

METODIKA

**Metoda
monitoringu
účinnosti ochrany
proti padlí révy
bezpilotními
prostředky**

Autoři metodiky:

prof. Ing. Pavel Pavloušek, Ph.D

Mgr. Simoň Matěj

Ing. Jiří Kubík, Ph.D.

Prof. Ing. Pavel Pavloušek, Ph.D.; Mgr. Simon Matěj; Ing. Jiří Kubík, Ph.D.

Metoda monitoringu účinnosti ochrany proti padlí révy bezpilotními prostředky

METODIKA

© Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika

ISBN 978-80-7509-897-9

DOI: <https://doi.org/10.11118/978-80-7509-897-9>



Publikace „Metoda monitoringu účinnosti ochrany proti padlí révy bezpilotními prostředky“ podléhá licenci CC BY-NC-ND 4.0

T A
Č R

Projekt TH04030522 „Využití teplotního monitorování v prognóze a ochraně proti padlí révy“
byl řešen s finanční podporou TAČR.

Obsah:

ÚVOD	5
1. CHARAKTERISTIKA PŮVODCE PADLÍ RÉVY	7
2. PŘÍZNAKY NAPADENÍ PADLÍM RÉVY NA RÉVOVÉM KEŘI	8
2.1. VRCHOLKY LETOROSTŮ	8
2.2. LISTY A ZÁLISŤKY	8
2.3. KVĚTENSTVÍ A BOBULE	10
2.4. LETOROSTY	10
3. VÝVOJOVÝ CYKLUS PATOGENU	11
4. PODMÍNKY INFEKCE	11
4.1. VLIV TEPLoty	12
4.2. VLIV VLHKOSTI VZDUCHU	12
4.3. VLIV SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ	13
4.4. VLIV RŮSTU A VÝVOJE RÉVY VINNÉ	13
5. HODNOCENÍ RŮSTOVÝCH POMĚRŮ VE VINICI JAKO UKAZATELE CITLIVOSTI K PADLÍ RÉVY	14
5.1. VÝSLEDKY VYUŽITÍ METODY NA PŘÍKLADU VINICE „VINAŘSTVÍ PAVLOV“	15
6. POSTUP VYUŽITÍ METODY NA PŘÍKLADU VINICE V SEDLECI U MIKULOVA	19
7. ZHODNOCENÍ VÝSKYTU PADLÍ RÉVY VE VINICI NA ZÁKLADĚ RGB SNÍMKOVÁNÍ	25
8. EKONOMIKA	28
POUŽITÁ LITERATURA	30

Úvod

Padlí révy, způsobované houbou *Erysiphe necator*, patří v současné době mezi houbové patogeny s nejvýznamnější hospodářskou škodlivostí u révy vinné. Padlí révy není původní „evropská“ houbová choroba, ale rozšířila se do Evropy v 19. století ze severní Ameriky. V krátké době potom způsobovala velmi významné škody na odrůdách révy vinné (*Vitis vinifera*).

Vývoj a škodlivost této choroby se měnila v závislosti na klimatickém vývoji. Současné období klimatické změny je velmi příznivé pro rozvoj padlí révy. Delší periody teplého a suchého počasí, doprovázené vyšší vlhkostí vzduchu vytváří příznivé podmínky pro rozvoj houby. Na hroznech a révových keřích tak mohou tak vznikat ekonomicky významné škody.

Výrazné napadení hroznů negativně ovlivňuje kvalitu hroznů a také organoleptické vlastnosti vína.

Prevenci a ochraně proti padlí je proto třeba věnovat zvýšenou pozornost. Prevence spočívá v hodnocení podmínek stanoviště a uplatnění metod prognózy a signalizace padlí révy. Následná ochrana je pak založená na zelených pracích, které umožňují ovlivňovat mikroklima listové stěny, na výběru vhodných odrůd ve vztahu ke stanovišti a na metodám přímé ochrany.

Přímá ochrana je založená na využívání fungicidů nebo ekologických přípravků. Fungicidy používané k ochraně proti padlí révy výrazným způsobem ovlivňují riziko vzniku rezistence houbového patogenu k účinné látce fungicidu. Fungicidy se systémovou účinnou látkou se potom často stávají neúčinné, protože se patogen dobře adaptoval na působení této účinné látky a může tak dále přežívat na révě vinné.

Metodika monitoringu účinnosti ochrany proti padlí révy je proto velmi důležitá - z pohledu ekonomické rentability, kvality konečného produktu, ale také udržitelného vinohradnictví.

1. Charakteristika původce padlí révy

Původcem padlí révy je houba *Erysiphe necator* Schwein (syn. *Uncinula necator* (Schw.) Burr) patří mezi *Ascomycetes* a do *Erysiphales*. Původce padlí – *Erysiphe necator* je biotrofní parazit, který infikuje pouze druhy patřící do rodu *Vitis*. Do Evropy se rozšířila z Ameriky. První příznaky choroby byly pozorované v roce 1845 na révě vinné ve skleníku v Anglii, u zahradníka Tuckera. Velmi rychle došlo k ničivému rozšiřování této choroby po evropských vinicích.

MUŠKA a kol. (2022) zpracoval četnost výskytu padlí révy na území České republiky v období 1961-2020 a uvádí, že došlo k dynamickému rozšíření hospodářsky významných výskytů padlí révového nejen v tradičních, ale i okrajových oblastech, což ukazuje následující tabulka.

Morava a Slezsko			
Okres*	Počet let s výskytem	Okres*	Počet let s výskytem
Břeclav	46	Třebíč	7
Hodonín	37	Přerov	5
Znojmo	32	Prostějov	1
Uherské Hradiště	30	Šumperk	1
Brno-venkov	20	Opava	1
Vyškov	18	Zlín	1
Brno-město	12		
Čechy			
Okres*	Počet let s výskytem	Okres*	Počet let s výskytem
Litoměřice	27	Kolín	3
Mělník	15	Kutná Hora	2
Most	9	Praha-západ	2
Louny	8	Hradec Králové	1
Mladá Boleslav	4	Beroun	1
Praha-město	3		

*Okresy, kde nebyl hlášen žádný výskyt nejsou uvedeny

Tabulka 1.1: Hospodářsky významné výskyty padlí révového na révě vinné v okresech ČR v letech 1961-2020 (MUŠKA a kol., 2022).

Na Moravě a ve Slezsku se padlí révové vyskytlo ve 13 okresech. Nejintenzivnější výskyt byl v okresech, kde se nachází většina ploch vinic, a to Břeclav (46 let), Hodonín (37 let), Znojmo (32 let), Uherské Hradiště (30 let) a Brno-venkov (20 let). V Čechách byl nejvyšší výskyt také v okresech Litoměřice (27 let) a Mělník (15 let) (MUŠKA a kol., 2022).

2. Příznaky napadení padlím révy na révovém keři

Příznaky napadení padlím révy je možné pozorovat na mladých letorostech, listech, květenstvích, bobulích, třepinách a letorostech. Základem prognózy a monitoringu účinnosti ochrany proti padlí je přesná identifikace příznaků.

2.1. Vrcholky letorostů

První viditelné příznaky je možné pozorovat již brzy po rašení révy. Jedná se o bělavošedé povlaky na listech a vrcholcích letorostů. Označují se termínem „ukazovací výhony“. Objevují se obvykle ve stádiu 3-6 listů. Vyrůstají přímo z infikovaných oček a jsou zdrojem infekce. Neobjevují se pravidelně každý rok. Objevují se především v případě mycelia houby v zimním očku a za příznivých klimatických podmínek pro rozvoj patogenu.

2.2. Listy a zálistky

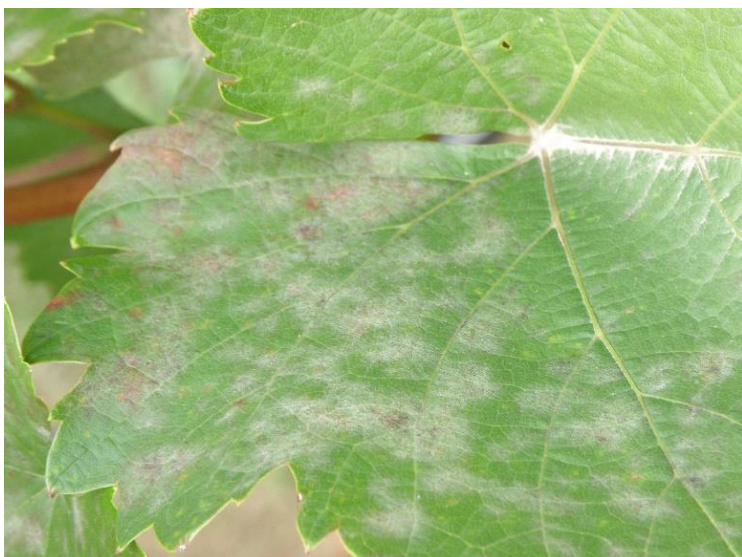
Napadení na listech se objevuje na horní i spodní straně listové čepele. Na horní straně se objevují světlejší skvrny, na spodní straně potom stříbřitě lesklé skvrny. Napadené místa postupně získávají hnědou až černou barvu. Okraje listů se svinují směrem nahoru. Silně napadené listy usychají a opadávají.

Velmi důležitá je včasná identifikace příznaků na listech. Pro lepší identifikaci prvních příznaků je vhodné podívat se na list z profilu ve výšce očí. Na napadených listech jsou matné, jemně stříbřité skvrny. Následně se v místě skvrn objevuje šedobílý povlak mycelia.

Infikované listy jsou zdrojem inokula pro infekci plodů. Příznaky na zálistcích jsou prakticky stejné, ale zálistky se postupně vyvíjí během vegetace, takže mohou být také napadené prakticky kdykoliv během vegetace.



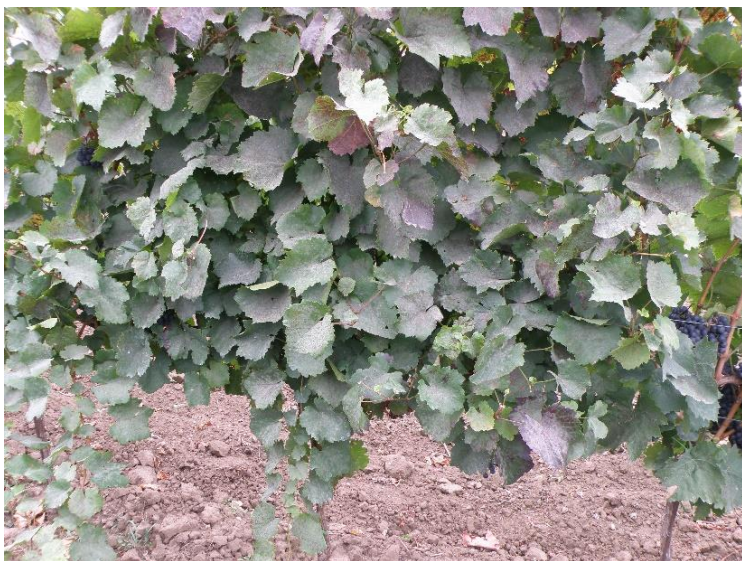
Obrázek 2.1: Nažloutlé skvrny mohou představovat první příznak napadení listů padlím révy.



Obrázek 2.2: Dobře rozpoznatelný rozvoj padlí révy, při pohledu na list z profilu.



Obrázek 2.3: Pokročilý rozvoj padlí révy.



Obrázek 2.4: Silné napadení listů padlím révy, během zrání hroznů.

2.3. Květenství a bobule

Na napadení padlím révy jsou výrazně citlivé květenství i malé bobule. Bobule jsou pokryté naředlým až šedobílým povlakem mycelia. Při silném napadení brzy po kvetení dochází k jejich nekrotizaci a usychání. Při napadení bobulí od velikosti hrášku může docházet k praskání bobulí a výhřezu semen. Následně může dojít k úplnému vysušení bobulí. Třapina je také citlivá na napadení padlím révy, pokud je zelená. Může proto nastat situace, kdy jsou zcela zdravé bobule a napadená třapina. U takových bobulí došlo k projevu ontogenické rezistence dřívě, než došlo k napadení třapiny. Ze stejného důvodu může nastat situace, kdy jsou na keři napadené listy a zálistky i hrozny jsou zcela zdravé.



Obrázek 2.5: První příznaky padlí na bobulích.



Obrázek 2.6: Výrazné poškození hroznů s praskáním bobulí.

2.4. Letorosty

Na zelených letorostech se může objevovat napadení v podobě šedivých, později černajících skvrn. Skvrny zůstávají na letorostech i po zdřevnatění. Skvrny však nejsou zdrojem infekce. Mohou být pouze ukazatelem silného napadení vinice padlím révy. Na základě této informace je potom možné předpokládat riziko výskytu padlí révy i v následujícím vegetačním období. Zhoršují však výrazně vyžívání letorostů. Dřevo potom může přes zimu usychat a může být problémem vybrat vhodné dřevo k řezu.



Obrázek 2.7: Poškození letorostů padlím révy.

3. Vývojový cyklus patogenu

Houba roste na epidermis zeleného rostlinného pletiva a vytváří husté bílé až šedé mycelium. Živiny, které rostlina potřebuje odebírá pomocí haustorií. Proto se zařazuje mezi ektoparazity.

Nejvýznamnějším zdrojem primární infekce je mycelium přezimující v zimních očkách. Z vláken mycelia vznikají konidiofory, na kterých se tvoří konidie. Konidie jsou zdrojem sekundárních infekcí a šíření choroby. V průběhu vývoje zimních oček se mycelium dostává dovnitř oka a přezimuje v něm až do dalšího vegetačního období. I v této souvislosti je možné najít informace o síle infekce padlí révy. Jestliže dochází k silné infekci padlí révy až při nebo po uzavírání a dřevnatění šupin oček, neproniká mycelium dovnitř oka a dojde k vývoji menšího zdroje infekce pro následující vegetační období.

Houba může přezimovat rovněž ve formě askospor v kleistotecích. Kleistotecia se nachází na kůře dřeva. V jarním období se při dešťových srážkách kleistotecia otvírají a uvolňují askospory. Askospory po dopadu na hostitelskou rostlinu klíčí při teplotách 20-22°C po dobu 4 hodin. Askospory se vyvíjí ve vřecích uvnitř kleistotecií. Askospory vyžadují ke klíčení odlišné podmínky než konidie. Důležitá je přítomnost vody a ovlhčení. Kleistotecia však v podmínkách České republiky prozatím nepředstavují významný zdroj infekce.

4. Podmínky infekce

Rozvoj padlí révy je výrazně závislý na topoklimatu a mikroklimatických podmínkách vinice.

Mikroklima lze popsat jako klima uvnitř vinice. Na mikroklima vinice má vliv orientace viničních řad ke světovým stranám, spon výsadby, ošetřování půdy a zelené práce. Mikroklima závisí rovněž na architektuře listové stěny. Z pohledu mikroklimatických parametrů jsou velmi důležité faktory jako je teplota, vlhkost vzduchu a ovlhčení listů a hroznů. Teplota listů a bobulí není pouze důsledkem převládající teploty vzduchu. Je také regulovaná absorbovaným slunečním zářením, ztrátami konvekčního tepla a evaporačním ochlazováním. Listy mohou ovlivňovat svoji teplotu prostřednictvím transpirace a díky jejich orientaci ke slunečnímu záření. Mikrometeorologické parametry mají klíčovou úlohu ve vegetativním a generativním vývoji révy vinné a ve vývoji kvality hroznů, protože přímo ovlivňují biosyntézu primárních a sekundárních metabolitů. Rozdíly v mikroklimatu jednotlivých vinic mohou být dokonce větší než makroklimatické rozdíly mezi jednotlivými vinařskými regiony.

V souvislosti s konkrétní vinicí se využívá také charakteristiky lokality s využitím **topoklimatu**. Topografické faktory, jako je sklon svahu a poloha ovlivňují změny tepla a vlhkosti, ve vztahu k povrchu země vytváří topoklima (BONNEFOY a kol., 2012). Geologie hraje velkou roli v určování geomorfologie, tzn. tvaru zemského povrchu. Geomorfologie je vědní disciplína, která popisuje tvary zemského povrchu (roviny, svahy, údolí, terasy atd.). Tvary zemského povrchu jsou výsledkem vlastností matečné horniny, zejména rozdílů v tvrdosti, tektonických změn a trvání a intenzitě erozních procesů. Geomorfologie vykazuje větší proměnlivost než půdní podmínky. Geomorfologie popisuje svažitost a expozici, což umožňuje ukázat místní **topoklimatické vlivy**, tzn. vliv nadmořské výšky na teplotu, vliv jižní nebo severní expozice na sluneční záření a teplotu a vliv svažitosti na odtékání vody (VAN LEEUWEN a kol., 2010).

4.1. Vliv teploty

Optimální teploty pro rozvoj padlí révy se v podmínkách vinice pohybují mezi 21-30°C (GUBLER a kol., 1999). Rozvoj padlí révy je neúspěšnější ve stínu, protože zastínění snižuje teplotu rostlinných pletiv o 5-10°C. Stín ale také zvyšuje relativní vlhkost vzduchu a snižuje intenzitu slunečního záření (JARVIS a kol., 2002, AUSTIN a kol., 2011).

V přítomnosti UV záření jsou existující kolonie padlí révy poškozované při expozici k 35°C po dobu 0,25 hodiny. Všechna stadia rozmnožovacího cyklu padlí révy jsou zničeny při 33°C nebo při 12 hodinové expozici nad 35°C. PMI (powdery mildew risk index), který se využívá k prognóze rozvoje padlí révy, pracuje s hodnotami omezujícími rozvoj padlí v následujících intervalech: 34°C po dobu 4 hodin, 36°C po dobu 4 hodin a 38°C po dobu 2 hodin. Nejvyšší potenciál pro omezení rozvoje padlí révy má teplota 38°C po dobu 2 hodin (PEDUTO a kol., 2013).

Teplota je základním faktorem prostředí, který řídí růst a sekundární šíření patogenu. Latentní období, doba od začátku infekce do doby tvorby nových konidií, může být kratší než 5-6 dnů, jestliže jsou teploty v daném rozsahu stabilní.

Zastínění má několik potenciálních mikroklimatických vlivů, včetně poklesu teploty vzduchu v listové stěně nebo teploty listů, zvýšení relativní vlhkosti a snížení expozice k UV záření (AUSTIN a WILCOX, 2010). Při letním dnu s 26°C je teplota zastíněných listů a hroznů, blízko teplotě vzduchu, která je pro růst padlí révy optimální. Naproti tomu, listy exponované ke slunečnímu záření mohou často mít teploty zvýšené výrazně nad 32°C a v tomto bodu rozvoj padlí révy zastaví (AUSTIN a WILCOX, 2010).

4.2. Vliv vlhkosti vzduchu

Hustá listová stěna je spojená s vysokou vlhkostí vzduchu, ale také s omezením exponovanosti ke slunečnímu záření, což výrazně zvyšuje nebezpečí rozvoje choroby. Vyšší relativní vlhkost vzduchu zvyšuje rozvoj choroby. Rozvoj choroby se může zdvojnásobit při změně relativní vlhkosti vzduchu mezi 40 – 80 % (WILCOX, 2011).

Relativní vlhkost vzduchu proto může mít vliv na rozvoj padlí révy. MANE a kol. (1996) studovali rozvoj padlí révy v zavlažované vinici v Indii a zjistili, že úroveň rozmnožování choroby je nulová pod 53 % a při 100 % relativní vlhkosti vzduchu. KAST (1997) vytvořil model pro prognózu rozvoje padlí révy v německých vinicích, založený mimo jiné na prahové úrovni 60 - 70 % relativní vlhkosti vzduchu, kterou označuje jako příznivou pro rozvoj choroby. CARROL a WILCOX (2003) uvádí, že i když k infekci může dojít při všech vlhkostech vzduchu, výskyt a rozvoj choroby se zvyšuje se zvyšující se relativní vlhkostí vzduchu až k optimu 85% a potom se zastavuje nebo klesá při vyšších vlhkostech vzduchu. BULIT a LAFON (1978) zjistili dvojnásobnou délku řetězce konidií po 24 hodinách při vlhkosti 90 – 100 % než při vlhkosti 30 – 40 %. Četnost klíčení konidií proto ovlivňuje zvyšující se vlhkost. Padlí révy nesnáší vodu v kapalném stavu. Intenzivní srážky mohou omývat mycelium z listů nebo bobulí.

Vysoká evaporace naznačující suché a teplé počasí, je dobrým ukazatelem podmínek, které nejsou optimální pro vývoj padlí révy. Nízká evaporace naznačuje vlhké a chladnější počasí, znamená, že podmínky jsou vysoce příznivé pro rozvoj padlí révy (MOYER a kol., 2011). Jestliže je vegetace suchá, potom je riziko rozvoje padlí révy nízké, protože je reprodukce houby pomalá (MOYER a kol., 2011).

4.3. Vliv slunečního záření

Sluneční záření je další důležitý faktor ve vztahu k padlí révy. AUSTIN (2010) uvádí, že v kombinaci se zvýšenou teplotou povrchu rostlin, vyplývající z expozice ke slunečnímu záření, může být UV záření inhibiční nebo zničující pro rozvíjející se kolonie padlí révy. AUSTIN a WILCOX (2010) naznačují, že pěstitelé mohou výrazně zlepšit management ochrany proti houbovým chorobám, díky použití vhodného managementu zelených prací za účelem optimalizace přístupu slunečního záření do révového keře. Výskyt padlí révy je mnohem větší na zastíněných listech nebo bobulích, než na listech a bobulích plně exponovaných ke slunečnímu záření.

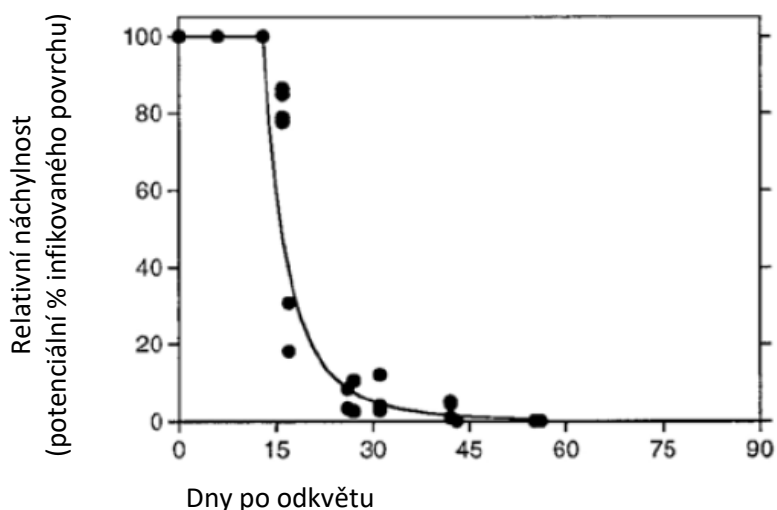
Zastínění má několik potenciálních mikroklimatických vlivů, včetně poklesu teploty vzduchu v listové stěně nebo teploty listů, zvýšení relativní vlhkosti a snížení expozice k UV záření (AUSTIN a WILCOX, 2010).

Ohřívací vliv expozice ke slunečnímu záření je více nepřímý a byl méně v souladu než UV záření, protože teplota povrchu listu je také ovlivňovaná dalšími parametry jako je stav vody v révovém keři, proudění větru a teplota vzduchu. Listy se totiž ohřívají výrazněji, když je z nedostatku vody révový keř ve stresu.

4.4. Vliv růstu a vývoje révy vinné

Bobule se v souvislosti s jejich vývojem stávají postupně více rezistentní k padlí révy. Jestliže je kvetení synchronní, bobule se stávají více rezistentní k padlí révy přibližně 4 týdny po kvetení. Ontogenická rezistence je měnící se citlivost rostliny k chorobám, související se stárnutím rostlinných pletiv. Rostlinná pletiva, orgány a dokonce celé rostliny se mohou měnit v citlivosti k patogenům, jak stárnou, v souvislosti s fenologickým vývojem. Podstatné změny se mohou vyskytovat v poměrně krátké době, vytvářením kritických období citlivosti, a jejich pochopení a případná kvantifikace mohou být velmi důležité pro prognózování rozvoje epidemie a zlepšení ochrany (GADOURY a kol., 2012).

Pouze nejranější infekce hroznů vedou k silné infekci. Kvetení otevírá prostor pro rozvoj ontogenické rezistence bobulí. Přibližně 14 dnů po nasazování bobulí se rozvíjí ontogenická rezistence. U Chardonnay je bobule 21 dnů po odkvětu téměř imunní k infekci padlí révy.



Obrázek 3.8: Vliv fenologického vývoje révy na citlivost bobulí k padlí révy (GADOURY a kol., 2012).

Výše uvedený graf ukazuje rychlý pokles náchylnosti k padlí, která začíná u cca dva týdny starých hroznů. Náchylnost je zpočátku vysoká, pak rychle klesne a brzy po poklesu jsou bobule vůči novým infekcím téměř imunní. Tento vzorec platí pro všechny kultivary V. vinifera a je jen mírně upraven pro mezidruhové kombinace a kultivary V. labrusca.

Hustá listová stěna znamená větší rozvoj padlí révy. Naopak management zelených prací pro optimální exponovanost ke slunečnímu záření, cirkulaci vzduchu a pokryvnost aplikovaným postřikem mohou výrazně omezovat rozvoj padlí révy po infekci. Odlistění zóny hroznů může také zlepšovat ochranu k houbovým chorobám, jestliže se využívá ve správný okamžik.

5. Hodnocení růstových poměrů ve vinici jako ukazatele citlivosti k padlí révy

Základními cíli precizního vinohradnictví je použití detailních informací týkajících se biofyzikálních vlastností a stavu vinice, ve vysokém prostorovém rozlišení, jako základ pro management vinice (BRAMLEY, 2010).

Zavádění nových technologií k podpoře managementu vinice může zlepšovat efektivitu ošetřování vinice a kvalitu hroznů, zatímco snižuje negativní dopad na prostředí, díky omezení používání prostředků potřebných k zajištění zdravotního stavu rostlin.

V moderním vinohradnictví je představa precizního vinohradnictví dobře definovaná (ARNO SATORRA a kol., 2009). Multispektrální dálkové snímání dává přesný popis proměnlivosti vinice, díky reakci listové stěny na absorpci světla a projevu odrazu (MATESE a DE GENNARO, 2018).

Jednou z cest k rozlišení existujících rozdílů v chování rostlin, které se nacházejí v rámci stejné vinice nebo v různých vinicích, je použití vegetačních indexů, které se stanovují na základě multispektrálních dat a umožňují identifikovat rozdíly v rámci vinice na různých úrovních (MARTINEZ, GOMEZ-MIGUEL, 2017).

Bujněji rostoucí révové keře mohou být infikované díky vyšší náchylnosti jejich pletiv nebo tvorbě vyššího množství inokula díky většímu počtu napadených listů na zálistcích (CALONNEC a kol., 2009). VALDES-GÓMEZ a kol. (2005) ukázali, že větší rozvoj padlí révy na zálistcích bujně rostoucích révových keřů je klíčový faktor pro vyšší závažnost choroby na listech a bobulích.

Vegetativní a generativní vývoj révy vinné vede ke třem paralelním, ale odlišným epidemiím padlí révy: na listové ploše, na bobulích a na třapínách. Réva vinná má indeterminantní vegetativní růst. Díky tomu jsou na révovém keři současně listy různého stáří. U některých listů se již může projevovat ontogenická rezistence a naopak jiné listy jsou velmi citlivé na napadení padlím révy. Z pohledu ochrany listové plochy révového keře je proto potřeba ochrany poměrně dlouhá (MOYER a kol., 2016).

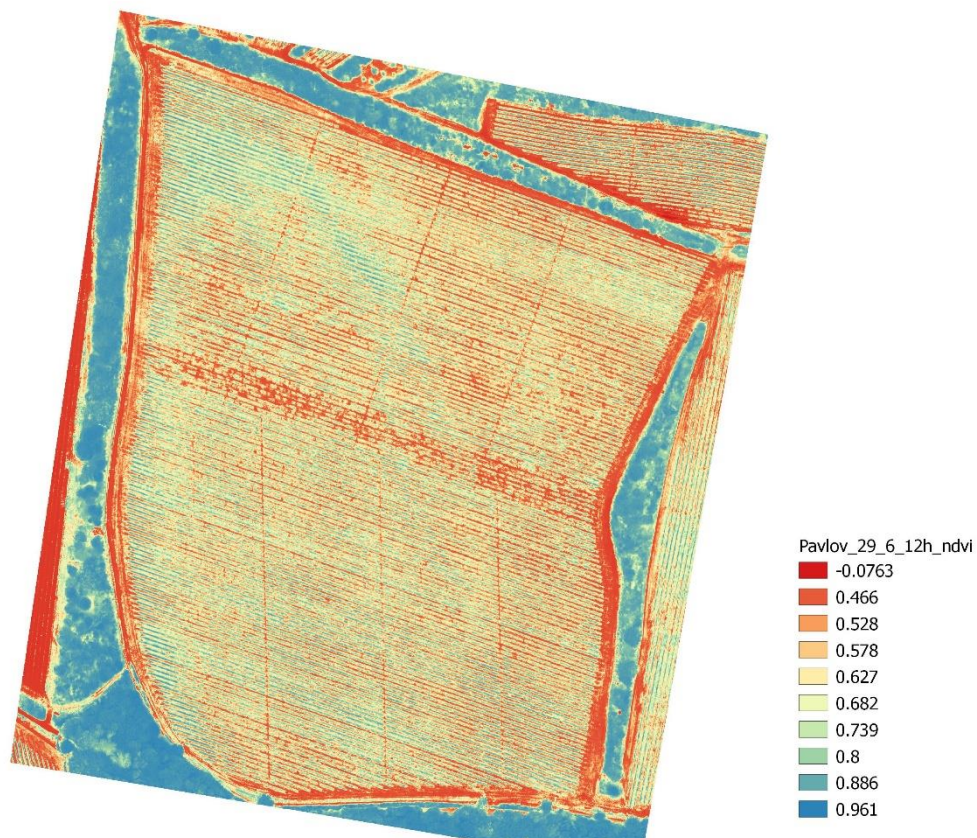
Vegetační indexy, které kombinují spektrální pásma citlivé k hustotě vegetace, jsou všeobecně odvozené z multispektrálního zobrazování za účelem analýzy listové stěny. Mnoho dálkových snímaných vegetačních indexů může být využitelných k popisu fotosyntetické schopnosti vegetace, obvykle označovaných jako fotosynteticky aktivní biomasa (HALL, 2018).

NDVI je velmi obvyklý index, vypočítaný jako standardizované rozdíly mezi viditelným světlem a NIR. Jasně rozdíly v listové stěně potom mohou být identifikované v rámci NDVI snímků (HALL, 2018). NDVI je dobrý ukazatel růstu révy vinné. Poskytuje rychlý a účinný nástroj pro agronomické rozhodování, takové jako je k podmínkám stanoviště přizpůsobený management listové stěny nebo management půdy ve vztahu ke skutečným potřebám révy (MATESE a DI GENNARO, 2018).

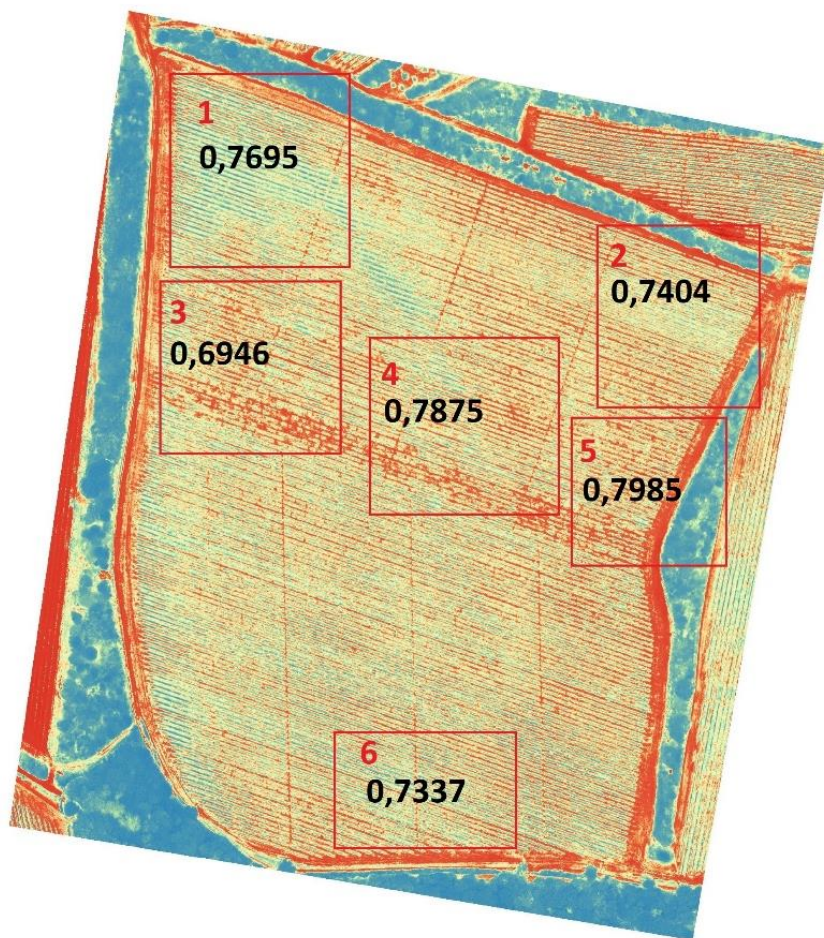
NDVI (normalized difference vegetation index) je možné považovat za ukazatel vegetativního růstu révy vinné a akumulaci zelené biomasy. Hodnoty NDVI se pohybují mezi -1 a $+1$. Hodnoty nižší než 0 se v přírodě vyskytují zřídka (JUNGES a kol., 2017). Mezi několika vegetačními indexy má NDVI významný vztah k tvorbě biomasy u rostlin a fotosyntetické aktivitě (HALL a kol., 2002, 2003). NDVI je dobrým ukazatelem růstu a poskytuje rychlý a účinný nástroj pro agronomické rozhodování, jako je ošetřování listové plochy nebo půdy, specifické ve vztahu k určitému stanovišti a reálným potřebám révy vinné (MATESE a DE GENNARO, 2018). Nižší hodnota NDVI představuje nižší růst a tvorbu biomasy. Vyšší hodnota NDVI představuje vyšší růst a větší tvorbu biomasy.

5.1. Výsledky využití metody na příkladu vinice „Vinařství Pavlov“

Celkový snímek NDVI ve vinici ukazuje rozdíly v hodnotách tohoto indexu v rámci vinice. Variabilní NDVI ukazuje růstové rozdíly ve vinici, respektive rozdíly v tvorbě biomasy. Je zřejmé, že se jedná o tvorbu biomasy v rámci listových stěn, ale také porostu v meziřadí vinice. Vysoká růstová proměnlivost může naznačovat rozdíly v citlivosti k padlí révy.



Obrázek 5.9: Index NDVI v modelové vinici v Pavlově.



Obrázek 5.10: Vyznačení hodnocených částí vinice a hodnota NDVI v listových stěnách révy vinné.

Tabulka ukazuje porovnání NDVI listových stěn a ozelenění v meziřadí v jednotlivých sektorech. Hodnocení ukazuje intenzivnější růst u listových stěn v porovnání s ozeleněním v meziřadí vinice.

Sektor	NDVI – réva	NDVI - meziřadí
1	0,7695	0,5889
2	0,7404	0,5596
3	0,6946	0,5877
4	0,7875	0,5718
5	0,7985	0,5201
6	0,7337	0,5063

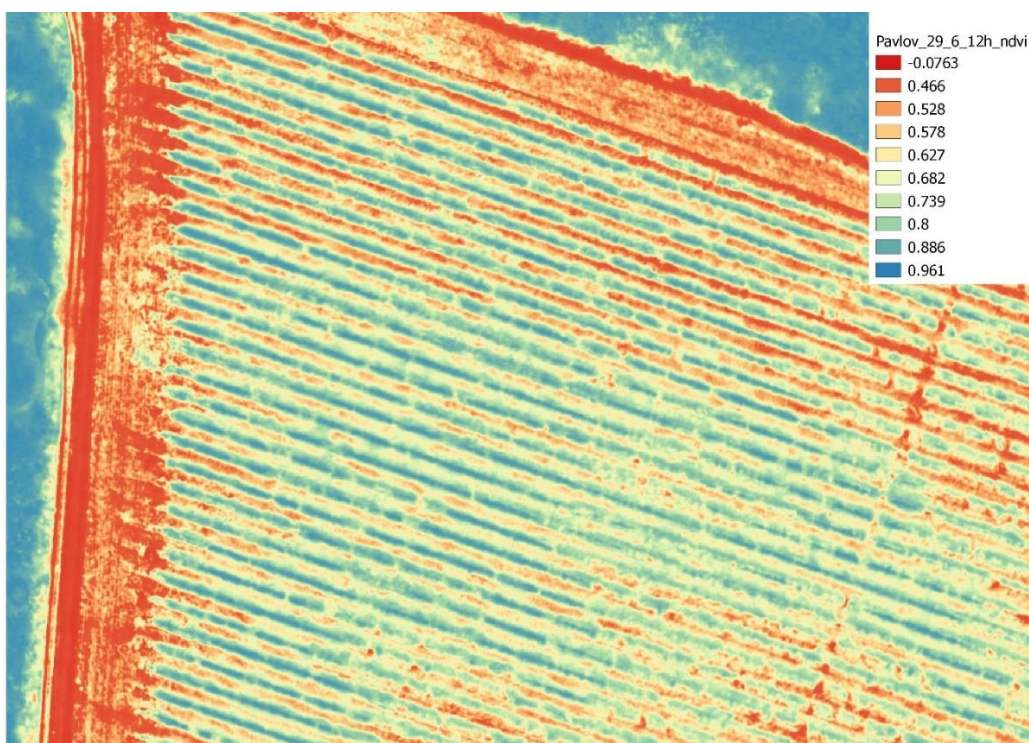
Tabulka 5.2: Průměrné hodnoty NDVI pro listové stěny a vegetaci v meziřadí vinice podle jednotlivých sektorů.



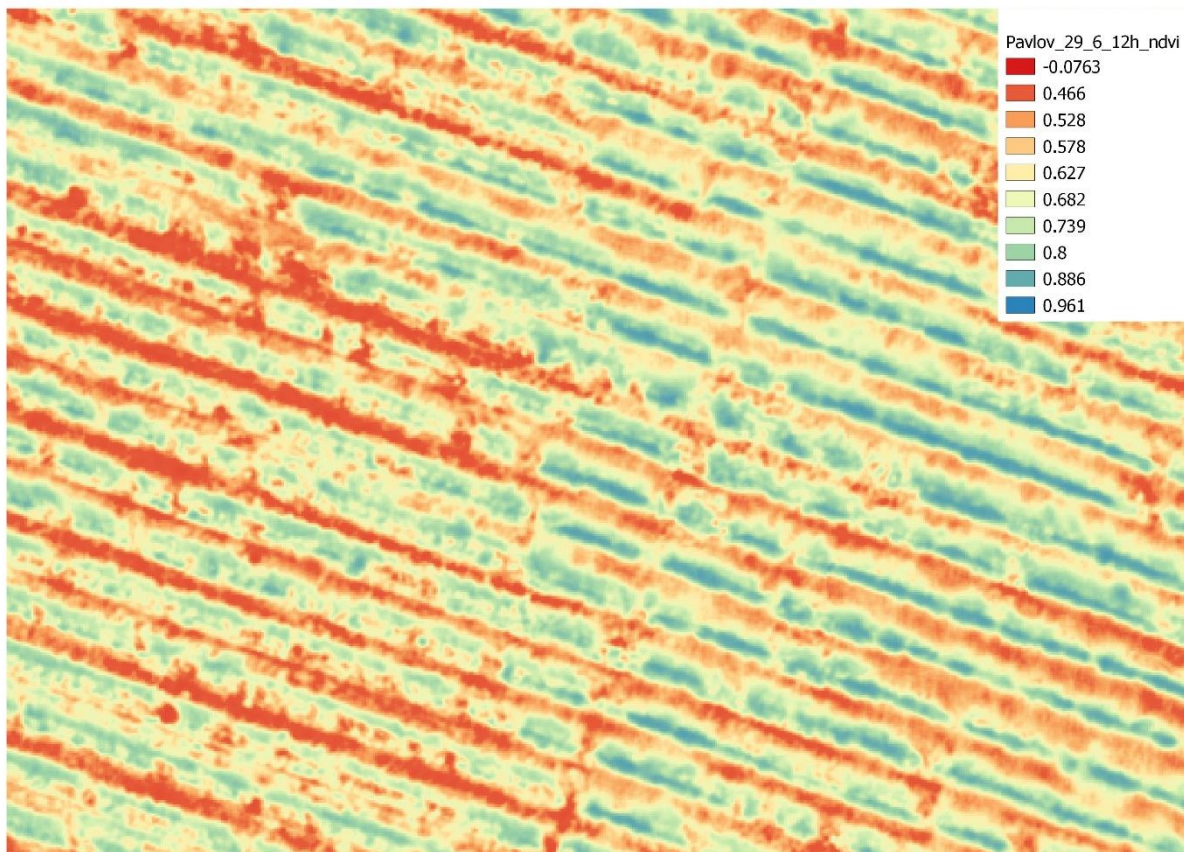
Obrázek 5.11: RGB snímek vinice pořízený 29.6.2022.

Zvýšený výskyt padlí révy se objevoval v **sektorech 1, 2, 5**. Vysoká hodnota NDVI naznačuje bujně rostoucí letorosty a zejména zálistky. V těchto částech vinice je proto možné předpokládat příznivé mikroklima pro rozvoj houbových chorob a zejména takových, které jsou vázané na vysokou vlhkost vzduchu, kam patří padlí révy.

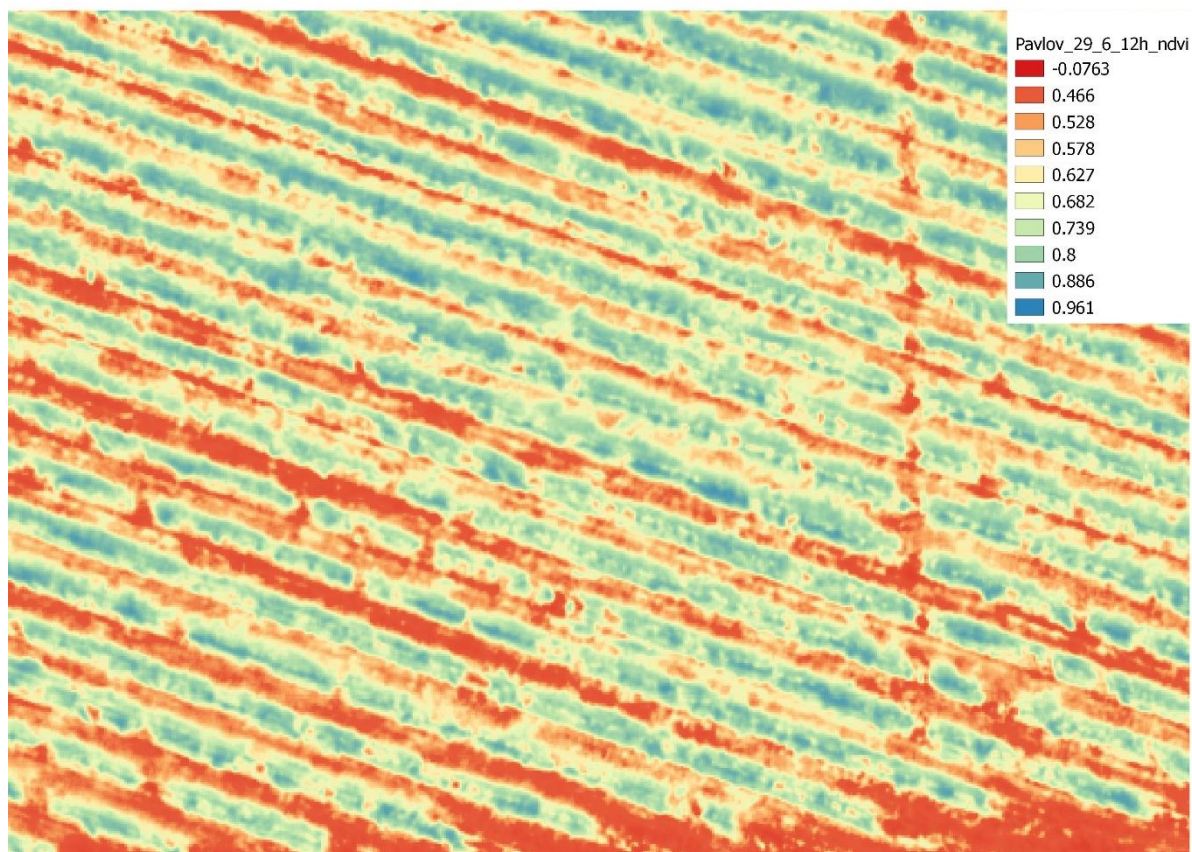
Vysoká evaporace naznačující suché a teplé počasí, je dobrým ukazatelem podmínek, které nejsou optimální pro vývoj padlí révy. Nízká evaporace naznačuje vlhké a chladnější počasí, znamená, že podmínky jsou vysoce příznivé pro rozvoj padlí révy (MOYER a kol., 2011).



Obrázek 5.12: Detail vinice v sektoru 1



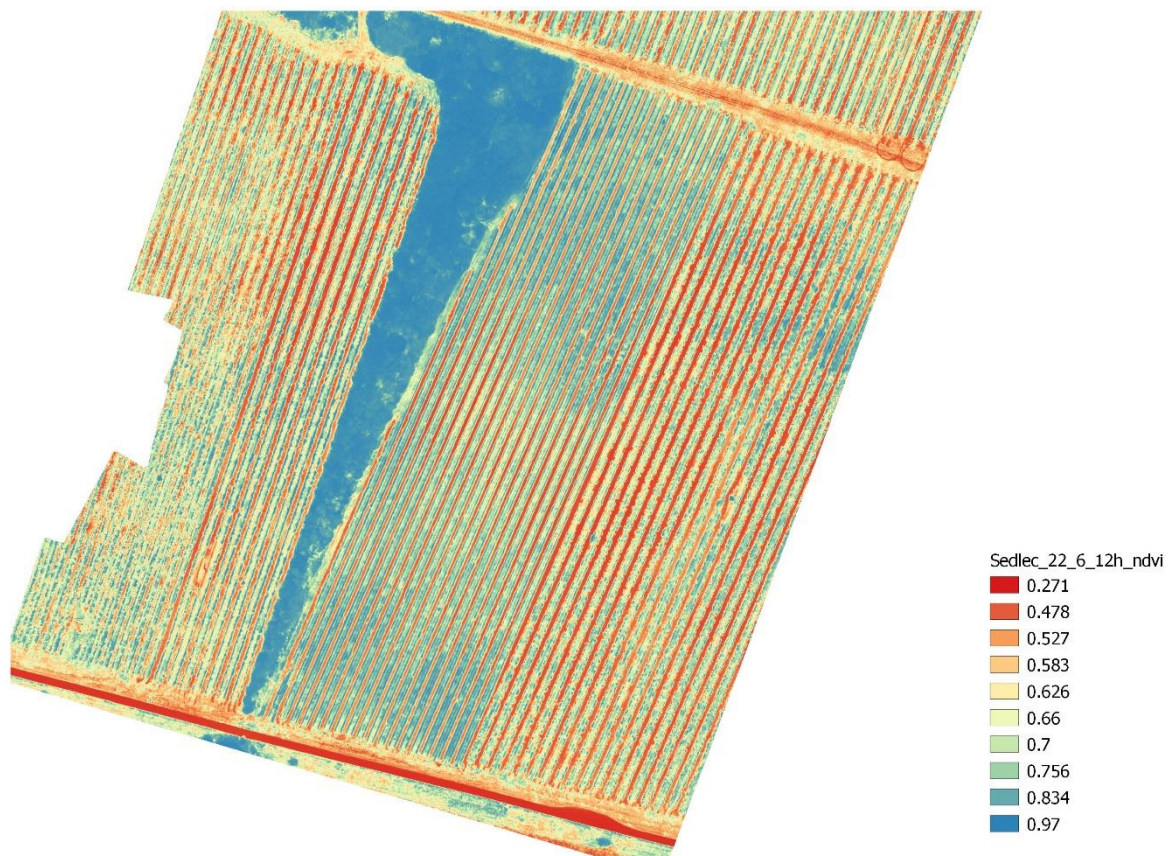
Obrázek 5.13: Detail vinice v sektoru 3



Obrázek 5.14: Detail vinice v sektoru 6.

6. Postup využití metody na příkladu vinice v Sedleci u Mikulova

Krok 1: Pořízení snímku vinice s mapováním NDVI



Obrázek 6.15: Mapování NDVI na celé ploše vinice

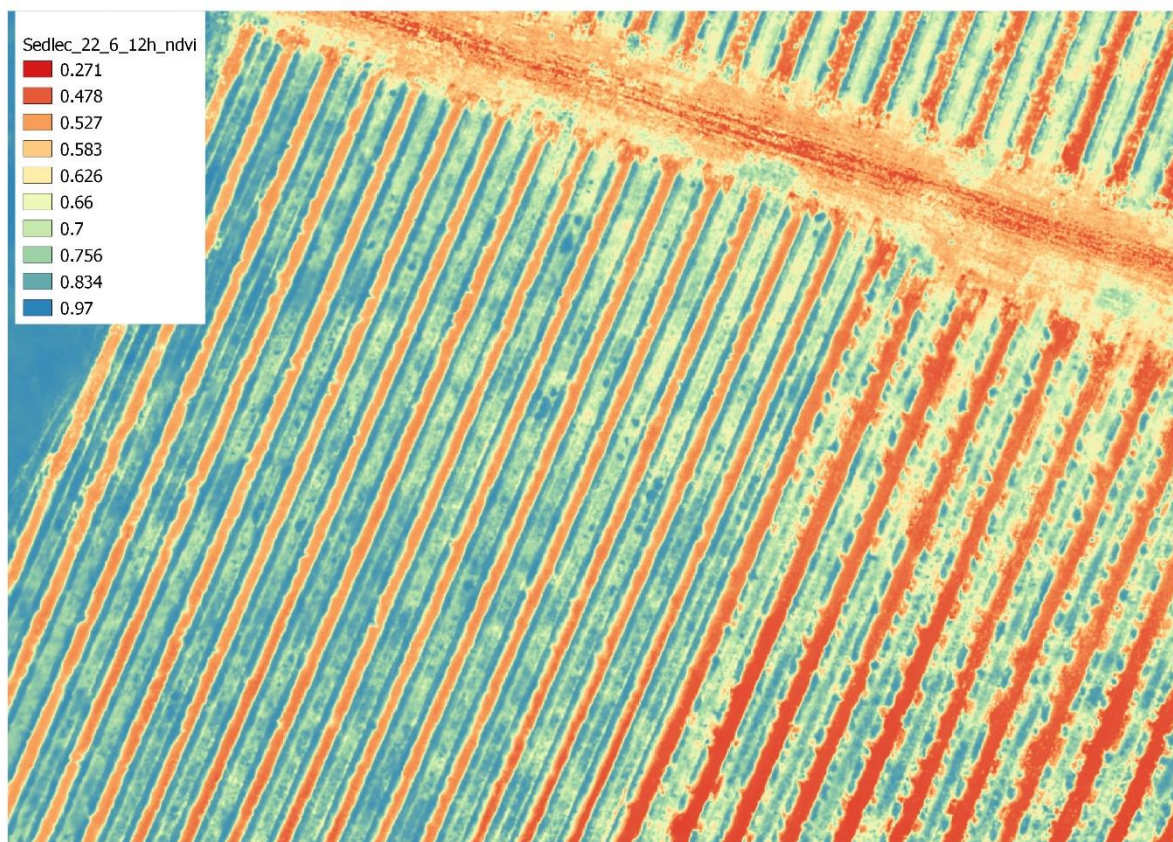
Na základě barevného rozlišení je možné identifikovat, že plocha není růstově homogenní. Rozvoj padlí souvisí s mikroklimatickými podmínkami vinice. Mikroklima určuje nejenom struktura listové stěny, ale také stav vegetace v meziřadí vinice. Velmi příznivé podmínky pro rozvoj padlí révy představují: nekvalitně provedené zelené práce, intenzivní růst ozelenění v meziřadí vinice, intenzivní růst vegetace v příkmenném pásu.

V určitých částech vinice je vidět intenzivní růst biomasy, tzn. mohou zde vznikat příznivé podmínky pro rozvoj padlí révy.

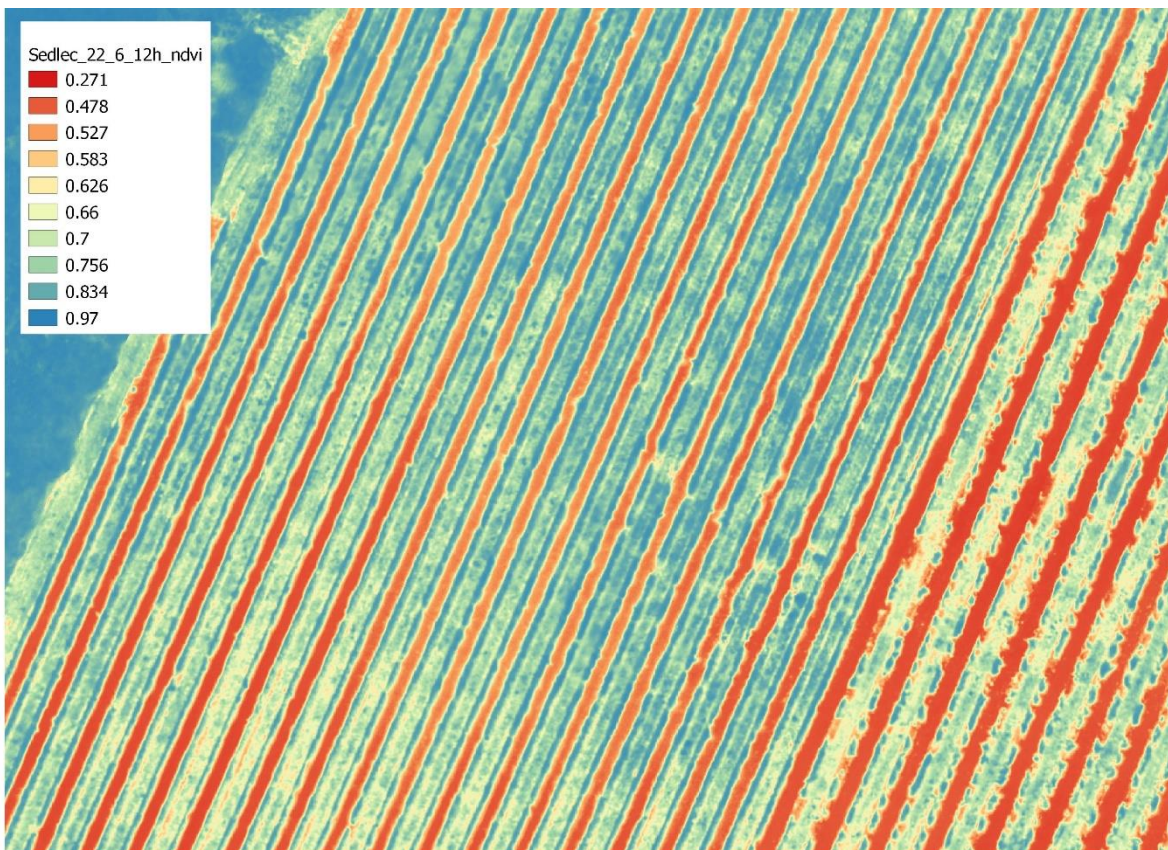
Je proto vhodné jednotlivé části vinice zmapovat podrobněji.

Krok 2: Detailní mapování vinice na základě NDVI

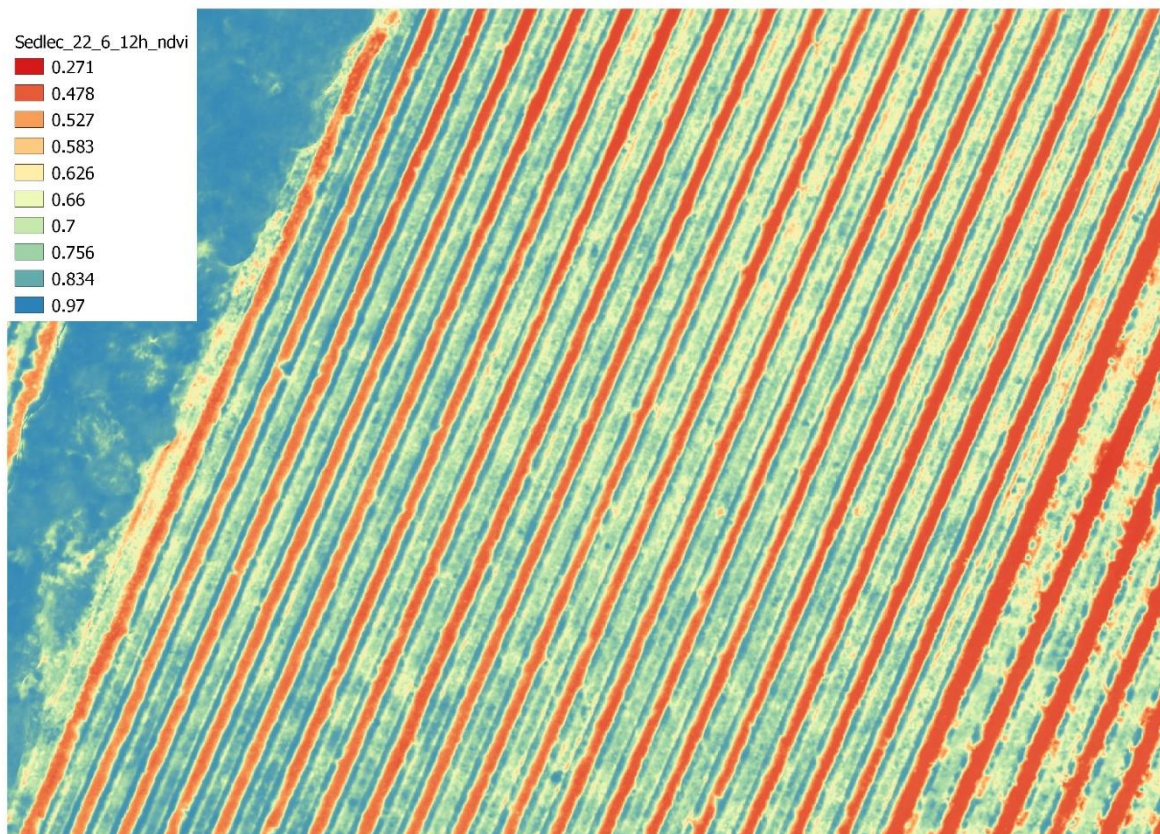
Vinici je třeba rozdělit na několik úseků, které umožní lépe charakterizovat růstové poměry v jednotlivých částech vinice. Každý sektor vinice by měl být také podrobně vyhodnocený, aby bylo možné popsat růstovou proměnlivost vinice.



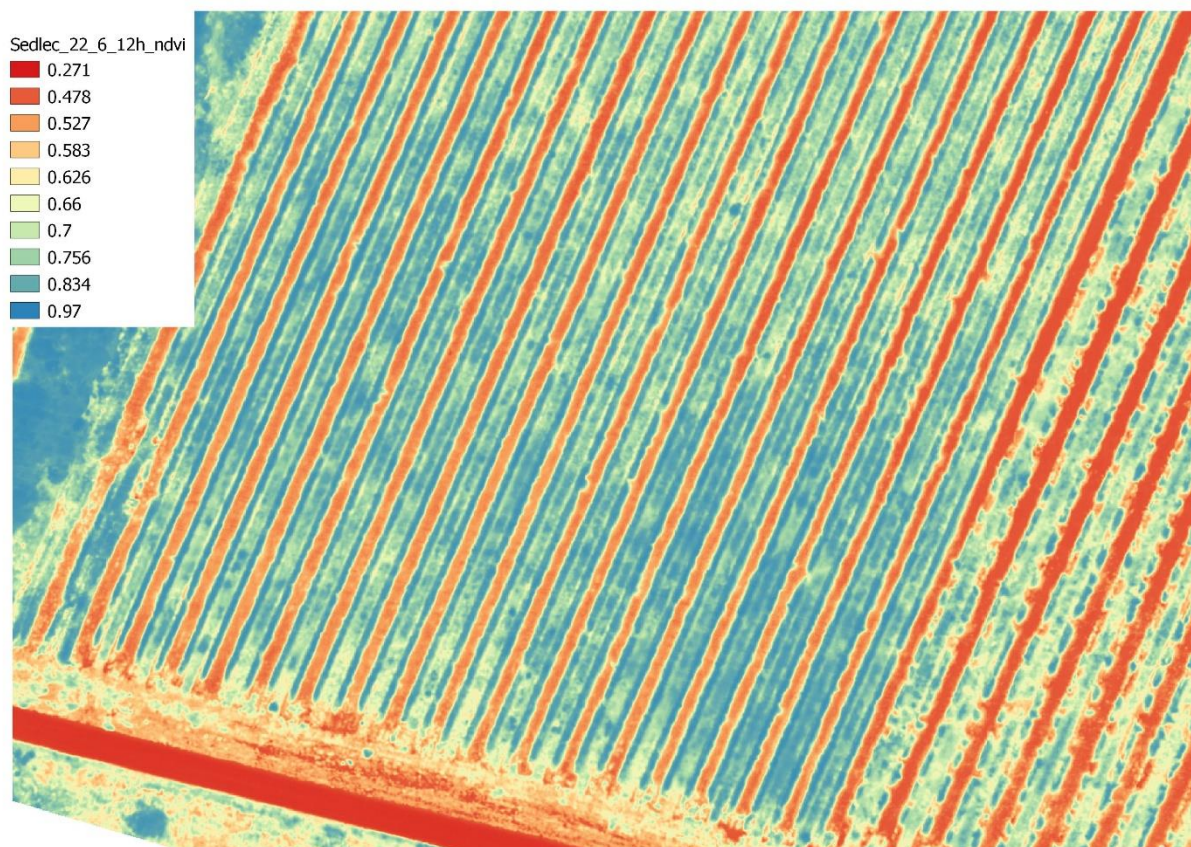
Obrázek 6.16: Mapování NDVI v horní části vinice – SEKTOR 1



Obrázek 6.17: Mapování NDVI ve střední části vinice – SEKTOR 2



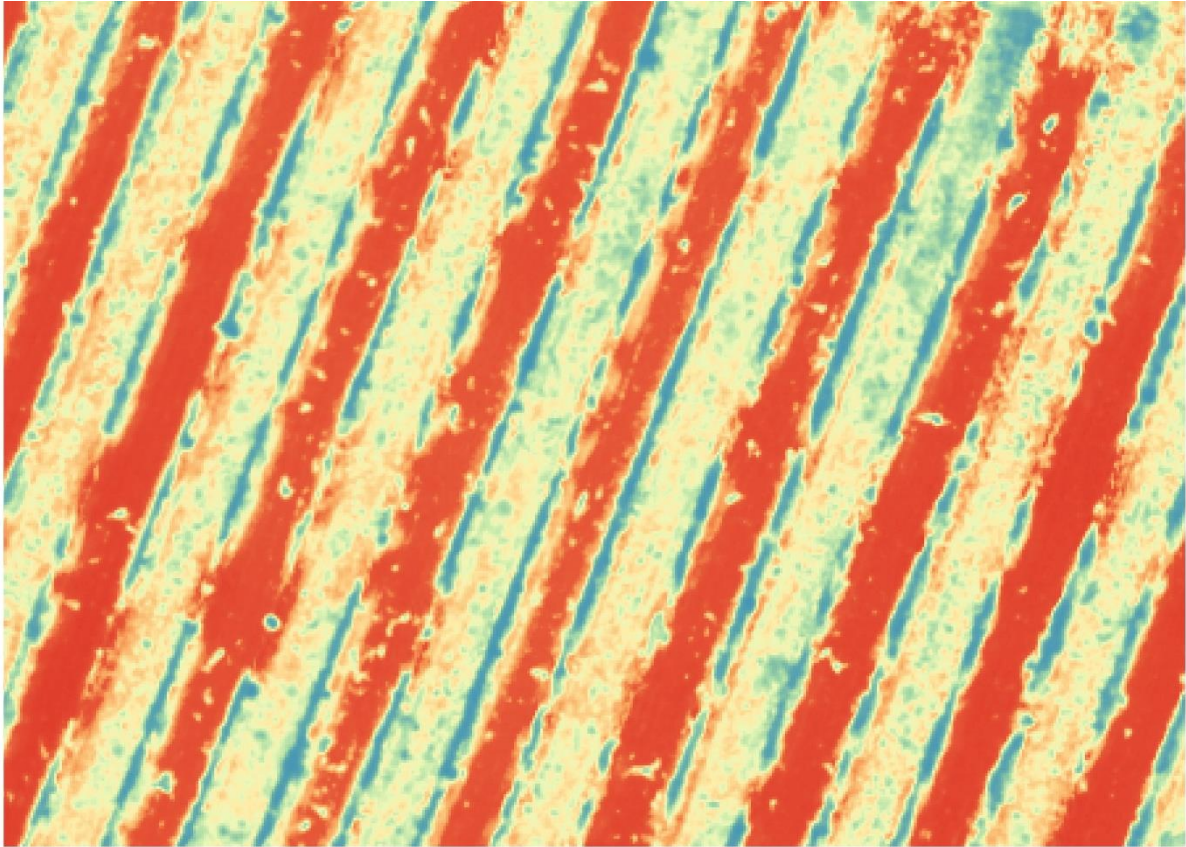
Obrázek 6.18: Mapování NDVI ve střední části vinice – SEKTOR 3



Obrázek 6.19: Mapování NDVI dolní části vinice – SEKTOR 4



Obrázek 6.20: RGB snímek vinice



Obrázek 6.21: NDVI snímek

Při porovnání snímků RGB a NDVI je potřebné rozlišit řady vinice, kultivované meziřadí a trvale ozeleněné meziřadí. Toto rozlišení je zásadní pro interpretaci výsledků.

Jednotlivé sektory vinice je možné porovnat z pohledu indexu NDVI, tzn. růstových poměrů ve vinici. Hodnocení růstových poměrů zahrnuje nejenom listovou plochu vinice, ale také další vegetaci ve vinici, respektive ozelenění v meziřadí vinice. Kombinace listové plochy a další vegetace ve vinici ovlivňuje mikroklima vinice.

Jelikož klíčovým parametrem pro rozvoj padlí révy je vlhkost vzduchu, lze logicky předpokládat, že intenzivněji rostoucí listová stěna a ostatní vegetace ve vinici zvyšují vlhkost vzduchu a tím vytváří příznivé podmínky pro rozvoj padlí révy.

Krok 3: Návrh aplikace ochrany

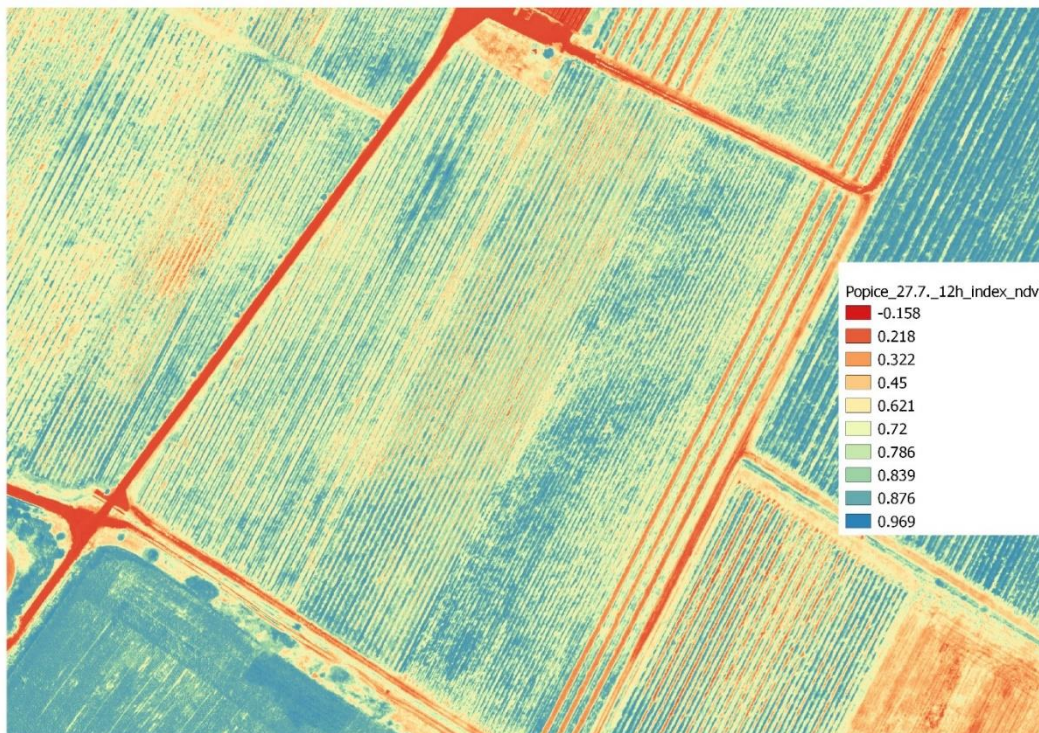
Části vinice s vysokou hodnotou indexu NDVI mohou představovat významné riziko pro rozvoj padlí révy. Ve vinohradnické praxi je všeobecně známá skutečnost, že padlí révy ve vinici se obvykle šíří od „zdrojového místa“, tzn. části vinice, kde jsou extrémně příznivé podmínky pro rozvoj padlí. Takovým částem vinice je třeba věnovat zvýšenou pozornost z pohledu ochrany.

Monitorování intenzity růstu, prostřednictvím indexu NDVI, je důležité především během růstu letorostů a také během zvýšené citlivosti rostlinných pletiv k padlí révy.

Období růstu představuje u révy vinné fenologická stádia mezi rašením (BBCH 9) a zaměkáním bobulí (BBCH 83). I když už během uzavírání hroznů dochází k slabšímu růstu hlavních letorostů, pokračuje stále intenzivní růst zálistků. Zálistky představují z pohledu rozvoje padlí révy extrémní riziko. Jsou totiž stále novou, velmi citlivou listovou plochou ve vinici a masivní

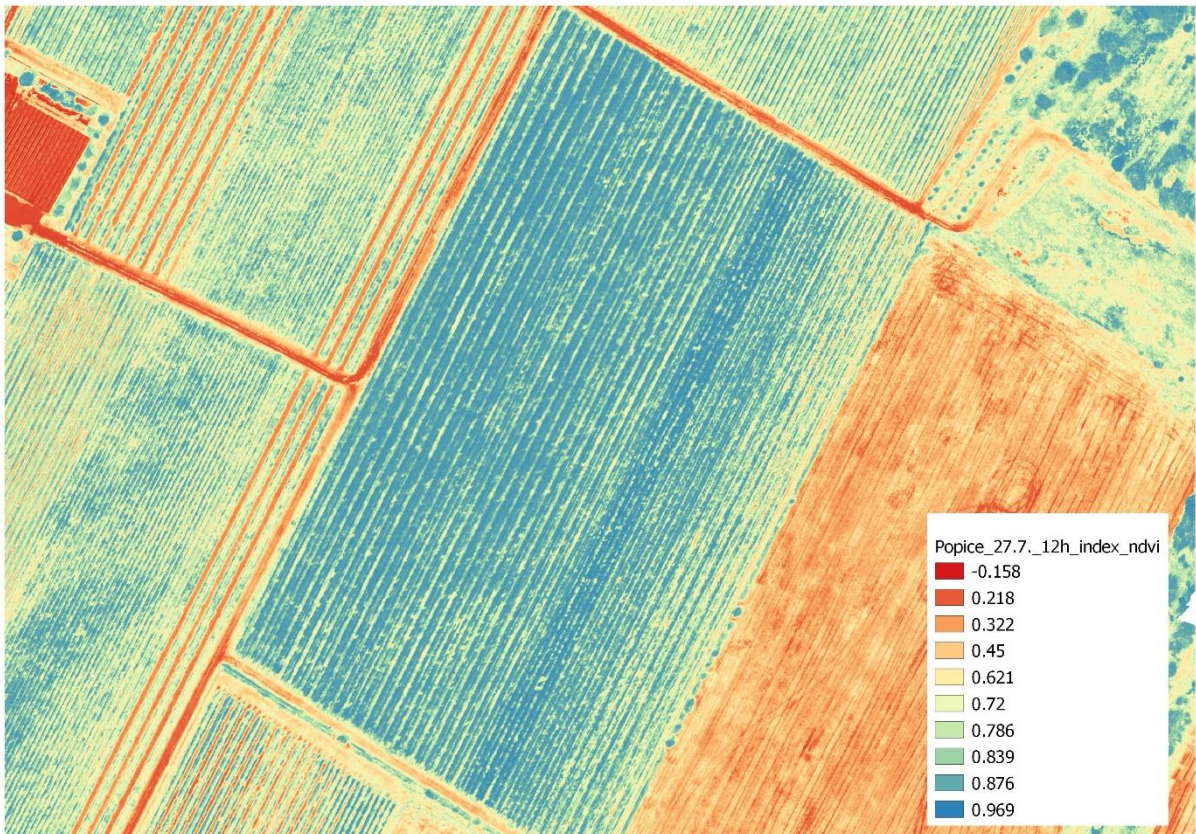
rozvoj choroby ve 2. polovině vegetace může nastávat právě na zálistcích. Hodnocení NDVI a RGB snímování by proto mělo probíhat v tomto období ve 14 denních intervalech.

Podmínky pro rozvoj padlí révy jsou příznivější v růstově heterogenní vinici, kde jsou zdroje s velmi intenzivním růstem, viz. následující obrázek.



Obrázek 6.22: Růstově heterogenní vinice na základě NDVI.

Naopak ochranu proti padlí révy je možné efektivněji provádět v růstově homogenní vinici, kde nejsou patrné růstové rozdíly prostřednictvím hodnocení NDVI. I když i tady mohou existovat příznivé mikroklimatické podmínky, je vývojové stádium révy po celé ploše vinice téměř identické a také citlivost jednotlivých rostlinných pletiv je na stejné úrovni. Ochrana proto může být velmi účinná.



Obrázek 6.23: Růstově homogenní vinice na základě NDVI.

7. Zhodnocení výskytu padlí révy ve vinici na základě RGB snímkování

RGB snímky umožňují identifikaci různých problémů ve vinici přímo na snímcích bez toho, že by bylo potřeba okamžitě procházet celou plochu vinice.

RGB snímek ukazuje vinici v Pavlově, kde bylo v některých částech vinice zaznamenáno silné napadení padlím révy.

RGB senzor je výrazněji cenově dostupný a přístupný nástroj, protože poskytuje obraz většiny morfologických znaků rostliny, jako celý obraz nebo pouze část rostliny. Dále zobrazuje strukturu rostliny, biomasu letorostů, hustotu listů, listovou plochu, výšku a barvu listové plochy (KIM a kol., 2021).



Obrázek 7.24: RGB snímek vinice

Na základě barevného rozlišení je možné rozpoznat části vinice napadené padlím révy. V případě padlí révy bývají zálistky hlavním zdrojem, jestliže je neúčinná prováděná ochrana proti tomuto houbovému patogenu. V případě dobře provedené a účinné ochrany se napadení na zálistcích prakticky nevyskytuje.

Zálistky představují velmi citlivou část listové plochy během celé vegetace. Mohou být proto prakticky napadené i v období zrání hroznů a představovat zdroj infekce pro ostatní listová pletiva, která jsou v tom období citlivá.



Obrázek 7.25: Detailní pohled na část vinice se silným výskytem padlí révy.

Šedé zbarvení na vrcholu listových stěn zcela zřetelně ukazuje napadení zálistků padlím révy. Tímto způsobem je možné dobře identifikovat části vinice napadené padlím révy. Následující obrázek zřetelně naznačuje zdravou část vinice, kde mají zálistky výrazně zelenou barvu.



Obrázek 7.26: Detailní pohled na část vinice bez výskytu padlí révy.

Takto získaný přehled umožňuje posuzovat účinnost ochrany proti padlí révy. Na ploše vinice je možné identifikovat úseky napadené padlím révy. Na základě zhodnocení napadených částí vinice je také možné upravit systém ochrany na další vegetační období.

Prognóza na další vegetační období může vycházet z následujících informací:

- V napadené části vinice se může vyskytovat potenciální zdroj houbového patogenu, pro přezimování do následujícího vegetačního období;
- Volba výběru používaných fungicidů nebo prostředků ekologické ochrany;
- Optimalizace intervalů mezi provedenými ošetřeními;
- Možnost optimálního seřízení a nastavení aplikační techniky.

8. Ekonomika

V současném vinohradnictví je směr precizního vinohradnictví často využívané, zejména díky použití řady metod a technologií vytvořených k zajištění maximalizace enologického potenciálu terroir a optimalizaci agrotechnických zásahů ve vinici. Cílem použití těchto metod je také minimalizace nákladů a environmentální udržitelnost (MATESE a kol., 2018).

Multispektrální dálkové snímkování poskytuje přesný popis proměnlivosti v rámci vinice – prostřednictvím reakcí listové plochy na absorpci světla a odrazu.

Náklady na snímkování (RGB a multispektrální) a náklady na následné zpracování dat k termínu vyhotovení metodiky (tj. 12/2022) jsou následující:

Plocha (ha)	Cena (Kč bez DPH)
1	17 500
1–5	20 000
5–10	22 000
10–15	24 000
15–30	30 000
30–50	36 000

Tabulka 8.3: Náklady na snímkování platné v době vytvoření metodiky

Zhodnocení nákladů na ochranu při využití certifikované metodiky

- **Ochrana révy vinné proti padlí v systému IP – nadstavbové**

Fenofáze	Způsob přímé ochrany
BBCH 13 – BBCH 57	Přípravek na bázi síry – 2 x aplikace
BBCH 61	Systémový fungicid
BBCH 71	Systémový fungicid
BBCH 73- BBCH 81	Systémový fungicid – 2 x aplikace
Od BBCH 83	Ekologický přípravek – 1 až 3 aplikace

Tabulka 8.4: Ochrana révy vinné proti padlí v systému IP

- **Ochrana révy vinné proti padlí s využitím certifikované metodiky**

Fenofáze	Způsob přímé ochrany
BBCH 13 – BBCH 57	Přípravek na bázi síry – 2 x aplikace
BBCH 61	Systémový fungicid
BBCH 71	Systémový fungicid
BBCH 73- BBCH 81	Systémový fungicid Ekologický přípravek
Od BBCH 83	Ekologický přípravek

Tabulka 8.5: Ochrana révy vinné proti padlí s využitím certifikované metodiky

Při porovnání systému přímé ochrany může docházet k následujícím úsporám:

Varianta 1: Dvě aplikace ekologických přípravků

Nebo

Varianta 2:

- Jedna aplikace systémového fungicidu.
- Jedna aplikace ekologického přípravku

Úspora nákladů na ochranu proti padlí révy na hektar:

Varianta	Úspora nákladů (Kč)	Celkem na hektar (Kč)
Varianta 1	600 – 2 500 – ekologická ochrana 1 500 – náklady na aplikaci	2 100 – 4 000
Varianta 2	1 300 – systémový fungicid 600 – 2 500 – ekologická ochrana 1500 – náklady na aplikaci	3 400 – 5 300

Tabulka 8.6: Úspora nákladů na ochranu proti padlí révy na hektar

Při využití metodiky je možná úspora v ochraně proti padlí révy v rozsahu 2 100 – 5 300,- Kč na hektar, jestliže nebude provedená současná aplikace proti plísni révy a v rozmezí 600 – 3 800,- Kč pouze při neprovedeném ošetření přípravky proti padlí révy.

Použitá literatura

AUSTIN, C. N., 2010: Sunlight's influence on grapevine powdery mildew: Direct effects on pathogen development and attendant consequences of canopy management and vineyard variability. PhD Dissertation. Dept. of Plant Pathology and Plant Microbe Biology. New York State Agricultural Experiment Station, Cornell University.

AUSTIN, C.N., WILCOX, W.F., 2010: Heat and UV Radiation from Sunlight Exposure Inhibit Powdery Mildew. Research Focus 2010-2, Appellation Cornell. 6 pp. Cornell University.

AUSTIN, C.N., GROVE, G.G., MEYERS, J.M., WILCOX, W.F., 2011: Powdery mildew severity as a function of canopy density: Associated impacts on sunlight penetration and spray coverage. American journal of enology and viticulture, 62 (1), 23–31.

BONNEFOY, C., QUÉNOL, H., BONNARDOT, V., BARBEAU, G., MADELIN, M., PLANCHON, O., NEETHLING, E., 2013: Temporal and spatial analyses of temperature in a French wine-producing area: the Loire Valley. International Journal of Climatology, 33(8), 1849-1862.

BRAMLEY, R.G.V., 2010: Precision viticulture: managing vineyard variability for improved quality outcomes. In A. G. Reynolds (Ed.), Managing wine quality (pp. 445-479). Woodhead Publishing.

BULIT, J., LAFON, R., 1978: Powdery mildew of the vine. Pages 525–548 in: The Powdery Mildews. D. M. Spencer, ed. Academic Press, New York.

CALONNEX, A., CARTOLARO, P., CHADOEUF, J., 2009: Highlighting features of spatiotemporal spread of powdery mildew epidemics in the vineyard using statistical modeling on field experimental data. Phytopathology, 99(4), 411-422.

CARROLL, J.E., WILCOX, W.F., 2003: Effects of humidity on the development of grapevine powdery mildew. Phytopathology 93:1137-1144.

GADOURY, D.M., SEEM, R.C., MOYER, M., 2012: Climate, Duration of Bloom, and the Window of Risk for Grapevine Diseases. Research News from Cornell's Viticulture and Enology Program Research Focus 2012-3, 6 str.

GÓMEZ.MIGUEL, V., 2011: Terroir. In J. Böhm (Ed.), Atlas das castas da península ibérica: história, terroir, ampelografia (pp. 104-153). Lisboa, Portugal: Dinalivro.

GUBLER, W.D., RADEMACHER, M.R., VASQUEZ, S.J., THOMAS, C.S., 1999: Control of powdery mildew using the UC Davis powdery mildew risk index. APSnet Feature. Published online. The American Phytopathological Society, St. Paul, MN.

HALL, A., LAMB, D.W., HOLZAPFEL, B., LOUIS, J., 2002: Optical remote sensing applications in viticulture - a review. Australian Journal of Grape and Wine Research, 8(1), 36-47.

HALL, A., LOUIS, J., LAMB, D., 2003: Characterising and mapping vineyard canopy using high-spatial-resolution aerial multispectral images. Computers & Geosciences, 29(7), 813-822.

HALL, A., 2018: Remote sensing applications for viticultural terroir analysis. Elements, 14(3), 185-190.

- JARVIS, W., GUBLER, W.D., GROVE, G.G., 2002: Epidemiology of Powdery Mildews in Agricultural Pathosystems. In: Bélanger RR, Bushnell WR, DikAJ, Carver TLW, eds. The Powdery Mildews. A Comprehensive Treatise. St Paul, MN, USA: APS Press, 169–199.
- JUNGES, A.H., FONTANA, D.C., ANZANELLO, R., BREMM, C., 2017: Normalized difference vegetation index obtained by ground-based remote sensing to characterize vine cycle in Rio Grande do Sul, Brazil. *Ciência e Agrotecnologia*, 41(5), 543-553.
- KIM, J., KIM, K.S., KIM, Y., CHUNG, Y.S., 2021: A short review: Comparisons of high-throughput phenotyping methods for detecting drought tolerance. *Scientia Agricola*, 78(4).
- MANE, B.S., KHANDGE, S.V., VARSHNEYA, M.C., NAIDU, T.R., 1996: Role of micro-meteorological parameters on incidence and development of powdery mildew of grapes. *J. Maharashtra Agric. Univ.* 21:445–449.
- MATESE, A., DI GENNARO, S.F., 2018: Practical applications of a multisensor uav platform based on multispectral, thermal and rgb high resolution images in precision viticulture. *Agriculture*, 8(7), 116.
- MOYER, M., GADOURY, D., SEEM, R., 2011: Variable Eastern Weather Influences. *Research News from Cornell's Viticulture and Enology Program Research Focus 2011-2*, 6 str.
- MOYER, M., GADOURY, D.M., WILCOX, W.F., SEEM, R.C., 2016: Weather during critical epidemiological periods and subsequent severity of powdery mildew on grape berries. *Plant disease*, 100(1), 116-124.
- MUŠKA, F., ROŽNOVSKÝ, J., PAVLOUŠEK, P., MUŠKA, A., 2022: Dynamika hospodářsky významných výskytů padlí réвовého (*Erysiphe necator*) na révě vinné (*Vitis vinifera*) v České republice v od konce 19. století do roku 2020, dosud nepublikované výsledky.
- PEDUTO, F., BACKUP, P., HAND, E.K., JANOUSEK, C.N., GUBLER, W.D., 2013: Effect of high temperature and exposure time on *Erysiphe necator* growth and reproduction: revisions to the UC Davis Powdery Mildew Risk Index. *Plant disease*, 97(11), 1438-1447.
- SATORRA, A., MARTÍNEZ CASASNOVAS, J.A., RIBES DASI, M., ROSELL POLO, J.R., 2009: Precision viticulture. Research topics, challenges and opportunities in site-specific vineyard management. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2009, vol. 7, núm. 4, p. 779-790.
- VALDÉS-GÓMEZ, H., CELETTE, F., FERMAUD, M., CARTOLARO, P., CLERJEAU, M., GARY, C., 2005: How to evaluate the influence of vigour on vine sensitivity to cryptogamic diseases?. In *GESCO 2005, XVI. Congrès International de Viticulture*.
- VAN LEEUWEN, C., ROBY, J.P., PERNET, D., BOIS, B., 2010: Methodology of soil-based zoning for viticultural terroirs. *Bulletin de l'OIV*, 83(947), 13-29.
- WILCOX, W.F., 2011: Integrating knowledge of disease biology, crop management, and fungicide characteristics to reduce sprays on grapevines. In *XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): Colloquia and Overview 916* (pp. 141-150).

Název: Metodika – Metoda monitoringu účinnosti ochrany proti padlí révy bezpilotními prostředky
Autoři: prof. Ing. Pavel Pavloušek, Ph.D., Mgr. Simon Matěj, Ing. Jiří Kubík, Ph.D.
Vydavatel: Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 61300 Brno
Vydání: první, 2022

ISBN 978-80-7509-897-9

DOI: <https://doi.org/10.11118/978-80-7509-897-9>