

## Diagnosis of Mineral Metabolism Disorders in Children Based on Spectral Analysis of Hair

N. Suladze<sup>1</sup>, N. Zurabiani<sup>2</sup>, S. Japaridze<sup>3</sup>, S. Beriashvili<sup>4</sup>

<sup>1</sup>MD, PhD, Assistant professor of University of Georgia; <sup>2</sup>MD, PhD, Assistant professor of University of Georgia; <sup>3</sup>PhD-student, Invited Lecturer of TSMU; <sup>4</sup>MD, PhD, Associate Professor.

### Abstract

Minerals are an essential component of the human body. To assess the level of microelements in the human body, the most informative biosubstrates are hair and dental hard tissues.

**The aim** of the study was to diagnose mineral metabolism disorders in children based on spectral analysis of hair.

**Research methods and materials.** 28 children aged 3-4 years were examined. Caries intensity was defined by the methodology of World Health Organization. The 28 chemical elements content was studied in hair by X-ray fluorescent spectroscopy method.

**Results.** According to our study, children with decompensated forms of caries had relatively lower levels of essential chemical elements than in children with compensated forms of caries. The content of toxic elements (Pb, As, Sn, Hg) was higher in children living in ecologically polluted conditions than in children living in relatively favorable conditions.

**Conclusion.** Hair chemical analysis by X-ray fluorescence spectrometry allows us to study the content of essential and toxic elements in the body. Spectral analysis of the hair can monitor the condition of the environment.

### Introduction

Minerals are an essential component of the human body, yet the body does not produce a single mineral element. In fact, all tissue and internal fluids contain minerals: bones, teeth, soft tissue, muscle, blood and nerve cells. The imbalance of minerals in the human body causes various disorders in the body, especially affecting the bones and hard tissues of the teeth (1). Dental caries is a pandemic disease affecting the teeth characterized by demineralization and cavitation, eventually leading to discomfort and pain, causing limitations in function and compromised facial aesthetics (2).

The demineralization process involves loss of minerals at the advancing front of the lesion, at a depth below the enamel surface, with the transport of acid ions from the plaque to the advancing front and mineral ions from the advancing front toward the plaque (3). The remineralization process is a natural repair mech-

მცირეწლოვან ასაკში მინერალური ცვლის დარღვევის დიაგნოსტიკა თმის ღერის სპექტრული ანალიზის საფუძველზე

ნ. სულაძე<sup>1</sup>, ნ. ზურაბიანი<sup>2</sup>, ს. ჯაფარიძე<sup>3</sup>, ს. ბერიაშვილი<sup>4</sup>

<sup>1</sup>მედიცინის დოქტორი, საქართველოს უნივერსიტეტის ასისტენტ-პროფესორი; <sup>2</sup> მედიცინის დოქტორი, საქართველოს უნივერსიტეტის ასისტენტ-პროფესორი; <sup>3</sup>ჯანდაცვის დოქტორანტი, თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის მოწვეული ლექტორი; <sup>4</sup>მედიცინის დოქტორი, ასოცირებული პროფესორი

### რეზიუმე

მინერალები ადამიანის სხეულის მნიშვნელოვანი კომპონენტია. მიკროელემენტების დონის შესაფასებლად ადამიანის ორგანიზმში, ყველაზე ინფორმატიულ ბიოსუბსტრატებს წარმოადგენს თმა და კბილის მაგარი ქსოვილები.

**კვლევის მიზანი:** ბავშვებში მინერალური ცვლის დარღვევის დიაგნოზირება თმის ღერის სპექტრული ანალიზების საფუძველზე.

**კვლევის მეთოდები და მასალები.** გამოკვლეულ იქნა 3-4 წლის ასაკის 28 ბავშვი. კარიესის ინტენსივობა განისაზღვრა კბა-ინდექსის მიხედვით მოწოდებული ჯანმრთელობის მსოფლიო ორგანიზაციის მიერ. თმის ღერში შეფასდა 28 ქიმიური ელემენტის შემცველობა რენტგენო-ფლუორესცენტური სპექტროსკოპიის მეთოდით.

**გამოკვლევის შედეგები.** ჩვენი გამოკვლევის თანახმად, კარიესის დეკომპენსირებული ფორმის მქონე ბავშვებში გამოვლინდა სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანი ქიმიური ელემენტების შედარებით დაბალი შემცველობა იმ გამოკვლეულებთან შედარებით, რომლებსაც აღენიშნებოდათ კარიესის კომპენსირებული ფორმა. ტოქსიკური ელემენტების (Pb, As, Sn, Hg) შემცველობა უფრო მაღალი იყო ეკოლოგიურად დაბინძურებულ პირობებში მცხოვრებ ბავშვებში.

**დასკვნა.** თმის ღერის ანალიზი რენტგენო-ფლუორესცენტური სპექტროსკოპიის მეთოდით საშუალებას იძლევა შევისწავლოთ სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანი და ტოქსიკური ელემენტების შემცველობა ადამიანის ორგანიზმში. თმის სპექტრული ანალიზით, ასევე შესაძლებელია გარემოს დაბინძურების მონიტორინგი.

მინერალები ადამიანის სხეულის მნიშვნელოვანი კომპონენტია. ორგანიზმის მიერ მინერალების წარმოქმნა არ ხდება, მაგრამ ყველა ქსოვილი თუ ქსოვილოვანი სითხე შეიცავს მინერალს: ძვლები, კბილები, რბილი ქსოვილები, კუნთები,

anism to restore the minerals again, in ionic forms, to the hydroxyapatite (HAP) crystal lattice. It occurs under near-neutral physiological pH conditions whereby calcium and phosphate mineral ions are redeposited within the caries lesion from saliva and plaque fluid resulting in the formation of newer HAP crystals, which are larger and more resistant to acid dissolution (4).

Teeth are important biological structures in the field of biomineralization. The mineral tissue of a tooth consists of hydroxyapatite (HAP) crystals,  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ . The inorganic content of dental hard tissues has been shown to consist of not only calcium (Ca), phosphorus (P), and oxygen (O), as indicated by the formula of calcium HAP, but also carbon (C), magnesium (Mg), sodium (Na), iron (Fe) and fluoride (F), as well as large trace elements (5).

To assess the level of microelements in the human body, the most informative biosubstrates are hair and dental hard tissues, in which the chemical elements are concentrated and fully reflect the quality of essential elements.

The advantages of hair spectral analysis are: can be collected by simple, non-invasive methods, and is easily sampled and stored; gives information about 20-40 microelements content in the human body. The World Health Organization and the Environmental Protection Agency have provided a sample of the hair as an indicator of contamination of the human body with toxic elements (6).

**The aim** of the study was to diagnose mineral metabolism disorders in children based on spectral analysis of hair.

### Research methods and materials

28 children aged 3-4 years were examined (12 - living in ecologically relatively favorable conditions, 12 - living in ecologically highly polluted conditions (Tbilisi), 4 - living in Marneuli)

Caries intensity was defined by the methodology of World Health Organization (7).

The chemical elements content was studied in hair by X-ray fluorescent spectroscopy method. We took the sample from the occipital area and examined the hair after preparation, we identified 28 chemical elements in the biosubstrates: essential elements- Ca, Zn, K, Fe, Cu, Se, Mn, Cr; Conditionally Essential - S, Br, Cl, Co, Ag, V, Ni, Rb, Mo, Sr, Ti and Toxic - Ba, Pb, As, Hg, Cd, Sb, Zr, Sn, Bi (Mkg / g).

### Results

According to our study, children with decompensated forms of caries had relatively lower levels of chemical elements such as calcium (Ca) and iron (Fe) than in

სისხლი და ნერვული უჯრედები. ადამიანის ორგანიზმში მინერალების დისბალანსი იწვევს ორგანიზმში სხვადასხვა სახის დარღვევებს, განსაკუთრებით კი აისახება ძვლებისა და კბილების ჯანმრთელობაზე (1).

კბილის კარიესი გავრცელებული დაავადებაა, რომელიც ხასიათდება კბილის მაგარი ქსოვილების დემინერალიზაციით და შემდგომში დეფექტის წარმოქმნით, რაც საბოლოოდ იწვევს დისკომფორტს, ტკივილს, ფუნქციურ და ესთეტიკურ დარღვევებს (1).

დემინერალიზაციის პროცესი გულისხმობს ნადებში არსებული მჟავას გავლენით კბილის მაგარი ქსოვილებიდან, თავდაპირველად ზედაპირული, შემდეგ ღრმა შრეებიდან მინერალების გამოსვლას (2).

რემინერალიზაციის პროცესი გულისხმობს მინერალების კვლავ აღდგენას იონური ფორმით, ჰიდროქსიაპატიტის (HAP) წარმოქმნით. ის ვითარდება თითქმის ნეიტრალური ფიზიოლოგიური pH- ის პირობებში, რომლის დროსაც კალციუმის და ფოსფორის იონები ნერწყვიდან აღწევს კბილის დაზიანებულ უბანში და წარმოქმნის ჰიდროქსიაპატიტის ახალ კრისტალებს, რომლებიც უფრო გამძლეა მჟავების მოქმედების მიმართ (3).

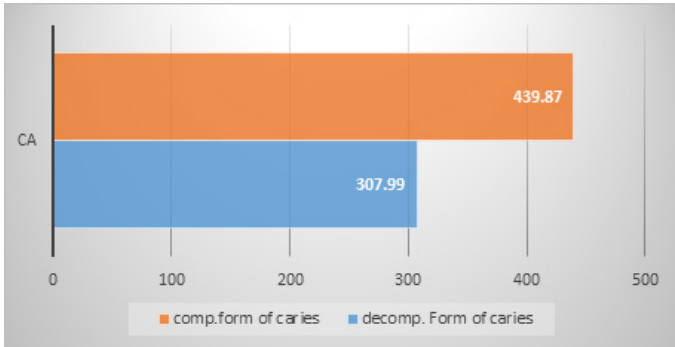
კბილები მნიშვნელოვანი ბიოლოგიური სტრუქტურებია. კბილის მაგარი ქსოვილი, ძირითადად, შედგება ჰიდროქსიაპატიტის (HAP) კრისტალებისგან,  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ . არაორგანული ელემენტებიდან კბილის მაგარი ქსოვილები შეიცავს არა მხოლოდ კალციუმს (Ca), ფოსფორს (P) და ჟანგბადს (O), ასევე ნახშირბადს (C), მაგნიუმს (Mg), ნატრიუმს (Na), რკინას (Fe), ფტორს (F) და სხვა ელემენტებს (4). ადამიანის ორგანიზმში მიკროელემენტების დონის შესაფასებლად ყველაზე ინფორმატიული ბიოსუბსტრატებია თმის ღერი და კბილის მაგარი ქსოვილები, რომელშიც ქიმიური ელემენტებია კონცენტრირებული და სრულად ასახავს სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანი ელემენტების შემცველობას ორგანიზმში.

თმის ღერის სპექტრული ანალიზის უპირატესობებია: მისი შეგროვება და შენახვა არის მარტივი, არაინვაზიური მეთოდია, გვაწვდის ინფორმაციას ადამიანის ორგანიზმში 20-40 მიკროელემენტის შემცველობაზე. ჯანმრთელობის მსოფლიო ორგანიზაციამ და გარემოს დაცვის სააგენტომ უზრუნველყვეს თმის ნიმუში, როგორც ტოქსიკური ელემენტებით ადამიანის სხეულის დაზინძურების ინდიკატორი (5).

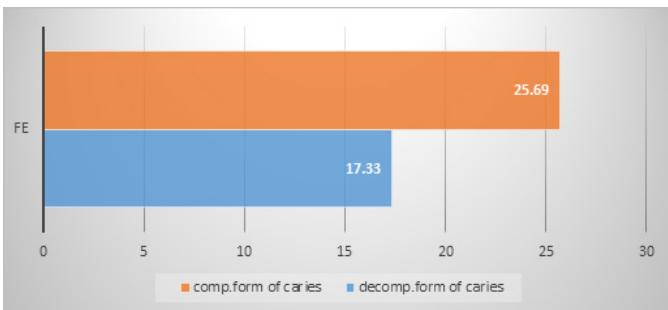
**კვლევის მიზანს** წარმოადგენდა მცირეწლოვან ბავშვებში მინერალური ცვლის დარღვევის

children with compensated forms of caries (see ill. 1,2).

**Illustration 1. The relationship between calcium content in the hair and the intensity dental caries.**

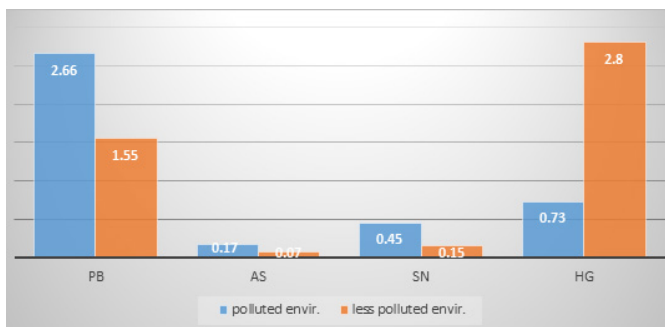


**Illustration 2. The relationship between iron content in the hair and the intensity dental caries.**



The content of toxic elements (Pb, As, Sn, Hg) was higher in children living in ecologically polluted conditions than in children living in relatively favorable conditions (see ill. 3).

**Illustration 3. The content of toxic elements in hair in different ecological environments**



Our research revealed a deficiency of essential elements in hair in patients with multiple dental caries. We consider the cases of several patients: the hair spectral analyze of 4 years-old patient (living in Marneuli) with systemic demineralization and living in polluted region revealed low level of essential elements (Ca, Zn, Fe, Pb) (see table 1).

დიაგნოსტიკა თმის ღერის სპექტრული ანალიზების საფუძველზე.

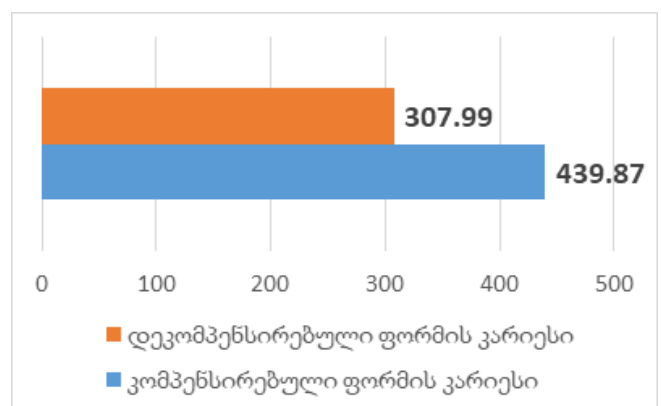
**კვლევის მეთოდები და მასალები.** გამოკვლეულ იქნა 3-4 წლის ასაკის 28 ბავშვი (12 - ცხოვრობდა ეკოლოგიურად შედარებით ხელსაყრელ პირობებში, 12 - ეკოლოგიურად დაბინძურებულ პირობებში (თბილისი), 4 - ცხოვრობდა მარნეულში).

კარიესის ინტენსივობა განისაზღვრა ჯანმრთელობის მსოფლიო ორგანიზაციის მიერ მოწოდებული მეთოდოლოგიით- კბა ინდექსის გამოყენებით (6).

ქიმიური ელემენტების შემცველობა შესწავლილ იქნა თმის ღერის რენტგენო-ფლუორესცენტული სპექტროსკოპიის მეთოდით. თმის ღერის ბიოსუბსტრატში შევისწავლეთ 28 ქიმიური ელემენტის შემცველობა: სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანი ელემენტები (ესენციური ელემენტები)- Ca, Zn, K, Fe, Cu, Se, Mn, Cr; პირობითად ესენციური - S, Br, Cl, Co, Ag, V, Ni, Rb, Mo, Sr, Ti და ტოქსიკური - Ba, Pb, As, Hg, Cd, Sb, Zr, Sn, Bi (მკგ / გ).

**გამოკვლევის შედეგები:** ჩვენი გამოკვლევის თანახმად, კარიესის დეკომპენსირებული ფორმების მქონე ბავშვებს, კომპენსირებული ფორმის მქონე ბავშვებთან შედარებით, თმის ღერში გამოუვლინდათ ისეთი ქიმიური ელემენტების შედარებით დაბალი შემცველობა, როგორცაა კალციუმი (Ca) და რკინა (Fe) (დიაგრამა 1,2)

**დიაგრამა 1. თმის ღერში კალციუმის შემცველობა კარიესის კომპენსაციის დონის მიხედვით.**



**Table 1. Chemical elements content in hair of 4 year-old patient living in Marneuli.**

Elements	Mean (ppm)	Norm (ppm)
Ca	288	300-700
Zn	97	120-200
Fe	13,7	15-35
Pb	5	0.0-5.0

A 4-year-old patient with multiple caries and a diagnosis of intestinal dysbiosis was found to have significant calcium deficiency 269 ppm (in norm – 300-700 ppm), presumably associated with impaired calcium absorption from the intestines.

Also, a 4-year-old patient with multiple caries had an imbalance of various chemical elements (see table 2) in the hair analysis. Patient was sent to an endocrinologist and was diagnosed with thyroid dysfunction.

**Table 5. Chemical elements content in hair of 4 year-old patient.**

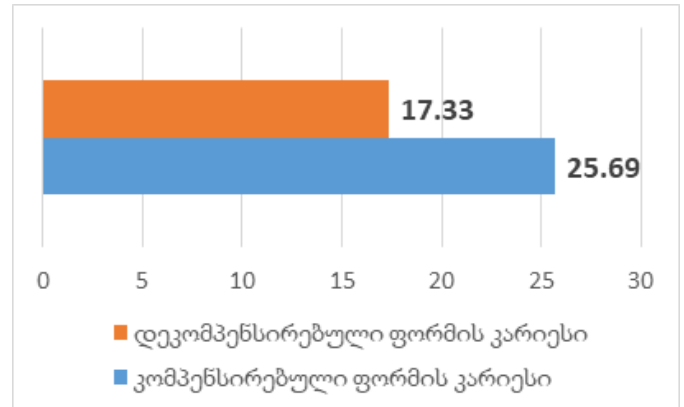
Elements	Mean (ppm)	Norm (ppm)
Ca	284.7	300-700
Zn	81.4	120-200
Fe	15.01	15-35
Se	0.20	0.3-1.2
Br	1.48	2.0-12
Cl	30.00	60-560
Pb	0.55	0.0-5.0

**Conclusion**

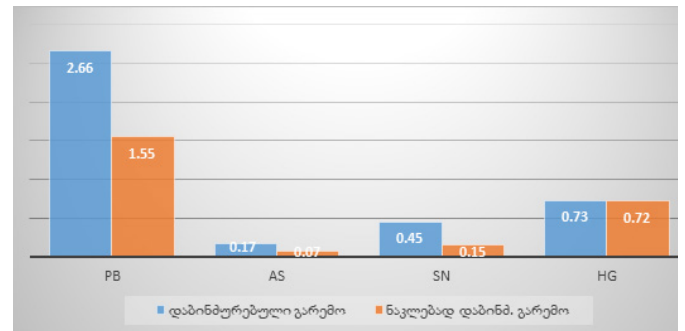
Hair chemical analysis by X-ray fluorescence spectrometry allows us to study the content of essential and toxic elements in the body. Hair is one of the most informative biosubstrate to monitor the disbalance of minerals in the human body. It also helps us to study the mineral content of dental hard tissues and plan treatment methods of demineralization.

Spectral analysis of the hair can also monitor the condition of the environment.

**დიაგრამა 2. თმის ღერში რკინის შემცველობა კარიესის კომპენსაციის დონის მიხედვით.**



ტოქსიკური ელემენტების შემცველობა (Pb, As, Sn, Hg) უფრო მაღალი იყო ეკოლოგიურად დაბინძურებულ პირობებში მცხოვრებ ბავშვებში, ვიდრე შედარებით ხელსაყრელ პირობებში მცხოვრებ პირებში (დიაგრამა 3).



ჩვენ მიერ ჩატარებული გამოკვლევით, მრავლობითი კარიესის მქონე პაციენტებს თმის ღერის ანალიზით გამოუვლინდათ სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანი ელემენტების დეფიციტი. განვიხილავთ რამდენიმე პაციენტის შემთხვევას: თმის სპექტრული ანალიზით მარნეულში მცხოვრებ 4 წლის პაციენტს, რომელსაც აღენიშნებოდა კბილების სისტემური დემინერალიზაცია გამოუვლინდა სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანი ელემენტების (Ca, Zn, Fe ) დაბალი დონე და ტოქსიკური ელემენტის (Pb) მომატებული შემცველობა (ცხრილი 1).

References

1. Micronutrients and human health. A section of Nutrients (ISSN 2072-6643).[https://www.mdpi.com/journal/nutrients/sections/Micronutrients\\_Human\\_Health](https://www.mdpi.com/journal/nutrients/sections/Micronutrients_Human_Health)
2. Edelstein B.(2006). The dental caries pandemic and disparities problem. BMC Oral Health. 6(1):S1–S2. doi: 10.1186/1472-6831-6-S1-S2.
3. Robinson C, Shore RC, et al.(2000). The chemistry of enamel caries. Crit Rev Oral Biol Med. 11(4):481–495. doi: 10.1177/10454411000110040601.
4. Hemagaran G.(2014).Remineralisation of the tooth structure—the future of dentistry. Int J PharmTech Res. 6(2):487–493
5. FY Cakir Y Korkmaz E Firat SS Oztas S Gurgan. (2011). Chemical Analysis of Enamel and Dentin Following the Application of Three Different At-home Bleaching Systems. Operative Dentistry, 36-5, 529-536.
6. Vladimir Otmakhov, Irina Kuskova, Elena Petrova, Evgeniy Rabchevich, Nadegda Kataeva and Inessa Shilova. (2016). New method of spectral analysis of human hair. AIP Conference Proceedings 1772, 050002; <https://doi.org/10.1063/1.4964572>
7. Caries Process and Prevention Strategies: EpidemiologyEpidemiology: The DMF Index. Edward Lo, BDS, MDS, PhD, FHKAM. <https://www.dentalcare.com/en-us/professional-education/ce-courses/ce368/epidemiology-the-dmf-index>

**ცხრილი 1. მარნეულში მცხოვრები 4 წლის პაციენტის თმის ღერში ქიმიური ელემენტების შემცველობა.**

ელემენტი	შემცველობა (მკგ/გ)	ნორმა (მკგ/გ)
Ca	288	300-700
Zn	97	120-200
Fe	13,7	15-35
Pb	5	0.0-5.0

4 წლის პაციენტს, რომელსაც აღენიშნებოდა ნაწლავური დისბიოზი და კბილების მრავლობითი კარიესი, გამოუვლინდა კალციუმის მნიშვნელოვანი დეფიციტი - 269 მკგ/გ (ნორმა - 300-700 მკგ/გ), რაც სავარაუდოდ დაკავშირებული იყო ნაწლავებიდან კალციუმის შეთვისების დარღვევასთან.

ასევე, 4 წლის პაციენტს, რომელსაც აღენიშნებოდა მრავლობითი კარიესი, თმის ღერის ანალიზით გამოუვლინდა მრავლობითი ქიმიური ელემენტის დისბალანსი (ცხრილი 2), პაციენტი გაიგზავნა ენდოკრინოლოგთან და მას დაუდგინა ფარისებრი ჯირკვლის დაავადება.

**ცხრილი 2. ქიმიური ელემენტების შემცველობა 4 წლის პაციენტის თმის ღერში.**

ელემენტი	შემცველობა (მკგ/გ)	ნორმა (მკგ/გ)
Ca	284.7	300-700
Zn	81.4	120-200
Fe	15.01	15-35
Se	0.20	0.3-1.2
Br	1.48	2.0-12
Cl	30.00	60-560
Pb	0.55	0.0-5.0

**დასკვნა:** რენტგენო-ფლუორესცენტური სპექტრომეტრიის მეთოდით თმის ღერის ანალიზი საშუალებას გვაძლევს გამოვიკვლიოთ ორგანიზმში სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანი და ტოქსიკური ელემენტების შემცველობა. თმის ღერი ორგანიზმში მინერალური დისბალანსის შესასწავლად ერთ-ერთი ყველაზე ინფორმატიული ბიოსუბსტრატია. ის ასევე გვაძლევს ინფორმაციას კბილის მაგარ ქსოვილებში მინერალების შემცველობაზე და გვეხმარება სწორი მკურნალობის დაგეგმვაში კბილების დემინერალიზაციის დროს. თმის სპექტრული ანალიზით ასევე შესაძლებელია გარემოს მდგომარეობის მონიტორინგი.