

თბილისის საერთაშორისო აეროპორტში საჰაერო ხომალდების მომსახურე სატრანსპორტო საშუალებების ექსპლუატაციის ეკონომიკური და ეკოლოგიური საკითხების კვლევა

ბიძინა აბესაძე¹, ლუკა ქურდაძე², ოთარ ბრეგაძე³

^{1, 2, 3}საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი

ქეთევან დედოფლის გამზირი №16, 0103 თბილისი, საქართველო

რეზიუმე: ნაშრომში განხილულია (თვითმფრინავების მიწისზედა მომსახურების საშუალებები (GSE) ოპერაციებთან დაკავშირებულ ეკონომიკურ ხარჯები და გარემოსდაცვითი საკითხები. კვლევის მიზანია შეფასდეს არსებული ვითარება თბილისის საერთაშორისო აეროპორტის მაგალითზე, სადაც გაანალიზებულია 2025 წლის აპრილის თვის GSE-ის საწვავის მოხმარებისა და გამონახოლოქვის მონაცემები. ნაშრომში დეტალურად დათვლილია საწვავის ხარჯები და შეფასებულია ემისიების დონე, გარემოსდაცვით ნორმებთან შედარებით. მიღებული შედეგები ცხადყოფს, რომ GSE ოპერაციები მნიშვნელოვან ფინანსურ საკითხებთან და გარემოს დაბინძურებასთან არის დაკავშირებული. ამ გამოწვევების საპასუხოდ, შემოთავაზებულია კონკრეტულ სტრატეგიები, მათ შორის ელექტრო ან წყალბადის საწვავზე მომუშავე GSE-ზე გადასვლის თვალსაზრისით. ასეთი GSE-ის დანერგვა გამოიწვევს საწვავის ხარჯების მნიშვნელოვან დანაზოგს და თითქმის ნულოვან ნახშირბადის ემისიებს, რაც ხელს შეუწყობს აეროპორტის მდგრად და ეფექტურ განვითარებას. საბოლოოდ, ნაშრომი წარმოადგენს საფუძვლიან ანალიზს და პრაქტიკულ რეკომენდაციებს თბილისის აეროპორტის სახმელეთო ოპერაციების ეკოლოგიური კვალის შესამცირებლად და საოპერაციო ეფექტურობის გასაუმჯობესებლად.

საკვანძო სიტყვები: აირების ემისია, ჰაერის დაბინძურება, გამონახოლოქვი აირები.

შესავალი

თანამედროვე საავიაციო ინფრასტრუქტურაში აეროპორტების ეფექტური ფუნქციონირება მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული მიწისზედა მომსახურების ტექნიკის — Ground Support Equipment (GSE)-ის ოპერაციულ შესაძლებლობებზე. აღნიშნული საშუალებები უზრუნველყოფენ თვითმფრინავების სრულ ტექნიკურ მომსახურებას მიწაზე, მათ შორის ბარგისა და ტვირთის გადაზიდვას, საწვავის შევსებას, სალონის დასუფთავებას, ენერგომომარაგებას, მგზავრების ტრანსპორტირებასა და სხვა აუცილებელ ოპერაციებს. მიუხედავად იმისა, რომ ფრენის ციკლის უმთავრესად ხილვად ფაზად მიიჩნევა აფრენა და დაფრენა, რეალურად საჰაერო ხომალდის მომზადებისა და ოპერაციული უსაფრთხოების მნიშვნელოვანი ნაწილი სწორედ მიწისზედა სეგმენტზეა დამოკიდებული.

თბილისის საერთაშორისო აეროპორტი, როგორც საქართველოს მთავარი საავიაციო კვანძი, ემსახურება წლიურად თითქმის ხუთ მილიონ მგზავრსა და ათასობით რეისს. ასეთი დატვირთვის პირობებში მიწისზედა სატრანსპორტო საშუალებების ეკონომიკური ეფექტიანობა და ეკოლოგიური მდგრადობა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი ხდება. ბოლო წლებში საერთაშორისო სამოქალაქო ავიაციის ორგანიზაცია (ICAO) განსაკუთრებულ ყურადღებას ამახვილებს აეროპორტებში ენერგოეფექტურობისა და გამონახოლქვის შემცირების პოლიტიკაზე, რაც მოიცავს არა მხოლოდ თვითმფრინავის ძრავების, არამედ მიწისზედა მომსახურების საშუალებების ზემოქმედების შემცირებასაც [8].

GSE ტექნიკა ძირითადად დიზელზე ან ბენზინზე მომუშავე შიდაწვის ძრავებს იყენებს. შედეგად, ისინი წარმოადგენენ მნიშვნელოვანი რაოდენობის ნახშირორჟანგის (CO_2), აზოტის ოქსიდების (NO_x), ნახშირჟანგის (CO) და მყარი ნაწილაკების (PM) ემისიის წყაროს. აღნიშნული გამონახოლქვები პირდაპირ მოქმედებს აეროპორტის მახლობლად ჰაერის ხარისხზე, აეროპორტის პერსონალისა და მგზავრების ჯანმრთელობაზე, აგრეთვე გლობალურ კლიმატურ ცვლილებებზე. კვლევებით დადგენილია, რომ ზოგიერთ ევროპულ აეროპორტში GSE ტექნიკის წილი NO_x -ის საერთო ემისიებში 60–70%-ს აღწევს. ეს მონაცემები ადასტურებს, რომ ეკოლოგიური ზემოქმედების შემცირება მხოლოდ თვითმფრინავების „გამწვანებით“ ვერ მიიღწევა, აუცილებელია მიწისზედა სეგმენტის მოდერნიზაცია [12, 14].

ეკონომიკური თვალსაზრისით, დიზელზე მომუშავე ტექნიკის შენახვა და ექსპლუატაცია აეროპორტისთვის წარმოადგენს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ხარჯიან კომპონენტს. საწვავის მაღალი ფასი, ტექნიკური მომსახურების ინტენსივობა, ძრავების ცვეთა და გარემოსდაცვითი გადასახადები ერთობლივად ქმნის ეკონომიკურ ტვირთს ოპერატორისთვის. სწორედ ამიტომ, მრავალი ქვეყანა უკვე ახორციელებს “Green Airport” პოლიტიკას, რომელიც გულისხმობს ელექტრო ან ჰიბრიდული GSE ტექნიკის დანერგვას, ენერგოეფექტურ ინფრასტრუქტურასთან ინტეგრაციით. მაგალითისთვის, ნორვეგიის ოსლოს აეროპორტში 2023 წლიდან ბარგის ტრაქტორების 85% ელექტრიფიცირებულია, ხოლო კალიფორნიის საერთაშორისო აეროპორტებში მოქმედებს რეგულაცია, რომლის თანახმად 2034 წლიდან ყველა GSE უნდა იყოს ნულოვანი ემისიის მქონე (CARB, 2021) [2, 7, 11, 15].

საქართველოს საავიაციო სექტორი აქტიურად ვითარდება და ქვეყნის ეკონომიკის ზრდასთან ერთად აეროპორტების დატვირთვაც იზრდება. თუმცა, ტექნოლოგიური მოდერნიზაცია ხშირად უფრო ნელი ტემპით მიმდინარეობს, რაც განპირობებულია როგორც ფინანსური, ისე ინფრასტრუქტურული შეზღუდვებით. თბილისის საერთაშორისო აეროპორტში მოქმედი მიწისზედა სატრანსპორტო პარკის უდიდესი ნაწილი კვლავ შიდაწვის ძრავზე მუშაობს, რაც ზრდის საწვავის დანახარჯს და გამონახოლქვის მოცულობას. 2025 წლის მონაცემებით, აეროპორტის GSE პარკი მოიხმარს დაახლოებით 14000 ლიტრ დიზელს თვეში, რაც ატმოსფეროში 37 ტონა ნახშირორჟანგის გამოყოფის ექვივალენტურია [13, 19].

აღნიშნული მაჩვენებლები ქმნის აუცილებლობას, ჩატარდეს ეკონომიკურ-ეკოლოგიური შეფასება, რათა დადგინდეს — რომელ კატეგორიებს აქვთ ყველაზე მაღალი საწვავის მოხმარება და გამონახოლქვი, სად არის ოპტიმიზაციის ყველაზე დიდი პოტენციალი და რა ზომებია საჭირო აეროპორტის ტექნიკური რესურსების განახლებისთვის. კვლევის შედეგები აჩვენებს, რომ თბილისის აეროპორტში საწვავის მოხმარების უდიდესი წილი მოდის მიწის ენერგომომარაგების აგრეგატებზე

(GPU), რომლებიც დიზელის ძრავებზე მუშაობენ და თვითმფრინავებს ელექტროენერგიას აწვდიან მათ გაჩერებულ მდგომარეობაში. მეორე რიგში დგას ბარგის ტრაქტორები და კატერინგის სატვირთოები, რომლებიც ასევე გამოირჩევა მაღალი საწვავის ხარჯვით და ინტენსიური გამოყენებით.

ეკოლოგიური ზემოქმედების თვალსაზრისით, აღნიშნული კატეგორიების მიერ წარმოქმნილი ემისიები წარმოადგენს არა მხოლოდ გარემოს დაბინძურების, არამედ საზოგადოებრივი ჯანმრთელობის პრობლემასაც.

საერთაშორისო გამოცდილება მიუთითებს, რომ ელექტრიფიკაციისა და ჰიბრიდიზაციის პროცესები არა მხოლოდ ეკოლოგიურ სარგებელს იძლევა, არამედ გრძელვადიან ეკონომიკურ შედეგებსაც. კვლევების თანახმად (Ajayi et al., 2023; ICAO, 2022), ელექტრო GSE ტექნიკა საშუალოდ 30–50%-ით ამცირებს ექსპლუატაციის ხარჯებს დიზელთან შედარებით, მიუხედავად იმისა, რომ საწყისი ინვესტიცია მაღალია. ეკონომიკური ანალიზის გათვალისწინებით, თბილისის აეროპორტისთვის ასეთ მოდელზე გადასვლა საშუალო ვადიან პერიოდში შეიძლება გახდეს ფინანსურად გამართლებული, განსაკუთრებით თუ გათვალისწინებული იქნება საწვავის ფასების ზრდის ტენდენცია და ტექნიკის მოვლის შემცირებული ხარჯები.

ძირითადი ნაწილი

1. ეკონომიკური ანალიზი – GSE ტექნიკის ეფექტიანობის შეფასება

აეროპორტის მიწისზედა სატრანსპორტო საშუალებების ეკონომიკური ეფექტიანობა პირდაპირ განსაზღვრავს ოპერაციული ხარჯების დონესა და ავიაკომპანიების მომსახურების ღირებულებას. GSE ტექნიკა, რომელიც მოიცავს ბარგის ტრაქტორებს, ტვირთამწეებს, სამგზავრო ტრაპებს, ბორტკვების სატვირთოებს, ენერგომომარაგების აგრეგატებს და სხვა სპეციალიზებულ ერთეულებს, მოიხმარს მნიშვნელოვან რაოდენობის საწვავს ყოველდღიურ ოპერაციებში.

თბილისის საერთაშორისო აეროპორტში ჩატარებულმა ანალიზმა აჩვენა, რომ 2025 წლის აპრილში GSE პარკის მიერ მოხმარებული დიზელის საწვავის საერთო მოცულობა შეადგენდა **14277 ლიტრს**, რაც დაახლოებით **476 ლიტრია დღეში**. აღნიშნული მაჩვენებელი დაფიქსირდა 20–30 სხვადასხვა ტიპის ერთეულის მონაცემებზე დაყრდნობით.

ყველაზე დიდი ენერგომომხმარებელი აღმოჩნდა მიწის ენერგომომარაგების აგრეგატები (Ground Power Units, GPU), რომლებიც უზრუნველყოფენ თვითმფრინავის ელექტროენერგიით მომარაგებას პარკირებისას. GPU-ებზე მოდის მთლიანი საწვავის მოხმარების **დაახლოებით 39%**, რაც მიუთითებს მათ ეკონომიკურ ტვირთზე.



სურ. 1 გარე ენერგომომსახურების აგრეგატები (Conditioned Air Units & Ground Power Units)

მეორე ყველაზე მაღალი ხარჯვის კატეგორიაა **ბარგის ტრაქტორები** (13–14%), **კატერინგის სატვირთოები** (17–18%) და **სამგზავრო ავტობუსები** (5–6%).

ეკონომიკური შეფასებისას გათვალისწინებულია დიზელის საწვავის საშუალო ფასი საქართველოში (2025 წლის მონაცემებით – 3.5 ლარი/ლიტრი). შესაბამისად, თბილისის აეროპორტის GSE პარკის თვიური საწვავის ხარჯი შეადგენს დაახლოებით 50,000 ლარს, ხოლო წლიური ხარჯი — 600,000 ლარის ოდენობას.

თუ ვიანგარიშებთ საშუალო საწვავის მოხმარებას ერთ რეისზე, გამომდინარე იქედან, რომ აეროპორტში დღეში სრულდება საშუალოდ 60 რეისი, თითო ფრენის მომსახურებაზე მოდის დაახლოებით 8 ლიტრი დიზელი. მიუხედავად იმისა, რომ ეს მაჩვენებელი მცირე ჩანს თვითმფრინავის საწვავის ხარჯთან შედარებით, ოპერაციული ეკონომიკის თვალსაზრისით ის მაინც არსებითია, რადგან აეროპორტის ტექნიკური და სერვისული განყოფილებების ბიუჯეტში GSE საწვავის ხარჯი ერთ-ერთ ყველაზე სტაბილურ და განმეორებად მუხლად გვევლინება.

ეკონომიკური ანალიზის შემდგომმა მოდელირებამ აჩვენა, რომ თუ თბილისის აეროპორტი ეტაპობრივად ჩაანაცვლებს დიზელზე მომუშავე GSE ერთეულების 40%-ს ელექტრო ან ჰიბრიდული სისტემებით, საერთო საწვავის მოხმარება შეიძლება შემცირდეს **30–35%-ით**. ეს ნიშნავს წლიურ დანაზოგს დაახლოებით **200,000 ლარის ფარგლებში** და პარალელურად ტექნიკური მომსახურების ხარჯების 20%-ით კლებას (ელექტრო ძრავები ნაკლებად საჭიროებს ზეთის შეცვლას, ფილტრაციას და ძრავის ნაწილების ცვლას).

საერთაშორისო გამოცდილება ადასტურებს, რომ მსგავსი პროგრამების ეკონომიკური სარგებელი გრძელვადიან პერსპექტივაში მნიშვნელოვნად აღემატება საწყის ინვესტიციებს. მაგალითად, **ლონდონის ჰითროუს აეროპორტში** (Heathrow Airport, 2023) ბარგის ელექტრო ტრაქტორების დანერგვამ შეამცირა საწვავის ხარჯი 42%-ით და ყოველწლიურად დაზოგა დაახლოებით £1.2 მილიონი სტერლინგი. მსგავსი მოდელი თბილისის აეროპორტისთვისაც შესაძლოა ეკონომიკურად გამართლებული იყოს 5–7 წლიან ჰორიზონტზე, განსაკუთრებით იმ შემთხვევაში, თუ გათვალისწინებული იქნება ელექტროენერჯის შედარებით დაბალი ტარიფი და ტექნიკის დაბალი მოვლის ხარჯები.

2. ეკოლოგიური ზემოქმედება და ემისიების შეფასება

ეკონომიკური ფაქტორების პარალელურად, არანაკლებ მნიშვნელოვანია GSE ტექნიკის გარემოზე ზემოქმედების შეფასება. დიზელის ძრავების მიერ გამოყოფილი გამონაბოლქვი შეიცავს სათბურის ეფექტის გაზებს (GHG), ძირითადად ნახშირორჟანგს (CO_2), ასევე აზოტის ოქსიდებს (NO_x), ნახშირორჟანგს (CO), გოგირდის ოქსიდებს (SO_x) და მყარ ნაწილაკებს (PM) [12, 16].

აეროპორტის ტერიტორიაზე ეს ემისიები იწვევს ადგილობრივი ჰაერის ხარისხის გაუარესებას და უშუალოდ მოქმედებს პერსონალის ჯანმრთელობაზე. კვლევებით დადასტურებულია, რომ ბაქანის (ბაქნის) ზონაში NO_x და PM კონცენტრაციის გაზრდა დაკავშირებულია რესპირატორული დაავადებების რისკის ზრდასთან (EPA, 2021) [14].

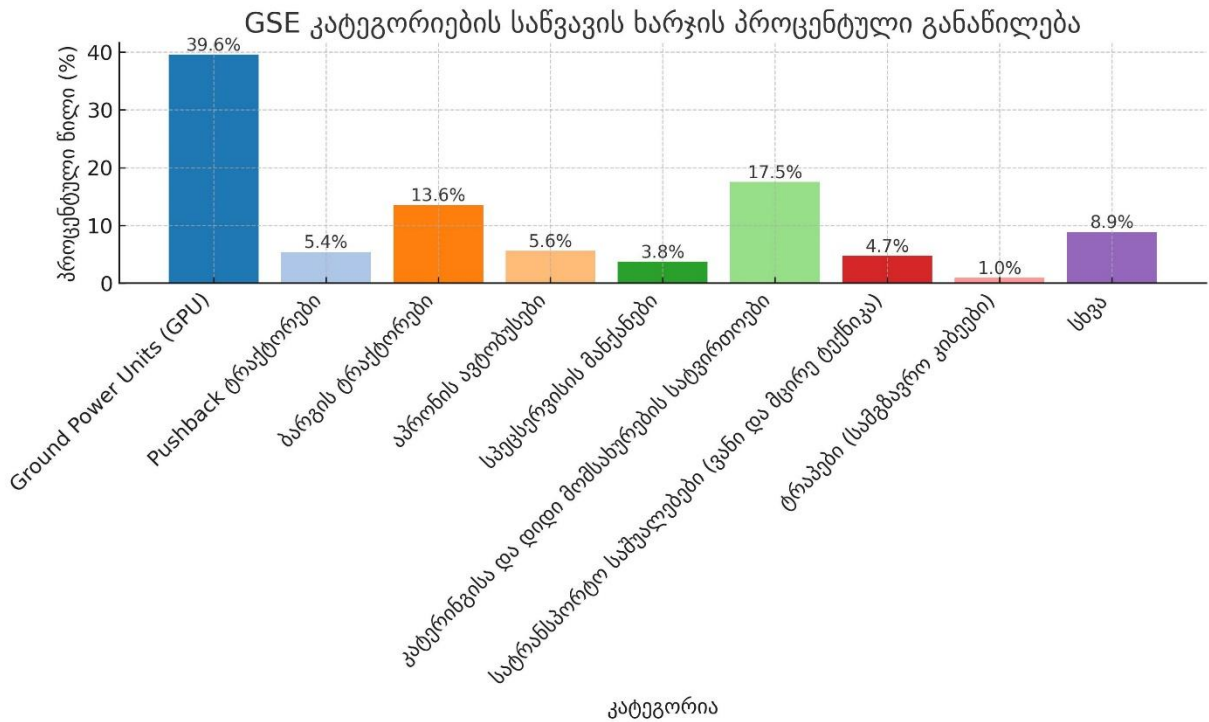
ეკოლოგიური ანალიზის ფარგლებში გამოიყენა ემისიების ფაქტორებზე დაფუძნებული მოდელი, რომლის მიხედვითაც:

- თითოეული ლიტრი დიზელის სრულ წვაზე გამოყოფს 2.64 კგ ნახშირორჟანგს (CO_2) (IPCC, 2019) [9];
- აზოტის ჟანგეულებს (NO_x)-ის საშუალო ემისია შეადგენს 40 გ/ლ;
- ნახშირორჟანგს (CO) — 10 გ/ლ;
- მტვრის ნაწილაკებს (PM) — 2 გ/ლ.

ამრიგად, თბილისის აეროპორტის აპრილის თვის მონაცემებით, 14277 ლიტრი დიზელის წვა წარმოქმნის დაახლოებით:

- 37.7 ტონა CO_2 -ს;
- 571 კგ NO_x -ს;
- 143 კგ CO -ს;
- 28 კგ PM-ს.

ეს მონაცემები აჩვენებს, რომ თბილისის აეროპორტის GSE პარკის ეკოლოგიური დაბინძურება საკმაოდ მაღალია, განსაკუთრებით მაშინ, როცა აეროპორტის საერთო ტერიტორია შეზღუდულია და გამონაბოლქვი კონცენტრირდება მცირე სივრცეში.



სურ. 2 GSE კატეგორიების საწვავის ხარჯის პროცენტული განაწილება

გარდა ატმოსფერული ემისიებისა, GSE ტექნიკის ეკოლოგიური ზემოქმედება მოიცავს ხმაურს, ვიბრაციას და ნიადაგის დაბინძურებას (საწვავის ან ზეთის გაჟონვის შემთხვევაში). ევროპული საავიაციო კონფერენციის (ECAC, 2023) მონაცემებით, აეროპორტის ხმაურის საერთო ფონზე მიწისზედა ტექნიკის წილი დაახლოებით 10–15%-ს შეადგენს ღამის ოპერაციებში.

ეკოლოგიური პრობლემების საპასუხოდ, მსოფლიოს წამყვანი აეროპორტები აქტიურად ახორციელებენ ტექნიკის ელექტრიფიკაციას და ალტერნატიული საწვავის გამოყენებას (ბიოდიზელი, წყალბადი, საწვავის ელემენტები). ციურიხის აეროპორტში 2022 წლიდან მოქმედებს პროგრამა „e-Airport Fleet“, რომლის მიზანია 2030 წლამდე 100%-იანი ელექტრიფიკაცია.

თბილისის საერთაშორისო აეროპორტისთვის, არსებული მონაცემების გათვალისწინებით, ეკოლოგიურად ყველაზე მიზანშეწონილია GPU და ბარგის ტრაქტორების ელექტრიფიკაცია, რაც მთლიან ემისიას შეამცირებს მინიმუმ 35–40%-ით. გარდა ამისა, რეკომენდებულია ძრავების პერიოდული ტექნიკური ინსპექცია, ფილტრაციის სისტემების (DPF, SCR) დაყენება და idle-time-ის ავტომატური გათიშვის ფუნქციის დანერგვა, რაც საწვავის ეკონომიასა და ემისიების შემცირებას ერთდროულად უზრუნველყოფს.

3. საერთაშორისო შედარება და განვითარების სტრატეგიები

საერთაშორისო პრაქტიკა აჩვენებს, რომ აეროპორტების ეკოლოგიური პოლიტიკა ბოლო ათწლეულში მნიშვნელოვნად გამკაცრდა. ევროკავშირის სტრატეგიის თანახმად, 2030 წლამდე უნდა შემცირდეს საავიაციო სექტორის საერთო ემისიები 55%-ით. ეს მიზანი მოიცავს არა მხოლოდ თვითმფრინავების, არამედ GSE ტექნიკის მოდერნიზაციასაც.

მრავალი აეროპორტი უკვე ახორციელებს Green Airport Accreditation პროგრამებს (Airport Council International – ACI), რომლებიც ითვალისწინებს ეკოლოგიური მენეჯმენტის სისტემის დანერგვას, ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების გამოყენებას და ემისიების ყოველწლიურ ინვენტარიზაციას [1, 4, 10, 17].

შედარებისთვის:

- **კოპენჰაგენის აეროპორტში (CPH)** NO_x -ის ემისიების 63% მოდის GSE ტექნიკაზე, მაგრამ აეროპორტმა 2025 წლამდე მიზნად დაისახა ელექტრო GSE პარკის 70%-ით განახლება.
- **ლონდონის ლუტონის აეროპორტში (LTN)** GSE-ის წილი მთლიან გამონაბოლქვში მხოლოდ 11%-ია, რაც მიღწეულია მაღალი ეფექტიანობის მართვის პოლიტიკით და ელექტრო ენერჯის ფართო გამოყენებით.
- **ტალინის აეროპორტში (TLL)** 2023 წელს ამოქმედდა ჰიბრიდული pushback სისტემები, რომლებმაც საწვავის ხარჯი 28%-ით შეამცირა.

თბილისის აეროპორტის სტრუქტურა მსგავსია საშუალო ზომის ევროპული აეროპორტების მოდელთან, სადაც GSE პარკი შედგება დაახლოებით 30–40 ერთეულისგან. შესაბამისად, ეკოლოგიური მოდერნიზაციის მსგავსი პროგრამა აქაც შეიძლება განხორციელდეს ეტაპობრივად:

1. **პირველი ეტაპი (2025–2027):** ძველი დიზელური GPU-ების ჩანაცვლება ელექტრო მოდელებით; idle-shutdown სისტემის დანერგვა.
2. **მეორე ეტაპი (2027–2030):** ბარგის ტრაქტორებისა და ავტობუსების ელექტრიფიკაცია; დამტენების ინფრასტრუქტურის მოწყობა.
3. **მესამე ეტაპი (2030–2035):** ჰიბრიდული ან წყალბადზე მომუშავე მძიმე სატვირთოებისა და pushback ტრაქტორების დანერგვა.

ეს სტრატეგია შესაბამისობაშია ICAO-ს გლობალურ გეგმასთან (ICAO Environmental Report, 2022), რომელიც მიზნად ისახავს აეროპორტების ოპერაციული გამონაბოლქვის ნულოვან დონემდე დაყვანას 2050 წლისთვის.

დასკვნა და რეკომენდაციები

მიწისზედა მომსახურების სატრანსპორტო საშუალებები (GSE) არის აეროპორტის ოპერაციების მნიშვნელოვანი ელემენტი, რომელთა ეფექტიანობა გავლენას ახდენს როგორც ეკონომიკურ დანახარჯებზე, ისე გარემოს ეკოლოგიურ მდგრადობაზე. თბილისის საერთაშორისო აეროპორტის მაგალითზე ჩატარებულმა კვლევამ აჩვენა, რომ აღნიშნული მიმართულება საქართველოში ჯერ კიდევ არასაკმარისადაა განვითარებული.

გამოყენებული ტექნიკის საერთო თვიური საწვავის მოხმარება შეადგენს დაახლოებით 14277 ლიტრს, რაც იწვევს 37.7 ტონა CO₂-ის ემისიას. ყველაზე დიდი წილი მოდის GPU-ზე, ბარგის ტრაქტორებსა და კატერინგის სატვირთოებზე. ეს სეგმენტი ლოკალური გამონახობის 25–30%-მდე წილს შეიძლება შეადგენდეს.

ეკონომიკურად, GSE ტექნიკის წლიური საწვავისა და ტექნიკური ხარჯები 700–750 ათას ლარს აღწევს. ელექტრო ან ჰიბრიდული ალტერნატივების დანერგვით შესაძლებელია ხარჯების 30–35%-ით შემცირება და პარალელურად ემისიების კლება NO_x/PM კომპონენტებში, რაც ასევე ამცირებს ხმაურს და აუმჯობესებს სამუშაო გარემოს.

ელექტრიფიკაცია რეკომენდებულია ეტაპობრივად. 2025 წლიდან შესაძლებელია პილოტური ჩანაცვლება GPU-სა და ბარგის ტრაქტორებში, სადაც მუშაობის რადიუსი მცირეა. საჭირო არის დამტენი ინფრასტრუქტურის მოწყობა, ემისიებისა და მოხმარების მონიტორინგის ციფრული პლატფორმა, პერსონალის გადამზადება და ეკონომიკური სტიმულების დანერგვა. მიზნობრივი გეგმა უნდა ითვალისწინებდეს GSE პარკის 60%-ით ელექტრიფიკაციას 2030 წლამდე და სრულ გადასვლას დაბალ ან ნულოვანი ემისიის მქონე ტექნოლოგიებზე 2035-მდე.

მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს როგორც მეთოდოლოგიური საფუძველი სხვა აეროპორტებისთვისაც და პრაქტიკული გზამკვლევი „მწვანე“ ტექნოლოგიების დაგეგმვისას.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Airport Council International (ACI). 2023. Airport Carbon Accreditation: Annual Report 2023. Montréal: ACI World.
2. California Air Resources Board (CARB). 2021. Zero-Emission Airport Ground Support Equipment Regulation. Sacramento: CARB Publications.
3. Civil Aviation Authority of the United Kingdom (CAA). 2022. Airside Operations and GSE Environmental Standards. London: CAA Reports.
4. European Civil Aviation Conference (ECAC). 2023. Noise and Emissions at Airports: Annual Statistical Report. Paris: ECAC Secretariat.
5. European Commission. 2021. Fit for 55: Delivering the EU's 2030 Climate Target on the Way to Climate Neutrality. Brussels: European Union.

6. Federal Aviation Administration (FAA). 2022. Airport Sustainability and Low-Emission Vehicle Programs. Washington, DC: FAA Office of Environment & Energy.
7. Heathrow Airport. 2023. Sustainability Report: GSE Electrification Progress and Performance Indicators. London: Heathrow Holdings Ltd.
8. International Civil Aviation Organization (ICAO). 2022. Environmental Report 2022: Aviation and the Environment. Montréal: ICAO.
9. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2019. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2: Energy. Geneva: United Nations.
10. MDPI. 2022. Advances in Green Airport Technologies. Sustainability 14(19): 12566.
11. Oslo Airport. 2023. Green Airport Program: Transition to Electric GSE. Oslo: Avinor ASA.
12. Sznajderman, M., Kowalska, J., & Nowak, T. 2022. Airside Emission Assessment of Ground Support Equipment at European Airports. Transportation Research Part D 108: 103291.
13. Tbilisi International Airport. 2024. Operational and Environmental Data Report. TAV Georgia Internal Publication.
14. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2021. Health and Environmental Impacts of Diesel Emissions in Airport Operations. Washington, DC: EPA Office of Transportation and Air Quality.
15. Zürich Airport. 2022. e-Airport Fleet Initiative: Electrification of Ground Support Equipment. Zürich: Flughafen Zürich AG.
16. Airport Cooperative Research Program (ACRP). 2020. Handbook for Evaluating GSE Energy and Emissions Performance. Washington, DC: Transportation Research Board.
17. International Energy Agency (IEA). 2023. Tracking Aviation 2023: CO₂ Emissions and Energy Efficiency Trends. Paris: IEA Publications.
18. United Nations Environment Programme (UNEP). 2022. Green Mobility and Airport Sustainability Practices. Nairobi: UNEP Transport Division.
19. Georgian Civil Aviation Agency (GCAA). 2024. Aviation Environmental Performance Report of Georgia. Tbilisi: Ministry of Economy and Sustainable Development.

Economic and Environmental Assessment of Ground Support Vehicles Serving Aircraft at Tbilisi International Airport

Bidzina Abesadze¹, Luka Kurdadze², Otar Bregadze³

^{1, 2, 3} Georgian Aviation University

16 Ketevan Dedopali Avenue, 0103 Tbilisi, Georgia

Abstract: *The study examines the economic costs and environmental issues associated with Ground Support Equipment (GSE) operations at airports. The primary aim of the research is to assess the current situation using Tbilisi International Airport as a case study, where fuel consumption and emission data for April 2025 have been analyzed. The paper provides detailed calculations of fuel expenditures and evaluates emission levels in comparison with environmental standards. The findings indicate that GSE operations are linked to significant financial implications and notable environmental pollution. In response to these challenges, specific strategies are proposed, including the transition to electric or hydrogen fuel-cell-powered GSE. The implementation of such technologies would result in substantial fuel cost savings and near-zero carbon emissions, contributing to the sustainable and efficient development of the airport. Ultimately, the study offers a comprehensive analysis and practical recommendations aimed at reducing the ecological footprint of ground operations and improving overall operational efficiency at Tbilisi International Airport.*

Keywords: *Gas emissions, air pollution, exhaust gases.*