

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra genetiky a šlechtění



Porovnání metod stanovení mrazuvzdornosti u ozimé pšenice

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Zuzana Wimmerová

Vedoucí práce: Ing. Petr Sedlák, Ph.D.

© 2016 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma porovnání metod stanovení mrazuvzdornosti u ozimé pšenice vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v přiložené bibliografii.

V Praze dne 5. 4. 2016

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Petru Sedlákov, Ph.D. za vedení v průběhu práce, Ing. Janě Musilové a Výzkumnému ústavu rostlinné výroby v Praze-Ruzyni za odbornou konzultaci a možnost navštívit tamější experimenty, Dr. Ing. Pavlu Horčíčkovi za odborné rady a spolupráci a společnosti Selgen a.s. za poskytnutí prostor, materiálu a prostředků k zrealizování pokusů.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Vědecká hypotéza a cíle práce.....	2
2.1	Vědecká hypotéza	2
2.2	Cíle práce	2
3	Přehled literatury.....	3
3.1	Světová produkce obilovin.....	3
3.2	Botanická charakteristika pšenice obecné.....	3
3.3	Požadavky na pěstební prostředí pšenice obecné.....	4
3.4	Šlechtění a šlechtitelské cíle.....	6
3.4.1	Šlechtění ve světě.....	7
3.4.2	Šlechtění v ČR.....	10
3.5	Stresové účinky nízkých teplot	10
3.5.1	Změny klimatu	10
3.5.2	Hodnocení zim na území ČR.....	11
3.5.3	Fyziologie přezimování	12
3.6	Šlechtění pro odolnost nízkým teplotám.....	17
3.6.1	Metody stanovení mrazuvzdornosti u ozimé pšenice.....	19
4	Materiál a metody	29
4.1	Rostlinný materiál	29
4.2	Popis stanoviště experimentu.....	31
4.2.1	Polní stanoviště.....	31
4.2.2	Skleník	33
4.2.3	Jarovizační komora	33
4.2.4	Mrazová komora	34
4.3	Polní metoda.....	34
4.4	Laboratorní metoda	34

4.4.1	Založení pokusu	34
4.4.2	Průběh pokusu.....	35
4.4.3	Hodnocení výsledků pokusu	36
4.5	Polně-laboratorní metoda	37
4.5.1	Založení a průběh pokusu	37
4.5.2	Hodnocení výsledků pokusu	38
4.6	Modifikovaná polně-laboratorní metoda.....	38
4.6.1	Založení a průběh pokusu	38
4.6.2	Hodnocení výsledků pokusu	38
4.7	Vliv doby aklimatizace na výsledky testů mrazuvzdornosti.....	39
4.7.1	Průběh pokusu.....	39
4.7.2	Hodnocení výsledků pokusu	39
4.8	Statistické vyhodnocení výsledků	39
5	Výsledky	40
5.1	Porovnání metod stanovení mrazuvzdornosti ozimé pšenice	40
5.2	Vliv délky aklimatizace a zásahové teploty na přežití rostlin v laboratorním testu...45	
6	Diskuze	48
7	Závěr	53
8	Seznam literatury	55
9	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	60
	Přílohy.....	P1
	Seznam příloh	P3

Souhrn

V rešeršní části práce byly teoreticky popsány různé metody stanovení mrazuvzdornosti ozimé pšenice. V experimentální části bylo testováno 14 odrůd ozimé pšenice čtyřmi, v praxi používanými metodami – polní, polně-laboratorní, modifikovanou polně-laboratorní a laboratorní. Výzkum probíhal v agronomických letech 2014/2015 a 2015/2016 v zázemí společnosti Selgen.

Hlavním cílem práce bylo porovnat vybrané metody a zhodnotit jejich výhody a nevýhody. Byla potvrzena hypotéza, že odrůdy pšenice mohou vykazovat statisticky významné rozdíly v úrovni mrazuvzdornosti při testování této vlastnosti různými metodami.

Vzhledem k přezimování i běžně nemrazuvzdorných odrůd v polním pokusu (např. odrůdy jarní pšenice) v letech 2014/15 a 2015/16, nebylo možné výsledky získané touto metodou považovat v této práci za vypovídající. Ve vztahu ke kvalifikovanému odhadu mrazuvzdornosti získaném syntézou výsledků testování ÚKZÚZ, VÚRV a společnosti Selgen nejvíce korelovaly výsledky laboratorní a modifikované polně-laboratorní metody. Modifikovaná polně-laboratorní metoda vykazovala nižší variabilitu, je možné prohlásit v rámci této práce jí získané výsledky za nejvíce vypovídající. Laboratorní metodou bylo možné nej přesněji rozdělit odrůdy na neodolné, méně odolné, středně odolné a odolné s nejtěsnější závislostí výsledků ke kvalifikovanému odhadu mrazuvzdornosti. Jelikož i odrůdy známé jako mrazuvzdorné dosáhly v roce 2015/16 v rámci polně-laboratorní metody nízké úrovně mrazuvzdornosti, bylo možné statisticky průkazně rozlišit pouze úroveň mrazuvzdornosti odrůd jarní pšenice od ostatních odrůd.

Bylo prokázáno, že na přezimování rostlin během laboratorního testování mají statisticky významný vliv odrůda, zásahová teplota i délka aklimatizace. Dílčím cílem práce tak bylo ověřit vliv délky aklimatizace v laboratorním testu. Jako nejvíce vypovídající se ukázaly výsledky mrazového testu po délce aklimatizace 40 dní. Z provozního a ekonomického hlediska se však ukázala jako nejvhodnější délka aklimatizace 25 dnů. Na základě výsledků této práce byla přehodnocena metodika používaná k testování mrazuvzdornosti ve společnosti Selgen a doba aklimatizace byla zvýšena z 25 na 30 dní. Po zhodnocení časové a ekonomické náročnosti varianty s aklimatizací po dobu 60 dnů s ohledem na fakt, že výsledky byly téměř totožné s variantou aklimatizace 25 dnů lze tuto metodu prohlásit za neefektivní a nevhodnou k používání ve šlechtitelské praxi.

Klíčová slova: Ozimá pšenice, *Triticum aestivum* L., mrazuvzdornost, přezimování, šlechtění.

Summary

In literature search part of this thesis there are described the methods for determination of frost hardiness in winter wheat. In the experimental part there were tested 14 varieties by 4 different methods mainly used in the breeding practice – field, field-laboratory and modified field-laboratory, laboratory. The research took place in agronomical years 2014/2015 and 2015/2016 in the Selgen company.

The main target of the thesis was to compare chosen methods, to consider their advantages and disadvantages. The hypothesis, that there is statistically relevant differences among the varieties after testing by different methods was confirmed.

Regarding to overwintering even of the non hardy varieties in the field experiment (fe. Spring wheat varieties) in the years 2014/15 and 2015/16, it is impossible to consider results of this method as predicative. In reference to the qualified presumption of the frost hardiness gotten by synthesis of results of ÚKZÚZ, VÚRV and the company Selgen correlated the most the results of the laboratory and modified field-laboratory methods. Modified field-laboratory method showed lower variability, so it could be announced as the most predicative.

By the laboratory method it was possible to class the varieties into non hardy, less hardy, mid hardy and hardy with the highest dependability to the qualified presumption of the frost hardiness. Because even the hardy varieties reached in the year 2015/16 in testing by the field-laboratory method the low level of frost hardiness, it was possible to class only the frost hardiness level of spring varieties from the other varieties.

Regarding to the results it was found, that the survivance of plants is affected by variety, the duration of acclimatization and the tested temperature. The second target of the thesis was to find out the affection of the acclimatization duration during the laboratory test. As the most predicative was found the alternant with 40 days of acclimatization. Regarding to functional and economical aspects was considered as the best the alternant of acclimatization within 25 days. Due to the results of this thesis the method used in company Selgen will be modified from using the acclimatization within 25 days to the method with 30 days of acclimatization. The alternant with 60 days of acclimatization was found as ineffective regarding to the economical aspect and to the fact, that the results were equal to the alternant within 25 days.

Keywords: Winter wheat, *Triticum aestivum* L., frost hardiness, overwintering, breeding.

1 Úvod

Pšenice, jedna z nejstarších kulturních plodin, začátky jejíhož pěstování jsou spojeny se vznikem zemědělství, je světově nejvíce rozšířenou a nejdůležitější plodinou určenou k přímé lidské spotřebě. Její neustálé šlechtění je tedy rozhodující pro zabezpečení stravování stále se rozrůstající lidské populace.

Jednou z nejdůležitějších vlastností ozimých plodin pěstovaných v klimatických podmínkách České republiky je odolnost k abiotickým stresům způsobeným nízkými teplotami, tedy schopnost přezimovat s co nejnižším poškozením a úspěšně zregenerovat na jaře. Využití odrůd s dobrou odolností k vyzimování znamená velkou úsporu nákladů pro zemědělskou prvovýrobu, především s ohledem na náklady na obnovu porostů poškozených zimou jako např. zaorávky, nakoupení osiv jarní pšenice a její výsev. Je proto důležitým úkolem šlechtitelů selektovat nové, více odolné odrůdy a poskytovat zemědělcům podrobné informace o těchto vlastnostech.

V dlouhé historii pěstování ozimé pšenice bylo vyvinuto mnoho různých metod, jak odolnost ozimů ke stresům způsobeným nízkými teplotami testovat a hodnotit. V oblastech, kde se nelze pravidelně spoléhat na výskyt podmínek, které by uspokojivě v polních pokusech rozlišily více a méně odolné genotypy, při-čemž Česká republika do této oblasti se svým kontinentálním klimatem jistě patří, je vhodné doplnit polní pokusy o další metody prověřující mrazuvzdornost v částečně či plně uměle vytvořených podmínkách podporující selekční tlak na odrůdy. Každý šlechtitel má své osvědčené metody, jichž využívá, často se tak rozchází v názorech na vhodnost a průkaznost jednotlivých metod. Tento fakt je jedním z hlavních důvodů vzniku této práce, získat objektivní data a tím možnost předložit šlechtitelům ucelený pohled na nejčastěji používané metody a usnadnit tak jejich rozhodování kterou metodu zvolit.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

2.1 Vědecká hypotéza

Při určování cílů práce se vycházelo z předpokladu, že linie pšenice mohou vykazovat statisticky významné rozdíly v úrovni mrazuvzdornosti při testování této vlastnosti různými metodami. Další z pracovních hypotéz byl předpoklad, že doba aklimatizace rostlin ovlivní úroveň mrazuvzdornosti

2.2 Cíle práce

Cílem literární části diplomové práce bylo zhodnotit a vzájemně porovnat metody stanovení mrazuvzdornosti u ozimé pšenice.

Cílem experimentální části bylo porovnání tří vybraných metod stanovení mrazuvzdornosti a zhodnocení jejich spolehlivosti. Dílčím cílem bylo také zhodnotit vliv délky aklimatizace rostlin při testování mrazuvzdornosti v laboratorních podmínkách.

3 Přehled literatury

3.1 Světová produkce obilovin

Podle Kůsta a Potměšilové (2014) činila světová produkce pšenice v marketingovém roce 2013/2014 celkem 714,05 mil. tun, světová produkce rýže 476,06 mil. tun a světová produkce ostatních obilovin 1276,67 mil. tun. Předpokladem pro marketingový rok 2014/2015 je nárůst světové produkce pšenice, produkce rýže by měla zůstat téměř nezměněna a u produkce ostatních obilovin se očekává pokles. Celosvětová spotřeba obilovin za marketingový rok 2013/2014 byla ve výši 2,415 mld. tun a pro rok 2014/2015 činí předpoklad zhruba 2,447 mld. tun. Zejména krmná spotřeba obilovin se v marketingovém roce 2014/2015 předpokládá v rekordní výši. Pokud jde o poptávku po krmivech, očekává se zejména vyšší zastoupení kukuřice a pšenice, jejíž vyšší podíl se předpokládá díky snížení kvality v souvislosti s průběhem počasí. Spotřeba obilovin k potravinářskému užití by měla stoupnout pouze mírně.

3.2 Botanická charakteristika pšenice obecné

Říše:	<i>Plantae</i> (rostliny)
Podříše:	<i>Tracheobionta</i> (cévnaté rostliny)
Oddělení:	<i>Magnoliophyta</i> (krytosemenné)
Třída:	<i>Liliopsida</i> (jednoděložné)
Řád:	<i>Poales</i> (lipnicotvaré)
Čeleď:	<i>Poaceae</i> (lipnicovité)
Rod:	<i>Triticum</i> (pšenice)

Triticum aestivum L. (pšenice obecná) je jednoletý, odnožující, mělce kořenící druh z čeledi *Poaceae* s čárkovitými listy a složeným klasem (Fadrhons a Bareš, 1977) rozšířený především na severní polokouli (Foltýn a kol., 1970). Zárodek je tvořen vegetačním vrcholem s listy a 3–5 zárodečnými kořínky. Bohatost kořenového systému je závislá na habitu rostliny (Fadrhons a Bareš, 1977). Pšenice odnožuje, rostliny se tak rozvětvují pod povrchem půdy z odnožovacího uzlu a postupně zakládají odnože jednotlivých řádů a jim odpovídající kořenový systém. Hloubka odnožovacího uzlu pod povrchem půdy ovlivňuje dynamiku odnožování i zakořeňování, a tím i stupeň přezimování, je závislá především na průběhu počasí v období po zasetí (Foltýn a kol., 1970). Stéblo je duté, obvykle s 5–6 články a dosahuje délky 40–160 cm podle odrůd a klimatických podmínek. Listová pochva je

zakončena blanitým jazýčkem a po stranách úzkými oušky, která jsou větší než u žita a ovsa. Květenství je lichoklas, složený z klásků, které přisedají z obou stran na klasové větveno (Fadrhons a Bareš, 1977). Kvítek může být osinatý nebo neosinatý. Osinaté odrůdy jsou běžné především v oblastech s malým množstvím srážek a vysokými teplotami. Přítomnost osin má také vliv na transpiraci, urychlováním vysychání zralých zrn. Pšenice je převážně samosprašná (Acquaah, 2007). Plod je obilka neboli zrno (Fadrhons a Bareš, 1977). Klas obsahuje přibližně 25–30 zrn. Velké klasy mohou obsahovat až 50–75 zrn (Acquaah, 2007).

Foltýn a kol. (1970) dělí pšenici podle reakce na jarovizaci a délku dne na ozimou, jarní a fakultativní (přesívkovou). Definice jarní pšenice je v tomto případě podle Horčíčky a kol. v absenci genů kontrolujících jarovizaci (*Vrn*), jehož problematika je v práci rozvedena dále. Jarní odrůdy nevyžadují nízké teploty k přechodu do generativního období a mají krátké období fotoperiodické citlivosti. Typicky ozimé odrůdy vyžadují k vymetání dlouhou jarovizaci při poměrně nízkých teplotách (0–5 °C) a mají střední až silnou reakci na délku dne. Nejkomplikovanější je definice přesívek, které jsou velmi citlivé ke krátkému dni a jsou jen částečně citlivé na jarovizaci, jejíž vliv se projeví pouze při krátkém dni. Obecně mají přesívky nižší mrazuvzdornost než ozimy, rychlý růst na jaře a ranější metání. Jarní pšenice je doplňková plodina pšenice ozimé, a proto její plochy značně kolísají s ohledem na podzimní setí a přezimování (Horčíčka a kol., 2014).

3.3 Požadavky na pěstební prostředí pšenice obecné

Pšenice patří ke světlomilným, dlouhodobým rostlinám (Fadrhons a Bareš, 1977). Petr a kol. (1983) mluví o ozimé pšenici jako o plodině nejnáročnější na podmínky pěstování ze všech u nás pěstovaných druhů obilnin, kterou je možno zařazovat jen na nejúrodnější pozemky a do klimaticky příznivých oblastí, tedy do řepařské výrobní oblasti. V současné literatuře však, především díky úspěchům šlechtitelské praxe, a díky vysoké přizpůsobivosti pšenice nalzáme zmínky o velkém množství odrůd s různými nároky na prostředí. Např. Faměra (1993) souhlasí s náročností pšenice, ale s Vaňkem a kol. (2007) se shodují v možnosti zařadit její rozličné odrůdy při správném hnojení a agrotechnice i do klimaticky méně příznivých podmínek.

Zvolená struktura plodin a odrůdová skladba by měla bez větších ztrát překlenout menší výkyvy v přísunu dešťových srážek. Předpokladem úspěšného pěstování je také vyrovnaný podíl zlepšujících a zhoršujících plodin a jejich vhodné střídání (Šimon, 2004). Faměra (1993) řadí mezi vhodné předplodiny jeteloviny, luskoviny, olejninu a včas sklizené okopaniny. Nebezpečné z důvodu možného vyššího výskytu chorob, škůdců a kvůli zhoršení

výnosové stability je vysévat po pšenici. Jako předplodinu je také nevhodné použít pozdě sklizené okopaniny - cukrovku, brambory a kukuřici.

Foltýn a kol. (1970) zmiňuje důležitost vhodné přípravy půdy před setím. Špatná příprava nepříznivě ovlivňuje nejen přezimování, ale také celkový výnos a kvalitu zrna. V současné literatuře se autoři vrací za určitých podmínek zpět k možnosti setí do neorané půdy. Jak uvádí Vavera a kol. (2014), při tradičním zpracování půdy s orbou jsou většinou dosahovány vyšší výnosy zrna při pěstování pšenice po dobrých předplodinách a při dostatku srážek během vegetace. Po horší předplodině (obilnina, kukuřice) a v sušších ročnících jsou naopak dosahovány lepší výsledky při setí do neorané půdy. K největším rezervám v naplňování výnosového potenciálu rostlin patří v současné době podle Růžka a kol. (2015) především vytvoření optimální struktury porostu. Je proto nutné věnovat velkou pozornost správnému založení porostu, kterým je možné ovlivnit nejen jeho budoucí strukturu, ale také tvorbu výnosotvorných prvků, zdravotní a výživný stav apod.

Termín výsevu a výsevek má rozhodující vliv na vytvoření optimální struktury porostu (Růžek a kol., 2015). Včasný výsev umožňuje ozimé pšenici ještě na podzim dostatečně a stejnoměrně zakořenit, částečně odnožit a dostatečně se otužit. Nejranější odrůdy jsou vysévány do konce září, pouze v klimaticky příznivých oblastech do 5. října. Ostatní odrůdy pak nejpozději do 15. října. Při opožděné setbě a po pozdních předplodinách by se měly využívat odrůdy snášející pozdní setí (Fadrhons a Bareš, 1977).

Příjem živin i jejich konečný odběr sklizní ozimé pšenice je značně závislý na půdních a povětrnostních podmínkách, intenzitě růstu, dosaženém výnosu i pěstované odrůdě. Při výnosu okolo 6 t zrna a přibližně stejném výnosu slámy je odčerpáno z půdy okolo 144 kg N, 30 kg P, 108 kg K, 24 kg Ca a 12 kg Mg. Rozhodujícím činitelem, nejvíce ovlivňujícím výnos a kvalitu zrna pšenice, je výživa a hnojení dusíkem (Vaněk a kol., 2007). Přihnojování dusíkem se dělí do základních etap (Petr a kol., 1983; Foltýn, 1970; Vaněk a kol., 2007): základní – před setím, regenerační – na jaře po přezimování, produkční – ke konci odnožování na začátku sloupkování a kvalitativní – těsně před metáním nebo krátce po něm. Růžek a kol. (2015) se zmiňuje o často se opakující chybě v opomíjeném hnojení fosforem a draslíkem, které může do značné míry ovlivnit přezimování ozimů a odolnost rostlin vůči stresům. Hlavní příjem živin je v období růstu, tedy po sloupkování, a většinou vrcholí v době květu (Vaněk a kol., 2007). Ideální hodnota pH je mezi 6 až 7 (Petr a kol. 1983; Prugar, 2008). Statkovými hnojivy se ke pšenici podle Vaňka a kol. (2007) běžně nehnojí. Na úrodných stanovištích je přímý vliv hnojení na produkci pšenice nižší a projevuje se více na půdách s nižší úrodností.

O výši výnosů, jejich stabilitě, ale i o kvalitě produkce rozhodují především vlastnosti zvolených odrůd (Faměra, 1993; Petr, 1999). Růžek a kol. (2015) se zmiňuje o rozšiřujícím se vysévání směsi dvou a více odrůd. Tyto se vzájemně doplňují ve svých vlastnostech, čímž je snižováno riziko působení abiotických a biotických stresů a zvyšována meziročníková stabilita výnosů zrna a jeho kvality. Většímu rozšíření tohoto postupu ve světě dosud brání mimo jiné nedostatek vhodných secích strojů. Jako perspektivní se jeví například směsi velmi výnosných odrůd ozimé pšenice s nízkou odolností k mrazu s odrůdami s dobrou mrazuvzdorností, doplňující se v některých parametrech kvality zrna, popřípadě v odolnosti k chorobám.

3.4 Šlechtění a šlechtitelské cíle

Přibližně 50 % zemské pevniny není ekonomicky vhodných pro pěstování zemědělských plodin, obzvláště kvůli teplotním, vláhovým a topografickým omezením. Na zbývající části orné půdy je optimální produkce dále limitována kombinací abiotických stresů, díky kterým je potřeba pro produkci zemědělských plodin dodatečná minerální výživa a úprava vláhových poměrů. Společně s rozrůstající se světovou populací je nutné produkovat více základních potravin na stávajících obdělávaných plochách stejně jako rozrůstání těchto ploch. Z toho vyplývá nutnost zvážit rozvoj zemědělství i v marginálních oblastech. Šlechtitelé tak budou muset vyvíjet odrůdy adaptované ke specifickým rostlinným stresům (Acquaah, 2007). Hlavním důvodem obrovského rozsahu pěstování pšenice jsou především biologické vlastnosti druhu a odrůd. Odrůda je jedním ze základních intenzifikačních prvků pěstování, její vlastnosti rozhodují nejen o výši výnosů a jejich stabilitě, ale i o kvalitě produkce (Faměra, 1993). Každá odrůda byla vyšlechtěna se stanoveným hospodářským cílem a její znaky se uměle udržují v konstantních hranicích. Odrůdy dělíme podle Foltýna a kol. (1970), Švece a kol. (2010) a dalších na:

- **Šlechtěné**, které jsou produkty cílevědomého křížení, mající charakter linie nebo populace. Výkonnost a stabilita těchto odrůd se musí udržovat udržovacím šlechtěním.
- **Krajové**, tedy především místní a regionální populace, pěstované dlouhodobě v dané oblasti. Jde o přírodní směs formovanou přírodním výběrem.

Ačkoliv pro šlechtitelskou praxi a intenzivní pěstování mají největší význam prvotně odrůdy šlechtěné, Švec a kol. (2010) mluví o nutnosti rozšíření genetické variability současného sortimentu odrůd. V budoucnu bude tedy pro možné pokroky ve šlechtění nutné

vyhledávat nové dárce znaků a vlastností mezi primitivními a divoce rostoucími formami rostlin. Krajové odrůdy tak budou opět získávat na významu.

Zatímco zlepšenou agrotechnikou bylo docíleno zvýšené produkce biomasy (Evans a Wardlaw, 1996), průběžným šlechtěním se podařilo zdokonalit dnešní odrůdy pšenice ve většině dalších hospodářských znaků: výnos zrna stoupl od roku 1920 o 2,4 % na 4,88 t/ha, přičemž vliv šlechtění se dá počítat z poloviny, tedy nárůst o 1 %. Díky novým odrůdám z Německa a Anglie se prodloužila vegetační doba (Hanišová a Horčíčka, 2012). Zatímco Foltýn (1970) vidí jako hlavní šlechtitelský cíl dosáhnout co největších výnosů, pro Hanišovou a Horčíčku (2012) je již jedním z primárních šlechtitelských cílů zvýšení odolnosti nových odrůd proti chorobám. V posledních letech stoupá především význam *Puccinia striiformis* (rez plevová). Tento trend samozřejmě neznamená, že by nesetrvávaly i nadále snahy o zvyšování výnosů pšenice, současná praxe pracuje ale více na zefektivnění celého procesu a vyrovnání všech sledovaných aspektů pěstování pšenice.

3.4.1 Šlechtění ve světě

Ve světovém měřítku je v současnosti jednou z nejdůležitějších organizací zabývajících se šlechtěním pšenice společnost CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). CIMMYT spolupracuje s výzkumnými organizacemi a soukromými společnostmi v řešení problémů globálního měřítko. Poskytuje pěstitelům nejlepší osivo, agronomická doporučení, vzdělávání a další informace potřebné ke zvyšování výnosů (CIMMYT, 2014).

Program šlechtění pšenice ve společnosti CIMMYT prošel podle Rajarama a Morgounova (1995) třemi hlavními obdobími:

- **Bilaterální období (1944 – 1960):** výzkum pouze na území Mexika

Díky zavedení genů zakrslosti (*Rht1*, *Rht2*) do fotoperiodicky necitlivých odrůd rezistentních proti *Puccinia graminis* (rez travní) se podařilo redukovat výšku rostlin až o 55 cm a současně navýšit výnos až o 50 %.

- **Období Zelené revoluce (1961 – 1976):** rozvoj mezinárodní spolupráce

Začalo se využívat genofondu křížení jarní x ozimá pšenice ve spolupráci s Oregonskou státní univerzitou v USA. Fotoperiodicky neutrální genetické zdroje jarní pšenice tak přinesly do genotypu ozimé pšenice nízký vzrůst, vysoký výnosový potenciál a odolnost chorobám.

- **Období po Zelené revoluci (1977 – současnost):** globalizace šlechtění pšenice v CIMMYT

Ve spolupráci mezi CIMMYT, národním programem Turecka a ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas) bylo věnováno úsilí k implementaci efektivních šlechtitelských programů a následného testování tolerance k suchu, vysokým teplotám, nízkým teplotám, porůstání a toxicitě boru.

Díky globalizaci šlechtitelských programů CIMMYT bylo možné aplikovat výsledky výzkumu ve všech agroekologických regionech světa. Později byly tyto agroekologické regiony rozděleny do dvanácti tzv. megaprostředí (megaenvironments).

Megaprostředí

Megaprostředí jsou značena zkratkou ME a pořadovým číslem konkrétního megaprostředí, některé kategorie jsou dále rozděleny na další podjednotky, tzv. sub-megaprostředí (sub-megaenvironment), jejichž název obsahuje kromě pořadového čísla ještě písmenné označení podjednotky. 12 megaprostředí je roztríděno do 3 celků: na prostředí výskytu jarní pšenice (6 megaprostředí, 12 sub-megaprostředí), prostředí výskytu fakultativní, nebo-li přesívkové pšenice (3 megaprostředí, 4 sub-megaprostředí) a prostředí výskytu ozimé pšenice (3 megaprostředí, 4 sub-megaprostředí). Pouze v prostředí výskytu fakultativní a ozimé pšenice hrozí potenciální stres z nízkých teplot, v tabulce 1 jsou zmíněna tedy jen tato vybraná megaprostředí, popsána podle Rajarama a Morgounova (1995).

Tabulka 1: Rozdělení megaprostředí s výskytem ozimé a fakultativní pšenice dle Rajarama a Morgounova (1995)

Vláhové podmínky prostředí	Optimální prostředí, zavlažováno. Nedostatečné srážky během vegetace.		Vysoký úhrn srážek. Více než 500 mm srážek během pěstebního cyklu.				Semi-aridní oblasti. Méně než 500 mm srážek přístupných pro rostliny.	
	PVFP	PVOP	PVFP		PVOP		PVFP	PVOP
	ME7	ME10	ME8A	ME8B	ME11A	ME11B	ME9	ME12
			Fotoperiodicky citlivé	Fotoperiodicky neutrální	Fotoperiodicky citlivé	Fotoperiodicky neutrální		
Oblast	Přechodně oblasti Číny	Čína	Jižní Chile, západní Pacifik, severozápad USA	Balkánský poloostrov, jihovýchod Evropy, jihovýchod USA	Severozápadní Evropa, východ USA	Česká republika, Východní Evropa, Rusko, Ukrajina, střeozápad USA	Středomoří, západní Asie a severní Afrika, pohoří Atlas, Maroko, severní Argentina, jižní Argentina, jižní Afrika, jižní Velké planiny (USA)	Severní Velké planiny (USA), Turecko, Írán, Afgánistán, Rusko, východní Evropa
Abiotické stresy	Mírný chlad	Chlad	Mírný chlad, podmáčení		Chlad, podmáčení	Chlad	Mírný chlad, mraz, sucho, horko, nedostatek mikroprvků v půdě nebo jejich toxicita	

PVFP – Prostředí výskytu fakultativní pšenice

PVOP – Prostředí výskytu ozimé pšenice

3.4.2 Šlechtění v ČR

První srovnávací pokusy s pšenicí na našem území byly založeny při Zemské stanici pro pěstování rostlin v Brně v roce 1904. Počátek šlechtění na rezistenci můžeme připisovat velkému napadení shromážděného materiálu pšenic rzí plešovou v letech 1911–15. V období po první světové válce se šlechtění soustředilo především na křížení krajových odrůd zaměřené na zvyšování výnosů na úkor jakosti. Po druhé světové válce se šlechtitelské programy v té době znárodněných podnicích potýkaly s nedostatečnou odolností proti poléhání a kromě prvních snah o zvyšování pekařské jakosti se prvně objevoval cíl zvyšovat zimovzdornost odrůd (Foltýn, 1970). Začalo se prvně zkoušet hybridní a mutační šlechtění. V letech 1970–90 docházelo k rozvoji mechanizace a vybavenosti podniků. Byla budována speciální zařízení na mimo vegetační pěstování a první jarovizační komory pro testování zimovzdornosti v řízených podmínkách. Začaly se vysévat fytopatologické školky pro sledování chorob na uměle infikovaných rostlinách. Po roce 1990 se rozvíjela široká spolupráce a výměna materiálu se západoevropskými firmami. Dnes se ale bohužel společnosti této spolupráci kvůli konkurenceschopnosti uzavírají, což bude mít nejspíš v budoucnu za následek zpomalení dalšího rozvoje šlechtění. Otevřením hranic pro všechny zahraniční firmy narostla konkurence, čímž se zároveň díky velkému počtu zkoušených odrůd velmi zkrátila doba životnosti odrůd z průměrných 22 let do roku 1948 na dnešních 5 let (Hanišová a Horčíčka, 2012).

3.5 Stresové účinky nízkých teplot

Počasí má prakticky největší vliv na výnosy plodin nejen ze všech stanovištních faktorů, ale i použité agrotechniky. Jeho vlivem může dojít ke kolísání výnosů zemědělských plodin až o $\pm 40\%$ (Šimon, 2004).

3.5.1 Změny klimatu

Ačkoliv veřejnost se o problematiku globálního oteplování začala více zajímat až v polovině 80. let 20. století. Poprvé byla formulována již kolem roku 1897 švédským vědcem Svantem Augustem Arrheniusem. Ten byl prvním vědcem, který prohlásil, že množství emisí oxidu uhličitého vznikající spalováním fosilních paliv je dostatečné aby způsobilo globální oteplování (Barros, 2006). Problematika globálního oteplování a změn klimatu s ním spojeným se tak stala nejen důležitým politickým tématem, ale hlavně také důležitým aspektem pro veškerou šlechtitelskou praxi.

3.5.2 Hodnocení zim na území ČR

Na našem území se nejčastěji vyskytuje negativní působení mrazů (holomrazy) nebo v některých letech napadení vyčerpaných rostlin plísněmi pod sněhem. Takováto působení nelze vyloučit ani při probíhajících klimatických změnách (Prášilová a Prášil, 2011). Výskyt teplých zim v posledním desetiletí (1991 – 1994 a 1997 – 2002) je spojováno s hypotézou globálního oteplování. Globální oteplování však neznamená, že se na našem území nemohou vyskytnout chladné zimy. V průběhu 20. století můžeme jako studené zimy s výskytem podnormálních teplot označit nejméně 15 zim, tj. přibližně každou šestou zimu (Prášilová a kol., 2003).

Tabulka 2: Studené zimy za posledních 50 let (Prášilová a kol., 2003), upraveno

Studené zimy na našem území od r. 1965		
1966/1967	1968/1969	1969/1970
1978/1979		
1981/1982	1984/1985	
1995/1996		
2002/2003	2005/2006	2009/2010
2010/2011	2011/2012	

Významným projevem globálních změn, související s přezimováním ozimů je možnost výskytu nevhodných povětrnostních podmínek nutných pro normální průběh otužování na podzim a na počátku zimy (Prášilová a kol., 2003). Proto např. nepředvídatelný průběh stále déle trávajícího podzimu a požadavek brzkého setí může zapříčinit nadměrné přerůstání a následně problémy s přezimováním. Především nejranější a nadměrně přerostlé rostliny byly nejvíce poškozeny mrazy v zimě 2012/2013. Např. u ozimé řepky se problém podzimního přerůstání řeší podzimní aplikací postřiku růstového regulátoru Folicur (Taylor, 2013, osobní sdělení).

3.5.3 Fyziologie přezimování

Jarovizace

Rostliny se v daných podmínkách přizpůsobily k průběhu hlavních faktorů ovlivňujících jejich vývoj, kterými jsou především teplota a délka dne. Výrazné reakce rostlin na tyto faktory se nazývá jarovizace a fotoperiodická reakce (Foltýn, 1970).

Jarovizace je proces, kdy rostliny působením nízkých teplot získávají nebo urychlují svoji schopnost vymetat – vytvořit generativní orgány (Foltýn, 1970; Trischuk a kol., 2014). Trischuk a kol. (2014) mluví o důležitosti tohoto procesu k správnému vývoji mrazuvzdornosti ozimů. Vysoký stupeň odolnosti může být vyvinut pouze u rostlin ve vegetativním stadiu a právě díky jarovizaci je metání oddáleno během zimy do příznivějších růstových podmínek na jaře. Délka jarovizace je rozdílná u jednotlivých druhů a odrůd, nejčastěji však v rozpětí teplot mezi +2 až +6 °C. Hraniční a optimální jarovizační teploty a délka jarovizace určuje stupeň ozimosti (Foltýn, 1970; Trischuk a kol., 2014), jak je uvedeno v tabulce 3.

Tabulka 3: Stupeň ozimosti odrůd dle Foltýna (1970), Wimmerová

Stupeň ozimosti odrůd	Jarovizační teplota	Délka jarovizace
Typicky ozimé	0–5 °C	60 dní
Ozimé	0–10 °C	30–60 dní
Poloozimé	3–20 °C	15–30 dní
Jarní	Na jarovizaci téměř nereagují	

Foltýn (1970) rozděluje jarovizaci do dvou etap. Začátek probíhá při často i dost vysokých teplotách nad 0 °C, druhá etapa pak probíhá při teplotách pod 0 °C. Teplotní optimum během jarovizace se tedy mění, což se klade za následek vlivu střídání vyšších a nižších teplot během dne i noci v přirozených podmínkách.

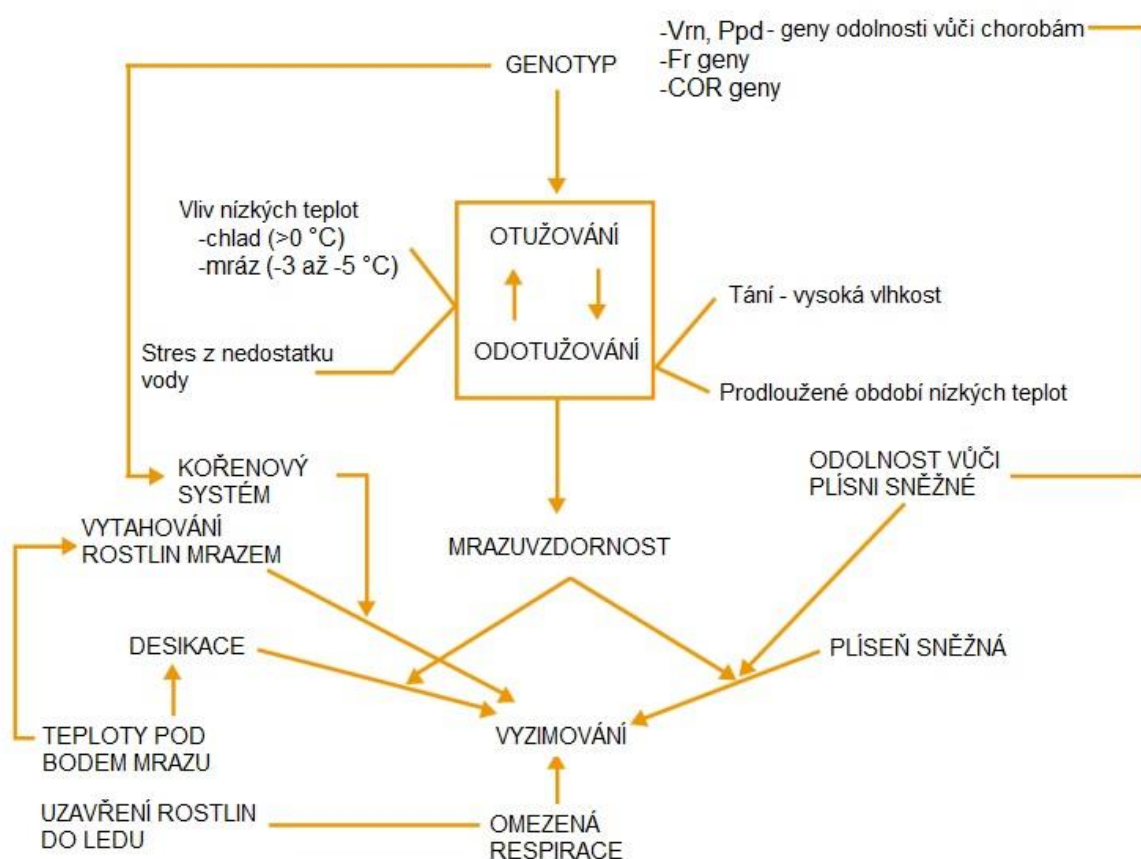
Săulescu a Braun (2001) vysvětluje souvislost mezi mrazuvzdorností a jarovizačními požadavky propojením mezi major geny řídícími mrazuvzdornost (*Vrn*) a geny řídícími růstový habitus. Bylo navíc zjištěno, že geny kontrolující jarovizaci jsou klíčovým faktorem odpovědným za trvání exprese strukturálních genů indukovaných nízkými teplotami

Zimovzdornost

Zimovzdornost představuje komplexní znak, kdy rostliny musejí odolávat působení řady biotických a abiotických faktorů (Prášilová a Prášil, 2007). I když na našem území je dominantním faktorem nízká teplota (mráz) (Petr a kol., 1987; Prášilová a Prášil, 2007), nelze vyloučit působení dalších faktorů jako je zaplavení rostlin vodou z tajícího sněhu, uzavření rostlin

do ledu při zamrznutí vody či usychání rostlin při zamrzlé spodní vrstvě půdy (Prášilová a Prášil, 2007).

Petr a kol. (1987) mluví v našich podmínkách o určitém přehlížení významu ostatních faktorů mimo mrazuvzdornosti, ohrožujících přezimování ozimých obilnin (vymokání, ledová vrstva, vytahování, atd.). Tento fakt odůvodňuje tím, že tyto činitele se až na výjimky uplatňují nepravidelně, časově omezeně a většinou na relativně menších plochách. I přesto je ale zejména v globálním měřítku podle Säulescu a Brauna (2001) nezbytné správně vyhodnotit četnosti výskytu těchto nebo jiných faktorů, které mohou ovlivnit přezimování rostlin na konkrétním území kvůli lepšímu výběru rodičů a metodik testování v šlechtitelském programu a může tak následně zvýšit efektivitu alokace zdrojů. Stejně tak Foltýn (1970) zdůrazňuje důležitost pěstování zimovzdorných odrůd ozimé pšenice.



Obrázek 1: Vliv faktorů ovlivňujících zimovzdornost ozimé pšenice upraveno podle (Reynolds a kol., (2001))

Stres vymokáním vzniká zaplavením rostlin vodou po déle trvajících deštích a nedostatečném vsakování vody do ornice nebo na jaře z tajícího sněhu. Zaplavené rostliny se hůře otužují a v zimě trpí mrazem. Ochrana vůči vymokání spočívá v melioračních opatřeních. Opětovným mrznutím tajícího ledu či vody v porostech se tvoří ledová vrstva.

Poškození ledovou vrstvou se vysvětluje toxickým hromaděním CO₂ s etanolem jako produktů anaerobního dýchání. Jediným opatřením proti poškození je dodržování správné agrotechniky a pěstování mrazuvzdorných odrůd. Vytahování rostlin nastává v různém období zimy při zmrznutí a opakovaném roztátí, kdy se povrchová vrstva půdy vertikálně zdvihá. Po tání jsou obnaženy citlivé části rostlin, nebo při větších zdvizech půdy se trhají i kořeny. Ke zmírnění škod způsobených vytažením rostlin je nejlepším agrotechnickým opatřením válení porostů ihned, jak to dovolí vlhkost půdy. Sněhová pokrývka může zimujícím rostlinám pomoci přečkat silné mrazy, zároveň však může i škodit - dochází zde ke spotřebě rezervních látek, které nejsou zpětně fotosynteticky doplňovány a může tak dojít k úplnému vyčerpání rostlin. Naopak však může sníh prospívat, jelikož pod 30–40 cm tlustou vrstvou sněhu neklesá teplota pod 0 °C, i když nad sněhem panují často i teploty pod –20 až –30 °C. Vzduch pod sněhem je však nasycený vodními parami, a proto zeslabené rostliny mohou být při dlouhodobě ležící přikrývce sněhu napadány houbovými patogeny. Jde především o tzv. plíseň sněžnou způsobenou r. *Fusarium* sp., *Typhula* sp. (paluška) a choroby pat stébel. Pokud v našich podmínkách faktory jako vymokání, ledová vrstva, vytahování, atd. nevedou k přímému úhynu rostlin, mají za následek snížení mrazuvzdornosti a zeslabení rostlin, což se může projevit v poruchách dalšího vývinu a tedy i ve snížení výnosu (Foltýn, 1970; Petr a kol., 1987).

Mrazuvzdornost

Odolnost rostlin proti mrazu, neboli jejich mrazuvzdornost patří podle Foltýna (1970) a Petra a kol. (1987) v našich podmínkách k nejdůležitějšímu činiteli ovlivňující stav ozimů. Je to schopnost rostlin překonat působení teplot pod bodem mrazu (0 °C). Na našem území jde o působení mrazů v zimě, výskyt jarních a podzimních mrazíků. Z fyziologického hlediska znamená především schopnost rostlin odolávat mrznutí vody v pletivu (Gloser a Prášil, 1998). Petr a kol. (1987), stejně jako Prášil a kol. (2005) hovoří o jejím vývoji a proměnách v průběhu zimy. Obecně se tento vývoj dá charakterizovat třemi základními stadii:

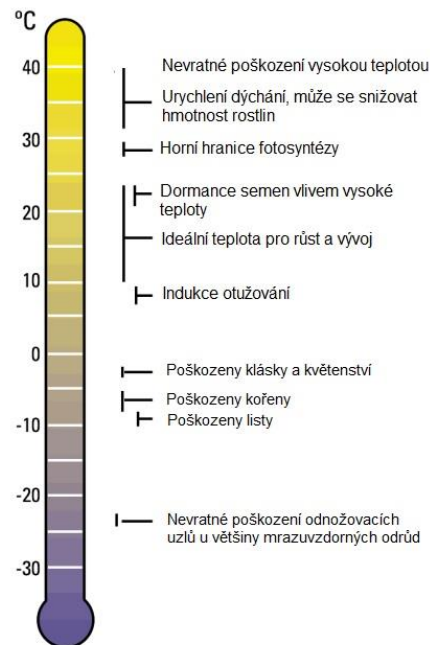
- otužování (aklimatizace) na podzim, úroveň mrazuvzdornosti se zvyšuje kvůli pomalému poklesu teplot
- udržování mrazuvzdornosti charakteristické kolísáním úrovně mrazuvzdornosti v závislosti na vlivu vnitřních a vnějších faktorů
- postupná ztráta mrazuvzdornosti v závislosti na obnovení vývoje rostliny oteplením na jaře

Po včasném výsevu rostliny vytváří listy, kořeny a pak i odnože, zatímco později se růst nových orgánů zbrzdí vlivem poklesu teplot k 0 °C. Foltýn (1970) považuje toto zastavení růstových procesů a snížení intenzity látkové výměny rostlin za předpoklad adaptace rostlin nejen z hlediska rezistence k mrazu, ale i k jiným škodlivým činitelům zimy, zatímco Prášil (1997a) mluví pouze o prodloužení pobytu rostlin ve chladu, nikoliv úplném odstranění vzniku chladového poškození, k jehož dosažení musí předcházet další stadia otužování.

Je pochopitelné, že dosažení vysoké odolnosti k nízkým teplotám musí předcházet utlumení všech buněčných funkcí a vlastní proces dehydratace musí probíhat pomalu, řízeně. Mrazuvzdornosti tedy nelze dosáhnout náhlým poklesem teploty ani ji trvale udržovat jako konstituční znak. Odolnost vůči mrazu má z těchto důvodů silně sezónní charakter. Proces zvyšování odolnosti vůči mrazu (otužování) má u různých druhů odlišný charakter. U většiny mrazuvzdorných bylin obvykle stačí několik dnů s teplotami blízkými nule. Důležitou podmínkou k získání odolnosti vůči mrazu u bylin je dostatek asimilátů (Prášil, 1997a).

Otužování u ozimé pšenice je iniciováno za vyšších teplot než u pšenice jarní, u které je zároveň otužení možné pouze do omezené míry. Bylo zjištěno, že jednou již od-otužené ozimé plodiny, po úplném naplnění požadavku na jarovizaci nejsou schopny po opětovném zasažení nízkými teplotami dosáhnout zpět své plné potenciální úrovně mrazuvzdornosti. Jejich nově získaná úroveň mrazuvzdornosti se rovná úrovni jarních plodin (Săulescu a Braun, 2001; Trischuk a kol., 2014).

V druhé etapě probíhající v době, kdy i denní teploty klesnou pod bod mrazu, dochází obvykle k úplnému zastavení fotosyntézy, snižuje se obsah vody v buňkách, zvyšuje se elasticita. Cukry obsažené v buňce se dostávají do protoplazmy, kde chrání membrány, lamely chloroplastů a membrány mitochondrií citlivé k dehydrataci (Foltýn, 1970), jelikož hlavní příčinou poškození rostlin není přímý dehydratace buněk, spojená s tvorbou ledu v buňce. Z tohoto důvodu je důležitá pevná buněčná stěna, schopná zabránit větším deformacím buněk, a tím chránit plazmatickou membránu a orgány před mechanickým poškozením. Dosažení vysoké odolnosti k nízkým teplotám musí předcházet utlumení všech buněčných funkcí a



Obrázek 2: Vliv teploty na fyziologické procesy pšenice ozimé (Reynolds a kol., 2001), upraveno

dehydratace musí probíhat pomalu. Mrazuvzdornosti tedy nelze dosáhnout náhlým poklesem teploty ani ji trvale udržovat, má proto silně sezónní charakter (Prášil, 1997b).

Rostliny a jejich části, u kterých nedojde k tvorbě ledu, přežijí obvykle působení mrazu bez následků. Led se může tvořit uvnitř buněk (tzv. intracelulární mrznutí) nebo v mezibuněčných prostorech (tzv. extracelulární mrznutí). Vnitrobuněčné mrznutí se vyskytuje pouze omezeně, většinou u neodolných rostlin. V přirozených podmínkách, kdy pokles teploty pod bod mrazu je pomalý, dochází u odolných rostlin k mezibuněčnému mrznutí vody (Prášil, 1997b).

Při extracelulárním mrznutí vody, v závislosti na koncentraci buněčné šťávy, stavu otužení a vyzrálosti pletiv začíná voda v pletivech mrznout mezi -1 , až -5 °C. Mezibuněčné prostory se zaplňují rostoucími krystalky ledu postupně odnímajícími vodu z buněk. Při překročení určité hranice odvodnění buněk (70 až 90 % vymrzlé vody vzhledem k plnému nasycení) dochází k nevratnému poškození buněk. Membrány v buňkách poškozených mrazem přestávají fungovat, voda z roztáleného ledu zůstává v mezibuněčných prostorech, bylinné části ztrácejí turgor a při vyšších teplotách rychle usychají (Gloser a Prášil, 1998).

Pro přežití obilnin je podle Petra a kol. (1987) nejdůležitější zachování odnožovacího uzlu, neboť je to orgán s možností tvorby náhradních kořenů a odnoží. Důležitá je hloubka uložení odnožovacího uzlu, vzhledem ke snižování intenzity mrazu s hloubkou půdy.

Bylo prokázáno, že odolnost nízkým teplotám je komplexní vlastnost řízená polygenně. U 15 z 21 chromozómů ozimé pšenice byl prokázán vliv na její odolnost nízkým teplotám. Pomocí genetických markerů byly zmapovány major geny *Fr-A1*, neúplně vázaný gen *Vrn-A1* na chromozómu 5A a *Fr-D1*, neúplně vázaný na gen *Vrn-D1* na chromozómu 5D (Sutka a kol., 1999; Săulescu a Braun, 2001). Prášil a kol. (2005) zmiňuje navíc ještě geny *Fr-B1* vázaný s *Vrn-B1* na chromosomu 5B. Geny *Fr* jsou odpovědné především za mrazuvzdornost, zatímco geny *Vrn* za jarovizační proces.

V závislosti na průběhu počasí v zimě a na vývinu rostlin ozimů se schopnost rostlin odolávat zimě mění. Aktuální odolnost přezimujících porostů znamená schopnost rostlin v danou dobu odolat mrazům a ostatním abiotickým faktorům zimy. Během zimy s oblevami a obnoveným růstem a vývojem rostlin aktuální odolnost porostů klesá (Prášilová a kol., 2003). Foltýn (1970) považuje za nejzávažnější deprese rezistence za déletrvajících oblev, kdy se může obnovit metabolická aktivita a někdy i růst. Je proto velmi důležité, aby pěstované odrůdy vykazovaly nejen vysokou rezistenci proti mrazu, ale aby měly především vysokou stabilitu mrazuvzdornosti. Při zvyšování teploty půdy v předjaří se začíná projevovat ireverzibilní ztráta odolnosti ozimů vůči mrazu (Petra a kol., 1987).

3.6 Šlechtění pro odolnost nízkým teplotám

Ve výzkumu odolnosti nízkým teplotám jsou v globálním měřítku stále pouze minimální úspěchy v aplikování výsledků výzkumu do šlechtitelské praxe. Šlechtění superodolných odrůd je stále výzvou. Za hlavní důvody tohoto faktu považuje Acquah (2007) fakt, že využitelná genetická variabilita pro odolnost nízkým teplotám v existujících genofondech většiny druhů byla z velké části vyčerpána. Společně s Foltýnem (1970) zmiňují, že existuje vysoký počet genů s malým efektem a komplexními interakcemi určující fenotypový projev odolnosti vůči nízkým teplotám. Ve svém komplexu je tedy proto velmi komplikovaná po stránce dědičnosti, což značně znesnadňuje selekci. Stávající metodiky špatně rozlišují malé fenotypové rozdíly. Metody postrádají přesnou analýzu jednotlivých rostlin a často bývají destruktivní, čímž je komplikována další selekce.

U pšenice se setkáváme s problémem, kdy šlechtění odrůdy pro mrazuvzdornost je obecně spojováno s nižším výnosem a pozdější zralostí. Navíc každý další šlechtitelský cíl zpomaluje genetický vývoj všech ostatních zájmových rysů. Z tohoto důvodu by nemělo být šlechtitelským cílem maximalizovat zimovzdornost, ale vyvíjet odrůdy s minimální nutnou úrovní zimovzdornosti pro dané území. Jsou-li vyselektovány odrůdy s vyšší odolností kvůli omezení ztrát vymrzáním, nemělo by se zapomínat na fakt, že výnosové ztráty v teplejších letech bez vyššího mrazového stresu mohou mnohokrát převyšovat výhody z lepšího přezimování v letech s tuhou zimou. Definice minimální nutné úrovně odolnosti pro daný region by měla být založena na riziku vymrzání, zvážené na základě dat o počasí a informacích o výkonnosti dané odrůdy v dané lokalitě (Reynolds a kol., 2001).

Schopnost aklimatizace či ubránění se stresu z nízkých teplot se liší mezi druhy a vývojovými stádii. Z toho plyne, že je nemožné vyvinout šlechtitelský cíl aplikovatelný pro všechny šlechtitelské programy pro odolnost nízkým teplotám (Acquaah, 2007).

Při kombinacím křížení bývá pro zvyšování odolnosti proti nízkým teplotám využíváno např. odrůd stepního původu. Využití severských odrůd přináší do šlechtitelského programu dobrou odolnost proti nízkým teplotám s vysokým výnosem, nesnášející však v našich podmínkách kolísání teplot v zimních měsících. V oblastech s možností občasného obnovení vegetace uprostřed zimního období je vhodně použít naše domácí krajové odrůdy z českých červenek a přesívek. Proti jarním mrazům jsou nejlépe aklimatizovány jihomoravské, maďarské a rumunské odrůdy (Foltýn, 1970). Reynolds a kol. (2001) stejně jako Acquah (2007) hovoří o snahách o zanesení genů z odolnějších druhů mezidruhovým křížením (např. s žitem). Špatná exprese genů odolnosti nízkým teplotám v odlišných

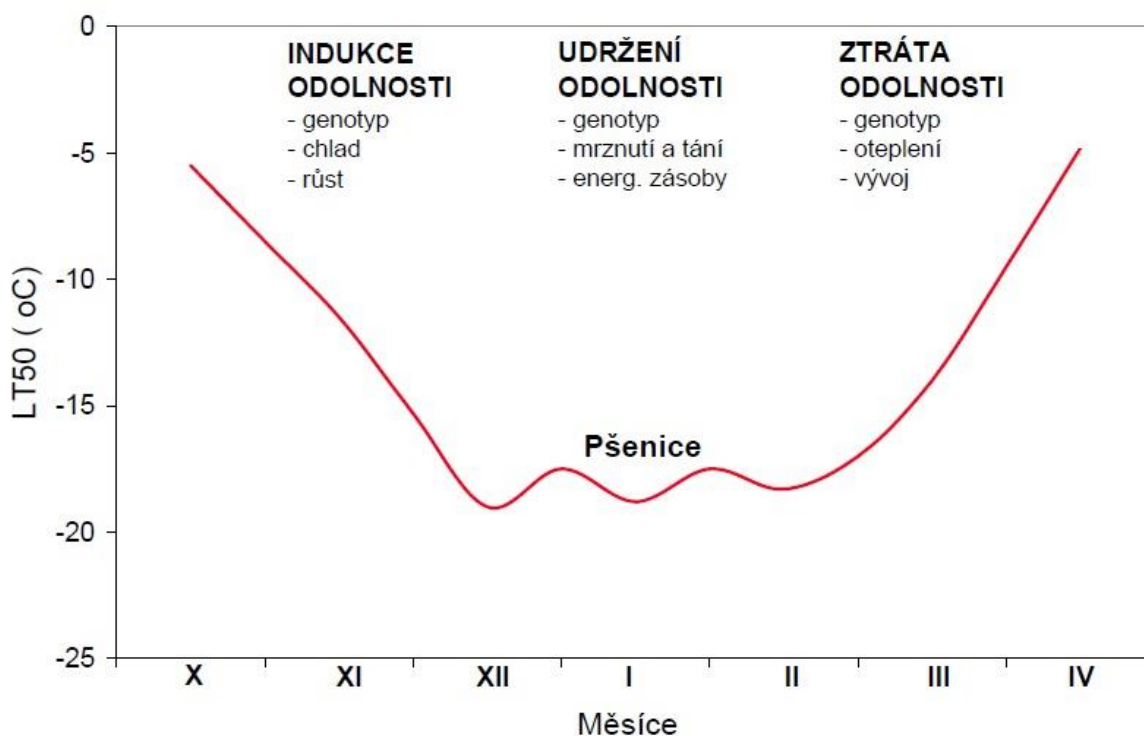
genetických pozadích ovšem brání expanzi využití těchto genofondů pro mezidruhovú a mezirodovú křížení a žádný z pokusů nebyl zatím úspěšný. Zato jsou však podle Foltýna (1970) známy středně až dobře odolné odrůdy vzniklé křížením ozimé x jarní pšenice. Reynolds a kol. (2001) považuje v případě těchto křížení za účelný vyšší selekční tlak počínající v raných generacích kvůli zvýšení pravděpodobnosti selekce jedinců s dostatečnou odolností. Velmi efektivní podle něj může být např. negativní selekce jedinců s habitem jarní pšenice v raných generacích.

Šlechtitelská strategie závisí samozřejmě také na poměru mezi odolností v použitém genofondu a minimální nutnou úrovní odolnosti pro dané území. Pokud je většina rodičů použitých ve křížení stejně nebo více odolných než je spodní nutná hranice, je pak další udržování této úrovně relativně snadné, aplikací volnější selekce řídce se vyskytujících méně odolných segregujících jedinců (Reynolds a kol., 2001). O použití této strategie v praxi se zmiňuje např. Kolynchaya a kol. (1995). Považuje za nezbytné používat rodiče s vysokou tolerancí vůči mrazu, jejich vývoj je proto jedním ze šlechtitelských cílů ruského Institutu Mironovka (Mironovka Institute of Wheat Selection and Seed Production). Obecně se podle Foltýna (1970) při praktickém šlechtění dělá výběr odolných linií až v pozdějších generacích, aby selekční proces proběhl za stálého působení přirozených podmínek. K výběru jedinců tak tedy dochází do generace F_4 – F_5 . Reynolds a kol. (2001) mluví o sice jednodušší, zato velmi užitečné selekční metodě využití dat o přezimování odrůd s různou úrovní zimovzdornosti, které jsou nebo byly na daném území pěstovány delší dobu. Z těchto dat jsou zjištěny odrůdy, které jsou pěstovány a dochází u nich pouze k nahodilému a ne příliš vážnému vymrzání. Pokud vymrzne jednou za 10 let, může být odrůda obecně považována za přijatelnou. Pokud je takovýto kultivar identifikován, dá se jeho úroveň odolnosti považovat za minimální nutnou úroveň odolnosti pro dané území a měl by být využíván jako kontrola v testech mrazuvzdornosti.

3.6.1 Metody stanovení mrazuvzdornosti u ozimé pšenice

Česká republika se nachází na rozhraní přímořského a kontinentálního klimatu, kdy mírnější zimy střídají zimy tuhé s dlouhotrvající sněhovou pokrývkou, s teplotními výkyvy či holomrazy. Problém proto představuje nedostatek kritických podmínek a přirozeného selekčního tlaku. Je tedy nutné provádět provokační testy (Holubová a kol., 2012).

Obecně lze nejpřesněji úroveň odolnosti hodnotit pomocí kritické teploty rostlin KT50, resp. LT50 (letální teplota). Ta udává teplotu, při které zahyne 50 % jedinců zkoušeného souboru a lze ji stanovit po mrazovém testu s užitím několika odstupňovaných intenzit mrazu. Překročí-li minimální teplota prostředí kritickou teplotu rostlin, dochází k vážnému poškození porostů (Petr a kol., 1987). Pro výpočet LT50 vycházíme z hodnot % přežití. Pro každý vzorek a každou teplotu mrazu je vypočítáno % přežití, životnost, jako poměr počtu živých rostlin k celkovému počtu rostlin, vyjádřený v procentech (0 až 100 %). LT50 se během zimy mění a její velikost je ovlivněna řadou vnějších, ale i vnitřních faktorů. Průměrný průběh LT50, zjištěný na základě dlouhodobých měření ve VÚRV (Výzkumný ústav rostlinné výroby) v Praze-Ruzyni, ukazuje následující obrázek (Prášilová a Prášil, 2008).



Obrázek 3: Průměrný průběh LT50 podle dlouhodobých měření ve VÚRV Praha-Ruzyně (Prášilová a Prášil, 2008), upraveno

Díky komplexnosti vlivu stresů prostředí, nejsou obecně známé jednoduché, praktické a efektivní testy, které by mohly být pohotově využívány šlechtiteli jakožto prostředky k selekci. V posuzované vlastnosti by se měla mezi testovanými jedinci vyskytovat genetická variabilita. Metody testování by měly být jednoduché, účinné a jejich použití ekonomicky únosné (Acquaah, 2007).

Metody testování mohou být přímé, nepřímé, nebo jsou používány metody na základě genetických markerů. U přímých metod jsou rostliny různými způsoby otužovány, vystaveny mrazu a následně podle užití metody bonitovány. Tyto metody můžeme obecně rozdělit na polní, laboratorní a kombinované. Nepřímé metody naopak hodnotí úroveň otužení namísto poškození způsobených mrazem (Reynolds a kol., 2001). Rozdělení metod znázorňuje Tabulka 4.

Tabulka 4: Rozdělení metod stanovení mrazuvzdornosti podle Reynoldse a kol. (2001), upraveno

	Otužování	Vystavení mrazu		Hodnocení
Přímé metody	<ul style="list-style-type: none"> - Přírodně na poli - Ve fytotronu - Kombinovaně 	<ul style="list-style-type: none"> - Na poli (běžné nebo speciální lokality) - Na poli s úpravou podmínek (hrůbky, vyvýšené bedýnky, odklizení sněhu - V mrazové komoře - Ponořením do chladicí kapaliny 	<ul style="list-style-type: none"> - Rostliny v truhlících - Rostliny odebrané z pole (přesazené do truhlíků s perlitem/ pískem) - Rostlinná torza (v polyetylenových sáčcích/ písku) - Sazenice 	<ul style="list-style-type: none"> - Přežití rostlin - Poškození listů - Obnovení kořenového systému - Poškození buněčných membrán - Životaschopnost pletiv - Fluorescence - Aktivita enzymů
Nepřímé metody	Žádné	Žádné		<ul style="list-style-type: none"> - Obsah vody v pletivech - Volný prolin - COR proteiny - Elektrický odpor sazenic/ rostlinných torz - Genetické markery

Otužování je nejnáze proveditelné v přírodních podmínkách, umístěním truhlíků nebo jiných nádob s rostlinami ven, nebo odběrem otužených rostlin z pole. Na druhé straně je otužování ve fytotronech s kontrolovanou teplotou a světelným režimem, další možnost je provést 1. fázi otužování v přírodních podmínkách na poli, rostliny poté přesadit do truhlíků nebo jiných vhodných nádob a provést druhou fázi otužení ve fytotronech, kde už v tomto případě postačí pouhých 24–130 hodin (Reynolds a kol., 2001).

Nepřímé metody byly vyvinuty z důvodu finanční náročnosti přímého testování a jeho vysoké chybovosti. Jednou z metod je hodnocení obsahu vody v rostlině podle Fowlera a kol. (1981). Obsah vody po otužení koreluje s přezimováním. Během procesu otužování rostliny je, především u odolnějších genotypů, postupně snižován. Další látkou, která hraje velkou roli v ochraně rostlin před různými stresy včetně mrazu, je aminokyselina prolin. Ve svém výzkumu se o jeho vlivu zmiňuje např. Dörffling a kol. (1990). Značné množství volného prolinu je akumulováno během otužování v listech a pozitivně koreluje s genotypově specifickou mrazuvzdorností.

V přímých provokačních testech je stresové působení nízkých teplot různými způsoby uměle umocňováno. Mezi tyto metody patří např. testování v mrazových komorách, pěstování ve školkách udržovaných bez sněhové pokrývky (bramborové hrůbky) nebo bedýnkové testy (Taylor, 2012). V Rusku testují ozimé obiloviny již od raných generací ve vyvýšených betonových korytech (Mařík a kol., 2012). Názory šlechtitelů na vhodnost jednotlivých metodik se často liší, setkáváme se proto s různými modifikacemi metodik, které se mohou vzájemně doplňovat, či zastupovat. Např. nevýhodou některých nádobových testů může být přílišná závislost na vnějších podmínkách. Pro objektivní vyhodnocení odrůdové zimovzdornosti je potřeba víceletých výsledků z více lokalit (Mařík a kol., 2012). V mírných zimách, kdy se setkáváme s nízkým selekčním tlakem v polních podmínkách, můžou být tyto výsledky zastoupeny nebo doplněny výsledky z testů laboratorních.

Acquaah (2007) a Reynolds a kol. (2001) se shodují na významu zařazování kontrolních odrůd u všech metodik. U těchto kontrol by vždy mělo jít o odrůdy s lety prověřenou úrovní mrazuvzdornosti, ideálně v zastoupení různých stupňů mrazuvzdornosti. Jako negativní kontrola bývají v praxi často využívány odrůdy jarní pšenice. Tyto kontroly by měly být v pokusech opakovány podle potřeby vždy po několika parcelkách nebo řádcích.

Polní metody

Výsledky získané z prostředí běžného pro pěstování pšenice se dají z pohledu komplexního vlivu všech stresových faktorů považovat za nejméně spolehlivé a nejpřesnější. Přes mnohé nevýhody tak proto podle Reynoldse a kol. (2001) výsledky z polního testování využívá většina šlechtitelských programů. V oblastech, kde se v různých letech setkáváme s různým průběhem zimy, mohou být tyto výsledky často zavádějící nebo neprůkazné.



Obrázek 4: Pohled na maloparcelkový polní pokus ve VÚRV Praha – Ruzyně (archiv autorky)

V našich podmínkách se nevhodnost nebo nedostatečnost těchto metod ukázala při testování odolnosti ozimých plodin ke stresům zimy v registračním řízení, které neumožňovaly důsledné prověření odrůdové odolnosti, což se projevilo v zimách 2002/2003 a 2005/2006 rozsáhlejší vyzimováním citlivých odrůd v pokusech i v zemědělské prvovýrobě (Mařík a kol., 2012). Z tohoto důvodu je vhodné využívat v polním testování tzv. výměnných šlechtitelských programů a podle finančních, prostorových a dalších podmínek společností testovat vybrané odrůdy (většinou pozdější generace) v polních podmínkách na územích s výskytem tužších zim a tím i s vyšším selekčním tlakem.

Vyzimování není často zapříčiněno pouhým stresem z nízké teploty, ale také interakcí široké škály faktorů, které se nemusí v daném roce nebo na daném místě vůbec vyskytnout. Také z tohoto důvodu je vhodné testovat odrůdy na více různých lokalitách (Reynolds a kol., 2001).

S variabilitou podmínek se lze setkat i v rámci jednoho jediného pole díky neuniformní sněhové pokrývce, předseťové přípravě, výsevní hloubky, vlhkosti půdy apod. Podle Reynoldse a kol. (2001) je tedy vhodné zařazovat v pokusech pravidelně sadu

ověřených kontrolních odrůd pro možnou úpravu bonitační škály a všemi dostupnými prostředky se snažit vylepšit uniformitu podmínek na poli (především předseťovou přípravou). Stushnoff a kol. (1984) se navíc zmiňuje o vhodnosti maloparcelkových pokusů. Za nejefektivnější pro selekci v polních podmínkách považuje krátké (0,5–1,5 m), opakované, jednořádkové parcelky.

Společnost Limagrain GmbH, posílá své hlavní zkoušky (3. rok výnosových zkoušek) k testování do Lotyšska, Litvy, Finska a Estonska či severovýchodního Polska, kde lze pravidelně předpokládat určité mrazové poškození (Taylor, 2012); např. Estonsko zaznamenalo již na podzim roku 2014 teploty kolem $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Taylor, 2013, osobní sdělení).

V letech s mírnějšími zimami a tím i nižším selekčním tlakem je možné uměle zvýšit pravděpodobnost vymrzání v polních podmínkách a tím zefektivnit selekci mrazuvzdorných odrůd. Tyto metody podle Reynoldse a kol. (2001) jsou uvedeny dále.

Bedýnkové testy

Pěstování pšenice v dřevěných nebo betonových bedýnkách umístěných nad zemí na otevřeném poli umožňující dosáhnout nižších teplot zvyšující pravděpodobnost vyzimování (Reynolds a kol., 2001).



Obrázek 5: Pohled na bedýnkový test ve VÚRV Praha – Ruzyně (archiv autorky)

ÚKZÚZ (Ústřední kontrolní ústav zemědělský) v Praze Ruzyni využívá k testování bedýnky o rozměru 40 x 30 x 12 cm. Prkna použitá k výrobě by neměla být nijak impregnována z důvodu nebezpečí poškození rostlin. Optimální termín setí je 28. 9. – 5. 10. Ve vyšších polohách je vhodnější zvolit ranější termín. Do každé bedýnky se vysévají 4 řádky po 20 zrnech (jeden řádek se rovná jednomu opakování jedné odrůdy, tedy v jedné bedýnce jsou vysety vždy 4 odrůdy), při-čemž každá odrůda se vysévá ve čtyřech opakováních. Po

vzejití a zakořenění by se již neměly bedýnky zalévat, pouze výjimečně v případě déle trvajících sucha (Říha a kol., 2009).

Dvě opakování jsou umístěna na zemi, kontakt se zemí je přerušen položením na 2 rovnoběžně položené trubky. Další dvě opakování jsou pak na vyvýšeném parapetu ve výšce 80 – 100 cm. Kvůli získání spolehlivých výsledků je třeba udržet ve všech opakováních stejné podmínky. Bedýnky se kladou těsně vedle sebe, krajní bedýnky vyplněné zeminou ovšem bez vysazených rostlin slouží jako ochranné pásy (Říha a kol., 2009).

Tuto metodu využívá např. ÚKZÚZ Praha-Ruzyně či Limagrain GmbH. Stejně jako u jiných metod jsou názory i na tuto metodu rozdílné. Horčíčka (2005) se zmiňuje o pozitivních výsledcích testování touto metodou v roce 2003/04. Minimální teplota půdy v hloubce 3 cm v tomto roce neklesla pod $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$, k poškození rostlin ozimé pšenice nedošlo. Naproti tomu ale nejnižší teploty v bedýnkách na zemi dosáhly $-13,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, v bedýnkách na parapetu dokonce $-20,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (obojí dne 24. 1. 2004) a bylo tak významně ovlivněno přežití rostlin. Z tohoto faktu tedy vyplývá, že bedýnková metoda rozlišuje zimovzdornost odrůd i v mírných zimách, ke které patřila i zima 2003/2004. Nevýhodu vidí Horčíčka (2015, osobní sdělení) především v nemožnosti dalšího využití přeživších rostlin, např. pro pozorování vlivu a vývoje chorob, škůdců apod.

Pěstování na bramborových hrůbcích

V této metodě jsou rostliny vysazeny do jednořádků, nebo dvouřádků na 20–30 cm vysoké bramborové hrůbky. Napadaný sníh je z těchto hrůbků snadno odmeten větrem, rostliny jím tedy nejsou chráněny před holomrazy (Reynolds a kol., 2001). V případě nutnosti může být sníh odklizen ručně. Kořenový systém a hlavně odnožovací uzel jsou vystaveny nižším teplotám vlivem promrzání vyvýšené vrstvy půdy.

Přeživší rostliny mohou být dále používány během vegetační sezóny pro sledování dalších stresových faktorů jako např. chorob, ranosti apod. V ČR není tato metoda příliš běžná, setkáme se s ní např. v německé firmě Limagrain GmbH.

Odklizení sněhu

Polní pokus je založen podle běžných zvyklostí v dané společnosti. Rostliny jsou zde chráněny před sněhovou pokrývkou dočasným přikrytím geotextilií, nebo je sníh odklizen ručně (Reynolds a kol., 2001).

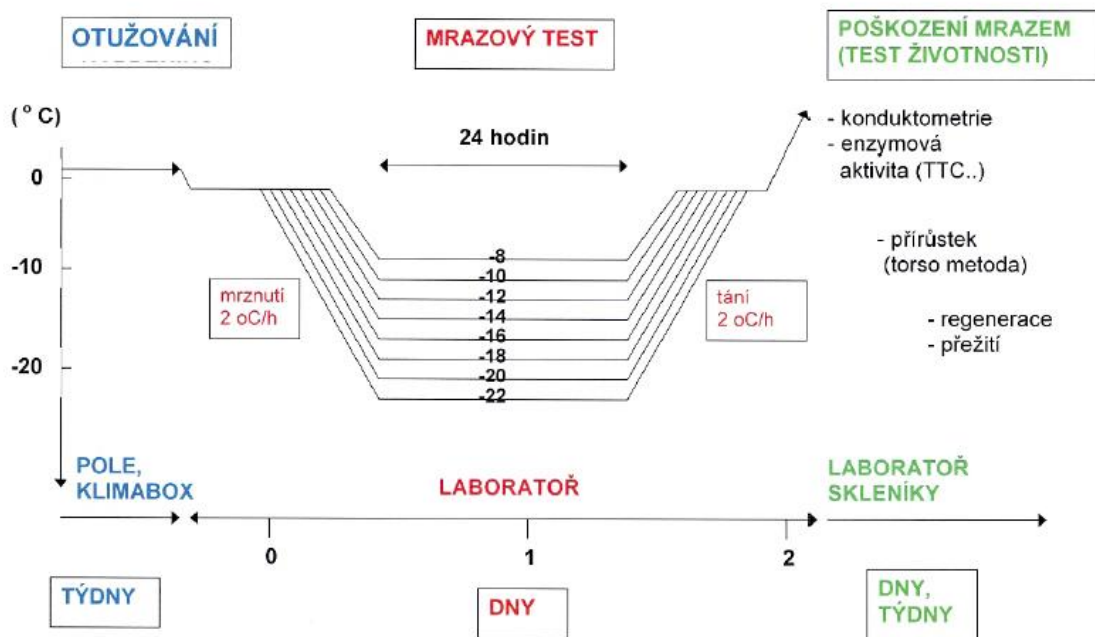
Polně - laboratorní metody

Testem se zjistí aktuální mrazuvzdornost na poli, ale je závislý na počasí a také pracovně náročný (Holubová a kol., 2012). Lze jimi stanovit mrazuvzdornost s vysokou průkazností, opakovatelností a ročníkovou stabilitou (Mařík a kol., 2012).



Obrázek 6: Mrazicí pult používaný ve VÚRV Praha – Ruzyně (archiv autorky)

Říha a kol. (2009) popisuje průběh testování ve VÚRV Praha-Ruzyně. Provádí se 1–3 odběry, v závislosti na průběhu zimy. Odebírá se 60–80 rostlin ve dvou opakováních. Odběr by se neměl provádět za deště, při silně rozbahněném pozemku nebo je-li půda zamrzlá. Z každého opakování se připraví 5 svazků po deseti průměrných rostlinách (je nutné vyloučit slabé a naopak extrémně odnožené rostliny). Svazky se rozdělí na 5 skupin podle zásahové teploty. Každá skupina je zabalena do novinového papíru a vložena do většího vhodného obalu (lze použít např. igelitový sáček). Takto zabalené rostliny jsou dootuzovány 24 hodin při teplotě 0 °C. Poté se umístí do mrazicích pultů, kde je postupně snižována teplota (2 °C za hodinu) až do dosažení zásahové teploty. Po jejím dosažení zůstanou rostliny v mrazicím pultu dalších 24 hodin. K testování se používá 4–5 zásahových teplot na úrovni podle aktuálního otužení rostlin a podle předchozího průběhu počasí. Možné teploty jsou např. –10 °C, –12 °C, –14 °C a –16 °C. Na každou zásahovou teplotu připadá 10 rostlin v jednom opakování. Po zásahu je teplota opět postupně zvyšována až na 5 °C rychlostí 2 °C za hodinu. Rozmrzlé rostliny jsou přesazeny do perlitu a ponechány regenerovat 21 dnů ve skleníku při teplotě 15–20 °C. Po této regeneraci je stanoveno procento přežití rostlin.



Obrázek 7: Průběh mrazového testu ve VÚRV Praha-Ruzyně (Prášilová a Prášil, 2008)

Podobně probíhá testování také podle Fowlera a kol. (1981), hlavní rozdíl mezi těmito dvěma metodami je ve formě, ve které jsou rostliny vystavovány zásahovým teplotám. Rostliny jsou zde po otužení a odběru z pole upraveny do formy rostlinných torz, zakrácením 3 cm nad a 0,5 cm pod odnožovacím uzlem.

Holubová a kol. (2012) popisuje metodu v praxi užívanou např. ve společnosti Selgen a. s., šlechtitelské stanici Stupice o 2-3 termínech (prosinec, leden, únor) odběru rostlin z pole a jejich vysazení do truhlíků s agroperlitem ve třech opakováních. V mrazových komorách pak probíhá vystavení rostlin nízkým teplotám 0 °C, -5 °C a -8 °C ve 24 hodinových intervalech. V tomto případě pouze třem zásahovým teplotám -11 °C, -13 °C a -15 °C jsou rostliny vystavovány ve 12 hodinových intervalech. Po skončení testu jsou rozmrzlé truhlíky přineseny do skleníku k regeneraci. Na rozdíl od Říhy a kol. (2009) zde dochází k následné vizuální bonitaci kořínků podle bodové stupnice, kterou se stanoví procento přežití. Říha a kol. (2009) mluví o vizuálním hodnocení rostlin jakožto celku, jejich barvy a vitálnosti.

Opět i u těchto metod se setkáváme s rozdílnými názory na jejich vhodnost. V ČR jsou výsledky polně-laboratorních testů jedny z nejdůležitějších a tyto metody jsou na našem území nejvíce rozšířeny. Taylor (2012) se ale zmiňuje o omezené škále zásahových teplot. Jak z výše uvedeného textu vyplývá, minimální běžně užívanou teplotou na našem území je -16 °C. Uvádí, že by bylo vhodné zvážit testování až do -20 °C jak je tomu např. v testech na Ukrajině.

Modifikovaná polně-laboratorní metoda

Metoda je používána např. ve společnosti Selgen a. s. Soubor vzorků s testovacími odrůdami je vyset do truhlíků, které jsou umístěny volně na poli. Po 30 – 50 dnech otužování v přirozených podmínkách jsou vystaveny působení nízkých teplot v mrazových komorách podobně jako u polně-laboratorní metody. Rostliny jsou vystaveny nízkým teplotám 0 °C, -5 °C a -8 °C po dobu 24 hodin a -12 °C, -14 °C a -16 °C po dobu 12 hodin. Po rozmrznutí a regeneraci ve skleníku je prováděna vizuální bonitace dle bodové stupnice (Říha a kol., 2009).

Laboratorní metody

Nepravidelný výskyt přírodních podmínek, které by spolehlivě rozlišily genotypy, vedl mnoho šlechtitelů k vývoji různých umělých technik k určení mrazuvzdornosti rostlin. Výzkumy však nasvědčují tomu, že polní pokusy poskytují více opakovatelné výsledky a mají menší chybovost. Rozhodnutí o tom, jaká metoda by měla být využita, záleží především na frekvenci výskytu použitelných výsledků z polních pokusů a na vybavení dostupném pro vytvoření umělých podmínek. Kdykoliv je to možné, měly by být aplikovány oba způsoby (Reynolds a kol., 2001).

Laboratorní metoda používaná ve společnosti Selgen a. s., šlechtitelská stanice Stupice spočívá ve vysetí souboru vzorků do truhlíků s agroperlitem ve skleníku. Ve skleníkových podmínkách se rostliny pěstují až do fáze 2 – 3 lístků. Poté jsou 30 dní otužovány ve fytotronech při teplotě 1 – 3 °C. V mrazových komorách pak probíhá vystavení rostlin nízkým teplotám 0 °C, -5 °C a -8 °C ve 24 hodinových intervalech. Zásahovým teplotám -11 °C, -13 °C a -15 °C jsou rostliny vystavovány vždy 12 hodin. Po skončení testu jsou rozmrzlé truhlíky přineseny do skleníku k regeneraci. Po skončení regeneračního procesu je stanoveno procento přežití rostlin (Říha a kol., 2009).

Predikce zimovzdornosti pomocí gliadinových genetických markerů

Identifikace odrůd pomocí vegetačních zkoušek, tj. výsevem hodnocených semen a porovnáním morfologických a fyziologických znaků, vlastností vypěstovaných rostlin s popisem odrůd, vyžaduje dobu minimálně jednoho vegetačního období, je tedy časově velmi náročná. Dnes jsou však již k dispozici rychlé a spolehlivé metody založené na genetických markerech, schopných identifikovat jednotlivé odrůdy a jejich vybrané vlastnosti rychle a spolehlivě. Využití zásobních prolaminových bílkovin endospermu zrna jako genetických markerů odrůd pšenice je podmíněno vysokou dědivostí skladby těchto bílkovin. Skladba těchto bílkovin se nemění vlivem odlišných podmínek pěstování, vlivem odlišné

agrotechniky, různých půdních a klimatických podmínek, či vlivem ročníků pěstování. Některé alely gliadinových genů pšenice seté markerují zimovzdornost. Tyto signální geny se dají použít v programech tvorby nových odrůd s požadovanou úrovní zimovzdornosti (Šašek a kol., 2000).

Na základě výzkumu Šaška a kol. (2000) bylo potvrzeno, že alely *Gld 1D5* a *Gld 6A3* představují hlavní markery zimovzdornosti a alela *Gld 6D2* vedlejší marker zimovzdornosti. Alela *Gld 1-1A2*, považována za vedlejší marker zimovzdornosti, v hodnoceném souboru odrůd zimovzdornost nemarkerovala. Alely *Gld 1B1* a *Gld 6A1* představují další, nové vedlejší markery zimovzdornosti. Alely *Gld 6A2* a *Gld 1-2A0*, *Gld 1B4* a *Gld 1B5* lze považovat za markery náchylnosti k vyzimování. Mezi celkovou predikční schopností jednotlivých alelických gliadinových genů hodnocených odrůd a stupněm odolnosti k vyzimování byl prokázán významný korelační vztah $r = 0,86$.

Použití genetických markerů je však obecně finančně náročnější a proto je podle Reynoldse a kol. (2001) jejich použití v šlechtitelských programech omezeno.

4 Materiál a metody

4.1 Rostlinný materiál

Pro potřeby experimentu bylo vybráno celkem 14 českých a zahraničních odrůd pšenice ozimé s předpokládanou rozdílnou úrovní mrazuvzdornosti. Z důvodu snazší identifikace, popisu a pozdějšímu statistickému vyhodnocení byla odrůdám přidělena čísla od 1 do 14. Kontrolní odrůdy byly zvoleny na základě výsledků dlouhodobých pokusů společnosti Selgen, odrůdy 1 – 4 jsou zde v provozních pokusech mrazuvzdornosti používány jako kontrolní odrůdy se známou úrovní mrazuvzdornosti. Odrůdy 5 – 14 jsou odrůdy ze zahraničního projektu Adaptawheat.

Ve všech testech bylo použito certifikované osivo společnosti Selgen.

Následující tabulka uvádí základní popis a vlastnosti testovaných odrůd jak je uveden podle Horákové a kol. (2014, 2015) v Seznamu doporučených odrůd (dále jen SDO). Hodnocení mrazuvzdornosti je v rámci testování odrůd prováděno bodovou stupnicí 1 – 9 na základě následujícího klíče:

- 9 - přežily všechny rostliny,
- 7 - zregenerováno 75 % rostlin,
- 5 - zregenerováno 50 % rostlin,
- 3 - zregenerováno 25 % rostlin,
- 1 - zregenerováno méně než 10 % rostlin, nepřežily žádné rostliny.



Obrázek 8: Klíč k hodnocení rostlin (archiv autorky)

Tabulka 5: Přehled testovaných odrůd, Wimmerová

Číslo odrůdy	Název	Rok registrace	Zimovzdornost ¹		Mrazuvzdor. dle ÚKZÚZ (% přežití) ¹		Stav porostu po zimě 2011/12 ¹	Mrazuvzdor. dle ÚKZÚZ ²	Mrazuvzdor. dle šlechtitele ³	Poznámka	Kontrolní odrůdy
			2014	2015	2014	2015					
1	Bohemia	2007	7,5	7	85	86	8	SO-O	8	Pozitivní kontrola	Kontrolní odrůdy
2	Seladon	2009	5,5	5,5	61	62	7,5	SO	6,5		
3	Sultan	2008	3,5	×	50	×	6	MO	4	Odrůda používaná jako jakostní kontrola v testech ÚKZÚZ, v současné době však není v SDO	
4	Aranka	1998	×	×	×	×	×	×	1	Odrůda jarní pšenice, negativní odrůda	
5	Julie	2014	×	5,5	×	75	8 ve SZ	O	7		
6	Elly	2010	5,5	5,5	63	65	7	SO	7		
7	Matylda	2011	3,5	3,5	49	56	6	MO	5		
8	Annie	2014	×	6	×	70	8	O	8		
9	Turandot	2012	3,5	5	43	64	7	SO	6		
10	Vanessa	2013	3,5	3,5	51	53	7	SO	5,5		
11	Fermi	2011	×	×	×	×	×	N	2,5		
12	Hermann	2007	×	×	×	×	3	SO-MO	3,5		
13	Granny	2004	×	×	×	×	×	×	1,5	Odrůda jarní pšenice-přesívka	
14	Samanta	1993	×	×	×	×	×	×	8	Tradiční stará odrůda pšenice, odolná k vymrzání, dříve používána jako jakostní kontrola	

Stupnice mrazuvzdornosti dle ÚKZÚZ: O-odolná, SO-středně odolná, MO-méně odolná, N-náchylná k vymrzání

¹ SDO (2014/2015)

² Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (2015)

³ Horčíčka, osobní sdělení (2016)

4.2 Popis stanoviště experimentu

Všechny dílčí části experimentu probíhaly v agronomických letech letech 2014/2015 a 2015/2016 v areálu společnosti Selgen ve Stupicích u Prahy ležící v okrese Praha-východ ve Středočeském kraji v nadmořské výšce 287 m n.m.

4.2.1 Polní stanoviště

Půda

Dle SDO (2015) je na území stanice půdní typ hnědozem typická a půdní druh jílovitohlinitá (těžká) půda.

Dle rozboru půdy provedeným společností Zkulab v roce 2014 jsou vlastnosti půdy a obsah prvků na pozemku kde byly vysazeny rostliny odebírané pro některé dílčí pokusy následující:

Tabulka 6: Vlastnosti půdy a obsah prvků v půdě (Zkulab, 2014)

Sledovaná vlastn./prvek	Naměřená hodnota	Slovní hodnocení
Ph_(CaCl₂)	6,2	Slabě kyselá
P	213 mg/kg	Velmi vysoký
K	403 mg/kg	Vysoký
Mg	129 mg/kg	Střední
Ca	0,2 mg/kg	Dobrý
S_(S-SO₄)	11,5 mg/kg	Střední
Humus	2,4 %	Střední

Průběh počasí

SDO (2015) uvádí v třicetiletém období 1901–1950 na území šlechtitelské stanice ve Stupicích dlouhodobou průměrnou roční teplotu 8,3 °C a dlouhodobý roční průměrný úhrn srážek 588 mm.

Tabulky 7 a 8 ukazují průběh průměrných teplot na šlechtitelské stanici Stupice ve srovnání s dlouhodobým teplotním normálem pro Prahu a středočeský kraj v agronomických letech 2014/2015 a 2015/2016. Ze získaných dat vyplývá, že obě zimy byly průměrně srovnatelné a v průměru s vyššími teplotami než dlouhodobý teplotní normál.

Tabulka 7: Srovnání průměrných měsíčních teplot vzduchu ve vybraných měsících agronomického roku 2014/2015 na šlechtitelské stanici Stupice s dlouhodobým normálem teploty vzduchu (1961–1990) v Praze a Středočeském kraji (Český hydrometeorologický ústav, 2016; meteorologická data společnosti Selgen)

	XII	I	II	Průměr období
Průměrná teplota pro Prahu a středočeský kraj [°C]	2,5	1,9	0,5	1,6
Dlouhodobý normál teploty vzduchu 1961-1990 [°C]	-0,2	-2	-0,4	-0,9
Průměrná teplota Stupice [°C]	2,6	2,1	3,1	2,6
Odchylka od normálu [°C]	2,8	4,1	3,5	3,5

Tabulka 8: Srovnání průměrných měsíčních teplot vzduchu ve vybraných měsících agronomického roku 2015/2016 na šlechtitelské stanici Stupice s dlouhodobým normálem teploty vzduchu (1961–1990) v Praze a Středočeském kraji (Český hydrometeorologický ústav, 2016; meteorologická data společnosti Selgen)

	XII	I	II	Průměr období
Průměrná teplota Praha a středočeský kraj [°C]	4,9	-0,4	3,6	2,7
Dlouhodobý normál teploty vzduchu 1961-1990 [°C]	-0,2	-2,0	-0,4	-0,9
Průměrná teplota Stupice [°C]	5,5	-0,2	3,9	3,1
Odchylka od normálu [°C]	5,7	1,8	4,3	3,9

4.2.2 Skleník

Skleník je využíván především v zimních měsících pro potřeby šlechtitelských pokusů týkajících se mrazuvzdornosti odrůd. Je temperovaný na denní teplotu 15–19 °C, v noci je zde udržována teplota 10 °C. V rámci této práce byly v těchto prostorách vysazeny, ponechány vyklíčit a po zásahu nízkými teplotami regenerovat rostliny pro laboratorní pokus. Všechny rostliny, zde byly ponechány klíčit až do fáze 2 – 3 lístků. Rostliny z polně-laboratorního pokusu zde pouze regenerují po zásahu nízkými teplotami. Rostliny pro modifikovaný polně-laboratorní test zde klíčily, stejně jako u laboratorního pokusu a následně sem byly umístěny k regeneraci po zásazích v mrazových komorách.



Obrázek 9: Pohled na regenerující rostliny ve skleníku ve šlechtitelské stanici Stupice (archiv autorky)

4.2.3 Jarovizační komora

Jde o izolovanou místnost o rozměrech 12,5 x 2,5 x 3,5 m, s chladicím zařízením s nastavitelnou teplotou. Po jejích obou délkách se nachází dřevěné policové regály, do kterých je možné umístit nádoby s testovanými rostlinami. Tato komora byla použita k otužování rostlin v laboratorních testech. Byl zde dodržován světelný režim s deseti hodinami umělého osvětlení denně při teplotě 1–3 °C. Základní doba otužování se pohybovala v rozmezí 25–60 dnů v závislosti na zvolené metodě testování (upřesněno dále). U polně-laboratorního testu sloužila komora k uchování rostlin v přechodné době, než bylo možno umístit všechny rostliny do mrazové komory (než byly přesazeny všechny rostliny z pole do truhlíků). Po zásahu v mrazových komorách (u všech 3 metod testování) byly všechny rostliny přesunuty do jarovizační komory a ponechány rozmraznout.

4.2.4 Mrazová komora

Technickými parametry a vybavením stejná místnost jako jarovizační komora. Zde byly všechny rostliny vystaveny nízkým teplotám dle dané metodiky.

4.3 Polní metoda

Rostliny byly vysévány na pole 30. 9. 2014 a 5. 10. 2015. Výsev byl proveden do pěti-řádkových parcel o rozměru 2 m². Každá parcela byla označena plastovou cedulkou s číslem odrůdy. Hodnocení přezimování bylo provedeno na počátku vegetace. Hodnotí se vizuálně každá parcelka zvlášť, v úvahu se berou tyto aspekty: celková vitalita rostlin, % vyzimovaných rostlin. Hodnotí se na stupnici 1 – 9 podle klíče uvedeného na začátku této kapitoly.

4.4 Laboratorní metoda

4.4.1 Založení pokusu

Pro potřeby toho testu byla modifikována metoda podle Larssona (1986).

Laboratorní pokus byl založen v roce 2014 ve skleníku společnosti Selgen ve Stupicích. Plastové truhlíky (celkem 9) o rozměrech 44 x 28 cm byly naplněny agroperlitem a připraveny na stoly k výsevu následujícím způsobem (viz obrázek 10). Na povrchu agroperlitu byly nejprve vyznačeny po jeho délce pomocné rýhy rozdělující truhlík do 3 stejně vysokých podélných sekcí. V každé ze sekcí pak bylo kolmými rýhami vyznačeno 14



Obrázek 10: Osetý truhlík (archiv autorky)

řádků (pro všech 14 odrůd). Do každého z těchto řádků bylo umístěno 10 semen jedné z odrůd. Stejný postup byl zopakován ve všech třech podélných sekcí, každá z odrůd tedy byla vyseta v rámci jedné varianty a zásahové teploty ve 3 opakováních. Pořadí odrůd v řádcích bylo znáhodněno s cílem omezit negativní vliv vzájemného působení odrůd dle následujícího schématu, kde každé políčko znamená 10 semen dané odrůdy.

Tabulka 9: Osevní plán truhlíků, Wimmerová

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
8	10	6	12	14	4	2	5	3	1	13	7	11	9
3	7	5	13	11	1	9	14	10	8	12	2	4	6

Následně byly truhlíky označeny barevnými cedulkami podle cílové zásahové teploty (-12°C -zelená, -14°C -modrá, -16°C -bílá) a popsány konkrétním číslem varianty 1–3 (viz obr. 10). Označené truhlíky pak byly ponechány ve skleníku klíčit do fáze 2–3 lístků.

Po vyklíčení do požadované růstové fáze byly truhlíky přesunuty do jarovizační komory.

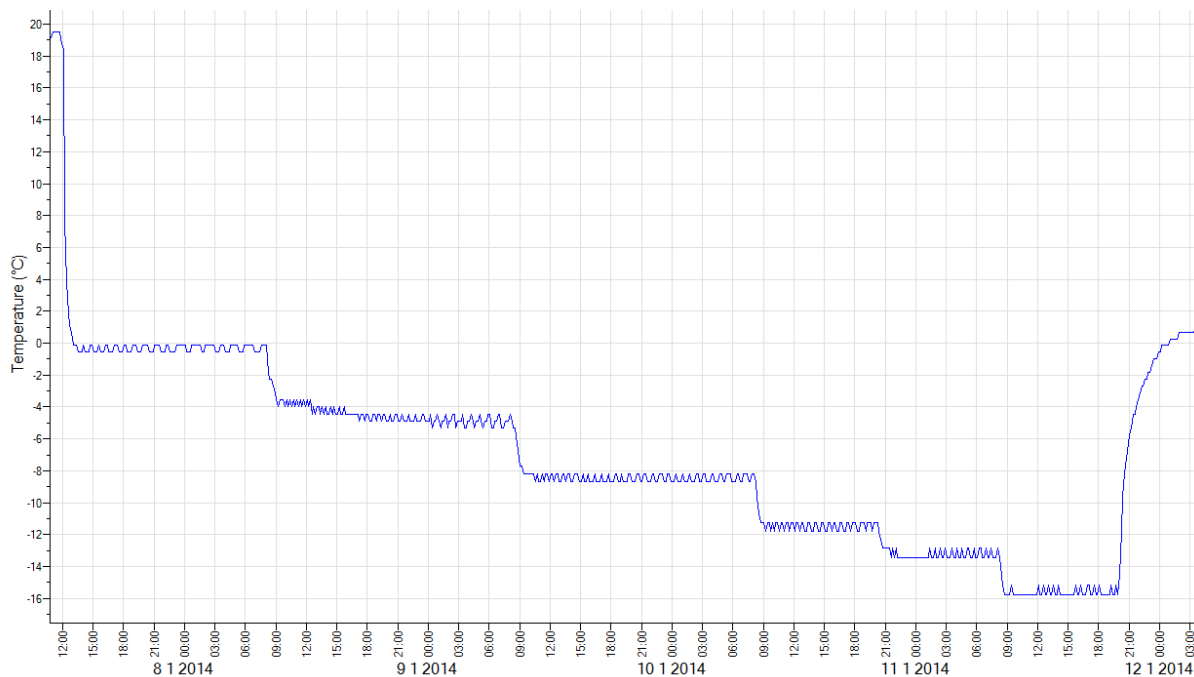
4.4.2 Průběh pokusu

Po 25 dnech jarovizace byla sada 3 truhlíků umístěna do mrazové komory. Pro snazší představu, je průběh pokusu znázorněn v harmonogramu viz tabulka 10. Mezi rostliny s nejnižší cílovou teplotou -16°C byl umístěn teploměr zaznamenávající průběh teplot během



Obrázek 11: Označené truhlíky s rostlinami v mrazové komoře (archiv autorky)

pokusu. Následně byly rostliny otužovány postupným snižováním teploty na 0°C , -5°C a -8°C v průběhu 72 hod. Teprve poté byla teplota snížena na první zásahovou teplotu -12°C . Po 12 hodinách byl vnesen truhlík označen bílou cedulkou zpět do jarovizační komory rozmraznout a následně byla teplota na dalších 12 hodin snížena na -14°C . Poté byla opět vynesena sada určena pro tuto teplotu (zelená cedulka) a na posledních 12 hodin byla teplota snížena na nejnižší zásahovou teplotu -16°C . Přesný průběh teplot v mrazové komoře je znázorněn v grafu 1.



Graf 1: Průběh teplot v mrazové komoře během zásahu

Po 24 hodinách rozmrzání v jarovizační komoře byly truhlíky přeneseny do skleníku, kde byly ponechány regenerovat.

Tabulka 10: Harmonogram zásahů v mrazové komoře, Wimmerová

	8.00	8.00	8.00	8.00	20.00	8.00	20.00	20.00
Počet hodin	24	24	24	12	12	12	24	
Sada -12 °C	K				M	S		
Sada -14 °C	K					M	S	
Sada -16 °C	K						M	S
Teplota	0 °C	-5 °C	-8 °C	-12 °C	-14 °C	-16 °C	0-5 °C	10-15 °C

K – komora, M – meziprostor, S – skleník

4.4.3 Hodnocení výsledků pokusu

Po měsíci regenerace za stabilních podmínek bylo ve skleníku hodnoceno přežití rostlin. Byl hodnocen stav kořínků jednotlivých rostlin a zjišťován počet přeživších rostlin z celkového počtu vzešlých rostlin (ne všechny rostliny po zasetí vzešly). Jako přeživší rostlina byla hodnocena ta, která měla bílý, rozvětvený, životaschopný kořenový systém, bez ohledu na vzhled listové plochy. Nejprve byly vyjmuty rostliny jednoho opakování jedné odrůdy, oklepána zemina z kořenů, srostlé trsy rozděleny na jednotlivé rostliny a byl spočítán celkový počet vzešlých rostlin bez ohledu na zdravotní stav. Následně bylo provedeno vizuální hodnocení kořenového systému každé rostliny zvlášť.

4.5 Polně-laboratorní metoda

4.5.1 Založení a průběh pokusu

Rostliny byly vysévány na pole 30. 9. 2014 a 5. 10. 2015. Výsev byl proveden do pěti-řádkových parcel o rozměru 2 m². Každá parcela byla označena plastovou cedulkou s číslem



Obrázek 12: Parcela před odběrem 14. 1. 2015, odrůda 1-Bohemia (archiv autorky)

odrády. První odběr rostlin z pole probíhá podle počasí většinou začátkem prosince, druhý odběr potom v půlce ledna. K odběru rostlin byly nadepsány papírové sáčky číslem odebíraných odrůd. Ze středu parcely bylo odebráno vždy minimálně 3 x 5 rostlin průměrného habitu, které byly následně vloženy do nadepsaného sáčku kvůli pozdější orientaci. Sáčky byly umístěny do plastových přepravek a všechny najednou přeneseny do skleníku.

Zde byly trsy rostlin opatrně rozděleny na jednotlivé rostliny, aby došlo k co nejmenšímu poškození kořenového systému a vysazeny do truhlíků do hnízd po pěti rostlinách ve stejném osevním plánu jako u laboratorní metody. Postupně takto byly založeny 3 truhlíky a každý z truhlíků následně označen barevnou cedulkou podle cílové zásahové teploty. Jelikož nebylo proveditelné přesadit všechny rostliny v jeden den, byly již přesazené rostliny přesunuty do jarovizační komory, kde byly udržovány při teplotě 0 °C.

Po přesazení všech rostlin byly všechny 3 truhlíky přesunuty do mrazové komory. Zde byly nejdříve otuženy a následně vystaveny mrazovým teplotám podle stejného harmonogramu jako u laboratorního pokusu.

4.5.2 Hodnocení výsledků pokusu

Po 20 dnech regenerace bylo ve skleníku hodnoceno přežití rostlin podle stejného klíče jako u laboratorní metody.

4.6 Modifikovaná polně-laboratorní metoda

4.6.1 Založení a průběh pokusu

Byly vysety 3 truhlíky rostlin shodným způsobem a podle stejného osazovacího plánu jako u laboratorní metody do předem namíchaného substrátu skládajícího se z 2 dílů půdy a 1 dílu perlitu. Poté byly truhlíky označeny barevnými cedulkami podle cílové zásahové teploty. Rostliny byly ponechány ve skleníku vyklíčit a poté přesunuty do venkovních podmínek k otužení v přirozených podmínkách. Truhlíky zde byly umístěny vedle sebe na travnatou plochu. Po 30 dnech otužování v přírodních podmínkách byly truhlíky přesunuty do mrazové komory, kde byly vystaveny mrazovým teplotám jako u předchozích dvou metod.

Po rozmrznutí v jarovizační komoře byly truhlíky přesunuty do skleníku k regeneraci.

Jelikož manipulace s truhlíky byla obtížná kvůli jejich velké hmotnosti, kořeny jednotlivých rostlin a odrůd prorůstaly a znesnadňovali tak následné hodnocení pokusu, byla metodika v roce 2015 upravena tak, že rostliny byly vysévány do sadbovačů, kdy do každého políčka bylo vysazeno 3 semena jedné odrůdy. Každá odrůda byla v konkrétním sadbovači vyseta 3x. Použit byl lehčí jemný zahradnický substrát pro klíčení.

4.6.2 Hodnocení výsledků pokusu

Po 20 dnech regenerace bylo ve skleníku hodnoceno přežití rostlin podle stejného klíče jako u předchozích dvou metod.

4.7 Vliv doby aklimatizace na výsledky testů mrazuvzdornosti

Na základě předpokladu že doba aklimatizace rostlin výrazně ovlivní úroveň mrazuvzdornosti, byly založeny další samostatné 3 varianty laboratorního testu, kde bylo hlavním cílem tuto skutečnost díky možnosti přesného řízení podmínek během celého vývoje rostlin ověřit také vliv doby aklimatizace na výsledky testů mrazuvzdornosti.

Byly vysety 3 sady truhlíků (1 truhlík pro každou zásahovou teplotu ve 3 variantách). Každá z variant byla ponechána v jarovizační komoře aklimatizovat se po předem stanovenou rozdílnou dobu. Zásahové cykly byly zahájeny následovně:

25 dní aklimatizace

40 dní aklimatizace

60 dní aklimatizace

4.7.1 Průběh pokusu

Po uběhnutí dané doby jarovizace byla vždy sada 3 truhlíků pro danou variantu umístěna do mrazové komory. Další postup byl shodný jako u běžné laboratorní metody.

4.7.2 Hodnocení výsledků pokusu

Po 20 dnech regenerace bylo ve skleníku hodnoceno přežití rostlin podle stejného klíče jako u předchozích dvou metod.

4.8 Statistické vyhodnocení výsledků

K statistickému vyhodnocení byl použit software STATGRAPHICS Centurion XVI.I společnosti StatPoint Technologies. Výsledky byly vyhodnoceny metodou analýzy variance vícenásobného třídění (ANOVA). Podrobnější vyhodnocení rozdílů mezi metodami bylo provedeno na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. V případě, že je p hodnota vyšší než 0,05, zamítá nulovou hypotézu, že neexistuje rozdíl mezi metodami při 95,00% intervalu spolehlivosti.

K vyjádření síly závislosti/těsnosti různých metod byla provedena korelační analýza.

5 Výsledky

5.1 Porovnání metod stanovení mrazuvzdornosti ozimé pšenice

Následující výsledky byly použity k porovnání jednotlivých testovaných metod stanovení mrazuvzdornosti, šlo o: polní metodu (P), laboratorní metodu (L), polně-laboratorní metodu (PL), modifikovanou polně-laboratorní metodu (MPL), v některých aspektech jsou také porovnávány hodnoty kvalifikovaného odhadu mrazuvzdornosti (KOM). Kvalifikovaný odhad mrazuvzdornosti odrůd byl získán syntézou výsledků testování ÚKZÚZ, VÚRV a společnosti Selgen. U všech odrůd byly hodnoceny dvouleté výsledky získané v agronomických letech 2014/2015 a 2015/2016, pouze u odrůd Fermi a Samanta došlo v roce 2015 ke kolapsu resistance proti rzi plevové, z tohoto důvodu byly vyloučeny z dalšího testování a nebyly vyhodnocovány.

V tabulce 11 jsou uvedeny korelační koeficienty (r) hodnotící sílu závislosti mezi jednotlivými testovanými metodami a p hodnoty. Nejtěsnější závislost byla zjištěna mezi výsledky laboratorní metody a hodnotou kvalifikovaného odhadu mrazuvzdornosti, mezi těmito výsledky nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl. Druhá nejtěsnější závislost byla zjištěna mezi výsledky modifikované polně-laboratorní metody s hodnotami kvalifikovaného odhadu mrazuvzdornosti. Těsná závislost byla zjištěna také mezi laboratorní a modifikovanou polně-laboratorní metodou. Polní metoda nekorelovala s žádnou z metod. Laboratorní a polně-laboratorní metody korelovaly slabě.

Tabulka 11: Výsledky korelační analýzy mezi jednotlivými metodami a kvalifikovaným odhadem mrazuvzdornosti

		PL	MPL	P	KOM
L	r	0,5430	0,8015	0,2533	0,8894
	p hodnota	0,0041	0,0000	0,2118	0,0000
PL	r		0,2183	0,0052	0,4937
	p hodnota		0,2839	0,9798	0,0104
MPL	r			0,1452	0,8560
	p hodnota			0,4790	0,0000
P	r				0,2396
	p hodnota				0,2384

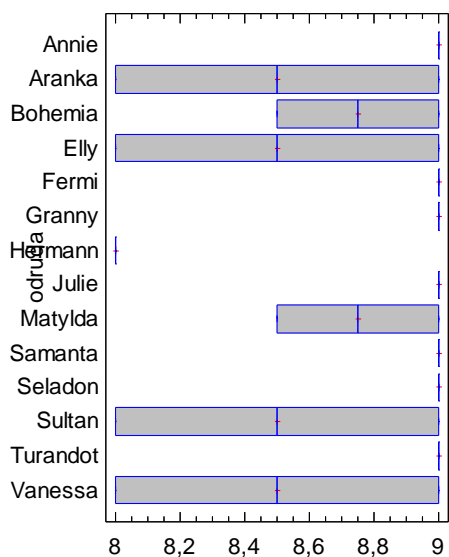
Tabulka 12 porovnává hodnotu variačního koeficientu vypočítaného ze souboru dvouletých výsledků jednotlivých zkoumaných metod. Největší variabilita byla zjištěna u výsledků polně-laboratorní metody (104,3 %). Naopak nejmenší variabilitu vykazoval soubor výsledků polní metody (4,9 %), druhá nejmenší hodnota variačního koeficientu z testovaných metod byla zjištěna u modifikované polně-laboratorní metody (47,0 %). U kvalifikovaného odhadu byla zjištěna hodnota variačního koeficientu 44,0 %.

Tabulka 12: Porovnání variačního koeficientu S% testovaných metod

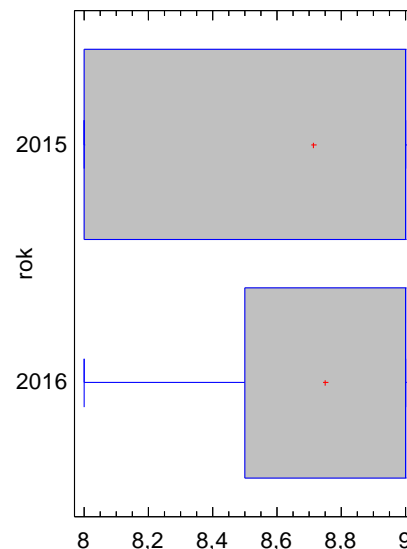
	L	PL	MPL	P	KOM
Variační koeficient [%]	52,6	104,3	47,0	4,9	44,0

Graf 2 ukazuje průměrné hodnocení mrazuvzdornosti získané z polního pokusu. Poukazuje na fakt, že hodnocení všech odrůd na stupnici 1–9 začínalo na úrovni hodnocení 8. Všechny odrůdy včetně odrůd jarní pšenice přezimovaly a nebyl nalezen statisticky průkazný rozdíl mezi odrůdami.

Z grafu 3 vyplývá, že mezi jednotlivými ročníky testování polní metodou nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl.



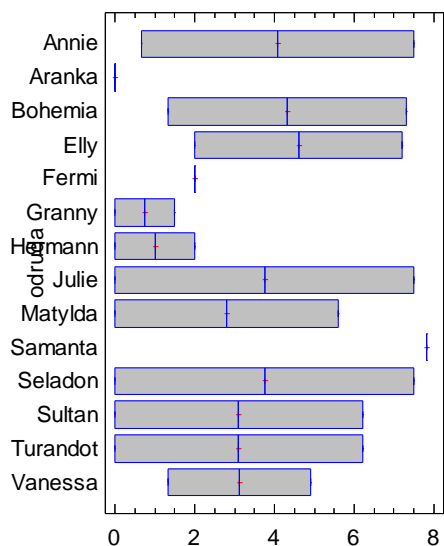
Graf 2: Porovnání úrovně mrazuvzdornosti odrůd zjištěné polní metodou



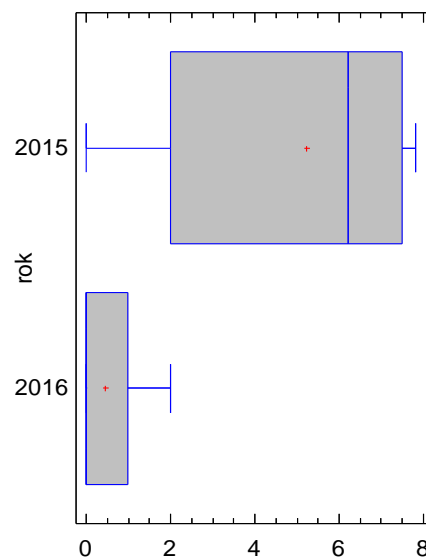
Graf 3: Porovnání průměrného hodnocení mrazuvzdornosti všech odrůd zjištěné polní metodou v jednotlivých letech

Graf 4 ukazuje hodnocení úrovně mrazuvzdornosti jednotlivých odrůd testovaných polně-laboratorní metodou. Byl zjištěn statisticky průkazný rozdíl mezi odrůdami Granny a Bohemia, Granny a Elly, Granny a Vanessa a Hermann a Elly. Mezi ostatními odrůdami nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl.

V grafu 5 je porovnáno průměrné hodnocení mrazuvzdornosti všech odrůd v jednotlivých letech polně-laboratorního experimentu. Byl zjištěn statisticky průkazný rozdíl mezi výsledky v roce 2014/2015 (2015) a 2015/2016 (2016).

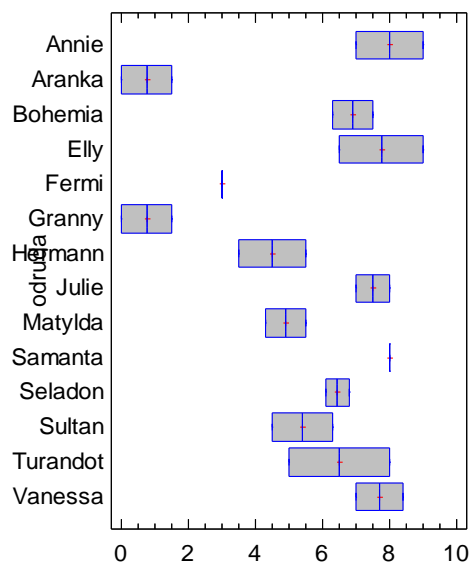


Graf 4: Porovnání úrovně mrazuvzdornosti odrůd zjištěné polně-laboratorní metodou

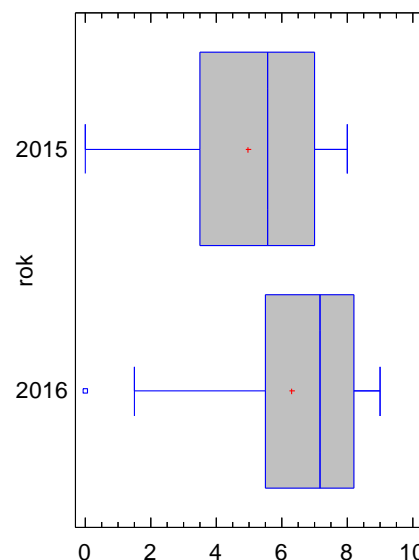


Graf 5: Porovnání průměrného hodnocení mrazuvzdornosti všech odrůd zjištěné polně-laboratorní metodou v jednotlivých letech

V grafu 6 je zaznamenáno hodnocení úrovně mrazuvzdornosti zjištěné modifikovanou polně-laboratorní metodou. Touto metodou byly zjištěny statisticky průkazné rozdíly mezi odrůdami. Porovnáním výsledků z jednotlivých let testování zobrazených v grafu 7 nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl mezi průměrným hodnocením všech odrůd testovaných modifikovanou polně-laboratorní metodou.



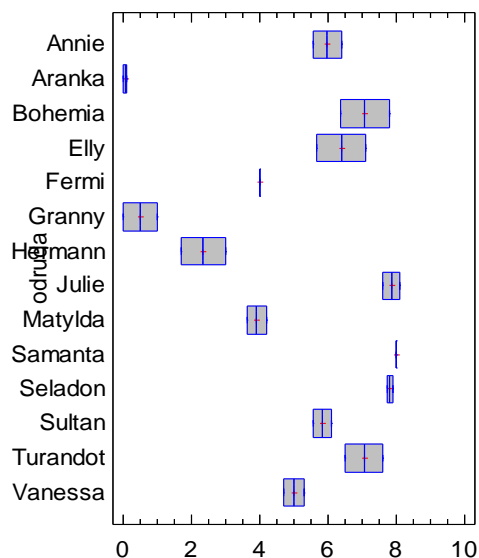
Graf 6: Porovnání úrovně mrazuvzdornosti odrůd zjištěné modifikovanou polně-laboratorní metodou



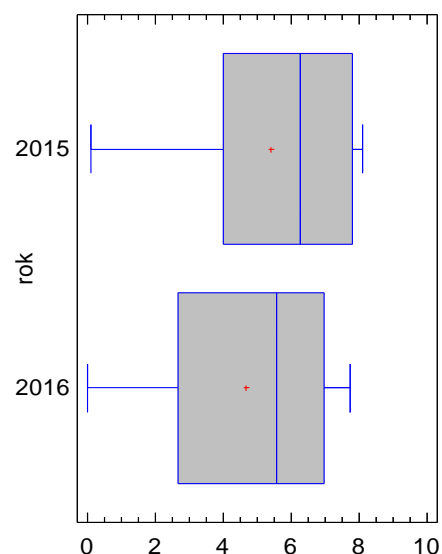
Graf 7: Porovnání průměrného hodnocení mrazuvzdornosti všech odrůd zjištěné modifikovanou polně-laboratorní metodou v jednotlivých letech

Graf 8 ukazuje průměrnou úroveň mrazuvzdornosti zjištěnou ve dvou letech laboratorní metodou. Nejhorších výsledků dosáhly odrůdy Aranka a Granny, nejvyšší úroveň mrazuvzdornosti byla zjištěna u odrůd Bohemia, Elly, Julie, Samanta, Seladon a Turandot.

V grafu 9 jsou porovnány průměrné výsledky všech odrůd získaných laboratorní metodou v průběhu dvou let testování. Mezi jednotlivými ročníky nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl.



Graf 8: Porovnání úrovně mrazuvzdornosti odrůd zjištěné laboratorní metodou



Graf 9: Porovnání průměrného hodnocení mrazuvzdornosti všech odrůd zjištěné laboratorní metodou v jednotlivých letech

V tabulce 13 je porovnáno průměrné hodnocení jednotlivých použitých metod a kvalifikovaného odhadu mrazuvzdornosti. Odrůdy jsou seřazeny podle průměrné hodnoty získané z výsledků laboratorní a modifikované polně-laboratorní metody. Polně-laboratorní metoda nebyla do průměru zahrnuta kvůli velkému ročníkovému rozdílu v jednotlivých letech, polní metoda nebyla zahrnuta, jelikož nebyla schopna identifikovat rozdíly mezi odrůdami. U odrůd Samanta a Fermi jsou uvedeny pouze jednoleté výsledky z roku 2015.

Tabulka 13: Porovnání průměrných výsledků hodnocení mrazuvzdornosti získané různými metodami

	L	PL	MPL	P	KOM	Průměr ^(L+MPL)
Samanta*	8,0	7,8	8,0	9,0	8,0	8,0
Julie	7,9	3,8	7,5	9,0	7,0	7,7
Seladon	7,8	3,8	6,5	9,0	6,0	7,2
Elly	6,4	4,6	7,8	8,5	6,0	7,1
Bohemia	7,1	4,3	6,9	8,8	8,0	7,0
Annie	6,0	4,1	8,0	9,0	7,0	7,0
Turandot	7,1	3,1	6,5	9,0	5,0	6,8
Vanessa	5,0	3,1	7,7	8,5	5,0	6,4
Sultan	5,8	3,1	5,4	8,5	4,5	5,6
Matylda	3,9	2,8	4,9	8,8	5,0	4,4
Fermi*	4,0	2,0	3,0	9,0	2,5	3,5
Hermann	2,3	1,0	4,5	8,0	3,0	3,4
Granny	1,5	1,8	1,8	9,0	1,5	1,7
Aranka	1,1	1,0	1,8	8,5	1,0	1,5

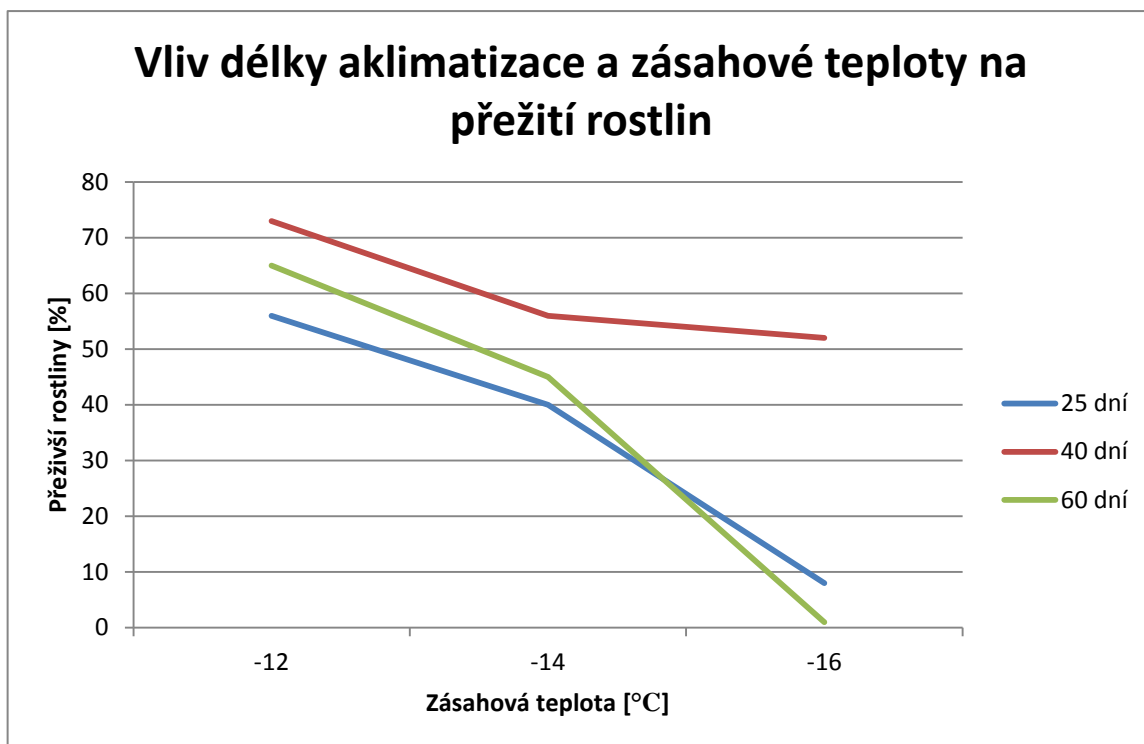
5.2 Vliv délky aklimatizace a zásahové teploty na přežití rostlin v laboratorním testu

V tabulce 14 jsou uvedeny výsledky analýzy variance přežití rostlin vlivem jednotlivých faktorů. P hodnota ukazuje statistickou průkaznost zkoumaných faktorů - odrůdy, délky aklimatizace a zásahové teploty. Jelikož hodnoty všech 3 p hodnot jsou menší než 0,05, mají všechny tyto faktory statisticky významný vliv na přežití rostlin při 95,00% intervalu spolehlivosti.

Tabulka 14: Analýza variance přežití rostlin vlivem jednotlivých faktorů

Faktor	Testovací kritérium <i>F</i>	p hodnota
Odrůda	21,69	0,0000
Délka aklimatizace	6,90	0,0011
Zásahová teplota	85,80	0,0000

Z grafu 10 vyplývá, že rostliny ponechány aklimatizovat po dobu 25 dní dosáhly v průměru nejmenšího stupně mrazuvzdornosti s 25 % přeživších rostlin, o 2 % v průměru vyššího stupně mrazuvzdornosti dosáhly rostliny aklimatizované po dobu 60 dní, nejlepšího výsledku dosáhly rostliny aklimatizující se 40 dní, kde přežilo 60 % ze všech vzešlých rostlin. Podle předpokladu klesal procentuální podíl přeživších rostlin s klesající zásahovou teplotou. Tabulka 15 také poukazuje na fakt, že při aklimatizaci 25 dní je možno identifikovat náchylné odrůdy již po zásahu teplotou $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, kdy přežilo 56 % rostlin. Po zásahu teplotou $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebyly již rostliny schopny regenerace a přežilo pouze 7 % testovaných jedinců. Lze zde také pozorovat, že po aklimatizaci 40 dní není zásah teplotou $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ dostatečný k vyloučení neodolných odrůd, jelikož přežilo 73 % ze všech testovaných jedinců, je zde možno spolehlivě odhalit pouze negativní kontroly, tedy odrůdy jarní pšenice. Dostatečná teplota k selekci neodolných odrůd je v tomto případě až $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ s 56 % přeživších rostlin. Rozdíl mezi -14 a $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ byl minimální, pouze 4%. U rostlin aklimatizovaných po dobu 60 dní klesla úroveň mrazuvzdornosti téměř na stejnou úroveň jako u aklimatizace 25 dní, tedy na 27 %. Zásadní rozdíl se zde ukázal mezi výsledky, kterých rostliny dosahovaly po zásahu $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$, který přežilo 45 % a $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ kde zregenerovalo jen 1 % rostlin.

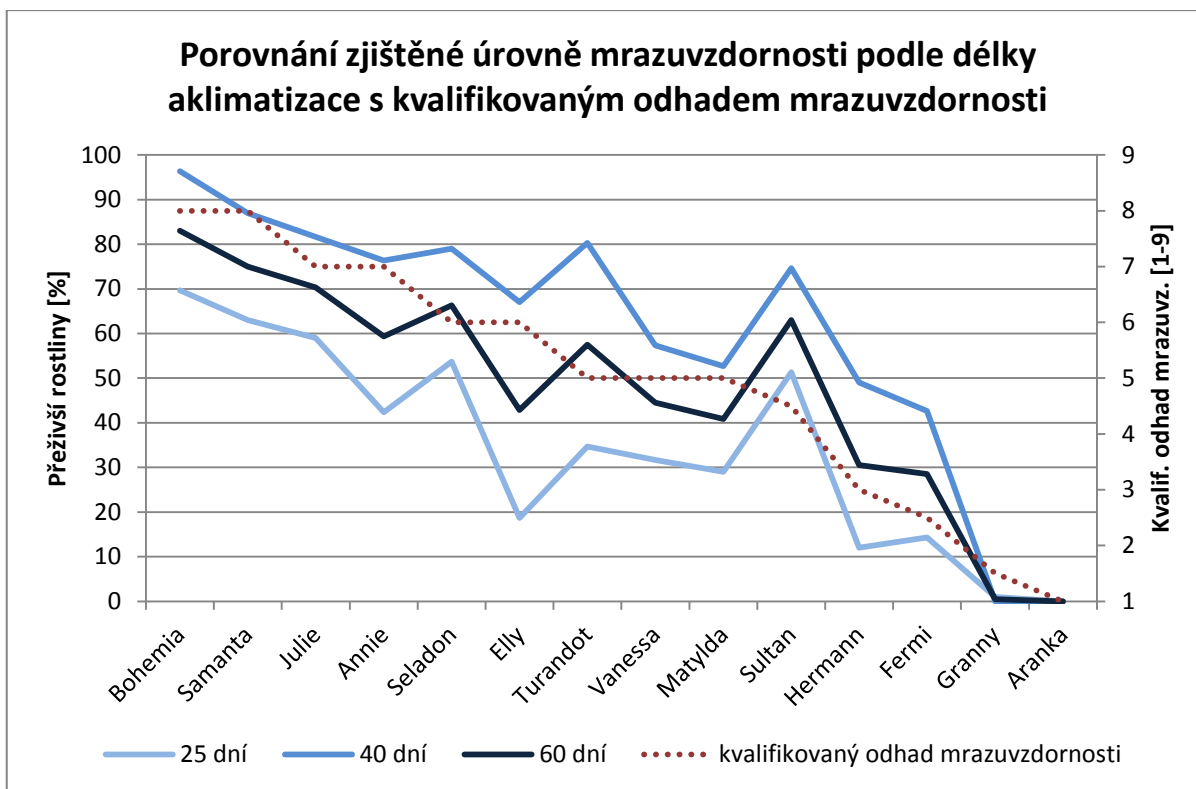


Graf 10: Vliv délky aklimatizace a zásahové teploty na přežití rostlin

Z tabulky 15 vyplývá, že výsledky dosažené laboratorním testem rostlin po aklimatizaci po dobu 40 dnů nejvíce odpovídají kvalifikovanému odhadu mrazuvzdornosti silou závislosti $r=0,9132$. Slabší závislost byla zjištěna u rostlin aklimatizovaných 25 dní ($r=0,8875$), nejvíce se lišily výsledky u rostlin po aklimatizaci v délce 60 dní ($r=0,7762$).

Tabulka 15: Porovnání síly závislosti průměrných výsledků laboratorního testu s kvalifikovaným odhadem mrazuvzdornosti odrůd podle délky aklimatizace

Délka aklimatizace	25 dní	40 dní	60 dní
Korelační koeficient (r)	0,8875	0,9132	0,7762



Graf 11: Porovnání zjištěné úrovně mrazuvzdornosti podle délky aklimatizace s kvalifikovaným odhadem mrazuvzdornosti

Graf 11 porovnává úrovně mrazuvzdornosti odrůd dosažené v jednotlivých variantách podle délky aklimatizace s kvalifikovaným odhadem mrazuvzdornosti. Celkově nejnižší úrovně mrazuvzdornosti dosahovaly odrůdy po aklimatizaci 25 dní. Zde všechny odrůdy kromě odrůdy Sultan dosáhly nižšího hodnocení, než bylo předpokládáno na základě kvalifikovaného odhadu mrazuvzdornosti. Naopak nejvyšší úroveň byla zaznamenána u odrůd aklimatizovaných 40 dní, kde všechny odrůdy dosahovaly vyšší úrovně mrazuvzdornosti než u jejího kvalifikovaného odhadu. Lepších výsledků, než bylo předpokládáno na základě kvalifikovaného odhadu, dosáhla odrůda Sultan, která ve všech 3 variantách překročila odhadovanou úroveň mrazuvzdornosti.

6 Diskuze

Výsledky získané v polním pokusnictví poskytují podle Reynoldse a kol. (2001) více opakovatelné výsledky a mají obecně menší chybovost. Všechny procesy související s přezimováním ozimé pšenice probíhající v rámci rostliny podle Prášila a kol. (2005) probíhají přirozeně a je zde tedy omezen vliv řízených podmínek na vypovídající hodnotu získaných výsledků. Ovšem jak uvádí Prášilová a kol. (2003), můžeme na našem území v průběhu 20. století označit jako studené zimy s výskytem podnormálních teplot přibližně jen každou šestou zimu. Tento poznatek potvrdily také 2 zimy, během kterých probíhaly experimenty této práce (2014/15, 2015/16). V rámci provedeného polního pokusu dosáhly i kontrolní odrůdy jarní pšenice v obou těchto letech minimálního hodnocení na stupnici 1 – 8 hodnocení mrazuvzdornosti 8, nedošlo tedy k přirozené selekci neodolných odrůd. Acquah (2007) a Reynolds a kol. (2001) se shodují na významu zařazování kontrolních odrůd u všech metodik. U těchto kontrol by vždy mělo jít o odrůdy s lety prověřenou úrovní mrazuvzdornosti, ideálně v zastoupení různých stupňů mrazuvzdornosti. Negativní kontrola, odrůda jarní pšenice Aranka používaná ve všech provedených pokusech je schopna přežít maximální pokles teploty půdy v místě odnožovacího uzlu $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ve všech dílčích pokusech kromě polního dosáhla nejhorších výsledků s maximálním hodnocením mrazuvzdornosti 1,8, tento fakt částečně svědčí o správném průběhu pokusů, v polním pokusu potvrzuje skutečnost, že výsledky není možné považovat za vypovídající o mrazuvzdornosti odrůd. Z tohoto faktu vyplývá, že selekční tlak na odrůdy v případě pozorování mrazuvzdornosti v přirozených polních podmínkách na našem území není vždy dostatečný a ne každou zimu jsou tak šlechtitelé schopni odlišit mrazuvzdorné odrůdy od náchylných k vymrzání. Což potvrzuje také fakt, že výsledky získané v polním experimentu nejméně korelují s hodnotami kvalifikovaného odhadu mrazuvzdornosti a mezi těmito hodnotami byl nalezen statisticky průkazný rozdíl. Pokud by tedy bylo při hodnocení mrazuvzdornosti odrůd přihlíženo pouze k těmto výsledkům, byly by odrůdy považovány za mrazuvzdorné, ačkoliv ne u všech je to pravda (např. odrůdy jarní pšenice). Při rozšíření pěstování odrůd s nízkou mrazuvzdorností může poté v kritických zimách dojít k velkým škodám, jak tomu bylo např. u porostů po zimě 2002/03, kdy bylo nutné po zimě zaorat až 20 % vyseté ozimé pšenice (Horčíčka a kol. 2007). Z tohoto důvodu bylo vybráno a testováno více metod, které se mohou za různých podmínek a v různých ročnících vzájemně doplňovat. K získání celistvého pohledu na mrazuvzdornost rostlin z polních podmínek je možné doporučit vysetí testovaných odrůd v partnerských stanicích s podmínkami umožňujícími spolehlivě selektovat více či méně mrazuvzdorné odrůdy. Pro porovnání může sloužit např. situace v Polsku podle Matisika (2016, osobní

sdělení), kde krátkým vpádem studeného vzduchu a silného větru bez sněhové pokrývky v lednu 2016 zcela vymrzly i odrůdy, jejichž úroveň mrazuvzdornosti je běžně hodnocená známkou 3 nebo 4. Jak se zmiňuje Vavera a kol. (2014), i značně poškozené porosty mohou na jaře poměrně dobře zregenerovat, jako např. odrůdy s dobrou odnožovací schopností, které mohou odumřelé rostliny po zimě kompenzovat vytvořením vyššího počtu odnoží a tím také vyšším počtem klasů apod., a je proto dobré mít výsledky z polních pokusů k dispozici.

Polně laboratorní metoda (PL) a její modifikace (MPL) vychází z předpokladu Reynoldse a kol. (2001), že otužování je nejnázne proveditelné v přírodních podmínkách, umístěním truhlíků nebo jiných nádob s rostlinami ven, nebo odběrem otužených rostlin z pole. Testem se podle Holubové a kol. (2012) zjistí aktuální mrazuvzdornost na poli. Mařík a kol. (2012) považuje za hlavní výhodu těchto metod stanovit mrazuvzdornost s vysokou průkazností, opakovatelností a ročníkovou stabilitou. Avšak jak se zmiňuje Reynolds a kol. (2001), můžeme se setkat s komplikacemi, a to ovlivněním konečných výsledků kvůli nedostatečné kontrole nad úrovní otužení, stejně jako závislosti výsledků na počasí o které mluví Holubová a kol. (2012). Tento jev lze pozorovat na výsledcích PL metody, kdy byl zjištěn statisticky průkazný rozdíl mezi výsledky jednotlivých ročníků, což zároveň vylučuje předpoklad Maříka a kol. (2012), že by se mělo na základě obou metod dosahovat podobných výsledků. Rostliny v roce 2016 dosáhly výrazně nižší úrovně mrazuvzdornosti než v roce 2015. Tento výsledek lze dávat za vinu nedostatečnému otužení rostlin z pole díky teplému prosinci a následně tak neschopnosti rostlin dosáhnout dostatečné úrovně mrazuvzdornosti a jejich vymrznutí následným výrazným poklesem teplot v lednu jak ukazuje tabulka 8, kdy rozdíl mezi průměrnými teplotami v prosinci a lednu byl 5,7 °C. Z tohoto důvodu bylo možné v roce 2016 rozdělit odrůdy touto metodou pouze do dvou skupin a to na neodolné (odrůdy jarní pšenice Aranka a Granny) a skupinu velmi slabě odolných, kam byly zařazeny i běžně odolné odrůdy. Tento mezi ročníkový rozdíl vysvětluje také vysokou variabilitu výsledků PL metody. Dalším aspektem při posuzování PL metody je fakt její vysoké pracovní náročnosti. Např. Holubová a kol. (2012) zmiňuje, že možnost odběru rostlin z pole je limitována vnějšími podmínkami. V případě nízkých teplot a zmrzlé půdy není možné odběry provádět, stejně tak příliš podmáčená půda odběry komplikuje. Při odběrech v roce 2015 byly odběry rostlin díky teplému počasí snadné, avšak v roce 2016 je bylo nutné kvůli zmrzlé půdě o několik dní odložit, než bylo možné za teplejšího počasí po rozmrznutí půdy odběry provést. Při odběru rostlin a následnému oddělování jednotlivých rostlin z trsů navíc dochází k poškozování kořenů, které může v konečném výsledku mít vliv na regeneraci rostlin a ovlivnit tak hodnocení úrovně mrazuvzdornosti. Z tohoto důvodu byla vyvinuta MPL metoda,

kteřá usnadňuje manipulaci s rostlinami jejich zasetím do sadbovačů, ve kterých jsou rostliny ponechány po celou dobu pokusu. Eliminuje se tak deformace rostlin při odběrech a umožňuje otužování rostlin v přirozených podmínkách. Výsledky MPL metody korelovaly s kvalifikovaným odhadem více než PL, míra variance byla nižší než u PL metody. Tato fakta svědčí o vyšší vypovídající hodnotě výsledků získaných na základě MPL metody. Ovšem v rámci této práce bych tento výsledek přisuzovala spíše nevypovídajícím výsledkům kvůli mezi ročníkovým rozdílem v PL metodě než obecné nespolehlivosti metody. Po hodnocení MPL metody dosáhla výrazně lepšího výsledku, než bylo předpokládáno na základě kvalifikovaného odhadu mrazuvzdornosti odrůda Vanessa, která místo předpokládaného hodnocení úrovně mrazuvzdornosti 5 dosáhla hodnocení 7,7. Stejně tak vyšší úrovně dosáhla odrůda Elly- místo předpokládané středně odolné s hodnocením 6 byla ohodnocena jako 2. nejodolnější s hodnocením 7,8. Naopak horší úroveň mrazuvzdornosti než se předpokládalo, byla zjištěna u odrůdy Bohemia, kdy z předpokládané odolné odrůdy s hodnocením úrovně mrazuvzdornosti 8 byla hodnocena známkou 6,9 jakožto středně odolná odrůda. Tento výsledek by odpovídal hodnocení mrazuvzdornosti vydané ÚKZÚZ, tedy že odrůda je jím hodnocena jako středně odolná až odolná.

Další testovanou metodou bylo testování mrazuvzdornosti u rostlin pěstovaných po celou dobu experimentu v řízených laboratorních podmínkách. Tato metoda nejvíce korelovala s hodnotami kvalifikovaného odhadu mrazuvzdornosti. Dále byla zjištěná těsná závislost k MPL metodě. Na základě výsledků laboratorní metody bylo možné nejlépe rozlišit neodolné, středně odolné a odolné odrůdy, kdy mezi úrovní mrazuvzdornosti odrůd byl zjištěn statisticky průkazný rozdíl. V rámci této práce se tedy jeví jako nejspolehlivější a nejvhodnější. Výsledky by mohly nasvědčovat možnosti vypuštění ostatních metod než L, avšak např. rozdíl mezi jednotlivými ročníky u PL metody je také důvodem, proč je v praxi nutné využívat vždy více metod. V případě selhání v průběhu jedné metody (např. chyby lidského faktoru jako špatně provedený výsev do truhlíků a následné nevzejití osiva, špatné nastavení teplot v mrazové komoře, nefunkčnost mrazové komory, špatné otužení, napadení rostlin chorobami apod.) je možné tento výpadek zastoupit jinou metodou. Reynolds a kol. (2001) vidí hlavní výhodu L metody v možnosti dosáhnout kontrolované úrovně otužení. Z tohoto důvodu byla tato metoda hodnocena nejen z pohledu dosažených výsledků jednotlivých odrůd, ale byla navíc podrobena bližšímu zkoumání z pohledu ověření vlivu délky aklimatizace rostlin na výsledky testu mrazuvzdornosti v řízených laboratorních podmínkách. Předpoklad možnosti dosáhnout kontrolované úrovně otužení byl v tomto testu potvrzen, jak je uvedeno dále.

Mařík a kol. (2012) zmiňuje, že pro objektivní vyhodnocení odrůdové mrazuvzdornosti je potřeba víceletých výsledků z více lokalit získaných různými metodami. Tento fakt lze podložit i porovnáním výsledků jednotlivých odrůd v rámci této práce s výsledky z různých pracovišť a jiných zdrojů. Většina odrůd dosáhla předpokládaných výsledků, setkáváme se však s drobnými rozdíly. Např. odrůda Matylda, která dosáhla v průměru provedených testů (L+MPL) hodnocení úrovně mrazuvzdornosti 4,4, tedy ukázala se jako méně odolná odrůda, byla ovšem po tuhé zimě 2011/12 hodnocena známkou 6, jakožto odolná odrůda. Vyššího hodnocení dosáhla v MPL testu, než v L. Je tedy možné, že tato odrůda je schopná lépe přezimovat po otužení v přírodních podmínkách a ačkoliv se v laboratorních podmínkách může jevit jako málo mrazuvzdorná, její mrazuvzdornost může být vyšší než by mohlo být na základě L testu předpokládáno. Další rozpor nastal u výsledků u odrůdy Sultan, která je ÚKZÚZ hodnocena jakožto méně odolná odrůda, avšak v průměru testů provedených v této práci (LěMPL) dosáhla hodnocení 5,6, stejně tak jako např. stav porostu po zimě 2011/12 byl hodnocen známkou 6. Na základě těchto výsledků by odrůda mohla být prohlášena spíše za středně odolnou. O něco nižšího průměrného výsledku než bylo předpokládáno, dosáhla odrůda Bohemia, jejíž úroveň mrazuvzdornosti byla průměrně hodnocena známkou 7 namísto předpokládaných 8. Ve všech testech se však umístila mezi nejdolnějšími odrůdami, jak bylo předpokládáno. Odrůdy jarní pšenice Aranka a Granny dosáhly podle očekávání nejhorší úrovně mrazuvzdornosti. Byl potvrzen předpoklad, že úroveň mrazuvzdornosti odrůdy Granny je vyšší, než u čisté jarní pšenice, což je také důvod, proč je používána jako přesívková odrůda.

Bylo prokázáno, že kromě odrůdy a zásahové teploty má statisticky významný vliv na přežití rostlin také zvolená délka aklimatizace předcházející samotnému procesu zásahů mrazovými teplotami. Proces aklimatizace během laboratorního testu se svým principem přibližuje jarovizaci v přírodních podmínkách. Trischuk a kol. (2014) mluví o důležitosti jarovizace k správnému vývoji mrazuvzdornosti ozimů. Vysoký stupeň odolnosti může být vyvinut pouze u rostlin ve vegetativním stadiu a právě potřeba jarovizace oddaluje metání, takže tento vývoj umožňuje. Ozimé odrůdy pšenice jarovizují podle Foltýna (1970) po dobu 30–60 dnů při teplotě 0–10 °C. Z ekonomických a provozních důvodů je však ve šlechtitelské praxi využívána metoda s délkou aklimatizace 25 dní. Jak vyplynulo z výsledků testování, rostliny se během této doby nebyly schopné dostatečně otužit a vyvinula se u nich proto v průměru nejnižší úroveň mrazuvzdornosti. Výsledky této varianty zároveň korelovaly s kvalifikovaným odhadem mrazuvzdornosti méně než výsledky po aklimatizaci 40 dní. Dá se tedy předpokládat, že byly méně vypovídající. Díky skutečnosti, že rostliny nebyly schopny

dosáhnout vyšší úrovně mrazuvzdornosti, bylo možné selektovat odrůdy náchylné k vymrzání již po zásahu teplotou $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Společnost je navíc při jejím používání schopna test opakovat až 3x během jedné zimy, je tedy možné získat tak větší množství dat. Z celkového průměru všech testovaných variant i v rámci tohoto experimentu vyplývá, že s vyšším počtem opakování korelují výsledky více s kvalifikovaným odhadem mrazuvzdornosti, dá se tedy předpokládat, že s opakováním roste přesnost výsledků. Zároveň je zde možno výrazně snížit provozní náklady, díky kratší době potřebné chladit jarovizační komoru na teplotu potřebnou k aklimatizaci rostlin, umělému přisvětlování rostlin a nižší spotřebě vody potřebné pro zalévání rostlin.

Rostlin aklimatizované po dobu 40 dní byly schopné dosáhnout průměrně nejvyšší úrovně otužení s 60 % přeživších rostlin po mrazovém testu. Příkladem může být např. odrůda Hermann, která z málo odolné odrůdy s průměrně 12 % přeživších jedinců po aklimatizaci 25 dnů byla schopná při delší době aklimatizace 40 dnů dosáhnout výsledku průměrných 49 % přeživších. Výsledky získané u této varianty pokusu nejvíce korelovaly s kvalifikovaným odhadem mrazuvzdornosti. Lze tedy předpokládat, že výsledky získané touto metodou jsou nejvíce vypovídající. Problém vysoké dosažené úrovně mrazuvzdornosti je však v tomto případě především v malých rozdílech mezi výsledky dosaženými v nízkých zásahových teplotách, kdy mezi průměrným procentem přežití rostlin po zásahu teplotou $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ byl rozdíl pouhá 4 %, bylo by nutné přidat nižší zásahovou teplotu pro zjištění hraniční teploty, kterou jsou rostliny schopné přežít a při jaké teplotě již většina není schopna zregenerovat. Schopnost rostlin přežít teplotu $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ sice nehraje v našich podmínkách běžně tak významnou roli. Společně s uvážením skutečnosti, že vysoká mrazuvzdornost odrůd se negativně odráží na jejich výnosu, není ani primárním cílem takovéto odrůdy šlechtit. Informace může být ale použitelná především za předpokladu pěstování odrůd v chladnějších oblastech, záleží tak na uvážení šlechtitele, zda je nutné identifikovat u nejvíce odolných odrůd, zda jsou schopné tuto teplotu přežít či ne.

Dlouhá doba aklimatizace (60 dní) vedla k podobným výsledkům jako po aklimatizaci po dobu 25 dní. Lze tak předpokládat, že rostliny se dostaly do 3. stadia vývoje během zimního období podle Prášila a kol. (2005), tedy do stadia postupné ztráty mrazuvzdornosti po ukončení procesu jarovizace. Pro potvrzení tohoto předpokladu je možné doporučit v budoucnu navrhnout další variantu pokusu a ověřit studiem vegetačních vrcholů, zda rostliny skutečně přešly do generativní fáze. Obecným zhodnocením časové a ekonomické náročnosti lze však tuto metodu prohlásit za neefektivní a nevhodnou k používání ve šlechtitelské praxi.

7 Závěr

- Byla potvrzena hypotéza, že odrůdy pšenice mohou vykazovat statisticky významné rozdíly v úrovni mrazuvzdornosti při testování této vlastnosti různými metodami.
- Ve vztahu ke kvalifikovanému odhadu mrazuvzdornosti nejvíce korelovaly, a je tedy možné prohlásit za nejpřesnější, laboratorní a modifikovaná polně-laboratorní metoda. Mezi těmito dvěma metodami byla také zjištěna těsná závislost a nebyl mezi nimi nalezen statisticky průkazný rozdíl, dají se tedy považovat za srovnatelné. S ohledem na fakt, že modifikovaná polně-laboratorní metoda vykazovala nižší variabilitu, je možné prohlásit v rámci této práce jí získané výsledky za nejvíce vypovídající.
- Nejmenší variabilita výsledků byla zjištěna u polní metody, avšak v tomto případě byly všechny odrůdy hodnoceny na bodové stupnici 1–9 jako 8 nebo 9, přezimovaly i běžně nemrazuvzdorné odrůdy (např. odrůdy jarní pšenice). Porovnáním s kvalifikovaným odhadem mrazuvzdornosti byl zjištěn statisticky průkazný rozdíl a mezi výsledky a odhadem nebyla zjištěna závislost, z těchto skutečností vyplývá, že v letech 2014/15 a 2015/16 není možné výsledky získané touto metodou považovat za vypovídající.
- Výsledky polně laboratorní metody vykazovaly vysokou variabilitu kvůli velkému mezi ročníkovému rozdílu. Byl tak potvrzen předpoklad, že metoda je silně závislá na míře otužení z pole, v případě nevhodného počasí v době aklimatizace nejsou rostliny schopné dosáhnout dostatečné mrazuvzdornosti. Jelikož i odrůdy známé jako mrazuvzdorné dosáhly v roce 2015/16 nízké úrovně mrazuvzdornosti, bylo na základě získaných výsledků možné statisticky průkazně rozlišit pouze úroveň mrazuvzdornosti odrůd jarní pšenice od ostatních odrůd.
- Na základě výsledků získaných laboratorní metodou bylo možné nejpřesněji rozdělit odrůdy na neodolné, méně odolné, středně odolné a odolné s nejtěsnější závislostí výsledků ke kvalifikovanému odhadu mrazuvzdornosti.
- Bylo prokázáno, že na přezimování rostlin během laboratorního testování mají statisticky významný vliv odrůda, zásahová teplota i délka aklimatizace.
- Při testování vhodné délky aklimatizace rostlin pro laboratorní metodu se ukázala jako nejvíce vypovídající s nejtěsnější závislostí výsledků a kvalifikovaného odhadu mrazuvzdornosti doba 40 dní.
- Odrůdy ponechané aklimatizovat po dobu 40 dnů dosáhly průměrně nejvyšší mrazuvzdornosti. V případě nutnosti spolehlivě určit touto metodou letální teplotu, by bylo vhodné přidat ještě jednu nižší zásahovou teplotu. Pouze v této variantě byly rostliny

schopné získat dostatečnou mrazuvzdornost pro možnost testování mrazuvzdornosti odrůd do chladnějších klimatických oblastí.

- Slabší závislost ke kvalifikovanému odhadu byla zjištěna u varianty s 25 dny. Odrůdy nedosahovaly tak vysoké úrovně mrazuvzdornosti jako u varianty se 40 dny, avšak tato doba se ukázala jako vhodnější z provozního a ekonomického hlediska.
- Ukázalo se jako vhodné zaměřit se v budoucnu na testování nejvhodnější doby aklimatizace mezi 25 a 40 dny a nalézt tak nejefektivnější metodu, s nejvhodnějším poměrem vypovídající hodnoty získaných výsledků a nákladů na testování. Na základě tohoto závěru byla upravena metodika používaná v provozních testech mrazuvzdornosti ve společnosti Selgen pro příští zimu (2016/17) z používaných 25 dní aklimatizace na 30 dnů.
- Po zhodnocení časové a ekonomické náročnosti varianty s aklimatizací po dobu 60 dnů s ohledem na fakt, že výsledky byly téměř totožné s variantou aklimatizace 25 dnů lze tuto metodu prohlásit za neefektivní a nevhodnou k používání ve šlechtitelské praxi.

8 Seznam literatury

Acquaah, G. 2007. Principles of plant genetics and breeding. Blackwell Publishing. Oxford. p. 584. ISBN: 1-4051-3646-4.

Barros, V. 2006. Globální změna klimatu. Mladá fronta. Praha. 168 s. ISBN: 80-204-1356-1.

Český hydrometeorologický ústav. Územní teploty a územní srážky. [online]. Portál ČHMÚ. [cit. 2016-01-21]. Dostupné z <http://portal.chmi.cz/portal/dt?menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_4_Uzemni_teploty>

Dörffling, K. Schulenburg, S. Lesselich, S. Dörffling, H. 1990. Abscisic acid and proline levels in cold hardened winter wheat leaves in relation to variety-specific differences in freezing resistance. Crop science. 165 (4). 230–239.

Evans, L. Wardlaw, F. 1996. Wheat. In: Zamski, E. Schaffer, A. (eds.). Photoassimilate distribution in plants and crops, source-sink relationships. Marcel Dekker. New York. p. 501-518. ISBN: 0-8247-9440-0.

Fadrhons, J. Bareš, I. 1977. Pšenice. In: Stehlík, V. (ed.). Naučný slovník zemědělský, 7. díl. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. s. 561–593.

Faměra, O. (ed.). 1993. Základy pěstování ozimé pšenice. Institut výchovy a vzdělávání MZe ČR. Praha. 51 s. ISBN: 80-7105-045-8.

Foltýn, J. (ed.). 1970. Pšenice. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 441 s.

Fowler, D. Gusta, L. Tyler, N. 1981. Selection for winter hardiness in wheat. III. Screening methods. Crop science. 21 (6). 896-901.

Gloser, J., Prášil, I. 1998. Fyziologie stresu. In: Procházka, S., Macháčková, I., Krekule, J., Šebánek, J. (eds.). Fyziologie rostlin. Academia. Praha. s. 412-416. ISBN: 80-2000-586-2.

Hanišová, A. Horčíčka P. 2012. Pokrok ve šlechtění pšenice v České republice. In: Pšenice 2012: „od genomu po chleba“. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha. 119 s. ISBN: 978-80-7427-122-9.

Horáková, V. Dvořáčková, O. Mezlík, T. 2014. Seznam doporučených odrůd 2014 – pšenice ozimá, ječmen jarní, ječmen ozimý, triticales ozimé, oves setý (pluchatý), hrách polní. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Brno. 198 s. ISBN: 978-80-7401-089-7.

Horáková, V. Dvořáčková, O. Mezlík, T. 2015. Seznam doporučených odrůd 2015 – pšenice ozimá, ječmen jarní, ječmen ozimý, triticales ozimé, oves setý (pluchatý), hrách polní. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Brno. 198 s. ISBN: 978-80-7401-108-5.

Horčíčka, P. Bižová, I. Veškrna, O. Bláha, T. Andělová, L. Holubová, H. Hanzalová, J. 2014. Rukověť pěstitele jarní pšenice. Kurent. České Budějovice. 25 s. ISBN: 978-80-87111-45-1.

Horčíčka, P. (ed.). 2005. Porovnání metod stanovení stupně mrazuvzdornosti a stanovení stupně rizika poškození odrůd ozimé pšenice mrazem v ČR. Periodická zpráva o postupu projektu za rok 2004. Selgen. Stupice. 23 s.

Horčíčka, P. Skala, R. Hromádko, M. Prášilová, P. Prášil, I. Laml, P. Martinek, P. 2007. Porovnání metod stanovení stupně mrazuvzdornosti a stanovení stupně rizika poškození odrůd ozimé pšenice mrazem v ČR. Selgen. Sibřina. 7 s.

Horčíčka, P. 5. 1. 2015. Osobní sdělení.

Horčíčka, P. 4. 4. 2016. Osobní sdělení.

Holubová, H. Heřmanská, A. Hromádko, M. Veškrna, O. Konečná, K. 2012. Testování mrazuvzdornosti pšenice ozimé. In: Pšenice 2012 „od genomu po chleba“. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha. 119 s. ISBN: 978-80-7427-122-9.

Kolynchaya, G. Bulaka, N. Kolyuchy, V. 1995. Use of Genetic Methods in Winter Wheat Breeding. In: Morgounov, A. Vlasenko, V. McNab, A. Braun, H.-J. (eds.). Wheat Breeding Objectives, Methodology, and Progress: Proceedings of the Ukraine/CIMMYT workshop. CIMMYT. Mexico. p. 59 – 60. ISBN: 968-6923-60-8.

Kůst, F. Potměšilová, J. (eds.). 2014. Situační a výhledová zpráva: obiloviny. Ministerstvo zemědělství. Praha. 106 s. ISBN: 978-80-7434-191-5.

Larsson, S. 1986. New screening methods for drought resistance and cold hardiness in cereals. In: G. Olsson (ed.). Research and results in plant breeding. LTs Forlag. Stockholm. p. 241 – 251.

Mařík, P. Prášil, I Prášilová, P. Horčíčka, P. 2012. Metodika polně-laboratorního testu mrazuvzdornosti adaptovaná pro potřeby odrůdového zkušebnictví s použitím mrazicích pultů Elcold EL 51 LT. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha. ISBN: 9788074271120.

Matisik, P. 15. 3. 2016. Osobní sdělení.

Petr, J. (ed.). 1983. Intenzivní obilnářství. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 388 s. ISBN: 0706133.

Petr, J. (ed.). 1987. Počasí a výnosy. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 365 s.

Petr, J. 1999. Jak vypěstovat pšenici požadované jakosti. Úroda. XXXXVII (5). ISSN: 0139-6013.

Prášil, I. 1997a. Chladuvzdornost rostlin. In: Mareček, F. (ed.). Zahradnický slovník naučný, 3. díl. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha. s. 19-20. ISBN: 80-85120-62-3.

Prášil, I. 1997b. Mrazuvzdornost rostlin. In: Mareček, F. (ed.). Zahradnický slovník naučný, 3. díl. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha. s. 534-535. ISBN: 80-85120-62-3

Prášil, I. Prášilová, P. Pánková, K. 2005. The relationship between vernalization requirement and frost tolerance in substitution lines of wheat. *Biologia plantarum*. 49 (2). 195–200.

Prášilová, P. Prášil, I. Martinek, P. 2003. Zima 2002-2003 a příčiny vyzimování ozimých plodin. Úroda. LI (7). 44-47.

Prášilová, P. Prášil, I. 2007. Hodnocení zimovzdornosti obilnin provokační nádobovou metodou. Metodika pro praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha. 14 s. ISBN: 978-80-87011-37-9.

Prášilová, P. Prášil, I. 2008. Hodnocení mrazuvzdornosti obilnin pomocí mrazového testu a letální teploty. Metodika pro praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha. 12 s. ISBN: 978-80-87011-87-4.

Prášilová, P. Prášil, I. 2011. Zimovzdornost současného sortimentu odrůd ozimé pšenice. Úroda. LIX (9). 20-23.

- Prugar, J. 2008. Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský. Praha. 327 s. ISBN: 978-80-86576-28-2.
- Rajaram, S. Morgounov, A. I. 1995. Wheat Germplasm Improvement at CIMMYT Mexico. In: Morgounov, A. Vlasenko, V. McNab, A. Braun, H.-J. (eds.). Wheat Breeding Objectives, Methodology, and Progress: Proceedings of the Ukraine/CIMMYT workshop. CIMMYT. Mexico. p. 59 – 60. ISBN: 968-6923-60-8.
- Reynolds, M. Ortiz-Monasterio, J. McNab A. (eds.). 2001. Application of Physiology in Wheat Breeding. CIMMYT. Mexico. p. 240. ISBN: 970-648-077-3.
- Růžek, P. Vavera, R. Kusá, R. 2015. Zakládání porostů ozimé pšenice a reakce odrůd na agrotechniku. Úroda. LXIII (7). 47-50. ISSN: 0139-6013.
- Říha, K. Horáková, V. Dvořáčková, O. 2009. Metodika speciálních testů pro zkoušky užité hodnoty, obilniny. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Brno. 26 s.
- Săulescu, N. Braun H. 2001. Cold tolerance. In: Reynolds, M. P. Ortiz-Monasterio J. I. McNab A. (eds.). Application of Physiology in Wheat Breeding. CIMMYT. Mexico. p. 111-123. ISBN: 970-648-077-3.
- Stushnoff, C. Fowler, B. Bruele-Babel, A. 1984. Breeding and selection for resistance to low temperature. In: Vose, P. Blixt, S. (eds.). Crop Breeding - A contemporary basis. Pergamon Press. Oxford. p. 115 – 132. ISBN: 0080-25505-1.
- Sutka, J. Galiba, G. Vagujfalvi, A. Gill, B. S. Snape, J. W. 1999. Physical mapping of the Vrn-A1 and Fr1 genes on chromosome 5A of wheat using deletion lines. Theor Appl Genet. Roč 99 (1). 199–202.
- Šimon, J. 2004. Počasí a výnosy. Farmář. 10 (2). 18-21. ISSN: 1210-9789.
- Švec, M. Hauptvogel, P. Brestič, M. Mikulová, K. 2010. Vyhľadávanie a identifikácia genetických zdrojov pšenice (*Triticum* L.). Tribun. Brno. 139 s. ISBN: 978-80-7399-966-7.
- Šašek, A. Černý, J. Sýkorová, S. Bradová, J. 2000. Inovované katalogy bílkovinných genetických markerů pšenice seté a ječmene. ÚZPI. Praha. 51 s. ISBN: 80-72710-02-8.

Taylor, M. 2012. Breeding for Winterhardiness in Winter Wheat in Europe. In: Pšenice 2012 „od genomu po chleba“. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha. 119 s. ISBN: 9788074271229.

Taylor, M. 15. 12. 2013. Osobní sdělení.

Trischuk, R. Schilling, B. Low, N. Gray, G. Gusta, L. 2014. Cold acclimation, de-acclimation and re-acclimation of spring canola, winter canola and winter wheat: The role of carbohydrates, cold-induced stress proteins and vernalization. *Environmental and Experimental Botany*. 106 (5). 156–163.

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Seznam odrůd zapsaných ve Státní odrůdové knize ke dni 15. června 2015. In: *Věstník Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského*. 2015. XIV (3). 81 s.

Vaněk, V. Balík, J. Pavlíková, D. Tlustoš, P. 2007. *Výživa polních a zahradních plodin*. Profi Press. Praha. 176 s. ISBN: 976-80-86726-25-0.

Vavera, R. Růžek, P. Kusá, H. 2014. Vliv odrůdy a agrotechniky na dosažené výnosy zrna ozimé pšenice. *Agromanuál*. 9 (6). 50-52. ISSN: 1801-4895.

Zkulab. 2014. Výsledek rozboru půdy s doporučením dávek hnojiva (orná). *Zkulab*. Postoloprty. 2 s.

9 Seznam použitých zkratk a symbolů

SDO	Seznam doporučených odrůd
ÚKZÚZ	Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
VÚRV	Výzkumný ústav rostlinné výroby
CIMMYT	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo
ME	Megaenvironment (megaprostředí)
P	Polní metoda
L	Laboratorní metoda
PL	Polně-laboratorní metoda
MPL	Modifikovaná polně-laboratorní metoda
KOM	Kvalifikovaný odhad mrazuvzdornosti

Přílohy



Příloha 1: Porovnání stavu regenerovaných rostlin po laboratorním testu, zleva zásahové teploty: $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ (archiv autorky)



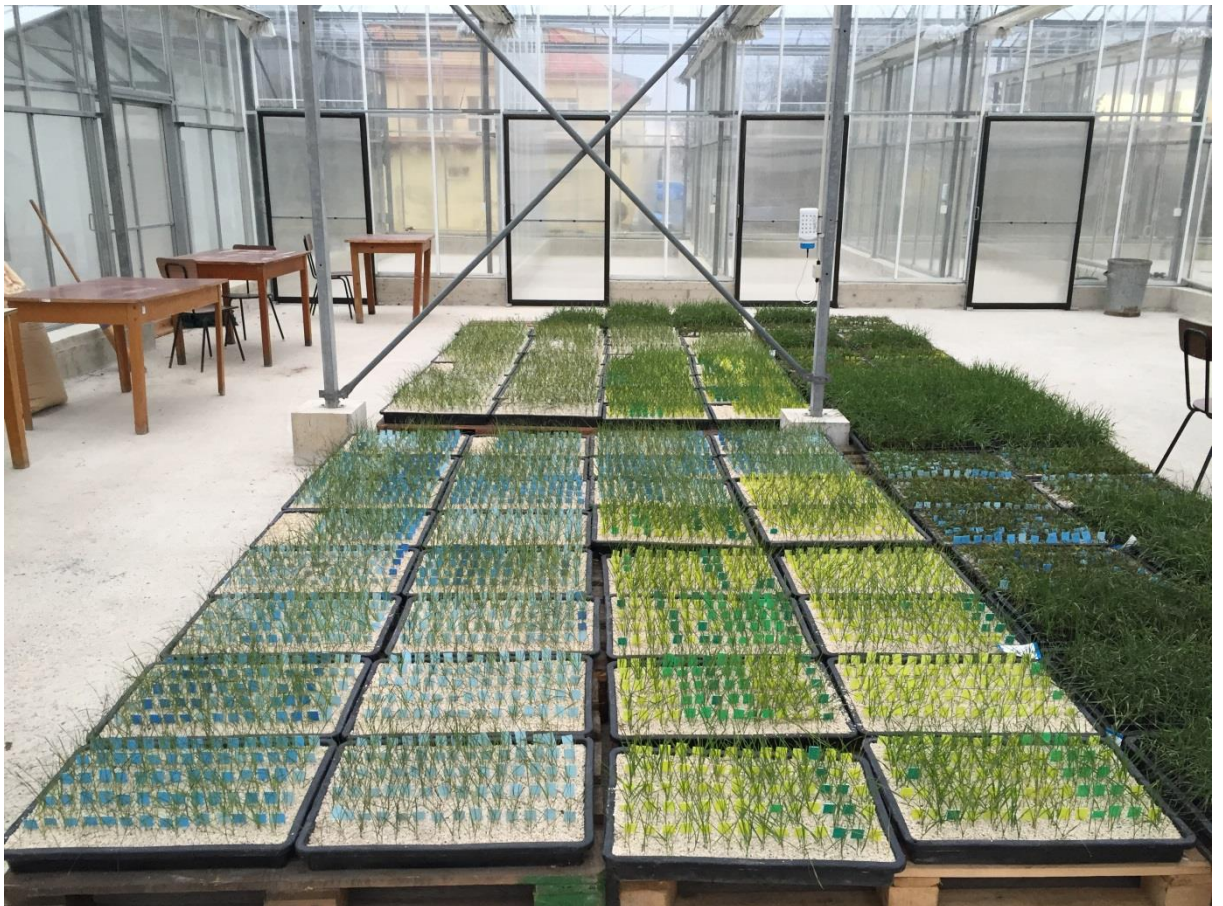
Příloha 2: Porovnání stavu regenerovaných rostlin po polně-laboratorním testu, zleva zásahové teploty: $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ (archiv autorky)



Příloha 3: Porovnání stavu regenerovaných rostlin po modifikovaném polně-laboratorním testu, zleva zásahové teploty: $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ (archiv autorky)



Příloha 4: Porovnání regenerovaných rostlin po zásahu teplotou $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ v jednotlivých testech, zleva: laboratorní metoda, polně-laboratorní metoda, modifikovaná polně-laboratorní metoda (archiv autorky)



Příloha 5: Pohled na regenerující rostliny ve skleníku (archiv autorky)

Seznam příloh

Příloha 1: Porovnání stavu regenerovaných rostlin po laboratorním testu.....	P1
Příloha 2: Porovnání stavu regenerovaných rostlin po polně-laboratorním testu.....	P1
Příloha 3: Porovnání stavu regenerovaných rostlin po modifikovaném polně-laboratorním testu.....	P1
Příloha 4: Porovnání regenerovaných rostlin po zásahu teplotou $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ v jednotlivých testech	P2
Příloha 5: Pohled na regenerující rostliny ve skleníku	P2