

Automatizacija praćenja procesa fermentacije vina: *I'm solution*

Mihael Dedić, Ivan Kozjan, Daniel Bele

Sveučilište Algebra, Zagreb, Gradišćanska 24, Hrvatska (mdedic@algebra.hr)

SAŽETAK

I'm Solution (IMS) predstavlja napredno integrirano tehnološko rješenje namijenjeno vinarima, koje im omogućuje kontinuirano praćenje ključnih parametara fermentacije vina, kao što su temperatura, pH vrijednost, šećer i razina CO₂. Ovi parametri mogu se pratiti u stvarnom vremenu putem intuitivne mobilne aplikacije, koja omogućuje brzo reagiranje na promjene u procesu fermentacije. Sustav je univerzalan, što znači da je kompatibilan sa svim oblicima i veličinama bačvi, uključujući tradicionalne drvene bačve, moderne inox spremnike, pa čak i eksperimentalne fermentacijske posude. Ova prilagodljivost omogućuje njegovu primjenu u vinarijama različitih veličina i kapaciteta, od malih obiteljskih vinarija do velikih komercijalnih proizvođača. U radu je opisana implementacija sustava, tehnički izazovi koji su riješeni tijekom razvoja, kao i ključne prednosti poput smanjenja ljudske pogreške, optimizacije procesa fermentacije i postizanja dosljedne kvalitete vina. Također, razmatra se kako automatizacija može smanjiti operativne troškove, minimizirati rizik od pogreške i povećati kvalitetu i učinkovitost proizvodnje u vinskih poduzećima.

Ključne riječi: automatizacija, vino, fermentacija, senzori, mobilna aplikacija, univerzalnost

UVOD

Vinska industrija, iako tradicionalna, suočava se s potrebom za modernizacijom i automatizacijom kako bi se postigla veća efikasnost i dosljednost u kvaliteti vina (Battaglini i Franceschi, 2019). Jedan od ključnih procesa u proizvodnji vina je fermentacija, gdje promjene temperature, pH, šećer i razine CO₂ mogu značajno utjecati na konačni proizvod (Boulton et al, 2016). Tradicionalno, ovi parametri se kontroliraju

ručno, što je neefikasno i sklono greškama (Delgado et al, 2021). *I'm Solution* predstavlja inovativni sustav koji automatizira praćenje ovih parametara uz pomoć naprednih senzora i mobilne aplikacije. Sustav je dizajniran tako da bude kompatibilan sa svim oblicima i veličinama bačvi, omogućujući njegovu upotrebu u bilo kojoj vinariji, bez obzira na specifičnosti opreme.

MATERIJAL I METODE

Kako bi se razvio uređaj koji u potpunosti odgovara specifičnim potrebama vinarija, posjećeno je nekoliko vinarija u Istri i obavljene su razgovori s vlasnicima i proizvođačima vina. Ovi sastanci bili su ključni za razumijevanje njihovih svakodnevnih izazova i potreba. Tijekom razgovora, najveća zabrinutost vinarija odnosila se na visoke troškove postojećih uređaja za praćenje fermentacijskih procesa, kao i na činjenicu da se ključni parametri, poput temperature, razine šećera i pH vrijednosti, moraju ručno mjeriti i slati na analizu. Taj proces nije samo dugotrajan, već zahtijeva značajne ljudske resurse, što povećava operativne troškove i smanjuje efikasnost (Martinez i Perez, 2021).

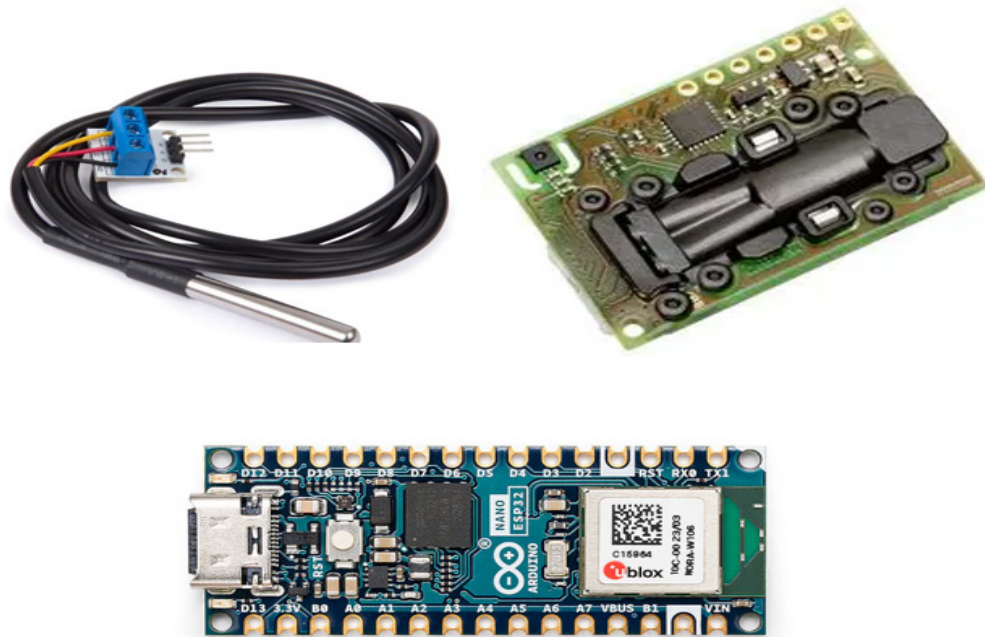
Na temelju tih povratnih informacija, zaključeno je da je vinarijama prijeko potreban sustav za daljinsko praćenje ključnih parametara fermentacije u stvarnom vremenu. Stoga je razvijeno programsko rješenje koje

omogućuje automatsko prikupljanje i slanje podataka, čime se smanjuje potreba za ručnim mjerenjem i analizom. Rješenje vinarima osigurava dostupnost svih ključnih podataka o fermentaciji direktno putem mobilne aplikacije, što im omogućuje da u svakom trenutku imaju uvid u stanje fermentacije, bez potrebe da budu fizički prisutni u vinariji. Ovaj pristup ne samo da im štedi vrijeme već i značajno smanjuje troškove povezane s ljudskim resursima i opremom.

Osim toga, vinarije sada mogu donositi brže i preciznije odluke na temelju pravovremenih informacija, što dodatno doprinosi optimizaciji procesa proizvodnje i poboljšanju kvalitete finalnog proizvoda. Suradnja s vinarima pokazala se ključnom za razvoj sustava koji u potpunosti odgovara njihovim potrebama, omogućujući im veći stupanj kontrole i fleksibilnosti u upravljanju fermentacijom.

Tehničke specifikacije i funkcionalnosti

Srcem rješenja čini Arduino platforma, koja pruža visoku prilagodljivost i omogućuje lakšu integraciju s različitim sustavima unutar vinarija. Arduino platforma je odabrana zbog svoje fleksibilnosti, otvorenog koda i širokog spektra dostupnih senzora i modula, što omogućuje nadogradnju i proširenje funkcionalnosti prema specifičnim zahtjevima vinarije. Sustav je osmišljen tako da može podržati dodatne senzore i komponente, čime je spreman za buduće prilagodbe i proširenja (Meunier et al, 2020).



Slika 1. Senzori za IMS

```

float temperature = scd30.temperature;
float humidity = scd30.relative_humidity;
float co2 = scd30.CO2;

Serial.print("Temperature: ");
Serial.print(temperature);
Serial.println(" degrees C");

Serial.print("Relative Humidity: ");
Serial.print(humidity);
Serial.println(" %");

Serial.print("CO2: ");
Serial.print(co2, 3);
Serial.println(" ppm");

```

Slika 2. Jednostavan primjer programa kod očitavanja senzora

Unutarnja jedinica uređaja izrađena je od aluminija ili nehrđajućeg čelika (inox), ovisno o vrsti bačve kojom se sustav koristi. Ako se koristi drvenim bačvama, aluminijska jedinica je lakša i jednostavnija za montiranje, dok je inox verzija otpornija na kemijske reakcije koje se mogu pojaviti u inox spremnicima. Ovakav dizajn osigurava maksimalnu kompatibilnost s različitim tipovima bačvi, čineći uređaj fleksibilnim za korištenje u različitim uvjetima proizvodnje vina.

Jedna od ključnih funkcionalnosti sustava je automatizirani prijenos podataka. Algoritam unutar sustava podešava intervale slanja

podataka u bazu podataka, omogućujući prilagođavanje vremenskog intervala prema specifičnim potrebama svake vinarije. Na primjer, podaci o ključnim parametrima fermentacije, poput temperature, pH vrijednosti ili koncentracije CO₂, mogu se slati svakih nekoliko sekundi ili svakih nekoliko minuta, ovisno o dinamici fermentacije i potrebama praćenja procesa. Ova fleksibilnost u prilagodbi intervala omogućuje optimizaciju rada i smanjuje opterećenje na mrežu, istovremeno pružajući vinarima precizne i pravovremene informacije o stanju fermentacije.

```
[HttpGet("analyze/{id}")]
public async Task<IActionResult> AnalyzeSensorData(int id)
{
    var response = await _httpClient.GetAsync($"http://localhost:5225/api/WineCheck/GetDeviceData/{id}");
    response.EnsureSuccessStatusCode();
    var sensorDataJson = await response.Content.ReadAsStringAsync();

    var prompt = $"Analyze the following sensor data for wine fermentation and provide short insights, but";

    var analysis = await _openAiService.GetAnalysis(prompt);

    return Ok(analysis);
}
```

Slika 3. Primjer programa za analizu podataka senzora

Dodatno, sustav podržava sigurnosne mehanizme kako bi se osigurao integritet podataka, uključujući redundanciju podataka

i mogućnost lokalnog pohranjivanja u slučaju gubitka mrežne povezanosti.

REZULTATI I RASPRAVA

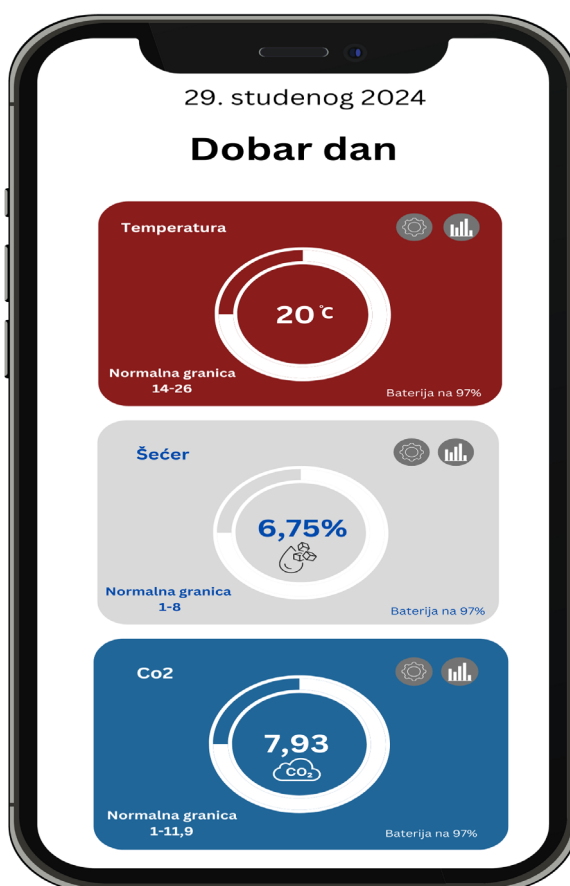
Uređaj je testiran u nekoliko vinarija u Istri, gdje su rezultati bili iznimno pozitivni. Pilot testiranje provedeno je u različitim proizvodnim uvjetima, uključujući male obiteljske vinarije i veće komercijalne pogone, kako bi se procijenila univerzalnost i prilagodljivost sustava. Senzori koji prate ključne parametre fermentacije,

poput temperature, pH i razine CO₂, omogućili su kontinuirano praćenje u realnom vremenu, što je vinarima omogućilo bržu reakciju na promjene u procesu fermentacije.

Rezultati testiranja pokazali su značajno poboljšanje u efikasnosti cjelokupnog procesa praćenja fermentacije. Vinarije su izvijestile

o povećanju preciznosti i konzistentnosti u praćenju parametara, što je dovelo do smanjenja potrebe za ručnim provjerama i intervencijama. Zabilježeno je i smanjenje operativnih troškova za više od 50 %, zahvaljujući automatizaciji procesa i optimizaciji korištenja resursa.

Vinarije su također naglasile kako je sustav omogućio bolju kontrolu kvalitete vina te smanjenje rizika od pogrešaka koje mogu nastati zbog neadekvatnog praćenja fermentacije. Ovaj pozitivan ishod pilot testiranja ukazuje na veliki potencijal sustava za širu primjenu u industriji proizvodnje vina na globalnoj razini.



Slika 4. Prikaz aplikacije na mobilnom uređaju

Univerzalnost uređaja

Sustav radi na istom principu za različite veličine i tipove bačvi, uz male prilagodbe ovisno o materijalu bačve. Za inox bačve koristi se unutarnja i vanjska jedinica kako bi

se spriječio gubitak signala, dok se za drvene bačve primjenjuje jednostavnija konfiguracija s jednom jedinicom unutar čepa.



Slika 5. Uređaj za inoks bačvu



Slika 6. Uređaj za drvenu bačvu

ZAKLJUČAK

Sustav *I'm Solution* predstavlja značajan iskorak u modernizaciji vinarske industrije, postavljajući nove standarde u procesu proizvodnje vina. Automatizirano praćenje ključnih parametara fermentacije ne samo da smanjuje rizik od ljudskih pogrešaka već i dramatično povećava učinkovitost proizvodnog procesa te osigurava dosljednu kvalitetu vina kroz serije i vremenska razdoblja. Fleksibilnost sustava omogućuje njegovu prilagodbu različitim tipovima i veličinama bačvi, čime se zadovoljavaju specifični zahtjevi malih, srednjih i velikih vinarija. Njegova modularna arhitektura osigurava lakoću budućih nadogradnji, omogućujući personalizirane prilagodbe ovisno o rastućim potrebama i tehnologijama u industriji.

LITERATURA

Battaglini, G., Franceschi, F. (2019). Artificial Intelligence and Wine Production: Innovative Approaches for Grape and Fermentation Monitoring, *Journal of Viticulture and Enology*, 10(3). 123-137.

Jedna od ključnih prednosti sustava je njegova otvorenost prema budućim inovacijama. U planu je integracija naprednih AI sustava, koji će analizirati podatke prikupljene iz različitih vinarija, omogućujući stvaranje bogate baze podataka za znanstvena istraživanja. Ova baza podataka mogla bi postati dragocjen resurs za istraživače, enologe i studente, unaprjeđujući razumijevanje procesa fermentacije i optimizaciju proizvodnje vina. Time *I'm Solution* ne samo da unaprjeđuje trenutne procese već postavlja temelje za razvoj vinarske industrije budućnosti, podržavajući znanstvena i obrazovna postignuća u tom području.

Boulton, R. B., Singleton, V. L., Bisson, L. F., Kunkee, R. E. (2016). *Principles and Practices of Winemaking*, 2nd Edition, Springer, New York.

Delgado, C., Moreno, J., Ramírez, A. (2021).

- Machine Learning in Winemaking: Predicting Fermentation Outcomes Using AI. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(9). 2375-2384.
- Martínez, M. A., Pérez, J. (2021). Sustainability in the Wine Industry: Reducing Environmental Impact Through Circular Economy Practices. *Journal of Wine Economics*, 12(4). 299-314.
- Meunier, L., Boulet, A., Garnier, G. (2020). The Role of Artificial Intelligence in Optimizing Fermentation Processes in Oenology. *Fermentation Science and Technology*, 7(2). 89-98.

Automating the Monitoring of a Wine-Fermentation Process: *I'm Solution*

ABSTRACT

I'm Solution (IMS) is an advanced integrated technological solution intended for the winemakers, which enables them to continuously monitor the key parameters of wine fermentation, such as temperature, pH value, sugar, and CO₂ level. These parameters can be monitored in real time via an intuitive mobile application, which enables quick reactions to the changes in the fermentation process. The system is universal—that is, it is compatible with all barrel shapes and sizes, including traditional wooden barrels, modern stainless-steel tanks, and even experimental fermentation vessels. This adaptability enables its use in the wineries of different sizes and capacities, from small family wineries to large-sized the commercial producers. This paper explores the details of system's implementation, including the technical challenges that were solved during the development, such as a precise measurement under different conditions and an integration with the existent winery processes. It also discusses the key benefits the system brings, such as a reduction of human errors, optimization of a fermentation process, and the obtainment of a consistent wine quality. Process automation reduces the operating costs, minimizes the error risk, and enables the wineries to increase the quality and efficiency of their production.

Keywords: automation, wine, fermentation, sensors, mobile application, universality