

# Pametno vinogradništvo: načrtovanje pilota v Šmarjah pri Kopru z uporabo LoRaWAN tehnologije

Aleksander Hrastič<sup>1</sup>, Vid Čermelj<sup>1</sup>, Emilija Stojmenova Duh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorij za telekomunikacije, Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, Tržaška 25, Ljubljana  
E-pošta: aleksander.hrastic@tfe.org

## Smart viticulture: designing a pilot in Šmarje near Koper using LoRaWAN technology

**Abstract.** *In this paper we present an architecture for a smart viticulture solution that will be used as a pilot in Slovenian Istria. We discuss and analyze various appropriate IoT connectivity technologies and present the parameters that will be measured. We analyzed various agricultural research and analysis papers and chose the parameters that were presented as important in viticulture.*

*Smart viticulture requires sensors and connectivity to work as intended. Therefore, we propose architecture that uses sensor systems and LoRaWAN connectivity to gather vineyard related data. The data gathered from the two pilot vineyards will be used in machine learning algorithms and other analysis with intent to help winegrowers improve wine production and quality.*

## 1 Uvod

V zadnjih letih se je z uporabo različnih brezžičnih senzorjev, dronov, satelitskih slik ter drugih novih merilnih orodij, uveljavil koncept pametnega vinogradništva, ki temelji na opazovanju, merjenju in zbiranju okoljskih parametrov za optimizacijo pridelave vina in zmanjševanja škodljivega vpliva na okolje [1]. Največja slabost pametnega vinogradništva so stroški vzdrževanja in začetni kapital, ki ga mora vinogradnik vložiti v nakup strojne in programske opreme. Poleg reševanja dolgoročnih okoljskih problemov, ki nastajajo s prekomerno porabo pitne vode in agrokemikalij, želimo s pomočjo statističnih obdelav in strojnega učenja na merjenih parametrih pomagati vinogradniku učinkoviteje sprejemati odločitve in s tem izboljšati proizvodnjo in kakovost pridelanega grozdja in kasneje tudi vina.

Digitalne tehnologije, vključno z internetom stvari (IoT) [2], vinogradnikom ponujajo nove rešitve, ki jim lahko pomagajo pri prilagoditvi načina proizvodnje pridelka v njihovih vinogradih.

## 2 Pregled povezljivostnih tehnologij v internetu stvari

Internet stvari je sistem medsebojno povezanih računalniških naprav, mehanskih in digitalnih strojev, opremljenih z enoličnimi identifikatorji in zmožnostjo prenosa podatkov po omrežju, ne da bi pri tem

potrebovali interakcije med človekom in človekom ali človekom in napravo [2].

Povezljivostno tehnologijo arhitekture interneta stvari se uporablja kot sloj za učinkovito povezovanje senzorskih enot v lokalni oblak in posledično s ciljnim strežnikom. Glede na to, da se vinogradi večinoma nahajajo na podeželju in imajo omejen dostop do interneta ter omrežnega napajanja, je smiselno proučiti nekatere povezljivostne tehnologije, ki ustrezajo omenjenim omejitvam in omogočajo pravilno delovanje sistema.

Pri pregledu sorodnih rešitev smo zasledili uporabo tehnologije LoRaWAN, ki je bila uporabljena pri komunikaciji iz vinograda na strežnik [3] in kot del sistema na kmetiji [4].

### 2.1 LoRaWAN

Lora Alliance je standardizirala LPWAN (angl. Low power wide area network) tehnologijo imenovano LoRaWAN [5]. Komunikacija poteka v nelicenciranih frekvenčnih območjih (868 Mhz v Evropi). Omrežje sestavljajo senzorske enote z LoRaWAN povezljivostjo, LoRaWAN strežnik in LoRaWAN prehod. Prednost te tehnologije je dolg radiofrekvenčni doseg (na podeželju s primerno anteno: 10-15 km) in majhna poraba električne energije v končnih senzorskih enotah, v zameno za počasnejši prenos podatkov in slabšo odzivnost [6].

### 2.2 4G

4G je četrta generacija tehnologije širokopasovnega celičnega omrežja. Glavne prednosti te tehnologije so globalna dostopnost, velika skalabilnost ob razširitvi senzorskih enot, širok frekvenčni pas, nizki cenovni razred naprav s 4G tehnologijo in dolga življenjska doba baterije povezanih naprav [7].

### 2.3 NB-IoT

Ozkopasovni internet stvari (angl. narrowband internet of things - NB-IoT) [8] je LPWAN standardna tehnologija, ki lahko sobiva z LTE (angl. Long term evolution) in GSM (angl. Global System for Mobile Communications) v licenciranih radiofrekvenčnih pasovih. Namenjena je velikemu številu priključenih naprav. V primerjavi s 4G tehnologijo ima krajše časovne intervale komunikacije med napravo interneta stvari in bazno postajo. Posledično je manjša tudi poraba energije povezanih senzorskih enot [9]. NB-IoT povezljivost je možno koristiti kjer je v bližini

postavljena bazna postaja, saj je predviden doseg signala v urbanih področjih 1 km in v podeželskih 10 km [10].

## 2.4 Sigfox

Ponudniki storitev LPWAN Sigfox tehnologije nameščajo bazne postaje v različnih državah po svetu. Tehnologija prav tako obratuje v nelicenciranih frekvenčnih območjih (868 Mhz v Evropi). Ima majhne nivoje prisotnosti šuma v komunikaciji, kar omogoča nizko porabo baterije v končnih brezžičnih napravah interneta stvari [10]. Sigfox ima omejeno maksimalno število poslanih paketov na 14 na dan in maksimalno velikost posamičnega paketa na 12 bajtov [6]. Uporaba Sigfoxa, kjer je signal na voljo, je možna z nakupom Sigfox modula, registracije v Sigfox omrežje in plačevanjem po številu prenesenih podatkov. Trenutno je Slovenija slabo pokrita s Sigfox omrežjem [11].

## 2.5 Primerjava povezljivosti tehnologij

Glavni dve lastnosti, ki sta nam bili pomembni pri izbiri tehnologije sta bili poraba energije in pokritost signala v Šmarjah ter drugod po Sloveniji, saj se vinogradi nahajajo na odtujenih območjih, kjer ni dostopa do omrežnega napajanja in dobrega signala. Hitrost prenosa podatkov in odzivnost pri izbiri povezljivostne tehnologije nista imela velikega pomena. Podatki so prikazani v Tabeli 1.

Tabela 1. Primerjava povezljivosti tehnologij [6][7][10][11]

Ime tehnologije	Teoretična hitrost prenosa podatkov	Poraba energije	Razpoložljivost signala v Sloveniji
LoRaWAN	50 kb/s	Zelo nizka	Do 15 km od postavljenega prehoda.
4G	1 Gb/s	Visoka	Visoka pokritost
NB-IoT	200 kb/s	Nizka	Delna pokritost, do 10 km od bazne postaje.
Sigfox	100 b/s	Zelo nizka	Slaba pokritost

Izmed predlaganih tehnologij, 4G in NB-IoT nimata zagotovljene pokritosti na območjih, kjer bi želeli imeti postavljene senzorje. S pomočjo LoRaWAN prehoda lahko ustvarimo lastno omrežje in s tem zagotovimo povezljivost senzorjev v internet oziroma do strežnika, kjer drugače to ne bi bilo možno. Pri tem je glavna slabost strošek nakupa in vzdrževanja dodatne strojne opreme (LoRaWAN prehoda).

## 3 Izbrani merjeni parametri

Ključni del pri izvajanju pilota je zbiranje relevantnih agronomskih parametrov.

Z upoštevanjem preteklih agronomskih raziskav in analiz [12]-[23] smo se odločili, da bomo v pilotnem vinogradu merili 12 parametrov: temperaturo zraka, vlago v zraku, mokroto listov, zračni pritisk, sončno obsevanje, temperaturo zemlje, vsebnost vlage v zemlji, vsebnost kisika v zemlji, prevodnost zemlje, količino padavin ter hitrost in smer vetra.

Z vrednostmi nekaterih parametrov bomo lahko vinogradnikom neposredno podali oceno in svetovali glede ukrepov. Pri preostalih pa bo potrebna bolj poglobljena analiza, saj so vrednosti relevantne v daljšem časovnem obdobju.

Za merjenje parametrov v vinogradu se bodo uporabljali različni senzorji, ki se jih postavi v zemljo, v bližino ali neposredno na trto. Izbrana postavitev senzorja je odvisna od načina njihovega delovanja [1].

### 3.1 Temperatura zraka

Z višjimi temperaturami ozračja nastane grozdje z drznejšimi okusi, večjo vsebnostjo sladkorja in posledično tudi vino z več alkohola [12].

O. Ashenfelter in K. Storchman sta z analizo ugotovila, da se ob globalnih vremenskih spremembah, ki povzročajo toplejše temperature zraka, kvaliteta grozdja in s tem tudi kvaliteta vina povečata. Posledično se poveča tudi njuna cena [13].

Z uporabo digitalnih temperaturnih senzorjev se bo v vinogradu, s sprotnim merjenjem temperature ozračja, beležilo temperature v obdobju rasti grozdja in na podlagi zbranih podatkov ocenilo kvaliteto ter sladkobo grozdja in vina.

### 3.2 Vlaga v zraku

Vlaga v ozračju vinograda je v kombinaciji s temperaturo ozračja eden izmed faktorjev, ki vpliva na razvoj škodljivih plesni (npr. Praškasta plesen) na vinskih trtah. Carroll in Wilcox sklepata, da je možnost za razvoj te plesni proporcionalno odvisna od količine prisotne vlage v ozračju vinograda [14].

S sprotnim senzorskim merjenjem in beleženjem vlage, se lahko v kombinaciji z izmerjeno temperaturo ozračja predvidi, ali se je v vinogradu v nekem časovnem obdobju povečala verjetnost za razvoj škodljivih plesni. Z izvajanjem te meritve se bo vinogradnikom, na podlagi statističnih podatkov in uporabe strojnega učenja, pomagalo s pravočasnim opozorilom na preventivni ukrep.

### 3.3 Sončno sevanje

Samo en del sončnega sevanja neposredno doseže zemeljsko površino. Drugi del se v atmosferi razprši in nato doseže zemljino površino kot razpršeno sevanje [13]. Sončno sevanje je eden izmed glavnih pogojev za proces fotosinteze v rastlinah, s katerim se v rastlini proizvajajo sladkorji. Temperatura ozračja je neposredno povezana z energijo sončnega sevanja, saj s soncem segreta zemlja v okolico oddaja toploto.

Sevanje, ki doseže zemeljsko površino, lahko merimo z uporabo piranometra (senzor za merjenje

sončnega sevanja). Z zbiranjem senzorskih podatkov bomo s pomočjo analize ocenili kvaliteto pridelanega grozdja in vina.

### 3.4 Temperatura prsti

Prst v vinogradu se s sončnim obsevanjem segreva, kar ima različne vplive na biokemijske procese, ki se izvajajo v korenini rastline. Nekateri izmed procesov so vnos vode skozi korenine v rastlino, ki se zmanjša pri nižjih temperaturah, razgradnja organskih snovi, kar vpliva na vrednost PH zemlje in izhlapevanje vode iz zemlje. Poleg naštetih, temperatura zemlje vpliva še na druge pomembne lastnosti tal [15].

Temperaturo prsti se bo merilo s sondo, ki je zakopana v zemljo ob območju koreninskega sistema.

### 3.5 Vsebnost vlage v zemlji

Količina padavin, ki pade na merjeno območje, neposredno vpliva na vsebnost vlage v zemlji. Ob primanjkljaju vlage v zemlji lahko sklepamo, da je zemlja na območju kjer merimo suha. Glede na zahteve rastline se vinogradniku sporoči, da je na opazovanem območju potrebno zaliti trte.

Merjenje vlage v zemlji je možno izvesti na več načinov. V našem pilotu bomo uporabili senzor s kapacitivnim načinom merjenja [16].

### 3.6 Električna prevodnost zemlje

Z merjenjem električne prevodnosti zemlje lahko pridobimo informacije o različnih lastnosti tal, ki vplivajo na proizvodnjo končnega pridelka. Nekatere izmed teh so: tekstura tal, zmogljivost izmenjave kationov, drenažni pogoji zemlje, vsebnost organske snovi v zemlji, slanost in druge značilnosti podzemlja [17]. Eden izmed parametrov, ki je povezan s prevodnostjo zemlje, je slanost zemlje. V ne-optimalnih količinah slanost zemlje slabo vpliva na rast trt in kvaliteto pridelanega vina [18].

### 3.7 Količina padavin

Padavine so bistvenega pomena za preživetje rastline in proizvodnjo pridelka v vinogradih. Pomanjkanje vode v vinogradih vpliva na zmanjšanje velikosti končnega grozdnega sadeža [19].

Z merjenjem količine padavin v vinogradih se lahko beleži in ugotavlja, če padavine odstopajo od povprečja in na podlagi tega predvidi porabo vode za zalivanje. Za merjenje količine padavin bomo v vinogradu uporabili ombrometer s prekucno posodo (angl. tripping bucket).

### 3.8 Mokrota listov

Mokrota listov je merjena kot prisotnost vode na površini lista. V primeru, da je list moker več časa kot traja pragovno obdobje pri določeni temperaturi, je povečana verjetnost nastanka škodljivih bolezni [20].

Z merjenjem mokrote lista bo možno predvideti, če se bo glede na dane pogoje razvila bolezen.

Vinogradniku se pomaga s pravočasnim opozorilom na uporabo preventivnih ukrepov.

### 3.9 Vsebnost kisika v zemlji

Vodilni faktorji, ki vplivajo na vsebnost kisika v zemlji, so poroznost zemlje, tekstura zemlje, struktura zemlje in vsebnost vode v zemlji. Pomanjkanje kisika lahko povzroči, da se v zemlji proizvajajo rastlini škodljive snovi [21].

Z merjenjem vsebnosti kisika v zemlji lahko spremljamo dolgoročne spremembe lastnosti zemlje.

### 3.10 Smer in hitrost vetra

Neprekinjeni močni vetrovi lahko poškodujejo trto in preprečijo njeno rast. Poleg tega, veter hitreje odnaša toploto s površin listov in zemlje kar pomeni, da bo povprečna temperatura ozračja vinograda nižja. Po drugi strani veter povzroči, da se voda s površine listov hitreje posuši, kar zniža verjetnost nastanka škodljivih bolezni [22].

Z merjenjem hitrosti vetra se lahko ugotovi, če je veter pihal dovolj močno in dovolj dolgo, da so se listi posušili. Te informacije lahko v kombinaciji s preostalimi podatki pomagajo vinogradniku z opozarjanjem na uporabo preventivnih ukrepov.

### 3.11 Zračni pritisk

Z merjenjem zračnega pritiska bomo preverjali ali ima rastlina primerne pogoje za rast, saj ob večjih odstopanjih ne dosega optimalne višine [23]. Poleg tega, bomo ta podatek uporabili v kombinaciji z vrednostmi drugih parametrov.

## 4 Pristop k izvedbi pilota

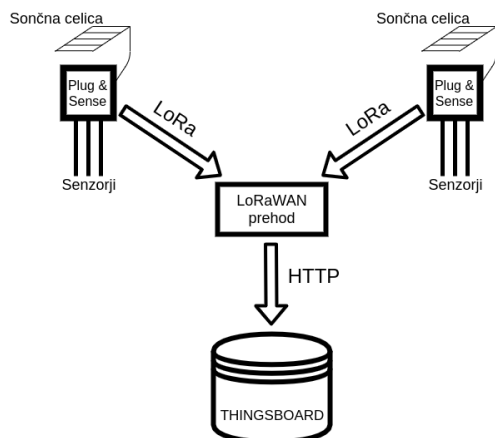
Z namenom spremljanja v prejšnjem poglavju naštetih parametrov v vinogradih, se na Univerzi v Ljubljani, Fakulteti za elektrotehniko, v Laboratoriju za Telekomunikacije razvija rešitev, ki bo implementirana v pilotnem projektu, ki ga izvajamo v okviru projektov Interreg Alpine Space Smart Villages in Horizon 2020 LiveRur. Rešitev bo v prvi fazi nameščena na dveh vinogradniških kmetijah v Šmarjah pri Kopru. V drugi fazi bo enaka rešitev nameščena na vsaj še treh kmetijah v slovenski Istri ter dveh kmetijah na Štajerskem koncu.

### 4.1 Arhitektura rešitve

Pri snovanju ustrezne arhitekture je potrebno upoštevati lastnosti lokacije pilotnega vinograda. Vinograda se nahajata v urbanem območju v bližini stavb in sta med seboj oddaljena 100 metrov. Ker na območjih ni možno ustrezno zagotoviti omrežnega napajanja, bosta senzorska sistema napajana prek baterij in sončnih celic. Z upoštevanjem teh lastnosti in z ozirom na lastnosti različnih komunikacijskih tehnologij smo za naše testno območje izbrali tehnologijo LoRaWAN. Z LoRaWAN prehodom bomo ustvarili lastno omrežje, ki bo neodvisno od ponudnikov telekomunikacijskih storitev.

LoRaWAN omogoča uporabo v načinu nizke porabe energije in pošiljanje podatkov na daljše razdalje, kar nam bo olajšalo dodajanje novih senzorskih enot in vinogradov, ki bodo od prehoda bolj oddaljeni. Uporabljena bo zvezdna topologija, kar pomeni, da bodo senzorski sistemi ločeno povezani na en skupen prehod (Slika 1).

Vinograda sta znotraj dosega LoRaWAN signala, zato zadošča, da le z enim prehodom, nameščenim v bližini vinogradov, ustvarimo svoje lokalno povezljivostno omrežje. Prehod se nato preko interneta poveže s strežnikom na katerem je nameščen ThingsBoard.



Slika 1. Arhitektura rešitve.

Senzorska sistema iz obeh vinogradov bosta tekom dneva v različnih časovnih intervalih merila parametre in jih na vsakih 60 minut pošiljala v ThingsBoard na strežniku. Prehod v naši rešitvi služi kot vmesna dostopna točka med strežnikom in senzorskim sistemom. Med senzorskim sistemom in prehodom bodo podatki poslani z uporabo LoRaWAN komunikacijskega protokola, med prehodom in strežnikom pa s HTTP protokolom. Maksimalna velikost enega poslanega paketa (med 51 in 222 bajti), energijsko porabo, doseg in hitrost prenosa, je možno spremeniti v nastavitvah protokola [6].

## 4.2 Izbira senzorskega sistema

Ob izbiri senzorskega sistema nam je bila pomembna možnost, da na sistem namestimo našo programsko kodo. Ker se bo senzorski sistem nahajal v naravi, moramo upoštevati odpornost na vremenske razmere.

Izmed rešitev, ki so trenutno prosto dostopne na trgu, našim kriterijem najbolj ustreza profesionalni senzorski sistem Libelium Plug&Sense Smart Agriculture Xtreme. Omenjen senzorski sistem ima glede na izbiro konfiguracije možnost uporabe več različnih celičnih in LPWAN komunikacijskih tehnologij [24].

Za našo rešitev smo izbrali konfiguracijo, ki omogoča povezljivost senzorskega sistema v LoRaWAN omrežje. Ker na lokacijah senzorskih sistemov ni možnosti omrežnega napajanja, bo napajanje izvedeno z interno polnilno baterijo kapacitete 6600mAh in sončnimi celicami (7V – 500mA).

Senzorski sistem, ki ga bomo namestili v vinogradu, bo sestavljen iz centralne enote in 6 različnih senzorskih enot, ki bodo merile parametre, našete v tretjem poglavju. Centralna enota bo skrbela za agregacijo in pošiljanje podatkov na centralni strežnik.

## 4.3 Izbrani senzori

Na centralno enoto senzorskega sistema je možno priključiti 6 različnih senzorjev iz kataloga, ki ga nudi ponudnik senzorskega sistema Libelium.

Tabela 2. Izbrani senzori.

Ime Senzorja	Merjeni parametri
TEROS 12	vsebnost vode, prevodnost in temperatura zemlje
Phytos 31	vlažnost listov
SO-411	vsebovanost kisika v zemlji
Temperature, Humidity and Pressure Probe	temperatura, vlažnost in zračni pritisk
SQ-110	sončno sevanje
WS-3000	vremenska postaja za merjenje količine padavin, hitrosti in smeri vetra

Iz vsakega senzorja bomo za vsak parameter pridobili podatek velikosti treh bajtov. Za vseh 12 parametrov bo končni paket koristnih informacij velik 36 bajtov.

## 4.4 Zbiranje in prikaz podatkov

Podatki bodo tekom pilotnega obdobja zbrani na strežniku, na katerem je nameščen ThingsBoard CE. ThingsBoard je platforma, ki omogoča zbiranje, prikazovanje in nadaljnjo obdelavo prejetih podatkov iz senzorskih modulov [25]. Zbrane podatke bomo uporabili za analizo in pomoč vinogradnikom pri sprejemanju odločitev v zvezi z upravljanjem vinograda. Za lažjo predstavbo bodo uporabljeni grafi, ki bodo prikazovali spremembe parametrov v odvisnosti od časa ali drugih parametrov. Uporabljene bodo tudi metode strojnega učenja za iskanje korelacij med parametri in lastnostmi grozdja in vina. Vinogradniki bodo prek platforme lahko spremljali parametre v njihovih vinogradih. Platforma bo samodejno opozarjala na težave in preventivne ukrepe.

## 5 Zaključek

Pomembno odločitev pri načrtovanju merilnega sistema predstavlja izbira tehnologije, ki se jo uporabi za komunikacijo s strežnikom, na katerega se pošilja podatke. Do sedaj so bile za to najbolj primerne tehnologije LPWAN, v zadnjih letih pa je smiselna tudi uporaba celičnih komunikacijskih tehnologij. V Sloveniji imajo tehnologije z nizko porabo energije slabo pokritost, zato smo se odločili za tehnologijo LoRaWAN.

Z našo rešitvijo interneta stvari želimo na dveh pilotnih vinogradih testirati sistem, ki bo olajšal in izboljšal proces pridelave vina. S pomočjo analize zbranih podatkov bomo lahko vinogradniku pomagali pri sprejemanju pomembnih odločitev v zvezi z vinogradništvom s ciljem, da zmanjšamo stroške uporabe agrokemikalij in vode ter izboljšamo kvaliteto končnega pridelka. S poglobljeno analizo bomo pridobili tudi bolj natančne podatke o pomembnosti vsakega izmed 12 parametrov.

Po končanem pilotu želimo to znanje uporabiti za izboljševanje sistema in nadgrajevanje rešitve, ki jo bo mogoče uporabiti v različnih pokrajinah po Sloveniji in tudi smiselno posplošiti na preostale kmetijske panoge.

## 6 Literatura

- [1] "Smart vineyard: management and decision making support for wine producers," [Online] Dosegljivo: [https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM\\_Smart%20vineyard%20v1.pdf](https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Smart%20vineyard%20v1.pdf) [10.7.2020]
- [2] "internet of things (IoT)," [Online] Dosegljivo: <https://internetoftthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT> [20.7.2020]
- [3] D. Davcev, K. Mitreski, S. Trajkovic, V. Nikolovski, N. Koteli, "IoT agriculture system based on LoRaWAN," 2018 14th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS), Imperia, str. 1-4, 2018.
- [4] Codeluppi, G.; Cilfone, A.; Davoli, L.; Ferrari, G. "LoRaFarM: A LoRaWAN-Based Smart Farming Modular IoT Architecture," *Sensors* 2020, vol. 20, št. 7, 2020.
- [5] Lora Alliance, [Online] Dosegljivo: <https://www.lora-alliance.org/> [12.7.2020]
- [6] F. Adelantado, X. Vilajosana, P. Tuset-Peiro, B. Martinez, J. Melia-Segui and T. Watteyne, "Understanding the Limits of LoRaWAN," *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, št. 9, str. 34-40, 2017
- [7] J. J. Sara, M. S. Hossain, W. Z. Khan and M. Y. Aalsalem, "Survey on Internet of Things and 4G," 2019 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET), Tangerang, Indonesia, str. 1-6, 2019.
- [8] "Narrowband - Internet of Things (IoT)," [Online] Dosegljivo: <https://www.gsma.com/iot/narrow-band-internet-of-things-nb-iot/> [20.7.2020]
- [9] "LTE-M vs NB-IoT – A guide exploring the differences between LTE-M and NB-IoT," [Online] Dosegljivo: <https://www.telenorconnexion.com/iot-insights/lte-m-vs-nb-iot-guide-differences/> [16.7.2020]
- [10] K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel and F. Meyer, "Overview of Cellular LPWAN Technologies for IoT Deployment: Sigfox, LoRaWAN, and NB-IoT," 2018 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, Atene, str. 197-202, 2018
- [11] Sigfox pokritost, [Online] Dosegljivo: <https://www.sigfox.com/en/coverage> [18.7.2020]
- [12] "YaleEnvironment360, What Rising Temperatures May Mean for World's Wine Industry," [Online] Dosegljivo: [https://e360.yale.edu/features/what\\_global\\_warming\\_may\\_mean\\_for\\_worlds\\_wine\\_industry](https://e360.yale.edu/features/what_global_warming_may_mean_for_worlds_wine_industry) [10.7.2020]
- [13] O. Ashenfelter, K. Storchman, "Using Hedonic Models of Solar Radiation and Weather to Assess the Economic Effect of Climate Change: The Case of Mosel Valley Vineyards," *Review of Economics and Statistics*, vol. 92, št. 2, str. 333-349, 2010.
- [14] J. E. Carroll, W. F. Wilcox, "Effects of humidity on the development of grapevine powdery mildew," *Phytopathology*, vol. 93, št. 9, str. 1137-1144, 2003.
- [15] O. Brown, "Effects of soil temperature on Some Soil properties and plant growth," *Journal of Agricultural Science and Technology*, vol. 6, št. 3, str. 89-93, 2016
- [16] "Using Soil Moisture Sensors for Vineyard Irrigation Management," [Online] Dosegljivo: [https://www.vineyardteam.org/files/resources/Using%20Soil%20Moisture%20Sensors%20in%20Vineyards\\_2014\\_F.Westover\\_Final%20Working.pdf](https://www.vineyardteam.org/files/resources/Using%20Soil%20Moisture%20Sensors%20in%20Vineyards_2014_F.Westover_Final%20Working.pdf) [12.7.2020]
- [17] R. Grisso, M. Alley, D. Holshouser, W. Thomason, "Precision Farming Tools: Soil Electrical Conductivity," Virginia Cooperative Extension, str. 442-508, 2005
- [18] "Vineyard responses to salinity-associated soil chemical properties," [Online] Dosegljivo: <https://www.wineladn.co.za/vineyard-responses-salinity-associated-soil-chemical-properties/> [16.7.2020]
- [19] Williams, Larry E. "Grapevine water relations." Raisin production manual (Ed. LP Christensen), str. 121-126, 2000.
- [20] R. A. Spotts, "Effect of leaf wetness duration and temperature on the infectivity of *Guignardia bidwellii* on grape leaves," *Phytopathology* vol. 67, št. 11, str. 1378-1381, 1977.
- [21] J. Neira, M. Ortiz, L. Morales, E. Acevedo. "Oxygen diffusion in soils: Understanding the factors and processes needed for modeling," *Chilean journal of agricultural research*, vol. 75, št. 1, str. 35-44, 2015.
- [22] H. Jagoutz, "The effect of wind," *Geologische Abhandlungen von Hessen*, vol. 114, str. 42-53, 2004.
- [23] H. J. Daunicht, H. J. Brinkjans, "Plant responses to reduced air pressure: Advanced techniques and results," *Advances in Space Research*, vol. 18, št. 4-5, str. 273-281, 1996.
- [24] Libelium Plug&Sense, [Online] Dosegljivo: <http://www.libelium.com/products/plug-sense> [18.7.2020]
- [25] ThingsBoard, [Online] Dosegljivo: <https://thingsboard.io/> [17.7.2020]