

ქვემოდან ზემოთ გრძელვადიანი
ნაზარდი დანახარჯების
მოდელის (BU-LRIC)
მეთოდოლოგია

მობილური ქსელი



შინაარსი

შინაარსი	2
1. შესავალი	3
2. სამართლებრივი ვიზაზა	4
3. ძირითადი პრინციპები	6
4. BU-LRIC მოდელის სქემა	11
5. ქსელის ტექნოლოგია და სტრუქტურა	15
5.1 ქსელის ტექნოლოგია და სტრუქტურა	15
5.2 მოხილური ქსელის ელემენტები	16
6. გაანგარიშებული მომსახურების საგანი	23
7. ქსელის მასშტაბის გაანგარიშება	24
7.1 ქსელზე მოთხოვნის გაანგარიშება	24
7.2 მომსახურებაზე მოთხოვნის განსაზღვრა	26
7.2.1 წლიური მოცულობების გადაყვანა პიკურ დატვირთვის ტრაფიკში	26
7.2.2 ტრაფიკის გარდაქმნა მომსახურების ერთგვაროვან მოცულობად	28
7.3 ქსელის მასშტაბის გაანგარიშება	34
7.3.1 საბაზო და დამატებითი ერთეულების ცნება	34
7.3.2 ფორმულებში გამოყენებული აღნიშვნების მნიშვნელობები	38
7.3.3 GSM ქსელის მასშტაბის გაანგარიშება	38
7.3.4 UMTS ქსელის მასშტაბის გაანგარიშება	45
7.3.5 LTE ქსელის მასშტაბის გაანგარიშება	50
7.3.6 ობიექტების მასშტაბის გაანგარიშება	56
7.3.7 ძირითადი ქსელის მასშტაბის გაანგარიშება	56
7.3.8 გადაცემა	69
8. ქსელის შეფასება	80
8.1 ხარჯების წლიური მაჩვენებელი	80
8.2 მარჟები	83
9. მომსახურების დანახარჯების გაანგარიშება	85
9.1 სუფთა გრძელვადიანი ნაზარდი დანახარჯების მოდელის (Pure LRIC) და გრძელვადიანი ნაზარდი დანახარჯების მოდელის (LRIC) მიდგომა	85
9.2 LRIC+ მიდგომა	86

1. შესავალი

ამ დოკუმენტის მიზანია წარმოადგინოს ქვემოდან ზემოთ გრძელვადიანი ნაზარდი დანახარჯების მოდელის (შემდგომში „BU-LRIC“) თეორიული მოცემულობა, გამოყენების სფერო და პრინციპები. დოკუმენტი ორი ნაწილისგან შედგება. პირველში წარმოდგენილია BU-LRIC-ის მოდელირების თეორიული მოცემულობა, კერძოდ:

- ▶ ევროკომისიის რეკომენდაციებში შესული მოთხოვნები,
- ▶ BU-LRIC მოდელის კონცეფცია, ძირითადი პრინციპებისა და გაანგარიშების ძირითადი საფეხურების ჩათვლით.

მეორე ნაწილში მოცემულია მობილური ქსელის ოპერატორის შემთხვევაში BU-LRIC-ის მოდელის მეთოდოლოგია და მასთან დაკავშირებული დეტალური დაშვებები, მათ შორის:

- ▶ ქსელის ტექნოლოგია და ტოპოლოგია;
- ▶ გაანგარიშებული მომსახურების სახეები;
- ▶ მობილური ქსელის მასშტაბის გაანგარიშების პრინციპები;
- ▶ კაპიტალური დანახარჯებისა და საოპერაციო ხარჯების გაანგარიშების პრინციპები.

2. სამართლებრივი ვიზაზა

ურთიერთხართვის ტარიფები სატელეკომუნიკაციო ბაზრის იმ ახალი მონაწილეებისთვის სამართლიან დაეკონომიკურ ინფორმაციას უნდა იძლეოდეს, რომლებიც სწორედ ახლა იღებენ გადაწყვეტილებას, საკუთარი ქსელი შექმნან, თუ ბაზრის ადგილობრივი მონაწილის არსებული სატელეკომუნიკაციო ინფრასტრუქტურით ისარგებლონ. სწორი ეკონომიკური გადაწყვეტილებებისთვის ინფორმაციის მისაწოდებლად, ადგილობრივი ბაზრის არსებული მონაწილეების - არსებული სატელეკომუნიკაციო ინფრასტრუქტურის მფლობელების მიერ დაწესებული ურთიერთხართვის ტარიფები:

- ▶ უნდა ეყრდნობოდეს მიმდინარე ღირებულებას,
- ▶ უნდა შეიცავდეს მხოლოდ ურთიერთხართვის მომსახურებასთან დაკავშირებულ დანახარჯებს,
- ▶ არ უნდა შეიცავდეს ოპერატორის იმ დანახარჯებს, რომლებიც ქსელის არაეფექტური ექსპლუატაციის რაოდენობრივი შედეგია.

ზემოაღნიშნული მოთხოვნების დაკმაყოფილების მიზნით საქართველოს კომუნიკაციების ეროვნული კომისია შეიმუშავებს ინსტრუმენტს მობილური და ფიქსირებული ქსელებისთვის დანახარჯებზე დაფუძნებული ურთიერთხართვის ფასების გასაანგარიშებლად, ქვემოდან ზემოთ გრძელვადიანი ნაზარდი დანახარჯების მოდელზე (შემდგომში BU-LRIC) დაყრდნობით. ურთიერთხართვის ფასის კონტროლი და ფასის გაანგარიშების მეთოდოლოგია შემდეგ ნორმატიულ აქტებს ექვემდებარება:

- ▶ ევროკომისიის რეკომენდაცია 2009/396/EC (შემდგომში „რეკომენდაცია“);
- ▶ ევროკავშირის ელექტრონული კომუნიკაციების მარეგულირებელი დირექტივები;
- ▶ საქართველოს კანონი ელექტრონული კომუნიკაციების შესახებ;
- ▶ საქართველოს კომუნიკაციების ეროვნული კომისიის გადაწყვეტილებები და დადგენილებები.

მობილურ და ფიქსირებულ ქსელებში ზარის დასრულების ტარიფების მოდელი (შემდგომში „მოდელი“) იმგავარად უნდა შემუშავდეს, რომ მოდელმა გაითვალისწინოს მობილურ და ფიქსირებულ ქსელებში ზარის დასრულების ტარიფების რეგულირებასთან დაკავშირებული რეკომენდაციები და მოთხოვნები, კერძოდ:

- ▶ მასში უნდა მოხდეს ეფექტიანი მომსახურების მომწოდებლის დანახარჯების მოდელირება;

- ▶ უნდა ეყრდნობოდეს მიმდინარე ღირებულებებს;
- ▶ უნდა იყოს მომავალზე ორიენტირებული გრძელვადიანი ნაზარდი დანახარჯების მოდელი ქვემოდან ზემოთ;
- ▶ უნდა აკმაყოფილებდეს „ტექნოლოგიური ეფექტიანობის“ მოთხოვნებს, შესაბამისად, მოდელირებული ქსელი უნდა იყოს შემდეგი თაობის ქსელზე (NGN) დაფუძნებული და უნდა ითვალისწინებდეს მეორე და მესამე თაობის ტექნოლოგიის ნაზავს;
- ▶ მოდელი შესაძლოა შეიცავდეს ამორტიზაციის ცხრილს. რეკომენდებულია ცვეთის ეკონომიკური მეთოდი; თუმცა, ცვეთის სხვა მეთოდებიც, როგორიცაა ცვეთის დარიცხვის წრფივი მეთოდი, თანაბარზომიერი ცვეთა და ჩანაცვლების ღირებულებაზე დაფუძნებული თანაბარზომიერი ცვეთა ასევე შესაძლოა იქნეს გამოყენებული.
 - ▶ ერთეულის ტარიფი უნდა ითვალისწინებდეს მხოლოდ ზარის დასრულების ზღვრულ დანახარჯებს; ოპერატორის მობილურ ქსელში ზარის საბითუმო დასრულების ტარიფის გაანგარიშებაში ტრაფიკთან არ დაკავშირებულ ხარჯები მხედველობაში არ მიიღება. ტრაფიკთან დაკავშირებული ხარჯებიდან გაითვალისწინება მხოლოდ ის ხარჯები, რომლებიც შეიძლება თავიდან აიცილოს ოპერატორმა ქსელში ზარის საბითუმო დასრულების მომსახურების მიწოდების არ არსებობის დროს. თავიდან ასაცილებელი ხარჯები არის დანახარჯებს შორის სხვაობა, რომელიც მიიღება ოპერატორის მიერ მომსახურებების ფუნქციონალურად სრული ასორტიმენტის გაწევის უზრუნველყოფისთვის საჭირო დანახარჯებსა და ოპერატორის მიერ მომსახურების სრული ასორტიმენტის ზარის დასრულების მომსახურების გარდა გაწევის უზრუნველყოფისთვის საჭირო დანახარჯებს შორის.

3. ძირითადი პრინციპები

წინამდებარე დოკუმენტით წარმოდგენილი გრძელვადიანი ნაზარდი დანახარჯების მოდელის შემუშავება საკმაოდ რთული პროცესია, რაც მოითხოვს მულტი-დისციპლინარულ და ამასთან მიდგომების მთელი რიგი სხვადასხვა ამოცანის დასახვის გზით და საჭიროებს რამდენიმე ცნების გააზრებას. ამ ნაწილში განხილული ცნებები, ამ დოკუმენტში წარმოდგენილ დანახარჯების შეფასებისთვის იქნება გამოიყენებული.

გრძელვადიანობა

გრძელვადიანობის მეთოდოლოგიის დაშვების მიხედვით ხარჯების ანალიზის საკმარისად ხანგრძლივ ვადა ესაჭიროება, რომლის განმავლობაშიც შესაძლოა, რომ ყველა ხარჯი იცვლებოდეს მიწოდებული მომსახურების მოცულობის ცვლილების შესაბამისად - შესაბამისად ყველა ხარჯი შესაძლოა დაიზოგოს ოპერატორის მიერ მომსახურების მიწოდების შეჩერების შემთხვევაში.

მომავალზე ორიენტირებული

მომავალზე ორიენტირებული მეთოდოლოგიის დაშვებისას პირვანდელი ღირებულებების საფუძველზე აღრიცხული ხარჯების გადაფასება მოითხოვება, და ასევე არსებული ინფრასტრუქტურის არაეფექტური ექსპლუატაციის აღმოსაფხვრელად გარკვეული დანახარჯის წარმოშობის წყაროს კორექტირება არის საჭირო. მომავალზე ორიენტირებული დანახარჯები ამ დოკუმენტში „მიმდინარე დანახარჯები“ ეწოდება მომავალზე ორიენტირებული დანახარჯები ის დანახარჯებია, რომლებიც დღეს გაიწევა ქსელის შექმნისას, რომელმაც უნდა დააკმაყოფილოს სამომავლო მოთხოვნა მომსახურებაზე და ასევე გაითვალისწინოს პროგნოზირებული ცვლილება აქტივების ფასში.

ცვეთის დარიცხვის მეთოდი

რეკომენდაციის თანახმად, ცვეთის დარიცხვის ოთხი მეთოდის გამოყენებაა შესაძლებელი მოდელში:

- ▶ ცვეთის დარიცხვის წრფივი მეთოდი

ცვეთის დარიცხვის წრფივი მეთოდი საშუალებას იძლევა, ცალ-ცალკე გამოითვალოს ცვეთის ხარჯი და კაპიტალის ღირებულება. ცვეთის ხარჯი მიიღება საერთო ჩანაცვლების ღირებულების გაყოფით თავის სასარგებლო მომსახურების ვადაზე.

- ▶ თანაბარზომიერი ცვეთა

დანახარჯის წლიური მაჩვენებელი, რომელიც გამოითვლება თანაბარზომიერი ცვეთის მეთოდის გამოყენებით, ითვალისწინებს როგორც ცვეთის ხარჯს, ისე ძირითად

საშუალებასთან დაკავშირებულ კაპიტალის ღირებულებას. თვითღირებულების გაანგარიშება ხდება ძირითადი საშუალებების საერთო ჩანაცვლების ღირებულების საფუძველზე.

- ▶ ჩანაცვლების ღირებულებაზე დაფუძნებული თანაბარზომიერი ცვეთა
დანახარჯის წლიური მაჩვენებელი, რომელიც გამოითვლება ჩანაცვლების ღირებულებაზე დაყრდნობით თანაბარზომიერი ცვეთის მეთოდის გამოყენებით, ითვალისწინებს როგორც ცვეთის ხარჯს, ისე ძირითად საშუალებასთან დაკავშირებულ კაპიტალის ღირებულებას. ცვეთის ხარჯის გაანგარიშება ხდება ძირითადი საშუალებების საერთო ჩანაცვლების ღირებულების საფუძველზე. ამ მეთოდით მიიღება ის ხარჯი, რომელიც ასახავს ფინანსური წლის განმავლობაში ძირითადი საშუალების მიმდინარე ფასებში ცვლილებას. აქედან გამომდინარე, აქტივების ფასის მატების/კლების ფონზე, კაპიტალის შენარჩუნების ხარჯი უფრო დაბალია/მაღალია, ვიდრე მიმდინარე ცვეთა.
- ▶ ეკონომიკური ცვეთა
ეკონომიკური ცვეთის მეთოდი ითვალისწინებს ოპერატორის ინვესტიციების მუდმივ ხასიათს და სატელეკომუნიკაციო აქტივების ფასების ცვლილებას. ეს მეთოდი ცდილობს შექმნას დროთა განმავლობაში ხარჯების ამოღების ოპტიმალური პროფილი და წარმოადგენს წლის განმავლობაში ეკონომიკური აქტივების ღირებულებაში მომხდარ ცვლილებას. ეკონომიკური ცვეთა მოითხოვს დამოუკიდებელი ქმედითი მოდელის დანერგვას, რომლითაც შესაძლებელი იქნება ქსელის ღირებულების გამოთვლა დაახლოებით 40-წლიანი პერიოდისთვის.

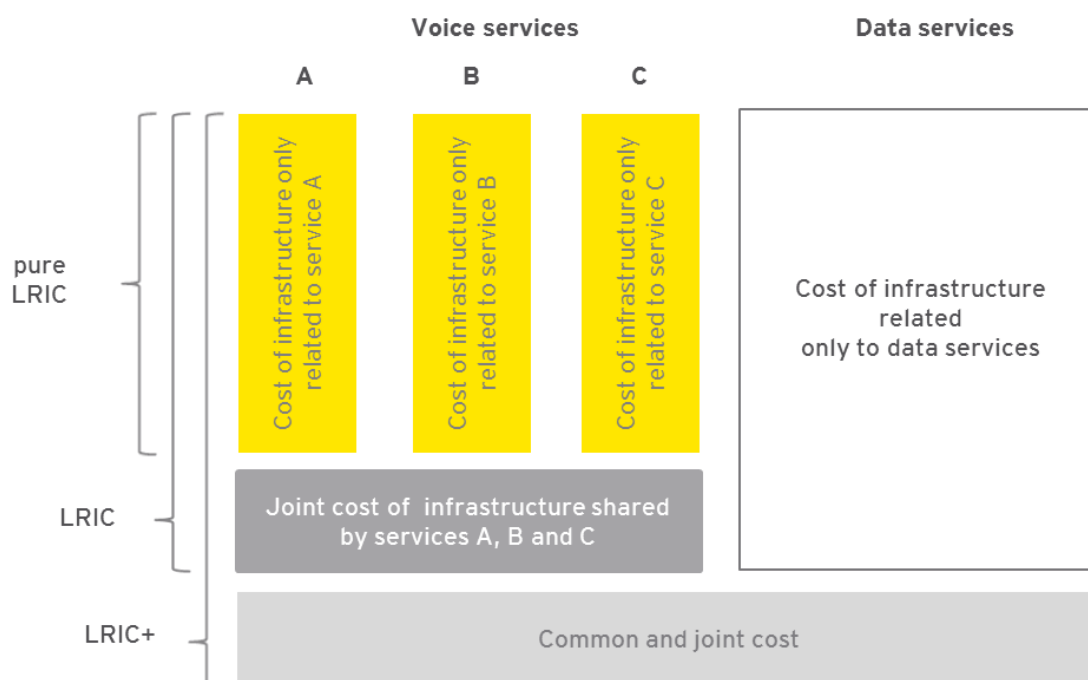
საბითუმო მომსახურების ნაზარდი დანახარჯები

მომსახურების ნაზარდი დანახარჯების გაანგარიშებისადმი სამი გავრცელებული მიდგომა არსებობს:

- ▶ სუფთა გრძელვადიანი ნაზარდი დანახარჯების მოდელის (შემდგომში „LRIC“) მეთოდი - მოიცავს მხოლოდ იმ ხარჯებს, რომლებიც უკავშირდება გარკვეული მომსახურების გაწევამ (მაგ. ზარის დასრულება) ჩართულ ქსელის კომპონენტებს.
- ▶ გრძელვადიანი ნაზარდი დანახარჯების მოდელის (შემდგომში „LRIC“) მეთოდი - მოიცავს მხოლოდ იმ ხარჯებს, რომლებიც უკავშირდება გარკვეული მომსახურებების ჯგუფის მიწოდებაში ჩართულ ქსელის კომპონენტებს, რის შედეგადაც მომსახურებათა ჯგუფის გარკვეული საერთო დანახარჯები გარდაიქმნება ნაზარდ დანახარჯებად. მომსახურებების ჯგუფი შეიძლება განისაზღვროს, როგორც ხმოვანი მომსახურება ან მონაცემების გადაცემის მომსახურება.

- LRIC+ მეთოდი - მოიცავს LRIC+ მეთოდის აღწერით ნაწილში მოცემულ დანახარჯებს, რასაც ემატება საერთო და ერთობლივი დანახარჯები. მომსახურების თითოეულ ჯგუფთან (მთლიანი ხმოვანი მომსახურება და მთლიანი მონაცემების გადაცემის მომსახურება) დაკავშირებული საერთო და ერთობლივი დანახარჯი ცალკე გამოითვლება ქსელის თითოეული კომპონენტისთვის, თანაბარპროპორციული მარჟის გამოყენებით, მომსახურების თითოეული ჯგუფის (მთლიანი ხმოვანი მომსახურება და მთლიანი მონაცემების გადაცემის მომსახურება) მიერ გაწეული ნაზარდი (ზღვრული) დანახარჯის დონის შესაბამისად.

თითოეული მეთოდის გაანგარიშების მიდგომები წარმოდგენილია ქვემოთ:



სატელეკომუნიკაციო ქსელებში სუფთა გრძელვადიანი ნაზარდი დანახარჯების მოდელის გამოყენებით საბითუმო მომსახურების ნაზარდი დანახარჯების გაანგარიშებისას საჭიროა მხოლოდ იმ ფიქსირებული და ცვლადი დანახარჯების განსაზღვრა, რომლებიც არ იარსებებდა, თუ საბითუმო მომსახურება აღარ გაეწეოდა სხვა ოპერატორებს (ანუ მხოლოდ თავიდან აცილებადი დანახარჯები.) საბითუმო მომსახურებასთან დაკავშირებული ნაზარდი დანახარჯებიდან თავიდან აცილებადი დანახარჯები უნდა გამოითვალოს სრული სპექტრის მომსახურების გამწევი ოპერატორის მთლიანი გრძელვადიანი დანახარჯების განსაზღვრით და შემდეგ ამავე ოპერატორის გრძელვადიანი დანახარჯების განსაზღვრით, იმ დაშვებით, რომ სხვა ოპერატორებს საბითუმო მომსახურება არ გაეწევა. აღნიშნული შემდეგ უნდა გამოიქვითოს საქმიანობის მთლიანი გრძელვადიანი დანახარჯებიდან, რომ მივიღოთ განსაზღვრული ნაზარდი დანახარჯი.

გრძელვადიანი ნაზარდი დანახარჯების მოდელის გამოყენებით დანახარჯების გაანგარიშებისას საჭიროა მხოლოდ იმ ფიქსირებული და ცვლადი დანახარჯების განსაზღვრა, რომლებიც არ იარსებებდა, თუ მომსახურებების აღნიშნული ჯგუფი აღარ გაეწეოდა სხვა ოპერატორებს და საცალო აბონენტებს (ანუ მხოლოდ თავიდან აცილებადი დანახარჯები.) მომსახურებების ჯგუფთან დაკავშირებული ნაზარდი დანახარჯებიდან თავიდან აცილებადი დანახარჯები უნდა გამოთვალოს სრული სპექტრის მომსახურების გამწევი ოპერატორის მთლიანი გრძელვადიანი დანახარჯების განსაზღვრით და შემდეგ ამავე ოპერატორის გრძელვადიანი დანახარჯების განსაზღვრით, თუ მესამე მხარეებს მომსახურებათა ჯგუფი არ გაეწევა. აღნიშნული შემდეგ უნდა გამოიქვეთოს საქმიანობის მთლიანი გრძელვადიანი დანახარჯებიდან, რომ მივიღოთ განსაზღვრული ნაზარდი დანახარჯი.

დანახარჯების LRIC+ მეთოდით გაანგარიშებისას, თავდაპირველად გამოთვლილ ნაზარდ დანახარჯებს ემატება მარჟები, რომ დაიფაროს ყველა საერთო და ერთობლივი ქსელის ელემენტისა და საქმიანობის დანახარჯი, რაც საჭიროა ყველა მომსახურების გასაწევად.

კაპიტალის ღირებულება

ქსელში და სხვა მასთან დაკავშირებულ აქტივებში დაბანდებულ ინვესტიციაზე მოთხოვნილი უკუგება განისაზღვრება, როგორც კაპიტალის ღირებულება. კაპიტალის ღირებულებამ ინვესტორებს საშუალება უნდა მისცეს, მიიღონ იმავე ოდენობის უკუგება ქსელის აქტივებსა და სხვა მასთან დაკავშირებულ აქტივებზე, როგორსაც მიიღებდნენ შედარებადი ალტერნატიული ინვესტიციებისგან. კაპიტალის ღირებულება იანგარიშება კომისიის დადგენილებით განსაზღვრული წესით.

„გადამწვარი მიწის“ და „ამომწვარი კვანძის“ დაშვებები

ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი გადაწყვეტილება, რომლის მიღებაც საჭიროა ქვემოდან ზემოთ მოდელირებისას, არის ის, თუ რომელი დაშვება უნდა იქნეს გამოყენებული - „გადამწვარი მიწის“, თუ „ამომწვარი კვანძის“. „გადამწვარი მიწის“ მეთოდი აკეთებს იმ დაშვებას, რომ ოპტიმალური ზომის ქსელური მოწყობილობები განლაგდება ქსელის მთლიანი პროექტისთვის ოპტიმალურ ლოკაციებზე. აღნიშნულის მიხედვით, ქსელის ხელახლა დაგეგმვა ხდება ცარიელ ტერიტორიაზე. „ამომწვარი კვანძის“ მეთოდი აკეთებს იმ დაშვებას, რომ ოპტიმალური ზომის ქსელური მოწყობილობები განლაგდება ოპერატორების არსებული კვანძების ლოკაციებზე.

ქვემოდან ზემოთ

ქვემოდან ზემოთ მიდგომა გულისხმობს ტექნიკურ-ეკონომიკური მოდელების შემუშავებას,

რომლებიც გამოიყენება ეფექტური ოპერატორის მიერ სატელეკომუნიკაციო მომსახურების გასაწევად გამოყენებული ქსელის ელემენტების დანახარჯების გასაანგარიშებლად ქვემოდან ზემოთ მოდელები მიზნად ისახავს შემდეგს:

- ქსელის სიმძლავრის განსაზღვრა და გადაფასება.
- ქსელთან დაკავშირებული დანახარჯების შეფასება.
- ქსელთან დაუკავშირებელი დანახარჯების შეფასება.
- ექსპლუატაციის პროცესში ტექნიკური მომსახურებისა და მხარდაჭერის დანახარჯების შეფასება.
- მომსახურების დანახარჯების შეფასება.

4. BU-LRIC მოდელის სქემა

BU-LRIC-ის მეთოდის მიზანია განსაზღვროს მომსახურებასთან დაკავშირებული დანახარჯები, რომლებსაც გასწევდა ახალი ეფექტური ოპერატორი კონკურენტუნარიან ბაზარზე იმ პირობით, რომ დააკმაყოფილებს არსებულ და სამომავლო მოთხოვნა. ქვემოთ სქემაზე წარმოდგენილია BU-LRIC მეთოდოლოგიის ზოგადი პროცესი.



ეტაპი 1 - ქსელზე მოთხოვნა

მოდელის ამ ნაწილში, რომელიც ქსელზე მოთხოვნას ეხება, მომსახურების შესაბამის პორტფელზე მოთხოვნა უნდა გამოიხატოს ქსელისთვის აუცილებელი სიმძლავრის სახით. იმის გამო, რომ ქსელმა, რომლის მასშტაბის გაანგარიშებაც მოხდა, უნდა გაუძლოს პიკურ პერიოდებში ტრაფიკს, მომსახურების შეფასებული მოცულობები უნდა გამოიხატოს ქსელის ელემენტებზე დატვირთულ საათებში არსებული მოთხოვნის სახით. ქსელის აგება ხდება სამომავლო მოთხოვნის გათვალისწინებით, ამიტომ საჭიროა ქსელის ელემენტების დაგეგმვის პერიოდის განსაზღვრა. პრინციპში, ეს ეკონომიკური განსჯის საფუძველზე ხდება: მოკლევადიან პერსპექტივაში სარეზერვო სიმძლავრის ხარჯისა და დროული მიწოდება-წარმოების რეჟიმში სიმძლავრის მუდმივად ზრდის ხარჯების ოპტიმალური თანაფარდობის შეფასებით.

ეტაპი 2 - ქსელის მასშტაბის გაანგარიშება

ქსელის ელემენტებზე მოთხოვნის განსაზღვრის შემდეგ, პროცესის მომდევნო ეტაპია ქსელის საჭირო აღჭურვილობის განსაზღვრა იმისათვის, რომ მოხდეს პიკურ საათებში მომსახურებაზე მოთხოვნის შეფასებული დონის მხარდაჭერა. ეს მიიღწევა საინჟინრო წესების დაცვით, რომლებიც ითვალისწინებს ქსელის აღჭურვილობის მოდულურ ხასიათს და აქედან გამომდინარე განსაზღვრავს ცალკეულ კომპონენტებს ქსელის თითოეულ ელემენტში. ეს საშუალებას იძლევა ცვალებადი ხარჯის სტრუქტურებში დანახარჯები განისაზღვროს თითოეული ელემენტის მიხედვით.

ეტაპი 3 - ქსელის შეფასება

მას შემდეგ, რაც მოხდება ქსელისთვის საჭირო სრული აღჭურვილობის შეფასება, გამოითვლება ერთგვაროვანი ხარჯების კატეგორიებისთვის მიკუთვნებული დანახარჯები. ერთგვაროვანი ხარჯების კატეგორიები წარმოადგენს დანახარჯების ერთობლიობას, რომლებსაც ერთი და იგივე დანახარჯების მატარებელი, ხარჯების მოცულობასთან ურთიერთკავშირს ერთი და იგივე მოდელი და ტექნოლოგიური ცვლილების მსგავსი ტემპი აქვთ. ქსელის მასშტაბის გაანგარიშებისას განსაზღვრული ქსელის აღჭურვილობა ფასდება საერთო ჩანაცვლების ღირებულებით. გადაფასება ხდება ქსელის აღჭურვილობის ფიზიკური ერთეულების რაოდენობის გამრავლებით აღჭურვილობის მიმდინარე ფასებზე.

საერთო ჩანაცვლების ღირებულებაზე დაყრდნობით იანგარიშება თითოეული ერთგვაროვანი ხარჯების კატეგორიის წლიური დანახარჯი, რაც მოიცავს:

- ▶ კაპიტალური დანახარჯების წლიური მაჩვენებელს (შემდგომში „კაპიტალური დანახარჯები“),
- ▶ საოპერაციო ხარჯების წლიური მაჩვენებელს (შემდგომში „საოპერაციო ხარჯები“).

კაპიტალური დანახარჯები მოიცავს კაპიტალის ღირებულებისა და ცვეთის ხარჯისგან. საოპერაციო ხარჯები შეიცავს ხელფასებს (სოციალური დაზღვევის ჩათვლით), მასალებს და გარე მომსახურების დანახარჯს (გარე მომსახურების, ტრანსპორტირება, დაცვა-უსაფრთხოება, კომუნალური ხარჯები და სხვ.)

ეტაპი 4 - მომსახურების ხარჯის გაანგარიშება

მომსახურების ერთეულის ღირებულების გამოსაანგარიშებლად ერთგვაროვანი ხარჯების კატეგორიაში დაჯგუფებული დანახარჯები განაწილდება ქსელის კომპონენტებზე და შემდეგ ქსელის კომპონენტები განაწილდება მომსახურებებზე.



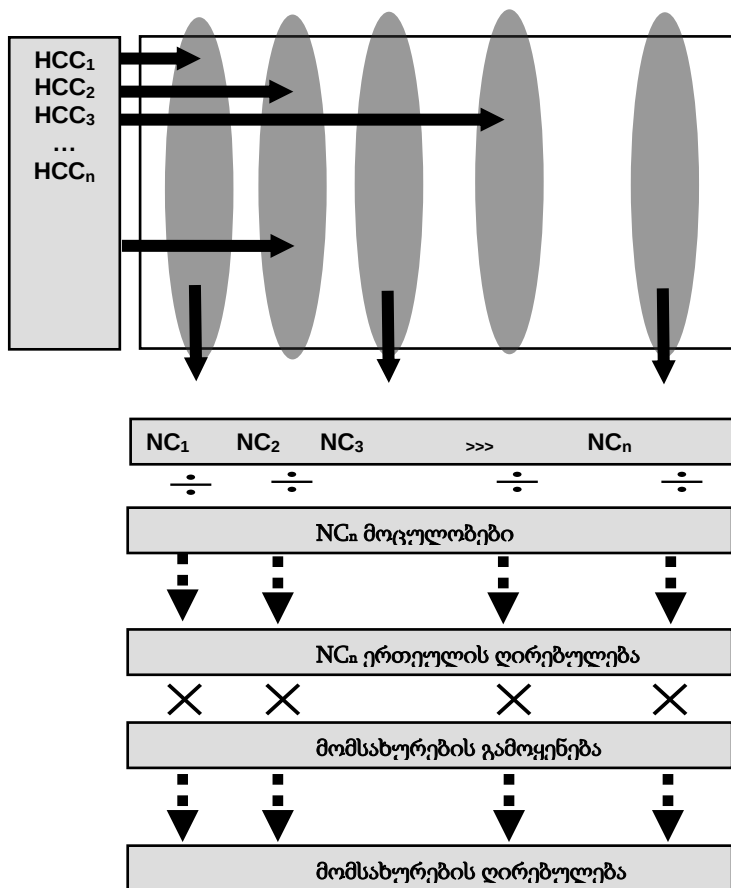
ქსელის კომპონენტი არის ლოგიკური ქსელის იერარქიის ელემენტის დანახარჯის სინონიმი. ისინი წარმოადგენენ ფუნქციურად გამართულ ბლოკებს, რომელთა ერთობლიობის საფუძველზე იქმნება სატელეკომუნიკაციო მომსახურება. ამ თვალსაზრისით, სხვადასხვა სატელეკომუნიკაციო ქსელი წარმოდგენილი უნდა იყოს ქსელის ელემენტების სხვადასხვა ჯგუფის სახით. ფიქსირებული ტელეფონის, მობილური ტელეფონის, მონაცემთა გადაცემის და სხვ. ძირითადი ქსელებისთვის

სხვადასხვა ქსელის ელემენტები არსებობენ.

ყველა სატელეკომუნიკაციო ქსელი გარკვეულ იერარქიას წარმოადგენს. ქსელის იერარქია შედგება კვანძებისგან (მაგ. ფიქსირებული ტელეფონის ძირითად ქსელში კვანძებს წარმოადგენენ გადამრთველები) და მათ შორის არხებს (მაგ. გადამცემი ხაზები ფიქსირებული ტელეფონის ძირითად ქსელში). ასეთი იერარქიული წარმოადგენა ლოგიკური ქსელის კონკრეტულ ელემენტებში ტრაფიკის მოძრაობის ანალიზის საშუალებას იძლევა. კვანძებისა და გადამცემი ხაზების გარდა, ქსელის მთელი რიგი დამხმარე ელემენტი არსებობს, რომლებიც წარმოადგენენ მომსახურების ცენტრებს ან სხვა სპეციალიზებულ მოწყობილობებს (მაგ. ნომრის პორტირება, ოპერატორის წინასწარი შერჩევა და სხვ.).

კვანძებისა და გადამცემი ხაზების იერარქიული სტრუქტურის გამო, ქსელის სხვადასხვა კომპონენტები განისაზღვრება სხვადასხვა იერარქიულ დონეზე - კვანძებსა თუ გადამცემ ხაზებზე.

ურთიერთჩართვის მომსახურების დანახარჯების გაანგარიშების თვალსაზრისით ჩვენთვის მხოლოდ ფიქსირებული ტელეფონის ძირითადი ქსელისა და მობილური ქსელის ელემენტებია საინტერესო. ეს იმას ნიშნავს, რომ სხვა ქსელების ელემენტები შეიძლება ერთად დაჯგუფდეს.



მარცხენა სქემაზე წარმოდგენილია მომსახურების ერთეულის ღირებულების გაანგარიშება. ერთგვაროვანი ხარჯების კატეგორიები (HCC) ნაწილდება ქსელის კომპონენტებზე (NC) პირდაპირ, ან განაწილების სხვა წესებით. შემდეგ ქსელის კომპონენტების მთლიანი დანახარჯები გამოითვლება შესაბამისი ერთგვაროვანი ხარჯების კატეგორიების დაჯამებით. ქსელის კომპონენტების მთლიანი დანახარჯები იყოფა ქსელის კომპონენტების მოცულობაზე (მომსახურების მოცულობა ქსელის რომელიმე კომპონენტზე) და იანგარიშება ქსელის კომპონენტის ერთეულის ღირებულება. და ბოლოს,

ქვემოდან ზემოთ გრძელვადიანი ნაზარდი დანახარჯების მოდელის (BU-LRIC) მეთოდოლოგია
მობილური ქსელი

ქსელის კომპონენტის ერთეული ღირებულება მრავლდება მარშრუტიზაციის ფაქტორზე და მიიღება
მომსახურების ერთეულის ღირებულება.

5. ქსელის ტექნოლოგია და სტრუქტურა

5.1 ქსელის ტექნოლოგია და სტრუქტურა

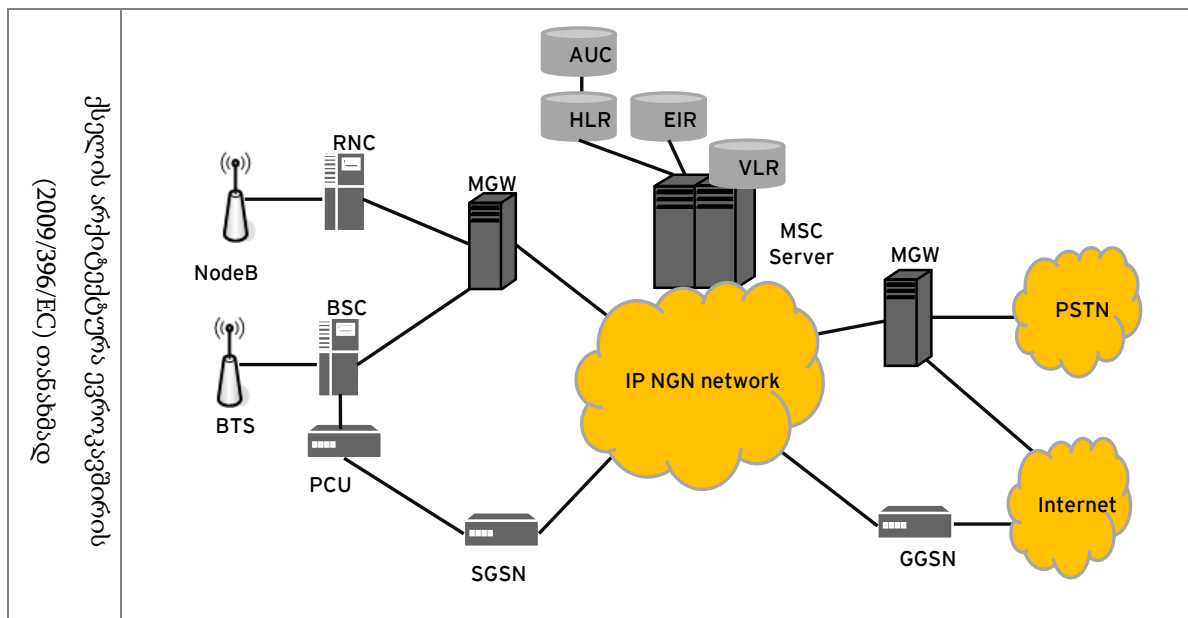
ევროკომენდაციის მიხედვით, მობილურ ქსელში ზარის დასრულების მომსახურების გასაანგარიშებლად BU-LRIC მოდელმა უნდა გამოიყენოს:

- ▶ რადიო დაშვების ქსელში მეორე და მესამე თაობის ტექნოლოგიების ერთობლიობა;
- ▶ მომდევნო თაობის ქსელის (NGN) ძირითადი ქსელი, რომელიც ეფუძნება ინტერნეტ პროტოკოლს (IP).

ამის გათვალისწინებით, მოდელირებული ქსელი იყენებს:

- ▶ მობილურ საკომუტაციო სერვერსა და მულტიმედია შლიუსს, კომპიუტერებადი არხების მობილური საკომუტაციო ცენტრის მაგივრად;
- ▶ ინტერნეტ პროტოკოლსა და ეზერნეტზე დაფუძნებულ ძირითად ქსელს, გადაცემის ასინქრონული რეჟიმის (ATM) და სინქრონული ციფრული იერარქიის (SDH) ძირითადი ქსელის მსგავსად.

მოდელირებული ქსელის სტრუქტურა ქვემოთ სქემაზეა წარმოდგენილი.



5.2 მობილური ქსელის ელემენტები

ქვემოთ ცხრილში წარმოდგენილია ქსელის ელემენტების სია და მათი შეფასების მეთოდები. ჩვენს მიერ გაკეთებული დაშვებით ქსელის ელემენტების ხარჯების გაანგარიშების სამი შესაძლო მიდგომა არსებობს:

- ▶ პირდაპირი - ქსელის ელემენტების კაპიტალური დანახარჯები გაინგარიშება ტექნიკურ მოდელზე დაყრდნობით.
- ▶ მარჟის - ქსელის ელემენტების კაპიტალური დანახარჯები გაანგარიშდება ოპერატორების საბუღალტრო/ფინანსურ მონაცემებზე დაყრდნობით მიიღება, რომელიც შესაბამისად კაპიტალური დანახარჯების ქსელის დანახარჯებთან თანაფარდობის ტოლია.
- ▶ გაანგარიშებაში არ მონაწილეობს - რადგან ქსელის ელემენტები ზარის დასრულების საბითუმო ტრაფიკის წარმოქმნაში არ მონაწილეობს, ამიტომ მათი ხარჯები არ გაანგარიშებაში არ გაითვალისწინება.

ქსელის ელემენტი	ელემენტები, რომელთა მასშტაბიც გაანგარიშებულია	აღწერა	გადაფასების მეთოდოლოგია
ქსელის ობიექტები	ანძა	საბაზო სადგურის მდებარეობა, ცალკე მდგომი ანძის (ბეტონის ან ფოლადის) ჩათვლით	პირდაპირი
	სახურავი	საბაზო სადგურის ობიექტი, სახურავზე ან იჯარით აღებულ საიტზე დამონტაჟებული ინფრასტრუქტურის ჩათვლით (მაგ. გამწოვი მილი).	პირდაპირი
	მიკროობიექტი	საბაზო სადგურის ლოკაცია, მიკროსელის დამონტაჟებისთვის საჭირო ინფრასტრუქტურის ჩათვლით	პირდაპირი
	პიკოობიექტი	საბაზო სადგურის ლოკაცია, პიკოსელის დამონტაჟებისთვის საჭირო ინფრასტრუქტურის ჩათვლით	პირდაპირი
საბაზო სადგურის კარადა - მაკროსელი	მცირე - 6 რადიოერთეულამდე	ერთი რადიოწვდომის (საერთო მე-2, მე-3 და მე-4 თაობისთვის) საბაზო სადგურის ძირითადი ერთეული, რომელიც მოიცავს კარადას, მართვის ერთეულს, ინტერფეისის ერთეულებს, კვების წყაროს, ობიექტის კონფიგურაციის ბატარეებს 6 რადიოერთეულამდე.	პირდაპირი
	დიდი - 12 რადიოერთეულამდე	ერთი რადიოწვდომის (საერთო მე-2, მე-3 და მე-4 თაობისთვის) საბაზო სადგურს, რომელიც მოიცავს	პირდაპირი

		კარადას, მართვის ერთეულს, ინტერფეისის ერთეულებს, კვების წყაროს, ობიექტის კონფიგურაციის ბატარეებს 12 რადიოერთეულამდე.	
BTS მაკროსელი	ძირითადი ერთეული	რადიოერთეულისა და ანტენის სისტემა ერთ გადამცემზე. ყველა დანარჩენი ელემენტი, მათ შორის პროგრამული უზრუნველყოფა და ლიცენზიები, რომლებიც არ შედის საბაზო სადგურის კარადასა და დამატებით ერთეულებში.	პირდაპირი
	დამატებითი ერთეული: სექტორი	რადიო ერთეულის გაფართოება ერთ სექტორზე	პირდაპირი
	დამატებითი ერთეული: TRX	რადიო ერთეულის გაფართოება ერთ TRX-ზე	პირდაპირი
BTS მიკროსელი	ძირითადი ერთეული	მიკროსელის სრული აღჭურვილობა	პირდაპირი
	დამატებითი ერთეული: TRX	რადიო ერთეულის გაფართოება ერთ TRX-ზე	პირდაპირი
BTS პიკოსელი	ძირითადი ერთეული	პიკოსელის სრული აღჭურვილობა	პირდაპირი
	დამატებითი ერთეული: TRX	რადიო ერთეულის გაფართოება ერთ TRX-ზე	პირდაპირი
NodeB მაკროსელი	ძირითადი ერთეული	რადიოერთეულის საბაზო ერთეულისა და ანტენის სისტემა ერთ გადამცემზე.	პირდაპირი
	დამატებითი ერთეული: სექტორი	რადიო ერთეულის გაფართოება ერთ სექტორზე	პირდაპირი
	დამატებითი ერთეული: CE	რადიო ერთეულის გაფართოება ერთ CE-ზე	პირდაპირი
NodeB მიკროსელი	ძირითადი ერთეული	მიკროსელის სრული აღჭურვილობა	პირდაპირი
	დამატებითი ერთეული: CE	რადიო ერთეულის გაფართოება ერთ CE-ზე	პირდაპირი
NodeB პიკოფიჭა	ძირითადი ერთეული	პიკოსელი სრული აღჭურვილობა	პირდაპირი
	დამატებითი ერთეული: CE	რადიო ერთეულის გაფართოება ერთ CE-ზე	პირდაპირი
BSC	ძირითადი ერთეული	ძირითადი ერთეული, რომელიც მოიცავს კარადას, მართვის ერთეულს, ინტერფეისის ერთეულებს, კვების წყაროს	პირდაპირი
	დამატებითი ერთეული: TRX	ძირითადი ერთეულის სიმძლავრის გაფართოება ერთ TRX-ზე	პირდაპირი
TRC	ძირითადი ერთეული	ძირითადი ერთეული, რომელიც მოიცავს კარადას, მართვის ერთეულს, ინტერფეისის ერთეულებს, კვების წყაროს	პირდაპირი
	დამატებითი ერთეული: E1	ძირითადი ერთეულის სიმძლავრის გაფართოება ერთ E1-ზე	პირდაპირი
RNC	ძირითადი ერთეული	ძირითადი ერთეული, რომელიც მოიცავს კარადას, მართვის	პირდაპირი

		ერთეულს, პროგრამულ უზრუნველყოფას, ინტერფეისის ერთეულებს, კვების წყაროს	
	დამატებითი ერთეულები: Iub კავშირი	ძირითადი ერთეულის სიმძლავრის გაფართოება ერთ Iub კავშირზე	პირდაპირი
	დამატებითი ერთეულები: სექტორები	ძირითადი ერთეულის სიმძლავრის გაფართოება ერთ სექტორზე	პირდაპირი
	დამატებითი ერთეულები: ობიექტები	ძირითადი ერთეულის სიმძლავრის გაფართოება ერთ საიტზე	პირდაპირი
MSS	ძირითადი ერთეული	ძირითადი ერთეული, რომელიც მოიცავს კარადას, მართვის ერთეულს, პროგრამულ უზრუნველყოფას, ინტერფეისის ერთეულებს, კვების წყაროს	პირდაპირი
	დამატებითი ერთეული: პიკურ დატვირთვაზე გამოძახების მცდელობა (BHCA)	ძირითადი ერთეულის სიმძლავრის გაფართოება ერთ BHCA-ზე	პირდაპირი
მულტიმედია ური შლიუზი (MGW)	ძირითადი ერთეული	ძირითადი ერთეული, რომელიც მოიცავს კარადას, მართვის ერთეულს, პროგრამულ უზრუნველყოფას, ინტერფეისის ერთეულებს, კვების წყაროს	პირდაპირი
	დამატებითი ერთეული: პიკურ დატვირთვაზე გამოძახების მცდელობა (BHCA)	ძირითადი ერთეულის სიმძლავრის გაფართოება ერთ BHCA-ზე	პირდაპირი
	დამატებითი ერთეული: E1	ძირითადი ერთეულის სიმძლავრის გაფართოება ერთ E1-ზე	პირდაპირი
VMS	ძირითადი ერთეული	ძირითადი ერთეული, რომელიც მოიცავს კარადას, მართვის ერთეულს, პროგრამულ უზრუნველყოფას, ინტერფეისის ერთეულებს, კვების წყაროს	პირდაპირი
	დამატებითი ერთეული: აბონენტები	ძირითადი ერთეულის სიმძლავრის გაფართოება ერთ აბონენტზე	პირდაპირი
HLR	ძირითადი ერთეული	ძირითადი ერთეული, რომელიც მოიცავს კარადას, მართვის ერთეულს, პროგრამულ უზრუნველყოფას, ინტერფეისის ერთეულებს, კვების წყაროს	პირდაპირი
	დამატებითი	ძირითადი ერთეულის სიმძლავრის	პირდაპირი

	ერთეული: აბონენტები	გაფართოება ერთ აბონენტზე	
CUDA	ძირითადი ერთეული	ძირითადი ერთეული, რომელიც მოიცავს კარადას, მართვის ერთეულს, პროგრამულ უზრუნველყოფას, ინტერფეისის ერთეულებს, კვების წყაროს	პირდაპირი
SMSC	დამატებითი ერთეული: აბონენტები	ძირითადი ერთეულის სიმძლავრის გაფართოება ერთ აბონენტზე	პირდაპირი
	ძირითადი ერთეული	ძირითადი ერთეული, რომელიც მოიცავს კარადას, მართვის ერთეულს, პროგრამულ უზრუნველყოფას, ინტერფეისის ერთეულებს, კვების წყაროს	პირდაპირი
	დამატებითი ერთეული: იკურ ბი (BH SMS)	ძირითადი ერთეულის სიმძლავრის გაფართოება ერთ BH SMS-ზე	პირდაპირი
SMSC	ძირითადი ერთეული	ძირითადი ერთეული, რომელიც მოიცავს კარადას, მართვის ერთეულს, პროგრამულ უზრუნველყოფას, ინტერფეისის ერთეულებს, კვების წყაროს	პირდაპირი
	დამატებითი ერთეული: BH MMS	ძირითადი ერთეულის სიმძლავრის გაფართოება ერთ BH MMS-ზე	პირდაპირი
IN	ძირითადი ერთეული	ძირითადი ერთეული, რომელიც მოიცავს კარადას, მართვის ერთეულს, პროგრამულ უზრუნველყოფას, ინტერფეისის ერთეულებს, კვების წყაროს	პირდაპირი
	დამატებითი ერთეული: აბონენტები	ძირითადი ერთეულის სიმძლავრის გაფართოება ერთ აბონენტზე	პირდაპირი
	დამატებითი ერთეული: პიკურ დატვირთვაზე ოპერაციები	ძირითადი ერთეულის სიმძლავრის გაფართოება ერთ BH ოპერაციაზე	პირდაპირი
PCU	ძირითადი ერთეული	ძირითადი ერთეული, რომელიც მოიცავს კარადას, მართვის ერთეულს, პროგრამულ უზრუნველყოფას, ინტერფეისის ერთეულებს, კვების წყაროს	პირდაპირი
	დამატებითი ერთეული: Gb კავშირის გამტარუნარიანობა	ძირითადი ერთეულის სიმძლავრის გაფართოება ერთ აბონენტზე	პირდაპირი
SGSN	ძირითადი ერთეული	ძირითადი ერთეული, რომელიც მოიცავს კარადას, მართვის	პირდაპირი

		ერთეულს, პროგრამულ უზრუნველყოფას, ინტერფეისის ერთეულებს, კვების წყაროს	
	დამატებითი ერთეული: Gb კავშირის გამტარუნარიანობა	ძირითადი ერთეულის სიმძლავრის გაფართოება ერთ აბონენტზე	პირდაპირი
GGSN	ძირითადი ერთეული	ძირითადი ერთეული, რომელიც მოიცავს კარადას, მართვის ერთეულს, პროგრამულ უზრუნველყოფას, ინტერფეისის ერთეულებს, კვების წყაროს	პირდაპირი
IMS	ძირითადი ერთეული	ძირითადი ერთეული, რომელიც მოიცავს გადართვის დაფას, მართვის ერთეულს, პროგრამულ უზრუნველყოფას, ინტერფეისის ერთეულებს, კვების წყაროს	პირდაპირი
	მომსახურების ბარათი MRCF/CCTF	დაფა, რომელიც მოიცავს მომსახურების ბარათებს	პირდაპირი
	მომსახურების ბარათი - A-SBG	მომსახურების ბარათები, რომლებიც უზრუნველყოფს A-SBG-ის ფუნქციონალურობას	პირდაპირი
	მომსახურების ბარათი - VoIP AS	მომსახურების ბარათები, რომლებიც უზრუნველყოფს VoIP AS-ის ფუნქციონალურობას	პირდაპირი
	მომსახურების ბარათი - BGCF	მომსახურების ბარათები, რომლებიც უზრუნველყოფს BGCF-ის ფუნქციონალურობას	პირდაპირი
	მომსახურების ბარათი - დომენური სახელის სერვერი (DNS)	მომსახურების ბარათები, რომლებიც უზრუნველყოფს DNS-ის ფუნქციონალურობას	პირდაპირი
	მომსახურების ბარათი - მომსახურების მიწოდება აპლიკაციების სერვერით (AS)	მომსახურების ბარათები, რომლებიც უზრუნველყოფს მომსახურების მიწოდებას აპლიკაციების სერვერით	პირდაპირი
	მომსახურების ბარათი - HSS - მართვის ბარათი	მომსახურების ბარათები, რომლებიც უზრუნველყოფენ HSS-ს - მართვის ბარათი	პირდაპირი
	მომსახურების ბარათი - HSS - მონაცემთა	მომსახურების ბარათები, რომლებიც უზრუნველყოფენ - HSS-ს - მონაცემთა ბაზა	პირდაპირი

	ბაზა		
	IMS - ლიცენზიები - აბონენტი	IMS ლიცენზიები ერთ აბონენტზე	პირდაპირი
	IMS - ლიცენზიები - ტრაფიკი	IMS ლიცენზიები ერთ ტრაფიკზე (BHCA, BHE)	პირდაპირი
	HSS – ლიცენზიები	HSS ლიცენზიები ერთ აბონენტზე	პირდაპირი
საბილინგო სისტემა	ძირითადი ერთეული	ძირითადი ერთეული, რომელიც მოიცავს კარადას, მართვის ერთეულს, პროგრამულ უზრუნველყოფას, ინტერფეისის ერთეულებს, კვების წყაროს	პირდაპირი
	დამატებითი ერთეული: პიკურ დატვირთვაზე გამოძახების მცდელობა (BHCA)	ძირითადი ერთეულის სიმძლავრის გაფართოება ერთ BHCA-ზე	პირდაპირი
ნომრის პორტირება	ძირითადი ერთეული	ძირითადი ერთეული, რომელიც მოიცავს კარადას, მართვის ერთეულს, პროგრამულ უზრუნველყოფას, ინტერფეისის ერთეულებს, კვების წყაროს	პირდაპირი
	დამატებითი ერთეული: პიკურ დატვირთვაზე გამოძახების მცდელობა (BHCA)	ძირითადი ერთეულის სიმძლავრის გაფართოება ერთ BHCA-ზე	პირდაპირი
NMS	არა	არა	მარჯის
გადაცემის უკუტრანზიტი	რადიო სარელეო ხაზი 10 მეგაბიტი წამში	მთლიანი რადიო სარელეო ხაზი , რომელიც მოიცავს IDU-ს, ODU-ს, ანტენის სისტემას, პროგრამულ უზრუნველყოფას და ლიცენზიებს, ინტერფეისის ერთეულსა და კვების წყაროს	პირდაპირი
	რადიო სარელეო ხაზი 20 მეგაბიტი წამში	მთლიანი რადიო სარელეო ხაზი , რომელიც მოიცავს IDU-ს, ODU-ს, ანტენის სისტემას, პროგრამულ უზრუნველყოფას და ლიცენზიებს, ინტერფეისის ერთეულსა და კვების წყაროს	პირდაპირი
	რადიო სარელეო ხაზი 50 მეგაბიტი წამში	მთლიანი რადიო სარელეო ხაზი , რომელიც მოიცავს IDU-ს, ODU-ს, ანტენის სისტემას, პროგრამულ უზრუნველყოფას და ლიცენზიებს, ინტერფეისის ერთეულსა და კვების წყაროს	პირდაპირი
	რადიო სარელეო ხაზი 100 მეგაბიტი წამში	მთლიანი რადიო სარელეო ხაზი , რომელიც მოიცავს IDU-ს, ODU-ს,	პირდაპირი

		ანტენის სისტემას, პროგრამულ უზრუნველყოფას და ლიცენზიებს, ინტერფეისის ერთეულსა და კვების წყაროს	
	რადიო სარელეო ხაზი 150 მეგაბიტი/ წამში	მთლიანი რადიო სარელეო ხაზი , რომელიც მოიცავს IDU-ს, ODU-ს, ანტენის სისტემას, პროგრამულ უზრუნველყოფას და ლიცენზიებს, ინტერფეისის ერთეულსა და კვების წყაროს	პირდაპირი
	რადიო სარელეო ხაზი 200 მეგაბიტი/წამში	მთლიანი რადიო სარელეო ხაზი , რომელიც მოიცავს IDU-ს, ODU-ს, ანტენის სისტემას, პროგრამულ უზრუნველყოფას და ლიცენზიებს, ინტერფეისის ერთეულსა და კვების წყაროს	პირდაპირი
ძირითადი გადაცემა	მონაცემების გადაცემის მომსახურება 1 გიგაბიტი წამში	მონაცემების გადაცემის მომსახურების იჯარის საფასური	პირდაპირი
	მონაცემების გადაცემის მომსახურება 10 გიგაბიტი წამში	მონაცემების გადაცემის მომსახურების იჯარის საფასური	პირდაპირი

6. გაანგარიშებული მომსახურების საგანი

BU-LRIC-ით იანგარიშება შემდეგი მომსახურებების ერთეულის ღირებულებები:

- ▶ ზარის წამოწყების
- ▶ ზარის დასრულების
- ▶ ქვეყნის ფარგლებში როუმინგული კავშირის

მომსახურების ღირებულება გაანგარიშდება შემდეგი მიდგომების გამოყენებით:

მომსახურება	გაანგარიშებისადმი მიდგომა
ზარის დასრულება	▶ სუფთა გრძელვადიანი ნაზარდი დანახარჯების მოდელი
ზარის წამოწყება	▶ სუფთა გრძელვადიანი ნაზარდი დანახარჯების მოდელი ▶ გრძელვადიანი ნაზარდი დანახარჯების მოდელი (LRIC) ▶ გრძელვადიანი ნაზარდი დანახარჯების მოდელი (LRIC+)
ქვეყნის ფარგლებში როუმინგული კავშირი ▶ შიდაქსელური ▶ ზარის დასრულება ▶ ზარის წამოწყება	▶ სუფთა გრძელვადიანი ნაზარდი დანახარჯების მოდელი ▶ გრძელვადიანი ნაზარდი დანახარჯების მოდელი (LRIC) ▶ გრძელვადიანი ნაზარდი დანახარჯების მოდელი (LRIC+)

7. ქსელის მასშტაბის გაანგარიშება

ტექნიკური მოდელების შექმნა ქსელის მასშტაბის გაანგარიშების უმნიშვნელოვანესი ეტაპია ქსელის აქტიური ელემენტებისა და პასიური ინფრასტრუქტურისთვის. BU-LRIC მოდელის შეთხვევაში, ტექნიკური მოდელები არ უნდა შეივსოს ოპერატორთან არსებული მონაცემებით, არამედ ქსელის მასშტაბის გაანგარიშება უნდა მოხდეს ისეთი მარტივად ხელმისაწვდომი მონაცემების საფუძველზე, როგორიცაა წლიური მომსახურების მოცულობა და აბონენტების რაოდენობა.

ტექნოლოგიური მოდელები ასახავს მხოლოდ ინფრასტრუქტურის იმ კომპონენტებს, რომლებიც საჭიროა საბითუმო ხმოვანი მომსახურების გასაწევად. თუმცა ამ კომპონენტების სიმძლავრე განისაზღვრება ყველა შესაბამისი მომსახურების მიხედვით. ამავე ინფრასტრუქტურის მეშვეობით გაწეული სხვა მომსახურების ღირებულება არ იანგარიშება.

7.1 ქსელზე მოთხოვნის გაანგარიშება

მობილური ქსელების მასშტაბი განისაზღვრება იმის გათვალისწინებით, რომ მათ უნდა გაუძღონ არა მხოლოდ ტრაფიკის საშუალო დატვირთვას არამედ პიკურ პერიოდებში დატვირთვასაც. შესაბამისად ტრაფიკის საშუალო დატვირთვა გადაყვანილი უნდა იქნას პიკურ დატვირთვაში ოპერატორის ქსელის მართვის სტატისტიკიდან ამოღებული ტრაფიკის განაწილების ფაქტორების მეშვეობით. აქედან გამომდინარე, BU-LRIC-ის მოდელში მომსახურებაზე მოთხოვნასა და კლიენტის პროფილთან დაკავშირებული მონაცემები შემდეგი ტიპის ინფორმაციას შეიცავს:

- ▶ მომსახურებაზე მოთხოვნა, გამოხატული ხმოვანი ზარის წუთებში, მოკლე ტექსტური შეტყობინებებისა და მულტიმედიური შეტყობინებების რაოდენობით და ბაიტებით
- ▶ აბონენტების რაოდენობა;
- ▶ ტრაფიკის ნაკადები, ქსელის ელემენტის გამოყენების ფაქტორები;

მომსახურების პროფილები, კავშირის დამყარების დროის, ზარის წარუმატებელი მცდელობების რაოდენობის თვალსაზრისით.

მოთხოვნის გაანგარიშება იყოფა ორ ნაწილად იმისდა მიხედვით, თუ მობილური ქსელის რომელი ტექნოლოგია გამოიყენება:

- ▶ LTE ქსელი;
- ▶ UMTS ქსელი;
- ▶ GSM ქსელი.

დატვირთვა ფასდება პიკურ დატვირთვაზე ერლანგებით (BHE). ერლანგები პიკურ დატვირთვაზე იანგარიშება ქსელში არსებული მომსახურებებისთვის ქსელის ელემენტის ან ელემენტებს შორის გადაცემის ტიპის მიხედვით. პიკურ დატვირთვაზე ერლანგების გაანგარიშების ალგორითმები მობილური ქსელით გაწეული მომსახურებებისთვის წარმოდგენილია ქვემოთ.

ხმოვანი გამოძახებების წუთების გაანალიზება ხდება შვიდ ჯგუფად:

- ▶ შიდაქსელური წუთები - იმ გამოძახებების წუთები, რომლებიც წამოწყებულია საკუთარი აბონენტების მიერ საკუთარ მობილურ ქსელში და დასრულებულია საკუთარი აბონენტების მიერ საკუთარ მობილურ ქსელში, მათ შორის ზარები მოკლე სატელეფონო ნომრებზე;
- ▶ ქსელისგარეთა წუთები - იმ გამოძახებების წუთები, რომლებიც წამოწყებულია საკუთარი აბონენტების მიერ საკუთარ ქსელში და დასრულებულია სხვა ქსელებში (საერთაშორისო ქსელების ჩათვლით), მათ შორის ზარები მოკლე სატელეფონო ნომრებზე;
- ▶ შემოსული ზარების წუთები - იმ გამოძახებების წუთები, რომლებიც წამოწყებულია სხვა ქსელებში (საერთაშორისო ქსელების ჩათვლით) და დასრულებულია საკუთარი აბონენტების მიერ საკუთარ მობილურ ქსელში, მათ შორის ზარები მოკლე სატელეფონო ნომრებზე;
- ▶ ტრანზიტული გამოძახებების წუთები - ტრაფიკი, რომელიც არ წამოწყებული და არც გამოძახებულა საკუთარ ქსელში, ის წარმოადგენს სხვადასხვა ოპერატორების შემაერთებული ტრაფიკი;
- ▶ შემომავალი როუმინგის წუთები - შიდაქსელური ზარი - იმ გამოძახებების წუთები, რომლებიც წამოწყებული და დასრულებულია საკუთარ მობილურ ქსელში, მათ შორის ზარები მოკლე სატელეფონო ნომრებზე როუმინგით მოსარგებლე აბონენტებისთვის (ქვეყნის შიდა და საერთაშორისო);
- ▶ როუმინგის წუთები - ქსელისგარეთა - იმ გამოძახებების წუთები, რომლებიც წამოწყებულია საკუთარ ქსელში და დასრულებულია სხვა ქსელში (საერთაშორისო ქსელების ჩათვლით), მათ შორის ზარები მოკლე სატელეფონო ნომრებზე როუმინგით მოსარგებლე აბონენტებისთვის (ქვეყნის შიდა და საერთაშორისო);
- ▶ როუმინგის წუთები - შემომავალი - იმ გამოძახებების წუთები, რომლებიც წამოწყებულია სხვა ქსელებში (საერთაშორისო ქსელების ჩათვლით) და დასრულებულია საკუთარ მობილურ ქსელში, მათ შორის ზარები მოკლე სატელეფონო ნომრებზე როუმინგით მოსარგებლე აბონენტებისთვის (ქვეყნის შიდა და საერთაშორისო);

მოკლე ტექსტური შეტყობინება (SMS) სამ ჯგუფად იყოფა:

- ▶ შიდაქსელური SMS - SMS, რომელიც გაგზავნილია საკუთარი მობილური ქსელიდან საკუთარ მობილურ ქსელში;
- ▶ გამავალი SMS - SMS, რომელიც გაგზავნილია საკუთარი მობილური ქსელიდან საერთაშორისო ქსელებსა და სხვა მობილურ ქსელებში;
- ▶ შემომავალი SMS - SMS, რომელიც გაგზავნილია საერთაშორისო ქსელებიდან და სხვა მობილური ქსელებიდან საკუთარ მობილურ ქსელში;

მულტიმედიური შეტყობინება (MMS) სამ ჯგუფად იყოფა:

- ▶ შიდაქსელური MMS - MMS, რომელიც გაგზავნილია საკუთარი მობილური ქსელიდან საკუთარ მობილურ ქსელში;
- ▶ გამავალი MMS - MMS, რომელიც გაგზავნილია საკუთარი მობილური ქსელიდან საერთაშორისო ქსელებსა და სხვა მობილურ ქსელებში;
- ▶ შემომავალი MMS - MMS, რომელიც გაგზავნილია საერთაშორისო ქსელებიდან და სხვა მობილური ქსელებიდან საკუთარ მობილურ ქსელში;

საპაკეტო მონაცემების ტრაფიკის მოცულობა მოიცავს წლის განმავლობაში მთლიანი მიღებული და გადაცემული ტრაფიკის მოცულობას მეგაბაიტებში.

7.2 მომსახურებაზე მოთხოვნის განსაზღვრა

7.2.1 წლიური მოცულობების გადაყვანა პიკურ დატვირთვის ტრაფიკში

ტრაფიკის საშუალო დატვირთვის გადაყვანა პიკურ მოცულობებში აუცილებელია ისეთი ქსელის (ქსელის ელემენტები, აღჭურვილობის ოდენობა) შეფასებისთვის, რომელიც ეფექტურად მოემსახურებოდა მომსახურების უზრუნველსაყოფად საჭირო მოთხოვნას. ტრაფიკის საშუალო დატვირთვის გადაყვანა პიკურ დატვირთვებში ხდება ქსელის თითოეული ელემენტისთვის, ერლანგები პიკურ დატვირთვაზე იანგარიშება ქსელის თითოეული ელემენტისთვის. ქსელი ელემენტების ოდენობა იანგარიშება პიკურ დატვირთვაზე მოსალოდნელი ერლანგების მიხედვით. ტრაფიკის საშუალო დატვირთვა შედგება მომსახურების დაუმუშავებელი სტატისტიკური მონაცემებისგან. პიკური დატვირთვა შედგება მომსახურების დაუმუშავებელი სტატისტიკური მონაცემებისგან, რომელიც ფასდება მარშრუტიზაციის, არაჰომოგენურობის ფაქტორებისა და სხვა კოეფიციენტის მიხედვით.

მომსახურებაზე საშუალო მოთხოვნის გადაყვანა პიკურ დატვირთვაზე ერლანგებში შემდეგ ეტაპებად ხორციელდება:

1. გამოძახების მცდელობების რაოდენობის გაანგარიშება;
2. აღრიცხული ტრაფიკის მოცულობების შეწონვა მარშრუტიზაციის ფაქტორების მიხედვით;
3. აღრიცხული ხმოვანი და ვიდეო ზარების წუთების მოცულობის აღურიცხავი ტრაფიკით კორექტირება;
4. მომსახურების მოცულობების გადაყვანა წუთობრივ ეკვივალენტში;
5. ტრაფიკის მოცულობის (წუთების) დაკორექტირება დიფერენციაციის კოეფიციენტების მიხედვით.

გამოძახების წარმატებული მცდელობების წლიური მოცულობა იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$N_{CA} = \frac{T_{call}}{\alpha_{CD}}$$

სადაც:

T_{call} – ხმოვანი ან ვიდეო ზარების ტრაფიკი, წუთებში.

α_{CD} – ზარის საშუალო ხანგრძლივობა, წუთებში.

გამოძახების წარმატებული მცდელობები გარდაიქმნება გამოძახების მცდელობებად პიკურ დატვირთვაზე. პიკურ დატვირთვაზე გამოძახების მცდელობები წარმოადგენს გამოძახების მცდელობების მთლიან მოცულობას (როგორც წარმატებული, ისე წარუმატებელი) პიკურ დატვირთვაზე და გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$N_{BHCA} = \frac{N_{CA} \times r_f \times f_{DA} \times (1 + r_u)}{365 \times 24 \times 60}$$

სადაც:

N_{CA} – გამოძახების წარმატებული მცდელობების წლიური მოცულობა, ერთეულებში.

r_f – მარშრუტიზაციის ფაქტორი გარკვეული მომსახურების ტრაფიკისთვის ქსელის გარკვეულ ელემენტში.

f_{DA} – დიფერენციაციის კოეფიციენტი, %;

r_u – წარუმატებელი გამოძახებების თანაფარდობა წარმატებულ გამოძახებებთან, %

365-ზე გაყოფა ნიშნავს წლის დღეებში გადაყვანას, 24-ზე გაყოფა ნიშნავს დღის საათებში გადაყვანას, ხოლო 60-ზე გაყოფა - საათის წუთებში გადაყვანას.

დიფერენციაციის კოეფიციენტი გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$f_{DA} = r_{BA} \times f_H$$

სადაც:

r_{BA} – პიკურ დატვირთვაზე ტრაფიკის საშუალო საათობრივ ტრაფიკთან თანაფარდობის კოეფიციენტი. ეს კოეფიციენტი გვიჩვენებს პიკური და საშუალო ტრაფიკის თანაფარდობას.

f_H – დიფერენციაციის კოეფიციენტი პიკური დატვირთვის განაწილებისთვის. ეს კოეფიციენტი გვიჩვენებს ტრაფიკის აგრეგირების დონეს ქსელის ელემენტში.

ტრაფიკის შეწონილი მოცულობები (T_w , წუთები, შეტყობინებები ან მეგაბაიტები) ქსელის გარკვეული ელემენტისთვის მარშრუტიზაციის ფაქტორების მიხედვით, შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$T_w = T \times f_R$$

სადაც:

T – ტრაფიკის მოცულობა, წუთები, შეტყობინებები ან მეგაბაიტები;

f_R – მარშრუტიზაციის ფაქტორი.

მარშრუტიზაციის ფაქტორები აჩვენებს, თუ რამდენად ინტენსიურად გამოიყენება ქსელის თითოეული ელემენტი მომსახურების ყოველი ტიპისთვის. მაგალითად, შიდაქსელური ზარი შეიძლება საშუალოდ იყენებდეს ორ BTS-ს, ორ BSC-ს და ერთ MSC-ს, რაც იმას ნიშნავს, რომ შიდაქსელური ზარი ერთი მომხმარებლის აპარატიდან მეორე მომხმარებლის აპარატამდე საშუალოდ ორჯერ გაივლის BTS-ის ელემენტს, საშუალოდ ორჯერ BSC-ის და საშუალოდ ერთხელ MSC-ს.

ხმოვანი გამოძახებებისთვის იანგარიშება კორექტირება ქსელში არსებული აღურიცხავი ტრაფიკის მიხედვით. აღურიცხული წუთების ტრაფიკი ან, უბრალოდ, აღურიცხული წუთები განისაზღვრება, როგორც ზარის ხანგრძლივობა კავშირის დაწყებიდან, როდესაც ტელეფონს პასუხობენ, კავშირის დასრულებამდე, როდესაც ტელეფონს თიშავენ. აღურიცხული ტრაფიკის გაანგარიშება ითვალისწინებს მოკლე, გადაუდებელი, საინფორმაციო და მსავსი ნომრების წუთების ტრაფიკს, ქსელში ყველა განხორციელებული გამოძახების წუთებს. აღურიცხავი ტრაფიკი უკავშირდება კავშირის დამყარების ხანგრძლივობასა და გამოძახების წარუმატებელ მცდელობებს. წარუმატებელი ზარები მოიცავს ორივე შემთხვევას: როდესაც ხაზი დაკავებულია და როდესაც მიმღები არ პასუხობს ზარს.

სხვა მომსახურება (SMS, MMS და მონაცემების გადაცემა) აღურიცხება მაშინვე, როდესაც ისინი იყენებენ ქსელის რესურსებს, ამიტომ აღურიცხავი ტრაფიკის დაკორექტირება არ არის საჭირო.

ზარების ტრაფიკი (T_{B+U}) (აღურიცხულს დამატებული აღურიცხავი ტრაფიკი) შემდეგი ფორმულებით გამოითვლება:

$$T_{B+U} = T_W \times (1 + f_A)$$

$$f_A = \frac{S_s}{\alpha_{CD} \times 60} + \frac{S_u \times r_u}{\alpha_{CD} \times 60}$$

სადაც:

f_A – კორექტირების კოეფიციენტი;

T_W – შეწონილი ზარების ტრაფიკი ქსელის გარკვეული ელემენტისთვის, წუთებში.

S_s – კავშირის დამყარების ხანგრძლივობა წარმატებული ზარების დროს, წამებში.

S_u – კავშირის დამყარების ხანგრძლივობა წარუმატებელი ზარების დროს, წამებში.

r_u – წარუმატებელი გამოძახებების თანაფარდობა წარმატებულ გამოძახებებთან, %.

α_{CD} – ზარის საშუალო ხანგრძლივობა, წამებში.

60-ზე გაყოფა ნიშნავს წამის გადაყვანას წუთებში.

7.2.2 ტრაფიკის გარდაქმნა მომსახურების ერთგვაროვან მოცულობად

მომსახურების ერთგვაროვანი მოცულობის საზომების მისაღებად, ყველა არაწუთობრივი

მომსახურების მოცულობა გადაიქმნება წუთობრივ ეკვივალენტად. მომსახურების ასეთი ერთგვაროვანი მოცულობის საზომი საჭიროა იმისათვის, რომ მოხდეს იმ ელემენტების მასშტაბის გაანგარიშება, რომლებიც ზოგადად შედის ქსელის მასშტაბის გაანგარიშებაში. გარდაქმნილი მომსახურებების სია მოცემულია ქვემოთ:

1. მოკლე ტექსტური შეტყობინება (SMS);
2. მულტიმედიური შეტყობინება (MMS);
3. საპაკეტო მონაცემების ტრაფიკი GSM ქსელისთვის:
 - ▶ GPRS გადაცემის ტექნოლოგია;
 - ▶ EDGE გადაცემის ტექნოლოგია.
4. საპაკეტო მონაცემების ტრაფიკი UMTS ქსელისთვის:
 - ▶ UMTS R99 გადაცემის ტექნოლოგია;
 - ▶ HSDPA გადაცემის ტექნოლოგია.
5. საპაკეტო მონაცემების ტრაფიკი და VoIP ზარები LTE ქსელისთვის:
 - ▶ LTE გადაცემის ტექნოლოგია;

ტრაფიკის გარდაქმნა წუთობრივ ეკვივალენტად ხდება შემდეგი ფორმულის გამოყენებით:

$$T_c = T_w \times f_c$$

სადაც:

T_c – გარდაქმნილი კონკრეტული მომსახურების ტრაფიკი, წუთებში;

T_w – შეწონილი კონკრეტული მომსახურების ტრაფიკი - შეტყობინებებში ან მეგაბაიტებში.

f_c – გადაყვანის კოეფიციენტი SMS, MMS და საპაკეტო მონაცემების გადაცემის გარკვეული მომსახურებისთვის.

მომსახურების სხვადასხვა ტიპისთვის სხვადასხვა გადაყვანის კოეფიციენტი გამოიყენება. ქვემოთ წარმოგიდგენთ გადაყვანის კოეფიციენტის გაანგარიშების ალგორითმს.

7.2.2.1 SMS-ისა და MMS-ის გარდაქმნა

SMS შეტყობინების წუთობრივ ეკვივალენტში გადაყვანის კოეფიციენტი (f_{SMS}) შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$f_{SMS} = \frac{L_{SMS}}{\rho_{ch}} \times \frac{8}{60}$$

სადაც:

L_{SMS} – SMS შეტყობინების საშუალო სიგრძე, ბაიტებში.

ρ_{ch} – SDCCH არხის ბიტრეიტი, კბტ/წმ.

60-ზე გაყოფა ნიშნავს წამების გადაყვანას წუთებში, ხოლო 8-ზე გამრავლება - ბაიტების გადაყვანას ბიტებში.

MMS შეტყობინების წუთობრივ ეკვივალენტში გადაყვანის კოეფიციენტი (f_{MMS}) შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$f_{MMS} = \frac{f_G \times L_{MMS}}{10^6}$$

სადაც:

f_G – GPRS მეგაბაიტების წუთებში გადაყვანის კოეფიციენტი.

L_{MMS} – MMS შეტყობინების საშუალო სიგრძე, ბაიტებში.

10^6 -ზე გაყოფა ნიშნავს ბაიტების გადაყვანას მეგაბაიტებში.

7.2.2.2 GSM საპაკეტო მონაცემების გადაყვანა

საპაკეტო მონაცემების ტრაფიკის გადაყვანის კოეფიციენტის გაანგარიშება GSM ქსელისთვის ორ ნაწილად იყოფა იმ ტექნოლოგიების მიხედვით, რომლებსაც ეყრდნობა მონაცემების გადაცემა. ასე, რომ GSM ქსელში შემდეგი გადაყვანის კოეფიციენტები იანგარიშება:

- ▶ GPRS მეგაბაიტების წუთებში გადაყვანის კოეფიციენტი.
- ▶ EDGE მეგაბაიტების წუთებში გადაყვანის კოეფიციენტი.
- ▶ ზოგადი GSM მეგაბაიტების წუთებში გადაყვანის კოეფიციენტი.

GPRS/EDGE მონაცემების ტრაფიკის გადაყვანის კოეფიციენტი (f_G და f_E) მეგაბაიტებიდან წუთობრივ ეკვივალენტში, შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$f_{G \text{ or } E} = 1024 \times 8 \times \frac{1}{60} \times \frac{1}{\rho_{G \text{ or } E}}$$

სადაც:

ρ_G – GPRS ბიტრეიტი, კბტ/წმ;

ρ_E – EDGE ბიტრეიტი, კბტ/წმ;

60-ზე გაყოფა ნიშნავს წამების წუთებში გადაყვანას გადაყვანას, 8-ზე გამრავლება - ბაიტების გადაყვანას ბიტებში, ხოლო 1024-ზე - მეგაბაიტების გადაყვანას კილობაიტებში.

ზოგადი მონაცემების ტრაფიკის გადაყვანის კოეფიციენტი (f_{GSM}) GSM ქსელში მეგაბაიტებიდან წუთობრივ ეკვივალენტში შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$f_{GSM} = 1024 \times 8 \times \frac{1}{60} \times \frac{1}{\rho_G \times (P_G + P_{GW}) + \rho_E \times (P_E + P_{EW})}$$

სადაც:

P_{GD} – GPRS მონაცემების ტრაფიკის წილი GSM ქსელში, %;

P_{GW} – GPRS WAP ტრაფიკის წილი GSM ქსელში, %;

P_E – EDGE მონაცემების ტრაფიკის წილი GSM ქსელში, %;

P_{EW} – EDGE WAP ტრაფიკის წილი GSM ქსელში, %;

ρ_G – GPRS ბიტრეიტი, კბტ/წმ;

ρ_E – EDGE ბიტრეიტი, კბტ/წმ.

60-ზე გაყოფა ნიშნავს წამების წუთებში გადაყვანას გადაყვანას, 8-ზე გამრავლება - ბატიების გადაყვანას ბიტებში, ხოლო 1024-ზე - მეგაბაიტების გადაყვანას კილობაიტებში.

7.2.2.3 UMTS მონაცემების გადაყვანა

საპაკეტო მონაცემების ტრაფიკის გადაყვანის კოეფიციენტის გაანგარიშება UMTS R99 ქსელისთვის ორ ნაწილად იყოფა იმ ტექნოლოგიების მიხედვით, რომლებსაც ეყრდნობა მონაცემების გადაცემა. ასე, რომ UMTS ქსელში შემდეგი გადაყვანის კოეფიციენტები იანგარიშება:

- ▶ UMTS R99 მეგაბაიტების წუთებში გადაყვანის კოეფიციენტი.
- ▶ HSDPA მეგაბაიტების წუთებში გადაყვანის კოეფიციენტი;
- ▶ ზოგადი UMTS მეგაბაიტების წუთებში გადაყვანის კოეფიციენტი.

UMTS R99 და HSDPA მონაცემების ტრაფიკის გადაყვანის კოეფიციენტი (f_{umts} და f_{HSDPA}) მეგაბაიტებიდან წუთობრივ ეკვივალენტში შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$f_{umts} = 1024 \times 8 \times \frac{1}{60} \times \frac{1}{\rho_{umts}}$$

$$f_{HSDPA} = 8 \times \frac{1}{60} \times \frac{1}{\rho_{HSDPA}}$$

სადაც:

ρ_{umts} – UMTS ბიტრეიტი, კბტ/წმ;

ρ_{HSDPA} – HSDPA ბიტრეიტი, მეგაბიტი წამში.

60-ზე გაყოფა ნიშნავს წამების წუთებში გადაყვანას გადაყვანას, 8-ზე გამრავლება - ბატიების გადაყვანას ბიტებში, ხოლო 1024-ზე - მეგაბაიტების გადაყვანას კილობაიტებში.

ზოგადი მონაცემების ტრაფიკის გადაყვანის კოეფიციენტი (f_{UMTS}) UMTS ქსელში მეგაბაიტებიდან წუთობრივ ეკვივალენტში შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$f_{UMTS} = 1024 \times 8 \times \frac{1}{60} \times \frac{1}{\rho_{umts} \times P_{umts} + 1024 \times \rho_{HSDPA} \times P_{HSDPA}}$$

სადაც:

P_{umts} – UMTS R99 მონაცემების ტრაფიკის წილი UMTS ქსელში, %;

P_{HSDPA} – HSDPA მონაცემების ტრაფიკის წილი UMTS ქსელში, %;

ρ_{umts} – UMTS ბიტრეიტი, კბტ/წმ;

ρ_{HSDPA} – HSDPA ბიტრეიტი, მეგაბიტი წამში.

60-ზე გაყოფა ნიშნავს წამების წუთებში გადაყვანას გადაყვანას, 8-ზე გამრავლება - ბაიტების გადაყვანას ბიტებში, ხოლო 1024-ზე - მეგაბაიტების გადაყვანას კილობაიტებში.

7.2.2.4 LTE საპაკეტო მონაცემების გადაყვანა

LTE მონაცემების ტრაფიკის გადაყვანის კოეფიციენტი (f_{LTE}) მეგაბაიტებიდან წუთობრივ ეკვივალენტში ითვალისწინებს მონაცემების იმ ოდენობას (მეგაბაიტებს), რომელიც საჭიროა VoLTE (ხმოვანი სიგნალის გადაცემა LTE მომსახურებით) ტექნოლოგიით ერთწუთიანი ზარის გასაშვებად. მონაცემების ის რაოდენობა, რაც საჭიროა VoLTE-სთვის ერთწუთიანი ზარისთვის, იანგარიშება VoIP არხის გატარების ზოლის საფუძველზე. VoIP არხის გატარების ზოლის გაანგარიშება მოითხოვს VoIP (ხმოვანი სიგნალის გადაცემა IP პროტოკოლით) ტექნოლოგიის შესახებ გარკვეულ დაშვებებს:

- ▶ ხმოვანი ზარისთვის რომელი კოდერ-დეკოდერი გამოიყენება;
- ▶ დატვირთვა თითოეული ქსელური დონის პროტოკოლისთვის: RTP / UDP / IP / ეზერნეტი.

VoIP არხის გატარების ზოლი იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$VoIP_{bit-rate} = (IP + UDP + RTP + ETH + PLS) \times PPS \times PF \times \frac{8}{1024}$$

სადაც,

IP - IP თავსართი (ბაიტები);

UDP - UDP თავსართი (ბაიტები);

RTP - RTP თავსართი (ბაიტები);

ETH - ეზერნეტის თავსართი (ბაიტები)

PLS - ხმის დატვირთვის ოდენობა (ბაიტები) – VoIP კოდერ-დეკოდერთან დაკავშირებული მაჩვენებელი;

PPS - პაკეტები ერთ წამში (პაკეტები) – კოდერ-დეკოდერის ბიტრეიტთან დაკავშირებული მაჩვენებელი;

PF - პრიორიტეტულობის ფაქტორი.

გაანგარიშების რაოდენობრივი შედეგი წარმოდგენილია ქვემოთ მოცემულ ცხრილში.

კოდურ-დეკოდერი ბიტრეიტი (კბტ/წმ)	და	გატარების ეზერნეტის (კბტ/წმ)	ზოლი დონეში	ხმოვანი დატვირთვა (ბაიტებში)	ზარის
G.711 (64 კბტ/წმ)		87.2 კბტ/წმ		160,00	
G.729 (8 კბტ/წმ)		31.2 კბტ/წმ		20,00	
G.723.1 (6.3 კბტ/წმ)		21.9 კბტ/წმ		24,00	
G.723.1 (5.3 კბტ/წმ)		20.8 კბტ/წმ		20,00	
G.726 (32 კბტ/წმ)		55.2 კბტ/წმ		80,00	
G.726 (24 კბტ/წმ)		47.2 კბტ/წმ		60,00	
G.728 (16 კბტ/წმ)		31.5 კბტ/წმ		60,00	
G722_64k(64 კბტ/წმ)		87.2 კბტ/წმ		160,00	
ilbc_mode_20 (15.2 კბტ/წმ)		38.4 კბტ/წმ		38,00	
ilbc_mode_30 (13.33 კბტ/წმ)		28.8 კბტ/წმ		50,00	

წყარო: „ხმოვანი სიგნალის გადაცემა IP პროტოკოლით - ერთ გამოცხემაზე გატარების ზოლის მოხმარება“, Cisco

7.3 ქსელის მასშტაბის გაანგარიშება

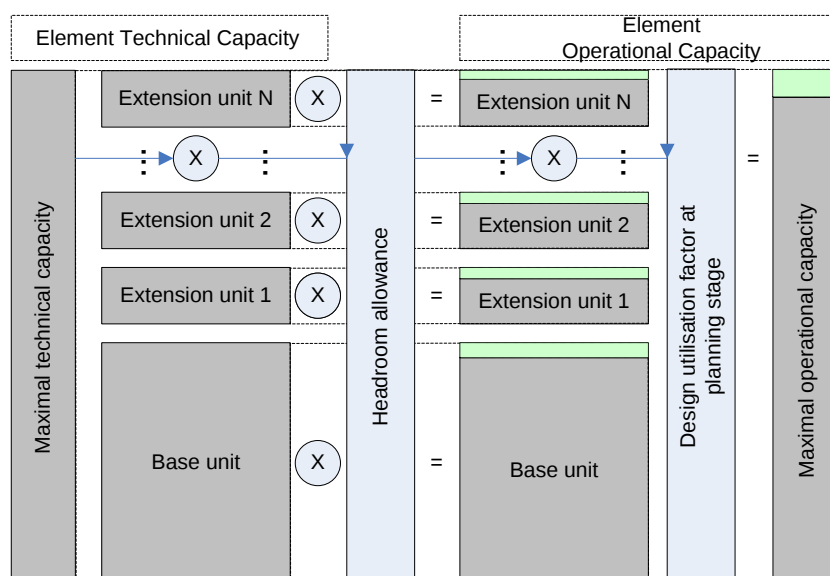
ქსელის მასშტაბის სირთულის გამო გაანგარიშების ალგორითმები GSM, UMTS და LTE ქსელების არქიტექტურების მიხედვით შესაბამის ფაზებად იყოფა:

1. საბაზო სადგურის სისტემა (BSS) GSM-ისთვის, რადიოქსელის სისტემა (RNS) UMTS-ისთვის და პაკეტის კომუტაციის სისტემა (PSS) LTE-ისთვის;
2. ძირითადი ქსელი;

BSS, RNS ან PSS დონეების ელემენტებს განსაზღვრავს მომსახურების გარკვეული ხარისხისთვის საჭირო მოთხოვნა ტრაფიკზე და ქსელის დაფარვა. ძირითადი დონის ელემენტებს განსაზღვრავს აბონენტების რაოდენობა, მოთხოვნა ტრაფიკზე (ისე, როგორც BSS/RNS/PSS დონეზე) და სხვა პარამეტრები (მაგ. ხმოვანი საფოსტო ყუთების რაოდენობა).

7.3.1 საბაზო და დამატებითი ერთეულების ცნება

სატელეკომუნიკაციო ქსელის მოდულური ხასიათიდან გამომდინარე, ქსელის ელემენტების მასშტაბის გაანგარიშება იმეორებს საბაზო ერთეულებისა და, სადაც შესაძლებელია, დამატებითი ერთეულების გარკვეულ ოდენობას ქსელის ამა თუ იმ ელემენტისთვის. დამატებითი ერთეული წარმოადგენს საბაზო ერთეულის დამატებით ნაწილს, რომელიც ზრდის საბაზო ერთეულის სიმძლავრეს. დამატებითი ერთეულების მასშტაბის გაანგარიშება ხდება მაშინ, როდესაც n რაოდენობის საბაზო ერთეულების სიმძლავრე არ კმარა ტრაფიკის მომსახურებისთვის, მაგრამ $n+1$ რაოდენობის საბაზო ერთეულები გამოიწვევს საჭირო რესურსების ზედმეტ სიმძლავრეს. ასეთ დროს დანახარჯების თვალსაზრისით ეფექტურია საბაზო ერთეულში დამატებითი ერთეულის დამონტაჟება, შემდეგ მორიგი საბაზო ერთეულის დამონტაჟება, მანამ სანამ სრულად არ მოხდება მოთხოვნილი ტრაფიკის მომსახურების უზრუნველყოფა საბაზო და დამატებითი ერთეულების რაოდენობის გაანგარიშების ალგორითმი საერთოა ქსელის ყველა იმ ელემენტისთვის, რომლებიც BU-LRIC-ის მოდელის აღწერით ნაწილში გაანალიზდა. ქვემოთ მოცემულ სურათზე ნაჩვენებია საბაზო ერთეულისა და დამატებითი ერთეულის გაანგარიშების ალგორითმი.



ქსელის ელემენტისთვის საჭირო საბაზო ერთეულების (BU) რაოდენობა ზოგადად გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$BU = \left\lceil \frac{DV}{C^\psi} \right\rceil$$

სადაც:

DV – მოთხოვნის მოცულობა. DV არის კონკრეტული მოთხოვნა ტრაფიკზე, რომელზეც პირდაპირ არის დამოკიდებული საბაზო ერთეულის მახასიათებლები

C^ψ – ქსელის ელემენტის მაქსიმალური საოპერაციო სიმძლავრე, გაზომვის ერთეული იგივეა, რაც DV -სთვის.

საბაზო ერთეულის ან დამატებითი ერთეულის საოპერაციო სიმძლავრე გვიჩვენებს იმას, თუ ტრაფიკის რა მოცულობების გატარება შეუძლია მას.

საჭიროების შემთხვევაში, ქსელის ელემენტისთვის მოთხოვნილი დამატებითი ერთეულების (EU) რაოდენობა, ზოგადად, შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$EU = \left\lceil \frac{BU \times (C^\psi - C_{BU}^o)}{C_{ES}^o} \right\rceil$$

სადაც:

C^ψ – ქსელის ელემენტის მაქსიმალური საოპერაციო სიმძლავრე, გაზომვის ერთეული იგივეა, რაც DV -სთვის.

BU – საბაზო ერთეული, ერთეულებში;

C_{BU}^o – საბაზო ერთეულის საოპერაციო სიმძლავრე, საზომი ერთეული

დამოკიდებულია ქსელის ელემენტზე;

C_{ES}^o – დამატებითი ეტაპის (საბაზო ერთეულის დამატებითი ერთეული) საოპერაციო სიმძლავრე, საზომი ერთეული დამოკიდებულია ქსელის ელემენტზე.

მაქსიმალური საოპერაციო სიმძლავრე (C^p , პიკურ დატვირთვაზე გამოძახების მცდელობა (BHCA), აბონენტები, და სხვ.) ქსელის კონკრეტული ელემენტისთვის გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$C^p = C^r \times OA$$

საბაზო და დამატებითი ერთეულის საოპერაციო სიმძლავრე (C_i^o , პიკურ დატვირთვაზე გამოძახების მცდელობა (BHCA), აბონენტები და სხვ.) იანგარიშება შემდეგი ფორმულით, შესაბამისი სიმძლავრის სიდიდეების გამოყენებით.

$$C_i^o = C_i \times OA_i$$

სადაც:

C^r – მაქსიმალური ტექნიკური სიმძლავრე (შესაძლო გაფართოების ჩათვლთ), საზომი ერთეული დამოკიდებულია ელემენტზე. C^r გვიჩვენებს ქსელის ელემენტის მაქსიმალურ თეორიულ ტექნიკურ სიმძლავრეს, საბაზო ერთეულისა და დამატებითი ერთეულის შემადგენლობით.

C_i – საბაზო ერთეულის ან დამატებითი ერთეულის სიმძლავრე, საზომი ერთეული დამოკიდებულია ქსელის ელემენტზე; C_i განსაზღვრავს საბაზო ერთეულის ან დამატებითი ერთეულის სიმძლავრის ტექნიკურ პარამეტრს.

i – აკონკრეტებს საბაზო ერთეულს ან დამატებით ერთეულს.

OA – საოპერაციო რეზერვი, %.

საოპერაციო რეზერვი (OA , %) გვიჩვენებს როგორც ქსელის აღჭურვილობის აგებულებას, ისე მის სამომავლოდ დაგეგმილ ექსპლუატაციას, გამოიხატება პროცენტულობით. OA გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$OA = HA \times f_U$$

სადაც:

HA – სათანადო საოპერაციო სიმძლავრე, %. HA გვიჩვენებს საბაზო ერთეულის ან დამატებითი ერთეულის რა სიმძლავრეა დარეზერვებული ტრაფიკის სამომავლო ზრდისთვის.

f_U – აგებულების გამოყენების კოეფიციენტი დაგეგმვის ეტაპზე, %. ეს არის აღჭურვილობის მაქსიმალური ექსპლუატაციის მაჩვენებელი (აღჭურვილობის მიმწოდებელი კომპანის მიერ მითითებული). ექსპლუატაციის მაჩვენებელი უზრუნველყოფს იმას, რომ ქსელის აღჭურვილობა არ გადაიტვირთოს მოთხოვნის პერიოდული მოზღვავების დროს, და ასევე წარმოადგენს სიჭარბის კოეფიციენტს. საოპერაციო რეზერვისა და სიმძლავრის გაანგარიშება დამოკიდებულია სათადარიგო საოპერაციო სიმძლავრის მაჩვენებელზე (HA , %). სათადარიგო საოპერაციო სიმძლავრე გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$HA = \frac{1}{r_{SDG}}$$

სადაც:

r_{SDG} – მომსახურებაზე მოთხოვნის ზრდის კოეფიციენტი

r_{SDG} განსაზღვრავს ქსელის არასრული დატვირთვის დონეს და წარმოადგენს აღჭურვილობის დაგეგმვის პერიოდებისა და მოსალოდნელი მოთხოვნის ფუნქციას. დაგეგმვის პერიოდი გვიჩვენებს იმას, თუ რა დრო სჭირდება ყველა საჭირო მოსამზადებელი სამუშაოს ჩატარებას ახალი აღჭურვილობის ექსპლუატაციაში მისაღებად. ეს პერიოდი შეიძლება რამდენიმე კვირიდან რამდენიმე წლამდე გაგრძელდეს. აქედან გამომდინარე, ტრაფიკის ჯგუფების მიხედვით დაყოფილი მოცულობები (მოთხოვნის ქვემოთ მოყვანილი აგრეგირებული მაჩვენებლები) იგეგმება მომსახურებაზე მოთხოვნის ზრდის შესაბამისად.

მომსახურებაზე მოთხოვნის ზრდის კოეფიციენტი გამოითვლება ქვემოთ მოცემული მოთხოვნის თითოეული აგრეგირებული მაჩვენებლისთვის:

- ▶ აბონენტების მთლიანი რაოდენობა;
- ▶ CCS (გამოძახების არხის 100 წამი) ტრაფიკი, რომელიც მოიცავს ხმოვან სიგნალს, არხის მონაცემებს და წუთობრივ ეკვივალენტზე გადაყვანილ ვიდეოტრაფიკს;
- ▶ საეთერო ინტერფეისის ტრაფიკი, რომელიც შედგება წუთობრივ ეკვივალენტში გადაყვანილი მოკლე ტექსტური შეტყობინების, მულტიმედიური შეტყობინებისა და საპაკეტო მონაცემების ტრაფიკისგან. საპაკეტო მონაცემების ტრაფიკი ამ შემთხვევაში ნიშნავს GSM, UMTS და LTE ტრაფიკის მიღება-გადაცემის ჯამს, რომლის მოცულობაც შეიძლება გაიზარდოს.

ქსელის კონკრეტული ელემენტის აღჭურვილობას ენიჭება მოთხოვნის ზრდის გარკვეული კოეფიციენტი.

7.3.2 ფორმულებში გამოყენებული აღნიშვნების მნიშვნელობები

ქვემოთ მოცემულ ცხრილში განმარტებულია ქსელის ელემენტების მახასიათებლების განსაზღვრისა და მოთხოვნის გაანგარიშების ფორმულებში გამოყენებული აღნიშვნები:

შემოკლება	განმარტება
N	x ელემენტების რაოდენობა
V	x ტრაფიკის მოცულობა
S	აბონენტების/მომსახურების ტიპების რაოდენობა
T	x ელემენტის გამტარუნარიანობა
HA	სათადარიგო საოპერაციო სიმძლავრე
ρ	პროცენტულობით გამოხატული წილი
C	x ელემენტის სიმძლავრე

7.3.3 GSM ქსელის მასშტაბის გაანგარიშება

7.3.3.1 საბაზო მიმღებ-გადამცემი სადგური

საბაზო სადგურის ქვესისტემის (BSS) შრის მასშტაბის გაანგარიშების პირველი ეტაპია საბაზო მიმღებ-გადამცემის სადგურების (BTS) მოდელირება. ამ ნაწილში წარმოდგენილი ალგორითმების რაოდენობრივი შედეგი არის BTS-ის ლოკაციების (ობიექტების) რაოდენობა.

ამ ნაწილში წარმოდგენილი ყველა BTS-ის გაანგარიშება ხდება საქართველოს ტერიტორიის (დაფარვისთვის) და ტრაფიკის (სიმძლავრისთვის) დაყოფა შემდეგ გეოგრაფიულ ზონებად:

1. ქალაქის ტიპის – ქალაქი ან მსხვილი დაბა დიდი კორპუსებითა და სახლებით. ოთხზე მეტ სართულიანი კორპუსები (დაახ. 10 მეტრის სიმაღლის).
2. ქალაქგარეთა – სოფელი, გზატკეცილი, მიმოზნეული ხეებითა და სახლებით. გარკვეული დაბრკოლებები მოხილური ქსელის სიახლოვეს, მაგრამ არა ძალიან გადატვირთული.
3. სოფლის ტიპის– ღია სივრცე, ტყეები, არცთუ ისე მაღალი ხეები ან შენობები.

ქსელის მასშტაბის გაანგარიშებას, ტრაფიკის და დაფარვის გეოგრაფიული არეალები ერთნაირად შეესაბამება გეოგრაფიული ზონების განმარტებას.

BTS ლოკაციების აუცილებელი მინიმალური რაოდენობის განსაზღვრა წარმოადგენს დაფარვისა და ტრაფიკის მოთხოვნის დაკმაყოფილებისთვის აუცილებელი მოთხოვნების ფუნქციას.

დაფარვის მოთხოვნები

ლოკაციების მინიმალური რაოდენობა, რომელიც საჭიროა დაფარვის მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად (N_{COV}^{Si} , ერთეულებში) შემდეგი ფორმულებით განისაზღვრება:

$$N_{COV}^{Si} = \left\lceil \frac{A_C}{A_C^c} \right\rceil$$

$$A_C^c = 1.5 \times \sqrt{3} \times R^2 = 2.6 \times R^2$$

სადაც:

A_C – GSM ქსელის დაფარვის არეალი გეოგრაფიული ზონის კონკრეტული ტიპისთვის, კმ². ეს სიდიდე გამოითვლება GSM ქსელში კონკრეტული გეოგრაფიული ზონის დაფარვის წილის (%) გამრავლებით GSM დაფარვის მთლიან არეალზე.

A_C^c – ერთი ფიჭის დაფარვის არეალი, კმ²;

R – ფიჭის მაქსიმალური დიაპაზონი, კმ.

ფიჭის დაფარვის არეალის ფორმულა ეყრდნობა (A_C^c , კმ²) ექსპლუატაციის ფართობის გამოსათვლელ ფორმულას.

ტრაფიკზე მოთხოვნა

ტრაფიკზე მოთხოვნის დასაკმაყოფილებლად საჭირო ობიექტების რაოდენობა შემდეგ ეტაპებად იანგარიშება:

1. სექტორის სპექტრისა და ფიზიკური სიმძლავრის გაანგარიშება;
2. სექტორის ეფექტური სიმძლავრის გაანგარიშება;
3. ტრაფიკზე მოთხოვნის დაკმაყოფილებისთვის საჭირო ობიექტების რაოდენობის გაანგარიშება.

სექტორის სიმძლავრეები იანგარიშება ფიჭის თითოეული ტიპისთვის (მაკრო, მიკრო და პიკო), ასევე ერთმაგი და ორმაგი დიაპაზონისთვის. ფიჭების გაანგარიშებაც, უწინდელივით, გეოგრაფიული ზონების ტიპების მიხედვით იყოფა; ასევე გეოგრაფიული ზონების ტიპების მიხედვით იყოფა ტრაფიკიც.

აქედან გამომდინარე, სექტორის სიმძლავრის გაანგარიშებისთვის გამოიყენება შემდეგი ფიჭის ტიპები:

- ▶ მაკროსელი - ქალაქის ტიპის დასახლებები;
- ▶ მაკროსელი - ქალაქგარეთა ტიპის დასახლებები;
- ▶ მაკროსელი - სოფლის ტიპის დასახლებები;

- ▶ მიკროსელი - ქალაქის ტიპის დასახლებები;
- ▶ მიკროსელი - ქალაქგარეთა ტიპის დასახლებები;
- ▶ პიკოსელი - ქალაქის ტიპის დასახლებები;
- ▶ პიკოსელი - ქალაქგარეთა ტიპის დასახლებები;

BTS-ის სპექტრის სიმძლავრე წარმოადგენს სპექტრის კლასიფიკაციების დაფარვისთვის საჭირო TRX-ების რაოდენობას. სპექტრის სიმძლავრე (C_{ss} , TRXs) ერთდიაპაზონიანი ფიჭისთვის შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$C_{ss} = \left\lfloor \frac{N_{900}}{f_{su} \times \lambda_{TRX}} \right\rfloor - 0.5$$

სადაც:

N_{900} – 900 მეგაჰერცის სპექტრის ოდენობა, 2 x მეგაჰერცი.

f_{su} – სექტორის ხელახლა გამოყენების კოეფიციენტი 900 მეგაჰერცისთვის, ერთეულებში;

λ_{TRX} – მიმღებ-გადამცემის გატარების ზოლი, მეგაჰერცებში.

ანალოგიურად, ლოგიკური სექტორის სპექტრის სიმძლავრე (C_{sd} , TRXs) ორმაგი დიაპაზონისთვის შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$C_{sd} = C_{ss} + \left\lfloor \frac{N_{1800}}{f_{du} \times \lambda_{TRX}} \right\rfloor$$

სადაც:

C_{ss} – სპექტრის სიმძლავრე ერთდიაპაზონიანი ფიჭისთვის, TRX-ებში.

N_{1800} – 1800 მეგაჰერცი სპექტრის ოდენობა, 2 x მეგაჰერცი.

f_{du} – სექტორის ხელახლა გამოყენების კოეფიციენტი 1800 მეგაჰერცისთვის, ერთეულებში;

λ_{TRX} – მიმღებ-გადამცემის გატარების ზოლი, მეგაჰერცებში.

ლოგიკური სექტორის ფიზიკური სიმძლავრე (C_p , TRXs) ერთმაგი და ორმაგი დიაპაზონისთვის წარმოადგენს ტექნიკური სპეციფიკაციის სიდიდეს. სექტორის ეფექტური სიმძლავრე (C_e , TRXs) მაკრო- (ქალაქის ტიპის, ქალაქგარეთა და სოფლის ტიპის), მიკრო- და პიკოსელების ჯგუფების შესაბამისი ერთმაგი და ორმაგი დიაპაზონის სიხშირისთვის, შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$C_e = \min(C_s; C_p)$$

სადაც:

C_s – სპექტრის სექტორის სიმძლავრე (ერთმაგი C_{ss} ან ორმაგი დიაპაზონი C_{sd}), TRX-ებში;

C_P – ფიზიკური (აღჭურვილობის ტექნიკური შეზღუდვა) სექტორის სიმძლავრე (ერთმაგი ან ორმაგი დიაპაზონი), TRX-ებში. ეს სიდიდე აღწერს TRX-ის მაქსიმალურ ოდენობას, რისი ფიზიკური დამონტაჟებაც შესაძლებელია მიკრო-, პიკო- ან მაკროსელებში.

მიიჩნევა, რომ BTS-ში პირველი TRX მართავს ტრაფიკის 7 არხს და BTS-ში ყოველი დამატებითი TRX მართავს ტრაფიკის 8 არხს.

TRX-ების გადაყვანა (N_{TRX} , units) არხებში (N_{CH} , ერთეულებში) შემდეგი ფორმულით ხდება:

$$N_{CH} = 7 + 8 \times (N_{TRX} - 1)$$

სადაც:

N_{TRX} – TRX-ების რაოდენობა, TRX-ებში.

როდესაც ხდება TRX-ების რაოდენობის გადაყვანა არხებში, სექტორის ეფექტური სიმძლავრე (C_E) ერთმაგი და ორმაგი დიაპაზონისთვის (არხებში) გამოიხატება პიკურ დატვირთვაზე ერლანგებით (C_E^{Erl}) ერლანგების ცხრილის მიხედვით, იმ დაშვებით, რომ ბლოკირების ალბათობა 2%-ია.

სექტორების რაოდენობა (N_{CAP}^{Se} , ერთეულებში), რომელიც საჭიროა ტრაფიკის მომსახურებისთვის, გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$N_{CAP}^{Se} = \frac{BHE_{GSM}^A}{C_E^{Erl} \times HA_{BTS}}$$

სადაც:

BHE_{GSM}^A – GSM მომსახურების ტრაფიკი ნაწილი პიკურ დატვირთვაზე გარკვეულ გეოგრაფიულ ზონაში, ერლანგები პიკურ დატვირთვაზე. ეს სიდიდე გამოითვლება GSM ქსელში კონკრეტული გეოგრაფიული ზონის ტრაფიკის წილის (%) გამრავლებით GSM-ის მთლიან ტრაფიკზე.

C_E^{Erl} – ერთმაგი ან ორმაგი დიაპაზონის (ფიჭის გარკვეული ტიპისთვის) სექტორის ეფექტური სიმძლავრე, ერლანგები პიკურ დატვირთვაზე.

HA_{BTS} – BTS-ის აღჭურვილობის სათადარიგო საოპერაციო სიმძლავრე, %.

ობიექტების რაოდენობა (N_{CAP}^{Si} , ერთეულებში), რომელიც საჭიროა ტრაფიკის მომსახურებისთვის, შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$N_{CAP}^{Si} = \frac{N_{CAP}^{Se}}{N_{Se/Si}}$$

$$N_{Se/Si} = \frac{\sum_{i=1}^3 i \times N_{iSe}^{Si}}{\sum_{i=1}^3 N_{iSe}^{Si}}$$

სადაც:

N_{CAP}^{Se} – სექტორების რაოდენობა, რომელიც საჭიროა ტრაფიკის მომსახურებისთვის, ერთეულებში;

$N_{Se/Si}$ – ერთ საიტზე სექტორების საშუალო რაოდენობა, ერთეულებში.

N_{iSe}^{Si} – i სექტორებად დაყოფილი ობიექტები GSM ქსელში, ერთეულებში. ეს სიდიდე გამოითვლება ობიექტების მთიანი რაოდენობის გადამრავლებით, i სექტორებად დაყოფილი ობიექტების წილზე (%) ქსელში;

i – აღნიშნავს სექტორების რაოდენობას საიტზე (ერთი, ორი ან სამი).

GSM ობიექტების მთლიანი რაოდენობა

მობილურ ქსელში BTS ობიექტების მთლიანი რაოდენობა (N_{Total}^{Si} , ერთეულებში) შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$N_{Total}^{Si} = \text{Max}(N_{COV}^{Si}; N_{CAP}^{Si})$$

სადაც:

N_{COV}^{Si} – დაფარვის მომსახურებისთვის საჭირო ობიექტები, ერთეულებში;

N_{CAP}^{Si} – ტრაფიკის მომსახურებისთვის საჭირო ობიექტები, ერთეულებში;

მიიჩნევა, რომ თითოეული GSM ობიექტი მართავს EDGE-ს, ერთდიაპაზონიანი საბაზო სადგურები წარმოდგენილია სოფლის ტიპის დასახლებებში და ორდიაპაზონიანი საბაზო სადგურები წარმოდგენილია ქალაქგარეთა და ქალაქის ტიპის დასახლებებში.

7.3.3.2 მიმღებ-გადამცემი

საბაზო სადგურის ქვესისტემის (BSS) დონისმასშტაბის გაანგარიშების მეორე ეტაპია მიმღებ-გადამცემების (TRX) მოდელირება. ამ ნაწილში წარმოდგენილი ალგორითმების რაოდენობრივი შედეგი TRX-ის ერთეულების რაოდენობაა.

BTS-ის მოდელირების ანალოგიურად, ყველა TRX-ის გაანგარიშებაც ხდება საქართველოს ტერიტორიის გეოგრაფიულ ზონებად დაყოფით.

TRX-ის რაოდენობის გაანგარიშების შემდეგი ეტაპია ტრაფიკის დატვირთვის გამოთვლა ერთ სექტორზე (BHE_{GSM}^{Se} , ერლანგები პიკურ დატვირთვაზე). ეს გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$BHE_{GSM}^{Se} = \frac{BHE_{GSM}^A}{N_{Total}^{Si} \times N_{Se/Si}}$$

სადაც:

BHE_{GSM}^A – GSM მომსახურების ტრაფიკი ნაწილი პიკურ დატვირთვაზე გარკვეულ გეოგრაფიულ ზონაში, ერლანგები პიკურ დატვირთვაზე.

N_{Total}^{Si} – მობილურ ქსელში BTS ობიექტების მთლიანი რაოდენობა, ერთეულებში.

$N_{Se/Si}$ – ერთ საიტზე სექტორების საშუალო რაოდენობა, ერთეულებში.

ტრაფიკის დატვირთვა ერთ სექტორზე (BHE_{GSM}^{Se} , ერლანგები პიკურ დატვირთვაზე) გამოიხატება არხებით ერთ სექტორზე ($N_{CH/Se}$) ერლანგების ცხრილის მიხედვით, 2%-იანი ბლოკირების ალბათობით.

ამასთან, TRX-ების რაოდენობა ერთ სექტორზე ($N_{TRX/Se}$, ერთეულებში) იანგარიშება შემდეგი ფორმულებით მაკრო-, მიკო- და პიკოსელებისთვის, შესაბამისად:

$$N_{TRX/Se}(macro) = \frac{N_{CH/Se}}{7 + 8 \times (N_{TRX} - 1)} + \gamma$$

$$N_{TRX/Se}(micro) = \frac{N_{CH/Se}}{7 + 8 \times (N_{TRX} - 1)} + \gamma$$

$$N_{TRX/Se}(pico) = \frac{N_{CH/Se}}{7 + 8 \times (N_{TRX} - 1)} + \gamma$$

სადაც:

$N_{CH/Se}$ – არხები ერთ სექტორზე, ერთეულებში;

N_{TRX} – TRX რაოდენობა, TRX-ებში.

γ – TRX უტილიზაციის კორექტირება, რომელიც ერთ სექტორზე 0.5 TRX-ის ტოლია. არათანაბარზომიერების რეზერვი ერთი სექტორის რეზერვის სიმძლავრის უდრის $\frac{1}{2}$ ერთეულს იმის გამო, რომ ტრაფიკი თანაბრად არ არის გადანაწილებული (დროსა და სივრცეში) ერთი ტიპის არეალზე.

მობილურ ქსელში TRX-ების მთლიანი რაოდენობა (N_{TRX} , ერთეულებში) შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$N_{TRX} = \left| N_{TRX / Se} \times N_{Total}^{Se} \right|$$

$$N_{TRX / Se} = N_{TRX / Se}(macro) + N_{TRX / Se}(micro) + N_{TRX / Se}(pico)$$

$$N_{Total}^{Se} = \sum_{i=1}^3 i \times N_{iSe}^{Si}$$

სადაც:

$N_{TRX / Se}$ – TRX-ების საშუალო რაოდენობა ერთ სექტორზე, ერთეულებში.

N_{Total}^{Se} – მობილურ ქსელში სექტორების მთლიანი რაოდენობა, ერთეულებში.

N_{iSe}^{Si} – i სექტორებად დაყოფილი ობიექტები GSM ქსელში, ერთეულებში. ეს სიდიდე გამოითვლება ობიექტების მთიანი რაოდენობის გადამრავლებით, i სექტორებად დაყოფილი ობიექტების წილზე (%) ქსელში;

i – აღნიშნავს სექტორების რაოდენობას საიტზე (ერთი, ორი ან სამი)

7.3.3.3 საბაზო სადგურის კონტროლერი

საბაზო სადგურის კონტროლერი ორი ნაწილისგან შედგება:

- ▶ საბაზო ერთეული;
- ▶ საბაზო სადგურის გაფართოება (TRX-ები).

ამ ნაწილის რაოდენობრივი შედეგი საბაზო ერთეულებისა და დამატებითი ერთეულების რაოდენობაა. გაანგარიშებისას წილადის მრიცხველი (მოთხოვნის მოცულობა) ორივე ერთეულის გაანგარიშებისას წარმოადგენს TRX-ების რაოდენობას.

საბაზო სადგურის კონტროლერის საბაზო ერთეულების მთლიანი რაოდენობა იანგარიშება 7.3.1 ნაწილში წარმოდგენილი ალგორითმის მიხედვით, სადაც საბაზო და დამატებითი ერთეულების ცნებები შემოგთავაზეთ.

7.3.3.4 ტრანსკოდერის კონტროლერი

ტრანსკოდერის კონტროლერი (TRC) ორი ნაწილისგან შედგება:

- ▶ საბაზო ერთეული;
- ▶ ტრანსკოდერის E1 გაფართოება (A ინტერფეისები).

ამ ნაწილში წარმოდგენილი ალგორითმების რაოდენობრივი შედეგი არის საბაზო ერთეულებისა და ტრანსკოდერი E1 გაფართოების (A ინტერფეისები) ოდენობა. აქედან გამომდინარე, გაანგარიშებას ალვერთ ამ ნაწილებთან მიმართებაში. გაანგარიშებისას გაანგარიშებისას წილადის მრიცხველს (მოთხოვნის მოცულობა) ორივე ნაწილისთვის ჯამში 2 მეგაბიტი/წამში კავშირის

სიმძლავრის (C_L , E1 A ინტერფეისი) ტოლია. ჯამური 2 მეგაბიტი წამში კავშირის სიმძლავრე გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$C_L = \rho_C \times \frac{TH_{GSM}}{C_b} \times \frac{BHE_{GSM} - BHE_{PD}}{BHE_{GSM}}$$

სადაც:

TH_{GSM} – გამტარუნარიანობა TRC-ში, კბტ/წმ;

C_b – საბაზო 2 მეგაბიტი წამში კავშირის სიმძლავრე, კბტ/წმ.

ρ_C – TRC შეკუმშვის კოეფიციენტი, უდრის 4-ს;

BHE_{GSM} – მოთხოვნა GSM ქსელზე;

BHE_{PD} – საპაკეტო მონაცემებზე მოთხოვნა GSM ქსელისთვის, ერლანგები პიკურ დატვირთვაზე.

დავუშვიტ, რომ საბაზო 2 მეგაბიტი წამში კავშირის სიმძლავრე უდრის 2048 კბტ/წმ-ს.

ამის შემდეგ, საბაზო სადგურის კონტროლერის გაანგარიშების მსგავსად, TRC საბაზო ერთეულები და დამატებითი ერთეულები იანგარიშება 7.3.1 ნაწილში „საბაზო და დამატებითი ერთეულების ცნება“ წარმოდგენილი ალგორითმის მიხედვით, ხოლო E1 რაოდენობა (A ინტერფეისი) წარმოადგენს ცვლად გასაყოფს ორივე ნაწილისთვის.

7.3.4 UMTS ქსელის მასშტაბის გაანგარიშება

7.3.4.1 B კვანძი

UMTS ქსელში RNS დონის მასშტაბის გაანგარიშების პირველი ეტაპი არის B კვანძის ელემენტის მოდელირება. ამ ნაწილში წარმოდგენილი ალგორითმების რაოდენობრივი შედეგი არის B კვანძის ობიექტების რაოდენობა. B კვანძთან დაკავშირებული ყველა გაანგარიშება იყოფა გეოგრაფიული არელების წილების მიხედვით.

UMTS-ის მაკროსელის დიაპაზონი და სექტორის სიმძლავრე ცალ-ცალკე გამოითვლება, დაფარვის არეალის ტიპების მიხედვით. UMTS სისტემაში ფიჭის დიაპაზონი დამოკიდებულია არსებულ ტრაფიკზე, CDMA-ის ფიჭის მომსახურების ზონა დინამიურად ფართოვდება და ურთიერთსაწინააღმდეგოდ მიემართება მომხმარებლების რაოდენობის შესაბამისად. UMTS-ის ამ მახასიათებელს „ფიჭის სუნთქვა“ ეწოდება. დანერგილი ალგორითმი გამოითვლის UMTS-ის ფიჭის ოპტიმალურ დიაპაზონს ფიჭის მოთხოვნილ სიმძლავრესთან (მოთხოვნასთან) მიმართებაში. გაანგარიშება ოთხი ეტაპისგან შედგება:

1) UMTS-ის ქსელის მოთხოვნილ სიმძლავრე ფიჭის ტიპების მიხედვით

ამ ეტაპზე UMTS ქსელის მოთხოვნილი სიმძლავრე მიღებისა და გადაცემის არხებისთვის

გამოითვლება ხმოვანი სიგნალის და მონაცემების ტრაფიკზემოთხოვნის საფუძველზე. UMTS-ის ქსელის სიმძლავრე ცალ-ცალკე გამოითვლება, დაფარვის არეალის ტიპების მიხედვით.

2) ტრაფიკის სიხშირე პიკურ დატვირთვაზე 1 კმ²-ზე

ამ ეტაპზე პიკურ დატვირთვაზე ტრაფიკის სიხშირე 1კმ²-ზე გამოითვლება UMTS ქსელის მოთხოვნილი სიმძლავრისა და UMTS ქსელის მოთხოვნილი დაფარვის საფუძველზე. UMTS ტრაფიკის სიხშირე პიკურ დატვირთვაზე 1 კმ²-ზე ცალ-ცალკე იანგარიშება მიღებისა და გადაცემის არხებისთვის, დაფარვის არეალის თითოეული ტიპისთვის.

3) მიღებისა და გადაცემის არხების გაანგარიშება

ამ ნაწილში დანერგილი ალგორითმი განსაზღვრავს ურთიერთდამოკიდებულებას (ფუნქციას) ფიჭის არეალსა და ფიჭის სიმძლავრეს შორის, ცალ-ცალკე, მიღებისა და გადაცემის არხებისა და არეალის სხვადასხვა ტიპისთვის. ურთიერთდამოკიდებულების (ფუნქციის) ფორმულის საპოვნელად ალგორითმი იყენებს ფუნქციის ექსტრემუმის ორ წერტილს:

1. x: UMTS ფიჭის მაქსიმალურ დიაპაზონს, მინიმალური სიმძლავრის მოხმარების შემთხვევაში
y: ობიექტის სიმძლავრის მინიმალურ მოცულობას (მონაცემების ერთი არხი)
2. x: UMTS ფიჭის მაქსიმალურ დიაპაზონს, სრული სიმძლავრის მოხმარების შემთხვევაში
y: ობიექტის სიმძლავრის მაქსიმალურ მოცულობას

ამის შემდეგ, პიკურ დატვირთვაზე 1 კმ²-ი ტრაფიკის სიხშირის და ნაპოვნი ურთიერთდამოკიდებულების (ფუნქციის) ფორმულის საფუძველზე, თითოეული არეალის ტიპისთვის ცალ-ცალკე გამოითვლება ფიჭის ოპტიმალური არეალი და სექტორის სიმძლავრე.

4) სულ

ბოლო ეტაპზე, UMTS-ის მაკროსელის ოპტიმალური დიაპაზონი და სექტორის სიმძლავრე გამოითვლება ცალ-ცალკე, მიღებისა და გადაცემის არხებისა და არეალის სხვადასხვა ტიპისთვის.

სიდიდეები, რომლებიც წარმოადგენს:

1. x: UMTS ფიჭის მაქსიმალურ დიაპაზონს, მინიმალური სიმძლავრის მოხმარების შემთხვევაში
y: ობიექტის სიმძლავრის მინიმალურ მოცულობას (მონაცემების ერთი არხი)
2. x: UMTS ფიჭის მაქსიმალურ დიაპაზონს, სრული სიმძლავრის მოხმარების შემთხვევაში
y: ობიექტის სიმძლავრის მაქსიმალურ მოცულობას

მოპოვებული იქნება ოპერატორებისგან და გადამოწმდება არხის ბიუჯეტის გაანგარიშების საფუძველზე.

დაფარვა

UMTS ქსელის ტერიტორიული დაფარვა დაყოფილია გეოგრაფიულ არეალებად - ქალაქის ტიპის, ქალაქგარეთა და სოფლის ტიპის დასახლებები.

B კვანძის ობიექტების მინიმალური რაოდენობა (N_{COV}^{SiB} , ერთეულებში), რომელიც საჭიროა დაფარვის მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად, ცალ-ცალკე განისაზღვრება მიწებისა და გადაცემის არხებისთვის, შემდეგი ფორმულებით:

$$N_{COV}^{SiB} = \left\lceil \frac{bA_C}{bA_C^c} \right\rceil$$

$$bA_C^c = 1.5 \times \sqrt{3} \times R_{UMTS}^2 = 2.6 \times R_{UMTS}^2$$

სადაც:

bA_C – UMTS ქსელის დაფარვის არეალი გეოგრაფიული ზონის კონკრეტული ტიპისთვის, კმ². ეს სიდიდე გამოითვლება UMTS ქსელში კონკრეტული გეოგრაფიული არეალის დაფარვის წილის (%) გამრავლებით UMTS დაფარვის მთლიან არეალზე.

bA_C^c – ერთი B კვანძის ფიჭის დაფარვის არეალი, კმ²;

R_{UMTS} – ფიჭის ოპტიმალური დიაპაზონი მიღება-გადაცემის არხებისთვის, კმ.

ფიჭის დაფარვის არეალის ფორმულა ეყრდნობა ექვსკუთხედის ფართობის გამოსათვლელ ფორმულას.

მოთხოვნა ტრაფიკზე

UMTS ქსელის მოთხოვნილი სიმძლავრე ცალ-ცალკე იანგარიშება მიწებისა და გადაცემის არხებისთვის, ასევე ხმოვანი ტრაფიკისა და საპაკეტო მონაცემების ტრაფიკისთვის.

UMTS ქსელში საპაკეტო მონაცემების ტრაფიკის მართვისათვის საჭირო სიმძლავრე (C_{UMTS} , კბტ/წმ) შემდეგი ფორმულით გამოითვლება;

$$C_{UMTS} = \frac{BHMB_{UMTS}}{60 \times 60} \times 8 \times 1024$$

სადაც:

$BHMB_{UMTS}$ – სიმძლავრე, რომელსაც მართავს UMTS ქსელი, მეგაბაიტებში. წარმოადგენს პიკურ დატვირთვაზე ტრაფიკს კონკრეტულ გეოგრაფიულ არეალზე და ფიჭის ტიპს (მაკროსელი, მიკროსელი და პიკოსელი) UMTS ქსელში.

60-ის 60-ზე ნამრავლზე გაყოფა ნიშნავს საათის წამებში გადაყვანას, 8-ზე გამრავლება - ბატიების გადაყვანას ბიტებში, ხოლო 1024-ზე - მეგაბაიტის გადაყვანას კილობაიტებში.

სექტორის რაოდენობა (N_{CAP}^{SeB} , ერთეულებში), რომელიც საჭიროა მოთხოვნილი სიმძლავრის მისაღწევად, გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$N_{CAP}^{SeB} = \frac{C_{UMTS}}{C_{min}^{Se}} + \frac{BHE_V}{C_V^{Erl}}$$

სადაც:

C_{UMTS} – სიმძლავრე, რომელიც საჭიროა საპაკეტო მონაცემების ტრაფიკისთვის UMTS ქსელში, კბტ/წმ.

C_{min}^{Se} – სექტორის სიმძლავრე პიკურ დატვირთვაზე ტრაფიკის დროს, კბტ/წმ.

BHE_V – სიმძლავრე, რომელიც საჭიროა ხმოვანი, ვიდეო, მოკლე ტექსტური შეტყობინებების, მულტიმედიური შეტყობინებების ტრაფიკისთვის UMTS ქსელში;

C_V^{Erl} – სექტორის სიმძლავრე პიკურ დატვირთვაზე ტრაფიკის დროს, ერლანგებში.

UMTS ლოკაციების რაოდენობა (N_{CAP}^{SiB} , ერთეულებში), რომელიც საჭიროა მოთხოვნილი

სიმძლავრის მისაღწევად, გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$N_{CAP}^{SiB} = \sum_{i=1}^3 N_{iSeB}^{SiB}$$

$$N_{iSeB}^{SiB} = \frac{N_{iCAP}^{SeB}}{i}$$

სადაც:

N_{iCAP}^{SeB} – სექტორების რაოდენობა, რაც საჭიროა UMTS ქსელში სიმძლავრის მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად, გამიჯნული გარკვეული სექტორიზაციით, ერთეულებში. ეს სიდიდე გამოითვლება სექტორების მთლიანი რაოდენობის გამრავლებით (N_{CAP}^{SeB}) სექტორიზაციის შესაბამის წილებზე (%);

N_{CAP}^{SiB} – UMTS ლოკაციების რაოდენობა, რაც საჭიროა სიმძლავრის მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად, ერთეულებში;

N_{iSeB}^{Si} – i სექტორებად დაყოფილი ობიექტები UMTS ქსელში, ერთეულებში;

i – აღნიშნავს სექტორების რაოდენობას საიტზე (ერთი, ორი ან სამი).

B კვანძის ობიექტების მთლიანი რაოდენობა

და ბოლოს, B კვანძის ობიექტების მთლიანი რაოდენობა (N_{Total}^{SiB} , ერთეულებში) გამოითვლება

შემდეგი ფორმულებით:

$$N_{Total}^{SiB} = N_{CAP}^{SiB} + Adj$$

$$Adj = \frac{N_{COV}^{SiB} - N_{CAP}^{SiB}}{2}$$

სადაც:

N_{CAP}^{SiB} – სექტორები, რომლებიც საჭიროა სიმძლავრის მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად, ერთეულებში;

N_{COV}^{SiB} – სექტორები, რომლებიც საჭიროა დაფარვის მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად, ერთეულებში;

Adj – კორექტირებები (ობიექტების რაოდენობა) დაგეგმვის დაშვებებში, ერთეულებში.

UMTS ქსელში სიმძლავრისა და დაფარვის მოთხოვნების დაკმაყოფილებისთვის საჭირო B კვანძების რაოდენობა კორელაციაში მყოფი ციფრებია, ამიტომ კორექტირება შეეხება B კვანძების მთლიან გაანგარიშებულ რაოდენობასაც, და არა ორიდან მაქსიმალურ სიდიდეს, როგორც ეს GSM BTS-ების შემთხვევაში ხდება.

მიიჩნევა, რომ თითოეული UMTS ობიექტი მართავს HSDPA/HSUPA-ს.

7.3.4.2 რადიოქსელის კონტროლერი

UMTS ქსელში BSS-ის დონის მასშტაბის გაანგარიშების შემდეგი ეტაპი რადიოქსელის კონტროლერის (RNC) მოდელირება. რადიოქსელის კონტროლერი შემდეგი ნაწილებისგან შედგება:

- ▶ საბაზო ერთეული;
- ▶ დამატებითი ერთეულები;
 - Iub კავშირების გაფართოება;
 - სექტორების გაფართოება;
 - ობიექტების გაფართოება;

ამ ნაწილში წარმოდგენილი ალგორითმების რაოდენობრივი შედეგი არის საბაზო ერთეულებისა და დამატებითი ერთეულების ოდენობა.

რადიოქსელის კონტროლერის საბაზო ერთეულების აუცილებელი მინიმალური რაოდენობის განსაზღვრა წარმოადგენს Iub კავშირების გარკვეულ რაოდენობაზე, სექტორებისა და ობიექტების გარკვეულ რაოდენობაზე მოთხოვნის ფუნქციას.

რადიოსადგურის კონტროლერის საბაზო ერთეულების მთლიანი რაოდენობა (BU_{RNC} ,

ერთეულებში) შემდეგი ფორმულებით ინაგარიშება:

$$BU_{RNC} = \left[\max \left(\frac{TH_{Iub}}{C_{Iub}}; \frac{N_{Total}^{SeB}}{C_{RNC}^{Se}}; \frac{N_{Total}^{SiB}}{C_{RNC}^{Si}} \right) \right]$$

$$N_{Total}^{SeB} = \sum_{i=1}^3 i \times N_{iSe}^{SiB}$$

სადაც:

TH_{Iub} – I_{ub} კავშირის გამტარუნარიანობა, მეგაბიტი/წამში. UMTS-ის გამტარუნარიანობის მსგავსია.

C_{Iub} – რადიოქსელის კონტროლერის მაქსიმალური საოპერაციო სიმძლავრე, იმისათვის რომ დააკმაყოფილოს I_{ub} ინტერფეისის გამტარუნარიანობა, მეგაბიტი /წამში;

N_{Total}^{SeB} - სექტორების მთლიანი რაოდენობა UMTS ქსელში, ერთეულებში;

C_{RNC}^{Se} - რადიოქსელის კონტროლერის მაქსიმალური საოპერაციო სიმძლავრე სექტორების ამ რაოდენობის დასაკმაყოფილებლად, ერთეულებში;

N_{Total}^{SiB} – B კვანძის ობიექტების მთლიანი რაოდენობა UMTS ქსელში, ერთეულებში;

C_{RNC}^{Si} - რადიოქსელის კონტროლერის მაქსიმალური საოპერაციო სიმძლავრე ობიექტების რაოდენობის დასაკმაყოფილებლად, ერთეულებში;

N_{iSe}^{SiB} – i სექტორებად დაყოფილი ობიექტები UMTS ქსელში, ერთეულებში. ეს მაჩვენებელი გამოითვლება ობიექტების მთლიანი რაოდენობის გამრავლებით შესაბამის წილზე (%) სექტორების რაოდენობის მიხედვით.

i – აღნიშნავს საიტზე სექტორების რაოდენობას (ერთი, ორი ან სამი).

რადიოქსელის კონტროლერის დამატებითი ერთეულები - I_{ub} კავშირის გაფართოება, სექტორების გაფართოება და ობიექტების გაფართოება - ინაგარიშება 7.3.1 ნაწილში წარმოდგენილი ალგორითმის მიხედვით, სადაც საბაზო და დამატებითი ერთეულების ცნებები იყო წარმოდგენილი. რადიოქსელის კონტროლერის I_{ub} კავშირის გამტარუნარიანობა, სექტორების რაოდენობა და B კვანძის ობიექტების რაოდენობა წარმოდგენილია შესაბამისი განაწილების პარამეტრებით.

7.3.5 LTE ქსელის მასშტაბის გაანგარიშება

7.3.5.1 dNodeB

LTE ქსელში PSS დონის მასშტაბის გაანგარიშების პირველი ეტაპი არის eNode B-ის ელემენტის მოდელირება. ამ ნაწილში წარმოდგენილი ალგორითმების რაოდენობრივი შედეგი არის eNode B-ის ობიექტების რაოდენობა. eNode B-სთან დაკავშირებული ყველა გაანგარიშება იყოფა

გეოგრაფიული არეალების წილების მიხედვით.

LTE ფიჭის ოპტიმალური დიაპაზონი, ფიჭისთვის საჭირო სიმძლავრესთან (მოთხოვნასთან) მიმართებაში, იანგარიშება B კვანძების ანალოგიურად, LTE ტექნოლოგიის სპეციფიკურ ტექნიკური პარამეტრების გათვალისწინებით.

მოდელში eNode B-ის მასშტაბის განსაზღვრა ხდება იროგორც მონაცემების, ისე ხმოვან ტრაფიკს ტრანსპორტირებისთვის. გამომდინარე იქიდან, რომ LTE ქსელი პაკეტური ქსელია, აღრიცხულ წუთებში ხმოვანი ტრაფიკის მთლიანი მოცულობა უნდა გარდაიქმნას საპაკეტო მონაცემების ტრაფიკად (კილობაიტის მოცულობა). გაანგარიშება შემდეგი ეტაპებისგან შედგება:

1. თითოეული eNode B-ისთვის პიკურ დატვირთვაზე ერლანგების (BHE) გაანგარიშება

პიკურ დატვირთვაზე ერლანგების მოცულობა განსაზღვრავს, რამდენი VoIP არხია საჭირო ხმოვანი ტრაფიკის დამუშავებისთვის დატვირთვის საათში.

2. VoIP არხის გატარების ზოლის გაანგარიშება.

გაანგარიშება VoIP (ხმოვანი სიგნალის გადაცემა IP პროტოკოლით) ტექნოლოგიის შესახებ გარკვეულ დაშვებებს მოთხოვ, მათ შორის:

- ▶ ხმოვანი ზარისთვის კოდერ-დეკოდერი გამოყენება;
- ▶ თითოეული ქსელური დონის პროტოკოლისთვის: RTP / UDP / IP / ეზერნეტ დატვირთვა.

VoIP არხის გატარების ზოლი იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$VoIP_{bit-rate} = (IP + UDP + RTP + ETH + PLS) \times PPS \times PF \times \frac{8}{1000}$$

სადაც,

IP - IP თავსართი (ბაიტები);

UDP - UDP თავსართი (ბაიტები);

RTP - RTP თავსართი (ბაიტები);

ETH - ეზერნეტის თავსართი (ბაიტები)

PLS - ხმის დატვირთვის ოდენობა (ბაიტები) – VoIP კოდერ-დეკოდერთან დაკავშირებული მაჩვენებელი;

PPS - პაკეტები ერთ წამში (პაკეტები) – კოდერ-დეკოდერის ბიტრეიტთან დაკავშირებული მაჩვენებელი;

PF - პრიორიტეტულობის ფაქტორი.

გაანგარიშების რაოდენობრივი შედეგი წარმოდგენილია ქვემოთ მოცემულ ცხრილში.

კოდერ-დეკოდერი და ბიტრეიტი (კბტ/წმ)	გატარების ზოლი ეზერნეტის დონეში (კბტ/წმ)
G.711 (64 კბტ/წმ)	87.2 კბტ/წმ
G.729 (8 კბტ/წმ)	31.2 კბტ/წმ
G.723.1 (6.3 კბტ/წმ)	21.9 კბტ/წმ
G.723.1 (5.3 კბტ/წმ)	20.8 კბტ/წმ
G.726 (32 კბტ/წმ)	55.2 კბტ/წმ
G.726 (24 კბტ/წმ)	47.2 კბტ/წმ
G.728 (16 კბტ/წმ)	31.5 კბტ/წმ
G722_64k(64 კბტ/წმ)	87.2 კბტ/წმ
ilbc_mode_20 (15.2 კბტ/წმ)	38.4 კბტ/წმ
ilbc_mode_30 (13.33 კბტ/წმ)	28.8 კბტ/წმ

წყარო: „ხმოვანი სიგნალის გადაცემა IP პროტოკოლით - ერთ გამოძახებაზე გატარების ზოლის მოხმარება“, Cisco

3. თითოეული eNode B-ისთვის პიკურ დატვირთვაზე ხმოვანი სიგნალის გატარების ზოლის გაანგარიშება.

eNode B-ის მოდელირებისთვის გამოითვლება პიკურ დატვირთვაზე გატარების ზოლი, რისთვისაც პიკურ დატვირთვაზე ერლანგების მოცულობა მრავლდება ხმოვანი არხის გატარების ზოლზე.

დაფარვა

LTE ქსელის ტერიტორიული დაფარვა დაყოფილია გეოგრაფიულ არეალებად - ქალაქის ტიპის, ქალაქგარეთა და სოფლის ტიპის დასახლებები.

eNode B-ების ობიექტების მინიმალური რაოდენობა, რომელიც საჭიროა დაფარვის მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად (N_{COV}^{SiE} , ერთეულებში) შემდეგი ფორმულებით განისაზღვრება:

$$N_{COV}^{SiE} = \left\lceil \frac{eA_C}{eA_C^c} \right\rceil$$

$$eA_C^c = 1.5 \times \sqrt{3} \times R_{LTE}^2 = 2.6 \times R_{LTE}^2$$

სადაც:

eA_C – LTE ქსელის დაფარვის არეალი გეოგრაფიული ზონის კონკრეტული ტიპისთვის, კმ². ეს სიდიდე გამოითვლება LTE ქსელში კონკრეტული გეოგრაფიული ზონის დაფარვის წილის (%) გამრავლებით LTE-ის დაფარვის მთლიან არეალზე.

eA_C^c – ერთი eNode B-ის ფიქს დაფარვის არეალი, კმ²;

R_{LTE} – ფიქსის მაქსიმალური დიაპაზონი, კმ. (ეს ინფორმაცია ოპერატორებმა უნდა

წარმოადგინონ).

ფიჭის დაფარვის არეალის ფორმულა ეყრდნობა ექვსკუთხედის ფართობის გამოსათვლელ ფორმულას.

მოთხოვნა ტრაფიკზე

LTE ქსელში საპაკეტო მონაცემების ტრაფიკის მართვისათვის საჭირო სიმძლავრე (C_{LTE} , კბტ/წმ) შემდეგი ფორმულით იანგარიშება:

$$C_{LTE} = \frac{BHMB_{LTE}}{60 \times 60} \times 8 \times 1024$$

სადაც:

$BHMB_{LTE}$ – სიმძლავრე, რომელსაც მართავს LTE ქსელი, მეგაბაიტებში. წარმოადგენს პიკურ დატვირთვაზე ტრაფიკს კონკრეტულ გეოგრაფიულ არეალზე და ფიჭის ტიპს (მაკრო, მიკრო და პიკო) LTE ქსელში;

60-ის 60-ზე ნამრავლზე გაყოფა ნიშნავს საათის წამებში გადაყვანას, 8-ზე გამრავლება - ბაიტების გადაყვანას ბიტებში, ხოლო 1024-ზე - მეგაბაიტის გადაყვანას კილობაიტებში.

სექტორის რაოდენობა (N_{CAP}^{SeB} , ერთეულებში), რომელიც საჭიროა მოთხოვნილი სიმძლავრის მისაღწევად, გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$N_{CAP}^{SeE} = \left(\frac{C_{LTE}}{C_{min}^{Se}} \right) \times LU$$

სადაც:

C_{LTE} – სიმძლავრე, რომელიც საჭიროა LTE ქსელში ტრაფიკის მართვისთვის, კბტ/წმ.

C_{min}^{Se} – სექტორის სიმძლავრე პიკურ დატვირთვაზე ტრაფიკის დროს, კბტ/წმ.

LU – ფიჭის სიმძლავრის უტილიზაცია პიკურ დატვირთვაზე ტრაფიკის დროს, %.

LTE ობიექტების რაოდენობა (N_{CAP}^{SiE} , ერთეულებში), რომელიც საჭიროა მოთხოვნილი სიმძლავრის მისაღწევად, გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$N_{CAP}^{SiE} = \sum_{i=1}^3 N_{iSeB}^{SiE}$$

$$N_{iSeE}^{SiE} = \frac{N_{iCAP}^{SeE}}{i}$$

სადაც:

N_{iCAP}^{SiE} – სექტორების რაოდენობა, რაც საჭიროა LTE ქსელში სიმძლავრის მოთხოვნების

დასაკმაყოფილებლად, გამიჯნული გარკვეული სექტორიზაციით, ერთეულებში. ეს სიდიდე მიიღება სექტორების მთლიანი რაოდენობის (N_{CAP}^{SiE}) გამრავლებით სექტორებად დაყოფის შესაბამის წილზე (%).

N_{CAP}^{SiE} – LTE ობიექტების რაოდენობა, რომელიც საჭიროა სიმძლავრის მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად, ერთეულებში;

N_{iSeB}^{Si} – i სექტორებად დაყოფილი ობიექტები LTE ქსელში, ერთეულებში;

i – აღნიშნავს სექტორების რაოდენობას საიტზე (ერთი, ორი ან სამი).

eNode B-ის ობიექტების მთლიანი რაოდენობა

და ბოლოს, eNode B-ის ობიექტების მთლიანი რაოდენობა (N_{Total}^{SiE} , ერთეულებში) გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$N_{Total}^{SiE} = N_{CAP}^{SiE} + Adj$$

$$Adj = \frac{N_{COV}^{SiE} - N_{CAP}^{SiE}}{2}$$

სადაც:

N_{CAP}^{SiE} – სექტორები, რომლებიც საჭიროა სიმძლავრის მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად, ერთეულებში;

N_{COV}^{SiE} – სექტორები, რომლებიც საჭიროა დაფარვის მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად, ერთეულებში.

Adj – კორექტირებები (ობიექტების რაოდენობა) დაგეგმვის დაშვებებში, ერთეულებში.

LTE ქსელში სიმძლავრისა და დაფარვის მოთხოვნების დაკმაყოფილებისთვის საჭირო eNode B-ების რაოდენობა კორელაციაში მყოფი ციფრებია, ამიტომ კორექტირება შეეხება eNode B-ების მთლიან გაანგარიშებულ რაოდენობას, და არა ორიდან მაქსიმალურ სიდიდეს, როგორც ეს GSM BTS-ების შემთხვევაში ხდება.

7.3.5.2 გამოყოფილი ძირითადი პაკეტი

გამოყოფილი ძირითადი პაკეტი (EPC) მართავს მთელ ტრაფიკს LTE ქსელში. EPC შედგება კომპონენტების ორი ძირითადი ჯგუფისგან: მობილურობის მართვის კვანძი (MME), რომელიც მართავს პროტოკოლის ფუნქციებს და საპაკეტო შლიუზი (PGW), რომელიც პასუხისმგებელია მონაცემების ფაქტობრივ გადაცემაზე.

MME-ის საბაზო ერთეულების რაოდენობა გამოითვლება, როგორც S1-U კავშირის სეანსების რაოდენობა [პიკურ დატვირთვაზე სეანსები/წმ.] გაყოფილი MME ფიზიკური

საიტების/განლაგებების მაქსიმალურ სიმძლავრეზე. MME დამატებითი ერთეული გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$EU(MME) = \left[BU(MME) \times \frac{\frac{CAP(A)}{BU(MME)} - OC(base)}{OC(ext)} \right]$$

სადაც:

$EU(MME)$ – MME დამატებითი ერთეულების რაოდენობა

$BU(MME)$ – MME საბაზო ერთეულების რაოდენობა

$CAP(A)$ – S1-MME კავშირის სეანსების რაოდენობა [სეანსები პიკურ დატვირთვაზე / წმ.]

$OC(base)$ – MME-ის საბაზო ერთეულის საოპერაციო სიმძლავრე

საპაკეტო შლიუზის საბაზო ერთეულების აუცილებელი მინიმალური რაოდენობის განსაზღვრა წარმოადგენს მოთხოვნების დაკმაყოფილების ფუნქციას.

1. მინიმალური ქსელის კონფიგურაციები;
2. საკომუტაციო სიმძლავრე (CPU ნაწილი);
3. პორტების რაოდენობა საპაკეტო შლიუზში;

საპაკეტო შლიუზის საბაზო ერთეულების რაოდენობა (BU_{PGW}^C , ერთეულებში), რომელიც საჭიროა ქსელის მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად იანგარიშება, როგორც S1-U კავშირის გამტარუნარიანობა [პაკეტები პიკურ დატვირთვაზე / წმ.] გაყოფილი საპაკეტო შლიუზის ფიზიკური ლოკაციის მაქსიმალურ სიმძლავრეზე. საპაკეტო შლიუზის დამატებითი ერთეული გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$EU(PGW) = \left[BU(PGW) \times \frac{\frac{CAP(A)}{BU(PGW)} - OC(base)}{OC(ext)} \right]$$

სადაც:

$EU(PGW)$ – PGW-ის დამატებითი ერთეულების რაოდენობა

$BU(PGW)$ – PGW-ის საბაზო ერთეულების რაოდენობა

$CAP(A)$ – S1-U კავშირის გამტარუნარიანობა [პაკეტები პიკურ დატვირთვაზე / წმ.]

$OC(base)$ – PGW-ის საბაზო ერთეულის საოპერაციო სიმძლავრე

7.3.6 ობიექტების მასშტაბის გაანგარიშება

ობიექტების მთლიანი რაოდენობა (N_{SI} , ერთეულებში) მობილურ ქსელში შემდეგი ფორმულით იანგარიშება:

$$N_{SI} = \sum_i \text{Max}(N_i^{Si}; N_i^{SiB}; N_i^{SiC})$$

სადაც:

N_i^{Si} – კონკრეტული i ტიპის ობიექტები GSM ქსელში, ერთეულებში;

N_i^{SiB} – კონკრეტული i ტიპის ობიექტები UMTS ქსელში, ერთეულებში;

N_i^{SiC} – კონკრეტული i ტიპის ობიექტები LTE ქსელში, ერთეულებში.

i – აღნიშნავს სექტორების რაოდენობას საიტზე (ერთი, ორი ან სამი).

7.3.7 ძირითადი ქსელის მასშტაბის გაანგარიშება

7.3.7.1 მობილური საკომუტაციო ცენტრის სერვერი

მობილური საკომუტაციო ცენტრის სერვერი მართავს ხმოვან გამოძახებებს. რადგანაც MSS არის ძირითადი ქსელის პროცესორი და არ მართავს ტრაფიკს, მისი გაანგარიშება ეყრდნობა მხოლოდ პიკურ დატვირთვაზე გამოძახების მცდელობების რაოდენობას.

ამ ნაწილში წარმოდგენილი ალგორითმების რაოდენობრივი შედეგი არის MSS-ის საბაზო და დამატებითი ერთეულების ოდენობა. MSS-ის საბაზო ერთეულების აუცილებელი მინიმალური რაოდენობის განსაზღვრა წარმოადგენს ქსელის მინიმალური კონფიგურაციებისა და საკომუტაციო სიმძლავრის მოთხოვნების ფუნქციას. იმისათვის, რომ მოთხოვნებმა დააკმაყოფილოს ქსელის მინიმალური კონფიგურაციის მოთხოვნა, მოდელში გაკეთდა იმის დაშვება, რომ MSS-ის მინიმალური რაოდენობა მობილურ ქსელში ორია (1+1 სარეზერვო).

MSS საბაზო ერთეულების რაოდენობა (BU_{MSS}^C , ერთეულებში), რომელიც საჭიროა საკომუტაციო სიმძლავრის მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად (ცენტრალური პროცესორის (CPU) შემთხვევაში) შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$BU_{MSS}^C = \frac{N_{BHCA}}{C_{CPU}}$$

$$C_{CPU} = C_{MSS,s}^{\psi} \times N_{CPU/MSS}$$

სადაც:

N_{BHCA} – გამოძახების მცდელობები პიკურ დატვირთვაზე ტრაფიკის დროს, პიკურ

დატვირთვაზე გამოძახების მცდელობები.

$C_{MSS,s}''$ – MSS-ის მაქსიმალური საოპერაციო სიმძლავრე, რომელიც საჭიროა პიკურ დატვირთვაზე ტრაფიკისას გამოძახების მცდელობების დასაკმაყოფილებლად, პიკურ დატვირთვაზე გამოძახების მცდელობები.

C_{CPU} – MSS-ის გაფართოების ერთეული - საკომპუტაციო სიმძლავრე, პიკურ დატვირთვაზე გამოძახების მცდელობები;

$N_{CPU/MSS}$ – დამატებითი ერთეულები ერთ MSS-ზე, ერთეულებში.

ამრიგად, MSS-ის საბაზო ერთეულების მთლიან რაოდენობა (BU_{MSS} , ერთეულებში) შემდეგი ფორმულებით გამოითვლება:

$$BU_{MSS} = \max(BU_{MSS}^{\min}, BU_{MSS}^c)$$

სადაც:

$BU_{MSS}^{\min}$ – MSS-ის საბაზო ერთეულების რაოდენობა, რომელიც საჭიროა ქსელის მინიმალური მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად, ერთეულებში. ეს ციფრი არის დაშვება, რომელიც წარმოდგენილია ამ ნაწილის დასაწყისში და 2 ერთეულს ტოლია.

BU_{MSS}^c – MSS-ის საბაზო ერთეულების რაოდენობა, რომელიც საჭიროა საკომპუტაციო სიმძლავრის მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად;

MSS-ის საბაზო ერთეულების რაოდენობა იანგარიშება 7.3.1 ნაწილში „საბაზო და დამატებითი ერთეულების ცნება“ წარმოდგენილი ალგორითმის მიხედვით.

7.3.7.2 მულტიმედიური შლიუზი

მულტიმედიური შლიუზი შემდეგი ნაწილებისგან შედგება:

- ▶ საბაზო ერთეული და პროგრამული უზრუნველყოფა;
- ▶ მულტიმედიური შლიუზის გაფართოებები:
 - პროცესორის გაფართოება;
 - შემაერთებული პორტის გაფართოება;

მულტიმედიური შლიუზის საბაზო ერთეულების აუცილებელი მინიმალური რაოდენობის განსაზღვრა წარმოადგენს მოთხოვნების დაკმაყოფილების ფუნქციას:

1. მინიმალური ქსელის კონფიგურაციები;
2. საკომპუტაციო სიმძლავრე (CPU ნაწილი);
3. პორტების რაოდენობა მულტიმედიურ შლიუზში;

გაანგარიშების ალგორითები თითოეული კომპონენტისთვის წარმოდგენილია ქვემოთ.

იმისათვის, რომ მოთხოვნებმა დააკმაყოფილოს ქსელის მინიმალური კონფიგურაციის მოთხოვნა, BU-LRIC მოდელში გაკეთებული დაშვებით MGW-ების მინიმალური რაოდენობა მობილურ ქსელში ორის ტოლია.

მულტიმედიური შლიუზის საბაზო ერთეულების რაოდენობა (BU_{MGW}^C , ერთეულებში), რომელიც საჭიროა საკომუტაციო სიმძლავრის მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად (ცენტრალური პროცესორის (CPU) შემთხვევაში) შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$BU_{MGW}^C = \frac{N_{BHCA}}{C_{CPU}}$$

$$C_{CPU} = C_{MGW,s}^{\psi} \times N_{CPU/MGW}$$

სადაც:

N_{BHCA} – გამომავლების მცდელობები პიკურ დატვირთვაზე ტრაფიკის დროს, პიკურ დატვირთვაზე გამომავლების მცდელობები;

$C_{MGW,s}^{\psi}$ – მულტიმედიური შლიუზის მაქსიმალური საოპერაციო სიმძლავრე, რომელიც საჭიროა პიკურ დატვირთვაზე ტრაფიკისას გამომავლების მცდელობების დასაკმაყოფილებლად, პიკურ დატვირთვაზე გამომავლების მცდელობები;

C_{CPU} – მულტიმედიური შლიუზის ცენტრალური პროცესორის სიმძლავრე, პიკურ დატვირთვაზე გამომავლების მცდელობები;

$N_{CPU/MGW}$ – ცენტრალური პროცესორები ერთ მულტიმედიურ შლიუზზე, ერთეულებში.

მულტიმედიური შლიუზის საბაზო ერთეულების რაოდენობა (BU_{MGW}^P , ერთეულებში), რომელიც საჭიროა პორტების რაოდენობის მოთხოვნის დასაკმაყოფილებლად, გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$BU_{MGW}^P = \frac{N_{MGW}^P}{C_{MGW,p}^{\psi}}$$

სადაც:

N_{MGW}^P – მულტიმედიური შლიუზისთვის საჭირო პორტების მთლიანი რაოდენობა;

$C_{MGW,p}^{\psi}$ – მულტიმედიური შლიუზის მაქსიმალური საოპერაციო სიმძლავრე პორტების რაოდენობის დასაკმაყოფილებლად, პორტები;

საჭირო პორტების მთლიანი რაოდენობა (N_{MGW}^P , ერთეულებში) მულტიმედიურ შლიუზში გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$N_{MGW}^P = P_{RNC} + P_{ic}^{mgw} + P_{is}^{mgw}$$

სადაც:

P_{RNC} – რადიოქსელის კონტროლერის მიმართულებით არსებული პორტები მულტიმედიურ შლიუზში, ერთეულებში;

P_{ic}^{mgw} – ურთიერთჩართვის მიმართულებით არსებული პორტები მულტიმედიურ შლიუზში, ერთეულებში;

P_{is}^{mgw} – კომპუტატორებშორის 2 მეგაბიტი/წმ პორტები მულტიმედიურ შლიუზში, ერთეულებში;

რადიოქსელის კონტროლერის მიმართულებით არსებული პორტები (P_{RNC} , units) შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$P_{RNC} = T_{RNC} \times \frac{1}{0.7} \times \frac{1}{31}$$

სადაც:

T_{RNC} – RNC-MGW ტრაფიკი, ერლანგები პიკურ დატვირთვაზე;

გაყოფა 0.7-ზე ნიშნავს პიკურ დატვირთვაზე ერლანგების გარდაქმნას არხების რაოდენობად, ხოლო გაყოფა 31-ზე ნიშნავს არხების გადაყვანას 2 მეგაბიტიანი პორტების რაოდენობაში.

RNC-MGW ტრაფიკი (T_{RNC} , BHE) შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$T_{RNC} = M_{Total} + VM_{Total} + SMS_{Total} + MMS_{Total}$$

სადაც:

M_{Total} – ჯამური ხმოვანი წუთების ტრაფიკი რადიოქსელის კონტროლერში, ერლანგები პიკურ დატვირთვაზე;

VM_{Total} – ჯამური ვიდეო წუთების ტრაფიკი რადიოქსელის კონტროლერში, ერლანგები პიკურ დატვირთვაზე;

SMS_{Total} – სულ SMS შეტყობინებების ტრაფიკი რადიოქსელის კონტროლერში, ერლანგები პიკურ დატვირთვაზე.

MMS_{Total} – სულ MMS შეტყობინებების ტრაფიკი რადიოქსელის კონტროლერში, ერლანგები პიკურ დატვირთვაზე.

ურთიერთჩართვის მიმართულებით არსებული პორტები (P_{ic}^{mgw} , units) მულტიმედიურ შლიუზში

შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$p_{ic}^{mgw} = T_{ic}^{mgw} \times \frac{1}{0.7} \times \frac{1}{31}$$

სადაც:

T_{ic}^{mgw} – ურთიერთჩართვის ტრაფიკი მულტიმედიურ შლიუზში, ერლანგები პიკურ დატვირთვაზე.

გაყოფა 0.7-ზე ნიშნავს პიკურ დატვირთვაზე ერლანგების გარდაქმნას არხების რაოდენობად, ხოლო გაყოფა 31-ზე ნიშნავს არხების გადაყვანას 2 მეგაბიტის პორტების რაოდენობაში.

ურთიერთჩართვის ტრაფიკი (T_{ic}^{mgw} , BHE) მულტიმედიურ შლიუზში შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$T_{ic} = M_{Total} + MV_{Total} + SMS_{Total} + MMS_{Total}$$

სადაც:

M_{Total} – ზარების მთლიანი რაოდენობა მულტიმედიურ შლიუზსა და ურთიერთჩართვის წერტილს შორის, ერლანგები პიკურ დატვირთვაზე.

VM_{Total} – ვიდეოზარების მთლიანი რაოდენობა მულტიმედიურ შლიუზსა და ურთიერთჩართვის წერტილს შორის, ერლანგები პიკურ დატვირთვაზე.

SMS_{Total} – SMS შეტყობინებების მთლიანი რაოდენობა მულტიმედიურ შლიუზსა და ურთიერთჩართვის წერტილს შორის, ერლანგები პიკურ დატვირთვაზე.

MMS_{Total} – MMS შეტყობინებების მთლიანი რაოდენობა მულტიმედიურ შლიუზსა და ურთიერთჩართვის წერტილს შორის, ერლანგები პიკურ დატვირთვაზე;

კომპუტატორებშორისი 2 მეგაბიტი/წმ. პორტების რაოდენობა (p_{is}^{mgw} , units) მულტიმედიურ შლიუზში შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$p_{is}^{mgw} = T_{is}^{mgw} \times \frac{1}{0.7} \times \frac{1}{31}$$

სადაც:

T_{is}^{mgw} – კომპუტატორებ შორისი ტრაფიკი მულტიმედიურ შლიუზში, ერლანგები პიკურ დატვირთვაზე.

გაყოფა 0.7-ზე ნიშნავს პიკურ დატვირთვაზე ერლანგების გარდაქმნას არხების რაოდენობად, ხოლო გაყოფა 31-ზე ნიშნავს არხების გადაყვანას 2 მეგაბიტის პორტების რაოდენობაში.

კომპუტატორებშორისი ტრაფიკი (T_{is}^{mgw} , BHE) მულტიმედიურ შლიუზში შემდეგი ფორმულით

გამოითვლება:

$$T_{is}^{mgw} = M_{ON} + VM_{ON} + SMS_{ON} + MMS_{ON}$$

სადაც:

M_{ON} – შიდაქსელური ხმოვანი წუთების მთლიანი ტრაფიკი მულტიმედიურ შლიუზში, ერლანგები პიკურ დატვირთვაზე;

SMS_{ON} – შიდაქსელური SMS შეტყობინებების მთლიანი ტრაფიკი მულტიმედიურ შლიუზში, ერლანგები პიკურ დატვირთვაზე;

VM_{ON} – შიდაქსელური ვიდეო წუთების მთლიანი ტრაფიკი მულტიმედიურ შლიუზში, ერლანგები პიკურ დატვირთვაზე;

MMS_{ON} – შიდაქსელური MMS შეტყობინებების მთლიანი ტრაფიკი მულტიმედიურ შლიუზში, ერლანგები პიკურ დატვირთვაზე;

ამრიგად, მულტიმედიური შლიუზის საბაზო ერთეულების მთლიანი რაოდენობა (BU_{MGW} , ერთეულებში) გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$BU_{MGW} = \text{Max}(BU_{MGW}^{\min}; BU_{MGW}^C; BU_{MGW}^P)$$

სადაც:

$BU_{MGW}^{\min}$ – მულტიმედიური შლიუზის საბაზო ერთეულების რაოდენობა, რომელიც საჭიროა ქსელის მინიმალური მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად, ერთეულებში.

BU_{MGW}^C – მულტიმედიური შლიუზის საბაზო ერთეულების რაოდენობა, რომელიც საჭიროა საკომუტაციო სიმძლავრის მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად;

BU_{MGW}^P – მულტიმედიური შლიუზის საბაზო ერთეულების რაოდენობა, რომელიც საჭიროა პორტების რაოდენობაზე მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად, ერთეულებში.

მულტიმედიური შლიუზის დამატებითი ერთეულების ოდენობა პროცესორისა და პორტების ნაწილისთვის იანგარიშება ამ დოკუმენტის 7.3.1 ნაწილში „საბაზო და დამატებითი ერთეულების ცნება“ წარმოდგენილი ალგორითმის მიხედვით, სადაც პიკურ დატვირთვაზე გამოძახების მცდელობა და მულტიმედიურ შლიუზში საჭირო პორტების მთლიანი რაოდენობა წარმოადგენს ცვლად გასაყოფს, შესაბამისად.

7.3.7.3 ხმოვანი მომსახურება და HLR

თითოეული ხმოვანი მომსახურება და HLR ორი ნაწილისგან შედგება:

- ▶ საბაზო ერთეული;
- ▶ დამატებითი ერთეულები.

ამ ნაწილში წარმოდგენილი ალგორითმის რაოდენობრივი შედეგი ხმოვანი მომსახურებისთვის VMS და HLR -სთვის საბაზო ერთეულებისა და დამატებითი ერთეულების ოდენობაა. ამ მომსახურებების გაანგარიშებისას წილადის მრიცხველი (მოთხოვნის მოცულობა) ხმოვანი მომსახურებისთვის VMS საფოსტო ყუთებია, ხოლო HLR -სათვის აბონენტების რაოდენობა.

ხმოვანი მომსახურებისა და HLR-ის საბაზო ერთეულებისა და დამატებითი ერთეულების რაოდენობა იანგარიშება ამ დოკუმენტის 7.3.1 ნაწილში „საბაზო და დამატებითი ერთეულების ცნება“ წარმოდგენილი ალგორითმის მიხედვით, სადაც საფოსტო ყუთები და აბონენტების რაოდენობა განაწილების პარამეტრებია.

7.3.7.4 მომსახურების მართვის პუნქტი (ინტელექტუალური ქსელი)

მომსახურების მართვის პუნქტი (SCP) არის ქსელის ელემენტი, რომელიც ემსახურება წინასწარ გადამხდილ აბონენტებს. მომსახურების მართვის პუნქტი ორი ნაწილისგან შედგება:

- ▶ საბაზო ერთეული (წინსწრებით გადამხდელ აბონენტებთან დაკავშირებული);
- ▶ გაფართოება:
- ▶ სააბონენტო ნაწილი;
- ▶ საოპერაციო ნაწილი.

მომსახურების მართვის პუნქტის საბაზო ერთეულების აუცილებელი მინიმალური რაოდენობის განსაზღვრა წარმოადგენს აბონენტებისა და ტრაფიკის მოთხოვნების დაკმაყოფილების ფუნქციას: გაანგარიშების ალგორითმები თითოეული კომპონენტისთვის წარმოდგენილია ქვემოთ.

მომსახურების მართვის პუნქტის საბაზო ერთეულების მთლიანი რაოდენობა (BU_{SCP} , ერთეულებში) შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$BU_{SCP} = \text{Max} \left(\frac{N_{pre}}{C_{SCP,sub}^{\psi}}; \frac{N_{Tr/s}}{C_{SCP,Tr}^{\psi}} \right)$$

$$N_{Tr/s} = \frac{N_{pre}}{N_{TSub}} \times \frac{N_{BHCA}}{60} \times \alpha_{t/c}$$

სადაც:

N_{pre} – წინსწრებით გადახდილი აბონენტები, ერთეულებში;

$N_{Tr/s}$ – პიკურ დატვირთვაზე ოპერაციები წამში, ერთეულებში;

$C_{SCP,sub}^{\psi}$ – მაქსიმალური საოპერაციო სიმძლავრე, რომელიც საჭიროა აბონენტების რაოდენობის დასაკმაყოფილებლად;

$C_{SCP,Tr}''$ – მაქსიმალური საოპერაციო სიმძლავრე, რომელიც საჭიროა ოპერაციების რაოდენობის დასაკმაყოფილებლად, პიკურ დატვირთვაზე ოპერაციები/წმ.;

N_{TSub} – GSM, UMTS და LTE აბონენტები, ერთეულებში;

N_{BHCA} – გამოძახების მცდელობები პიკურ დატვირთვაზე ტრაფიკის დროს, პიკურ დატვირთვაზე გამოძახების მცდელობები;

$\alpha_{t/c}$ – ინტელექტუალური ქსელის ოპერაციების საშუალო რაოდენობა ერთ წინასწარ გადახდილ სააბონენტო ზარზე (შიდაქსელური და ქსელისგარეთა)

მომსახურების მართვის პუნქტის დამატებითი ერთეულების ოდენობა აბონენტებისა და ოპერაციების ნაწილისთვის იანგარიშება 7.3.1 ნაწილში „საბაზო და დამატებითი ერთეულების ცნება“ წარმოდგენილი ალგორითმის მიხედვით, სადაც აბონენტების რაოდენობა და პიკურ დატვირთვაზე ოპერაციები წამში წარმოადგენს ცვლად გასაყოფებს.

7.3.7.5 პაკეტების კონტროლერი (PCU)/ GPRS-ის მომსახურების მხარდაჭერის კვანძი (SGSN)

ამ ნაწილში იანგარიშება პაკეტების კონტროლერის საბაზო და დამატებითი ერთეულები. PCU-ს საბაზო ერთეულების რაოდენობა (BU_{PCU}) შემდეგნაირად იანგარიშება:

$$BU_{PCU} = \max \left(\left\lceil \frac{TH_{Gb}}{C_{PCU}''} \right\rceil; BU_{RNC} + BU_{BSC} \right)$$

სადაც:

TH_{Gb} – გბ კავშირის გამტარუნარიანობა [მეგაბიტები წამში]

C_{PCU}'' – PCU-ს მაქსიმალური საოპერაციო სიმძლავრე [მეგაბიტები წამში]

BU_{RNC} – რადიოქსელის კონტროლერის საბაზო ერთეულების რაოდენობა

BU_{BSC} – საბაზო სადგურის კონტროლერის საბაზო ერთეულების რაოდენობა

გიგაბიტ ლინკის/კავშირის გამტარუნარიანობა [მეგაბიტები წამში] შემდეგი ფორმულით იანგარიშება:

$$TH_{Gb} = \frac{1}{60} \times \left(\frac{\max(T_{GSMu}; T_{GSMd})}{f_{GSM}} \right)$$

სადაც:

T_{GSMu} – მიღების საპაკეტო მონაცემების მეგაბიტების მთლიანი წუთობრივი ეკვივალენტი GSM ქსელის ელემენტში ერთ წუთში პიკურ დატვირთვაზე

T_{GSMd} – გადაცემის საპაკეტო მონაცემების მეგაბიტების მთლიანი წუთობრივი ეკვივალენტი GSM ქსელის ელემენტში ერთ წუთში პიკურ დატვირთვაზე

f_{GSM} – GSM მონაცემების ტრაფიკის წუთობრივ ეკვივალენტში გადაყვანის კოეფიციენტი

პაკეტების კონტროლერის დამატებითი ერთეული შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$EU(PCU) = \left[BU(PCU) \times \frac{\frac{CAP(A)}{BU(PCU)} - OC(base)}{OC(ext)} \right]$$

სადაც:

EU(PCU) – პაკეტების კონტროლერის დამატებითი ერთეულების რაოდენობა

BU(PCU) – პაკეტების კონტროლერის საბაზო ერთეულების რაოდენობა

CAP(A) – გზ კავშირის გამტარუნარიანობა [პაკეტები პიკურ დატვირთვაზე / წმ.]

OC(base) – პაკეტების კონტროლერის საბაზო ერთეულის საოპერაციო სიმძლავრე

OC(ext) – პაკეტების კონტროლერის დამატებითი ერთეულის საოპერაციო სიმძლავრე

ამ ნაწილში იანგარიშება SGSN-ის საბაზო და დამატებითი ერთეულები. SGSN-ის საბაზო ერთეულების რაოდენობა იანგარიშება, როგორც გზ კავშირის გამტარუნარიანობა [პაკეტები პიკურ დატვირთვაზე / წმ.] გაყოფილი SGSN-ის ფიზიკური ლოკაციის მაქსიმალურ სიმძლავრეზე. SGSN-ის დამატებითი ერთეული გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$EU(SGSN) = \left[BU(SGSN) \times \frac{\frac{CAP(A)}{BU(SGSN)} - OC(base)}{OC(ext)} \right]$$

სადაც:

EU(SGSN) – SGSN-ის დამატებითი ერთეულების რაოდენობა

BU(SGSN) – SGSN-ის საბაზო ერთეულების რაოდენობა

CAP(A) – გზ კავშირის გამტარუნარიანობა [პაკეტები პიკურ დატვირთვაზე / წმ.]

OC(base) – SGSN-ის საბაზო ერთეულის საოპერაციო სიმძლავრე

7.3.7.6 მოკლე შეტყობინებების მომსახურების ცენტრი (SSMC)

SSMC ორი ნაწილისგან შედგება:

- ▶ საბაზო ერთეული;
- ▶ დამატებითი ერთეულები.

ამ ნაწილში წარმოდგენილი ალგორითმის რაოდენობრივი შედეგი SSMC-ისთვის საჭირო საბაზო ერთეულებისა და დამატებითი ერთეულების ოდენობაა.

SSMC-ის მასშტაბის გაანგარიშება ხდება საინჟინრო იმავე წესების დაცვით, ამიტომ ქსელის ორივე ელემენტისთვის ერთი ალგორითმი გამოიყენება.

გაანგარიშებისას გაანგარიშებისას წილადის მრიცხველი (მოთხოვნის მოცულობა) ორივე ნაწილისთვის წარმოადგენს პიკურ დატვირთვაზე შეტყობინებების რაოდენობას (SMS შეტყობინებები) წამში ($M_{MS/s}$, შეტყობინებები/სმ.) და შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$N_{MS/s} = \frac{1}{60} \times \frac{T_{MS}}{f_{MS}}$$

სადაც:

f_{MS} – შეტყობინების წუთობრივ ეკვივალენტში გადაყვანის კოეფიციენტი.

T_{MS} – ქსელის ელემენტში პიკურ დატვირთვაზე ერთ წუთში შეტყობინებების მთლიანი წუთობრივი ეკვივალენტი, წუთებში.

SMSC-ის საბაზო ერთეულებისა და დამატებითი ერთეულების რაოდენობა იანგარიშება 7.3.1 ნაწილში „საბაზო და დამატებითი ერთეულების ცნება“ წარმოდგენილი ალგორითმის მიხედვით, სადაც პიკურ დატვირთვაზე SMS შეტყობინებები წარმოადგენს გაანგარიშების წილადის მრიცხველს (მოთხოვნის მოცულობას).

7.3.7.7 მულტიმედიური შეტყობინებების მომსახურების ცენტრი (MMSC)

MMSC-ის საბაზო ერთეულების რაოდენობა იანგარიშება, როგორც პიკურ დატვირთვაზე MMS ერთ წამში გაყოფილი MMSC-ის ფიზიკური ლოკაციის მაქსიმალურ სიმძლავრეზე. MMSC-ის დამატებითი ერთეული გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$EU(MMSC) = \left\lceil BU(MMSC) \times \frac{\frac{CAP(A)}{BU(MMSC)} - OC(base)}{OC(ext)} \right\rceil$$

სადაც:

$EU(MMSC)$ – MMSC-ის დამატებითი ერთეულების რაოდენობა

$BU(MMSC)$ – MMSC-ის საბაზო ერთეულების რაოდენობა

$CAP(A)$ – პიკურ დატვირთვაზე MMS-ების რაოდენობა წამში

$OC(base)$ – MMSC-ის საბაზო ერთეულის საოპერაციო სიმძლავრე

$OC(ext)$ – MMSC-ის დამატებითი ერთეულის საოპერაციო სიმძლავრე

MMSC-ის საბაზო ერთეულებისა და დამატებითი ერთეულების რაოდენობა იანგარიშება 7.3.1 ნაწილში „საბაზო და დამატებითი ერთეულების ცნება“ წარმოდგენილი ალგორითმის მიხედვით, სადაც პიკურ დატვირთვაზე MMS შეტყობინებებს წარმოადგენს გაანგარიშების წილადის მრიცხველს (მოთხოვნის მოცულობას).

7.3.7.8 IP მულტიმედიაური ქვესისტემა

IP მულტიმედიაური ქვესისტემა საჭიროა VoLTE მომსახურების გასაწევად.

IMS-ის გაფართოების ბარათების მოცულობა (TDM-ის დამუშავება, VoIP-ის დამუშავება) შემდეგი ალგორითმით გამოითვლება:

IMS-ის 1-ლი, მე-2, მე-3, მე-4, მე-5, მე-6 ტიპის ბარათების მოთხოვნილი რაოდენობა შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$N_{Type-x}^{IMS} = \max\left(\left\lceil \frac{V_z}{C_{x-capacity}} \right\rceil; 2\right)$$

სადაც,

$C_{x-capacity}$ - x ტიპის IMS მომსახურების ბარათის გამტარუნარიანობა;

V_z - მთლიანი ქსელის მოცულობა Z , რომელსაც მართავს კომპონენტის x ტიპი;

Z - BHE, BHCA ან S_{total} მთლიანი მოცულობა ქსელში;

x - IMS მომსახურების ბარათის ტიპი: 1, 2, 3, 4, 5, ან 6.

HSS მომსახურების ბარათების მოთხოვნილი რაოდენობა შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$N_{Type-1/2}^{HSS} = \max\left(\left\lceil \frac{S_{total}}{C_{x-capacity}} \right\rceil; 2\right)$$

სადაც,

S_{total} - ქსელში ხმოვანი მომსახურების აბონენტების მთლიანი რაოდენობა;

$C_{x-capacity}$ - x ტიპის HSS მომსახურების ბარათის გამტარუნარიანობა;

x - მომსახურების ბარათის ტიპი: სულ ორი ტიპი არსებობს.

7.3.7.9 მომხმარებელთა მონაცემების ცენტრალიზებული ბაზა (CUDB)

მომხმარებელთა მონაცემების ცენტრალიზებული ბაზა საჭიროა VLR-სა და HSS-ს შორის ინტერფეისის უზრუნველსაყოფად.

თითოეული მომხმარებელთა მონაცემების ცენტრალიზებული ბაზა (CUDB) ორი ნაწილისგან შედგება:

- ▶ საბაზო ერთეული;
- ▶ დამატებითი ერთეულები.

ამ ნაწილში წარმოდგენილი ალგორითმის რაოდენობრივი შედეგი მომხმარებელთა მონაცემების ცენტრალიზებულ ბაზისთვის საჭირო საბაზო ერთეულებისა და დამატებითი ერთეულების

რაოდენობა. მომხმარებელთა მონაცემების ცენტრალიზებული ბაზის გაანგარიშებისას წილადის მრიცხველი (მოთხოვნის მოცულობა) აბონენტების რაოდენობაა.

მომხმარებელთა მონაცემების ცენტრალიზებული ბაზის საბაზო ერთეულებისა და დამატებითი ერთეულების რაოდენობა იანგარიშება 7.3.1 ნაწილში „საბაზო და დამატებითი ერთეულების ცნება“ წარმოდგენილი ალგორითმის მიხედვით, სადაც საფოსტო ყუთები და აბონენტების რაოდენობა განაწილების პარამეტრებია.

7.3.7.10 საბილინგო IC სისტემა

მოდელი ახდენს ქსელის მხოლოდ იმ ელემენტების მასშტაბის გაანგარიშებას, რომლებიც მონაწილეობს ზარის დასრულების, ზარის წამოწყებისა და ტრანზიტულ საბითუმო მომსახურებაში; აქედან გამომდინარე გაანგარიშებაში საბილინგო სისტემის მხოლოდ იმ ნაწილი მიიღებს მონაწილეობას, რომელიც საბითუმო მომსახურებას უკავშირდება.

საბითუმო საბილინგო სისტემა მოიცავს ინფრასტრუქტურას ტრაფიკის მონაცემების შეგროვებას, ანგარიშფაქტურების გამოწერასა და გადახდის მონიტორინგს, კერძოდ, აღნიშნული ინფრასტრუქტურა წარმოადგენს ტექნიკურ აღჭურვილობას და პროგრამულ უზრუნველყოფას, რომელიც საჭიროა შემდეგისთვის:

- ▶ საბითუმო ბილინგის ჩანაწერების შეგროვება და დამუშავებისთვის;
- ▶ საბითუმო ტრაფიკის მონაცემების შენახვისთვის;
- ▶ საბითუმო მომხმარებლებისთვის ანგარიშფაქტურების გამოწერისთვის.

საბილინგო სისტემის მასშტაბის გაანგარიშება შემდეგ ეტაპებად ხორციელდება:

გამოითვლება მოთხოვნილი გამოძახებების დეტალური რეგისტრაციის (CDR) მხარდასაჭერად საჭირო სერვერების რაოდენობა. გაანგარიშება შემდეგი ფორმულის გამოყენებით ხდება:

$$N^{IC} = \left\lceil \frac{N_{IC-exp}}{C_{IC-M.capacity}} \right\rceil$$

სადაც,

N^{IC} - საბილინგო სისტემის საბაზო ერთეულების რაოდენობა;

$C_{IC-M.capacity}$ - საბილინგო სისტემის საბაზო ერთეულის სლოტის სიმძლავრე;

N_{IC-exp} - IC სისტემის გაფართოების ბარათების რაოდენობა.

გაფართოების ბარათების მოთხოვნილი რაოდენობა შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$N_{IC-exp} = \left\lceil \frac{CDR}{HA \times C_{IC-Exp.capacity}} \right\rceil$$

სადაც,

$C_{IC-Exp.capacity}$ - დამატებითი ერთეულის სიმძლავრე;

HA- IC ტექნიკური აღჭურვილობისა და პროგრამული უზრუნველყოფის სათადარიგო საოპერაციო სიმძლავრე;

CDR - გამოძახებების დეტალური რეგისტრაცია, რომელიც საბილინგო სისტემამ უნდა მართოს. ეს რაოდენობა გამოითვლება ურთიერთჩართვის ტრაფიკის რაოდენობის გამრავლებით გამოძახებების დეტალური რეგისტრაციის მონაცემებზე.

საბილინგო IC სისტემის დამატებითი ერთეულების რაოდენობა იანგარიშება 7.3.1 ნაწილში „საბაზო და დამატებითი ერთეულების ცნება“ წარმოდგენილი ალგორითმის მიხედვით, სადაც საბილინგო IC სისტემისთვის საჭირო პიკურ დატვირთვაზე გამოძახების მცდელობა წარმოადგენს ცვლად გასაყოფს.

7.3.7.11 ნომრის პორტირების სისტემა

ნომრის პორტირების სისტემა უნდა წარმოადგენდეს ნომრის პორტირების სისტემის იმ ნაწილს, რომელიც საბითუმო მომსახურებისთვის გამოიყენება.

ნომრის პორტირების სისტემა შემდეგი ნაწილებისგან შედგება:

- ▶ ნომრის პორტირების სისტემა: საბაზო ერთეული
- ▶ ნომრის პორტირების სისტემა: დამატებითი ერთეული

ნომრის პორტირების სისტემის საბაზო ერთეულების აუცილებელი მინიმალური რაოდენობის განსაზღვრა წარმოადგენს მოთხოვნების დაკმაყოფილების ფუნქციას:

1. მინიმალური ქსელის კონფიგურაციები;
2. დამუშავების სიმძლავრე.

გაანგარიშების ალგორითმები თითოეული კომპონენტისთვის წარმოდგენილია ქვემოთ.

იმისათვის, რომ მოთხოვნებმა დააკმაყოფილოს ქსელის მინიმალური კონფიგურაციის მოთხოვნა, BU-LRIC მოდელში გაკეთებული დაშვებით ნომრის პორტირების სისტემა მობილურ ქსელში მხოლოდ ერთია.

ნომრის პორტირების სისტემის საბაზო ერთეულების რაოდენობა (BU_{NPS}^C , ერთეულებში), რომელიც საჭიროა დამუშავების სიმძლავრის მოთხოვნის დასაკმაყოფილებლად, გამოითვლება შემდეგი ფორმულებით:

$$BU_{NPS}^C = \frac{N_{BHCA}}{C_{CPU}}$$

$$C_{CPU} = C_{NPS,s}^{\psi} \times N_{CPU / NPS}$$

სადაც:

N_{BHCA} – გამოძახების მცდელობები პიკურ დატვირთვაზე ტრაფიკის დროს, პიკურ დატვირთვაზე გამოძახების მცდელობები;

$C_{NPS,s}^{\prime\prime}$ – ნომრის პორტირების სისტემის მაქსიმალური საოპერაციო სიმძლავრე, რომელიც საჭიროა პიკურ დატვირთვაზე ტრაფიკისას გამოძახების მცდელობების დასაკმაყოფილებლად, პიკურ დატვირთვაზე გამოძახების მცდელობები.

C_{CPU} – პიკურ დატვირთვაზე გამოძახების მცდელობების დამუშავების სიმძლავრე;

$N_{CPU/NPS}$ – ნომრის პორტირების ერთ სისტემაში დამატებითი ერთეულების მაქსიმალური რაოდენობა, ერთეულებში.

ნომრის პორტირების სისტემის დამატებითი ერთეულების რაოდენობა იანგარიშება 7.3.1 ნაწილში „საბაზო და დამატებითი ერთეულების ცნება“ წარმოდგენილი ალგორითმის მიხედვით, სადაც ნომრის პორტირების სისტემისთვის საჭირო პიკურ დატვირთვაზე გამოძახების მცდელობა წარმოადგენს ცვლად გასაყოფს.

7.3.8 გადაცემა

7.3.8.1 უკუტრანზიტის გადაცემა

გადაცემის ქსელი ერთმანეთთან აკავშირებს ფიზიკურად განცალკევებულ კვანძებს მობილურ ქსელში (BTS-ები/NodeB/eNodeB, BSC-ები/RNC/EPC, MSC-ები ან MSS/MGW-ები ან SGGSN/GGSN) და შორ მანძილზე კომუნიკაციის სიგნალების გადაცემის საშუალებას იძლევა. გადაცემის ქსელი, BU-LRIC მოდელში მობილური ქსელის ტოპოლოგიის მიხედვით, შემდეგ იერარქიულ დონეებად იყოფა:

▶ უკუტრანზიტის გადაცემა:

- BTS/Node B/eNode B – BSC/RNC/EPC;

▶ ძირითადი გადაცემა:

- BSC/RNC – MSC, BSC/RNC – MGW ან EPC – GGSN გადაცემა;
- MSC – MSC, MGW – MGW ან MGW- GGSN გადაცემა.

BU – LRIC მოდელი ასევე უშვებს გადაცემის ორ სხვადასხვა ტექნოლოგიას:

- ▶ ეზერნეტის ტექნოლოგია უკუტრანზიტის გადაცემისას.
- ▶ ეზერნეტის ტექნოლოგია ძირითადი გადაცემისას. მონაცემების გადაცემის მომსახურება მოდელირებულია ძირითად გადაცემაშიც.

მომდევნო ნაწილებში წარმოდგენილია გადაცემის ქსელის სიმძლავრის გაანგარიშება მობილური ქსელის თითოეულ იერარქიულ დონეზე.

უკუტრანზიტის გადაცემა

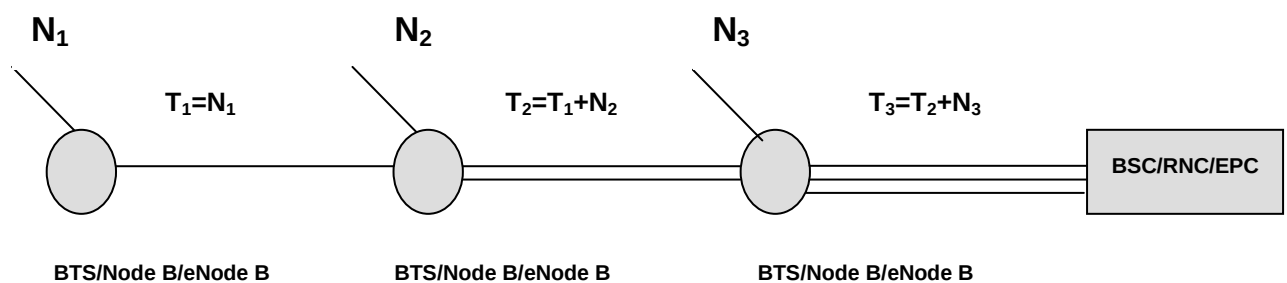
უკუტრანზიტის გადაცემა BTS-ებს აკავშირებს BSC-ებთან (GSM ქსელი), NodeB-ებს RNC-ებთან (UMTS ქსელი) ან eNodeBs-ებს EPC-ებთან. მობილური ქსელის აღნიშნულ კვანძებს შორის მონაცემების ტრანსპორტირებისთვის ეზერნეტის ტექნოლოგია გამოიყენება. ეზერნეტი შემდეგი გადაცემის რეჟიმებისგან შედგება:

- ▶ ეზერნეტის რადიოკავშირის 10 მგბტ/წმ მიკროტალღური კავშირი;
- ▶ ეზერნეტის რადიოკავშირის 20 მგბტ/წმ მიკროტალღური კავშირი;
- ▶ ეზერნეტის რადიოკავშირის 50 მგბტ/წმ მიკროტალღური კავშირი;
- ▶ ეზერნეტის რადიოკავშირის 100 მგბტ/წმ მიკროტალღური კავშირი.
- ▶ ეზერნეტის რადიოკავშირის 150 მგბტ/წმ მიკროტალღური კავშირი.
- ▶ ეზერნეტის რადიოკავშირის 200 მგბტ/წმ მიკროტალღური კავშირი.

უკუტრანზიტის გადაცემის ხარჯების გაანგარიშებისთვის უნდა შეფასდეს თითოეული გამოყენებული ეზერნეტის რადიოკავშირის წილი. შესაბამისად, უკუტრანზიტის გადაცემაში გაკეთებული დაშვებით, BTS/Node B/eNode B-ები გადამცემის ერთ ხაზს უკავშირდება. შემდეგ ეტაპზე თითოეული ეზერნეტის რადიოკავშირის წილი ქვემოთ მოცემულის მიხედვით განისაზღვრება:

- ▶ ობიექტების რაოდენობა (BTS/Node B/eNode B) ერთ გადამცემ ხაზზე რომლებიც ერთმანეთთან აკავშირებს BSC/RNC/EPC და უშორეს BTS/Node B/eNode B-ს;
- ▶ საშუალო გამტარუნარიანობა ერთ საიტზე.

ქვემოთ სურათზე ასახულია ძირითადი გადაცემის სქემა BTS/Node B-ებსა და BSC/RNC-ებს შორის.



$N_1=N_2=N_3$ - საშუალო გამტარუნარიანობა ერთ საიტზე (კბტ/წმ)

უკუტრანზიტის გადაცემის მოდელირების ძირითადი მახასიათებლებია:

- ▶ გადაცემის ქსელის აღჭურვილობას აქვს ის მინიმალური სიმძლავრე რაც საჭიროა BTS/Node B/ eNodeB – BSC/RNC/EPC დონეზე მოთხოვნილი ტრაფიკის გადასაცემის უზრუნველსაყოფად;

- ▶ თითოეული BTS/NodeB/eNodeB, რომელიც მიეკუთვნება გარკვეულ გადამცემ ხაზს, დამატებითი მოცულობის მონაცემებით ტვირთავს გადამცემ ხაზს. შედეგად გადამცემი ხაზის უფრო მაღალი დატვირთვა მიემართება BSC/NodeB/eNodeB-ისკენ და უფრო დაბალი დატვირთვა მოდის უკან;
- ▶ დაშვების თანახმად, ერთ გადამცემ ხაზზე ობიექტების საშუალო რაოდენობა სამია.

ქვემოთ წარმოდგენილია ეზერნეტის რადიოკავშირების რაოდენობის გაანგარიშების ალგორითმი სხვადასხვა რეჟიმის გადამცემების მიხედვით (10 მეგაბიტი წამში). რადგან ეზერნეტის რადიოკავშირის ყველა რეჟიმი იანგარიშება ერთი ალგორითმის გამოყენებით, ამიტომ გამოიყენებულ იქნა ეზერნეტის რადიოკავშირის რაოდენობის გაანგარიშების საერთო ალგორითმი.

თავდაპირველად, საშუალო გამტარუნარიანობა ერთ ობიექტზე (α_{TH} , kbit/s) შემდეგი ფორმულით იანგარიშება:

$$\alpha_{TH} = \frac{TH_{UMTS} + TH_{GSM} + TH_{LTE}}{N_{SI}}$$

სადაც:

TH_{UMTS} – მთლიანი გამტარუნარიანობა ერთ UMTS საიტზე, ყველა ტიპის ფიჭის, ქვეარეალისა და სექტორის გათვალისწინებით, კბტ/წმ;

TH_{GSM} – მთლიანი გამტარუნარიანობა ერთ GSM საიტზე, ყველა ტიპის ფიჭის, ქვეარეალისა და სექტორის გათვალისწინებით, კბტ/წმ;

TH_{LTE} – მთლიანი გამტარუნარიანობა ერთ LTE საიტზე, ყველა ტიპის ფიჭის, ქვეარეალისა და სექტორის გათვალისწინებით, კბტ/წმ;

N_{SI} – ობიექტების მთლიანი რაოდენობა (GSM, UMTS და LTE ქსელები), ერთეულებში;

TH_{UMTS} შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$TH_{UMTS} = \sum_{i,j,k} TH_{i,j,k}^{UMTS} \times N_{i,j,k}^{UMTS}$$

სადაც:

$TH_{i,j,k}^{UMTS}$ – გამტარუნარიანობა UMTS-ის ერთ საიტზე, კბტ/წმ;

$N_{i,j,k}^{UMTS}$ – UMTS ობიექტების რაოდენობა, ერთეულებში;

i – არეალის ტიპი;

j – ფიჭის ტიპი;

k – სექტორის ტიპი.

$TH_{i,j,k}^{UMTS}$ გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$TH_{i,j,k}^{UMTS} = \frac{N_{CAP}^{SeB} \times (P_{UMTS} \times C_{min}^{Se} + P_{HSDPA} \times C_{HSDPA}^{Se})}{N_{iSeB}^{Si}} \times i$$

სადაც:

N_{CAP}^{SeB} – ყველა ტიპის არეალისა და ფიჭის სიმძლავრის მოთხოვნების

დასაკმაყოფილებლად საჭირო სექტორების რაოდენობა, ერთეულებში;

P_{UMTS} – UMTS მონაცემების ტრაფიკის წილი UMTS ქსელში, %;

P_{HSDPA} – HSDPA მონაცემების ტრაფიკის წილი UMTS ქსელში, %;

C_{min}^{Se} – სექტორის სიმძლავრე პიკურ დატვირთვაზე ტრაფიკის დროს, ყველა ტიპის არეალისა და ფიჭისთვის, კბტ/წმ.

C_{HSDPA}^{Se} – სექტორის სიმძლავრე - HSDPA, პიკურ დატვირთვაზე ტრაფიკის დროს, ყველა ტიპის არეალისა და ფიჭისთვის, კბტ/წმ.

N_{iSeB}^{Si} – i სექტორებად დაყოფილი ობიექტები UMTS ქსელში, ერთეულებში;

i - 1, 2 ან 3, საერთო სექტორის, 2 სექტორისა და 3 სექტორის შესაბამისად.

TH_{GSM} შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$TH_{GSM} = \sum_{i,j,k} TH_{i,j,k}^{GSM} \times N_{i,j,k}^{GSM}$$

სადაც:

$TH_{i,j,k}^{GSM}$ – გამტარუნარიანობა GSM-ის ერთ საიტზე, კბტ/წმ;

$N_{i,j,k}^{GSM}$ – GSM ობიექტების რაოდენობა, ერთეულებში;

i – არეალის ტიპი;

j – ფიჭის ტიპი;

k – სექტორის ტიპი.

$TH_{i,j,k}^{GSM}$ გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$TH_{i,j,k}^{GSM} = N_{TRX/Se} \times TH^{Se} \times i$$

სადაც:

$N_{TRX/Se}$ – TRX-ების რაოდენობა ერთ სექტორზე (ყველა ტიპის არეალისა და ფიჭისთვის), ერთეულებში;

TH^{Se} – გამტარუნარიანობა ერთ TRX-ზე, კბტ/წმ; რადგანაც ერთ TRX-ში 8 არხია და მიიჩნევა, რომ ერთი არხის გამტარუნარიანობა უდრის 16 კბტ/წმ-ს, ერთი TRX-ის გამტარუნარიანობა იანგარიშება 8-ის (არხების რაოდენობა) 16-ზე გამრავლებით (ერთი არხის გამტარუნარიანობა);

i - 1, 2 ან 3, საერთო სექტორის, 2 სექტორისა და 3 სექტორის შესაბამისად.

ამის შემდეგ, გადაცემის რეჟიმების კავშირის სიმძლავრე (C_i^l , წრედები) შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$C_i^l = C_b \times OA \times N_i^{lc}$$

სადაც:

C_b – საბაზო 2 მგბტ/წმ კავშირის სიმძლავრე, კბტ/წმ-ში; მეგაბიტები წამში გადაიყვანება კილობიტი/ წამში 1024 ჯერადის გამოყენებით.

OA – საოპერაციო რეზერვი, %;

N_i^{lc} – რიცხვი, რომელიც მრავლდება საბაზო 2 მგბტ/წმ კავშირის სიმძლავრეზე კბტ/წმ.

i – ეზერნეტის 10 მგბტ/წმ, 20 მგბტ/წმ, 50 მგბტ/წმ, 100 მგბტ.წმ, 150 მგბტ/წმ. და 200 მგბტ/წმ. სიმძლავრის კავშირები.

გადაცემის რეჟიმების უზნების მაქსიმალური რაოდენობა ერთ გადამცემ ხაზზე ($N_i^{MAX,sec}$, ერთეულებში) შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$N_i^{MAX,sec} = \left\lfloor \frac{C_i^l}{\alpha_{TH}} \right\rfloor$$

სადაც:

C_i^l – გადაცემის რეჟიმების კონკრეტული კავშირის სიმძლავრე, კბტ/წმ;

α_{TH} – საშუალო გამტარუნარიანობა ერთ საიტზე, კბტ/წმ.

გადაცემის რეჟიმების უზნების რაოდენობა ერთ გადამცემ ხაზზე იანგარიშება ეზერნეტის რადიოკავშირების სხვადასხვა ტიპისთვის. i ეზერნეტის კავშირების უზნების რაოდენობა ერთ გადამცემ ხაზზე გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$N_i^{sec} = MIN(N_i^{MAX,sec}; \alpha_{BTS}) - \sum_{x=2}^{x=i} N_x^{sec}$$

სადაც:

$N_i^{MAX,sec}$ – i უზნების მაქსიმალური რაოდენობა ერთ გადამცემ ხაზზე, ერთეულებში;

α_{BTS} – BTS-ის ობიექტების საშუალო რაოდენობა ერთ გადამცემ ხაზზე, ერთეულებში.

N_x^{sec} – x უზნების მაქსიმალური რაოდენობა ერთ გადამცემ ხაზზე, ერთეულებში.

i – ეზერნეტის 10 მგბტ/წმ, 20 მგბტ/წმ, 50 მგბტ/წმ, 100 მგბტ.წმ, 150 მგბტ/წმ. და 200 მგბტ/წმ. სიმძლავრის კავშირები.

გადაცემის რეჟიმების უზნების წილი ერთ გადამცემ ხაზზე (P_i^{sec} , %) შემდეგი ფორმულით

გამოითვლება:

$$P_i^{\text{sec}} = \frac{N_i^{\text{sec}}}{\text{MIN}(\alpha_{\text{BTS}}; N^{\text{sec}})}$$

სადაც:

N_i^{sec} – გადაცემის რეჟიმის უბნების რაოდენობა ერთ გადამცემ ხაზზე, ერთეულებში.

i – ეზერნეტის 10 მგბტ/წმ, 20 მგბტ/წმ, 50 მგბტ/წმ, 100 მგბტ.წმ, 150 მგბტ/წმ. და 200 მგბტ/წმ. სიმძლავრის კავშირები.

α_{BTS} – BTS-ის ობიექტების საშუალო რაოდენობა ერთ გადამცემ ხაზზე, ერთეულებში.

N^{sec} – გადაცემის რეჟიმების უბნების მთლიანი რაოდენობა ერთ გადამცემ ხაზზე, ერთეულებში.

და ბოლოს, ეზერნეტის რადიოკავშირების რაოდენობა გადაცემის სხვადასხვა რეჟიმის მიხედვით (

N_i^{ETH} , ერთეულებში) შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$N_i^{\text{ETH}} = P_i^{\text{sec}} \times N_{\text{Total}}^{\text{Si}}$$

სადაც:

P_i^{sec} – გადაცემის რეჟიმების უბნების წილი ერთ გადამცემ ხაზზე, %;

i – ეზერნეტის 10 მგბტ/წმ, 20 მგბტ/წმ, 50 მგბტ/წმ, 100 მგბტ.წმ, 150 მგბტ/წმ. და 200 მგბტ/წმ. სიმძლავრის კავშირები.

$N_{\text{Total}}^{\text{Si}}$ – ობიექტების მთლიანი რაოდენობა მობილურ ქსელში, ერთეულებში.

7.3.8.2 ძირითადი გადაცემა

როგორც ზემოთ აღინიშნა, გადაცემის ხაზები ერთმანეთთან აერთებს BSC-ებს/RNC-ებს/EPC-ს და MSC-ებს, MGW-ებს ან GGSN-ებს.

უპირველეს ყოვლისა, გამოითვლება ეზერნეტის რადიოკავშირების რაოდენობა BSC/RNC – MSC, BSC/RNC – MGW ან EPC – GGSN იერარქიულ დონეზე. ქვემოთ წარმოდგენილია გაანგარიშების ალგორითმი.

BSC/RNC-MSC, BSC/RNC – MGW ან EPC – GGSN უბნების რაოდენობა, რომლებიც საჭიროა სიმძლავრეზე მოთხოვნის დასაკმაყოფილებლად ($N_{\text{SDH}}^{\text{sec}}$, ერთეულებში), შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$N_{ETH}^{sec} = \left\lceil \frac{D_C}{N_{BR} \times C_{ETH}''} \right\rceil$$

სადაც:

D_C – BSC/RNC-MSC, BSC/RNC-MGW ან EPC - GGSN მთლიანი მოთხოვნა

რადიოკავშირების სიმძლავრეზე, 2 მგბტ/წმ.;

N_{BR} – BSC-ების, RNC-ებისა და EPC-ის რაოდენობა, ერთეულებში;

C_{ETH}'' – ეზერნეტის რადიოკავშირის მაქსიმალური საოპერაციო სიმძლავრე, E1.

ეზერნეტის კავშირების მთლიანი რაოდენობა (N_{ETH} , ერთეულებში) შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$N_{ETH} = N_{BR} \times P_m^t \times \alpha_{BSC} \times N_{ETH}^{sec}$$

სადაც:

N_{BR} – BSC-ების, RNC-ებისა და EPC-ის რაოდენობა, ერთეულებში;

P_m^t – მიკროტალღური კავშირების გადაცემის წილი, %;

α_{BSC} – BSC-ის ობიექტების საშუალო რაოდენობა ერთ კავშირზე (ეზერნეტის რადიოკავშირები), ერთეულებში;

N_{PDH}^{sec} – BSC/RNC-MSC BSC/RNC-MGW ან EPC - GGSN უბნების რაოდენობა, რომელიც საჭიროა სიმძლავრეზე მოთხოვნის დასაკმაყოფილებლად, ერთეულებში.

რადგან If N_{ETH} არ არის მთელი რიცხვი და ამიტომ ის დამრგვალებულია მთელამდე.

გაკეთებულია დაშვება, რომ BSC-ის ობიექტების რაოდენობა ერთ გადამცემ ხაზზე შეადგენს ორს.

მონაცემების გადაცემის ალტერნატიული ტექნოლოგია BSC/RNC – MSC, BSC/RNC – MGW ან EPC - GGSN იერარქიის დონეზე წარმოადგენს მონაცემების გადაცემის მომსახურებას. როდესაც BSC/RNC-სა და MSC/MGW-ს, ან EPC-სა და GGSN-ს შორის მანძილის გაზრდის გამო მონაცემების გადაცემის დანახარჯები მატულობს, მონაცემების გადაცემის მომსახურების ერთეულების გარდა, კილომეტრებიც იანგარიშება, როგორც დამატებითი საზომი ერთეული. მომწოდებლების მიერ გამოყენებული ფასწარმოქმნის მოდელის გათვალისწინებით (დაშვების ნაწილი, ჩვეულებრივ, უფრო მოკლეა, მაგრამ უფრო ძვირიც, ძირითად ქსელთან შედარებით), ოპერატორებმა უნდა წარმოადგინონ 1 კილომეტრზე მონაცემების გადაცემის მომსახურების საშუალო შეწონილი (დაშვებისა და ძირითადი ქსელი) ფასი.

BSC/RNC-MSC, BSC/RNC-MGW ან EPC - GGSN ($N_{BSC-MSC/MGW}^t$, ერთეულებში) მონაცემების

გადაცემის მომსახურების რაოდენობა შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$N_{BSC-MSC/MGW}^l = N_{BR} \times P_L^l$$

სადაც:

N_{BR} – BSC-ების, RNC-ებისა და EPC-ის რაოდენობა, ერთეულებში;

P_L^l – მონაცემების გადაცემის მომსახურებით მოცული გადაცემის წილი, %.

მონაცემების გადაცემის მომსახურების მთლიანი მანძილი BSC/RNC – MSC, BSC/RNC – MGW-ში ან EPC – GGSN-ში ($L_{BSC-MSC/MGW}$, კმ-ში) შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$L_{BSC-MSC/MGW} = N_{BSC-MSC/MGW}^l \times \alpha_{BSC-MSC/MGW}^l$$

სადაც:

$N_{BSC-MSC/MGW}^l$ – BSC/RNC-MSC, BSC/RNC – MGW ან EPC – GGSN მონაცემების გადაცემის მომსახურების რაოდენობა, ერთეულებში;

$\alpha_{BSC-MSC/MGW}^l$ – BSC/RNC/EPC-სა და MSC-ს, MGW-ს ან GGSN-ს შორის იჯარით აღებული ხაზების საშუალო სიგრძე, კმ-ში.

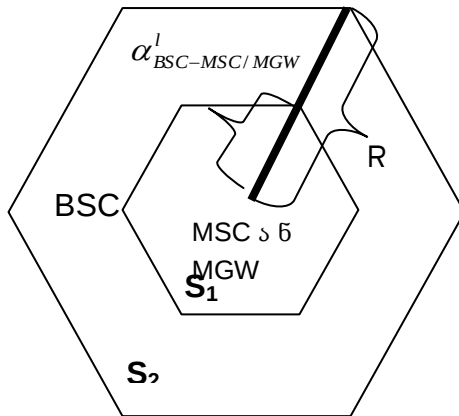
იჯარით აღებული ხაზების საშუალო სიგრძე BSC/RNC/EPC-სა და MSC-ს, MGW-ს ან GGSN-ს შორის ($\alpha_{BSC-MSC/MGW}^l$, კმ-ში) შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$\alpha_{BSC-MSC/MGW}^l = \frac{R}{\sqrt{2}}$$

სადაც:

R – ექვსკუთხედის რადიუსის სიგრძე, კმ-ში.

ექვსკუთხედის ფართობი მიიღება საქართველოს ტერიტორიის ფართობის გაყოფით MSS-ის ან MGW-ის რაოდენობაზე. ქვემოთ სურათზე ნაჩვენებია BSC/RNC/EPC-სა და MSC-ს, MGW-ს ან GGSN-ს შორის იჯარით აღებული ხაზის საშუალო სიგრძის გაანგარიშება.



$\alpha^l_{BSC-MSC/MGW}$ -ის გაანგარიშების ალგორითმი მოცემულია ქვემოთ:

$$\frac{S_2}{S_1} = 2, \quad \frac{\frac{3\sqrt{3}}{2} \times R^2}{\frac{3\sqrt{3}}{2} \times (\alpha^l_{BSC-MSC/MGW})^2} = 2, \quad \alpha^l_{BSC-MSC/MGW} = \frac{R}{\sqrt{2}}.$$

სადაც:

S_1 – მომცრო ექვსკუთხედის ფართობი, კმ-ში²;

S_2 – უფრო დიდი ექვსკუთხედის ფართობი, კმ².

MSC-MSC, MGW – MGW ან GGSN – GGSN იერარქიის დონეზე მონაცემების გადაცემის მომსახურების ორი ტიპის საზომი გამოითვლება. MSC-MSC, MGW – MGW or GGSN – GGSN ($N^l_{MSC-MSC/MGW-MGW}$, ერთეულებში) მონაცემების გადაცემის მომსახურებათა რაოდენობა, იმ პირობით, თუ MSC/MGW/GGSN მიერთებულია თითოეულ დანარჩენ MSC/MGW/GGSN-თან, შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$N^l_{MSC-MSC/MGW-MGW} = BU_{MSC/MGW} \times (BU_{MSC/MGW} - 1)$$

სადაც:

$BU_{MSC/MGW}$ – MSC/MGW/GGSN-ის რაოდენობა.

MSC-MSC, MGW – MGW or GGSN – GGSN ($L_{MSC-MSC/MGW-MGW}$, ერთეულებში) მონაცემების გადაცემის მომსახურების მთლიანი მანძილი შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$L_{MSC-MSC/MGW-MGW} = N^l_{MSC-MSC/MGW-MGW} \times \alpha^l_{MSC-MSC/MGW-MGW}$$

სადაც:

$N_{MSC-MSC/MGW-MGW}^l$ – MSC/MSS/MGW/GGSN-MSC/MSS/MGW/GGSN მონაცემების გადაცემის მომსახურებათა რაოდენობა, ერთეულებში;

$\alpha_{MSC-MSC/MGW-MGW}^l$ – მონაცემების გადაცემის მომსახურებების საშუალო მანძილი MSC-ებს/MGW-ებს/GGSN-ს შორის, კმ.

მონაცემების გადაცემის მომსახურებების საშუალო მანძილი MSC-ებს/MGW-ებს/GGSN-ებს შორის ($\alpha_{MSC-MSC/MGW-MGW}^l$, კმ-ში) შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$\alpha_{MSC-MSC/MGW-MGW}^l = \frac{R_{MSC/MGW}}{\sqrt{2}}$$

სადაც:

$R_{MSC/MGW}$ – ექვსკუთხედის რადიუსის სიგრძე, კმ-ში

ექვსკუთხედის ფართობი უდრის საქართველოს რესპუბლიკის ფართობს.

ცალკე განთავსებული გადაცემის რადიოკავშირი: ანძისა და ობიექტის მომზადება

ეზერნეტის რადიო სარელო ხაზების მთლიანი რაოდენობის გამოთვლისას გაკეთდა იმის დაშვება, რომ დამატებითი (ტრაფიკისა და დაფარვის გარდა) ანძები და ობიექტებია საჭირო გადაცემისთვის. ასეთ რადიოკავშირებს ამ დოკუმენტში ცალკე განთავსებულ გადაცემის რადიოკავშირებს ეწოდება.

ცალკე განთავსებული გადაცემის რადიოკავშირის მთლიანი რაოდენობა (N_{S-A}^t , ერთეულებში) შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$N_{S-A}^t = N_B^{S-A} + N_C^{S-A}$$

სადაც:

N_B^{S-A} – ცალკე განთავსებული მიკროტალღური ობიექტების რაოდენობა უკუტრანზიტის გადაცემისას, ერთეულებში;

N_C^{S-A} – ცალკე განთავსებული მიკროტალღური ობიექტების რაოდენობა ძირითადი გადაცემისას, ერთეულებში.

N_B^{S-A} შემდეგი ფორმულით გამოითვლება

$$N_B^{S-A} = N^{ETH} \times P_{S-A}^{ETH}$$

$$N^{PDH} = \sum_i N_i^{PDH}$$

სადაც:

N^{ETH} – ეზერნეტის რადიოკავშირების მთლიანი რაოდენობა BTS/NodeB/eNodeB–BSC/RNC/EPC გადაცემისას, ერთეულებში;

P_{S-A}^{ETH} – ეზერნეტის ცალკე განთავსებული რადიოკავშირების პროცენტი, %. ცალკე განთავსებულ ეზერნეტის რადიოკავშირებთან დაკავშირებული მონაცემები ოპერატორებისგან მიიღება.

N_i^{PDH} – 10 მგბტ/წმ, 20 მგბტ/წმ, 50 მგბტ/წმ, 100 მგბტ/წმ, 150 მგბტ/წმ. და 200 მგბტ/წმ. ეზერნეტის რადიოკავშირები.

N_C^{S-A} გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$N_C^{S-A} = N_{ETH} \times P_{S-A}^{ETH}$$

სადაც:

N_{ETH} – ეზერნეტის რადიოკავშირების მთლიანი რაოდენობა (გაანგარიშებული # **Error! eference source not found.** ფორმულით), ერთეულებში;

P_{S-A}^{ETH} – ეზერნეტის ცალკე განთავსებული რადიოკავშირების პროცენტი, %. ცალკე განთავსებულ ეზერნეტის რადიოკავშირებთან დაკავშირებული მონაცემები ოპერატორებისგან მიიღება.

8. ქსელის შეფასება

8.1 ხარჯების წლიური მაჩვენებელი

ქსელის მასშტაბის გაანგარიშებისას განსაზღვრული მობილური ქსელის ელემენტები გადაფასდება საერთო ჩანაცვლების ღირებულებით. საერთო ჩანაცვლების ღირებულებაზე დაყრდნობით შემდეგ გამოითვლება კაპიტალური დანახარჯების წლიური მაჩვენებელი. BU-LRIC მოდელში ოთხი ალტერნატიული მეთოდი გამოიყენება წლიური კაპიტალური დანახარჯების გასაანგარიშებლად:

- ▶ ცვეთის დარიცხვის წრფივი მეთოდი;
- ▶ თანაბარზომიერი ცვეთის მეთოდი;
- ▶ თანაბარზომიერი ცვეთის მეთოდი ჩანაცვლების ღირებულებაზე დაყრდნობით;
- ▶ ეკონომიკური ცვეთის მეთოდი.

ალგორითმები, რომლებითაც გამოითვლება კაპიტალური დანახარჯების წლიური მაჩვენებელი (ცვეთა და ინვესტიციის უკუგების კოეფიციენტი) ცვეთის დარიცხვის წრფივი მეთოდის, თანაბარზომიერი ცვეთის, ჩანაცვლების ღირებულებაზე დაყრდნობით თანაბარზომიერი ცვეთისა და ეკონომიკური ცვეთის მეთოდების გამოყენებით, აღწერილია ქვემოთ.

ცვეთის დარიცხვის წრფივი მეთოდი

კაპიტალური დანახარჯების წლიური მაჩვენებელი ცვეთის დარიცხვის წრფივი მეთოდის შემთხვევაში შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$C = CD - HG + ROI$$

სადაც:

- ▶ $CD = \frac{GRC}{l}$ - მიმდინარე ცვეთა (l - აქტივის სასარგებლო გამოყენების ვადა (მონაცემები მოწოდებული უნდა იქნას ოპერატორების მიერ); GRC - აქტივის მთლიანი ჩანაცვლების ღირებულება);

- ▶ $HG = \frac{NBV}{GBV} GRC \times index$, ფლობასთან დაკავშირებული მოგება (ზარალი).

- ▶ $ROI = \frac{NBV}{GBV} GRC \times WACC$ - კაპიტალის ღირებულება;

- ▶ $Index$ - ფასების ინდექსის ცვლილება (მონაცემები მიიღება ოპერატორებისგან);

- ▶ NBV - ნეტო საბალანსო ღირებულება;

- ▶ GBV - პირვანდელი საბალანსო ღირებულება;

- ▶ $WACC$ - კაპიტალის საშუალო შეწონილი განაკვეთი.

თანაბარზომიერი ცვეთის მეთოდი

კაპიტალური დანახარჯების წლიური მაჩვენებელი თანაბარზომიერი ცვეთის მეთოდის შემთხვევაში შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$C = GRC \frac{(WACC)}{1 - \left(\frac{1}{1 + WACC} \right)^I}$$

თანაბარზომიერი ცვეთის მეთოდი ჩანაცვლების ღირებულებაზე დაყრდნობით

კაპიტალური დანახარჯების წლიური მაჩვენებელი ჩანაცვლების ღირებულებაზე დაყრდნობით თანაბარზომიერი ცვეთის მეთოდის შემთხვევაში შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$C = GRC \frac{(WACC - index)}{1 - \left(\frac{1 + index}{1 + WACC} \right)^I}$$

ეკონომიკური ცვეთის მეთოდი

ეკონომიკური ცვეთის ალგორითმი მოიცავს ფულადი ნაკადების მოძრაობის ანალიზს, რომლის საშუალებითაც ის პასუხობს ისეთ შეკითხვებს როგორიცაა: ფასების რა დროითი-რიგები შეესაბამება წარმოების დანახარჯების ტენდენციებს, რომლითაც აქტივების ნეტო მიმდინარე ღირებულება (NPV) ნულის ტოლია (ანუ მოგება ნომინალურია)

ეკონომიკური ცვეთა მოითხოვს შემდეგი ძირითადი ცვლადების პროგნოზირებას:

- ▶ კაპიტალის ღირებულება;
- ▶ თანამედროვე ეკვივალენტური აქტივის ფასის ცვლილება;
- ▶ დროთა განმავლობაში საოპერაციო დანახარჯებში მომხდარი ცვლილებები;
- ▶ უტილიზაციის პროფილი.
- ▶ ძირითადი ცვლადების გავლენა ცვეთაზე ასეთია:
 - ▶ რაც უფრო დაბალია კაპიტალის ღირებულება, მით უფრო დაბალია ინვესტიციის ხარჯი, რომლის ამოღებაც უნდა მოხდეს რომელიმე წელს.
 - ▶ რაც უფრო მეტად მცირდება სამომავლო თანამედროვე ეკვივალენტური აქტივის ფასი, მით უფრო მეტი ცვეთა უნდა დაირიცხოს პირველ პერიოდებზე;
 - ▶ ცვეთის შემდგომ პერიოდებზე გადატანა უნდა მოხდეს აქტივის საოპერაციო ღირებულების ზრდის შესაბამისად.

ეკონომიკური ცვეთა არის მეთოდის მიხედვით ყოველწლიური დანახარჯები ინაგარიშება

პროგნოზირებულ შემოსავლების აქტივების სასარგებლო მომსახურების ვადის მიხედვით გადანაწილების გზით. სწორედ ესაა მთავარი მიზეზი იმისა, რომ თეორიაში ხშირად ამ მეთოდს ანიჭებენ უპირატესობას. თუმცა, წარმოდგენილ BU-LRIC მოდელში ეკონომიკური ცვეთის გამოყენება მოდელირებაში გარკვეული მიზეზების გამო გამოვრიცხეთ. ჯერ ერთი, ამ მეთოდით მიღებული შედეგი დიდად არის დამოკიდებული სხვადასხვა საპროგნოზო დაშვებაზე. პროგნოზირებული შემოსავალი, კაპიტალის ღირებულება, ცვლილება თანამედროვე ეკვივალენტური აქტივის ფასში, დროთა განმავლობაში საოპერაციო დანახარჯებში მომხდარი ცვლილება და უტილიზაციის პროფილი გაანგარიშებისთვის მნიშვნელოვანია, მაგრამ ელექტრონული კომუნიკაციის ბაზრის დინამიკური ხასიათიდან გამომდინარე, პროგნოზები შეიძლება სუბიექტური იყოს. ამასთან შედარებადი შედეგების მიღების საშუალებას დანახარჯის წლიური მაჩვენებლის მიღების ისეთი ალტერნატიული მეთოდებიც იძლევა, როგორიცაა წრფივი, თანაბარზომიერი ან ჩანაცვლების ღირებულებაზე დაყრდნობით თანაბარზომიერი ცვეთა.

წლიური კაპიტალური დანახარჯების გაანგარიშების ძირითად მეთოდად გამოიყენება ჩანაცვლების ღირებულებაზე დაყრდნობით თანაბარზომიერი ცვეთის მეთოდი, მისი სიმარტივისა და ასევე იმის გამო, რომ იგი იძლევა ცვეთის პროფილს, რომელიც „რეკომენდაციით“ რეკომენდებული მეთოდის - ეკონომიკური ცვეთის მსგავსია. უნდა აღინიშნოს, რომ ამ მოდელით შესაძლებელი იქნება წლიური კაპიტალური დანახარჯების გაანგარიშება წრფივი, თანაბარზომიერი და ჩანაცვლების ღირებულებაზე დაყრდნობით თანაბარზომიერი დარიცხვის მეთოდების გამოყენებით.

8.2 მარჟები

BU-LRIC მოდელი საოპერაციო, NMS-ის, ადმინისტრაციული და მხარდაჭერის დანახარჯებს მარჟების სახით ითვალისწინებს.

კერძოდ, მოდელი მოიცავს დანახარჯების შემდეგ კატეგორიებს, როგორც დანახარჯების კოეფიციენტებს:

საოპერაციო დანახარჯების კატეგორიები

- ▶ ქსელის ფუნქციონირება, ტექნიკური მომსახურება და დაგეგმვის ხარჯები - დაგეგმვის, მართვის, საიტზე ვიზიტების, ზედამხედველობის, კონფიგურაციისა და ტექნიკური მომსახურების საოპერაციო ხარჯები ქსელის გარკვეული ელემენტებისთვის
- ▶ დაშვების კვანძები
- ▶ ძირითადი ქსელი
- ▶ გადაცემის ქსელი
- ▶ ზოგადი ადმინისტრირების, ფინანსების, ადამიანური რესურსების, საინფორმაციო ტექნოლოგიის მართვის და სხვა ადმინისტრაციული და მხარდაჭერის საქმიანობის საოპერაციო დანახარჯები (ხელფასები, მასალები, მომსახურება).

კაპიტალური დანახარჯების კატეგორიები

- ▶ ქსელის მართვის სისტემა - ზოგადი
- ▶ ქსელის მართვის სისტემა - განკუთვნილი ქსელის ელემენტებისთვის
- ▶ დაშვების კვანძები
- ▶ ძირითადი ქსელი
- ▶ გადაცემის ქსელი
- ▶ ზოგადი ადმინისტრირების, ფინანსების, ადამიანური რესურსების, საინფორმაციო ტექნოლოგიის მართვის და სხვა ადმინისტრაციული და მხარდაჭერის საქმიანობის კაპიტალური დანახარჯები (შენობა-ნაგებობები, სატრანსპორტო საშუალებები, კომპიუტერები და სხვ.).

შემოადნიშნულ დანახარჯების კატეგორიებზე გამოითვლება:

- ▶ ქსელის კაპიტალური დანახარჯების მარჟები, ან
- ▶ ქსელის საოპერაციო დანახარჯის მარჟები.

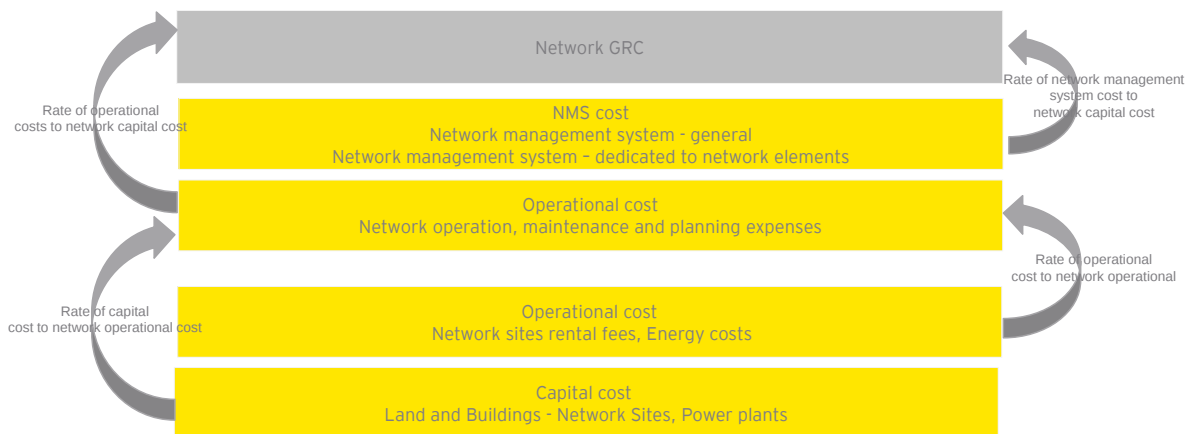
ქსელის კაპიტალური დანახარჯების მარჯები გამოითვლება დანახარჯების შემდეგი კატეგორიებისთვის:

- ▶ ქსელის ფუნქციონირება, ტექნიკური მომსახურება და დაგეგმვის ხარჯები (საოპერაციო დანახარჯი)
- ▶ ქსელის მართვის სისტემა - ზოგადი (კაპიტალური დანახარჯი)
- ▶ ქსელის მართვის სისტემა - განკუთვნილი ქსელის ელემენტებისთვის (კაპიტალური დანახარჯი)

ქსელის საოპერაციო დანახარჯების მარჯები, რომლებიც ადრე გადანაწილებული იყო ქსელის შესაბამის ელემენტებზე, იანგარიშება დანახარჯების შემდეგი კატეგორიებისთვის:

- ▶ ზოგადი ადმინისტრირების, ფინანსების, ადამიანური რესურსების, საინფორმაციო ტექნოლოგიის მართვის და სხვა ადმინისტრაციული და მხარდაჭერის საქმიანობის კაპიტალური დანახარჯები.
- ▶ ზოგადი ადმინისტრირების, ფინანსების, ადამიანური რესურსების, საინფორმაციო ტექნოლოგიის მართვის და სხვა ადმინისტრაციული და მხარდაჭერის საქმიანობის საოპერაციო დანახარჯები.

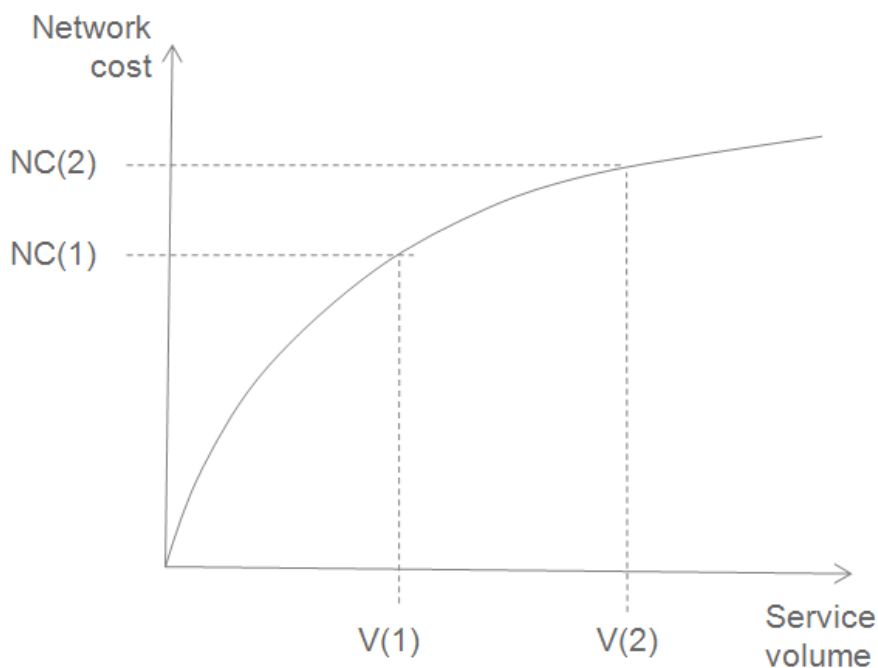
ქვემოთ სქემატურადაა წარმოდგენილი დანახარჯების გაანგარიშების არსებული მექანიზმი, რომელიც ეყრდნობა ხარჯების კოეფიციენტებს.



მარჯის ოდენობა იანგარიშება ოპერატორების ფინანსურ მონაცემების საფუძველზე.

9. მომსახურების დანახარჯების გაანგარიშება

- 9.1 სუფთა გრძელვადიანი ნაზარდი დანახარჯების მოდელისა (Pure LRIC) და გრძელვადიანი ნაზარდი დანახარჯების მოდელის (LRIC) მიდგომა მომსახურებასთან (მაგ. ზარის დასრულება) ან მომსახურებების ჯგუფთან (მაგ. ხმოვანი გამოძახებები) დაკავშირებული ნაზარდი დანახარჯებიდან თავიდან აცილებადი დანახარჯები შეიძლება გამოითვალოს როგორც დანახარჯებს შორის სხვაობა, რომელიც მიიღება ოპერატორის მიერ მომსახურებების ფუნქციონალურადსრული ასორტიმენტის გაწევის უზრუნველყოფისთვის საჭირო დანახარჯებსა და ოპერატორის მიერ მომსახურების სრული ასორტიმენტის ამ მომსახურების გარდა გაწევის უზრუნველყოფისთვის საჭირო დანახარჯებს შორის.
- დიაგრამაზე გამოსახულია ზღვრული დანახარჯის გაანგარიშების მეთოდოლოგია.



ზღვრული დანახარჯი შემდგენიად გამოითვლება:

$$U = \frac{NC(2) - NC(1)}{V(2) - V(1)}$$

სადაც,

U – ზღვრული დანახარჯი

$NC(1)$ – ქსელის დანახარჯები, რომლის დანიშნულებაც $V(1)$ მომსახურების მოცულობის უტილიზაციაა

$NC(2)$ – ქსელის დანახარჯები, რომლის დანიშნულებაც $V(2)$ მომსახურების მოცულობის უტილიზაციაა

$NC(2) - NC(1)$ – ქსელის ზღვრული დანახარჯი (თავიდან აცილებადი ხარჯი)

$V(2)$ – სულ მომსახურების მოცულობა

$V(1)$ – მომსახურების მთლიან მოცულობას გამოკლებული მომსახურების ან მომსახურებათა ჯგუფის მოცულობა

$V(2) - V(1)$ – მომსახურების ან მომსახურებათა ჯგუფის მოცულობა

9.2 LRIC+ მიდგომა

დანახარჯების LRIC+ მეთოდით გაანგარიშებისას, თავდაპირველად გამოთვლილ ნაზარდ დანახარჯებს ემატება მარჟები, რომ დაიფაროს ყველა საერთო და ერთობლივი ელემენტისა და საქმიანობის ხარჯი, რაც საჭიროა ყველა მომსახურების გასაწევად.

დანახარჯების LRIC+ მეთოდით გაანგარიშებისას, თავდაპირველად გამოთვლილ ნაზარდ დანახარჯებს პროპორციულობის პრინციპის საფუძველზე ემატება ქსელის ელემენტებისა და საქმიანობის ყველა საერთო და ერთობლივი დანახარჯები, შემდეგ ქსელის კომპონენტების მთლიანი დანახარჯი იყოფა მომსახურების მოცულობებზე და ამით იანგარიშება ქსელის კომპონენტის ერთეული ღირებულება. და ბოლოს, ქსელის კომპონენტის ერთეული ღირებულება მრავლდება მარშრუტიზაციის ფაქტორზე და მიიღება მომსახურების ღირებულება.