είναι ίση με 4,000 m<sup>3</sup>/s. Η λεκάνη ηρεμίας του υπερχειλιστή διαθέτει τις κατάλληλες προδιαγραφές για ναυταθλητισμό και έχει παραχωρηθεί στην ομοσπονδία Θαλάσσιου Σκι.

Ο ταμιευτήρας του υδροηλεκτρικού φράγματος Στράτου αξιοποιεί τις εκροές του φράγματος του Καστρακίου. Η συνολική επιφάνεια του ταμιευτήρα είναι ίση με 7.40 km<sup>2</sup> και η ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα είναι 13 hm<sup>3</sup>. Η ανώτατη επιτρεπόμενη στάθμη λειτουργίας του υδροηλεκτρικού σταθμού είναι στα 68.60 m και η κατώτατη στάθμη λειτουργίας στα 67.00 m (Πίνακας 3.4).

Πίνακας 3.4:Τεχνικά χαρακτηριστικά ταμιευτήρα.

Επιφάνεια ταμιευτήρα (km <sup>2</sup> )	Ωφέλιμη χωρητικότητα (hm <sup>3</sup> )	Κατώτατη στάθμη λειτουργίας (m)	Ανώτατη στάθμη λειτουργίας (m)
7.40	13.00	67.00	68.60

### 3.8 Εξαγωγή σχέσης στάθμης - αποθέματος για τον ταμιευτήρα Στράτου

Δύο από τα κυριότερα χαρακτηριστικά μεγέθη που εισέρχονται στο μοντέλο προσομοίωσης του συστήματος αντλησιοταμίευσης είναι η στάθμη και το απόθεμα του ταμιευτήρα Στράτου. Τα μεγέθη αυτά συνδέονται μεταξύ τους με μία σχέση στάθμης – αποθέματος – επιφάνειας, η οποία εκφράζει τη μεταβολή του μεικτού αποθέματος  $S$  και της επιφάνειας της λεκάνης κατάκλισης  $a$ , συναρτήσει της στάθμης νερού στον ταμιευτήρα  $z$ .

Οι σχέσεις  $s = f_1(z)$ , και  $a = f_2(z)$  κατασκευάζονται με βάση ζεύγη τιμών  $(z_i, a_i)$ , που προκύπτουν με εμβοδομέτρηση των επιφανειών πάνω σε τοπογραφικό χάρτη ή εκτιμώνται με ακρίβεια από ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων.

Συνήθως, διατυπώνονται αναλυτικά, μέσω σχέσεων δύναμης της μορφής (3.1):

$$s = \kappa(z - z_0)^\lambda \quad \text{ή} \quad s = \kappa\left(\frac{z}{z_0}\right)^\lambda, \quad (3.1)$$

όπου  $\kappa$ ,  $\lambda$  παράμετροι που εκτιμώνται μέσω παλινδρόμησης ή διάφορων μεθόδων βελτιστοποίησης και  $z_0$  ένα ελάχιστο υψόμετρο αναφοράς (π.χ. υψόμετρο πυθμένα), (Ευστρατιάδης κ.α., 2018).

Η εξαγωγή της κατάλληλης σχέσης προκύπτει χρησιμοποιώντας την εξελικτική (evolutionary) μέθοδο βελτιστοποίησης, μεταβάλλοντας τις τιμές των  $\kappa$  και  $\lambda$ , ώστε να ελαχιστοποιηθεί το αθροιστικό τετραγωνικό σφάλμα, όπως προκύπτει από την σχέση (3.2):

$$\text{minimize } E(s) = \sum (s_T(z_i) - s(z_i))^2, \quad (3.2)$$

Όπου,

- $s_T(z_i)$ : Το πραγματικό απόθεμα του ταμιευτήρα συναρτήσει της στάθμης, όπως προκύπτει από τις μετρήσεις της ΔΕΗ Α.Ε.
- $s(z_i)$ : Το απόθεμα του ταμιευτήρα συναρτήσει της στάθμης, όπως προκύπτει από τις σχέσεις δύναμης.

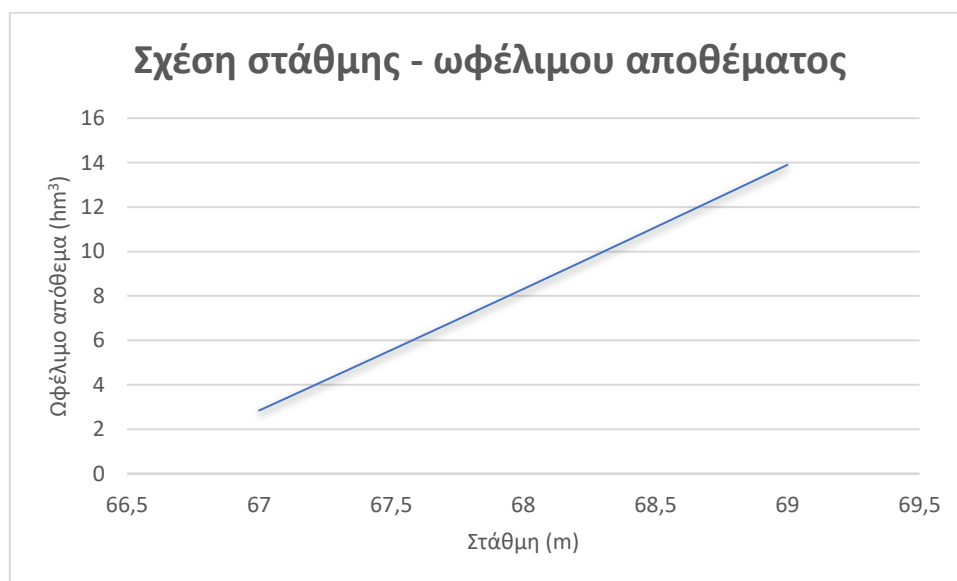
Τα αποτελέσματα της εξελικτικής βελτιστοποίησης για κάθε σχέση δύναμης υπολογίζονται σε υπολογιστικό φύλλο excel με τη χρήση του εργαλείου ‘επίλυσης’ και παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 3.5:

Πίνακας 3.5: Αποτελέσματα γραμμικής βελτιστοποίησης.

Σχέση	$s=k(z-z_0)^\lambda$	$s=k(z/z_0)^\lambda$
κ	1.39	6.38
λ	1.37	1.70
E(s)	16.08	203.15

Το αθροιστικό τετραγωνικό σφάλμα ελαχιστοποιείται για την πρώτη σχέση πολύ περισσότερο από τη δεύτερη, οπότε θεωρείται και καταλληλότερη. Έτσι η σχέση στάθμης – αποθέματος για τον ταμιευτήρα Στράτου έχει τη μορφή (3.3) και παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 3.1:

$$s = 1.39 (z - z_0)^{1.37}, \quad (3.3)$$



Διάγραμμα 3.1: Σχέση στάθμης – ωφέλιμου αποθέματος ταμιευτήρα Στράτου.

## **4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ**

Η συλλογή των ιστορικών χρονοσειρών και δεδομένων πραγματοποιήθηκε ύστερα από αίτημα στη ΔΕΗ, στο Οικονομικό τμήμα του Δήμου Αγρινίου καθώς και στην Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ). Πιο αναλυτικά, τα δεδομένα που συλλέγονται από τη ΔΕΗ περιλαμβάνουν ιστορικές χρονοσειρές εισροών και στοιχεία που αφορούν την λειτουργία του ταμιευτήρα. Τα δεδομένα που συλλέγονται από το Οικονομικό Τμήμα του Δήμου Αγρινίου περιλαμβάνουν μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις. Τέλος, τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από την ΕΜΥ περιλαμβάνουν ιστορικές χρονοσειρές βροχόπτωσης, θερμοκρασίας και ανέμου.

Για τη μελέτη της παρούσας εργασίας απαιτείται η επεξεργασία των δεδομένων και των ιστορικών χρονοσειρών που συγκεντρώθηκαν. Η μελέτη έχει διάρκεια ζωής 40 έτη, επομένως είναι απαραίτητη η παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών 40 ετών, αξιοποιώντας τις υπάρχουσες ιστορικές χρονοσειρές, οι οποίες ωστόσο είναι μικρότερης διάρκειας και διαφορετικού μήκους μεταξύ τους. Επιπλέον είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η επεξεργασία των δεδομένων εισόδου στο μοντέλο προσομοίωσης είναι αναγκαία, ώστε να συμπεριληφθεί η στοχαστικότητα των φυσικών μεγεθών.

### **4.1 Στοχαστικά μοντέλα**

Για την σωστή αξιοποίηση των ιστορικών χρονοσειρών και το σωστό σχεδιασμό ενός μοντέλου προσομοίωσης, απαιτείται η χρήση στοχαστικών μοντέλων. Στην παρούσα μελέτη τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται είναι τα παρακάτω:

#### **AR (2): Μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης τάξης 2**

Περιγράφεται από την εξίσωση (4.1):

$$X_t = \alpha_1 X_{t-1} + \alpha_2 X_{t-2} + v_t, \quad (4.1)$$

Το μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης είναι γραμμικής παλινδρόμησης, στο οποίο εισάγεται μια τυχαία μεταβλητή της χρονοσειράς  $X_t$  σε μια χρονική στιγμή  $t$ , ως εξαρτημένη μεταβλητή και μία τυχαία μεταβλητή της χρονοσειράς  $X_{t-1}$ ,  $X_{t-2}$  σε προηγούμενους χρόνους, ως ανεξάρτητη μεταβλητή. Η μεταβλητή  $v_t$  καλείται λευκός θόρυβος και ορίζεται σε διακριτό χρόνο, ως ακολουθία ασυσχέτιστων τυχαίων μεταβλητών, με μηδενική μέση τιμή και πεπερασμένη διακύμανση, ή αλλιώς μια στιγμιαία και διακριτή διακύμανση στο δείγμα (Λεμονής, 2020). Η τάξη του μοντέλου, στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι 2<sup>η</sup> και φανερώνει τον αριθμό των υστερήσεων. Αν  $\mu_x$  και  $\mu_v$  οι μέσες τιμές των  $x_t$  και  $v_t$  αντίστοιχα,  $c_n$  η αυτοσυνδιασπορά της  $x_t$  για υστέρηση  $n$ , και  $\sigma_v^2$  η διασπορά της  $v_t$ , ισχύει:

- $\mu_x = \mu_v / (1 - \alpha_1 - \alpha_2)$ , (4.2)
- $\text{Cov} [x_t, v_t] = \sigma_v^2$ , (4.3)
- $C_0 = \alpha_1 c_1 + \alpha_2 c_2 + \sigma_v^2$ , (4.4)
- $C_1 = \alpha_1 c_0 + \alpha_2 c_1$ , (4.5)
- $C_\eta = \alpha_1 c_{\eta-1} + \alpha_2 c_{\eta-2}$ , για  $\eta > 1$ , (4.6)

Αν η τελευταία εξίσωση εφαρμοστεί για  $\eta=2$  και συνδυαστεί με την εξίσωση που δίνει το  $c_1$ , προκύπτει γραμμικό σύστημα δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους, από την επίλυση του οποίου προκύπτουν οι παράμετροι  $\alpha_1$  και  $\alpha_2$ . Η διασπορά  $\sigma_v^2$  υπολογίζεται άμεσα από την εξίσωση που δίνει το  $C_0$ . Το μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης AR (2) μπορεί να διατηρήσει τις μέσες τιμές, τη διασπορά και τις αυτοσυνδιασπορές, ωστόσο δεν διατηρεί ασυμμετρίες και ροπές ανώτερης τάξης (Κουτσογιάννης, 2017).

### **ARMA (1,1): Μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης τάξης 1 – κινούμενου μέσου τάξης 1**

Περιγράφεται από την εξίσωση (4.7):

$$x_t = \alpha x_{t-1} + v_t + b v_{t-1}, \quad (4.7)$$

Στο μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης τάξης 1 – κινούμενου μέσου τάξης 1 εισάγεται αντίστοιχα μια τυχαία μεταβλητή της χρονοσειράς  $x_t$  σε μια χρονική στιγμή  $t$ , ως εξαρτημένη μεταβλητή και μία τυχαία μεταβλητή της χρονοσειράς  $x_{t-1}$  σε προηγούμενο χρόνο, ως ανεξάρτητη μεταβλητή. Ομοίως με πριν, η μεταβλητή  $v_t$  είναι ο λευκός θόρυβος. Αν  $\mu_x$  και  $\mu_v$  οι μέσες τιμές των  $x_t$  και  $v_t$  αντίστοιχα,  $c_n$  η αυτοσυνδιασπορά της  $x_t$  για υστέρηση  $n$ , και  $\sigma_v^2$  η διασπορά της  $v_t$ , ισχύει:

- $\mu_x = \mu_v (1+b) / (1-\alpha)$ , (4.8)
- $\text{Cov} [x_t, v_t] = \sigma_v^2$ , (4.9)
- $\text{Cov} [x_t, v_{t-1}] = (\alpha+b) \sigma_v^2$ , (4.10)
- $C_0 = \alpha c_1 + (1+\alpha b + b^2) \sigma_v^2$ , (4.11)
- $C_1 = \alpha c_0 + b \sigma_v^2$ , (4.12)
- $C_\eta = \alpha c_{\eta-1} = \alpha^{\eta-1} c_1$ , για  $\eta > 1$ , (4.13)

Οι εξισώσεις (4.11), (4.12), (4.13) είναι γνωστές ως εξισώσεις Yule – Walker. Αν η τελευταία εξίσωση εφαρμοστεί για  $\eta=2$ , προκύπτει ότι  $\alpha=c_2/c_1$ . Οι παράμετροι  $b$  και  $\sigma_v^2$  μπορούν να υπολογιστούν με αριθμητική επίλυση των δύο εξισώσεων που δίνουν  $C_0$  και  $C_1$ . Το μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης τάξης 1 – κινούμενου μέσου τάξης 1 ARMA (1,1) μπορεί να διατηρήσει τις μέσες τιμές, τη διασπορά, τις αυτοσυνδιασπορές τις ασυμμετρίες και τις ροπές ανώτερης τάξης (Κουτσογιάννης, 2017).

## 4.2 Παραγωγή συνθετικής χρονοσειράς βροχόπτωσης

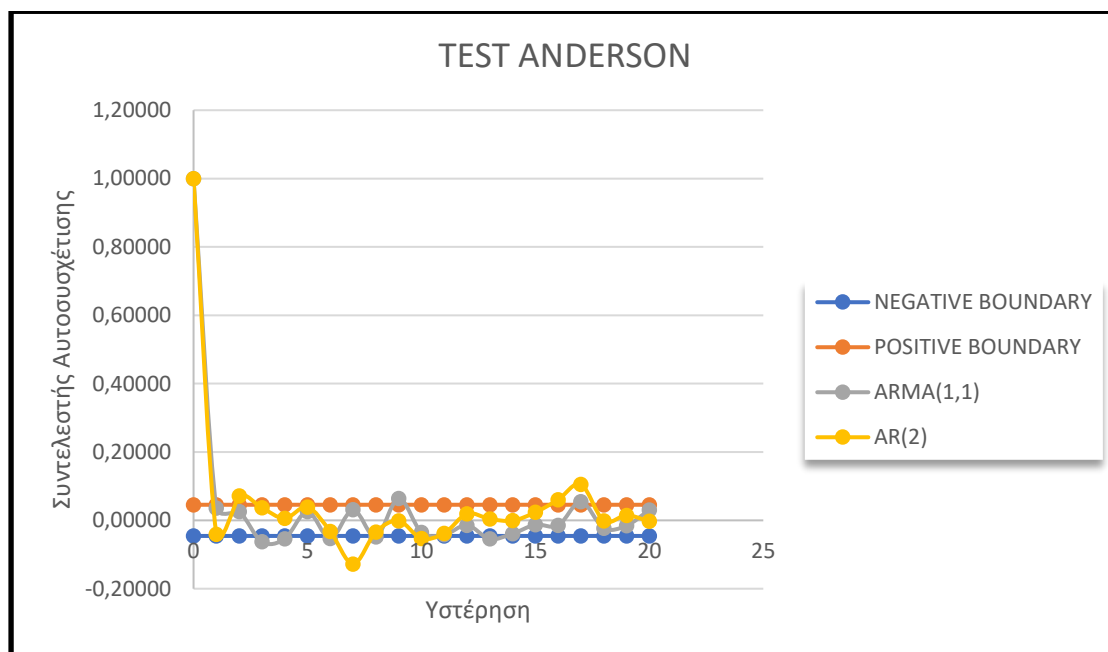
Η ιστορική χρονοσειρά βροχόπτωσης είναι μήκους 25 ετών με ημερήσιο βήμα, και αφορά το διάστημα από το έτος 1988 έως το έτος 2012. Προέρχεται από τον κοντινότερο σταθμό της εθνικής μετεωρολογικής υπηρεσίας, ο οποίος βρίσκεται έξω από την πόλη του Αγρινίου. Ο συγκεκριμένος σταθμός διαθέτει δεδομένα μέχρι το έτος 2012, καθώς ήταν η τελευταία χρονιά λειτουργίας του. Βρίσκεται σε υψόμετρο 24 μέτρων, με γεωγραφικό πλάτος  $38.61^\circ$  και γεωγραφικό μήκος  $21.38^\circ$ .

Κατά τη μελέτη της ιστορικής χρονοσειράς βροχόπτωσης διαπιστώθηκε η έλλειψη ορισμένων τιμών, πιθανόν λόγω έλλειψης μετρήσεων. Οι τιμές αυτές θεωρήθηκαν ίσες με το μηδέν, δεδομένου ότι η βροχόπτωση είναι μηδενική αρκετές ημέρες στην περιοχή, λαμβάνοντας όμως υπόψιν τη διατήρηση των στατιστικών χαρακτηριστικών της αρχικής ιστορικής χρονοσειράς βροχόπτωσης. Στον Πίνακα 4.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις ανά μήνα, της ιστορικής χρονοσειράς.

Πίνακας 4.1: Μέση τιμή και Τυπική Απόκλιση ανά μήνα.

Μήνας	Μέση Τιμή (mm)	Τυπική απόκλιση (mm)
Ιανουάριος	86.07	60.86
Φεβρουάριος	100.68	73.95
Μάρτιος	65.75	41.19
Απρίλιος	63.10	35.22
Μάιος	33.46	21.07
Ιούνιος	19.37	20.86
Ιούλιος	14.64	29.63
Αύγουστος	19.40	24.69
Σεπτέμβριος	51.62	48.22
Οκτώβριος	85.11	73.68
Νοέμβριος	127.89	58.26
Δεκέμβριος	151.31	74.21

Η παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών βροχόπτωσης πραγματοποιείται για διάστημα 40 ετών και έχει τα ίδια στατιστικά χαρακτηριστικά με την ιστορική χρονοσειρά. Για τον υπολογισμό των συνθετικών χρονοσειρών χρησιμοποιούνται δύο στοχαστικά μοντέλα. Το πρώτο μοντέλο είναι το AR(2) «Μοντέλο Αυτοσυσχέτισης Δεύτερης Τάξης» και το δεύτερο είναι το ARMA(1,1) «Μοντέλο Αυτοπαλινδρόμησης Πρώτης Τάξης και Κυλιόμενου Μέσου Πρώτης Τάξης». Στη συνέχεια, ακολουθεί ο έλεγχος Anderson για την επιλογή της βέλτιστης συνθετικής χρονοσειράς (Mimikou et al., 2016).



Διάγραμμα 4.1: Αποτελέσματα ελέγχου Anderson.

Σύμφωνα με τον έλεγχο Anderson (Διάγραμμα 4.1), η βέλτιστη συνθετική χρονοσειρά προκύπτει με το στοχαστικό μοντέλο ARMA(1,1). Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα το μοντέλο ARMA(1,1) βρίσκεται ως επί το πλείστον εντός των ορίων  $\{-(\frac{1}{N})^{0.5}, (\frac{1}{N})^{0.5}\}$ , όπου N οι μήνες της παραγόμενης συνθετικής χρονοσειράς.

Στη συνέχεια, για τη μετατροπή των μηνιαίων τιμών της συνθετικής χρονοσειράς σε ημερήσιες τιμές, υπολογίζονται τα ποσοστά που αντιστοιχούν στις μέσες ημερήσιες βροχοπτώσεις κάθε μήνα της ιστορικής χρονοσειράς, όπως φαίνονται στον Πίνακα 4.2. Οι μέσες τιμές της βροχόπτωσης κάθε μήνα προκύπτουν από το άθροισμα των επιμέρους ημερήσιων βροχοπτώσεων του αντίστοιχου μήνα, καθώς η βροχόπτωση είναι αθροιστικό μέγεθος.

Πίνακας 4.2: Μέση Ημερήσια Βροχόπτωση Ανά Μήνα %.

Ιαν	Φεβ	Μάρ	Απρ	Μάι	Ιούν	Ιούλ	Αύγ	Σεπτ	Οκτ	Νοέμ	Δεκέμ
3.25	2.77	5.51	1.49	9.86	1.64	8.89	0.65	3.72	0.12	1.41	4.42
4.60	5.00	4.44	0.82	1.72	0.97	7.18	1.07	0.77	0.42	1.55	3.23
5.25	1.81	3.99	1.40	1.53	4.89	6.86	1.05	0.95	3.14	3.22	1.65
5.32	2.19	0.95	3.71	5.14	0.04	1.93	0.11	0.64	1.24	0.80	2.87
2.73	7.07	5.78	4.82	8.41	15.96	0.03	0.11	3.15	1.41	2.58	1.78
2.57	5.99	3.48	7.39	10.02	11.25	0.10	0.00	2.70	6.13	2.41	2.09
1.79	4.52	5.14	2.94	0.41	0.17	3.43	3.22	2.25	4.43	6.44	1.82
1.16	2.03	2.85	3.23	0.05	4.19	4.30	0.70	3.52	1.41	5.20	1.97
2.56	3.85	4.14	4.87	5.79	8.09	0.76	0.14	2.75	4.25	3.16	3.16
3.05	1.48	2.85	1.58	3.81	6.36	0.00	12.99	2.81	0.98	0.35	1.99
0.61	2.58	4.37	2.63	1.18	0.08	0.76	1.05	5.46	0.56	2.62	4.76
4.45	4.19	4.61	3.02	0.82	4.44	0.00	1.59	2.12	6.87	2.95	3.74
1.17	3.57	1.20	8.96	2.72	1.80	0.60	0.89	2.27	5.02	2.61	2.94
5.13	5.08	2.05	7.51	2.63	6.46	1.12	0.49	8.01	7.95	3.67	2.93
3.09	3.67	1.85	4.14	6.43	4.21	0.57	0.37	3.93	7.05	3.54	2.41
1.48	3.64	4.58	5.38	0.23	1.45	4.65	3.34	1.46	3.11	3.31	3.73
1.27	3.86	2.29	2.62	4.72	6.26	0.00	1.26	1.35	3.79	3.48	2.04
0.98	3.81	3.55	6.34	3.26	2.54	0.58	0.00	3.37	3.56	7.02	4.40
2.38	3.46	2.97	3.84	2.69	6.71	1.50	4.19	2.32	4.15	1.83	4.41
2.90	2.59	1.82	1.33	1.68	2.06	0.00	2.00	4.89	5.76	7.51	2.90
4.68	3.41	2.11	1.82	4.67	0.81	0.00	0.00	1.10	1.86	1.24	3.59
4.54	4.11	1.23	1.77	1.10	1.36	0.49	1.24	1.04	5.69	4.61	7.33
3.69	2.73	4.43	1.04	1.11	0.00	0.82	11.30	0.45	1.95	7.27	3.45
2.02	4.19	3.00	1.27	5.03	0.40	0.05	0.95	0.47	2.30	2.38	1.55
2.73	2.43	3.85	0.91	2.50	2.53	0.00	2.68	7.19	1.64	3.39	1.74
2.37	4.65	1.47	1.43	2.14	0.92	2.29	13.46	8.83	2.11	1.51	4.45
3.07	2.32	0.72	2.13	0.61	2.02	14.91	18.93	7.23	2.40	3.74	4.59
3.79	1.88	4.02	1.93	0.74	1.18	24.43	0.06	7.72	1.00	2.08	2.51
4.80	1.13	3.57	3.96	4.86	0.37	4.27	9.48	6.97	3.87	4.33	5.26
4.32	0.00	2.46	5.72	2.26	0.85	5.87	0.14	0.54	4.75	3.80	2.50
8.24	0.00	4.71	0.00	1.88	0.00	3.63	6.54	0.00	1.05	0.00	3.79



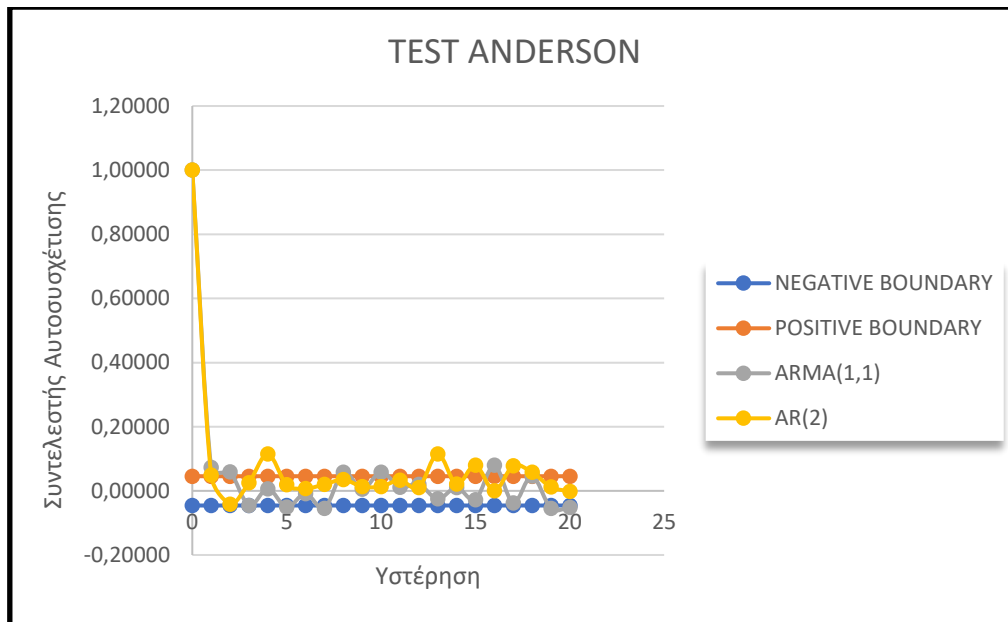
### 4.3 Παραγωγή συνθετικής χρονοσειράς θερμοκρασίας

Η ιστορική χρονοσειρά θερμοκρασίας είναι μήκους 25 ετών με ημερήσιο βήμα, και αφορά το διάστημα από το έτος 1988 έως το έτος 2012. Προέρχεται από τον κοντινότερο σταθμό της ΕΜΥ ο οποίος βρίσκεται έξω από την πόλη του Αγρινίου, όπως και η ιστορική χρονοσειρά της βροχόπτωσης. Κατά τη μελέτη της ιστορικής χρονοσειράς θερμοκρασίας δεν παρατηρήθηκαν ελλείψεις στις τιμές, αντίστοιχες με αυτές της βροχόπτωσης. Στον Πίνακα 4.3, παρουσιάζονται οι μέσες τιμές κάθε μήνα, όπως αυτές προέκυψαν βρίσκοντας τη μέση τιμή των ημερήσιων θερμοκρασιών, αλλά και οι τυπικές αποκλίσεις.

Πίνακας 4.3: Μέση τιμή και Τυπική Απόκλιση ανά μήνα.

Μήνας	Μέση Τιμή (°C)	Τυπική απόκλιση (°C)
Ιανουάριος	8.09	1.64
Φεβρουάριος	8.80	1.36
Μάρτιος	11.57	1.31
Απρίλιος	15.44	1.23
Μάιος	20.84	1.34
Ιούνιος	25.68	1.29
Ιούλιος	27.82	1.06
Αύγουστος	27.33	1.21
Σεπτέμβριος	22.76	0.98
Οκτώβριος	18.11	1.33
Νοέμβριος	12.99	1.41
Δεκέμβριος	9.39	1.51

Η διαδικασία για την παραγωγή της συνθετικής χρονοσειράς είναι ίδια με αυτήν της βροχόπτωσης. Χρησιμοποιούνται τα δύο στοχαστικά μοντέλα AR(2) «Μοντέλο Αυτοσυσχέτισης Δεύτερης Τάξης» και ARMA(1,1) «Μοντέλο Αυτοπαλινδρόμησης Πρώτης Τάξης και Κυλιόμενου Μέσου Πρώτης Τάξης», και πραγματοποιείται στη συνέχεια ο έλεγχος Anderson. Προκύπτει όπως και προηγουμένως βέλτιστη συνθετική χρονοσειρά χρησιμοποιώντας το μοντέλο ARMA(1,1), όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.2.



Διάγραμμα 4.2: Αποτελέσματα ελέγχου Anderson.

Στη συνέχεια για τη μετατροπή των μηνιαίων τιμών της συνθετικής χρονοσειράς σε ημερήσιες τιμές, υπολογίζονται τα ποσοστά που αντιστοιχούν στη μέση ημερήσια απόκλιση θερμοκρασίας από την αντίστοιχη μέση μηνιαία θερμοκρασία της ιστορικής χρονοσειράς και παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.4 , που ακολουθεί.

Πίνακας 4.4: Μέση Ημερήσια Θερμοκρασία Ανά Μήνα %.

Ιαν	Φεβ	Μάρ	Απρ	Μάι	Ιούν	Ιούλ	Αύγ	Σεπτ	Οκτ	Νοέμ	Δεκέμ
-9.58	12.69	12.18	15.90	12.24	8.44	2.20	-1.03	-10.48	-13.00	-18.33	-20.44
-6.72	11.07	4.73	11.62	8.20	7.97	2.20	-1.78	-9.77	-14.16	-19.96	-18.05
1.33	11.82	5.15	12.01	8.18	8.43	3.24	-2.87	-9.03	-14.48	-13.30	-17.17
5.52	6.42	7.15	6.49	8.02	5.98	1.49	-2.60	-7.77	-10.48	-13.51	-13.18
4.57	0.22	1.55	10.36	6.74	7.45	-0.92	-2.82	-6.23	-10.18	-11.59	-11.40
0.45	3.43	4.94	9.51	6.93	5.13	-1.47	-1.89	-4.26	-9.00	-9.68	-18.27
2.47	3.31	12.30	8.75	7.23	3.41	-1.53	-0.97	-1.99	-9.04	-9.31	-12.55
-0.14	4.22	13.18	6.68	5.72	3.04	0.00	-1.40	-1.34	-8.97	-9.49	-3.83
-5.30	2.43	13.26	7.18	7.42	1.98	-1.09	-1.69	-3.74	-7.11	-6.83	1.33
0.68	0.19	10.09	0.77	3.78	0.79	0.34	-1.63	-5.26	-6.90	-3.69	-2.74
-0.73	3.18	10.97	-1.87	1.03	-0.83	0.27	-1.78	-2.01	-7.94	0.38	-1.15
-0.46	7.17	9.55	0.47	-0.83	0.36	0.47	0.01	-2.50	-7.55	-1.47	1.49
-3.79	15.33	4.80	3.53	0.12	-1.41	1.71	0.15	-2.80	-4.83	-0.84	-1.42
-11.74	8.07	2.77	4.08	-0.20	-0.95	0.93	-0.40	-0.91	-2.60	-3.16	2.26
0.42	2.83	0.45	5.17	1.00	-0.44	0.24	-1.40	0.47	2.82	-1.41	-1.29
6.43	5.16	0.75	3.80	0.72	-1.15	-0.10	-1.86	0.12	3.60	0.63	1.00
9.98	-3.96	1.27	5.42	-0.30	-2.38	-0.77	-0.69	0.93	4.60	1.06	3.92
4.97	-1.92	-2.01	1.50	-0.83	-0.09	-0.58	-1.02	-0.62	3.31	7.11	7.99
2.67	3.93	0.06	1.58	-2.54	-0.36	-0.41	-1.10	0.69	4.25	3.69	12.23
1.23	-6.95	-7.67	-3.35	-1.27	-0.50	-1.77	-1.84	3.28	5.27	8.69	10.12
-4.03	-7.91	-1.72	-6.72	-3.37	-1.66	-1.11	-1.93	3.74	3.01	9.48	9.46
-0.54	-4.45	-3.52	-7.25	-4.65	-2.56	-0.80	-1.05	4.12	3.35	4.49	14.38
-0.23	-9.55	-5.89	-8.49	-3.68	-4.32	-1.18	0.91	5.21	3.44	6.31	7.88
2.32	-8.34	-2.46	-5.68	-6.00	-5.16	-1.92	0.61	5.69	6.14	7.88	4.31
0.30	-17.54	-10.94	-10.17	-5.83	-6.25	-1.72	1.73	4.67	10.27	12.08	7.59
-2.25	-16.85	-15.37	-11.13	-6.55	-4.61	-1.16	1.40	5.74	10.35	9.71	5.54
-2.32	-15.17	-18.67	-13.56	-6.90	-5.36	0.22	2.46	6.70	11.17	12.80	4.73
-0.86	-14.85	-10.58	-13.99	-7.13	-3.85	0.18	3.50	9.11	11.73	13.26	7.59
-0.03	6.03	-9.58	-16.64	-7.41	-4.94	0.82	5.03	7.90	14.42	12.66	8.52
0.55		-15.17	-15.94	-8.76	-6.15	0.72	7.66	10.34	13.70	12.34	6.24
4.83		-11.55		-11.09		1.52	8.29		14.78		4.90

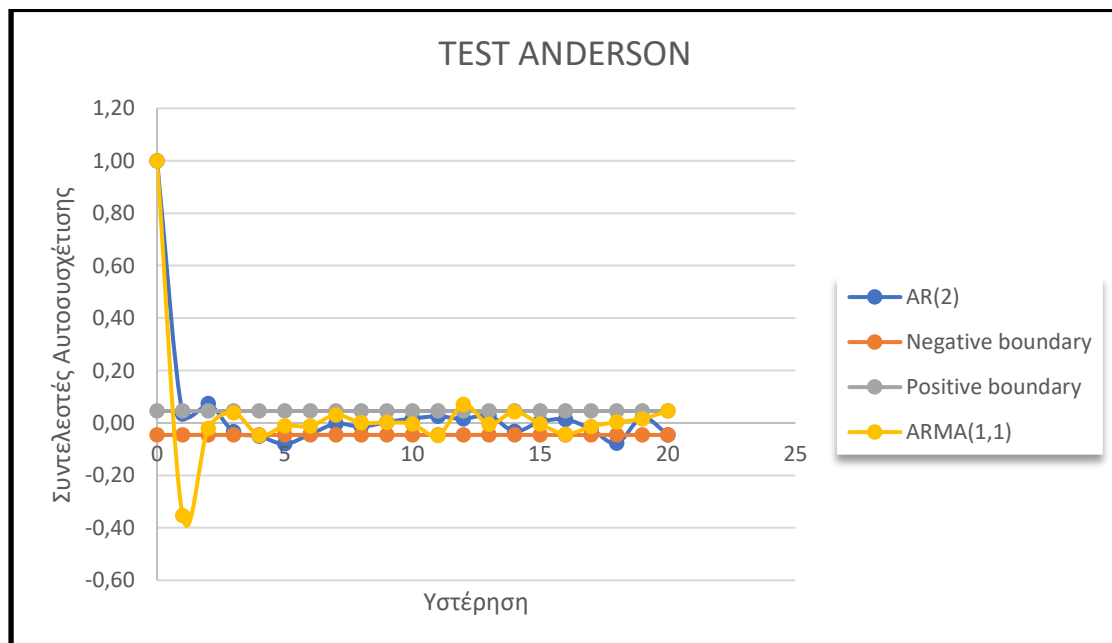
#### 4.4 Παραγωγή συνθετικής χρονοσειράς εισροών στον ταμειωτήρα

Τα ιστορικά δεδομένα εισροών περιλαμβάνουν τιμές 23 ετών με μηνιαίο χρονικό βήμα, και αφορούν το διάστημα από το έτος 1998 έως το έτος 2020. Στον Πίνακα 4.4 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές κάθε μήνα, αλλά και οι τυπικές αποκλίσεις.

Πίνακας 4.5: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση ιστορικών εισροών ανά μήνα.

Μήνας	Μέση τιμή (hm <sup>3</sup> )	Τυπική απόκλιση (hm <sup>3</sup> )
Ιανουάριος	373.79	192.55
Φεβρουάριος	365.92	180.39
Μάρτιος	395.98	259.10
Απρίλιος	243.27	160.79
Μάιος	219.71	85.88
Ιούνιος	239.16	48.07
Ιούλιος	323.15	64.85
Αύγουστος	289.98	71.14
Σεπτέμβριος	228.81	72.54
Οκτώβριος	248.63	84.26
Νοέμβριος	330.27	135.31
Δεκέμβριος	375.49	182.59

Η διαδικασία για την παραγωγή της συνθετικής χρονοσειράς είναι ίδια με προηγουμένως. Χρησιμοποιούνται τα δύο στοχαστικά μοντέλα AR(2) «Μοντέλο Αυτοσυσχέτισης Δεύτερης Τάξης» και ARMA(1,1) «Μοντέλο Αυτοπαλινδρόμησης Πρώτης Τάξης και Κυλιόμενου Μέσου Πρώτης Τάξης», και πραγματοποιείται στη συνέχεια ο έλεγχος Anderson. Προκύπτει βέλτιστη συνθετική χρονοσειρά χρησιμοποιώντας το μοντέλο AR (2), όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.3.



Διάγραμμα 4.3: Αποτελέσματα ελέγχου Anderson.

## 4.5 Παραγωγή συνθετικής χρονοσειράς ανέμου

Τα ιστορικά δεδομένα ανέμου περιλαμβάνουν τιμές 25 ετών με τρίωρο βήμα, και αφορούν το διάστημα από το έτος 1988 έως το έτος 2012. Προέρχονται από τον κοντινότερο σταθμό της εθνικής μετεωρολογικής υπηρεσίας, ο οποίος βρίσκεται έξω από την πόλη του Αγρινίου, όπως και η ιστορική χρονοσειρά της βροχόπτωσης και θερμοκρασίας.

Λόγω έλλειψης αρκετών τιμών πραγματοποιήθηκε συμπλήρωση αυτών, λαμβάνοντας υπόψιν τη διατήρηση της εποχικότητας και της ημερήσιας διακύμανσης του ανέμου για κάθε μήνα. Για την παραγωγή της συνθετικής χρονοσειράς του ανέμου ακολουθείται μια διαφορετική μεθοδολογία από αυτή των προηγούμενων, η οποία περιγράφεται στη συνέχεια.

Αρχικά, δημιουργήθηκε ένας πίνακας ο οποίος περιλαμβάνει τις κλάσεις ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου (Πίνακας 4.6). Για κάθε κλάση του ανέμου υπολογίζεται η πιθανότητα εμφάνισης της, State Probability  $p_{ws,i}$ , χρησιμοποιώντας την σχέση (4.14):

$$p_{ws,i} = \frac{\sum_{j=1}^{Mws} D_{ws,ij}}{\sum_{k=1}^{Mws} \sum_{j=1}^{Mws} D_{ws,kj}} \quad (4.14)$$

Όπου:

- $p_{ws,i}$  η πιθανότητα εμφάνισης,
- $D_{ws,ij}$  ο χρόνος παραμονής στην εκάστοτε κλάση πριν μεταβεί στην επόμενη ή προηγούμενη.

Στη συνέχεια για κάθε κλάση, υπολογίζεται η συχνότητα εμφάνισης,  $F_{ws,i}$  (συμβάντα ανά έτος), που δηλώνει το πόσο συχνά ο άνεμος μετακινείται στη κλάση που εξετάζουμε από μία προηγούμενη ή επόμενη κλάση, με τη σχέση (4.15):

$$F_{ws,i} = N_{ws,i,i+1} + N_{ws,i,i-1} \quad (4.15)$$

Για κάθε κλάση έπειτα, υπολογίζεται η συχνότητα που ο άνεμος μετακινείται από προηγούμενη κλάση στη κλάση που εξετάζουμε,  $U_p$  (συμβάντα ανά έτος).

Για κάθε κλάση, υπολογίζεται η συχνότητα που ο άνεμος μετακινείται από επόμενη κλάση στη κλάση που εξετάζουμε,  $Down$  (συμβάντα ανά έτος).  $d_{ws,i}$

Για κάθε κλάση, υπολογίζεται η μέση διάρκεια παραμονής στη συγκεκριμένη κλάση, με τη σχέση (4.16):

$$d_{ws,i} = \frac{p_{ws,i}}{f_{ws,i}} \quad (4.16)$$

Τέλος, υπολογίζονται οι τιμές των συντελεστών  $\lambda_{ws,i+}$  και  $\lambda_{ws,i-}$ , οι οποίοι σχετίζονται με την πιθανότητα να έχουμε μετακίνηση στην αμέσως προηγούμενη ή στην αμέσως επόμενη αντίστοιχα, από μία συγκεκριμένη κλάση, με τη σχέση (4.17):

$$\lambda_{ws,i\pm} = \frac{N_{ws,i\pm}}{P_{ws,i\pm}} \quad (4.17)$$

Αφού προσδιορίζονται οι αντίστοιχες παράμετροι, ακολουθεί η παραγωγή των χρονοσειρών ανέμου στο αντίστοιχο χρονικό βήμα της ιστορικής χρονοσειράς, σύμφωνα με τα παρακάτω βήματα:

- Το διάνυσμα της ταχύτητας αποκτά μια αρχική ταχύτητα. Στο πρώτο χρονικό, ως αρχική τιμή επιλέγεται η μέση ετήσια ταχύτητα.
- Για κάθε χρονικό βήμα, δημιουργούνται δύο τυχαίοι αριθμοί  $U_1^i$  και  $U_2^i$  στο διάστημα  $(0,1)$ , οι οποίοι αντιπροσωπεύουν την πιθανότητα το διάνυσμα της ταχύτητας να μετατοπιστεί στην αμέσως επόμενη ή προηγούμενη κλάση.
- Υπολογίζεται ο χρόνος μετάβασης στην αμέσως επόμενη και στην αμέσως προηγούμενη κλάση, με τις σχέσεις:

$$TTU^i = \frac{h}{\lambda_{up}} \ln(U_1^i) \quad (4.18)$$

$$TUD^i = \frac{h}{\lambda_{down}} \ln(U_2^i) \quad (4.19)$$

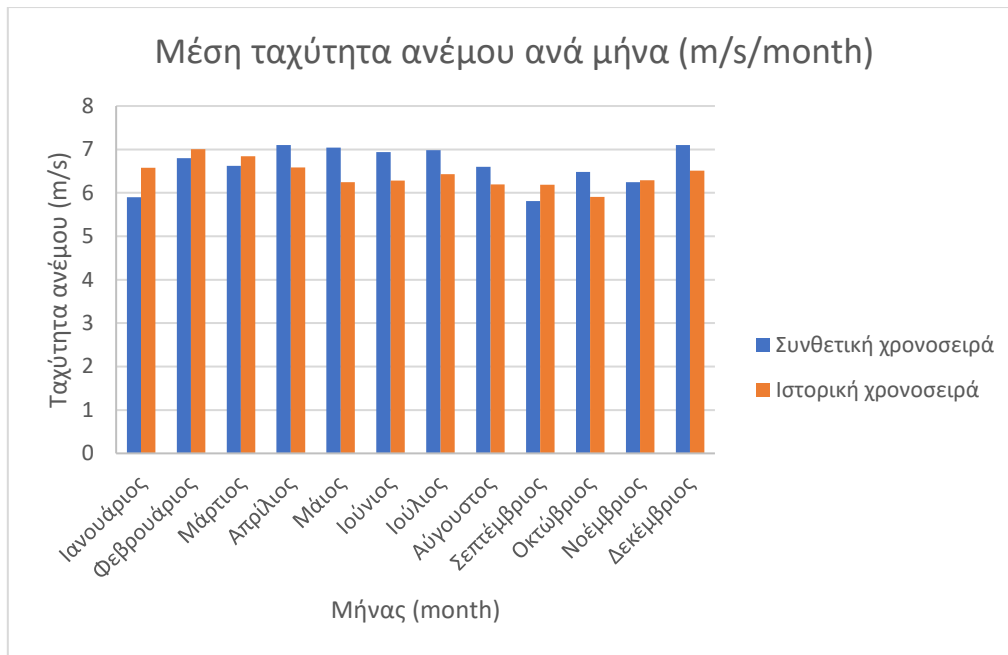
Όπου  $h$  η περίοδος προσομοίωσης σε τρίωρα, όπως και η ιστορική χρονοσειρά. Η μικρότερη τιμή μεταξύ των σχέσεων καθορίζει σε ποια κατάσταση θα βρεθεί το νέο διάνυσμα της ταχύτητας.

- Σε περίπτωση που  $TTU^i = 0$ , τότε θεωρείται ότι ο άνεμος δεν μπορεί να μετατοπιστεί σε μεγαλύτερη κλάση και, επομένως, μετατοπίζεται στην αμέσως χαμηλότερη σε χρονικό διάστημα  $TTD^i$ . Αντίθετα, στην περίπτωση που  $TTD^i = 0$  θεωρείται ότι ο άνεμος δεν μπορεί να μετατοπιστεί σε μικρότερη κλάση και μετατοπίζεται, τελικά, στην αμέσως μεγαλύτερη σε χρονικό διάστημα  $TTU^i$ .
- Όταν η τιμή της ταχύτητας είναι μηδέν, τότε αναγκαστικά μετατοπίζεται σε μεγαλύτερη κλάση ενώ, αντίστοιχα, ο άνεμος δε μπορεί να λάβει τιμές μεγαλύτερες από εκείνες που δεν έχουν παρατηρηθεί στην ιστορική χρονοσειρά.
- Σε περίπτωση που  $TTU^i < TTD^i$ , το διάνυσμα της ταχύτητας μεγαλώνει μια μονάδα, ενώ στην αντίθετη περίπτωση το διάνυσμα μειώνεται κατά μία μονάδα. Μετά από κάθε βήμα, το χρονικό διάστημα αυξάνεται κατά  $t^i = t^{i-1} + TTU^i$  για την πρώτη περίπτωση και  $t^i = t^{i-1} + TTD^i$  για τη δεύτερη.
- Τα βήματα 2 έως και 4 επαναλαμβάνονται μέχρις ότου το  $t$  να ισούται ή να ξεπερνάει το  $h$ .

Πίνακας 4.6: Συχνότητα κάθε κλάσης ανά μήνα %.

Κλάσεις	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μια	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπτ	Οκτ	Νοέμ	Δεκ
[0-1]	0.09	0.48	0.25	0.00	0.10	0.00	0.05	0.00	0.11	0.09	0.44	0.38
[1-2]	0.75	0.96	1.01	1.38	1.58	1.41	1.22	1.06	0.58	0.86	1.26	1.01
[2-3]	5.27	4.59	5.85	7.04	8.08	6.91	7.20	7.89	6.73	5.27	5.28	5.05
[3-4]	13.49	12.33	12.20	11.96	13.32	12.98	11.97	13.35	13.62	12.97	13.37	12.30
[4-5]	19.13	18.94	15.78	14.87	13.98	15.13	12.92	15.36	15.51	19.18	19.57	18.84
[5-6]	18.81	18.41	17.15	14.18	14.18	13.87	11.33	13.67	15.88	19.45	20.25	19.32
[6-7]	14.28	12.75	14.78	14.07	13.12	11.99	11.97	11.60	13.93	15.49	14.63	14.46
[7-8]	9.33	7.79	11.45	11.59	11.44	12.09	12.71	13.14	12.72	10.67	9.35	9.32
[8-9]	5.13	5.55	7.01	9.26	9.96	9.90	13.35	10.59	8.89	6.71	4.99	4.85
[9-10]	3.50	4.06	3.83	5.98	6.51	8.17	7.68	6.78	4.99	3.56	3.00	3.36
[10-11]	2.57	3.68	2.77	3.70	3.76	3.77	4.87	3.55	3.10	1.71	1.94	2.64
[11-12]	1.73	3.31	2.57	2.28	1.88	2.04	2.38	1.54	1.84	1.35	1.45	2.26
[12-13]	1.35	2.29	1.46	1.85	1.22	0.79	1.22	0.58	1.05	1.04	0.92	1.54
[13-14]	1.31	1.55	1.16	0.90	0.41	0.52	0.64	0.42	0.58	0.63	0.82	1.54
[14-15]	1.07	1.23	0.86	0.48	0.10	0.10	0.32	0.26	0.21	0.27	0.82	1.20
[15-16]	0.89	0.64	0.76	0.16	0.15	0.16	0.05	0.05	0.05	0.23	0.63	0.91
[16-17]	0.61	0.69	0.50	0.16	0.10	0.16	0.05	0.05	0.11	0.27	0.44	0.43
[17-18]	0.47	0.53	0.35	0.16	0.05	0.00	0.00	0.05	0.11	0.18	0.53	0.34
[18-19]	0.23	0.21	0.25	0.00	0.05	0.00	0.05	0.05	0.00	0.09	0.29	0.24

Δεδομένου ότι ο άνεμος αποτελεί το πιο ευαίσθητο δεδομένου εισόδου απαιτείται να γίνει έλεγχος της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων που εξάγονται από το μοντέλο παραγωγής συνθετικών χρονοσειρών. Η διατήρηση της ωριαίας διακύμανσης και της μηνιαίας εποχικότητας του είναι υψηλής σημασίας, γι' αυτό και πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ της ιστορικής χρονοσειράς ανέμου και της συνθετικής, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.4, και διαπιστώνεται ότι υπάρχει αξιοπιστία κατά τη χρήση του μοντέλου αυτού (Σκρουφούτα, 2020).



Διάγραμμα 4.4: Μέση ταχύτητα ανέμου ανά μήνα (m/s/month).

## 4.6 Εκτίμηση Ενεργειακών, Υδρευτικών και Αρδευτικών αναγκών

Για τη διαμόρφωση του μοντέλου προσομοίωσης, εκτός από τις συνθετικές χρονοσειρές βροχόπτωσης, θερμοκρασίας και ανέμου, απαραίτητα είναι τα δεδομένα ενεργειακών, υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών της περιοχής μελέτης. Συγκεκριμένα, προκειμένου να λάβουμε υπόψιν τις μεταβολές της υπάρχουσας πληθυσμιακής κατάστασης που πρόκειται να συμβούν κατά τη διάρκεια των 40 ετών στην οποία αναφέρεται και η παρούσα μελέτη, παράγονται συνθετικές χρονοσειρές αυτών των αναγκών.

### 4.6.1 Εκτίμηση Ενεργειακών Αναγκών

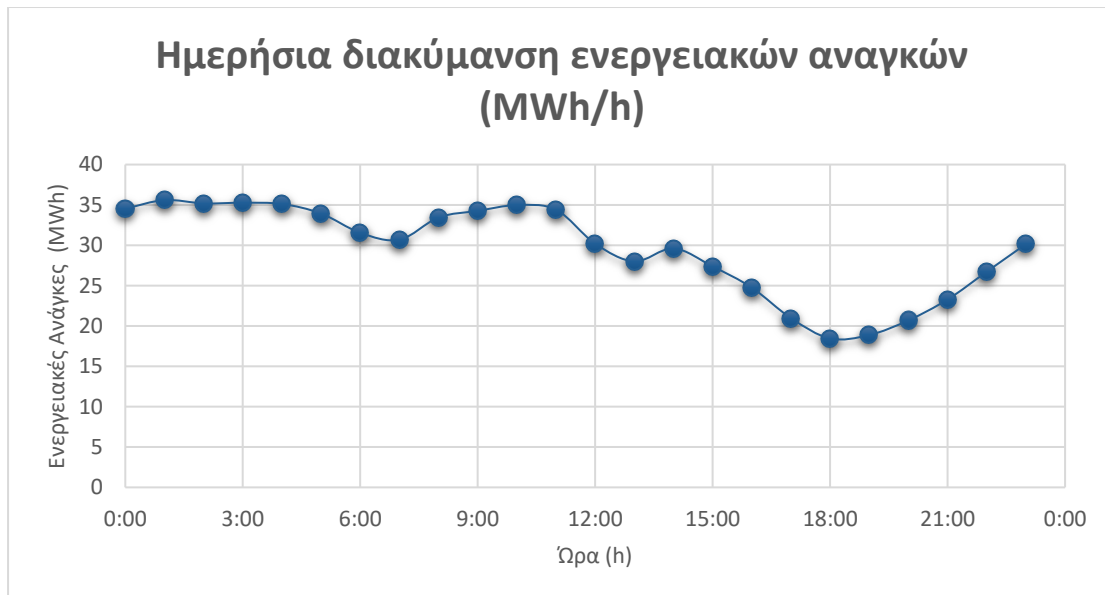
Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών προέρχονται από το ΔΕΗ ΑΕ και αναφέρονται στα έτη από 1998 έως το 2020. Κατά την προσομοίωση του συστήματος αντλησιοταμίευσης με ημερήσιο χρονικό βήμα, λαμβάνεται σταθερή η ενεργειακή ζήτηση, ίση με τη μέση ημερήσια τιμή των ενεργειακών καταναλώσεων. Κατά την προσομοίωση του συστήματος για ένα τυπικό εικοσιτετράωρο λαμβάνεται υπόψη η ημερήσια διακύμανση της ενεργειακής ζήτησης, η οποία υπολογίζεται για κάθε ώρα. Επιπλέον, όπως προαναφέρεται η διάρκεια ζωής της μελέτης είναι 40 έτη και έτσι αφού υπολογίζεται η μέση ωριαία κατανάλωση σε ενέργεια για ένα έτος, γίνεται αναγωγή αυτής της ετήσιας χρονοσειράς στον προσδοκώμενο πληθυσμό ανά έτος (Πίνακας 4.7).



Πίνακας 4.7: Μέση Ημερήσια ζήτηση 1<sup>ου</sup> έτους και 40<sup>ου</sup> έτους.

Μήνας	Μέση Ημερήσια ζήτηση 1ου Έτους (MWh/month)	Μέση Ημερήσια ζήτηση 40ου Έτους (MWh/month)
Ιανουάριος	28.76	30.97
Φεβρουάριος	27.93	30.08
Μάρτιος	30.94	33.33
Απρίλιος	18.53	19.96
Μάιος	16.10	17.34
Ιούνιος	17.80	19.17
Ιούλιος	24.59	26.48
Αύγουστος	21.33	22.98
Σεπτέμβριος	17.09	18.41
Οκτώβριος	18.68	20.12
Νοέμβριος	25.33	27.28
Δεκέμβριος	29.10	31.34

Για μία τυπική μέρα του Δεκεμβρίου η ημερήσια διακύμανση των ενεργειακών αναγκών, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 4.5 που ακολουθεί είναι μειωμένη κατά τις νυχτερινές ώρες από τις 21:00-0:00 και αυξημένη κατά τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες.



Διάγραμμα 4.5: Ημερήσια διακύμανση ενεργειακών αναγκών (MWh/h).

#### 4.6.2 Εκτίμηση Υδρευτικών Αναγκών

Για την εκτίμηση των υδρευτικών αναγκών της περιοχής μελέτης λαμβάνεται υπόψιν ο πληθυσμός της περιοχής που περιλαμβάνει τους μόνιμους κάτοικους, καθώς και τους παραθεριστές που επισκέπτονται την περιοχή. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται προέρχονται από την τελευταία απογραφή που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή το 2021, όσον αφορά στο μόνιμο πληθυσμό. Ο παραθεριστικός πληθυσμός εκτιμάται από τα στοιχεία του δήμου Αγρινίου και από τις αφίξεις στο ΚΤΕΛ Αιτωλοακαρνανίας. Στον Πίνακα 4.8, παρουσιάζεται η εκτίμηση του τωρινού συνολικού πληθυσμού.

Πίνακας 4.8: Πληθυσμός της περιοχής μελέτης.

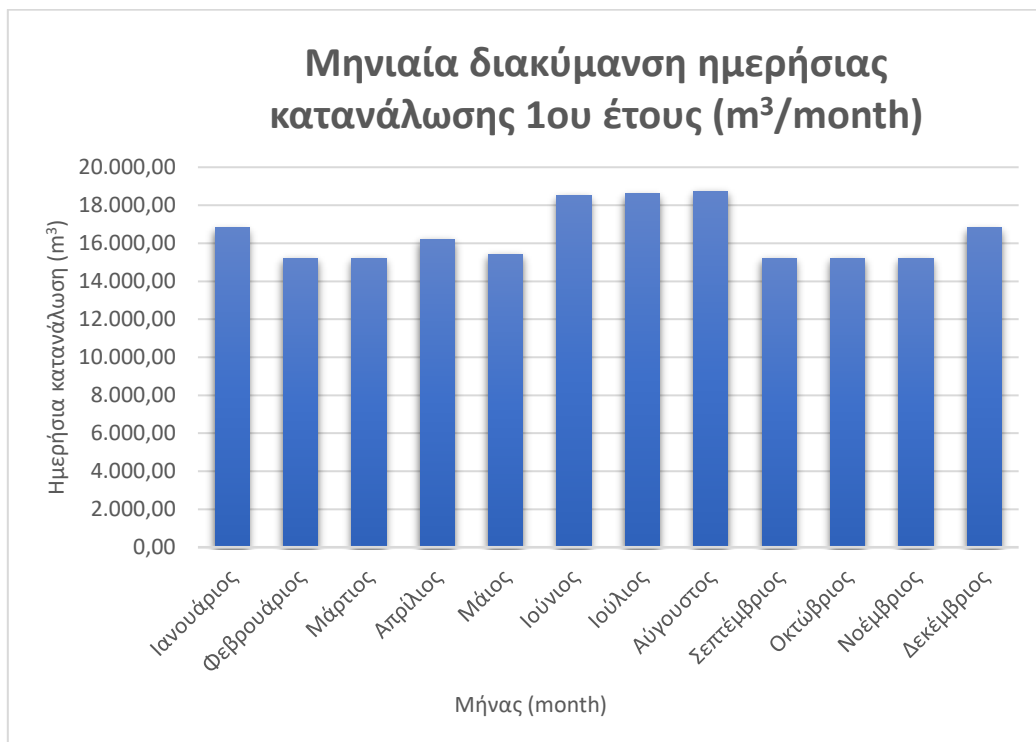
Μήνας	Μόνιμοι κάτοικοι	Παραθεριστές	ΣΥΝΟΛΟ
Ιανουάριος	101,384.00	8,000.00	109,384.00
Φεβρουάριος	101,384.00	0.00	101,384.00
Μάρτιος	101,384.00	0.00	101,384.00
Απρίλιος	101,384.00	5,000.00	106,384.00
Μάιος	101,384.00	1,000.00	102,384.00
Ιούνιος	101,384.00	1,000.00	102,384.00
Ιούλιος	101,384.00	1,500.00	102,884.00
Αύγουστος	101,384.00	2,000.00	103,384.00
Σεπτέμβριος	101,384.00	0.00	101,384.00
Οκτώβριος	101,384.00	0.00	101,384.00
Νοέμβριος	101,384.00	0.00	101,384.00
Δεκέμβριος	101,384.00	8,000.00	109,384.00

Ωστόσο, λόγω του ότι το έργο που μελετάται εκτιμάται να έχει διάρκεια ζωής 40 έτη, είναι απαραίτητο να γίνει αναγωγή του πληθυσμού και των αντίστοιχων αναγκών του για ύδρευση στον προσδοκώμενο πληθυσμό ανά έτος. Για τη διαδικασία αυτή θεωρείται πως η ημερήσια κατανάλωση νερού ανά άτομο είναι 150 l/ημέρα/κάτοικο για το μόνιμο πληθυσμό και 200 l/ημέρα/κάτοικο για τους παραθεριστές (Κουτσογιάννης, Ευστρατιάδης, 2015). Συγκεκριμένα για την καλοκαιρινή περίοδο λόγω της αυξημένης ζήτησης νερού, συνυπολογίζεται επιπλέον 20% κατανάλωση νερού για τον συνολικό πληθυσμό.

Αρχικά υπολογίζονται οι υδρευτικές ανάγκες για το τρέχον έτος, σύμφωνα με τα παραπάνω. Στον Πίνακα 4.9 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες και ημερήσιες καταναλώσεις των εποχιακών και μόνιμων κατοίκων και στο Διάγραμμα 4.6 η μηνιαία διακύμανση ημερήσιας κατανάλωσης του 1<sup>ου</sup> έτους.

Πίνακας 4.9: Εκτιμώμενη μέση ημερήσια και μηνιαία ζήτηση.

Μήνας	Μόνιμοι κάτοικοι (m <sup>3</sup> /d/month)	Παραθεριστές (m <sup>3</sup> /d/month)	Ζήτηση(m <sup>3</sup> /d/month)	Ζήτηση(m <sup>3</sup> /month)
Ιανουάριος	17,235.28	1,600.00	18,835.28	565,058.40
Φεβρουάριος	17,235.28	0.00	17,235.28	517,058.40
Μάρτιος	17,235.28	0.00	17,235.28	517,058.40
Απρίλιος	17,235.28	1,000.00	18,235.28	547,058.40
Μάιος	17,235.28	200.00	17,435.28	523,058.40
Ιούνιος	17,235.28	200.00	20,922.34	627,670.08
Ιούλιος	17,235.28	300.00	21,042.34	631,270.08
Αύγουστος	17,235.28	400.00	21,162.34	634,870.08
Σεπτέμβριος	17,235.28	0.00	17,235.28	517,058.40
Οκτώβριος	17,235.28	0.00	17,235.28	517,058.40
Νοέμβριος	17,235.28	0.00	17,235.28	517,058.40
Δεκέμβριος	17,235.28	1,600.00	18,835.28	565,058.40



Διάγραμμα 4.6: Μηνιαία διακύμανση ημερήσιας κατανάλωσης 1<sup>ου</sup> έτους (m<sup>3</sup>/month).

Στη συνέχεια πραγματοποιείται η αναγωγή του πληθυσμού για τα 40 έτη, θεωρώντας ότι η μεταβολή του πληθυσμού γίνεται με σταθερή γεωμετρική αύξηση ανά έτος, μέσω της αναδρομικής σχέσης (4.20), (Τσακίρης, 2010) :

$$P_i = P_{i-1} * a \quad (4.20)$$

Όπου:

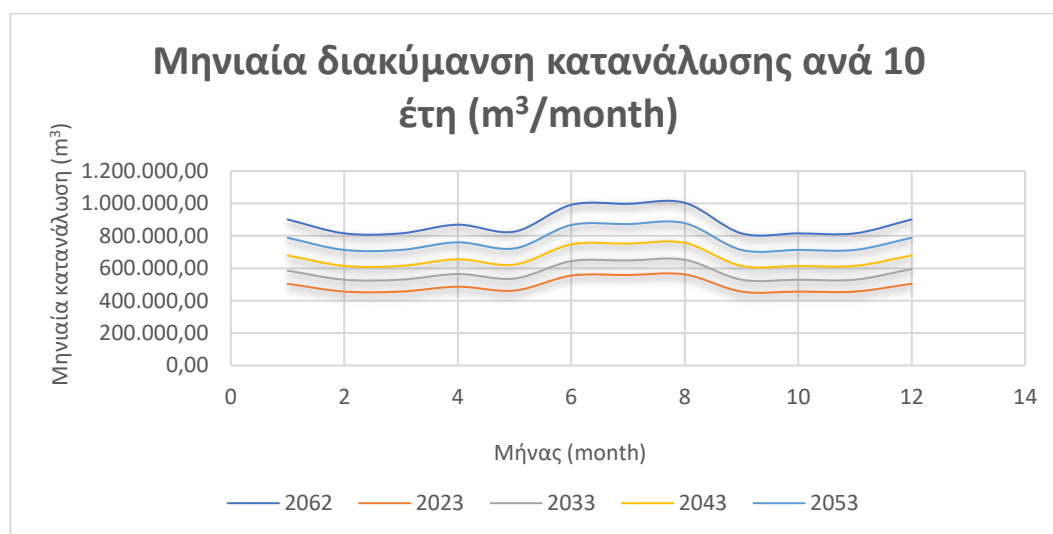
- $a = 1 + c$ , (4.21)
- $c = \frac{P_i - P_{i-1}}{P_{i-1}}$ , (4.22)

Στον Πίνακα 4.10, παρουσιάζονται οι αντίστοιχοι συντελεστές, όπως υπολογίστηκαν από τις προηγούμενες σχέσεις.

Πίνακας 4.10: Στοιχεία πληθυσμιακής αναγωγής.

Αναγωγή πληθυσμού	
P <sub>0</sub>	101.384,00
P <sub>40</sub>	181.194,52
α	1,015
γ	0,015
n	40
Συνολική αύξηση	79%

Τέλος, στο Διάγραμμα 4.7, παρουσιάζεται η μηνιαία διακύμανση της ημερήσιας κατανάλωσης ανά πέντε έτη.



Διάγραμμα 4.7: Μηνιαία διακύμανση μηνιαίας κατανάλωσης ανά 5 έτη (m<sup>3</sup>/month).

### 4.6.3 Εκτίμηση Αρδευτικών Αναγκών

Η εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών της περιοχής βασίζεται στην κατανάλωση νερού για κτηνοτροφία και γεωργία.

Για τον υπολογισμό των κτηνοτροφικών αναγκών για νερό, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε το πλήθος των ζώων που εκτρέφονται στην περιοχή, αλλά και κάποια βασικά χαρακτηριστικά τους όπως είναι το είδος των ζώων, η ηλικιακή τους κατανομή και το ποσοστό υγρασίας του γρασιδιού, στο οποίο πραγματοποιείται η βοσκή τους. Στην περιοχή τα εδάφη διατηρούν την υγρασία τους, καθόλη τη διάρκεια της υγρής περιόδου, ενώ τους καλοκαιρινούς μήνες είναι ξηρά λόγω των μεγάλων θερμοκρασιών που αναπτύσσονται. Στον Πίνακα 4.11, παρουσιάζονται το είδος των ζώων που εκτρέφονται, το πλήθος τους και η κατά κεφαλή κατανάλωσή τους ημερησίως .

Πίνακας 4.11: Είδος ζώων, αριθμός κεφαλών και συνολική κατανάλωση

Ζώα	Αριθμός κεφαλών	Κατανάλωση ανά κεφαλή (L/d)	Συνολική κατανάλωση (L/d)	Συνολική κατανάλωση (m <sup>3</sup> /d)
<b>Βοοειδή</b>	10,426.00	140.00	1,459,640.00	1,459.64
<b>Αίγες</b>	42,534.00	5.00	212,670.00	212,.67
<b>Χοίροι</b>	8,834.00	40.00	353,360.00	353.36
<b>Ιπποειδή</b>	32.00	20.00	640.00	0.64
<b>Πρόβατα</b>	202,111.00	12.00	2,425,332.00	2,425.33

Για την εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών χρησιμοποιείται η μέθοδος Blaney – Criddle, η οποία υπολογίζει εμπειρικά τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Η μέθοδος αυτή λαμβάνει υπόψιν τις καλλιέργειες από τη σπορά έως και τη συγκομιδή τους. Υπολογίζει τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή συναρτήσει των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών, των ποσοστών διάρκειας ημέρας, τα οποία εξαρτώνται από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής μελέτης και ενός φυτικού συντελεστή ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας. Η σχέση που χρησιμοποιείται είναι η εξής:

$$ET=kcF=kc(1.8*T+32)*p/3.94, \quad (4.23)$$

Όπου:

- $ET$ : η ημερήσια δυνητική εξατμισοδιαπνοή σε mm,

- $k_c$ : ο εμπειρικός συντελεστής καλλιέργειας,
- $T$ : η μέση ημερήσια θερμοκρασία σε °C και
- $p$ : το μέσο ημερήσιο ποσοστό διάρκειας των ωρών της ημέρας.

Το μέσο ημερήσιο ποσοστό διάρκειας των ωρών της ημέρας είναι συνάρτηση της μέσης αστρονομικής διάρκειας ημέρας και του αριθμού ημερών κάθε μήνα. Η μέση αστρονομική διάρκεια ημέρας κάθε μήνα εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής μελέτης. Το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής στην οποία διαδραματίζεται το υπό μελέτη έργο είναι 38.61°. Στον Πίνακα 4.12, παρουσιάζονται η μέση αστρονομική διάρκεια της ημέρας για κάθε μήνα, και το μέσο ημερήσιο ποσοστό διάρκειας των ωρών της ημέρας κάθε μήνα.

Πίνακας 4.12: Μέση αστρονομική διάρκεια ημέρας ανά μήνα και ποσοστό διάρκειας.

Μήνας	Μέση αστρονομική διάρκεια ημέρας N %	Αριθμός ημερών μήνα μ	P %
Ιανουάριος	6.84	31	4.84
Φεβρουάριος	6.77	28	4.33
Μάρτιος	8.34	31	5.90
Απρίλιος	8.91	30	6.10
Μάιος	9.95	31	7.04
Ιούνιος	9.99	30	6.84
Ιούλιος	10.13	31	7.17
Αύγουστος	9.49	31	6.72
Σεπτέμβριος	8.38	30	5.74
Οκτώβριος	7.85	31	5.56
Νοέμβριος	6.79	30	4.65
Δεκέμβριος	6.62	31	4.69

Ο εμπειρικός συντελεστής καλλιέργειας  $k_c$  υπολογίζεται μελετώντας τα στάδια ανάπτυξης κάθε καλλιέργειας. Αυτά περιλαμβάνουν το αρχικό, κύριο, μέσο και τελικό στάδιο βλάστησης με διαφορετικό χρονικό διάστημα για κάθε είδος καλλιέργειας και για κάθε περιοχή μελέτης ανάλογα με το κλίμα που επικρατεί. Στη συνέχεια, επιλέγεται ο κατάλληλος συντελεστής  $k_c$ , για κάθε στάδιο με ακρίβεια δεκαήμερου και για κάθε καλλιέργεια. Σημαντικό είναι να σημειωθεί πως για την καλλιέργεια των ελαιώνων ο φυτικός συντελεστής θεωρείται μηδενικός, καθώς δεν αποτελεί αρδευόμενη καλλιέργεια.

Στον Πίνακα 4.13, παρουσιάζονται οι καλλιέργειες της περιοχής και η έκτασή τους σε στρέμματα.

Πίνακας 4.13: Είδη και έκταση καλλιεργειών.

Καλλιέργεια	Έκταση σε στρέμματα	Ποσοστό
<b>Σιτάρι μαλακό και ημίσκληρο</b>	4,947.00	1.19%
<b>Σκληρό σιτάρι</b>	4,335.00	1.05%
<b>Σίκαλη</b>	178.00	0.04%
<b>Κριθάρι</b>	7,678.00	1.85%
<b>Βρώμη</b>	74,910.00	18.06%
<b>Αραβόσιτος</b>	1014.00	0.24%
<b>Ρύζι</b>	3,755.00	0.91%
<b>Αμπέλια</b>	1,745,00	0.42%
<b>Ελαιώνες</b>	276,936.00	66.76%
<b>Ακτινίδια</b>	3,000.00	0.72%
<b>Εσπεριδοειδή</b>	36,331.00	8.76%
<b>Σύνολο</b>	<b>414,829.00</b>	<b>100.00%</b>

Στον Πίνακα 4.14, παρουσιάζονται τα στάδια βλάστησης των καλλιεργειών και η περίοδος κατά την οποία γίνεται η σπορά τους.

Πίνακας 4.14:Στάδια βλάστησης καλλιεργειών.

Καλλιέργεια	Init(L <sub>ini</sub> )	Dev(L <sub>dev</sub> )	Mid(L <sub>mid</sub> )	Late(L <sub>late</sub> )	Total	Plant Date
<b>Σιτάρι μαλακό και ημίσκληρο</b>	30	140	40	30	240	Νοέμβριος
<b>Σκληρό σιτάρι</b>	5	10	10	5	30	Μάρτιος
<b>Σίκαλη</b>	40	60	60	40	200	Νοέμβριος
<b>Κριθάρι</b>	40	60	60	40	200	Νοέμβριος
<b>Βρώμη</b>	40	60	60	40	200	Νοέμβριος
<b>Αραβόσιτος</b>	20	25	25	10	80	Ιούνιος
<b>Ρύζι</b>	30	30	60	30	150	Μάιος
<b>Αμπέλια</b>	30	60	40	80	210	Απρίλιος
<b>Ελαιώνες</b>	30	90	60	90	270	Μάρτιος
<b>Ακτινίδια</b>	20	40	90	60	210	Μάρτιος
<b>Εσπεριδοειδή</b>	60	90	120	95	365	Ιανουάριος

Στον Πίνακα 4.15, παρουσιάζονται οι φυτικοί συντελεστές των καλλιεργειών, όπως προκύπτουν από το φορέα FAO στο άρθρο με τίτλο Irrigation and Drainage Paper No.56 Crop Evapotranspiration.

Πίνακας 4.15: Φυτικοί συντελεστές για κάθε στάδιο βλάστησης.

Καλλιέργεια	Kc ini	Kc dev	Kc mid	Kc end
<b>Σιτάρι μαλακό και ημίσκληρο</b>	0.40	0.775	1.15	0.33
<b>Σκληρό σιτάρι</b>	0.40	0.675	0.951	0.90
<b>Σίκαλη</b>			1.15	0.25
<b>Κριθάρι</b>			1.15	0.25
<b>Βρώμη</b>			1.15	0.25
<b>Αραβόσιτος</b>		1.20	0.60	2.00
<b>Ρύζι</b>	1.05	1.20	0.90	1.00
<b>Αμπέλια</b>	0.30	0.50	0.70	0.45
<b>Ακτινίδια</b>	0.40	1.05	1.05	3.00
<b>Εσπεριδοειδή</b>	0.65	0.625	0.60	0.65

Αφού υπολογιστούν οι φυτικές συντελεστές με ακρίβεια δεκαημέρου, πραγματοποιείται η αναγωγή τους σε ημερήσιους. Χρησιμοποιώντας τα ποσοστά κάθε καλλιέργειας ως προς τη συνολική έκταση των καλλιεργειών και πολλαπλασιάζοντάς τα με τον εκάστοτε φυτικό συντελεστή, προκύπτει ο σταθμισμένος ημερήσιος φυτικός συντελεστής.

Στη συνέχεια σύμφωνα με τη σχέση Blaney – Criddle, υπολογίζεται η ωριαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή της συνολικής αρδευόμενης έκτασης. Από την τελευταία, αφαιρείται η αντίστοιχη ημερήσια βροχόπτωση και προκύπτουν έτσι οι αρδευτικές ανάγκες. Ο συνολικός ημερήσιος όγκος αρδευόμενου νερού σε κυβικά (m<sup>3</sup>) υπολογίζεται από τον πολλαπλασιασμό των ημερήσιων αρδευτικών αναγκών (m) με την συνολική αρδευόμενη έκταση (m<sup>2</sup>). Κατά την εφαρμογή, ο όγκος αυτός διαιρείται με το βαθμό απόδοσης, ο οποίος υπολογίζεται σύμφωνα με τη Σχέση (4.24) και τις τιμές του Πίνακα 4.16 (Παναγούλια, Δήμου, 2000).

$$E_p = E_d \times E_a \quad (4.24)$$

Όπου:

- $E_d$ : ο βαθμός απόδοσης διανομής και
- $E_a$ : ο βαθμός απόδοσης άρδευσης.



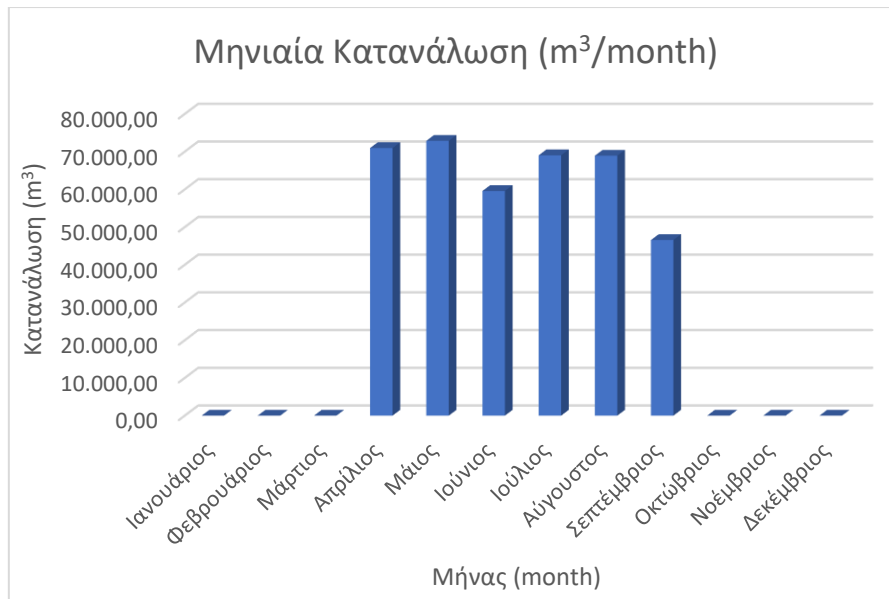
Πίνακας 4.16: Συντελεστές απόδοσης.

Συντελεστές Απόδοσης	
Ed	0.70
Ea	0.95
Er	0.665

Στο Πίνακα 4.17 και στο Διάγραμμα 4.8, διαφαίνονται ενδεικτικά οι μέσες μηνιαίες αρδευτικές καταναλώσεις των ιστορικών δεδομένων.

Πίνακας 4.17: Μηνιαίες αρδευτικές καταναλώσεις.

Μήνας	Μηνιαία Κατανάλωση (m <sup>3</sup> /month)
Ιανουάριος	0,00
Φεβρουάριος	0,00
Μάρτιος	0,00
Απρίλιος	70,953.23
Μάιος	72,866.12
Ιούνιος	59,565.10
Ιούλιος	69,030.38
Αύγουστος	68,917.79
Σεπτέμβριος	46,576.70
Οκτώβριος	0.00
Νοέμβριος	0.00
Δεκέμβριος	0.00



Διάγραμμα 4.8: Μηνιαία αρδευτική ζήτηση (m<sup>3</sup>/month).

Οι συνολικές αρδευτικές ανάγκες που εισάγονται στο μοντέλο προσομοίωσης, αποτελούνται από το άθροισμα των αναγκών για την άρδευση των καλλιεργειών και της κτηνοτροφίας. Οι ανάγκες για άρδευση υπολογίζονται, χρησιμοποιώντας την συνθετική χρονοσειρά 40 ετών, η οποία προκύπτει σαν άθροισμα της ωριαίας ζήτησης των καλλιεργειών για τα επόμενα 40 έτη και της σταθερής ζήτησης της κτηνοτροφίας.

## 5 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

### 5.1 Περιγραφή του συστήματος αντλησιοταμίευσης

Το σύστημα αντλησιοταμίευσης της παρούσας μελέτης περιλαμβάνει τον υπάρχοντα ταμιευτήρα Στράτου ωφέλιμης χωρητικότητας 13 hm<sup>3</sup> και ένα δεύτερο, εικονικό ταμιευτήρα ανάντη του πρώτου, για τον οποίο διερευνώνται η θέση και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του. Επιπλέον, περιλαμβάνει ένα σύστημα ανεμογεννητριών, για το οποίο διερευνώνται εξίσου η θέση και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του.

Για τη θέση του εικονικού ταμιευτήρα πραγματοποιείται μελέτη της περιοχής, ώστε να βρεθεί η βέλτιστη θέση. Η αναζήτηση επικεντρώνεται σε φυσικά κοιλώματα ή κοιλάδες που θα μπορούσαν να φιλοξενήσουν τον εικονικό ταμιευτήρα. Ακόμα, σημαντικός παράγοντας στην αναζήτηση είναι η χιλιομετρική απόσταση του εικονικού με τον ήδη υπάρχοντα ταμιευτήρα Στράτου. Τέλος, λαμβάνεται υπόψη η υψομετρική διαφορά των δύο ταμιευτήρων. Η καλύτερη θέση που επιλέγεται είναι αυτή που βελτιστοποιεί τις απαιτήσεις αυτές, ώστε να δημιουργείται ένα φυσικός ταμιευτήρας με ελάχιστη απόσταση από τον ταμιευτήρα Στράτου, προκειμένου να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες και το κόστος κατασκευής της διώρυγας προσαγωγής. Ακόμα, να επιτυγχάνεται η μέγιστη υψομετρική διαφορά των δύο ταμιευτήρων, για να προκύπτει η βέλτιστη παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Για την επιλογή της θέσης του συστήματος ανεμογεννητριών, λαμβάνονται υπόψη τα εξής:

- η εξασφάλιση του αιολικού δυναμικού, που απαιτείται για την ορθή λειτουργία των ανεμογεννητριών, με κατώτατο όριο ταχύτητας τα 4 m/s,
- η εύρεση εδάφους με ομαλή κλίση για την τοποθέτηση της βάσης της κατασκευής,
- η διασφάλιση θέσης κοντινή στο δίκτυο της ΔΕΗ και στους δύο ταμιευτήρες, για καλύτερη μεταφορά της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας,
- η προστασία της χλωρίδας και πανίδας όσο το δυνατόν περισσότερο, ιδιαίτερα σε περιοχές που προστατεύονται
- και τέλος, η απόσταση από τους οικισμούς και τα αστικά κέντρα, ώστε να μην υπάρχει οπτική και ακουστική όχληση.

### 5.2 Χωροθέτηση εικονικού ταμιευτήρα

Για τη χωροθέτηση του ταμιευτήρα, μελετάται ο χάρτης που απεικονίζει τις ισοϋψείς, προκειμένου να βρεθεί ένα κοίλωμα, σε μικρή απόσταση ανάντη του ταμιευτήρα Στράτου (Εικόνα 5.1). Επιλέγοντας την ανώτατη και κατώτατη στάθμη του ταμιευτήρα,

προκύπτει ο όγκος χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της ανάποδης πυραμίδας. Υπολογίζεται, ο όγκος ανά μέτρο ξεκινώντας από το υψηλότερο προς το χαμηλότερο σημείο του ταμιευτήρα, με την σχέση (5.1):

$$V = \frac{1}{3} \times E \times h, \quad (5.1)$$

Όπου,

V: ο όγκος του ταμιευτήρα,

E: το εμβαδόν της επιφάνειας στο αντίστοιχο ύψος σε κάθε βήμα,

h: το υψόμετρο σε κάθε βήμα.

Στη συνέχεια, υπολογίζεται ο όγκος μέσω των σχέσεων δύναμης της μορφής (5.2):

$$s = \kappa(z - z_0)^\lambda \quad \text{ή} \quad s = \kappa\left(\frac{z}{z_0}\right)^\lambda, \quad (5.2)$$

όπου  $\kappa$ ,  $\lambda$  παράμετροι που εκτιμώνται μέσω παλινδρόμησης ή διάφορων μεθόδων βελτιστοποίησης και  $z_0$  ένα ελάχιστο υψόμετρο αναφοράς (π.χ. υψόμετρο πυθμένα), (Ευστρατιάδης κ.α., 2018).

Η εξαγωγή των παραμέτρων  $\kappa$ ,  $\lambda$  πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας την εξελικτική (evolutionary) μέθοδο βελτιστοποίησης, μεταβάλλοντας τις τιμές των  $\kappa$  και  $\lambda$ , ώστε να ελαχιστοποιηθεί το αθροιστικό τετραγωνικό σφάλμα της διαφοράς των όγκων όπως προκύπτουν από τις σχέσεις (5.1) και (5.2).

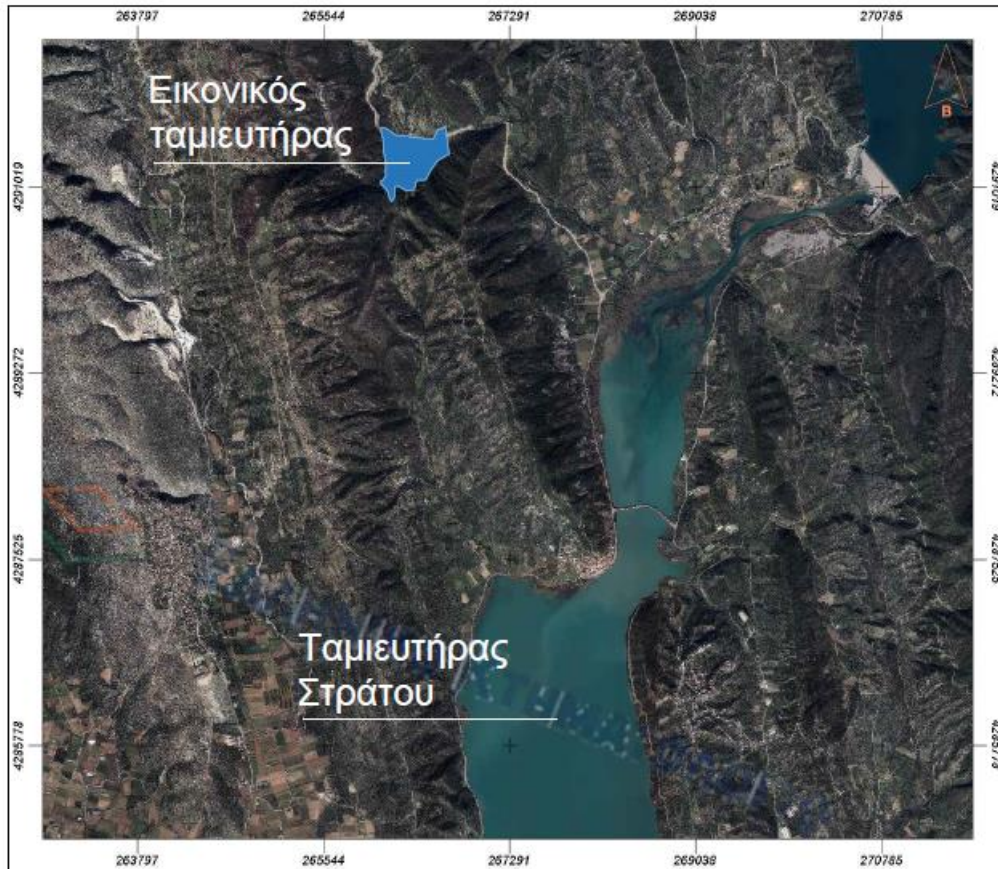
Τα αποτελέσματα της εξελικτικής βελτιστοποίησης για κάθε σχέση δύναμης υπολογίζονται σε υπολογιστικό φύλλο excel με τη χρήση του εργαλείου ‘επίλυσης’. Το αθροιστικό τετραγωνικό σφάλμα ελαχιστοποιείται για την πρώτη σχέση πολύ περισσότερο από τη δεύτερη, οπότε θεωρείται και καταλληλότερη. Έτσι η σχέση στάθμης – αποθέματος για τον ταμιευτήρα Στράτου έχει τη μορφή (5.3):

$$s = 89.14 (z - z_0)^{2.15}, \quad (3.3)$$

Η ανώτατη και κατώτατη στάθμη λειτουργίας επιλέγεται έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η απαραίτητη υψομετρική διαφορά με τον ταμιευτήρα της Στράτου (Πίνακας 5.1).

Πίνακας 5.1:Τεχνικά χαρακτηριστικά ταμιευτήρα.

Ωφέλιμη χωρητικότητα (hm <sup>3</sup> )	Κατώτατη στάθμη λειτουργίας (m)	Ανώτατη στάθμη λειτουργίας (m)
1.40	170	180



Εικόνα 5.1: Χωροθέτηση εικονικού ταμιευτήρα (Πηγή: Ελληνικό κτηματολόγιο).

### 5.3 Εκτίμηση υδροηλεκτρικής ενέργειας

Η παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια που προκύπτει από την πτώση όγκου νερού από συγκεκριμένο ύψος, υπολογίζεται από την σχέση (5.4):

$$E(\text{kWh}) = \frac{g \cdot n \cdot h(\text{m}) \cdot V(\text{m}^3)}{3600} \quad (5.4) \text{ (Μαμάσης κ.α. 2018)}$$

Όπου,

E: παραγόμενη ενέργεια

g: επιτάχυνση βαρύτητας

N: βαθμός απόδοσης ( $n < 1$ , για υδροηλεκτρικά έργα συνήθως  $n = 0,80 \sim 0,90$ )

η: υψομετρική διαφορά

V: όγκος νερού διερχόμενος από τους στροβίλους

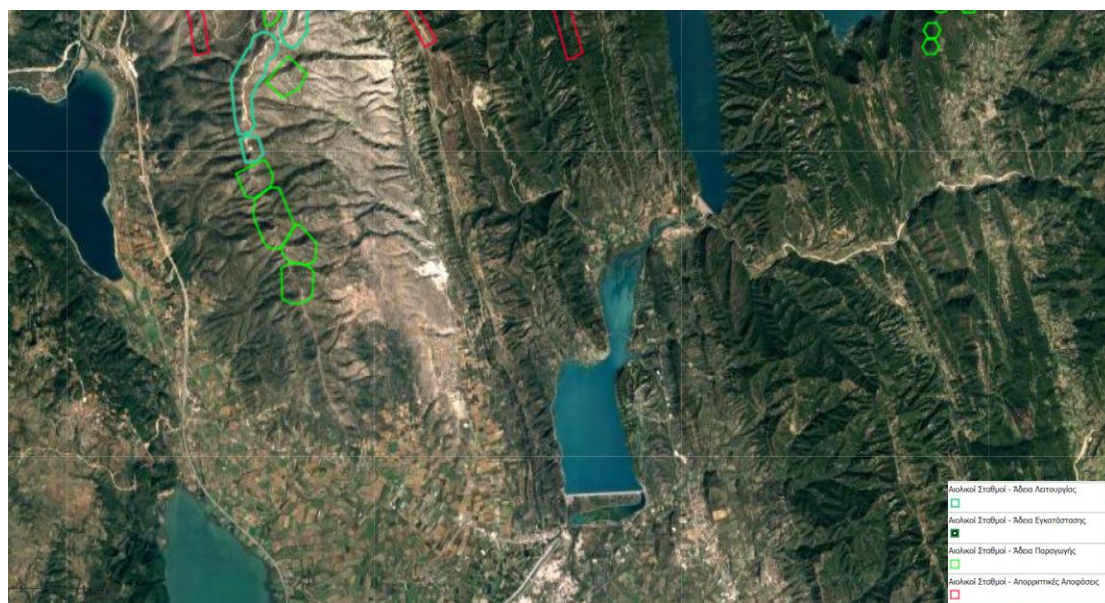
Η ενέργεια που καταναλώνεται προκειμένου να μεταφερθεί ένας όγκος νερού σε μεγαλύτερο ύψος, υπολογίζεται από την σχέση:

$$E(\text{kWh}) = \frac{g \cdot h(m) \cdot V(m^3)}{n \cdot 3600} \quad (5.5)$$

Όπως προκύπτει από τις δύο σχέσεις, η ενέργεια που απαιτείται για να μεταφερθεί το νερό από τον κατάντη ταμιευτήρα στον ανάντη είναι μεγαλύτερη. Παρόλα αυτά, το κόστος ενέργειας κατά τις ώρες που η ζήτηση είναι μειωμένη είναι αρκετά μικρότερο από την ώρα αιχμής, επομένως η μεταφορά του νερού κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης στον ανάντη ταμιευτήρα, είναι ωφέλιμη και οικονομική (Μανίκας Κ., 2021).

## 5.4 Εκτίμηση αιολικής ενέργειας

Για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας στο υπό μελέτη σύστημα, εξετάζεται η εγκατάσταση νέων ανεμογεννητριών, που πρόκειται να λειτουργούν αποκλειστικά για αυτό το σκοπό. Η χωροθέτηση των ανεμογεννητριών, προτείνεται βορειοδυτικά του ταμιευτήρα Στράτου, κατάντη ενός δικτύου ανεμογεννητριών που υπάρχει ήδη στο σημείο, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.2.



Εικόνα 5.2: Προτεινόμενη θέση ανεμογεννητριών ( geo.rae.gr )

Για την εκτίμηση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας, απαιτείται η διόρθωση της συνθετικής χρονοσειράς του ανέμου, από το υψόμετρο του σταθμού από τον οποίο προήλθαν τα δεδομένα, στο υψόμετρο των ανεμογεννητριών. Η αναγωγή πραγματοποιείται με τη χρήση της σχέσης (5.6):

$$u_2 = u_1 \times \frac{\ln\left(\frac{z_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right)}, \quad (5.6)$$

όπου:

$u_2$ : η διορθωμένη ταχύτητα του ανέμου σε υψόμετρο  $z_2 = 75$  m, που αντιστοιχεί στο υψόμετρο του ρότορα των ανεμογεννητριών.

$u_1$ : η ταχύτητα του ανέμου που αντιστοιχεί στο υψόμετρο του σταθμού από τον οποίο προήλθαν οι μετρήσεις, ίσο με  $z_1 = 24$  m.

$z_0$ : η παράμετρος ταχύτητας του εδάφους, σύμφωνα με τον Πίνακα 5.2. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η τιμή αυτή εκτιμάται ίση με 0.2, λόγω της φύσης του εδάφους.

Πίνακας 5.2: Τυπικές τιμές της παραμέτρου τραχύτητας  $z_0$  για διάφορες φυσικές επιφάνειες (Πηγή: Σκρουφούτα Σ.,2020).

Τυπικές τιμές της παραμέτρου τραχύτητας $z_0$ για διάφορες φυσικές επιφάνειες (cm)	
Πάγος	0.001
Ασφαλτοστρωμένη επιφάνεια	0.002
Υδάτινη επιφάνεια	0.01-0.06
Χλόη ύψους μέχρι 1 cm	0.1
Χλόη ύψους 1-10 cm	0.1-0.2
Χλόη-σιτηρά κλπ. ύψους 10-50 cm	2.0-5.0
Φυτοκάλυψη ύψους 1-2 m	20
Δένδρα ύψους 1-2 m	40-70

Επιπλέον, για την εκτίμηση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας, επιλέγεται ο κατάλληλος τύπος ανεμογεννήτριας, σύμφωνα με το αιολικό δυναμικό της περιοχής. Για τη διερεύνηση του κατάλληλου τύπου, αξιοποιείται η ιστορική χρονοσειρά ανέμου, η οποία κατατάσσεται σε κλάσεις ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 5.1.



Διάγραμμα 5.1: Διάγραμμα κατανομής ταχύτητας ανέμου.

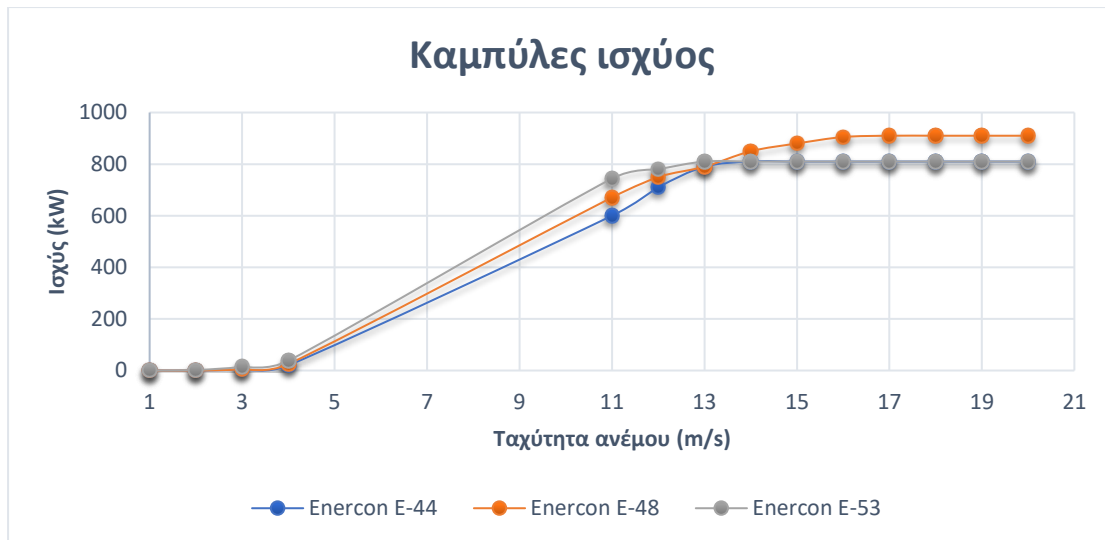
Η επιλογή του τύπου ανεμογεννήτριας, γίνεται μεταξύ των τριών μοντέλων που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.3, λαμβάνοντας υπόψη την καμπύλη ενέργειας του κάθε μοντέλου, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 5.2.

Πίνακας 5.3: Λειτουργικά χαρακτηριστικά μοντέλων ανεμογεννήτριας.

Μοντέλο	Ονομαστική ισχύς (kW)	Ελάχιστη ταχύτητα λειτουργίας (m/s)	Μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας (m/s)	Ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας (m/s)
Enercon E-44	900	3.00	34.00	16.50
Enercon E-48	800	3.00	34.00	12.00
Enercon E-53	800	3.00	34.00	12.00

Το μοντέλο που επιλέγεται είναι το Enercon E-53, καθώς η παραγόμενη ενέργεια εκτιμάται πως θα είναι μεγαλύτερη για τις ταχύτητες από 5-14 m/s, σε σχέση με τα άλλα δύο μοντέλα, για τις οποίες παρατηρείται μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης στην ιστορική χρονοσειρά, αφού διορθωθεί με την σχέση (5.1). Το πλήθος των ανεμογεννητριών που επιλέγεται, προκειμένου να λειτουργήσουν για το σύστημα αντλησιοταμίευσης είναι 20. Κατά τη λειτουργία του συστήματος αντλησιοταμίευσης το 70% της παραγόμενης αιολικής ενέργειας χρησιμοποιείται για την άντληση του νερού από τον ταμιευτήρα Στράτου στον ανάντη ταμιευτήρα, ενώ το υπόλοιπο 30% εισέρχεται στο σύστημα αυτούσιο για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών.





Διάγραμμα 5.2: Καμπύλες ισχύος των μοντέλων ανεμογεννήτριας.

## 5.5 Μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας συστήματος

Το μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας του συστήματος αντλησιοταμίευσης βασίζεται στην αξιοποίηση του πλεονάσματος της παραγόμενης υδροηλεκτρικής και αιολικής ενέργειας, όταν η ζήτηση είναι μικρότερη από την παραγωγή, ώστε να μεταφερθεί νερό από τον κατάντη στον ανάντη ταμιευτήρα με τη χρήση αντλιών. Επιπρόσθετα, όταν η ζήτηση για ενέργεια είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή, αξιοποιείται ο αποθηκευμένος όγκος νερού του ανάντη ταμιευτήρα για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας και έτσι καλύπτεται το έλλειμα. Στόχος της παρούσας μελέτης είναι η αξιολόγηση του συστήματος αντλησιοταμίευσης, ιδιαίτερα ως προς την αξιοπιστία του, την κάλυψη των υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών, καθώς και τη διαχείριση των ενεργειακών ελλειμμάτων και πλεονασμάτων. Η προσομοίωση του συστήματος πραγματοποιείται για ένα διάστημα 40 ετών, με ωριαίο χρονικό βήμα και τα δεδομένα εισόδου είναι τα εξής:

- οι συνθετικές χρονοσειρές των υδρευτικών αναγκών 40 ετών, αναγόμενες στην εκτιμώμενη αύξηση του πληθυσμού με ωριαίο χρονικό βήμα,
- οι συνθετικές χρονοσειρές των αρδευτικών αναγκών 40 ετών, με ωριαίο χρονικό βήμα,
- οι συνθετικές χρονοσειρές των ενεργειακών αναγκών 40 ετών, αναγόμενες στην εκτιμώμενη αύξηση του πληθυσμού με ωριαίο χρονικό βήμα,
- η παραγόμενη αιολική ενέργεια 40 ετών, με ωριαίο βήμα, όπως προκύπτει από την συνθετική χρονοσειρά ανέμου 40 ετών και την καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας που επιλέγεται,
- οι συνθετικές χρονοσειρές των εισροών στον ταμιευτήρα 40 ετών, με ωριαίο βήμα,
- η χωρητικότητα του ταμιευτήρα Στράτου καθώς και του εικονικού,

- η ανώτατη και κατώτατη στάθμη λειτουργίας κάθε ταμιευτήρα,
- οι σχέσεις στάθμης αποθέματος για κάθε ταμιευτήρα,
- το υψόμετρο του αγωγού φυγής,
- ο βαθμός απόδοσης των αντλιών και στροβίλων.

Αξιοποιώντας τα προηγούμενα στοιχεία εισόδου του μοντέλου προσομοίωσης, προκύπτουν τα εξής στοιχεία εξόδου:

- η παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια με ωριαίο χρονικό βήμα,
- το έλλειμα και το πλεόνασμα ενέργειας, σε κάθε χρονικό βήμα,
- ο όγκος νερού που μπορεί να αντληθεί από τον ταμιευτήρα Στράτου, στον εικονικό ταμιευτήρα ανάντη, σε ωριαίο βήμα,
- η χρονική εξέλιξη του αποθέματος για κάθε ταμιευτήρα,
- η χρονική εξέλιξη της στάθμης για κάθε ταμιευτήρα,
- η πιθανότητα αστοχίας, αλλά και η αξιοπιστία του συστήματος,
- το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών,

## 6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η διαμόρφωση ενός συστήματος αντλησιοταμίευσης στον ταμιευτήρα Στράτου, το οποίο θα είναι αξιόπιστο και βιώσιμο. Η αξιολόγηση του συστήματος αντλησιοταμίευσης συγκεντρώνεται ιδιαίτερα, ως προς την κάλυψη των υδρευτικών, αρδευτικών και ενεργειακών αναγκών, καθώς και τη διαχείριση των ενεργειακών ελλειμμάτων και πλεονασμάτων, που προκύπτουν κατά την λειτουργία του ταμιευτήρα Στράτου. Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του συστήματος για διάστημα 40 ετών με ωριαίο βήμα, καθώς και η προσομοίωση για ένα τυπικό εικοσιτετράωρο του Δεκεμβρίου.

### 6.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης 40 ετών με ωριαίο βήμα

Κατά την προσομοίωση του συστήματος εξετάζεται αρχικά η κάλυψη των υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών. Για το διάστημα 40 ετών υπολογίζεται η αξιοπιστία, όπως φαίνεται στους Πίνακες 6.1 και 6.2, η οποία εκτιμάται ίση με 99.99% τόσο για την κάλυψη της ύδρευσης, όσο και για την κάλυψη της άρδευσης. Αυτό συμβαίνει διότι, είναι πρώτιστης σημασίας στο σύστημα προσομοίωσης να καλυφθούν οι ανάγκες αυτές, αλλά και εξαιτίας του μικρού σχετικά όγκου νερού που απαιτείται για αυτές τις ανάγκες.

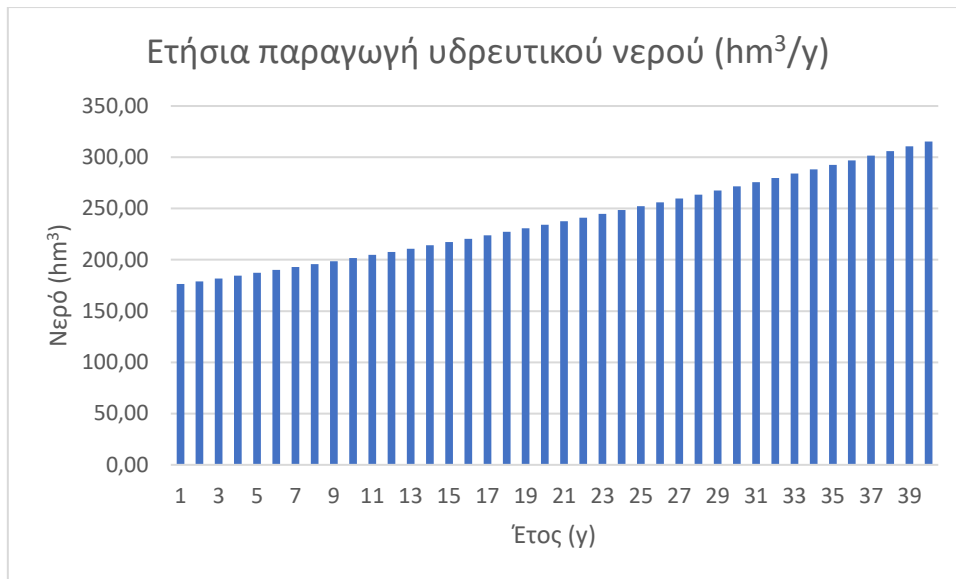
Πίνακας 6.1: Αστοχία και αξιοπιστία ύδρευσης και άρδευσης.

Έτος	Αστοχία ύδρευσης	Αστοχία άρδευσης	Αξιοπιστία ύδρευσης (%)	Αξιοπιστία άρδευσης (%)
1	-	-	99.99	99.99
2	-	-	99.99	99.99
3	-	-	99.99	99.99
4	-	-	99.99	99.99
5	-	-	99.99	99.99
6	-	-	99.99	99.99
7	-	-	99.99	99.99
8	-	-	99.99	99.99
9	-	-	99.99	99.99
10	-	-	99.99	99.99
11	-	-	99.99	99.99
12	-	-	99.99	99.99
13	-	-	99.99	99.99
14	-	-	99.99	99.99
15	-	-	99.99	99.99
16	-	-	99.99	99.99
17	-	-	99.99	99.99
18	-	-	99.99	99.99
19	-	-	99.99	99.99
20	-	-	99.99	99.99

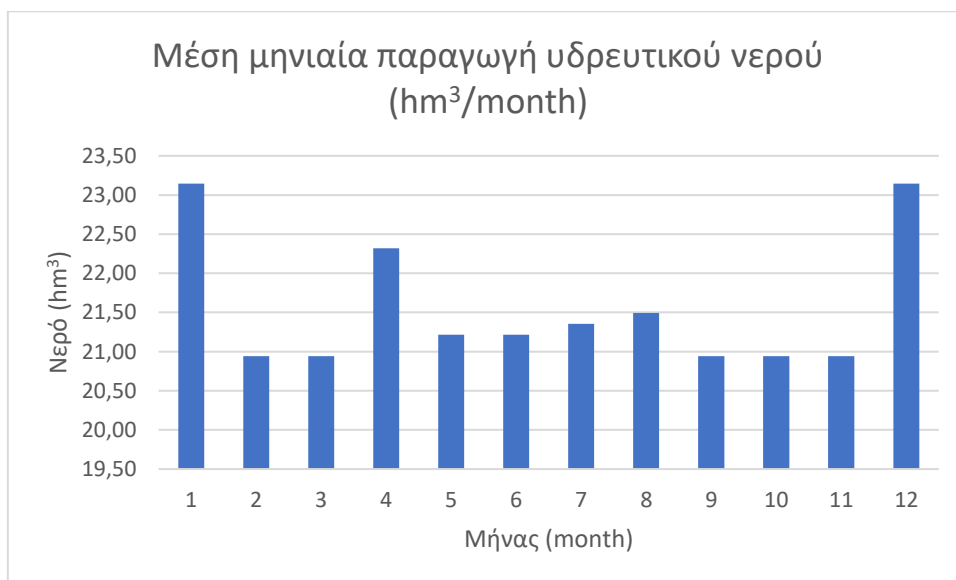
Πίνακας 6.2: : Αστοχία και αξιοπιστία ύδρευσης και άρδευσης.

Έτος	Αστοχία ύδρευσης	Αστοχία άρδευσης	Αξιοπιστία ύδρευσης (%)	Αξιοπιστία άρδευσης (%)
21	-	-	99.99	99.99
22	-	-	99.99	99.99
23	-	-	99.99	99.99
24	-	-	99.99	99.99
25	-	-	99.99	99.99
26	-	-	99.99	99.99
27	-	-	99.99	99.99
28	-	-	99.99	99.99
29	-	-	99.99	99.99
30	-	-	99.99	99.99
31	-	-	99.99	99.99
32	-	-	99.99	99.99
33	-	-	99.99	99.99
34	-	-	99.99	99.99
35	-	-	99.99	99.99
36	-	-	99.99	99.99
37	-	-	99.99	99.99
38	-	-	99.99	99.99
39	-	-	99.99	99.99
40	-	-	99.99	99.99

Στην συνέχεια, παρουσιάζονται οι συνολικοί παραγόμενοι υδρευτικοί και αρδευτικοί όγκοι ανά έτος και οι μέσοι μηνιαίοι παραγόμενοι όγκοι για ύδρευση και άρδευση. Όπως φαίνεται στα Διαγράμματα 6.1 και 6.2, οι παραγόμενοι όγκοι για ύδρευση αυξάνονται σταθερά με το πέρασ των χρόνων, λόγω της σταθερής γεωμετρικής αύξησης του πληθυσμού, ενώ ταυτόχρονα παρατηρείται αυξημένη παραγωγή τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο, λόγω της αύξησης του εποχικού πληθυσμού κατά τους μήνες αυτούς.



Διάγραμμα 6.1: Ετήσια παραγωγή υδρευτικού νερού(hm<sup>3</sup>/y).

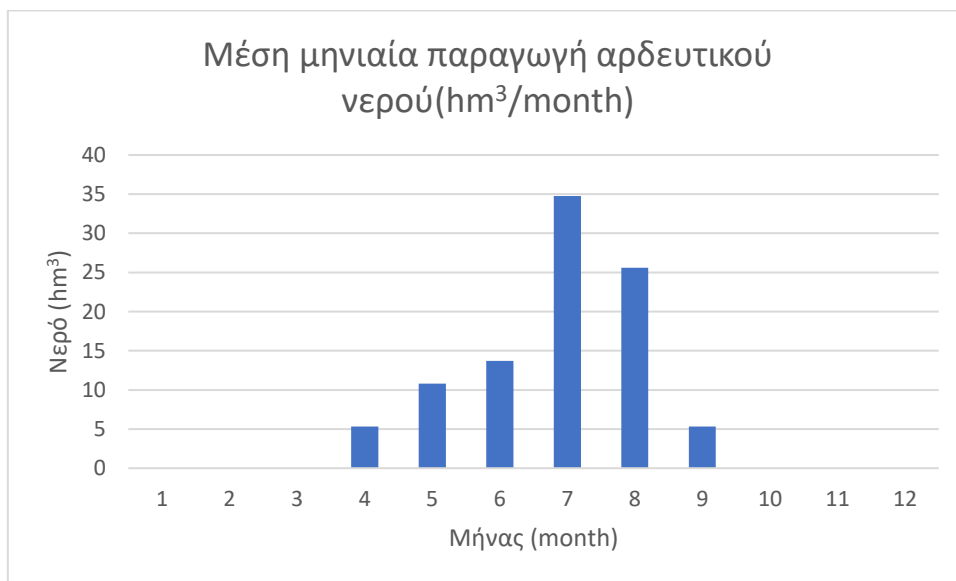


Διάγραμμα 6.2: Μέση μηνιαία παραγωγή υδρευτικού νερού (hm<sup>3</sup>/month).

Αντίστοιχα, όπως φαίνεται στα Διαγράμματα 6.3 και 6.4, οι παραγόμενοι όγκοι για άρδευση παραμένουν σταθεροί με το πέρας των χρόνων, καθώς οι αρδευόμενες εκτάσεις θεωρούνται πεπερασμένες και αξιοποιούνται ήδη στο μεγαλύτερο ποσοστό. Ακόμη, παρατηρείται αυξημένη παραγωγή τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, λόγω της αυξημένης ανάγκης για νερό τους καλοκαιρινούς μήνες και μηδενική από τον Οκτώβριο έως και το Μάρτιο, καθώς η εξατμισοδιαπνοή τους αντίστοιχους μήνες θεωρείται ίση με το μηδέν.

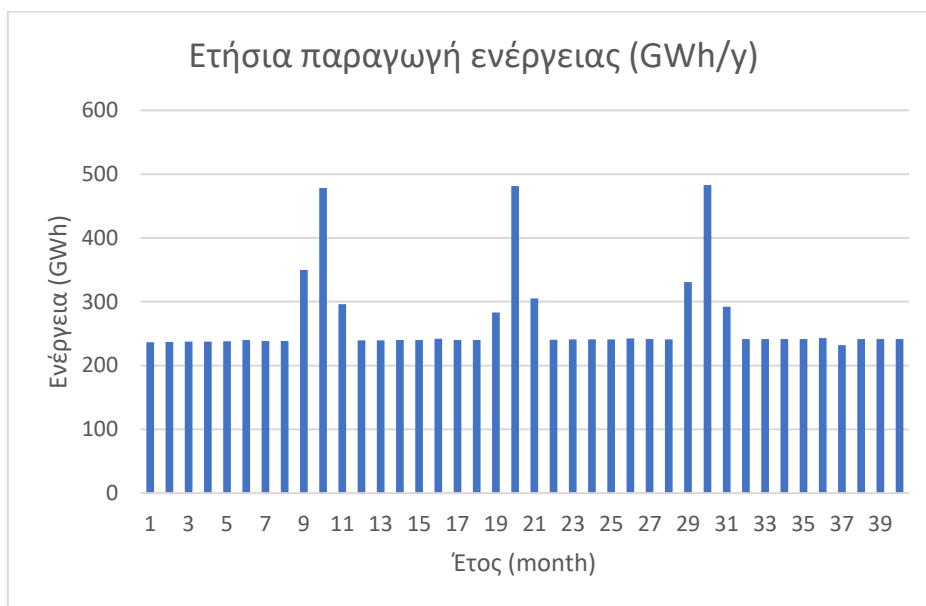


Διάγραμμα 6.3: Ετήσια παραγωγή αρδευτικού νερού (hm<sup>3</sup>/year).

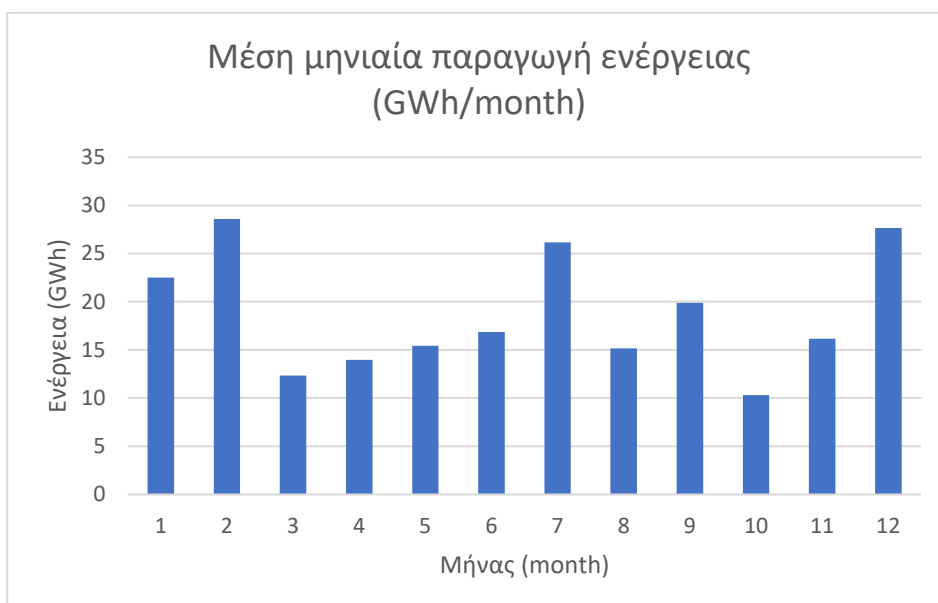


Διάγραμμα 6.4: Μέση μηνιαία παραγωγή αρδευτικού νερού (hm<sup>3</sup>/month).

Όσον αφορά στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, όπως προκύπτει από την προσομοίωση του συστήματος, η ενέργεια που παράγεται συνολικά δεν έχει μεγάλες διακυμάνσεις ετησίως, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 6.5, με τη μέγιστη να φτάνει τις 482.76 GWh και την ελάχιστη να φτάνει τις 231.74 GWh. Αντίθετα η μηνιαία συνολική παραγωγή, παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις, όπως φαίνεται και Διάγραμμα 6.6, με τη μέγιστη να φτάνει τις 28.57 GWh και την ελάχιστη να φτάνει τις 10.30 GWh.

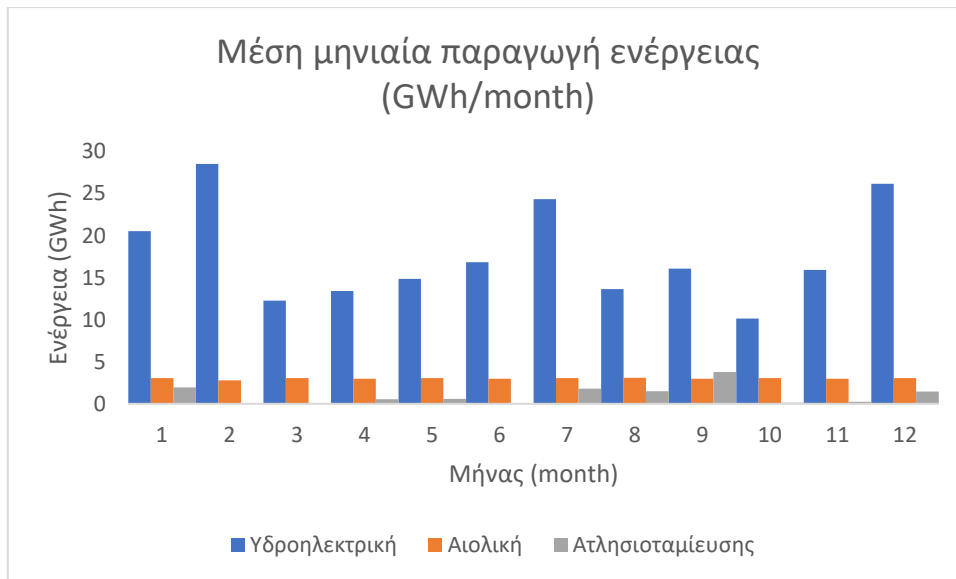


Διάγραμμα 6.5: Ετήσια παραγωγή ενέργειας (GWh/y).



Διάγραμμα 6.6: Μέση μηνιαία παραγωγή ενέργειας (GWh/month).

Το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής ενέργειας παράγεται από τον ταμιευτήρα Στράτου, ενώ στη συνέχεια ακολουθεί η αιολική ενέργεια και τέλος η ενέργεια που παράγεται από τον ανάντη ταμιευτήρα, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 6.7.



Διάγραμμα 6.7: Μέση μηνιαία παραγωγή ενέργειας ανά πηγή (GWh/month).

Στους Πίνακες 6.3 και 6.4, παρουσιάζεται το ποσοστό κάλυψης της ενέργειας κάθε έτους για το διάστημα 40 ετών, το οποίο κυμαίνεται από 64.48%, έως και 72.38% και είναι αρκετά ικανοποιητικό.

Πίνακας 6.3: Ποσοστό κάλυψης ενέργειας 1<sup>ης</sup> 20ετίας(%).

Έτος	Παραγωγή Ενέργειας (GWh)	Κάλυψη ενέργειας (%)
1	202,73	72,38
2	202,41	71,70
3	202,69	71,39
4	202,90	71,14
5	203,19	70,97
6	204,67	70,80
7	203,34	70,63
8	203,40	70,49
9	204,42	70,42
10	407,30	70,22
11	203,75	70,09
12	203,94	70,04



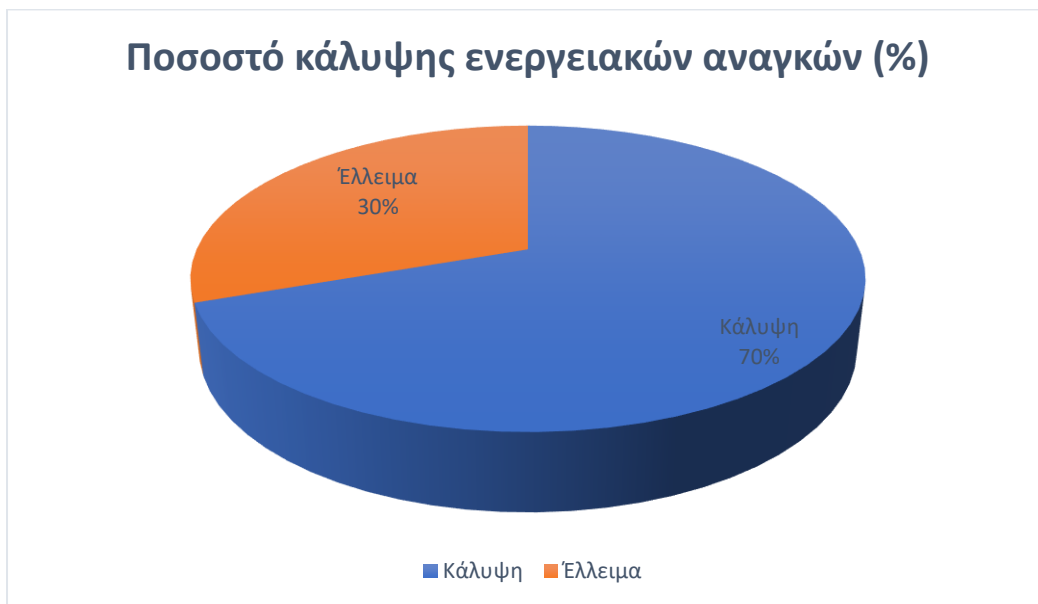
13	203,87	69,93
14	203,91	69,85
15	203,96	69,78
16	205,58	69,77
17	204,05	69,66
18	204,05	69,60
19	204,74	69,51
20	408,62	69,50

Πίνακας 6.4: Ποσοστό κάλυψης ενέργειας 2<sup>ης</sup> 20ετίας(%).

Έτος	Παραγωγή Ενέργειας (GWh)	Κάλυψη ενέργειας (%)
21	204,22	69,39
22	204,25	69,35
23	204,41	69,33
24	204,31	69,26
25	204,34	69,22
26	205,68	69,16
27	204,67	69,22
28	204,40	69,11
29	205,07	69,04
30	409,25	69,06
31	204,53	68,97
32	204,55	68,94
33	204,57	68,91
34	204,72	68,91
35	204,61	68,85
36	205,93	68,80
37	196,83	68,74

38	240,78	64,48
39	241,02	66,87
40	240,85	66,83

Όπως προκύπτει και από το Διάγραμμα 6.8, για το σύνολο των ενεργειακών αναγκών, στο διάστημα των 40 ετών η μέση τιμή κάλυψης προκύπτει ίση με 70%. Αντίστοιχα, από το Διάγραμμα 6.9, παρατηρείται πως στην κάλυψη συνεισφέρει κατά 81% η υδροηλεκτρική ενέργεια παραγόμενη από τον ταμιευτήρα Στράτου, κατά 17% η αιολική ενέργεια και τέλος, κατά 2% η ενέργεια παραγόμενη από τον ταμιευτήρα ανάντη της Στράτου.

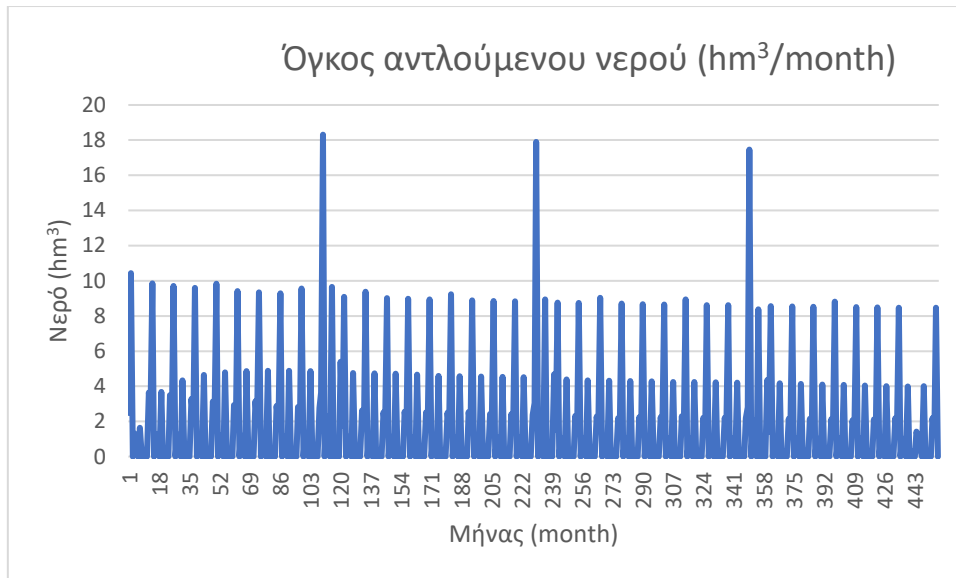


Διάγραμμα 6.8: Ποσοστό κάλυψης και ελλείματος ενέργειας (%).

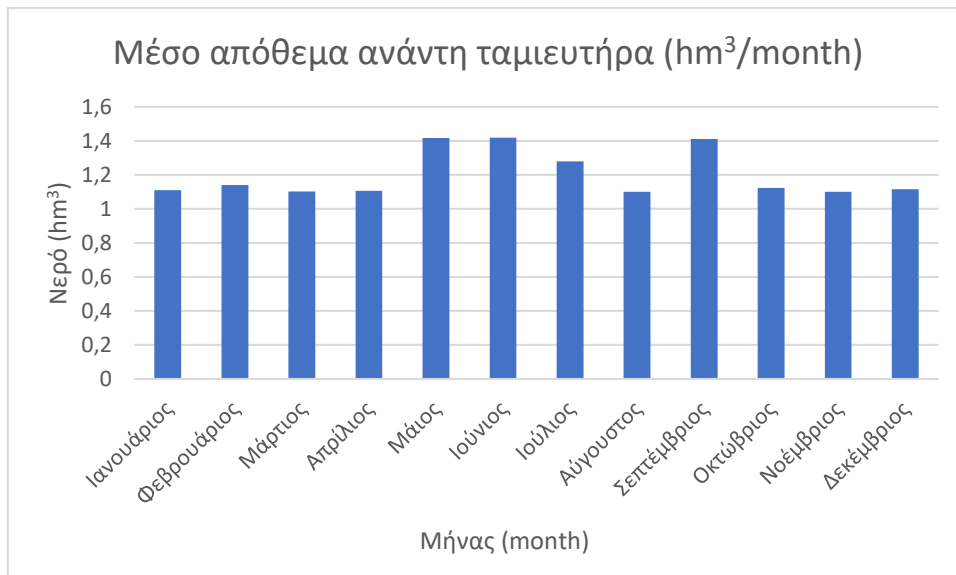


Διάγραμμα 6.9: Ποσοστό κάλυψης ενεργειακών αναγκών ανά πηγή (%).

Για τη διαχείριση των πλεονασμάτων και των ελλειμμάτων που προκύπτουν, πραγματοποιείται άντληση νερού από τον κατάντη ταμιευτήρα στον ανάντη. Ο όγκος νερού που μπορεί να αντληθεί περιορίζεται από τη μέγιστη χωρητικότητα του ανάντη ταμιευτήρα και παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 6.10, ενώ στο Διάγραμμα 6.10 παρουσιάζεται αντίστοιχα η μέση τιμή του αποθέματος του για κάθε μήνα.



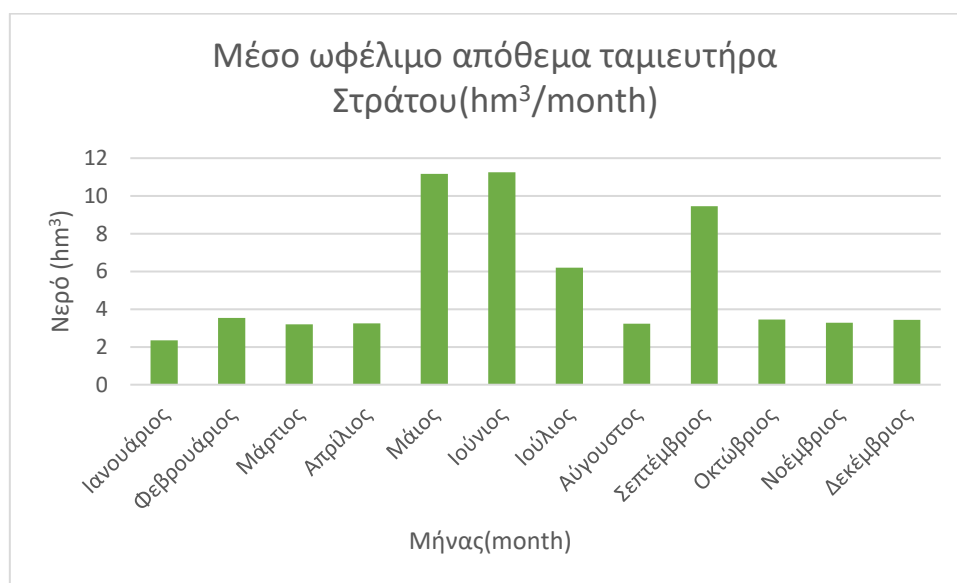
Διάγραμμα 6.10: Όγκος αντλούμενου ύδατος (hm<sup>3</sup>/month).



Διάγραμμα 6.11: Μέσο απόθεμα ανάντη ταμιευτήρα (hm<sup>3</sup>/month).

Το ωφέλιμο απόθεμα του ταμιευτήρα Στράτου εμφανίζει μεγάλες διακυμάνσεις, γεγονός που οδηγεί σε αστοχία και αδυναμία κάλυψης των ενεργειακών αναγκών (Διάγραμμα 6.12). Επηρεάζεται κυρίως από τις ζητήσεις ενέργειας, καθώς συνεισφέρει

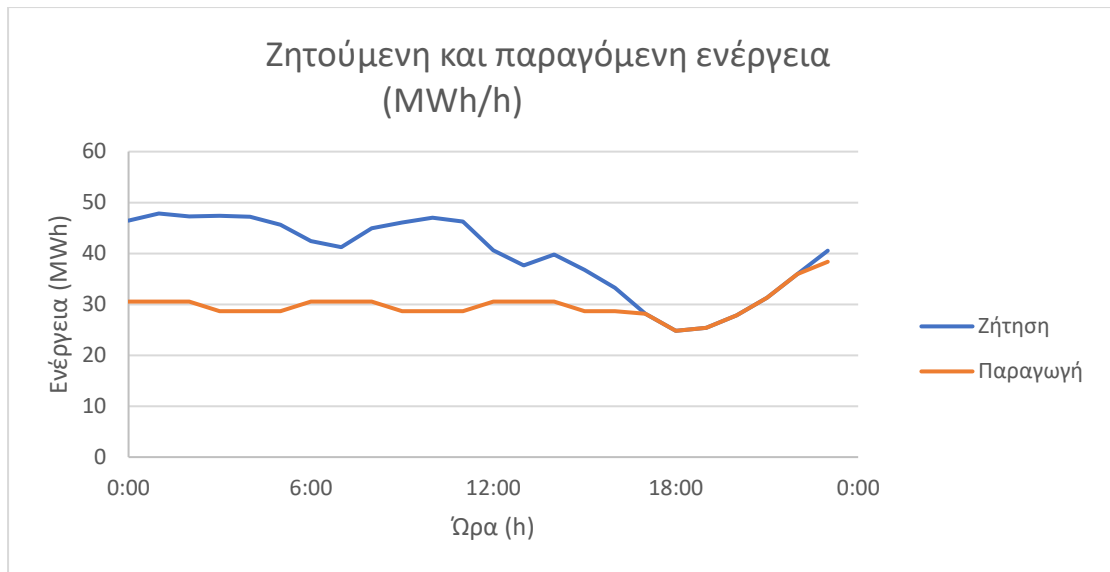
κατά το μεγαλύτερο ποσοστό στην παραγωγή ενέργειας, αλλά και από τις εκροές του ταμιευτήρα Καστρακίου.



Διάγραμμα 6.12: Μέσο ωφέλιμο απόθεμα ταμιευτήρα Στράτου (hm<sup>3</sup>/month).

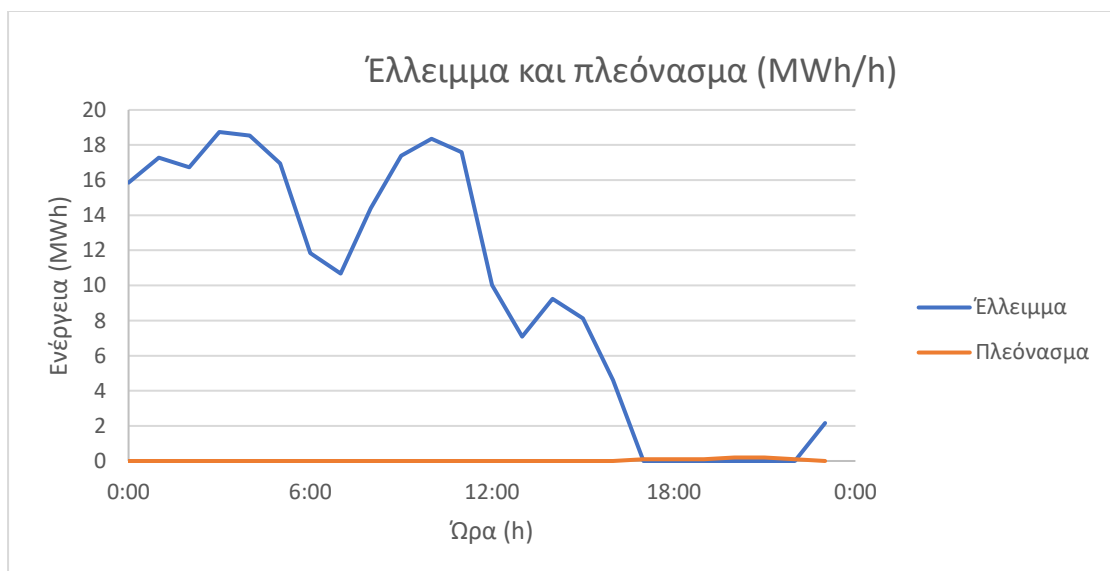
## 6.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης τυπικού 24ωρου του Δεκεμβρίου

Η προσομοίωση ενός τυπικού εικοσιτετράωρου πραγματοποιείται για το μήνα Δεκέμβριο, κατά τον οποίο είναι αυξημένες οι ανάγκες για ύδρευση και για ενέργεια. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στη συνέχεια, το ποσοστό κάλυψης των αναγκών για ύδρευση και άρδευση ανέρχεται σε ποσοστό 99.99%. Όσον αφορά την κάλυψη της ζήτησης ενέργειας κατά το διάστημα 00:00 – 16:00, ο ταμιευτήρας Στράτου καλύπτει το 59% της ζήτησης και οι ανεμογεννήτριες το 10%. Για το διάστημα 16:00-00:00, κατά το οποίο παράγεται ενέργεια ταυτόχρονα από τον ταμιευτήρα Στράτου, τις εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες και τον ανάντη ταμιευτήρα η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών φτάνει το 99.99%. Σαν αποτέλεσμα λοιπόν, η λειτουργία του συστήματος αντλιοσταμείωσης δύναται να ικανοποιήσει τις ενεργειακές ανάγκες σε μεγάλο βαθμό. Στο Διάγραμμα 6.13, παρουσιάζεται η χρονική εξέλιξη της ζητούμενης και παραγόμενης ενέργειας για ένα τυπικό εικοσιτετράωρο του Δεκεμβρίου.



Διάγραμμα 6.13: Χρονική εξέλιξη ζητούμενης και παραγόμενης ενέργειας (MWh/h).

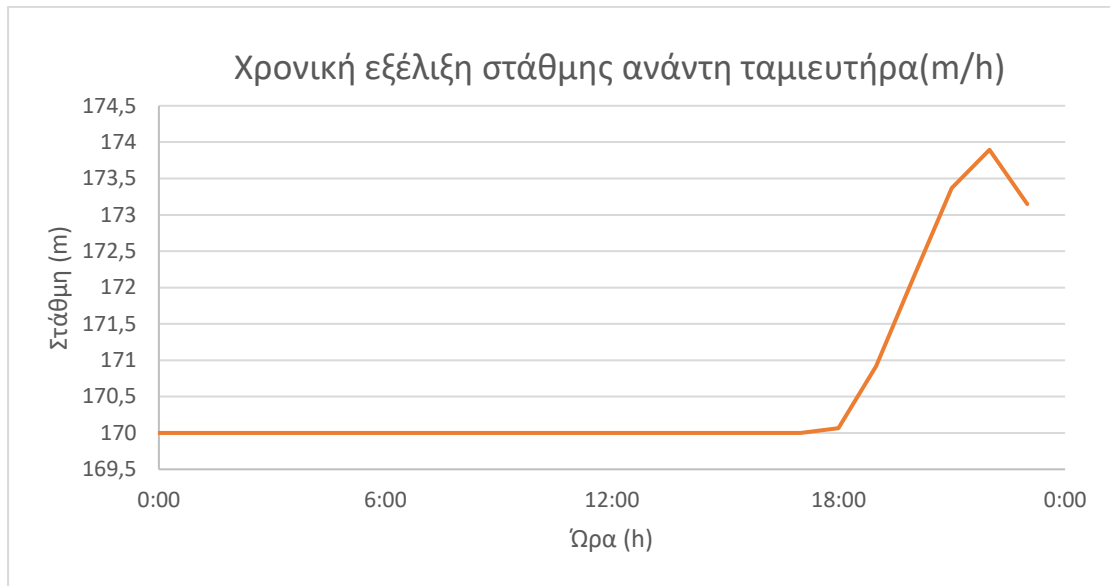
Στο διάγραμμα 6.14, παρουσιάζεται η χρονική εξέλιξη των ενεργειακών ελλειμμάτων και πλεονασμάτων εντός του εικοσιτετράωρου. Το έλλειμμα που προκύπτει είναι αρκετά σημαντικό λόγω της αυξημένης ζήτησης τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες, ενώ φαίνεται να μειώνεται από τις 18:00 έως τις 23:00.



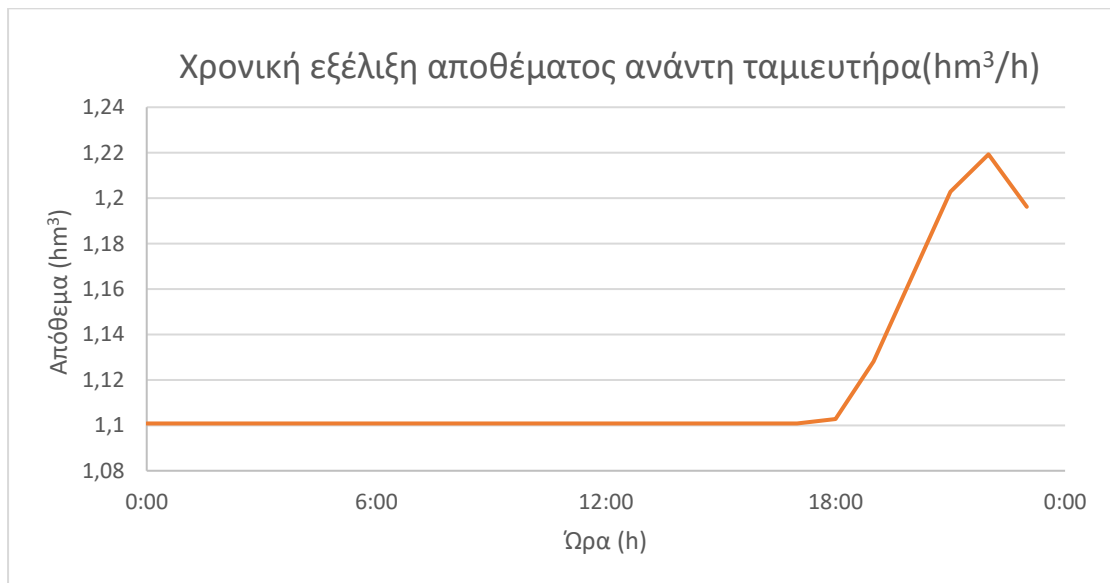
Διάγραμμα 6.14: Χρονική εξέλιξη ελλείματος και πλεονάσματος ενέργειας (MWh/h).

Στα Διαγράμματα 6.15 και 6.16 παρουσιάζονται η χρονική εξέλιξη της στάθμης και του αποθέματος του ανάντη ταμιευτήρα, στις οποίες τα εν λόγω μεγέθη παρουσιάζουν

μείωση της ώρες αυξημένης ζήτησης και αύξηση σε περιόδους μειωμένης ενεργειακής απαίτησης.

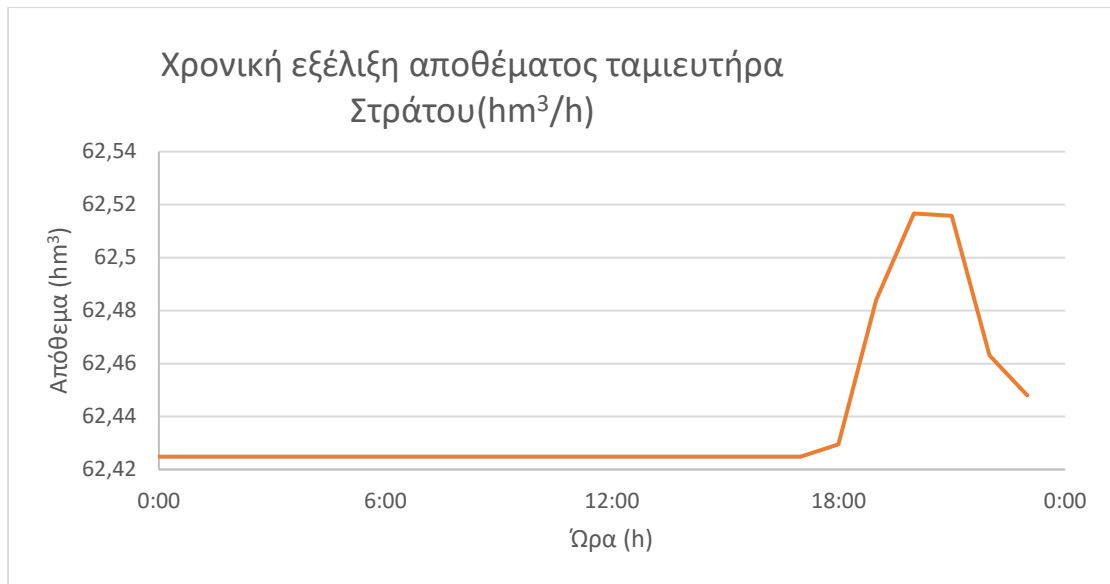


Διάγραμμα 6.15: Χρονική εξέλιξη στάθμης ανάντη ταμιευτήρα (m/h).



Διάγραμμα 6.16: Χρονική εξέλιξη αποθέματος ανάντη ταμιευτήρα (hm³/h).

Τέλος, στο Διάγραμμα 6.17 παρουσιάζεται η χρονική εξέλιξη του αποθέματος του ταμιευτήρα Στράτου, η οποία παρουσιάζει πολύ μικρές διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου, γεγονός που οφείλεται στην μικρή ποσότητα νερού που αξιοποιείται για το χρονικό διάστημα των εικοσιτεσσάρων ωρών.



Διάγραμμα 6.17: Χρονική εξέλιξη αποθέματος ταμιευτήρα Στράτου( $\text{hm}^3/\text{h}$ ).

## **7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ**

### **7.1 Συμπεράσματα**

Η παρούσα διπλωματική εξετάζει τον τρόπο λειτουργίας ενός συστήματος αντλησιοταμίευσης, εστιάζοντας στη διαχείριση των πλεονασμάτων και ελλειμμάτων που παρουσιάζονται κατά τη λειτουργία του συστήματος αυτού, με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης και της βιωσιμότητας του. Συγκεκριμένα, διερευνάται η εγκατάσταση ενός συστήματος αντλησιοταμίευσης που θα περιλαμβάνει τον υπάρχοντα ταμιευτήρα Στράτου, έναν ανάντη ταμιευτήρα μικρότερης δυναμικότητας και ένα σύστημα παραγωγής αιολικής ενέργειας με ανεμογεννήτριες. Για τη λειτουργία του συστήματος, πραγματοποιείται προσομοίωση για ένα διάστημα 40 ετών με ωριαίο βήμα, χρησιμοποιώντας δεδομένα που συλλέχθηκαν από την ΕΜΥ, τη ΔΕΗ και το Οικονομικό τμήμα του Δήμου Αγρίνιου. Τα δεδομένα περιλαμβάνουν ιστορικές χρονοσειρές βροχόπτωσης, θερμοκρασίας, ανέμου και εισροών στον ταμιευτήρα Στράτου, από τα οποία προκύπτουν οι ανάγκες για ύδρευση, άρδευση και ενέργεια. Με την προσομοίωση μελετάται η κάλυψη των αναγκών για ύδρευση, άρδευση και ενέργειας, αλλά και η διαχείριση των ελλειμμάτων και πλεονασμάτων ενέργειας.

Σαν συμπέρασμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επιδιώκεται να ανακεφαλαιωθούν τα κύρια ευρήματα και αποτελέσματα της έρευνας. Αρχικά, συμπεραίνεται ότι η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μόνο από την παραγόμενη ενέργεια του ταμιευτήρα Στράτου δεν είναι ικανοποιητική, καθώς εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την υδρολογική δίαιτα του ποταμού, καθώς και τις εκροές του ανάντη ταμιευτήρα Καστρακίου. Καθίσταται λοιπόν, πρόσφορο το έδαφος για την ανάπτυξη ενός συστήματος αντλησιοταμίευσης, που θα αξιοποιεί πλήρως τόσο το υδατικό δυναμικό αλλά και την αιολική ενέργεια, με στόχο τη μεγαλύτερη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών.

Τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μέθοδο προσομοίωσης του συστήματος αντλησιοταμίευσης είναι τα εξής:

- Οι ανάγκες για ύδρευση που καλύπτονται από τον ταμιευτήρα Στράτου αναμένεται να αυξηθούν σε βάθος 40ετίας, σύμφωνα με την εκτιμώμενη αύξηση του πληθυσμού, ενώ οι ανάγκες για άρδευση αναμένεται να παραμείνουν σχετικά σταθερές, δεδομένου ότι οι εκτάσεις που μπορούν να καλλιεργηθούν είναι πεπερασμένες και αξιοποιούνται ήδη στο μεγαλύτερο ποσοστό τους,
- Η κάλυψη των αναγκών για ύδρευση και άρδευση είναι αρκετά ικανοποιητική και ανέρχεται στο 99.99%.
- Παρομοίως, από την προσομοίωση για ένα τυπικό 24ωρο του Δεκεμβρίου η κάλυψη των αναγκών για ενέργεια και για άρδευση ανέρχεται σε ποσοστό 99.99%.



- Με την εφαρμογή του συστήματος αντλησιοταμίευσης επιτυγχάνεται καλύτερη διαχείριση των ελλειμμάτων και πλεονασμάτων, με αποτέλεσμα την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σε μεγαλύτερο ποσοστό.
- Το μέσο ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών του συστήματος αντλησιοταμίευσης ανέρχεται σε ποσοστό 70%.
- Στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών συμβάλλει ο ταμιευτήρας Στράτου σε ποσοστό 81%, το σύστημα ανεμογεννητριών σε ποσοστό 17% και ο εικονικός ταμιευτήρας σε ποσοστό 2%.
- Για ένα τυπικό εικοσιτετράωρο του Δεκεμβρίου, η κάλυψη των αναγκών για ύδρευση και άρδευση παραμένει ίση με 99.99%
- Για ένα τυπικό εικοσιτετράωρο του Δεκεμβρίου, κατά το διάστημα 00:00 – 16:00, ο ταμιευτήρας Στράτου καλύπτει το 59% της ζήτησης και οι ανεμογεννήτριες το 10%. Για το διάστημα 16:00-00:00, κατά το οποίο παράγεται ενέργεια ταυτόχρονα από τον ταμιευτήρα Στράτου, τις εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες και τον ανάντη ταμιευτήρα η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών φτάνει το 99.99%.

## 7.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής παρουσιάζονται ορισμένες προτάσεις για μελλοντική έρευνα, είτε για την καλύτερη διαχείριση των ενεργειακών ελλείψεων, είτε για περαιτέρω ανάπτυξη του θέματος που μελετάται.

- Αρχικά, το υπό μελέτη σύστημα αντλησιοταμίευσης μπορεί να τοποθετηθεί και να μελετηθεί σε πλήθος ταμιευτήρων που υπάρχουν ήδη, για τη διαχείριση της ενεργειακής παραγωγής.
- Έπειτα, σημαντικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η αξιολόγηση της προσθήκης επιπλέον ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο υπό μελέτη σύστημα, όπως για παράδειγμα ένα φωτοβολταϊκό πάρκο, που αξιοποιεί την ηλιακή ενέργεια.
- Επιπρόσθετα, ενδιαφέρουσα είναι η οικονομική προσέγγιση του υπό μελέτη συστήματος, ώστε να υπολογιστεί το όφελος που μπορεί να αποφέρει.
- Ακόμα, ωφέλιμη είναι η έρευνα για ενσωμάτωση έξυπνων τεχνολογιών και αισθητήρων για τον προγραμματισμό και τον έλεγχο των αποδόσεων του συστήματος αντλησιοταμίευσης.
- Επιπλέον, καίρια είναι η μελέτη εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης στα συστήματα αντλησιοταμίευσης, με σκοπό την πρόβλεψη και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης.
- Τέλος, ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων των συστημάτων αντλησιοταμίευσης και η ανάπτυξη βελτιωτικών προσεγγίσεων.

## 8 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

### 8.1 Ελληνική βιβλιογραφία

- Αγαπητίδου Αναστασία – Αλκμήνη, 2021, Ανάπτυξη μεθοδολογίας υβριδικών συστημάτων ΑΠΕ με αντλησιοταμίευση και δεξαμενή υδρογόνου στο νησί της Λήμνου, Διπλωματική εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα
- Ανθίτσα Β. Ν., 2017, Οι ανάγκες σε ποσότητα και ποιότητα νερού για τα παραγωγικά ζώα, Γεωργία – Κτηνοτροφία, Μέρος 2<sup>ο</sup>, Αγρότυπος
- Αργυράκης Ι. , 2008, Εκμετάλλευση των Υδροηλεκτρικών Σταθμών ως Έργων Πολλαπλού Σκοπού
- Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε., 2009, Ειδική τεχνική μελέτη για την οικολογική παροχή από το φράγμα Στράτου, Αθήνα
- Eurostat, 2022. Βασικά μεγέθη ενεργειακού ισοζυγίου, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. Διαθέσιμο στο:

<https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2022/06/%CE%92%CE%B1%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%A C-%CE%9C%CE%B5%CE%B3%CE%AD%CE%B8%CE%B7-%CE%95%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%BF%CF%8D-%CE%99%CF%83%CE%BF%CE%B6%CF%85%CE%B3%CE%AF%CE%BF%CF%85..pdf>

- Ευστρατιάδης Α., Μαμάσης Ν., Κουτσογιάννης Δ, 2018, Ανανεώσιμη Ενέργεια και Υδροηλεκτρικά Έργα, Σημειώσεις Μαθήματος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Αθήνα
- Ευστρατιάδης Α., Παπανικολάου Π. και Μίχας Σ, 2020, Υδραυλικές Κατασκευές-Φράγματα, Σημειώσεις Μαθήματος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Αθήνα
- Καλδέλλης Κ. Ιωάννης, Δέσποινα Μπουλογιώργου, Παναγιώτης Τριανταφύλλου, 2021, Ετήσια Έκθεση Ήπιων Μορφών Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Αθήνα.
- Καραϊσά Χριστίνα, 2022, Ο ρόλος της γεωμετρίας των ταμιευτήρων: Θεωρητική ανάλυση και εξαγωγή γενικευμένων σχέσεων στάθμης – επιφάνειας – αποθέματος, Διπλωματική εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα
- Κουτσογιάννης Δημήτριος, 2019, Στοχαστικές Μέθοδοι, Σημειώσεις Μαθήματος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Αθήνα
- Κουτσογιάννης Δ. και Ξανθόπουλος Θ., 1999, Τεχνική Υδρολογία, Έκδοση 3, ΕΜΠ, Αθήνα
- Κουτσογιάννης Δ., 1996 , Στατιστική Υδρολογία, Έκδοση 3, ΕΜΠ, Αθήνα

- Λεμονής Αναστάσιος, 2020, Ανάπτυξη Μεθοδολογίας Εφαρμογής Υβριδικού Συστήματος για την Κάλυψη Υδατικών και Ενεργειακών Αναγκών στη Νήσο Λέρο, Διπλωματική εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα
- Λυκούδη Ευδοξία, 2000, Γεωμορφολογική εξέλιξη της λεκάνης απορροής του άνω ρου του Αχελώου, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, ΕΜΠ, Αθήνα
- Μανίκας Κωνσταντίνος, 2021, Προσομοίωση και αξιολόγηση συστήματος αντλησιοταμίευσης στον ταμιευτήρα Καστρακίου, Διπλωματική εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα
- Μασίκας Νίκος, 2010, Μικρά και μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα στην Αιτωλοακαρνανία, Ημερίδα ΤΕΕ Αιτωλοακαρνανίας, Αγρίνιο
- Μιμίκου Μ. Α., 2006, Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα
- Μιμίκου Μ. Α., Μπαλτάς Ε. Α., 2012, Τεχνική Υδρολογία, 5<sup>η</sup> Έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα
- Μίχας Σπύρος, Ευστρατιάδης Ανδρέας, Μαμάσης Νίκος, Κουτσογιάννης Δημήτριος, 2016-2017, Υδροηλεκτρικά έργα - Υδροληψίες και αγωγοί πτώσης, Σημειώσεις Μαθήματος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Αθήνα
- Μίχας Σπύρος, Δερματάς Δημήτριος, Ευστρατιάδης Ανδρέας, 2015-2016, Φράγματα - Υδραυλικές Κατασκευές, Σημειώσεις Μαθήματος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Αθήνα
- Λουκάτου Χ. Αγγελική, 2013, Τεχνολογίες Αποθήκευσης Αιολικής Ενέργειας με Αντλησιοταμίευση, Διπλωματική εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα
- Παληαρούτα Δέσποινα-Λητώ, 2011, Διερεύνηση δυνατοτήτων περίσσειας ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στο διασυνδεδεμένο δίκτυο της Ελλάδας, Διπλωματική εργασία, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα
- Παπαντώνης Δ. Ε., 2008, Μικρά υδροηλεκτρικά έργα, Εκδόσεις Συμείων, Αθήνα
- Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, 2021, Έκθεση Πεπραγμένων 2021, <https://www.rae.gr/wp-content/uploads/2023/02/%CE%95%CE%BA%CE%B8%CE%B5%CF%83%CE%B7-%CE%A0%CE%B5%CF%80%CF%81%CE%B1%CE%B3%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CF%89%CE%BD-2021-%CE%99%CE%B1%CE%BD-2023-%CF%84%CE%B5%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CF%8C.pdf>
- Σκρουφούτα Σοφία, 2020, Διερεύνηση Διαστασιολόγησης Υβριδικού Συστήματος ΑΠΕ για τη Διασφάλιση των Ενεργειακών και Υδατικών Αναγκών στο Νησί της Καρπάθου, Διπλωματική εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα
- Τριάντης Κώστας, Γεωργίου Κυριάκος, Βαρελίδης Κ. Γιώργος, Κακογιάννης Χρ. Νικόλαος, Μακαντάση Φαίη, Σκόκου Νόρα, Καραουλάνης Θεοδωρής, 2017, Προστατευόμενες Περιοχές Natura 2000 - Ένα Ολοκληρωμένο Σχέδιο για την Προστασία και τη Βιώσιμη Ανάπτυξή τους, Διανέοσις, <https://www.dianeosis.org/wp-content/uploads/2017/11/natura2000.pdf>
- Τσικνάκου Π.Ι., Μαυρονικολάου Ν.Π., Μουτάφης Ν.Ι., Στεφανάκος Ι.Π., 2017, Σύστημα Αντλησιοταμίευσης στην Αμφιλοχία. Γενική Διάταξη έργων- Άνω

Ταμειυτήρες- Φράγματα και συναφή έργα, 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φραγμάτων και Ταμειυτήρων : Διαχείριση Έργων και Προοπτικές Ανάπτυξης, Αθήνα

- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020, Μακροχρόνια Στρατηγική για το 2050, [https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2020/11/Its\\_gr\\_el.pdf](https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2020/11/Its_gr_el.pdf)

## 8.2 Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Andrew Blakers, Matthew Stocks, Bin Lu, Cheng Cheng, 2021, A review of pumped hydro energy storage, School of Engineering, Australian National University, Canberra 2601, Australia, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2516-1083/abeb5b>
- Ehsan Rasoulinezhad, Farhad Taghizadeh-Hesary, 2022, Role of green finance in improving energy efficiency and renewable energy development, <https://link.springer.com/article/10.1007/s12053-022-10021-4>
- Hydro Tasmania, 2018, Battery of the Nation – Tasmanian pumped hydro in Australia’s future electricity market, <https://arena.gov.au/assets/2018/06/battery-of-the-nation%E2%80%93tasmanian-pumped-hydro-in-australias-future-electricity-market.pdf>
- International hydropower association, 2022, Hydropower Status Report Sector trends and insights, [https://assets-global.website-files.com/64f9d0036cb97160cc26feba/64f9d0036cb97160cc2714ce\\_IHA202212-status-report-02.pdf](https://assets-global.website-files.com/64f9d0036cb97160cc26feba/64f9d0036cb97160cc2714ce_IHA202212-status-report-02.pdf)
- Negra Barberis Nicola, Holmstrom Ole, 2008, Model of a Synthetic Wind Speed Time Series Generator, Dong Energy A/S, Fredericia, Denmark, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/we.244>
- Science direct, 2014, Renewable and Sustainable Energy Reviews, <https://www.sciencedirect.com/journal/renewable-and-sustainable-energy-reviews>
- Y W Xu, J Yang, 2018, Developments and characteristics of pumped storage power station in China, IOP Publishing Ltd, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/163/1/012089>

## 8.3 Ιστοσελίδες

<https://ypen.gov.gr/>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Main\\_Page](https://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page)

<https://home.uni-leipzig.de/energy/energy-fundamentals/index.htm>

<https://www.science-story-telling.eu/>

<https://www.energy.gov.cy/gr/>  
<https://ourworldindata.org/>  
<https://www.dianeosis.org/>  
<https://www.ertnews.gr/wp-content/uploads/2023/08/NAERAS.pdf>  
<https://www.hydropower.org/factsheets/pumped-storage>  
<https://agrinio.gov.gr/agrinio/index.php>  
<https://news.b2green.gr/>  
[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Main\\_Page](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Main_Page)  
<https://biodiversity.europa.eu/>  
<https://www.oryktosploutos.net/>  
[https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/natura-2000\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/natura-2000_en)  
<https://natura2000.eea.europa.eu/>  
<https://www.synenergy-advisors.com/>  
<https://thegreentank.gr/>  
<https://www.youtube.com/@HydroTasmania>  
<https://energy-industry-geolab.jrc.ec.europa.eu/>  
<https://www.alpiq.com/power-generation/hydropower-plants/pumped-storage-power-plants/nant-de-drance>  
<https://www.ypethe.gr/page/lekani-ahelooy-lap-gr15>  
[https://geo.rae.gr/?tab=viewport\\_maptab](https://geo.rae.gr/?tab=viewport_maptab)  
<https://kalyvia.gr/2-uncategorised/2835-2021-08-29-20-06-44>  
<https://iaitoloakarnania.gr/>  
<https://www.e-ea.gr/>  
<https://www.fao.org/>  
<https://www.c-gaia.gr/>

NOMOΣ 2244/1994 - <https://www.e-nomothesia.gr/energeia/nomos-2244-1994-phek-168-a-7-10-1994.html>

NOMOΣ 3468/2006 - <https://www.e-nomothesia.gr/energeia/n-3468-2006.html>

NOMOΣ 4951/2022 - <https://www.e-nomothesia.gr/energeia/nomos-4951-2022-phek-129a-4-7-2022-1.html>

Προεδρικό Διάταγμα 67/81 (ΦΕΚ 23/Α/81) - [https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/legacy/Files/Perivallon/Diaxeirisi%20Fysikoy%20Perivallontos/Nomothesia/PD67\\_81-A.pdf](https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/legacy/Files/Perivallon/Diaxeirisi%20Fysikoy%20Perivallontos/Nomothesia/PD67_81-A.pdf)



