

INTERREG VI-A ITALIJA SLOVENIJA 2021-2027

BeBlue Beyond Bluegrass:

Krepitev trajnostnega agrobiznisa skozi akvaponiko Krepitev
trajnostne kmetijski proizvodi proizvodnja iz akvaponike

D1.4.1 Digitalni dvojček za akvaponiko. Spletna aplikacija z uporabniškim vmesnikom/

INTERREG VI-A ITALIJA SLOVENIJA 2021-2027

Obvestilo o kapitalizaciji/ Poziv za kapitalizacijo N. 01/2022R

Šifra projekta: ITA-SI0100069 BeBlue

Datum začetka: 1. september 2023 – Trajanje 24 mesecev

Projektni partnerji/ Projekti partnerji :

Projekt BeBlue sofinancira Evropska unija v okviru programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.

Projekt BeBlue sofinancira evropski združeni v okviru Program Interreg VI-A Italija-Slovenija .



Università
Ca' Foscari
Venezia



UNIVERZA V LJUBLJANI
University of Ljubljana



Università IUAV
di Venezia

Projekt/ Projekt :	Interreg Italija – Slovenija BeBlue – Onkraj modre trave
št. projekta / Številka projekt :	ITA-SI0100069
WP	WP1 - Beyond Bluegrass: digitalizacija in diverzifikacija izdelkov / Nadaljevanje Bluegrass: digitalizacija in diverzifikacija proizvodnja
dejavnost	A4.1
Dostavljivo	D1.4.1 / Digitalni dvojček za akvaponiko. Spletna aplikacija z uporabniškim vmesnikom/
Različica / posodobljeno :	1
Datum pošiljanja / Datum odpreme :	
Odgovorni partner / Odgovorni partner:	ZDRUŽENI
Avtorji/ svetovalci :	Joseph Safi, Roberto Pastres

Dobavljiva vrsta / Vrsta končnega izdelka		
R	Dokument, poročilo / Dokument , poročilo	
DEM	Demonstrator, pilot, prototip - Demo, pilotni projekt , prototip	X
DEC	Spletne strani, videi itd. / Spleen čudno , video objave itd .	
DRUGO		

Stopnja razkritja / Stopnja britje		
Lahko	Javni – Javni	X
CO	Zaupno, samo za projektne partnerje, tehnično sekretarko in komisijo program management / zaupno , samo za projektne partnerstvo , tehnologija sekretarja in odbora za upravljanje program	

Odobritev končnega izdelka / Odobritev izročka		
Interno odobreno		
Odobreno notranjost		
Odobril WP Leader		
Odobril WP Vodja		
Potrjen s strani koordinatorja	Roberto Pastres (UNIVE)	
Odobril koordinator		

Kontakti koordinatorja / Kontakti usklajevanje	
Ime koordinatorja projekta	Roberto Pastres
Organizacija koordinatorja projekta	Univerza Ca' Foscari v Benetkah
Naslov	Via Torino 155, 30172, Mestre (VE) - Italija
E-pošta	pastres@ unive, it
Spletna stran projekta	https://www.ita-slo.eu/it/beblue

BEBLUE POVZETEK	5
SEZNAM KRATIC - SEZNAM AKRONIMOV	5
KAZALO SLIK	7
KAZALO TABEL	7
POVZETEK	8
1. UVOD	9
1.1 Namen dokumenta in struktura končnega izdelka	9
2. PROTOTIP DIGITALNEGA TWIN	11
3. PLATFORMA "DiGiponic"	13
3.1 Oblikovanje	13
3.2 Oblikovalska usmeritev	14
3.3 Upravljanje	14
3.3.1 Vhodni podatki	14
3.3.2 Predlogi za upravljanje	15
4. SKLEPI	17
Bibliografija	18

BeBlue Beyond Bluegrass

Krepitev trajnostnega agrobiznisa z akvaponiko

D1.4.1 Digitalni dvojček za akvaponiko. Spletna aplikacija z uporabniškim vmesnikom

(Slovenska različica)

BEBLUE POVZETEK

BeBlue - Beyond Bluegrass, prispeva k uresničevanju specifičnega cilja SO2.6 programa čezmejnega sodelovanja Italija-Slovenija: »Spodbujanje prehoda v krožno in z viri gospodarno gospodarstvo«. Namen projekta je olajšati širjenje akvaponike. Ta trajnostna, krožna tehnologija omogoča soproizvodnjo rib in rastlinskih vrst v reciklacijskih sistemih. BeBlue izkorišča rezultate, dosežene s projektom [čezmejnega sodelovanja BLUEGRASS](https://2014-2020.ita-slo.eu/bluegrass), (<https://2014-2020.ita-slo.eu/bluegrass>), ki je v programsko območje uvedel akvaponiko,

V ta namen bo BeBlue zagotovil orodja za:

1. optimizirati upravljanje akvaponičnih sistemov z njihovo digitalizacijo in razvojem prototipa »Digital Twin«;
2. prikazati potencialno uporabo akvaponičnih sistemov za pridobivanje inovativnih izdelkov z visoko dodano vrednostjo, kot so: i) makroalge; ii) kozarček; iii) mikrozelenje.
3. oceniti okoljsko trajnost izdelkov z razvojem kalkulatorja, ki lahko zagotovi okoljski odtis izdelka (Product Environmental Footprint).
4. Ovrednotiti ekonomsko vzdržnost tovrstnih produkcij, s pomočjo tržne analize, katere cilj je oceniti sprejemljivost uporabe akvaponične tehnologije s strani proizvajalcev in potrošnikov, razvoj orodja za oceno donosnosti investicije akvaponskih sistemov.
5. Povečati ozaveščenost in prepoznavnost akvaponike med akterji v industriji in potencialnimi vlagatelji

Delovni načrt BeBlue je razdeljen na 3 pakete ali delovne pakete, katerih posebni cilji so povzeti spodaj. Poleg dejavnosti prenosa tehnologije ali mreženja vključujejo tudi komunikacijske in diseminacijske dejavnosti, namenjene različnim vrstam potencialnih uporabnikov.

WP1: Beyond Bluegrass: Digitalizacija in diverzifikacija izdelkov

Cilji: Izboljšati pilotne naprave, razvite v BLUEGRASS, ter razviti, preizkusiti in razširjati digitalna orodja za podporo upravljanja in optimizacije akvaponičnega obrata.

WP2: Orodja za oceno okoljske in ekonomske trajnosti.

Cilji: Razviti orodja za podporo investitorjem in operaterjem pri načrtovanju in upravljanju akvaponičnih sistemov, zagotavljanje smernic za izbiro izdelkov in spletnih orodij za vrednotenje ekonomske in okoljske trajnosti.

WP3: Mreženje in valorizacija

Cilji: spodbujati razvoj in vrednotenje znanja, pridobljenega s prejšnjim projektom Bluegrass in z novimi dejavnostmi, krepitev nadnacionalnega povezovanja v mreže s procesi participacije in razširjanjem rezultatov.

SEZNAM KRATIC - SEZNAM AKRONIMOV

ALK	Alkalnost
BQC	Uporabniški vmesnik za nadzor kakovosti podatkov BeBlue Quality Control
DT	Digital Twin - Digitalni dvojček
FW	Sveža teža – Sveža teža
IP-UNILJU	Aquaponic pilotna naprava, ki jo upravlja Univerza v Ljubljani
IP-UNIVE	Aquaponic pilotni obrat , ki ga upravlja Univerza Ca' Foscari v Benetkah
LW	Live Weight – Živa teža
NO2	nitrit
NO3	nitrat
DO	Raztopljeni kisik
RAS	Recirkulacija Sistem ribogojstva
RP	Reaktivni fosfor - Reaktiven fosfor
TAN	Skupni amonijev dušik – Skupni amonij Dušik
TSS	Skupne suspendirane trdne snovi - Skupna suspendirana snov Trdne snovi

KAZALO SLIK

Slika 2 _1: Shema sklopljenega akvaponičnega sistema.	12
--	----

KAZALO TABEL

Tabela 1: Vhodni podatki, ki jih lahko vnese uporabnik.	13
Tabela 2: Odzivi modela, uporabni za usmerjanje dimenzioniranja akvaponičnega sistema. ...	14
Tabela 3: Podatki, potrebni za oceno razvoja stanja akvaponičnega sistema en teden, en mesec in šest mesecev naprej.	15
Tabela 4: Napovedi, ki jih zagotavlja model glede na tri časovna obdobja. Splošno so označeni s ti.	16
Tabela 5: Napovedi, ki jih zagotavlja model glede na tri časovna obdobja. Splošno so označeni s ti.	16

POVZETEK

Ta dokument opisuje glavne značilnosti računalniške platforme, ki omogoča simulacijo časovnega razvoja glavnih spremenljivk, ki označujejo akvaponski sistem, z uporabo prototipa »digitalnega dvojčka«, razvitega v dejavnosti A1.4 »Prototip digitalnega dvojčka« .

Platforma DiGiPonic , ki je prosto dostopna prek spleta, je opremljena z uporabniškim vmesnikom, ki je enostaven za uporabo, razvit v okolju R s programskim paketom Rshiny . Prototip digitalnega dvojčka je podrobno opisan v dokumentu D.4.2 »Digitalni dvojček za akvaponiko: načela in aplikacije«.

Uporabniški vmesnik vključuje dve glavni funkciji: prva je zasnovana za zagotavljanje uporabnih informacij za pravilno velikost akvaponičnega sistema, druga pa za lažje upravljanje.

Prva funkcija DiGiPonic zagotavlja smernice glede velikosti RAS, kjer se gojijo ribe, in hidroponskega rastlinjaka, ki temelji na nekaterih podatkih in informacijah, ki jih zagotovi uporabnik, kot so na primer: vrsta, ki bo soproizvedena, želena letna proizvodnja rib, prevladujoči toplotni režim.

Druga funkcija vam omogoča, da pridobite konkretne indikacije glede ukrepov upravljanja, ki jih je treba načrtovati na tedenski ali polletni ravni. Obe funkciji zagotavljata:

- ocene krmnega obroka in rasti rib in rastlinskih vrst, da se lahko načrtuje nabava krme in faza nabiranja proizvoda;
- napovedovanje časovnega razvoja pH in na podlagi tega predlogi glede dodajanja kemične spojine za vzdrževanje kislosti raztopine v sprejemljivem območju za soproizvedene vrste;
- napovedovanje koncentracije TAN in nitratov v vodni raztopini, kar nakazuje možne ukrepe za izmenjavo vode za njihovo znižanje, če bodo povzročile stres ribam.

Rezultati so vrnjeni večinoma v grafični obliki, vendar jih lahko uporabnik ekstrahira v numerični obliki, kot datoteke .csv, ki jih je mogoče enostavno uvoziti v Excel in jih lahko berejo druga programska okolja, kot sta »R« in »Python«.

1. UVOD

Upravljanje akvaponičnega sistema ni preprosto, še posebej, če je cilj doseči obseg proizvodnje komercialnega pomena. V tem sistemu dejansko sobivajo organizmi treh trofičnih nivojev: poleg rib (konzumenti) in rastlin (primarni proizvajalci) ne smemo pozabiti na bakterijsko komponento, ki je bistvena za biopretvorbo anorganskih dušikovih spojin, reduciranih v nitrat.

Funkcionalnost sistema je povezana z razmerjem med biomaso rib in rastlin ter z ravnovesjem njihovih presnovnih stopenj, ki ga pogojuje niz spremenljivk, kot so:

- temperatura vode;
- obrok hrane;
- hitrost kroženja vode;
- razpoložljivost kisika;
- kislost raztopine.

Za lažje dimenzioniranje in upravljanje sistema je bil v okviru projekta BeBlue razvit prototip »digitalnega dvojčka« ali »Digital Twin« – DT akvaponičnega sistema. »Digitalni dvojčki« se razvijajo na številnih področjih uporabe in jim pogosto prilagajajo tudi svojo definicijo. Nedavno je bila predlagana definicija DT za sistem intenzivnega ribogojstva (Fore&al, 2024), ki temelji na pristopu upravljanja, imenovanem »precizno ribogojstvo« (PFF). V projektu BeBlue je bila ta definicija razširjena na akvaponski sistem, z opredelitvijo matematične strukture dinamičnega modela, ki je bistvena komponenta DT, in primerjavo rezultatov s podatki, zbranimi v dveh pilotnih obratih, ki ju upravljata LP-UNIVE oziroma PP2-UNILJU. Metodologija in glavni rezultati so podrobno opisani v izsledku D1.4.2: poudarjajo, da dinamični model zagotavlja zanesljive napovedi tako rasti proizvoda kot kakovosti vode in se zato lahko uporablja tako v fazi načrtovanja kot upravljanja akvaponičnega sistema. V ta namen je bila koda, ki se nanaša na model, razvit v programskem okolju »R«, ustrezno prestrukturirana, da je prosto dostopna preko spleta prek uporabniškega vmesnika, kodiranega s paketom »Shiny«, od nedavnega tudi v programskem okolju »Python«.

1.1 Namen dokumenta in struktura končnega izdelka

Ta dokument opisuje glavne funkcije uporabniškega vmesnika »DiGiPonic«, ki vam omogoča, da dobite nasvete o velikosti in upravljanju akvaponičnega sistema. V skladu s ciljem tega poročila je dokument razdeljen na ta uvod in tri druga poglavja. V drugem poglavju so za lažjo uporabo povzete glavne značilnosti prototipa Digital Twin, ki je podrobno opisan v izročilu D1.4.2. Nato sta predstavljeni dve funkcionalnosti platforme: 1) Oblikovanje; 2) Upravljanje. Prvi nudi uporabniku uporabne informacije za dimenzioniranje popolnoma sklopljenega akvaponičnega sistema, v katerem se vodni tok, ki izstopa iz oddelka RAS (recirkulacijskega ribogojnega sistema), v celoti prenese v hidroponski rastlinjak ali rastlinjak (GH). Druga funkcija je namenjena olajšanju načrtovanja glavnih upravljaljskih dejanj na: i) tedenski osnovi, npr. izračun obroka hrane, ii)

mesečno, npr. zbiranje rastlinskih vrst in iii) dvakrat letno, npr. naročilo krme, ribolov in prodaja/poraba rib, naročilo mladice.

2. PROTOTIP DIGITALNEGA DVOJČKA

V skladu z najnovejšo literaturo (Fore&al, 2024) je digitalni dvojček obrata za intenzivno ribogojstvo opredeljen kot:

digitalna predstavitev sistema, ki zagotavlja informacije o razvoju njegovega stanja s kombiniranjem: i) apriornega znanja o procesih, ki se v njem dogajajo prek matematičnih modelov ii) informacij, postopno pridobljenih z odkrivanjem eksperimentalnih podatkov.«

V BeBlue je bila ta definicija razširjena na akvaponski sistem, ki razvija in testira **osrednji element DT**, tj. **napovedni dinamični model, ki je sposoben simulirati delovanje sistema v realnem času.**

Prototip Digital Twin je podrobno opisan v dokumentu D1.4.2. Tipičen akvaponski sistem, uporabljen za napovedi, ki jih zagotavlja DiGiponic, je prikazan na Slika : Shema 2-1. Vključuje pet bistvenih komponent rastline, ki lahko zagotovi srednje do nizko proizvodnjo:

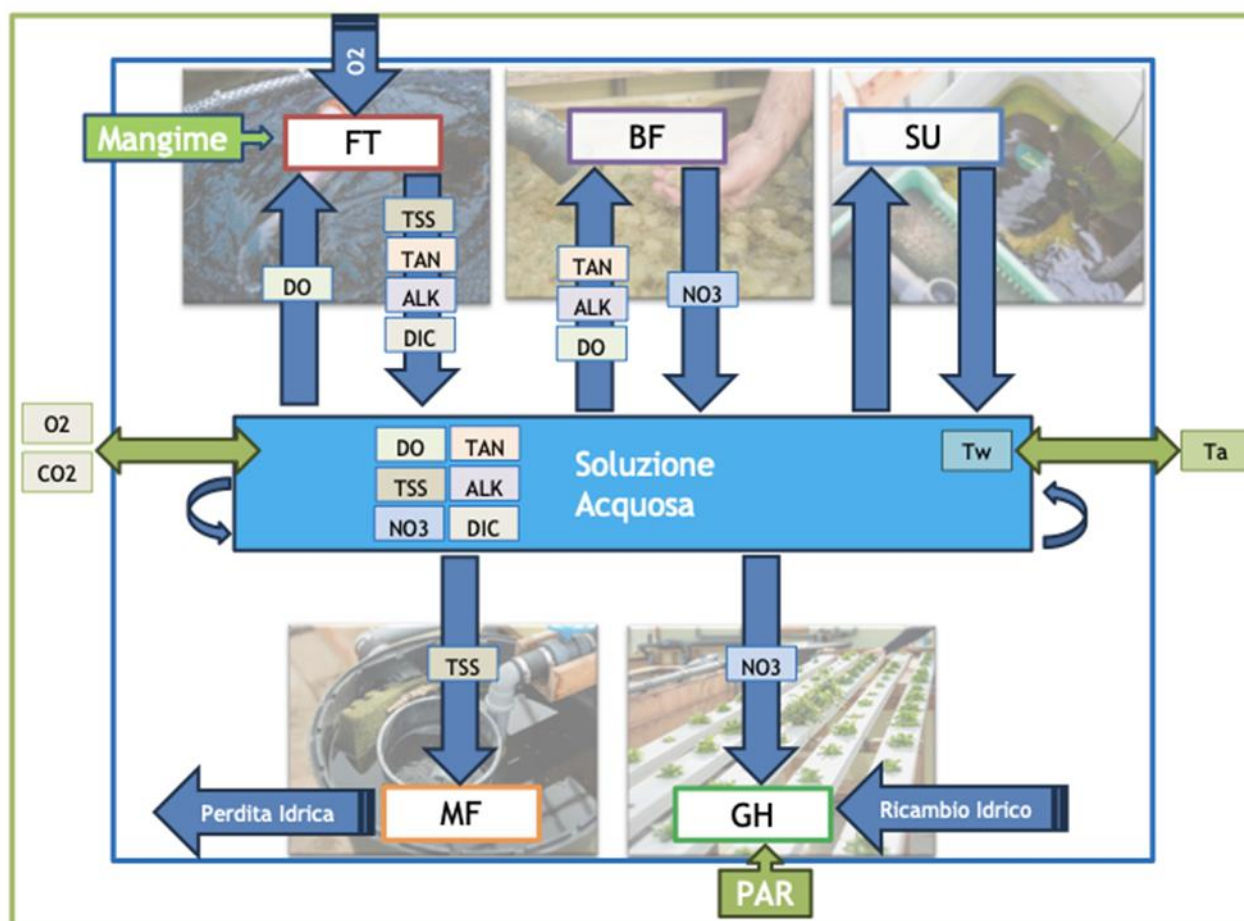
- 1) ribogojnice - FT;
- 2) Biofilter - BF
- 3) Mehanski filter - MF
- 4) Hidroponski rastlinjak - GH;
- 5) Razdelilni rezervoar ali zbiralnik - SU

Slika 1 poudarja kompleksnost sistema, ki vključuje:

- spremenljivke biotskega stanja, povezane z vrstami rib v FT, in rastlinami v GH, soproizvedene
- spremenljivke abiotskega stanja (TAN, NO₃, DO, ALK, DIC, TSS), povezane z raztopino, ki zagotavlja neprekinjen pretok kemičnih spojin, bistvenih za rast gojenih organizmov in odstranjevanje metabolitov, ki jih proizvajajo.

Poleg tega raztopina izmenjuje toploto na podlagi razlike med temperaturama zraka, T_a in vode, T_w , ter plinov, kisika in ogljikovega dioksida, z zrakom v prostoru, ki gosti akvaponični sistem. Prejema hrano od zunaj, sončno sevanje za fotosintezo in električno energijo za delovanje. Nazadnje izmenjuje toploto z okoljem.

Stopnje pretoka vode med komponentami so modulirane ob upoštevanju, prvič, potrebe po zagotavljanju dobrega počutja rib in, drugič, priložnosti za čim večjo asimilacijo raztopljenega anorganskega dušika s strani primarnih proizvajalcev, rastlin ali alg.



Slika : Shema 2-1sklopljenega akvaponičnega sistema .

3. PLATFORMA “ DiGiPonic ”

Platforma DiGiPonic je bila zasnovana tako, da olajša načrtovanje in upravljanje akvaponičnega sistema. Temelji na dinamičnem modelu, ki je sposoben predvideti scenarije proizvodnje glede na podnebne razmere, ki prevladujejo na določenem območju. Model ne upošteva energetskih vidikov, povezanih s kondicioniranjem temperature vode, ob predpostavki, da se ta vzdržuje v območju, ki lahko zagotovi dobro stopnjo biopretvorbe zmanjšanih anorganskih dušikovih spojin in dobro stopnjo rasti rib. Poleg tega se ne upošteva poraba energije za kakršno koli kondicioniranje temperature zraka, ob predpostavki, da se tudi ta vzdržuje v sprejemljivih mejah za rastline.

DiGiPonic vključuje dve glavni funkciji:

- 1) Oblikovanje;
- 2) Upravljanje

3.1 Oblikovanje

Glavni namen prve funkcije je zagotoviti koristne smernice za pravilno dimenzioniranje popolnoma sklopljenega akvaponičnega sistema. V tem primeru se vodni tok, ki prihaja iz oddelka RAS, kjer se gojijo ribe, dejansko v celoti prenese v hidroponski rastlinjak ali Green House (GH), kjer gojijo zelenjavo. Za čim večjo uporabo dušika v krmi in s tem NUE – Nitrogen – Utilization index Za učinkovitost in zmanjšanje izmenjave vode je potrebno uravnorežiti pretok dušika, ki izhaja iz ribjih izločkov, in pretok dušika, ki je povezan z asimilacijo zelenjave. Dinamični model nakazuje razmerje med obdelovalno površino in ribjo biomaso z vrednotenjem letnih scenarijev proizvodnje ribje in rastlinske biomase ter koncentracije TAN in nitrata v raztopini.

3.1.1 Vhodni podatki

Informacije in podatki, ki jih uporabnik potrebuje za vodenje pri dimenzioniranju akvaponičnega sistema, so navedeni v tabeli 1.

Tabela 1: Vhodni podatki, ki jih lahko vnese uporabnik.

Spremenljivka	merska enota
Lokacija obrata: Lat -Long	Stopnje – prva – druga
Izbira izdelkov;	
Prostornina rezervoarjev	m ³
Povprečna začetna teža rib	g
Začetna gostota rib	osebkov/m ³
Gostota gojenja	rastlin/m ²
Najnižja, povprečna in najvišja letna temperatura vode	°C
Najnižja, povprečna in najvišja temperatura zraka	°C
Časovna serija dnevni vrednosti PAR ali intenzivnosti sončnega obsevanja pri tleh.	W/m ²

Časovna vrsta fotosintetsko aktivne intenzivnosti sončnega sevanja (PAR) bo ocenjena iz geografskih koordinat in intenzivnosti sončnega obsevanja pri tleh, v kolikor je uporabnik ne more zagotoviti.

3.2 Oblikovalska usmerjenost

Informacije, ki so uporabniku posredovane v numerični in/ali grafični obliki, so navedene v tab. 2. S primerjavo odzivov modela z vhodnimi podatki lahko uporabnik spremeni povprečno težo in gostoto rib, da dobi obdelovalno površino in skupno proizvodnjo biomase, ki ustreza njegovim potrebam.

Tabela 2: Odzivi modela, ki so uporabni za usmerjanje velikosti akvaponičnega sistema.

Spremenljivka	merska enota
Obdelovalna površina	m ²
prinesi voda (iz optimalnega razmerja pretok/obdelana površina)	m ³ /h
Letna proizvodnja rib	kg/leto
Letna rastlinska proizvodnja	kg/leto
Krivulja rasti povprečne teže rib in ribje biomase: letni scenarij.	g
Krivulja rasti povprečne teže rib in rastlinske biomase: letni scenarij.	g
Časovna vrsta dnevni vrednosti TAN in koncentracij nitratov v raztopini: letni scenarij	mgN /L

3.3 Upravljanje

Namen te funkcije je olajšati upravljanje akvaponičnega sistema glede na tri obzorja napovedi: i) tedensko; ii) mesečno; iii) Polletno. Izbira obzorij je povezana s konkretno potrebo po načrtovanju kratkoročnih upravljaljskih akcij, npr. tedenska ocena krmnega obroka za ribe ter drugačna stopnja rasti rib v primerjavi z zelenjavo, kar zahteva drugačen časovni raspored naročil in operacij za nabiranje/ribolov/prodajo izdelkov.

3.3.1 Vhodni podatki

Informacije in podatki, ki jih uporabnik potrebuje za načrtovanje upravljanja glede na tri napovedne horizonte, so navedeni v tabeli 3: označeni so s **t7=7**, **t30=30**, **t180=180** glede na njihovo trajanje v dnevih. Tabela vključuje nekaj korektivnih ukrepov upravljanja, potrebnih za vzdrževanje vodne raztopine v pogojih, ki zagotavljajo optimalno ali skoraj optimalno dobro počutje in rast gojenih/vzgojenih organizmov. Na začetku se domneva, da ne bo nobenih: aktivirati jih je mogoče na podlagi rezultatov, da se preveri njihov učinek.

Tabela 3: Podatki, potrebni za oceno razvoja stanja akvaponičnega sistema za en teden, en mesec in šest mesecev naprej.

Spremenljivka	merska enota
Lokacija obrata: Lat -Long	Stopnje – prva – druga
Izdelki (Orada + kozarček ; Postrv + solata);	
Struktura sistema	
Prostornina rezervoarjev za gojenje rib	m ³
Prostornina, povezana z biofiltrom	m ³
Glasnost, povezana z mehanskim filtrom	m ³
Količina vode v hidroponskem rastlinjaku	m ³
Prostornina zbiralnika ali zbiralnika	m ³
Pretok iz rezervoarjev za ribe v biofilter	m ³ /h
Pretok iz rezervoarjev za ribe iz biofiltra v mehanski filter	m ³ /h
Pretok iz mehanskega filtra v hidroponski rastlinjak	m ³ /h
Pripeljan iz hidroponičnega rastlinjaka v razdelilni rezervoar	m ³ /h
Biotske spremenljivke	
Povprečna začetna teža rib	g
Začetna gostota rib	osebkov/m ³
Obdelovalna površina	m ²
Povprečna začetna sveža teža rastlin	g
Gostota gojenja	rastlin/m ²
Abiotske spremenljivke	
Začetna koncentracija TAN	mgN /L
Začetna koncentracija NO3	mgN /L
Začetna koncentracija ALK	mmol
Začetna koncentracija DO	mgo ₂ /L
Začetna koncentracija TSS	g/L
Začetna pH vrednost	-
Vnosi/prisiljevanje	
Sestava krme za ribe: % beljakovin, lipidov, ogljikovih hidratov, energije	%, MJ/kg
Napoved povprečne dnevne temperature vode/klimatologija.	°C
Napoved povprečne dnevne temperature zraka/klimatologija.	°C
Napoved/klimatologija dnevni vrednosti PAR.	W/ m ²

3.3.2 Nasveti za upravljanje

Na podlagi vhodnih podatkov so podane napovedi, povzete v tabeli 4, možni ukrepi upravljanja pa so prikazani v tabeli 5. Uporabnik lahko aktivira ukrepe upravljanja in vidi njihove učinke.

Tabela 4: Napovedi, ki jih zagotavlja model v zvezi s tremi časovnimi obzorji. Splošno so označeni s t_i .

Napovedi na t_7, t_{30}, t_{180}	merska enota
Pričakovana poraba krme	g/t_i
Krivulje rasti povprečne teže rib in ribje biomase:	$g/t_i, kg/t_i$
Proizvodnja rib	Kg/t_i
Krivulje rasti povprečne teže rib in rastlinske biomase:	$g/t_i, kg/t_i$
Dnevne vrednosti koncentracije TAN v vsaki komponenti sistema	mgN /L
Dnevne vrednosti koncentracije NO_3 v vsaki komponenti sistema	mgN /L
Dnevne vrednosti pH v vsaki komponenti sistema.	-

Tabela 5: Napovedi, ki jih zagotavlja model v zvezi s tremi časovnimi obzorji. Splošno so označeni s t_i .

Ukrepi upravljanja	
Dnevne vrednosti obroka hrane	g/dan
Izmenjava vode (zamenjava določene količine vode v raztopini z vodo iz zunanjih virov)	m^3/t_i
Dolivanje vode (dodajanje določene količine vode za nadomestitev izgub)	m^3/t_i
Dodatek kemične spojine za uravnavanje pH (pufer)	g/t_i
Zbirka rastlin	$Kg FW/t_i$
Zbirka rib	$Kg LW/t_i$

4. SKLEPI

Razvoj demonstracijskega uporabniškega vmesnika, ki je enostaven za uporabo, nujno vključuje standardizacijo strukture sistema in poenostavitev dinamičnega modela, ki generira odzive, ki jih želi uporabnik. Pri oblikovanju te različice vmesnika in IT platforme, ki obdeluje podatke v zakulisju, smo iskali najboljše ravnovesje med realizmom rezultatov in enostavnostjo uporabe tudi za uporabnike z malo ali nič izkušenj z načrtovanjem in upravljanjem akvaponičnega sistema. Iz tega razloga se predstavljeni rezultati nanašajo predvsem na simulacijo kroženja dušika, ki je najpomembnejše makrohranilo v akvaponskem sistemu.

V prihodnosti bi lahko platformo razširili v več smeri, kot so tiste, ki so povzete spodaj.

- Trenutna različica upošteva dve kombinaciji, raziskani v BeBlue , za kateri je bil preverjen prototip Digital Twin: 1) orada in steklarica, 2) šarenka in solata. Nabor soproizvodov bi lahko širili brez večjih težav, saj je bil prototip zasnovan in razvit modularno. To torej ne zahteva prestrukturiranja kode, ampak le zamenjavo modulov, povezanih z dinamiko biotskih spremenljivk.
- Uvesti druge nadzorne ukrepe za zagotovitev optimalnih pogojev za oksigenacijo in temperaturo ter jih povezati z orodji za izračun ekonomske in okoljske trajnosti, razvitimi v dejavnostih A2.2 in A2.3.
- Uvesti algoritme za asimilacijo podatkov: to bi omogočilo prilagajanje modela potrebam posameznega podjetja, spreminjanje njegove parametrizacije na podlagi podatkov, ki jih zaznajo njihovi sistemi za spremljanje.

Razvito orodje je torej prvi korak k digitalizaciji in optimizaciji akvaponičnega sistema, ki je bistvena predpostavka za povečanje donosnosti in zmanjšanje vpliva na okolje.

Bibliografija

Fore M., Frank K., Norton T., Svendsen E., Alfredsen JO, Dempster T., Eguiraun H., Watson W., Stahl A., Sunde LM, Schellewald C., Skoien KR, Alver MO, Berckmans D., 2018. Precizno ribogojstvo: nov okvir za izboljšanje proizvodnje v ribogojstvu. Biosyst Eng 173: 176–193. <https://doi.org/10.1016/j.biosys.stebila.eng.2017.10.014>

Royer, E. & Pastres, R., 2022. Asimilacija podatkov kot ključni korak k izvajanju učinkovitega upravljanja z raztopljenim kisikom v kopenskem ribogojstvu . Aquaculture International. <https://doi.org/10.1007/s10499-022-01028-w>.