

SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM
ALBERT KÁZMÉR MOSONMAGYARÓVÁRI KAR
NÖVÉNYTUDOMÁNYI TANSZÉK

Konzulens:

DR. Kerekes Gábor
tudományos főmunkatárs
PhD

INTERPOLÁLT METEOROLÓGIAI ADATOK ALAPJÁN TÖRTÉNŐ
NÖVÉNYVÉDELMI ELŐREJELZÉS A CUKORRÉPA CERKOSPÓRÁS
BETEGSÉGÉHEZ

Készítette:

SÜLE BÁLINT PÉTER

növényvédelmi szakmérnök-jelölt

Növényvédelmi szakmérnök szak

Mosonmagyaróvár

2023

SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM
ALBERT KÁZMÉR MOSONMAGYARÓVÁRI KAR
MOSONMAGYARÓVÁR
HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott Süle Bálint Péter (Neptun kód: i7K90U) jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy az

Interpolált meteorológiai adatok alapján történő növényvédelmi előrejelzés a cukorrépa cerkospórárs betegségéhez

című

diplomamunka

(a továbbiakban: dolgozat) **önálló munkám**, a dolgozat készítése során betartottam *a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. tv. szabályait*, valamint az egyetem által előírt, a dolgozat készítésére vonatkozó szabályokat, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében¹.

Kijelentem továbbá, hogy a dolgozat készítése során az önálló munka kitétel tekintetében a konzulenszt illetve a feladatot kiadó oktatót **nem tévesztettem meg**.

Jelen dolgozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy a dolgozatot **nem magam készítettem**, vagy a dolgozattal kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Széchenyi István Egyetem **megtagadja a dolgozat befogadását és ellenem fegyelmi eljárást indíthat**.

A dolgozat befogadásának megtagadása és a fegyelmi eljárás indítása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jog, szabálysértési jog, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Mosonmagyaróvár, 2023

hallgató

¹ **1999. évi LXXVI. tv. 34. § (1)** A mű részletét – az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven – a forrás, valamint az ott megjelölt szerző megnevezésével bárki idézheti.

36. § (1) Nyilvánosan tartott előadások és más hasonló művek részletei , valamint politikai beszédek tájékoztatás céljára – a cél által indokolt terjedelemben – szabadon felhasználhatók. Ilyen felhasználás esetén a forrást – a szerző nevével együtt – fel kell tüntetni, hacsak ez lehetetlennek nem bizonyul.

4. melléklet

NYILATKOZAT

A(cég) kérésének megfelelően (Neptun kód: i7K90U) Interpolált meteorológiai adatok alapján történő növényvédelmi előrejelzés a cukorrépa cercospórási betegségéhez

c. szak diplomamunkája:

- nyilvánosságra nem hozható
- könyvtárban nem tárolható
- csak a konzulensek, opponensek, valamint a Záróvizsga Bizottság kaphatja meg,
- nem sokszorosítható.

A Széchenyi István Egyetem vállalja, hogy fent leírtakat együttesen elfogadja és betartja. hallgató felel azért, hogy a jelen nyilatkozat az elkészült diplomamunka nyitó oldalaként bekötésre kerüljön.

Mosonmagyaróvár, 2023

Dr. Szalka Éva
dékán

Tartalomjegyzék

1.	BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS	5
2.	IRODALMI ÁTTEKINTÉS	6
3.	ANYAG ÉS MÓDSZER	19
3.1.	Általános információk.....	19
3.2.	Növényvédelmi betegségmodell	22
3.3.	Növényvédelmi kezelés a területen.....	24
3.4.	Bejárások és adatgyűjtés a területen	25
3.5.	Évjárat	26
3.6.	Termelői szaktudás, felszereltség.....	26
4.	VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÉS AZOK ÉRTÉKELÉSE.....	28
4.1.	A különböző modellek használata a vizsgált időszakban	28
4.1.1.	DIV modell	30
4.1.2.	PESSL RISK modell	30
4.2.	A Virtuális Meteorológiai Állomás adatainak összehasonlítása egy valódi állomással	32
5.	KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK	35
6.	FELHASZNÁLT IRODALMAK JEGYZÉKE	37

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

Eddigi karrierem során szinte az összes cég, ahol dolgoztam mindig a következő lépésen dolgozott. Az örök kérdés az volt: „Hogyan csináljuk jobban?” Ez a kérdés, azt hiszem állandó marad a termelésben. A diplomamunkám célja jobban elmerülni abban, hogy a jelenlegi eszközökkel, hogyan lehet pontosabb, hatékonyabb, és megbízhatóbb ajánlásokat adni, mint szakirányító a jelenkor eszközeit felhasználva.

Mint minden kutatás alapja a megelőző tanulmányok részletes áttekintése, összefésülése a jelenkor tudásával. Ebből próbáltam meg egy csipetnyi munkát elvégezni a szakirodalmi áttekintésben, ahol igyekeztem jelentős mennyiségű friss hazai és külföldi irodalmat feldolgozni.

A növényvédelmi modellek, amiket később tárgyalok, jobban elterjedtek hazámon kívül, mint itthon. Akárcsak az öntözés-menedzsment, amivel szintén alkalmam nyílt foglalkozni. A hasonlatosság a kettő közt az, hogy ezen eszközök alkalmazásával jelentős csökkentést érhet el a termelő az inputok és a személyi jellegű költség megtakarítása lévén. Jelenleg az öntözés-menedzsment kezd felfutóban lenni, szerény véleményem szerint később, de végül is megérkeznek a növényvédelmielőrejelzés modellek is.

Célkitűzésem, hogy szerrény kereteim között vizsgáljam a lehetőségét annak, hogy egy virtuális meteorológiai állomás mennyire lehet alkalmas növényvédelmi döntéstámogatási rendszerek inputadatainak ellátására.

Ehhez egy klasszikus kultúrát és annak klasszikus kórokozóját választottam, amelynek kutatása már régóta zajlik. A növénypatológiai kutatások jól modellezhetővé tették a cukorrépa, és kórokozója a *Cercospora beticola* fejlődésének modellezését.

Célom megérteni, és szimulálni egy korszerű technológiával történő előrejelzést, amely segít a termelőknek világszerte, hogy kevesebb inputtal is jó eredményeket érjenek el.

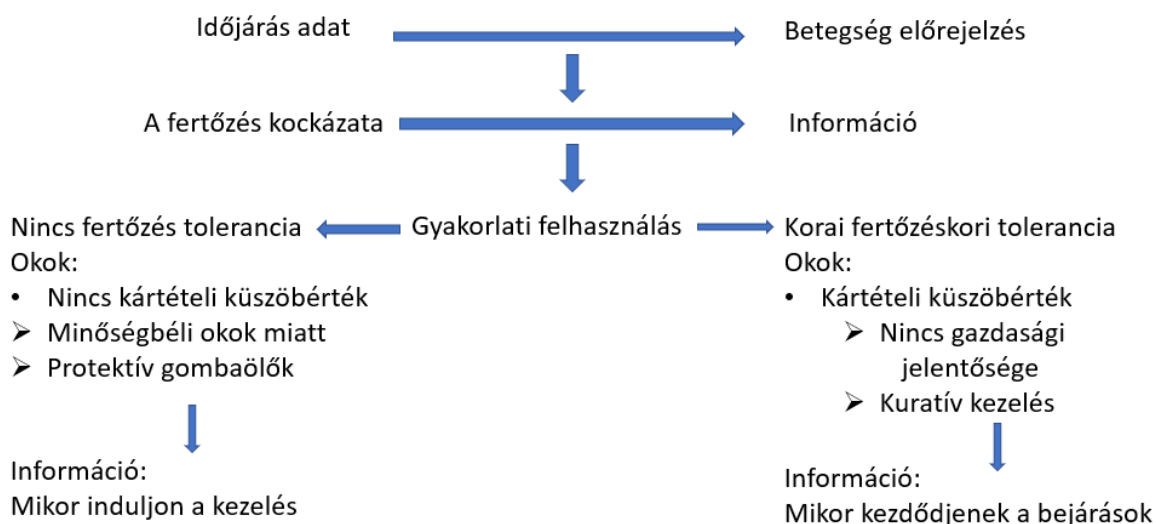
További célkitűzésem a virtuális állomás adatait, és előrejelzését összehasonlítani egy valós állomás adataival.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

”A termőhely sajátosságainak mélyreható ismerete egyik elengedhetetlenül fontos záloga a sikeres mezőgazdasági tevékenységnek, főként a kertészeti és növénytermesztési termelésnek. A volumencentrikus, a hozamokat csak önmagában vizsgáló, favorizáló, magas input ráfordításokkal (növényvédő szer, műtrágya, gépi munka) dolgozó mezőgazdasági termelés nem tudja ezt megvalósítani. A környezeti- és energiaválság, az agrárrolló kinyílása, a romló hatékonyság, éleződő versenyfeltételek, szigorodó növényvédelmi előírások új megoldások bevezetésére kényszeríti a mezőgazdasági termelőket.” [URL ¹].

Az inputok csökkentéséhez, és az időigényes adatgyűjtés csökkentéséhez egyaránt megoldást jelent a mezőgazdasági döntéstámogatási rendszerek alkalmazása. A feldolgozott adatok segítik a gyors döntéshozatalt, ezáltal időben végezhetjük el a kívánt munkafolyamatot, végső soron ezzel is csökkentve a vegyszerfelhasználást, és a környezetterhelést (*Foughali et al.*, 2018). A fungicidek hatékonysága, a pontos időzítéstől- valamint attól függ, hogy az adott szer hatékony-e a betegség helyi variánsával szemben (*Jacobsen és Zidack*, 2002). A modern növényvédelmi előrejelzési módok fontos szerepet játszanak az inputok csökkentésében és a megfelelő kijuttatás idejének megállapításában. A különböző előállítási területeken azonban sokszor különböző értékeket mértek – akár ugyanabban az évben – kis távolságokon belül is – jelentős időjárási eltérést tapasztaltak, ami arra hívja fel a figyelmet, hogy a helyi mérés a pontos növényvédelmi előrejelzés érdekében nagyon fontos. A számítógépes előrejelző programok is jól jellemzik az évjáratok időjárásában jelentkező különbségeket (*Szőke*, 2014) [URL ²]. Egy előrejelző modell a leegyszerűsítése annak az összefüggésnek, ami a patogén a host és a környezet között történik. Ezáltal meghatározva, hogy mikor, hol és hogyan történik a fertőzés. (*Rossi és Giosuè*, 2010) A növényvédelmi előrejelzésben a leggyakrabban alkalmazott fertőzési ciklus komponens az infekció időpontjának a meghatározása, ugyanis enélkül nem indul be a fertőzési ciklus (*Madden és Ellis*, 1988).

Wolf szerint az előrejelző modellek akkor használhatóak teljes értékkel, ha ezek az integrált növényvédelem részét képezik (1. ábra). Ezáltal segítik meghatározni a nagy eséllyel fertőzésmentes időszakokat, ezáltal csökkentve a felesleges bejárásokat. Valamint segítik meghatározni a bejárások kezdetét a kártételi küszöbök megfigyelésére, vagy a kezelések időpontjának meghatározását olyan növények esetében, ahol nincs tolerancia a fertőzéssel szemben (*Wolf és Verreet*, 2004).



1. ábra. A betegségelőrejelzés gyakorlati felhasználása a kártételi küszöbérték függvényében.

Forrás: (Wolf and Verreet, 2004)

Schmittgen megállapítása szerint a hagyományos terepbejárás és a fertőzöttség mértékének meghatározása szakképzett munkaerőt igényel és időigényes is egyben (Schmittgen, 2014).

A jelenlegi gyakorlat szerint a peszticideket megelőző jelleggel, vagy akár tünetek megjelenése nélkül is kijuttatják naptár módszer alapján egy feltételezett fertőzési lehetőségre alapozva. Ez a módszer limitált abban a tekintetben, hogy nincs figyelemmel kísérve a betegség megjelenése és a kártételi küszöbértékek átlépése. Teoretikusan a kezeléseknél a fertőzések megjelenésekor kellene megtörténni a növényvédő szerek megfelelő dózisainak betartása mellett. Az ettől eltérő dózisok könnyen környezetterhelést vagy a humán szervezetre gyakorlatot szükségtelen negatív hatást okozhatnak. Továbbá szerepük lehet a rezisztencia megjelenésében, és növelik a termelés önköltségét (Newlands, 2018). Hatékonyak volt tekinthető a naptármódszer során olyan szerrotáció alkalmazása, amely a kezelés szükségességétől kezdve 14 napos intervallumokban zajlik (Deising et al., 2019).

A cercosporás levélrágja mint a jelenleg vizsgált betegség esetében a kutatók az alábbi megállapításokat tették. Jones szerint akkor következik be egyértelműen természsökkenés, ha az aratás idejére 3%-ot meghaladja a fertőzött levelek aránya a cercosporás betegség esetében, cukorrépában (Borich P. et al., 1914). Ez a természsökkenés pedig 10% és 50% között alakulhat a fertőzés mértékétől függően (Ozguven and Adem, 2019). A védekezés részeként a

növényvédelmi előrejelzőmodellek alkalmazása az EU országaiban több helyen is sikeresen zajlott és zajlik jelenleg is. Egy németországi kutatás során, amely 10 évet ölelt fel különböző tartományokat érintve, arra az eredményre jutottak, hogy a cercospóra megjelenés nagy variabilitást mutatott az álmányokban az évek során. Tehát elengedhetetlen volt számukra a körülmények értelmezése, amelyek meghatározzák a megjelenés idejét, amihez szintén a modellezést találták célravezetőnek (*Verreet és Wolf, 2004*). Egy olasz kutatásban 5 éves kísérletben a naptármodellhez képest sikerült leszorítani a kezeléseket számát 1,6 alkalommal termésnövekedés, vagy minőségi problémák nélkül a naptármódszerhez viszonyítva (*Cioni et al., 2014*).

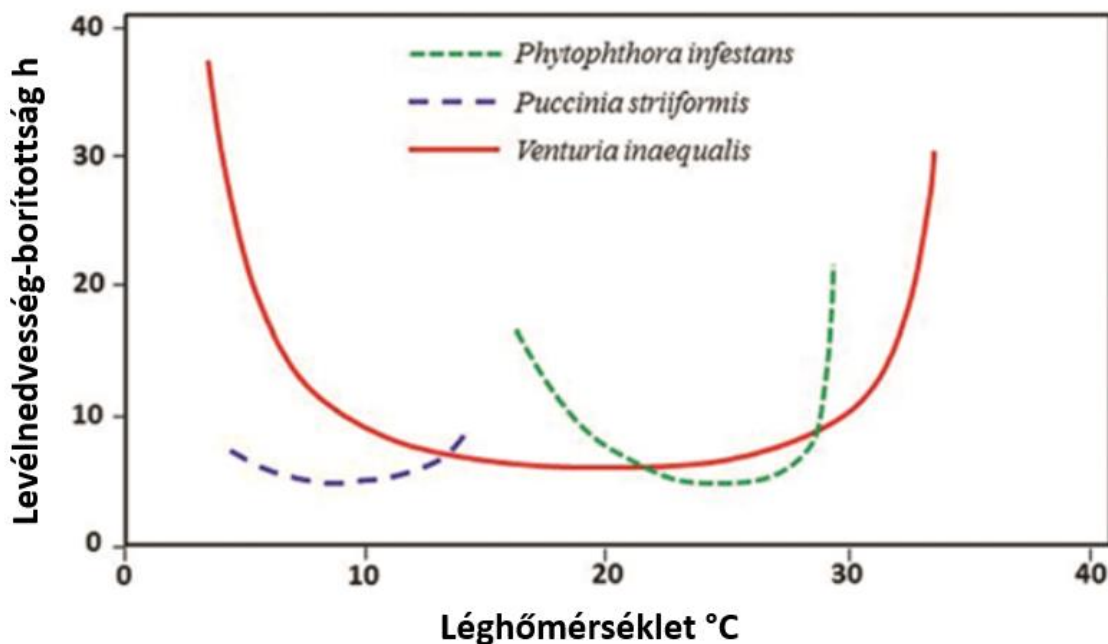
Az előrejelző modellek elengedhetetlen része a megbízható adat, amelyhez klasszikus módon jórészt valódi meteorológiai állomásokat használtak. Zandelin szerint a professzionális meteorológiai állomások megbízható adatokat szolgáltatnak, ha megfelelően vannak telepítve, és karbantartva. Viszont hátrányuk, hogy költségesebbek, és időszakonkénti hibaellenőrzéseket igényelnek. A virtuális meteorológiai adat egy folyamatosan növekvő, népszerű megoldássá válik, ahol az adatok az állomások adatainak és a műholdas adatoknak a kombinációjából keletkeznek (*Zandelin, 2021*). Egy jól felszerelt meteorológiai állomás homogén domborzat mellett 10 km átmérőjű kört reprezentálhat (*Eichhorn J. et al., 2009*), kivéve a helyspecifikus szenzorokat, mint pl a leveledvesség-szenzor, vagy a páratartalom-szenzort amelyek pontossága a helyszínen a legjobb, mivel sok esetben nehezebb interpolálni ezeket az adatokat. Az előrejelzéshez használt inputadatok a következőkből tevődnek össze:

A léghőmérséklet, amely alapvetően minden a mezőgazdasági területen élő szervezetre hatással van. „Minden kártevő és kórokozó számára megvan egy, a számára optimális hőmérsékleti tartomány, illetve meg vannak azok a maximum- és minimumértékek, amelyek alatt és felett élettevékenységük és ezzel együtt kártételük lelassul vagy megszűnik. A napi hőmérsékletnek és annak szélsőértékeinek nyomon követésére alkalmas a maximum-minimum hőmérőpár, amelyet számos kórokozó – szőlő peronoszpóra, alma varasodás, tűzelhalás – előrejelzésénél hatékonyan alkalmazhatunk.”

Egy másik fontos időjárás-faktor a csapadék. „A csapadék mennyisége és intenzitása hatással van több kártevő és kórokozó fejlődésmenetére, élettevékenységére és meghatározza a fertőzési körülményeket. A csapadék következtében a növények levelei – a hőmérséklet függvényében – bizonyos ideig nedvesek maradnak.”

”A levélfelület nedvességének időtartama több növénybetegség (burgonyavész, szőlő peronoszpóra stb.) esetén alapvetően meghatározza a fertőzés kialakulását és erősségét.” [URL³].

A mikrometeorológiai tényezők a legfontosabbak a növénypatológiai fertőzéseket illetően. Mint minden biológiai folyamatnál a hőmérsékletnek ebben is nagy szerepe van. A hőmérséklet regisztrálása és modellezése szélesen elterjedt volt korábban is a növénypatológia tudományban. A csapadék és a légmozgás is komoly szerepet játszik a patogének elterjedésében. A Nap általi besugárzás mérése szintén befolyásolhatja a terjedést. A páratartalom és a levélnedvesség a gombák esetén befolyásolja az inokulomok képzését (2. ábra) és helyváltoztatását, valamint a különböző szennyező és fertőzőanyagok megtapadását is befolyásolja a levélnedvesség (Huber and Gillespie, 1992).



2. ábra. Levélnedvesség-borítottság igények különböző kórokozók esetében.

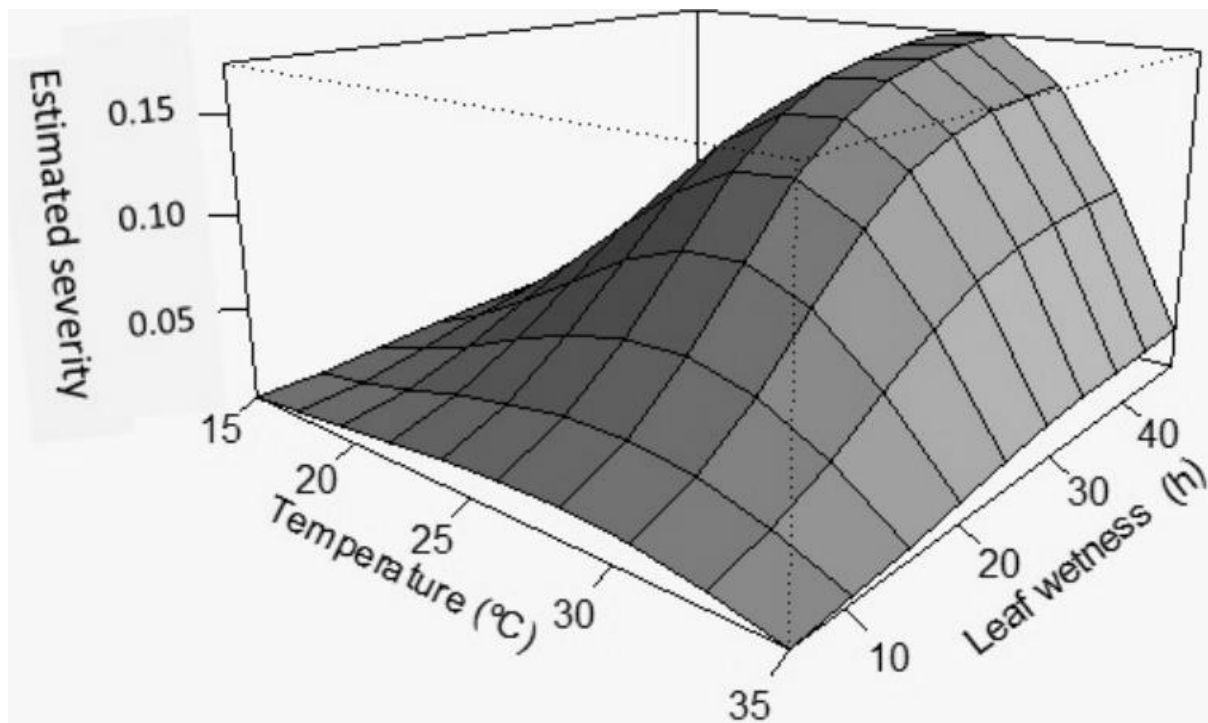
Forrás: (Rowlandson et al., 2015)

A hazai növények közül a cukorrépa betegségeinek egy része jól modellezhető, ezek közül is a cukorrépa legfontosabb betegsége a cercospóras levélrágya amivel érdemes foglalkozni. Az ellene való védekezés egyre nehezebb. Mivel a fungicidrezisztencia egyre erősebb, valamint megváltoztak a környezeti feltételek is, ezek kedvezően hatottak a cercospóras levélrágya

fejlődésére. Annak ellenére, hogy a vegyszeres védekezés egyértelműen a leghatékonyabb és legbiztosabb módszer jelenleg is a betegség elleni védekezésre. Azonban foglalkoznunk kell az integrált védekezés egyéb lehetőségeivel is (Kimmel and Potyondi, 2017). Sajnos nehéz olyan cukorrépa hibrideket előállítani, amelyek egyszerre rendelkeznek magas terméspotenciállal és cercospóra elleni rezisztanciával. Számos esetben bebizonyosodott a kórokozóról, hogy képes rezisztenciát kifejleszteni a különböző kórokozókkal szemben. Ezért a kémiai védekezés és a szerrotáció továbbra is a természetstechnológia része marad (Secor et al., 2010). A cercospórás levélfoltosság policiklikus gombabetegség. A betegség kifejlődése egy tipikus progresszív modellt ír le. Ha a körülmények megfelelőek a ciklusok gyorsan lezajlanak és erős járványt okoznak (Rossi et al., 1994). A tünetek a növényen világosbarna vagy cser foltok sokszor piros vagy lila szegéllyel, amely szürkévé alakul a sporuláció után. A foltok nekrotikus léziókká olvadhatnak össze, amelyek elboríthatják a teljes levélfelületet (Vaghefi et al., 2016). A gomba megjelenési alakjai: konídium, konídiospórák. A konídiumok túszerűek színtelenek és szeptáltak. A konídiumok alakja nagyban eltérhet a környezet függvényében. A genetikai sokszínűség nagy mértékben jelen van a faj állományában, habár ivaros alakja nem ismert. Soktápnövényes gomba ezek közé tartozik a már említett cukorrépa vagy ugyanígy megjelenhet az *Amaranthus* fajokon, spenóton, vad béta fajokon. A kórokozó főleg a növényi maradványokon telel át, a szárazságnak ellenálló pszeudosztróma formájában. Valamint túlélhet konídiummal is a -magvakon és a növényi maradványokon. Amikor a nedves körülmények megteremtődnek, új konídiumok jönnek létre és csapadékcseppek által, valamint széllel terjednek szét az állományban. A hőmérsékleti optimum a 25 és 35 °C közötti tartomány olyan éjszakai hőmérséklettel, amely meghaladja a 16 °C-ot, a relatív páratartalom pedig 90-95% között mozog. A fertőzés nagymértékben csökken, vagy megszűnik 15 °C alatt, vagy olyan periódusokban amikor a levélnedvesség-borítottság nem éri el a 11 órát (Harveson, 2007). A konídiumok megjelenése nem minden esetben jelenti a fertőzés elindulását is egyben. Egy kanadai kutatás során a konídiumok már kora májusban észlelhetőek voltak a levegőben, bár a szimptomák csak 75-91 nappal később jelentek meg. Ebből következően, a jelenlét maga nem volt elégséges tényező a kialakulás szempontjából (Tedford et al., 2018). Hasonló légkoncentrációra irányuló kutatás során szignifikáns, exponenciális összefüggés volt kimutatható a napi spórakoncentráció/m³, valamint a magasabb napi középhőmérséklet és a 87% feletti relatív páratartalom esetében (Khan et al., 2009).

Ezeket a jól modellezhető folyamatokat már évtizedek óta sikeresen használják informatikusok és agrárszakemberek, hogy azokból előrejelző szoftvert fejlesszenek. Az 1986-os előrejelző

rendszer az alábbi inputokat használta fel: 95% feletti relatív nedvesség (órákban kifejezve) a minimum hőmérsékletet figyelembe véve. Ezekből egy napi indexet számoltak -Severity index- (3. ábra) amely reprezentálja a betegség megjelenésének valószínűségét. 48 óra adati elégségesek, hogy azokból döntéstámogatási javaslat szülessen a kezelésekhöz. Az alkotók megállapítása szerint a rendszer segíti, de nem helyettesíti a döntéshozatalt. Nem dolgozza fel a védekezési döntések hatásait a későbbi betegségekre vonatkozóan (Knudsen, 1987). A kutatások egyre szofisztikáltabbak, számos összehasonlító kísérletben a lényeges elemeket megtudták határozni. Egy belga kutatócsoport arra jutott 14 modell összehasonlítása során, hogy a csapadékadatoknak kiemelt szerepe van a cercosporás fertőzésben. Azokban a modellekben, amelyekben a csapadék kisebb szerepet kapott, az összehasonlító kísérletben gyenge teljesítmény mutatkozott. Az optimális körülményt így írták le a csapadék intenzitás $R \geq 0.1$ mm/h a megelőző 4 órában. Ehhez hozzájön az optimális relatív páratartalom és nappali és esti optimum hőmérséklet. Ezek a tényezők járulnak hozzá a fertőzés megjelenéséhez legnagyobb mértékben (El Jarroudi et al., 2021). A fenti körülményeket követően a konídiumok csíratömlőt fejlesztenek és a fertőzés megtörténik. 5–11 nap alatt kialakulnak a tünetek (Keszthelyi et al., 2022).



3. ábra. Matematikai modell által leírt cercosporás fertőzés mértéke a hőmérséklet (temperature) és a levélnedvesség (leaf wetness) függvényében.

Forrás: (Marcuzzo et al., 2016)

A modellek közül a diplomamunka során kiemelésre kerül a DIV model melyet az anyag és módszerben felhasználok. Daily Infection Values, vagyis Napi Fertőzési Értékek, továbbiakban DIV. A DIV a 85% feletti relatív páratartalom 24 órán belüli összesített óráiból (estétől - estig) és az átlaghőmérsékletből tevődik össze az érintett órákra vonatkozóan. Az estétől estéig terjedő periódus tegnap estétől a mai nap estig tart és a mai nap dátumával jelölik. A DIV értékek 0-7-ig tartó skálán terjednek. A 0 érték kedvezőtlen környezet a fertőzéshez, a 7-es érték pedig a legkedvezőbb. Általánosan elmondható, hogy a DIV úgy növekszik ahogy a relatív páratartalom eléri a 85%-ot és a hőmérséklet növekedésével tovább nő az érték [URL ⁴].

Továbbá a kutatás során releváns lesz a CERCOPRI (Cercospora Primary Infections) modell, melynek hangsúlya főleg a kumulált hőmérsékletekre fektetődik. A két fő eleme szintén a léghőmérséklet és a relatív páratartalom. Ez a modell jelenleg is használatban van Olaszországban, Ausztriában és Németországban (Meriggi et al., 2003). A modellek felhívják a termelők figyelmét, hogy mikor kell fizikai jelenléttel ellenőrizni a megjelenést a területen. A betegség esetében az a fertőzési küszöb, ami komolyabb gazdasági kárt jelent a gyakorlatban, 5%-os jelenléttel követően következhet be. A permetezések időzítését ehhez az időponthoz igazítják a termelők Németországban (Vereijssen, 2004). A német CERCBET3 előrejelzőprogram esetében az előrejelzés arra szolgál, hogy az első kezelés idejét szabja meg táblaszinten 7 nappal a kezelés szükségessége előtt. A modell fejlesztése során a következő lépésben az öntözési események figyelmebevételét és a fajta fogékonyságát is tervezik felvenni a model algoritmusába (Jörg et al., 2003). Az olasz CLS.Beta modell két nap DIV összegét elemezve kumulált értékeket vagyis cDIV (4. ábra) értékeket számol (Cioni et al., 2013) .



4. ábra. Összetett előrejelzés 2 napos cDIV értékek alapján.

Forrás: (Cioni et al., 2013)

Hasonló feltételek mellett a 2 napos cDIV értéket követően egy holland kísérletben, amint a cDIV érték elérte a 7-es értéket, a kezeléseket igyekeztek 5 napon belül megejteni és 3 hetet tekintettek védett periódusnak, amikor nem vették figyelembe a riasztásokat (Vereijssen et al., 2007).

Összességében elmondható, hogy a DIV alapú előrejelzési rendszerek elterjedtek, és segítik a gazdálkodók és szaktanácsadók munkáját abban, hogy megfelelően időzítsék e növényvédelmi kezeléseket. A legtöbb módszer egyszerűen értelmezhető (5. ábra) és logikusan felépített korszerű felületeken érhetőek el. Ezáltal segítve a döntéshozatalt.

Nedvességborítottság h/nap relatív páratartalom > 85%	Hőmérséklet			
	16 °C	20 °C	24 °C	28 °C
5 h	DIV=0	DIV=1	DIV=1	DIV=3
10 h	DIV=0	DIV=2	DIV=3	DIV=4
15 h	DIV=0	DIV=4	DIV=4	DIV=7
20 h	DIV=0	DIV=5	DIV=6	DIV=7

5. ábra. DIV értékek, egyszerűsített mátrix.

forrás: (Bowen, 2021)

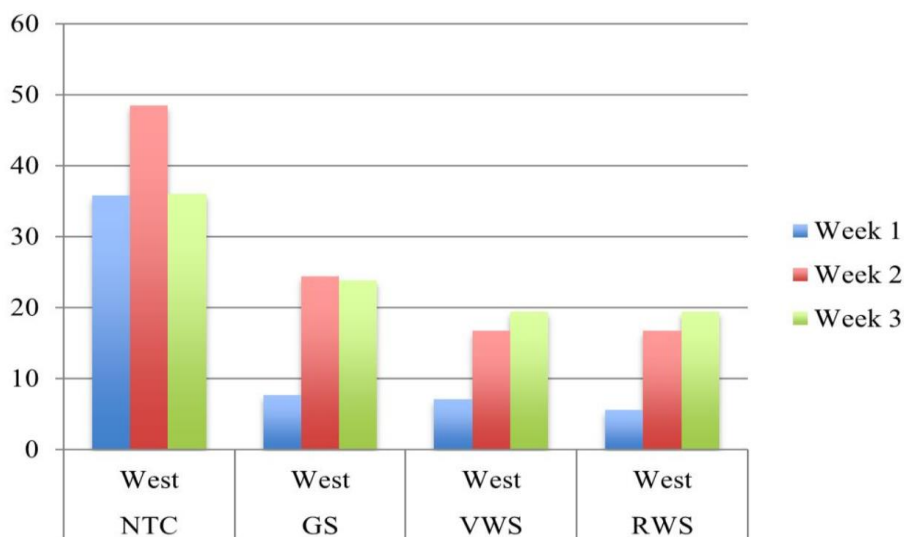
A tegerentúlon is jelentős kutatás zajlott a cukorrépa előrejelzését illetően. Az USA michigani régiójában alkalmazott BEETcast előrejelző rendszer BEETcast™ segítségével a termelők 35-55%-al tudták csökkenteni a kezeléseikben felhasznált inputokat a naptár módszerhez képest (Tedford et al., 2019). Teljeskörűen validált modellek léteznek már, melyet a tudomány már régóta előrejelzésre használ a nagy hozzáadottértékű növények esetében. A közeli automata meteorológiai állomások hiánya gyakran probléma. Ez egy komoly akadály a növényvédelmi előrejelzéshez készült modellek adaptációjának (Coop et al., 2009).

Ezeknek a modelleknek az adat inputjait, már nem csak fizikailag létező automata meteorológiai állomásokkal szerezhetik meg a termelők, hanem alternatívaként a virtuális meteorológiai állomás VWS (Virtual Weather Station) is elláthatja ezt a szerepet.

“A VWS algoritmusok fúziója azzal a céllal alkották, hogy meteorológiai adatot töltsön le, dolgozzon fel és használja fel azt a kívánt cél eléréséhez. A célja, hogy megbecsülje a közeli adott hely aktuális értékeit meteorológiai állomás használata nélkül. Ahhoz, hogy a VWS kifejlesztésre kerülhessen, a különböző interpolációs programok pontossága validálva lett alábbi szenzorokra: csapadék, hőmérséklet, relatív páratartalom, szélesség, szélirány, globálsugárzás. A referencia evapotranszpiráció pedig mesterséges neurális hálózatok segítségével lett megalkotva (ANNs).” (Franco et al., 2020) Három fő faktor határozza meg a virtuális meteorológiai állomás pontosságát a valós meteorológiai állomáshoz képest.

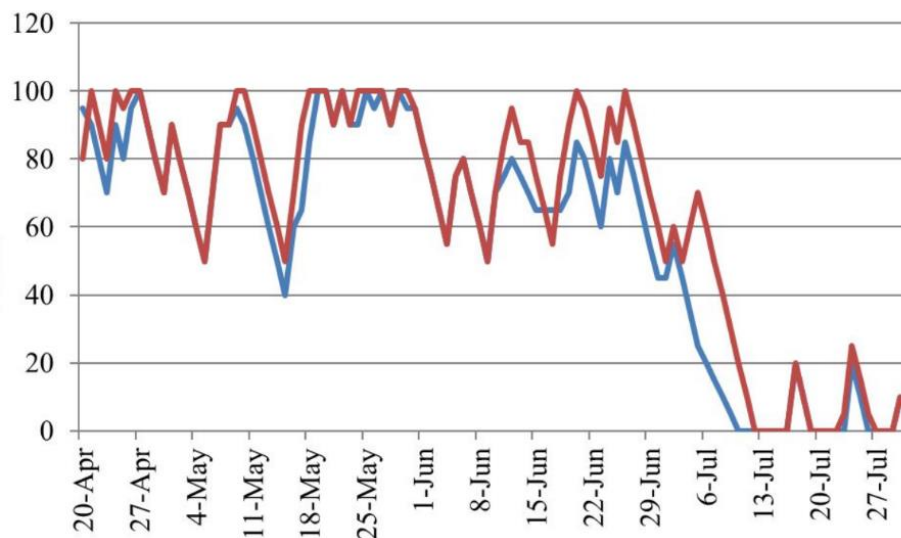
- Valós állomástól való távolság,
- Tengerszint feletti magasságbeli eltérés,
- Észak-déli távolság (szélességi eltérés) (Mohseni, 2006).

A VWS pontossága sornán kérdések merülhetnek fel a termelőben vagy szaktanácsadóban. Ezen kérdéseket kutatta a Lodi Bortermelők Társasága. Kísérleteik eredményeit az alábbi diagrammon mutatom be (6. ábra).



6. ábra. A lisztharmat előfordulása (%) a nyugat-Lodi régióban. Kezelések kijuttatása, GS: termelői megfigyelésre alapozott, NTC: kezeletlen, VWS: virtuális állomásra alapozott, RWS: fizikai meteorológiai állomásra alapozott.

A kutatás során 3 régiót elemeztek: nyugati, keleti és északi régiót. A vizsgálatban legalább egy kezelés elhagyása valósult meg az addigi sztenderdhez képest. A keleti régióban a nem túl változékony mikroklíma miatt a VWS és a valódi állomás előrejelzése szinte tökéletesen fedte egymást (7. ábra).



7. ábra. A VWS betegség kockázati előrejelzése összehasonlítva a keletLodi állomás előrejelzésével.

A konklúziók között szerepelt, hogy a területeik felén egy kénes kezelést tudtak megspórolni a virtuális állomások segítségével. A felszíni vizek környezetében számításba kellett venni a VWS algoritmusában azok torzító környezeti hatásait.

Ezekből a megfigyelésekből is következik, hogy a VWS képes modellezni azokat a szükséges adatokat amivel a betegségmodelleket el lehet látni. A kulcs a VWS algoritmusok fejlesztésében rejlik [URL ⁵].

Erre szintén jó példa az ahogy a nagy hagyományú RIMPRO betegségmodell fejlesztő cég visszaellenőrizte a virtuális levélnedvesség-szenzorok helyességét. A validálás 2016-ban történt egy 74 európai lokációt érintő nagymintás kísérletben. A cég alkalmazottai felhívták a felhasználóikat, hogy az adott pillanatban valóban nedves e a lombzat, ahogy azt a VWS mutatja? Az esetek 73%-ban megfelelő volt a VWS becslése. A valódi állomások levélnedvesség-szenzorai pedig 81%-os pontosságot produkáltak azonos helyszínen. (Zandelin, 2021) Egy Koreában fejlesztett modell kutatóinak vizsgálatában azt a következtetést vonták le, hogy az interpolált meteorológiai adatokból a hőméréséklet és a relatív páratartalom magas pontosságot produkált, viszont a csapadék, a levélnedvesség események modellezése fejlesztésre szorul. Rizs kórokozók esetében 44,5%-ban a valóságnak megfelelően keletkezett a riasztás az interpolált adatok alapján. Az alacsony pontosság okának pedig a levélnedvesség-borítottság hibás becslését jelölték meg (Kang et al., 2010).

A dolgozatban szereplő VWS, amit a Pessl Instruments használ, a Meteoblue terméke. A Meteoblue az alábbi módon fejleszti az VWS portfólióját:

- Gépi tanulás: helyspecifikusan kombinálja a különböző adatforrásokat,
- Magasságmeghatározás: a google magassági adatokat felhasználva meghatározza a VWS állomás tengerszint feletti magasságát,
- Nowcasting: Valós idejű adatgenerálás a bejövő inputok alapján,
- Interpoláció módja: a legközelebb lévő valódi állomás adatait korrigálja a magassági adatok alapján és ha szükséges, kiegészíti az előrejelzés adataival,
- A valódi állomásoktól való távolság függvényében kezdi el egyre inkább felhasználni a szimulált adatokat. Ezért a pontosság a lefedettségen is múlik. Ami a legjobb az USA-ban és Európában [[URL](#) ⁶].

A modellek további fontos fejlődési iránya kell hogy legyen a jövőt tekintve az a képesség, mellyel a közelgő eseményeket is képesek lesznek előrejelezni. Ebben az esetben a napi középhőmérséklet a legfontosabb tényező amely nagyban befolyásolja az előrejelzés pontosságát (*Kremer et al.*, 2016). Erre ad lehetőséget a jövőben az, hogy a Pessl Instruments, valamint a RIMPRO modellek rendelkeznek előrejelzéssel a VWS és a valós állomás esetében.

A Pessl Instruments az epidemiológiai vonatkozások és a klimatikus tényezőket illetően az alábbiakat fogalmazza meg: A tünetek a *Cercospora beticola* esetében a szabálytalanul határolt foltok amelyek az idősebb leveleken fejlődnek és végső méretük 2-5 mm. A léziók cseresek, barnásak, piroskás, lilás szélekkel. Az egyedi megjelenésű foltok később a betegség előrehaladtával elszaporodnak, majd összeérnek és nekrotikussá válnak. Apró fekete foltok, a pszeudosztrómák gyakran láthatóak a kifejlett léziók közepén. Nedves körülmények között konídiumtartó kötegek keletkeznek a pszeudosztrómákban. Ezután a levélpettyek szürkessé és bársonyossá változnak. Mivel megkezdődik a konídiumok lefűződése. A fertőző levelek végül összesorvadnak, de a száron maradnak.

A *Cercospora beticola* inaktív 10°C alatt, viszont 12-37 °C között fertőzhet. A konídiumelőállítás optimális feltételei 20-26°C, ha a relatív páratartalom 98-100% között van valamint megvan a 25°C hőmérséklet. Komoly epidémia várható amikor a relatív páratartalom 3-5 napon át 96% felett marad 10-12 óráig/nap, valamint a hőmérséklet sem csökken 10°C alá

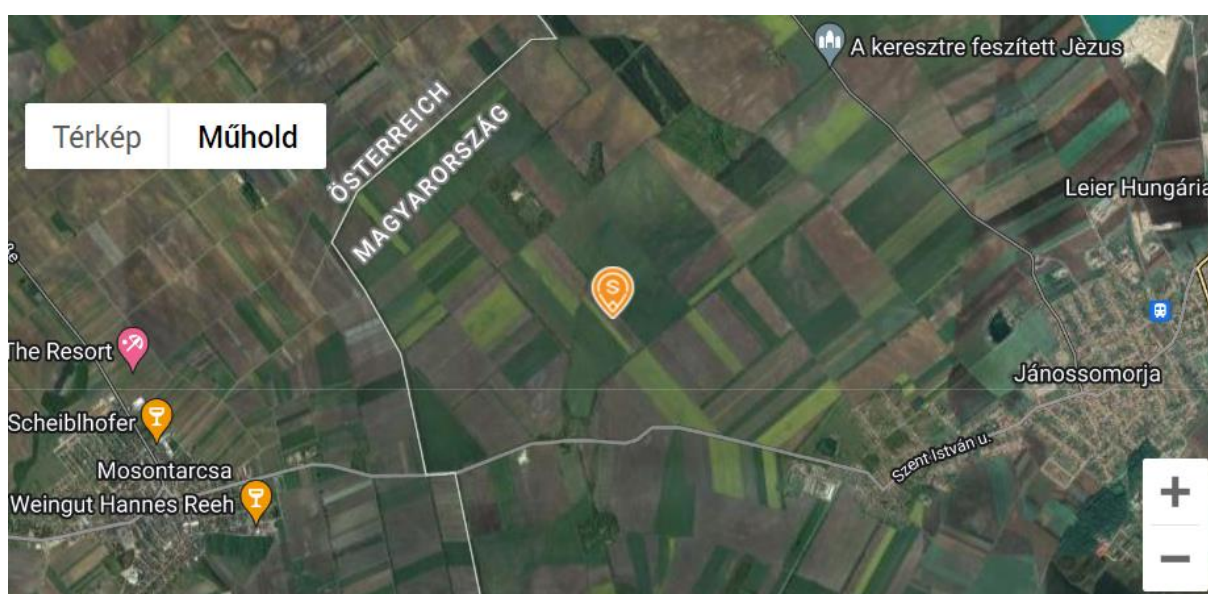
ezen időszak alatt. A konídiumos terjedésre hatással van az eső, és a konídiumok főleg az esőcseppek becsapódásakor terjednek szét, kevésbé a széllel, öntözővízzel, rovarokkal vagy atkákkal [URL⁷]. Az előrejelzést követő védekezés az alábbi formában kell, hogy történjen: „A gombaölő szerek kezeléseket korán, megelőző jelleggel (preventíven) kell elvégezni a primer fertőzéseket célozva, hogy elkerüljük a konidiális populációk kialakulását, amelyek fertőzhetik az új, védtelen leveleket. A kontakt és szisztémikus gombaölő szerek egymást felváltva vagy tankkeverékekben történő alkalmazása késleltethetik a rezisztens kórokozótörzsek kialakulását” (Biró *et al.*, 2021). Baltaduonytė szerint azok a fungicidek nyújtottak kiemelkedő védelmet a cercospóra fertőzéssel szemben, amelyek aktív összetevőt tartalmaztak pl.: epoxikonazol (Baltaduonytė *et al.*, 2013).

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. Általános információk

A vizsgálati időszak alatt megfigyelt jelenségeket egy jánossomorjai termelő területén, Dr. Smuk Norbert és vele szomszédos táblák cukorrépa földjein követtük figyelemmel.

Ezzel párhuzamosan a Pessl Instruments által fejlesztett úgynevezett virtuális meteorológiai állomást (továbbiakban VWS) helyeztem el az alábbi pozícióban: hosszúság: 17,08025; szélesség: 47,788639; magasság: 119,28 m a termelő területén (8. ábra).

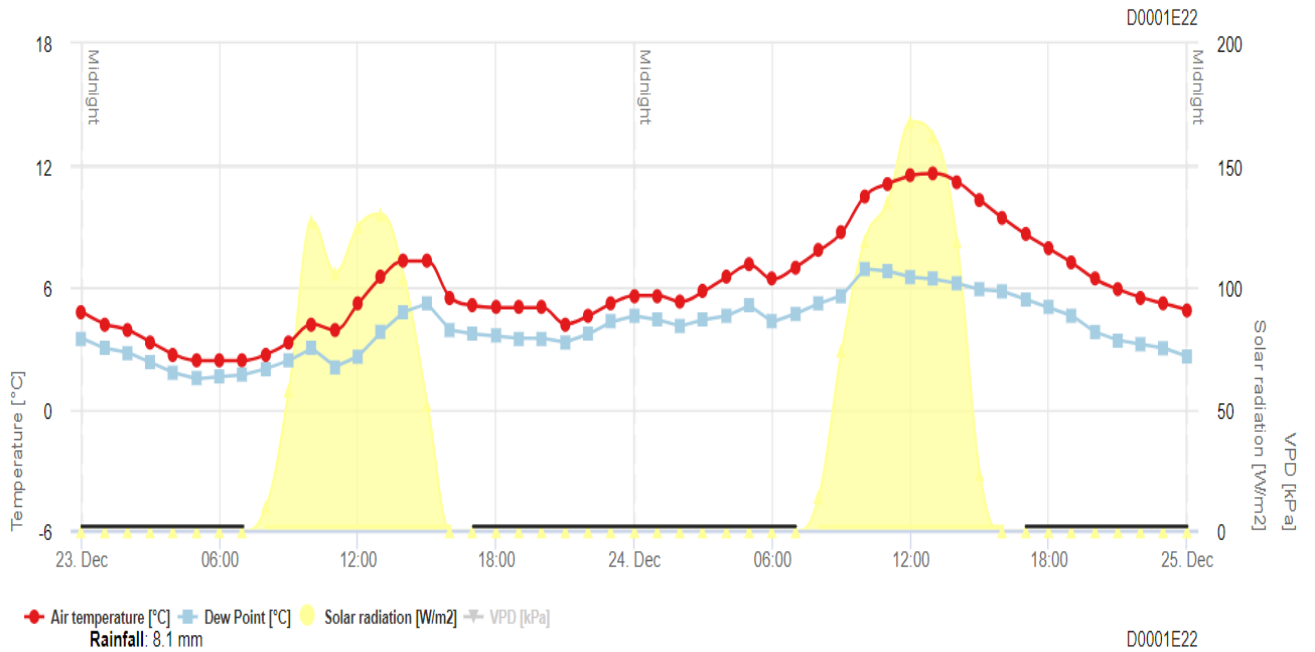


8. ábra. Virtuális meteorológiai állomás elhelyezkedése a vizsgált területen.

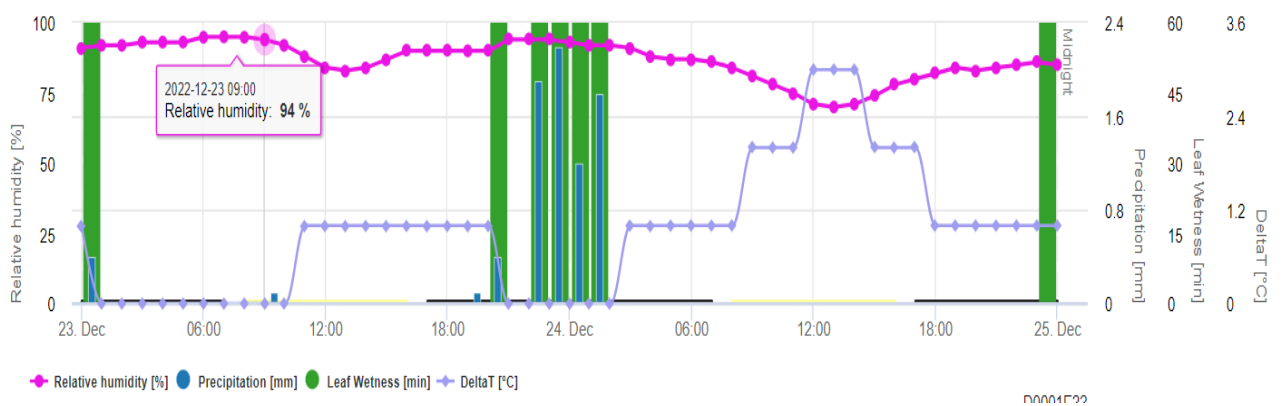
Az adatbázisokat a Fieldclimate felhőből tudtam elérni. Bármilyen szükséges adatot XLS formátumban le lehetett tölteni a felületről.

A VWS regisztrálta az alábbi adatokat óránkénti felbontásban (9.-12. ábra):

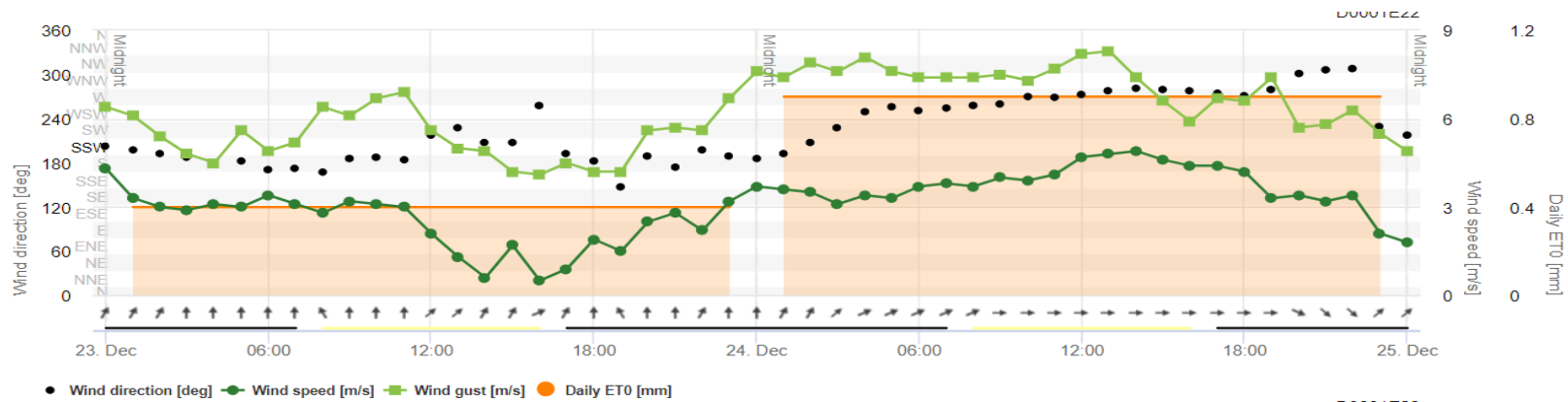
Léghőmérséklet: °C; Harmatpont: °C; Globálsugárzás: W/m²; Gőznyomás: kPa; Relatív páratartalom: %; Csapadék: mm; Levélnedvesség-borítottság: percek; DeltaT (száraz/nedves hőmérő hőmérséklet különbsége): °C; Szélirány: Égtájak szerint; Szélesség: m/sec; Széllökés: m/sec; Napi evapotranszpiráció: mm; Talajhőmérséklet: °C



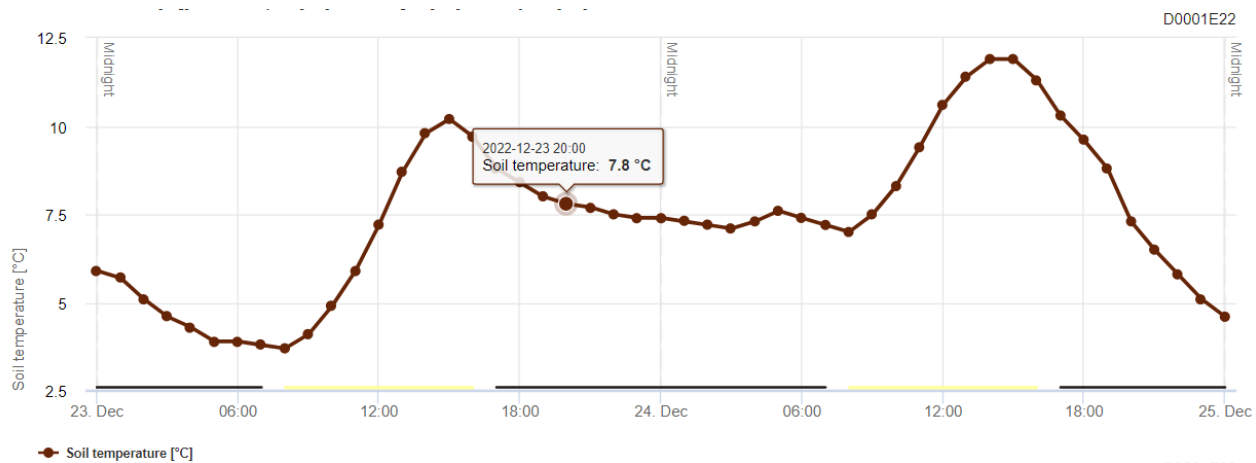
9. ábra. Virtuálisan generált adatok: léghőmérséklet (air temperature), harmatpont (dew point), globálisugárzás (solar radiation), csapadék (rainfall)



10. ábra. Virtuálisan generált adatok: relatív páratartalom (relative humidity), levélnedvesség (leaf wetness), delta T érték.



11. ábra. Virtuálisan generált adatok: szélirány (wind direction), szélesség (windspeed), szellökés (wind gust), napi evapotranspiráció.



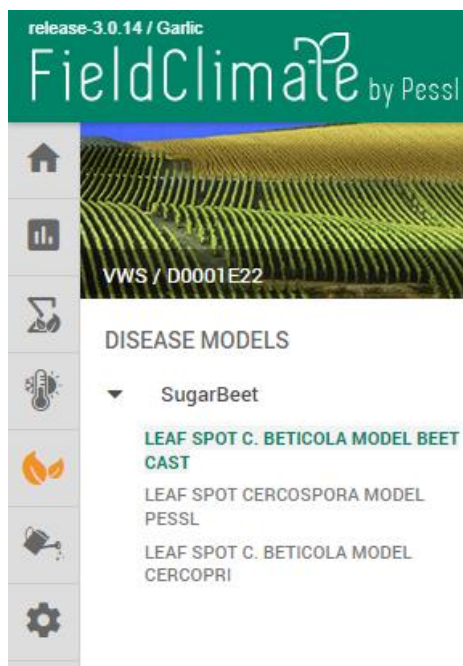
12. ábra. Virtuálisan generált adatok: talajhőmérséklet, (soil temperature).

A FieldClimate (FC) felhőalapú felület használata

A Pessl Instruments saját felhőalapú szolgáltatása a FieldClimate.com oldalon volt elérhető (<https://ng.fieldclimate.com/>).

3.2. Növényvédelmi betegségmodell

A FC felületen a növényvédelmi betegségmodell integrálva volt (13. ábra). Nem volt szükség egy interfészre, ami az adatokat átküldi egy másik felületre, ami feldolgozásra kerül egy másik szoftver által. Ez nagy segítséget jelentett, hisz az adatok API segítségével való továbbítása és azok lefordítása külön programozó személyzetet igényelt volna.



13. ábra. A betegségmodell elérése a felületen.

A modell algoritmusok segítségével automatikusan kiszámolta, hogy az adott időintervallumban mekkora kockázat állt fent a fertőzést illetően. A modell január 01-től december 31 ig minden nap automatikusan ellenőrzi a környezeti feltételeket. (14. ábra).

Device type:	Device ID:	Firmware version:
Virtual Station	100	

Info	Location	Sensors list	Events	Communication	Logs	Disease log	Data chart
------	----------	--------------	--------	---------------	------	-------------	------------

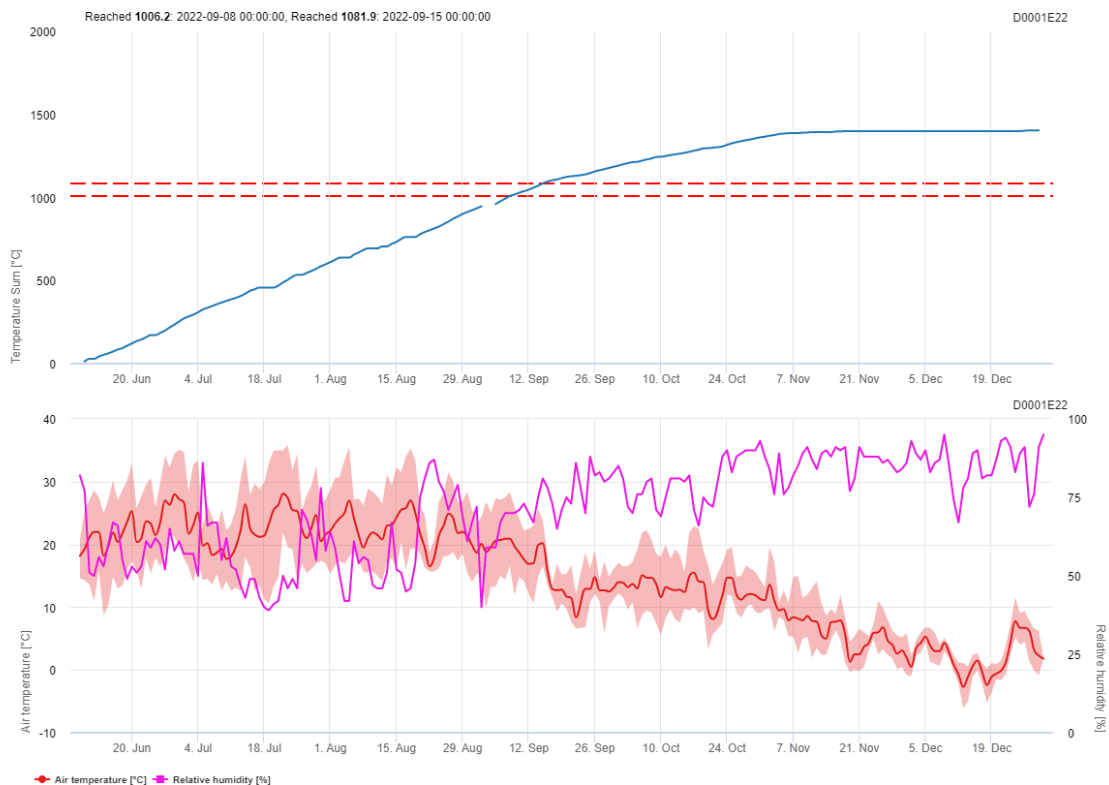
Disease calculation log

2023-04-13 01:38:12	Evapotranspiration
2023-04-13 01:38:12	Evapotranspiration
2023-04-13 00:13:15	Evapotranspiration
2023-04-12 23:08:15	Evapotranspiration
2023-04-12 23:08:15	Evapotranspiration
2023-04-12 22:07:52	Evapotranspiration
2023-04-12 21:08:16	Evapotranspiration
2023-04-12 20:46:05	Evapotranspiration
2023-04-12 20:46:05	SugarBeet/Cercopri
2023-04-12 20:46:04	SugarBeet/Cercospora
2023-04-12 20:46:04	SugarBeet/BeetCast

14. ábra. A modellek periodikus kalkulációja.

A cercospórák levélagya modellezése a FC felületen volt követhető. A modelleket grafikonokon ábrázolva értem el (15. ábra). A grafikonok általában két diagrammon jelentek meg. Az első diagramm a modelleket mutatta, a második alsó diagramm pedig az ahhoz szükséges inputadatokat szerepeltette, így a felhasználó figyelemmel tudta kísérni, hogy az adott riasztás miért történt. Ezzel is segítve a döntéstámogatást, és az esetleges felülbírálatot.

Hiszen ezek a modellek, amint a szakirodalmi áttekintésben is említettésre került, az infekciós háromszög csak egy szegletét modellezzik és lehetséges, hogy nem megfelelő következtetést vonnak le egy rossz input adat miatt. Például: valami miatt átkell helyezni egy valós állomást, elbillen párszor a csapadékmérő és fals adat kerül be a rendszerbe, vagy elfelejtet a tulajdonos vezetőként szolgáló papírt tenni a levélnedevesség-szenzorba. Az ezekből a hibákból eredő riasztások felülbírálásához tudtam figyelemmel kísérni az inputadatokat is. Szerencsére a VWS állomás nem igényel karbantartást, így ezekre nem kellett annyi energiát fordítani. Továbbá a virtuális állomás végig futott a kísérlet alatt, így nem volt adatkiesés, ami torzulást okozhatott volna a növényvédelmi előrejelzésben.



15. ábra. Virtuális meteorológiai állomás adatokra (lent) alapozott betegségmodell (fent).

A Pessl Instruments Cerkospórára vonatkozó csomagjában egyszerre négy modell elérhető a felületen, melyeket a szakma elismert kutatóinak eredményeire alapozottan fejlesztettek ki.

- LEAF SPOT C. BETICOLA MODEL BEET CAST
- LEAF SPOT CERCOSPORA MODEL PESSL (DIV és RISK)
- LEAF SPOT C. BETICOLA MODEL CERCOPRI

3.3. Növényvédelmi kezelés a területen

A termelő a kezelést 2022.08.30-án végezte el.

Champion DF növényvédő szerrel (tankkeverékben Plantal Boron lombtrágyával).

Formuláció: vízben diszpergálható granulátum (WG)

Hatóanyag: 576 g/kg rézhidroxid; réztartalom: 37,5% (m/m)

Forgalmazási kategória: III

3.4. Bejárások és adatgyűjtés a területen

A bejárások célja volt a kártételi küszöb átlépése előtti azonosítás. A bejárásokat folyamatosan végeztük augusztus hónapban. Kártételi küszöb feletti mértékben csak, olyan helyen láttunk fertőzést, ahol az öntözőgép duplán juttatta ki a 45mm vízádagot (1. kép).



1. kép Saját gyűjtés.



2. kép. Saját gyűjtés.

A kezelés napjáig a táblákon nem érte el a kártételi küszöböt a látható tünetek aránya.

3.5.Évjárat

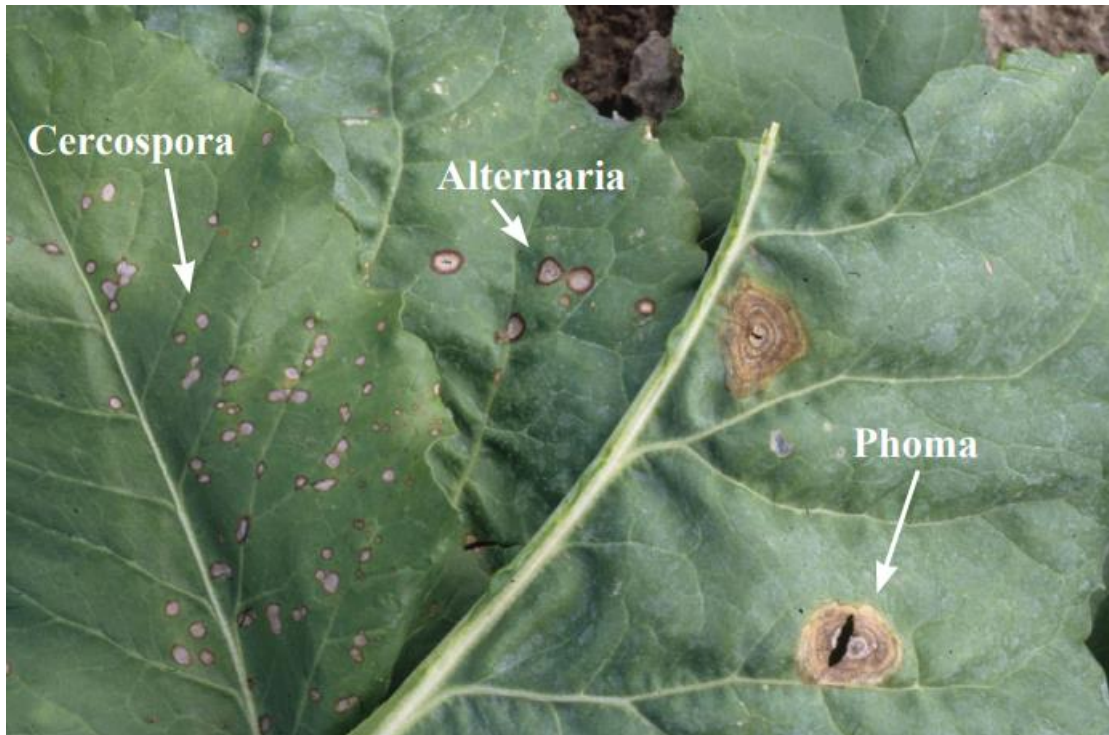
Mint ismeretes, a 2022-es év meteorológiai szempontból kifejezetten aszályos évnek számított. A bejárások során kivétel nélkül meleg száraz idő volt tapasztalható a kísérleti területek mikroklímájában. A termelők többszöri öntözést hajtottak végre a területen.

Ezeket az öntözési eseményeket a FieldClimate platform csapadék részében manuálisan vittem fel két részre osztva, hogy minél reálisabb legyen az algoritmus számára.

3.6.Termelői szaktudás, felszereltség

Az üzem kis családi gazdaság, amely több mint egy évtizede professzionális termelőpartner a cukorrépat felvásárló kaposvári Magyar Cukor Zrt-nek. A gazdaság a betakarítógépet kivéve rendelkezik az összes munkaművelethez szükséges jármű és személyi kapacitásokkal. Ezáltal a döntéseiket nem befolyásolja ezek hiánya, ami lehetővé tette a minimális torzítást a kijuttatás időpontját illetően.

A termelő a kijuttatást nem a modell szerint végezte. A modell mint vak szimuláció zajlott le a háttérben.



3. kép. A cercospóra, alternária, és fómás betegségek közötti különbségek. Forrás: (Harveson, 2007).

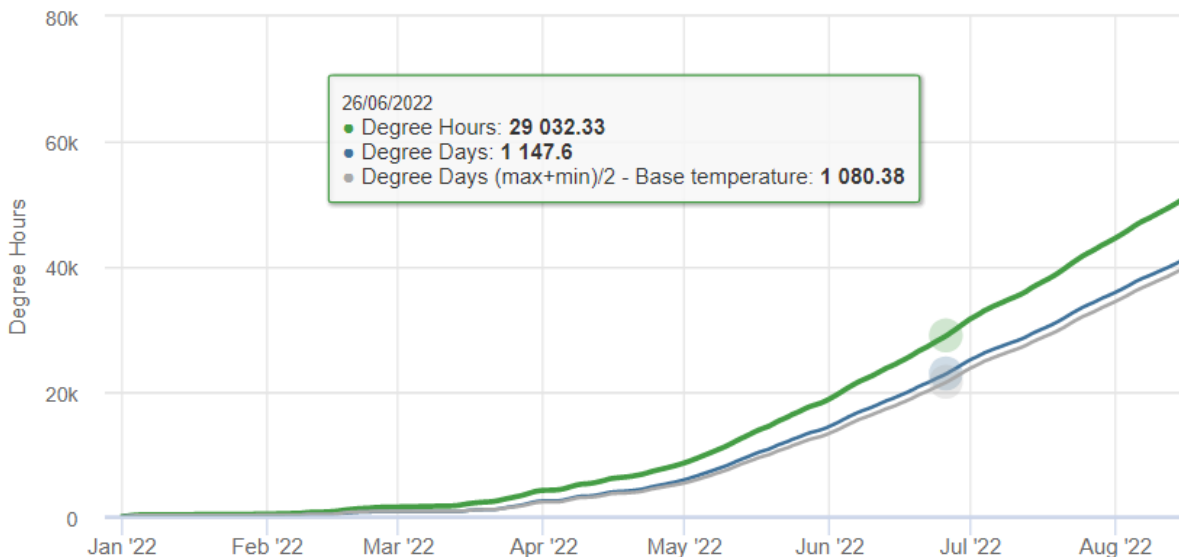
A cercospóras foltok (3. kép.) felvételezés során Bagi és Bodnár ajánlása szerint az alábbi küszöbérték átlépésének időpontját igyekeztünk meghatározni: „Az első permetezés legmegfelelőbb időpontja, amikor a növények megközelítően 5%-án 10-nél több folt található. A második és a többi kezelés időpontját a kórokozó új leveleken való megjelenésének követésével és az időjárási viszonyok előrejelzése alapján határozzuk meg.” (Bagi and Bodnár, 2011).

4. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÉS AZOK ÉRTÉKELÉSE

4.1. A különböző modellek használata a vizsgált időszakban

A CERCOPRI modell lényege az, hogy a primer fertőzést segítse detektálni [URL 7]. A modell hőösszeget számol, amelynek bázisa 5 °C, ami az jelnti, hogy csak az 5 °C feletti középhőmérsékleteket veszi figyelembe. A modell január elsejétől kumulálja a hőösszegeket. Amikor a hőösszeg eléri az 1081.9°C értéket, akkor a primer fertőzés nagy eséllyel megjelenik.

Ezt a FC felületen az alábbi diagram segített meghatározni, és nyomon követni (16. ábra.).



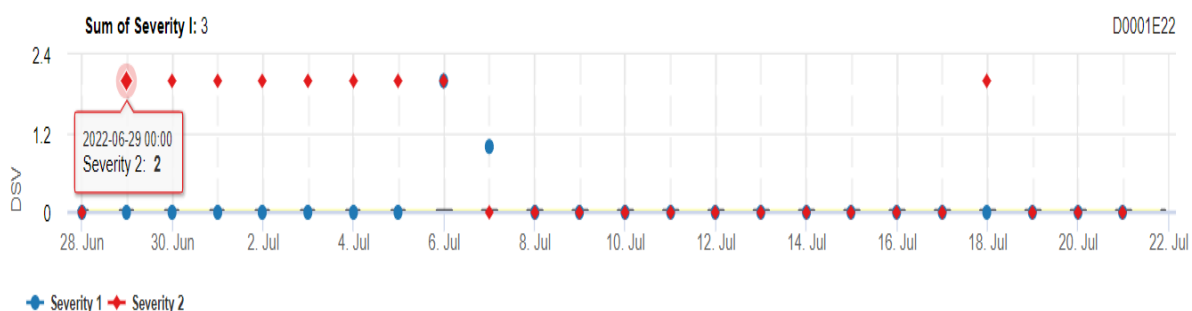
16. ábra. CERCOPRI modell: cercospóra primer fertőzés 1081,9 C effektív hőösszegnél (degree days).

Tehát a primer fertőzést a CERCOPRI modell **2022.06.27**-re teszi. Ez egy látens periódus kezdete, amikor is a fertőzött levélen nem jelennek meg még a tünetek [URL 8].

A CERCOPRI modellt ötvözni kell a BEETCAST modellel, azért, hogy megtudjuk mikor ért véget a látens időszak, és meghatározhassuk az első permetezés időpontját. A BEETCAST modell egy 0-4 között terjedő skálával (disease severity value), DSV (17. ábra.) jellemzi az adott napot a relatív páratartalom, és a levélnedvesség függvényében .

Mean Temp of actual day[°C]	Hours of Leaf Wetness or rel H. > 90% of actual Required to Produce Daily Disease Severity Value (S) of:				
	0	1	2	3	4
13 – 17	0 – 6	7 – 15	16-20	21+	
18 – 20	0 – 3	4 – 8	9-15	16-22	23+
21 – 25	0 – 2	3 – 5	6-12	13-20	21+
26 - 29	0 - 3	4 - 8	9-15	16-22	23+

17. ábra. BEETCAST modell severity – súlyosság értékek. Középhőmérséklet (mean temp.), nedvességborítottság (leaf wetness) Forrás: [URL ⁷].



18. ábra. BEETCAST modell severity (Disease Severity Value) értékek. Severity 1: ellenállóbb fajta, Severity 2: érzékenyebb fajta esetén.

A Pessl Istruments útmutatója szerint az alábbi szabályokat kellett betartani a helyes becsléshez:

Annak érdekében, hogy a fungicid kijuttatást megtudjuk határozni a BEETCAST-ot (18. ábra) az alábbi módon kell kombinálni a CERCOPRI modellel. Ennek eredménye az első permetezés időpontja lesz. Vagy a DIV modellt ugyanezen a módon alkalmazva is meghatározhatjuk ezt az értéket.

Pessl ajánlás:

- Ha a CERCOPRI primer fertőzés dátuma 06.01 előtti akkor 55 DSV értéket kell kumulálni, az ismételt kezeléshez pedig további 35 DSV értéket.
- Ha a CERCOPRI primer fertőzés dátuma **07.01** előtti akkor **70 DSV** értéket kell kumulálni, az ismételt kezeléshez pedig további **55 DSV** értéket.

- Ha a CERCOPRI primer fertőzés dátuma 07.01 utáni akkor 80DSV értéket kell kumulálni, az ismételt kezeléshez pedig további 55 DSV értéket. (“Disease models – Sugar beet,” n.d.)

Esetünkben tehát az első kezelés 70 DSV a második addicionális 55 DSV értéknél kell bekövetkezzen.

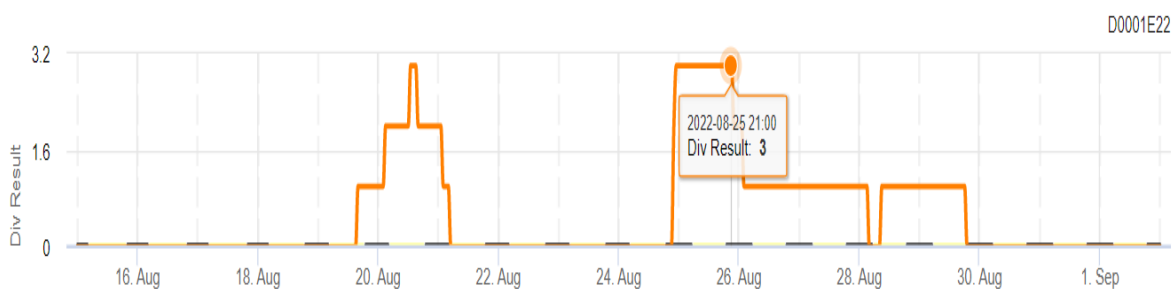
Ezek meghatározását a FC program szerint állíptottam meg.

Mind a sev1 (kevésbé érzékeny fajta) mind a sev2 (cerkospórára érzékeny fajta) modell alacsonyabb értéket produkált az egész hátralévő szezon során, mint ami szükséges lett volna a kezelésekhöz. November 30-ig bezárólag a sev1 33 DSV értéket produkált összesen a sev2 pedig 42 DSV értéket produkált összesen.

Ami nem meglepő, hisz a páratartalom nagyon alacsony volt az év során, és csapadék terén pedig 2022 katasztrofális volt.

4.1.1. DIV modell

A DIV modell a 85% páratartalmat, vagy a levélnedvesség-borítottságra vonatkozó kondíciókat veszi figyelembe. Ezeket feldolgozva DIV értéket kapunk naponta. Ha egymást követő két napon a DIV érték eléri a 6-ot vagy többet, akkor fungicides kezelést kell végezni (19. ábra).



19. ábra. DIV értékek a szezon során

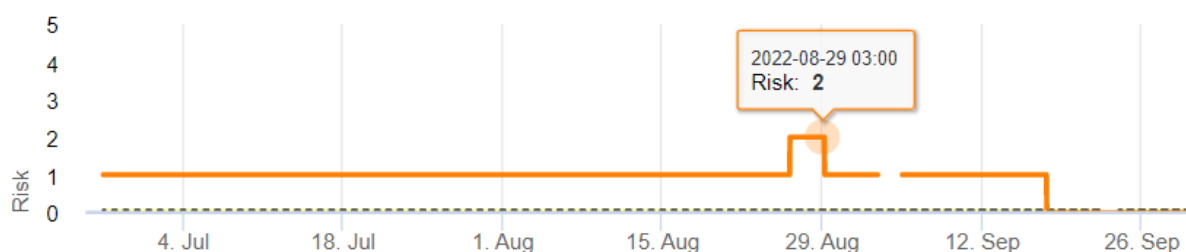
A DIV modell eredménye szerint **08.25 (DIV:3) 08.26 (DIV:2) volt a legnagyobb kockázattal járó 2 nap amelynek a cDIV értéke:5.** Tehát a modell nem lépte át a küszöböt. **A termelő kezelésével szinte egyidőben jelezte a legnagyobb kockázatot a DIV modell.**

4.1.2. PESSL RISK modell

A PESSL RISK modell a sporuláció időpontját hivatott meghatározni. A sporuláció 48 órán keresztül tartó magas relatív páratartalom (21. ábra) és 30 °C átlaghőmérsékletnél 100%-ban bekövetkezik.

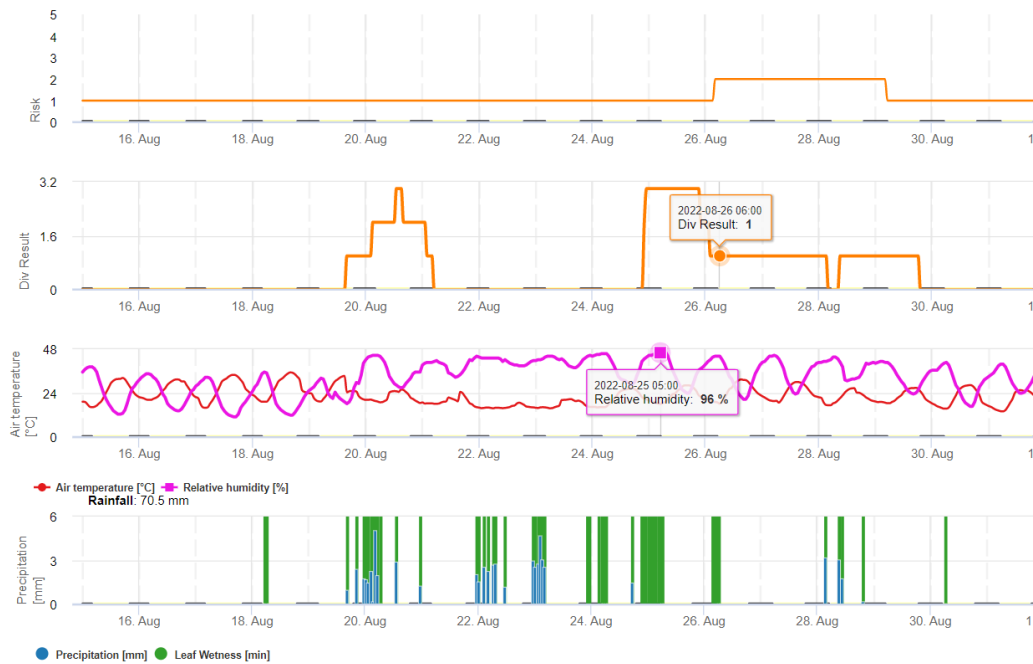
Az egyszerű RISK modell ezeket a felfedezéseket használja fel annak érdekében, hogy meghatározza a veszélyességet.

- Ha az inkubációs periódus kevesebb mint 2 hét, a rizikó: 0
- Ha az inkubációs periódus több mint 2 hét, a rizikó: 1
- Ha a sporuláció 10% megtörténhetett, a rizikó: 2
- Ha a sporuláció 30% ban megtörténhetett, a rizikó: 3



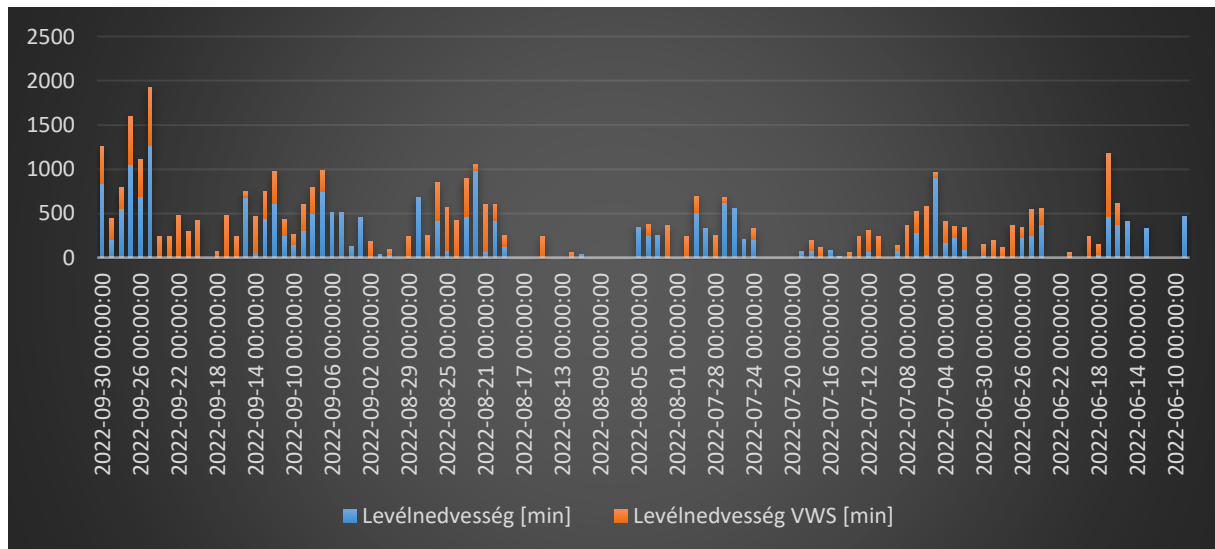
20. ábra. Pessl RISK modell a sporuláció időpontját hivatott megállapítani.

A PESSL RISK modell elemzése során a **08.27, 08.28, 08.29** napokra az érték elérte a 2-es (20. ábra) értéket. **Tehát feltehetően a sporuláció 10%-ban megtörtént ezeken a napokon. A termelő a fungicides kezelést pont ekkor végezte.** A Pessl Risk modell tekintettel a nagyon száraz évjáratra, a 2022-es év folyamán nem mutatott 30% intenzitással megvalósult sporulációt.



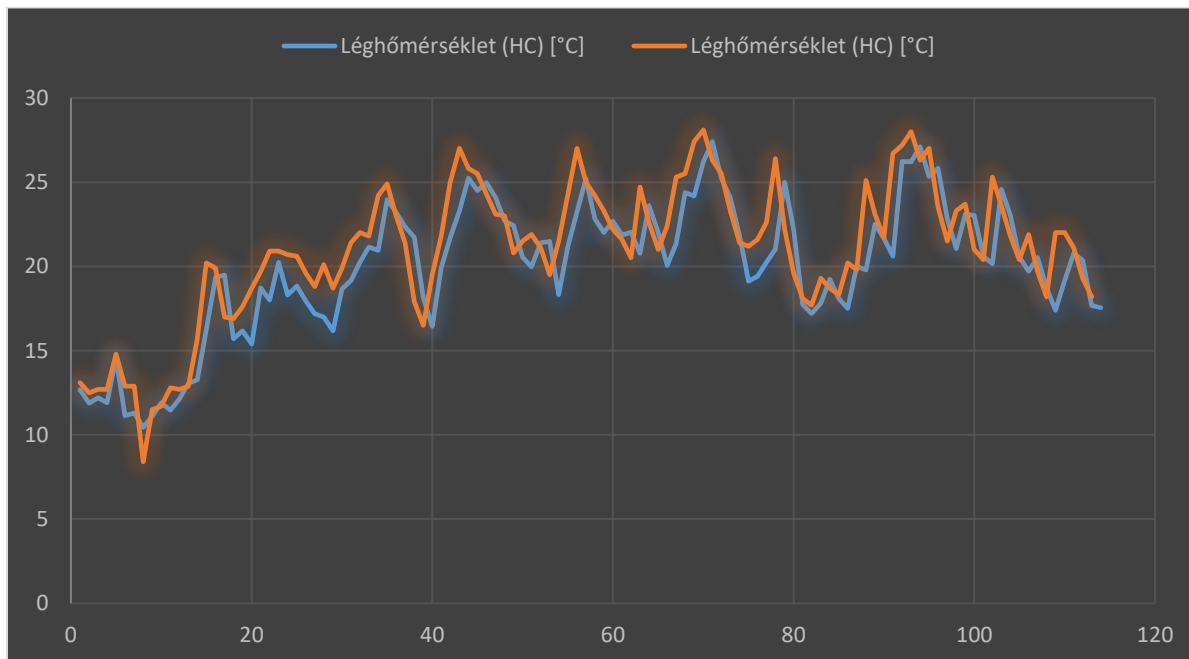
21. ábra. A magas relatív páratartalom és hosszú levélnedvesség-borítottság, mint kiindulási pont, jól látható.

4.2.A Virtuális Meteorológiai Állomás adatainak összehasonlítása egy valódi állomással

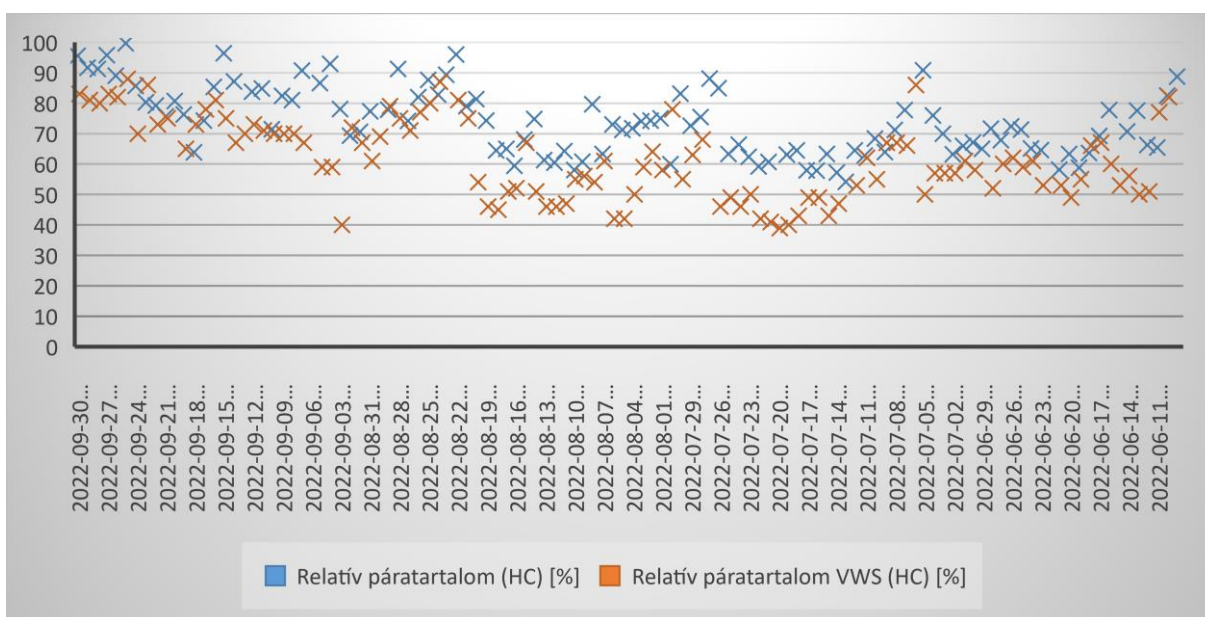


22. ábra. Levélnedvesség adatok összehasonlítása

A legközelebb (16km) lévő METOS valódi meteorológiai szenzorral szerelt állomással összehasonlított adatok elemzése során igyekeztem megerősítést nyerni az adatok megbízhatóságát illetően.



23. ábra. A valódi meteorológiai szenzorokkal szerelt állomással összehasonlított léghőmérséklet adatok.

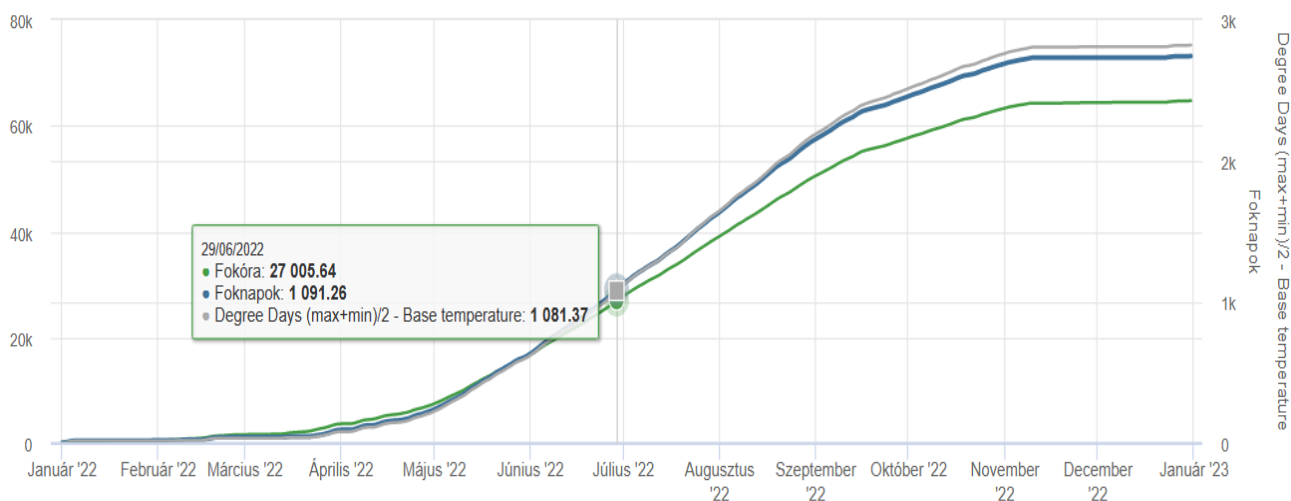


24. ábra. A valódi meteorológiai szenzorokkal szerelt állomással összehasonlított relatív páratartalom adatok.

A közelben található valódi meteorológiai állomással (22.-24. ábra) ellenőriztem a trendeket, és a pontosságot amit a VWS nyújtott. Sajnos a rendelkezésre álló eszközök alapján csak egy

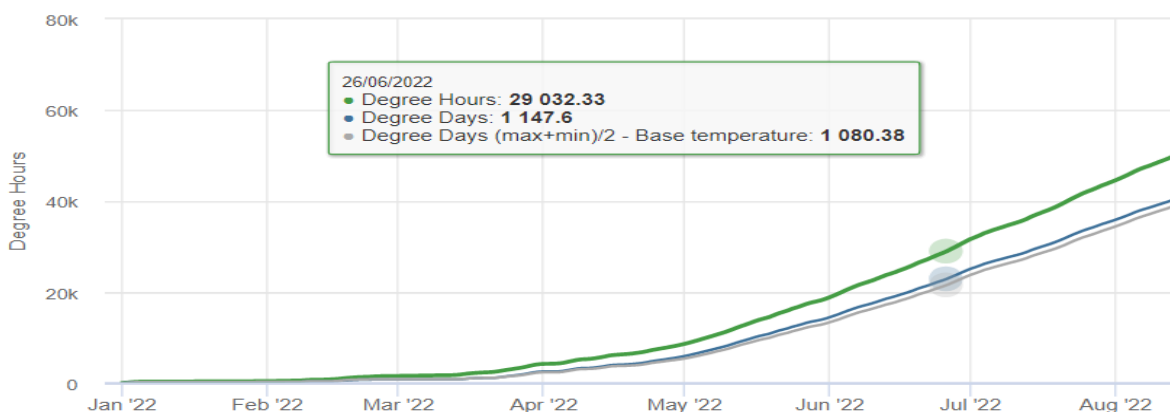
16 km-re lévő állomást tudtam felhasználni erre a célra. A többi közelben lévő állomás nem rendelkezett megfelelő szenzorokkal (levélnedvesség-szenzor). Valamint a karbantartás hiánya miatt elképzelhető, hogy nem lett volna megfelelő az adat ezeken a potenciális állomásokon.

Az adatokat napi összesítésben vontam ki a Fieldclimate felületről. Tehát a levélnedvesség-borítottság kumulált percekben jelenik meg az adott dátumnál.



25. ábra. CERCOPRI modell, a közeli valódi meteorológia állomáshoz.

A közelben található valós meteorológiai állomás CERCOPRI modellje (25. ábra) 2022.06.29-re jelezte a primer fertőzést. A VWS állomásnál ugyanez a modell 2022.06.27-re adta ugyanezt az előrejelzést (26. ábra).



26. ábra. CERCOPRI modell: cercospóra primer fertőzés 1081,9 C effektív hőösszeznél (degree days) VWS állomás.

5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Megállapítható, hogy a virtuális állomásra alapozott DIV betegségmodell jelzése és a termelő által tervezett kezelés egy időre esett. Viszont a látens perióduskor CERCOPRI modell alapján kellett volna kijuttatni a kontakt szert. A kezelés idején pedig felszívódó vegyszert kellett volna alkalmazni, ami nagyobb eséllyel akadályozta volna meg a policiklikus fertőzést.

Továbbá a tünetek fennmaradása esetén a következő kezelést is meg kellett volna fontolni a termelő visszajelzése szerint, hisz a kísérleti területen jelentős lett a fertőzés a késői szezon idejére.

A virtuális meteorológiai állomás és a 16 km-re lévő állomás trendszerűen együtt mozgott. Az eltérések mértéke nem nagy, adódhat abból is, hogy a VWS nyílt száraz területen fekszik, a valós állomás pedig egy ér mellett lett elhelyezve az ottani termelő által. Az eltéréseket elemezve a hőmérsékletnél adódott a legkisebb eltérés. Ezáltal is alátámasztva azt a feltételezésemet, hogy azoknál a modelleknél amelyek a léghőmérsékletre vannak kidolgozva, mint például CERCOPRI modell, vagy más esetben mint pl.: almamoly rajzás modell. Ezek esetében a VWS kis eltéréssel használható a valós állomáshoz képest. A CERCOPRI modell esetében a VWS és a valós meteorológiai állomás esetében a fertőzöttségre utaló jelzés között csak 2 nap volt tapasztalható. Ez arra utal következtetni, hogy hibahatáron belül megoldható a hőösszegre alapozott előrejelzés a VWS segítségével is. Ezáltal jelentős összegeket megtakarítva a termelő gazdaságok számára. Továbbá az eltérés származhatott abból is, hogy a kontroll állomás 16 km-re található, így a szimplán eltérő értékek is mutathatnak ekkora eltérést.

A levélnedvesség, és a relatív páratartalom esetében pedig a Meteoblue által is publikált bizonytalanság volt érzékelhető, viszont a trendek azonosak voltak, és sokszor kis eltérés mutatkozott a VWS és a valós mérés között.

Mivel a jelenlegi gyakorlatban Magyarországon kevesen alkalmaznak növényvédelmi betegségmodelleket a döntéshozatalhoz, részben anyagi okok miatt, a VWS állomás kipróbálása még mindig nagyobb pontosságot mutathat, mint a megszokásra alapozott kezelések.

A klímaváltozás szélsőértékei miatt a megszokásra alapozott gazdálkodás hátra fog szorulni, ennek kiváltására kiváló eszköz növényvédelmi betegségmodellezés valós állomásokkal. Ha

gazdasági akadályok jelentkeznek, akkor pedig a VWS állomások fele léphet a termelő, mint alternatíva felé.

A diplomadolgozatban szereplő megoldás magyarországi használatát érdemes lehet nagymintás kísérletben is igazolni a jövőt illetően. A dolgozat eredeti célkitűzése megvalósult, erőforrások lettek mozgósítva annak érdekében, hogy egy teljes szezont végigkövessek a rendelkezésre álló eszközök megfelelőnek bizonyultak a dolgozat elkészítéséhez.

A VWS állomás alkalmas lehet évjáráthatás elemzésekre, termelésoptimalizálásra mivel automatikusan és több évre visszakereshető módon tárolja az adatokat. Ezek az adatok több éves átlagok figyelembevételével felhasználhatóak vetéstervekhez, fajtkiválasztáshoz, stratégiák megállapításához pl.: ültetvénytelepítések előtt.

6. FELHASZNÁLT IRODALMAK JEGYZÉKE

- Bagi F., Bodnár K., 2011. Növényvédelmi Ismeretek. Hódmezővásárhely, Szegedi Tudományegyetem Mezőgazdasági Kar 120.
- Baltaduonytė, M., Dabkevičius, Z., Brazienė, Z., Survilienė, E., 2013. Dynamics of spread and control of cercospora (*Cercospora beticola* Sacc.) and ramularia (*Ramularia beticola* Fautrey & F.Lamb.) leaf spot in sugar beet crops. *Žemdirb. Agric.* 100, 401–408.
- Biró Á.F., Kukorelli G., Molnár Z., 2021. A Cukorrépa (*Beta Vulgaris* L.) Legjelentősebb Fertőző Betegségei és az Ellenük Való Védekezés Lehetőségei. Vol 62 127–146.
- Borich P. et al., 1914. A Management Model for Cercospora Leaf Spot of Sugarbeets, St. Paul, Minnesota 55108. ed. Minnesota Extension Service, University of Minnesota.
- Bowen, S., 2021. Cercospora: your FAQs. *Sugar Beet Rev.*, British Beet Research Organisation Vol 89., 47–49.
- Cioni, F., Maines, F., Collina, M., Secor, G., 2014. Sensitivity and Resistance of *Cercospora beticola* to Different Fungicides, New Strategies In CLS Control in Italy and Austria.
- Cioni, F., Maines, F., Collina, M., Secor, G., 2013. A New Integrated Pest Management (IPM) Model For *Cercospora* Leaf Spot Of Sugar Beet In The Po Valley, Future IPM in Europe. *BETA Ricerca in Agricoltura*, Garda, Italy.
- Coop, L., Mahaffee, W.F., Fox, A., 2009. Forecast and virtual weather driven plant disease risk modeling system. *Integr. Plant Prot. Cent. Or. State Univ., Phytopathology* 1.
- Deising, H., Fraaije, B., Mehl, A., Oerke, E., 2019. Managing *Cercospora beticola* on Sugar Beet with Fungicides. *Proc. 19th Int. Reinhardtsbrunn Symp., Modern Fungicides and Antifungal Compounds IX IX*, 322.
- Eichhorn J. et al., 2009. Eichhorn et al., *Stemphylium*forecast with TomCast – an online tool for fungicide timing in asparagus, TomCast, Manuscriptfor „IAS2009“, *Phyto Gartenbau. Service Center for Rural Areas (DLR) Rheinland, Neustadt/Wstr.*, Germany.
- El Jarroudi, M., Chairi, F., Kouadio, L., Antoons, K., Sallah, A.-H.M., Fettweis, X., 2021. Weather-Based Predictive Modeling of *Cercospora beticola* Infection Events in Sugar Beet in Belgium. *J. Fungi* 7, 777. <https://doi.org/10.3390/jof7090777>
- Foughali, K., Fathallah, K., Frihida, A., 2018. Using Cloud IOT for disease prevention in precision agriculture. *Procedia Comput. Sci.*, The 9th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT 2018) / The 8th International Conference on Sustainable Energy Information Technology (SEIT-2018) / Affiliated Workshops 130, 575–582. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.106>
- Franco, B.M., Hernández-Callejo, L., Navas-Gracia, L.M., 2020. Virtual weather stations for meteorological data estimations. *Neural Comput. Appl.* 32, 12801–12812. <https://doi.org/10.1007/s00521-020-04727-8>
- Harveson, R.M., 2007. The symptoms, factors favoring infection, prediction and control measures for *Cercospora* leaf spot of sugar beet. *Extension Publications* 6.
- Huber, L., Gillespie, T.J., 1992. Modeling Leaf Wetness in Relation to Plant Disease Epidemiology. *Annu. Rev. Phytopathol.* 30, 553–577. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.30.090192.003005>
- Jacobsen, B.J., Zidack, N.K., 2002. Integrated Management of *Cercospora* Leaf Spot. *Research Reports* 4.

- Jörg, E., Racca, P., MITTLER, S., Petersen, J., 2003. Forecasting Models For The Prediction of *Cercospora* Leaf Spot Disease (*Cercospora beticola*) of Sugar Beet. Lect. Pap. Present. 6th Slov. Conf. Plant Prot., Zbornik predavanj in referatov Vol 6., 199–204.
- Kang, W.-S., Hong, S.-S., Han, Y.-K., Kim, K.-R., Kim, S.-G., Park, E.-W., 2010. A Web-based Information System for Plant Disease Forecast Based on Weather Data at High Spatial Resolution. *Plant Pathol. J.* Vol 26, 37–48.
<https://doi.org/10.5423/PPJ.2010.26.1.037>
- Keszthelyi, S., Lukács, H., Gabriella, K., Zsolt, V., 2022. A Cukorrépa Védelme. *Plant Prot.* Vol. 83, 11–41.
- Khan, J., Qi, A., Khan, M.F.R., 2009. Fluctuations in Number of *Cercospora beticola* Conidia in Relationship to Environment and Disease Severity in Sugar Beet. *Phytopathology* Vol. 99, 6. <https://doi.org/10.1094 / PHYTO-99-7-0796>
- Kimmel L., Potyondi L., 2017. A cercospórás levélagya elleni integrált védekezés lehetőségei. 1-9.
- Knudsen, G.R., 1987. A Computer Simulation Model for *Cercospora* Leaf Spot of Peanut. *Phytopathology* Vol. 77, 1118. <https://doi.org/10.1094/Phyto-77-1118>
- Kremer, P., Schlüter, J., Racca, P., Fuchs, H.-J., Lang, C., 2016. Possible Impact of Climate Change on the Occurrence and the Epidemic Development of *Cercospora* Leaf Spot Disease (*Cercospora beticola* sacc.) in Sugar Beets for Rhineland-Palatinate and the Southern part of Hesse. *Clim. Change* 137, 481–494. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1697-y>
- Madden, L.V., Ellis, M.A., 1988. How to Develop Plant Disease Forecasters, in: Kranz, J., Rotem, J. (Eds.), *Experimental Techniques in Plant Disease Epidemiology*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 191–208. https://doi.org/10.1007/978-3-642-95534-1_14
- Marcuzzo, L.L., Haveroth, R., Nascimento, A., 2016. Influence of temperature and leaf wetness duration in the severity of *Cercospora* leaf spot of beet. *Summa Phytopathol.* Vol. 42, 89–91. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/2111>
- Meriggi, P., Rossi, V., Paganini, U., 2003. *Cercospora* Leaf Spot: Integrated Control In Northern Italy 333-345. Session Entomology and Plant Pathology, 1st joint 1/RB-ASSBT Congress 333–345.
- Mohseni, A., 2006. Verification of Long-Term Pavement Performance Virtual Weather Stations: Phase I Report—Accuracy and Reliability of Virtual Weather Stations (No. FHWA-RD-03-092). Research, Development, and Technology Turner-Fairbank Highway Research Center, 6300 Georgetown Pike McLean, VA.
- Newlands, N.K., 2018. Model-Based Forecasting of Agricultural Crop Disease Risk at the Regional Scale, Integrating Airborne Inoculum, Environmental, and Satellite-Based Monitoring Data. *Front. Environ. Sci.* Vol. 6, 16.
<https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00063>
- Ozguven, M.M., Adem, K., 2019. Automatic detection and classification of leaf spot disease in sugar beet using deep learning algorithms. *Phys. Stat. Mech. Its Appl.* Vol. 535.
<https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.122537>
- Rossi, V., Giosuè, S., 2010. Modelling Plant Diseases for Decision Making in Crop Protection, in: Oerke, E.-C., Gerhards, R. (Eds.), *Precision Crop Protection - the Challenge and Use of Heterogeneity*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 241–258.
https://doi.org/10.1007/978-90-481-9277-9_15
- Rossi, V., Racca, P., Battilani, P., 1994. A Simulation Model for *Cercospora* Leaf Spot Epidemics on Sugarbeet. *Phytopathol. Mediterr.* Vol. 33, 105–112.

- Rowlandson, T., Gleason, M., Sentelhas, P., 2015. Reconsidering Leaf Wetness Duration Determination for Plant Disease Management. *Am. Phytopathol. Soc., Plant Disease* Vol. 99, 310–319. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-14-0529-FE>
- Schmittgen, S., 2014. Effects of Cercospora Leaf Spot Disease on Sugar Beet Genotypes With Contrasting Disease Susceptibility (Inaugural-Dissertation). Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Gladbach.
- Secor, G., Rivera, V.V., Khan, M.F.R., Gudmestad, N.C., 2010. Monitoring Fungicide Sensitivity of Cercospora beticola of Sugar Beet for Disease Management Decisions. *Plant Disease* Vol. 94, 1272–1282. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-09-0471>
- Szöke L., 2014. Növényvédelmi előrejelzés tapasztalatai ECOWIN projektben (At-Hu L 00083/01.sz. projekt). *GRADUS* 1, 303–313.
- Tedford, S.L., Burlakoti, R.R., Schaafsma, A.W., Trueman, C.L., 2019. Optimizing Management of Cercospora Leaf Spot (Cercospora beticola) of Sugarbeet in the Wake of Fungicide Resistance. *Canadian Journal of Plant Pathology* Vol. 41, 35–46. <https://doi.org/10.1080/07060661.2018.1561518>
- Tedford, S.L., Burlakoti, R.R., Schaafsma, A.W., Trueman, C.L., 2018. Relationships among airborne Cercospora beticola conidia concentration, weather variables and cercospora leaf spot severity in sugar beet (Beta vulgaris L.). *Can. J. Plant Pathol.* 40, 1–10. <https://doi.org/10.1080/07060661.2017.1410726>
- Vaghefi, N., Hay, Frank.S., Kikkert, J.S., 2016. Genotypic Diversity and Resistance to Azoxystrobin of Cercospora beticola on Processing Table Beet in New York. *Plant Disease* Vol. 100, 1466–1473. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-15-1014-RE>
- Vereijssen, J., 2004. Cercospora leaf spot in sugar beet : epidemiology, life cycle components and disease management. Wageningen University, Wageningen, p. 200.
- Vereijssen, J., Schneider, J., Jeger, M., 2007. Supervised Control of Cercospora Leaf Spot in Sugar Beet. *Crop Prot.* Vol. 26, 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.03.012>
- Verreet, A., Wolf, P., 2004. Factors Affecting the Onset of Cercospora Leaf Spot Epidemics in Sugar Beet and Establishment of Disease-Monitoring Thresholds. *Phytopathology*, *Phytopathology* Vol. 95, 269–273. <https://doi.org/10.1094 / PHYTO-95-0269>
- Wolf, P., Verreet, J., 2004. A concept in integrated pest management (IPM) of fungal leaf diseases of cereals and sugar beets. Christian-Albrechts-Universität, Institute of Phytopathology, Kiel, p. 10.
- Zandelin, P., 2021. Virtual weather data for apple scab monitoring and management, in: Horticultural Science. Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp, p. 46.

Online források

- URL ¹: „Vidékfejlesztés, környezetkímélő növényvédelmet elősegítő műszaki fejlesztés a villányi borvidéken”. (elérés: 2022. december 27.)
<http://www.tenkeshegykozseg.hu/vidékfejlesztés.pdf>
- URL ²: „Szöke L., A helyi meteorológiai mérések szerepe és alkalmazása a szőlő növényvédelmében”. (elérés: 2023. január 2.)
https://www.met.hu/doc/rendezvenyek/metnapok-2011/10_Szoke.pdf
- URL ³: „A növényvédelmi előrejelzés könnyen alkalmazható módszerei és eszközei”, 2013. február 19. (elérés 2022. december 27.)

<https://www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2002/12/novenyvedelem/a-novenyvedelmi-elorejelzes-konnyen-alkalmazhato-modszerei-es-eszkozei>

URL ⁴: „Information on Cercospora Development and Weather Conditions”. (elérés: 2022. december 27.) <https://ndawn.ndsu.nodak.edu/help-sugarbeet-cercospora.html>

URL ⁵: „Development of Virtual Weather Stations in Lodi | Lodi Growers”, *Lodi Wine Growers*. <https://www.lodigrowers.com/development-of-virtual-weather-stations-in-lodi/>

(elérés 2022. december 27.).

URL ⁶: „Virtual Weather Stations · Technical Documentation”. <https://docs.meteoblue.com/>

(elérés 2022. december 27.).

URL ⁷: „Disease models – Sugar beet”. <https://metos.at/pb/disease-models-sugar-beet/?cn-reloaded=1#practical-use> (elérés 2022. december 27.).

URL ⁸: „CERCOPRI (CERCOSpora PRimary Infection) - CERCODEP (CERCOSpora Development of EPidemics)”, *Agricoltura, caccia e pesca*, 2019. <https://agricoltura.regione.emilia-romagna.it/fitosanitario/temi/difesa-sostenibile-delle-produzioni/previsione/funghi-e-batteri/cercopri-cercospora> (elérés 2023. január 8.).

Ábrajegyzék

1. ábra. A betegségelőjelzés gyakorlati felhasználása a kértételi küszöbérték függvényében.	7
2. ábra. Levélnedvesség-borítottság igények különböző kórokozók esetében.....	9
3. ábra. Matematikai modell által leírt cercospórás fertőzés mértéke a hőmérséklet (temperature) és a levélnedvesség (leaf wetness) függvényében.....	11
4. ábra. Összetett előrejelzés 2 napos cDIV értékek alapján.....	13
5. ábra. DIV értékek, egyszerűsített mátrix.....	14
6. ábra. A lisztharmit előfordulása (%) a nyugat-Lodi régióban. Kezelések kijuttatása, GS: termelői megfigyelésre alapozott, NTC: kezeletlen, VWS: virtuális állomásra alapozott, RWS: fizikai meteorológiai állomásra alapozott.	15
7. ábra. A VWS betegség kockázati előrejelzése összehasonlítva a keletLodi állomás előrejelzésével.	16
8. ábra. Virtuális meteorológiai állomás elhelyezkedése a vizsgált területen.	19
9. ábra. Virtuálisan generált adatok: léghőmérséklet (air teperature), harmatpont (dew point), globálsugárzás (solar radiation), csapadék (rainfall).....	20
10. ábra. Virtuálisan generált adatok: relatív páratartalom (realtive humidity), levélnedvesség (leaf wetness), delta T érték.	20
11. ábra. Virtuálisan generált adatok: szélirány (wind direction), szélesség (windspeed), szélhőkés (wind gust), napi evapotranszspiráció.	21
12. ábra. Virtuálisan generált adatok: talajhőmérséklet, (soil temperature).....	21
13. ábra. A betegségmodell elérése a felületen.	22
14. ábra. A modellek periodikus kalkulációja.....	23

15. ábra. Virtuális meteorológiai állomás adatokra (lent) alapozott betegségmodell (fent). ...	24
16. ábra. CERCOPRI modell: cercospóra primer fertőzés 1081,9 C effektív hőösszegnél (degree days).	28
17. ábra. BEETCAST modell severity – súlyosság értékek. Középhőmérséklet (mean temp.), nedvességborítottság (leaf wetness) Forrás: [URL 7]......	29
18. ábra. BEETCAST modell severity (Disease Severity Value) értékek. Severity 1: ellenállóbb fajta, Severity 2: érzékenyebb fajta esetén.	29
19. ábra. DIV értékek a szezon során	30
20. ábra. Pessl RISK modell a sporuláció időpontját hivatott megállapítani.	31
21. ábra. A magas relatív páratartalom és hosszú levélnedvesség-borítottság, mint kiindulási pont, jól látható.....	32
22. ábra. Levélnedvesség adatok összehasonlítása	32
23. ábra. A valódi meteorológiai szenzorokkal szerelt állomással összehasonlított léghőmérséklet adatok.	33
24. ábra. A valódi meteorológiai szenzorokkal szerelt állomással összehasonlított relatív páratartalom adatok.	33
25. ábra. CERCOPRI modell, a közeli valódi meteorológia állomáshoz.	34
26. ábra. CERCOPRI modell: cercospóra primer fertőzés 1081,9 C effektív hőösszegnél (degree days) VWS állomás.	34

Képek jegyzéke

1. kép Saját gyűjtés.....	25
2. kép. Saját gyűjtés.....	25
3. kép. A cercospóra, alternária, és fómás betegségek közötti különbségek. Forrás: (Harveson, 2007).	27

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Dolgozatom elkészültében kiemelt köszönet illeti Dr. Kerekes Gábort, aki lelkiismeretesen és folyamatosan állt rendelkezésemre konzultációk alkalmával, illetve Smuk Norbert növényorvost, termelőt aki segített a területek felajánlásával, segített a bejárások során tapasztalatával.

Külön köszönet Pessl Gottfriednak, azért, hogy ingyen rendelkezésemre bocsátotta a virtuális meteorológiai állomást, és a METOS modelleket.