

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

**ზვიად გაბედავა**

საქართველოს სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურა და მისი  
განვითარების პერსპექტივები

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

**ავტორეფერატი**

სადოქტორო პროგრამა „საგზაო ინფრასტრუქტურა და მიწისქვეშა  
ხელოვნური ნაგებობები“ შიფრი 0406

თბილისი

2018 წელი

სადისერტაციო ნაშრომი შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო და სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტათაშორის საგზაო დეპარტამენტში.

ხელმძღვანელები: პროფესორი ნ.რურუა  
პროფესორი კ.მჭედლიშვილი

რეცენზენტები: პროფესორი მ. მოისწრაფიშვილი  
ტ.მ.დ. თ. შილაკაძე

დაცვა შედგება 2018 წლის 21 თებერვალს 14<sup>00</sup> საათზე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე. I კორპუსი, ბიბლიოთეკა (508).

მისამართი: 0175 ქ. თბილისი, კოსტავას ქ. #68,

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,  
ხოლო ავტორეფერატისა – ფაკულტეტის ვებგვერდზე.

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,

პროფესორი

/დ. ტაბატაძე/

## შესავალი

### ნაშრომის საერთო დახასიათება

*ნაშრომის აქტუალობა.* ცნობილია, რომ ქვეყნის ეკონომიკის განვითარებისთვის უპირველეს ყოვლისა მიზანშეწონილია ტრანსპორტის ძირითადი სახეობების: სარკინიგზო, საავტომობილო, საზღვაო, საჰაერო და მილსადენების განვითარება. პერსპექტიულ გეგმაშია, რომ საქართველოს ერთიანმა სატრანსპორტო კომპლექსმა გაატაროს 300 მილიონამდე ტონა ტვირთი წელიწადში. ტურიზმისა და რეკრეაციული საქმიანობის განვითარების ტემპები და შესაძლებლობები უახლოეს 10 წელიწადში რეალურს გახდის საქართველოში 7-10 მლნ ტურისტის მიღებას წელიწადში, რომელთა მომსახურებაც ძირითადად ავტოტრანსპორტზე და რკინიგზაზე მოდის. შესაბამისად, გაიზრდება მოთხოვნა თანამედროვე უსაფრთხო და კეთილმოწყობილ საგზაო ინფრასტრუქტურაზე: საერთაშორისო საავტომობილო და სარკინიგზო მაგისტრალზე და შიდასახელმწიფოებრივი გზების ქსელზე, რომლებიც უზრუნველყოფენ ადგილობრივი, ტურისტული და ტრანზიტული მგზავრთა ნაკადების მომსახურებას ვაგზლებით, სადგურებით, კემპინგებით, საზოგადოებრივი კვების ობიექტებითა და საწვავით გასამართი სადგურების ფართო ქსელით და ა.შ.

საქართველოს სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურამ უნდა შეძლოს ტრანზიტული ტვირთების ამ უდიდესი ნაკადის გატარება თავის ტერიტორიაზე და იმავდროულად ქვეყნის შიდა მოთხოვნილების დაკმაყოფილება მგზავრებისა და ტვირთების გადაადგილებაზე. ყოველივე ზემოთქმული გვაიძულებს ინტენსიური კვლევა ვაწარმოოთ სატრანსპორტო დანიშნულების ინფრასტრუქტურული ობიექტების დაპროექტების, მშენებლობისა და ექსპლუატაციის რაციონალური და სრულყოფილი მეთოდების შესამუშავებლად. მათ უნდა უზრუნველყონ ტრანსპორტზე ნებისმიერი ინფრასტრუქტურული ობიექტისადმი

წყვენილებული აუცილებელი უსაფრთხოების, ეკონომიურობისა და ეკოლოგიურობის მოთხოვნათა დაკმაყოფილება.

უნდა მოინახოს ეკონომიკური შესაძლებლობები, მოხდეს ეკონომიკური და პოლიტიკური პროცესების განვითარების პერსპექტივების რეალური შეფასება და შესაბამისად დაიწყოს ზრუნვა სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის ერთობლივ კომპლექსურ განვითარებაზე, პარალელურად უნდა გადაწყდეს საბაჟო სისტემის, საზღვრების დაცვის, თავდაცვის, უშიშროებისა და სხვა მრავალი პრობლემური საკითხი, რომელთა წარმატებულად გადაჭრის ერთ-ერთი პირობაა მაღალხარისხოვანი და საკმაო სიდიდის სახმელეთო კომუნიკაციათა ქსელის შექმნა თავისი შესაბამისი სერვისული ელემენტებით.

მასიური ტრანსპორტის ყველა სახეობის ინფრასტრუქტურის განვითარებაში გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება სახმელეთო ტრანსპორტის ინფრასტრუქტურული პრობლემათა გადაჭრას. ამიტომაც ჩვენი გამოკვლევა ეხება საავტომობილო და სარკინიგზო ტრანსპორტის ინფრასტრუქტურის განვითარებას.

*კვლევის მიზანს წარმოადგენს* საქართველოს სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის განვითარების ტექნიკური და ეკონომიკური ხასიათის არსებულ პრობლემათა რაოდენობრივი და თვისობრივი შედარება, ინფრასტრუქტურის განვითარების პერსპექტიულ მიმართულებათა დასახვა და პრობლემათა გადაჭრის რეკომენდაციების შემუშავება.

*დასახული მიზნის მისაღწევად ნაშრომში გადაწყვეტილია შემდეგი ძირითადი ამოცანები:*

- შემუშავებულია საქართველოს ავტოსაგზაო და სარკინიგზო ინფრასტრუქტურის ელემენტების ტექნიკური ნორმატივების განვითარების პერსპექტივები გადაადგილების ეკონომიურობის, უსაფრთხოებისა და კომფორტის თანამედროვე და პერსპექტიულ მოთხოვნათა გათვალისწინებით;

- შემუშავებულია მეცნიერულად დასაბუთებული რეკომენდაციები საქართველოში ავტოსაგზაო და ვიწროლიანი რკინიგზების განვითარების შესახებ უახლეს მომავალსა და პერსპექტივაში;
- შემუშავებულია სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის ელემენტთა მშენებლობისა და ექსპლუატაციის ფინანსური უზრუნველყოფის ძირითადი და ალტერნატიული წყაროების ჩამონათვალი მათი შესაძლებლობათა რაოდენობრივი შეფარდებით;
- შემუშავებულია აგრეთვე სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის განვითარების ფინანსური უზრუნველყოფის კონკრეტული მიმართულებები და ტრანსპორტზე ეკონომიკური პროცესების მართვის მექანიზმი შესაბამისი მათემატიკური მოდელის სახით.

**მეცნიერული სიახლე.** დადგენილია საავტომობილო გზების ტიპური მონაკვეთების სახეობები საქართველოს ბუნებრივი ლანდშაფტებისათვის შესაბამისი რაოდენობრივი და თვისობრივი მახასიათებლებით.

შემუშავებულია სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის ელემენტების კლასიფიკაცია მგზავრობისა და ტვირთების გადაადგილების ხიფათიანობის მიხედვით წინასაპროექტო სტადიაზე. დასახულია საქართველოს ავტოსაგზაო ინფრასტრუქტურის განვითარების კონკრეტული ამოცანები სოციალური და ტექნიკურ-ეკონომიკური ფაქტორების პრიორიტეტულობის გათვალისწინებით.

დადგენილია ვიწროლიანი რკინიგზების ქსელის ეკონომიკური უპირატესობა საავტომობილო გზებთან შედარებით საქართველოს მთიანი და მაღალმთიანი რეგიონებისათვის.

დადგენილია საავტომობილო გზების რაციონალური ტრასირების პრიორიტეტული მეთოდები საქართველოს ბუნებრივი პირობებისათვის და ავტომობილთა ნაკადების სიდიდის გათვალისწინებით. დადგენილია წინასაპროექტო, ტექნიკურ-ეკონომიკური შედარების ნაწილში მოძრავი შემადგენლობისა, სატრანსპორტო დანახარჯებისა და ეკოლოგიური

პარამეტრების გაანგარიშების აუცილებლობა საქართველოს მთავორიანი რელიეფისათვის მისადაგებული თანამედროვე მეთოდებით.

შემუშავებულია ვიწროლიანდიანი რკინიგზების ქსელის განვითარების შედეგად მოსალოდნელი სოციალური და ტექნიკურ-ეკონომიკური ხასიათის კონკრეტული უპირატესობათა ჩამონათვალი.

შემუშავებულია ვიწროლიანდიანი რკინიგზების ტექნიკური კლასიფიკაცია საქართველოს ბუნებრივი პირობების, სოციალური და ტექნიკურ-ეკონომიკური ფაქტორების გათვალისწინებით.

დადგენილია სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის განვითარების ფინანსური უზრუნველყოფის ძირითადი მიმართულებები, შერჩეულია სატრანსპორტო პროცესის ფუნქციონირების განმსაზღვრელი ტექნიკური და ეკონომიკური ფაქტორების დეტალური ჩამონათვალი რაოდენობრივ-თვისობრივი მახასიათებლებით და ანალიზური გამოსახულებებით. შემუშავებულია სატრანსპორტო პროცესის მართვის განტოლებათა ამოხსნის რაციონალური ხერხები.

**კვლევის ობიექტს წარმოადგენს:** საქართველოში სახმელეთო ტრანსპორტის ინფრასტრუქტურა, კერძოდ საავტომობილო და სარკინიგზო კომუნიკაციების ქსელი, მათი ფუნქციონირებაზე მომქმედი ტექნიკური, ეკონომიკური, ბუნებრივ და სოციალურ-პოლიტიკური ფაქტორები.

**ნაშრომის აპრობაცია.** სადისერტაციო ნაშრომის შუალედური შედეგები მოხსენებულია სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს სემინარებზე და კოლოქვიუმებზე, დისერტაციის წინასწარი დაცვა საგზაო დეპარტამენტის გაფართოებულ სხდომაზე (08 დეკემბერი 2017 წ.). სტუ-ს სტუდენტთა 83-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე, თბილისი, 2015 წლის 18 ივნისი; სტუ-ს სტუდენტთა 84-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე, თბილისი, 2016 წლის 17 ივნისი. სტუ-ს სტუდენტთა 85-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე, თბილისი, 2017 წლის 20 ივნისი

**პუბლიკაციები.** სადისერტაციო ნაშრომის თემატიკასთან დაკავშირებით რეფერირებულ ჟურნალებში გამოქვეყნებულია 6 სამეცნიერო სტატია.

**ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა.** სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავალის, ლიტერატურის მიმოხილვის, შედეგებისა და მათი განსჯისა და დასკვნისაგან, რომელიც წარმოდგენილია 166 ნაბეჭდი გვერდის სახით. შეიცავს 23 ცხრილს, 33 ნახაზს, გამოყენებული ლიტერატურის 65 დასახელებას.

### **დისერტაციის ძირითადი შედეგები**

**შესავალში** მოყვანილია პრობლემის საერთო დახასიათება; დასაბუთებულია სადისერტაციო ნაშრომის აქტუალობა, ფორმულირებულია სამუშაოს მიზანი და კვლევის ამოცანები, მეცნიერული სიახლე, კვლევის, სამუშაოს პრაქტიკული ღირებულება და შედეგების რეალიზაცია, ინფორმაცია ნაშრომის აპრობაციისა და პუბლიკაციის შესახებ.

**პირველ თავში** განხილულია დისერტაციაში დასმული პრობლემა და მისი კრიტიკული ანალიზი; საქართველოს სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის არსებული მდგომარეობა; აღწერილია საქართველოს სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურა, მისი ელემენტები და მათი კლასიფიკაცია დანიშნულების მიხედვით; საქართველოს საავტომობილო გზების ძირითადი ნორმატიულ-ტექნიკური პარამეტრები და რაოდენობრივი მახასიათებლები; ხელოვნური ნაგებობები; უღელტეხილები; სასაზღვრო გამშვები პუნქტები. ასევე აღწერილია საქართველოს რკინიგზის როლი სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურაში; ვიწროლიანი რკინიგზების როლი მაღალმთიანი რეგიონების სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურაში; ვიწროლიანი რკინიგზების განვითარების ეტაპები დაწყებული მე-19 საუკუნის მიწურულიდან

დღევანდელ დღემდე; გაანალიზებულია ვიწროლიანდიანი რკინიგზების გრადაცია ლიანდის სიგანის მიხედვით და მისი ტექნიკური პარამეტრები.

შემუშავებულია სადისერტაციო ნაშრომის საკვლევი პრობლემების ჩამონათვალი. მოყვანილია და განხილულია არსებული ლიტერატურა და იმ წყაროების ანალიზური მიმოხილვა, რომლებიც დაკავშირებულია საქართველოს სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურასთან და მისი განვითარების პერსპექტივებთან.

**მეორე თავში განხილულია:**

- **სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის ელემენტების ნორმატივების სრულყოფის საშუალებები უსაფრთხოებისა და კომფორტის თანამედროვე მოთხოვნათა გათვალისწინებით**

დადგენილია საქართველოს საავტომობილო გზებისთვის ავტომობილებით გადაადგილების უსაფრთხოებისა და ეკონომიკურობის მახასიათებლების მიხედვით ოპტიმალური კომფორტის დონე. დადგენილია აგრეთვე პერსპექტიული ინტენსივობის პარამეტრები და ვადები რაც უნდა დააკმაყოფილოს საავტომობილო გზამ.

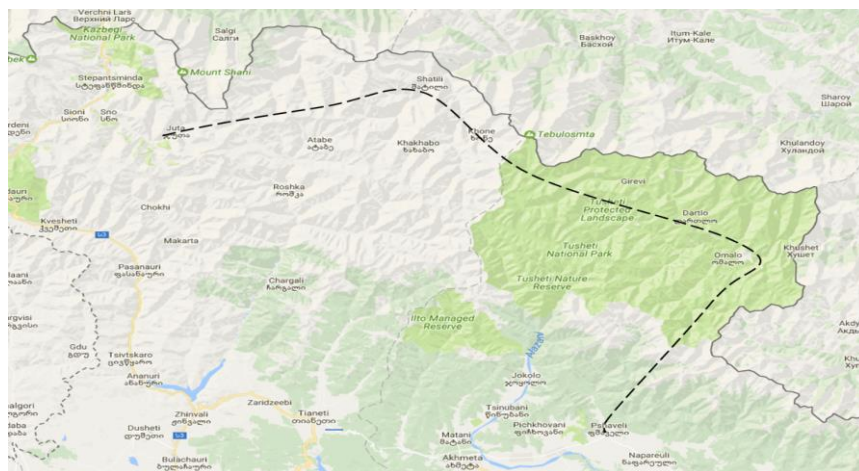
ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია აგრეთვე სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის ობიექტთა კლასიფიკაცია, რომელიც ეყრდნობა პროფ. კ.მჭედლიშვილის მიერ შემოთავაზებულ ავტოსაგზაო ინფრასტრუქტურის კლასიფიკაციას, მაგრამ მასზე ფართოა და მოიცავს სარკინიგზო ტრანსპორტის ობიექტებსაც. სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის ობიექტები მათი ხიფათიანობის მიხედვით მიზანშეწონილია დავყოთ სამ ჯგუფად: ძალიან სახიფათო ობიექტები; სახიფათო ობიექტები; ხიფათის პოტენციურად გამომწვევი ობიექტები. ამ კრიტერიუმების მიხედვით დადგენილია ლიცენზირებადი და სასერთიფიკაციო ობიექტების ჩამონათვალი.

- **საქართველოს ავტოსაგზაო ინფრასტრუქტურის განვითარების ამოცანები**



საქართველოს მთავრობის მიერ 2016 წელს მიღებული გადაწყვეტილებით უახლოეს 4-5 წელიწადში საქართველოში 1000კმ-მდე საავტომობილო გზების მშენებლობა-რეკონსტრუქცია იგეგმება. ქვეყნის სივრცითი მოწყობის ეს პროექტი მთავრობის მიერ შემუშავებულ 4 პუნქტიანი რეფორმების გეგმის ყველაზე უფრო მამატაბური კომპონენტია.

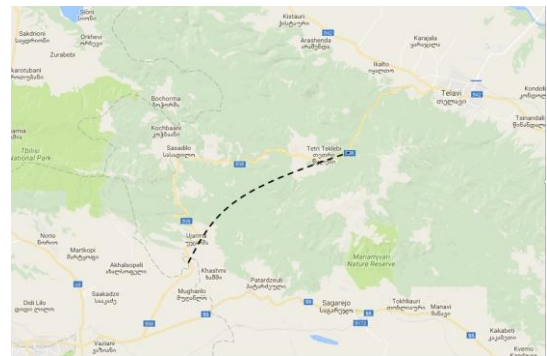
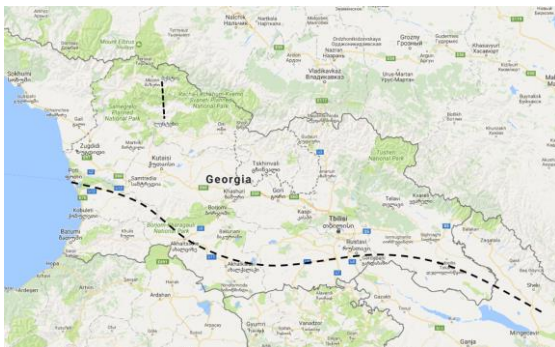
საქართველოს საგზაო ქსელის განვითარების უახლოესი და უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა ქვეყნის გამჭოლი, საერთაშორისო E – 60 ოთხზოლიანი ავტომაგისტრალის წითელი ხიდი-თბილისი-ხაშური-სამტრედია-გრიგოლეთის მონაკვეთების დამთავრება. აუცილებელია სარფი-ბათუმი-ფოთი-ანაკლიას მონაკვეთის რეკონსტრუქცია ასევე 4 ზოლიან მაგისტრალად გადასაქცევად, რომელიც მომავალი შავიზღვისპირეთის წრიული საერთაშორისო ავტომაგისტრალის ნაწილი გახდება. მიზანშეწონილია უახლოეს ხანში ვაზიანი-ბაკურციხის და ნატახტარი-ჟინვალის მონაკვეთების ოთხზოლიან მაგისტრალად რეკონსტრუქცია. საქართველოს ჩრდილოეთი კუთხეების, ხევის, ხევსურეთისა და თუშეთის აღორძინებისათვის უდიდესი მნიშვნელობა აქვს კავკასიონის მთავარი ქედის გასწვრივ შიდასახელმწიფოებრივი დანიშნულების საავტომობილო გზის აშენებას, რომელიც ხევიდან სნო-ჯუთას გავლით გადალახავს არხოტის უღელტეხილს, დაეშვება ასას ხეობაში, შემდეგ გადავა არლუნის ხეობაში და შევა შატილში.



**ნახ.1 . ჯუთა-შატილი-ომალო-ფშაველის საავტომობილო გზის სავარაუდო მიმართულება**

მიზანშეწონილია რამდენიმე გვირაბის აშენება შიდასახელმწიფოებრივი მნიშვნელობის საავტომობილო გზებზე. აუცილებელია თბილისსა და თელავს შორის უმოკლეს მიმართულებაზე არსებული გომბორის საუღელტეხილო მონაკვეთის შეცვლა გვირაბით. მაგისტრალური გზებით მაღალი ქედების გადაკვეთისას მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ გვირაბები, პორტალების ნიშნულით ალპური ზონის საზღვრებს ქვემოთ ანუ ნაკლები 1800მ სიმაღლეზე ზღვის დონიდან. ეს მნიშვნელოვნად გაადვილებს გვირაბის პორტალებთან მისასვლელი მონაკვეთების ექსპლუატაციას ზამთრის პირობებში.

ზემოთ აღნიშნულ ბაქო და ფოთის შემაერთებელ ალტერნატიულ მარშრუტზე გზის აშენებას სიმოკლესთან ერთად სხვა მრავალი დადებითი მომენტიც ახლავს. წითელი ხიდი-თბილისი-ხაშური-ზესტაფონი-ქუთაისი-სამტრედიას მიმართულება ძირითადად გამოყენებული იქნება სამგზავრო და ტურისტული მიზნებისათვის, გადაიდება მისი 6 ზოლიანად გარდაქმნის აუცილებლობა, რაც მოგვცემს შესაბამის დადებით სოციალურ და ეკოლოგიურ შედეგებს.



**ნახ.2. ბაქო-წითელი ხიდი-გრიგოლეთის მონაკვეთის დუბლიორი ავტომაგისტრალი, საინგილოს, ივრის ხეობის, ქვემო ქართლის, ჯავახეთისა და მესხეთ-გურიის გავლით.**

**ნახ. 3. ვაზიანი-გომბორი-თელავის საუღელტეხილო მონაკვეთის ალტერნატივა ივრისა და თურდოს ხეობების უმოკლესი გზით დაკავშირება (გვირაბის ვარიანტი)**

ყველა ეს ამოცანა უნდა შესრულდეს უსაფრთხოების, ეკონომიურობის, ეკოლოგიურობისა და კომფორტის საერთაშორისო მოთხოვნების სრული დაცვით, ეს მნიშვნელოვნად შეამცირებს საგარეო

ვალის ზრდის ტემპს და უზრუნველყოფს ეკონომიკის უფრო მდგრად განვითარებას.

ნაშრომში განხილულია საავტომობილო გზების ტიპური მონაკვეთების სახეობები საქართველოს ბუნებრივი ლანდშაფტებისათვის შესაბამისი რაოდენობრივი და თვისობრივი მახასიათებლებით.

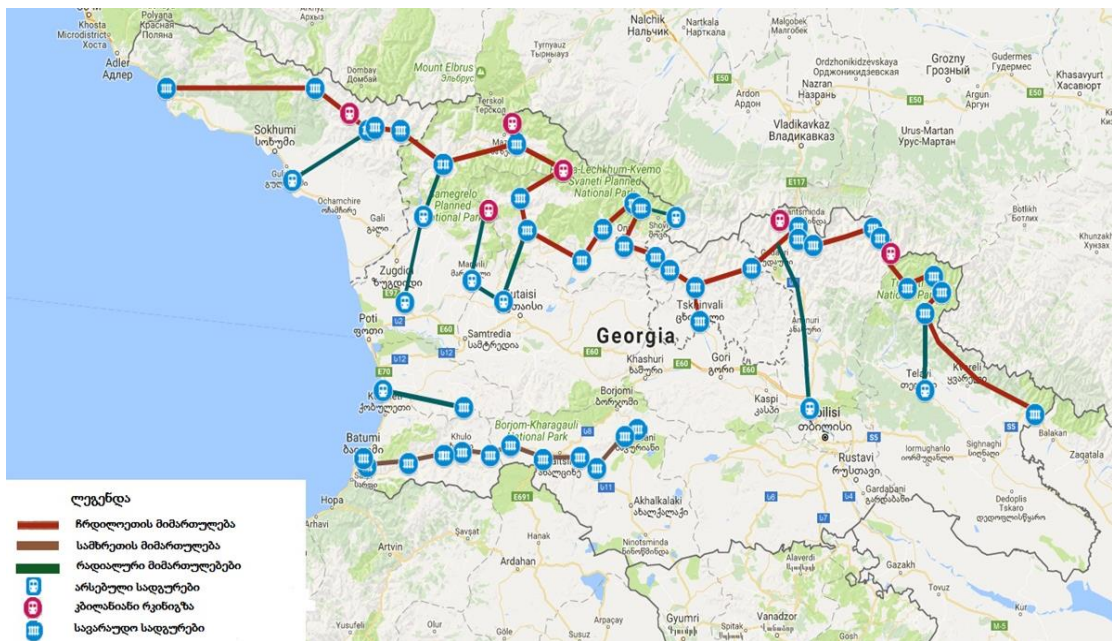
- **ვიწროლიანდიანი რკინიგზების მოწყობის მიზანშეწონილობა საქართველოს მთიან პირობებში**

მსოფლიოს მრავალი ქვეყნის საგზაო ინფრასტრუქტურის განვითარების გამოცდილებამ აჩვენა, რომ მაღალმთიანი რთული რელიეფის პირობებში ტურისტთა მომსახურების, ქვეყნის შიდა გადაზიდვებისა და მრეწველობის განვითარებისათვის ფართო გამოყენება ვიწროლიანდიანმა და „კბილანდიანმა“ რკინიგზებმა ჰპოვა. ჩვენ მიერ შესწავლილი იქნა საქართველოში ვიწროლიანდიანი და „კბილანდიანი“ რკინიგზების ქსელის შექმნის პირობები და მისი განვითარების შესაძლო პერსპექტივები.

ვიწროლიანდიანი რკინიგზების გამოყენება უზრუნველყოფს გადაზიდვების თვითღირებულების მინიმუმამდე შემცირებას (სამშენებლო და საექსპლუატაციო ხარჯები), მისი გამოყენება იძლევა მთელი წლის განმავლობაში შეუფერხებელი და უწყვეტი მოძრაობის გარანტიას. მისი მშენებლობა გაცილებით იაფი ჯდება, ვიდრე მაგარსაფრიანი იგივე რაოდენობის ტვირთებისა და მგზავრების გადაადგილების შესაძლებლობის მქონე საავტომობილო გზისა, ხოლო თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ საქართველო მცირემიწიანი ქვეყანაა, ვიწროლიანდიანი რკინიგზის მშენებლობა მიწის ვაკის მინიმალური ზომების მიხედვით, ყველაზე ეკონომიურია.

საქართველოში ვიწროლიანდიანი რკინიგზების ქსელის შექმნისათვის, პერსპექტიული მიმართულებების დამუშავებისას, გათვალისწინებულია რეგიონალური თავისებურებანი, სამკურნალო კურორტების, კულტურის ძეგლთა, ქვეყნის საზღვრის მიმდებარე, წიაღისეულისა და გზებით

ერთმანეთთან დაკავშირებული რაიონების განლაგება. ამ პირობების გათვალისწინებით, ჩვენი აზრით მიზანშეწონილია ორი გრძივი მიმართულების დაპროექტება (განსაკუთრებით სამხედრო და ტურისტული თვალსაზრისით). „**ჩრდილოეთი**“ - კავკასიონის მთავარი ქედის გასწვრივ დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ. „**სამხრეთი**“ მოიცავს საქართველოს სამხრეთ ტერიტორიებს, სამცხე-ჯავახეთს და გრძივ მიმართულებასთან ერთად საჭირო გახდება „**რადიალური**“ მიმართულებების მოწყობა ცენტრიდან დაშორებულ მაღალმთიან რეგიონებამდე და ფართოლიანდიანი რკინიგზის სარკინიგზო მაგისტრალთან შესაერთებლად (ნახ.4). მიზანშეწონილია აგრეთვე კავკასიონის ქედის მიუვალ მწვერვალებთან აშენდეს ტურისტული დანიშნულების „კბილანიანი რკინიგზა“, რომლებიც ევროპული გამოცდილების მიხედვით შეიძლება მოეწყოს კავკასიონის ქედის მწვერვალებთან, როგორებიცაა: უშბა, უშგული, მყინვარწვერი, ბორბალოს მთა, ჩხალთის ქედის ჩრდილოეთი ფერდობები, კურორტ ლეზარდესთან და სხვა (ნახ.4).



**ნახ.4. საქართველოში ვიწროლიანდიანი რკინიგზების ქსელის სავარაუდო მიმართულებები**

**• საქართველოს ვიწროლიანდიანი რკინიგზებისთვის ძირითადი ტექნიკური პარამეტრების შერჩევა ნორმატიული ბაზის შესამუშავებლად**

საქართველოში არ არსებობს ვიწროლიანდიანი რკინიგზების განვითარებისათვის საჭირო ეროვნული საპროექტო ნორმატიული ბაზა. ამიტომ საჭიროა შემუშავებულ იქნას ვიწროლიანდიანი რკინიგზების ქსელის განვითარებისათვის საჭირო ნორმატიულ-ტექნიკური ბაზა ქვეყნის რთული ბუნებრივი პირობების გათვალისწინებით, რომელშიც შევალიანდაგის კონსტრუქციული მოწყობის, დაპროექტებისა და მოვლაშენახვის ძირითადი ნორმები. ნორმატიულ-ტექნიკური ბაზის შესაქმნელად, ძალიან მნიშვნელოვანია ლიანდაგის გემისა და პროფილის პარამეტრებსა და დასაპროექტებელი ლიანდაგის ჯგუფებს შორის კავშირის დადგენა, რაც შემდგომში საფუძველი გახდება ვიწროლიანდაგიანი რკინიგზის კატეგორიებად დაყოფისა. ვიწროლიანდიანი რკინიგზების ჯგუფებად დაყოფა უნდა განხორციელდეს მათი დანიშნულების, გადაზიდვების ზომისა და ხასიათის წინასწარ განსაზღვრის მიხედვით, რომლის შესაბამისად შესაძლებელი იქნება ტექნიკური პარამეტრების ნორმების დაჯგუფება(ცხრ.1).

**ცხრილი 1**

**ვიწროლიანდიანი რკინიგზების ჯგუფებად დაყოფასაქართველოს პირობების გათვალისწინებით**

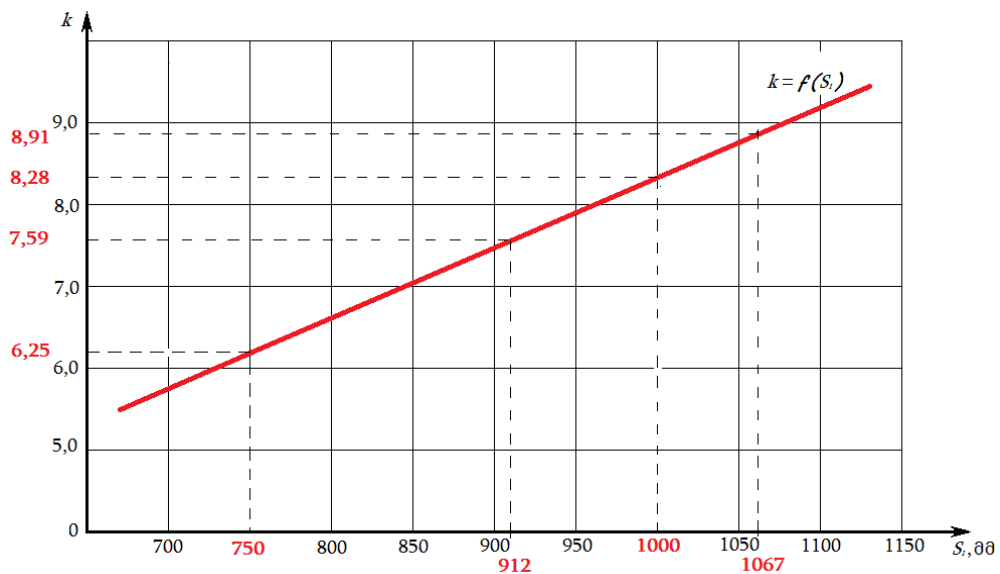
| რკინიგზის<br>ჯგუფი | რკინიგზის<br>დანიშნულება | მაქსიმალური<br>სიჩქარე, კმ/სთ |                   |                             | უმცირესი დასა-<br>შვები რადიუსი, მ |                   |                             | ტვირთდამა-<br>ბულობა,<br>მლნ.ტ. ბრ. კმ<br>/წლ |
|--------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------------------|------------------------------------|-------------------|-----------------------------|---|
|                    |                          | ნორმალურ<br>პირობებში         | რთულ<br>პირობებში | ძალიან<br>რთულ<br>პირობებში | ნორმალურ<br>პირობებში              | რთულ<br>პირობებში | ძალიან<br>რთულ<br>პირობებში |   |
| 1                  | 2                        | 3                             | 4                 | 5                           | 6                                  | 7                 | 8                           | 9   |
| I                  | სამგზავრო,<br>ტურისტული  | 100                           | 80                | 50                          | 1000                               | 400               | 200                         | ტვირთდამა-<br>ბულობის<br>მიუხედავად           |
| II                 | სატვირთო,<br>სამრეწველო  | 70                            | 50                | 40                          | 600                                | 300               | 100                         | >0,3  |
| III                | სატვირთო,<br>სამრეწველო  | 50                            | 35                | 25                          | 400                                | 200               | 60                          | <0,3  |

ნაშრომში განხილულია ვიწროლიანდიანი რკინიგზებისათვის ქვემოთ ჩამოთვლილი საკითხების: ტრასირებისათვის საჭირო სახელმძღვანელო ქანობის, გრძივი პროფილის ელემენტების სიგრძის, ლიანდაგის გეგმის ელემენტების, სარელსო ლიანდის პარამეტრების შერჩევა და მოწყობა (ლიანდის სიგანე, გადასასვლელი მრუდები, გარე რელსის შემადღება); ლიანდაგის ზედა ნაშენის კონსტრუქციული ელემენტების შერჩევა; მიწის ვაკისის ზომებისა და მისი გეომეტრიული მოხაზულობის დადგენა და სხვა.

საქართველოში მიზანშეწონილია ვიწროლიანდიანი რკინიგზების ლიანდის სიგანედ შერჩეულ იქნეს 1067მმ, 1000მმ, 750მმ ან 912მმ ლიანდის სიგანე. გარე რელსის შემადღება შერჩეულ იქნა ფორმულით:

$$h = k \frac{\sum N_i P_i v_i^2}{R \sum N_i P_i} + \Delta h$$

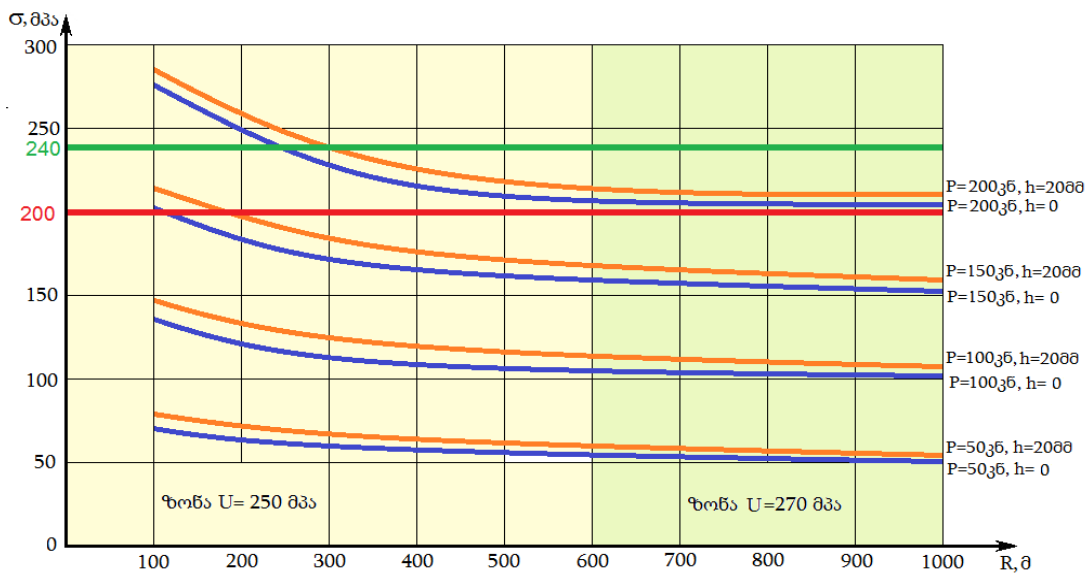
ნახ.5-ზე მოცემული გრაფიკის საშუალებით შესაძლებელია  $k$  კოეფიციენტის განსაზღვრა ნებისმიერ ლიანდის სიგანისათვის.



ნახ.5.  $k$  კოეფიციენტის ლიანდის სიგანეზე დამოკიდებულების გრაფიკი

ნაშრომში დასაბუთებულია ნაძველარი რელსების გამოყენების შესაძლებლობა მაქსიმალური ცვეთის მიღწევის პირობებში. ჩატარებული გაანგარიშების შედეგად დადგენილ იქნა (ნახ.6), რომ პირაპირიან

ლიანდაგში შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს მძიმე წონის მოძრავი შემადგენლობა თვლიდან რელსზე გადაცემული დინამიკური დატვირთვით 200კნ სწორში და მრუდებში, რომელთა რადიუსი აღემატება 300მ-ს. უპირაპირო ლიანდაგში კი შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს მძიმე წონის მოძრავი შემადგენლობა თვლიდან რელსზე გადაცემული დინამიკური დატვირთვით 150კნ სწორში და მრუდებში, რომელთა რადიუსი აღემატება 180მ-ს, მით უმეტეს, რომ 180მ-ზე ნაკლებ მრუდებში უპირაპირო ლიანდაგის მოწყობა ხის შპალებზე არ არის რეკომენდებული, ლიანდაგის გაგდების საშიშროების გამო. ამრიგად, ვიწროლიანდიან რკინიგზებზე გამოსაყენებელი მაქსიმალურად გაცვეთილი რელსებიც კი რეალური დატვირთვების პირობებში დააკმაყოფილებს რელსების ამტანობის რესურსს. ამიტომ P50 ტიპის ნამველარი რელსი დასაშვები მაქსიმალური 20მმ-იანი დაყვანილი ცვეთით აკმაყოფილებს მისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს მოძრავი შემადგენლობიდან რელსზე გადაცემული 140კნ დატვირთვების შემთხვევაშიც კი.



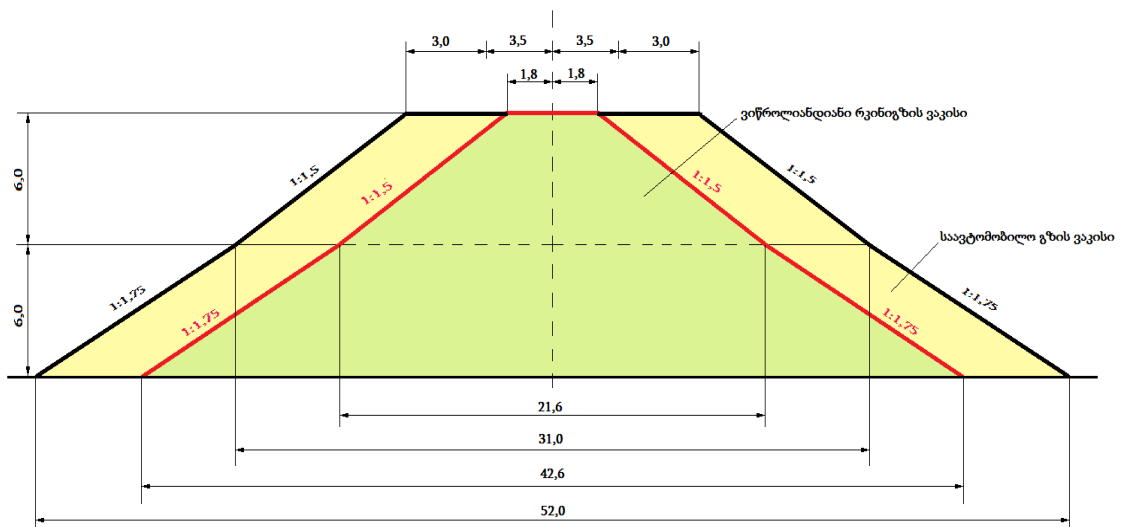
ნახ.5. P50 ტიპის რელსის სქემა დაყვანილი ცვეთის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის

- ვიწროლიანდიანი რკინიგზების მშენებლობის ეკონომიკური უპირატესობა მაგარსაფარიანი საავტომობილო გზების მშენებლობასთან შედარებით

ვიწროლიანდიანი რკინიგზის მშენებლობა გაცილებით იაფია, ვიდრე დაბალი კატეგორიის მაგარსაფარიანი საავტომობილო გზებისა, ვინაიდან მიწის ვაკის და ხელოვნური ნაგებობათა მოცულობა მცირეა. ასევე, მცირეა საექსპლუატაციო ხარჯებიც, განსაკუთრებით ზამთრის პერიოდში, რაც მაღალმთიანი რეგიონისთვის მეტად მნიშვნელოვანია.

ნაშრომში განხილულია ვიწროლიანდიანი რკინიგზების მშენებლობის ეკონომიკური ეფექტურობა დაბალი კატეგორიის მაგარსაფარიანი საავტომობილო გზების მშენებლობასთან შედარებით.

ვიწროლიანდიანი რკინიგზების მიწის ვაკისი შეიძლება წარმოდგენილ იქნას ჭრილის, ნახევარყრილის, ნახევარჭრილის, ყრილის, ნახევარყრილნახევარჭრილის ან ნულოვანი ადგილების სახით. ვიწროლიანდიანი რკინიგზის ხაზი (1000მმ-იანი ლიანდის სიგანით I ჯგუფის ვიწროლიანდიანი რკინიგზა) წარმოდგენილია მიწის ვაკისის ძირითადი მოედნის სიგანით 3,6მ, ხოლო საავტომობილო გზა II<sup>B</sup> კატეგორიის მაგარსაფარიანი საავტომობილო გზის ორზოლიანი მიწის ვაკისის ძირითადი მოედნის სიგანით 3+3,5+3,5+3=13მ (ნახ.6).



ნახ.6. ვიწროლიანდიანი რკინიგზის ხაზის და მაგარსაფარიანი საავტომობილო გზის მიწის ვაკისის მოწყობის სქემა.



ჩატარებული გაანგარიშების შედეგად დადგინდა იქნა ვიწროლიანდიანი რკინიგზების მშენებლობის ეკონომიკური უპირატესობა დაბალი კატეგორიის მაგარსაფარიანი საავტომობილო გზების მშენებლობასთან შედარებით და 1 კმ-ზე შეადგინა 4509 835 ლარი, ანუ 35 %-ით უფრო იაფი.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ მთიან პირობებში ზამთრის პერიოდში საავტომობილო გზის ექსპლუატაციის სირთულეს და სიძვირეს, ინდივიდუალურ ავტომობილთა გადაადგილების ხიფათიანობის ძალზედ მაღალ რისკს ვიწროლიანდიანი რკინიგზის შემადგენლობის გადაადგილებასთან შედარებით ზამთარში და ღამით, აგრეთვე ელექტროწევით მოძრავი რკინიგზის აბსოლუტურ უპირატესობას ნახშირწყალბადების მომხმარებელ თბური ძრავების მქონე ავტომობილთა ნაკადთან ნათელია, რომ საქართველოს რთული რელიეფის მქონე რეგიონებში და განსაკუთრებით მაღალმთიან პირობებში ვიწროლიანდიან რკინიგზას აქვს სრული უპირატესობა ეკონომიკური, ეკოლოგიური და მოძრაობის უსაფრთხოების თვალსაზრისით.

**• სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის განვითარების ფინანსური უზრუნველყოფის მექანიზმი**

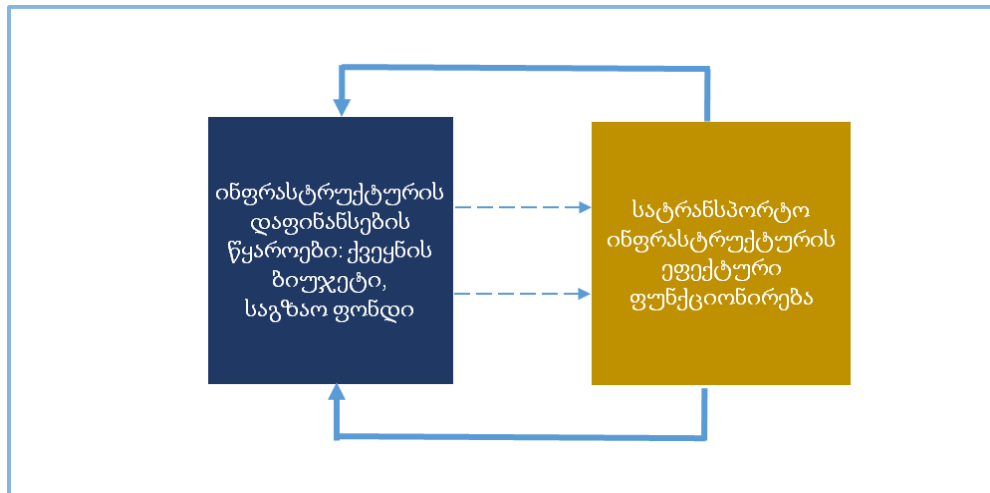
სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის განვითარება მეტად ძვირადღირებული და იმავდროულად მუდმივი პროცესია. ამიტომაც მიღებულია მასზე დახარჯული თანხების ყოველწლიური სახელმწიფო ბიუჯეტის ან ერთიანი ეროვნული პროდუქტის ნაწილებში გამოსახვა. მსოფლიოს მოწინავე ქვეყნები მარტო ავტოსაგზაო ინფრასტრუქტურის განვითარების მიზნით ბიუჯეტის 3-4%-ს ხარჯავენ ყოველწლიურად. მსოფლიოში თანამედროვე სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის დაფინანსების სხვადასხვა ხერხები და საშუალებები არსებობს. ავტოსაგზაო ინფრასტრუქტურის განვითარებისთვის სახსრების მოძიება ხდება ან სპეციალურად ფორმირებული საგზაო ფონდის საშუალებით ან ბიუჯეტიდან გამოყოფილი მკაცრად გამიზნული თანხებით.

ავტოსაგზაო ინფრასტრუქტურის განვითარებაზე გზების მომხმარებელთა ასეთი ფართო მონაწილეობა განპირობებულია ინდივიდუალური ავტოსატრანსპორტო საშუალებების დიდი წილით ავტოპარკის საერთო რიცხვში. ინდივიდუალური მიზნით მფლობელები უფრო მეტ წილს იყენებენ საგზაო ქსელის გამტარუნარიანობიდან და მოიხმარენ საწვავის, საცხები და საექსპლუატაციო მასალების უდიდეს რაოდენობას.

სარკინიგზო ინფრასტრუქტურის განვითარებისთვის ბიუჯეტური დაფინანსება პრაქტიკულად ერთადერთი წყაროა და იგი ფართოდ გამოიყენება მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში. გამონაკლისი შეიძლება დაშვებული იყოს ცალკეული დიდი მნიშვნელობისა და მოცულობის რკინიგზის ობიექტების მშენებლობისათვის, რომელთა აშენებას ხანგრძლივი დრო (ჩვეულებრივ 4-5 წელზე მეტი) და ასეულობით მილიონი ევრო სჭირდება. ასეთი ობიექტების დაფინანსებისა და მშენებლობისას ხშირად იქმნება საერთაშორისო კონსორციუმები რომლებიც ე.წ. BOOT-ის პრინციპით (Build–Own–Operate–Trans) აგებენ ობიექტს, ეწვეიან მის მომგებიან ექსპლუატაციას და გარკვეული ხნის შემდეგ უბრუნებენ სახელმწიფოს.

სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის დაფინანსების ნებისმიერი სახეობის გამოყენებისთვის აუცილებელია სატრანსპორტო სისტემის მთლიანი და ცალკე მისი შემადგენელი ნაწილების ეკონომიკური ეფექტურობის შეფასების მექანიზმის შემუშავება, რომელიც საშუალებას მისცემს ქვეყანას შეიმუშაოს სისტემის წარმატებული (მომგებიანი) ფუნქციონირებისათვის საჭირო ქმედებები, მოიძიოს ამისთვის საჭირო თანხები და მოახდინოს შესაძლო ხარჯებისა და შემოსავლების პროგნოზირება. ეს პროცესი მუდმივად უნდა მიმდინარეობდეს, ვინაიდან სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის ეფექტური მუშაობა შესაძლებელია მხოლოდ მუდმივი და საკმარისი დაფინანსებით. ინფრასტრუქტურის

ეფექტურად განვითარებაზე დახარჯული თანხები კი უკან უბრუნდება დამფინანსებელს (ნახ.7.)



**ნახ. 7. სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის დაფინანსებისა და მისი ეფექტური მუშაობის პირდაპირი და უკუკავშირების სქემა.**

- - - - -> - თანხები ინფრასტრუქტურის შექმნაზე, მოვლა-შენახვაზე;
- ← - - - - - თანხები ბიუჯეტის დაფინანსების სხვა წყაროების შესავსებად.

სატრანსპორტო პროცესზე გაწეული ხარჯების 70-80%-ზე მეტს შეადგენს ტვირთების და მგზავრების გადაადგილებაზე გაწეული პირდაპირი სატრანსპორტო დანახარჯები, რომლებიც უშუალოდაა დაკავშირებული მოძრაობის პირობებთან, ანუ სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის რაოდენობრივ და თვისობრივ მაჩვენებლებთან. ზემოთქმულიდან გამომდინარე, სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის განვითარების პრობლემის გადაჭრის მთავარი საშუალებაა სატრანსპორტო პროცესის ოპტიმალური მართვა. ოპტიმალურობის კრიტერიუმია შემოსავლების გადაჭარბება ხარჯებზე გადაადგილების უსაფრთხოების სრული დაცვის პრობლემაში. ანუ ეს ორი ამოცანაა პრობლემის გადაჭრის საშუალება.

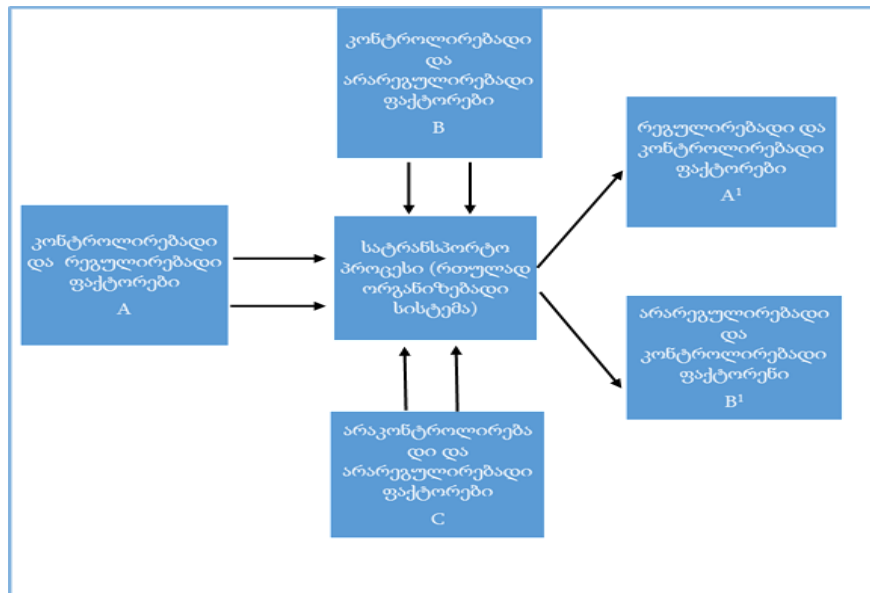
- **სატრანსპორტო სისტემის ფუნქციონირების განმსაზღვრელი ფაქტორების დიფერენცირება**

სატრანსპორტო პროცესი რთული და ძნელი ორგანიზებადი მოვლენაა, რომელთა განმსაზღვრელი ფაქტორების ერთობლიობა შეიძლება პირობითად დავყოთ რამდენიმე ჯგუფად: რეგულირებადი და კონტროლირებადი ფაქტორები; ფაქტორები, რომელთა კონტროლირება

შესაძლებელია, რეგულირება - არა; ფაქტორები, რომელთა არც რეგულირება და არც კონტროლირებაა შესაძლებელი. კიბერნეტიკის თეორიის საფუძვლების თანახმად სისტემები, რომელთა ფუნქციონირებას განსაზღვრავენ ასეთი ტიპის ფაქტორები რთულია და ძნელად ორგანიზებადი, მაგრამ არსებობს სრული შესაძლებლობა მისი მათემატიკური მოდელის ჩარჩოებში მოქცევისა.

ჩვენს შემთხვევაში სატრანსპორტო პროცესის განმსაზღვრელი ფაქტორების ზემოხსენებული მიდგომით დიფერენცირებისას ამოვდივართ შემდეგი საკანონმდებლო და აღმასრულებელი სტრუქტურების შესაძლებლობებიდან: პარლამენტი და მისი შესაბამისი კომისიები, რომლებიც განსაზღვრავენ ეკონომიკასა და ტრანსპორტს, ეკონომიკის, ინფრასტრუქტურის და ა.შ. სამინისტროები, სახმელეთო ტრანსპორტის სააგენტო, საავტომობილო გზების დეპარტამენტი, საბაჟო დეპარტამენტი, შსს სტრუქტურები, მათ შორის საპატრულო პოლიცია და ა.შ.

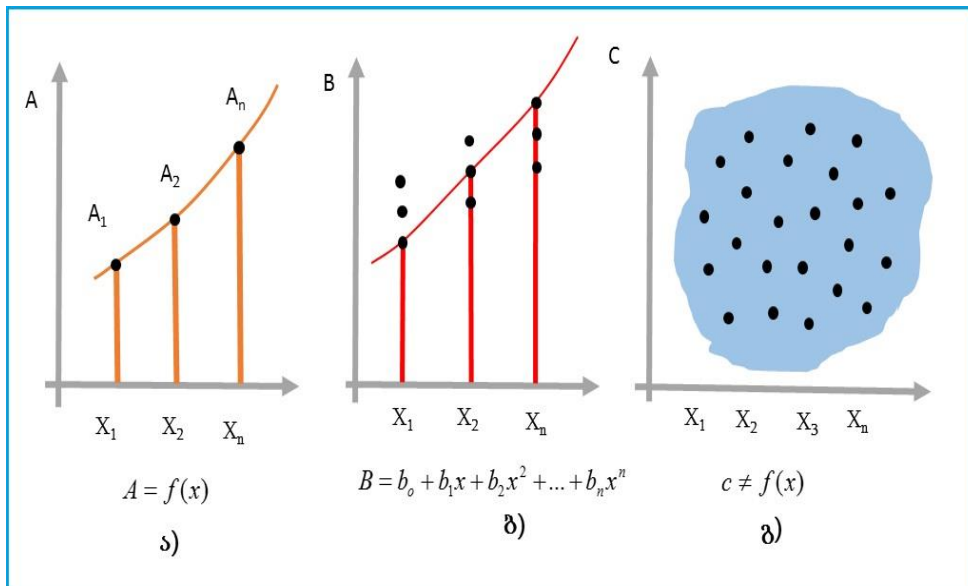
კონტროლის ორგანოებში, სახელმწიფო სტრუქტურების გარდა, შეიძლება აღვნიშნოთ არასამთავრობო ორგანიზაციები, მასობრივი ინფორმაციის საშუალებები და სხვა.



**ნახ. 8. სატრანსპორტო პროცესის, როგორც რთულად ორგანიზებადი სისტემის ფუნქციონირების სქემა - A, B, C ამოსავალი ფაქტორები და A<sup>1</sup> B<sup>1</sup> მიღებული პარამეტრები.**

ზემოთქმულის გათვალისწინებით ნახ.8-ზე მოცემულია სატრნსპორტო პროცესზე მოქმედი ფაქტორების სქემა.

რეგულირებადი და კონტროლირებადი ფაქტორების ფუნქციონირება შეიძლება დიდი სიზუსტით აღიწეროს მათემატიკური განტოლებებით. ვინაიდან არგუმენტის სიმრავლის ყოველ ელემენტს ფუნქციის სიმრავლის ერთადერთი ელემენტი შეესაბამება.  $A=f(x)$  (ნახ.9.ა) კონტროლირებადი, მაგრამ არარეგულირებადი ფაქტორების ფუნქციონალური დამოკიდებულების აღწერა შეიძლება  $n \in N(n \geq 2)$  ხარისხის პოლინომით  $B = b_0 + b_1x + b_2x^2 + \dots + b_nx^n$ . ამ შემთხვევაში ყოველ  $x$  არგუმენტს  $B$ -ს რამდენიმე მნიშვნელობა შეესაბამება. ამიტომ მიზეზ-შედეგობრივი კავშირების დადგენა შესაძლებელია მხოლოდ გარკვეული მიახლოებით, მათემატიკური სტატისტიკისა და ალბათობის თეორიის მეთოდების გამოყენებით. რამდენად დამაჯერებელია ფუნქციის ცვლილების კავშირი არგუმენტის პასუხზე ფასდება შესაბამისი კრიტერიუმით, მაგ: კორელაციის კოეფიციენტით, ხდომილების ალბათობით და ა.შ. (ნახ.9.ბ.).



**ნახ.9. სხვადასხვა ტიპის ფაქტორების სისტემის ფუნქციონირებასთან ურთიერთკავშირის გრაფიკული გამოსახვა**

არარეგულირებად და არაკონტროლირებად ფაქტორებს შორის მიზეზშედეგობრივი კავშირის დადგენა შეუძლებელია, შესაძლოა მხოლოდ

სისტემის ფუნქციონირების შედეგად მიღებული პარამეტრის მომხდარი ფაქტის შემდეგ დაფიქსირება ( ნახ.9.გ.).

**• სატრანსპორტო პროცესის მართვის მათემატიკური მოდელი**

სატრანსპორტო პროცესის მართვის ქვემოთ აღწერილი მექანიზმი ეფუძნება დარგის ეკონომიკური ეფექტურობის მაჩვენებლებს. ამ მიმართულებით არსებობს ქართველი და უცხოელი მკვლევართა რიგი ნამუშევრები, რომლებიც მიძღვნილია ერთიანი სატრანსპორტო სისტემის და მისი ცალკეული სახეობათა მართვის პრობლემებისადმი. ბოლო პერიოდის ნაშრომებში მოცემულია საგზაო ინფრასტრუქტურის ადგილობრივი ფინანსური რესურსებით უზრუნველყოფის მექანიზმი დაფუძნებული ფისკალური მექანიზმის, საგზაო ფონდის შესაძლებლობებზე. ამ მექანიზმში მიზეზ-შედეგობრივი კავშირების დადგენისას ძირითადი არგუმენტია ავტომობილიზაციის დონე, რომლის ოპტიმალური სიდიდე შეესაბამება ხარჯებისა და შემოსავლების საბალანსო მდგომარეობას. ჩვენს მიერ შემუშავებული მეთოდი კი საშუალებას იძლევა ვმართოთ, როგორც მთლიანი სატრანსპორტო დარგის, ისე მისი ნებისმიერი ცალკეული სახეობა. ყველა სახის ფაქტორის ცვალებადობა განხილულია დროის მიხედვით. იგი მიზეზ-შედეგობრივი კავშირების დადგენის პროცესში ძირითადი არგუმენტია და წარმატებით შეიძლება გამოყენებული იქნეს სატრანსპორტო პროცესების მართვის პრაქტიკული ამოცანების გადასაწყვეტად.

სატრანსპორტო პროცესის მართვის მათემატიკური მოდელი ეფუძნება დარგის შემოსავლებსა და ხარჯებს შორის ბალანსის განტოლებას. როგორც ხარჯები ისე შემოსავლების დამოკიდებულება მათი განსაზღვრული ფაქტორებისადმი მიზანშეწონილია წარმოვადგინოთ მაღალი რიგის, პოლინომის სახით, ვინაიდან ხარჯების წრფივი ფუნქციით აღწერა არარეალურია მისი სიხისტის გამო, ხოლო შემოსავლების დაგეგმვა წრფივი ფუნქციით შეიძლება გახდეს სოციალური მღელვარების მიზეზი მკაცრი

ფისკალური პოლიტიკით ან ხარჯების შემცირებების გადაწყვეტილებებით საზოგადოებრივი პროტესტის გამო.

ვუშვებთ, რომ შემოსავლების მრუდი შეიძლება აღიწეროს  $n \in N (n \geq 2)$  ხარისხის პოლინომით, რომელსაც აქვს სახე:

$$f_1(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_nx^n \quad (1)$$

ანალოგიურად, ხარჯების მრუდის განტოლება, ასევე  $n$ -ური ხარისხის პოლინომია:

$$f_2(x) = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 + \dots + b_nx^n \quad (2)$$

სადაც  $a_0, a_1, \dots, a_n$  და  $b_0, b_1, \dots, b_n$  არის ნამდვილი რიცხვების კოეფიციენტები  $x$  ცვლადით.

ჩვენი მიზანია, რომ სატრანსპორტო პროცესის შედეგად მიღებული შემოსავლები აჭარბებდეს გასავალ ხარჯებს და სისტემა იყოს მომგებიანი ე.ი. უნდა კმაყოფილდებოდეს პირობა:  $f_1(x) > f_2(x)$ , ანუ

$$(a_0 - b_0) + (a_1 - b_1)x + (a_2 - b_2)x^2 + (a_3 - b_3)x^3 + \dots + (a_n - b_n)x^n > 0 \quad (3)$$

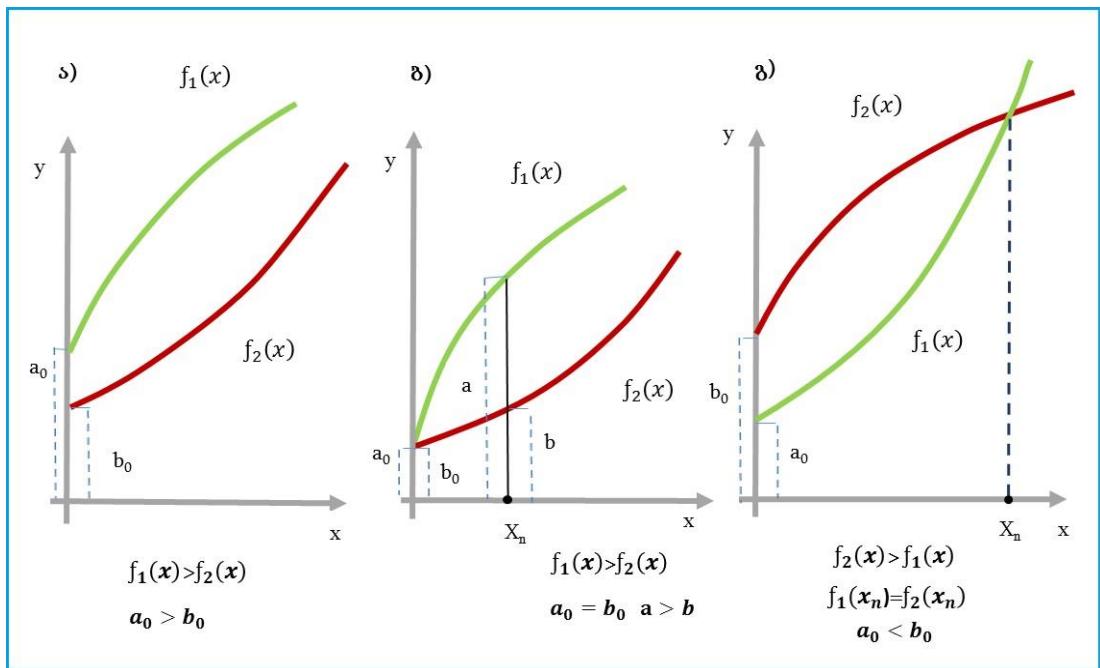
განტოლების საბალანსო წერტილის პოვნა, ანუ დროის მომენტის, როდესაც ხარჯები გაუთანაბრდება შემოსავალს, ე.ი.  $f_1(x) = f_2(x)$ , ამ მომენტის დასადგენად ხელსაყრელია შემოვიღოთ აღნიშვნა:

$$a_n - b_n = m; \quad a_3 - b_3 = a; \quad a_2 - b_2 = b; \quad a_1 - b_1 = c; \quad a_0 - b_0 = d$$

მაშინ მივიღებთ განტოლებას:

$$d + cx + bx^2 + ax^3 + \dots + mx^n = 0. \quad (4)$$

სატრანსპორტო პროცესის ფუნქციონირების განმსაზღვრელი შემოსავლების და ხარჯების მრუდებს, რომლებიც აღიწერება  $f_2(x)$  და  $f_1(x)$  ფუნქციებით შეიძლება ჰქონდეთ სხვადასხვა სახე და ერთმანეთის მიმართ სხვადასხვა განლაგება (ნახ.10):



**ნახ.10. ხარჯებისა და შემოსავლების მრუდებით აღწერილი სისტემის მდგომარეობა**

როგორც ნახ.10-დან ჩანს, სისტემის მდგომარეობის *ა) ვარიანტი* გვიჩვენებს, რომ სისტემა მომგებიანია მართვის საწყისი ეტაპიდანვე, *ბ) ვარიანტი* გვიჩვენებს, რომ სისტემა საწყის ეტაპზე დაბალანსებული იყო ანუ ხოლო შემდეგ სისტემა გახდა მომგებიანი. *გ) ვარიანტი* გვიჩვენებს, რომ სისტემა საწყის ეტაპზე წამგებიანი იყო და შემდგომ კი გადაიქცა მომგებიანად.

*ა) შემთხვევა:* პროცესი მომგებიანია, ვინაიდან თავიდანვე შემოსავლები აჭარბებს ხარჯებს. ჩვენი მიზანია შევინარჩუნოთ  $f_1(x) > f_2(x)$  პირობა და ვესწრაფოდეთ  $a - b$  სხვაობა იყოს დადებითი და ზრდადი.

*ბ) შემთხვევა:* ათვლის საწყის პერიოდში პროცესი დაბალანსებულია, ანუ ხარჯები და შემოსავლები თანატოლია. ჩვენი მიზანია, უზრუნველყოთ  $a > b$  ამასთან  $a_0 - b_0 > 0$  პირობებიც და შემდგომ  $a - b$  სხვაობის დადებითად ზრდადობა.

*გ) შემთხვევა:* პროცესი წამგებიანია, მისი ხარჯები აჭარბებს შემოსავლებს არგუმენტის  $x = x_n$  მნიშვნელობამდე. ჩვენი მიზანია ჯერ მოვახდინოთ სისტემის დაბალანსება, რაც მიიღწევა  $a_0$ -ის გაზრდით და  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , კოეფიციენტების ზრდადი ხასიათის შენარჩუნებით  $b_0$ -ის



შემცირება და  $b_1, b_2, \dots, b_n$  კოეფიციენტების სიდიდეების შემცირების ტენდენციის შემდგომი უზრუნველყოფით. დაბალანსების შემდგომ კი უზრუნველყოფით პირობის შენარჩუნებას  $f_1(x) > f_2(x)$ .

• **სატრანსპორტო პროცესების მართვის განტოლებათა ამოხსნა**

სატრანსპორტო პროცესების მათემატიკური მოდელირების შესაძლებლობათა ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ხარჯებსა და შემოსავლებზე მოქმედი კონტროლირებადი, მაგრამ არარეგულირებადი ფაქტორების დროში ცვალებადობის კანონზომიერებები საკმაო სიზუსტით შეიძლება აისახოს მესამე ან მეოთხე ხარისხის პოლინომებით.

თეორიულად ხარჯების ან შემოსავლების აღმწერი პოლინომი შეიძლება იყოს მეხუთე ან მეტი ხარისხის. განტოლების ამოხსნა ანუ ხარჯებისა და შემოსავლების საბალანსო წერტილების პოვნა ანუ ხარჯებისა და შემოსავლების საბალანსო წერტილის ზუსტი ანალიტიკური დადგენა შესაძლებელია თუ  $n < 5$ , თუ  $n > 5$ , მაშინ მიზანშეწონილი შეიძლება გახდეს რიცხვითი ან გრაფიკული ექსტრაპოლაციის მეთოდებით სარგებლობა. ეს უკანასკნელი ამოხსნის სიზუსტეზე მოახდენს გარკვეულ ზეგავლენას. ცდომილებამ შეიძლება შეადგინოს 3-5 წელი, რაც პრაქტიკული ამოცანების გადასაწყვეტად მნიშვნელოვანი ხარვეზია. აქედან გამომდინარე ჩვენს შემთხვევაში მათემატიკური მოდელირების ძირითადი ამოცანის გადასაწყვეტად მიზანშეწონილია განტოლებათა ამოხსნის შედარებითი ზუსტი ანალიზური ხერხის შერჩევა.

ქვემოთ მოყვანილია განტოლებების ამოხსნის ჩვენს მიერ გამოყენებული ხერხები:

განვიხილოთ  $n$  ხარისხის განტოლება, რომლის მარცხენა მხარე  $n \in N(n \geq 2)$  ხარისხის პოლინომია. განვიხილოთ კერძო შემთხვევები, დავუშვათ, რომ  $n = 3$ , მაშინ მივიღებთ კუბურ ანუ მესამე ხარისხის განტოლებას:

$$ax^3 + bx^2 + cx + d = 0, \tag{5}$$

სადაც  $a, b, c, d$  - კოეფიციენტებია (ნამდვილი რიცხვები);  $x$  - ცვლადი.

(5) კუბური განტოლების ამოხსნის პირველი ხერხი: დავშალოთ (5) განტოლების მარცხენა მხარე მამრავლებად, ეს შესაძლებელია, თუ თავისუფალი წევრის გამყოფებს შორის მოიძებნება ისეთი, რომელიც (5) განტოლებას დააკმაყოფილებს, მაშინ

$$ax^3 + bx^2 + cx + d = a(x - \alpha)(x - \beta)(x - \gamma)$$

და მაშინ განტოლების ამოხსნათა სიმრავლე იქნება  $\{\alpha, \beta, \gamma\}$ . საკმარისია ვიპოვოთ დაშლა  $ax^3 + bx^2 + cx + d = a(x - \alpha)(x^2 + mx + n)$ , ე.ი. მოვახერხოთ წრფივი გამოსვლის გამოყოფა, მაშინ ერთი ამონახსნი იქნება  $x = \alpha$ , ხოლო დანარჩენ ორს ვიპოვოთ  $x^2 + mx + n = 0$  განტოლებებიდან.

**მეორე ხერხი.** თუ პირველი ხერხით ვერ მოხერხდა (5) კუბური განტოლების ამოხსნა, მაშინ საჭიროა გამოვიყენოთ ჯ.კარდანოს მეთოდი, ე.ი. (5) განტოლება დავიყვანოთ ე.წ. დაყვანილ კუბურ განტოლებაზე. ამ მიზნით ვისარგებლოთ შემდეგი ჩასმით:

$$x = y - \frac{b}{3a}, \quad (6)$$

$$\text{მივიღებთ: } y^3 + py + q = 0, \quad (7)$$

$$\text{სადაც } P = \frac{c}{a} - \frac{b^2}{3a^2}, \quad q = \frac{2b^3}{3a^3} - \frac{bc}{3a^2} + \frac{d}{a}.$$

რადგან (5) განტოლების კოეფიციენტები ნამდვილი რიცხვებია, ამიტომ განტოლების ამონახსნების პოვნისას ძირითად როლს ასრულებს

$$Q = \frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}$$

გამოსახულების ნიშანი, რადგან კარდანოს ფორმულებში  $Q$

მოთავსებულია კვადრატული ფესვის ქვეშ.

შევნიშნოთ, რომ  $Q$ -ს ნიშანს აქვს (7) კუბური განტოლების  $D$  დისკრიმინანტის საპირისპირო ნიშანი, რომელიც გამოითვლება ფორმულით:

$$D = -4P^3 - 27q^3 = 108\left(\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}\right) = -108Q.$$

როგორც ცნობილია, ჯ.კარდანოს მიხედვით (7) განტოლების ფესვები

$$\text{ჩაიწერება შემდეგი სახით: } y_1 = A + B, \quad y_{2,3} = \frac{A+B}{2} \pm i \frac{A-B}{2}, \quad (8)$$

$$\text{სადაც, } A = \sqrt{-\frac{q}{2} + \sqrt{Q}}, \quad B = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{Q}}. \quad (9)$$

(7) განტოლების ფესვების გამოკვლევის მიზნით გამოვიყენებთ  $D$  დისკრიმინანტის ნიშანს. განვიხილოთ სამი შემთხვევა:

1. ვთქვათ  $D < 0$ . ამ შემთხვევაში (7) განტოლებას აქვს ერთი ნამდვილი და ორი შეუღლებული კომპლექსური ფესვი;

$$2. \text{ვთქვათ } D = 0. \text{ ამ შემთხვევაში } A = \sqrt[3]{-\frac{q}{2}} \quad B = \sqrt[3]{-\frac{q}{2}}$$

მაშასადამე ჯ.კარდანოს (8) ფორმულების თანახმად (7) განტოლების სამივე ფესვი ნამდვილი, ნამდვილი რიცხვია, ამასთან ორი მათგანი ერთმანეთის ტოლია;

3. ვთქვათ  $D > 0$ . ამ შემთხვევაში კარდანოს ფორმულებში კვადრატული ფესვის ქვეშ მოთავსებული  $Q < 0$  ნამდვილი რიცხვია. ამიტომ კუბურ რადიკალის ქვეშ მოთავსებულია შეუღლებული კომპლექსური რიცხვები და საბოლოოდ მივიღებთ, რომ (7) განტოლებას აქვს სამი ნამდვილი ამონახსნი. ცხადია (7) განტოლების ნაპოვნი  $y_1, y_2, y_3$  ფესვები უნდა შევიტანოთ (6) -ში და ვიპოვოთ (5) საძიებელ ფესვთა  $\{x_1, x_2, x_3\}$  სიმრავლეს.

### ნაშრომში ჩამოყალიბებულია შემდეგი ძირითადი დასკვნები

1. დასაბუთებულ იქნა, რომ საერთაშორისო და შიდასახელმწიფოებრივი გზების რეაბილიტაციისა და რეკონსტრუქციის პროექტებში აუცილებელია საპროექტო ვარიანტების ტექნიკურ-ეკონომიკურ შედარების ნაწილში ევროპული ძირითადად ვაკე რელიეფისათვის განკუთვნილი მეთოდების მაგიერ გამოვიყენოთ საქართველოს ბუნებრივი პირობებისადმი, კერძოდ, მთაგორიანი რელიეფისადმი მისადაგებული მეთოდები. საერთაშორისო HDM სისტემის ქართული ვარიანტი უნდა ითვალისწინებდეს ქვეყნის საგზაო ქსელის

თავისებურებებს და საქართველოს ავტოპარკის არსებულ და პერსპექტიულ მდგომარეობას. ასეთ შემთხვევებში იგი გამოსადეგი იქნება სამხრეთ კავკასიის რეგიონისა და ანალოგიური რელიეფის და ბუნებრივი პირობების მქონე სხვა ქვეყნებისათვის.

2. მიზანშეწონილია, რომ თანამედროვე პირობებში საავტომობილო გზის ყველაზე უფრო რთული მონაკვეთის გამტარუნარიანობა უზრუნველყოფდეს მოძრაობის კომფორტულობის CF1 და CF2 დონეს. CF3 დონის მიღწევა მშენებლობის დამთავრების შემდეგ, მეათე წლის პერსპექტიული ინტენსივობით დაუშვებელია. ასეთ დონეს იგი უნდა აღწევდეს, მხოლოდ მეოცე წლისათვის. CF4 დონე დაუშვებელია თანამედროვე საავტომობილო გზებისათვის.

3. შემუშავებულ და სრულყოფილ იქნა სახმელეთო სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის ობიექტების კლასიფიკაცია ხიფათიანობის მიხედვით სარკინიგზო და საავტომობილო ტრანსპორტისთვის.

4. ავტოპარკისა და საგზაო მოძრაობის ინტენსიობის ზრდის ტემპების ანალიზის საფუძველზე დადგენილ იქნა, რომ პროგნოზირებად მომავალში საქართველოს ავტოსაგზაო ქსელის დაპროექტების პროცესში პირველ პლანზე უნდა იყოს სატრანსპორტო ნაკადების უსაფრთხო გადაადგილება და ავტომობილებზე მოქმედი მოძრაობის წინააღმდეგობისა და სხვა მექანიკური ძალების მინიმუმამდე დაყვანა, რაც უზრუნველყოფს გადაადგილების ეკონომიურ ეფექტურობას.

5. დადგენილია, რომ საქართველოს საგზაო ქსელის განვითარებისთვის პრიორიტეტულია ავტომანქანების ქსელის შექმნა გზაჯვარედინის პრინციპით დასავლეთ აღმოსავლეთისა და ჩრდილოეთსამხრეთის მიმართულებებით. პირველ რიგში ხაშური-ზეესტაფონის მონაკვეთი და ვაზიანი-ბაკურციხე-ლაგოდეხი, შემდგომ ავტომანქანების ნატახტარი-ჟინვალის, თბილისი-სადახლოს და თბილისი-წითელი ხიდის მიმართულებაზე საავტომობილო მაგისტრალებით სატრანსპორტო კავშირების უზრუნველყოფა;

პარალელურად უნდა მოხდეს მაღალმთიანი რეგიონების ხევი, პირიქითა ხევისურეთი, თუშეთი და სვანეთის დანარჩენ საქართველოს დამაკავშირებელი გვირაბების აშენება; იმერეთის, სამეგრელოს, რაჭის, აჭარის და გურიის მაღალმთიან რაიონების საგზაო ქსელის მოდერნიზაცია.

6. ანალიზის შედეგად დადგინდა, რომ საქართველოსათვის ტიპიური ბუნებრივი ლანდშაფტებისათვის სატრანსპორტო თვალსაზრისით მაგისტრალური გზებით მაღალი ქედების გადაკვეთისას მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ გვირაბები პორტალების ნიშნულით ალპური ზონის საზღვრებს ქვემოთ. საქართველოსთვის ეს შეადგენს 1800მ სიმაღლეზე ნაკლებს ზღვის დონიდან (გაადვილებულია გვირაბის პორტალებთან მისასვლელი მონაკვეთების ექსპლუატაცია ზამთრის პირობებში).

7. დასაბუთებულ იქნა საქართველოს მთიან პირობებში „ჩრდილოეთ“, „სამხრეთ“ და რადიალური მიმართულებით ვიწროლიანდიანი რკინიგზების მოწყობის მიზანშეწონილობა, რეგიონალური თავისებურებების, საზღვრისპირა მაღალმთიან რეგიონებში ქვეყნის თავდაცვისუნარიანობის გაზრდის, ბალნეოლოგიურ-კლიმატური რესურსებისა და მინერალური წყლების რაციონალური გამოყენების, ცენტრალურ რეგიონებთან მთელი წლის განმავლობაში შეუფერხებელი კავშირის გათვალისწინებით, ნებისმიერ კლიმატურ პირობებში მოძრაობის უწყვეტობის, უსაფრთხოებისა და კომფორტულობის უზრუნველყოფით.

8. შემოთავაზებულია კავკასიონის ქედის მიუვალ მწვერვალებთან (უშბა, უშგული, მწინვარწვერი, ჩხალთა და სხვა) ტურისტული მიზნით ეგრეთწოდებული „კბილანიანი რკინიგზის“ მოწყობა ციცაბო ქანობზე.

9. შემუშავებულ იქნა საქართველოს მთიანი პირობებისათვის ვიწროლიანდიანი რკინიგზების მოწყობის ძირითადი ტექნიკური პარამეტრები (ლიანდაგის კონსტრუქციული მოწყობის, დაპროექტებისა და მოვლა-შენახვის ძირითადი ნორმები), მათ შორის ლიანდის რამდენიმე სიგანისათვის (1067 მმ, 1000 მმ, 750 მმ , 912 მმ).

10. გაანგარიშებით დასაბუთებულია P50 ტიპის ნაძველარი რელსების (მაქსიმალური 20მმ-იანი დაყვანილი ცვეთით) გამოყენების შესაძლებლობა ვიწროლიანიდან რკინიგზებზე მოძრავი შემადგენლობიდან რელსზე გადაცემული 140 კნ დატვირთვების შემთხვევაშიც კი.

11. დადგენილ იქნა ვიწროლიანიდან რკინიგზების მშენებლობის ეკონომიკური უპირატესობა დაბალი კატეგორიის მაგარსაფარიანი საავტომობილო გზების მშენებლობასთან შედარებით და 1 კმ-ზე შეადგინა 4509 835 ლარი, ანუ 35 %-ით უფრო იაფი.

12. დადგენილ იქნა, სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის ფუნქციონირებაზე მომქმედი ბუნებრივი და ტექნოგენური ფაქტორებ რეგულირებადობისა და კონტროლირებადობის მიხედვით. რეგულირების და კონტროლის განხორციელება შესაძლებელია სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის დაპროექტების სრული ციკლის შესრულებით: ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთება, კონსტრუირება და ანგარიში. რეგულირებისა და კონტროლირების მექანიზმის საფუძველია საკანონმდებლო და ნორმატულ-ტექნიკური ბაზა.

13. დადგენილ იქნა, რომ რეგულირებადი და კონტროლირებადი ფაქტორების ფუნქციონირება პრაქტიკისთვის საკმაო სიზუსტით შეიძლება აღიწეროს მათემატიკური განტოლებებით, სადაც ყოველ არგუმენტს ერთი ფუნქციური მნიშვნელობა გააჩნია. კონტროლირებადი, მაგრამ არარეგულირებადი ფაქტორების ფუნქციონირების აღწერა შეიძლება მრავალწევრა პოლინომის სახით. სადაც ყოველ არგუმენტს რამდენიმე პასუხი აქვს. მიზეზ-შედეგობრივი კავშირების დადგენა შესაძლებელია მხოლოდ გარკვეული მიახლოებით, მათემატიკური სტატისტიკისა და ალბათობის თეორიის მეთოდების გამოყენებით. არარეგულირებად და არაკონტროლირებად ფაქტორებს შორის მიზეზ-შედეგობრივი კავშირის დადგენა შეუძლებელია, შესაძლოა მხოლოდ სისტემის ფუნქციონირების შედეგად მიღებული პარამეტრის მომხდარი ფაქტის შემდეგ დაფიქსირება.

14. შემუშავებულია სატრანსპორტო პროცესის მართვის მათემატიკური მოდელი, რომელიც ეფუძნება დარგის შემოსავლებსა და ხარჯებს შორის ბალანსის განტოლებას, წარმოდგენილი მრუდწიროვანი მრავალწევრა პოლინომის სახით, რაც საშუალებას იძლევა ხარჯებისა და შემოსავლებისგან მსაზღვრელი ფაქტორების ვარირებით ოპტიმალურად წარიმართოს სატრანსპორტო პროცესი.

**დისერტაციის ძირითადი შინაარსი ასახულია შემდეგ პუბლიკაციებში:**

1. ზ.გაბედავა, ნ.რურუა, კ.მჭედლიშვილი. სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის ობიექტების სერტიფიცირებისა და ლიცენზირების საკითხები // “მშენებლობა”, ISSN 1512-3936 [www.sheneba.ge](http://www.sheneba.ge). თბილისი. 2015, #2(37). –გვ.161-164.
2. ზ.გაბედავა, ნ.რურუა, კ.მჭედლიშვილი. სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის განვითარების პერსპექტივები // “მშენებლობა”, ISSN 1512-3936 [www.sheneba.ge](http://www.sheneba.ge). თბილისი. 2016, #4(43). –გვ.116-118.
3. ზ.გაბედავა, ნ.რურუა, კ.მჭედლიშვილი. საქართველოს ავტოსაგზაო ინფრასტრუქტურის განვითარების ამოცანები // “მშენებლობა”, ISSN 1512-3936 [www.sheneba.ge](http://www.sheneba.ge). თბილისი. 2016, #4(43). –გვ.133-139.
4. ზ.გაბედავა, ნ.რურუა, კ.მჭედლიშვილი. ლიანდაგის ზედა ნაშენის ძირითადი კონსტრუქციული ელემენტების ტექნიკური პარამეტრების შერჩევა ვიწროლიანდიანი რკინიგზებისათვის საქართველოს პირობების გათვალისწინებით // “ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა”, ISSN 1512-3537. [www.satransporto.gtu.ge](http://www.satransporto.gtu.ge) თბილისი. 2017, #1(38). –გვ.154-163.
5. ზ.გაბედავა, კ.მჭედლიშვილი, ნ.რურუა. სატრანსპორტო პროცესის ეკონომიკური ეფექტურობის ზოგიერთი ამოცანის ამოხსნა კარდანოსა და ფერარის განტოლებებით // “ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა”, ISSN 1512-3537. [www.satransporto.gtu.ge](http://www.satransporto.gtu.ge) თბილისი. 2017, #1(38). –გვ.164-173.
6. ზ.გაბედავა. სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის განვითარების ფინანსური უზრუნველყოფის მექანიზმები // “ბიზნეს-ინჟინერინგი”, ISSN 1512-0538. [www.business-engineering.bpengi.com](http://www.business-engineering.bpengi.com) თბილისი. 2017, N1-2. გვ. 152-155.



## Summary

For the economical development of the country, first of all, it is recommended to develop main types of transportation: rail, automobile, marine, air and pipeline means. In the perspective plan it is expected Georgian unified transport complex to carry over 300 million tons of burden per year. The tempo and capacities of development of tourism and recreation activities in nearest 10 years will make it real to receive 10 million tourists a year the main means of service are automobiles and railway. Consequently the demand for modern safe and well-equipped road infrastructure will be increased: Consequently, the demand for modern safe and well-equipped road infrastructure, international motor and railway highways and internal state networks providing local, tourist and transit passenger services through railways, stations, camping facilities, public food facilities and a wide range of fuel stations and so on.

Georgian transport infrastructure shall carry such huge amount of transit cargo on its territory and at the same time to satisfy internal demand of passengers and cargoes. All the above mentioned forces us to carry out intensive research, to project transport infrastructure objects to develop rational and perfect construction and exploitation methods. They shall provide all necessary safety, economical and ecological demands on transport.

Shall be found economical possibilities and the development perspectives of economical and political processes shall be assessed. With this shall be started taking care of unified, complex development of transport infrastructure. Along with the abovementioned shall be resolved many problematic issues regarding to the custom system, borders, defense, security and many others. One of the means of successful solution of the mentioned problem is to creating a high quality and long-range ground communication network with its relevant service elements.

In development of any type of mass transportation infrastructure major place takes the solution of land transport infrastructural problems.

In the thesis is made qualitative and quantitative comparison of problems in development of Georgian transportation infrastructure having technical and economical nature, is set perspective directions of infrastructure development and are given recommendations regarding to the salvation of problems.

The prospects for development of technical standards of Georgian road and railway infrastructure are taken into consideration with modern and perspective requirements of economy, safety and comfortable movement; The scientifically well-grounded recommendations have been developed regarding to road, narrow railroad and railways in Georgia for the recent future and prospects; A list of basic and alternative sources of financial support for construction and exploitation of transport infrastructure elements has been developed by quantitative evaluation of their capabilities; also have been developed specific directions of financial security for development of transport infrastructure and the mechanisms of management of economic processes in the form of appropriate mathematical model.

The types of typical sections of motor roads are defined with relevant qualitative and quantitative characteristics of natural landscapes of Georgia.

The classification of transport infrastructure elements has been developed on the basis of the risk of passenger and cargo movement in the pre-project stage. Specific objectives of development of Georgian road infrastructure are set by taken into consideration the priority of social, technical and economic factors.

The economic advantage of the narrow railroad network is defined for mountainous and high mountainous regions of Georgia in comparison to motor roads. The priority methods of rational tracing of roads are determined by taking into consideration the natural conditions of Georgia and the volume of the vehicle flows. The need to calculate the rolling stock, transport costs and ecological parameters in the pre-project, technical-economic comparison is determined by the modern methods used for mountainous terrain of Georgia. The list of specific advantages of the social and technical-economic nature expected from the development of the network of the narrow-lined railway network has been developed. The technical class of narrow-lined railways has been developed taking into account the natural conditions, social, technical and economic factors of Georgia. The main directions of financial support for the development of transport infra-structure have been determined, detailed information on the technical and economic factors determining the functioning of the transport process is selected by quantitative and qualitative characteristics and analytical images. The rational method of solving the transport process management equations has been developed.

The mathematical model enables the transport process to be optimally optimized by the variable factors from the costs and the revenues; for example rational organization of cargo and passenger movement process, forming a park with efficient means of transportation.

For improvement of quantitative and qualitative transport infrastructure indicators are developed for the following recommendations: instead of use of foreign percentage loans for costs of infrastructure development usage of internal economic resources, increase of fiscal load funds of customers of communication and the Road Fund purposeful spending; Emission of securities; paid roads and reduce of costs of transportation of individual artificial structures by using highquality and economical auto park for the owners at the same time by selecting the appropriate level of fiscal loading.

The analysis of mathematical model of transport process management shows that the regularity of the controlled but non-regulating factors on the spending and revenues can be reflected by quite accurate the third or fourth degree polynomials of the variability in time.

For solution of the third degree equations is selected the method of Italian mathematician J. Kardano. For solving the fourth degree equations is selected the mean of L. Ferrari. The solution of fifth and more degree equations is not possible by the arithmetic operations and removing roots of the Abel-Rufin theory. In such cases it is advisable to use numerical methods developed by I. Nuton.