

## „რეალობის მოდელირების“ როლი „ჭკვიანი ქალაქის“ კონცეფციაში

მარინე ბრელიძე, მაია დოლიძე, თინათინ კაიშაური  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

### რეზიუმე

განხილულია „რეალობის მოდელირების“ განვითარების და პრაქტიკული გამოყენების პერსპექტივები „ჭკვიანი ქალაქის“ თანამედროვე კონცეფციის სისტემაში. აღწერილია ფოტოგრამმეტრიის მეთოდი, როგორც სამგანზომილებიანი კოორდინატების მიღება ფოტოსურათების გაზომვის საფუძველზე. ჩატარებულია Autodesk ReCap პროგრამის ძირითადი შესაძლებლობების ანალიზი მათი რეალიზაციის გათვალისწინებით სხვადასხვა სფეროში. საილუსტრაციოდ წარმოდგენილია ამ პროგრამის გამოყენების მაგალითები ისეთი მიმართულებებით, როგორცაა შენობების დაპროექტება და რენოვაცია, ინფრასტრუქტურული პროექტები, ციფრული რესტავრაცია.

**საკვანძო სიტყვები:** რეალობის მოდელირება. Cloud Computing. Big Data. ჭკვიანი ქალაქი. ფოტოგრამმეტრია. BIM (Building Information Modeling).

### 1. შესავალი

რეალობის მოდელირება (reality modeling), ეს უპირველეს ყოვლისა რელიეფის საჭირო სიზუსტის სამგანზომილებიანი მოდელია ყველა არსებული ხელოვნური ნაგებობებით და ზუსტი გეოდეზიური მიზმით [1].

ბოლო რამდენიმე წლის განმავლობაში, შეგვიძლია ვისაუბროთ რეალობის მოდელირების მიმართ ინტერესის მკვეთრ ზრდაზე, კონკრეტული სამუშაოების დონეზე დიდ ქალაქებსა და ტერიტორიებზე, საწარმოებში, სატრანსპორტო მაგისტრალებზე, ცალკეულ წარმოებულ ან არსებულ სამშენებლო ობიექტებზე, პერსპექტიული განვითარების მთელ რიგ რეგიონებზე და ასევე ბევრ სხვა საინვესტიციო პროექტებზე მსოფლიოს სხვადასხვა ქვეყნებში.

ეს უშუალოდ უკავშირდება იმ ფაქტს, რომ რეალობის მოდელირებისათვის აუცილებელმა ტექნიკურმა აღჭურვილობამ და პროგრამულმა უზრუნველყოფამ მიაღწია განვითარების საჭირო დონეს. პროგრამული უზრუნველყოფის განვითარების ძირითადი მიმართულებები ემთხვევა ეკონომიკის ტექნოლოგიური ცვლილებების მიმართულებებს: ღრუბლოვანი გამოთვლები (Cloud Computing); მობილური მოწყობილობების, თანამედროვე სმარტფონების მზარდი შემოღწევა ჩვენს ცხოვრებაში; სენსორების ფართო და მზარდი გავრცელება; უშუალოდ დრონებით მიღებული ფოტოების მიხედვით კომპიუტერული მოდელის შექმნის საშუალებები; დიდი მონაცემები (Big Data) [2].

ეს იმას ნიშნავს, რომ რეალობის მოდელირებაში ფოტოგრამმეტრია იქნება მოწინავე პოზიციებზე მრავალი წლის განმავლობაში.

### 2. ძირითადი ნაწილი

ფოტოგრამმეტრია (Photogrammetry) არის მეცნიერება, რომელიც სწავლობს სხვადასხვა ობიექტების ფორმების, ზომების, სივრცეში მდებარეობის და დროში

ცვლილების ხარისხის დადგენის საშუალებებს, მათი ფოტოგრაფიული გამოსახულების გაზომვის შედეგების გათვალისწინებით [3].

ფოტოგრამმეტრიის შესწავლის საგნებია - სურათების გეომეტრიული და ფიზიკური თვისებები, მათი მიღების მეთოდები და გამოყენება რაოდენობრივი და თვისებრივი მახასიათებლების განსაზღვრისათვის, ასევე გადამუშავების პროცესში გამოყენებული ხელსაწყოები და პროგრამული პროდუქტები .

შედეგად, დღეს ყველამ დაიწყო ფოტოგრამმეტრიის შესახებ ლაპარაკი, თუმცა რამდენიმე წლის წინათ, გეოინფორმაციული სისტემების განხილვის ყველაზე პოპულარული თემა იყო ლაზერული სკანირება [3].

ლაზერული სკანირებისას მიღებული წერტილთა ღრუბლები ყოველთვის იყო ინფორმაციული მოდელირების ძირითადი ელემენტი, მაგრამ ეს საკმაოდ „მძიმე“ ელემენტებია, რომლებითაც რთულია მანიპულირება. მათგან რაიმეს „გამოდერწვა“ ძალიან შრომატევადია, მით უფრო, თუ ასეთი წერტილები ბევრი გაქვთ, ამ ველში ადვილია დაკარგვა. აქედან გამომდინარე, ცდილობენ წერტილთა ღრუბლების სამგანზომილებიან ბადეებად გადაქცევას. ბადეების მეშვეობით ხდება ობიექტების ამოცნობა და მათთან მუშაობა.

ფოტოგრამმეტრიას აქვს ხუთასწლიანი ისტორია. ობიექტის ფორმის, ზომისა და პოზიციის განსაზღვრის თეორიას სამეცნიერო საფუძველი ჩაეყარა ჯერ კიდევ აღორძინების ეპოქაში რ. ალბერტის, ა. დიურერის და ჯ. დეზარგის მიერ. 1840 წელს ფრანგმა გეოდეზისტმა დომინიკ ფ. არაგომ პირველმა შესთავაზა ტოპოგრაფიული რუკების შესაქმნელად ფოტოების გამოყენება [1].

თანამედროვე ფოტოგრამმეტრია, როგორც საინჟინრო მეცნიერება მჭიდრო კავშირშია ფიზიკისა და მათემატიკის მეცნიერებებთან, რადიოელექტრონიკის მიღწევებთან, გამოთვლით ტექნიკასთან, ფოტოგრაფიასთან. იგი ორგანულად უკავშირდება გეოდეზიას, ტოპოგრაფიას და კარტოგრაფიას. ამავდროულად, უახლესი მიღწევები მოდელირების კომპიუტერულ ტექნოლოგიებში და მონაცემთა დამუშავებაში, ისევე, როგორც მიღწევები უპილოტო საფრენი აპარატების შექმნაში, ხსნიან ფოტოგრამმეტრიის განვითარების პრინციპულად ახალ ეტაპს, ხარისხობრივად ზრდიან მის შესაძლებლობებს და პრაქტიკულად ხელმისაწვდომს ხდიან რიგითი მომხმარებლისთვის.

მონაცემთა ტიპები, რომლებიც შეიძლება იყოს, როგორც შემავალი ასევე გამომავალი ფოტოგრამმეტრიული სამუშაოების წარმოების დროს [4]:

- სივრცითი კოორდინატები – განსაზღვრავს ობიექტის წერტილების ადგილმდებარეობას სივრცეში;
- კოორდინატები ფოტოსურათზე – განსაზღვრავს ობიექტის წერტილების ადგილმდებარეობას ანალოგურ ან ციფრულ გამოსახულებაზე;
- კამერის გარე ორიენტირების ელემენტები – განსაზღვრავს მის ადგილმდებარეობას სივრცეში და გადაღების მიმართულებას;
- შიდა ორიენტირების ელემენტები – განსაზღვრავს გადაღების პროცესის გეომეტრიულ მახასიათებლებს.

აღნიშნული ამოცანების სტერეოფოტოგრამმეტრიული მეთოდით გადაჭრის ძირითად უპირატესობებს ყოველთვის მიეკუთვნებოდა:

- შედეგების მაღალი სიზუსტე, რადგან ობიექტის გამოსახულებებს იღებენ პრეციზიული კამერებით, ხოლო მათი დამუშავება ხორციელდება მკაცრი მეთოდებით;
- მაღალი წარმადობა იმის გამო, რომ იზომება არა თავად ობიექტები, არამედ მათი გამოსახულებები (ეს იძლევა საშუალებას, უზრუნველყოთ გაზომვის პროცესის და შემდგომი გათვლების ავტომატიზაცია);
- ინფორმაციის ობიექტურობა და საიმედოობა, საჭიროების შემთხვევაში, გაზომვების გამეორების შესაძლებლობა;
- უმოკლეს დროში, როგორც მთლიანი ობიექტის, ასევე, მისი ცალკეული ნაწილების შესახებ ინფორმაციის მიღება;
- სამუშაოს წარმოების უსაფრთხოება, ვინაიდან ობიექტის გადაღება ხდება არაკონტაქტური (დისტანციური) მეთოდით. ეს განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, როდესაც ობიექტი მიუწვდომელია ან ტერიტორიაზე ადამიანის ყოფნა საშიშია მისი ჯანმრთელობისთვის;
- მოძრავი ობიექტების და სწრაფად მიმდინარე პროცესების შესწავლის შესაძლებლობა;
- უკვე დაკარგული ობიექტების შესწავლის შესაძლებლობა, მისი დარჩენილი გამოსახულების საფუძველზე (განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ისტორიული და არქიტექტურული ძეგლების შემთხვევაში).

აღნიშნულ მეთოდს უპირატესობებთან ერთად გააჩნია ხარვეზებიც. პირველ რიგში, ფოტოგრაფიული გადაღებების დამოკიდებულება მეტეოროლოგიურ პირობებზე და სავსე გეოდეზიური სამუშაოების ჩატარების საჭიროება ყველა ტექნოლოგიური პროცესის კონტროლის მიზნით.

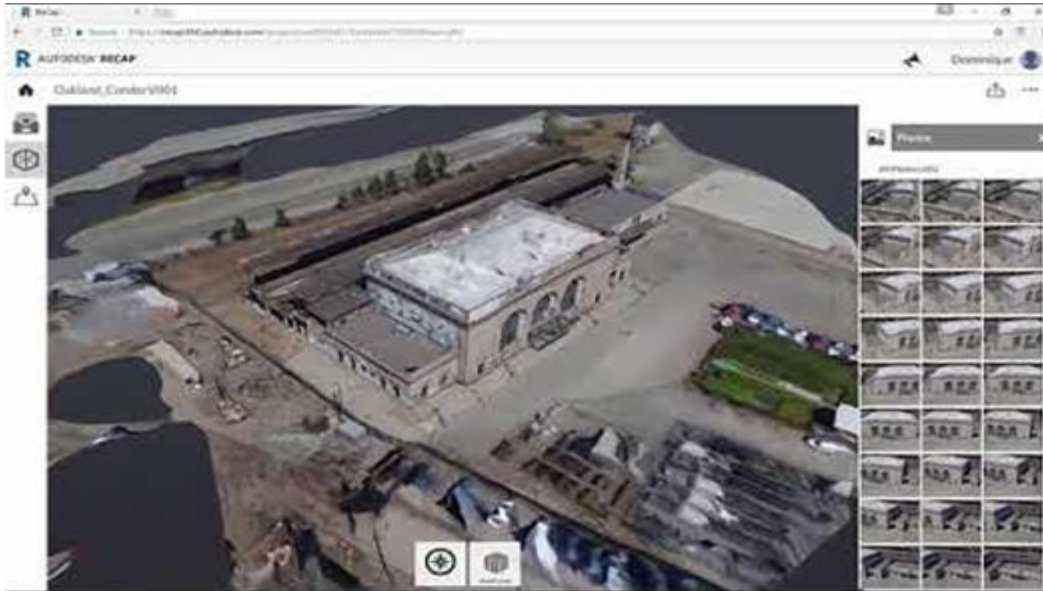
აქედან გამომდინარე, ამოცანის გადაჭრა, შრომის და რესურსების მინიმალური დანახარჯებით, შესაძლებელია მხოლოდ ფოტოგრამმეტრიის საშუალებების ინფორმაციის მოპოვების სხვა მეთოდებთან გონივრული შერწყმით.

ნათლად ჩანს, როგორ ამარტივებს ლაზერული სკანერები და უპილოტო საფრენი აპარატები რეალობის აღქმას. ადრე საჰაერო კვლევის მეთოდები გულისხმობდა ათობით ათასი დოლარის დახარჯვას ერთჯერადი სკანირებისათვის, რომელიც სრულდებოდა პროფესიონალური სერვის კომპანიის მიერ სპეციალურად აღჭურვილი თვითმფრინავის გამოყენებით. ახლა შესაძლებელია იგივე სამუშაოების შესრულება უპილოტო საფრენი აპარატით, რომელმაც მკვეთრად შეამცირა ხარჯები და გაზარდა რეალობის ხელმისაწვდომობა. გარდა ამისა, დრონებმა გააადვილეს მიუწვდომელი ადგილების უსაფრთხოდ გადაღება, სადაც ტრადიციული გადაღებები შეუძლებელია საშიში ან შეუძლებელი ყოფილიყო [4].

ყოველივე მხოლოდ აპარატული ხელსაწყოების გაუმჯობესებით არ არის გამოწვეული, მუშაობის სტილს მნიშვნელოვნად ცვლის პროგრამული უზრუნველყოფა. პროგრამული უზრუნველყოფა, ღრუბლის დამუშავების ავტომატიზაციისა და კომპიუტერული სიმძლავრის წყალობით, აჩქარებს და ახდენს გადაღებული რეალობის რეგისტრაციის და რედაქტირების დამსხვევჩა პროცესის ავტომატიზებას.

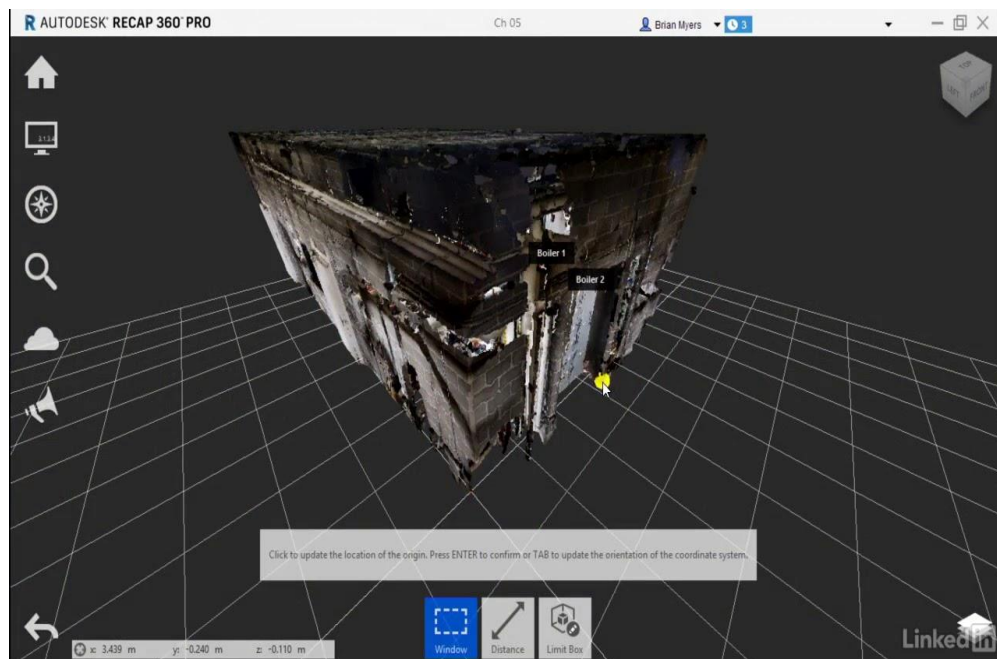
Autodesk ReCap - ეს არის ყველაზე ინოვაციური ღრუბლოვანი სერვისი, მოხერხებული ინტერფეისით, რომელიც განკუთვნილია სამგანზომილებიანი მოდელის შესაქმნელად, როგორც ლაზერული სკანირების, ასევე ფოტოგრამმეტრიის ანუ კოორდინატებზე

მიზნული ფოტოების საშუალებით [5]. ReCap-ის გამოყენებამ გაუადვილა მომხმარებლებს მაღალი სიზუსტის და ეფექტურობის მქონე ვირტუალური მოდელების შექმნა და მათი შემდგომი გამოყენება Autodesk-ის პროგრამულ პროდუქტებში, როგორცაა AutoCAD, Revit, Infracore, Civil 3D, Navisworks და სხვა (ნახ.1).



ნახ.1

ReCap-ის გამოყენებით შესაძლებელია მაღალი გარჩევადობის რუკებიანი ორთოგრაფიული ხედების შექმნა, როგორც ფოტოტექსტურიზებული ზაღეების, ასევე ღრუბლოვანი წერტილების გეოლოკაციის მითითებით (ნახ.2).



ნახ.2

მომდევნო ეტაპზე, შემდგომი გამოყენებისათვის ყველაზე მნიშვნელოვანია - "რეალობის მოდელის" გაერთიანება BIM (Building Information Modeling)-თან. აქ უკვე უნდა ჩაერთოს BIM პროგრამები, რადგან ReCap-ი ქმნის მხოლოდ „რეალობის მოდელს“ [2].

„რეალობის მოდელი“ და BIM პროგრამები სრულიად ბუნებრივად იძლევა საფუძველს/საშუალებას smart city – „ჭკვიანი ქალაქის“ კონცეფციაზე გადასასვლელად.

სისტემა „ჭკვიანი ქალაქი“ არის ინტერაქტიულად შემომავალი და გაანალიზებული ინფორმაციის საფუძველზე ქალაქის ინფრასტრუქტურის მართვის და დაგეგმარების ძირითადი ამოცანების განხორციელების საშუალება [5].

ასევე უნდა აღინიშნოს, რომ დღეისათვის „ჭკვიანი ქალაქის“ ერთიანი, საყოველთაოდ მიღებული განმარტება არ არსებობს. თუმცა, არსებობს მისი მრავალი ინტერპრეტაცია და სპეციფიკის აღწერილობა. ამავდროულად, ტერმინის ნებისმიერი ინტერპრეტაცია გულისხმობს ურბანული გარემოს შესახებ საიმედო ინფორმაციის შეგროვებას, ერთიან ცენტრში დამუშავებას, გაანალიზებული ინფორმაციის და მიღებული გადაწყვეტილების გამოყენებას. მისი ყველა სტადია გულისხმობს ადამიანის აუცილებელ მონაწილეობა/ ჩართულობას. ამგვარად, აშკარად ჩანს, რომ „ჭკვიანი ქალაქის“ კონცეფცია გულისხმობს ინფორმაციული მოდელირების პროცესს.

რელიეფის სამგანზომილებიანი მოდელი შეიცავს მრავალ, ძალიან მნიშვნელოვან გეოდეზიურ ინფორმაციას (ნახ.3).



ნახ.3

თუმცა, მას აქვს ერთი მნიშვნელოვანი ნაკლი – დღეისათვის არსებული პროგრამული უზრუნველყოფა არ იძლევა გეოდეზიურ ობიექტებზე დამატებითი ინფორმაციის მიზმის საშუალებას. ამ მდგომარეობიდან ბუნებრივი გამოსვლის საშუალებაა რელიეფის გეომეტრიულ მოდელთან ერთად, ე.წ. BIM-ობიექტების შექმნა, რომლებთანაც უკვე შესაძლებელია გამოვიყენოთ BIM-პროგრამების ინსტრუმენტების სრული სიმძლავრე. კერძოდ, ინფორმაციის მიერთება და დამუშავება. თუ აქვე დავამატებთ, რომ ქალაქის ინფრასტრუქტურის თითქმის ყველა ობიექტი ასევე იქმნება BIM-პროგრამებით, მაშინ მივიღებთ ქალაქის ინფორმაციულ მოდელს, რომელიც BIM-ის და რეალობის მოდელისაგან შედგება [2,3,6].

„ჭკვიანი ქალაქის“ ზოგადი სქემა არის, როგორც ქალაქის ინფორმაციული მოდელი მონაცემთა შეკრების „მინაშენით“, ასევე ანალიზისა და მართვის „ზედნაშენებით“.

„ჭკვიანი ქალაქის“ ზოგადი სქემა არის ქალაქის ინფორმაციული მოდელი, რომელშიც შემოდის ინფორმაცია გარე წყაროებიდან. გარე წყაროებიდან მიღებული ინფორმაციის

ნაკადი საერთო სქემის მნიშვნელოვანი ნაწილია. ეს უნდა იყოს, როგორც ინფორმაციის ინტერაქტიული შეკრება (მაგალითად, ქალაქის რაიონების ჰაერის მიმდინარე დაბინძურება), ასევე, საარქივო და სტატისტიკური მასალები (მაგალითად, ამინდის სტატისტიკური მონაცემები ბოლო ასი წლის განმავლობაში). ასეთი ინფორმაციის მიმართ ძირითადი მოთხოვნებია: დროული მიწოდება, საიმედოობა და იბიექტის საკმარისი მოცულობა ან ტერიტორიის საკმარისი ფართობი. ამ შემთხვევაში ინფორმაციული მოდელი გამოიყურება, როგორც კარგად ორგანიზებული მონაცემთა ბაზა [7,8].

ინფორმაციის შეგროვება საკმაოდ სერიოზულ პრობლემებთანაა დაკავშირებული. ძირითადი მათგანია:

- ინტერაქტიული მონაცემების შეგროვების ტექნიკური უზრუნველყოფა (სენსორები, ინფორმაციის გადაცემის არხები, მონაცემთა ფორმატები და ა.შ.);
- სხვადასხვა სტრუქტურების სურვილის არქონა/შეუძლებლობა მონაცემთა გადაცემაზე საერთო საცავში;
- ინფორმაციის სხვადასხვა წყაროდან მიღებული მონაცემების შეუსაბამობა.

ქალაქის ინფორმაციულ მოდელში, ინფორმაციის შენახვასთან ერთად მიმდინარეობს შემომავალი ინფორმაციის ანალიზიც. თუმცა გასათვალისწინებელია, რომ ანალიზის მიუხედავად, ინფორმაციული მოდელი თავისთავად გადაწყვეტილებებს არ იღებს. კონკრეტული პრობლემების გადასაწყვეტად აუცილებელია შეგროვებული ინფორმაციის ანალიზის მეთოდების შექმნა, რომლის საფუძველზეც შემდგომში შეიქმნება ალგორითმები და პროგრამები მონაცემთა დიდი ბაზების დამუშავებისათვის.

გადაწყვეტილებების მიღება ყოველთვის ქალაქის ხელმძღვანელობის ფუნქციაა, მაგრამ ცალკეულ შემთხვევებში (მაგალითად, საკითხების კატეგორიების გათვალისწინებით) გადაწყვეტილებები შეიძლება მიღებული იქნას ავტომატურად, თვით მართვის სისტემის მიერ.

### 3. დასკვნა

„ჭკვიან ქალაქზე“ გადასვლის ეკონომიკის ანალიზი გვაჩვენებს, რომ ეს საკმაოდ ძვირადღირებული ნაბიჯია, ისევე, როგორც ნებისმიერი სახელმწიფო ინფრასტრუქტურული პროექტი. თუმცა, მასშტაბური ჩანაფიქრი გარკვეულწილად ახდენს ამ დანახარჯების ოპტიმიზაციას. „ჭკვიან ქალაქებს“ მიეკუთვნება: ტოკიო, რეიკიავიკი, სინგაპური, სეული, ტორონტო, ჰონგ კონგი და ამსტერდამი [5]. ასეთ ქალაქებში საერთო საკითხების ტიპური გადაწყვეტაა: მონაცემთა შეგროვების ინტერაქტიული სისტემის ტექნიკური და საწარმოო დამუშავება; ტიპური ამოცანების გადაწყვეტის და აგრეთვე ინფორმაციული მოდელირების მეთოდოლოგიების, ალგორითმების და ანალიზის პროგრამების შემუშავება; „ჭკვიანი ქალაქის“ ერთიანი სტანდარტის შემუშავება, რაც შეამცირებს მისი რეალიზებისთვის საჭირო ხარჯებს და გახდება მთლიანობაში ეკონომიკის განვითარების კარგი სტიმული.

ლიტერატურა - References – Литература:

1. <https://www.autodesk.com/solutions/photogrammetry-software>
2. Azhar S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. – Leadership and Management in Engineering, vol.11. №3. <http://ascelibrary.org/doi/>
3. <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/photogrammetry>
4. <https://www.autodesk.com/products/recap/overview>
5. Neirotti P., De Marco A., Cagliano A.C., et al. (2014). Current trends in Smart City initiatives: Some stylised facts. – Cities, vol. 38, pp. 25-36.
6. ახოზაძე მ. (2006). მაკროსისტემების მათემატიკური მოდელირებისა და მართვის საკითხები. მონოგრ., სტუ. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“
7. Datta A. (2016). Three big challenges for smart cities and how to solve them. – The Conversation, June 9. <https://theconversation.com/>
8. Dadaglio F., Welsh D. (2015). ISO Smart Cities – Key Performance Indicators and Monitoring Mechanisms: presentation at the ITU Forum on Smart Sustainable Cities. <http://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/>

## THE ROLE OF “REALITY MODELING” IN THE CONCEPT OF “SMART CITY”

Brelidze Marine, Dolidze Maia, Kaishauri Tinatin

Georgian Technical University

### Summary

The prospects for the development and practical application of reality modeling are considered within the modern concept of a smart city. The photogrammetry method is described as three-dimensional coordinates based on the measurement of photographs. Main features of the Autodesk ReCap program are analyzed, taking into account their implementation in various fields. Examples of using Autodesk ReCap in the areas of design and renovation, infrastructure projects and digital restoration are presented as illustrations.

## РОЛЬ „МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕАЛЬНОСТИ” В КОНЦЕПЦИИ „УМНОГО ГОРОДА”

Брелидзе М., Долидзе М., Т. Кайшаури

Грузинский Технический Университет

### Резюме

Рассматриваются перспективы развития и практического применения „ моделирования реальности“ в системе современной концепции „умного города“. Описывается метод фотограмметрии, как получение трехмерных координат на основе измерения фотографий. Проведен анализ основных возможностей программы Autodesk ReCap, с учетом реализации в различных сферах. В качестве иллюстрации представлены примеры использования Autodesk ReCap в таких направлениях, как проектирование и реновация, инфраструктурные проекты, цифровая реставрация.