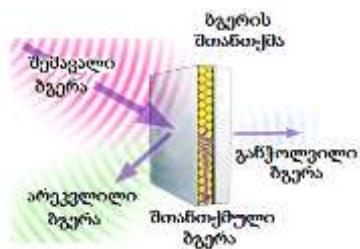


ურბანული გარემოს (ქალაქების) ვიბრაციით და ხმაურით დაბინძურება და მათი გადაჭრის პრობლემები

1. შესავალი

თბილისის ხმაურით დაბინძურება წარმოადგენს ერთ-ერთი ძირითად პრობლემას, რაც გამოწვეულია მთაგორიანი რელიეფით, არადამაკმაყოფილებელი მახასიათებლების მქონე ტრანსპორტით და ცუდი ბგერითი იზოლაციურის მქონე ბინებით.

ბგერა ენერგიის სახეა, რომელიც წარმოიქმნება ამა თუ იმ საგნის რხევის შედეგად. ატმოსფეროში ბგერა გრძივი ტალღების სახით 331 მ/წმ-ის სიჩქარის ვრცელდება და იწვევს გზაზე არსებული ნივთების ვიბრირებას. სხეულზე დაცემისას ბგერის ნაწილი აირეკლება, ნაწილი შთაინთქმება და ნაწილი კი განჟოლავს მას (სურ. 1). ნებისმიერ მყარ სხეულზე ზემოქმედებისას ბგერა ვიბრაციის სახით ვრცელდება მასში (სურ.2). დაბალი სიხშირის, ანუ გრძელ ტალღებს გააჩნიათ სხეულზე გარს შემოვლის მაღალი დიფრაქციის უნარი [1,2,3,4].



სურ. 1. ბგერის დაცემა არეკვლის პროცესი



სურ. 2. ბგერის გამჟოლვა სხეულში

ბგერის გავრცელების სიჩქარე მყარ სხეულებში უფრო დიდია, ვიდრე სითხეებში. სითხეებში, მათ შორის წყალში, ბგერა 4-ჯერ უფრო სწრაფად ვრცელდება, ვიდრე ჰაერში. აირებში ბგერის სიჩქარე დამოკიდებულია გარემოს ტემპერატურაზე, ხოლო მონოკრისტალებში ტალღის გავრცელების მიმართულებაზე. ბგერის გავრცელებისთვის საჭიროა ელასტიური საშუალება [5].

დრეკად გარემოში, გარე ხახუნის შემთხვევაში, ბგერის ქრობის კოეფიციენტი არ არის დამოკიდებული ბგერის ტალღის სიხშირეზე, ბლანტი გარემოში კი დამოკიდებულია. ბლანტი გარემოში, ბგერის შთანთქმის სიდიდის კვადრატული დამოკიდებულების გამო, მაღალი სიხშირის ბგერითი ტალღები ქრებიან გაცილებით სწრაფად ვიდრე დაბალი სიხშირის.

ზოგადად ბგერის ტალღის გავრცელება აღიწერება ტალღური განტოლებით [5,6,7]

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = 0 \quad (1)$$

სადაც p - ბგერითი დაწნევა პასკლებში, t - დრო, x - მიმდებარე კოორდინატა.

სმენადობის ზღვრულ p_i სიდიდედ, ერთი ატმოსფერული (100000 Pa) წნევის, 25°C-ტემპერატურის და ბგერის $I=0.98 \text{ pW/m}^2$ ინტენსიობისას მიღებულია $p_i=20 \text{ }\mu\text{Pa}$ (მიკრო პასკალი), ანუ $2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ -ის ($p_i=0.00002 \text{ Pa}$) ტოლად. ერთი $1 \text{ Pa}=1 \text{ N/m}^2=1 \text{ kg}\cdot\text{m/s}^2=1 \text{ J/m}^3$ ენერგიის სიმკვრივეს

($1N=J/m$). ბრტყელი ტალღის სშუალო ინტენსიობა ტოლია $I=2\pi\omega^2\delta^2\rho c$ ერთეულის, სადაც c - ბგერის სიჩქარეა, δ -ტალღის ამპლიტუდა, ρ -ტალღის გავრცელების გარემოს სიმკვრივეა.

ბრტყელი ბგერის ინტენსიობა, საშუალო კვადრატული დაწნევისას გამოითვლება $I=p^2/\rho v$ ფორმულის მეშვეობით, სადაც p - 1 ატმოსფერული დაწნევაა $p=10^5$ Pa, სადაც ρ - ჰაერის სიმკვრივეა, v - ბგერის სიჩქარეა.

საყოფაცხოვრებო პრაქტიკაში ბგერის დაწნევის დონედ გამოიყენება დეციბელური მასშტაბი (შკალა). ალექსანდრე ბელის კვლევების მიხედვით, ადამიანის ყური, ბგერის დაწნევის სიდიდეზე, რეაგირებს ლოგარითმული შკალის შესაბამისად და არა წრფივად. ამგვარად, ბგერის დაწნევის აღსატქმელად ადამიანებისათვის ათობითი დეციბელების შკალა გაცილებით მოსახერხებელია ვიდრე წრფივი პასკალების შკალა, რითაც ადამიანებისათვის საგრძნობლად მარტივდება ბგერის დაწნევის გაცნობიერება პასკალების $2\cdot 10^{-5}$ -დან $2\cdot 10^5$ -მდე ციფრების არეალში [8,9]. ცხრილ 1-ში ნაჩვენებია ბგერის დაწნევის დონეები დეციბელებისა და პასკალების მიხედვით. **ბგერთი დაწნევა, მოცემული ატმოსფეროს წნევის ცვლილებას ნიშნავს პასკალებში ბგერის სიხშირის შესაბამის მიკროწყაში.**

ცხრილი 1

p_{dB} ბგერის დაწნევის დონე დეციბელებში	p_{Pa} ბგერის დაწნევის დონე პასკალებში	p_{dB} ბგერის დაწნევის დონე დეციბელებში	p_{Pa} ბგერის დაწნევის დონე პასკალებში
-20	0.000002	80	0.2
-10	0.0000063	90	0.632455
0	0.00002	100	2
10	0.000063	110	6.324555
20	0.0002	120	20
30	0.000632	130	63.24555
40	0.002	140	200
50	0.006324	150	632.4555
60	0.02	160	2000
70	0.063245	200	200000

ბგერის პასკალური p_{Pa} დაწნევიდან დეციბელურ p_{dB} დაწნევაზე გადამყვანი ფორმულა შემდეგია

$$p_{dB} = 20 \cdot \lg\left(\frac{p_{Pa}}{p_{tr}}\right) \quad (2)$$

პირიქით კი (დეციბელურიდან პასკალებში) შემდეგია

$$p_{Pa} = 10^{\left(\frac{p_{dB}}{20}\right)} \cdot p_{tr} \quad (3)$$

აღსანიშნავია რომ, რადგან ბგერის სმენადობის ქვედა ზღვარად აიღება $p_{tr}=2\cdot 10^{-5}$ პასკალის ტოლად, ამდენად შესაბამისი p_{Pa} პასკალური დაწნევისათვის, რომლის ლოგარითმი 1-ის ტოლია, შესაბამისად მიიღება ნულოვანი p_{dB} დეციბელური დაწნევა [10]. აქედან გამომდინარე p_{tr} სმენადობის ზღვრულ დაწნევაზე მცირე დაწნევებისათვის (რომელთა ლოგარითმი 1-ზე ნაკლებია), შესაბამისად მიიღება უარყოფითი p_{dB} დეციბელური დაწნევები.

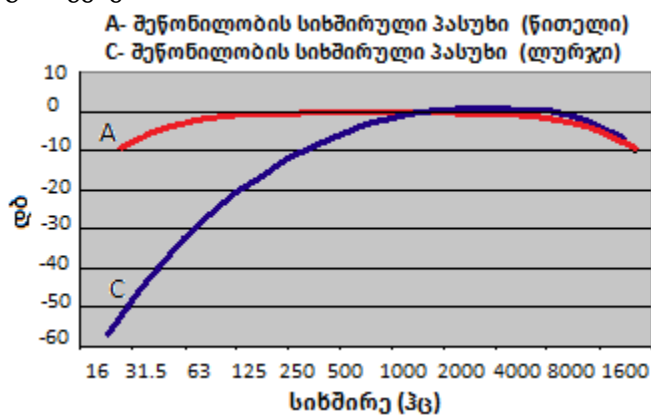
ხმაურმზომებით ხმაურის დაწნევის მონაცემები იზომება დეციბელებში, მაგრამ რადგან ბგერის აღქმადობა ასევე დამოკიდებულია ბგერის სიხშირეზე, ამდენად ყველა დეციბელური დაწნევა არ აღიქმება ერთნაირად, რის გამოც ხმაურის შეფასებისას გამოიყენება dB(A) და dB(C) მონაცემები. dB(A) არის საშუალო სიდიდის 80-85 dB(A) ხმაურით გამოწვეული ზემოქმედება ციკლის, ან რაიმე პერიოდის განმავლობაში, ხოლო dB(C) არის მოკლევადიანი 135 და 137 dB(C) დარტყმითი ზემოქმედების ხმაური. ორივე გაზომვებს აქვს შეზღუდვები და ორივე თანაბრად გამოიყენება ხმაურის შეფასებისას [6,11,12].

ადამიანის ყურს არ ესმის თანაბრად სხვადასხვა სიხშირის ბგერებისაგან გამოწვეული ხმაური, რის გამოც ხმაურის ხელსაწყოთი გაზომილი ხმაურის მაჩვენებელი კორექტირდება იმგვარად, რომ ხმაურზომის მიერ გაზომილი ხმაურის დონე რეგისტრირდებოდეს ისევე, როგორც ეს ესმის ადამიანს. ამგვარ კორექტირებას dB(A) გაზომვა ეწოდება და გამოიყენება საშუალო დღიური ხმაურის დონის გამოსათვლელად.

ხმაურის გაზომვის dB(C) შეფასება გამოიყენება ორი მიზნით:

1. dB(C) როგორც პიკური ან დარტყმითი ხმაური და რეგლამინტირდება 135 და 137 dB(C)-ის ზღვრებში. ამგვარად dB(C) გამოიყენება დარტყმითი ხმაურისათვის და განსხვავებით dB(A)-სგან ხმაურის ხანგრძლიობას არა აქვს მნიშვნელობა, ანუ იზომება უშუალოდ ხმაურის ყურზე მოქმედების მომენტი.

2. dB(C) როგორც სასმენი ორგანოს დაცვის შეფასება. სასმენი ორგანოს დაცვის ეფექტურობა განისაზღვრება, როგორც ფარდობა სიგნალი/ხმაურის შეფარდება და აჩვენებს თუ რამდენი დეციბელით მცირდება ხმაურის შეგრძნება სასმენი ორგანოს დაცვის სისტემის გამოყენებით.



A შეწონადობის მრუდით ნაჩვენებია ის რაც ადამიანებს შეუძლიათ ფიზიკურად ესმოდეთ. აკუსტიკური ბგერები ვლინდებიან უფრო დაბალი და მაღალი სიხშირის ბგერებისაგან, ვიდრე ადამიანებს ესმით. C შეწონადობის მრუდე ასახავს იმას, რაც ადამიანებს ესმით, როდესაც ბგერის სიდიდე გაზრდილია, ანუ ადამიანები ხდებიან უფრო მგრძნობიარენი დაბალი სიხშირეებისადმი.

სურ.3. ბგერის შეწონადობის A და C გრაფიკები

ადამიანის სმენადობის უმრავლეს შემთხვევებში, საშუალო dB(C) მნიშვნელობა ახლოსაა საშუალო dB(A) მნიშვნელობასთან.

დეციბელური შკალას გამოყენებისას აუცილებლად გასათვალისწინებელია, რომ მაგალითად 70 და 75 დეციბელურ დაწნევებისას, ანუ 0.0624554 და 0.112469 პასკალური დაწნევისას, რეალური ბგერითი დაწნევა თითქმის 2 - ჯერ არის გაზრდილი.

თუ გავითვალისწინებთ იმ ფაქტს, რომ ხმაურ მზომი ხელსაწყოებით გაზომილი დეციბელური დაწნევები კორექტირებულია A და C შკალების მიხედვით, ამდენად (2) და (3)

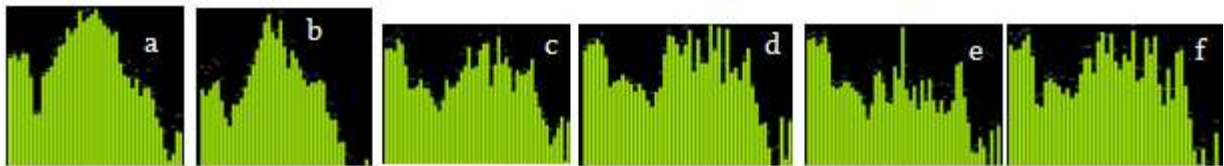
ფორმულების გამოყენებისას შესაბამისი შესწორებები უნდა იქნას გათვალისწინებული. ამგვარად ხმაურში ხელსაწყოების A და C შკალების ჩვენებების მიხედვით ყოველ 3 დეციბელზე ხდება ბგერის დაწნევის 2 -ჯერ გადიდება. რეალურად ადამიანის ყური ბგერის სიდიდის ცვლილებას აღიქვამს 3 დეციბელ-ით ცვლილებისას.

ხმაურის გამჭოლი დეციბელური შკალის გამოყენებისას გასათვალისწინებელია, რომ 10 და 11 დეციბელ-ს შორის განსხვავება 0.0000077 პასკალია, რაც -8.26 (მინუს) დეციბელ-ის ექვივალენტურია, ანუ სმენადობის ზღვარს ქვემოთ არის და ჩვენ ამ განსხვავებას ვერ აღვიქმავთ. 50 და 51 დეციბელ-ს შორის განსხვავება 0.000776 პასკალია, რაც 25.7 დეციბელ-ის ექვივალენტურია და არქმადია, ხოლო 100 და 101 დეციბელ-ს შორის ბგერითი დაწნევის სხვაობა 0.25 პასკალია. რაც 81.7 დეციბელ-ის ექვივალენტურია და განსხვავება საკმაოდ მძაფრად აღიქმება.

საცხოვრებელი ოთახებისათვის ნორმით გათვალისწინებული ბგერის დაწნევის დონე, დღისით 40, ღამით კი 30 დეციბელ-ია. დასაშვები ხმაურის დონე შეიძლება გაიზარდოს მაქსიმუმ 15 დეციბელით. სამუშაო ადგილზე დასაშვები ბგერის დონე, წყვეტადი ხმაურისას, არ უნდა აღემატებოდეს 110 დეციბელ-ს, ხოლო იმპულსური ხმაურის 125 დეციბელ-ს. **ხმაურის ნებისმიერი ოქტანობის ზღვრების დროს დაუშვებელია მცირე პერიოდით გაჩერებაც კი, გარემოში სადაც ბგერის დაწნევა აჭარბებს 135 დეციბელ-ს [13,14].**

გარკვეული სპექტრული (ობერტონებით მდიდარი) შედგენილობის ბგერა სასიამოვნო მოსასმენია და დადებითად მოქმედებს ადამიანის ფსიქიკაზე, მაგრამ ერთგვაროვანი სპექტრის მახასიათებელი ბგერა კი აუტანელი მოსასმენია და აღიქმება რიგორც ხმაური. ადამიანისათვის ბგერის სასიამოვნოდ, ან გამაღიზიანებლად აღქმადობაზე ასევე გავლენა აქვს ადგილს, დროს, ასაკს და ინტელექტს. გადაჭარბებული ხმაური იწვევს მეტად მძიმე ფიქოლოგიურ და ბიოლოგიურ დავადებების განვითარებას [12,13-17].

ვინდოუს მედია-პლეირის მიხედვით მიღებული ხმაურის a (მეტრო) b (ავტობუსი) სპექტრული ოსცილოგრამების შედარება c (ვერდი) d (ვაგნერი) e (მოცარტი) f (ბახი) მუსიკალურ ნაწარმოებთან სპექტრულ ოსცილოგრამებთან ნაჩვენებია ნახ.4-ზე.



ნახ.4. ხმაურის (a,b) და მუსიკის (c,d,e,f) ოქტაური სპექტროგრამები

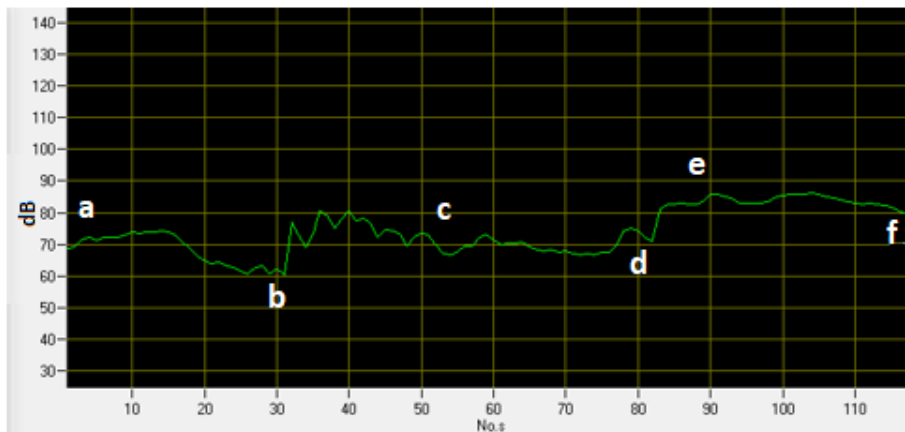
ხმაურის სპექტრული ოსცილოგრამები უმთავრესად ცალკეული ოქტავეების მიმართ გლუვი გადასვლებით ხასიათდება, პიკური ოქტავეები ძირითადად საშუალო 500-1500 ჰერცების მიმართ იკვეთებიან და დროში შედარებით ერთგვაროვანნი და ნაკლებად ცვლადნი არიან, მაშინ როდესაც მუსიკისაგან გამოწვეული სპექტროგრამებს, მთელ სიხშირულ არეალზე, შედარებით ბრტყელი და მკვეთრად გამოხატულად დროში სწრაფად ცვლადი მრავალრიცხოვანი დიდი ზომით დაკბილული ოქტაური სიხშირული მახასიათებელი აქვთ.

2. ხმაურის დონის და ხმაურის დონეების განმეორადობის კვლევა მეტროპოლიტენის სხვადასხვა უბნებზე

აღნიშნული პროცესების ჩასატარებლად გამოყენებული იქნა TES-1352S ხმაურმზომი ხელსაწყო, რომელიც საშუალებას იძლევა ბგერის დაწნევის დონეები ჩაწერილი იქნას ყოველი წამის პერიოდის სიხშირით, როგორც უშუალოდ ხელსაწყოთი ისე ხელსაწყოზე მიერთებული კომპიუტერში დაყენებული მონაცემთა წამკითხველი პროგრამით.

ნახ.5-ზე ნაჩვენებია ხმაურის დაწნევის დონის ოსცილოგრამა მეტროპოლიტენის სადგურ გოცირიძედან სადგურ ნაძალადევის გადასარბენ მონაკვეთზე. ორდინატაზე გადაზომილია დეციბელები, აბცისაზე - კი წამები. აღსანიშნავია რომ, მონაკვეთი a-d- რომელიც მოიცავს სადგურ ნაძალადევს და მიმდებარე გადასარბენ სალიანდაგო მონაკვეთს ღიაა, ხოლო შემდგომი მიმდებარე d-e მონაკვეთი დახურულია, ანუ გვირაბია. ab- მონაკვეთი შეესაბამება სადგურზე გაჩერებული მატარებლის პერიოდში ჩაწერილ გარემოში არსებულ ბგერით დაწნევას, bc- ღია მონაკვეთზე მატარებლის აჩქარების (სიჩქარის ზრდას) პერიოდში ჩაწერილ ბგერით დაწნევას, cd- მატარებლის თავისუფალ მოძრაობის პერიოდს ღია უბანზე, df- ასევე თავისუფალ მოძრაობას ნახევრად დახურულ de გარდამავალ და კი სრულად დახურულ მონაკვეთებზე (გვირაბში).

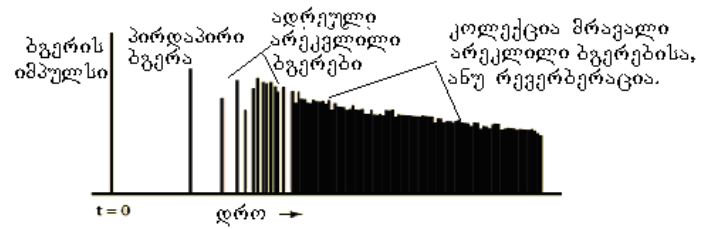
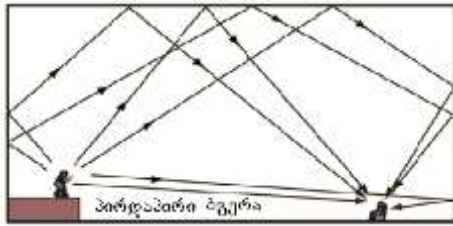
ბგერითი ტალღების რევერბერაციის გამო, დახურულ de მონაკვეთზე ბგერის დაწნევა, ღია ad მონაკვეთთან შედარებით (70-80 დეციბელი), გაზრდილია 84-86 დეციბელამდე. ამგვარად დახურულ მონაკვეთზე ბგერის დაწნევა ღია მონაკვეთთან შედარებით გაზრდილია პასკალებში 3.2-ჯერ.



ნახ.5. ხმაურის დონის დიაგრამა

დახურულ სივრცეში არეკლილი ბგერების ზემოქმედება მსმენელზე მძაფრი ბგერითი პულსაციების სახით ვლინდება. პირველ მიღებულ ბგერებს მოსდევს კედლებიდან არეკლილი ბგერები და შემდგომ კვლავ მრავალი არეკლილი ნაკრები ბგერები, რომლებიც ერთმანეთში ირევიან და გადაიხურებიან მსმენელზე ბგერათა ნარევით, რასაც რევერბერაცია ეწოდება [5].

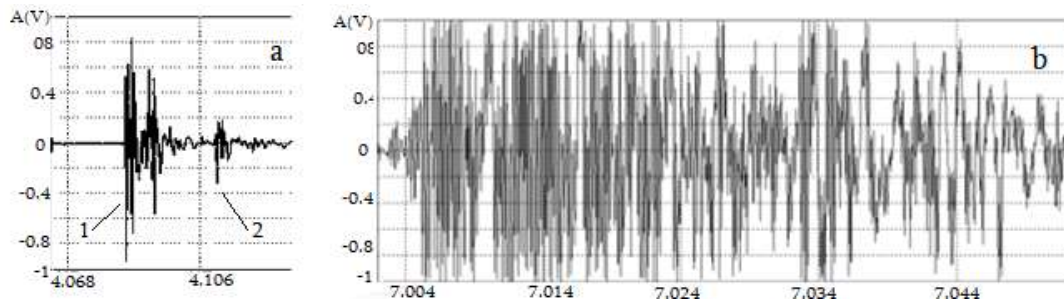
დახურული სივრცეების ზედაპირები იწვევენ ბგერის მრავალჯერად არეკვლებს. სხვადასხვა ზედაპირებიდან 50 მილიწამზე ნაკლებ დროში არეკვლილი და უკან დაბრუნებული (ნაკრები სახის) სპექტრული ბგერები ქმნიან რევერბერაციულ გარემოს (ნახ.6). თუ რევერბერაცია საკმაოდ გადამეტებულია, მაშინ ბგერა კარგავს არტიკულირებას (გამომხატველებას), ანუ ჭუჭყიანდება და უფერულდება, ხოლო, თუ მცირეა წყვეტადი ხდება.



ნახ.6. დახურულ სივრცეში ბგერის რევერბერაცია

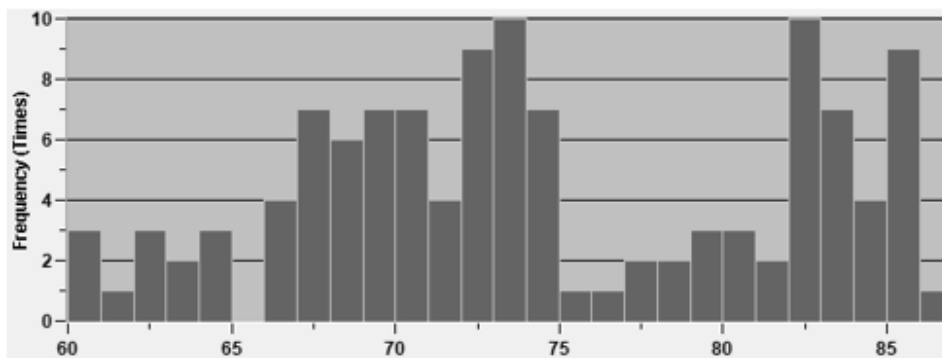
აღმანიშნავია, რომ რაიმე კედლიდან არეკლილი 50÷100 მწმ-ის დაგვიანებით მოსული მეორადი ბგერაა (მინიმალური მანძილი 17 მ) ექოს სახით ვლინდება.

ნახ.7ა)-ზე ნაჩვენებია ღია სივრცეში ქვის ქვაზე ერთჯერადი დარტყმით მიღებული ექოს ოსცილოგრამა, ხოლო ნახ.6ბ)-ზე დახურულ ოთახში იმავე ქვებით ერთჯერადი იმავე ძალით დარტყმით მიღებული რევერბერაციის სურათი. რევერბერაციის, ბგერების მრავალჯერადი არეკლის, გამოც საკმაოდ იზრდება ბგერითი დაწნევა, ანუ ხმაური [7,12,18,19].



ნახ.7. ა) 1-პირველადი სიგნალი, 2- არეკლილი სიგნალი (ექო), ბ) რევერბერაცია

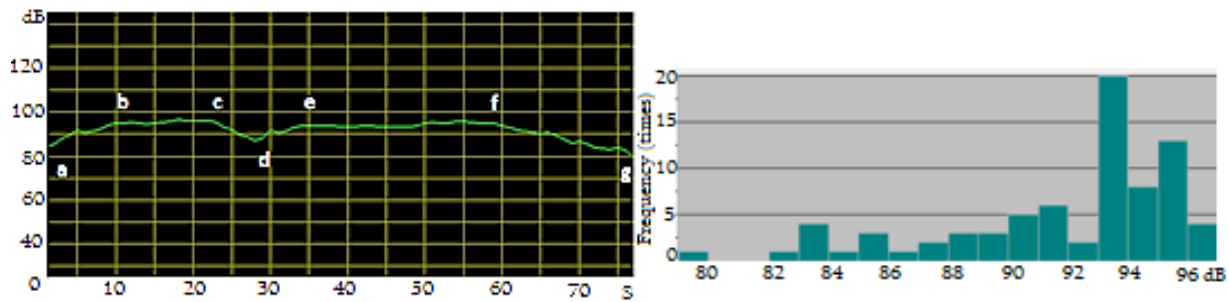
ნახ.8. ნაჩვენებია ნახ.5-ის შესაბამისი ხმაურის დონის ჰისტოგრამა, რომლის აზვუსაზე გადაზომილია ხმაურის დონეები დეციბელებში, ხოლო ორდინატაზე ბგერის დაწნევის დონეების განმეორადობების სიხშირე, ასევე დეციბელებში, გაზომვის დროის პერიოდში.



ნახ.8. ხმაურის დონის განმეორადობის ჰისტოგრამა დეციბელებში

ნახ.9-ზე წარმოდგენილია მეტროპოლიტენის სადგურ სახელმწიფო უნივერსიტეტიდან ვაჟა ფშაველამდე მატარებლის გვირაბში მოძრაობის (გადარბენის) შედეგად წარმოქმნილი ხმაურის დონეების დიაგრამა. დიაგრამის მიხედვით ab- მონაკვეთი შეესაბამება მატარებლის აჩქარებას, ანუ სიჩქარის ზრდას, bc- მატარებლის თავისუფალ სვლას, cd- სიჩქარის შენელებას, de- აჩქარებას, ef- თავისუფალ სვლას fg- სიჩქარის შენელებას. მატარებლის სიჩქარის ზრდა

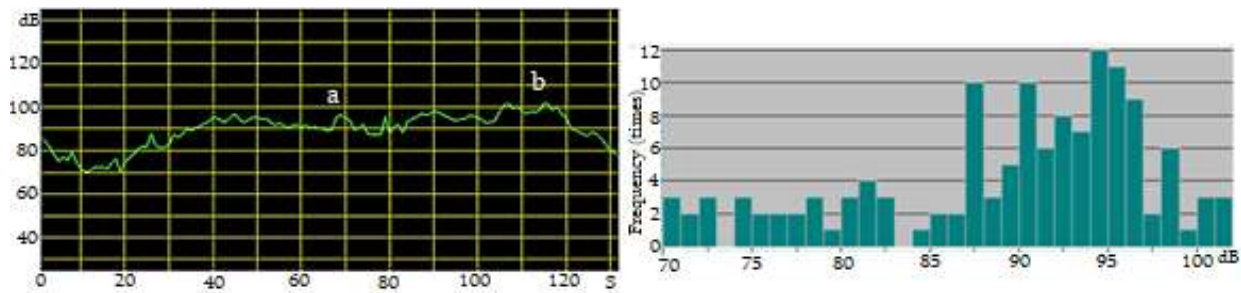
იწვევს ვიბრაციების ზრდას და შესაბამისად ბგერის დაწნევის და ხმაურის მატებას დეციბელებში. ნახ.10-ზე ნაჩვენებია შესაბამისი ხმაურის დონის ჰისტოგრამა.



ნახ.9. ხმაურის დონეების დიაგრამა

ნახ.10 ხმაურის დონეების ჰისტოგრამა

ნახ.11-ზე ნაჩვენებია ხმაურის დაწნევის დონის ოსცილოგრამა და ნახ.12 ჰისტოგრამა მეტროპოლიტენის სადგურ სამედიცინო უნივერსიტეტიდან ტექნიკურ უნივერსიტეტამდე, რომლებიც მიიღებიათ მატარებლის საკმაოდ დახრილ გვირაბაში მოძრაობის შედეგად.



ნახ.11. ხმაურის დონეების დიაგრამა

ნახ.12. ხმაურის დონეების ჰისტოგრამა

მოცემულ უბანზე, როდესაც ხდება სიჩქარის მრავალჯერადი შენელება (ab უბანი), ხმაურის დონე აჭარბებს 100 დეციბელს, რაც გამოწვეულია გაზრდილი დატვირთვებისას რედუქტორის გაცვეთილი კბილანების ვიბრაციით.

ხმაურმზომი ხელსაწყოს მეშვეობით ბგერის დაწნევის დონეები ასევე ფიქსირდება რიცხვითი მონაცემების სახით იხ. დამატება 1 (გვ 17).

აღსანიშნავია, რომ TES-1352S ხმაურმზომი ხელსაწყოთი სტატისტიკური ანალიზის მეშვეობით გამოითვლება L_n პროცენტული ხმაურის დონე, სადაც "n" მერყეობს ჩატარებული გაზომვის დროის 0.01-დან 99.9%-მდე. პროცენტული ხმაურის დონე ჩვეულებრივ მოიცავს A-შეწონადობის შკალით აღწერილ მონაცემებს და გამოიყენება ხმაურის დონის (ბგერის დაწნევის დონეების) შესაფასებლად. ცხრილი 2-ის მეშვეობით ნაჩვენებია ნახ.11, ნახ.12-ის შესაბამისი პროცენტული ხმაურის დონე [20]. ხმაურის პროცენტული გაზომვები (L_{10} , L_{50} , L_{90} და ა.შ.) შეიძლება აღწერილი იყოს მისი დადგენილ დროში სტატისტიკური განაწილების მიხედვით, რომლის დროსაც მკვლევარებს შეუძლიათ მიიღონ მნიშვნელობები, ან ათვლის წერტილები ნებისმიერ პროცენტულ დონეზე. L_{90} არის ხმის დონე, რომელიც აღემატება დროის 90%-ს; ამას ჩვეულებრივ უწოდებენ ფონის ხმაურს და გამოიყენება ევროპაში.

ცხრილი 2.

Ln	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L(00)	101	101	101	100	100	99	98	98	98	98
L(10)	97	97	96	96	96	96	96	96	96	95
L(20)	95	95	95	95	95	95	95	94	94	94
L(30)	94	94	94	94	94	94	93	93	93	93
L(40)	93	92	92	92	92	92	92	91	91	91
L(50)	91	91	90	90	90	90	90	90	90	90
L(60)	89	89	89	88	88	88	87	87	87	87
L(70)	87	87	87	86	86	85	84	82	82	81
L(80)	81	81	80	80	80	78	78	78	77	76
L(90)	76	75	74	74	72	72	72	71	70	70

გარემოს ხმაურის დონის და სტანდარტების შესაფასებლად ფართოდ გამოიყენება LA10, LA90 და LA95 მნიშვნელობები

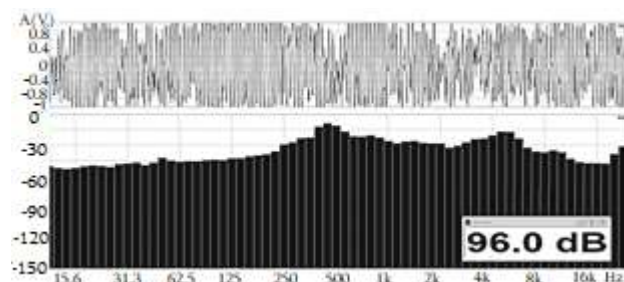
წარმოდგენილი ხმაურის დონეებით ხასიათდება თბილისის მეტროპოლიტენის სხვა სადგურები და გადასარბეში გვირაბები.

სადგურებში გაჩერებული მატარებლის, ან არყოფნის მომენტებში დაფიქსირებული 65-70 დეციბელის ხმაური, მატარებლის შემოსვლა გასვლისას 88-92 დეციბელამდე იზრდება. აღნიშნული ხმაურის მაღალი დონე სადგურებში განპიროვნებულია ბგერის რევერბერაციით, ცუდი ბგერის შთანთხმელი ფილებით მოპირკეთებული კედლებით, მეტროს ვაგონებში წევის რედუქტორებში დასაშვებ ნორმაზე გადაჭარბებული გაცვეთილი კბილანებით, ლიანდაგების და ვაგონების თვლების გადაჭარბებულ ცვეთისგან, ლიანდაგი-რელსის შეპირისპირების გეომეტრიის დარღვევით, ლიანდაგქვეშა სადებების ზედმეტად გახისტების და თვით ლიანდაგების გადაბმების შეპირაპირებში ღრეჩოების და მათ ქვეშა განძელების დაზიანებადობების შედეგად.

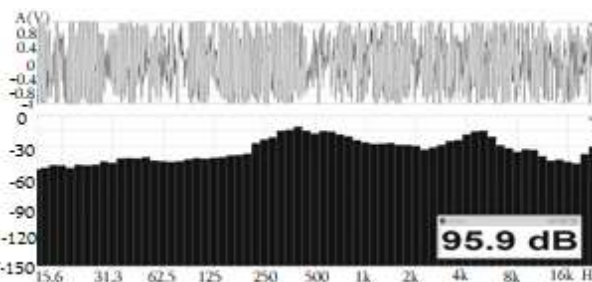
3. სხვადასხვა პირობებში მოძრავი სატრანსპორტო საშუალებებით გამოწვეული ხმაურის სპექტრული ანალიზი

ხმაურის სპექტრული ანალიზისათვის გამოყენებული იქნა VT RTA 168 მრავალფუნქციური გამზომი ხელსაწყო, რომელიც საშუალებას იძლევა საფუძვლიანად ჩატარებული იქნას ხმაურის სპექტრული ანალიზი.

ნახ.13-ზე ნაჩვენებია გვირაბში მატარებლის სიჩქარის ზრდის დროს (აჩქარების), ნახ.14-ზე კი შენელების ხმაურის ოსცილოგრამები (ზემოთ) და შესაბამისი 1/16 ოქტაური სპექტრები (ქვემოთ).



ნახ.13. მატარებლის აჩქარებისას წარმოქმნილი ხმაურის სპექტროგრამა



ნახ.14. მატარებლის შენეებისას წარმოქმნილი ხმაურის სპექტროგრამა

ოქტაური (ბ) სპექტრების აბცესაზე გადაზომილია სიხშირეები ჰერცებში, ხოლო ორდინატაზე dB FS დეციბელები სრული მასშტაბით.

დეციბელი სრული მასშტაბით (dBFS) გამოიყენება ციფრულ სისტემებში ამპლიტუდების მაქსიმალური შესაძლო პიკის დონის ჩვენებით [21]. მაგალითად, PCM (პულსის კოდის მოდულაციის) 0-ვან dB FS-ეს ენიჭება მაქსიმალური დონე, რის გამოც დეციბელები უარყოფით მნიშვნელობებს ღებულობენ. მაგალითად: სიგნალს, რომელიც აღწევს მაქსიმალური დონის 50 პროცენტს ექნება -6 dB FS-ის მნიშვნელობა. დეციბელი სრული მასშტაბის გამოსათვლელ ფორმულას აქვს შემდეგი სახე

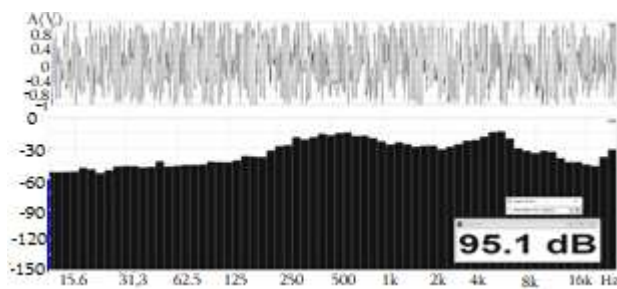
$$dBFS = 20 \bullet \lg \left(\frac{A}{A_{\max(\text{digital range})}} \right) = 20 \bullet \lg \left(\frac{A_{\text{peak}}}{1} \right) \quad (4)$$

პულსის კოდის მოდულაცია (PCM) არის ანალოგური მონაცემების გადაცემის ციფრული სქემა, ანუ ანალოგური სიგნალი გარდაქმნება ციფრულ სიგნალად. PCM-ის გამოყენებით შესაძლებელია ანალოგური მონაცემების ყველა ფორმის გაციფრება, მათ შორის სრული მოძრაობის ვიდეო, ხმა, მუსიკა, ტელემეტრია და ა.შ. [22].

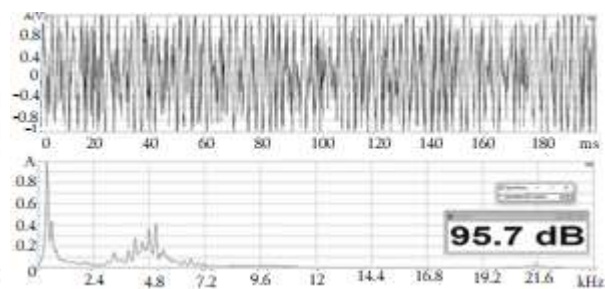
მიუხედავად იმისა, რომ დახურულ გვირგვინებში რევერბერაციის გამო საკმაოდ მაღალი ხმაურის ფონია, მაინც კარგად იკვეთება მატარებლის აჩქარების, ან შენელების დროს (ნახ.12, ნახ.13) და შესაბამის 500 ჰც-ის სპექტრის პიკური მნიშვნელობები, რომელთა სიხშირე დამოკიდებულია მოძრაობის სიჩქარეზე.

ნახ. 15-ზე ნაჩვენებია მატარებლის გვირაბში თავისუფალი გადაადგილების ხმაურის ოსცილოგრამა და შესაბამისი 1/16 ოქტაური სპექტროგრამა, სადაც კბილანებისაგან გამოწვეული ხმაურის დონე (გამორთულია ელ.ძრავა) დაწეულია 96 დეციბელს 95 დეციბელამდე, ანუ სხვაობა 0.001 პასკალია, რაც შეიძლება ითქვას 34 დეციბელის ექვივალენტურია. აღნიშნულ სიხშირეზე არც პიკური მნიშვნელობა აღარ შეიმჩნევა.

ნახ.16-ზე ნაჩვენებია მატარებლის გვირაბში მოძრაობის შედეგად წარმოქმნილი ხმაურის სპექტრის ფურიე ანალიზის გრაფიკი მგრეხავი ძალისგან არადატვირთული კბილანების დროს. მთავარი პიკის სიხშირე 300 ჰც-ის ფარგლებშია.



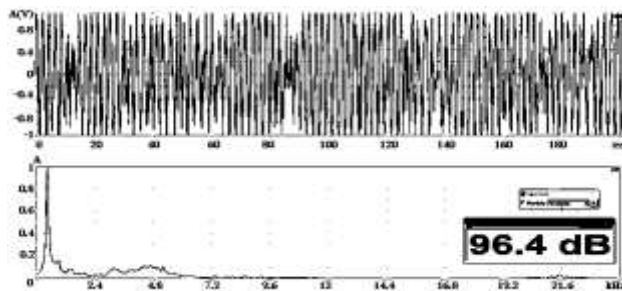
ნახ.15. მატარებლის გამორთული ელ.ძრავით წარმოქმნილი სპექტროგრამა



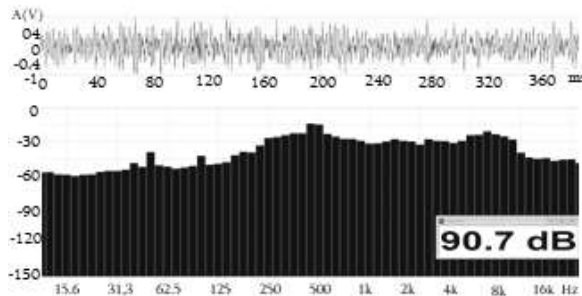
ნახ.16. თავისუფალი მოძრაობისას წარმოქმნილი ხმაურის სპექტრის ფურიე ანალიზი

ნახ.17-ზე ნაჩვენებია მატარებლის გვირაბში მოძრაობის აჩქარებისას წარმოქმნილი ხმაურის სპექტრის ფურიე ანალიზის გრაფიკი, რომლის მიხედვითაც მთავარი პიკი 500 ჰერცის ფარგლებშია.

ნახ.18-ზე ნაჩვენებია ღია მონაკვეთზე მატარებლის სიჩქარის ზრდის (აჩქარების) დროს წარმოქმნილი სპექტრული ოსცილოგრამა.



ნახ.17. მატარებლის აჩქარებისას წარმოქმნილი ხმაურის სპექტრის ფურიე ანალიზი



ნახ.18. ღია მონაკვეთზე მატარებლის მოძრაობით გამოწვეული ხმაურის სპექტრი

ღია მონაკვეთზე, ნახ.18-ის მიხედვით, ასევე კვლავ იკვეთება კბილანების მიერ წარმოქმნილი ხმაურის ამსახველი 500ჰც-იანი პიკური სპექტროგრამა.

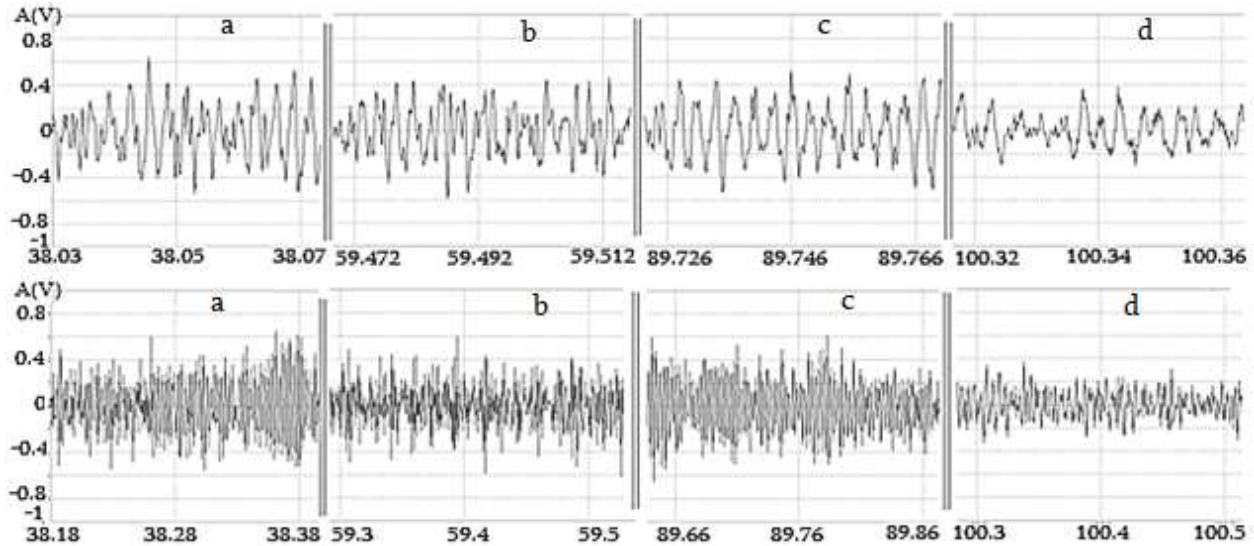
მანქანა დანადგარებში დაზიანების აღმოჩენა, არსებული გაზომვითი მონაცემების მეთოდების გამოყენებით, გარე ხმაურის არსებობა გამო, საკმაოდ ძნელია. ზუსტი ინფორმაციის მოსაპოვებლად, აუცილებელია ფონური ხმაურის შემცირება [23,24]. გარდა ამისა საჭიროა მთელი რიგი დამატებითი საკმაოდ შრომატევადი სამუშაოების ჩატარება [25,26,27] და რაც მთავარია, ძვირად ღირებული ხელსაწყოების გამოყენება.

წარმოდგენილი დიაგრამების, ოსცილოგრამების და სპექტროგრამების ანალიზის საფუძველზე შესაძლებელი ხდება შედარებით მარტივად და ეფექტურად იქნას გამოკვლეული სხვადასხვა მანქანა დანადგარებში არსებული კვანძების რესურსუნარიანობის (დაზიანებადობის) ხარისხი პერსონალური კომპიუტერების პროგრამული უზრუნველყოფის მეშვეობით.

წარმოდგენილი დაზიანებადობის დიაგნოსტიკის მეთოდით [7.12,28], წინასწარ გარკვეულ დინამიკურ, ან ვიბრაციულ დატვირთვაზე უნდა დაფიქსირდეს გამართული კვანძის ვიბროგრამა და სპექტოგრამა. შემდგომ, იმავე ტესტირებით გამართული ხმაურის და ვიბრაციების გამოზომი ხელსაწყოების მეშვეობით მიღებული ექსპლუატაციაში მყოფი კვანძის, ან მანქანის იმავე დატვირთვის პირობებში მიღებული ახალი ვიბროგრამის და სპექტროგრამის შედარებით არსებულთან და იქ აღმოჩენილი ნებისმიერი ცვლილება მანიშნებელი იქნება მოცემულ კვანძში არსებული მექანიკური ცვლილებისა, რომლის ანალიზითაც შესაძლებელი გახდება კვანძში არსებულ ამა თუ იმ მექანიკური დაზიანების დაფიქსირებისა.

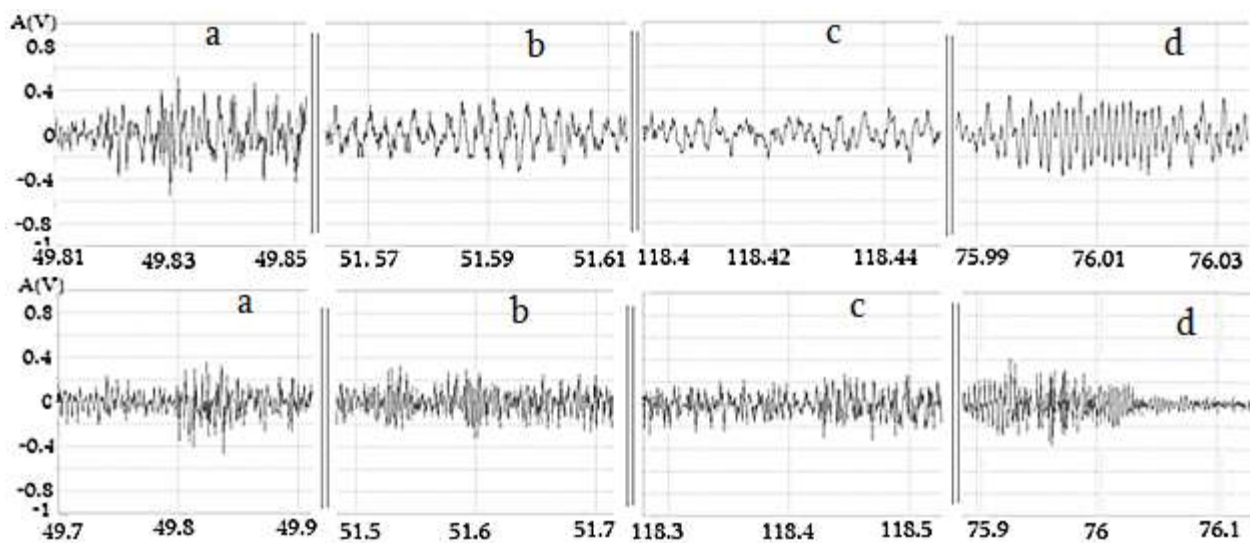
აღნიშნული მეთოდით შესაძლებელი ხდება მანქანა დანადგარებში სხვადასხვა კვანძების დაზიანადობა საკმაოდ დიდი სიზუსტით გამოკვლეული იქნას პერსონალურ კომპიუტერებში არსებული „მედია პლეიერი“ და მობილურის ხმის ჩამწერი პროგრამების მეშვეობით [15-17], რაც საშუალებას იძლევა სხვადასხვა კვანძების დაზიანადობის დიაგნოსტიკა ჩატარებული იქნას ინდივიდუალური პირების მიერ დიდი მასშტაბით და მინიმალური კაპიტალ დანახარჯებით. ხვადასხვა სიხშირის ამპლიტუდების რხევის აღმწერ ოსცილოგრამების სიხშირულ ვიზუალიზაციაზე საკმაოდ დიდი გავლენა აქვს ოსცილოგრამის გაშლას, რადგან გაშლის სიდიდე მკვეთრად წარმოსახავს ამა თუ იმ სიხშირულ მდგენელებს. რაც უფრო დიდი გაშლისაა ოსცილოგრამა, მით უფრო მკვეთრად ვლინდება მაღალი სიხშირული მდგენელები და პირიქით.

ნახ.19-ზე ნაჩვენებია დახურულ გვირაბში მატარებლის მოძრაობის შედეგად გამოწვეული ხმაურის ოსცილოგრამები, a აჩქარების, b შენელების, c თავისუფალი და d სადგურიდან გასვლის ხმაურის ოსცილოგრამებია, რომლებიც გაშლილია 0.02 წმ-ის პერიოდით (ზემოთ) და 0.1 წმ-ის პერიოდით (ქვემოთ).



ნახ.19. დახურულ გვირაბში მეტროს ვაგონების მოძრაობის ხმაურის ოსცილოგრამები

0.02 წმ-ის პერიოდით (ზემოთ) გაშლილი ოსცილოგრამების მიხედვით კარგად იკვეთება 400-600 ჰერცის კბილანური მოდების და სხვადასხვა მექანიკური დარტყმებისაგან გამოწვეული მაღალი სიხშირეები. ქვედაზე კი 0.1 პერიოდით გაშლილზე კი 15-30 ჰერცის დაბალი ხმაურის სიხშირეები, რომლებიც გამოწვეულნი არიან ვაგონშორისო გადაბმის, ამორტიზაციის სისტემის და ზიგზაგური პერიოდული რხევითი მოძრაობებისაგან, რომლებიც თავია თავში ასევე მოიცავენ მაღალ სიხშირეებსაც.



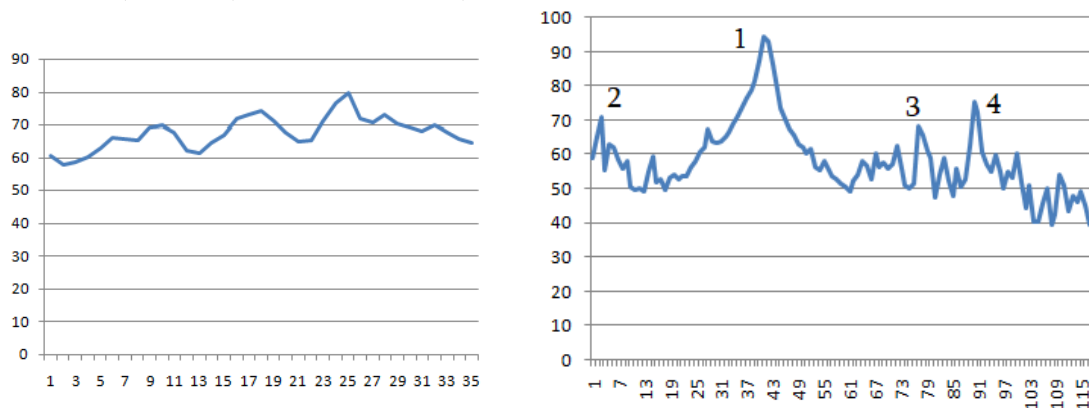
ნახ.20. ღია უბნებზე მეტროს ვაგონების მოძრაობის ხმაურის ოსცილოგრამები

ნახ.20-ზე ნაჩვენებია ღია უბანებზე მატარებლის მოძრაობების შედეგად გამოწვეული ხმაურის ოსცილოგრამები, a აჩქარების, b შენელების, c თავისუფალი და d სადგურიდან

გასვლის (დიქტორის ხმასთან ერთობლიობაში) ოსცილოგრამებს, რომლებიც ასევე გაშლილია 0.02 წმ-ია (ზემოთ) და 0.1 წმ-ის (ქვემოთ) პერიოდებით. წარმოდგენილი ოსცილოგრამებით ნათლად სჩანს, რომ ღია უბნებზე, რევერბერაციის არ არსებობის გამო ბგერითი დატვირთები (ხმაური) 7-8 დეციბელით (0.7 პასკალით, რაც 91 დგბ-ის ექვივალენტურია) არის შემცირებული, თუმცა მატარებლის სხვადასხვა კვანძებიდან აღძრული სპექტრული სიხშირეები შენარჩუნებულია. შემცირებული რევერბერაციის გამო ნახ.20-ზე მაღალი სიხშირის სპექტრები საკმაოდ არის გამეხერხებული.

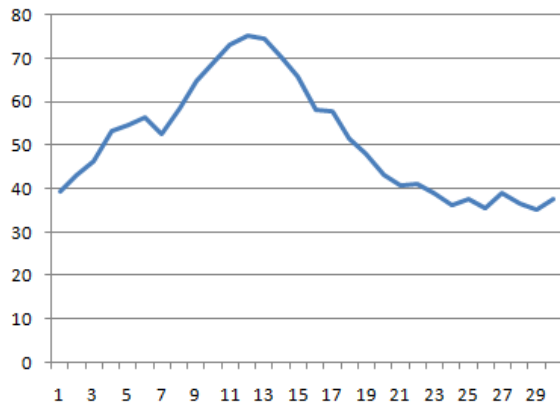
ზემოთა ოსცილოგრამების მიხედვით ღია უბნებზეც კარგად იკვეთება 400-600 ჰერცის კბილანური მოდების და სხვადასხვა მექანიკური დარტყმებისაგან გამოწვეული მაღალი სიხშირეები. ქვედაზე კი 15-30 ჰერცის დაბალი სიხშირის ზიგზაგური, ვაგონშორისო გადაბმის და ამორტიზაციის სისტემისაგან გამოწვეული პერიოდული რხევითი მოძრაობები, რომლებიც ასევე მოიცავენ მაღალ სიხშირეებსაც.

ნახ.21 წარმოდგენილია შუადღისას (12 სთ) თბილისის ზღვის მიდამოებში არსებული დენდროპარკის თავზე თვითმფრინავ boeing 737-ის გადაფრენის ხმაურის ვიბროგრამა, დაფიქსირების მანძილი დაახლოებით 1.5-2კმ. აღნიშნული და მომდევნო ვიბროგრამები ჩაწერილია TES-1352S ხმაურმზომით და აგებულია ექსელის პროგრამით. აღსანიშნავია, რომ პარკში ხმაურის ფონი 35-45 დეციბელია, ჩიტების გალობა კი ფონს 60 დეციბელამდე ამაღლებს. ნახ.22-ზე ხუდადოვის ე.წ ტყის ქუჩაზე (4 სთ) დიდი სატვირთო მანქანის და სხვადასხვა სიმძლავრის და სიჩქარით მოძრავი მსუბუქი მანქანებით გამოწვეული ხმაურის დიაგრამა. დაფიქსირების მანძილი 2 მ. სხვა მცირეოდენი პიკები გამოწვეულია ხუდადოვის ტყეში არსებული სხვადასხვა ბგერითი დაწნევით (ხმაურით).

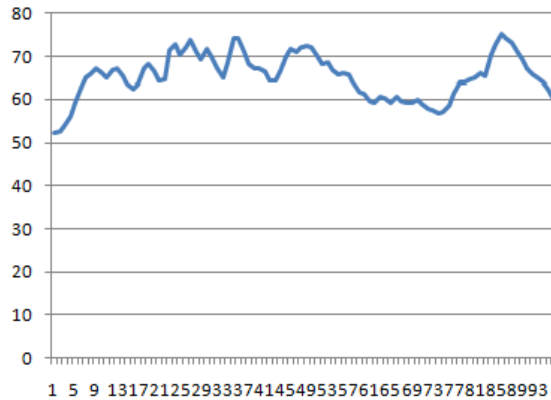


ნახ.21 boeing 737 თვითმფრინავის გადაფრენით გამოწვეული ხმაური ნახ.22. 1 სატვირთო და 2,3,4 მსუბუქი ავტომობილების მოძრაობი გამოწვეული ხმაური,

ნახ.23-ზე ნაჩვენებია ტყის ქუჩაზე (ხუდადოვის ტყე 4.30 სთ) ჯიპის ტიპის ავტომობილის მოძრაობით გამოწვეული ხმაური. მოცემული ხმაურის დიაგრამიდან კარგად ჩანს ავტომობილის მოახლოების და დაშორების შედეგად გამოწვეული ბგერითი დაწნევის ცვლილებადობა ხმაურის ფონის 35-40 დეციბელთან მიმართებაში. აღსანიშნავია, რომ მოცემულ გაზომვის მომენტისას ქუჩაზე მოძრაობდა მხოლოდ ერთი ავტომობილი. ნახ.24-ზე ნაჩვენებია ტყის ქუჩაზე (აღმართი) სხვადასხვა მსუბუქი მარკის ავტომობილების მოძრაობით გამოწვეული ხმაურის დიაგრამა. დაფიქსირების მანძილები 2 მ.

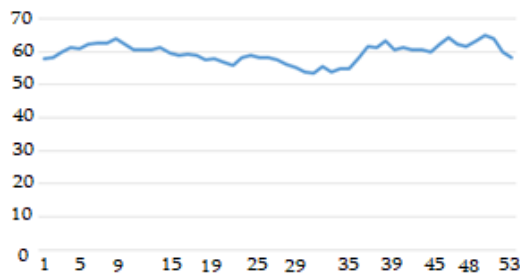


ნახ.23 ჯიპის ტიპის ავტომობილის მოძრაობით გამოწვეული ხმაური

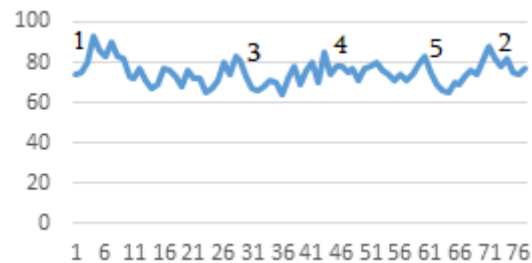


ნახ.24. სხვადასხვა მარკის ავტომობილების მოძრაობით გამოწვეული ხმაური

ნახ.25-ზე ნაჩვენებია ტყის ქუჩაზე მსუბუქი მანქანების მოძრაობით გამოწვეული ხმაური, რომელიც დაფიქსირებულია მცენარეული ბარიერის არსებობით. გაზომვის მანძილი 3-4 მ-ია. მეჩხერმა მცენარეულმა სფარმა და 1 მ-ით გაზრდილმა დაფიქსირების მანძილმა ხმაურის დაწნევას დონე შეამცირა 8-10 დეციბელით. ნახ.26-ზე ნაჩვენებია ხუდადოვის ქუჩის ტროტუარიდან აღმართის (ახლოს 1-1.5 მ) და დაღმართის (დაშორებით 7-8 მ) მიმართულებით მოძრავი სხვადასხვა ტიპის მსუბუქი ავტომობილების მიერ გამოწვეული ხმაურის დიაგრამა.

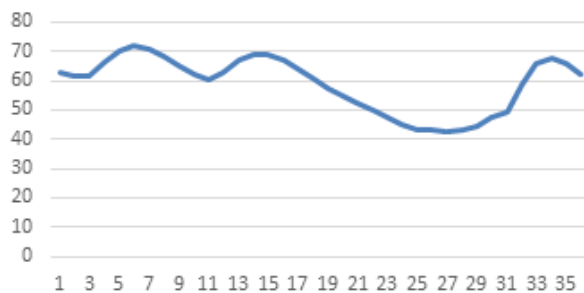


ნახ.25 სხვადასხვა მარკის ავტომობილების მოძრაობით გამოწვეული ხმაურის დიაგრამა

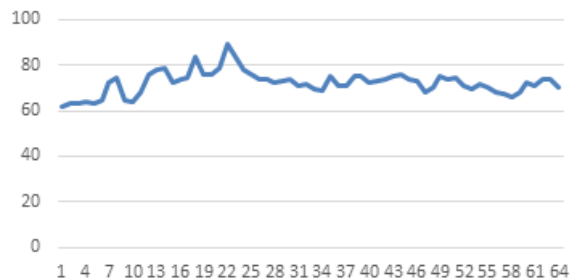


ნახ.26. 1,2 აღმართზე და 3,4,5 დაღმართზე მოძრავი ავტომობილები ხმაური

ნახ. 27-ზე ნაჩვენებია ცოტნე დადიანის ქუჩაზე (ქარვასლას მახლობლად, დილის 6 სთ) მსუბუქი ავტომობილების ორივე მიმართულებით მოძრაობით გამოწვეული ხმაური, ხოლო ნახ.28-ზე დილის 9 სთ-ზე სხვადასხვა მარკის ტრანსპორტის მოძრაობით გამოწვეული ხმაური.



ნახ.27. ხმაურის დიაგრამა დილის 6-სთზე



ნახ.28 ხმაურის დიაგრამა დილის 9-სთზე

ავტომობილებისათვის გადაღებული დიაგრამები და შესაბამის დეცებლების განმეორადობის ჰისტოგრამები, ხმაურის დროში პროცენტული შეწონადობები მიღებული TES-1352S ხმაურმზომი ხელსაწყოთი და ასევე მედია პლეიერით მიღებული სპექტროგრამები იხილეთ დამატება 2-ის მიხედვით (გვ.19).

წარმოდგენილი დიაგრამების მიხედვით შეიძლება ითქვას რომ მოძრავი ტრანსპორტის მიმდებარე ტერიტორიაზე ხმაურის ძირითადი გამომწვევი მიზეზებია, კედლიდან (სხვადასხვა დაბრკოლებებიდან) არეკლილი რევერბერაციული ბგერები, ტრანსპორტის მოძრაობის სიჩქარით (სიჩქარის ზრდა მნიშვნელოვნად აძლიერებს ხმაურს) გამოწვეული საბურავების ვიბრირებისგან წარმოქმნილი ხმაური, გზის ცუდი საფარი, არაგამართული მაყუჩები, ძრავები და სავალი სისტემის ამორტიზატორები. ქუჩის სავალ ნაწილზე ხმაურს მნიშვნელოვნად ამცირებს გაზონები, ხოლო საცხოვრებელ ბინებს (განსაკუთრებით ზედა სართულებს მაღალი მცენარეული (ხეების) საფარი. მცენარეული საფარის გავლენა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ღამის საათებში, როდესაც ტრანსპორტით გადატვირთულ ქუჩებში ხმაურის ფონი (60-75 დეც) შემცირებულია 40-45 დეცებლამდე.

ადამიანის ფსიქიკაზე და ჯანმრთელობაზე დიდ ზემოქმედებას ახდენს არა მარტო ხმაურის დონე, არამედ ხმაურის სპექტრული შემდგენლობა. ადამიანის ყურის მიერ, დაბალი 20ჰც და მაღალი სიხშირის 20000ჰც ბგერები, აღიქმებიან ნაკლები ინტენსივობით, ვიდრე საშუალო სიხშირის ბგერები. სმენადობის სიხშირეები შესაძლოა 12-24-ჰც-დან 18000-24000-ჰც-მდეც კი მერყეობდეს. დღისით ადამიანს შეუძლია აღიქვას 10-15 დეც-ის დონის ბგერები. ახალგაზრდობაში კარგად აღიქმებიან 3კჰც-ის სიხშირის ბგერები, საშუალო ასაკში 2-3 კჰც-ის, მოხუცებულობაში 1 კჰც-ის, ამასთან ვიწროვდება ბგერების აღქმის სიხშირეთა დიაპაზონი. სმენის მგრძნობიარეობა, დღის პერიოდთან შედარებით, იზრდება ღამით. დახუჭული თვალებისას სმენადობა იზრდება 10-14 დეც-ით. მკვეთრმა ნახტომისებურმა ხმაურმა შესაძლოა გამოიწვიოს მძინარე ადამიანს გაღვიძება.

16-20 ჰც-ზე დაბალი სიხშირის ინფრაბგერები პრაქტიკულად არ აღიქმებიან (არასმენადი არიან), მაგრამ შეუძლიათ გამოიწვიონ შინაგანი ორგანოების ვიბრაცია, რეზონანსი და ზემოქმედება მოახდინონ ტვინის მუშაობაზე. ისინი აძლიერებენ ავადმყოფი ადამიანის ტკივილს ძვლებსა და სახსრებში. მაღალსიხშირული ბგერები, 20 კჰც-ზე მეტი (ულტრაბგერები) გამოიყენებიან ფრინველთა, ცხოველთა და მწერების დასაფრთხილებად.

ხმაურის ხანგრძლივმა ზემოქმედებამ 80-90 დეც.-მა შეიძლება გამოიწვიოს ნაწილობრივი ან მთლიანი სმენის დაკარგავა. 160 დეც-ზე მეტმა კი შეიძლება გამოიწვიოს ყურის ბარაზის გახეთქვა და სიკვდილიც კი. გადაჭარბებული ხმაური ასევე იწვევს გულ-სისხლძარღვთა და ნერვიული სისტემის პათოლოგიური ცვლილებებს. ხანგრძლივი და ძლიერი ხმაური იწვევს ხმაურს ყურებში და თავში რომლებიც შეიძლება გადაიზარდნონ პროგრესირებად სმენის შემცირებაში. 80-90 დეც-ის ბგერის იმპულსური დაწნევა მხოლოდ დასაშვებია, ისიც მხოლოდ მცირე ხნით. 35-40 დეც-ის სიმაღლის ბგერებია მხოლოდ უსაფრთხო [1,4]. ჰაერში ტემპერატურის გაზრდით იზრდება ბგერის გავრცელების სიჩქარე, სითხეებში კი - პირიქითაა.

4. დასკვნა

ჩატარებული ექსპერიმენტების საფუძველზე შეიძლება ითქვას, ავტომობილის მიერ გამოწვეული ხმაური დიდად არის დამოკიდებული სიჩქარეზე. მაგალითად გამართული (ახალი) მსუბუქი ავტომობილების 60 კმ/სთ-ით სიჩქარით მოძრაობა უკვე იწვევენ 70 და მეტი დეციბელის ხმაურს, ხოლო ავტობუსები და დიდი სატვირთო ავტომობილების 60 კმ/სთ სიჩქარით მოძრაობის ხმაური 80-90 დეციბელის ფარგლებშია. აღსანიშნავია, რომ ავტობუსების და სატვირთო ავტომობილების ხმარის წარმოქმნაში დიდი გავლენა აქვს ძრავას და გადაცემის სისტემის ხმაურს, განსაკუთრებით ეს შესამჩნევია ადგილიდან დაძვრისას, აღმართზე მოძრაობისას და ძრავათი დამიხრუჭებისას.

ხმაურის წარმოქმნაში და მის სპექტრულ მახასიათებელზე დიდი გავლენა აქვს ავტომობილების საბურავების პროტექტორის ფორმას და ცვეთის ხარისხს, რაც განსაკუთრებით ვლინდება მაღალი სიჩქარეებისას.

მაყუჩის არ მქონე სპორტულ ავტომობილებში და მოტოციკლეტებში ძრავის მაღალ ბრუნვით სიჩქარეებისას წარმოქმნილი ხმაური 100 დეციბელს აჭარბებს, რაც დაუშვებელია განსაკუთრებით ღამის საათებში. აღსანიშნავია, რომ ავტომობილების სასიგნალო სისტემით გამოწვეული ხმაურიც, განსაკუთრებით არა მოკლედ დასიგნალებული ასევე 100 დეციბელს აჭარბებს.

საავტომობილო ქუჩებზე, განსაკუთრებით ტრასებზე არსებული შენობა ნაგებობები და ფეხით სავალი „ტროტუარები“ აუცილებლად დაცული უნდა იქნან მცენარეული გაზონებით და ხეებით (5-10 დეციბელით მცირდება ხმაური).

აუცილებელია მტროპოლიტენის განახლება თანამედროვე ვიბროშთანმთქმელი და შესაბამისად არახმაურიანი ვაგონებით, ხოლო მეტროს სადგურები, განსაკუთრებით სახელმწიფო უნივერსიტეტის სადგური მოპირკეთებული იქნას ხმაურშთანმთქმელი ფილებით.

ჩატარებული პირველადი გაზომვების საფუძველზე შეიძლება ითქვას რომ პერსონალური კომპიუტერების და ინტერნეტში არსებული პროგრამული უზრუნველყოფის დახმარებით მიღებული ვიბროაკუსტიკური მონაცემების ანალიზის საფუძველზე შესაძლებელია საკმაოდ მაღალი სიზუსტით დადგენილი იქნას სხვადასხვა მექანიკური სისტემის, მათ შორის ტრანსპორტის სხვადასხვა კვანძებში დაზიანებების წარმოქმნის აღმოჩენის (დიგნოსტიკა), განვითარების და შესაბამისად მის აღმოსაფხვრელად დროული ღონისძიების გატარება.

5. ლიტერატურა

1. Elert, Glenn. "The Nature of Sound – The Physics Hypertextbook". *physics.info*. Andre Cowan. Sound Transmission Loss of Composite Sandwich Panels. Department of Mechanical Engineering Christchurch, New Zealand University of Canterbury. New Zealand 2013
2. "The Propagation of sound". <https://www.mw-acoustics.at/en/blog/propagation-of-sound> *pages.jh.edu*.
3. Steven Nutt, Changzheng Huang, Portia Peters, and Christina Naify. Acoustics and vibrations of sandwich structures –an overview. Gill Foundation Composites Center. University of Southern California, Los Angeles, CA 90089-0241, USA. nutt@usc.edu

4. C. Hopkins, "New proposal for field measurements in the low-frequency range", COST Action FP0702, e-book Chapter 2 (WG2-Measurement methods for sound and vibration performances, including low frequencies), 2012.
5. Скучик Е. Основы акустики. В двух томах. Том 1, 2. Год издания: 1976. Издательство: Мир skuchik. <https://www.livelib.ru/book/1000215174-osnovy-akustiki-v-dvuh-tomahtom-2-e-skuchik>
6. Measurement methods for sound and vibration performances, including low frequencies, chapter 2. European cooperation in science and technology. http://extranet.cstb.fr/sites/cost/ebook/EBOOK_Chapter%202.pdf
7. M.A. Chelidze. A New Simple Method for Determining the Sound Absorption Coefficient. 14th International Conference on Vibration Engineering and Technology of Machinery (VETOMAC XIV), Lisbon, Portugal. 10-13 September, 2018
8. Yost, William (1985). *Fundamentals of Hearing: An Introduction* (Second ed.). Holt, Rinehart and Winston. p. 206. ISBN 978-0-12-772690-8. A pressure ratio of 1.122 equals +1.0 dB
9. Zhuang Li. Vibration and acoustical properties of sandwich composite materials. Journal of Sound and Vibration. Auburn, Alabama. May 11, 2006
10. Martin, Frederick N.; Clark, John Greer (2014). *Introduction to Audiology* (12 ed.). Pearson. ISBN 9780133491463.
11. What is the difference between dBA and dBC <https://www.quora.com/>
12. Tamaz Natriashvili, Merab Chelidze, David Nizharadze, Jemal Javakhishvili. A New Method for Determining an Acoustical Characteristic of Building Materials. Quality and Reliability of Technical Systems: Theory and Practice. JVE Book Series on Vibroengineering August 2018 | Volume 2 Vilnius, LT-03227, Lithuania, ISSN 2351-5260. 293-307pp
13. European Commission. "The Green Paper on Future Noise Policy" (PDF). *Archived from the original* (PDF) on 23 November 2010. Retrieved 7 September 2013.
14. World Health Organization. "Guidelines for community noise". Archived from *the original* on 27 November 2003. Retrieved 7 September 2013.
15. M.A.Chelidze, D.Nizharadze, J.Javakhishvili, M.Tedoshvili. Investigation of Sound Absorption. *Modern achievements of Science and Education VIII International Conference* September 29 –October 06, Jerusalem (Israel) pp. 66-71. (2016).
16. M. Chelidze, M. Tedoshvili, J. Javakhishvili, D. Nizharadze. The Process of Sound Amplitudes Decay in the Impedance Tube and Determination of Sound Absorption Coefficient in Materials. Problems of Mechanics. Tbilisi, 2(67) 19-26 pp. 2017
17. M.A. Chelidze, J.Javakhishvili, D.Nizharadze, M.Tedoshvili. Investigation of Sound Absorption coefficient by Energetic Method. *Proceedings of VII International Conference on Science and Education*. April 27–May 4, Rome (Italy) pp 3-9. (2017)
18. Merab Chelidze, Victor, Zviadauri, Merab Tedoshvili. Influence of Impedence Tube Length on a Reverberation Sound Decay Frequency. Catovise, Poland. 2018
19. Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method- www.irima.ir/home/templates/irima_main_theme/downloads/C...
20. Percentile-derived measurements (L10, L50, L90, etc.) <https://translate.google.com/?sl=en&tl=ru&text=Percentile-derived%20measurements>. (Noise Pollution Wikipedia)
21. Algorithms to measure audio programme loudness and true-peak audio level". *International Telecommunication Union*. Retrieved 2018-07-27. Meters that ... use an oversampled sampling rate of at least 192 kHz, should indicate the result in the units of dB TP [which] signifies decibels relative to 100% full scale, true-peak measurement“.
22. Digital and Analog Measurement Units for Digital CMOS Microphone Preamplifier ASICs (Analog Devices) <https://en.wikipedia.org/wiki/DBFS#>:

23. Liberatore S. and Carman G. P., Power spectral density analysis for damage identification and location, *Journal of Sound and Vibration*. (2004) **274**, no. 3–5, 761–776, [https://doi.org/10.1016/s0022-460x\(03\)00785-5](https://doi.org/10.1016/s0022-460x(03)00785-5), 2-s2.0-3042519238.
24. Fang S.-E. and Perera R., Power mode shapes for early damage detection in linear structures, *Journal of Sound and Vibration*. (2009) **324**, no. 1-2, 40–56, <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2009.02.002>, 2-s2.0-65649117859.
25. Masciotta M. G., Ramos L. F., Lourenço P. B., Vasta M., and De Roeck G., A spectrum-driven damage identification technique: application and validation through the numerical simulation of the Z24 Bridge, *Mechanical Systems and Signal Processing*. (2015) <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2015.08.027>.
26. Bayissa W. L. and Haritos N., Damage identification in plate-like structures using bending moment response power spectral density, *Structural Health Monitoring*. (2007) **6**, no. 1, 5–24, <https://doi.org/10.1177/1475921707072059>, 2-s2.0-33847295151.
27. Leuk, JSP; Low, LLN; Teo, WP (2020). "An Overview of Acoustic-Based Interventions to Improve Motor Symptoms in Parkinson's Disease". *Frontiers in Aging Neuroscience*. **12**: 243. doi:10.3389/fnagi.2020.00243. PMC 7457064. PMID 32922283.
28. Kvam, Marit Hoem (1997.-06-01). "The Effect of Vibroacoustic Therapy". *Physiotherapy*. **83** (6): 290–295. doi:10.1016/S0031-9406(05)66176-7. Retrieved 2020-10-17.

დამატება 1.

A-შეწონადობის ხმის ენერგიის საშუალო ეკვივალენტური დონით, L_{Aeq} -თი, იზომება საშუალო ხმის ენერგია მოცემულ პერიოდში მუდმივი, ან უწყვეტი ხმაურისთვის, როგორცაც საგზაო მოძრაობა[12]. L_{Aeq} დღის დროის მიხედვით შეიძლება დაიყოს სხვადასხვა ტიპის ხმაურად, თუმცა ქვეყნების მიხედვით, საღამოს და ღამის საათების შეზღუდვები შეიძლება განსხვავდებოდეს, მაგალითად შერთებული შტატები, ბელგია და ახალი ზელანდია აღნიშნავენ საღამოს საათებს 19:00–დან 22:00–მდე ან 19:00–დან 10:00–მდე. ხოლო ღამის საათები 22:00–7:00 ან 22:00–დან 7:00 საათამდე. ევროპის უმეტეს ქვეყნებში კი საღამოს საათები 19:00–23:00 ან 19:00–დან 11:00 საათამდე აღინიშნება და ღამის საათები 23:00–7:00 ან 23:00–დან 7:00 სთ–მდე.

L_{Aeq} ტერმინები მოიცავს:

1. დღე-ღამის საშუალო დონეს, DNL ან LDN: ამგვარი გაზომვით, წლის განმავლობაში, ფასდება ბერის კუმულაციური (ერთობლივი) ზემოქმედება 24 საათიანი პერიოდით (L_{eq} 24 საათზე მეტი), ანუ 10 dB(A) გაზომვებზე ჯარიმის ან წონის დამატებით ღამით ხმაურის მიმართ, ღამის ხმაურის გაზრდილი მგრძნობელობის გათვალისწინებით და გამოითვლება შემდეგი განტოლებიდან (აშშ, ბელგია, ახალი ზელანდია)

$$L_{dn} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{24} \left(15 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 9 \cdot 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right) \right)$$

2. დღე-საღამოს-ღამის საშუალო დონე, DENL ან Lden: ეს გაზომვა, რომელიც ჩვეულებრივ გამოიყენება ევროპის ქვეყნებში, აფასებს წელიწადში 24 საათის საშუალო დონეს (მსგავსი DNL); თუმცა, ეს გაზომვა განსხვავდება საღამოს (4 საათი, 19:00–23:00 ან 19:00–23:00) ღამის საათებისაგან (8 საათი, 23:00–7:00 ან 23:00–7:00 სთ.) და ამატებს 5 დეცაბელს საღამოს საათებს და 10-ს ღამისას და გამოითვლება შემდეგი განტოლებიდან (ევროპის უმეტესი ნაწილი):

$$L_{dn} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right) \right)$$

დღის დონე, LAeqD ან Lday გაზომვა აფასებს დღის ხმაურს, ჩვეულებრივ 7:00–19:00 (7:00–19:00), თუმცა შეიძლება განსხვავდებოდეს ქვეყნის მიხედვით.

ღამის დონე, LAeqN ან Lnight: ეს გაზომვა აფასებს ღამის ხმაურს, ზემოთ განხილული ქვეყნის ათვლის საათების მიხედვით.

მაქსიმალური დონე, LAmax: ეს გაზომვა წარმოადგენს ხმაურის მაქსიმალურ დონეს წერტილოვანი წყაროების ხმაურის (ცალკეული ქარხნების, ელ.სადგურების და სხვა ხმაურით დამაბინძურებლებს), ან ცალკეული მოვლენების გამოკვლევებს, თუმცა, ეს მნიშვნელობა არ მოქმედებს მოვლენის ხანგრძლივობაზე.

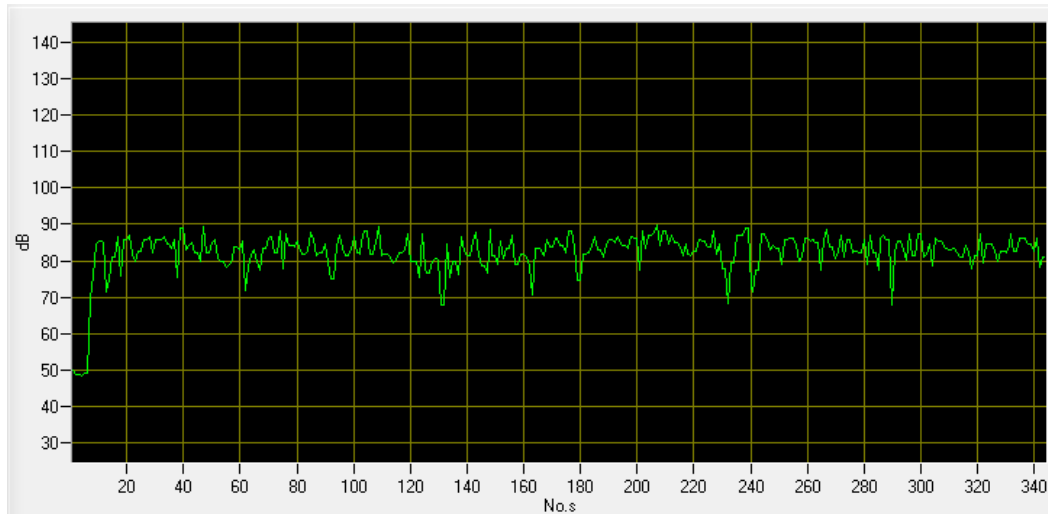
A-შეწონადობის ბგერის ექსპოზიციის (ზემოქმედების) დონე, SEL: ეს გაზომვა წარმოადგენს კონკრეტული მოვლენის მთლიან ენერგიას. SEL გამოიყენება დისკრეტული მოვლენების აღსაწერად A-შეწონიანი ხმაურის თვალსაზრისით. განსხვავება SEL-სა და LAmax-ის შორის არის ის, რომ SEL ხმის დონე მიიღება კონკრეტული მოვლენის მრავალი დროის წერტილის გამოყენებით და არა პიკური მნიშვნელობით. [12]

ხმაურის პროცენტული გაზომვები (L10, L50, L90 და ა.შ.) შეიძლება აღწერილი იყოს სტატისტიკური განაწილების მიხედვით დადგენილ დროში, რომლის დროსაც მკვლევარებს შეუძლიათ მიიღონ მნიშვნელობები, ან ათვლის წერტილები ნებისმიერ პროცენტულ დონეზე. L90 არის ხმის დონე, რომელიც აღემატება დროის 90%-ს; ამას ჩვეულებრივ უწოდებენ ფონის ხმაურს. [12]

აშშ-ს ეროვნული პარკის სამსახურის მკვლევარებმა დაადგინეს, რომ დაცული სივრცეების 63 პროცენტში, ადამიანის აქტივობა აორმაგებს ფონური ხმაურის დონეს (როგორცაა ეროვნული პარკები), ხოლო 21 პროცენტში ზრდის მათ ათჯერ, "თუ თქვენ რაღაცის მოსმენა შეგეძლო 100 ფუტის მოშორებით, ახლა მისი მოსმენა მხოლოდ 10 ფუტის მოშორებით შეგიძლიათ"

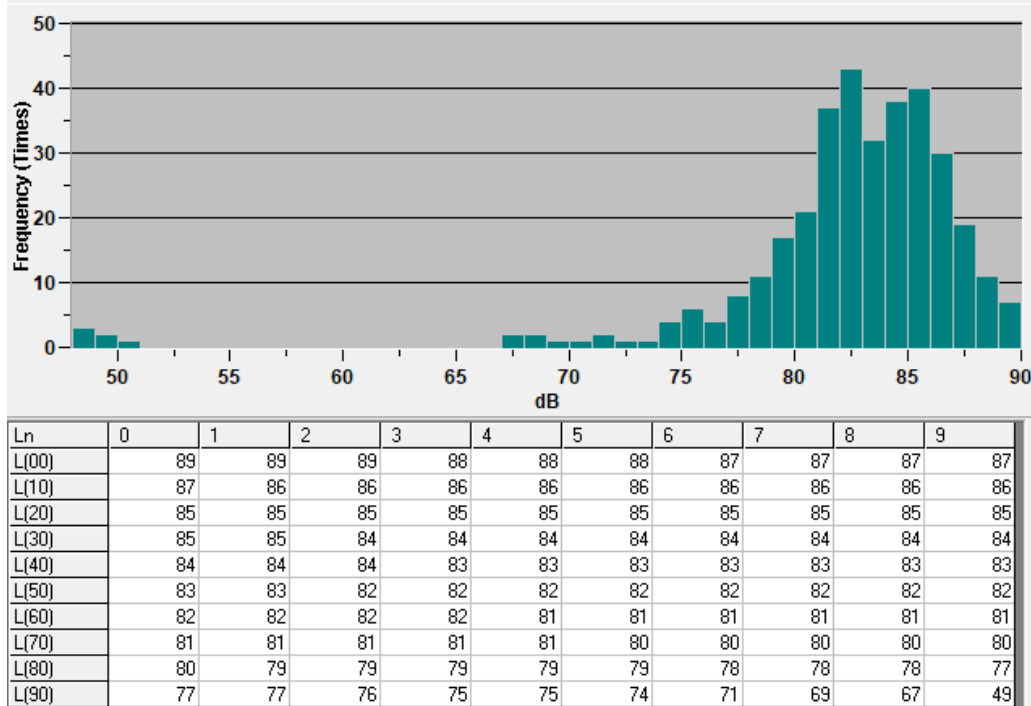
დამატება 2.

ნახ.1 წარმოდგენილია ხმაურის დიაგრამა დიქტორის და მაცურებლის ემოციური შემახილვების და მუსიკის თანხლებით



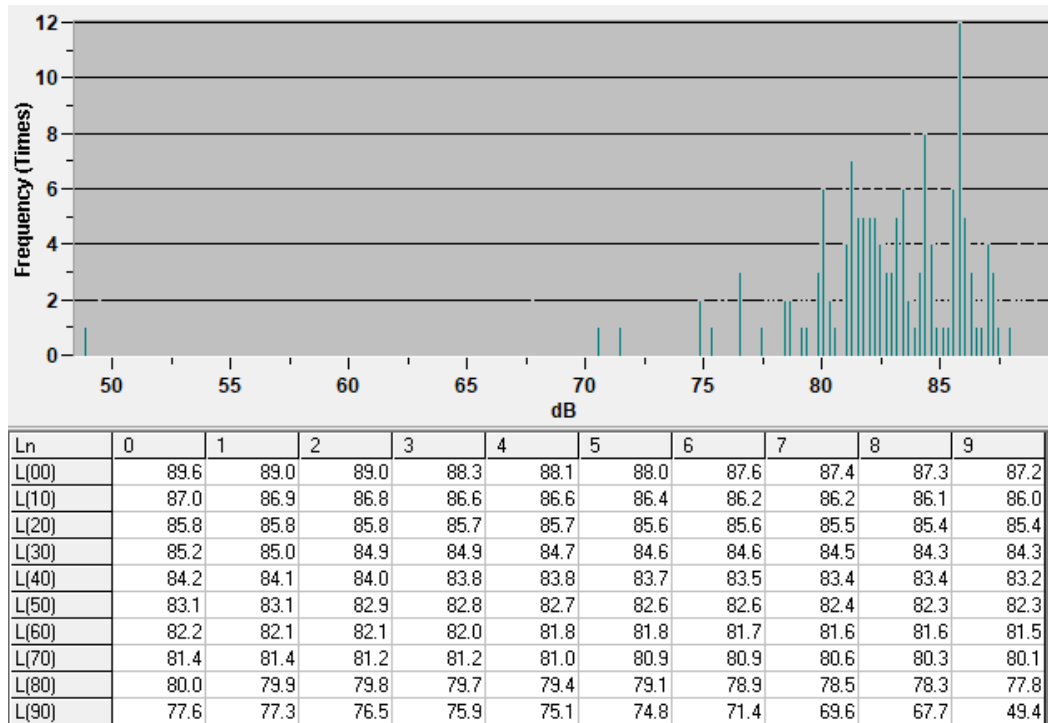
ნახ.1 ხმაურის დიაგრამა

ნახ.2.-ზე ნაჩვენებია ნახ.1-ზე წარმოდგენილი ხმაურის დიაგრამის დეციბელების გამეორებადობის ჰისტოგრამა 1წმ-ის ინტერვალით



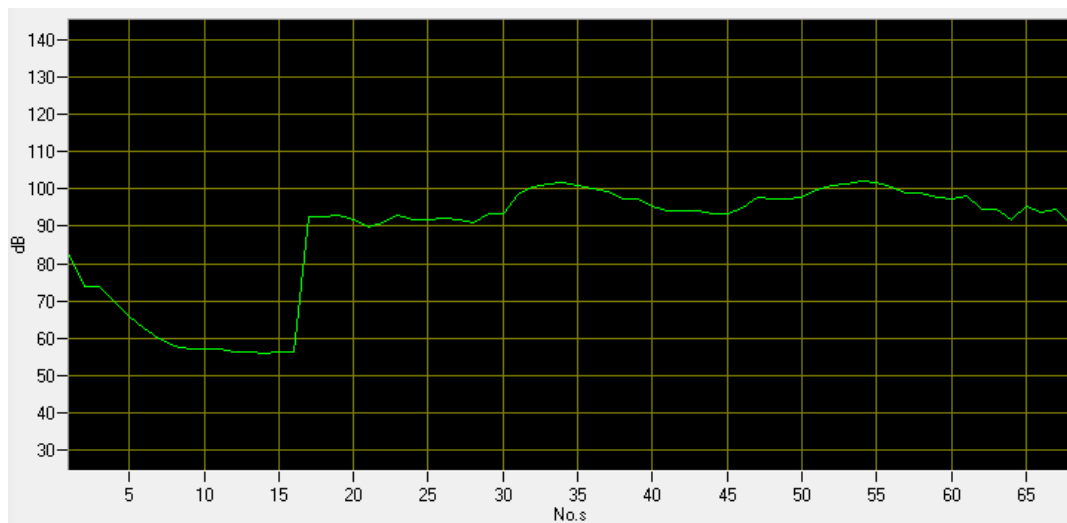
ნახ.2. ხმაურის განმეორებადობის 1 წმ-იანი ჰისტოგრამა პროცენტული შეწონადობის ცხრილით

ნახ.3-ზე ნაჩვენებია ნახ.1-ზე წარმოდგენილი ხმაურის დიაგრამის დეციბელების გამეორებადობის ჰისტოგრამა 0.1წმ-ის ინტერვალით



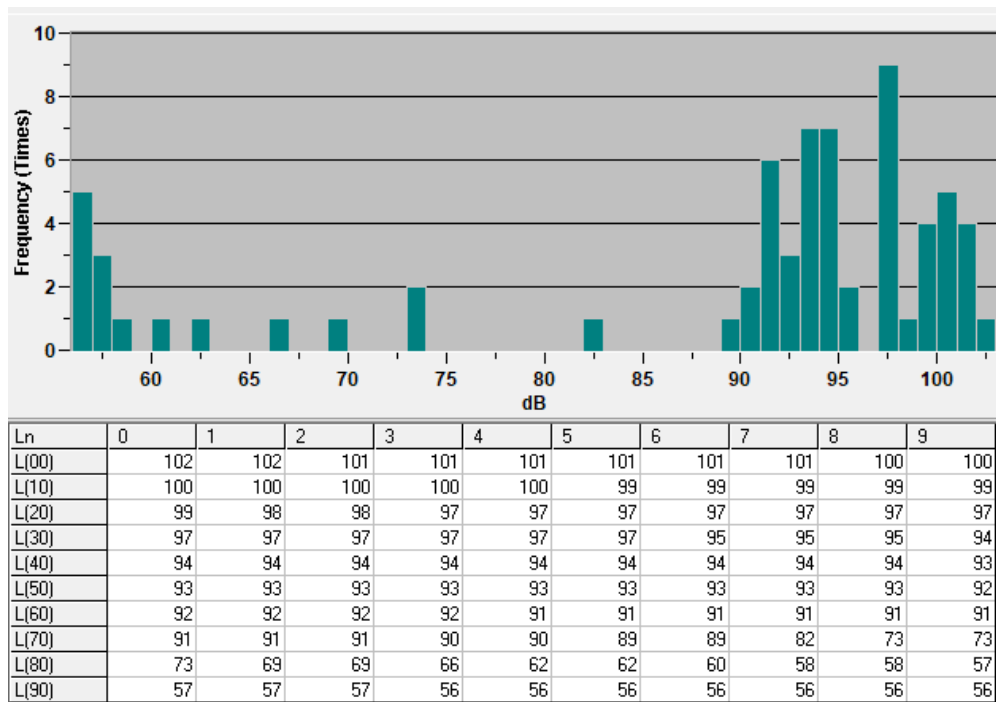
ნახ.3. ხმაურის განმეორებადობის 0.1 წმ-იანი ჰისტოგრამა პროცენტული შეწონადობის ცხრილით

ნახ.4-ზე ნაჩვენებია რუსთაველის გამზირზე ტროტუარტან ახლოს და მოპირდაპირე მხარეს არამაყუჩიანი მოტოციკლეტის მიერ გამოწვეული ხმაურის დიაგრამა



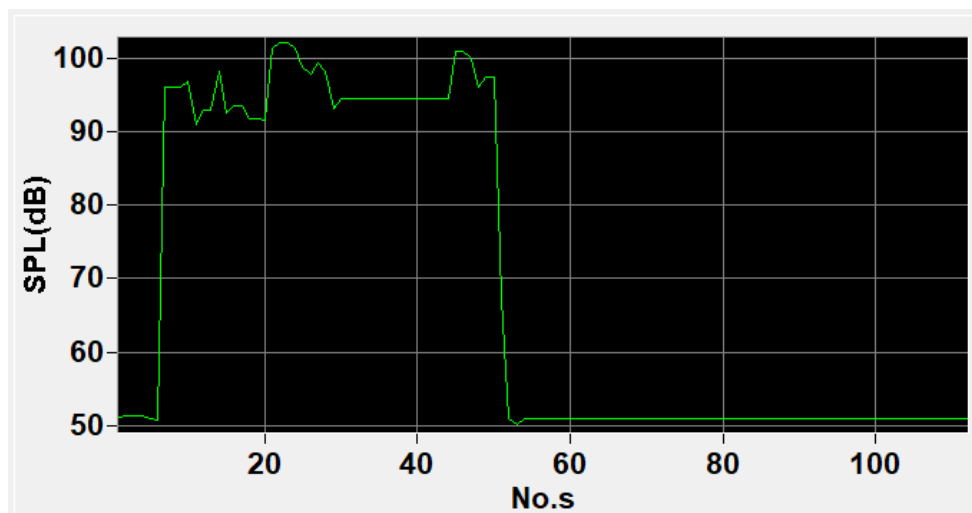
ნახ.4. არამაყუჩიანი მოტოციკლეტით გამოცვეული ხმაურის დიაგრამა.

ნახ.5-ზე ნაჩვენებია ნახ.4-ის შესაბამისი 1 წმ-იანი განმეორებადობის ჰისტოგრამა შესაბამისი ხმაურის პროცენტული შეწონადობით ცხრილით



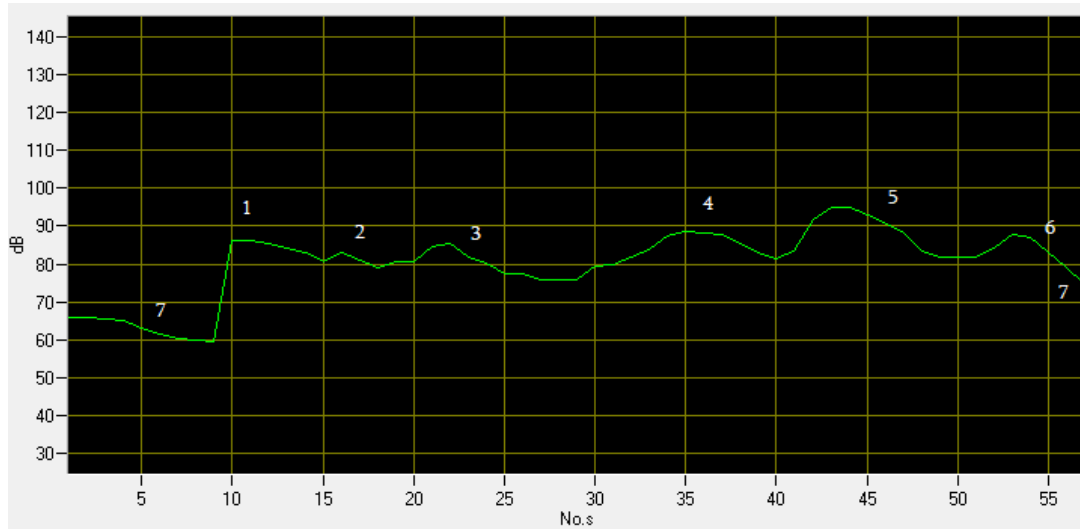
ნახ.6. ხმაურის განმეორადობის 1 წმ-იანი ჰისტოგრამა პროცენტული შეწონადობის ცხრილით

ნახ.7-ზე ნაჩვენებია ხმაურგამზომის მიერ რეალურ დროში დაფიქსირებული მოტოციკლეტით გამოწვეული მიმდინარე ხმაურის დიაგრამა, ანუ ხელსაწყოში ან კომპიუტერში არ ჩაწერილი პროცესი, რაც უშუალოდ ხელსაწყოს მონიტორზე ფიქსირდება.



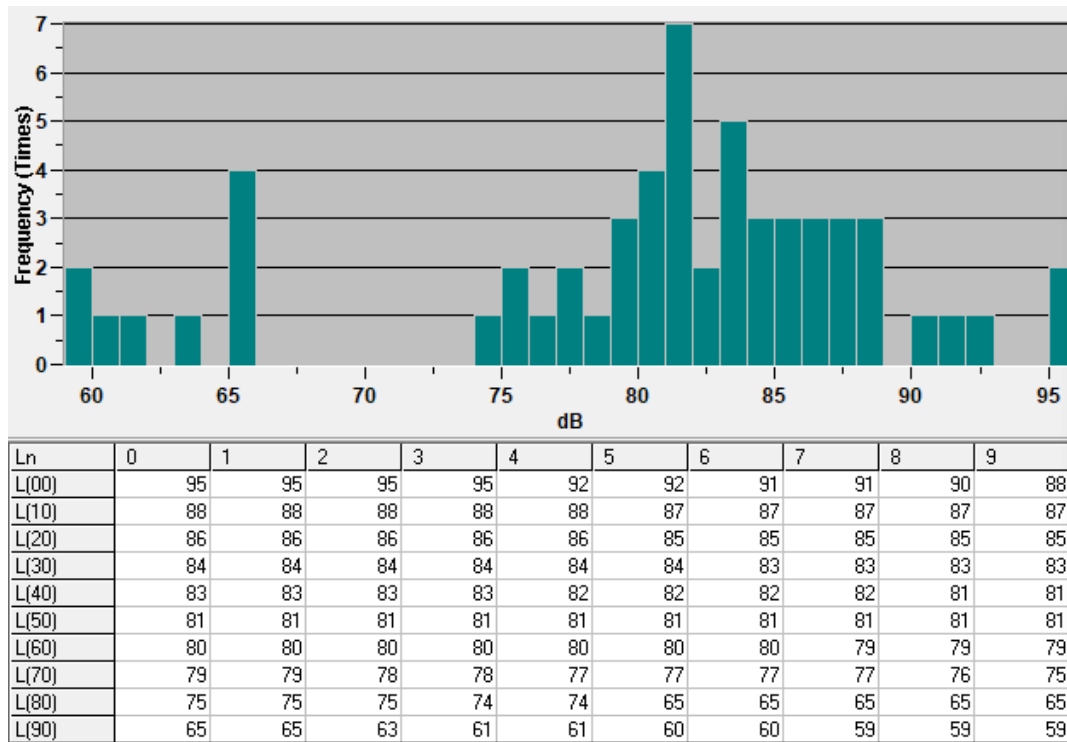
ნახ.6. რეალურ დროში დაფიქსირებული ხმაურის დიაგრამა.

ნახ.7-ზე ნაჩვენებია რუსთაველის გამზირზე დაფიქსირებული ხმაურის დიაგრამა 1,3 ძალის ყეფა, 2 ადამიანის შეძახილი, 4, 6 მსუფუქი ავტომობილის, 5 ავტობუსის, 7 ფონის.



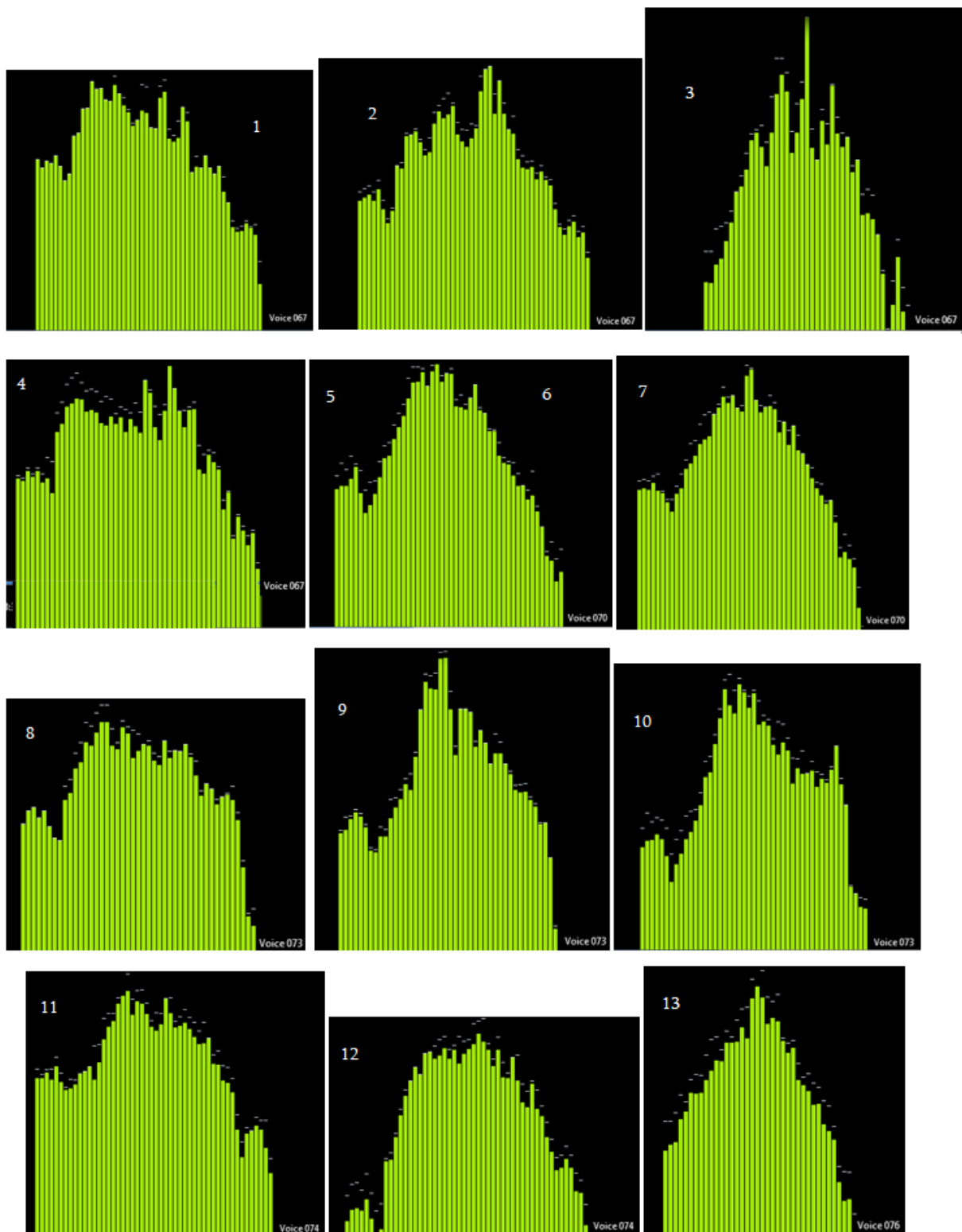
ნახ.7. რუსთაველის გამზირზე საღამოს 10 სთ-ვის დაფიქსირებული ხმაურის დიაგრამა

ნახ.8-ზე ნაჩვენებია ნახ 7-ზე ნაჩვენები ხმაურის დიაგრამის შესაბამის დეიბელური დაწნევების გამეორადობის ჰისტოგრამა და პროცენტული შეწონადობა

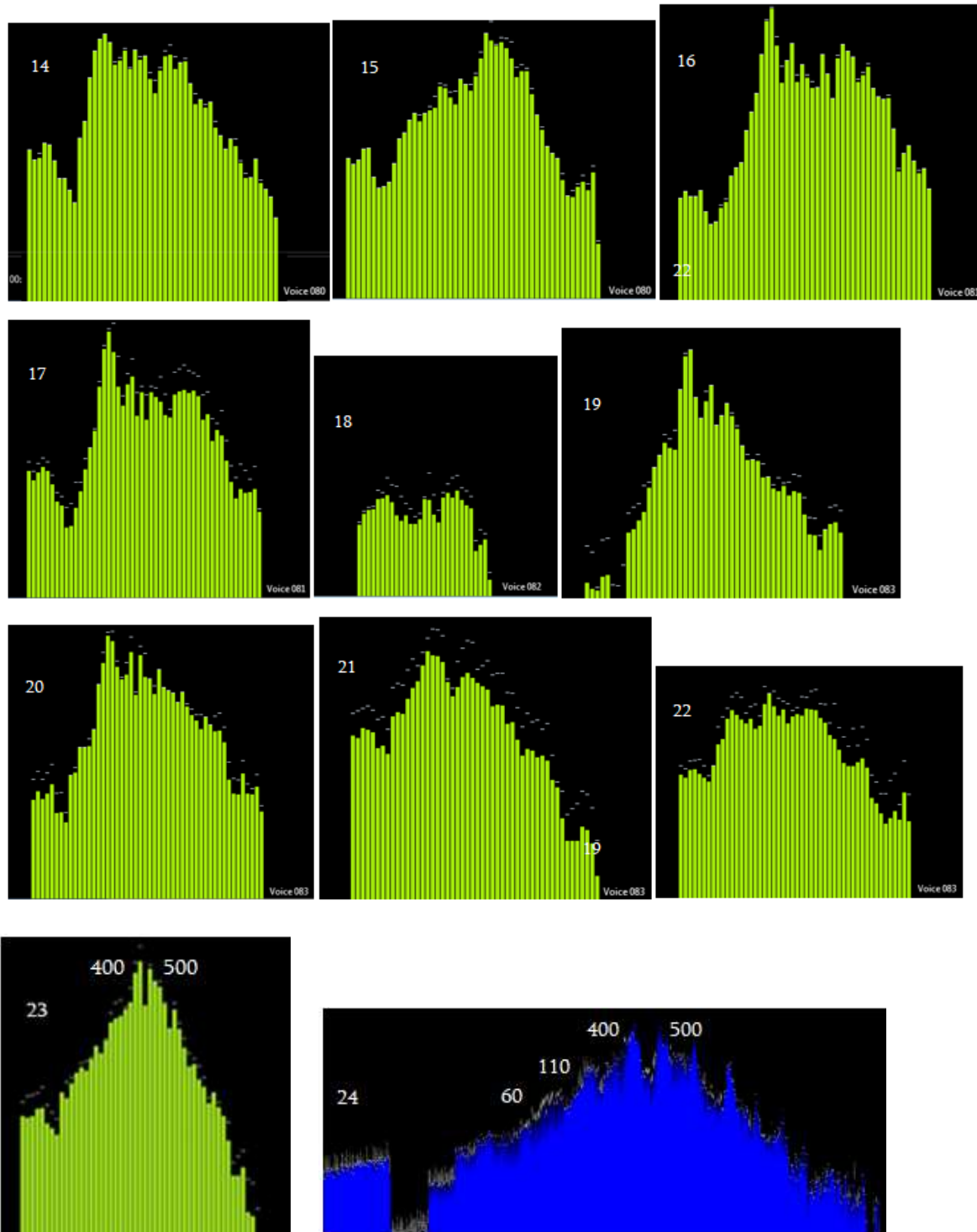


ნახ.8. ხმაურის განმეორადობის 1 წმ-იანი ჰისტოგრამა პროცენტული შეწონადობის ცხრილით

სპექტრული გრაფიკებით ნაჩვენებია ზემოთ მოყვანილი ტრანსპორტის ხმაურის სპექტრული დიაგრამები 1-4 საზოგადოების შემახილები მუსიკის ფონზე და აპლოდისმენტები, 5,6,7,8, სხვადასხვა ავტომობილების 9- მოტოცკლეტიახლოს, 10-დაშორებით 11-ავტობუსი, 12,13 მსუბუქი ავტომობილები



14 – 17 სხვადასხვა ტიპის ავტომობილები აღმართში, 18- 50-60 დეციბელის ფონი, 19-20 მოტოვიკლები დაშორებით, 21 სატვირთო მანქანა, 22- ჯიპის ტიპის ავტომობილი თავდაღმართში

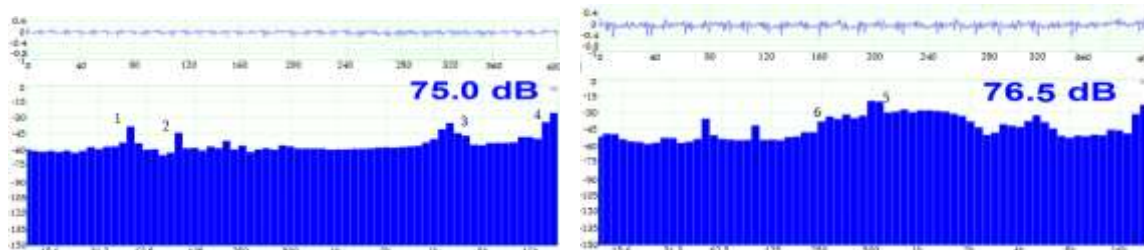


23-ე და 24 სპექტრული გრაფიკები, რომლებიც ასევე მიღებულნი არიან „მედია პლეიერის“ Bars (ბელები) და Ocean Mist (ოკეანეს ნისლი) მეშვეობით შესაბამისნი არიან მეტრო სადგურ ვაჟაფშაველასა და სახელმწიფო უნივერსიტეტისკენ გვირაბში მოძრავი ვაგონის მიერ გამოწვეულილ ხმაურით. წარმოდგენილი სპექტროგრამებით კარგად იკვეთება რედუქტორის

კბილანების და ურიკას თვლების დისბალანსისგან გამოწვეული ხმაური (240-400 და 500 ჰერცის შესაბამისი მკვეთრად გამოხატული პიკებით).

23-ე და 24 სპექტრული გრაფიკები უკეთ ვიზუალიზირებისათვის განვიხილოთ გვირაბში მეტროს ვაგონის მოძრაობის ხმაური მრავალფუნქციური „VT RTA 168“ ხელსაწოთი მიღებული სპექტროგრამის ანალიზის საფუძველზე.

ნახ.1-ზე წარმოდგენილია ოთახში (ლაბარატორიაში) არსებული ხმაურის სპექტროგრამა. სადაც მარცხენა 1 და 2 პიკები შესაბამისნი არიან პერსონალური კომპიუტერის და გამათბობლის ვენტილიატორების ხმაურის, ხოლო მარჯვენა 3 და 4 პიკები გამოწვეულია კომპიუტერის „საუნდ კარტას“ დაზიანებით, რომლებიც მუდმივიად რჩებიან შემდგომ მე 2,3 ,4 მატარებლის მოძრაობით გამოწვეულ ხმაურის სპექტროგრამებზე.

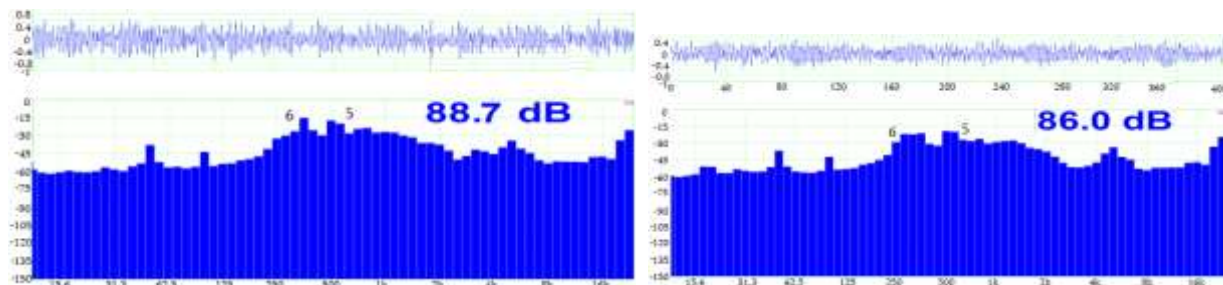


ნახ.1 ოთახის ფონის სპექტრული გრაფიკი

ნახ.2 გვირაბში მეტროს ვაგონის მოძრაობის ხმაურის სპექტროგრამა

ნახ.2-ზე ნაჩვენებია მატარებლის სიჩქარის აკრეფისას წარმოქმნილი ხმაური სადაც მკაფიოდ იკვეთება რედუქტორის კბილანების მიერ გამოწვეული 500 ჰც-ის სპექტრი 5 და ასევე მცირედ ვაგონის ურიკას თვლების დისბალანსისგან გამოწვეული 260 ჰც-ის 6 სპექტრი.

ნახ.3-ზე ნაჩვენებია გვირაბში შედარებით დიდი სიჩქარით მოძრავი მატარებლის ურიკას თვლების დისბალანსისგან გამოწვეული 400 ჰც-ის 6 სპექტრის პიკი და რედუქტორის კბილანებისგან გამოწვეული შედარებით შემცირებული 500 ჰც-ის 5 პიკი.



ნახ.3 გვირაბში მეტროს ვაგონის მოძრაობის ხმაურის სპექტროგრამა

ნახ.4 გვირაბში მეტროს ვაგონის მოძრაობის ხმაურის სპექტროგრამა

ნახ.4-ზე ნაჩვენებია გვირაბში მოძრავი მატარებლის სიჩქარის შენელებისას ურიკას თვლების დისბალანსისგან გამოწვეული 300 ჰც-ის 6 და რედუქტორის კბილანებისგან წარმოქმნილი 500 ჰც-ის 5 პიკები. სპექტროგრამების რედუქტორის კბილანების და განსაკუთრებით ურიკას თვლების დისბალანსის პიკების სპექტრული სიხშირეები დამოკიდებულია მატარებლის სიჩქარეზე, რაც სრულ შესაბამისობაშია რეალურობასთან.