

Uvod. Tema *Mogu li muzeji postati zeleniji?* iz perspektive Tehničkog muzeja Nikola Tesla (u daljnjem tekstu TMNT) može se sagledati na dva načina. Prvi se odnosi na prezentaciju zelenih tehnologija, obnovljivih izvora energije i energetske učinkovitosti u zgradarstvu, među ostalim i u muzejima, a drugi podrazumijeva uporabu obnovljivih izvora za pokrivanje energetske potrebe Muzeja.

Najprije, u TMNT-u postoji odjel stalnog postava *Obnovljivi izvori energije i energetska učinkovitost*, otvoren 14. svibnja 2013. u sklopu *4. zagrebačkog energetskog tjedna*.

Postav je podijeljen na dva osnovna dijela: prvi prikazuje različite oblike obnovljivih izvora – biomasu i biogoriva, energiju vjetra, vode, solarnu energiju (za proizvodnju električne energije i sanitarne tople vode) te geotermalnu energiju, dok su u drugom dijelu prikazani načini smanjenja potrošnje energije, odnosno postizanja energetske učinkovitosti prezentirani uz pomoć pasivne kuće, suvremene rasvjete i kućanskih uređaja koji troše manje energije od istih uređaja iz 1960-ih i 1970-ih godina.

Prezentacija obnovljivih izvora energije u TMNT-u obogaćena je nedavno postavljenom atraktivnom tehničkom sobom u dvorištu Muzeja, koja služi za smještaj geotermalne dizalice topline, a nastala je kao rezultat EU projekta *Cheap-GSHPs*. Geotermalna dizalica topline služi za grijanje i hlađenje izložbene dvorane TMNT-a. Transparentne (staklene) prednje stijene tehničke sobe omogućuju vidljivost svih ugrađenih komponenata, a na monitoru je objašnjena funkcionalnost dizalice topline. Stoga ona, osim svoje funkcionalne zadaće, ima i prezentacijsku ulogu.

Potrebno je napomenuti kako je zgrada TMNT-a zaštićeno kulturno dobro, prva zgrada Zagrebačkog velesajma, djelo arhitekta Marijana Haberlea, reprezentativni primjerak drvene urbane arhitekture 20. stoljeća. U prošlom desetljeću obnovljena je unutrašnjost drvene hale u kojoj je smješten stalni postav. Osim obnove drvenih nosivih stupova (rešetkasta konstrukcija) obnovljena su vanjska pročelja, a tijekom obnove pročelja stara prozorska stakla zamijenjena su novim izolacijskim staklima, uz odobrenje Gradskog zavoda za zaštitu spomenika kulture i prirode. Nova stakla osiguravaju manji tok topline između unutrašnjosti zgrade i okoline, no bitno je napo-



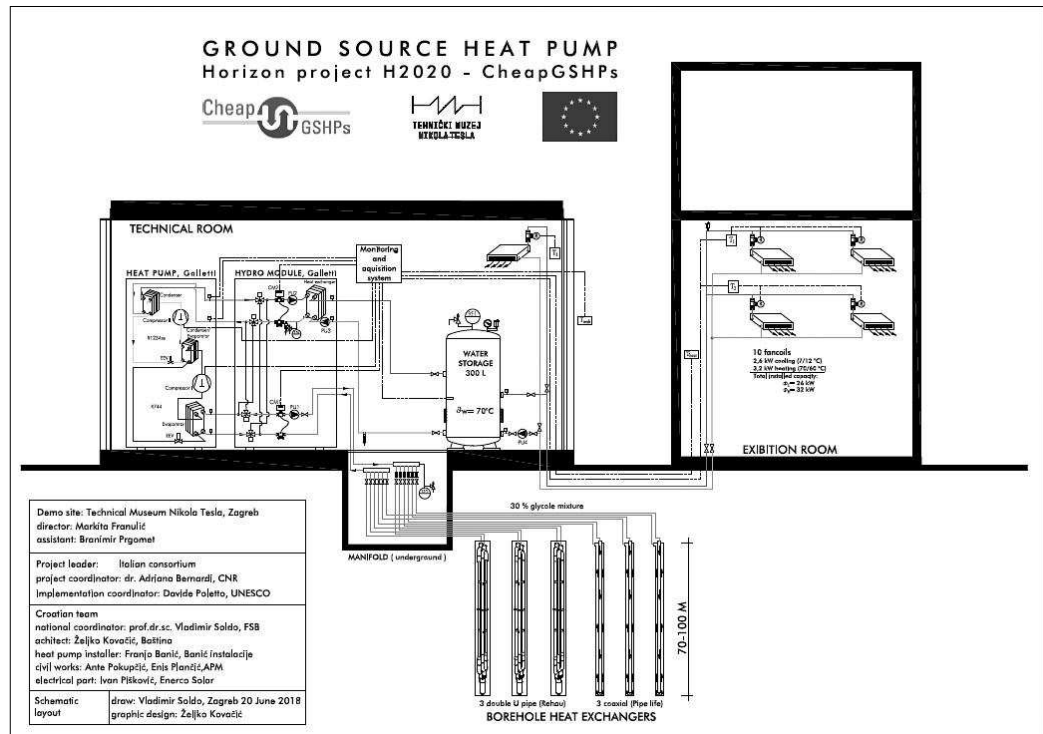
sl.1. Geotermalna dizalica topline, a nastala je kao rezultat EU projekta *Cheap-GSHPs*. Geotermalna dizalica topline služi za grijanje i hlađenje izložbene dvorane TMNT-a.

menuti kako stalni postav TMNT-a i dalje nema sustav grijanja i hlađenja te su mikroklimatski uvjeti u postavu kako u ljetnim, tako i u zimskim mjesecima za posjetitelje izrazito neugodni.

Ukratko o projektu *Cheap-GSHPs*

Cheap Geothermal Systems Heat Pumps projekt je financiran iz EU programa za istraživanje i inovacije *Horizon 2020*. Cilj projekta bio je razvoj geotermalnih sustava većeg stupnja iskoristivosti i smanjenje troškova instalacije, s težištem na unapređenju postojećih vertikalnih izmjenjivača topline, i razvoj koaksijalnih geotermalnih izmjenjivača. Posebno je naglašena korisnost ugradnje takvih sustava u zaštićenim kulturnim objektima. Kako bi se ostvario cilj projekta, sastavljen je multidisciplinarni i komplementarni konzorcij specijalista različitih područja. Koordinator cijelog projekta bio je Institute of Atmospheric Science and Climate – National Research Council (CNR-ISAC) iz Padove, u Italiji, dok je koordinator za primjenu geotermalnih sustava na građevinama označenima kao kulturno dobro, među koje pripada i zgrada Tehničkog muzeja Nikola Tesla, bio UNESCO-ov regionalni ured u Veneciji. Za provedbu projekta odabrano je šest stvarnih i deset virtualnih lokacija. Lokacije su birane tako da pokriju različite europske prostore i različite klimatske uvjete te različita povijesna razdoblja, materijale i urbanističke strukture.

Konzorcij je kontaktirao Tehnički muzej Nikola Tesla u svibnju 2015. te su obavljeni preliminarni dogovori o tome može li TMNT biti demonstracijska lokacija pro-



sl.2. Shematski prikaz geotermalne dizalice topline. Geotermalna dizalica topline u TMNT-u sastoji se od šest vertikalnih izmjenjivača topline postavljenih u dvorište, na dubinama do 80 metara.



sl.3. Početak radova bušenja u dvorištu muzeja radi realizacije geotermalne dizalice topline

sl.4. Tehnička soba u izgradnji, prostor u kojemu je smještena dizalica topline i hidraulički modul.

jekta i pružiti svu administrativnu i tehničku potporu. U projektu je planiran sustav koji bi proizvodio 35 kW toplinske snage te je u dogovoru s konzorcijem odlučeno da će se sustav primijeniti za muzejsku dvoranu namijenjenu povremenim izložbama.

Muzej je preuzeo obvezu odabira mjesta za tehničku sobu, prostor u kojemu će biti smještena dizalica topline i hidraulički modul. Kako je riječ o znanstvenom projektu čiji rezultati još nisu bili verificirani, razina buke u tehničkoj sobi, kao i potreban prostor koji bi zauzimala, nisu bili poznati. Stoga je najprije odabrana jedna lokacija, za koju se kasnije, kad su bili poznati konačni parametri prostora i razine buke, pokazalo da nije primjerena za tu namjenu. Kao konačna lokacija tehničke sobe odabran je prostor u dvorištu, na jednome od zelenih otoka.

Projektom je prvotno bilo zamišljeno da se novougrađeni sustav priključi na postojeću infrastrukturu, no u izložbenoj dvorani, kao zapravo u svim izložbenim prostorima Muzeja, odgovarajuće infrastrukture nije bilo. Stoga je Muzej preuzeo obvezu pokriti troškove instalacije ventilokonvektora u dvoranu.

Geotermalna dizalica topline u TMNT-u sastoji se od šest vertikalnih izmjenjivača topline postavljenih u dvorište, na dubinama do 80 metara. U tehničkoj je sobi smješten hidraulički modul koji osigurava cirkulaciju medija između tla i dizalice topline te između dizalice topline i dvorane. Uz hidraulički modul smještena je i dizalica topline koja uz pomoć kompresora podiže temperaturu sa 15 °C, kolika je temperatura tla, na primjerice 60 °C, kolika je željena temperatura vode za grijanje prostorije. Dizalica topline ima mogućnost grijanja prostora zimi,

kada je temperatura tla veća od temperature zraka, i hlađenja ljeti, kada toplinu iz prostorije usmjeravamo u tlo hladeći tako prostoriju.

Shematski prikaz dizalice topline u dvorištu Muzeja obuhvaća prikaz šest vertikalnih izmjenjivača topline s tlom, elemente tehničke sobe i ventilokonvektore u izložbenoj dvorani. Shematski prikaz izradio prof. dr. sc. Vladimir Soldo s Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu (FSB-a), a oblikovanje tehničke sobe potpisuje arhitekt Željko Kovačić. Shematski je prikaz predložen na ekranu u Tehničkoj sobi.

Projekt Cheap uključio je dva nova elementa. Prvi su koaksijalni izmjenjivači topline, i to tri od ukupno šest vertikalnih izmjenjivača. Drugi je element dvostupanjska dizalica topline s novim, ekološki prihvatljivim rashladnim tvarima, HFO-1234ze (radi pri nižem tlaku) i CO₂ (radi pri visokom tlaku).

Riječ je o sustavu koji u cijelosti iskorištava obnovljivi izvor energije, konkretno, toplinu akumuliranu u tlu. Osim funkcionalne uloge, bila je to prava prilika za demonstraciju tehnologije geotermalnih dizalica topline u dvorištu Muzeja. Tako je omogućeno da posjetitelji mogu *in situ*, na primjeru funkcionalne geotermalne dizalice topline koja služi za grijanje/hlađenje/klimatizaciju (engl. *heating, ventilation and air-conditioning* ili HVAC) izložbene dvorane, dobiti zorno objašnjenje načela njezina rada.

Izvedba radova nije protekla bez poteškoća. Prva faza bila je bušenje i postavljanje vertikalnih izmjenjivača, za koju je konzorcij tvrdio da će trajati desetak dana, a potrajala je 53 dana. Tijekom te faze izvođač radova nije



osigurao sustav zbrinjavanja materijala izvučenog iz zemlje tako da je on dugo ležao razvučen po dvorištu Muzeja. Nakon završene faze bušenja ispostavilo se kako tri nova koaksijalna izmjenjivača propuštaju, te ih je bilo potrebno sanirati. Ipak, sve su poteškoće prevladane zahvaljujući velikom angažmanu svih sudionika. Projekt je poduprijet od strane Gradskog ureda za kulturu, tehničku potporu davao mu je prof. dr. sc. Vladimir Soldo s FSB-a, koji je bio nacionalni koordinator projekta, dok je arhitekt tehničke sobe bio Željko Kovačić.

Dizalica topline puštena je u rad u lipnju 2018. Konzorcij je u sklopu projekta godinu dana pratio rad dizalice topline mjereći temperaturu i vlažnost vanjskog zraka u dvorištu i u prostoru ispred dvorane te temperaturu i vlažnost u dvorani, temperaturu medija u dizalici topline, utrošenu električnu energiju i dobivenu toplinsku snagu. Dizalica topline sada ispunjava svoje dvije funkcije, kako onu osnovnu kojoj je namijenjena, tako i demonstracijsku, primjerenu prostoru Tehničkog muzeja Nikola Tesla.

Prezentacija obnovljivih izvora u Tehničkom muzeju Nikola Tesla

Tehnički muzej Nikola Tesla, uz ulogu klasičnog muzeja povijesti tehnike, u svom radu obavlja i zadaću popularizacije znanosti i tehnologije te tradicionalno ima iznimno veliku edukativnu funkciju. Ne može se reći da je TMNT znanstveni centar kakvim ga je zamislio njegov idejni začetnik Božo Težak 1950-ih godina, ali zasigurno ima snažnu ulogu u popularizaciji znanosti i edukaciji. Uz ostale aktivnosti, TMNT je organizator najveće manifestacije popularizacije znanosti u Hrvatskoj – *Festivala znanosti*, te niza drugih edukativnih programa. U brojnim školskim grupama koje svake godine posjećuju postav



edukacijsku funkciju Muzeja dodatno naglašava postav posvećen obnovljivim izvorima energije i energetske učinkovitosti.

Obnovljivi se izvori energije prezentiraju u prostoru stalnog postava, u odjelu *Obnovljivi izvori i energetska učinkovitost*, te su obuhvaćeni vodstvima grupa kroz Muzej. Posebna se pozornost pridaje obnovljivim izvorima energije tijekom *Zagrebačkoga eneretskog tjedna* te *Europskog tjedna mobilnosti*, dviju manifestacija koje se održavaju svake godine i u kojima TMNT sudjeluje kao jedan od organizatora. *Zagrebački energetski tjedan* održava se od 2010., a cilj mu je promocija uvođenja mjera energetske učinkovitosti, smanjenja emisije stakleničkih plinova, uporabe obnovljivih izvora energije i sl. *Europski tjedan mobilnosti* pokrenut je 2002., a riječ je o europskoj inicijativi koja potiče gradove na uvođenje prijevoznih sredstava koja troše energiju iz obnovljivih izvora i promicanje održivih i alternativnih mogućnosti prijevoza. Gledajući u kontekstu zaštite okoliša, TMNT tijekom *Europskog tjedna mobilnosti* poseban naglasak stavlja na prezentaciju upotrebe hibridnih i električnih vozila te raznih drugih alternativnih oblika pogona poput vodikovih gorivih ćelija, biogoriva i sl.

sl.5. Pogled na dio stalnog postava „Obnovljivi izvori energije i energetska učinkovitost“.

sl.6. Pogled na dio stalnog postava „Obnovljivi izvori energije i energetska učinkovitost“.

Zaključak. Tehnička soba postala je dio stalnog postava Muzeja, kao i drugi predmeti smješteni u njegovu dvorištu. Osim njezine stalne prezentacije kao dijela postava, ona je također uključena u vodstva različitih grupa posjetitelja kroz Muzej. TMNT svojim radom nastoji biti mjesto susreta akademske i znanstvene zajednice s osnovnim i srednjim školama te s publikom svih profila. Geotermalna dizalica topline jedna je od točaka tih susreta.

Željene perspektive za budućnost

Geotermalna dizalica topline postavljena u Tehničkome muzeju Nikola Tesla tijekom projekta *Cheap-GSHPs* možda je pravi primjer koji nas može usmjeriti prema željenim perspektivama u budućnosti.

Prije uvođenja HVAC sustava u Muzej svakako bi trebalo ispitati toplinski tok kroz zidove zgrade te ga, ako je moguće, pokušati smanjiti, odnosno toplinski bolje izolirati zgradu. Naime, ugradnja izolacijskih stakala koja je obavljena tijekom obnove pročelja svakako je dobar primjer kako se može poboljšati izolacija zgrade. Poboljšanje cjelokupne izolacije zgrade mnogo je zahtjevniji proces koji podrazumijeva interdisciplinarno djelovanje kako bi se vidjelo koji su zahvati uopće mogući, poput djelomičnog uklanjanja vanjske oplata radi popunjavanja međuprostora izolacijskim materijalom (pjenom, vunom i sl.), te vraćanje oplata u istovjetno stanje. Potrebno bi bilo izraditi analizu postojećih tehnologija te financijsku konstrukciju projekta. Projekt bi se morao usuglasiti s Gradskim zavodom za zaštitu spomenika kulture i prirode, a trebale bi ga izraditi renomirane tvrtke s područja projektiranja HVAC sustava za velike prostore. Vjerojatno je nužna i suradnja s Energetskim institutom *Hrvoje Požar* te s Regionalnom energetskom agencijom sjeverozapadne Hrvatske REGEA-om, uz stalni nadzor Gradskog zavoda za zaštitu spomenika kulture i prirode.

Nakon bolje izolacije zgrade slijedi analiza dostupnih tehnologija HVAC sustava i odabir optimalnog rješenja. Geotermalna, koja je primijenjena za izložbenu dvoranu TMNT-a, jedna je od mogućih. No rješenje bi mogla biti i dizalica topline povezana sa zrakom (također obnovljivi izvor energije). Koja god na kraju bila odabrana, njezina implementacija mora biti takva da vanjski izgled zgrade bude u cijelosti očuvan. Svakako bi izbor nove tehnologije bilo poželjno ograničiti na obnovljive izvore, a konačni bi projekt morao uključivati i projekciju troškova održavanja takvog sustava.

Zaključno, projekt *Cheap-GSHPs* može poslužiti kao primjer kako tu tehnologiju istodobno i prezentirati te promovirati upotrebu potpuno obnovljivih izvora energije na mjestu koje je najprikladnije za njihovu promociju – u prostoru Tehničkog muzeja Nikola Tesla.

Šireći perspektivu dalje, zašto ne bismo mogli zamisliti postavljanje solarnih panela ili male funkcionalne vjetroelektrane na krovu Muzeja ili u dvorištu, poput jedne koja

je instalirana na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu? Solarnom bismo energijom mogli proizvoditi svu sanitarnu toplu vodu potrebnu Muzeju, a solarnom energijom i energijom vjetra svu potrebnu električnu energiju. Na taj bi način Tehnički muzej Nikola Tesla postao zgrada nulte energetske potrošnje, što je svakako perspektiva budućeg zgradarstva, a ta bi nulta potrošnja bila ostvarena u zgradi drvene urbane arhitekture 20. stoljeća. Usto, TMNT bi postao svojevrsan park obnovljivih izvora i promocije suvremene tehnologije i nulte energetske potrošnje u zgradarstvu. Drugim riječima, u potpunosti pravi zeleni muzej.

U naslovu članka je upitnik jer sam svjestan koliko je navedena vizija teško ostvariva i koliko je dug put do nje. Jedna od mogućih poteškoća je nosivost zgrade, koja ne bi mogla podnijeti dodatno opterećenje solarnih panela. Dok bi se ta poteškoća teoretski mogla svladati ugradnjom dodatnih čeličnih ojačanja, veći je problem narušavanje vizure zgrade. Upitno je kako bi se taj problem mogao svesti na minimum i postati prihvatljiv. Ipak, primjeri dobre prakse u kojima su svi sudionici usmjereni na rješavanje problema, poput projekta *Cheap GSHPs*, jasno nas usmjeravaju prema dobrom cilju.

Primljeno: 30. svibnja 2020.

THE TECHNICAL MUSEUM NIKOLA TESLA – ON THE WAY TO GREEN MUSEUM?

In the Technical Museum Nikola Tesla the theme of green museums and green technology has a dual meaning. One of them refers to the application of renewable sources for the energy needs of the museum building. The other relates to the presentation of green technologies to the general public. In 2013 a department of the permanent display of the museum was opened that is dedicated to renewable sources and energy efficiency.

In June 2018, a geothermal heat pump created as part of the project Cheap GSHPs (Ground Source Heat Exchangers and Pumps) came on line. Today this geothermal heat pump is used for the heating and cooling of the exhibition rooms and the engine room in which the main elements of the system are housed is also in itself an exhibit, in the yard of the museum, in fact, part of the permanent display, just like other objects in the yard. The front walls of the engine room are transparent, so that the main elements are visible, and it is also equipped with a screen on which geothermal systems are explained in an educational and intelligible manner.

The engine room of the GSHP is together with the department of renewable sources of energy and energy efficiency actively involved in group guided tours and is in fact one of the points of encounter between the scientific and academic community on the one hand and the schools and general public on the other. The project Cheap GSHPs is a useful example of how in the future the issues of meeting energy needs can be handled making use of renewable sources at the same time as it presents available technologies and zero energy consumption.



sl.7. Jedan od đlačkih posjeta odjelu stalnog postava Obnovljivi izvori energije i energetska učinkovitost.

sl.8. Grupa društva pedagoga i profesor Vladimir Soldo