

TECHNE 20

PULA
STUDENI
2025

ČASOPIS ZA POLITEHNIČKU OBRAZOVNU TEORIJU I PRAKSU



TECHNE 20

ČASOPIS ZA POLITEHNIČKU OBRAZOVNU TEORIJU I PRAKSU

PULA - STUDENI 2025

Osnivač i nakladnik | Founder and Publisher

TECHNE Udruženje inženjera Pula

52100 Pula, Josipa Voltića 14

Tel. +385 98 213 931

www.techne.hr

davor.miskovic@techne.hr

radovan.jokic@techne.hr

Za nakladnika | For Publisher

mr.sc. Davor Mišković

Uredništvo | Editorial Board

mr.sc. Radovan Jokić, Kristijan Matas, Milenko Jokić

Uređivački odbor

Prof. dr.sc. Imre Felde, Óbuda University Budapest,

Prof. dr.sc. Wojciech Sitek, Politechnika Śląska Gliwice,

dr.sc. Viktor Lovrenčić, C&G Ljubljana,

Prof. dr.sc. Božo Smoljan, Sveučilište Sjever Koprivnica,

dr.sc. Srđan Žutobradić,

Doc. dr.sc. Dario Iljkić, RITEH Rijeka

Prof. dr.sc. Sven Maričić, Sveučilište "Juraj Dobrila" Pula i

mr.sc. Davor Mišković, Techne.

Glavni urednik | Editor

mr.sc. Radovan Jokić

Grafički urednik | Editor

Dražen Tomić

Naslovnica | Cover

Igor Zirojević

Časopis izlazi najmanje jedan puta godišnje.

UDK 33

51/53

62

ISSN 1333-2643

SADRŽAJ

Davor Mišković, Radovan Jokić	Uvodna riječ	5
Radovan Jokić, Milenko Jokić	Točniji proračun godišnje proizvodnje električne energije vjetroelektrane	6
Mihael Grubišić Šeba, Hrvoje Dorotić	Utjecaj pučinskih vjetroelektrana na gospodarstvo	20
Marin Miletić, Andro Bačan	Razvoj pučinskih vjetroelektrana u kontekstu utjecaja na okoliš i ribarstvo	24
Marko Kršulja, Damir Karabaić Kapular Saša, Saša Stiković	Procjena i izbor mjera za smanjenje buke u industriji	27
Sandra Balde	Adhezija Ni –P prevlake i supstrata	34
Rade Čuturilo	Radon u našim domovima	39
Alida Perkov	Storytelling povijesnog nasljeđa u južnoj Istri na primjeru Paula Kupelwiesera	48

UVODNA RIJEČ

Dragi čitatelji, poštovane kolegice i kolege,

Sa zadovoljstvom vam predstavljamo dvadeseti broj časopisa *TECHNE*, koji nakon dužeg razdoblja ponovo okuplja autore, stručnjake, inženjere, istraživače i sve one koji vjeruju da tehnološki razvoj mora imati za cilj unapređenje kvalitete života i održivu budućnost. Ovaj jubilej nije samo broj, već potvrda naše misije da gradimo prostor za stručno promišljanje, razmjenu iskustava i povezivanje znanosti, prakse i zajednice.

Središnja tema ovog broja usmjerena je na obnovljive izvore energije, posebno vjetroenergiju kao sve važniji segment energetske strategije Hrvatske i Europe. Članci o točnijim metodama izračuna proizvodnje električne energije vjetroelektrana te o ekološkim i gospodarskim aspektima razvoja pučinskih vjetroelektrana ukazuju na kompleksnost tranzicije prema čistoj energiji. Jasno je da prijelaz prema budućnosti niske emisije zahtijeva interdisciplinarni pristup, precizne podatke, učinkovite regulatorne okvire i suradnju između znanosti, industrije i javnosti.

Ovaj broj donosi i radove posvećene sigurnosti i kvaliteti industrijske proizvodnje: od analize buke u radnom okruženju i izbora mjera zaštite radnika, do istraživanja adhezije prevlaka i poboljšanja funkcionalnih svojstava materijala. Sigurnost na radu i tehnološka pouzdanost ostaju temeljni preduvjeti odgovorne industrije.

Posebno ističemo i teme koje povezuju tehniku s društvom i kulturom. U tom kontekstu izdvajamo rad o radonu u domovima, koji naglašava važnost edukacije i prevencije radi zaštite zdravlja, kao i istraživanje o storytellingu povijesnog naslijeđa južne Istre kroz lik Paula Kupe-lwiesera — primjeru kako inženjerske vizije, poduzetništvo i kulturna baština mogu postati inspirativan resurs za razvoj zajednice.

Svaki od objavljenih radova potvrđuje širinu područja tehnike i našu posvećenost temama relevantnim za današnje i buduće generacije. Zahvaljujemo autorima, recenzentima, čitateljima i svima koji su doprinijeli da *TECHNE* ostane vrijedan prostor stručnog dijaloga.

Želimo vam poticajno čitanje i radujemo se novim susretima i suradnjama.

Predsjednik:
mr.sc. Davor Mišković

Glavni urednik:
mr.sc. Radovan Jokić

TOČNIJI PRORAČUN GODIŠNJE PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE VJETROELEKTRANE

Autori: mr. sc. Radovan Jokić, v. pred., Milenko Jokić, dipl. ing. stroj., pred.

Sažetak

Članak analizira točniji proračun godišnje proizvodnje električne energije vjetroelektrana, koristeći matematičke modele i numeričke metode. Razmatra se teorijska osnova energije vjetra, konverzija u električnu energiju putem vjetroturbina te Betzov zakon koji definira maksimalnu učinkovitost turbine. Objašnjavaju se ključni faktori poput koeficijent snage, faktor momenta i omjera brzine rotora i vjetra. Također, članak pruža konkretne rezultate proračuna proizvodnje električne energije za nekoliko lokacija u Hrvatskoj, koristeći podatke o brzini vjetra i karakteristike vjetroelektrana modela KE22/1 i FLODA 600. Rezultati proračuna ukazuju značajne razlike u iskoristivosti energije vjetra između analiziranih lokacija.

Ključne riječi: vjetroelektrana, energija vjetra, proračun proizvodnje, Betzov zakon, faktor snage, faktor momenta, numeričke metode, ekstrapolacija podataka, vjetroturbina, Hrvatska

1. UVOD

Vjetar je prvenstveno posljedica nejednolikog zagrijavanja površine Zemlje toplinskom energijom Sunca. Nejednoliko zagrijavanje zemlje uzrokuje dizanje toplog zraka (manje gustoće) i spuštanje hladnog zraka (veće gustoće), što stvara razlike u tlaku između područja. Zbog razlike tlaka, zrak struji od područja visokog tlaka prema području niskog tlaka. Dakle pod pojmom vjetra podrazumijevamo horizontalno gibanje zračne mase, koje nastaje djelovanjem nekoliko sila, koje pak imaju svoj uzrok u nejednolikom zagrijavanju Zemlje Sunčevim zračenjem, u rasporedu kopna i mora, izmjenom dana i noći, kao i o putanji Zemlje oko Sunca.

Budući da je razlog grijanju zemlje Sunčevo zračenje jasni su razlozi da se energija vjetra često smatra indirektnim oblikom sunčeve energije.

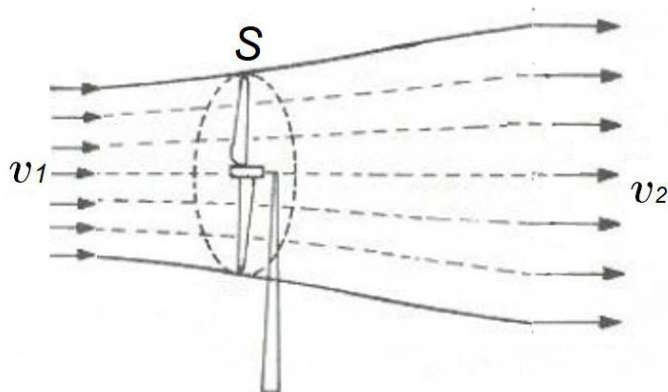
Glavni razlozi za korištenje energije vjetra je zaštita od promijenljivih i često rastućih troškova za naftu, konzervacija izvora energije koji se ne mogu obnoviti (fosilna goriva), te mogućnost korištenja energije na udaljenim lokacijama, a posebno na lokacijama gdje električna energija nije na raspolaganju. Korištenje energije vjetra nije štetno za okolinu jer vjetroturbine ne proizvode CO₂, ne emitiraju klor-flour-ugljike i ne doprinose stvaranju kiselih kiša. Naravno vjetroelektrane zauzimaju prostor koji bi se inače mogao koristiti u neke druge svrhe, te mogu, a ne moraju biti troškovno isplativi. Valja napomenuti da vjetroelektrana zauzima veoma mali prostor u odnosu na druge izvore el. energije. (Prostor je zauzet samo mjestom temelja i prilaznim putem) Troškovna efikasnost općenito ovisi o lokalnim uvjetima i gospodarstvu, te naravno, energiji vjetra koja je na raspolaganju na lokalitetu.

2. TEORIJSKA PODLOGA

Vjetroturbina je uređaj koji kinetičku energiju vjetra pretara u mehanički rad. Mehanički rad možemo koristiti neposredno ili ga pretvoriti u neki drugi vid energije. Razmotrimo temeljne

odnose u pretvorbi energije vjetra u mehanički učinak na primjeru vjetroturbine sa horizontalnim osi rotora.

Promatramo vjetroturbinu stavljen u slobodnu struju zraka [1,2,3,4,5], koje je model prikazan na slici 1. Prema vjetroturbini struji zrak brzinom v_1 (m/s). Struja zraka nakon prolaska kroz vjetroturbinu ima brzinu v_2 (m/s), m (kg) je masa zraka koja struji kroz vjetroturbinu, a S (m²) je površina kruga koju opisuju krila vjetroturbine.



Slika 1 Tok strujanja vjetra kroz vjetroturbinu

Brzina strujanja kroz površinu zahvata rotora jednaka je srednjoj vrijednosti brzina v_1 i v_2 tj.,

$$(v_1 + v_2)/2. \quad [\text{m/s}] \quad (1)$$

Volumni protok $\dot{V}$ jednak je umnošku brzine strujanja i površine zahvata rotora,

$$\dot{V} = S \cdot (v_1 + v_2)/2 \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (2)$$

a maseni protok je:

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V} = \rho S (v_1 + v_2)/2 \quad (3)$$

U (3) ρ je gustoća zraka na visini osi rotora u (kg/m³). Idealana snaga dobivena iz rotora vjetroturbine iskazuje se kao razlika kinetičke energije vjetra koja struji ka rotoru i kinetičke energije vjetra koji odstrujava od rotora. Dakle,

$$P_T = \frac{\dot{m}}{2} (v_1^2 - v_2^2) \quad [W = \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^3}] \quad (4)$$

Supstitucijom mase prema (3) u izraz (4) dobivamo:

$$P_T = \frac{\rho S}{4} (v_1 + v_2)(v_1^2 - v_2^2) = \frac{\rho S v_1^3}{4} \left(1 + \frac{v_2}{v_1}\right) \left(1 - \frac{v_2^2}{v_1^2}\right) \quad (5)$$

Ekstremne vrijednosti funkcije dobivamo iz:

$$\frac{d(P_T)}{d\left(\frac{v_2}{v_1}\right)} = 0 \quad (6)$$

Rješavanjem naznačena derivacije, može se pokazati da je:

$$3\left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 + 2\left(\frac{v_2}{v_1}\right) - 1 = 0 \quad (7)$$

Dakle:

$$\frac{v_2}{v_1} = +\frac{1}{3} \text{ ili } -1 \quad (8)$$

tj. $\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{3}$ za maksimalnu snagu. Supstitucijom ovog u (5), te sređivanjem dobivamo:

$$P_{Tmax} = \frac{8}{27} \rho S v^3 \quad (9)$$

To je Betz-ov izraz za maksimalnu snagu idealne vjetroturbine, površine zahvata rotora S , kod brzine vjetra v_1 . Brzina vjetra v_1 se obično označava sa v .

Snaga slobodne struje zraka kroz površinu bez zapreka jednaku radnoj površini zahvata rotora S je :

$$P = \frac{1}{2} \rho S v^3 \quad (10)$$

Dijeljenjem (9) sa (10) dobivamo:

$$\frac{P_{Tmax}}{P} = \frac{16}{27} = 0.593 \quad (11)$$

Koeficijent 0.593 se naziva Betzova granica, a prvi ju je uveo njemački inženjer Albert Betz [6]. Betzova granica se ne može premašiti nikakvim poboljšanjima sistema za konverziju energije vjetra. Dakle maksimalna snaga koja se može dobiti iz nekog rotora sa horizontalnom osovinom, pod pretpostavkom da je faktor korisnosti 100 %, je 59,3 % ukupne snage vjetra. Kod vjetroelektrane stvarna izlazna snaga ovisi o faktoru iskorištenja rotora, prijenosnog sustava i generatora. Odnos između snage vjetroturbine i snage slobodne struje vjetra naziva se koeficijent snage (C_p) [7,8,9]. Sada je lako pokazati da stvarna izlazna snaga vjetroturbine:

$$P = \frac{1}{2} \rho S v^3 \cdot C_p \quad (12)$$

gdje je : P = snaga u W

ρ = gustoća zraka na visini osi rotora u (kg/m^3)

S = radna površina zahvata propelera u (m^2)

v = brzina vjetra u m/s

C_p = koeficijent snage

Uz $\rho = 1,255 \text{ kg}/\text{m}^3$ iznosi: $P = 6.125 \cdot 10^{-4} S v^3 \cdot C_p$

Kao što je pokazano maksimalni koeficijent snage prema Betzu je 0.593, a realne turbine imaju $C_p \approx 0.45$. Kod rotora koji rade sa konstantnom obodnom brzinom snaga će varirati sa brzinom vjetra. Podešavanje C_p -a vrši se promjenom koraka lopatica rotora. Kod elektrana sa fiksnim korakom lopatica podešavanje se vrši na terenu kod instalacije kao dio postupka montaže rotora. Kod elektrana koje imaju promjenljivi korak lopatica rotora, podešavanje se vrši pomoću automatskog regulatora.

Stvarni učinak sistema na datoj lokaciji, odnosno njegovo optimalno prilagođenje vjetrovnim prilikama moguće je ocijeniti jedino kroz količinu proizvedene energije.

Još jedan važan parametar svojstva turbine je koeficijent zakretnog momenta C_M [7,8,9]. Moment rotora turbine se može iskazati sa:

$$M = C_M \frac{\rho}{2} S v^2 R \quad (13)$$

gdje je R polumjer rotor turbine. Snaga vjetroturbine je:

$$P = M \cdot \omega$$

Uvrštenjem momenta (13):

$$P = C_M \frac{\rho}{2} S v^2 R \omega \quad (14)$$

Omjer obodne brzine rotora $R\omega$ i brzine vjetra v se obično označava sa λ . U parametru $\lambda = \frac{R\omega}{v}$ su sadržane značajke vjetroturbine R – polumjer lopatica rotora (m), ω kutna brzina vrtnje (rad/s), te brzina vjetra v (m/s). Uvođenjem λ u (14) dobije se:

$$P = C_M \frac{\rho}{2} S v^3 \lambda \quad (15)$$

Iz jednadžbi (12) i (15) dobija se veza između koeficijenta snage i momenta:

$$C_M = C_P / \lambda \quad (16)$$

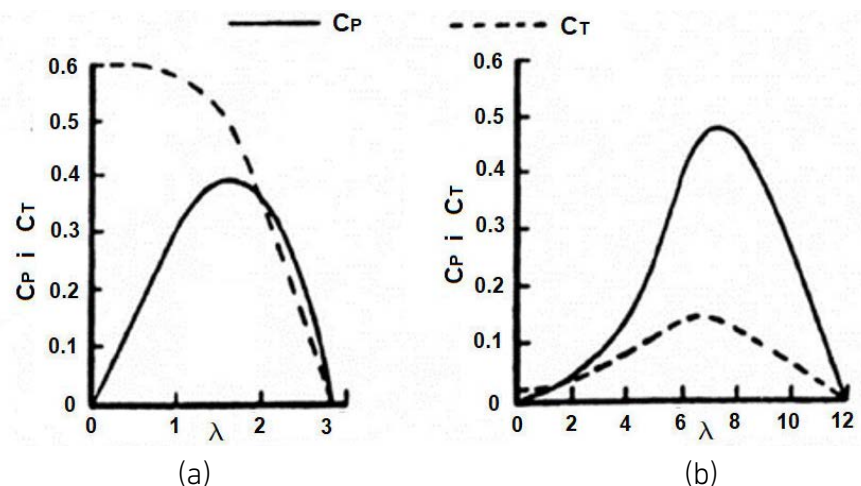
Koeficijent snage C_P , koeficijent momenta C_T te omjer obodne brzine rotora i brzine vjetra λ su važni bezdimenzionalni parametri koji se koriste za opis učinka turbine.

3. KARAKTERISTIKE VJETREOTURBINA

Kao što je navedeno uporaba vjetroturbina obuhvaća: pumpanje vode ili neki drugi mehanički učin s jedne strane ili, generiranje električne energije s druge. Potrebne karakteristike turbine, za svaku klasu primjene, veoma se razlikuju.

Općenito, veći startni moment i relativno niska brzina okretanja poželjni su za pumpanje vode. Veliki početni moment, od velike je pomoći kod pokretanja tereta, a niska brzina okretanja minimizira potrebu za reduktorom visokog prijenosnog omjera. Takva turbina obično je veoma kruta, lopatice pokrivaju veliki dio, recimo oko 80% radne površine rotora.

Za proizvodnju el. energije zahtjevi su skoro suprotni od onih za pumpanje vode. Visoki startni moment nije potreban budući da generator ne dolaze pod teret dok rotor ne dostigne radnu brzinu. Također je poželjno postići relativno veliku brzinu vrtnje jer je kompatibilnija sa radom generatora, i minimizira potreban multiplikator u sustavu za povećanje brzine koji spaja turbinu na generator. Takve turbine imaju obično mali broj lopatica, ponekad samo jednu, rijetko više od tri. Općenito, zbog toga što je moment nizak, a brzina rotora visoka, vrtloženje u struji iza rotor kod turbina je nisko i, shodno tome, dobiva se veći faktor snage od onog koji je moguć kod rotora uređaja za pumpanje vode sa manjom brzinom i većim momentom. Slika 2 pokazuje, tipične karakteristike kod turbina za pumpanje vode i turbina za pogon generatora.



Slika 2. Tipične karakteristike vjetroturbina za: (a) pumpanje vode, (b) za pogon generatora

4. KARAKTERISTIKE VJETROELEKTRANE KE22/1 I FLODA 600

Proračun energije vjetra vrši se za dva tipa vjetroelektrane i to vjetroelektrana KE22/1 [10] i FLODA 600 [11]. Osnovni tehnički podaci su prikazani u tablici 1.

Tablica 1

nazivna snaga[kW]	22	600
uključna brzina vjetra v_{uk} [m/s]	3.5	4
nazivna brzina vjetra v_n [m/s]	15	16
isklopna brzina vjetra v_{isk} [m/s]	25	35
maksimalna brzina vjetra v_{max} [m/s]	45	67
visina osi aeroagregata [m]	18,5	44
broj lopatica	3	3
promjer elise [m]	11	36
brzina vrtnje elise [°/min]	65*	13-42***

Vjetroelektrana KE22/1 je izvedena sa asinkronim generatorom i fiksnim korakom lopatica, dok FLODA 600 ima regulaciju kuta lopatica, sinkroni generator i tiristorski pretvarač frekvencije.

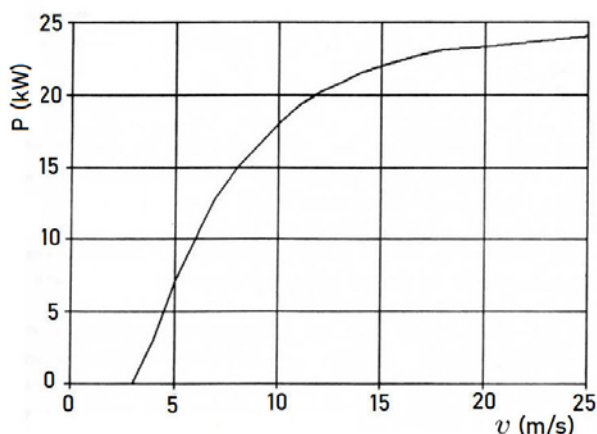
Za određivanje proizvodnje električne energije bitna je krivulja snage vjetroelektrane [12], tj. ovisnost izlazne snage o brzini vjetra. Glavne točke krivulje snage vjetroelektrane su:

- v_{min} - minimalna brzina: brzina vjetra kod koje rotor započinje vrtnju
- v_{uk} - uključna brzina: brzina vjetra kod koje se vrši ukapčanje postrojenja na mrežu, ili brzina kod koje vjetroelektrana u samostalnom radu može davati energiju trošilima
- v_n - nazivna brzina: brzina vjetra kod koje vjetroelektrana daje nominalnu snagu
- v_{isk} - isklompna brzina: brzina vjetra kod koje se vrši iskapčanje elektrane
- v_{max} - maksimalna brzina vjetra: brzina vjetra za koju je vjetroelektrana dimenzionirana, a da ne dođe do mehaničkih oštećenja.

Od minimalne brzine v_{min} vjetra do uključne brzine v_{uk} , elektrana ne generira električnu energiju. Proizvodnja električne energije počinje pri brzini uključivanja. Sa porastom brzine vjetra

iznad brzine uključivanja, povećava se i generirana snaga sve do nazivne brzine vjetra. Kod nazivne brzine vjetra elektrana radi sa nazivnom snagom. Nakon što dostigne nazivnu brzinu, vjetroturbina generira energiju sve do brzine isklopa. Potom će vjetroturbina raditi do maksimalne brzine vjetra ne proizvodeći električnu energiju. Tada se rotor potpuno zaustavlja kako bi se cijelo postrojenje zaštitilo od većih brzina vjetra koje mogu dovesti do ugroze i ozbiljnih oštećenja.

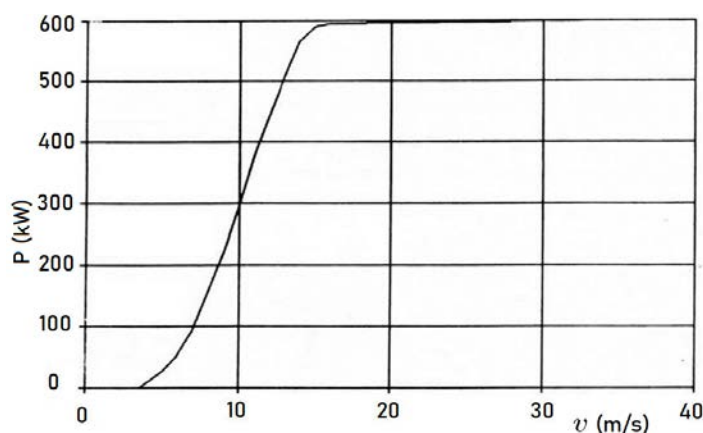
Vjetroelektrana KE22/1 s obzirom na izvedbu sa asinkronim generatorom može normalno raditi kada je prisutna električna mreža. U tom slučaju disk kočnice je otpušten što omogućava samopokretanje elektrane strujom vjetra. Ako je brzina dovoljna da generator postigne nadsinhronu brzinu, generator se mekano uključuje na mrežu. Snaga koju će elektrana davati ovisna je o brzini vjetra i to pokazuje karakteristika snage (Slika 3).



Slika 3 Izlazna karakteristika vjetroelektrane KE22/1

Za brzina vjetra između 15 i 25 m/s vjetroelektrana će proizvoditi veću snagu od nazivne pod uvjetom da temperatura namota generatora ne pređe dopušteni iznos. Kada u radu brzina vjetra padne toliko da se generator počne vrtiti brzinom ispod sinhronne brzine vrtnje, generator će se isključiti iz mreže. Rotor će se i dalje vrtjeti, a generator će biti spreman za mekano uključenje čim se poveća brzina vjetra. Vjetroelektrana je potpuno automatizirana tj. funkcije upravljanja, zaštite i signalizacije ostvarene su upravljačkim sustavom.

Vjetroelektrana FLODA 600 [11] sa sinkronim generatorom i tiristorskim pretvaračem te regulacijom kuta lopatica ima različitu krivulju snage. Snaga vjetroelektrane raste u području brzina vjetra od 4 do 16 m/s, dok se brzine vjetra koje su veće od 16 m/s sustav upravljanja snagu drži na maksimalnom (nominalnom iznosu). Porast snage u funkciji o brzini vjetra za gustoću zraka od 1.225 kg/m prikazuje dijagram na slici 4.



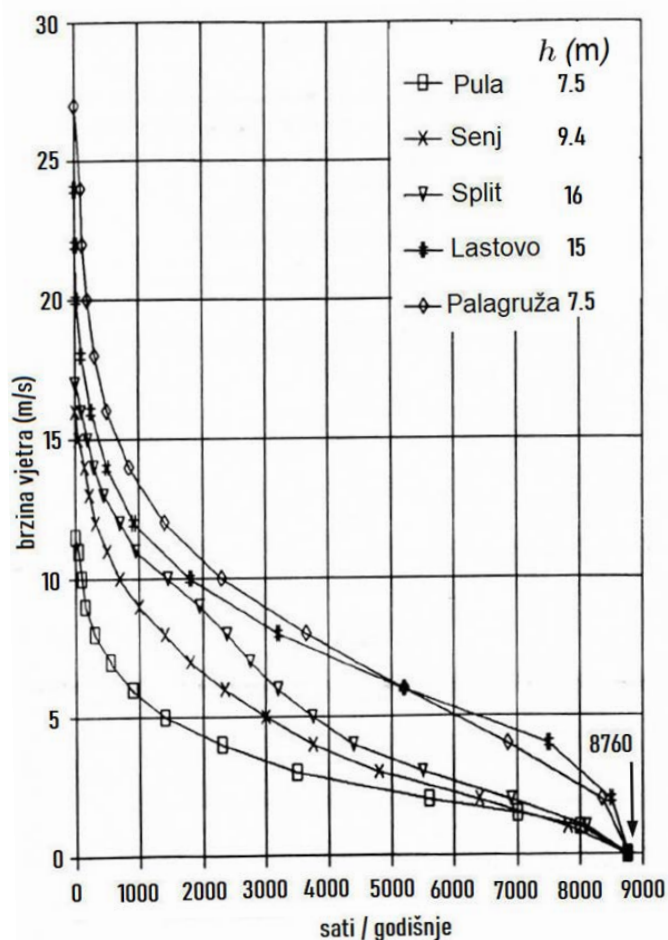
Slika 4 Izlazna karakteristika vjetroelektrane FLODA 600

5. KARAKTERISTIKE VJETRA I EKSTRAPOLACIJA PODATAKA

Iz definicije koeficijenta snage C_p može se izvesti zaključak da je za određene vrijednost C_p -a i gustoću zraka ρ snaga vjetroturbine direktno proporcionalna kubu brzine vjetra v jednačba (12). Gustoća snage vjetroturbine, tj. snaga po jedinici površine zahvata rotora je niska. Na primjer, vrlo efikasna vjetroturbina može proizvoditi samo oko 0.5 kW/m^2 pri brzini vjetra od 50 km/h (13.9 m/s). Na polovini te brzine vjetra gustoća snage se smanjuje na oko 60 W/m^2 . Ovo kratko razmatranje ukazuje na odlučujući značaj brzine vjetra. Stoga je prilikom ocjene podobnosti nekog terena za lociranjem vjetroturbine potrebno poznavati brzinu vjetra kao funkciju vremena.

Pravu sliku o vjetrovnim prilikama daje samo statistička obrada satnih ili desminutnih vrijednosti smjera i brzina vjetra dobivenih anemometrijskim mjerenjem. Temeljni oblik obrade je tzv. tabela kontingencije, koja sadrži za određivanje energije posebno značajan podatak o ukupnom trajanju puhanja vjetra određene jačine ili brzine. Takvi podaci mogu biti prikazani pomoću krivulje srednjeg godišnjeg trajanja puhanja u satima. Na slici 5 su prikazane krivulje srednjeg godišnjeg trajanja puhanja vjetra za neke karakteristične lokacije na Jadranu (Pula - aerodrom, Split - Marjan, Senj, Vir, Lastovo i Palagruža). Izvor ovih podataka su radovi dani u [13,14]. Navedeni podaci (slika 5) se odnose na lokaciju anemometrijske stanice i visinu anemometra.

Na jačinu vjetra veoma utječu lokalne topografske i druge karakteristike terena. Brzina vjetra obično se povećava sa razmakom od zemlje. Stoga je za lokaciju i visinu na koju će se instalirati vjetroturbina potrebno izvršiti korekciju brzina vjetra dobivenih mjerenjem na položaju anemometra. Ovu ekstrapolaciju vrijednosti brzina na stvarnu lokaciju i visinu nije moguće definirati jednostavnim izrazom koji bi vrijedio za sve uvjete, te se koriste različiti postupci približenja.



Slika 5 Srednja godišnja brzina trajanja vjetra u satima na visini anemometra $h(m)$

U praksi se obično koriste slijedeća približenja [15,16]:

Eksponencijalni zakon po kojem je:

$$v_H = v_h \left(\frac{H}{h} \right)^p \quad (17)$$

gdje je,

$$p = \frac{1}{\ln(H \cdot h / h_0)^{1/2}} \quad (18)$$

U (17) i (18) varijable imaju slijedeće značenje:

- v_h - brzina vjetra na visini anemometra (m/s)
- v_H - brzina vjetra na visini osi vjetroturbine (m/s)
- H - visina osi vjetroturbine (m)
- h - visina anemometra (m)
- h_0 - hrapavost terena

Grublji oblik ovog zakona koristi empirijske vrijednosti za eksponent p . Tako na primjer Austrijska tvrtka Villas preporuča slijedeće vrijednost za eksponent p :

$p = 0.16$ za otkrivena ravna područja

$p = 0.28$ za šumovito područje i prostor predgrađa

$p = 0.4$ za centar velikog grada

Treba naglasiti da se jednadžba (17) treba primjenjivati oprezno u slučajevima kada postoji znatna razlika u hrapavosti (valovitosti) terena na kojem je smještena anemometarska stanica i terena na kojem se planira postavljanje vjetroturbine.

Logaritamski zakon

Ukoliko se vjetroelektrana postavlja na lokaciji koja je u istoj vjetrovnoj klimi (tj. broj puhanja određenih klasa brzina je isti) kao i anemometarska stanica, tada se ekstrapolacija može izvršiti po,

$$v_H = v_h \frac{\ln(H/h_0) \ln(h/h_1)}{\ln(h/h_0) \ln(H/h_1)} \quad (19)$$

U gornjem izrazu h_0 je hrapavost terena na mjestu anemometra, a h_1 je hrapavost terena na mjestu vjetroturbine. Općenito se podaci dobiveni mjerenjem na terenu daju najbolju osnovu za procjenu.

Kada nema podataka sa terena uobičajava se proračun učinka (energije) vjetroturbine vršiti sa različitim pretpostavljenim vrijednostima brzine vjetra. Koriste se analitički različiti modeli. Poznata je Rayleigh-ova razdioba:

$$f(v) = \frac{\pi v}{2v_a^2} \exp\left(-\frac{\pi}{4} \left(\frac{v}{v_a}\right)^2\right) \quad (20)$$

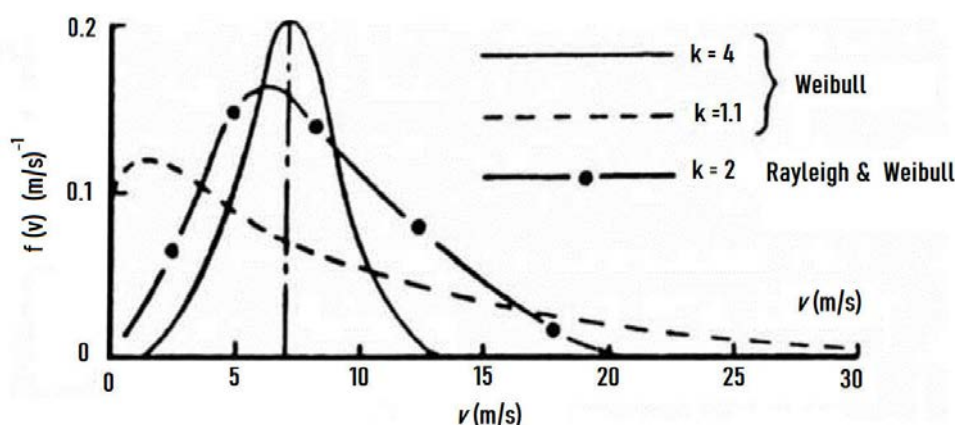
gdje je: v - brzina vjetra

v_a - godišnja prosječna brzina vjetra na terenu

Kada je na raspolaganju dovoljno podataka sa terena često se koristi kompliciraniji model, poznat kao Weibull-ova razdioba,

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \text{Exp}\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right) \quad (21)$$

Primjenjuje se na uvjete na pojedinom terenu podešavanjem bezdimenzionalne konstante k (parametar oblika). Druga konstanta c (tzv. parametar mjere), koja ima dimenziju brzine određuje se iz k i saznanja o prosječnoj brzini vjetra v na terenu. Problem je u eksperimentima potrebnim za određivanje k . Za $k=2$, Weibull-ova i Rayleigh-ova razdioba su identične. Slika 6 pokazuje krivulje $f(v)$ u ovisnosti o brzini vjetra v , za tri vrijednosti k



Slika 6. Rayleigh-ova i Weibull-ova razdioba

Kod nas su za neke lokacije Weibull-ovi koeficijenti k i c dosta dobro utvrđeni.

Omiljena je u praktičnoj primjeni Rayleigh-ova razdioba, posebice kod proizvođača vjetroturbina. Razlog tome je njena jednostavnost. Koristi se modifikacija relacije (18), kojom se direktno simulira godišnja krivulja trajanja brzina vjetra.

$$T_V = 8760 \text{Exp}\left(-\frac{\pi}{4} \left(\frac{v}{v_a}\right)^2\right) \quad (22)$$

Ovdje je T_V broj sati godišnje kada je brzina vjetra jednaka ili veća od v , a 8760 broj sati u godini. Unatoč privlačnosti opisanih razdioba, uvjeti specifični za teren igraju odlučujuću ulogu, te se preferiraju mjerenja na terenu.

6. METODOLGIJA PRORAČUNA

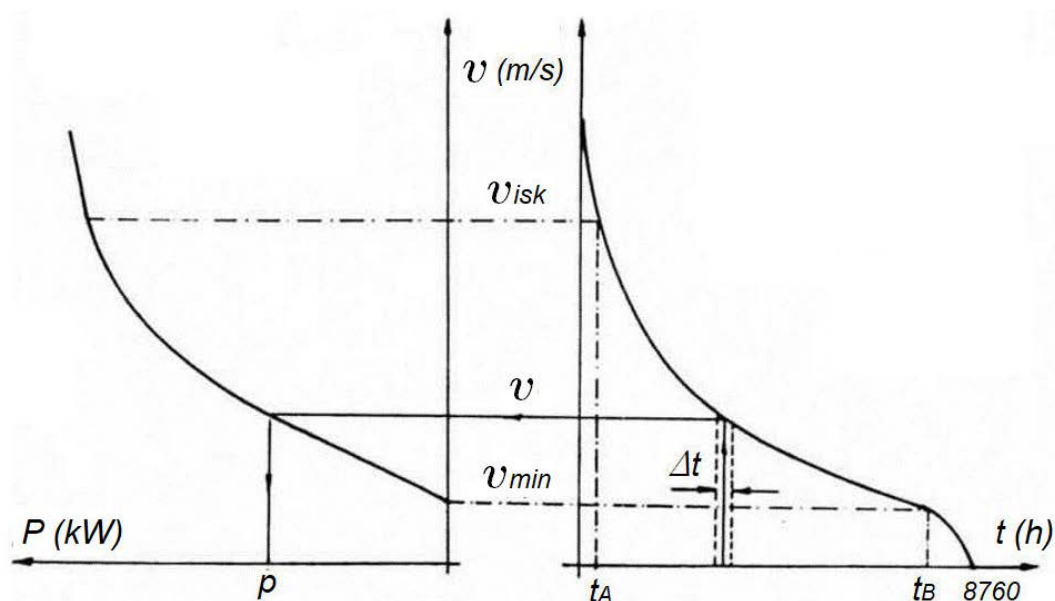
Podatak o godišnjoj proizvodnji električne energije na nekom lokalitetu je jedan od temeljnih podataka u proračunu ekonomičnosti. U nastavku je dan opis postupka proračuna, te rezultati dobiveni za neke lokalitete u RH.

Godišnja proizvodnja električne energije u kWh je ukupan zbroj umnožaka snage i vremenskih intervala u kojima vjetroelektrana daje tu snagu u periodu jedne godine. Stoga je za točno određivanje godišnje proizvodnje električne energije potrebno poznavanje trenutnih vrijednosti brzina vjetra ili prosječnih brzina u što kraćim vremenskim intervalima, te ovisnost izlazne snage postrojenja od brzine vjetra.

Postupak proračuna je slijedeći. Pvo se vrši ekstrapolacija karakteristike trajanja vjetra sa položaja anemomera na mjesto i visinu vjetroeletreane. Pomoću ovako korigirane karakteristike i podataka o minimalnoj radnoj brzini i isključnoj brzini vjetroeletreane određuje se interval (t_A , t_B) u kojem elektrana daje energiju. Ovaj interval se razdijeli na N dijelova (minimalni interval je jedan sat ili 10 minuta ovisno o tome radi li se sa satnim ili desetminutnim vrijednostima brzine vjetra) odnosno malih vremenskih intervala u kojima možemo smatrati da je brzina vjetra konstantna te da ima upravo srednju vrijednost brzine u tom intervalu. Za svaki od intervala i pripadnu srednju vrijednost brzine sa izlazne karakteristike određujemo pripadnu snagu, a ukupnu energiju dobivamo kao ,

$$E = \int_{t_A}^{t_B} p \cdot dt \quad (23)$$

Postupak proračuna ilustriran je na slici 7.



Slika 7 Prikaz postupka proračuna

Za kompletan proračun razvijen je cjelovit program za osobno računalo. Program obuhvaća slijedeće glavne blokove :

- banku podataka sa karakter istikama vjetra
- unos podataka za nove lokacije
- korekcije i izmjene podataka za pojedine lokacije
- unos podataka za karakteristiku izlazne snage
- unos podataka o značajkama terena
- splajn kubička interpolacija svih potrebnih funkcija [17,18,19]
- ekstrapolaciju izmjerenih brzina vjetra na lokaciju elektrane na tri načina
- numerički proračun godišnje proizvodnje električne energije
- proračun ostalih veličina : srednja godišnja brzina vjetra, energija za srednju godišnju brzinu i iskoristivost kapaciteta

7. REZULTATI PRORAČUNA

Analizirane su lokacije Pula (aerodrom), Split (Marjan), Senj, Vir, Lastovo i Palagruža. Proračuni su izvedeni za vjetroeletreane: KE22/1 (22 kW) i FLODA 600 (600 kW). Rezultati pokazuju značajne razlike u godišnjoj proizvodnji električne energije, koje ovise o prosječnoj brzini vjetra i lokalnim uvjetima. Na primjer, na lokaciji Palagruža, zbog velike prosječne brzine vjetra od gotovo 12 m/s, ostvaruje se najviša proizvodnja i iskorištenost kapaciteta.

Rezultati proračuna guditnje proizvodnje električne energije su sintetizirane u tablicama 1 i 2.

Tabela 1

Vjetroeletreana KE22/1, H -- 18.5 m			
Lokacija	Vsr (m/s)	E (MWh)	i (%)
PULA	3.56	19.82	9.43
SPLIT	5.09	46.48	22.11
SENJ	5.61	55.7	26.49
VIR	6.71	86.13	40.96
LASTOVO	7.60	84.49	40.19
PALAGRUŽA	9.68	104.26	49.58

Tabela 2

Vjetroeletreana PLODA 600, H = 43 m			
Lokacija	Vsr (m/s)	E (MWh)	i (%)
PULA	4.02	380.86	7.24
SPLIT	6.03	1118.46	21.28
SENJ	7.07	1477.63	28.11
VIR	7.68	1655.51	31.49
LASTOVO	8.74	1914.02	36.41
PALAGRUŽA	11.52	2573.57	48.97

U tablicama oznake imaju slijedeće značenje:

Vsr - srednja godišnja brzina vjetra svedena na lokaciju i visinu osi rotora vjetroeletreane u m/s

E - godišnja proizvodnja električne energije u MWh

i - Iskoristivost kapaciteta u %

Iskoristivost kapaciteta je definirana kao omjer između stvarno proizvedene električne energije i teoretskog kapaciteta vjetroeletreane. Teoretski kapacitet dobivamo pod pretpostavkom da postrojenje radi cijelu godinu (8760 h) sa nominalnom snagom.

8. ZAKLJUČAK

Dobiveni rezultati pokazuju da potencijal proizvodnje električne energije vjetroeletreana značajno varira među različitim lokacijama. Za preciznu procjenu nužno je koristiti detaljna mjerenja i pouzdane metode ekstrapolacije brzine vjetra. Usporedbom dvaju modela vjetroeletreana vidljivo je da veći sustavi (poput FLODA 600) postižu znatno veće godišnje proizvodnje, no njihova

isplativost i opravdanost instalacije ovise o raspoloživim uvjetima na lokaciji. Ovi rezultati pružaju dobru osnovu za planiranje i optimizaciju budućih projekata vjetroelektrana u Hrvatskoj.

9. LITERATURA

- [1] J. F. Manwell and J. G. McGowan, Wind Energy Explained Theory, Design and Application, second edition, 2009 John Wiley & Sons Ltd.
- [2] Emmanuel Branlard, Wind Turbine Aerodynamics and Vorticity-Based Methods Fundamentals and Recent Applications, Springer International Publishing AG 2017
- [3] Tony Burton and All, Wind Energy Handbook, This third edition first published 2021 © 2021 John Wiley & Sons Ltd
- [4] Marisa Blackwood, Maximum Efficiency of a Wind Turbine, University of South Florida, UJMM ONE+TWO, Volume 6, 2012
- [5] Naqib Daneshjoo, Erika Dudaš Pajerská, Vanda Lieskovská, Jana Naščáková, Enayat Daneshjoo, Production of Electric Energy by Use of Wind Energy, TEM Journal. Volume 7, Issue 3, Pages 573-581, August 2018.
- [6] Albert Betz ,Windenergie und ihre Ausnutzung durch Windmühlen, 1916
- [7] Magdi Ragheb, Adam M. Ragheb, Wind Turbines Theory - The Betz Equation and Optimal Rotor Tip Speed Ratio, Open access, Submitted 13 November 2010 Published 05 July 2011
- [8] Erich Hau, Wind Turbines, Fundamentals, Technologies, Application, Economics, 3rd edition, Springer © 2013 (Chapter 4)
- [9] V. Reyes, J. J. Rodríguez and All, Review of mathematical models of both the power coefficient and the torque coefficient in wind turbines, IEEE, 2015
- [10] Tehnička specifikacija vjetroelektrane KE22/1, neobjavljeni tehnički podaci iz tvorničkog projekta proizvođača gondole i sustava upravljanja (Danska), korišteni pri realizaciji postrojenja Valtura (Pula), 1991., dokumentacija u privatnoj arhivi autora.
- [11] *Floda 600 – Tehnička specifikacija*. Floda, Austrija, ca. 1988–1989. Prijevod korišten u studiji 1991. Interni dokument, bez javno dostupne tiskane verzije (izvornik izgubljen).
- [12] Francisco Bilendo, Angela Meyer, Hamed Badihi, Ningyun Lu, Philippe Cambron, Bin Jiang, Applications and Modeling Techniques of Wind Turbine Power Curve for Wind Farms A Review, *Energies* 2023, 16, 180.
- [13] D. Poje and B. Cividin, Assesment of Wind Energy Potential in Croatia, *Solar Energy* Vol. 41, No 6, 1988 Pergamon Press
- [14] Mogućnost korištenja eolne energije u SRH vjetroelektranama proizvodnje Uljanik
- [15] Peterson, E.W. and Hennessey, J.P., On the Use of Power Laws for Estimates of Wind Power Potential, *Journal of Applied Meteorology* (1978)
- [16] Branko Cividin i Dražen Poje, Potencijal energije vjetra u SR Hrvatskoj, *RASPRAVE* 21, Zagreb 1986. str. 59-68
- [17] UNIVAC, Large Scale System MATH-PACK, Programers Reference, Spline Interpolation, Section 2, Page 68, Univac Division of Sperry Rand Corporation, 1970,
- [18] S.D. Conte, Carl de Boor, Elementary Numerical Analysis an algorithmic approach, Sercond Edition, McGraw-Hill, 1972, Piecewise-Cubic Interpolation Page 233.
- [19] Tao Pang, An Introduction to Computational Physics, Second Edition, cambridge university press, 2006

OSTALA KORIŠTENJA LITERATURA:

- Amanda S Adams, David W Keith, Are global wind power resource estimates overstated, IOP Publishing Environmental Research Letters, Published 25 February 2013
- Paulo Coelho, The Betz limit and the corresponding thermodynamic limit, Wind Engineering, 2023, Vol. 47(2) 491–496
- Petar Kulišić, Novi izvori energije, Sunčana energija i energija vjetra, Školska knjiga, – Zagreb, 1991
- Dionysios C. Aliprantis, Fundamentals of Wind Energy Conversion for Electrical Engineers, School of Electrical and Computer Engineering, Purdue University
- Hunt, V. Daniel, Windpower : A handbook on wind energy conversion systems, Van Nostrand, New York, 1981
- Musgrove, P.: Wind Energy Conversion, Proceedings of the 1984 Sixth BWEA Wind Energy Conference, Cambridge University press, 1984, London, New York
- Meteorological Aspects of the Utilization of Wind as an Energy Sources, Secretariat of the World Meteorological Organization - Geneva – Switzerland, 1981
- Trevor M. Letcher, Wind Energy Engineering-A Handbook for Onshore and Offshore Wind Turbines, Second Edition, Elsevier Inc. Academic Press 2023
- S. Sumathi, L. Ashok Kumar and P. Surekha , Solar PV and Wind Energy Conversion Systems An Introduction to Theory, Modeling with MATLAB/SIMULINK, and the Role of Soft Computing Techniques, Springer International Publishing Switzerland 2015

UTJECAJ PUČINSKIH VJETROELEKTRANA NA GOSPODARSTVO

Autori: dr.sc. Mihael Grubišić Šeba, dr.sc. Hrvoje Dorotić

Sažetak

Članak analizira ekonomske aspekte razvoja pučinskih vjetroelektrana, s posebnim naglaskom na njihov utjecaj na industriju, zapošljavanje i regionalni razvoj. Europski trendovi pokazuju rast instaliranih kapaciteta na moru, pri čemu Hrvatska tek treba uspostaviti temelje za ovaj sektor. Naglašava se potreba za jačanjem domaće industrije (brodogradnja, metaloprerađivačka industrija) kako bi se iskoristile prilike za lokalnu proizvodnju i zapošljavanje. Investicije u pučinske vjetroelektrane mogu donijeti dugoročne koristi kroz razvoj novih tehnologija, istraživanja i turizma, no važno je riješiti izazove poput ograničenja za ribarstvo i pomorski promet.

Ključne riječi: pučinske vjetroelektrane, gospodarstvo, zapošljavanje, industrija, investicije, energetski sektor, održivi razvoj, brodogradnja, COOPwind, Europska unija

UVOD

Pučinske vjetroelektrane postaju sve važniji faktor u strategiji proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora. U skladu s odrednicama politika Europske unije, IRENA – Istarska Regionalna Energetska Agencija sudjeluje u inicijativi **COOPwind – Bilateralna suradnje za proizvodnju energije vjetra na moru**. Važno je istaknuti da je provedbu bilateralne inicijative COOPwind financijski podržao **Fond za bilateralne odnose EGP i Norveškog financijskog mehanizma za razdoblje 2014. – 2021. godine**.

U sklopu ove inicijative izrađene su smjernice za planiranje razvoja uključive pučinske vjetroelektrane, koje su, osim istraživanja, bazirane i na zaključcima s održanih radionica s predstavnicima četverostruke spirale. Predmetne smjernice predstavljene su javnosti na **završnoj konferenciji COOPwind projekta**, koju je IRENA održala u sklopu prvog dana događanja „**Dana zelene i plave energetske tranzicije Istarske županije**“, 23. travnja 2024. u Labinu.

Zbog regionalnih specifičnosti Istarske županije, cilj je definirati model uključive pučinske vjetroelektrane koji nije fokusiran na maksimiziranje proizvodnje električne energije već na maksimiziranje zbroja proizvodnih učinaka svih dostupnih plavih ekonomskih sektora na dotičnom području kao i zaštitu i poboljšanje stanja morskog ekosustava te je samim tim prihvatljiv i poželjan za sve dionike.

Kako bi se isto definiralo, IRENA je u suradnji s Istarskom županijom i izrađivačem smjernica, Energetskim institutom Hrvoje Požar, pokrenula tematske radionice fokusirane na zaštitu okoliša, ribarstvo, prostorno planiranje, industriju, turizam, obrazovanje i znanstvenu zajednicu. Na tematskim radionicama okupljeni stručnjaci i zainteresirana javnost, raspravljali su i davali inpute za definiranje predmetnih smjernica i modela.

Cilj ovog članka je javnosti prenijeti zaključke tematske radionice koja je bila usmjerena na gospodarski sektor, a prema kojima su se definirale predmetne smjernice i sam model uključive pučinske vjetroelektrane.

Utjecaj projekata pučinskih elektrana na razvoj gospodarstva svakako je pozitivan, posebice tijekom gradnje postrojenja, ali je potrebno potaknuti lokalno gospodarstvo za dugoročne i odr-

žive aktivnosti u ovom području, posebice u slučaju regija s iskustvom u proizvodnji opreme za energetiku, brodograđevne i metaloprerađivačke industrije, kao i u razvoju pratećih djelatnosti tijekom životnog vijeka vjetroelektrane.

STATUS PUČINSKIH VJETROELEKTRANA U EUROPI

U Europi dominiraju vjetroelektrane na kopnu, no sve je više projekata vjetroelektrana na moru (pučinske vjetroelektrane). U 2023. godini je instalirano ukupno 3,8 GW kapaciteta pučinskih vjetroelektrana, što je 21% ukupno instaliranog kapaciteta vjetroelektrana. Najviše pučinskih vjetroelektrana imaju Njemačka, Nizozemska, Danska i Belgija, a od ne-EU zemalja Velika Britanija. Na Mediteranu, gdje brzina vjetra nije toliko velika kao na Atlantiku i na Sjevernom moru, postoje planirani projekti pučinskih vjetroelektrana čija gradnja tek počinje. Kao glavna prednost pučinskih vjetroelektrana ističe se veća iskorištenost kapaciteta (oko 35%) u usporedbi s vjetroelektranama na kopnu (oko 25%). Očekivanja su da bi do 2030. godine moglo biti 310 GW instaliranih vjetroelektrana na kopnu, a 83 GW vjetroelektrana na moru.

Tablica 01 Stanje vjetroelektrana u EU krajem 2023

Država	Kapacitet vjetroelektrana (MW), 2023.	Udjel vjetra u energetsom miks				
	Na kopnu	Na moru	Ukupno	Na kopnu	Na moru	Ukupno
Belgija	3.231	2.261	5.492	8%	10%	18%
Hrvatska	1.256		1.256	14%		14%
Cipar	158		158	4%		4%
Danska	4.910	2.652	7.562	32%	24%	56%
Estonija	376		376	10%		10%
Finska	6.872	71	6.943	18%		18%
Francuska	21.935	842	22.777	11%	0%	11%
Njemačka	61.139	8.536	69.675	26%	5%	31%
Grčka	5.226		5.226	20%		20%
Irska	4.777	25	4.802	36%		36%
Italija	12.306	30	12.336	8%	0%	8%
Nizozemska	6.754	4.739	11.493	16%	11%	27%
Poljska	9.383		9.383	13%		13%
Portugal	5.809	25	5.834	25%	0%	25%
Slovenija	3		3	0%		0%
Ukupno EU-27	200.872	19.380	220.252	17%	2%	19%
Norveška	5.083	101	5.184	10%		10%
V. Britanija	14.866	14.756	29.622	12%	17%	29%

Izvor: Wind Europe, Wind energy in Europe: 2023 Statistics and the outlook for 2024-2030

UTJECAJ NA RAZVOJ GOSPODARSTVA

U kontekstu razvoja gospodarstva, vjetroelektrane imaju značaj za brodograđevnu industriju, industriju kabela i elektroničkih komponenti, istraživanje i razvoj i turizam.

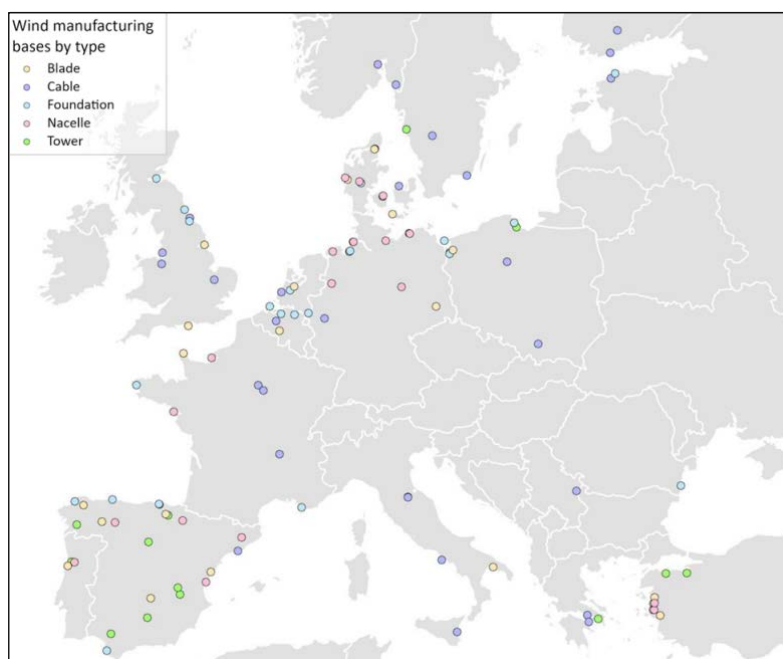
Temelji vjetroatagregata na moru mogu biti fiksni ili plutajući, ovisno o dubini mora i ostalim okolišnim uvjetima. Većina trenutno instaliranih kapaciteta je na relativno malim dubinama (do 40

m) i koriste fiksne temelje. Dubine u Jadranskome moru su veće nego u Sjevernome moru, stoga je za očekivati kako će u Hrvatskoj možda biti potrebno koristiti plutajuće tehnologije. Trenutno je u razvoju više od 10 različitih rješenja baziranih na plutajućim konstrukcijama. Prve komercijalne plutajuće vjetroturbine su puštene u pogon 2017. godine.

U kapacitetima brodogradilišta mogu se sastavljati temelji za vjetroelektrane, kako fiksni, tako i plutajući. Prednost je što ne postoji općeprihvaćen način temeljenja, već se različita rješenja primjenjuju ovisno o konkretnim uvjetima na terenu. Trenutne su procjene da nedostaje oko 30% kapaciteta i radne snage za postizanje ambicioznih ciljeva proizvodnje energije iz obnovljivih izvora, pa je to prilika za preorijentaciju poslovanja, odnosno za licenčnu proizvodnju određenih komponenti potrebnih ovoj industriji. Jednako tako je u određenim segmentima razvoja vjetroelektrana moguće pružati i konzultantske usluge i to pogotovo onda kada postoje mali pilot projekti određene namjene na kojima se obavljaju razna ispitivanja – od brzine vjetra, trajnosti i otpornosti određenih materijala i komponenti, do utjecaja vjetroatagregata na biljni i životinjski svijet. Posebna prilika postoji u proizvodnji materijala za vjetroelektrane gdje Europa, tek u pojedinim segmentima, zauzima svega do 10% svjetskog tržišta. Kina ima dominantnu ulogu pa je EU donijela Zakon o kritičnim sirovinama s ciljem da se njezina ovisnost o strateškim sirovinama ograniči na maksimalno 65% godišnje potrošnje do 2030. godine, u bilo kojoj fazi proizvodnje.

Trenutno u Europi postoje 253 tvornice za proizvodnju različitih dijelova vjetroelektrana, no unatoč tome za isporuku postolja za elektrane na moru, čeka se 3 – 4 godine.

TVORNICI ZA PROIZVODNJU KOMPONENTI VJETROELEKTRANA U EUROPI 2023. GODINE



Slika 01 Tvornice za proizvodnju komponenti vjetroelektrana u Europi 2023. godine
Izvor: Rystad Energy – The State of the European Wind Energy Supply Chain – April 2023

Kapacitet vjetroelektrana za zapošljavanje ovisi o tome gdje je smještena proizvodnja komponenti i u lokalnim sredinama najveći je u fazi postavljanja / instalacije vjetroelektrane, kada se traže lokalne firme i lokalni radnici kao podizvođači. Međutim, lokalna zajednica može u dogovoru s investitorom promovirati na vrijeme osposobljavanje kadrova koji će se brinuti za upravljanje i održavanje vjetroelektrana i tu je u suštini riječ o dugoročnom lokalnom zapošljavanju jer vijek

vjetroelektrane iznosi 20 – 25 godina. Indirektno zapošljavanje procjenjuje se u omjeru 1:1, a odnosi se na sektor turizma, obrazovanja i istraživanja. Primjeri sadržaja/djelatnosti koje su prateći proizvodnji električne energije i bitni su za lokalnu zajednicu su: centar za posjetitelje, izložbeno-informacijski centar na moru, razgledanje vjetroelektrane brodom/teleskopom, posebne rute za plovidbu oko vjetroelektrane, istraživački centar s predavaonicama, suvenirnica i tome slično.

Vjetroelektrane na moru nemaju štetan utjecaj na turizam jer se grade daleko od obale. Na udaljenosti od 60 km od obale, one su teško uočljive, no tada je problematičan prijenos električne energije na velike udaljenosti pa je realnije da će ipak biti nešto bliže obali. One mogu značiti djelomično ili potpuno ograničenje za plovidbu (osobito noću) ili ribarstvo. Takva ograničenja najčešće nalažu osiguravajuće kuće iz straha od oštećenja komponenti bitnih za funkcioniranje vjetroelektrane. Neke zemlje stoga nalažu da plovila koja se kreću unutar vjetroelektrane moraju imati satelitsku navigaciju i propisane maksimalne gabarite.

Interes lokalne zajednice može se potaknuti i zajedničkim ulaganjem u projekte vjetroelektrana s glavnim investitorom, s manjinskim udjelom. Pri tome je važno napomenuti da mali investitori, okupljeni najčešće u posebno osnovanom trgovačkom društvu, proporcionalno svom udjelu ravnopravno snose sve rizike i troškove s glavnim investitorom, ali zato imaju pravo i sudjelovati u nagradi (ostvarena dobit koja se dijeli bilo putem dividende na dionice ili kamate na obveznice).

ZAKLJUČAK

Pučinske vjetroelektrane predstavljaju ključan segment u evoluciji energetskog sektora prema održivijoj budućnosti te imaju značajan utjecaj na lokalno i globalno gospodarstvo. Na osnovu statističkih pokazatelja pučinskih vjetroelektrana u Europi krajem 2023. godine, jasno je da se ovaj sektor kontinuirano razvija.

Investicije u projekte pučinskih elektrana ne samo da potiču ekonomski razvoj kroz stvaranje novih radnih mjesta, već potiču i razvoj industrije kabela, elektroničkih komponenti, istraživanja i turizma. Lokalne zajednice imaju priliku iskoristiti ove projekte kao generator dugoročnog direktnog i indirektnog zapošljavanja, odnosno kao poticaj za razvoj različitih pratećih djelatnosti proizvodnji električne energije, poput turističkih atrakcija ili istraživačkih centara.

Unatoč brojnim prednostima, važno je pravilno upravljati izazovima koji proizlaze iz izgradnje i operativnog funkcioniranja pučinskih vjetroelektrana. Ograničenja za plovidbu ili ribarstvo, kao i potreba za satelitskom navigacijom plovila koja se kreću na području vjetroelektrane, zahtijevaju pažljivo planiranje i suradnju s relevantnim dionicima, kako bi se uz gospodarske učinke osigurala sigurnost plovidbe i očuvanje okoliša.

Upravljanje projektima pučinskih vjetroelektrana treba biti temeljeno na suradnji, transparentnosti i održivosti kako bi se postigli maksimalni pozitivni učinci za lokalnu zajednicu.

RAZVOJ PUČINSKIH VJETROELEKTRANA U KONTEKSTU UTJECAJA NA OKOLIŠ I RIBARSTVO

Autori: dr.sc. Marin Miletić, Andro Bačan

Sažetak

Ovaj članak razmatra utjecaj pučinskih vjetroelektrana na morski okoliš i ribarstvo, s fokusom na ekološke izazove i regulative. Projekt COOPwind, financiran iz fondova EU i Norveške, razvija model uključivih vjetroelektrana koje balansiraju energetske proizvodnje, zaštitu ekosustava i plavu ekonomiju. Naglašavaju se ključni ekološki izazovi poput buke, gubitka staništa i promjena u dinamici sedimentacije. Ističu se i potencijalne koristi, poput stvaranja novih staništa i rezervata za morsku faunu. Hrvatska još uvijek nema precizan regulatorni okvir za razvoj ovih elektrana, a daljnja istraživanja i strateško planiranje ključni su za održivu integraciju ovih sustava u morski okoliš.

Ključne riječi: pučinske vjetroelektrane, ekološki utjecaj, ribarstvo, morski ekosustav, zaštita okoliša, COOPwind, održiva energija, Jadransko more, regulatorni okvir, plava ekonomija

UVOD

Pučinske vjetroelektrane postaju sve važniji faktor u strategiji proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora. U skladu s odrednicama politika Europske unije, IRENA – Istarska Regionalna Energetska Agencija sudjeluje u inicijativi **COOPwind – Bilateralna suradnje za proizvodnju energije vjetra na moru**. Važno je istaknuti da je provedbu bilateralne inicijative COOPwind financijski podržao **Fond za bilateralne odnose EGP i Norveškog financijskog mehanizma za razdoblje 2014. – 2021. godine**.

U sklopu ove inicijative izrađene su smjernice za planiranje razvoja uključive pučinske vjetroelektrane, koje su, osim istraživanja, bazirane i na zaključcima s održanih radionica s predstavnicima četverostruke spirale. Predmetne smjernice predstavljene su javnosti na **završnoj konferenciji COOPwind projekta**, koju je IRENA održala u sklopu prvog dana događanja „**Dana zelene i plave energetske tranzicije Istarske županije**“, 23. travnja 2024. u Labinu.

Zbog regionalnih specifičnosti Istarske županije, cilj je definirati model uključive pučinske vjetroelektrane koji nije fokusiran na maksimiziranje proizvodnje električne energije već na maksimiziranje zbroja proizvodnih učinaka svih dostupnih plavih ekonomskih sektora na dotičnom području kao i zaštitu i poboljšanje stanja morskog ekosustava te je samim tim prihvatljiv i poželjan za sve dionike.

Kako bi se isto definiralo, IRENA je u suradnji s Istarskom županijom i izrađivačem smjernica, Energetskim institutom Hrvoje Požar, pokrenula tematske radionice fokusirane na zaštitu okoliša, ribarstvo, prostorno planiranje, industriju, turizam, obrazovanje i znanstvenu zajednicu. Na tematskim radionicama okupljeni stručnjaci i zainteresirana javnost, raspravljali su i davali inpute za definiranje predmetnih smjernica i modela.

Cilj ovog članka je javnosti prenijeti zaključke radionica vezanih za zaštitu okoliša i ribarstvo, prema kojima su se definirale predmetne smjernice i sam model uključive pučinske vjetroelektrane.

U razvoju pučinskih vjetroelektrana istovremeno važnu ulogu ima i analiza te prepoznavanje pozitivnih i negativnih aspekata koje taj razvoj ima na okoliš i socio-ekonomski razvoj područja

na kojemu se zahvati provode, uključujući interakcije između proizvodnje energije i drugih pomorskih aktivnosti. Predmetni razvoj se pridodaje ostalim već postojećim ili predviđenim ljudskim aktivnostima na definiranom morskom području koje sinergijski stvaraju opterećenja na morski okoliš. Stoga je važno da se od najranije faze planiranje razvoja pučinskih vjetroelektrana sagledava u širem kontekstu utjecaja na morski okoliš i iskorištavanje njegovih resursa koji su već pod velikim pritiskom uslijed utjecaja klimatskih promjena i onečišćenja uzrokovanih ljudskim aktivnostima. Degradacije morskih staništa imaju značajne negativne utjecaje na bioraznolikost, a ne treba zaboraviti i da more ima vitalnu ulogu u regulaciji klime našeg planeta. Stoga se infrastruktura obnovljivih izvora energije u moru treba razvijati uz eliminiranje ili minimiziranje utjecaja na okoliš i prvenstveno na morsku bioraznolikost.

UTJECAJ NA OKOLIŠ

Mogući utjecaji pučinskih vjetroelektrana na vrste i staništa mogu biti različiti, u obliku i intenzitetu, pa se može spomenuti: zagađenje bukom (buka tijekom izgradnje i rada), rizik od sudara s komponentama vjetroelektrane, rizici uslijed pomorskog prometa povezanog s gradnjom i održavanjem vjetroelektrane; promjene u hidrodinamici i dinamici sedimentacije; promjena, degradacija ili gubitak staništa; potencijalni efekt barijere ili učinak agregacije; različiti oblici onečišćenja prvenstveno uslijed antikorozivnih premaza; svjetlosno onečišćenje i prepreke migraciji organizama i njihovom traženju hrane. Uz navedene potrebno je istaknuti i vizualne utjecaje koje zahvat može imati na krajobraz i lokalno stanovništvo. Mogući utjecaji se razlikuju ovisno o korištenoj tehnologiji te opsegu i lokaciji projekata. Stoga se procjene rizika i utjecaja uvijek trebaju odnositi na pojedine slučajeve.

Dodatno, uz izravne utjecaje na području smještaja pučinske vjetroelektrane, i povezana infrastruktura kao što su prijenosni kabeli i rasklopna postrojenja mogu predstavljati dodatne izvore utjecaja na morski i obalni okoliš koje treba uzeti u obzir.

Brojna morska staništa su pod sve jačim utjecajem ljudskih aktivnosti, a sve intenzivnije korištenjeorskog okoliša zahtjeva razvoj integralnih politika zaštite, kao što je pristup upravljanju koji sagledava cijeli eko sustav. Načelno, pučinske vjetroelektrane se ne bi smjele nalaziti unutar zaštićenih morskih područja i u ekološki vrijednim područjima za osjetljive vrste i staništa.

Sukladno obvezama koje proizlaze iz Okvirne direktive o morskoj strategiji kod procjene utjecaja pučinskih vjetroelektrana neophodno je imati ekosustavni pristup kao strateški pristup integriranom upravljanju morskim okolišem koji na uravnotežen način potiče očuvanje i iskorištavanje prirodnih resursa.

Postojeća iskustva sa utjecajima pučinskih vjetroelektrana se uglavnom odnose na zahvate u kojima su turbine utemeljene u morsko dno dok je vrlo malo iskustva, prvenstveno pilot projekata, koji se odnose na plutajuće pučinske vjetroelektrane kojima se utjecaji na eko sustav smanjuju.

EU Komisija je već 2011. godine izdala prve Smjernice o energiji vjetra i Natura 2000 području, u sklopu tadašnjeg akcijskog plana za prirodu, ljude i gospodarstvo. Razvojem tehnologija 2020. godine su navedene Smjernice ažurirane i prilagođene politikama i zakonodavstvu EU-a o obnovljivoj energiji i tehnologiji energije vjetra (osobito na moru) te novim saznanjima o utjecajima energije vjetra na biološku raznolikost, kao i dobroj praksi za rješavanje tih utjecaja. Pregled utjecaja pučinskih vjetroelektrana i mjera za njihovo smanjenje prikazan je i u dokumentu koji je Međunarodna unija za očuvanje prirode (IUCN) izdala 2021. godine.

Što se tiče mogućih utjecaja pučinskih vjetroelektrana na potencijalnim lokacijama u Jadranu 2023. godine je udruženje Obnovljivi izvori energije Hrvatske predložilo Akcijski plan za obnovljive izvore energije na moru u Hrvatskoj izrađen od strane Fakulteta strojarstva i brodogradnje (FSB) Sveučilišta u Zagrebu, OIKON d.o.o. – instituta za primijenjenu ekologiju i Pokreta otoka.

PROSTORNO PLANIRANJE

U Hrvatskoj trenutno još nije precizno definiran odgovarajući regulatorni okvir koji bi omogućio razvoj pučinskih vjetroelektrana. Ovakvi zahvati nisu predviđeni važećim prostornim planovima te nisu definirana morska područja za razvoj takvih vjetroelektrana.

Određivanje lokacija za pučinske vjetroelektrane u prostornim planovima, osnova je i za konkretni daljnji razvoj zahvata na definiranom prostoru. U sklopu izmjene planova/programa te unosa predmetne vrste zahvata potrebno je provesti Stratešku procjenu utjecaja na okoliš i ekološku mrežu predmetnih planova/programa koja treba, kao što gore navedeno, ekosustavnim pristupom strateški procijeniti pozitivne i negativne aspekte koje pučinska vjetroelektrana može imati na integrirano upravljanje morskim okolišem na nacionalnoj i prekograničnoj razini.

RIBARSTVO

Osim na okoliš, pučinske vjetroelektrane imaju utjecaje i na ribarstvo, posebice zbog ograničenja ribolova unutar samog zahvata vjetroelektrane. Čak i uz dozvoljeno ribarenje unutar zahvata, potrebno je prilagoditi ribolovne alate novom okruženju.

Pučinske vjetroelektrane mogu imati i pozitivne utjecaje na biološku raznolikost poput stvaranja novih staništa prvenstveno putem umjetnih grebena te 'efekta rezervata' gdje se morska fauna nastoji agregirati zbog isključenja ribarskih aktivnosti unutar područja zahvata.

ZAKLJUČAK

Zasigurno, realizacija projekta pučinske vjetroelektrane može imati značajne utjecaje na okoliš, ekološku mrežu i ribarstvo, koje će biti moguće kvantitativno ocijeniti u daljnjim fazama razvoja projekta. Daljnji potrebni koraci u razvoju pučinske vjetroelektrane uključuju definiranje šireg obuhvata za istraživanje i uvrštavanje u prostorni plan, te provođenje daljnjih istraživanja stanja okoliša, te formalnu procjenu utjecaja na okoliš.

Za znanstveno utemeljenu provedbu neophodnih procjena na okoliš i ekološku mrežu potrebno je raspolagati sa značajnim i recentnim podacima. Stoga je prethodno potrebno provesti analizu raspoloživih podataka sa definiranjem nepotpunih i nedostajućih podataka za svaku sastavnicu/opterećenje okoliša te plan provedbe prikupljanja potrebnih podataka i angažmana kompetentnih stručnjaka koji potrebne podatke mogu prikupljati i kritički analizirati. Uz prikupljanje podataka neophodno je uspostaviti i mehanizam sa infrastrukturom za kontinuirano praćenje (monitoring) okolišnih parametara na pučinskom dijelu Jadrana gdje oni nedostaju.

PROCJENA I IZBOR MJERA ZA SMANJENJE BUKE U INDUSTRIJI

Doc. dr. sc. tech. Marko Kršulja
Dr. sc. tech. Damir Karabaić
Kapular Saša
Saša Stiković

Sažetak

U ovome istraživanju prikazan je postupak ispitivanja razine zvučnog tlaka u proizvodnom procesu. Mjereni su rezultati buke u proizvodnom poduzeću koje koristi strojeve za tiskanje i spajanje gume i plastike. Razine zvučnog tlaka tiskarskih strojeva izmjerene su unutar 9 različitih radnih područja i 23 mjerna mjesta s bukom MetrelMultinorm MI 6201 ST. Rezultati mjerenja buke uspoređeni su s razinom zvučnog tlaka propisanom Zakonom o zaštiti od buke (NN 30/09). Prema rezultatima dano je objašnjenje kako se vrši procjena odabira opreme za zaštitu sluha u skladu s Pravilnikom o zaštiti radnika od buke na radu i Direktivom 2003/10/EC. Metode za odabir zaštite koje su objašnjene jesu oktavni pojas, HML i SNR. Tehničke mjere su također obrađene, kao što su udaljavanje izvora buke i upotreba zaštitnih pregrada za smanjenje buke na izvoru ili njenom putu.

Ključne riječi: buka, ozljede na radu, zaštita sluha, zaštita na radu

1. UVOD

Kod industrijske proizvodnje buka na radu je konstantna pojava te predstavlja jedan od rizika za zdravlje čije parametre treba pratiti. Osnovna zaštita od buke je sukladno izmjerenoj razini buke predložiti rješenja kako smanjiti utjecaj buke. Pri tome treba uzeti u obzir da je stvarna učinkovitost odabrane zaštite za sluh često manja od očekivane. Razlozi tome su način odabira zaštite gdje su opcije prema oktavnoj metodi, jedinstvenom broju redukcije (SNR) ili prema brojevima visoke (H), srednje (M) i niske (N) frekvencije (HML), te sama kvaliteta uporabe odabrane zaštite. Problem su visoke razine zvučnoga tlaka jer dugotrajno utječu na ljudsko zdravlje oštećenjem unutarnjeg uha, Cortijevog organa i stvaranjem naglušnosti u pojedinim frekvencijama slušne plohe zaposlenika. Kako bi se riješio taj problem vrše se ispitivanja razine zvučnoga tlaka u prostorima tvrtke za vrijeme proizvodnje a promatra se intenzitet razine zvučnoga tlaka (razine buke) pri radu strojeva. U ovome radu prikazati će se ispitivanje u proizvodnoj tvrtki za štampanje sadržaja matrice na konačan medij poput gume, plastike i ostale materijale. Opasnost se ispituje u pogledu utjecaja buke na zdravlje radnika na radnome mjestu. Javlja se i buka neproizvodnih izvora, klimatizacijski sustav, transportni promet čiji utjecaj po svome intenzitetu može biti zanemariv.

U ovome istraživanju eksperimentalno se ispituju razine zvučnog tlaka pri radu strojeva za štampanje pomoću uređaja MetrelMultinorm MI 6201 ST te se komparativnom metodom istražuje razlika od razina zvučnog tlaka koje propisuje Zakon o zaštiti od buke (NN 30/09), [1]. U ocijeni rezultata primijeniti će se pravilnik o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu NN 46/2008 [2] koji prati direktivu 2003/10/EC kaže sljedeće:

- granična vrijednost izloženosti: $L_{Ex,8h} = 87 \text{ dB/A}$ i $p_{peak} = 200 \text{ Pa}$, odnosno 140 dB/C .
- gornja upozoravajuća granica izloženosti: $L_{Ex,8h} = 85 \text{ dB/A}$ i $p_{peak} = 140 \text{ Pa}$, odnosno 137 dB/C .
- gornja upozoravajuća granica izloženosti: $L_{Ex,8h} = 80 \text{ dB/A}$ i $p_{peak} = 112 \text{ Pa}$, odnosno 135 dB/C .

Vrijednosti izloženosti odnose se na 8 sati rada na dan tj. 40 sati rada na tjedan. U ovome radu ispituje se građevina s 3 etaže, prizemljem i dva kata. Proizvodna hala tvrtke omeđena je s javnim prometnim površinama i samostojeća je građevina sa prizemljem i dva kata. Tvrtka koristi 1. kat za proizvodnju cijelog tehnološkog operacijskog potrebnog niza, dok se uredi voditelja nalaze na 2. katu hale. Ispitivanje radnog okoliša proizvodne hale je bilo nužno radi izrade procjene rizika na radnim mjestima u proizvodnji. Tvrtka se sezonskim potrebama prilagođava pa se time i tehnološki odnosno proizvodni proces mijenja. Grijanje i hlađenje projektirano je za potrebe proizvodnog procesa tvrtke koje uvelike pomaže u održavanju potrebnih uvjeta za rad. Sama tvrtka ima preko 30 zaposlenika u sezoni. Fluktuacija radnika varira ovisno o potrebi i narudžbi kupaca. Ljetni i proljetni period kada je proizvodnja u punom jeku broj radnika penje se na 30 dok u zimskim mjesecima i jesenskim broj radnika opada na 15 zaposlenika. Građevina je konstrukcijski montažna od armiranih betonskih stranica kao i krovna konstrukcija. Hala je tako projektirana da je barem sa svake strane otvorena za transport robe velikih transportera i protokom robe nabave i izvoza.

2. EKSPERIMENTALNO ISTRAŽIVANJE I KORIŠTENE METODE

Mjerenje započinje ispravnom uporabom mjernih uređaja i utvrđivanjem mikroklimatskih uvjeta u prostoru te odabiru mjernih točaka. Osnovni mikroklimatski parametri u ispitivanoj proizvodnoj hali bili su: temperatura 33 °C, vlaga 53 %, brzina strujanja zraka 13,4 m/s. Instrument za korišten za mjerenje buke, temperature i vlažnosti zraka: MetrelMultinorm MI 6201 ST inventarski broj: 357, serijski broj: 160909777, slika 1. Digitalni ručni multifunkcijski instrument sa tri paralelna ulaza: mikrofoni u Kl. 2, mikroklimatska sonda i sonda za mjerenje svjetlosti. Mjerni opseg sonde za buku od 30 do 140 dB, Točnost: Klasa 2 prema IEC 61672 [3].



Slika 1. Digitalni ručni multifunkcijski instrument MetrelMultinorm MI 6201

Izvor: Obrada Autora

Prilikom mjerenja i ispitivanja radnog prostora instrument se mora kalibrirati kako bi se provjerilo dali je uređaj u ispravnosti. Kalibracija odnosno „baždarenje“ vrši se pomoću naprave koja se postavlja na vrh mikrofona uređaja. Baždarenje i ispravnost provjerava se tako da prilikom uključivanja naprave dobiveni rezultat na ekranu našeg mjernog instrumenta mora odgovarati nazivnoj vrijednosti navedenoj na napravi. Odstupanje je dozvoljeno u iznosu + / - 2 dB/A [3].



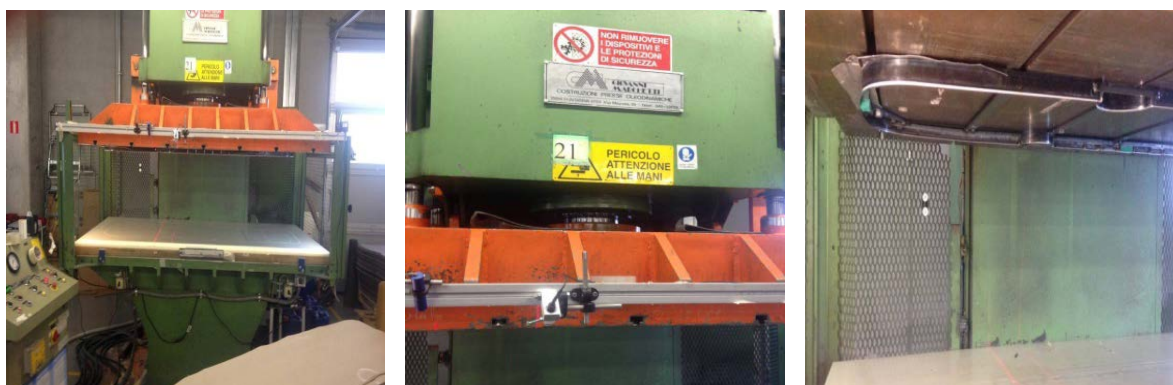
Slika 2. Uređaj za kalibraciju zvukomjera

Izvor: Obrada autora

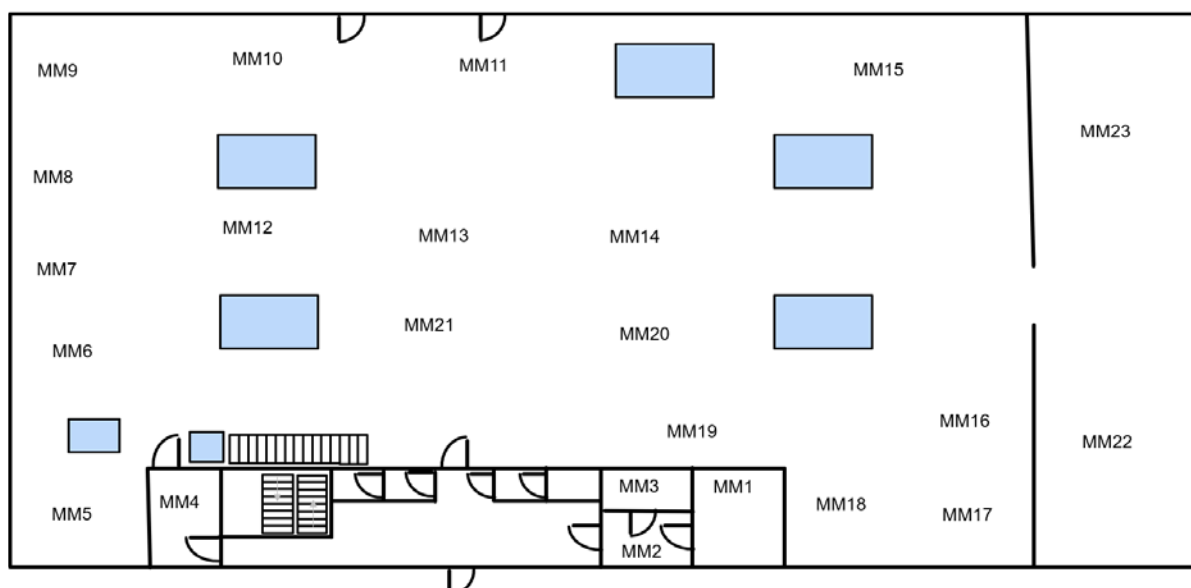
Zvukomjer je mjerni uređaj koji registrira zvuk na približan način kao i ljudsko uho. Postoje dva načina na koji se zvučni tlakovi prikazuju. Prvi način je prikaz zvučnog tlaka ili razine u ovisnosti o vremenu a drugi prikaz je ovisnost zvučnog tlaka o frekvenciji. Rezultate mjerenja prikazuje se spektralnom ili frekventnom analizom. Spektralna analiza izvodi se preko odabranih intervala frekvencija a u akustici su standardizirani oktavni i terčni intervali. Frekventno vrednovanje temelji se na fon krivuljama i najčešće se koriste dvije standardne karakteristike frekvencijskog vrednovanja prema A krivulji (korekciji) za niske i prema C krivulji (korekciji) za visoke razine. Važno je naglasiti da su krivulje frekvencijskog vrednovanja određene na temelju krivulja jednake glasnoće koje su dobivene mjerenjima na čistim tonovima.

Potrebno je definirati mjerna mjesta na kojima ljudi rade i borave te mjeriti na visini uha na udaljenosti od 0,20 m od uha prosječnog radnika ili radnika za kojega se zna da je zaposlen na tom radnome mjestu.

Na ispitivanome mjestu u prostoriji br. 2 odnosno proizvodnom pogonu buku mogu proizvesti uređaji kao što su: preše, temperaturne preše tekstila (slika 3 [3]), rezačice, pile, telefoni fiksni i mobilni, printeri i ploteri, viličari i transporter. Sukladno tome pristupilo se određivanju mjernih mjesta kao što je to prikazano na slici 4 [2]. Jedna od pretpostavki je da će prostor biti izložen prekomjernoj buci na dva određena stroja te se zbog tih navedenih radnih mjesta upozorilo i tražilo ispitivanje utjecaja buke kao i ostalih uvjeta a to su rezačica i temperaturna preša. Mjerenje je potrebno vršiti tijekom proizvodnje i rada svih strojeva.



Slika 3. Temperaturna preša
Izvor: Obrada autora



Slika 4. Mjerene točke u ispitivanoj proizvodnoj hali
Izvor: Obrada autora

3 REZULTATI

Osnova je da se mjerenja vrše u uvjetima koji su optimalni tj. 20 °C i 1 atmosferski tlak tj. 105 Pa te pri 50 % vlage. U praksi tj. pri uvjetima rada ti uvjeti variraju pa je izvršeno i mjerenje mikroklimatskih uvjeta, tablici 1 [3].

Red. Br.	Mikroklimatski parametri	Mjerna jedinica	Rezultat mjerenja	Zahtijevana vrijednost
1	Temperatura zraka	oC	25,2	20-24
2	Relativna vlažnost	%	48	40-60
3	Brzina strujanja zraka	m/s	<0,14	<0,2

Tablica 1. Mikroklimatski parametri
Izvor: Obrada autora

Izvršeno je mjerenje mjernih točaka od kojih su izdvojene reprezentativna pojedinih pogonskih cjelina. Mjerenja su izvršena prilikom rada strojeva te je time uključen međusobni utjecaj buke strojeva i njihovo međusobno zbrajanje. Važno je biti upoznat s činjenicom da se razine zvučnih tlakova zbrajaju te da ukoliko trenutno jedan stroj pri mjerenju ne radi možemo imati krivu procjenu rizika. Kako se buke zbrajaju na način da se na premijer za dvije iste razine npr. 85 dB i 85 dB dobiva + 3 dB tj. 88 decibela to dokazuje da se vrlo lako može donijeti kriva procjena rizika. Razlika može biti zanemarena na 10 dB razlike između dvije razine kao zanemarujuća.

Izmjereni rezultati predstavljaju ekvivalentnu razinu buke $L_{Aeq,T}$ koju treba prilagoditi u vrijeme izloženosti radnika dnevnoj izloženosti buci $L_{EX,d}$. Dnevna izloženost buci može se izračunati pomoću sljedećeg izraza [4]:

$$L_{EX,d} = L_{Aeq,T} + 10 \log \frac{T_e}{T_0} \quad (1)$$

T_e ... trajanje osobne izloženosti buci (h), T_0 ... referentno vrijeme, 8 h.
Jednako tako potrebo je izračunati i tjednu izloženost buke radnika pomoću izraza:

$$L_{EX,w} = 10 \log \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_i \cdot 10^{0,1(L_{EX,d})_i} \right) \quad (2)$$

Gdje je broj dana $m=5$.

U tablici 2 prikazani su rezultati te njihov preračun u dnevnu i tjednu razinu buke s referentnom vrijednošću koliko bi trebali iznositi [3]. Rezultati su mjereni prema krivulji A koja označava mjerenje buke u vremenskom razdoblju većem od 1 sekunde dok krivulja C označava mjerenje impulsne buke unutar 125 ms.

Red. Br.	Naziv procesa	Mjerno mjesto	Vrijeme izloženosti buci (h)	Ekvivalentna razina buke LAeq dB(A)	Dnevna buka za 6 sati. LEX,6 dB(A)	Razina buke za tjedan od 5 radnih dana LEX,w dB(A)	Referentna vrijednost
1.	Pogon 1	10	6	46	44,75	45,54	60
2	Pogon 2	11	6	54	52,75	53,54	60
3	Pogon 3	12	6	56	54,75	55,54	60
4	Pogon 4	13	6	56	54,75	55,54	60
5	Pogon 5	14	6	60	58,75	59,54	60
6	Pogon 6	16	6	59	57,75	58,54	60
7	Pogon 7	17	6	60	58,75	59,54	60
8	Pogon 8	22	6	87	85,75	86,54	60
9	Pogon 9	23	6	89	87,75	88,54	60

Tablica 2. Rezultati mjerenja buke u Proizvodnoj hali
Izvor: Obrada autora

Rezultati pokazuju da je na radnome mjestu u pogonu 8 i u pogonu 9 premašena zakonom dozvoljena razina dnevne i tjedne buke. Sami radni proces spada u fizički rad u kojemu su dopuštene razine buke 65-80 dB/A. Kako samo izlaganje takvoj buci, > 87 dB/A svrstava takvo radno mjesto u poslove s posebnim uvjetima rada, potrebno je predložiti tehničke i organizacijske mjere zaštite kao i onim upotrebom OZO-a (osnovne zaštitne opreme). Tehničkim izvedbama smatra se lokalna izolacija, apsorpcija i prigušenje zvuka na njegovo putu širenja različitim absorberima zavjesama i slično. Organizacijskim mjerama može se ograničiti se vrijeme rada stroja uvođenjem pauzi pauze za radnika na tom stroju ili izmjenom radnika, tako da se konačni učinak sveo da je radnik izložen ispod <80 dB/A tjedne izloženosti buci. Za 89 decibela ostatno vrijeme koliko radnik smije raditi da se dosegne vrijeme predviđeno zakonom sukladno 85 dB/A se može izračunati prema:

$$T_e = T_0 \cdot 10^{(L_{EX,8h} - L_{Aeq})/10} = 8 \cdot 10^{(85-89)/10} = 8 \cdot 10^{-0,4} = 3,184 \text{ sati} \approx 191 \text{ minuta.}$$

Prema tome radnik smije raditi 191 minutu ili 3 sata a odmarati ili promijeniti radnika 289 minuta ili 4,81 sati. Radi se o činjenici da je porast od svaka 3 dB vrijeme izloženosti skraćuje za 50 % tj. za 88 dB/A na 4 sata tako da za 5 dB za 4,81 sati. Na primjer za 91 dB vrijeme izloženosti bez OZO je 2 sata i tako dalje.

4. PRIMJER PRORAČUNA OZO ZA SLUH

OZO se može računati prema metodi oktavnih pojaseva, *HML* (engl. *High* Visokofrekvencijska, engl. *Medium* srednjefrekvencijska i engl. *Low* niskofrekvencijska vrijednost prigušenja buke) i *SNR* (engl. *Single Number Rating* – jednobrojna ocjenska vrijednost razine buke) metodi te na temelju uvida obrazložiti odabrani OZO za sluh. Na slici 5 i 6 može se vidjeti odabir Antifona i čepića za uši.



	PIT STOP2	PIT RADIO3	SUZUKA2	SPA3	SEPANG2	SILVERSTONE2	YAS MARINA	MAGNY COUR	MAGNYHELMET	INTERLAGOS
80 - 104 dB										
105 - 109 dB	< 27 dB	27 dB	27 dB	28 dB	29 dB					
110 - 114 dB						30 dB	32 dB	32 dB	32 dB	33 dB
115 - 119 dB										
120 - 124 dB										
HML	H - M - L	H 31 M 24 L 16	H 29 M 25 L 18	H 30 M 27 L 17	H 31 M 29 L 19	H 32 M 28 L 21	H 33 M 31 L 25	H 34 M 29 L 23	H 34 M 31 L 23	H 33 M 31 L 25
Težina	286 g	343 g	257 g	158 g	212 g	240 g	312 g	338 g	286 g	303 g
Karakteristika	Elektronski Sklopiv	AM FM radio	Fluo boja	Lagan	Udoban obruč za glavu	Podjevanje na stražnjoj strani glave	Pojačan obruč za glavu, sklopiv	Air room	Air room	Fluo boja Pojačan obruč za glavu

Slika 5. Antifoni, Izvor: <https://www.deltaplus.eu/hr HR/zastita-sluha>



	CONICMOVE	CONICAP	CONICSOFT	CONICFIRDE	CONICFIR	CONICFIT	CONICPLUS	CONICCOPLUS	CONICDE	CONICCO	CONIC
80 - 104 dB	22 dB	24 dB									
105 - 109 dB			26 dB	28 dB	29 dB	29 dB					
110 - 114 dB							34 dB	34 dB			
115 - 119 dB									37 dB	37 dB	37 dB
120 - 124 dB											
HML	H 24 M 16 L 14	H 25 M 20 L 19	H 25 M 23 L 22	H 29 M 27 L 24	H 27 M 24 L 24	H 29 M 27 L 25	H 33 M 31 L 30	H 33 M 31 L 30	H 36 M 35 L 34	H 36 M 34 L 33	H 36 M 34 L 33
Materijal	PU	PU	Silikonski	TPR	TPR	Silikonski	PU	PU	PU	PU	PU
Ø	19 mm	18 mm	10 mm	7-11 mm	7-11 mm	11,5 mm	7-11 mm	7-11 mm	12 mm	12 mm	12 mm
Vezica	Ergonomski obruč za glavu	Sklopiv obruč za glavu	Tekstil	Tekstil	Tekstil	Tekstil	-	Plastika	Plastika	Plastika	-
Uporaba	Za višekratnu uporabu	Za višekratnu uporabu	Za višekratnu uporabu	Za višekratnu uporabu	Za višekratnu uporabu	Za višekratnu uporabu	Za jednokratnu uporabu	Za jednokratnu uporabu	Za jednokratnu uporabu	Za jednokratnu uporabu	Za jednokratnu uporabu
Pakiranje	x7	x7	x7	x7	x7	x7	x200	x200	x7	x200	x10 x200 x500

Slika 6. Čepići za uši, Izvor: <https://www.deltaplus.eu/hr HR/zastita-sluha>

Na primjeru CONICFIRDE čepića za uši SNR metoda je jednostavna uzima se jedan broj koji je naznačen kao srednja vrijednost npr. Za SNR = 28:

$$L'_{pA} = L_C - SNR = 89 - 28 = 61 \text{ dB/A.}$$

HML metoda uzima tri broja npr. Za $H = 29$, $M = 27$ i $L = 24$ za vrijednost L_C uzima se 89 dB/C a L_A uzima se 88,54 dB/A :

$$\text{Za } L_C - L_A \leq 2 \text{ [dB]}, PNR = M - \frac{H-M}{4} \cdot (L_C - L_A - 2) \text{ dB/A.}$$

$$\text{Za } L_C - L_A > 2 \text{ [dB]}, PNR = M - \frac{M-L}{8} \cdot (L_C - L_A - 2) \text{ dB/A.}$$

$$L'_{pA} = L_A - PNR,$$

$$L_C - L_A = 89 - 88,54 = 0,46 < 2.$$

$$PNR = 27 - \frac{29-24}{4} \cdot (89 - 88,54 - 2) = 28,92 \text{ dB.}$$

$$L'_{pA} = L_A - PNR = 89 - 28,92 = 60,08 \text{ dB/A.}$$

HML metoda spušta opasnost na 60 dB/A a SNR na 61 dB/A. Veća točnost se može postići kontrolom s oktavnim pojasevima međutim onda treba mjeriti s preciznijim mjernim uređajem.

Na primjer da su ostvareni rezultati u tablici 3 izmjereno L_p .

Oktava/Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Izmjereno L_p dB	92	93	95	95	96	98	96	94
APV dB srednje prigušenje čepića	13,8	16,5	20,2	23,1	23,8	31,0	35,9	34,5
Korekcija za dB/A	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1
Razina buke iza štitnika dB/A	45	52,4	53,2	42,7	41,2	41,2	40,1	44,4

Tablica 3. Primjer rezultata pri oktavnoj frekvenciji u Proizvodnoj hali

Izvor: Obrada autora

Ukupna razina buke je tada:

$$L'_{pA} = 10 \cdot \log(10^{4,5} + 10^{5,24} + 10^{5,32} + 10^{4,27} + 10^{4,12} + 10^{4,12} + 10^{4,01} + 10^{4,44}) = 56,96 \text{ dB/A.}$$

Zaštita je zadovoljavajuća/dobra po svakoj od metoda (< 80 dB). Svjetska zdravstvena organizacija preporučuje da je razina buke ispod 70 dB/A što je također zadovoljeno. Budući da HML metoda koristi utjecaj frekvencije, preciznija je od SNR metode, a najpreciznija je oktavna metoda koja je prikazana na oglednom primjeru jer uređaj nije mjerio frekvencije [6].

5. ZAKLJUČAK

U ovome istraživanju prikazan je postupak ispitivanja razine zvučnog tlaka u proizvodnom procesu. Mjereni su rezultati buke u proizvodnom poduzeću koje koristi strojeve za tiskanje i spajanje gume i plastike. Cilj istraživanja je bio preporučiti metode za smanjenje buke te pokušati predložiti zaštitu bez korištenja OZO. Razine zvučnog tlaka tiskarskih strojeva izmjerene su unutar 9 različitih radnih područja i 23 mjerna mjesta s bukom MetrelMultinorm MI 6201 ST.

Rezultati mjerenja buke uspoređeni su s razinom zvučnog tlaka propisanom Zakonom o zaštiti od buke (NN 30/09). Neki rezultati su prešli razinu buke od 85 dB/A te je prikazana metoda ocijene buke u poduzeću. Također je dan prijedlog da radno vrijeme bude organizirano u smjenama i koliko je to vrijeme. Prema rezultatima dano je objašnjenje kako se vrši procjena odabira opreme za zaštitu sluha u skladu s Pravilnikom o zaštiti radnika od buke na radu i Direktivom 2003/10/EC. Metode za odabir zaštite koje su objašnjene jesu oktavni pojas, HML i SNR. U istraživanju HML metoda je dala bolji rezultat za 1 dB/A od SNR metode, ali oktavna metoda bi trebala dati točnije rezultate budući da mjeri više različitih frekvencija.

Važno je primjenjivati i tehničke mjere poput udaljavanje izvora buke i upotreba zaštitnih pregrada za smanjenje buke na izvoru ili njenom putu. U budućem istraživanju ispitivati će se realni prostor te usporedba s prijedlogom za oblaganje reflektivnih površina s ciljem apsorpiranja ili rasapa zvuka.

LITERATURA

- [1] Zakon o zaštiti od buke (NN 30/09).
- [2] Pravilnik o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu (NN 46/08).
- [3] S. Kapular, *Ispitivanje fizikalnih štetnosti u tvrtci Istra Textum d. o. o.*, Rijeka: Veleučilište u Rijeci, 2016. [urn:nbn:hr:125:299872](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:hr:125:299872).
- [4] A. Regent, M. Kršulja: *Fizikalne štetnosti - Zbirka riješenih zadataka*, Veleučilište u Rijeci, Rijeka, ISBN 978-953-6911-82-0, 2015.
- [5] Antifoni i čepići za uši, https://www.deltaplus.eu/hr_HR/zastita-sluha, 15.04.2015.
- [6] A. Kršulja, D. Bakša, D. Bognolo, M. Kršulja: *Procjena utjecaja buke i određivanje OZO pri ispitivanju frekventnog pretvarača*, ITE-SAFETY 2015, ISBN 978-953-56789-8-4. Quimedia, Poreč.

Abstract

Estimation and selection of measures for noise reduction

This investigation shows results of noise measurements in a production company that uses machines for printing and joining of rubber and plastics. The sound pressure levels of the printing machines were measured within 9 different working areas and 23 measurement places with the noise Metrel(Multinorm MI 6201 ST. Results of noise measurements were compared with the sound pressure level prescribed by the Noise Protection Act (NN 30/09). According to results estimation of selection of hearing protection equipment in accordance with Ordinance on Protection of Workers from Noise at Work and Directive 2003/10/EC is given by use of one of the calculation methods: octave band, HML and SNR. Technical measures are also addressed such as distancing noise sources and use of protective bulkheads to reduce noise at the source or its pathway.

Keywords: noise, occupational injury, hearing protection, work safety

ADHEZIJA NI –P PREVLAKE I SUPSTRATA

Sandra Balde Tehnička škola Pula, Mauro Maretić Tehnička škola Pula

Sažetak

U suvremenoj proizvodnji mnogi od postojećih materijala ne zadovoljavaju sva potrebna svojstva. Vrlo često je potrebno poboljšati svojstva na površini materijala (tvrdoća, otpornost na koroziju, električna svojstva). Kako bi se to ostvarilo potrebno je na postojeći materijal (supstrat) nanijeti sloj materijala koji zadovoljava tražena svojstva. Postoje brojni postupci kojima se mogu nanijeti prevlake na određeni supstrat, ali sve te prevlake moraju imati dobru adheziju sa supstratom.

1. UVOD

Adhezija je privlačna sila koja se pojavljuje između molekula različitih tijela u direktnom dodiruju. Adhezijske sile ovise o čvrstoći atomskih veza podloge (supstrata) i mikrostrukture (površine prevlake) na koju se supstrat nanosi. Dosada još nisu u potpunosti poznati faktori koji utječu na adheziju, niti je u potpunosti poznat prihvatljiv postupak mjerenja [2].

2. ČIMBENICI KOJI UTJEČU NA ADHEZIJU

Poznata su tri osnovna čimbenika koji utječu na adheziju između prevlake i supstrata:

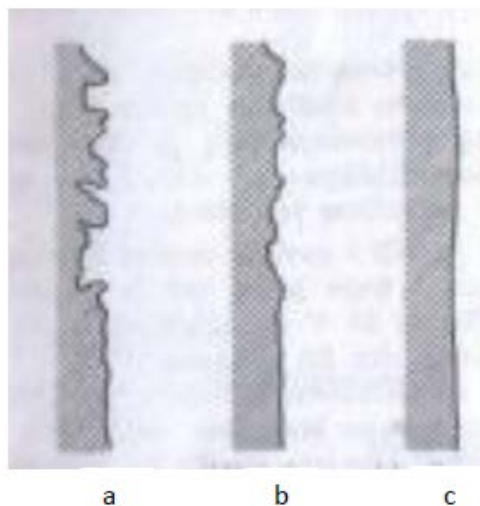
- čista površina supstrata,
- slična struktura zrna i istezljivost supstrata i prevlake,
- glatka površina supstrata [1], [2].

2.1 Čistoća prevlake

Neposredno prije nanošenja prevlake potrebno je eliminirati sve nečistoće sa površine supstrata. Potrebno je eliminirati otiske prstiju sa površine supstrata. Uslijed visokih temperatura nečistoća otiska difundira u površinu supstrata, zbog čega može djelovati na kemijski sastav površine supstrata. Sa površine supstrata potrebno je eliminirati ostataka korozije. Kako bi sačuvali strukturu zrna ili kristala te sličnu istezljivost supstrata i prevlake, vrši se elektrolitičko čišćenje. Mehaničkim čišćenjem postoji mogućnost deformiranja zrna supstrata, a time i smanjenje adhezije [4].

2.2 Hrapavost površine

Glatkost površine supstrata postiže se poliranjem. Poliranje uzorka mora biti što kvalitetnije obavljeno. Mehaničkim poliranjem na površini supstrata oslobađa se pod utjecajem trenja toplina, što uzrokuje površinsko izobličenje strukture i mogućnost pojave amorfnog sloja. Nadalje, mehaničkim poliranjem na površini supstrata pojavljuju se ogrebotine koje onemogućavaju kvalitetno prijanjanje prevlake i supstrata.. Elektropoliranjem se lakše primijete pukotine i praznine na površini supstrata. Mehaničkim poliranjem pukotine i praznine mogu se ispuniti metalom, prahom za poliranje ili drugim nečistoćama. Elektropoliranje se odvija u dvije faze. U prvoj fazi površina se izgladuje, a u drugoj fazi površina je polirana (slika 2.1.) [4].



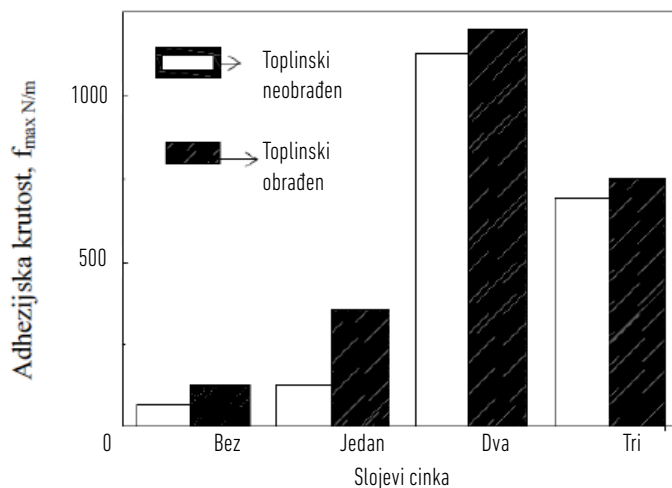
Slika 2.1. Faze elektropoliranja površine supstrata a) neobrađena, hrapava površina, b) izgladljena površina, c) polirana, glatka površina [4]

Na slici 2.1. je prikazan proces eliminiranja hrapavosti s površine supstrata. Na izgladjenoj površini nema ostataka nikakvih tragova.

3. POVEĆANJE ADHEZIJE IZMEĐU NI – P (NIKAL – FOSFOR) PREVLAKE I SUPSTRATA

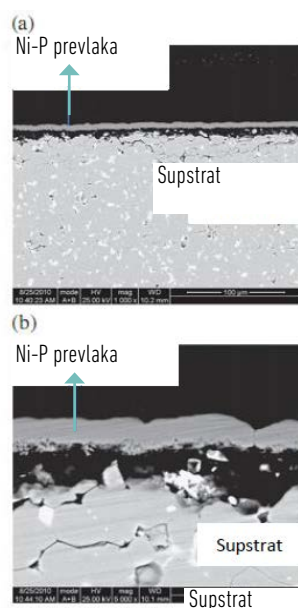
Bestrujnim nanošenjem Ni – P prevlake na supstrate s katalitičkim površinama (većina čelika i aluminija), ostvaruje se dobra adhezija. Kada se aluminij, zagrije na temperaturu 190-210 °C u trajanju od 1,5 h, adhezija se povećava [1]. Kod supstrata sa nekatalitičkim površinama, (npr. nehrđajući čelik), adhezija je znatno smanjena. Kod takvih supstrata adhezija se postiže stvaranjem međuprevlake (prevlaka između Ni-P prevlake i supstrata) koja će imati dobru adheziju s Ni-P prevlakom i supstratom. Kod legura koje sadrže veće količine kadmija, cinka, olova, i kositra na površinu podloge nanosi se sloj bakra. Taj se postupak naziva „copper strike“. Nadalje, kod nekatalitičkih površina dugotrajnom toplinskom obradom povećava se adhezija. Tada fosfor difundira u supstrat [5]. U slučaju aluminijevskih legura povećana adhezija između Ni – P prevlake i supstrata postiže se nanošenjem sloja cinka [6, 11]. Nanošenjem dva sloja cinka postiže se dodatno povećanje adhezije. Dodatno povećanje adhezije postiže se toplinskom obradom (Slika 3.1.) [6].

Slika 3.1. Utjecaj toplinske obrade i broja nanosenih slojeva cinka na adheziju Ni-P prevlake i aluminijevskog supstrata [6]

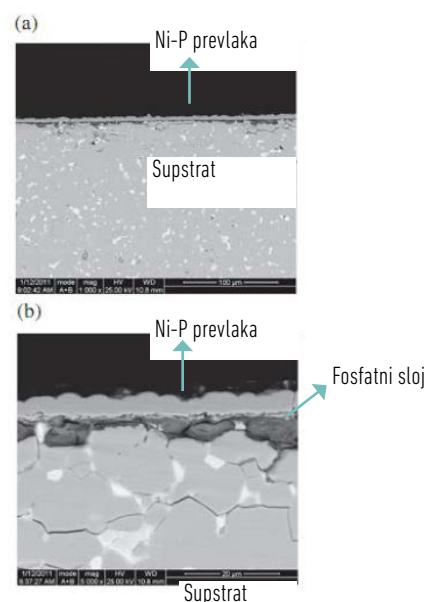


Iz slike 3.1. može se primijetiti da se najbolja adhezija postiže nanošenjem dvaju sloja cinka i toplinskom obradom.

Proučavanjem adhezije između Ni-P prevlake i sinteriranog NdFeB supstrata primijećeno je da se stvaranjem fosfatnog sloja povećava adhezija (slike 3.2. i 3.3.) [7].

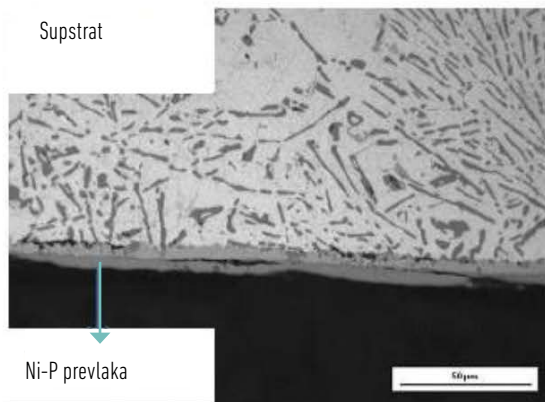


Slika 3.2. Bez fosfatnog sloja [7].

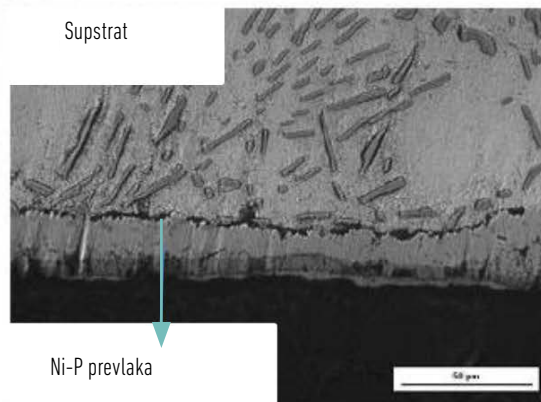


Slika 3.3. S fosfatnim slojem [7]

Na slikama 3.2. i 3.3. vidi se da fosfatni sloj povezuje Ni - P prevlaku i supstrat. Pokazalo se vrlo bitnim i trajanje toplinske obrade na Ni-P-Al₂O₃ prevlaku i AlSi10Mg0.3 supstratu. Rezultati su prikazani na slikama 3.4. i 3.5. [3]



Slika 3.4. Grijano na temperaturi od 550 °C u trajanju 1 h [3]

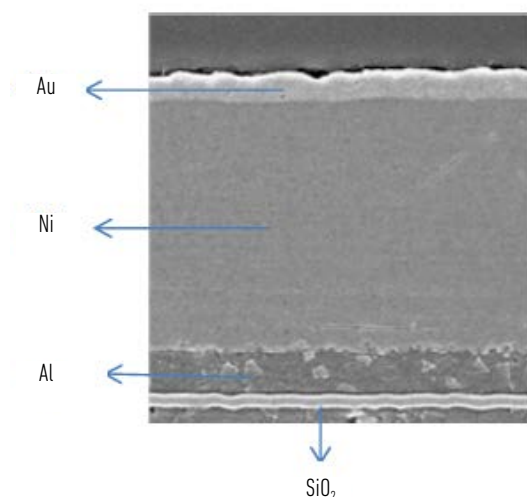


Slika 3.5. Grijano na temperaturi od 550 °C u trajanju 8 h [3]

Iz slike 3.4. vidljivo je da nakon toplinske obrade od jednog sata grijanja između prevlake i supstrata postoje male pore. Iz slike 3.5. je vidljivo da nakon toplinske obrade od osam sati prevlaka i supstrat gotovo uopće nisu povezani.

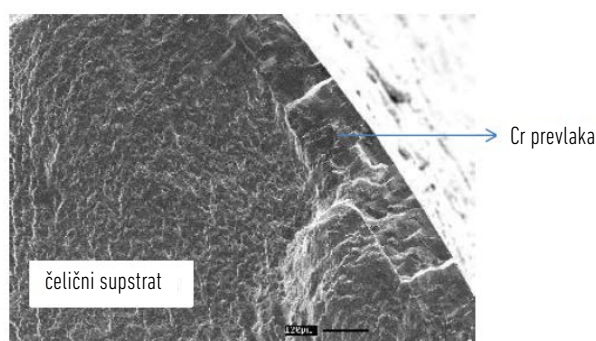
4. Ni – P PREVLAKA KAO MEĐUPREVLAKA

Ni-P prevlake mogu se nanijeti na supstrat kao međuprevlaka između željene prevlake i supstrata. Ni-P prevlakom koriste se kao međuprevlake u poluvodičkoj industriji. Aluminijske žice koriste se kao vodiči. Međutim površinski sloj aluminijeva oksida je loš vodič. Zato se na aluminijski supstrat Ni – P prevlaka [10]. Na Ni – P prevlaku se nanosi zlato čiji je oksid odličan vodič. (slika 4.1.) [8].



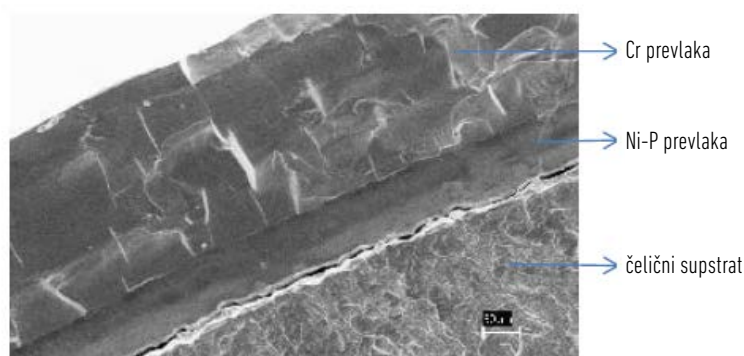
Slika 4.1. Sloj nikla i zlata dobiven u poluvodičkoj tehnologiji [8]

Na slici 4.1. vidljiv je sloj nikla i zlata. U zrakoplovnoj industriji kromirane prevlake štite čelik od korozije i pukotina. Tijekom nanošenja prevlake, dolazi do zaostalih vlačnih naprezanja koja uzrokuju mikropukotine. Te pukotine se proširuju na površinu supstrata (slika 4.2.) [9].



Slika 4.2. Pojave pukotina na prevlaci kroma [9]

Iz slike 4.2. vidljiva je pojava pukotine koja s prevlake kroma prelazi na čelični supstrat. Be-strujnim nanošenjem Ni – P prevlake onemogućuje se širenje pukotina na supstrat (slika 4.3.) [9].

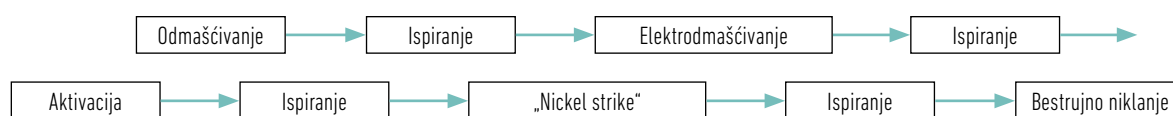


Slika 4.3. Ni-P prevlaka između prevlake kroma i čelične podloge [9]

Iz slike 4.3. može se primijetiti da Ni-P prevlaka sprječava širenje pukotina s kromirane prevlake na čelični supstrat. Na slici 2.10. mogu se uočiti pukotine na prevlaci kroma, ali na Ni-P prevlaci i čeličnom supstratu nisu prisutne.

5. TEHNOLOŠKI PROCES NANOŠENJA Ni-P PREVLAKE

Kako bi se postigla kvalitetna adhezija mora se izvršiti točan tehnološki proces Na slici 5.1. prikazan je tehnološki proces bestrujnog nanošenja Ni – P prevlake na nehrđajući čelik.



Slika 5.1. Preporučeni postupak pripreme uzorka i postupka bestrujnog niklanja

Odmašćivanje i elektroodmašćivanje služe za eliminaciju nečistoća na površini supstrata. Elektroodmašćivanje je kratkotrajno elektropoliranje. Aktivacija je uklanjanje sloja oksida s površine supstrata. Nickel strike je elektrodepozicijski postupak nanošenja tankog sloja nikla na površini nehrđajućeg čelika. Taj sloj služi kao prevlaka između površine supstrata i bestrujno nanošene Ni – P prevlake. Ispiranje se obavlja u običnoj vodi kako bi se eliminirale zaostale kapljice prethodnih obrada na supstratu [1].

6. ZAKLJUČAK

Dosadašnje spoznaje o adheziji uglavnom su iskustvene. Široka primjena prevlaka u brojnim tehnologijama te perspektive daljnjeg razvoja zahtijevaju stjecanje novih spoznaja o mogućnosti primjene različitih prevlaka. Možda najveći izazov budućih istraživanja je teoretsko razumijevanje pojave i mehanizama adhezije.

7. POPIS LITERATURE

- [1] Donald W. Baudrand. Electroless Nickel Plating, In Asm Handbook-Volume 5: Plating and Electroplating, Nonelectrolytic Deposition Processes, Material Park, Oh: Asm International, 1994. ISBN 0-87170-384-X, p 290, 291, 292, 294, 295, 297, 300, 306, 307.
- [2] Bunshah, R.F.: Handbook Of Hard Coatings, Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey, 2001, p. 114, 167. Isbn:0-8155-1438-7
- [3] Novak M., at all, Heat Treatment of Ni-P-Al₂O₃ Electroless Coatings, Metal, 19-21. 5. 2009 Hardec Nad Moravici, p. 4.
- [4] Potter C. Edmund.: Elektrokemija Osnove I Primjena, Školska Knjiga, Zagreb, 1968 p. 238, 292. Prijevod
- [5] The Engineering Properties of Electroless Nickel Coatings, Rnd: 1t, December 31, 1980.
- [6] Makoto H., at all Effect of Zincate Treatment on Adhesion of Electroless Ni-P Plated Film for 2017 Aluminium Alloy, Materials Transactions, Vol. 46, No 10(2005), p. 2171.
- [7] Yao W., at all, Improving Adhesion of Electroless Ni-P Coating on NdFeB Magnet, Surface & Coatings Tehnology 206 (2011), p. 1205.
- [8] Katalod Tvrtke Interconnect, <http://www.lcinterconnect.com/plating.htm>
- [9] Voorwald, H. J. C., at all, Influence Of Electroless Nickel Interlayer Thickness on Fatigue Strength of Chromium-Plated AISI 4340 Steel, Ecf15
- [10] Under Bump Metallization (Ubm)Tutorial #11, George Riley, September 2001 <http://flipchips.com/tutorial/process/under-bump-metallization-ubm/>
- [11] Koji Murakami., at all, Effect of Zincate Treatment on Adhesion of Electroless Nickel-Phosphorus-Coating for Commercial Pure Aluminum, Materials Transactions, Vol. 47, No. 10 (2006), p. 2523.

RADON U NAŠIM DOMOVIMA

Autor: Rade Čuturilo, prof

„Nothing in life is to be feared, it is only to be understood. Now is the time to understand more, so that we may fear less.” – Marie Curie.

Sažetak

Radon je prirodni radioaktivni plemeniti plin kojeg čovjek ne može detektirati svojim osjetilima. Za detekciju radona potrebni su detektori ionizirajućeg zračenja. ^{222}Rn nastaje u radioaktivnom lancu urana ^{238}U , nakon alfa raspada radija ^{226}Ra . ^{222}Rn je plemeniti plin koji će naći pukotine u tlu i izbiti na površinu zemlje ili u neki zatvoreni prostor. Koncentracija radona u zraku koji udišemo vani je malena, i ne predstavlja rizik za zdravlje, ali koncentracija u podrumima i prizemlju (a ponekad i na katu) može biti velika. Vrijeme poluraspada radona je 3,8 dana, što znači da nakon 3,8 dana koncentracija aktivnosti smanjit će se na polovicu početne koncentracije. Prilikom radioaktivnog raspada ^{222}Rn emitira alfa čestice i stvaraju se drugi kratkoživući potomci radona (najrelevantniji su ^{218}Po i ^{214}Po) koji se vežu na aerosole koje udišemo. Potomci podliježu alfa raspadu i emitirane alfa čestice predstavljaju potencijalnu rizik od raka pluća ukoliko se udišu. Rizik od takvih posljedica je 25 puta veći u kombinaciji sa pušenjem. Ono što nam preostaje je mjerenje koncentracije radona u našim domovima, bilo samostalno ili institucionalno i temeljem rezultata mjerenja poduzeti mjere zaštite.

Ključne riječi: radon, ionizirajuće zračenje, rak pluća, zaštita, mjerenje

UVOD

Sva živa bića, biljke, životinje i ljudi, izloženi su tijekom evolucije različitim ekološkim utjecajima kojima su se živa bića morala prilagođavati. Neki od tih ekoloških i prirodnih utjecaja mogu biti štetni za zdravlje živih bića, odnosno ljudi. Među najvažnije prirodne i ekološke utjecaje na ljude ubraja se ionizirajuće zračenje, odnosno radioaktivni izotopi koji se nalaze u prirodi. Posljednjih desetak i više godina posebna pažnja posvećena je radonu, i istraživanjima o utjecaju na zdravlje ljudi, mjerenjima i zaštiti od radona.

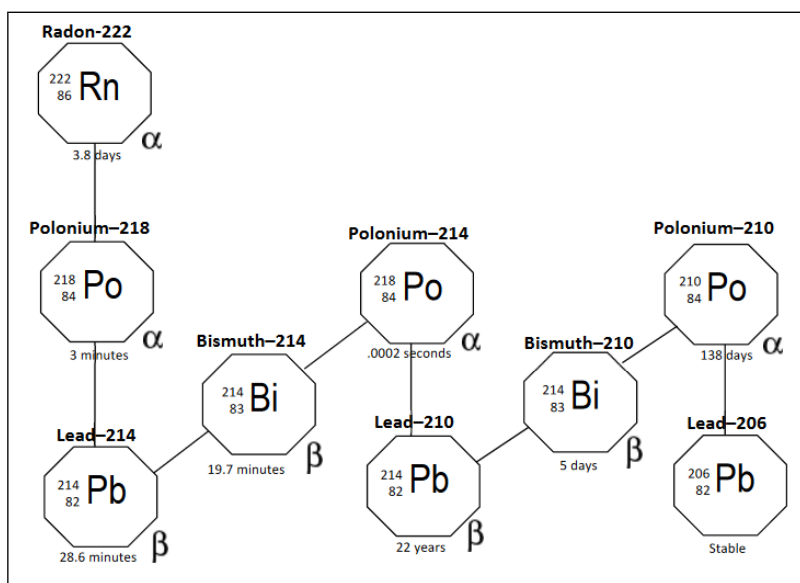
Iako je radon već desecima godina tema rasprava u medicinskim, biološkim, fizikalnim, građevinskim i drugim krugovima, te rasprave ponekad ne stižu do onih kojih se radon najviše tiče – stanovništvo, vlasnici stanova i kuća, radnici na radnim mjestima. Stoga je važno raditi na edukaciji i osvještenosti populacije o mogućim rizicima zbog izloženosti radonu i o načinima zaštite. Priča o radonu počela je još šezdesetih godina prošlog stoljeća, a rasprave i istraživanja kao i danas bili su kontroverzni: jedni su dokazivali pozitivni a drugi negativni utjecaj radona na zdravlje ljudi. Danas je sve to bolje znanstveno razjašnjeno, o čemu će biti riječi u ovome pregledu[1].

NASTANAK, FIZIKALNE I KEMIJSKE ZNAČAJKE RADONA

Kad se govori o radonu onda se uglavnom misli na ^{222}Rn . Postoje i drugi izotopi radona, neki prirodni (^{219}Rn , ^{220}Rn) a neki umjetni (ukupno 28), ali njihov je utjecaj za zdravlje zanemariv. Radon se nalazi svugdje u našem okolišu: zraku, zemlji, vodi, živim bićima (uneseni udisanjem, i beznačajno hranom i vodom). Nastaje u tlu kao član radioaktivnog niza ^{238}U , nakon alfa raspada radija ^{226}Ra , koji se prirodno nalazi u stijenama i tlu.

^{222}Rn nalazi se na 86 mjestu periodskog sustava, dakle ima 86 protona i 136 neutrona, i

vrijeme poluraspada mu je 3,8 dana, što njegove potomke raspada čini potencijalno opasnim za zdravstvene učinke na DNK kod svih živih bića. Radioaktivnim raspadom ^{222}Rn u kaskadi se stvara više radionuklida koji emitiraju alfa i beta čestice, te gama zračenje (slika 1). Emitire alfa čestice (nalik na jezgre helija – 2 protona i 2 neutrona) predstavljaju potencijalni rizik s obzirom na veliku energiju koju mogu predati tkivu s kojim dolaze u kontakt. Ukoliko se disanjem ^{222}Rn unese u tijelo, u respiratorni sustav, emitirane alfa čestice ionizirat će tkivo pluća, pri čemu će se ono lokalno oštetiti (oštećenje DNK). Radon je radioaktivni plemeniti plin, kojega čovjek ne može detektirati svojim osjetilima. Za detekciju ^{222}Rn potrebni su nam detektori ionizirajućeg zračenja.



Slika 1: Lanac radioaktivnog raspada ^{222}Rn .

Izvor: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-12/documents/radon-22-decay-chain.pdf>

BIOLOŠKI UČINCI ZRAČENJA RADONA

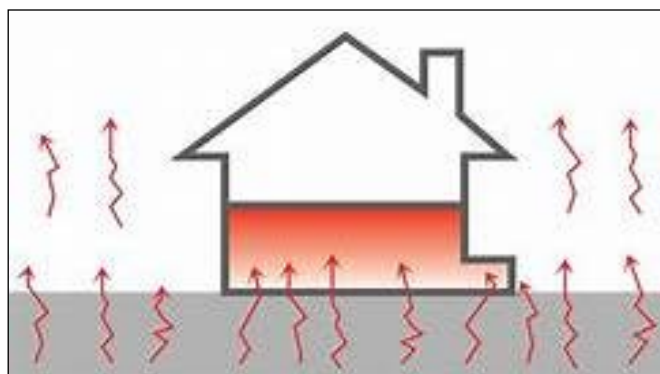
Ionizirajuće zračenje prenosi energiju dovoljnu da ionizira tvar kroz koju prolazi, što u živim stanicama i DNK može izazvati oštećenja. Kada je biološko tkivo izloženo ionizirajućem zračenju, stanice apsorbiraju energiju i to može uzrokovati popravljiva (jednolančani lomovi), ali i nepopravljiva oštećenja (dvolančani lomovi) lanaca DNK.

Hoće li i u kojoj mjeri izloženost organizma zračenju dovesti do oštećenja i potencijalno rizika, ovisi o apsorbiranoj dozi, vrsti ionizirajućeg zračenja, te vrsti izloženog organa ili tkiva. Međutim, oštećenja od ionizirajućeg zračenja također se mogu popraviti, ali ako se popravak provodi pogrešno, to može dugoročno dovesti do razvoja bolesti, na primjer raka. Učinci zračenja na stanice su: učinci na DNK, usporavanje dijeljenja, kromosomske aberacije, smrt stanica, maligna transformacija i mutacija gena [1].

GDJE LJUDI DOLAZE U DODIR SA RADONOM

Radon se stvara u tlu i kao plin izbija iz tla kroz različite pukotine ili kroz vodu, te izlazi u slobodni prostor gdje ga u bezopasnoj koncentraciji udišemo. Međutim radon ulazi u stanove i radne prostore, prije svega one u prizemlju (Slika 2). Ulazi kroz sve moguće pukotine u prizemlju, zbog loše hidroizolacije, uz temelje, uz bilo koje cijevi koje izlaze iz zemlje. Stoga, se u zatvorenim prostorima može stvoriti povećana koncentracija radona kojega udišemo i izdišemo (obzirom da je

plemenit plin ne spaja se se ostalim molekulama u tijelu ni u bilo kojem prostoru). Rijedak spoj radona i fluora napravljen je u laboratoriju. ^{222}Rn može biti potencijalno opasan za zdravlje, što je koncentracija u zatvorenom prostoru veća i što je izloženost dulja.

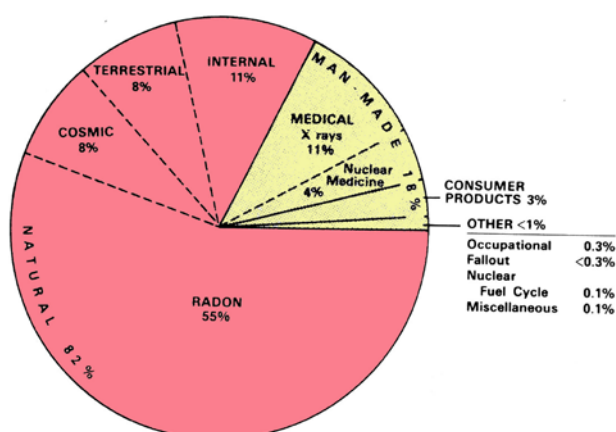


Slika 2: Shematski prikaz izbijanja radona iz tla.

MJERNE JEDINICE POVEZANE UZ IONIZIRAJUĆE ZRAČENJE

Postoji dobra istraženost maksimalno dopuštenih izlaganja radioaktivnom u zračenju. Ne ulazeći u detalje, apsorbirana doza predstavlja energiju predanu određenoj masi tkiva ili materijala te je istu moguće izmjeriti. Jedinica za apsorbiranu dozu je gray prema engleskom fizičaru *L. H. Gray*, koji se bavio učincima ionizirajućeg zračenja na biološke sustave. Zbog potrebe zaštite od ionizirajućeg zračenja uvedena je veličina koja se zove efektivna doza koja se može izračunati jednom kad su poznati vrsta ionizirajućeg zračenja i vrsta izloženog tkiva. Efektivna odza izražava rizik izlaganja ionizirajućem zračenju.

Efektivnu dozu za cijelo tijelo moguće je izračunati na temelju preporuka Međunarodne komisije za radiološku sigurnost ICRP (International Commission on Radiological Protection). Mjerna jedinica za efektivnu dozu prema SI sustavu je sievert, Sv (Rolf Maximilian Sievert, švedski fizičar poznat po radu na mjerenju doze i istraživanju bioloških učinaka zračenja). Radon je prirodni izvor zračenja koji pridonosi preko 50% ukupne godišnje efektivne doze što je vidljivo iz priloženog dijagrama (Slika 3). Efektivnoj godišnjoj dozi doprinosi izloženost pojedinca svemirskom zračenju, ostalim radioaktivnim izvorima u okolišu, medicinski postupci, i drugo. Radioaktivni izotopi, kao što je ^{222}Ra se spontano raspadaju te nastaju nove jezgre koje se mogu i dalje raspadati sve dok ne postanu stabilne. Broj raspada u sekundi naziva se aktivnost. Mjerna jedinica za aktivnost je becquerel - Bq (Antoine Henri Becquerel, koji je zajedno s Mariom Curie i Pierreom Curie dobio Nobelovu nagradu za otkriće radioaktivnosti). Ponekad za mjernu jedinicu aktivnosti se koristi i mjerna jedinica curie - Ci (1 Ci = 37 000 000 Bq).



Slika 3: Utjecaj raznih izvora ionizirajućeg zračenja na ukupnu godišnju efektivnu dozu (prilagođeno prema izvorima: ICRP, UNSCEAR).

SPECIFIČNOSTI RADONA

Radon kao radioaktivni plemeniti plin nije opasan sam po sebi, jer s ni jednim spojevima kemijski ne reagira (osim zanemarivo sa fluorom). U čemu je onda problem? Rekli smo da je vrijeme poluraspada radona 3,8 dana, što znači da će se u zatvorenom ili otvorenom prostoru polovica atomskih jezgri radona bez obzira na koncentraciju raspasti na svoje potomke. Kratkoživući potomci radona su polonij, bizmut i olovo (Slika 1). Oni su također radioaktivni i imaju vrlo kratko vrijeme poluraspada. Njihove atomske jezgre se raspadaju emitirajući alfa čestice koje oštećuju živo tkivo.

Radioaktivni potomci radona pričvršćuju se na aerosole (najfinije čestice u zraku) koje udišemo. Kada se potomci radona raspadnu u plućima, tamo emitiraju alfa čestice koje mogu oštetiti stanice u tkivima pluća te povećati rizik od razvoja raka pluća.

RAK PLUĆA I RADON

Radon se smatra drugim uzročnikom raka pluća, na prvom mjesto je pušenje. Na svjetskoj razini smatra se da je između 3% i 14% svih karcinoma pluća uzrokovano radonom [2].

Veliki broj studija pridonio je stvaranju zakonske regulative i postavljanju referentnih razina. U istraživanju prikazanom u članku „[Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies](#)» autori dolaze do zaključka da „Zajedno, iako ne odvojeno, ove studije pokazuju značajne opasnosti od stambenog radona, posebno za pušače i nedavne bivše pušače, i ukazuju na to da je odgovoran za oko 2% svih smrtnih slučajeva od raka u Europi” [2].

ZAKONSKA REGULATIVA O IZLAGANJU RADONU

Direktiva Vijeća Europe 2013/59/Euratom od 5. prosinca 2013. preporučuje da se obavijesti Europska komisija ukoliko su izmjerene vrijednosti koncentracije aktivnosti radona u zatvorenim prostorima veće od 300 Bq/m³. Razlog tome je to što istraživanja su pokazala da produžena izlaganja koncentraciji radona od 100 Bq/m³ statistički relevantno povećavaju vjerojatnost nastanka raka pluća. Obaveza svake države članice je uspostaviti nacionalne referentne razine koncentracije radona. Europska direktiva pretočena je u Zakon za radiološku i nuklearnu sigurnost i u Pravilnik o granicama ozračenja, preporučenom dozom, ograničenju i procjenjivanju osobnog ozračenja (NN38/2018, 8/2022) koji nalažu da:

„Referentna razina za radon u zraku u zatvorenim prostorima (stambenim prostorima te prostorima zgrada javne namjene) izražena kao godišnja prosječna koncentracija aktivnosti ne smije biti viša od 300 Bq/m³.”

Svjetska zdravstvena organizacija WHO koja je sa međunarodnim centrom za rak IARC, stavila radon na popis uzroka raka pluća, predlaže godišnju prosječnu referentnu razinu koncentracije aktivnosti od 100 Bq/m³ te maksimalnu koncentraciju aktivnosti u od 300 Bq/m³ [13].

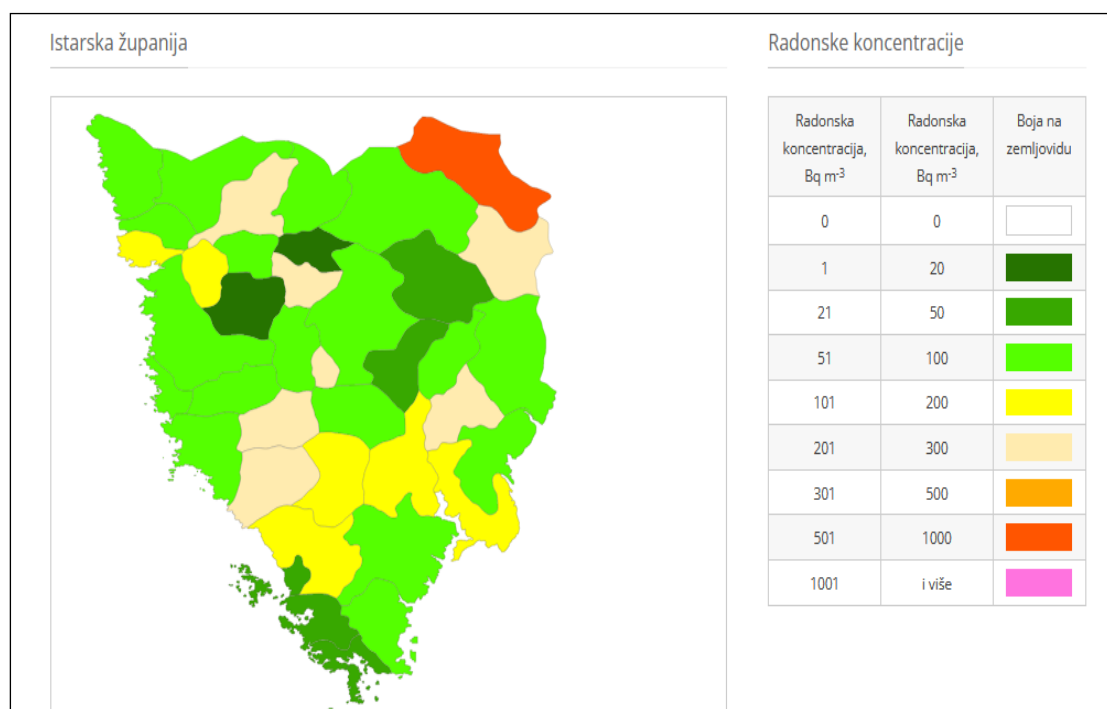
RADONSKA KARTA ISTRE

Na stranicama Ravnateljstva civilne zaštite Ministarstva unutarnjih poslova (<http://radon.civilna-zastita.hr/>) moguće je pronaći potrebne informacije vezane za radon u RH. Na temelju mjerenja provedena na području republike Hrvatske izrađene su radonske karte Hrvatske te pojedinih županija.

U skladu s Akcijskim planom za radon za razdoblje 2019. – 2024., mjerenja su se provodila na način da su administrativne jedinice (županije i općine) podijeljene na kvadrante (10 x 10 km²)

te da u svakom kvadrantu ima nekoliko (barem 3) mjerenja. U svakom od ovih naseljenih polja, metodom slučajnog izbora, odabrano je nekoliko lokacija. Koristio se kriterij broja postavljenih detektora po stanovniku (1 na 1000). Uz to, mjerenja radona su se počela sustavno provoditi u svim školama i vrtićima u pojedinoj županiji. Mjerenja su provedena pasivnom metodom pomoću detektora nuklearnih tragova izloženih kontinuirano tokom vremenskog razdoblja od godinu dana. Mjerenjem broja gustoće tragova koja alfa čestice ostavljaju na detektor moguće je izračunati koncentraciju aktivnosti radona.

Radonska karta prikazana na slici prikazuje srednje vrijednosti koncentracije aktivnosti radona izražene u Bq/m^3 u kućama u Istarskoj županiji. Na području Općeni Lanišće utvrđena je koncentracija aktivnosti u kućama između 500 i 1000 Bq/m^3 . Ostala područja Istarske županije karakterizirana su vrijednostima koncentracije aktivnosti u kućama ispod referentne razine od 300 Bq/m^3 (Euratom direktiva).



Slika 4: Radonska karta za Istarsku županiju. Izvor: <http://radon.civilna-zastita.hr/radonski-zemljovidi/kuce/istarska-zupanija/>

ZAŠTITA OD RADONA U ZATVORENIM PROSTORIMA

Ako se radi o novogradnjama onda se zaštita od radona izvodi tijekom gradnje, koristeći kartu radona za to područje.

Detaljni opis preventivskih i korekcijskih mjera, te mjera zaštite od radona je mogu pronaći u dokumentima Međunarodne agencije za atomsku energiju (International Atomic Energy Agency, IAEA) [3].

Kod starijih zgrada zaštitu je moguće provesti na temelju mjerenja radona u prizemljima i podrumima. Oblik zaštite ovisi o koncentraciji izmjenjenog radona kako slijedi:

1. Ako je koncentracija aktivnosti do 300 Bq/m^3 – nisu potrebne dodatne mjere,
2. Ako je koncentracija od 300 Bq/m^3 do 1000 Bq/m^3 , dovoljno je prozračivanje, brtvljenje pukotina u podu i zidovima i oko instalacijskih vodova,
3. Ako je koncentracija do 1000 Bq/m^3 – 2000 Bq/m^3 , zaštitne mjere kao pod 2. i konsolidacija podne ploče, ventilacija tla ispod ploče – ili bolje konzultacija sa stručnjacima.

Navike stanara imaju veliku ulogu u zadržavanju radona u stambenim prostorima. Redovitim

provjetravanjem u većini slučajeva moguće je smanjiti koncentraciju radona do zanemarive razine.

Istraživanja pokazuju da zaštitne maskice mogu biti od velike koristi ukoliko je nije moguće izbjeći boravak u zatvorenim prostorijama gdje je prisutna velika koncentracija aktivnosti radona. Zaštitne maske su vrlo učinkovite u zaustavljanju potomaka ^{222}Ra , koji su obično vezani za aerosole. Ovisno o vlažnosti i veličini čestica, dokazano je da maske FFP2 zadržavaju između 85,2% i 98,9% produkata radioaktivnog raspada, a kirurške maske zadržavaju od 79,5% do 98,4%. Maske za lice stoga mogu biti vrlo učinkovite u smanjenju radioaktivne unutarnje kontaminacije (14).

MJERENJE KONCENTRACIJE AKTIVNOSTI RADONA

Temelj zaštite od radona je mjerenje koncentracije aktivnosti radona. Koncentracija radona može varirati između susjednih kuća, a u kući se može mijenjati iz dana u dan ili čak iz sata u sat. Zbog tih promjena najbolje je mjeriti godišnju prosječnu koncentraciju radona za najmanje tri mjeseca. Preliminarna mjerenja za informativne svrhe mogu se provesti raznim digitalnim detektorima (Slika 5) i ne zahtijevaju posebno tehničko znanje. Nakon kratkog vremena mjerenja već se može steći uvid treba li bilo što poduzimati u svrhu zaštite.

Za točnija i vjerodostojnija mjerenja koriste se pasivni detektori koji se lako smjeste u savjetovani prostor i nakon 3 ili više mjeseci detektori se šalju u institut ovlašten za očitavanje takvih detektora.



Slika 5: Primjer digitalnog detektora za mjerenje koncentracije radona u zraku.

JESU LI POVIŠENE KONCENTRACIJE RADONA POSEBNO OPASNE ZA DJECU?

Dokazano je da su djeca osjetljivija na ionizirajuće zračenje u odnosu na odrasle osobe, kad je u pitanje vanjsko ozračenje. S obzirom na ranu dob i očekivani životni vijek kod djece postoji veća vjerojatnost da razviju zračenjem induciranu malignu bolest. Kad je u pitanju izloženost djece radonu, podaci još uvijek nedostaju. Izvješće UNSCEAR 2020 [4] pretpostavlja da apsorbirana doza na pluća ne ovisi o dobi. S obzirom na manjak podataka, za djecu vrijedi načelo opreza – smanjiti koncentraciju aktivnosti radona u kućama koliko je maksimalno moguće te redovito provjetravati prostorije.

ZDRAVSTVENE KORISTI OD RADONA !?

U području malih doza, nema statistički dokazanog povećanja vjerojatnosti pojave karcinoma te učinci zbog izloženosti ionizirajućem zračenju nisu potpuno poznati. S druge strane, u literaturi je moguće pronaći radove koje raspravljaju o mogućim pozitivnim učincima izloženosti malim dozama [6]. Autori opisuju tzv. dvostruki učinak ionizirajućeg zračenja kojeg karakterizira istodobno inducirano oštećenje i popravak, koji može rezultirati jačin i otpornijim stanicama. Zaštitne funkcije stanice nastaju ukoliko je izloženost takva da je apsorbirana doza najviše 0,2 Gy, i to može rezultirati dobrobiti za organizam. Ako apsorbirana doza prelazi graničnu vrijednost od 0,2 Gy, negativni učinci dominiraju.

Granica od 0,2 Gy se temelji na eksperimentalnim istraživanjima i izračunima Feinendegenove istraživačke skupine [6]. Radovi K. Yamaoka, Tokyo, potvrđuju ove izjave. Razna istraživanja na životinjama pokazuju veću otpornost tih bića, nakon prethodnog ozračenja cijelog tijela s niskim dozama ili nakon terapije s radonom [6].

U pokusima na životinjama, miševi su pokazali znatno veću stopu preživljavanja nakon visoke doze zračenja (8 Gy), ukoliko su prethodno bili izloženi niskim dozama (5 cGy) [6]. Hattori, Tokio, pored rezultata dugoročnih studija preživjelih iz Hirošime i Nagasakija, predstavio je niz eksperimentalnih i kliničkih rezultata japanskih studija.

Za odgovor na pitanje da li ima zdravstvene koristi od radona, potrebno je još jako puno godina i puno opsežnih studija. Utjecan niskih doza na čovjek nije još uvijek dovoljno ispitano, te zahtjeva dodatna istraživanja.

RAMSAR

U nekim područjima Ramsara, grada u sjevernom Iranu, efektivna doza po stanovniku od pozadinskog zračenja (uglavnom radona) u godinu dana iznosi do 260 mSv, znatno više od 20 mSv, što je granica ozračenja za radnike izložene ionizirajućem zračenju (npr. radnici u zdravstvenim ustanovama gdje se koristi ionizirajuće zračenje za dijagnostiku i terapiju). Stanovnici Ramsara žive generacijama sa ovim visokim izloženostima ionizirajućem zračenju.

Studije iz 2005. su pronašle negativnu korelaciju između stope raka pluća i koncentracije radona u područjima Ramsara s visokim prirodnim pozadinskim zračenjem. Pregled literature i izvješća lokalnih liječnika ne pokazuju povećanje stope incidencija raka ili leukemije te pokazuju moguće smanjenje smrtnosti od raka kod stanovnika područja s povišenim prirodnim pozadinskim zračenjem [7,8].

INFORMIRANOST GRAĐANA

Informiranost javnosti vezana uz radon i mogućim zdravstvenim rizicima se pokazala vrlo niska. Stoga je potrebno povećati svjesnost o mogućem riziku te ukazati na mogućnost njegovog rješavanja.

Njemačke institucije kao što su BfS (BfS - Bundesamt für Strahlenschutz i SSK (Strahlenschutzkommission) i niz privatnih instituta su pojam aktivnosti, točnosti, opremljenosti, znanstvenosti i stručnosti, ali ipak članak objavljen u Aertzblatt pod naslovom „Strahlenschützer: Gesundheitsrisiko durch Radon kaum bekannt“ (Zaštita od zračenja: Zdravstveni rizik od radona jedva da je prepoznat) na temelju novih podataka studije, ocjenjuje svijest o radonu kao „prilično površnu“. Od onih koji su čuli za radon, samo 24% je ispravno izjavilo da se radon može pojaviti u podrumu zgrada. Još manje ljudi iz ove skupine bilo je svjesno da se radon javlja u prizemlju (14%) i na višim katovima (5%). Teško je uspostaviti povezanost s vlastitom stambenom ili rad-

nom situacijom, zaključuju znanstvenici i pozivaju na bolje širenje znanja. "Ovo je mandat za savezne i državne institucije, posebice da nastave i prošire svoj obrazovni rad na radonu", izjavio je ravnatelj BfS-a Paulini [5].

ZAKLJUČAK

U Hrvatskoj je u posljednjih nekoliko desetljeća mnogo napravljeno u vezi kartografije, mjerenja u školama i saniranja povišenih koncentracija radona i dobre zakonske regulative, u skladu s europskim i međunarodnim preporukama. Građani još uvijek nisu dovoljno upoznati s tom temom. Stoga je važno raditi na edukaciji i osvještenosti populacije o mogućim rizicima zbog izloženosti radonu i o načinima zaštite

LITERATURA

- [1] Grgić, S. (1996). *Djelovanje ionizirajućeg zračenja na žive stanice*. Treći simpozij Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja, Zagreb.
- [2] Darby, S., Hill, D., Auvinen, A., Barros-Dios, J. M., Baysson, H., Bochicchio, F., ... & Doll, R. (2005). Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *British Medical Journal*, 330(7485), 223. <https://doi.org/10.1136/bmj.38308.477650.63>
- [3] International Atomic Energy Agency (IAEA). (2021). *Protection Against Exposure Due to Radon Indoors and Gamma Radiation from Construction Materials – Methods of Prevention and Mitigation* (IAEA-TECDOC-1951). Beč.
- [4] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). (2020/2021). *Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2020/2021 Report, Scientific Annex B*. <https://doi.org/10.18356/9789210010047>
- [5] Ärzteblatt. (2021). Strahlenschützer: Gesundheitsrisiko durch Radon kaum bekannt. <https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/137977/Strahlenschuetzer-Gesundheitsrisiko-durch-Radon-kaum-bekannt>
- [6] Feinendegen, L. E. (2005). Evidence for beneficial low-level radiation effects and radiation hormesis. *The British Journal of Radiology*, 78(925), 3–7. <https://doi.org/10.1259/bjr/63353075>
- [7] Mortazavi, S. M. J., Ghiassi-Nejad, M., & Rezaiean, M. (2005). Cancer risk due to exposure to high levels of natural radon in the inhabitants of Ramsar, Iran. *International Congress Series*, 1276, 436–437. <https://doi.org/10.1016/j.ics.2004.12.012>
- [8] Ghiassi-Nejad, M., Mortazavi, S. M., Cameron, J. R., Niroomand-rad, A., & Karam, P. A. (2002). Very high background radiation areas of Ramsar, Iran: preliminary biological studies. *Health Physics*, 82(1), 87–93. <https://doi.org/10.1097/00004032-200201000-00011>
- [9] Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). (n.d.). *Was ist Radon?* <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/einfuehrung/einfuehrung.html>
- [10] Ravnateljstvo civilne zaštite. (n.d.). *Radon*. <http://radon.civilna-zastita.hr/>
- [11] Akcijski plan za radon za razdoblje 2019.–2024. Ministarstvo zdravstva, Republika Hrvatska.
- [12] Pravilnik o granicama ozračenja, preporučenom doznom ograničenju i procjenjivanju osobnog ozračenja. *Narodne novine*, 38/2018, 8/2022.
- [13] International Agency for Research on Cancer (IARC). (n.d.). *European Code Against Cancer – Radiation*. <https://cancer-code-europe.iarc.fr/index.php/en/ecac-12-ways/radiation-recommendation>

- [14] Dukić, M., & Stanić, D. (2022). Radon progeny adsorption on facial masks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(18), 11337.
<https://doi.org/10.3390/ijerph191811337>
- [15] Hrvatsko fizikalno društvo. (n.d.). *Prirodna radioaktivnost u okolišu – radon*.
<https://hpd.hr/predavanja/prirodna-radioaktivnost-u-okolisu-radon/>
- [16] Uredba Vijeća 2013/59/Euratom od 5. prosinca 2013.

STORYTELLING POVIJESNOG NASLJEĐA U JUŽNOJ ISTRI NA PRIMJERU PAULA KUPELWIESERA

Dr.sc. Alida Perkov
perkov.alida@gmail.com

Sažetak

Poduzetnik, inovator i filantrop Paul Kupelwieser ostavio svoj trag na području cijele južne Istre. O tome svjedoče materijalni i pisani tragovi te usmena kazivanja. Uz Brijuna, značajna je njegova investicija u tvornicu leda u Šijani, te kupnja zemljišta u Medulinu s namjerom da izgradi komercijalnu luku. Na današnjem području općine Ližnjan ističe se investicija u poljoprivredno zemljište u Valturi s počecima kvalitetne poljoprivredne proizvodnje na suvremenim osnovama. Također prijateljevao je sa imućnim Ližnjancima, pozivao ih na Brijune ili odlazio u lov na sitnu divljač na otok Levan. Crkvici Majke božje od Kuj u Ližnjanu Kupelwieser je donirao oltar koji ima ugravirano njegovo ime. Njegova aktivnost može se uključiti u turistički storytelling.

Glavne riječi: Turistička valorizacija, Storytelling, Paul Kupelwieser, Pula, Medulin, Ližnjan

1. UVOD

Paul Kupelwieser, (1843.-1919.), svoju je karijeru izgradio kao austrijski poduzetnik, inovator i stručnjak za čelik, a tek kasnije kao vlasnik otoka Brijuni, kojeg je preobrazio u mondano ljetovalište i lječilište. Studirao je na Rudarskoj akademiji u Leobenu u Austriji. Kada je počeo raditi kao vježbenik u željezari u Grazu (1865), te kao inženjer u Neubergu (1867) i Ternitzu (1868), s velikom predanošću je proučavao suvremene metode proizvodnje čelika; pritom je uvodio i inovativne postupke. Kasnije je postao direktor valjaonice u Teplicama (1872), gdje je prihvatio ponudu od Wilhelma Gutmanna i Salomona Meyer Rothschilda da postanu izvršni direktor njihovog, tada neprofitabilnog i nekonkurentnog metalurškog kompleksa u Vítkovicama.¹ Kupelwieser je pretvorio Vítkovice (1876.-1893.) u jednu od najvećih čeličana u Europi.² Kupelwieserove veze s Istrom javljaju se još 1882.g. tijekom vođenja željezare u Vítkovicama, koja je isporučivala čelik za pulske utvrde (u originalu: Panzerplatten für Landbefestigungen - Željezna zaštita od granata za objekte na kopnu)³. Kasnije, po obavljenom međunarodnom natječaju, Željezara Vítkovice postaje jedini dobavljač oklopnih ploča za austrougarske ratne brodove.⁴ Godine 1884. osobno je posjetio Pulu⁵, te se nakon obilaska šire okolice grada uvjerio u gospodarsku zapuštenost toga dijela Austro-Ugarske monarhije.⁶ Vjerojatno mu je počela tinjati poduzetnička ideja, koja se razvila devet godina kasnije. Godine 1892. Željezara Vítkovice pod rukovodstvom Paula Kupelwiesera pobijedila je na javnom natječaju za proizvodnju oklopnih ploča za ratne brodove koji su se ugrađivale u brodove

1 KUPELWIESER, Paul: Aus den Erinnerungen eines alten Oesterreichers, Wien : Gerold, 1918, 92.

2 „Der Schöpfer von Brioni“ u: Salzburger Volksblatt, 10.04.1919., str.4.

3 KUPELWIESER, Paul: Aus den Erinnerungen eines alten Oesterreichers, Wien : Gerold, 1918, 144

4 1. Beilage der Pester Lloyd zur Nr.246, Freitag, 14. Oktober 1892, Pester Lloyd, Budapest, 5.

5 KUPELWIESER, Paul: Iz sjećanja starog Austrijanca-Brijuni, Posebno izdanje Histria Historica, Pula, 1993.,25.

6 Ivan Blažević u svojoj već spomenutoj monografiji *Povijest turizma Istre i Kvarnera* tvrdi da je Kupelwieser posjetio Pulu, a vjerojatno i Brijune 1885.g.(op.cit.str 82)

u pulskom Arsenalu.⁷ U to vrijeme Kupelwieser je filantropski podupirao sveobuhvatni razvoj infrastrukture mjesta Vítkovice: između ostalog sagrađena je crkva koja nosi ime sv. Pavla u čast glavnog izvršnog direktora.⁸

Kupelwieser je 1892.g. otišao u prijevremenu mirovinu, ali je uskoro od svojih dionica kupio otok Brijuni, te nastavlja svoje poduzetničke inicijative po južnoj Istri.⁹

Već 1893.g. godine otkupio je Brijune za svotu od 75.000 guldena.¹⁰ Uložio je velike napore u pretvaranje tog otočja iz malaričnog i zapuštenog kraja u turistički izvanredno atraktivno područje. Poznato je da se Pula razvijala na krilima vojnih investicija. Kao pandan javljaju se Kupelwieserove aktivnosti kao važni civilni gospodarski čimbenik u južnoj Istri. Znatiželjni proaktivni Kupelwieserov duh protezao se do Vodnjana (gdje je ispočetka angažirao Vodnjance kao izvor radne snage za Brijune), Medulina (započeo je s otkupom zemljišta u svrhu izgradnje trgovačke luke, kasnije i turističkog pokušaja) Valturskog polja (otkup 500 hektara poljoprivrednog zemljišta i razvoj poljoprivredne proizvodnje), Pule (izgradnja tvornice leda s hladnjačama¹¹) i Ližnjana (prijateljavanje s Ližnjancima, lov na otočiću Levanu, donacija oltara Crkvi Majke božje od Kuj), uz plan šireg uključivanja u prometne tokove izgradnjom kraka željezničke pruge od stаницe Peličeti do Medulina.

2. MOGUĆNOST STORYTELLINGA PAULA KUPELWIESERA U JUŽNOJ ISTRI

2.1. Paul Kupelwieser u Medulinu

Kao poduzetnika s izrazitim nervom za biznis, Kupelwieserova strateška vizija počela se s početkom 20.stoljeća usmjeravati i prema trgovačkim ciljevima, prije svega u želji da iz Pulske luke, omeđene vojnim utvrdama, pronađe adekvatnije mjesto za jačanje prometne povezanosti.¹² Povod za traženje pozicije za trgovačku luku bila je Naredba Ministarstva gospodarstva od 1.prosinca 1905.g. kojom je bilo zabranjen pristup i plovidba ribarskim, trgovačkim i ostalim civilnim brodovima u pulske uvale rezervirane za promet ratnim brodovima.¹³

Od 1907.g. do 1910.g. Kupelwieser kupuje više zemljišta u Medulinu, ali za trgovačke potrebe: „Medulin ima postati luka koja će konkurirati Rieki, a uz to će služiti da rastereti Tršćansku luku. Na čelu društva koje će izgraditi novu luku u Medulinu stoji g. Kupelwieser, vlasnik brionskih otoka”.¹⁴ Trgovačka luka trebala se urediti „duž Kaštela od Klementovice do Mrkvićevog brista ili čak do Punte i postaviti nasip od Debeljaka do Mišnjaka i možda do premanturskog kopna”.¹⁵ Kupelwieser je uskoro započeo s realizacijom svoga nauma. Ugovor od 25.svibnja 1907.godine svjedoči da je Paul Kupelwieser kupio crkvenu parcelu br.928/I za 5459,70 kruna.¹⁶ Nadalje C. kr. Kotarski sud 2. srpnja 1907.godine, sukladno nalogu za uknjižbu prava vlasništva piše sljedeći Zaključak: „Na temelju kupoprodajne pogodbe dd. Medulin 24.Marča 1907 odnosno 17. aprila 1907 dozvoljuje se: odtjelesenje čestica 156 zgrade i 90 zemljišta iz prvoga tijela uložka 135 gruntovnice za Medulin prijenos istih kao VII tijela pod uložak 354 iste gruntovnice i uknjižba prava vlasništva istih na ime Paul Kupelwieser. O tome se obaviješuju: 1) Uprava župne Crkve u Medulin, 2) Paul Kupelwieser na Brioni uz povratu izvornika A, 3) Biskupski Ordinarijat u Poreču, 4) C.k. glavni porezni ured u Puli, 5) C.k. Viši geometar evidencije u Puli.”¹⁷

7 1. Beilage der Pester Lloyd zur Nr.246, Freitag, 14. Oktober 1892, Pester Lloyd, Budapest, 5.

8 ŠTALMACH, Darek. Vítkovice připomněly slavného ředitele, Kupelwieser pomohl hutím i městu. iDNES.cz [https://www.idnes.cz/ostava/zpravy/vitkovice-si-pripomnely-slavneho-reditele-kupelwieser-pomohl-hutim-i-mestu.A160913_2272902_ostava-zpravy_jog](https://www.idnes.cz/ostrava/zpravy/vitkovice-si-pripomnely-slavneho-reditele-kupelwieser-pomohl-hutim-i-mestu.A160913_2272902_ostava-zpravy_jog) (12.09.2019.)

9 KUPELWIESER, Paul: *Vorschläge für die Gestaltung Deutschösterreichs : arbeit- und kapitalfördernde Maßnahmen* ; allgemeine Dienstpflicht, Wien : Heller in Komm. ; 1919.

10 Kupelwieser, Paul: iz sjećanja.... 35.

11 BRITVEC, Branko: Gospodarstvo Brijuna prije sto godina, Agronomski glasnik 6/2020, 362

12 Pula je bila glavna ratna luka Austro ugarske monarhije, te nije bilo mogućnosti ekspanzije „civilnoga” prometa.

13 Ordinanza del Ministero del commercio, colla quale in appendice al regolamento di polizia per i porti marittimi del 14 marzo 1884, B. L. I. Nro. 33, nonche alle ordinanze dell' i. r. Ministero del commercio 18 aprile 1887, B. L. I. Nro. 42, e 24 luglio 1892, B. L. I. Nro. 118, vengono emanate ulteriori disposizioni per il porto di Pola, RGBI 182/1905, <http://alex.onb.ac.at/cgi-content/alex?aid=rit&datum=19050004&seite=00000515> (pristupljeno 12.09.2009.)

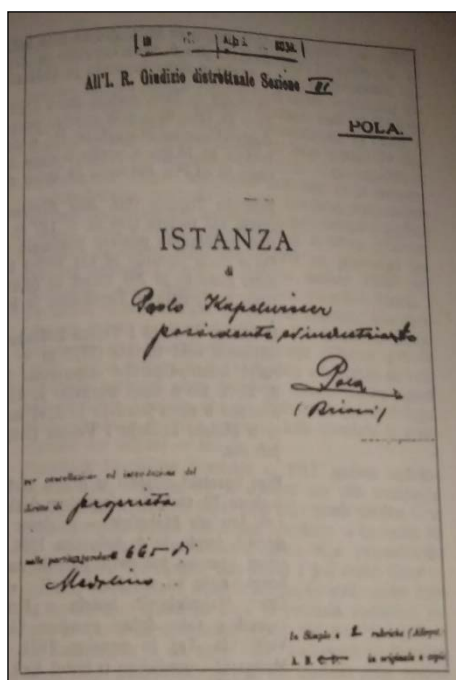
14 Puljska trgovačka luka u Medulinu , Naša sloga, 9 travnja 1907.,2.

15 Medulin. Naša sloga 19.travnja 1907, 1.

16 BLAŽEVIĆ, Ivan: Povijest turizma Istre i Kvarnera, Otokar Keršovani, Opatija 1987, 112.

17 Izvor: Arhiva Porečke i Pulske biskupije, prot. Arhiv 4-2019.

Iste godine, 3.studenoga 1907 sklopljen je kupoprodajni ugovor između Župne crkve Medulin i Paula Kupelwiesera za k.č.1111. (oranica) , te je određena cijena od 10 tisuća kruna. Ugovor potpisuje župnik don Andrea Bylica.¹⁸ Cjelokupna investicija Kupelwiesera u Medulin iznosila je sedam stotina tisuća kruna.¹⁹



Slika 2.: Nalog za uknjižbu prava vlasništva Paula Kupelwiesera na k.č.1111. u Medulinu ²⁰

U kupovnom slijedu bilježi se tako poluotok Pineta (Kašteja, Borik, Bijeca - današnji Autokamp Medulin), potom dvije vjetrenjače. Vižula je kasnije preprodana vlasniku Crvenoga otoka kod Rovinja barunu Georgu von Hütterottu.²¹

Prava Kupelwieserova namjera bila je uz potporu države, izgradnja središnje putničke luke u uvali između dva poluotoka Vizula i Kašteja, koja bi bolje povezala Dalmaciju i Kvarnerske otoke s austrijskim priobalnim područjem.

Kako bi se ratna luka Pula oslobodila trgovačkih brodova, trebalo je proširiti luku Medulin i stvoriti standardnu priključnu traku na trasu istarske državne željeznice. Planirana ruta bila je oko dva kilometra južno od grane Galesano (Galižana) udaljena od glavne pruge i vodila do poluotoka Kašteja na zapadnoj strani novog lučkog objekta. Tu je Kupelwieserovu ideju podržao Narodni zastupnik dr.Matko Laginja , založivši se za ..."izgradnju pokrajne željeznice sa jedne prikladne točke između Galežane i Pule-državna željeznica Divača-Pula prema dragi u Medulinu". Rezolucija je bila prihvaćena.²²

Ali Kupelwieser nije bio jedini koji je vjerovao u uspon Medulina: Alexander Hickl, zamjenik upravitelja banke iz Beča, također je 1907.godine zatražio koncesiju za željezničku vezu s Medulinom, ali s poveznicom iz Pule. Ministarstvo željeznice, kako piše u navedenom članku, odobrilo je Hicklu da u roku od godine dana izradi tehnički nacrt za prugu normalnog kolosjeka od stanice u Puli do luke Medulin. ²³ Projekt je 18 srpnja 1907 podržalo udruženje za poslovanje s Austrijskim istokom i Ministarstvo trgovine vjerujući da će tako biti poboljšane prometne veze

18 Izvor: Arhiva Porečke i Pulske biskupije, prot. Arhiv 4-2019.

19 KUPELWIESER, Paul: Iz sjećanja...139.

20 BLAŽEVIĆ, Ivan: Povijest turizma Istre i Kvarnera, Otokar Keršovani, Opatija 1987, 129.

21 ŽAGAR Ivan, ORLOVIĆ David, MINIĆ Nikša, TIDIĆ Luka: Turizam Medulinske Rivijere, Prošlost i sadašnjost turizma u mjestima općine Medulin, Općina Medulin, 2017, str 17.

22 Iz Carevinskog vijeća. Resolucije postavljene od naših narodnih zastupnika povodom razprave državnog proračuna za god 1909, Naša sloga, 8.srpnja 1909., 2.

23 Vorkonzession für eine Bahnlinie Pola-Medolino, Neues Wiener Tagblatt, Wien: 12. 7. 1907., 16.

s Dalmacijom, i da neće biti otpora u realizaciji projekta.²⁴ Projekt Hickl predviđao je da bi pruga Pula-Medulin (13,9 km) stajala oko 3 milijuna kuna.²⁵

Ipak vojni dužnosnici izrazili su zabrinutost zbog blizine planirane komercijalne željeznice vojnim objektima.²⁶

C.kr. Zemljopisno društvo u svom priopćenju smatra da je Kupelwieserov prijedlog odlično rješenje za prometnu uključenost Dalmacije.²⁷ No, izazvao je i drugi otpor: Pulske trgovci strahovali su od poslovnih gubitaka, a Mađari zasigurno nisu bili oduševljeni projektom Kupelwiesera, ugrozili su vodeću ulogu Rijeke u trgovini Dalmacije.²⁸

Kupelwieserova Vižula je prodana predsjedniku najvećega austrijskoga brodograđevnog društva Stabilimento Technico Trieste i vlasniku Crvenoga otoka kod Rovinja barunu Georgu von Hutterottu za dvije stotine tisuća kruna (i k tome još dvije stotine tisuća ako se realizira željeznička mreža do Medulina).²⁹

Tako je Kupelwieserova ideja potonula na samom početku, a događaji iz 1914. prekinuli su daljnje poduzetničke inicijative.

2.2. Kupelwieser u Ližnjanu

Postoji više izvora da je tijekom obilaska Medulina s početkom 20. stoljeća Kupelwieser zalazio i u Ližnjan, te se upoznao s tamošnjim stanovništvom,³⁰ premda se prva letimična posjeta mogla ostvariti 1884.g.³¹ U obitelji Ankice Piccoli (rođene Ravnić) prenosi se obiteljska predaja da je njihov djed g. Anton Ravnić, imućni trgovac pićima, ugostitelj i obrazovani Ližnjanac, bio osobni prijatelj s Kupelwieserom, te da su lovili sitnu divljač na otoku Levan, koji je u to vrijeme bio u vlasništvu Ravnića.³² Prema istome izvoru, Anton Ravnić je pohodio Kupelwiesera na Brijunima.



Slika 3.: Anton Ravnić ispred svoje gostione-prodavaonice, u Ližnjanu 1914.godine, drugi s lijeva. Naziv R. Ravnić odnosi se na Rožu Ravnić (Šišanki, rođenoj Frezza), njegovu prvu suprugu. Izvor: Fortepan.hu

24 *Der Ausbau des Hafens von Medolino*, Neues Wiener Tagblatt, Wien; 19.7.1907.16.

25 BLAŽEVIĆ, Ivan: Povijest turizma Istre i Kvarnera, Otokar Keršovani, Opatija 1987, 112.

26 KUPELWIESER P.: "Iz sjećanja starog Austrijanca", Beč 1918.

27 Mitteilungen der kaiserlich-königlichen Geographischen Gesellschaft, Hauptteil 1908, Wien:K.u.K Hof.-u.Univ.-Buchhandlung, 1909, 381.

28 KUPELWIESER, Paul, Iz sjećanja, 149.

29 KUPELWIESER, Paul, Brioni. Iz sjećanja starog Austrijanca, Pula 2005., 139.; I. BLAŽEVIĆ, Povijest turizma Istre i Kvarnera, Otokar Keršovani, Opatija 1987, 112-113.

30 Ankica Piccoli navodi informaciju da se Kupelwieser družio i s vlasnikom Libore, Morhammerom.

311884.....s njima (barun Johann Liebing i dr. Alexander Peez) u jednopregu obišao širu okolicu Pule" (iz sjećanja...25.)

32 Kazivanje Ankice Piccoli, siječanj 2019.

Kupelwieser je na području općine Ližnjan ostavio traga i u Crkvi Majke božje od Kuj³³. Kad je terenskim zahvatom arheološkog istraživanja 1995.g. otkriven kasnoantički kompleks s termalnim instalacijama i višebojnim podnim mozaikom iz 5. stoljeća, urgentnost zaštite nalaza zahtijevali su opsežnu nacrtnu dokumentaciju (Anton Percan, Željko Ujčić) i primarne konzervatorske radove (Joško Ferri). U tom otkriću zanimljiva poveznica je da se prigodom sakralne identifikacije oltara pronađeno i ugravirano ime donatora Kupelwiesera s godinom 1881. ³⁴ Prilikom kasnijeg saniranja crkve, oštećena je gravura godine i naziva.³⁵ Župnik Ivan Grah pak tvrdi da je „...na oltaru pronađena mesingana pločica koja je svjedočila da je oltar poklonio ondašnji vlasnik Brijuna Paul Kupelwieser...Ovih dana (2008.g. op.aut.) pločicu na oltaru nismo zatekli...”³⁶



Slika 5.: Oltar u crkvi Majke Božje od Kuj. Vidljiv je nesrazmjer u veličini oltara u odnosu na apsidu. Snimila: Alida Perkov



Slika 6. : Crkva Majke Božje od Kuj. Snimila: Alida Perkov

33 Potrebno je znati da je tijekom 16. stoljeća , Serenissima opet naselila novokolonizirane prebjegce iz Dalmacije u kugom devastirani Ližnjan. Tadašnji stanovnici na ruševinama crkve sv. Tome (S.Thoma de Cuve čije je postojanje zabilježeno 1452.g.) u Ližnjanu podižu u 17.stoljeću kraj zaljeva Kuje zavjetnu kapelu težaka i ribara- Majku božju od Kuj.

34 PERCAN , Anton, UJČIĆ, Željko: *Crkva majke božje od Kuj i prijedlog uređenja – Arheološki muzej Istre*, 1995., 14.

35 Svjedočanstva koordinатора restauracije Antona Percana, te tadašnjih članova župnog vijeća, Ližnjanaca Vojmira Perkovića i Milojke Vodinić.

36 NN: Župnik Ivan Grah. Prvi put više rođenih nego umrlih. Glasilo Općine Ližnjan-Bolletino del comune di Lisignano Marlera, br.1./2008., str.22-23.

Autori studije Percan i Ujčić su napisali da je 1881. baš godina kad je Kupelwieser donirao oltar Ližnjancima, jer je na desnoj strani oltara uz prezime Kupelwieser zabilježena navedena godina.³⁷ Međutim, kako se oltar po svojim gabaritima i masivnošću ne uklapa u unutrašnje gabarite apsidalnog dijela crkve³⁸, postavlja se hipoteza da je Kupelwieser naručio oltar 1881.g. za neku drugu crkvu s većom apsidom.³⁹ Može se pretpostaviti da je oltar naručen za Crkvu Sv. Petra i Pavla u Vítkovicama, a financirala ju je željezara na čijem je čelu bio Paul Kupelwieser.⁴⁰ U dostupnoj literaturi navodi se da je navedena barokna crkva iz 1699.godine bila obogaćena mramornim oltarom 1883.godine.⁴¹ Dakle, Kupelwieser je došao u Istru kratko 1884, a na duže vrijeme tek 1893.g. no moguće je da je donacija Ližnjanskoj crkvi uručena kasnije⁴², s početkom 20.stoljeća kad je Kupelwieser počeo obilaziti Ližnjan, Medulin i Valturu.⁴³

2.3. Kupelwieser i poljoprivredno dobro u Valturi

Kupnja Valture povezana je sa kupnjom zemljišta u Medulinu. „...moja nastojanja da svoj posjed oko (Medulinske) luke još više proširim kako bih sebi osigurao slatkovodni izvor⁴⁴. Direktor Čufar je mislio da bi se ta kupovina lakše ostvarila zamjenom, pa mi je u tu svrhu preporučio kupnju jednoga slučajno jeftino ponuđenoga zemljišta od 245 hektara u Valturi. Tako bih u zamjenu, umjesto novca za željeno zemljište pored luke u Medulinu, mogao ponuditi poveći komad plodnoga tla...”⁴⁵ Campi d'Altura postale su vlasništvo Kupelwiesera 1907.godine za 120 tisuća kruna. Naknadno je kupljeno još dvadesetak hektara koje su bili Zuffarovo vlasništvo te ih je Kupelwieser otkupio od njegove udovice.⁴⁶ Tako je Kupelwieser postao vlasnik oko petstotina hektara zapuštenoga zemljišta, ali koje su sukladno njegovoj viziji trebali postati mljekarska farma i vinogradi, deset puta veće površine nego na Brijunima. Već 1908. godine na Valturskom polju proizvodila se stočna hrana za prehranu stoke na Brijunima.⁴⁷

Zemljišne transakcije i poljoprivredne aktivnosti odvijale su se preko Gospodarske direkcije Brijuni (Guts-Direktion der Brionischen Inseln), i nakon smrti Aloisa Zuffara⁴⁸. Novi ovlašteni supotpisnik bio je Paulov sin, Karl Kupelwieser, kako je razvidno iz kupoprodajnog ugovora.⁴⁹ Naknadna kupnja zemljišta u Valturskom polju evidentirana je 29.rujna 1909.godine, sa građevinskim parcelama 275/1 i 275/2, te 77 pojedinačnih parcela u ukupnoj cijeni od 60.668,34 kruna.⁵⁰ U kupoprodajnom ugovoru od 10.siječnja 1910.godine kojeg ovjerava javni bilježnik Domenico Stanich, navodi se da je 3.siječnja 1910. Antonio Giaissa još prodao Gospodarskoj direkciji zastupanoj po Karlu Kupelwieseru građevinsku česticu 276 i 70 pojedinačnih poljoprivrednih zemljišta, stvarajući jedinstvenu katastarsku česticu 269. Vrijednost kupoprodajnog ugovora je 15.000 kruna, koja je unaprijed isplaćena Giaissi.⁵¹

Kupelwieserovo poljoprivredno dobro u Valturi je nastavilo s razvojem, sve do izbijanja Prvog svjetskog rata.

37 PERCAN, Anton : Zavjetna kapela težaka i ribara, u: Čovjek i prostor, God.46 (1999), 1/2=536/537, str. 45.

38 Anton Percan u navedeno članku pretpostavlja : " ... Zbog sakralne se identifikacije nije pristupilo predviđenoj izmjeni oltara postavljenog 1881. (poklon Kupelwiesera, nekadašnjeg vlasnika otočja Brijuni) koji se svojim gabaritima i masivnošću ne uklapa u unutrašnje gabarite apsidalnog dijela crkve.

39 MATĚJ, Miloš; KORBELÁŘOVÁ, Irena; TEJZR, Ludvík: *Kulturní dědictví Vítkovických železáren*. Ostrava: NPÚ, 2014., 61, 62.

40 KUPELWIESER, Paul: *Aus den Erinnerungen eines alten Oesterreichers*, Wien : Gerold, 1918,144.

41 *Ústřední seznam kulturních památek České republiky* [online]. Praha: Národní památkový ústav [cit. 2017-01-03]. https://www.vikariatjilemnice.cz/budova/27/Farni_kos_tel_sv_Petra_a_Pavla_apostolu (Pristupljeno 9.9.2019.)

42 U arhivu Porečke i Pulske Biskupije nije međutim pronađen podatak o donaciji oltara (dopis Arhiva Porečke i Pulske biskupije, prot. Arhiv 4-2019.)

43 Hipoteza Antona Percana je da je oltar prenesen iz stare kapelice sv. Germana na Brijunima. No ako je ugravirana godine 1881.uz Kupelwieserovo ime, tada on još nije posjetio Brijune.

44 Danas je Medulinu najbliže crpilište Ševe (op.aut)

45 KUPELWIESER, Paul, Iz sjećanja starog Austrijanca -Brijuni, Društvo za povijest i kulturni razvoj Istre, Pula: 1993.,139-141..

46 KUPELWIESER, Paul, Iz sjećanja starog Austrijanca -Brijuni, Društvo za povijest i kulturni razvoj Istre, Pula: 1993.,139-141.

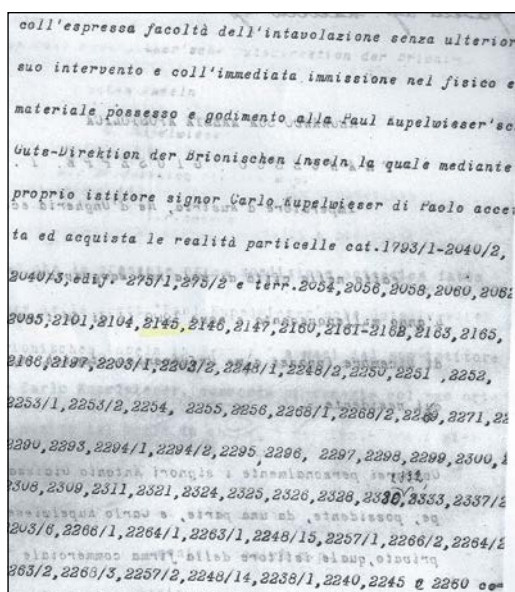
47 *Landwirtschaftliches von den brionischen Inseln*, u: Wiener Landwirtschaftliche Zeitung, Wien, 19.4.1911., str.1.

48 U osmrtnici (Naša Sloga, 19.rujna 1907., str.5.) Alois je preimenovan u „Vjekoslav Zuffar, zakupnik i ravnatelj Brijunskih otoka”.

49 U oba kupoprodajna ugovora za dvije grupe zemljišnih čestica u Valturi od 30.prosinca 1909. i 3.siječnja 1910., ovjerenih 5.siječnja 1910., navodi se da je Carl Kupelwieser pravni zastupnik firme Paul Kupelwieserische Gutsdirektion der Brionischer Inseln i Brioni. (Zbirka isprava Z-17/1910. Općinski sud u Puli-Zemljišnoknjižni odjel Pula).

50 Zbirka isprava Z-17/1910. Općinski sud u Puli-Zemljišnoknjižni odjel Pula.

51 Isto.



Slika 7. Faksimil dijela kupoprodajnog ugovora između Gospodarske Direkcije Brijuni zastupane po Karlu Kupelwieseru i Antonia Giaisse vlasnika zemljišta na Valturskom polju sa naznačenim katastarskim česticama⁵²

Zbog promašenih investicija i velike svjetske krize, Paulov sin Karl Kupelwieser je skončao život 1930. godine. Pokrenut je stečajni postupak nad Kupelwieserovom imovinom. Vlasništvo nad Brijunima uzela je u eksproprijaciju talijanska država 8 rujna 1936,⁵³ odnosno Regia Azienda Isola Brioni u vlasništvu talijanske države, obradivo zemljište predano je agronomu Enricu Cammiu, dok su privatne vile zadržale vlasnike.⁵⁴

2.4. Djelovanje Paula Kupelwiesera putem Gospodarske direkcije Brijuni (Guts-Direktion der Brionischen Inseln)

Gutsdirektion Brioni prvi se put pojavljuje u medijima 14. travnja 1904.godine.⁵⁵ Značaj Gospodarske direkcije Brijuni može se promatrati ne samo kroz poslovne djelatnosti, nego i kroz udio u ukupnom broju zaposlenih. Za usporedbu, u civilnom sektoru⁵⁶ južne Istre djelovala je 31 tvrtka. Među njima, najviše je zaposlenih bilo u Gutsdirektion Paula Kupelwiesera sa sjedištem na Brijunima, i to 620, druga po veličini bila je tvornica Ampelea u Rovinju sa 553, dok je treća bila građevinska tvrtka Unionbaugesellschaft iz Pule sa 170 zaposlenih.⁵⁷

Osim već ranije spomenutih djelatnosti u razvoju turističkih kapaciteta na Brijunima, te kupovine zemljišta u Medulinu i Valturi, poslovna dinamika se protezala i na druga područja. Prvi putnički brod na dizelski pogon u svijetu bio je motorni brod Brioni, porinut 1910. u tršćanskom brodogradilištu Stabilimento tecnico triestino za Upravu Brijunskoga otočja iz Pule. Proizvođač samog dieselmotora je tvornica vagona iz Graza.⁵⁸

⁵² Isto.

⁵³ R. decreto-legge 30 marzo 1936-JIV, n. 956, riguardante l'espropriazione per pubblica utilità di beni siti nelle Isole Brioni (Pola) Ministero delle finanze - GAZZETTA UFFICIALE DEL REGNO D'ITALIA - N. 237, 12-X-1936 ('XIV), 3987.

⁵⁴ UJČIĆ, Tajana, Dva otoka narodnih dobara-podržavljenje imovine u Istri na primjerima otoka sv. Andrije kraj Rovinja i Brionskog otočja (1945.-47./48.), Državni Arhiv u Pazinu, Vjesnik Istarskog Arhiva VIA, svezak 25, Pazin: 2018, 161.

⁵⁵ Hotelier Karl Wolf, Neues Wiener Tagblatt, Beč: 14 travnja 1904., 8.

⁵⁶ Krajem 1910.godine ratna mornarica (K. u K. Kriegsmarine) je upošljavala čak oko 8.000 civilnih radnika (Dukovski, Darko Istra XX. stoljeća (1900.-1950): Promjene identiteta (Socijalni i gospodarski uzroci) // Identitet Istre: Ishodišta i perspektive / Manin, Marino; Dobrović, Ljiljana; Črpić, Gordan; Blagoni, Robert; (ur.). Zagreb: Institut društvenih znanosti Ivo Pilar, 2006. str. 137-170 (predavanje, domaća recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni), 142.

⁵⁷ WIGGERMANN Frank: *Rechtshistorische und politische Grundlagen in Istrien bis 1914, VIII. Die Reichsitaliener im Küstenland*, u: K.u.K. Kriegsmarine und Politik, Wien: Österreichische Akademie der Wissenschaften, 2004., 155.

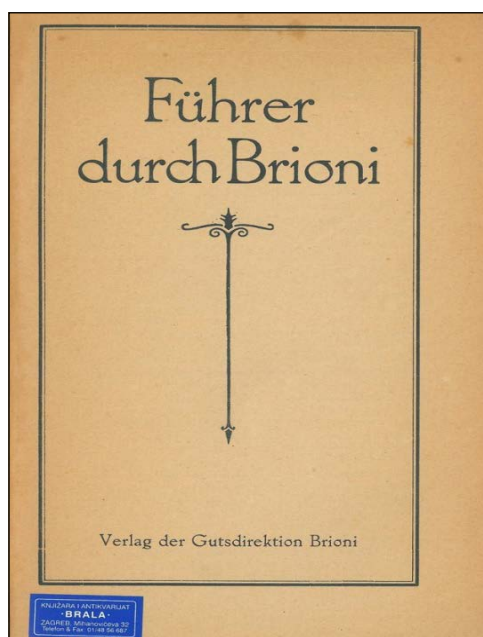
⁵⁸ Das erste Dieselschiff auf der Adria, Beč: Die Neue Zeitung, 17. prosinca 1909., 5.



Slika: Prvi brod na diesel motor na Jadranu.

U djelatnost Gutsdirektion ulazio je pružanje usluga iznajmljivanja veza u luci za sve vrste morskih plovila, uz prethodnu najavu telegramom.⁵⁹

Gutsdirektion je bio i izdavač tjednika Brioni Insel Zeitung, Vodiča kroz Brijune (Führer durch Brioni) i tematskih razglednica. U evidenciji trgovinsko-obrtničke komore u Rovinju navodi se da je na okružnom sudu u Rovinju registrirana 4. siječnja 1911. g. nova djelatnost Gutsdirektion Brioni: Izdavaštvo. Novine će izlaziti tjedno od veljače do listopada, a zimske mjesece će izlaziti u mjesečnim intervalima. Glavni urednik je Otto Buchbaum, stanovnik Briona⁶⁰.



Slika: Naslovnica brošure Vodiča kroz Brijune⁶¹

59 Brioni. Der Fremdenverkehr, Wien: br.41, 9. Oktober 1910., 4.

60 *Relazione sull'attività della Camera nel 1. trimestre 1911*. Camera di Commercio e d'industria dell'Istria in Rovigno, prot. 1438/1911.

61 Knjiga pohranjena u Virtualnoj zavičajnoj zbirci VIZZ Gradske knjižnice i čitaonice Pula. <http://vizz.gkc-pula.hr/en/gradja/collection/24#>

Zalaganjem Kupelwieserovog Gutsdirektiona izravna veza Beč-Pula uz korištenje spavaćih kola ostvarena je 1.travnja 1912.g.kao još jedan doprinos kvaliteti turističke usluge.⁶² Postignuto je i poboljšanje željezničkih usluga uključivanjem vagon-restorana na trasi Trst-Pula.⁶³

U sektoru poljoprivrede , preko Gutsdirektiona nudio se na prodaju brionski sir, te sljedeća vina iz vlastite proizvodnje: Brioni Riesling, Burgunder, Castell, Chablis, Brioni-Bordeaux, Chateau, Refosco.⁶⁴ Gutsdirektion je imao predstavništva u Beču i Pragu gdje se nudilo čuveno Brijunsko vino.⁶⁵



Slika: Reklama Gutsdirektion za Brijunsko vino⁶⁶

Preko Gutsdirektion pokrenuta je 1914.g. inicijativa da se spoje općina Fažana i Brijuni zbog ujednačavanja poreza i drugih olakšica.⁶⁷ Prema priopćenju K.u.k. Središnjeg ureda za istraživanje i očuvanje spomenika za 1909.godinu, iz proračuna Gutsdirektion obnavljala se stara crkva na Brijunima (vjerojatno sv.Germana), a najavljena je i obnova župnoga dvora.⁶⁸

Tijekom Prvoga svjetskog rata preko Gutsdirektion uplaćeni su više puta značajni iznosi za Ratni zajam, primjerice u lipnju 1918 uplaćeno je 200.000 kruna.⁶⁹ Zasigurno su, uz dramatično smanjenje turističkoga prometa, i korištenje kapaciteta u vojne svrhe, ratni zajmovi osiromašili blagajnu Gutsdirektion.

3. TVORNICI LEDA U PULI

Prema Branku Peroviću, Kupelwieser je preko Gutsdirektion bio osnivač pulske tvornice leda (Eisfabrik ili Fabbrica di ghiaccio) u Šijani.⁷⁰ Attilio Krizmanić locira ledarnu , koja je bila podignuta 23.4.1898.godine, preko puta Osnovne škole Šijana, prije ulaza u današnji Autobusni kolodvor.⁷¹ Kasnijim nasipavanjem za zaštitu od oborinskih voda, ledarnica je bila ispod razine ceste, te je bila izložena poplavama. Pišući o velikom nevremenu u Puli 10.travnja 1900.godine, list Deuts-

62 Schlafwagenverkehr Brioni (Pola) _ Wien, Brioni: Brioni Insel Zeitung, 31.ožujka 1912, 4.

63 Ein Speisewagenkurs zwischen Pola (Brioni) und Triest, Brioni Insel-Zeitung, 16 studenog 1913, 8.

64 Brioni Insel-Zeitung 6. Februar 1910, str.2.

65 Bayer, Emil, Krbalek, Franc: *Almanach D. Österreichischen Riviera :: 1908-1909*, Ljubljana: Hribar (1909?) , 12.

66 Bayer, Emil, Krbalek, Franc: *Almanach D. Österreichischen Riviera :: 1908-1909*, Ljubljana: Hribar (1909?) , 12.

67 *Für einr eigene Gemeinde*, Graz: Grazer Tagblatt , 14.ožujka 1914., 9.

68 Mittheilungen der kaiserl. königl. Central-Commission zur Erforschung und Erhaltung der Baudenkmale, Hauptteil, siječanj 1910, 293.

69 Die Zeichnungen an die achte Kriegsanleihe, Beč: Neue Freie Presse, 20 lipnja 1918., 11.

70 PEROVIĆ, Branko: *Luka Pula austrougarskog doba*, u : Zbornik radova : Iz povijesti pulske luke,Pula: Lučka uprava Pula, 2006., 76.

71 KRIZMANIĆ, Attilio: *Gradvine komunalnog sustava 1813.-1918.*, Povijesni i pomorski muzej Istre, Pula, 2023., str.356.

ches Volksblatt navodi da je Kuppelwieserov ledarna bila potpuno poplavljena.⁷²

U vlasništvu Paulovog sina Karla Kupelwiesera, Gutsdirektion Brioni u razdoblju talijanske vladavine (tada pod nazivom Direzione beni Isole Brioni) prema izvješću o privatnim obveznicima poreza na dohodak 1924.godine,⁷³ imalo je još uvijek između ostalog navedenu tvornicu leda.⁷⁴ Ledarna je porušena oko 1925.g.⁷⁵, zato jer je nasipavanjem i nadogradnjom C.i k. vojnog sklopa skladišta ledarna bila oko 3,5 m ispod razine Šijanske ulice, i time stalno izložena poplavama.

4. STORYTELLING U TURIZMU

Znanje povijesti je nužno za kreiranje dobrog storytellinga. Želimo li uključiti relativno nepoznatu informaciju o Kupelwieseru za turistički obilazak južne Istre, povijest je tu da nam pruži službene materijale prema kojima ćemo graditi priču i činiti je autentičnom. No kad je u pitanju storytelling u turizmu, trebamo baratati provjerenim povijesnim činjenicama. Bez dobre priče nema doživljaja, a s njime ni emocija, uzbuđenja, iskustva. Modeliranje priče prema publici je ključno za dobar storytelling u turizmu. Ne pričamo istu priču grupi odraslih, grupi djece, tinejdžerima, stranim turistima koji su prvi put u našem gradu i domaćim posjetiteljima koji već znaju bar jedan dio njegove povijesti. Zato svaka dobra priča ima više verzija i načina naracije. Jezik, glas ili ton priče se odnose na našu naraciju, odnosno način na koji interpretiramo priču. Glas priče mora odgovarati karakteru i likovima priče, u ovom slučaju vibri našeg grada i njegovih kulturnih događaja/ličnosti. Taj glas se gostima treba obraćati prijateljski, dinamično, aktivno, mora ih uspijevati „uvući“ u priču i držati im pažnju do njezinoga kraja. dobar storytelling ne znači samo naučiti priču – dobar storytelling znači manevrirati pričom ovisno o izravnim reakcijama publike.

5. ZAKLJUČAK

Vizionar Paul Kupelwieser je u dvadesetak godina svoga djelovanja u Istri ostavio duboke tragove prvenstveno u turističkoj i kulturnoj valorizaciji otoka Brijuni. No njegov poduzetnički duh okrenuo se, uz Brijune, i prema južnoj Istri. Već iskorišteno Kupelwieserovo materijalno i kulturno nasljeđe nije jedina vrijednost koja nam je ostavljena. Zanimljive aktivnosti unutar svega 16 godina Kupelwieserovog djelovanja u Istri podloga su za storytelling u svim mjestima južne Istre gdje se odvijala njegova poslovna aktivnost.

⁷² Letzte Nachrichten. Hochwasser: Pola. Deutsches Volksblatt, Beč: 10.travnja 1900., str.19.

⁷³ Imposta sui redditi di ricchezza mobile: elenco dei contribuenti privati possessori di redditi incerti e variabili, Provincia dell' Istria, Roma: Libreria dello stato, dicembre 1924, Direzione generale imposte dirette, 42.

⁷⁴ Direzioni beni Isole Brioni: Alberghi, Motoscafo, Spaccio tabacchi, Fabbrica ghiaccio.

⁷⁵ KRIZMANIĆ, Attilio: Građevine komunalnog sustava 1813.-1918., Povijesni i pomorski muzej Istre, Pula, 2023., str.358.

