# 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, CO₂.
* **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% ∧ T∈[22,28]°C → +30% | Nivo 1 |
| **R02** | Plamenjača + simptomi | Forward | Rizik≥30% ∧ vodenaste lezije → +25% | Nivo 2 |
| **R11** | Dodatni rizik vlažnosti | Forward | RH>80% → +10% | Nivo 3 |
| **R03** | Preporuka bakarnog | Forward | Plamenjača≥70% → bakarni preparat | Nivo 4 |
| **R04** | Pepelnica detekcija | Forward | Bele naslage ∧ RH<90% → +40% | Nivo 1 |
| **R04B** | Pepelnica + žutilo | Forward | Pepelnica≥40% ∧ žutilo → +15% | Nivo 2 |
| **R04A** | Biološki u vegetativnoj | Forward | Pepelnica≥40% ∧ VEGETATIVE → biološki | Nivo 3 |
| **R05** | Biološki u plodonošenju | Forward | Pepelnica≥40% ∧ FRUITING → samo biološki | Nivo 3 |
| **R06** | Siva trulež detekcija | Forward | Siva prevlaka ∧ RH>90% → +50% | Nivo 1 |
| **R07** | Fuzarijum detekcija | Forward | Uvenuće ∧ posmeđenje → +45% | Nivo 1 |
| **R08** | Trichoderma za fuzarijum | Forward | Fuzarijum≥45% → Trichoderma | Nivo 2 |
| **R09** | Virus detekcija | Forward | Mozaik ∧ ¬gljivice → +60% | Nivo 1 |
| **R10** | Sanitarne mere za virus | Forward | Virus≥60% → uklanjanje | Nivo 2 |
| **R12** | Kritični alarm RH | Forward | RH>92% → CRITICAL alarm | Monitoring |
| **R13** | Upozorenje rezistencija | Forward | Isti MOA >3x → upozorenje | Monitoring |
| **R14** | Blokiranje karenca | Forward | Karenca>7d ∧ FRUITING → blokiraj | Nivo 5 |
| **R15** | Bayes normalizacija | Forward | Više bolesti≥30% → normalizuj | Analiza |
| **R16** | Kombinovani tretman | Forward | Siva trulež≥30% ∧ RH>90% → 2 tretmana | Nivo 2 |
| **R17** | Preventiva na CEP | Forward | CEP HIGH alarm → preventivni tretman | Integracija |
| **R18** | Blokiranje karenca detalj | Forward | Karenca > berba → blokiraj | Provera |
| **R19** | Blokiranje hemijski | Forward | CHEMICAL ∧ FRUITING → blokiraj | Provera |
| **R20** | Info blokirani | Forward | Blokiran → dodaj u rezultat | Info |
| **R21** | Biološka alternativa | Forward | Hemijski blokiran → biološki | Zamena |
| **C1** | Bolest verovatna? | Backward | Verovatnoća≥50% → DA | Rekurzivno |
| **C2** | Tretman dozvoljen? | Backward | ¬kontraindikacija → DA | Rekurzivno |
| **C3** | Analiza uzroka | Backward | RISK\_CAUSE + DISEASE\_PROBABLE | Stablo |
| **E1** | Sliding window plamenjača | CEP | 6h: RH>85% ∧ T∈[22,28]°C | Temporalni |
| **E2** | Tumbling window kondenzacija | CEP | 24h: RH>90% ∧ ¬ventilacija | Temporalni |
| **E3** | Sekvencijalni Botrytis | CEP | Navodnjavanje → RH → CO₂ | Temporalni |
| **E4** | NOT ventilacija | CEP | RH>90% ∧ ¬ventilacija | Temporalni |
| **E5** | DURING pepelnica | CEP | 4h: T∈[20,25]°C ∧ RH∈[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)
* Rekurzivno 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

## 