

METODIKA

**Metoda prognózy
padlí révy ve vinicích
prostřednictvím
teplotního
monitoringu
bezpilotními
prostředky**

Autoři metodiky:

prof. Ing. Pavel Pavloušek, Ph.D.

Ing. František Muška, Ph.D.

Mgr. Simon Matěj

Ing. Jiří Kubík, Ph.D.

T A
Č R

Tato metodika „Metoda prognózy padlí révy ve vinicích prostřednictvím teplotního monitoringu bezpilotními prostředky“ byla vytvořena se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu na podporu aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje EPSILON.

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

Metoda prognózy padlí révy ve vinicích prostřednictvím teplotního monitoringu bezpilotními prostředky

CERTIFIKOVANÁ METODIKA

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

ISBN 978-80-7509-892-4

DOI: <https://doi.org/10.11118/978-80-7509-892-4>



Publikace „Metoda prognózy padlí révy ve vinicích prostřednictvím
teplotního monitoringu bezpilotními prostředky“ podléhá
licenci CC BY-NC-ND 4.0

Obsah:

ÚVOD	1
1. ZÁKLADNÍ PŘÍZNAKY PADLÍ RÉVY	2
1.1. VRCHOLKY LETOROSTŮ	2
1.2. LISTY A ZÁLISTKY	2
1.3. KVĚTENSTVÍ A BOBULE	3
1.4. LETOROSTY	4
2. METODA PROGNÓZY PADLÍ RÉVY S VYUŽITÍM RELATIVNÍ VLHKOSTI VZDUCHU V LISTOVÉ STĚŽE RÉVY VINNÉ	5
2.1. MODELOVÝ PŘÍKLAD PROGNÓZY PADLÍ RÉVY S VYUŽITÍM RELATIVNÍ VLHKOSTI VZDUCHU	6
3. METODA PROGNÓZY PADLÍ RÉVY VE VINICÍCH PROSTŘEDNICTVÍM TEPLOTNÍHO MONITORINGU BEZPILOTNÍMI PROSTŘEDKY	11
3.1. TEPLOTNÍ ZHODNOCENÍ POROSTU VINICE POMOCÍ DÁLKOVÉHO SNÍMKOVÁNÍ	12
3.2. KORELAČNÍ ZÁVISLOSTI MEZI TEPLOTOU A RELATIVNÍ VLHKOSTÍ VZDUCHU	16
3.2.1. KORELAČNÍ GRAFY PODLE JEDNOTLIVÝCH SEKTORŮ VINICE	17
3.2.2. KORELAČNÍ VZTAHY MEZI TEPLOTNÍM SNÍMKOVÁNÍM A KLIMATICKÝMI PARAMETRY V POROSTU VINICE	19
4. EKONOMIKA	20
POUŽITÁ LITERATURA:	23

Úvod

Prognostické modely mohou být použitelné pro předpověď rozvoje a proměnlivosti houbové choroby. Révový keř je však charakteristický vysokým stupněm prostorové struktury na úrovni révového keře a také celé vinice. Časově-prostorové přístupy se zdají být využitelné pro výzkumy chorob iniciovaných v jednotlivých částech vinice a šířících se na rostliny pěstované v řadách, v rámci omezené prostorové struktury (PARK a kol., 2001).

Metody precizního vinohradnictví jsou proto velmi vhodné pro hodnocení prostorové a časové proměnlivosti klimatických podmínek ve vinici a podrobnou růstovou a vývojovou charakteristiku vinice.

Prostorová proměnlivost podnebí na místní úrovni může být velmi důležitá a v některých případech i významnější než proměnlivost z pohledu makroklimatického. Proměnlivost lokálního podnebí je ovlivněná reliéfem, infrastrukturou, okolní vegetací nebo vodními plochami (QUÉNOL, 2014).

Vysoká proměnlivost místní teploty závisí také na různém přenosu energie mezi atmosférou a povrchem, což charakterizuje energetickou rovnováhu. Ta je poměrem mezi příjmem a ztrátou energií, které určují teplotu vzduchu. Energetická rovnováha je výrazně určovaná vlastnostmi povrchu a atmosférickými podmínkami jako jsou sluneční záření, oblačnost a proudění vzduchu. Prostorová proměnlivost teploty je vyšší v anticyklonálním průběhu počasí, jako je klidná a jasná obloha než v podmínkách nízkého tlaku vzduchu, kdy je zatažená obloha a vítr. Oblačnost a vítr mají homogenizující vliv na teploty, které omezují vliv topografie terénu na prostorové rozdělení teplot (GUYOT, 1997).

Z těchto důvodů je důležité charakterizovat klimatické podmínky na místní úrovni v rámci vinařské oblasti až na úrovni vinice. Přesná znalost rozdělení teploty ve vysokém prostorovém rozlišení umožňuje pěstitelům optimalizovat agrotechnické zásahy a výběr odrůd podle místních podmínek. Tento problém se stává více strategický v kontextu globálního oteplování, kdy vinohradník potřebuje mít možnost adaptovat se na prostorovou proměnlivost teploty a její vývoj v čase (DE RESSÉGUIER a kol., 2020).

Mikroklima proto představuje podmínky prostředí na úrovni jednotlivých rostlin. Za mikroklima z vinohradnického pohledu je považovaný průběh klimatických parametrů přímo ve vinici a v listových stěnách.

Révový keř je charakteristický vysokým stupněm prostorové struktury na úrovni révového keře a také celé vinice. Architektura révového keře je jeden z hlavních faktorů, který určuje mikroklima révového keře: prostorové uspořádání listů, listové plochy a expozice hroznů.

Původce padlí révy, *Erysiphe necator*, je obligátní ektotrofní parazit, jehož vývoj probíhá na povrchu rostlinných pletiv. Padlí révy je polycyklická choroba, tzn. během vegetace probíhají opakovaně vývojové cykly. Patogen může přezimovat dvěma způsoby: přezimující mycelium mezi šupinami zimních oček nebo plodnice (kleistotecia) na povrchu a v prasklinách kůry nebo na opadlých listech.

Teplota a relativní vlhkost jsou jako proměnné v úzkém vztahu. Teplota je komplexní parametr a je vysoce proměnlivá v čase a prostoru a ovlivňuje následně biologické systémy. Teploty vyšší než teploty prostředí, zaznamenávané na úrovni listových stěn existují díky skutečnosti, že listová stěna funguje jako ohraničený prostor a podle SMART a ROBINSON (1991) v nepřítomnosti proudění vzduchu se vnitřní teplota listové stěny zvyšuje více než teplota okolního prostředí.

AUSTIN a WILCOX (2010) naznačují, že pěstitelé mohou výrazně zlepšit management ochrany proti houbovým chorobám díky použití vhodného způsobu zelených prací zaměřených na optimalizaci 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.

1. Základní příznaky padlí révy

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

1.1. Vrcholky letorostů

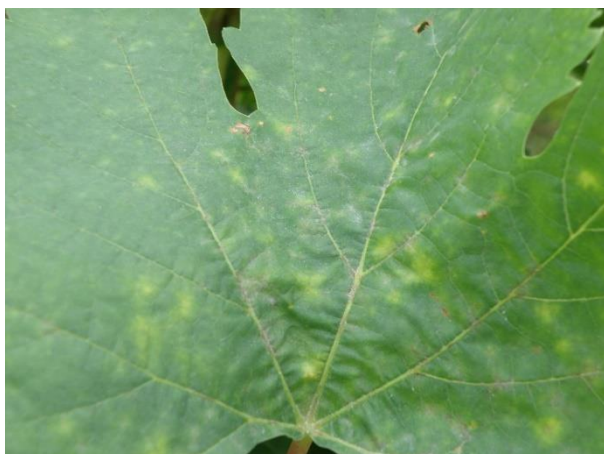
První viditelné příznaky je možné pozorovat již brzy po rašení révy. Jedná se o bělavoséde povlaky na listech a vrcholcích letorostů. Označují se termínem „ukazovací výhony“. Objevují se obvykle ve stádiu 3-6 listů. Vyrůstají přímo z infikovaných oček a jsou zdrojem infekce. Neobjevují se pravidelně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

1.2. 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. Napadená 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 1.1: Nažloutlé skvrny mohou představovat první příznak napadení listů padlím révy



Obrázek 1.2: Dobře rozpoznatelný rozvoj padlí révy, při pohledu na list z profilu



Obrázek 1.3: Pokročilý rozvoj padlí révy



Obrázek 1.4: Silné napadení listů padlím révy, během zrání hroznů

1.3. Květenství a bobule

Na napadení padlím révy jsou výrazně citlivé květenství i malé bobule. Bobule jsou pokryté našedlým 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 dříve, 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 1.5: První příznaky padlí na bobulích



Obrázek 1.6: Výrazné poškození hroznů s praskáním bobulí

1.4. 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.

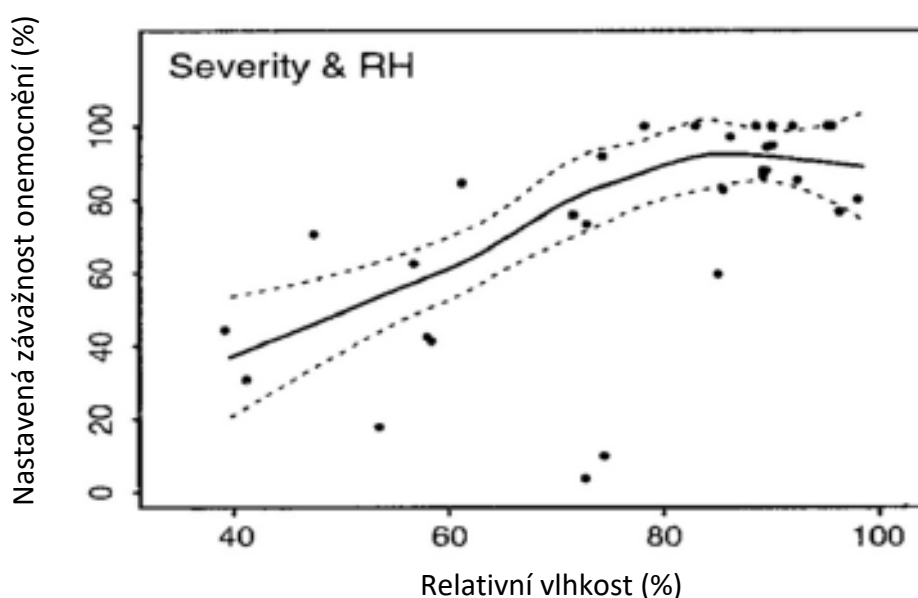


Obrázek 1.7: Poškození letorostů padlím révy

2. Metoda prognózy padlí révy s využitím relativní vlhkosti vzduchu v listové stěně révy vinné

V současnosti používané prognostické modely padlí révy jsou založené na využívání teploty a srážek. Z pohledu rozvoje padlí révy však má zcela zásadní vliv relativní vlhkost vzduchu. Padlí révy je unikátně ovlivňované relativní vlhkostí vzduchu, protože houba čerpá vodu ze vzdušných par a ultrafialového záření (WILCOX, 2017).

WILCOX (2017) uvádí, že Julie Carroll ve svém výzkumu ukázala, že relativní vlhkost vzduchu má hlavní vliv na rozvoj padlí révy. Následující obrázek ukazuje u Ryzlinku rýnského, že procento inokulovaných listů pokrytých padlím révy bylo více než dvojnásobné, když byla relativní vlhkost vzduchu 80 %, v porovnání s relativní vlhkostí vzduchu ve výši 40 %.



Tabulka 2.1: Vliv relativní vlhkosti na závažnost padlí révy (% nemocné listové plochy) na keře Ryzlinku rýnského inkubované při různých konstantních hladinách relativní vlhkosti po vystavení spórám houby padlí révy. Prostřední černá čára představuje statisticky odhadnutý průměr, tečkované čáry představují vypočtený 95 % interval spolehlivosti (statistické rozmezí).

Relativní vlhkost vzduchu má proto zásadní 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 %. Při vyšších vlhkostech vzduchu se potom zastavuje nebo klesá. 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 z listů nebo bobulí omývat mycelium.

Příznivé období pro rozvoj infekce může nastat také po deštích, když jsou průměrné teploty, zatažené počasí a vysoká vlhkost vzduchu (WILCOX a kol., 2015).

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 podporuje rozvoj choroby.

Bujně rostoucí keře jsou k infekci citlivější díky vyššímu sklonu jejich pletiv nebo díky tvorbě většího množství inokula a většímu rozvoji choroby na zálistkových listech. VALDES a kol., 2005, 2007 ukázali, že větší rozvoj zálistkových listů na bujně rostoucích keřích je klíčový faktor k vyšší závažnosti onemocnění na listech a bobulích.

Teplota není zcela spolehlivý ukazatel rozvoje padlí révy, protože ve většině letních období roku jsou teploty pro rozvoj padlí révy v optimální zóně (MOYER a kol., 2011).

Z pohledu prognózy padlí révy je velmi důležité pracovat s citlivostí rostlinných pletiv v závislosti na fenologických stádiích.

STARK-URNAU a KAST (1999) a GADOURY a kol. (2003) naznačují, že vyvíjející se hrozny jsou vysoce citlivé k infekcím mezi jedním týdnem před oplozením a stádiem, kdy jsou bobule ve velikosti 2 mm. Při používání přípravků na ochranu rostlin je proto dobré využívat znalosti související s dynamikou citlivosti bobulí k infekci.

Ošetření během období citlivosti mezi BBCH 55 (květenství se zvětšuje, jednotlivé kvítky jsou dosud hustě nahloučeny) a BBCH 73 (bobule velikosti broku, hrozny se začínají stáčet dolů) by z pohledu ochrany proti rozvoji padlí révy na hroznech měla být dostatečná z pohledu omezení rozvoje infekce.

Z pohledu ochrany a zhodnocení rozvoje onemocnění je důležité hodnocení příznaků na rostlinných pletivech. V případě padlí révy však může být identifikace velmi obtížná. Dříve než se příznaky padlí révy stávají viditelné pouhým okem, může proběhnout několik rozmnožovacích cyklů houbového patogenu. Díky tomuto zpoždění je obtížné určit přesný termín, kdy dojde k infekci (KAST a BLEYER, 2011). Příznaky padlí révy mohou být obtížně zjistitelné v prvních 30-40 dnech po začátku epidemie (3-4 generace patogenu). Poškození bobulí při sklizni závisí na raném rozvoji choroby na listech citlivých odrůd. Listy jsou napadené jako první a mohou představovat významný zdroj infekce pro napadení hroznů později ve vegetačním období. (CALONNEC a kol., 2006, PEYRARD a kol. 2005).

Přímá ochrana proti padlí révy proto nemůže být založená na projevu příznaků choroby. Ochrana musí být založená především na prognóze choroby ve vztahu k mikroklimatickým podmínkám, které umožňují stanovit příznivé podmínky pro rozvoj padlí révy na úrovni vinice.

2.1. Modelový příklad prognózy padlí révy s využitím relativní vlhkosti vzduchu

Teplota a relativní vlhkost vzduchu má velmi úzký vztah ke stanovišti. Uspořádání listové stěny má tendenci měnit mikroklima uvnitř olíštění, zejména z pohledu působení slunečního záření (MATESE a kol., 2014), čímž dochází k ovlivnění teploty rostlinných pletiv a také vlhkosti v porostu.

Nízká intenzita slunečního záření uvnitř listové stěny přispívá k udržování vysoké vlhkosti vzduchu uvnitř listové stěny a potenciálně se zvyšuje riziko napadení houbovými chorobami (MATESE a kol., 2014).

MATESE a kol. (2014) uvádí, že vliv relativní vlhkosti vzduchu na napadení chorobami byl vyhodnocen na základě určitého počtu hodin s vysokou relativní vlhkostí vzduchu. Příslušný „disease risk index“ byl vypočítán jako procento hodin, ve kterých relativní vlhkost vzduchu překročila prahovou hodnotu 90 % pro každý den. Tato prahová hodnota byla vybrána jako významná hodnota, protože se všeobecně uvádí, že vysoká relativní vlhkost vzduchu hraje hlavní úlohu v rozvoji houbových chorob. NICOLAS a kol. (2011) zjistili, že mikroklima listové plochy je proměnlivé také v rámci jedné vinice.

Jako modelová byla využita vinice společnosti Víno Blatel, a.s. v Blatnici pod Svatým Antonínkem. Viniční trať „Plachty“ se nachází v katastrálním území Uherského Ostrohu. Na pokusné ploše je vysazena odrůda Merlot. „Plachty“ je historicky známá trať, kde měl svoji vinic i Jan Ámos Komenský. Jedná se o jihozápadní svah na úbočí Bílých Karpat. Půda je hluboká, vododržná, černozem s jílovitou vrstvou v podloží.



Obrázek 2.8: Viniční trať „Plachty“

Ve vinici byly ve čtyřech sektorech rozmístěny datalogery pro hodnocení mikroklimatických dat. Mikroklimatická data – teplota a relativní vlhkost byla registrovaná pomocí datalogeru AMET. Datalogery byly umístěné uvnitř listových stěn ve výšce přibližně 1,2 m. Teplota a relativní vlhkost byly monitorované v 15minutových intervalech.



Obrázek 2.9: Rozmístění datalogerů v pokusné vinici.

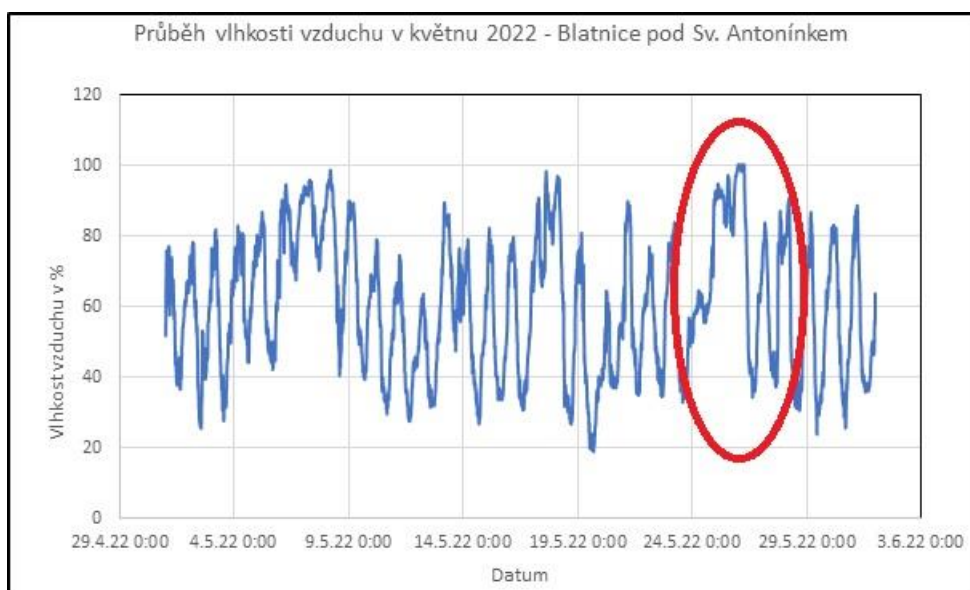
Jako kontrolní byla použita metoda prognózy houbových chorob révy podle Ing. Antonína Mušky, zpracovaná Ing. Františkem Muškou, Ph.D. V tabulce jsou vyznačené týdny s předpokládaným tlakem padlí révy a týdny bez rizika infekčního tlaku padlí révy.

Datum	Padlí révy (<i>Erysiphe necator</i>)
15.5.2022	X
22.5.2022	+
29.5.2022	+
5.6.2022	X
12.6.2022	X
19.6.2022	X
26.6.2022	+
3.7.2022	X
10.7.2022	X
17.7.2022	X
24.7.2022	+
31.7.2022	X
7.8.2022	X
14.8.2022	+
21.8.2022	X
28.8.2022	X

X – není předpokládán tlak padlí révy.
+ - nastal předpokládán tlak padlí révy

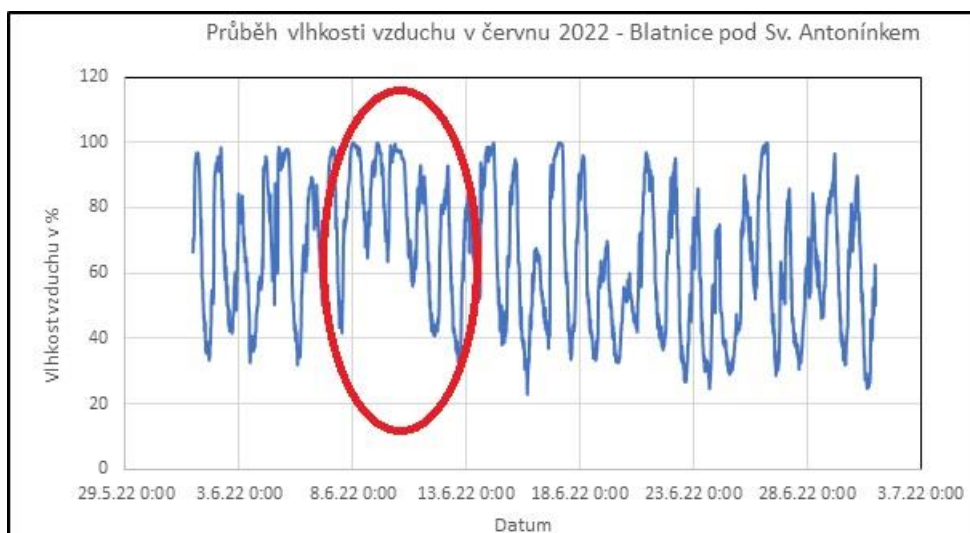
Tabulka 2.2: Prognóza padlí révy pro lokalitu Blatnice pod Svatým Antonínkem podle metody Ing. Antonína Mušky. Srážková data pochází z automatické meteostanice na hranici pokusné vinice

Prognóza padlí révy na základě relativní vlhkosti vzduchu v listových stěnách vinice:



Obrázek 2.10: Průběh vlhkosti vzduchu ve vinici – květen 2022

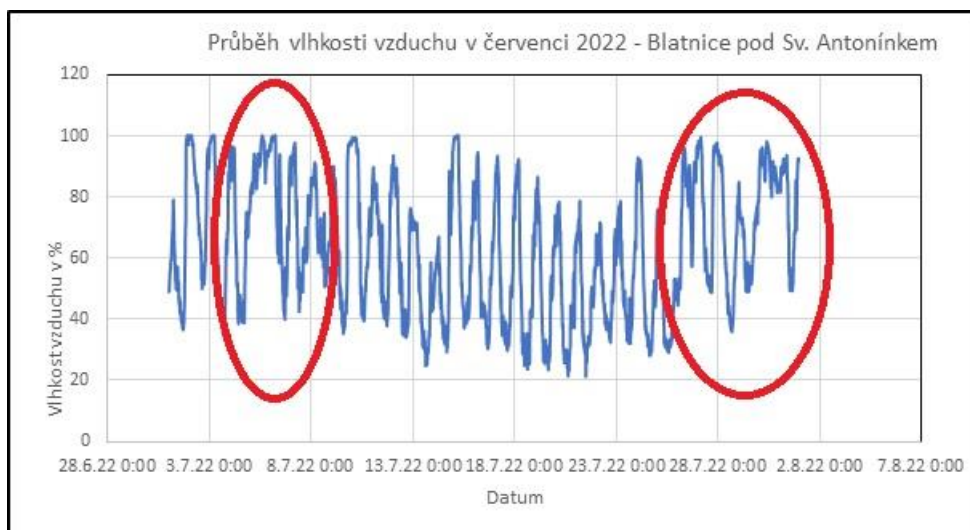
Od 24.5. 2022 se ve vinici projevují příznivé vlhkostní podmínky pro rozvoj padlí révy, kdy byla vlhkost vzduchu po dobu několika dnů vyšší než 60 %. Termín se shoduje také s prognózou Ing. Mušky.



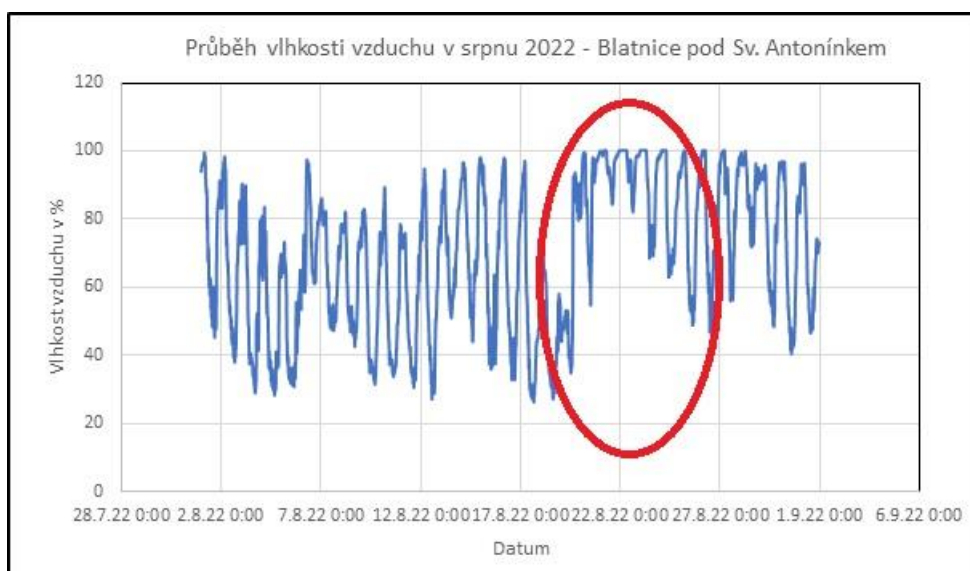
Obrázek 2.11: Průběh vlhkosti vzduchu ve vinici – červen 2022

Příznivé podmínky vlhkosti vzduchu v listové stěně pro rozvoj padlí nastaly od 8.6.2022 a trvaly po dobu několika dnů. Jelikož se jednalo o období krátce před kvetením révy jednalo se o prognózu infekčního tlaku padlí révy a potřebu ochrany.

Na začátku července se opět projeví příznivé podmínky vlhkosti vzduchu v listové stěně pro rozvoj padlí. Toto období však trvalo kratší dobu než v předchozích měsících. K dalšímu příznivému období došlo na konci července, které se shoduje s prognózou Ing. Mušky a jedná se o dlouhé, velmi rizikové období.



Obrázek 2.12: Průběh vlhkosti vzduchu ve vinici – červenec 2022



Obrázek 2.13: Průběh vlhkosti vzduchu ve vinici – srpen 2022

Velmi příznivé období vysoké vlhkosti vzduchu se projevilo v polovině srpna a je v souladu s prognózou Ing. Mušky.

Praktické čtyřleté hodnocení v různých vinicích prokázalo vhodnost relativní vlhkosti vzduchu jako důležitého klimatického parametru z pohledu rozvoje padlí révy. Velmi důležité je monitorování vlhkosti vzduchu přímo v listových stěnách. Relativní vlhkost vzduchu je možné přímo využívat v prognóze padlí révy a díky korelačním vztahům s teplotou je možné využití také při využití metody precizního vinohradnictví pro prognózu padlí révy.

Kombinace metody Ing. Mušky a metody s využitím relativní vlhkosti vzduchu v porostu vinice prokazuje výrazně zpřesňující vliv ve vztahu k prognóze padlí révy a je vhodné tyto metody využívat současně.

3. Metoda prognózy padlí révy ve vinicích prostřednictvím teplotního monitoringu bezpilotními prostředky

Zobrazovací technologie mohou být využívány pro časově nenáročné, neinvazivní, a nedestruktivní monitorování fyziologického stavu rostliny. Teplotní skenování umožňuje měření infračerveného záření vysílaného rostlinou a následně zobrazuje prostorovou proměnlivost povrchové teploty rostliny (COSTA a kol., 2010).

Teplota je základním faktorem prostředí, který řídí růst a sekundární šíření patogenu. Kolonie padlí révy rostou a sporulují nejrychleji v teplotách od 23°C do 30°C. 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. Dolní a horní limity teploty omezující rozvoj choroby jsou nižší než 6°C a vyšší než 32°C. Zničení konidií a kolonií houby v podmínkách vinice, které vyplývá z vysokých teplot je obvykle neúplné, zejména v zastíněné části listové stěny a část kolonií, která přežije, může obnovit činnost, jakmile nastoupí teploty příznivé pro rozvoj (WILCOX, GUBLER, UYEMOTO, 2015).

Teplota listů představuje ukazatel reakce rostliny na různé stresové situace (CHAERLE a VAN DER STRAETEN, 2000). Měření teploty listové stěny může být proto využíváno např. jako ukazatel stresu způsobeného nedostatkem vody (STOLL a JONES, 2007). Teplota listů je výsledek vzájemného působení několika faktorů a fyziologických procesů, jako jsou teplota prostředí, absorbované a odražené záření a procesy proudění vzduchu a transpirace (EHLERINGER, 1989).

Přímé sluneční záření ohřívá exponovanou listovou plochu. Protože padlí révy roste na povrchu listů, je padlí také exponované k ohřívání a při dostatečné intenzitě a době trvání může zničit kolonie padlí révy. Při letním dnu s 26°C, zůstávají zastíněné listy a hrozny blízko teplotě vzduchu, která je optimální pro růst padlí révy. Naproti tomu listy exponované ke slunečnímu záření mohou často mít teploty zvýšené výrazně nad 32°C a v tomto bodu rozvoj padlí révy zastaví. UV záření inhibuje růst mnoha houbových patogenů rostlin, ale padlí révy je výrazně citlivé k takovému poškození (AUSTIN a WILCOX, 2010).

Teplotu je proto možné považovat za komplexní parametr, vysoce proměnlivý v čase a prostoru, ovlivňující následně biologické systémy.

Technologie dálkového snímkování používané ve vinohradnické praxi zahrnují optické, teplotní, světelné, mikrovlnné a fluorescentní dálkové snímkování (JONES a GRANT, 2015). Systémy dálkového snímkování, které využívají energii vyzařovanou z půdy mohou být použité ke stanovení povrchové teploty. Jestliže se využívá monitorování během vegetace, teplota listové plochy může být vztažena k úrovni transpirace.

Termografie, známá také jako infračervená termografie, vytváří snímky s využitím vysílaného záření objektu, které se zvyšuje, když je teplota objektu nad absolutní nulou (SHEKHAWAT, 2016).

JONES a kol. (2002) uvádí použití infračervené termografie zejména ke stanovení uzavírání průduchů v listové ploše révy a propojeně s úrovní tepelného stresu. Teplotní snímky ve

vysokém rozlišení umožňují detailní charakterizaci teploty vrcholové části listové stěny ve vinici (SANTESTEBAN a kol., 2017) a mohou se stát využitelným nástrojem pro zjištění vodního stresu. Teplotní zobrazování je velmi cenná metoda pro zjištění stresu dříve, než se projeví příznaky, protože pracuje mimo vizuální rozsah spektra (CHAERLE a VAN DER STRAETEN, 2001).

Termografie byla také široce využívána ke zhodnocení vlivu houbových patogenů na transpiraci hostitelské rostliny. V závislosti na tom, jak patogeny vzájemně působí s hostitelskými rostlinami, počáteční fáze patogeneze může vyvolávat zvýšení nebo snížení teploty listů, ovlivňující pouze místo inokulace patogenu nebo celé listy (SAWINSKI a kol., 2013).

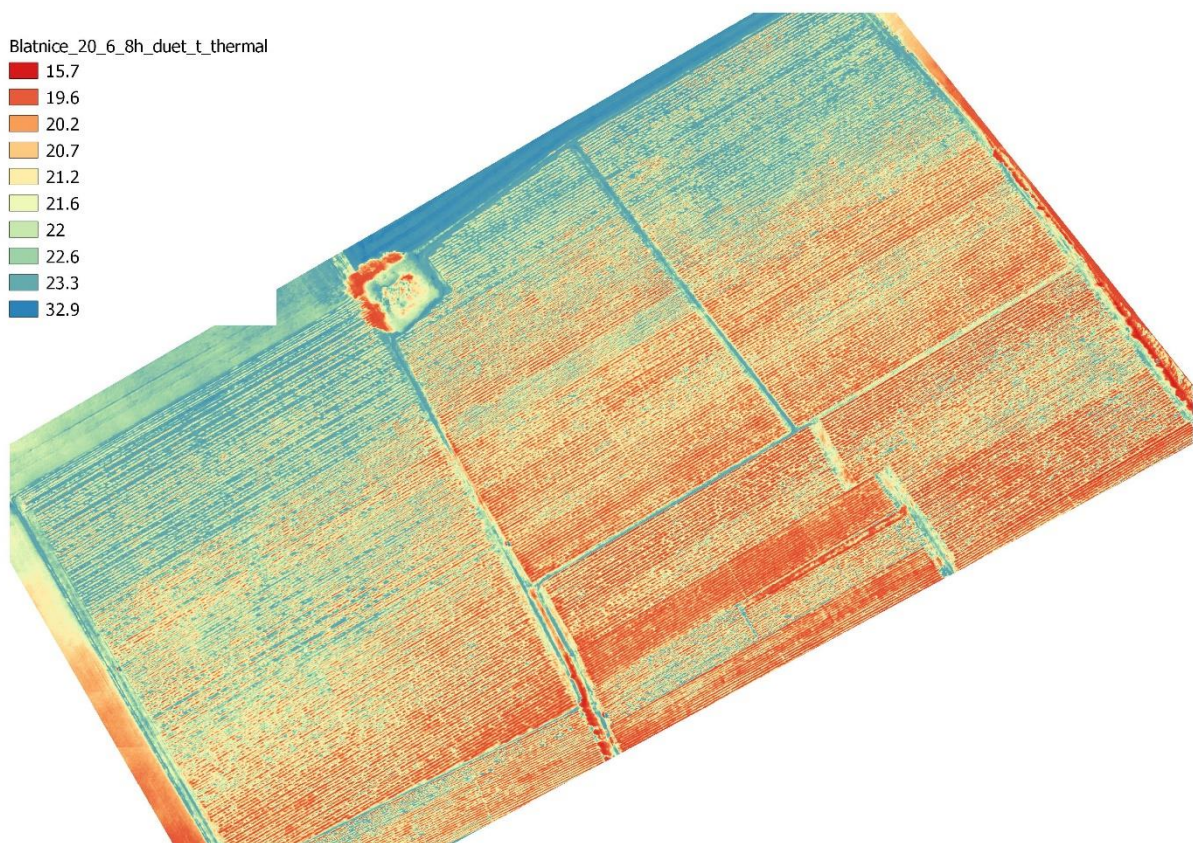
Některé okolnosti musí být zohledněné, když se interpretují teplotní snímky, protože teplota povrchu rostlin je ovlivněná environmentálními podmínkami, jako jsou teplota vzduchu a relativní vlhkost (CHAERLE a kol., 2001). A právě korelační vztahy mezi klimatickými parametry měřenými v porostu vinice a teplotou porostu zjištěnou pomocí dálkového snímání umožní vytvořit teplotní model vinice.

Korelační závislosti potom v souvislosti se změnou teploty umožňují předvídat také vlhkost vzduchu v porostu a nalézt ohniska šíření padlí révy ve vinici. CALONNEC a kol. (2009) v této souvislosti uvádí, že časový logistický model správně předpověděl proměnlivost padlí révy během kvetení. A pokud časoprostorový model nedokázal předpovědět proměnlivost choroby v měřítku jednotlivých révových keřů, je schopen předpovědět průměrné rozšíření choroby na pozemku. Pro přesné zemědělství může být užitečná předpověď rozšíření onemocnění v oblastech s potenciálně nejvyšším rizikem rozšíření onemocnění. Síla predikce by závisela na množství dostupných dat a na identifikaci primárních ohnisek.

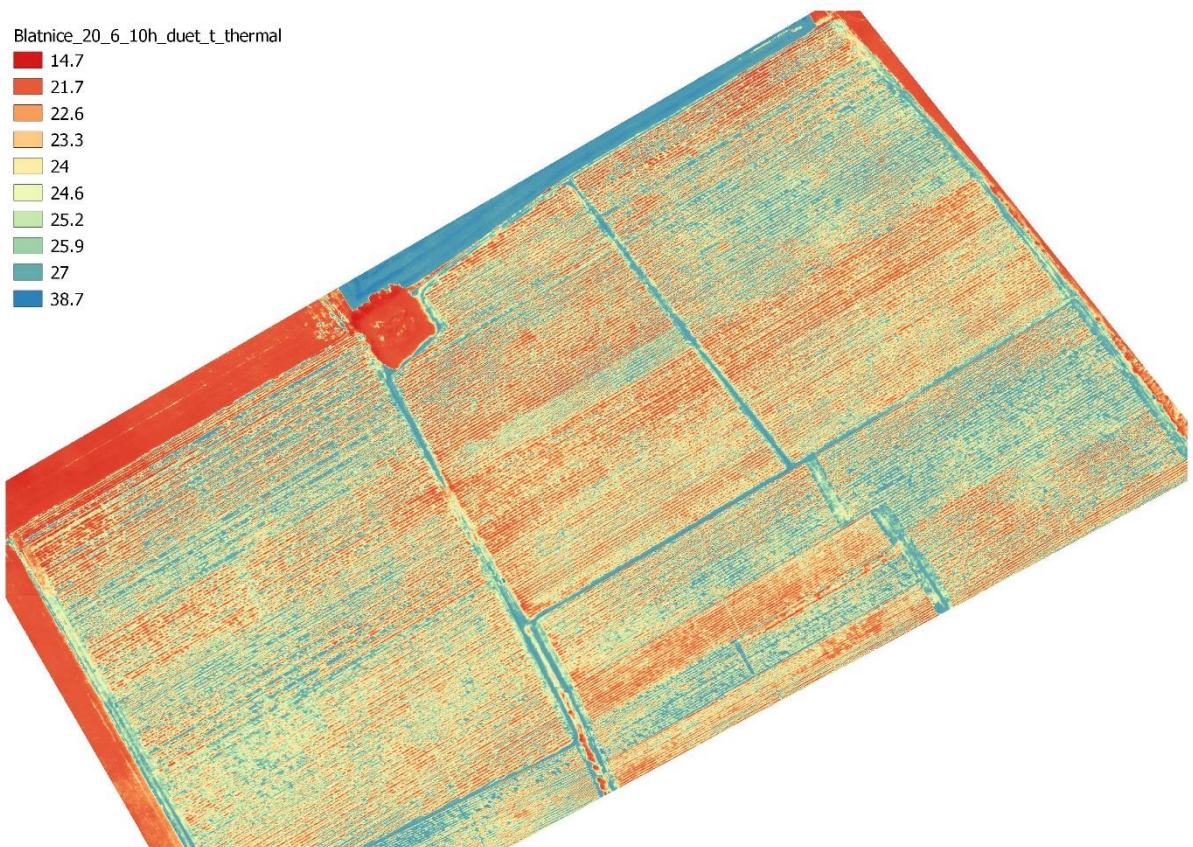
3.1. Teplotní zhodnocení porostu vinice pomocí dálkového snímání

Jako modelová byla využita vinice společnosti Víno Blatel, a.s., v Blatnici pod Svatým Antonínkem. Viniční trať „Plachty“ se nachází v katastrálním území Uherského Ostrohu. Na pokusné ploše je vysazena odrůda Merlot. „Plachty“ je historicky známá trať, kde měl svoji vinici i Jan Ámos Komenský. Jedná se o jihozápadní svah na úbočí Bílých Karpat. Půda je hluboká, vododržná, černozem s jílovitou vrstvou v podloží.

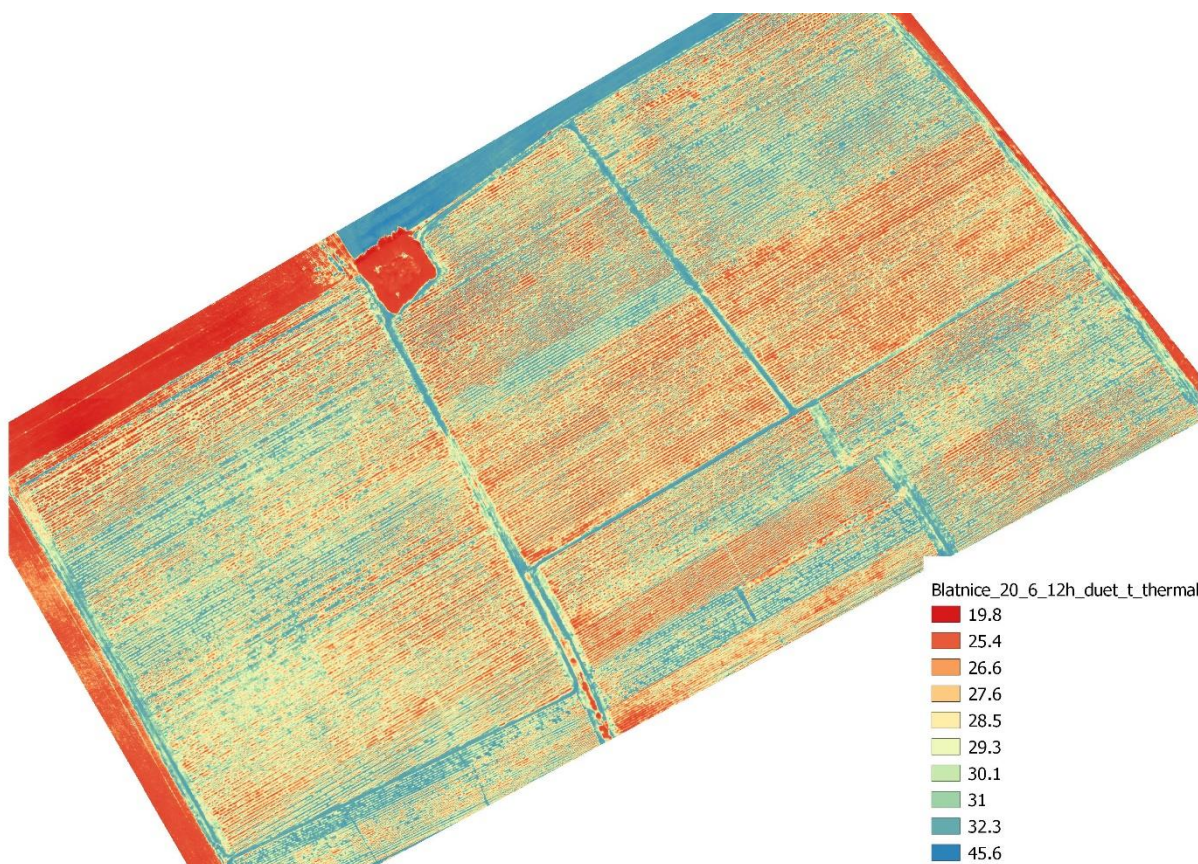
Teplotní snímky byly pořízeny dne 20.6.2022 ve dvouhodinových intervalech, tzv. v 8, 10, 12, 14, 16 a 18 hodin.



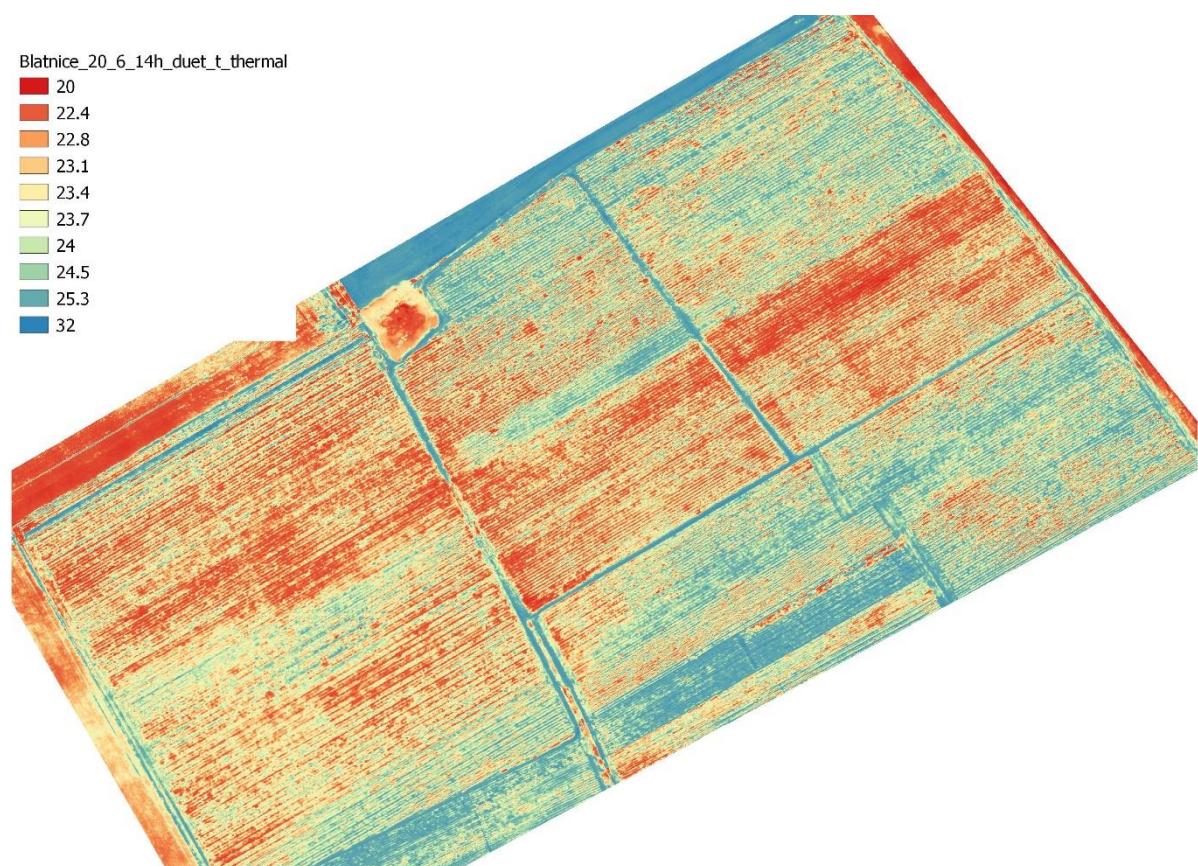
Obrázek 3.14: Teplotní snímek vinice dne 20.6.2022 v 8 hodin



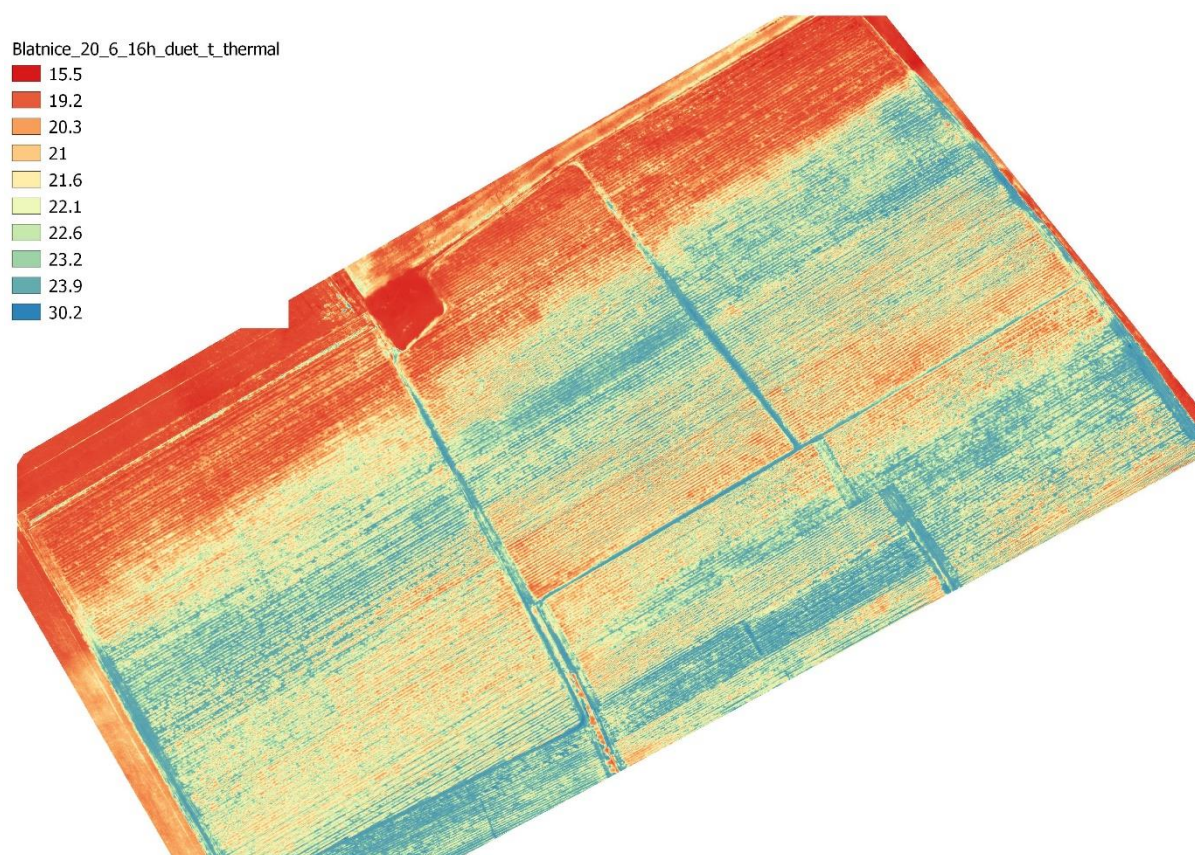
Obrázek 3.15: Teplotní snímek vinice dne 20.6.2022 v 10 hodin



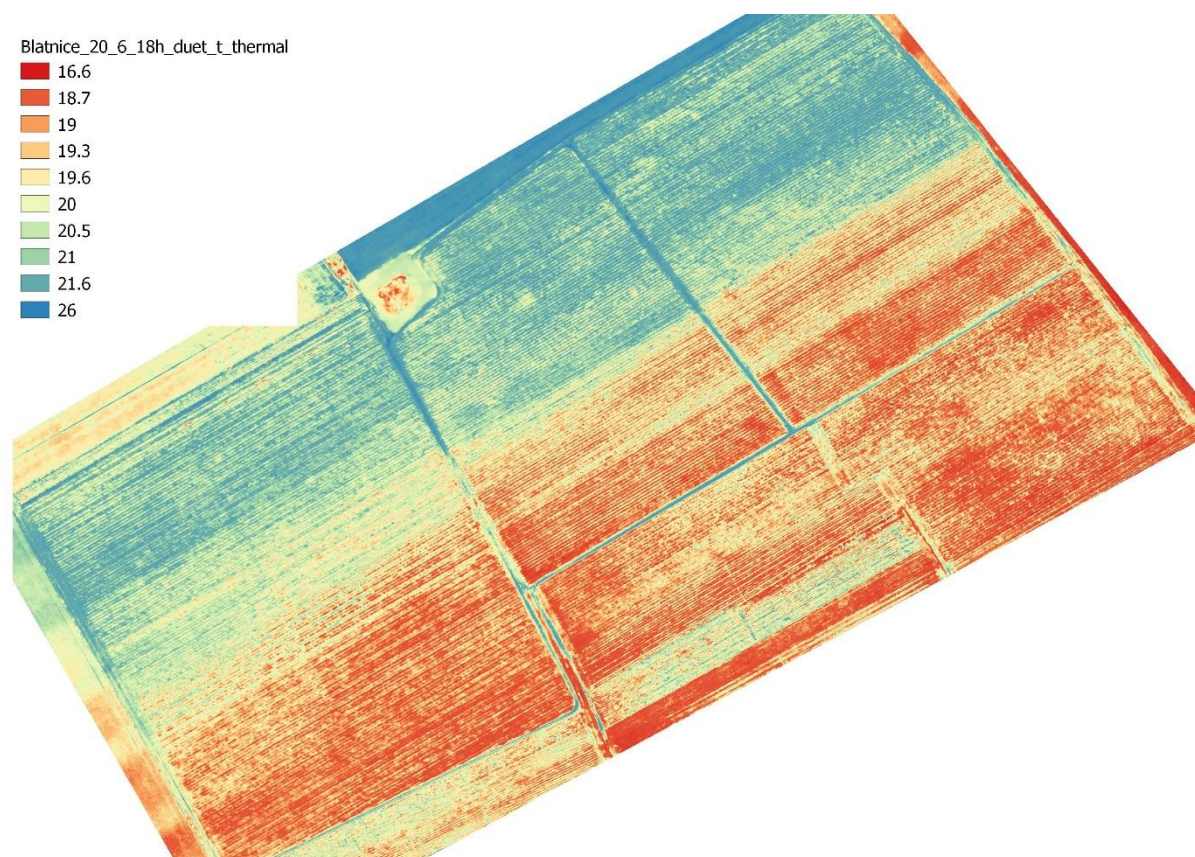
Obrázek 3.16: Teplotní snímek vinice dne 20.6.2022 ve 12 hodin



Obrázek 3.17: Teplotní snímek vinice dne 20.6.2022 ve 14 hodin



Obrázek 3.18: Teplotní snímek vinice dne 20.6.2022 ve 16 hodin

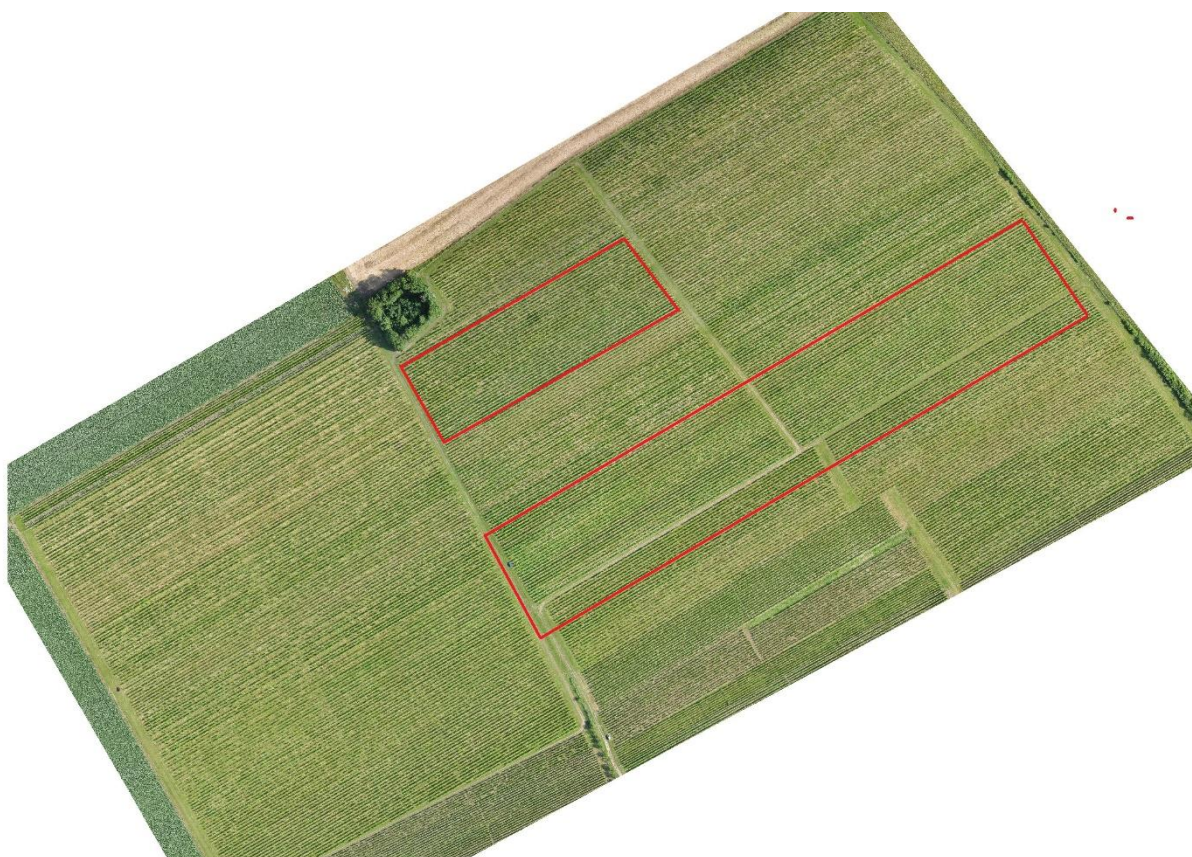


Obrázek 3.19: Teplotní snímek vinice dne 20.6.2022 ve 18 hodin

Teplotní snímkování zcela zřetelně naznačuje velkou proměnlivost teploty v rámci jedné vinice v průběhu jednoho dne. Vinice proto není možné považovat za zcela teplotně homogenní. Jak už bylo zjištěné v předchozích pokusech, má na teplotní proměnlivost vliv orientace pozemku ke světovým stranám, sklon svahu a také vegetace, která se vyskytuje v blízkosti vinice.

Snímky také ukazují, že ve vinici je možné najít část, kde jsou teplotní poměry velmi výrazně proměnlivé během dne, ale také část, kde je teplota nejnižší po celou dobu dne. Z pohledu podmínek pro rozvoj padlí révy a vztahu mezi teplotou a relativní vlhkostí vzduchu, je možné část s nízkou teplotou považovat za nejvíce rizikovou, protože se v této části vinice může udržovat vyšší vlhkost vzduchu.

Teplotní snímkování proto umožňuje specifikovat rizikové části vinice z pohledu příznivých podmínek pro rozvoj padlí révy.



Obrázek 3.20: Vyznačení rizikových sektorů vinice na základě teplotního snímkování

3.2. Korelační závislosti mezi teplotou a relativní vlhkostí vzduchu

Korelační vztahy byly hodnocené na dvou úrovních. Prvním krokem je zhodnocení korelačních závislostí mezi teplotou vzduchu a relativní vlhkostí vzduchu měřenou prostřednictvím datalogerů umístěných ve vinici.

Umístění datalogeru ve vinici	Korelační koeficient
A	-0,7033
B	-0,6868
C	-0,6796
D	-0,6896

Tabulka 3.3: Korelace – teplota v porostu x vlhkost vzduchu v porostu

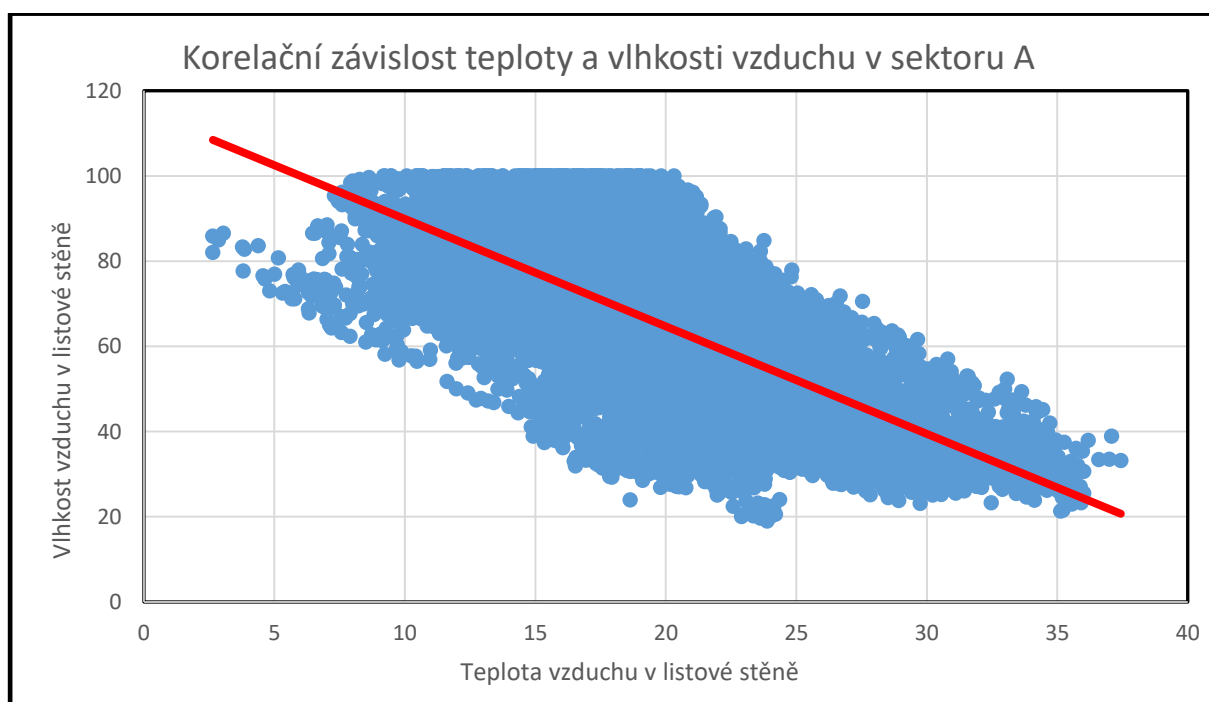
	květen	červen	červenec	srpen
A	-0,7393	-0,8280	-0,8125	-0,8230
B	-0,7150	-0,8070	-0,7946	-0,8220
C	-0,6982	-0,8009	-0,7820	-0,8043
D	-0,7113	-0,8071	-0,7866	-0,8064

Tabulka 3.4: Korelace teplota v porostu x vlhkost vzduchu v porostu podle umístění datalogerů ve vinici a měsíců

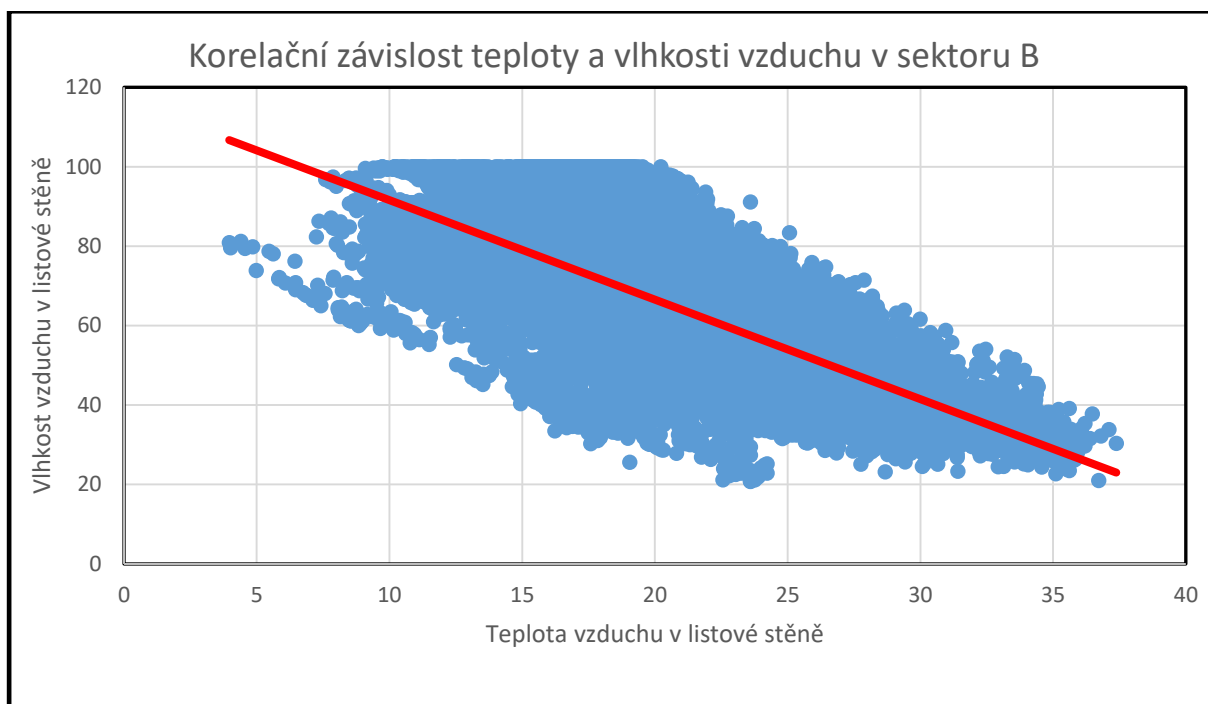
Hodnocení korelačních vztahů ukazuje proměnlivost v jednotlivých měsících a také mezi jednotlivými sektory vinice. Nejvyšší hodnoty korelačních koeficientů byly zjištěné ve spodní části svahu. Tato skutečnost potvrzuje i empirické hodnocení v různých vinicích, kde se potvrzuje právě spodní část svahu, jako bod zdroje padlí révy.

Na základě tohoto postupu hodnocení je potom možné najít ve vinici část, kde existuje vysoká, a naopak nízká závislost mezi teplotou a vlhkostí vzduchu.

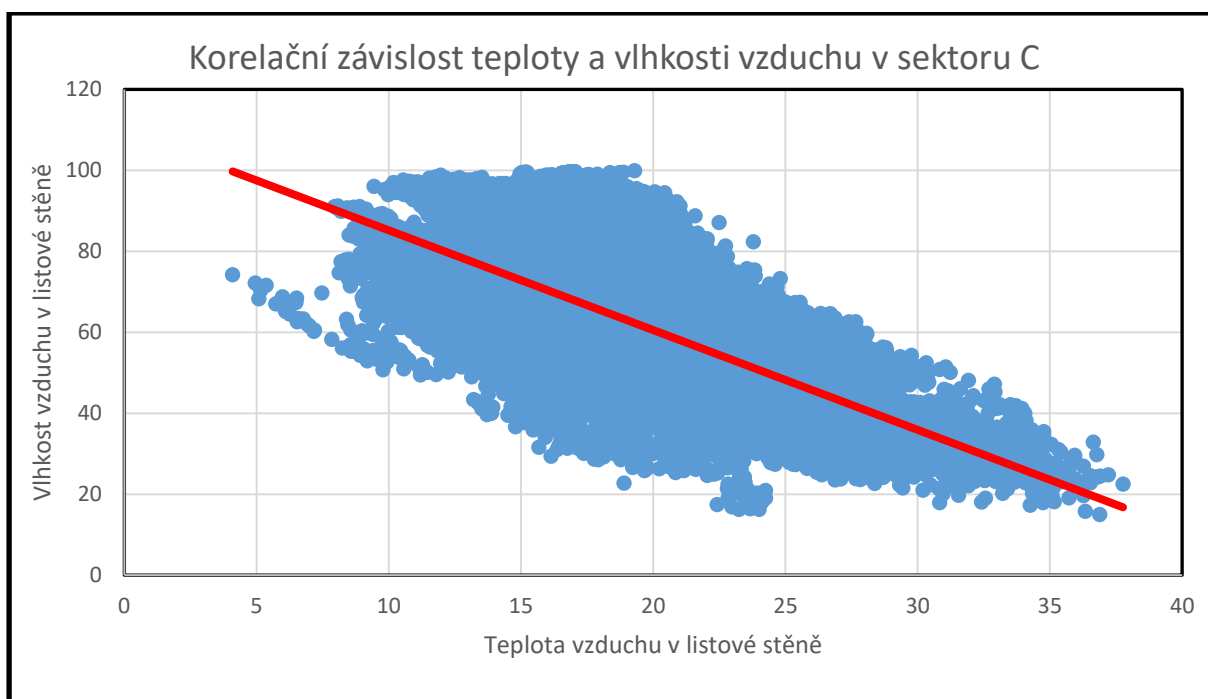
3.2.1. Korelační grafy podle jednotlivých sektorů vinice



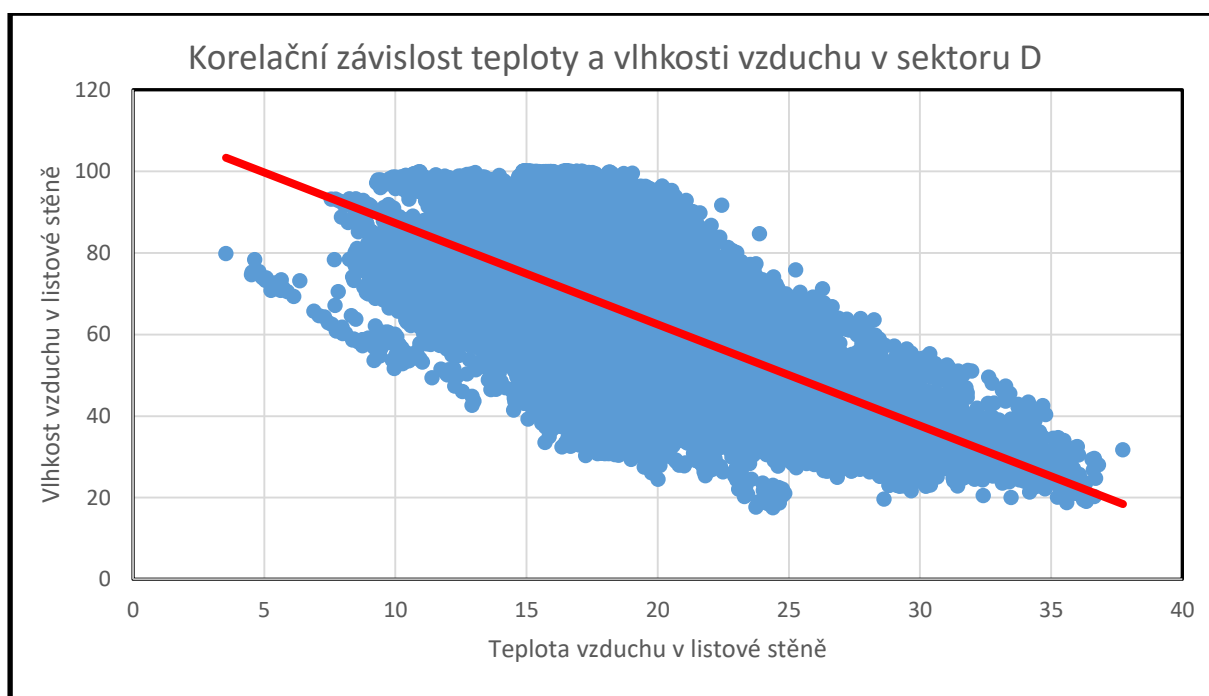
Graf 3.1: Korelační závislost teploty a vlhkosti vzduchu v sektoru A



Graf 3.2: Korelační závislost teploty a vlhkosti vzduchu v sektoru B



Graf 3.3: Korelační závislost teploty a vlhkosti vzduchu v sektoru C



Graf 3.4: Korelační závislost teploty a vlhkosti vzduchu v sektoru D

3.2.2. Korelační vztahy mezi teplotním snímkováním a klimatickými parametry v porostu vinice

Korelační vztah mezi hodnocením teploty prostřednictvím bezpilotního snímkování potom umožňují předpovídat relativní vlhkost vzduchu v porostu vinice. Výpočet je možný realizovat podle uvedených korelačních rovnic lineární závislosti.

	Teplota dron	Teplota porost	Vlhkost porost
Teplota dron	-	0,7784 $Y = 0,7455x + 5,7012$	-0,7608 $y = -3,1742x + 132,61$

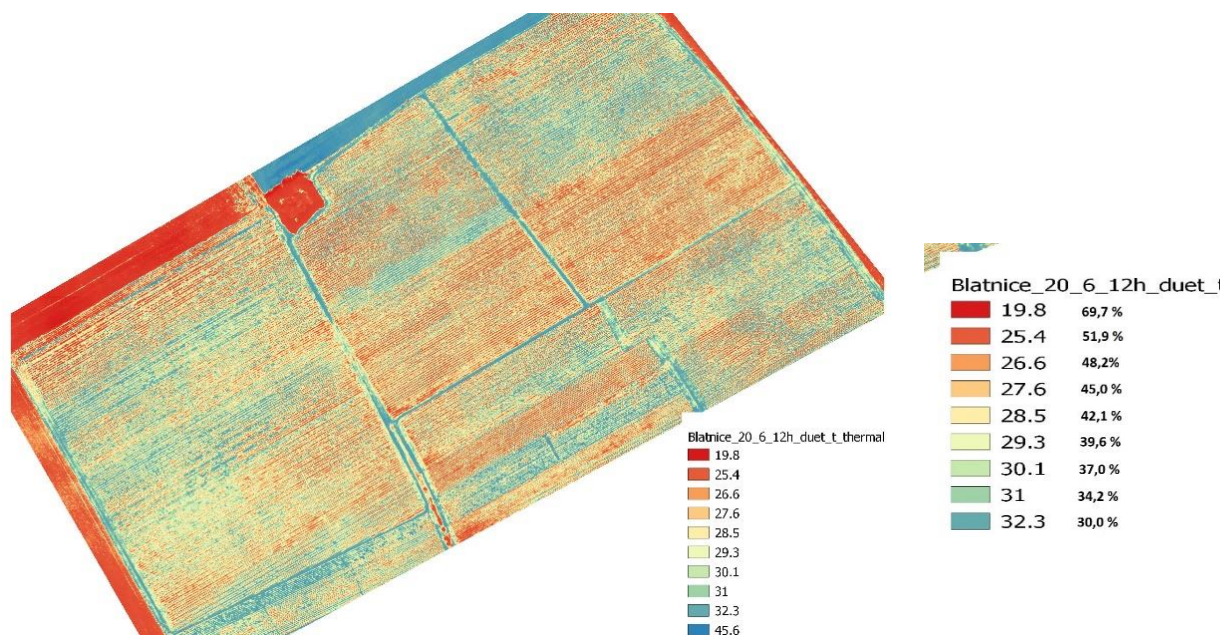
Korelační rovnice je možné vytvořit pro každou lokalitu na základě popsaného pozorování klimatických poměrů v porostu a snímkování vinice prostřednictvím bezpilotních prostředků. Na základě teploty získané dálkovým snímkováním je potom možná prognóza relativní vlhkosti vzduchu a rizika rozvoje padlí révy.

Prognostická tabulka:

Teplota porostu vinice	Předpokládaná vlhkost vzduchu v porostu vinice v %
10	100
15	85
20	69
25	53
30	37
35	21

Tabulka 3.5: Prognostická tabulka – korelace teploty porostu s předpokládanou vlhkostí vzduchu ve vinici

Parametry relativní vlhkosti vzduchu je možné aplikovat na teplotní snímek porostu vinice a predikovat možnou vlhkost vzduchu v jednotlivých částech vinice.



Obrázek 3.21: Teplotní snímek s prognózou relativní vlhkosti vzduchu

Popsaná metoda směřuje k využívání metod precizního zemědělství ve vinohradnictví. Podrobné zhodnocení teplotních poměrů v jednotlivých vinicích může směřovat k využití v prognóze padlí révy, ale také dalších biotických a abiotických stresů, které souvisí s teplotou.

4. Ekonomika

V současném vinohradnictví je směr precizního vinohradnictví často využíváný, 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).

Teplotní snímkování poskytuje přesný popis proměnlivosti teploty v rámci vinice. Náklady na snímkování (RGB a teplotní) 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 4.6: Náklady na snímkování platné v době vytvoření metodiky

Zhodnocení nákladů na ochranu při využití certifikované metodiky

Využití prognózy padlí révy s využitím postupů precizního vinohradnictví může směřovat k nižšímu počtu fungicidních nebo ekologických ošetření během vegetace. Možnou úsporu naznačují následující tabulky.

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 4.7: Ochrana révy vinné proti padlí v systému IP – nadstavbové

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 4.8: 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	Celkem na hektar
Varianta 1	600 – 2 500 Kč – ekologická ochrana 1 500 Kč – náklady na aplikaci	2 100 – 4 000 Kč
Varianta 2	1 300 Kč – systémový fungicid 600 – 2 500 Kč – ekologická ochrana 1 500 Kč – náklady na aplikaci	3 400 – 5 300 Kč

Tabulka 4.9: Úspora nákladů na ochranu proti padlí révy na hektar

Teplotní snímkování přináší také další přidanou hodnotu, která není v této části ekonomicky vyčíslená. Nicméně údaje o teplotě půdy, ozelenění a porostu vinice je možné využít:

- ✓ při řízení závlahy;
- ✓ ošetřování půdy ve vinici;
- ✓ prognóze výnosu hroznů;
- ✓ zhodnocení podmínek pro průběh fotosyntézy a zrání hroznů.

Použitá literatura:

- ANTIVILO, F. G., PAZ, R. C., KELLER, M., BORGO, R., TOGNETTI, J., JUNENT, F. R., 2017: Macro- and microclimate conditions may alter grapevine deacclimation: variation in thermal amplitude in two contrasting wine regions from North and South America. *International journal of biometeorology*, 61(12), 2033-2045.
- 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.
- 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.
- CALONNEC, A., CARTOLARO, P., DELIERE, L., CHADOEUF, J., 2006: Powdery mildew on grapevine: The date of primary contamination affects disease development on leaves and damage on grape. *IOBC/WPRS Bull.* 29:67-73.
- CALONNEC, 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.
- CHAERLE, L., VAN DER STRAETEN, D., 2000: Imaging techniques and the early detection of plant stress. *Trends in Plant Science*, 5, 495–501.
- CHAERLE L, VAN DER STRAETEN, D., 2001: Seeing is believing: imaging techniques to monitor plant health. *Biochimica et Biophysica Acta* 1519:153-166.
- COSTA, J. M., GRANT, O. M., CHAVES, M. M., 2010: Use of thermal imaging in viticulture: current application and future prospects. In *Methodologies and results in grapevine research* (pp. 135-150). Springer, Dordrecht.
- DE RESSÉGUIER, L., MARY, S., LE ROUX, R., PETITJEAN, T., QUÉNOL, H., VAN LEEUWEN, C., 2020: Temperature variability at local scale in the Bordeaux area. Relations with environmental factors and impact on vine phenology. *Frontiers in Plant Science*, 11.
- EHLERINGER, J.R., 1989: Temperature and energy budgets. In: Pearcy RW, Ehleringer J, Mooney HA, Rundel PW (eds) *Plant physiological ecology: field methods and instrumentation*. Chapman and Hall, New York.
- GADOURY, D. M., SEEM, R. C., FICKE, A., WILCOX, W. F., 2003: Ontogenic resistance to powdery mildew in grape berries. *Phytopathol.* 93:547–55.
- GUYOT, G., 1997: *Climatologie de L'environnement: De la Plante aux Écosystèmes*. Paris: Masson.

JONES, H.G., STOLL, M., SANTOS, T., DE SOUSA, C., CHAVES, M., GRANT, O.M., 2002: , Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine, *Journal of Experimental Botany*, Volume 53, Issue 378, 2249–2260.

JONES, H.G., GRANT, O.M., 2015: Remote sensing and other imaging technologies to monitor grapevine performance, grapevine in a changing environment. In: Gerós H, Chaves MM, Gil HM, Delrot S (eds) *Grapevines in a Changing Environment: A Molecular and Ecophysiological Perspective*. John Wiley & Sons, pp 179-201.

CAST, W. K., 1997: A step by step risk analysis (SRA) used for planning sprays against powdery mildew (Oidiog-System). *Vitic. Enol. Sci.* 52:230-231.

CAST, W. K., BLEYER, K., 2011: Efficacy of sprays applied against powdery mildew (*Erysiphe necator*) during a critical period for infections of clusters of grapevines (*Vitis vinifera*). *Journal of Plant Pathology*, S29-S32.

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., CRISCI, A., DI GENNARO, S. F., PRIMICERIO, J., TOMASI, D., MARCUZZO, P., GUIDONI, S., 2014: Spatial variability of meteorological conditions at different scales in viticulture. *Agricultural and Forest Meteorology*, 189, 159-167.

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.

NICHOLAS, K.A., MATTHEWS, M.A., FIELD, C.B., LOBELL, D.B., WILLITS, N.H., 2011: Effect of vineyard-scale climate variability on Pinot noir phenolic composition. *Agric. For. Meteorol.* 151, 1556–1567

PARK, A. W., GUBBINS, S., GILLIGAN, C., 2001: Invasion and persistence of plant parasites in a spatially structured host population. *Oikos* 94:162-174.

PEYRARD, N., CALONNEC, A., BONNOT, F., CHADOEUF, J. 2005: Explorer un jeu de données sur grille par tests de permutation. *Rev. Stat. Appl.* LIII:59-78.

QUÉNOL, H., BONNARDOT, V., 2014: A multi-scale climatic analysis of viticultural terroirs in the context of climate change: the “teradclim” project. *J. Int. Sci. Vigne Vin* 47, 23–32.

SANTESTEBAN, L.G., DI GENNARO, S.F., HERRETP-LANGREO, A., MIRANDA, C., ROYO, J.B., MATESE, A., 2017: High-resolution UAV-based thermal imaging to estimate the instantaneous

and seasonal variability of plant water status within a vineyard. *Agric. Water Manag.* 7, 183, 49–59.

SAWINSKI, K., MERSMANN, S., ROBATZEK, S., BOHMER, M., 2013: Guarding the green: Pathways to stomatal immunity. *Mol. Plant Microbe Interact.*, 26, 626–632.

SHEKHAWAT, R.S., 2016: Infrared thermography: a review. *International Journal of Engineering Trends and Technology* 35: 287-290.

SMART, R., ROBINSON, M., 1991: *Sunlight into wine: a handbook for winegrape canopy management*. Winetitles.

STARK-URNAU M., KAST W.K., 1999: Development of ontogenetic resistance of powdery mildew in fruit of differently susceptible grapevines (cvs. Trollinger and Lemberger). *Mitteilungen Klosterneuburg* 49: 186-189.

STOLL, M. JONES, H.G., 2007: Thermal imaging as a viable tool for monitoring plant stress. *OENO One*, 41(2), 77-84.

VALDES, H. 2007: Relations entre états de croissance de la vigne et maladies cryptogamiques sous différentes modalités d'entretien du sol en région méditerranéenne. Thesis, Agronomie, Science du sol, Univ. Ecole de Montpellier supAgro, Montpellier, France.

VALDES, H., CELETTE, F., FERMAUD, M., CARTOLARO, P., CLERJEAU, M., GARY, C., 2005: How to evaluate the influence of vegetative vigour in grape vine susceptibility to cryptogamic diseases. *Proc. XIV Int. GESCO Viticult. Congr.* H. R. Schultz ed. Geisenheim.

WILCOX, W., 2017: Grape disease control: Taking stock and looking forward. Cornell Viticulture and Enology program.

WILCOX, W. F., GUBLER, W. D., UYEMOTO, J. K. (Eds.), 2015: *Compendium of grape diseases, disorders, and pests* (pp. 39-45). St. Paul, MN, USA: APS Press, The American Phytopathological Society.

Název: Metoda prognózy padlí révy ve vinicích prostřednictvím teplotního monitoringu
bezpilotními prostředky: certifikovaná metodika

Autoři: Prof. Ing. Pavel Pavloušek, Ph.D.; Ing. František Muška, Ph.D.; Mgr. Simon Matěj;
Ing. Jiří Kubík, Ph.D.

Vydavatel: Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 61300 Brno

Vydání: první, 2022

Počet stran: 26

ISBN 978-80-7509-892-4

DOI: <https://doi.org/10.11118/978-80-7509-892-4>