

# Pametni sistem za preporuku tretmana biljnih bolesti u plastenicima

## Član tima

- Vuk Dimitrov
- 

## Motivacija

Bolesti u plastenicima mogu prouzrokovati značajan pad prinosa i kvaliteta. Pravovremena odluka o tretmanu je kritična, a većina proizvođača nema stalnu podršku agronoma.

Ekspertski sistem baziran na pravilima, uz obradu događaja (CEP), omogućava:

- Ranu detekciju rizika
  - Ciljane tretmane
  - Smanjenje upotrebe hemikalija
- 

## Pregled problema

Postojeća rešenja **ne integrišu**:

- senzorske podatke,
- kontekst fenofaze biljke,
- temporalnu analizu uslova.

Nedostaje sistem koji kombinuje **simptome, mikroklimu i karencu preparata sa objašnjivim zaključivanjem**.

---

## Implementirani sistem

Sistem implementira tri ključna mehanizma zaključivanja:

- **Forward-chaining**: operativne odluke i preporuke tretmana (3+ nivoa ulančavanja).
  - **Backward-chaining**: dijagnostički upiti kroz stablo činjenica.
  - **CEP**: rana detekcija rizika iz tokova podataka sa pravim temporalnim operatorima.
-

# Arhitektura

Projekat je organizovan kao multi-module Maven projekat:

- **model:** Domenski model (entiteti, enumi)
  - **kjar:** Drools pravila (forward, backward, CEP)
  - **service:** Spring Boot REST API
  - **frontend:** React aplikacija sa korisničkim interfejsom
- 

## Ulazi u sistem

- **Senzorska očitavanja:** temperatura, vlažnost, CO<sub>2</sub>.
  - **Ručno uneseni simptomi:** vodenaste lezije, bele naslage, siva prevlaka, uvenuće, mozaik šare.
  - **Kontekst:** kultura (paradajz, krastavac), fenofaza (vegetativni rast, cvetanje, plodonošenje).
  - **Operativni događaji:** provetravanje (za CEP sekvencijalne obrasce).
- 

## Izlazi iz sistema

- Lista verovatnih bolesti sa objašnjenjem i verovatnoćom.
  - Preporučeni tretmani (doza, karenca, prioritet).
  - Blokiranje tretmana zbog kontraindikacija (fenofaza, karenca).
  - Alarmni događaji iz CEP-a (kritični uslovi, nedostajući događaji, trendovi).
  - Objašnjenja zaključivanja kroz stablo činjenica (backward chaining).
- 

## Baza znanja

### Implementirane bolesti

- **Plamenjača** (*Phytophthora infestans*)
  - Tip: Gljivična (oomycete)
  - Optimalni uslovi: RH>85%, T: 22-28°C
  - Simptomi: Vodenaste lezije na listovima i plodovima
  - Ekonomski uticaj: Visok (može uništiti celu berbu)
  - Tretman: Bakarni preparat (preventivno i kurativno)

- **Pepelnica** (*Erysiphe cichoracearum*)
  - Tip: Gljivična (pravi parazit)
  - Optimalni uslovi: RH: 60-80%, T: 20-25°C
  - Simptomi: Bele praškaste naslage, žutilo listova
  - Ekonomski uticaj: Umeren (smanjuje fotosintezu)
  - Tretman: Biološki fungicidi (bezbedno u svim fazama)
  
- **Siva trulež** (*Botrytis cinerea*)
  - Tip: Gljivična (nekrotrofni parazit)
  - Optimalni uslovi: RH>90%, T: 15-25°C
  - Simptomi: Siva prevlaka na plodovima i cvetovima
  - Ekonomski uticaj: Visok (trulež plodova)
  - Tretman: Uklanjanje + ventilacija + biološki fungicid
  
- **Fuzarijum** (*Fusarium oxysporum*)
  - Tip: Gljivična (bolest zemljišta)
  - Optimalni uslovi: T>25°C, pH<5.5
  - Simptomi: Uvenuće, posmeđenje žila, žutilo
  - Ekonomski uticaj: Visok (sistemska infekcija)
  - Tretman: Trichoderma, korekcija pH
  
- **Virus mozaika** (Tobacco mosaic virus)
  - Tip: Virusna
  - Prenos: Mehanički, insekti (vektori)
  - Simptomi: Mozaik šare, deformacije listova
  - Ekonomski uticaj: Visok (nema leka)
  - Tretman: Uklanjanje zaraženih biljaka, dezinfekcija

## Implementirani tretmani

- **Bakarni preparat** (CHEMICAL)
  - Aktivna materija: Bakar sulfat
  - Doza: 2-3g/L
  - Karenca: 14 dana
  - Primena: Plamenjača u vegetativnoj fazi
  
- **Biološki fungicid** (BIOLOGICAL)
  - Aktivna materija: *Bacillus subtilis*
  - Doza: 1-2g/L
  - Karenca: 0 dana
  - Primena: Pepelnica u svim fazama, preventiva

- **Trichoderma (BIOLOGICAL)**
  - Aktivna materija: Trichoderma harzianum
  - Doza: 5g/L
  - Karenca: 0 dana
  - Primena: Fuzarijum, bolesti zemljišta
- **Uklanjanje zaraženih biljaka (SANITARY)**
  - Metod: Ručno uklanjanje
  - Karenca: 0 dana
  - Primena: Virus mozaika, siva trulež

## Simptomi

- **Vodenaste lezije (WATERY\_LESIONS)** - karakteristične za plamenjaču
- **Bele naslage (WHITE\_DEPOSITS)** - karakteristične za pepelnicu
- **Žutilo (YELLOWING)** - dodatni simptom pepelnice
- **Siva prevlaka (GRAY\_COATING)** - karakteristična za sivu trulež
- **Uvenuće (WILTING)** - karakteristično za fuzarijum
- **Posmeđenje žila (BROWNING)** - karakteristično za fuzarijum
- **Mozaik šare (MOSAIC)** - karakteristične za virus mozaika

## Fenofaze

- VEGETATIVE (vegetativni rast)
- FLOWERING (cvetanje)
- FRUITING (plodonošenje)

## Kompletan pregled pravila

ID	Naziv	Tip	Opis	Ulančavanje
R01	Kritični uslovi plamenjače	Forward	$RH > 85\% \wedge T \in [22, 28]^{\circ}C \rightarrow +30\%$	Nivo 1
R02	Plamenjača + simptomi	Forward	$Rizik \geq 30\% \wedge \text{vodenaste lezije} \rightarrow +25\%$	Nivo 2
R11	Dodatni rizik vlažnosti	Forward	$RH > 80\% \rightarrow +10\%$	Nivo 3

ID	Naziv	Tip	Opis	Ulančavanje
R03	Preporuka bakarnog	Forward	Plamenjača $\geq$ 70 % $\rightarrow$ bakarni preparat	Nivo 4
R04	Pepelnica detekcija	Forward	Bele naslage $\wedge$ RH $<$ 90% $\rightarrow$ +40%	Nivo 1
R04B	Pepelnica + žutilo	Forward	Pepelnica $\geq$ 40% $\wedge$ žutilo $\rightarrow$ +15%	Nivo 2
R04A	Biološki u vegetativnoj	Forward	Pepelnica $\geq$ 40% $\wedge$ VEGETATIVE $\rightarrow$ biološki	Nivo 3
R05	Biološki u plodonošenju	Forward	Pepelnica $\geq$ 40% $\wedge$ FRUITING $\rightarrow$ samo biološki	Nivo 3
R06	Siva trulež detekcija	Forward	Siva prevlaka $\wedge$ RH $>$ 90% $\rightarrow$ +50%	Nivo 1
R07	Fuzarijum detekcija	Forward	Uvenuće $\wedge$ posmeđenje $\rightarrow$ +45%	Nivo 1
R08	Trichoderma za fuzarijum	Forward	Fuzarijum $\geq$ 45% $\rightarrow$ Trichoderma	Nivo 2
R09	Virus detekcija	Forward	Mozaik $\wedge$ $\neg$ gljivice $\rightarrow$ +60%	Nivo 1
R10	Sanitarne mere za virus	Forward	Virus $\geq$ 60% $\rightarrow$ uklanjanje	Nivo 2
R12	Kritični alarm RH	Forward	RH $>$ 92% $\rightarrow$ CRITICAL alarm	Monitoring
R13	Upozorenje rezistencija	Forward	Isti MOA $>$ 3x $\rightarrow$ upozorenje	Monitoring

ID	Naziv	Tip	Opis	Ulančavanje
R14	Blokiranje karenca	Forward	Karenca>7d $\wedge$ FRUITING $\rightarrow$ blokiraj	Nivo 5
R15	Bayes normalizacija	Forward	Više bolesti $\geq$ 30% $\rightarrow$ normalizuj	Analiza
R16	Kombinovani tretman	Forward	Siva trulež $\geq$ 30% $\wedge$ RH>90% $\rightarrow$ 2 tretmana	Nivo 2
R17	Preventiva na CEP	Forward	CEP HIGH alarm $\rightarrow$ preventivni tretman	Integracija
R18	Blokiranje karenca detalj	Forward	Karenca > berba $\rightarrow$ blokiraj	Provera
R19	Blokiranje hemijski	Forward	CHEMICAL $\wedge$ FRUITING $\rightarrow$ blokiraj	Provera
R20	Info blokirani	Forward	Blokiran $\rightarrow$ dodaj u rezultat	Info
R21	Biološka alternativa	Forward	Hemijski blokiran $\rightarrow$ biološki	Zamena
C1	Bolest verovatna?	Backward	Verovatnoća $\geq$ 50 % $\rightarrow$ DA	Rekurzivno
C2	Tretman dozvoljen?	Backward	$\neg$ kontraindikacija $\rightarrow$ DA	Rekurzivno
C3	Analiza uzroka	Backward	RISK_CAUSE + DISEASE_PROBABLE	Stablo
E1	Sliding window plamenjača	CEP	6h: RH>85% $\wedge$ T $\in$ [22,28]°C	Temporalni
E2	Tumbling window kondenzacija	CEP	24h: RH>90% $\wedge$ $\neg$ ventilacija	Temporalni

ID	Naziv	Tip	Opis	Ulančavanje
E3	Sekvencijalni Botrytis	CEP	Navodnjavanje $\rightarrow RH \rightarrow CO_2$	Temporalni
E4	NOT ventilacija	CEP	$RH > 90\% \wedge \neg \text{ventilacija}$	Temporalni
E5	DURING pepelnica	CEP	4h: $T \in [20, 25]^\circ C \wedge RH \in [60, 80]\%$	Temporalni
E6	BEFORE trend	CEP	Rast RH +20% u 1-3h	Temporalni

## Ključne karakteristike sistema

### 1. Forward Chaining - Kompleksno ulančavanje

#### Demonstracija 3+ nivoa ulančavanja:

- **Nivo 1:** Detekcija uslova sredine (R01, R04, R06, R07, R09)
- **Nivo 2:** Kombinacija sa simptomima (R02, R04B, R08, R10)
- **Nivo 3:** Dodatni faktori rizika (R11, R04A, R05)
- **Nivo 4:** Preporuke tretmana (R03, R16, R17)
- **Nivo 5:** Provera ograničenja (R14, R18, R19)

#### Karakteristike:

- Inkrementalno povećanje verovatnoće bolesti
- Automatska prioritizacija tretmana
- Blokiranje nebezbednih tretmana
- Bayes normalizacija za više bolesti (R15)

### 2. Backward Chaining - Stablo činjenica

#### Rekurzivni upiti:

- **C1:** Proverava verovatnoću bolesti kroz DISEASE\_PROBABLE činjenice
- **C2:** Proverava dozvolu tretmana kroz TREATMENT\_ALLOWED činjenice
- **C3:** Analizira uzroke kroz RISK\_CAUSE + DISEASE\_PROBABLE

#### Karakteristike:

- Hijerarhijska struktura znanja (činjenice grade stablo)
- Rekursivno zaključivanje (činjenice koriste druge činjenice)

- Detaljni dokazi za svaki zaključak
- Fallback pravila za nedovoljne činjenice

### 3. CEP

#### Implementirani operatori:

- **Sliding Window** (E1): `over window:time(6h)` - kontinuirana analiza
- **Tumbling Window** (E2): `over window:time(24h)` - blokovi koji se ne preklapaju
- **Sekvencijalni** (E3): `after[0s,2h]` - događaji u nizu
- **NOT operator** (E4): `not ... after[0s,30m]` - nedostajući događaji
- **DURING** (E5): `over window:time(4h)` - stabilni uslovi tokom perioda
- **BEFORE** (E6): `after[30m,2h]` - trend analiza

#### Karakteristike:

- Rana detekcija rizika pre pojave simptoma
  - Analiza vremenskih obrazaca
  - Pomoćne funkcije za kompleksnu analizu
-



## Klasni dijagram

