

UDK 628.517.2 : 699.84 : 621.311.21

PRIKAZ ISPITIVANJA I MODEL REDUCIRANJA BUKE U TURBINSKOM POSTROJENJU HIDROELEKTRANE

DESCRIPTION FOR ANALYSING AND MODEL OF NOISE REDUCTION IN THE TURBINE FACILITY OF HYDROELECTRIC POWER PLANT

Nikola TRBOJEVIĆ – Milan IKONIĆ – Igor DŽAMBAS

Sažetak: Buka u hidroelektranama izravno utječe na zaposlenike ako je njezin intenzitet iznad dopuštenih, zakonom propisanih granica. U ovom radu prikazan je model rješavanja problema buke u postrojenju hidroelektrane.

Ključne riječi: - buka
- hidroelektrana vodne turbine
- redukcija buke

Abstract: The noise in hydroelectric power plants directly affects the employees if its intensity is higher than permitted values, according to the legal regulations. This paper provides the description of a model for solving the problem of noise reduction in one hydroelectric power plant.

Keywords: - noise
- hydroelectric power plant water turbine
- noise reduction

1. UVOD

Buka je popratna pojava svih ljudskih aktivnosti. Ako njezin intenzitet prelazi zakonom dopuštene granice, a to je prema *Europskim normama (EN)* 85 dB, moraju se poduzimati odgovarajuće mjere kako bi se spriječio štetan utjecaj buke na zaposlenike, na opremu i objekte, a naposljetku i na okruženje samog sustava. U ovom je radu izložen primjer izračuna redukcije buke u hidroelektrani gdje je buka koja je nastajala kod rada postrojenja bila iznad dopuštenih granica [1].

2. PROJEKTNI ZADATAK

Projektni zadatak definiran je kroz pisani i usmeni zahtjev investitora za izradu projekta zvučne zaštite i akustičke obrade prostora kao i opisima projektnog zadatka.

Zbog složenosti pristupa i postrojenja izvedba akustičke opreme mora se uskladiti s potrebama održavanja postrojenja i zahtjevima korisnika. Prema iskustvenim pokazateljima izvođača projekta, potrebno je predvidjeti najveće moguće smanjenje buke unutar prostora turbine u odnosu na postojeće stanje. Prema preliminarnim mjerenjima dimenzija prostora i mjerenjima razine buke, potrebno je izraditi projektnu dokumentaciju redukcije buke za prostore turbine s izradom potrebnih dopunskih izmjera, mjerenja i proračuna, crteža s presjecima i rješenjima za smanjenje buke. Prethodno treba napraviti idejni projekt. Projektom se predviđa obraditi:

- smanjenje reflektivne buke akustičkom obradom dijela zidova i stropa,

1. INTRODUCTION

Noise is a side effect of all human activities. If its intensity exceeds the limits permitted by law, European Norms (EN) allow 85 dB, appropriate measures have to be taken to prevent harmful impact of noise on employees, equipment, facilities and finally on the environment. In this work, an example of the calculation of noise reduction in the hydroelectric is presented, where the noise, produced at the plant, was above the permitted limits.

2. PROJECT TASK

The project's task is defined through request of investors to create a project of sound protection and acoustic arrangement of space as well as descriptions of the project task.

Due to complexity, the project of acoustic equipment has to match the needs of maintenance and the user's requirements. According to the experience of designers, it is necessary to predict the possible reduction of noise within the space of turbines. According to preliminary dimensional measurements and measurements of noise levels, it is necessary to create project documentation of noise reduction for turbine placements. A preliminary project has to be made. It is necessary to perform the necessary measurement and calculation, to make the drafts, cross sections and after all alternative solutions for reduction of noise levels. The project stipulates the processing of:

- ugradnja izolacijske i pomične barijere na poziciji ograde platforme turbine,
- projekt izravne zvučne izolacije dijela cijevi turbine,
- projekt izolacije poklopca prema generatoru,
- izrada prethodne i završne karte buke prostora.

Projekt treba biti izveden u skladu s važećim hrvatskim zakonima, propisima i prema pravilima struke [2-11]. Na osnovi mjerenja, idejnog projekta te odabira prihvatljivih rješenja, s obzirom na održavanje, izrađuje se odgovarajući glavni/izvedbeni projekt s troškovnikom za izvedbu.

3. REZULTATI MJERENJA I ANALIZA

Za izračun apsorpcije korištena je jednadžba (1):

$$A = \sum S_i \cdot \alpha_{sr} = \frac{0,161 \cdot V}{T}, \quad (1)$$

gdje je:

S_i – površine pojedinih ploha [m^2]

α_{sr} – srednji Sabinov koeficijent apsorpcije prostorije

V – volumen prostorije [m^3]

T – vrijeme odjeka [s]

odnosno smanjenje buke prije i poslije postavljanja apsorpcijske obloge, koje se može izraziti jednadžbom (2):

$$\Delta L = 10 \log (A_{\text{after}} / A_{\text{before}}), \text{ [dB]}, \quad (2)$$

gdje je:

A_{poslije} – apsorpcija poslije postavljanja obloge,

A_{prije} – apsorpcija prije postavljanja podloge.

3.1. Opis i rezultati mjerenja

Rezultati mjerenja odnose se na akustičke karakteristike prostora i na način prostiranja buke, pod utjecajem rada postrojenja turbine [12, 13], s izvora buke u okolni radni prostor. Na osnovi izmjerenih vrijednosti konstatira se da je postojeća razina buke znatno veća u slučaju rada postrojenja u podopterećenju. Razlika između najvećeg i najmanjeg opterećenja iznosi 6 dB.

Svi građevinski elementi prostorija izgrađeni su od betona, a dijelom su ostakljeni. Postrojenje je čelično. Volumen oglednog prostora mjerenja (prostor C) iznosi 460 m^3 . Mjerenja razina buke vršena su duž prostora, uz same uređaje i prema izlazu te u okolnim vanjskim prostorima unutar strojarnice.

Izmjerene vrijednosti razina buke različite su u pojedinim dijelovima postrojenja. Pri podopterećenju izmjerene vrijednosti razina buke uz uređaje iznosile su od

- reflected noise reduction by acoustic processing of the wall and ceiling,
- installation of movable isolated barriers at the platform fence of the turbine,
- designing of sound insulation of some turbine pipes,
- designing of insulation of the generator cover ,
- drawing the previous and final map of noise in space.

The project should be made in accordance with applicable national legislation, regulations and rules of the profession. On the basis of measurement, conceptual design and the selection of acceptable solutions, with regards to maintenance, the appropriate master project with a cost estimate for the performance will be created.

3. MEASUREMENT RESULTS AND ANALYSIS

For the calculation of absorption the following equation is used (1):

where:

S_i – the surface of each flat [m^2],

α_{sr} – middle Sabin's coefficient of absorption of rooms,

V – volume of space [m^3],

T – echo reflecting time [s].

i.e., calculation of reducing the noise before and after placing the absorption coverings, equation (2):

where:

A_{after} – absorption after setting the coverings [m^2],

A_{before} – absorption before setting surfaces [m^2].

3.1. Description and results of measurements

The results of measurements relates to the acoustic characteristics of space and the way of spreading the noise from the sources to the surrounding working area, which is under influence of the work of the turbine [12, 13]. Based on the measured value of the noise, it can be concluded that the existing level of noise is significantly larger in the case of the work under the equipment. The difference between the minimal and maximal level of work is 6 dB.

All building elements of hydroelectric power plants (HPP) are from the concrete and are partly glazed. Equipment is from steel. The volume of the area (area C) is 460 m^3 . Noise level measurements were performed along the space, close to facilities, towards the exit and surrounding the outdoor areas in the engine block.

Measured values of noise are different in certain parts of

97 do 101 dB. U prostoru oko turbine ta se vrijednost kretala od 95 do 97 dB.

Prema frekventnim karakteristikama, može se reći da je maksimalna vrijednost razine buke nešto iznad sredine frekventnog polja, tj. najčešće od 1000 do 1250 Hz. Određeni nepovoljni manji skok buke vidljiv je i na frekvenciji od 125 do 60 Hz, ali je tu razlika blizu 10 dB te je potrebna redukcija buke na frekvencijama oko 1000 Hz.

Zbog konstantnog rada postrojenja nije bilo moguće izravno snimiti vrijeme odjeka u prostorima, ali se zbog poznavanja ostalih elemenata ono moglo pretpostaviti, tj. odrediti koeficijent apsorpcije postojećih površina.

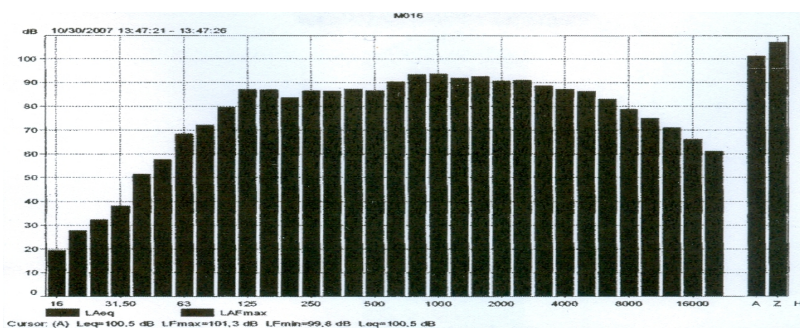
Projektom će se ipak pokušati vrijeme odjeka maksimalno smanjiti postavljanjem apsorpcijske obloge na pojedine slobodne plohe zidova i stropa. Izgled nekih karakterističnih vrijednosti buke po frekventnom spektru dan je na slikama 1 i 2.

the plant. For the case of being under work, measured values of noise vary from 97 to 101 dB. In the space around the turbine, this value ranged from 95 to 97 dB.

Considering the frequency characteristics, it can be said that the maximum value of the noise is above the centre of frequency fields, i.e. most often from 1000 to 1250 Hz. Some small unfavorable jump in noise level is visible on the frequency from 125 to 60 Hz, but the difference is almost 10 dB and a reduction of noise at frequencies around 1000 Hz is required.

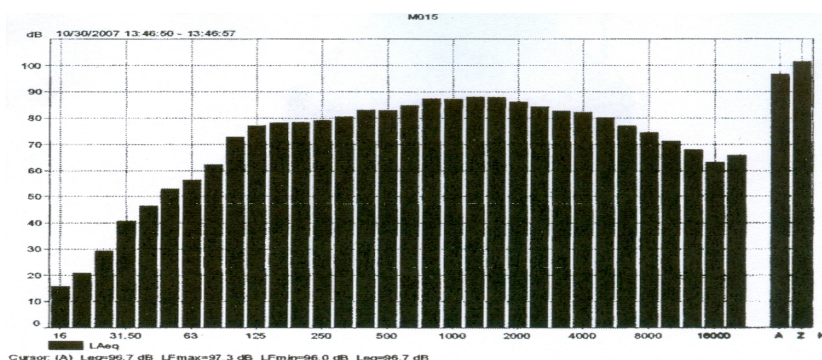
Because of the constant work of the plant, it was not possible to record a time of echo reflection in the space. But the knowledge of the other elements gives the possibility of assuming, i.e. determining the coefficient of absorption of the mentioned space.

The project will try to reduce the echo reflection time by setting the absorption coverings on free surface of walls and ceiling. The appearance of some characteristic values of the noise within the frequency spectrum is given in Figures 1 and 2.



Slika 1. Razine buke uz turbinsku cijev za slučaj podopterećenja.

Figure 1. Level of noise close the turbine pipe for the case of under load.



Slika 2. Razine buke na sredini prostora za slučaj podopterećenja.

Figure 2. The level of noise in the middle of the space for the case of under load.

4. MODEL REDUCIRANJA BUKE I IZBOR OPREME

4.1 Apsorpcijska obloga prostora

Ukupnu apsorpciju pojedinog prostora skloništa moguće je izračunati prema jednadžbi (3):

$$A = \sum S_i \cdot \alpha_{sr} \quad (3)$$

Prema izmjerama imamo $\sum S_1 \approx 350 \text{ m}^2$, uz postojeći prosječni koeficijent apsorpcije $\alpha_{sr} = 0,1$ iz čega proizlazi apsorpcijska površina:

$$A = \sum S_i \cdot \alpha_{sr} = 350 \cdot 0,1 = 35 \text{ m}^2 \quad (4)$$

Predviđena je ugradnja apsorpcijske obloge na neke dijelove zida i stropa prema dokumentaciji, ukupne površine po prostoru turbine od $S = 97 \text{ m}^2$. Slijedi ukupna očekivana apsorpcija nakon akustičke obrade zidova i stropa:

$$A_{\text{after}} = 97 \cdot 0,7 + 253 \cdot 0,1 = 93,2 \text{ m}^2 \quad (5)$$

očekivano smanjenje buke na 1000 Hz iznosi:

$$\Delta L = 10 \log \frac{93,2}{35} = 4,2 \approx 4 \text{ dB} . \quad (6)$$

4.2 Izravna zvučna zaštita

Izravna zvučna zaštita u obliku apsorpcijsko - izolacijskih panela s potrebnom konstrukcijom predviđena je na trima pozicijama:

- izolacija cijevi turbine
- izolacija-apsorpcija ispod platforme za hodanje
- izolacija otvora prema generatoru.

Materijali izolacije predviđaju se kao perforirani paneli s ispunom od mineralne vune i pocinčanim limom specifične težine 15 kg/m^2 .

Zbog nesavršenosti izvedbe i otvora koji se ne smiju potpuno zabrtviti stvarna izolacija je još za 5 dB lošija. Iz raspoloživih površina proizlazi ukupno smanjenje zvučne snage od približno iste vrijednosti.

Ukupni je efekt smanjenja razine izravne buke na poziciji kod platforme za hodanje 3 do 4 dB.

4.3 Zaštitne barijere

Postava barijera predviđena je na položaju ograde prostora

4. MODEL OF NOISE REDUCTION AND SELECTION OF EQUIPMENT

4.1 Absorbing covering of space

Total absorption of each shelter can be calculated according to equation (3):

$$A = \sum S_i \cdot \alpha_{sr} \quad (3)$$

According to measurement $\sum S_1 \approx 350 \text{ m}^2$ with the current average absorption coefficient $\alpha_{sr} = 0,1$ which resulted with absorbing surface:

$$A = \sum S_i \cdot \alpha_{sr} = 350 \cdot 0,1 = 35 \text{ m}^2 \quad (4)$$

Installation $S = 97 \text{ m}^2$ of absorbing coverings is predicted in some parts of the wall and ceiling accordingly to project documentation on a total surface area of the turbine. It follows that the expected total absorption after acoustic treatment of walls and ceiling is as follows:

$$A_{\text{after}} = 97 \cdot 0,7 + 253 \cdot 0,1 = 93,2 \text{ m}^2 \quad (5)$$

and the expected reduction of noise at 1000 Hz is:

$$\Delta L = 10 \log \frac{93,2}{35} = 4,2 \approx 4 \text{ dB} . \quad (6)$$

4.2 Direct acoustic insulation

Direct acoustic insulation in the form of absorbing panels with the necessary substructure is planned on three positions:

- Insulation of turbine pipes
- Absorber below floor
- Insulation of openings towards the generator.

Insulation materials are foreseen as the perforated panels filled by mineral wool and tin plated by Zinc with a weight of 15 kg/m^2 .

Due to imperfections of the performance and openings which may not be completely sealed, the actual insulation is still 5 dB for the worse. From the available size of the surfaces comes a total sound power reduction of approximately the same value. The overall effect of reducing the level of direct noise in the position of the floor is 3 to 4 dB.

4.3 Protection barriers

Setup of the barriers is anticipated on the position of the

turbine. One su važne, jer sprečavaju prolaz buke iz preostalih šupljina unutar opreme, kroz koje prolaze osovina i drugi dijelovi opreme. Na pozicijama ispod barijere može se smatrati da je njezina učinkovitost u smanjenju buke do 10 dB, ali kako je dijelom ostao prolaz buke iz osovinskog djela sa stropa – prolaza prema generatoru – ukupni se efekt dopunskog smanjenja buke procjenjuje na 3 do 4 dB. Budući da je prolaz buke kroz barijeru manji za minimalno 15 dB, to neće imati znatnijeg utjecaja na ukupni efekt smanjenja buke koji je postignut dogradnjom barijera.

5. ZAKLJUČAK

Postavljanje apsorpcijske obloge na slobodne površine zidova i stropa izvodilo bi se tako da ne ometaju postojeći rad turbine i ne umanjuju mogućnost pristupa uređajima ili održavanja. Provedena analiza pokazuje da se takvim zahvatima smanjuje refleksivna buka unutar prostora pojedine turbine za 4 dB.

Ugradnja samo barijera ne bi bitno smanjila razinu buke zbog preostalih slobodnih površina cijevi turbine koje bi ostale neizolirane i zbog otvora prema generatoru. Na poziciji ograde ne bi se, dakle, osjetio efekt ugradnje barijera.

Zbog istih razloga – slobodnih površina cijevi turbine – redukcijom buke samo prolaza prema generatorima smanjila bi se razina buke tek za 1 do 2 dB.

Izolacija samo cijevi turbine prema matematičkom modelu umanjuje razinu buke za 2 dB.

Izolacijom cijevi turbine i platforme za hodanje postiže se redukcija od 2,5 dB.

Redukcija buke cijevi turbine, platforme i otvora prema generatoru smanjuje razinu buke za 3 do 4 dB.

Unutar barijera, primjenom apsorpcije i izolacije cijevi turbine i otvora prema generatorima postigla bi se redukcija buke od 6 do 8 dB. Izvan barijera, redukcijom buke svih navedenih dijelova te apsorpcijom na zidovima i stropu razina buke može se smanjiti za 10 do 12 dB.

Kao maksimalni efekt redukcije buke u prvoj fazi može se predvidjeti postava apsorpcijske obloge i izravna izolacija cijevi turbine. Daljnja redukcija buke zahtijeva složeniju izgradnju i postavu preostalih elemenata zvučne zaštite.

Ako se želi zaštititi samo prolaz prema turbinama, u obzir bi došlo, kao najefikasnije, postavljanje apsorpcijsko - izolacijske stijene na otvoru prema turbinama i to od poda do stropa otvora, dijelom s ostakljenim panelima i zvučno izoliranim vratima. Ta varijanta uz primjenu apsorpcije po zidovima umanjuje razinu buke na prolazima cca 15 do 20 dB.

fence of turbine's space. They are important because it prevents the passage of noise from the remaining openings within the equipment, where the shaft and other parts pass. For positions below the protection barrier, it can be considered as the same efficiency up to 10 dB, but there remained a passage of noise through the ceiling-aisle openings towards the generator which resulted in an estimated total effect of additional noise reduction from 3 to 4 dB. Passage of sound through the noise barrier is lower for min. 15 dB, so it does not have a significant impact on the overall effect of noise reduction for upgrading dams.

5. CONCLUSION

Setting absorbing coverings on the free surface of the walls and ceiling would be performed so as not to disturb the work of turbines and to not detract from access to the equipment. From the analysis, it can be concluded that the effect of such a procedure is the reduction of the echo reflection of noise for 4 dB.

Reduction of noise with barriers will not significantly reduce the level of noise due to the remaining uninsulated turbine pipes and ceiling-aisle openings towards the generator, so the effect of barriers on the location of the fence will be felt.

Reduction of the noise in the passage towards the generator would also reduce the level of noise for about 1 to 2 dB for the same reason, due to uninsulated turbine pipes.

Isolation only of the turbine pipes due to the mathematical model reduces the noise level by 2 dB. Insulation of pipes and the turbine floor gives an amount of reduction of 2.5 dB.

Reduction of noise turbine pipes, floor and opening toward the generator provides a noise reduction level of 3 to 4 dB.

Within the barriers with the application of absorption and insulation of the turbine pipes and the openings toward generators, the noise reduction will be 6 to 8 dB. Outside the barriers, the reduction of noise of all the mentioned parts and absorption on the walls and ceiling can have the effect of reducing the level of noise by 10 to 12 dB.

The maximum effect of noise reduction in the first stage will be reached to set the absorbing lining and by direct isolation of turbine pipes. Further reductions of noise require some complex construction and setup of the remaining elements of sound protection.

If we want to protect only the passage toward turbines, the most effective method would be to set the absorbing-insulation wall at the opening towards the turbines from the floor to the ceiling openings with glazed panels and a sound isolated gate. This variation on the application of absorption on the walls reduces the noise level in passages by about 15 to 20 dB.

LITERATURA REFERENCES

- [1] Zakon o zaštiti od buke, Narodne novine br. 20/2003.
- [2] HRN EN ISO 140-4:1999 (en), Akustika – Mjerenje zvučne izolacije zgrada i građevnih elemenata – 4. dio: Terenska mjerenja zračne zvučne izolacije između prostorija
- [3] HRN EN ISO 140-5:1999 (en), Akustika – Mjerenje zvučne izolacije zgrada i građevnih elemenata – 5. dio: Terenska mjerenja zračne zvučne izolacije fasadnih elemenata i fasada
- [4] HRN EN ISO 140-7:1999 (en), Akustika – Mjerenje zvučne izolacije zgrada i građevnih elemenata – 7. dio: Terenska mjerenja udarne zvučne izolacije međukatnih konstrukcija
- [5] HRN EN ISO 717-1:1999 (en), Akustika - Vrednovanje zvučne izolacije zgrada i građevnih elemenata – 1. dio: Izolacija od zračnog zvuka
- [6] HRN EN ISO 717-2:1999 (en), Akustika - Vrednovanje zvučne izolacije zgrada i građevnih elemenata – 2. dio: Izolacija od udarnog zvuka
- [7] HRN EN ISO 3382:1999 (en), Akustika – Mjerenje vremena odjeka u prostorijama u odnosu na ostale akustičke pokazatelje
- [8] HRN U.J6.201:1989, Akustika u zgradarstvu - Tehnički uvjeti za projektiranje i građenje zgrada
- [9] HRN EN 20140-2:1998 (en), Akustika - Mjerenje zvučne izolacije zgrada i građevnih elemenata – 2. dio: Određivanje, provjera i primjena preciznosti podataka
- [10] HRN ISO/TR 140-13:2001 (en), Akustika – Mjerenje zvučne izolacije zgrada i građevnih elemenata – 13. dio: Smjernice
- [11] HRN EN ISO 140-14:2006 (en), Akustika – Mjerenje zvučne izolacije zgrada i građevnih elemenata – 14. dio: Smjernice za posebne situacije na terenu
- [12] HARTOG, D.J.P.: *Vibracije u mašinstvu*, Građevinska knjiga, Beograd, 1972.
- [13] KRPAN, M. i dr.: *Dinamika, teorija i primjena*, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 2001, ISBN 953-6326-25-6.

ZAHVALA

Članak je rezultat istraživanja u okviru projekta *Modeliranje naprednih proizvodnih struktura kod inteligentne proizvodnje* (broj projekta: 069-0692976-1740), koji je ostvaren uz potporu Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske.

Primljeno / Received: 1.03.2009.

Prethodno priopćenje

Nikola Trbojević
Veleučilište u Karlovcu
Josipa J. Strossmayera 9,
HR-47000 Karlovac
HRVATSKA
nikola.trbojevic@vuka.hr

Milan Ikonić
Igor Džambas
Tehnički Fakultet Sveučilišta u Rijeci
Vukovarska 58
HR-51000 Rijeka
HRVATSKA
mikonic@riteh.hr
igor.dzambas@riteh.hr

ACKNOWLEDGEMENT

This paper is derived from the scientific research project (Modeling of Advanced Production Structures of the Intelligent Manufacturing, 069-0692979-1740) supported by the Croatian Ministry of Science, education and sport.

Prihvaćeno / Accepted: 25.09.2009.

Preliminary note